



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อ
จัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

โดย ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย และคณะ

ธันวาคม 2564

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อ
จัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

คณะผู้วิจัย

1. รศ. ดร. สุธา	ชาวเอียร์
2. ผศ. ดร. ชดชนก	อัทธมพงศ์
3. ผศ. ดร. เปี่ยมภูมิ	สฤกพฤกษ์
4. นายจิตวัต	อรุณนภา
5. นายรินทวัฒน์	สมบัติศิริ

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริม วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สทว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร (Executive summary)

ปัจจุบันการใช้พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียนได้ถูกสนับสนุนอย่างแพร่หลายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานลม พลังงานน้ำ หรือพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ถูกหยิบยกมาเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกเพื่อทดแทนแหล่งพลังงานฟอสซิลหรือพลังงานสิ้นเปลือง ซึ่งประเทศไทยได้มีแผนการส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ 15,000 เมกะวัตต์ ภายในปี พ.ศ. 2580 จากแผนดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมไม่ต่ำกว่า 106,000 ตัน ทั้งนี้ การกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ส่งไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เนื่องจากมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้มีมูลค่าหากมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ต่อไปด้วยกระบวนการรีไซเคิล โดยกระบวนการรีไซเคิลนั้นจะทำให้วัสดุมีค่าอื่นถูกนำกลับมาได้ด้วยเช่นกัน เช่น กรอบอะลูมิเนียม สายไฟ กล่องเชื่อมสายไฟ เศษกระจก บัสบาร์ และ Si-wafer เป็นต้น ซึ่งหากสามารถนำวัสดุเหล่านี้กลับเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ หรือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นต่อไปได้ จะเป็นการก่อให้เกิดการหมุนเวียนวัสดุตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างแท้จริง

ฉะนั้น เพื่อการส่งเสริมให้เป็นไปตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) จึงเล็งเห็นว่าควรมีการศึกษาวิจัยช่องว่างของเทคโนโลยีซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การผลิต การใช้งานและการกำจัด และการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมทั้งจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เกิดความเท่าเทียมและเข้าถึงได้ง่ายตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาด้านต่างๆ ให้มีศักยภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้นและเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่ยั่งยืน รวมถึงการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันและอนาคต โดยมีวัตถุประสงค์ของโครงการฯ คือ

1. เพื่อจัดทำข้อมูลผังการไหลของวัสดุ (Material flow analysis: MFA) ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของเซลล์แสงอาทิตย์
2. เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (Life cycle assessment) และวิเคราะห์ช่องว่างเพื่อเป็นแนวทางสนับสนุนให้เกิดการสร้างงานวิจัยและนวัตกรรมพัฒนาเสริมศักยภาพเทคโนโลยี
3. เพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายเพื่อการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการบริหารจัดการจากการใช้พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)
4. เพื่อเตรียมความพร้อมของบุคลากรและสถาบันการวิจัยที่สามารถผลิตองค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตอบสนองสถานการณ์ในอนาคตได้ภายในประเทศ ลดการพึ่งพาต่างประเทศ

ทั้งนี้ วิธีการดำเนินงานจึงเป็นการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งในและต่างประเทศ ตั้งแต่กระบวนการผลิต การใช้งาน ตลอดจนการจัดการซากที่เกิดขึ้น จากหน่วยงานต่างๆ รวมถึงข้อมูล

งานวิจัย แล้วนำมาวิเคราะห์หาช่องว่างที่เกิดขึ้น พร้อมกับจัดทำข้อเสนอแนะ และกิจกรรมต่างๆ ที่จะส่งเสริมในเชิงนโยบายและแนวทางปฏิบัติต่อไป

สรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

1. เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ทุกประเภท ตั้งแต่เครื่องคิดเลขแบบใช้มือถือไปจนถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนชั้นดาดฟ้า การออกแบบที่ดีขึ้นและวัสดุชั้นสูงทำให้สามารถสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่า 40% ได้ และการวิจัยและการพัฒนายังคงดำเนินต่อไปโดยมีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อให้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถแข่งขันกับเชื้อเพลิงฟอสซิลได้มากขึ้น ซึ่งนำไปสู่เทคโนโลยีในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ มีทั้งหมด 4 ประเภทดังนี้ ซิลิคอนผลึกแบบเวเฟอร์, 2. เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง, 3. เซลล์แสงอาทิตย์แบบควมคุม และ 4. เซลล์แสงอาทิตย์แบบรวมแสง เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในอันดับที่ 1 คือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multi-junction ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์แบบรวมแสง มีประสิทธิภาพสูงถึง 47.1% อันดับที่ 2 คือเซลล์แสงอาทิตย์แบบควมคุมชนิด Perovskite on silicon ที่มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 29.5% อันดับที่ 3 คือเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนผลึกแบบเวเฟอร์ชนิด Monocrystalline มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 26.1% และอันดับสุดท้ายคือเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางชนิด Perovskite ประสิทธิภาพอยู่ที่ 25.5%

แนวโน้มการผลิตขึ้นอยู่กับแนวโน้มของเทคโนโลยี ประสิทธิภาพของโมดูลเชิงพาณิชย์โดยทั่วไปคาดว่าจะเพิ่มขึ้นจาก 16% ในปี พ.ศ. 2553 เป็น 25% ในปี พ.ศ. 2573 โดยมีศักยภาพเพิ่มขึ้นถึง 40% ในปี พ.ศ. 2593 ในขณะเดียวกัน การใช้พลังงานและวัสดุในกระบวนการผลิตจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ระยะเวลาคืนพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์สั้นลงอย่างมาก โดยคาดว่าจะลดลงจากสูงสุด 2 ปีในปี พ.ศ. 2553 เป็น 0.75 ปีในปี พ.ศ. 2573 และต่ำกว่า 0.5 ปีในระยะยาว สุดท้ายอายุการใช้งานคาดว่าจะเพิ่มขึ้นจาก 25 ปี เป็น 40 ปี ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก มีการใช้งาน 95% ของการผลิตทั้งหมดในปี ค.ศ. 2020 และคาดว่าจะยังคงเป็นเทคโนโลยีที่โดดเด่น เนื่องจากเทคโนโลยีนี้ที่ได้รับความนิยมแล้ว เชื่อถือได้ มีต้นทุนในการผลิตต่ำ กระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน และมีอายุการใช้งานยาวนาน ซึ่งสรุปเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 4 ประเภท ได้ดังตารางที่ 1 โดยจากตารางดังกล่าวจะเห็นว่าเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดมีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดจึงต้องมีการคำนึงถึงจุดประสงค์ของการใช้งานเป็นหลัก โดยมีปัจจัยด้านต้นทุนการผลิต อายุการใช้งาน ประสิทธิภาพ และความคงทนเป็นส่วนประกอบของการตัดสินใจ

แม้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นพลังงานทางเลือกที่สะอาด แต่ก็มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต รวมถึงการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เนื่องจากการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มีการใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์กัดกร่อน สารไวไฟในการผลิต จึงจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการผลิต เมื่อหมดอายุการใช้งานโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ ก็อาจส่งผลอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้หากไม่มีการจัดการที่ถูกต้อง เช่น ตะกั่ว แคดเมียม เทลลูเรียม สารหนู เป็นต้น

ตารางที่ 1 สรุปเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์	ต้นทุนการผลิต	ประสิทธิภาพสูงสุด	ความคงทน	อายุการใช้งาน	การใช้งาน
Crystalline silicon(c-Si)	\$0.2/W, น้อยกว่า 4 g/W (Mono)	26.1%	แตกหักได้จากแรงทางกลเนื่องจากเซลล์มีความซับซ้อน โดยไม่ควรมีการงอเกิน 1-2 ซม. เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่สูงและควรหลีกเลี่ยงการตัดซ้ำๆ นอกจากนี้เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลง 0.5% ต่อ 1 เคลวิน	25-40 ปี	นิยมนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตต่ำและให้ปริมาณงานในการผลิตสูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนานแต่ให้ประสิทธิภาพของการทำงานค่อนข้างต่ำ
	\$0.177/W, น้อยกว่า 4 g/W (Multi)	23.3%		20-35 ปี	
Thin film	\$0.221/W,0.102 g/W	25.5%	มีความยืดหยุ่น น้ำหนักเบาและงอได้เต็มที่เนื่องจากเซลล์มีความบาง โดยเมื่อนำมาใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพการทำงานน้อยกว่าเซลล์แบบ c-Si	10-25 ปี	ถูกนำมาใช้งานน้อยเนื่องจากมีอายุและประสิทธิภาพของการทำงานที่ต่ำกว่าเทคโนโลยีการผลิตแบบ c-Si
Tandem PV	\$97.15/W	29.5%	ความยืดหยุ่นของเซลล์และผลกระทบจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีความคล้ายคลึงกับเซลล์แบบ c-Si เนื่องจากชั้นด้านล่างของเซลล์ส่วนใหญ่มีส่วนประกอบเป็นซิลิคอน	คาดการณ์ 25ปี	ยังไม่ถูกนำมาใช้งานจริงเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูงและปริมาณงานในการผลิตต่ำมาก
Concentrator technologies (CPV)	\$100/W	47.1%	มีความคงทนของเซลล์ที่ดีและสามารถทำงานได้ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงเกิน 150 องศาเซลเซียสเนื่องจากเซลล์ต้องนำไปใช้ในความเข้มแสงที่มากและใช้ในอวกาศ	25-30 ปี	ถูกนำไปใช้งานเฉพาะกลุ่ม เช่น ในอวกาศ และทางด้านการทหาร เป็นต้นเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูงและปริมาณงานในการผลิตต่ำ

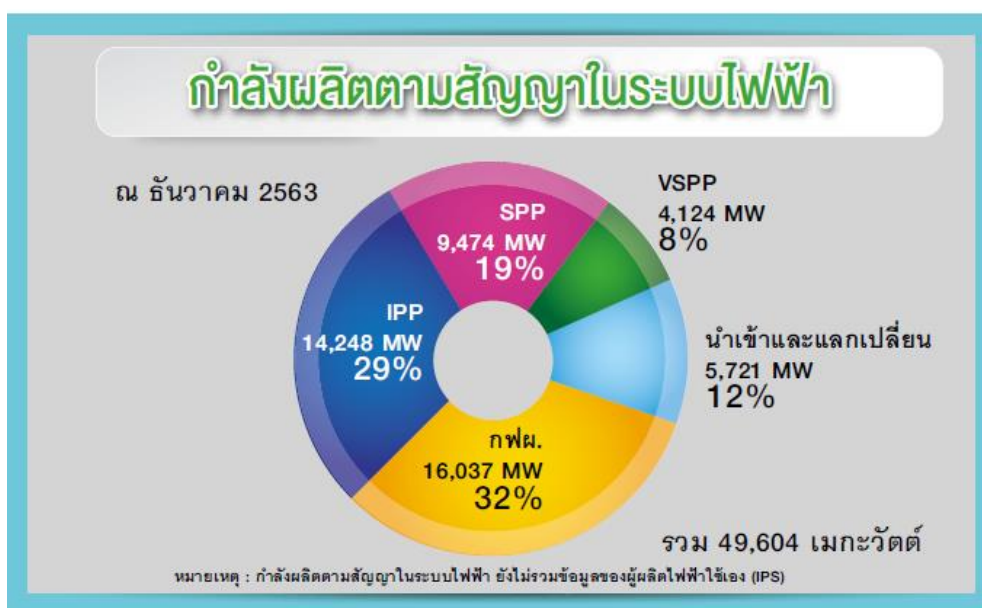
2. ข้อมูลเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน

ภาพรวมการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ในโลก พบว่าในช่วงระยะเวลา 5 ปี จากปี พ.ศ. 2558 ถึงปี พ.ศ. 2563 นั้นในโลกได้มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีเพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 1.09 เป็นร้อยละ 3.26 โดยหากพิจารณาร้อยละอัตราการเติบโตของการใช้พลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง 5 ปี จะพบว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในโลกมีอัตราการเติบโตสูงถึงร้อยละ 231.56 (เพิ่มขึ้นจาก 254.67 TWh เป็น 844.39 TWh) ซึ่งจะพบว่าการผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในทุกๆ ปี โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2563 กว่า 139.4 GW พบว่าประเทศจีนมีสัดส่วนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุด มีกำลังผลิตติดตั้งอยู่ที่ 48.2 GW รองลงมาเป็นประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปซึ่งมีกำลังผลิตติดตั้งอยู่ที่ 19.6 GW และอันดับถัดมาเป็นประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีกำลังผลิตติดตั้งอยู่ที่ 19.2 GW นอกจากนี้ในปี พ.ศ. 2563 จะมีประเทศอย่างน้อย 20 ประเทศที่ได้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อย่างน้อย 1 GW และ 14 ประเทศที่มีกำลังผลิตติดตั้งสูงกว่า 10 GW ปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะสูงมากขึ้นนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากต้นทุนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะลดลงในแต่ละปี โดยหากเปรียบเทียบต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2553 กับ ปี พ.ศ. 2561 จะพบว่าต้นทุนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีค่าลดลงกว่าร้อยละ 74 (ลดลงจากประมาณ 4,621 USD/kW เป็น 1,210 USD/kW) โดยในปี พ.ศ. 2573 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะมีราคาอยู่ในช่วง 340 ถึง 834 USD/kW และในปี พ.ศ. 2593 มีแนวโน้มที่จะมีราคาลดลงอยู่ในช่วง 165 ถึง 481 USD/kW ซึ่งจะพบว่าต้นทุนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะลดลงกว่าร้อยละ 90 หากเปรียบเทียบกับต้นทุนการติดตั้งในปี พ.ศ. 2553

ผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยก่อตั้งขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 กำลังการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากผู้ผลิตในไทยอยู่ที่ 300 เมกะวัตต์ อย่างไรก็ตาม ในปี ค.ศ. 2015 ผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากต่างประเทศได้ลงทุนในประเทศไทยเพื่อผลิตเพื่อส่งออกเป็นหลัก เป็นผลให้มีการเติบโตอย่างมีนัยสำคัญในการส่งออกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์รวม 3,850 เมกะวัตต์ ของกำลังการผลิตในปี ค.ศ. 2018 ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เทคโนโลยีซิลิคอนและซิลิคอนอสัณฐานของเทคโนโลยีฟิล์มบางเพื่อรองรับการใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ชนบท โดยเฉพาะโครงการบ้านพลังงานแสงอาทิตย์ และมีต้นทุนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศอยู่ที่ 14-20 บาทต่อวัตต์สูงสุด (THB/Wp) ปัจจุบันการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปได้เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอย่างมากทำให้มีแนวโน้มการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างบริษัทผู้ผลิต ผู้นำเข้า และผู้จำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยที่สำคัญ เช่น บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด, บริษัท เอกรัฐวิศวกรรม จำกัด, บริษัท โซล่าเพาเวอร์ เทคโนโลยี จำกัด, บริษัท เทคโนโลยี จำกัด, บริษัท เทคโนโลยี จำกัด, บริษัท เทคโนโลยี จำกัด เป็นต้น จากสัดส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยและตัวอย่างบริษัทผู้ผลิต นำเข้า และจำหน่ายใน

ประเทศไทย จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่เกือบจะทั้งหมดเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของโลกในปัจจุบันที่มีสัดส่วนการผลิตส่วนใหญ่เป็นการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอน

สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะมีการผลิตไฟฟ้าจากการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) รวมถึงการผลิตไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน ซึ่งสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนในประเทศไทยจะแบ่งประเภทได้ตามขนาดของกำลังผลิตไฟฟ้าได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ 1) ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (Independent power producer: IPP) 2) ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small power producer: SPP) และ 3) ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very small power producer: VSPP) นอกเหนือจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนทั้ง 3 ประเภทที่ได้มีการผลิตไฟฟ้าให้ขายให้แก่การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งแล้วยังมีผู้ใช้ไฟฟ้าเอกชนที่ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ไฟฟ้าและ/หรือขายตรงเป็นหลัก (Independent power supply: IPS) ซึ่งกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้าประเภทนี้อาจมีการระบุนขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าโดยรวมได้ยาก อย่างไรก็ตามในภาพรวม ณ ปลายปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีกำลังผลิตไฟฟ้าจาก IPP อยู่ที่ 14,248 MW SPP อยู่ที่ 9,474 MW และ VSPP อยู่ที่ 4,124 MW ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยหากพิจารณาผู้ผลิตไฟฟ้ารวมทุกสถานะจะพบว่าในภาคกลางจะมีปริมาณระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สูงที่สุด (คิดเป็นร้อยละ 61.79 ของกำลังผลิตติดตั้งทั้งหมด) และภาคใต้จะมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์รวมทุกสถานะต่ำที่สุด (คิดเป็นร้อยละ 0.46 ของกำลังผลิตติดตั้งทั้งหมด) และปริมาณกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ รวมทุกสถานะในแต่ละภาคนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 กำลังผลิตตามสัญญาในระบบไฟฟ้า ณ ธันวาคม พ.ศ. 2563

(ที่มา: รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2564, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2564)

ตารางที่ 2 ปริมาณกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ประเภทโรงไฟฟ้า	กำลังการผลิตติดตั้ง (MW)						รวม
	ภาคเหนือ	ภาคใต้	ภาคกลาง	ภาคตะวันตก	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	
IPP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SPP	128.40	0.00	5,585.85	1,598.34	95.00	0.00	7,407.58
VSPP	133.15	50.90	1,396.14	582.99	481.80	1,246.44	3,891.42
โรงไฟฟ้า พพ.	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
โรงไฟฟ้า PEA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมโรงไฟฟ้าทั้งหมด	261.55	51.90	6,981.99	2,181.33	576.80	1,246.44	11,300.00

หมายเหตุ: กฟผ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 15 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟผ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟน. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายว่าด้วยเรื่อง การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ชัดเจน ซึ่งตามพระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550 สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) เป็นผู้ออกใบอนุญาตประกอบกิจการพลังงาน สำหรับกิจการที่มีกำลังการผลิตมากกว่า 1 เมกะวัตต์ ทั้งนี้ผู้รับใบอนุญาตต้องปฏิบัติตามมาตรการป้องกัน แก๊ส และติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามประมวลหลักการปฏิบัติ (Code of practice; CoP) โดยเฉพาะหัวข้อด้านมาตรการ P1.4 ด้านการออกแบบติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน พ.ศ. 2556) และหัวข้อ P1.4.4 ยังระบุถึงการเสนอมาตรการในการกำจัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชำรุดหรือหมดสภาพการใช้งาน ทั้งระหว่างช่วงดำเนินการและช่วงรื้อถอน รวมไปถึงการส่งเสริมให้เลือกวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นลำดับแรกในการจัดการอีกด้วย ส่วนกรณีที่ผู้ประกอบการได้รับการยกเว้นการขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากกำลังการผลิตต่ำกว่า 1 เมกะวัตต์ ก็ยังจะต้องปฏิบัติตามประมวลหลักการปฏิบัติ (Code of practice; CoP) ในหัวข้อ P1 ที่ครอบคลุมถึง P1.4 ด้วยเช่นกัน ตัวอย่างโรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย เช่น บริษัท บีจีเอ็ม เมททริล สแควร์ จำกัด, บริษัท โลหะ สยาม จำกัด, บริษัท เอติสัน เอ็กซ์พอร์ตเทชั่น จำกัด, บริษัท 106 สิ่งแวดล้อม จำกัด เป็นต้น ซึ่งการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้น นิยมใช้วิธีการคัดแยกขยะแล้วนำไปย่อยสลายเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยก่อนเข้าตามกระบวนการและนำทิ้งในหลุมฝังกลบตามกฎหมาย ทำให้เทคโนโลยีในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยยังถือว่ามียุ่่น้อย เมื่อเทียบกับต่างประเทศ

3. กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์

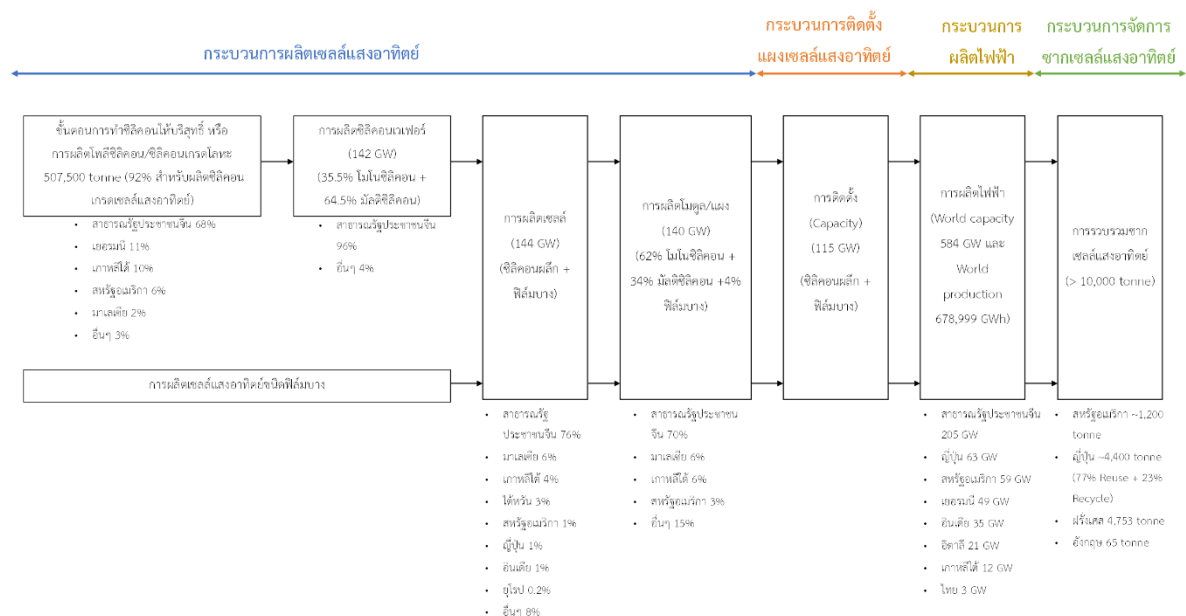
ผู้ประกอบการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มาตรฐาน มอก.1843 – 2553 ของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4321 (พ.ศ. 2554) ออกตามความในพระราชบัญญัติ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน และมาตรฐาน มอก. 2210-2555 ของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 4500 (พ.ศ. 2556) ออกตามความในพระราชบัญญัติ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง โดยกฎหมายที่ บังคับใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามกำลังการผลิต แสดงดังตารางที่ 3 สำหรับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ปัจจุบันในประเทศไทยยังคงเป็นการฝังกลบใน หลุมฝังกลบของเสียอันตรายหรือเผาทำลายด้วยเตาเผาเฉพาะของเสียอันตราย หรือจัดการด้วยวิธีการอื่น ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 โดยซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น “สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว” และ “ของเสียอันตราย” ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 โดยกำหนดไว้ว่า ห้ามนำของเสียอันตรายออกนอกบริเวณโรงงาน เว้นแต่จะได้รับอนุญาต และ การขนส่งต้องมีใบกำกับกับการขนส่ง ซึ่งนอกจากนี้การจัดการต้องกระทำโดยผู้บำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้ แล้วเท่านั้น โดย ณ ที่นี้หมายถึงโรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการคัดแยกหรือฝังกลบสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้แล้ว ตามประเภทหรือชนิดของโรงงานลำดับที่ 105 แต่ในมาตรการทางกฎหมายฉบับนี้ไม่มีการกำหนดโรงงาน ลำดับที่ 106 ซึ่งเป็นโรงงานที่ประกอบกิจการรีไซเคิลเอาไว้ด้วย กฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซาก เซลล์อาทิตย์ ประกอบด้วย พรบ.การสาธารณสุข พ.ศ. 2535, พรบ.รักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบ เรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ. 2535, ประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่อง กิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ. 2558, ร่าง พรบ.การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

ตารางที่ 3 กฎหมายที่บังคับใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามกำลังการผลิต [1]

ประเภท กฎหมาย	Solar Rooftop			Solar Farm		
	กำลังการ ผลิต 1,100 kW	กำลังการ ผลิต 900 kW	กำลังการ ผลิต 700 kW	กำลังการ ผลิต 1,100 kW	กำลังการ ผลิต 900 kW	กำลังการ ผลิต 700 kW
พระราชบัญญัติการ ประกอบกิจการ พลังงาน พ.ศ. 2550	✓	✓		✓	✓	
พระราชบัญญัติ โรงงาน พ.ศ. 2535	✓			✓	✓	✓
พระราชบัญญัติวัตถุ อันตราย พ.ศ. 2535	✓	✓	✓	✓	✓	✓

4. ข้อมูลฝั่งการผลิตของวัสดุ (Material flow analysis: MFA) ของเซลล์แสงอาทิตย์

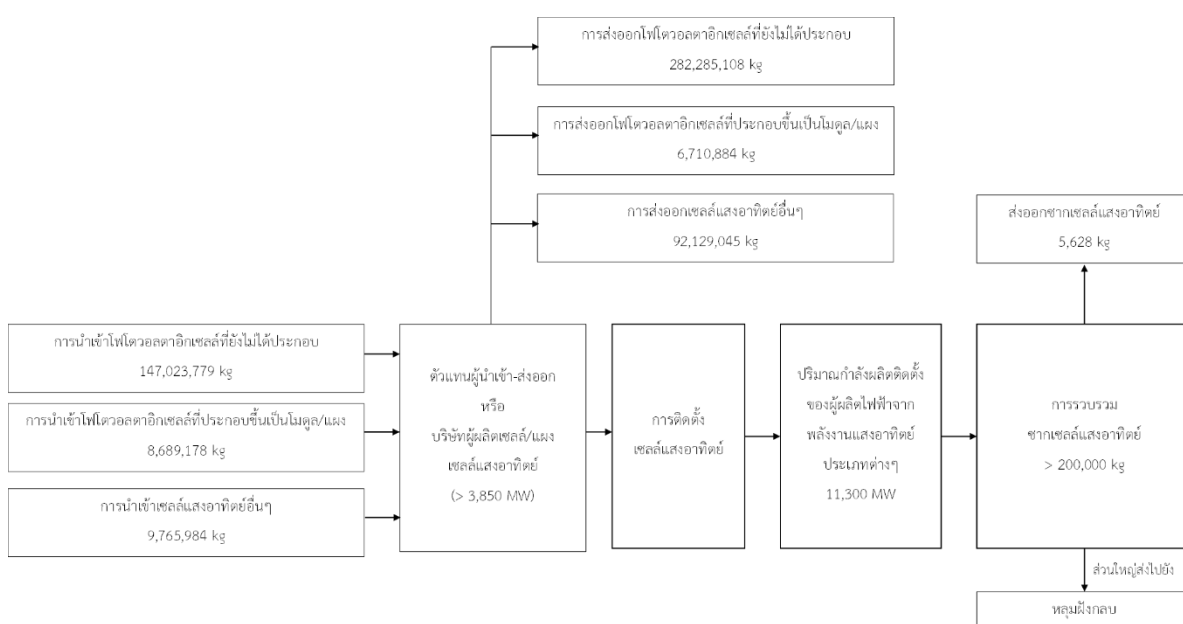
หากพิจารณาฝั่งการผลิตรวมกับปริมาณที่เกิดขึ้นจริงในห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก พบว่า ในปี ค.ศ. 2019 ทั่วโลกมีการผลิตโพลีซิลิคอน/ซิลิคอนเกรดโลหะ (Polysilicon production) 507,500 ตัน (tonne) โดยสัดส่วนการผลิตส่วนใหญ่อยู่ในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน (68%) ซึ่งประมาณ 469,000 tonne ใช้ในการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ และที่เหลือ 38,500 tonne ใช้ในการผลิตสารกึ่งตัวนำ/ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ดังนั้นกว่า 92.4% ของโพลีซิลิคอนที่ผลิตได้ทั่วโลกถูกผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำโพลีซิลิคอนผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ ซิลิคอนที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น โดยโมโนซิลิคอนต้องมีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.999999999% (Eleven nines pure) และมัลติซิลิคอนบริสุทธิ์ 99.99999999% (Nine nines pure) การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงข้อมูลจากสำนักงานพลังงานทดแทนระหว่างประเทศ (IRENA) พบว่าในปี ค.ศ. 2019 กำลังการผลิตไฟฟ้าทั่วโลก (Capacity) 584 GW โดยมีการผลิตจริง (Production) อยู่ที่ 678,999 กิกะวัตต์-ชั่วโมง (GWh) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน 35% สำหรับการรวบรวมซากเซลล์แสงอาทิตย์ องค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) ระบุว่าในภาพรวมมีการรวบรวมซากได้มากกว่า 10,000 tonne (ค.ศ. 2019) ซึ่งทั้งนี้เมื่อรวบรวมได้ ซากเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำไปปรับปรุงเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หรือนำไปผ่านกระบวนการรีไซเคิล ดังนั้นภาพรวมฝั่งการผลิตตามห่วงโซ่อุปทานของต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ในปี ค.ศ. 2019 สรุปได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพรวมฝั่งการผลิตตามห่วงโซ่อุปทานของต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ปี ค.ศ. 2019

ภาพรวมฝั่งการผลิตตามห่วงโซ่อุปทานในประเทศไทย ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลาย ประกอบด้วย การนำเข้า-ส่งออก กำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ และการรวบรวมซากเซลล์แสงอาทิตย์ ข้อมูลการนำเข้า-ส่งออกตามรายงานสถิติของกรมศุลกากรในปี พ.ศ. 2563 พบว่า โฟโต

วอลตาอิกเซลล์ที่ยังไม่ได้ประกอบมีปริมาณการนำเข้า 147,023,779 kg ซึ่งส่วนใหญ่นำเข้าจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน และเวียดนามเป็นหลัก แต่มีการส่งออกในปริมาณที่สูงกว่าการนำเข้าอยู่ที่ 282,285,108 kg โดยส่วนใหญ่ส่งไปยังประเทศเวียดนาม อินเดีย และสาธารณรัฐประชาชนจีน สำหรับโพโตวอลตาอิกเซลล์ที่ประกอบขึ้นเป็นโมดูล/แผงมีปริมาณนำเข้า 8,689,178 kg ปริมาณส่งออก 6,710,884 kg ซึ่งส่วนใหญ่นำเข้าจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน และส่งออกไปยังประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นหลัก ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์อื่นๆ มีการนำเข้า 9,765,984 kg จากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนเป็นส่วนใหญ่ และส่งออก 92,129,045 kg ไปยังประเทศเวียดนามและประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนเป็นหลัก สำหรับซากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการนำเข้ามาในประเทศ แต่มีการส่งออกไปยังประเทศอิหร่านจำนวน 5,628 kg ทั้งนี้ข้อมูลจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2558 พบว่ามีซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่โรงงานขออนุญาตส่งไปฝังกลบปริมาณ 246 tonne และซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขออนุญาตเก็บในโรงงานปริมาณ 0.25 tonne ดังนั้นจึงประมาณได้ว่า ซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2563 มีไม่น้อยกว่า 200 tonne จึงสรุปภาพรวมผังการไหลตามห่วงโซ่อุปทานในประเทศไทย ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลาย ปี พ.ศ. 2563 ดังรูปที่ 3

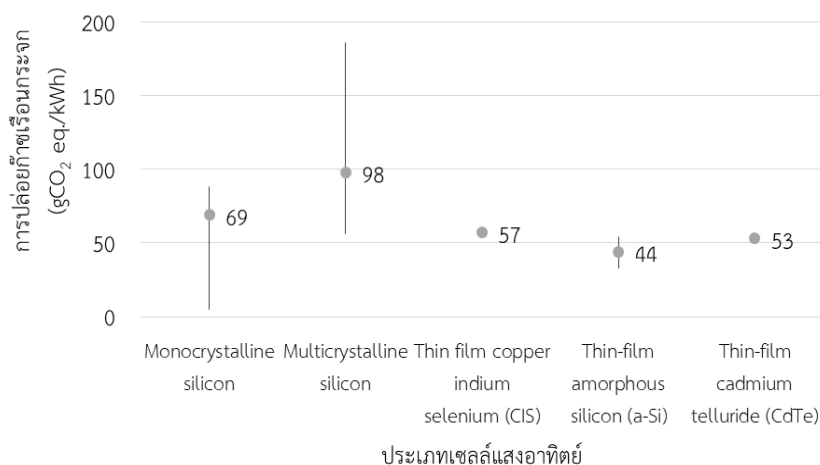


รูปที่ 3 ภาพรวมผังการไหลตามห่วงโซ่อุปทานของในประเทศไทย ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ปี พ.ศ. 2563

การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย อ้างอิงตามแบบจำลองการคาดการณ์ปริมาณซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของ IRENA (International Renewable Energy Agency) พบว่า ปริมาณซากมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2597 จะมีปริมาณซากที่เกิดขึ้นสูงถึง 30,360.85 ตัน และหากภายหลังปี พ.ศ. 2580 ไม่มีการติดตั้งเพิ่มเติมปริมาณซากที่เกิดขึ้นหลังปี พ.ศ. 2598 จะค่อยๆ ลดลง ในส่วนของปริมาณซากสะสม พ.ศ. 2600 ก็มีปริมาณสูงถึง 606,627.02 ตัน

5. การประเมินวัฏจักรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยของทั้งในและต่างประเทศ ส่วนใหญ่แสดงผลกระทบต่อหน่วยกำลังไฟที่ผลิตได้ตลอดอายุขัยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (กิโลวัตต์•ชั่วโมง, kWh) โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแต่ละชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณงานวิจัยที่มีเผยแพร่ยังไม่หลากหลายและมีการศึกษาน้อยกว่าของต่างประเทศ โดยส่วนใหญ่ศึกษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน เพราะมีการจำหน่ายและใช้ภายในประเทศ ขณะที่ชนิดฟิล์มบางมีการศึกษาวิจัยน้อยกว่า อย่างไรก็ตามชนิดฟิล์มบางก็มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าชนิดซิลิคอน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยต่างประเทศ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกมีลดีซิลิคอนเฉลี่ยอยู่ที่ 98 gCO₂ eq./kWh รองลงมาเป็นชนิดผลึกโมโนซิลิคอน 69 gCO₂ eq./kWh ฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-ซีเลเนียม 57 gCO₂ eq./kWh ฟิล์มบางแคดเมียม-เทลลูไรด์ 53 gCO₂ eq./kWh และฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน 44 gCO₂ eq./kWh ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับของต่างประเทศ อย่างไรก็ตามฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-ซีเลเนียมและฟิล์มบางแคดเมียม-เทลลูไรด์ รวบรวมมาจากผลงานวิจัย 1 แหล่งเท่านั้น



รูปที่ 4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดในประเทศไทย

(• คือ ค่าเฉลี่ย และ — คือ ช่วง)

เมื่อเปรียบเทียบผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแหล่งพลังงานต่างๆ ในประเทศ จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทน พบว่าพลังงานแสงอาทิตย์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.05 kgCO₂ eq./kWh ขณะที่พลังงานฟอสซิลมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็น 0.64-1.23 kgCO₂ eq./kWh ซึ่งหากเทียบระหว่าง 2 กลุ่มนี้ จะเห็นได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้กว่า 92-96% เทียบกับพลังงานฟอสซิล

6. การวิเคราะห์ช่องว่าง (Gap Analysis)

การวิเคราะห์ช่องว่างที่เกิดขึ้นดำเนินวิเคราะห์ครอบคลุมประเด็นต่างๆ ทั้งหมด 4 หมวด ได้แก่ หมวดการจัดการข้อมูล หมวดเทคโนโลยี หมวดเศรษฐศาสตร์ และหมวดกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย เมื่อเปรียบเทียบกับเป้าหมาย จึงสรุปช่องว่างที่พบ และข้อเสนอแนะ ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปช่องว่างที่พบ และข้อเสนอแนะ

หมวด	ประเด็น	ช่องว่างที่พบ	ข้อเสนอแนะ
การจัดการข้อมูล	เทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	- ขาดฐานข้อมูลที่รวบรวมข้อมูลด้านเซลล์แสงอาทิตย์ในไทย	- ควรมีหน่วยงานหลักในการรับผิดชอบ โดยการสร้างแพลตฟอร์มที่รวบรวมข้อมูลทั้งหมดไว้
	การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	- ข้อมูลการติดตั้ง ยังเก็บรวบรวมข้อมูลได้ไม่ครบถ้วน - ยังไม่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง - ไม่มีฐานข้อมูลหรือมาตรการติดตามอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานเพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าถึงได้	- จัดทำฐานข้อมูลของกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้ครอบคลุมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบ - จัดทำฐานข้อมูลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อถือได้
	การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์	- ขาดระบบเข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ครบวงจร - ขาดการนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับซากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์ได้ทุกฝ่าย - ขาดการเก็บรวบรวมข้อมูล - ขาดวิธีการจัดการและควบคุมปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ในภาคประชาชนและอื่นๆ	- วางระบบในการติดตามและตรวจสอบข้อมูลของซากเซลล์แสงอาทิตย์ - จัดการอบรมเผยแพร่หรือจัดทำคู่มือข้อมูลเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ - ดำเนินการจัดประชุมหารือ เพื่อระบุประเภท การจัดการ และรหัสกากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมแก่ซากเซลล์แสงอาทิตย์
	ผังการไหล	- ไม่มีการรวบรวมข้อมูลภายในประเทศอย่างละเอียด - ไม่มีข้อมูลปริมาณซากเผยแพร่สาธารณะ - ไม่มีหน่วยงานใดมีหน้าที่ชัดเจนในการจัดทำ	- ควรส่งเสริม พัฒนา งานวิจัย - ควรมีการเผยแพร่ข้อมูลปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ และอัพเดทอย่างต่อเนื่อง - ควรต้องมีหน่วยงานหลักที่ทำหน้าที่รับผิดชอบ
	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	- มีงานวิจัยค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับงานวิจัยต่างประเทศ - ไม่มีการรวบรวมข้อมูลภายในประเทศอย่างละเอียด - ไม่มีหน่วยงานใดมีหน้าที่ชัดเจนในการจัดทำ	- ส่งเสริมการผลิตงานวิจัย - ควรมีการสรุปผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้งประเทศอย่างเป็นทางการ - ควรต้องมีหน่วยงานหลักที่ทำหน้าที่รับผิดชอบ

ตารางที่ 4 สรุปช่องว่างที่พบ และข้อเสนอแนะ (ต่อ)

หมวด	ประเด็น	ช่องว่างที่พบ	ข้อเสนอแนะ
เทคโนโลยี	เทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	- ขาดผลงานวิจัยและผู้วิจัย - ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในงานวิจัยของประเทศยังต่ำกว่าของต่างประเทศ - ปริมาณการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในประเทศยังน้อยอยู่	- ควรมีการสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย - ควรมีการส่งเสริมการผลิตเพื่อใช้ในประเทศ มีแผนพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในประเทศไทย ที่สอดคล้องกับแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (PDP)
	การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	- ผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้ามีการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ ในปริมาณน้อย - ขาดการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	- เผยแพร่ จัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ และ/หรือ แพลตฟอร์มที่รวบรวมความรู้ความเข้าใจที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ
	การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์	- ขาดการสนับสนุนงานวิจัย - ขาดการขยายผลจากระดับห้องปฏิบัติการ สู่ระดับนาร่อง - ขาดการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุที่ได้จากการรีไซเคิล - ขาดมาตรฐานที่รับรองประสิทธิภาพและคุณสมบัติของวัสดุมีค่าที่นำกลับจากชิ้นส่วนซากเซลล์แสงอาทิตย์	- หน่วยงานภาครัฐหรือหน่วยงานวิจัย ให้งบประมาณสนับสนุน - จัดอบรมเผยแพร่ข้อมูลเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้น - จัดโครงการโรงงานนาร่อง โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อต่อยอดด้านการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์จากระดับห้องปฏิบัติการ สู่ระดับนาร่อง
เศรษฐศาสตร์	เทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	- ไม่สามารถแข่งขันทางด้านต้นทุนการผลิตกับต่างประเทศได้ ซึ่งเกิดจากวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตมีต้นทุนสูงจากการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศ	- ควรมีมาตรการส่งเสริมการลงทุนโดยการยกเว้นภาษีนำเข้าสำหรับวัตถุดิบที่จำเป็นในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่สามารถผลิตขึ้นใช้เองในประเทศได้
	การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	- มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากระบบแสงอาทิตย์มีค่อนข้างต่ำ	- จัดทำมาตรการสนับสนุนสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
	การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์	- ขาดการส่งเสริมธุรกิจการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจร - ขาดตลาดสำหรับรองรับวัสดุที่ได้หลังจากผ่านการรีไซเคิล - ขาดซากเซลล์แสงอาทิตย์ในดำเนินการโรงงานนาร่องได้	- ศึกษากระบวนการก่อตั้งโรงงานจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจร - หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน ให้งบประมาณสนับสนุนในด้านการลงทุน - จัดอบรมเผยแพร่ - หน่วยงานที่เกี่ยวข้องดำเนินการจัดหาซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน เพื่อให้สามารถดำเนินการโรงงานนาร่องได้

ตารางที่ 4 สรุปช่องว่างที่พบ และข้อเสนอแนะ (ต่อ)

หมวด	ประเด็น	ช่องว่างที่พบ	ข้อเสนอแนะ
กฎหมาย ข้อบังคับและ นโยบาย	เทคโนโลยีการผลิต เซลล์แสงอาทิตย์	- ขาดมาตรการทางภาษีที่ส่งเสริมการลงทุน - ขาดมาตรการสนับสนุนการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศ	- ควรมีมาตรการส่งเสริมการลงทุน - ควรมีมาตรการส่งเสริมการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตใน
	การใช้งาน เซลล์แสงอาทิตย์	- กฎหมายด้านการติดตั้งใช้งานยังไม่ครอบคลุมสำหรับผู้ติดตั้งใช้งานในกลุ่ม Off-grid หรือ Standalone	- ควรมีการผลักดันและให้ความรู้แก่ภาคประชาชน - ผลักดันและศึกษาทางด้านข้อกำหนดและกฎหมายที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีและธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ - ผลักดันให้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เข้าถึงในพื้นที่ชนบท
	การบริหารจัดการ ซาก เซลล์แสงอาทิตย์	- ขาดกฎหมายความรับผิดชอบของผู้ผลิต - ขาดกฎหมายที่ระบุและบรรจุแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าไปในกลุ่มขยะในความรับผิดชอบของผู้ผลิต - ขาดหลักการผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย (Polluter pay principle; PPP) - ขาดความชัดเจนในการตั้งหลักเกณฑ์สำหรับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจร - ขาดหลักเกณฑ์และมาตรฐานสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง	- ศึกษาการใช้กฎหมายความรับผิดชอบของผู้ผลิตจากต่างประเทศ เพื่อนำมาปรับใช้ให้สอดคล้องกับกฎหมายภายในประเทศ - จัดประชุมและหารือ เพื่อหาแนวทางในการนำกฎหมายความรับผิดชอบของผู้ผลิตมาใช้ - จัดประชุมและหารือ เพื่อหาแนวทางในการตั้งหลักเกณฑ์สำหรับการนำซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นเข้าสู่กระบวนการจัดการอย่างเหมาะสมและปลอดภัย - ศึกษาหลักเกณฑ์และมาตรฐานสำหรับการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองจากต่างประเทศ
	ผังการไหลและ ผลกระทบ สิ่งแวดล้อม	- จากการวิเคราะห์ของ CAT ประเทศไทย ถูกประเมินว่า "ไม่มีแนวทางและเป้าหมายเพียงพอขั้นวิกฤต" - จากการวิเคราะห์ของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (ทีดีอาร์ไอ) ประเมินว่า ไม่มีนโยบายการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิให้เป็นศูนย์ครอบคลุมทุกภาคส่วน	- ควรมีการจัดทำเป้าหมายย่อย และแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจน - ควรมีการจัดทำนโยบายลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ในทุกภาคส่วน

จากช่องว่างที่พบ และข้อเสนอแนะดังกล่าว นำไปสู่การจัดทำกิจกรรมต่างๆ เพื่อลดช่องว่างเหล่านั้น โดยสรุปกิจกรรมที่ใช้ในการขับเคลื่อนช่องว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมดภายใต้การพิจารณาวิเคราะห์ทั้ง 4 หมวด คือ หมวดการจัดการข้อมูล หมวดเทคโนโลยี หมวดเศรษฐศาสตร์ และหมวดกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย ได้ ดังตารางที่ 5 และสามารถดูความสอดคล้องของกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยกับช่องว่างในแต่ละหมวด แสดงดังตารางที่ 6 ซึ่งแต่ละกิจกรรมมีความสอดคล้องกับหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน เช่น กิจกรรมหลักด้านการสนับสนุนการดำเนินงาน กิจกรรม A1 การจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการติดตามการไหลของข้อมูลตั้งแต่การนำเข้า การผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการสร้างระบบรวบรวมและบริหารจัดการข้อมูลเพื่อใช้สนับสนุนการขับเคลื่อนกิจกรรมต่างๆ ตามเศรษฐกิจหมุนเวียนในแต่ละห่วงโซ่อุปทาน โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้มากำหนดนโยบาย ตลอดจนแนวทางปฏิบัติในการจัดการทรัพยากร และซากเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการนำมาใช้ซ้ำ (Reuse) การแปรรูปเพื่อนำไปใช้ต่อ (Recycle) หรือการแปรรูปให้มีคุณค่ามากขึ้น (Upcycle) เป็นต้น

ตารางที่ 5 สรุปกิจกรรมที่ใช้ในการขับเคลื่อนช่องว่างที่เกิดขึ้น

กิจกรรมหลัก	กิจกรรมย่อย	
สนับสนุนการดำเนินงาน	กิจกรรม A1	การจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการติดตามการไหลของข้อมูลตั้งแต่การนำเข้า การผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
	กิจกรรม A2	การขึ้นทะเบียนข้อมูลผู้จำหน่าย ผู้ติดตั้ง-รีไซเคิล และจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการรวบรวมผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องตั้งแต่ต้นน้ำ-ปลายน้ำ
	กิจกรรม A3	การจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการรวบรวม ติดตามข้อมูลผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
	กิจกรรม A4	การทดสอบและกำหนดค่ามาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง
	กิจกรรม A5	การจัดทำระบบการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์โดยกำหนดพื้นที่การจัดส่งและการจัดการซาก
	กิจกรรม A6	การจัดทำประมวลหลักปฏิบัติ (Code of Practice : COP) สำหรับโรงงานจัดการซากฯ
การผลิต	กิจกรรม B1	สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้กลไกทางด้านภาษีนำเข้า/ภาษีสรรพสามิต/ภาษีเงินได้นิติบุคคล
	กิจกรรม B2	สนับสนุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยใช้กลไกทางด้านภาษีนำเข้า/ภาษีสรรพสามิต/ภาษีเงินได้นิติบุคคล
การใช้งาน	กิจกรรม C1	สนับสนุนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยใช้เงินอุดหนุนเบี้ยต่ำ
	กิจกรรม C2	สนับสนุนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยการลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีเงินได้นิติบุคคล
	กิจกรรม C3	ส่งเสริมการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มือสองในภาคการเกษตรและวิสาหกิจชุมชน
การจัดการซาก	กิจกรรม D1	สนับสนุนการจัดตั้งโรงงานต้นแบบการจัดการซากแบบครบวงจร

ตารางที่ 6 ความสอดคล้องของกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยกับช่องว่างในแต่ละหมวด

กิจกรรมหลัก	กิจกรรมย่อย	หมวดที่นำมาพิจารณา			
		หมวดการจัดการข้อมูล	หมวดเทคโนโลยี	หมวดเศรษฐศาสตร์	หมวดกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย
สนับสนุนการดำเนินงาน	A1				
	A2				
	A3				
	A4				
	A5				
	A6				
การผลิต	B1				
	B2				
การใช้งาน	C1				
	C2				
	C3				
การจัดการซาก	D1				

บทคัดย่อ และคำสำคัญ

โครงการการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาช่องว่างของภาพรวมวัฏจักรชีวิตการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ และจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายเพื่อการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการบริหารจัดการจากการใช้พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) โดยทำการศึกษาตั้งแต่เทคโนโลยีการผลิต การใช้งานและการบริหารจัดการเมื่อกลายเป็นซาก จัดทำข้อมูลผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ พร้อมทั้งศึกษาการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในด้านของภาวะโลกร้อน (Global warming) ทั้งจากข้อมูลภายในประเทศและต่างประเทศเพื่อศึกษาสถานการณ์ปัจจุบัน การวางเป้าหมายในอนาคต และการศึกษาช่องว่างที่เกิดขึ้น โดยผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดในโครงการนี้ ทำให้สามารถสรุปประเด็นข้อเสนอเชิงนโยบายได้ว่า 1. ควรมีการจัดทำแพลตฟอร์มการติดตามเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่การใช้งานจนถึงการบริหารจัดการซากโดยครอบคลุมทุกภาคส่วนที่มีการใช้งาน 2. ควรมีฐานข้อมูลของผู้ให้บริการที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อถือได้ 3. ควรมีการส่งเสริมให้เกิดการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ให้เกิดประโยชน์หลากหลายรูปแบบนอกจากการติดตั้งเพื่อขายไฟฟ้า 4. ควรมีหลักเกณฑ์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์มือสองที่ถูกนำไปใช้ต่อเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน และ 5. ควรมีการส่งเสริมให้เกิดการรวบรวมซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นและนำกลับมาเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลอย่างถูกต้องและเหมาะสม

คำสำคัญ เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์, การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์, การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์, การวิเคราะห์ช่องว่างการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

Abstract and keywords

Life cycle analysis of solar energy systems: a review and suggestion for research and development based on circular economy is a project to investigate the gap of solar energy systems throughout the life cycle, and to recommend the policy context for research, technology development, and management by the circular economy concept. This project studied the cradle-to-grave cycle of solar panels, i.e., production, use, and waste disposal. This work utilized the material balance and environmental impact assessment, especially the global warming impact as analysis tools. The secondary data were collected from Thailand and foreign countries to determine the current situation, future trend, goal, and gap. According to the reviews and analyzed data, the policy recommendation could be proposed that 1. Developing a monitoring platform of solar cells in parts of use and waste management phases, 2. Setting database for facilitators who involve in the solar cell installation phase, 3. Supporting the solar cell for various utilizations aside from electrical production, 4. Setting the guidelines of second-hand solar cells for occupational safety and health, and 5. Promoting a good collection and recycling process for solar cell waste.

Keywords Solar cell technology, Use of solar cells, Solar cell waste management, Gap analysis of solar energy

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	1
บทคัดย่อ และคำสำคัญ	16
Abstract and keywords	17
บทที่ 1 บทนำและขอบเขตการดำเนินงาน	
1.1 หลักการและเหตุผล	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-3
1.3 ขอบเขตดำเนินงาน	1-4
1.4 ระยะเวลาดำเนินงาน	1-4
1.5 กลุ่มเป้าหมาย	1-4
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1-4
บทที่ 2 เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์	
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์	2-1
2.2 เทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	2-4
2.3 แนวโน้มการผลิตและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	2-25
2.4 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากองค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์	2-32
บทที่ 3 ข้อมูลเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน	
3.1 สถานการณ์การผลิตและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	3-1
3.2 สถานการณ์การผลิตและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ	3-23
3.3 หน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งาน และการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์	3-48
3.4 การบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของประเทศไทย	3-57
3.5 การบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของต่างประเทศ	3-85
3.6 เทคโนโลยีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน	3-92
บทที่ 4 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์	
4.1 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับผู้ประกอบกิจการนำเข้าหรือผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	4-1
4.2 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และภาคประชาชน	4-11
4.3 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และภาคประชาชน	4-15
4.4 เกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้ซ้ำ	4-28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ข้อมูลผังการไหลของวัสดุ (Material flow analysis: MFA) ของเซลล์แสงอาทิตย์	
5.1 ข้อมูลผังการไหลของวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ	5-1
5.2 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์	5-57
บทที่ 6 การประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (Life Cycle Assessment) และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับเซลล์แสงอาทิตย์	
6.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	6-1
6.2 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน (Energy payback time: EPBT)	6-24
6.3 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับเซลล์แสงอาทิตย์	6-32
บทที่ 7 การวิเคราะห์ช่องว่าง (Gap Analysis)	
7.1 การวิเคราะห์ช่องว่างด้านเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	7-1
7.2 การวิเคราะห์ช่องว่างด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	7-10
7.3 การวิเคราะห์ช่องว่างด้านการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์	7-18
7.4 การวิเคราะห์ช่องว่างด้านผังการไหลและผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์	7-24
7.5 สรุปการวิเคราะห์ช่องว่าง	7-29
บทที่ 8 ข้อเสนอแนะแนวทางการศึกษา วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการบริหารจัดการจากการใช้พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	
8.1 หมวดการจัดการข้อมูล	8-3
8.2 หมวดเทคโนโลยี	8-12
8.3 หมวดเศรษฐศาสตร์	8-18
8.4 หมวดกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย	8-22
8.5 สรุปกิจกรรมที่ใช้ในการขับเคลื่อนช่องว่างที่เกิดขึ้น	8-32
ภาคผนวก ก แผนการดำเนินงาน	ก-1
ภาคผนวก ข ตารางเปรียบเทียบผลการดำเนินงาน	ข-1

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์	2-1
รูปที่ 2-2 เซลล์แสงอาทิตย์ก่อนได้รับแสง	2-2
รูปที่ 2-3 เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเริ่มได้รับแสง	2-2
รูปที่ 2-4 เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสงและเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า	2-3
รูปที่ 2-5 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์	2-3
รูปที่ 2-6 Crystalline silicon	2-4
รูปที่ 2-7 ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนผลึกแบบเวเฟอร์	2-6
รูปที่ 2-8 โครงสร้างเซลล์แบบ Aluminium diffused back surface field cell (AL-BSF)	2-7
รูปที่ 2-9 โครงสร้างเซลล์แบบ Passivated emitter rear contact cell (PERC)	2-7
รูปที่ 2-10 โครงสร้างเซลล์แบบ Bifacial cell design	2-8
รูปที่ 2-11 โครงสร้างเซลล์แบบ Metal wrap through (MWT)	2-8
รูปที่ 2-12 โครงสร้างเซลล์แบบ Interdigitated back contact (IBC)	2-9
รูปที่ 2-13 โครงสร้างเซลล์แบบ Full area passivated cell	2-10
รูปที่ 2-14 โครงสร้างเซลล์แบบ Heterojunction (HJT) cells	2-10
รูปที่ 2-15 โครงสร้างเซลล์แบบ Cadmium telluride (CdTe) cells	2-11
รูปที่ 2-16 โครงสร้างเซลล์แบบ Copper indium gallium diselenide (CIGS) cells	2-12
รูปที่ 2-17 โครงสร้างเซลล์แบบ Perovskite cells	2-13
รูปที่ 2-18 โครงสร้างเซลล์แบบ Amorphous silicon cell	2-13
รูปที่ 2-19 โครงสร้างเซลล์แบบ Organic thin film devices (OPV) cells	2-14
รูปที่ 2-20 โครงสร้างเซลล์แบบ Dye sensitised solar cells (DSSCs) cells	2-15
รูปที่ 2-21 โครงสร้างเซลล์แบบ Kesterites CZTS cells	2-16
รูปที่ 2-22 ตัวอย่างการซ้อนทับกันของฟิล์มบางและซิลิคอน	2-16
รูปที่ 2-23 โครงสร้างเซลล์แบบ III-V on silicon cells	2-17
รูปที่ 2-24 โครงสร้างเซลล์แบบ Perovskite on silicon cells	2-18
รูปที่ 2-25 โครงสร้างเซลล์แบบ Perovskite on CIGS cells	2-18
รูปที่ 2-26 เซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้อุปกรณ์ออปติคัล	2-19
รูปที่ 2-27 หลักการทำงานของ Fresnel lens	2-20
รูปที่ 2-28 หลักการทำงานของ Parabolic mirrors	2-20
รูปที่ 2-29 หลักการทำงานของ Reflectors	2-21

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2-30	โครงร่างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสามทางแยกทั่วไป
รูปที่ 2-31	ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จากอดีตจนถึงปัจจุบัน
รูปที่ 2-32	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดกับปีที่ผลิต
รูปที่ 2-33	สถานะและโอกาสของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์
รูปที่ 2-34	เปอร์เซ็นต์ของการผลิตประจำปีทั่วโลก
รูปที่ 2-35	แนวโน้มต้นทุนการผลิต
รูปที่ 2-36	แนวโน้มการใช้ซิลิคอนต่อวัตต์ในแต่ละปี
รูปที่ 2-37	เปอร์เซ็นต์ของการผลิต Thin film ประจำปีทั่วโลก
รูปที่ 2-38	โอกาสขยายตลาดเมื่อลดต้นทุนเซลล์แสงอาทิตย์
รูปที่ 2-39	การเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ กิโวลต์-ชั่วโมงของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภท (พ.ศ. 2551)
รูปที่ 3-1	สัดส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดในประเทศไทย
รูปที่ 3-2	เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตโดยบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด
รูปที่ 3-3	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตโดยบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด
รูปที่ 3-4	แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ซิลิคอนที่ผลิตโดยบริษัท เอกรัฐวิศวกรรม จำกัด
รูปที่ 3-5	แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ซิลิคอนที่ผลิตโดยบริษัท เอกรัฐวิศวกรรม จำกัด
รูปที่ 3-6	แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ยี่ห้อ SPOT ที่ผลิตโดยบริษัท โซล่าเพาเวอร์เทคโนโลยีจำกัด
รูปที่ 3-7	แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ยี่ห้อ Canadiansolar และSeraphim
รูปที่ 3-8	แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ยี่ห้อ Longi
รูปที่ 3-9	แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ที่ผลิตโดย บริษัท เฮอร์เทจอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
รูปที่ 3-10	แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ที่ผลิตโดย บริษัท เฮอร์เทจอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
รูปที่ 3-11	แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ที่ผลิตโดย บริษัท โซลาร์ พีพีเอ็ม จำกัด
รูปที่ 3-12	เซลล์แสงอาทิตย์ฟิล์มบางชนิด CIGS แบบประยุกต์เป็นหลังคาโซลาร์กับผนังโซลาร์
รูปที่ 3-13	เซลล์แสงอาทิตย์ฟิล์มบางชนิด CIGS แบบประยุกต์เป็นกระจกใสกับทางเดินโซลาร์
รูปที่ 3-14	ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั่วประเทศในแต่ละเดือน
รูปที่ 3-15	ประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-16 กำลังผลิตตามสัญญาในระบบไฟฟ้า ณ ธันวาคม พ.ศ. 2563	3-14
รูปที่ 3-17 กำลังผลิตตามสัญญาในระบบไฟฟ้ารายภูมิภาค ณ ธันวาคม พ.ศ. 2563	3-14
รูปที่ 3-18 กำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ	3-15
รูปที่ 3-19 กำลังผลิตตามสัญญาของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ COD แล้ว ในระบบไฟฟ้า	3-17
รูปที่ 3-20 กำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ ที่ COD แล้ว	3-17
รูปที่ 3-21 ตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า	3-20
รูปที่ 3-22 ตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	3-21
รูปที่ 3-23 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผสมผสาน	3-21
รูปที่ 3-24 ส่วนแบ่งการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของโลก	3-24
รูปที่ 3-25 ส่วนแบ่งการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของโลก	3-24
รูปที่ 3-26 เซลล์แสงอาทิตย์ SunPower Maxeon Cells	3-25
รูปที่ 3-27 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Neon R	3-26
รูปที่ 3-28 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Alpha Series	3-27
รูปที่ 3-29 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น EverVolt™ Series	3-28
รูปที่ 3-30 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น SILFAB ELITE	3-29
รูปที่ 3-31 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Tiger series	3-30
รูปที่ 3-32 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Zebra	3-31
รูปที่ 3-33 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น UF SERIES	3-32
รูปที่ 3-34 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Vertex	3-33
รูปที่ 3-35 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น ANDROMEDA	3-34
รูปที่ 3-36 สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ในโลก	3-35
รูปที่ 3-37 สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ในโลก ในปีค.ศ. 2015	3-36
รูปที่ 3-38 สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ในโลก ในปีค.ศ. 2020	3-37
รูปที่ 3-39 กำลังผลิตติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าในแต่ละปี	3-38
รูปที่ 3-40 ภาพรวมการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในโลก	3-39
รูปที่ 3-41 กลุ่มประเทศที่มีการติดตั้ง และมีกำลังผลิตติดตั้งสะสม ของระบบผลิตไฟฟ้า	3-40
รูปที่ 3-42 ประมาณการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในโลก	3-41
รูปที่ 3-43 ต้นทุนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	3-42

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-44	โครงสร้าง Virtual power plant (VPP)
รูปที่ 3-45	โครงสร้างการซื้อขายไฟฟ้าแบบ P2P
รูปที่ 3-46	พื้นที่การรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ FIT ในประเทศจีน
รูปที่ 3-47	ขั้นตอนกระบวนการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน
รูปที่ 3-48	เทคโนโลยีรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน
รูปที่ 3-49	การจำแนกประเภทซากเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
รูปที่ 4-1	ลำดับการทดสอบคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอน
รูปที่ 4-2	ลำดับการทดสอบคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง
รูปที่ 4-3	ผังการไหลของการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปีพ.ศ. 2561
รูปที่ 4-4	Material Flow ของประเทศญี่ปุ่น
รูปที่ 4-5	การทำ Material balance ของโรงงานลำดับที่ 88 และโรงงานอื่นที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
รูปที่ 4-6	สมมูลมวลของการถอดแยก และการทดลองนำกลับโลหะมีค่า
รูปที่ 4-7	ร่างกลไกการบริหารจัดการซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยองค์กรกลาง
รูปที่ 4-8	กรอบเวลาของ (ร่าง) แผนที่นำทางในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
รูปที่ 5-1	ภาพรวมผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน
รูปที่ 5-2	ภาพรวมผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา
รูปที่ 5-3	ขอบเขตตลอดวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์
รูปที่ 5-4	กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก (Crystalline-Si PV)
รูปที่ 5-5	ภาพรวมผังการไหลวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนซิลิคอน (Monocrystalline silicon) ของ ต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)
รูปที่ 5-6	ภาพรวมผังการไหลวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอน (Multicrystalline silicon) ของ ต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)
รูปที่ 5-7	ภาพรวมผังการไหลวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe thin film) ของต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5-8 ภาพรวมผังการไหลตามห่วงโซ่อุปทานของต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ปี ค.ศ. 2019	5-45
รูปที่ 5-9 ผังการไหลของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอนขนาด 1 m ² โดย Eskew และคณะ (ค.ศ. 2018)	5-50
รูปที่ 5-10 ผังการไหลการรีไซเคิลคัดแยก (Cut-off recycling) จากซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก	5-51
รูปที่ 5-11 ผังการไหลการรีไซเคิลเซลล์จากซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก	5-51
รูปที่ 5-12 บัญชีรายการเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอนแบบติดตั้งลอยน้ำ	5-52
รูปที่ 5-13 ภาพรวมผังการไหลวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของประเทศไทย ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ	5-53
รูปที่ 5-14 ภาพรวมผังการไหลตามห่วงโซ่อุปทานของในประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ปี พ.ศ. 2563	5-56
รูปที่ 5-15 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมของโลก	5-57
รูปที่ 5-16 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมสูงสุด 5 ประเทศแรก	5-59
รูปที่ 5-17 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์รายปีของประเทศญี่ปุ่น ในปี ค.ศ. 2020 – 2040	5-61
รูปที่ 5-18 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมของประเทศเกาหลีใต้ (tonne) ในปี ค.ศ. 1991 – 2080	5-61
รูปที่ 5-19 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมของประเทศออสเตรเลีย ในปี ค.ศ. 2017 – 2047	5-62
รูปที่ 5-20 อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	5-63
รูปที่ 6-1 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	6-1
รูปที่ 6-2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด ในต่างประเทศ	6-13
รูปที่ 6-3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด ในประเทศไทย	6-14
รูปที่ 6-4 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน (Energy payback time: EPBT) ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตามปี	6-30
รูปที่ 6-5 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ	6-31

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 6-6	ระยะเวลาคืนทุนของพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย
รูปที่ 6-7	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของแหล่งพลังงานต่างๆ ในการผลิตไฟฟ้าของต่างประเทศ
รูปที่ 6-8	ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของแหล่งพลังงานต่างๆ ในการผลิตไฟฟ้าของต่างประเทศ
รูปที่ 6-9	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของแหล่งพลังงานต่างๆ ในการผลิตไฟฟ้าของต่างประเทศ
รูปที่ 7-1	กราฟเปรียบเทียบจำนวนงานวิจัยระหว่างตัวอย่างต่างประเทศกับประเทศไทย
รูปที่ 7-2	กราฟเปรียบเทียบจำนวนนักวิจัยระหว่างนักวิจัยในประเทศกับนักวิจัย ด้านเซลล์แสงอาทิตย์
รูปที่ 7-3	ตัวอย่างฐานข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์แห่งชาติ ของประเทศสหรัฐอเมริกา
รูปที่ 7-4	การประเมินความเป็นไปได้ที่จะบรรลุเป้าหมายตามความตกลงปารีส (COP21) ของประเทศไทย
รูปที่ 8-1	แนวทางการทำเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)
รูปที่ 8-2	แนวทางตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนของเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ
รูปที่ 8-3	ความสอดคล้องและความสัมพันธ์กับแผนยุทธศาสตร์และหน่วยงานเกี่ยวข้องต่อกิจกรรม ที่ขับเคลื่อน

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1	แนวโน้มการใช้วัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง
2-29	
ตารางที่ 2-2	สรุปเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์
2-31	
ตารางที่ 2-3	สารเคมีและโลหะหนักสำคัญที่ใช้ในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ
2-33	
ตารางที่ 2-4	ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษอากาศของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ
2-38	
ตารางที่ 3-1	ต้นทุนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละปี
3-2	
ตารางที่ 3-2	ผลการดำเนินงานด้านพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ปี พ.ศ. 2559 – 2561
3-10	
ตารางที่ 3-3	เป้าหมายกำลังการผลิตไฟฟ้าของพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก
ตาม PDP 2018 ระหว่างปีพ.ศ. 2561 – 2580	3-11
ตารางที่ 3-4	ปริมาณกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
3-15	
ตารางที่ 3-5	จำนวนโครงการผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
3-16	
ตารางที่ 3-6	ปริมาณกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ COD แล้ว
3-18	
ตารางที่ 3-7	จำนวนโครงการผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ COD แล้ว
3-18	
ตารางที่ 3-8	กำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
ที่ลงทะเบียนยกเว้นขอใบอนุญาต ผลิตไฟฟ้า	3-19
ตารางที่ 3-9	อัตรารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาแบบ FiT
ตามมติ กพข. ปี พ.ศ. 2556	3-22
ตารางที่ 3-10	อัตรารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาแบบ FiT
ตามมติ กพข. ปี พ.ศ. 2557	3-23
ตารางที่ 3-11	อัตรารับซื้อพลังงานไฟฟ้าแบบ FiT
จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศจีน	3-46
ตารางที่ 3-12	อัตรารับซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบ FiT
ของประเทศญี่ปุ่น	3-46
ตารางที่ 3-13	ตัวอย่างมาตรการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
ในประเทศสหรัฐอเมริกา	3-47
ตารางที่ 3-14	อัตรารับซื้อไฟฟ้าแบบ FiT ของประเทศเยอรมันใน พ.ศ. 2560
3-48	
ตารางที่ 3-15	หน่วยงานหลักและหน่วยงานที่สนับสนุนที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการผลิต
การใช้งานและการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์	3-49
ตารางที่ 3-16	สรุปรายชื่อหน่วยงานที่ผู้ลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า
จากพลังงานแสงอาทิตย์ต้องยื่นขอ อนุญาต	3-54

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 3-17	หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
ตารางที่ 3-18	โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย
ตารางที่ 3-19	วิธีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบ
ตารางที่ 3-20	บริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศเยอรมนี
ตารางที่ 3-21	บริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ในสหรัฐอเมริกา
ตารางที่ 3-22	ตัวอย่างบริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศญี่ปุ่น
ตารางที่ 3-23	บริษัทบริหารจัดการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศญี่ปุ่นที่ระบุโดย Japan photovoltaic energy association (JPEA)
ตารางที่ 4-1	สรุปหัวข้อการทดสอบ
ตารางที่ 4-2	กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
ตารางที่ 4-3	กฎหมายที่บังคับใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กับประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามกำลังการผลิต
ตารางที่ 4-4	กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบสำหรับผู้ประกอบกิจการ/ผู้รับกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์
ตารางที่ 4-5	กฎหมายว่าด้วยการจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในต่างประเทศ
ตารางที่ 4-6	มาตรการในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
ตารางที่ 4-7	การจัดตั้งคณะทำงานร่วมเพื่อบูรณาการความร่วมมือ (Joint Task Force)
ตารางที่ 4-8	การจัดทำบัญชีวัสดุโดยนำข้อมูลของแต่ละหน่วยงานมาเชื่อมโยงกัน
ตารางที่ 4-9	การประเมินปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์จากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน
ตารางที่ 4-10	การจัดตั้งโรงงานนำร่องในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์
ตารางที่ 4-11	การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุรอบสองที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิล
ตารางที่ 4-12	การสร้างแพลตฟอร์มสนับสนุนกลไกการรองรับการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองและ ระบบ การติดตามเซลล์แสงอาทิตย์ภาคครัวเรือน (Solar Rooftop)
ตารางที่ 4-13	การส่งเสริมรูปแบบธุรกิจหมุนเวียนเพื่อรองรับการเปลี่ยนมือ
ตารางที่ 4-14	การพัฒนาฉลากประหยัดพลังงานและการจัดซื้อจัดจ้างสีเขียวของเซลล์แสงอาทิตย์

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4-15 การทดลองนำร่องจำลอง (Role Play) กระบวนการรวบรวม และรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์	4-53
ตารางที่ 5-1 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตซิลิคอนเกรดโลหะ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)	5-5
ตารางที่ 5-2 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)	5-6
ตารางที่ 5-3 บัญชีรายการขั้นตอนการขึ้นรูปผลึกโมโนซิลิคอน (Mono-Si ingot) โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)	5-8
ตารางที่ 5-4 บัญชีรายการขั้นตอนการขึ้นรูปผลึกมัลติซิลิคอน (Multi-Si ingot) โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)	5-10
ตารางที่ 5-5 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตโมโนซิลิคอนเวเฟอร์และมัลติซิลิคอนเวเฟอร์ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)	5-11
ตารางที่ 5-6 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์โมโนซิลิคอนและเซลล์มัลติซิลิคอน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)	5-14
ตารางที่ 5-7 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของภูมิภาคจีน โดยองค์การ พลังงานระหว่างประเทศ (IEA)	5-19
ตารางที่ 5-8 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก ของภูมิภาคอเมริกา โดย องค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)	5-22
ตารางที่ 5-9 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก ของภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)	5-24
ตารางที่ 5-10 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของภูมิภาคยุโรป โดย องค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)	5-26
ตารางที่ 5-11 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe thin film) ของภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก และอเมริกา โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)	5-28
ตารางที่ 5-12 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง ทองแดง-อินเดียม-แกลเลียม-ไดเซเลไนด์ (CIGS thin film) ของประเทศเยอรมนี โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)	5-30

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 5-13	บัญชีรายการกระบวนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน โดยองค์การพลังงานระหว่าง ประเทศ (IEA)
	5-33
ตารางที่ 5-14	บัญชีรายการกระบวนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา โดยองค์การพลังงานระหว่าง ประเทศ (IEA)
	5-34
ตารางที่ 5-15	บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบบติดตั้งบนหลังคา โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)
	5-35
ตารางที่ 5-16	บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1 MW สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)
	5-37
ตารางที่ 5-17	บัญชีรายการขั้นตอนรีไซเคิลคัดแยกชิ้นส่วนซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)
	5-38
ตารางที่ 5-18	บัญชีรายการขั้นตอนรีไซเคิลคัดแยกชิ้นส่วนซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง แคดเมียมเทลลูไรด์โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA)
	5-39
ตารางที่ 5-19	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง (Module) ณ มหาวิทยาลัย นเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
	5-46
ตารางที่ 5-20	บัญชีรายการของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
	5-47
ตารางที่ 5-21	บัญชีรายการการผลิตไฟแบบผสม ณ เกาะจิก จังหวัดชลบุรี
	5-48
ตารางที่ 5-22	บัญชีรายการของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอนแบบติดตั้งบนพื้นดินของภาคเหนือ
	5-49
ตารางที่ 5-23	บัญชีรายการของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนแบบติดตั้ง บนพื้นดินของ ภาคกลาง
	5-49
ตารางที่ 5-24	ข้อมูลนำเข้า-ขาออกของการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอน
	5-50
ตารางที่ 5-25	พิกัดศุลกากร (HS code) ที่เกี่ยวข้องกับการนำเข้า-ส่งออก ชิ้นส่วน/แผงเซลล์แสงอาทิตย์
	5-54
ตารางที่ 5-26	ปริมาณการนำเข้า-ส่งออก ปี พ.ศ. 2563
	5-55
ตารางที่ 5-27	การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมของประเทศต่างๆ (tonne)
	5-58
ตารางที่ 5-28	การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์รายปีของประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ในปี ค.ศ. 2020 – 2034
	5-60
ตารางที่ 5-29	ค่าพารามิเตอร์การเสียหายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการใช้งาน
	5-64
ตารางที่ 5-30	การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะเกิดขึ้นปี พ.ศ. 2545-2600
	5-65

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 6-1 การประเมินผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน/การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต	6-3
ตารางที่ 6-2 การประเมินผลกระทบต่ออากาศเกิดฝุ่นขนาดเล็ก (PM2.5) ตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	6-16
ตารางที่ 6-3 การประเมินผลกระทบต่อการทำลายชั้นโอโซน (Ozone layer depletion) ตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	6-18
ตารางที่ 6-4 การประเมินผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity) ตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	6-21
ตารางที่ 6-5 การประเมินผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำจืด (Fresh water aquatic ecotoxicity) ตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	6-23
ตารางที่ 6-6 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน (Energy payback time: EPBT) ของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์	6-25
ตารางที่ 7-1 ราคาขายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัทที่ผลิตในประเทศไทยและต่างประเทศ	7-8
ตารางที่ 7-2 สรุปรวมปริมาณกำลังไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	7-10
ตารางที่ 7-3 ตัวอย่างโครงการศึกษาแพลตฟอร์มการซื้อขายไฟฟ้าในประเทศไทย	7-14
ตารางที่ 7-4 ประมาณการต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ระดับกิจการ (Utility scale) อย่างง่าย	7-15
ตารางที่ 7-5 การคัดแยกส่วนประกอบของแผงเซลล์อาทิตย์ที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิล	7-22
ตารางที่ 7-6 ราคาขายขยะรีไซเคิลจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และรายได้ต่อปี	7-23
ตารางที่ 7-7 สรุปการวิเคราะห์ช่องว่างของเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักร	7-30
ตารางที่ 8-1 สรุปกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยเพื่อการขับเคลื่อนเพื่อลดช่องว่างที่เกิดขึ้น	8-11
ตารางที่ 8-2 ความสอดคล้องของกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยกับช่องว่างในแต่ละหมวด	8-12
ตารางที่ 8-3 กิจกรรม A1 การจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการติดตามการไหลของข้อมูลตั้งแต่การนำเข้า การผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์	8-13
ตารางที่ 8-4 กิจกรรม A2 การขึ้นทะเบียนข้อมูลผู้จำหน่าย ผู้ติดตั้ง-รีไซเคิล และจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการรวบรวมผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องตั้งแต่ต้นน้ำ-ปลายน้ำ	8-14
ตารางที่ 8-5 กิจกรรม A3 การจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการรวบรวมติดตามข้อมูลผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์	8-15

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 8-6	กิจกรรม A4 การทดสอบและกำหนดค่ามาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง	8-16
ตารางที่ 8-7	กิจกรรม A5 การจัดทำระบบการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์โดยกำหนดพื้นที่การจัดส่งและการจัดการซาก	8-17
ตารางที่ 8-8	กิจกรรม A6 การจัดทำประมวลหลักปฏิบัติ (Code of Practice: COP) สำหรับโรงงานจัดการซากฯ	8-18
ตารางที่ 8-9	กิจกรรม B1 สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้กลไกทางด้านภาษีนำเข้า/ภาษีสรรพสามิต/ภาษีเงินได้นิติบุคคล	8-19
ตารางที่ 8-10	กิจกรรม B2 สนับสนุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยใช้กลไกทางด้านภาษีนำเข้า/ภาษีสรรพสามิต/ภาษีเงินได้นิติบุคคล	8-20
ตารางที่ 8-11	กิจกรรม C1 สนับสนุนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยใช้เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ	8-21
ตารางที่ 8-12	กิจกรรม C2 สนับสนุนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยการลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีเงินได้นิติบุคคล	8-21
ตารางที่ 8-13	กิจกรรม C3 ส่งเสริมการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มือสองในภาคการเกษตรและวิสาหกิจชุมชน	8-22
ตารางที่ 8-14	กิจกรรม D1 สนับสนุนการจัดตั้งโรงงานต้นแบบการจัดการซากแบบครบวงจร	8-23
ตารางที่ 8-15	เป้ากรอบเวลาของกิจกรรม	8-24
ตารางที่ 8-16	ความหมายของอักษรย่อชื่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	8-26
ตารางที่ 8-17	บุคลากรและบทบาทที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์	8-26
ตารางที่ 8-18	สถานการณ์ของกิจกรรมการขับเคลื่อนในปัจจุบัน	8-27

บทที่ 1

บทนำและขอบเขตการดำเนินงาน

1.1 หลักการและเหตุผล

ตามที่พระราชบัญญัติสถานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๖๒ กำหนดให้สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) มีภารกิจหลักในการส่งเสริม สนับสนุน และขับเคลื่อน ระบบวิจัยและนวัตกรรมของประเทศ ครอบคลุมทุกสาขาการวิจัยและวิทยาการทุกแขนง สร้างองค์ความรู้พัฒนานโยบายสาธารณะและสนับสนุนการ นำผลงานวิจัยและนวัตกรรมไปใช้ในเชิงเศรษฐกิจและสังคมเพื่อให้เกิดการพัฒนาประเทศอย่างสมดุลและยั่งยืน

คณะกรรมการอำนวยการสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริม วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ได้มีมติในคราวประชุมครั้งที่ 6/2563 เมื่อวันที่ 7 สิงหาคม 2563 เห็นชอบให้ สกสว. จัดตั้งคณะทำงานจัดการความรู้เพื่อพัฒนาระบบ ววน. รายสาขา เรียกว่า หน่วยบูรณาการประเด็นยุทธศาสตร์เพื่อพัฒนา ววน. หรือ Strategic Agenda Team (SAT) ทำหน้าที่เป็นกลไกหนุนเสริมทางวิชาการติดตามสถานภาพความรู้ สถานการณ์การพัฒนาและสถานการณ์ ววน. และนำเสนอข้อมูลความรู้เชิงระบบให้ตอบโจทย์ในประเด็นสำคัญได้ทันความต้องการของประชาชนและสังคมของประเทศ ซึ่งหนึ่งในประเด็นยุทธศาสตร์ที่สำคัญ คือ ด้านพลังงาน

ด้วย สกสว. ทำหน้าที่เชิงนโยบายในการกำหนดทิศทาง จัดลำดับความสำคัญ และจัดสรรงบประมาณไปยังหน่วยงานให้ทุนและหน่วยงานทำวิจัย เพื่อมุ่งสร้างผลงานด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมที่มีคุณภาพสูง และสร้างผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมอย่างแท้จริง การวิจัยและการพัฒนาพลังงานเป็นเรื่องที่มีผลกระทบต่อชีวิตประจำวันของประชาชน ซึ่งมีผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งฝ่ายผู้ผลิตพลังงาน ผู้ส่งมอบหรือขนส่งพลังงาน และผู้บริโภคพลังงานเป็นจำนวนมาก และมีผลกระทบทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และความมั่นคงของชาติ อีกทั้งยังมีความท้าทายอย่างยิ่งยวดต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งด้านเสถียรภาพของพลังงานและการพัฒนาพลังงานสะอาดซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในการดำเนินภารกิจดังกล่าว สกสว. จึงจัดตั้ง “คณะทำงานจัดการความรู้เพื่อพัฒนาระบบ ววน. ด้านพลังงาน” เมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม 2564

การเปลี่ยนแปลงสถานการณ์ด้านพลังงานของโลกทำให้ประเทศไทยต้องปรับตัว ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการวิจัยและพัฒนาด้านพลังงานที่จำเป็นต้องสอดคล้องกับทิศทางการเปลี่ยนแปลงของโลก จัดลำดับความสำคัญของการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ผลงานวิจัยตอบสนองทันต่อสถานการณ์ปัจจุบันและอนาคต สร้างผลกระทบทั้งทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ปัจจุบันการใช้พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียนได้ถูกสนับสนุนอย่างแพร่หลายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานลม พลังงานน้ำ หรือพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ถูกหยิบยกมาเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกเพื่อทดแทนแหล่งพลังงานฟอสซิลหรือพลังงานสิ้นเปลือง ซึ่งประเทศ

ไทยได้มีแผนการส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ 15,000 เมกะวัตต์ ภายในปี พ.ศ. 2580 จากแผนดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมไม่ต่ำกว่า 106,000 ตัน (ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, โครงการพัฒนามาตรฐานด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดการใช้พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (การจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ประกอบและแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า, 2563)

ทั้งนี้ การกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันจะถูกส่งไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เนื่องจากองค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้มีมูลค่าหากมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ต่อไปด้วยการนำซากเซลล์แสงอาทิตย์ไปเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล โดยกระบวนการรีไซเคิลนั้นจะทำให้วัสดุมีค่าอื่นถูกนำกลับมาได้ด้วยเช่นกัน เช่น กรอบอะลูมิเนียม สายไฟ ก่องเชื่อมสายไฟ เศษกระจก บัสบาร์ และ Si-wafer เป็นต้น ซึ่งหากสามารถนำวัสดุเหล่านี้กลับเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ หรือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นต่อไปได้ จะเป็นการก่อให้เกิดการหมุนเวียนวัสดุตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างแท้จริง

ฉะนั้น เพื่อการส่งเสริมให้เป็นไปตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) คือ การบริหารจัดการอย่างเป็นระบบครบวงจรตั้งแต่ การผลิต/นำเข้า ใช้งาน การรวบรวมและการกำจัดหรือการรีไซเคิล เพื่อให้เกิดเป็นขยะขั้นสุดท้ายน้อยที่สุดตามหลัก Zero waste และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยจะนำหลัก 4 วิธี ของการสร้างคุณค่าผ่านเศรษฐกิจหมุนเวียน ได้แก่ 1. การใช้วัสดุภายในวงจร 2. การยืดอายุวงจร 3. การใช้ใหม่ในลำดับต่อไป และ 4. ทำปฏิกิริยานำเข้าให้บริสุทธิ์ (ที่มา: All around plastic, เศรษฐกิจหมุนเวียน ตอนที่ 2 - ตัวอย่างธุรกิจและอุตสาหกรรมที่กำลังสร้างการเปลี่ยนแปลง, 2561) มาเป็นแนวทางในการส่งเสริมอีกด้วย จึงเล็งเห็นว่าควรมีการศึกษาวิจัยช่องว่างของเทคโนโลยีซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การผลิต การใช้งานและการกำจัด และการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมทั้งจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เกิดความเท่าเทียมและเข้าถึงได้ง่ายตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาด้านต่างๆ ให้มีศักยภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้นและเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่ยั่งยืน รวบรวมถึงการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันและอนาคต

เพื่อให้ตอบสนองต่อบทบาทของ สกสว. ในการนำองค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมจากการวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการขับเคลื่อนประเทศไทย จึงมีความจำเป็นต้องมีโครงการ “การวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน” เพื่อศึกษาช่องว่างของเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำภายในประเทศไทย และจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายเพื่อการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการบริหารจัดการจากการใช้พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)

สำหรับกลุ่มภารกิจพัฒนา ววน. ด้านกำลังคนและสถาบันความรู้ มีเป้าหมายหลักคือ 1) การพัฒนากำลังคนด้าน ววน. ให้มีคุณภาพทัดเทียมนานาชาติสามารถเป็นผู้นำในการใช้ ววน. พัฒนาประเทศ และ 2)

ยกระดับสถาบันความรู้ให้เป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติและอยู่ในระดับชั้นนำของโลก สามารถผลิตกำลังคนด้าน ววน. ที่มีความรู้และทักษะเฉพาะด้านพลังงานในมิติต่างๆ ครบถ้วน โดยเฉพาะด้านพลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีผลที่คาดว่าจะได้รับคือ

1. สามารถนำผลการศึกษาไปต่อยอดใช้ในการสร้างงานวิจัยและนวัตกรรมพัฒนาเสริมศักยภาพตามช่องว่างในด้านเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)

2. ทำให้ผู้ที่อยู่ในห่วงโซ่อุปสงค์-อุปทานทั้งภาครัฐและเอกชนสามารถพัฒนาต่อยอดในกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การเข้าถึงการใช้พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นที่แพร่หลายและเท่าเทียมยิ่งขึ้น

3. สามารถคาดการณ์ปริมาณการใช้งานและปริมาณซากที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อการเตรียมความพร้อมในการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งในด้านบุคลากรและสถาบันวิจัยที่สามารถผลิตองค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ตอบสนองสถานการณ์ในอนาคตได้ภายในประเทศ ลดการพึ่งพาต่างประเทศ

4. เพื่อเตรียมความพร้อมของบุคลากรและสถาบันการวิจัยที่สามารถผลิตองค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตอบสนองสถานการณ์ในอนาคตได้ภายในประเทศ ลดการพึ่งพาต่างประเทศ

ด้วยเหตุผลดังกล่าว “คณะทำงานจัดการความรู้เพื่อพัฒนาระบบ ววน. ด้านพลังงาน” ของ สกสว. โดยกลุ่มภารกิจพัฒนา ววน. ด้านกำลังคนและสถาบันความรู้ จึงเห็นควรให้มีการศึกษาวิจัยช่องว่างของเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ และจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายเพื่อการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการบริหารจัดการจากการใช้พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) โดยการดำเนินการศึกษาวิจัยนี้จะเป็นการทำงานอย่างมีส่วนร่วมและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างเจ้าหน้าที่ สกสว. ในคณะทำงานจัดการความรู้เพื่อพัฒนาระบบ ววน. ด้านพลังงาน และกลุ่มภารกิจพัฒนา ววน. ด้านกำลังคนและสถาบันความรู้ร่วมกับคณะวิจัยเพื่อเป็นการสร้าง Capacity building กับบุคลากร สกสว. ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อจัดทำข้อมูลผังการไหลของวัสดุ (Material flow analysis: MFA) ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของเซลล์แสงอาทิตย์

2. เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (Life cycle assessment) และวิเคราะห์ช่องว่างเพื่อเป็นแนวทางสนับสนุนให้เกิดการสร้างงานวิจัยและนวัตกรรมพัฒนาเสริมศักยภาพเทคโนโลยี

3. เพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายเพื่อการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการบริหารจัดการจากการใช้พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)

4. เพื่อเตรียมความพร้อมของบุคลากรและสถาบันการวิจัยที่สามารถผลิตองค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตอบสนองสถานการณ์ในอนาคตได้ภายในประเทศ ลดการพึ่งพาต่างประเทศ

1.3 ขอบเขตดำเนินงาน

1. จัดทำแผนการดำเนินงานของโครงการ โดยกำหนดวิธีการและกิจกรรมรายละเอียดของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน พร้อมทั้งกำหนดระยะเวลาและผู้รับผิดชอบในแต่ละกิจกรรม
2. ศึกษาและทบทวนข้อมูลเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด โดยพิจารณา รวมไปถึงองค์ประกอบและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด
3. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางทั้งในและต่างประเทศ
4. ศึกษากฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ
5. จัดทำข้อมูลผังการไหลของวัสดุ (Material flow analysis: MFA) ตั้งแต่ต้นทางของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจข้อมูลภายในประเทศและ/หรือ จากการศึกษาข้อมูลจากต่างประเทศ
6. ประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (Life cycle assessment) และวิเคราะห์ช่องว่าง เช่น ด้านเทคโนโลยีการผลิต ด้านการใช้งาน ด้านการบริหารจัดการ และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับเซลล์แสงอาทิตย์
7. จัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายเพื่อการศึกษา วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการบริหารจัดการจากการใช้พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)

1.4 ระยะเวลาดำเนินงาน

ระยะเวลาการดำเนินงาน 5 เดือน นับจากวันลงนามในสัญญา (วันที่ 1 สิงหาคม 2564 ถึง 31 ธันวาคม 2564)

1.5 กลุ่มเป้าหมาย

ผู้กำหนดนโยบาย หน่วยงานจัดทำนโยบาย หน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชน ผู้ประกอบการ นักวิจัย เจ้าหน้าที่หน่วยงานทรัพยากรพลังงานและถ่ายทอดเทคโนโลยี (TLO) ของมหาวิทยาลัยต่างๆ ทั่วประเทศ และผู้สนใจ

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำผลการศึกษาไปต่อยอดใช้ในการสร้างงานวิจัยและนวัตกรรมพัฒนาเสริมศักยภาพตามช่องว่างในด้านเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)

2. ทำให้ผู้ที่อยู่ในห่วงโซ่อุปสงค์-อุปทานทั้งภาครัฐและเอกชนสามารถพัฒนาต่อยอดในกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การเข้าถึงการใช้พลังงานทดแทนจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นที่แพร่หลายและเท่าเทียมยิ่งขึ้น

3. สามารถคาดการณ์ปริมาณการใช้งานและปริมาณซากที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อการเตรียมความพร้อมในการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 2

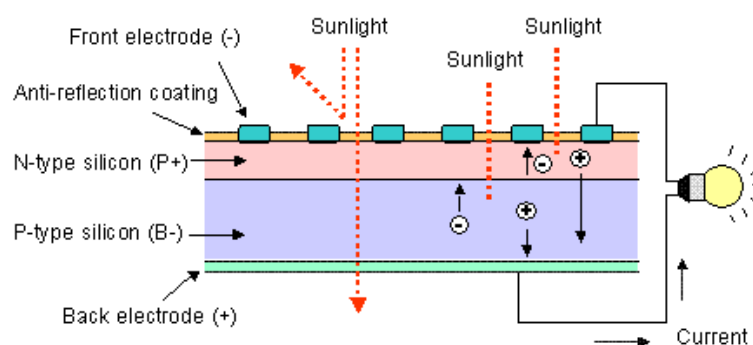
เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีแหล่งกำเนิดมาจากดวงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนที่สะอาด มีปริมาณมาก และไม่มีวันหมด บริเวณใดก็ตามที่มีแสงอาทิตย์กระทบพื้นผิวโลก ก็จะสามารถผลิตเป็นพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ จะเห็นได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูง โดยสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนได้ ตามการประยุกต์ใช้งานที่ต้องการ สำหรับการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้านั้น โดยทั่วไปจะสามารถทำได้โดยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ที่จะทำหน้าที่ในการแปลงรังสีของดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานได้ [1] ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยมีหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนี้

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งาน [2]

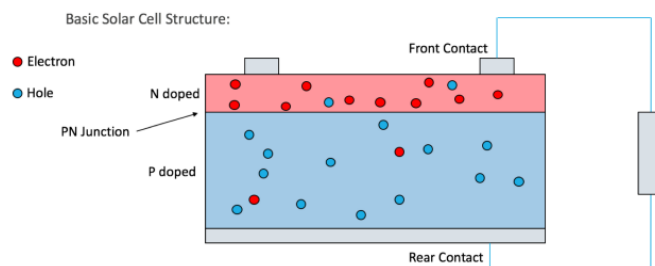
จากรูปที่ 2-1 N-type ซิลิคอน คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารฟอสฟอรัสทำให้มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ติดอยู่ด้านหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และชั้นถัดมาคือ P-type ซิลิคอน คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารโบรอนทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำสารทั้ง 2 ชนิดมาประกบกันด้วย P-N junction จึงทำให้เกิดเป็น "เซลล์แสงอาทิตย์" [2]



รูปที่ 2-1 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

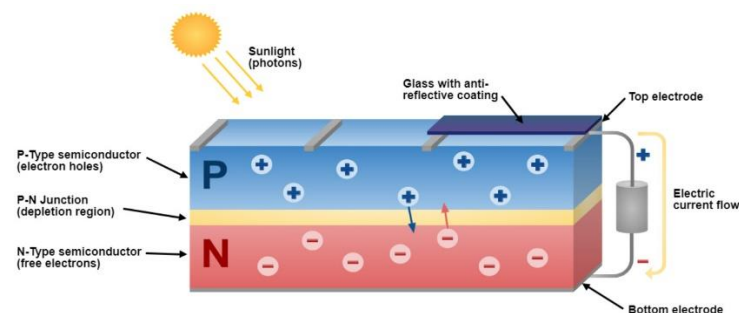
(ที่มา: <https://sites.google.com/site/rebirthgroupen/hlak-kar-thangan>, 2013)

ในสถานะที่ยังไม่มีแสงแดด N-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยและบริเวณด้านหน้าของ N-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้า (Front electrode) ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน P-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านล่างของเซลล์โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อยด้านล่างของ P-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า ขั้วไฟฟ้าด้านหลัง (Back electrode) ทำหน้าที่รวบรวมโฮล ดังแสดงในรูปที่ 2-2 เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแผง แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮลทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น N-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น P-type ดังแสดงในรูปที่ 2-3 อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front electrode และ Back electrode ให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน ดังแสดงในรูปที่ 2-4 [2]



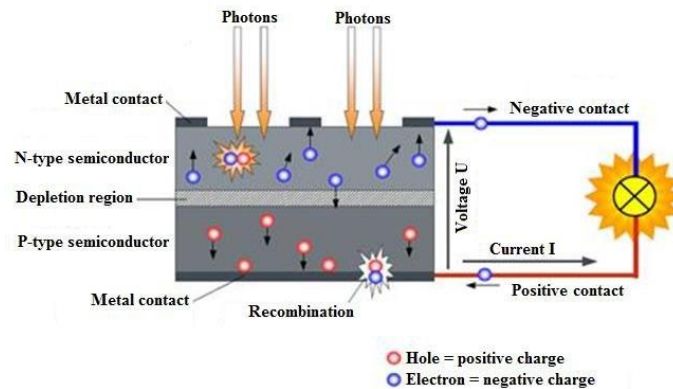
รูปที่ 2-2 เซลล์แสงอาทิตย์ก่อนได้รับแสง

(ที่มา: <https://www.coloradocollege.edu/academics/dept/physics/images/seminar/Sam.pdf>, 2561)



รูปที่ 2-3 เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเริ่มได้รับแสง

(ที่มา: http://m.hitechled.cn/IndustryNews_2001.html, 2017)

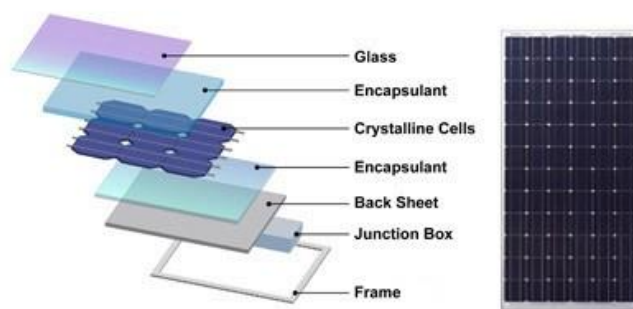


รูปที่ 2-4 เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสงและเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า

(ที่มา: https://www.researchgate.net/figure/Working-principle-of-a-solar-cell_fig1_322628682, 2014)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลายๆ เซลล์มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar module หรือ Solar panel) การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กต่ำซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดีและยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีการป้องกันความชื้นที่ดีมาก เพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งกลางฝนเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคน และอีวีเอ (Ethelele vinyl acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง [2]

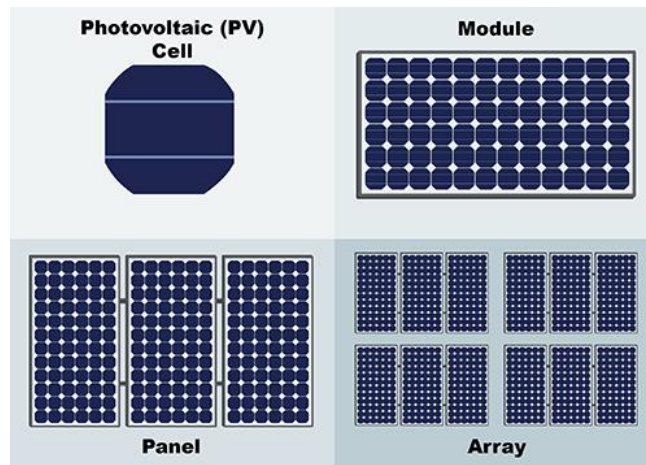
แต่บางครั้งก็ไม่มีเวลาจำเป็น ถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถทดแทนการทำการกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบซึ่งสะดวกในการติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

(ที่มา: <https://medium.com/@Horizoniiz/-solar-cell-b19fe1af3e5c>, 2016)

Crystalline silicon (C-Si) เซลล์แสงอาทิตย์ถูกเรียกว่าเซลล์ (Cell) การนำเซลล์หลายๆ เซลล์ มาต่ออนุกรมกันจะเรียกว่า พาเนล (Panel) การนำพาเนลหลายๆ พาเนล มาต่ออนุกรมกันเรียกว่า สตริง (String) และการนำสตริงหลายๆ สตริงมาต่อขนานกันเรียกว่าอาร์เรย์ (Array) ดังแสดงในรูปที่ 2-6 [2]



รูปที่ 2-6 Crystalline silicon

(ที่มา:

http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar_Electricity/basics/cells_modules_arrays.htm,
2014)

ซึ่งข้อดีของการต่อแบบอาร์เรย์นี้คือความน่าเชื่อถือ ในกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่หนึ่งแผงขึ้นไปได้รับผลกระทบจากการบังแสงหรือความเสียหายอื่นๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อื่นๆ ในอาร์เรย์จะไม่ได้รับผลกระทบ เนื่องจากการเชื่อมต่อแบบขนานทำให้ทุกแผงเป็นอิสระต่อกัน

2.2 เทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

เรื่องราวของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องย้อนไปถึงการสังเกตปรากฏการณ์ โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic) ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1839 นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสที่มีชื่อว่า Alexandre-Edmond Becquerel กำลังทำงานกับขั้วไฟฟ้า (Electrodes) โลหะในสารละลายของธาตุระดับโมเลกุลที่มีประจุไฟฟ้า (Electrolyte) เมื่อเขาสังเกตเห็นกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กถูกสร้างขึ้นเมื่อโลหะสัมผัสกับแสง แต่เขาไม่สามารถอธิบายผลกระทบได้ [3]

หลายทศวรรษต่อมา ในปี ค.ศ. 1873 วิศวกรชาวอังกฤษที่มีชื่อว่า Willoughby Smith ได้ค้นพบการนำแสงของซีลีเนียมขณะทดสอบวัสดุสำหรับสายโทรเลขใต้น้ำ ต่อมาในปี ค.ศ. 1883 นักประดิษฐ์ชาวอเมริกันชื่อว่า Charles Fritts ได้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ตัวแรกจากซีลีเนียม แต่ก็มีประสิทธิภาพน้อยกว่าหนึ่ง

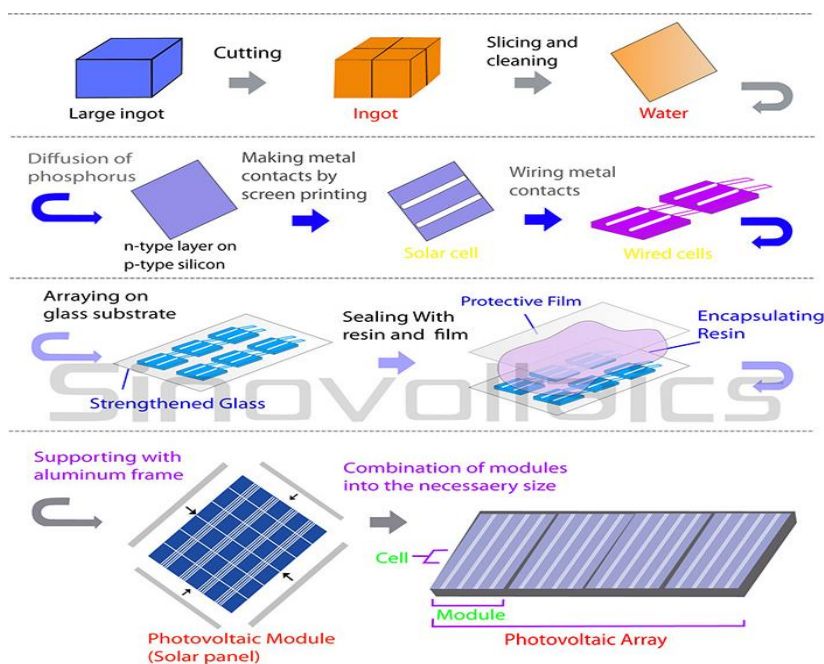
เปอร์เซ็นต์ในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจึงไม่เป็นประโยชน์มากนัก งานวิจัยบางชิ้นเกี่ยวกับซิลิเนียม Photovoltaic ยังคงดำเนินต่อไปในอีกหลายทศวรรษข้างหน้า และพบการใช้งานสองสามอย่าง แต่ไม่ได้นำไปใช้อย่างแพร่หลาย [3]

ความก้าวหน้าครั้งสำคัญครั้งหนึ่งของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1940 โดย Russell Shoemaker Ohl นักวิจัยด้านสารกึ่งตัวนำ (เซมิคอนดักเตอร์, Semiconductor) ที่ Bell Labs เขากำลังตรวจสอบตัวอย่างซิลิคอนบางส่วน ซึ่งหนึ่งในนั้นมีรอยร้าวตรงกลาง เขาสังเกตว่าในตัวอย่างนี้กระแสไหลผ่านตัวอย่างนี้เมื่อถูกแสง รอยแตกนี้อาจเกิดขึ้นเมื่อทำตัวอย่างจริง แล้วทำเครื่องหมายแบ่งแยกทั้ง 2 ด้าน ดังนั้นด้านหนึ่งจึงถูกเจ็ด้วยขั้วบวกและอีกด้านหนึ่งเจ็ด้วยขั้วลบ ซึ่งทำให้เกิดจุดเชื่อมต่อ p-n หรือ p-n junction โดยไม่ได้ตั้งใจ ซึ่งเป็นพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ ประจุบวกที่มากเกินไปก่อตัวขึ้นที่ด้านหนึ่งของ p-n และประจุลบส่วนเกินก่อตัวขึ้นที่อีกด้านหนึ่ง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เมื่อเซลล์เชื่อมต่อกันในวงจร โฟตอนที่เข้ามากระทบเซลล์จะทำให้อิเล็กตรอนถูกเคลื่อนที่ออกไปและเริ่มมีกระแสไหล เขาจึงจดสิทธิบัตรเซลล์แสงอาทิตย์ของเขาซึ่งมีประสิทธิภาพประมาณหนึ่งเปอร์เซ็นต์ [3]

ซึ่งในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ทุกประเภท ตั้งแต่เครื่องคิดเลขแบบใช้มือถือไปจนถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนชั้นดาดฟ้า การออกแบบที่ดีขึ้นและวัสดุชั้นสูงทำให้สามารถสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่า 40% ได้ และการวิจัยและการพัฒนายังคงดำเนินต่อไปโดยมีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อให้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถแข่งขันกับเชื้อเพลิงฟอสซิลได้มากขึ้น [3] ซึ่งนำไปสู่เทคโนโลยีในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ มีทั้งหมด 4 ประเภทดังนี้ 1. ซิลิคอนผลึกแบบเวเฟอร์, 2. เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง, 3. เซลล์แสงอาทิตย์แบบควม และ 4. เซลล์แสงอาทิตย์แบบรวมแสง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 ซิลิคอนผลึกแบบเวเฟอร์ (Wafer-based crystalline silicon)

ผลึกซิลิคอนที่ใช้เวเฟอร์เป็นเทคโนโลยี PV หลัก กระบวนการผลิตเริ่มจากการถลุงซิลิกา (SiO_2) เพื่อผลิตซิลิคอน จากนั้นจึงกลั่นและหล่อเป็นแท่งคริสตัลไลน์หรือแท่งโมนอคริสตัลไลน์ แท่งโลหะจะถูกหั่นเป็นแผ่นเวเฟอร์ซึ่งถูกแปรรูปเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ (เพิ่มชั้นฟิล์มป้องกันแสงสะท้อน และหน้าสัมผัสทางไฟฟ้า) ขั้นตอนสุดท้ายคือการประกอบโมดูล ซึ่งโดยปกติแล้วจะวางเซลล์ 60 หรือ 72 เซลล์ เชื่อมต่อกัน และปิดผนึกเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ทนทานต่อทุกสภาพอากาศดังรูปที่ 2-7 ซึ่งออกแบบมาให้มีอายุการใช้งานอย่างน้อย 25 ปี [4] ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบโมนอคริสตัลไลน์ (Monocrystalline) และ แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ซึ่งทั้งสองแบบแตกต่างกันตรงที่ความบริสุทธิ์ของซิลิคอน

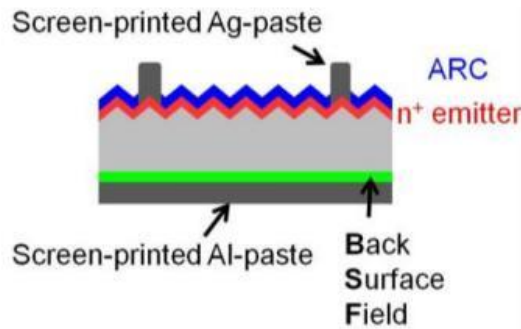


รูปที่ 2-7 ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนผลึกแบบเวเฟอร์

(ที่มา: <https://sinovoltaics.com/learning-center/manufacturing/solar-panel-manufacturing-process-from-cell-to-module/>, 2017)

แบบโมโนคริสตัลไลน์จะมีความบริสุทธิ์ของซิลิคอนมากกว่าแบบโพลีคริสตัลไลน์ จึงทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบโพลีคริสตัลไลน์ โดยปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 26.1% และเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 23.3% แต่ต้นทุนในการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ แบบโพลีคริสตัลไลน์ต่ำกว่าต้นทุนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ เนื่องจากเทคโนโลยีนี้ได้รับการพิสูจน์แล้วและเชื่อถือได้ อายุการใช้งานยาวนาน และทรัพยากรหลักที่มีอยู่มากมาย ความท้าทายหลักสำหรับโมดูล c-Si คือการปรับปรุงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการใช้ทรัพยากรผ่านการลดวัสดุ แนวคิดของเซลล์ที่ได้รับการปรับปรุงและระบบอัตโนมัติของการผลิต โดยการออกแบบเซลล์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่สำคัญดังนี้

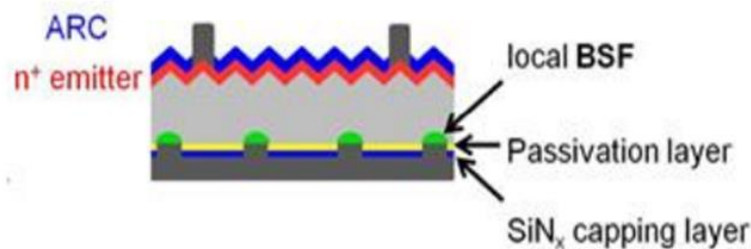
1) Aluminium diffused back surface field cell (AL-BSF) การพิมพ์ชั้นอะลูมิเนียมเต็มชั้นที่ด้านหลังเซลล์ ตามด้วยการผสมผ่านการยิง ทำให้เกิด BSF ชั้นอะลูมิเนียมและการผสมด้วยความร้อนอย่างรวดเร็วถูกนำมาใช้ร่วมกันเพื่อให้ได้ Aluminium back surface field (AL-BSF) ดังรูปที่ 2-8 ที่สามารถลดความเร็วการรวมตัวของพื้นผิวด้านหลังที่มีประสิทธิผล กระบวนการนี้ถูกรวมเข้าด้วยกันเป็นกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่มีประสิทธิภาพสูง การผลิตในห้องปฏิบัติการ และปริมาณงานสูง กระบวนการทางอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น [5]



รูปที่ 2-8 โครงสร้างเซลล์แบบ Aluminium diffused back surface field cell (AL-BSF)

(ที่มา: Photovoltaics technology development report, 2020)

2) Passivated emitter rear contact cell (PERC) เพิ่มชั้นตอนพิเศษอีกสองชั้นตอนในกระบวนการ AL-BSF ใช้ฟิล์มทึบพื้นผิวด้านหลัง จากนั้นใช้เลเซอร์หรือสารเคมีเพื่อเปิดสแต็กฟิล์มด้านหลังและสร้างช่องเล็กๆ ในฟิล์มเพื่อดูดซับแสงมากขึ้นเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2-9 [4]



รูปที่ 2-9 โครงสร้างเซลล์แบบ Passivated emitter rear contact cell (PERC)

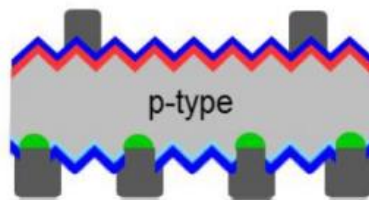
(ที่มา: Photovoltaics technology development report, 2020)

เทคโนโลยี PERC เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มุ่งเป้าไปที่ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานที่สูงขึ้นโดยการเพิ่มชั้นฟิล์ม อีเล็กทริกที่ด้านหลังเซลล์ เพื่อช่วยในด้านต่างๆ [6] ดังนี้

- การลดการรวมตัวของอิเล็กตรอน - การรวมตัวของอิเล็กตรอนจะบล็อกการไหลของอิเล็กตรอนอย่างอิสระผ่านเซลล์ ทำให้ประสิทธิภาพลดลง ชั้น Passivation พิเศษทำให้การไหลของอิเล็กตรอนคงที่และสม่ำเสมอมากขึ้นจึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น
- การเพิ่มความสามารถของเซลล์แสงอาทิตย์ในการจับแสง - แสงที่ไม่ถูกดูดกลืนจะถูกสะท้อนโดยชั้นฟิล์มกรองแสงกลับไปยังเซลล์สุริยะเพื่อพยายามดูดกลืนครั้งที่สองเพื่อผลิตพลังงานเพิ่มเติมทำให้เซลล์มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- สะท้อนความยาวคลื่นจำเพาะที่ปกติจะสร้างความร้อนออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ - ความยาวคลื่นบางช่วงจะถูกดูดซับโดยชั้นด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะสมความร้อนและลดประสิทธิภาพ

ชั้นฟิล์มที่เพิ่มเติมมาจะสะท้อนความยาวคลื่นเหล่านี้ออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่รักษาอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

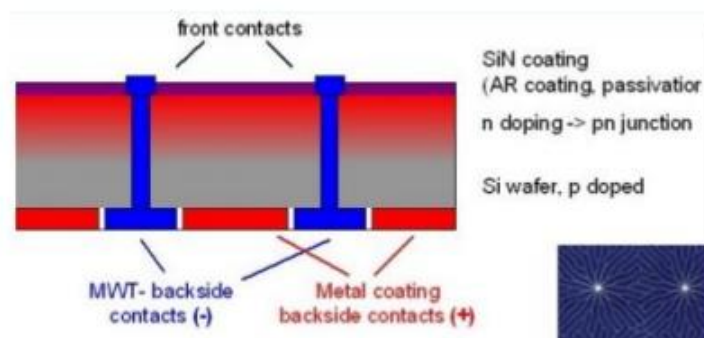
3) Bifacial cell design ต่างจากโมดูลทั่วไป โมดูล PV สองหน้าสามารถผลิตพลังงานจากทั้งด้านหน้าและด้านหลัง โดยใช้แสงตกกระทบลงที่ด้านหน้าและแสงที่สะท้อนมาตกกระทบที่ด้านหลังพร้อมกัน โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าให้กำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แบบหน้าเดียวแบบธรรมดาเนื่องจากความสามารถในการเก็บเกี่ยวแสงที่สะท้อนไปทางด้านหลัง แสงสะท้อนอาจมาจากแหล่งกำเนิดที่หลากหลาย เช่น การสะท้อนจากพื้นดินหรือจากโมดูล PV แถวข้างเคียง [7] โดยทั่วไปแล้วจะทำการออกแบบพื้นผิวด้านหน้าคล้ายกับที่ใช้ในมาตรฐานอุตสาหกรรมแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Screen printed solar cells โดยจุดที่แตกต่างที่สำคัญคือโครงสร้างของหน้าสัมผัสพื้นผิวด้านหลังแทนที่จะครอบคลุมพื้นผิวด้านหลังทั้งหมดด้วยหน้าสัมผัสอะลูมิเนียมสะท้อนแสง มีการใช้ชื่อที่เรียกว่า 'Finger' แทนเพื่อให้แสงแดดส่องผ่านด้านหลัง [8] ดังรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 โครงสร้างเซลล์แบบ Bifacial cell design

(ที่มา: Photovoltaics technology development report, 2020)

4) Metal wrap through (MWT) โลหะที่ปกติวิ่งไปตามด้านหน้าของเซลล์เพื่อดึงกระแสไฟฟ้าจากบริเวณอิมิตเตอร์สามารถเปลี่ยนเส้นทางไปที่ด้านหลังของเซลล์โดยการก่อตัวของ “Hole” หรือ “Vias” โลหะจะถูกพิมพ์ลงใน Vias หรือ Hole เหล่านี้ และยิ่งเข้าไปในเซลล์ เพื่อให้สามารถดึงกระแสที่สร้างขึ้นจากด้านหลังสำหรับทั้งตัวปล่อยและบริเวณสัมผัส (ขั้วบวกและขั้วลบ) [9] ดังรูปที่ 2-11

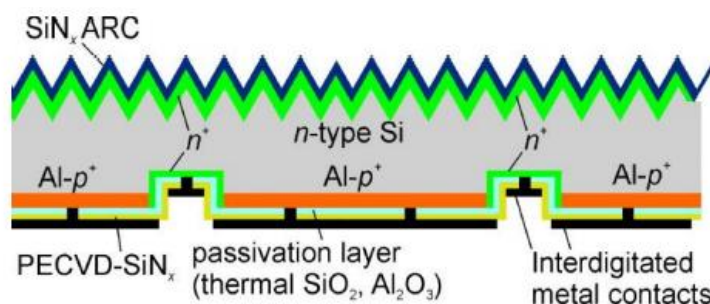


รูปที่ 2-11 โครงสร้างเซลล์แบบ Metal wrap through (MWT)

(ที่มา: Photovoltaics technology development report, 2020)

ดังนั้นเงาที่คอยบดบังด้านหน้าของเซลล์ (หรือเป็นสิ่งป้องกันไม่ให้เซลล์ดูดซับแสงแดดและแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า) จะถูกกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพโดยโลหะที่เพิ่มเข้าไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์ข้อดีหลักของการออกแบบเซลล์ Metal wrap through (MWT) คือการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์โดยลดการสูญเสียจากการบดบังแสงด้านหน้าโดยการย้ายขั้วบวกและขั้วลบไปไว้ด้านหลังของเซลล์และช่วยลดขั้นตอนในกระบวนการผลิตลงอย่างมากโดยทำให้วิธีการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ง่ายขึ้นแทนที่จะต้องใช้เครื่องมือพิเศษที่เรียกว่า “Stringer” เพื่อประสาน Copper ribbon กับทั้งด้านหน้าและด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างวงจรย่อยของโมดูล PV [9]

5) Interdigitated back contact (IBC) เซลล์แสงอาทิตย์แบบสัมผัสด้านหลังมีความสามารถในการป้องกันการสูญเสียการบังแสงทั้งหมดโดยวางหน้าสัมผัสทั้งสองไว้ที่ด้านหลังเซลล์ (หน้าสัมผัสทั้งด้านบวกและด้านลบอยู่ที่ด้านหลังของอุปกรณ์) [10] ดังรูปที่ 2-12

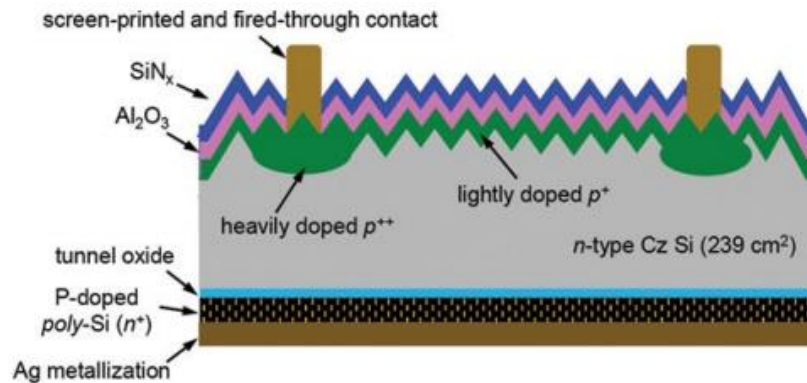


รูปที่ 2-12 โครงสร้างเซลล์แบบ Interdigitated back contact (IBC)

(ที่มา: Photovoltaics technology development report, 2020)

ดังนั้น คู่ของโฮลกับอิเล็กตรอนที่เกิดจากแสงที่ดูดกลืนที่บนพื้นผิวด้านหน้าของเซลล์สามารถนำไปเก็บไว้ได้ที่ด้านหลังเซลล์ โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบบางที่ผลิตจากวัสดุคุณภาพสูง เซลล์ดังกล่าวมีประโยชน์เป็นพิเศษในการใช้งานคอนเดนเซอร์ ประโยชน์เพิ่มเติมของเซลล์เหล่านี้คือเซลล์ที่มีหน้าสัมผัสทั้งสองที่ด้านหลังสามารถเชื่อมต่อกันได้ง่ายขึ้น และสามารถวางไว้ใกล้กันมากขึ้นในโมดูล เนื่องจากไม่ต้องการช่องว่างระหว่างเซลล์ [10]

6) Full area passivated cell ด้านล่างของแผ่นเวเฟอร์มีโครงสร้างเป็นฟิล์มบางซึ่งทำหน้าที่กันและทำหน้าที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าที่สัมผัสกับเซลล์ [4] ดังรูปที่ 2-13

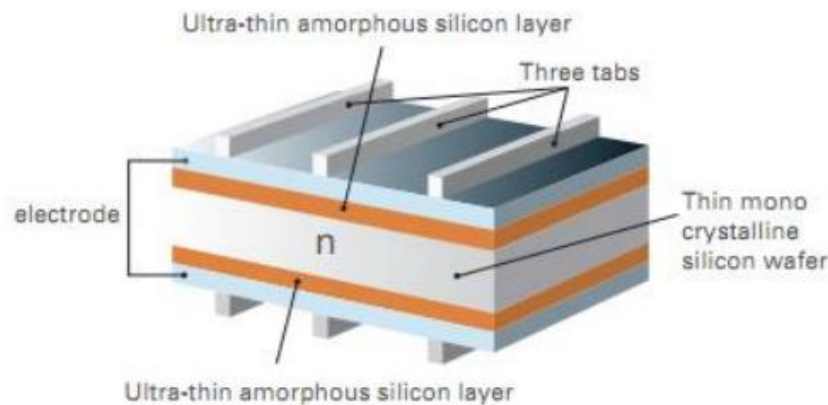


รูปที่ 2-13 โครงสร้างเซลล์แบบ Full area passivated cell

(ที่มา: Photovoltaics technology development report, 2020)

เทคโนโลยีนี้ช่วยกำจัดการจำเป็นในการเติมสารเจือปนของแผ่นเวเฟอร์ และการกำหนดรูปแบบที่ซับซ้อนของตัวปล่อยหรือ back surface field (BSF) ที่เลือกได้ เทคโนโลยีนี้เพิ่งเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่

7) Heterojunction (HJT) cells ชั้นซิลิคอนอสัณฐานแบบบางเฉียบจะเกาะอยู่ที่พื้นผิวด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นเวเฟอร์ชนิด n แบบโมโน [4] ดังรูปที่ 2-14



รูปที่ 2-14 โครงสร้างเซลล์แบบ Heterojunction (HJT) cells

(ที่มา: Photovoltaics technology development report, 2020)

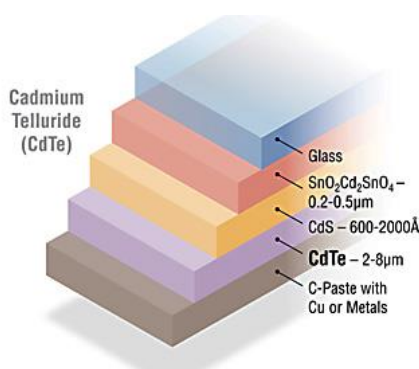
แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ HJT ใช้วัสดุเซลล์แสงอาทิตย์แบบเป็นสามชั้น ชั้นบนสุดสามารถจับแสงแดดบางส่วนก่อนกระทบกับชั้นผลึก และยังสามารถดูดซับแสงแดดบางส่วนซึ่งจะสะท้อนเข้าสู่ชั้นด้านล่าง เพื่อผลิตพลังงาน ดังนั้นจึงใช้พลังงานจากแสงแดดได้อย่างคุ้มค่า ชั้นกลางทำหน้าที่แปลงแสงแดดเป็นไฟฟ้าเกือบทั้งหมด ชั้นล่างรับแสงแดดที่ส่องผ่านสองชั้นแรก หากแผงเป็นการออกแบบแผงกระจกบนกระจกและแผงด้านหลังโปร่งใส ชั้นฟิล์มบางด้านหลังจะเพิ่มปริมาณไฟฟ้าเป็นจำนวนมากเนื่องจากแสงแดด

ที่สะท้อนจากพื้นดิน [11] นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับ IBC เพื่อให้เซลล์ Si ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดก่อนหน้านี้เป็นผลิตภัณฑ์เฉพาะ แต่ปัจจุบันได้รับการพัฒนาสำหรับการผลิตขนาดใหญ่โดยโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่ [4]

2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin-film photovoltaics)

ฟิล์มบางผลิตขึ้นโดยการใส่ชั้นวัสดุที่ไวต่อแสงที่มีความหนาบางมากในช่วงไมโครเมตร บนวัดที่มีต้นทุนต่ำ เช่น แก้ว สแตนเลส หรือพลาสติก เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางตัวแรกที่ผลิตได้คือ a-Si ในช่วงต้น ได้มีการพัฒนาอะมอร์ฟัสควมและโครงสร้างแบบสามเซลล์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เซลล์ซิลิคอนอสัณฐานบางและไมโครคริสตัลไลน์ถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเซลล์ไมโครมอร์ฟ (Micromorph) เรียกอีกอย่างว่าเซลล์ซิลิคอนไฮบริดแบบบาง ในส่วนของสารประกอบเคมีคอนดักเตอร์ II-VI ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีฟิล์มบางอื่นๆ รวมถึง Cadmium telluride (CdTe) และ Copper-indium-gallium-diselenide (CIGS) ข้อได้เปรียบหลักของฟิล์มบางคือการใช้วัตถุดิบที่มีต้นทุนค่อนข้างต่ำ มีระบบการผลิตแบบอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพการผลิตสูง ง่ายต่อการใช้งานและการปรับปรุงลักษณะให้ดีขึ้น ประสิทธิภาพการใช้งานไม่ลดลงในขณะที่อุณหภูมิแวดล้อมสูง และความไวต่อความร้อนสูงเกินไปลดลง ข้อเสียในปัจจุบันคือประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าเทคโนโลยีอื่นและประสิทธิภาพตลอดอายุการใช้งานยังจำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำเทคโนโลยีฟิล์มบางออกสู่ตลาดและความน่าเชื่อถือในระยะยาว [12] ซึ่งมีเทคโนโลยีในการผลิตฟิล์มบางดังนี้ [13]

1) Cadmium telluride (CdTe) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ CdTe ถือเป็นเทคโนโลยีฟิล์มบาง เนื่องจากชั้นแอโนด (ชั้น CdTe) มีความหนาเพียงไม่กี่ไมครอนหรือประมาณหนึ่งในสิบของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมมนุษย์ โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CdTe ทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2-15



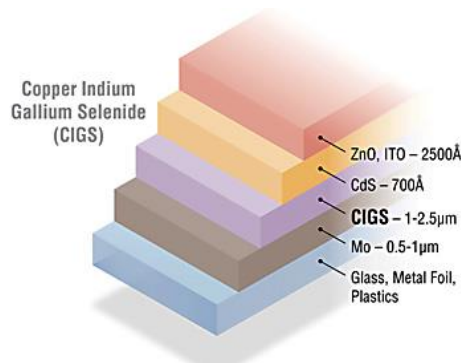
รูปที่ 2-15 โครงสร้างเซลล์แบบ Cadmium telluride (CdTe) cells

(ที่มา: <https://www.nrel.gov/pv/cadmium-telluride-solar-cells.html>, 2016)

ชั้นออกไซด์ของตัวนำที่โปร่งใส (Transparent conducting oxide, TCO) เช่น SnO₂ หรือ Cd₂SnO₄ มีความโปร่งใสต่อแสงที่มองเห็นได้และเป็นสื่อกระแสไฟฟ้าสูงในการขนส่งกระแสอย่างมี

ประสิทธิภาพ ชั้นกลาง เช่น Cadmium sulfide (CdS) ช่วยทั้งการเจริญเติบโตและคุณสมบัติทางไฟฟ้าระหว่าง TCO และ CdTe พิล์ม CdTe ทำหน้าที่เป็นชั้น Photoconversion หลักและดูดซับแสงที่มองเห็นได้มากที่สุดภายในไมครอนแรกของวัสดุ เมื่อรวมกันแล้ว ชั้น CdTe ระดับกลาง และ TCO จะสร้างสนามไฟฟ้าที่แปลงแสงที่ถูกดูดกลืนในชั้น CdTe ให้เป็นกระแสและแรงดันไฟฟ้า โลหะถูกวางไว้ที่ด้านหลังเพื่อสร้างหน้าสัมผัสทางไฟฟ้า ในการผลิตชั้นทั้งหมดเหล่านี้จะถูกสร้างขึ้นบนกระจกและแปรรูปเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สมบูรณ์ภายในเวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมง

2) Copper indium gallium diselenide (CIGS) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางที่ใช้ CIGS เป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่ CIGS เป็นวัสดุอเนกประสงค์ที่สามารถประดิษฐ์ขึ้นโดยกระบวนการต่างๆ และนำไปใช้ในรูปแบบต่างๆ ตัวอย่างเช่น CIGS สามารถสะสมบนพื้นผิว เช่น แก้ว พอยล์โลหะ และโพลีเมอร์ ช่วยให้สามารถใช้งานได้ในโมดูลที่ต้องการมีน้ำหนักเบาหรือมีความยืดหยุ่น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CIGS ทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2-16

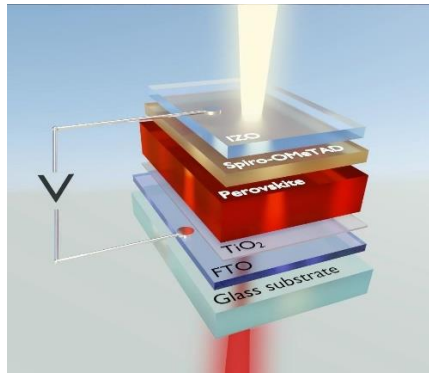


รูปที่ 2-16 โครงสร้างเซลล์แบบ Copper indium gallium diselenide (CIGS) cells

(ที่มา: <https://www.nrel.gov/pv/copper-indium-gallium-diselenide-solar-cells.html>, 2020)

กว่า 20 ปีของการวิจัย นักวิทยาศาสตร์ของ NREL ได้พัฒนาความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี CIGS หลายประการ รวมถึง "กระบวนการสามขั้นตอน" ในการสร้างชั้นดูดซับ CIGS กระบวนการนี้ทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางของ CIGS ที่มีองค์ประกอบและโครงสร้างที่เหมาะสม เพื่อให้ตัวพาประจุไฟฟ้าที่สร้างด้วยแสงอยู่ได้นานเพียงพอในชั้น CIGS ของอุปกรณ์ เพื่อให้สามารถแยกและเก็บที่ด้านหน้าและด้านหลังของหน้าสัมผัส การแยกและการรวบรวมนี้มีความสำคัญต่อการแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการแปลงที่สูง

3) Perovskites cell วัสดุ Perovskite [14] ที่ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสารประกอบอินทรีย์อนินทรีย์โลหะเฮไลด์ชนิดหนึ่ง วัสดุนี้มีคุณสมบัติโฟโตอิเล็กทริกที่ดีเยี่ยม พลังงานจับกับ Exciton ที่ต่ำกว่าและค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูง ซึ่งมีโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskite ทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2-17

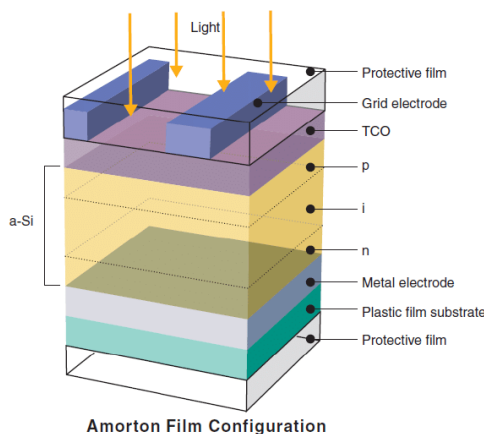


รูปที่ 2-17 โครงสร้างเซลล์แบบ Perovskite cells

(ที่มา: <https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/892527>, 2020)

ชั้น Perovskite เป็นชั้นดูดซับแสงสามารถดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ วัสดุมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกขนาดใหญ่ อิเล็กตรอนและโฮลสามารถเคลื่อนที่และรวมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ อิเล็กตรอนจะถูกถ่ายโอนจากชั้น Perovskite ไปยัง TiO_2 ซึ่งใช้สำหรับชั้น ETM และรวบรวมโดย FTO ในเวลาเดียวกัน โฮลจะถูกถ่ายโอนไปยังชั้น HTM และรวบรวมโดยขั้วไฟฟ้าของโลหะ สุดท้ายแล้ว FTO และขั้วไฟฟ้าของโลหะก็เชื่อมต่อกันและกระแสไฟฟ้าจะถูกสร้างขึ้นในวงจรภายนอก

4) Amorphous silicon cell เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนอสัณฐานเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางที่ได้รับการพัฒนามาอย่างดีที่สุด โครงสร้างมักจะมีประเภท p-i-n (หรือ n-i-p) ดังรูปที่ 2-18



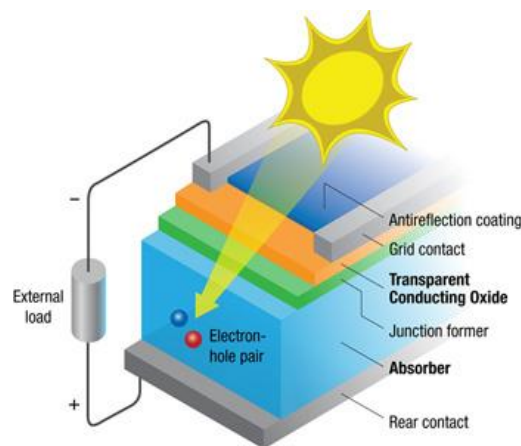
รูปที่ 2-18 โครงสร้างเซลล์แบบ Amorphous silicon cell

(ที่มาของรูป https://www.researchgate.net/figure/Amorphous-silicon-solar-cell-device-structure-9_fig1_276205737, 2014)

ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ p-layer และ n-layer เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าภายใน i-layer ที่ประกอบด้วยซิลิคอนอสัณฐาน เนื่องจากซิลิคอนอสัณฐานมีความสามารถในการดูดซับสูง ชั้น i จึงมีความหนา 0.2–0.5

ไมโครเมตร ความถี่การดูดซึมอยู่ในช่วงระหว่าง 1.1 ถึง 1.7 eV ซึ่งแตกต่างจากแผ่นเวเฟอร์ซิลิคอนซึ่งมีความถี่การดูดซึม 1.1 eV ความสม่ำเสมอของโครงสร้างของวัสดุออสซิลอนค่อนข้างต่ำต่างจากคริสตัลอิเล็กตรอนและรูถูกกระทำการภายในวัสดุ ดังนั้น ในระยะยาว อาจมีความเป็นไปได้สูงที่ทั้งสองจะผสมกันเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ i-layer ไม่ควรหนาหรือบางเกินไป เนื่องจากปัญหาล้างนี้อาจทำให้การดูดซึมไม่เพียงพอได้ง่าย เพื่อเอาชนะปัญหานี้ มักใช้สแต็กที่มีโครงสร้างหลายชั้นในการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนอสซิลอนเพื่อสร้างสมดุลระหว่างการดูดกลืนแสงและประสิทธิภาพของโฟโตอิเล็กทริก [15]

5) Organic thin film devices (OPV) [13] เป็นเทคโนโลยี PV ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยการปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์ (ปัจจุบันได้รับการรับรอง 18.2%) ส่งเสริมอายุการใช้งาน และแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการผลิตโดยใช้การประมวลผลโซลูชันตลาด PV ที่รวมเข้ากับอาคารอาจพบว่า OPV มีความน่าสนใจเป็นพิเศษเนื่องจากมีตัวดูดซับในทุกสีและความสามารถในการสร้างอุปกรณ์โปร่งใสที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งมีโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ OPV ทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2-19



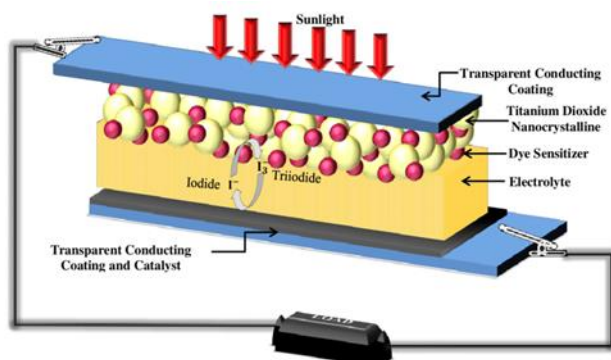
รูปที่ 2-19 โครงสร้างเซลล์แบบ Organic thin film devices (OPV) cells

(ที่มา: <https://www.nrel.gov/pv/organic-photovoltaic-solar-cells.html>, 2016)

จุดแข็งที่ยอดเยี่ยมของ OPV อยู่ที่ความหลากหลายของวัสดุอินทรีย์ที่สามารถออกแบบและสังเคราะห์สำหรับตัวดูดซับ ตัวรับ และส่วนต่อประสาน แต่เราจำเป็นต้องปรับปรุงประสิทธิภาพการปรับขนาดและอายุการใช้งานของโมดูลพื้นที่ขนาดใหญ่เพิ่มเติม เราต้องเข้าใจพื้นฐานของการทำงานของอุปกรณ์รวมถึงกระบวนการแยกประจุ กลไกการขนถ่ายประจุ ฟิสิกส์ของอุปกรณ์ และเอฟเฟกต์อินเทอร์เฟซ ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถออกแบบสถาปัตยกรรมอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพมากขึ้นโดยอิงจากวัสดุที่มีการจัดตำแหน่งระดับพลังงาน การตอบสนองของสเปกตรัม และคุณสมบัติการขนส่งที่ดีขึ้น

6) Dye sensitised solar cells (DSSCs) เทคโนโลยี DSSC ทำงานโดยเลียนแบบกระบวนการสังเคราะห์แสง แต่แทนที่คลอโรฟิลล์ด้วยสีที่ดูดพลังงานแสง ทำให้แสงที่ส่องเข้ามาสามารถกระตุ้นโมเลกุลให้เป็นสถานะที่มีพลังงานสูงกว่าเดิม ซึ่งพลังงานที่ได้นี้จะถูกเก็บรวบรวมโดยโครงสร้างของ Electrolyte และ

ตัวเร่งปฏิกิริยา เหมือนกับโครงสร้างของไบโม่ในการสังเคราะห์แสง [16] ซึ่งมีโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ DSSC ทัวไปแสดงดังรูปที่ 2-20

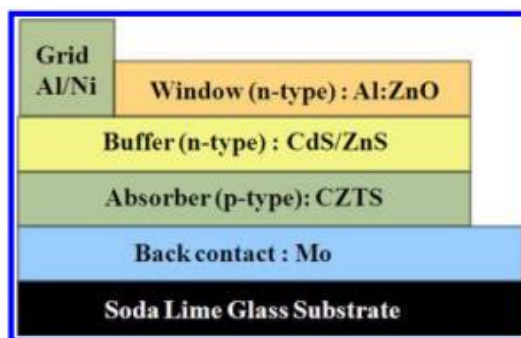


รูปที่ 2-20 โครงสร้างเซลล์แบบ Dye sensitised solar cells (DSSCs) cells

(ที่มา: https://www.researchgate.net/figure/Principle-operation-of-dye-sensitized-solar-cells-DSSCs-11_fig1_272943912, 2015)

ขณะที่เทคโนโลยี DSSC ได้การยอมรับในฐานะวิธีการผลิตไฟฟ้าที่มีค่าใช้จ่ายต่ำมานานแต่ก็มีประเด็นด้านความปลอดภัยที่เป็นอุปสรรคต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ ระบบแบบเก่านี้เป็นแบบของเหลวที่ใช้ไอโอดีนและตัวทำละลายชีวภาพในกระบวนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งง่ายต่อการระเหยหรือรั่วไหล ดังนั้น การพัฒนา DSSC ที่ประกอบด้วย Electrolyte ที่เป็นวัสดุของแข็งทั้งหมด ย่อมช่วยขจัดปัญหาด้านความปลอดภัยที่เคยเกิดขึ้นกับระบบแบบของเหลวได้ นอกจากนี้ ยังให้อัตราการผลิตพลังงานภายใต้แหล่งกำเนิดแสงแบบอ่อนได้มากกว่าเดิม เช่น ในโกดังสินค้า ทั้งนี้เพราะเม็ดสีชีวภาพที่นำมาใช้สามารถทำงานได้ดีที่สุดกับความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงภายในอาคาร [16]

7) Kesterites CZTS cell แร่ CZTS พบได้ในธรรมชาติเป็นสารประกอบเซมิคอนดักเตอร์ประกอบด้วย $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}/\text{Se})_4$ ที่ได้จากการแทนที่อินเดียมครึ่งหนึ่งด้วยสังกะสีและอีกครึ่งหนึ่งเป็นดีบุกในสารประกอบสามส่วนใน CuInS_2 CZTS มีโครงสร้างหลักสองแบบที่เรียกว่า Stannite type และ Kesterite type โครงสร้างทั้งสองมีความคล้ายคลึงกันยกเว้นการจัดเรียงของ Cu และ Zn อะตอม วัสดุ CZTS มักจะปรากฏในเฟส Kesterite เนื่องจากมีความเสถียรทางอุณหพลศาสตร์มากกว่าเมื่อเทียบกับประเภทสแตนนไนต์ ส่วนประกอบทั้งหมดของ CZTS ไม่เป็นพิษ ต้นทุนต่ำ และหาได้ง่ายในเปลือกโลก ที่สำคัญกว่านั้น CZTS มีช่องว่างแถบตรงที่เหมาะสมที่สุดระหว่าง 1.4 eV และ 1.5 eV และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนสูงที่มากกว่า 10^4 cm^{-1} ในบริเวณความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ด้วยคุณสมบัติที่เหมาะสมเหล่านี้ CZTS จึงช่วยให้เกิดประสิทธิภาพการแปลงกำลัง 32.2% ตามทฤษฎี Shockley–Queisser [17] ซึ่งมีโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CZTS ทัวไปแสดงดังรูปที่ 2-21



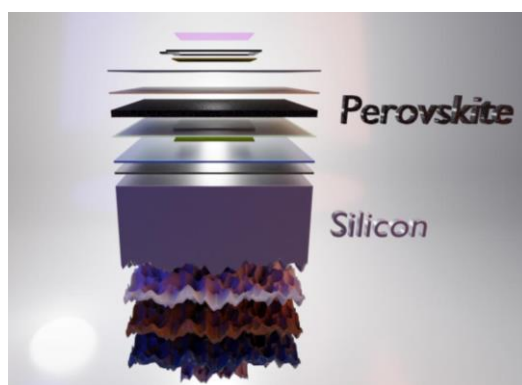
รูปที่ 2-21 โครงสร้างเซลล์แบบ Kesterites CZTS cells

(ที่มา: CZTS based thin film solar cells: a status review, 2013)

การกำหนดค่าอุปกรณ์ที่ใช้โดยส่วนใหญ่ของ SLG/Mo/CZTS/ CdS/Al:ZnO/Al/Ni for CZTS เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ประกอบด้วย Mo เคลือบ SLG, หน้าสัมผัสทางไฟฟ้า, ชั้นของ CZTS เป็นชั้นดูดซับแสงที่สัมผัสกับ n ชนิด CdS ในรูปแบบ p-n ทางแยก, ชั้นบางๆ ของ Al:ZnO เป็นชั้นหน้าต่างที่ด้านบนของชั้น CdS และสุดท้ายเป็นชั้น Al/Ni เป็นหน้าสัมผัสทางไฟฟ้า [17]

2.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบควมคู่ (Tandem PV)

หัวข้อหลักในการวิจัย PV คือการเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงพลังงานให้สูงกว่าขีดจำกัด Shockley-Queisser 29% คือขีดจำกัดสำหรับเซลล์ซิลิคอนที่มีจุดเชื่อมต่อทางเดียว ค่าตอบของการทะลุขีดจำกัดอยู่ในอุปกรณ์ควมคู่ โดยมีหลักการง่ายๆ ว่าประสิทธิภาพของทั้งส่วนประกอบด้านบนและด้านล่างจะต้องสูงกว่า 20% จึงจะมีประสิทธิภาพรวมกันที่สูงกว่า 30% ความท้าทายเพิ่มเติม ได้แก่ การพัฒนาโซลูชันสำหรับการติดต่อกับเลเยอร์และสำหรับกระบวนการผลิตที่เข้ากันได้กับส่วนประกอบทั้งสอง สำหรับวิธีหลัง วิธีการคือการวางฟิล์มบางบนซิลิคอนโดยตรง (การรวมเสาหิน) หรือสร้างชั้นฟิล์มบางแยกจากกัน แล้วแนบเข้ากับซิลิคอนทางกายภาพ (การวางซ้อนทางกล) [4] ดังแสดงในรูปที่ 2-22

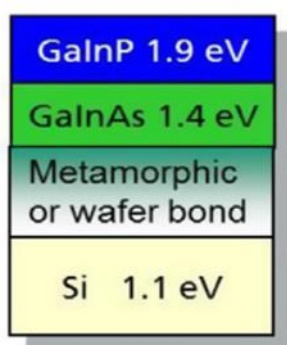


รูปที่ 2-22 ตัวอย่างการซ้อนทับกันของฟิล์มบางและซิลิคอน

(ที่มา: <https://www.eurekalert.org/news-releases/910581>, 2020)

ซึ่งสามารถสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบควบคู่ได้ 3 แบบดังนี้

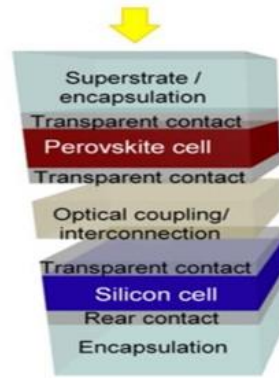
1) III-V on Silicon [18] III-V คือเซมิคอนดักเตอร์แบบผสม เป็นโลหะผสมที่มีองค์ประกอบจากกลุ่ม III และ V ในตารางธาตุ ดังนี้ กลุ่ม III คือ B, Al, Ga, In กลุ่ม V คือ N, P, As, Sb นักวิจัยด้านเซลล์แสงอาทิตย์ใช้กระบวนการที่รู้จักกันดีจากอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า "พันธะเวเฟอร์โดยตรง" เพื่อถ่ายโอนชั้นเซมิคอนดักเตอร์ III-V ที่มีความหนาเพียง 1.9 μm ไปบนซิลิคอนได้สำเร็จ หลังจากการกระตุ้นด้วยพลาสมาภายใต้สภาวะสุญญากาศสูง พื้นผิวถูกเชื่อมเข้าด้วยกันภายใต้แรงกด อะตอมบนพื้นผิวของเซลล์ย่อย III-V จะเกาะติดกับอะตอมซิลิคอน ทำให้เกิดอุปกรณ์แบบเสถียร ความซับซ้อนของโครงสร้างภายในไม่ปรากฏชัดจากรูปลักษณ์ภายนอกเซลล์มีหน้าสัมผัสที่เรียบง่ายทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนทั่วไป จึงสามารถรวมเข้ากับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะเดียวกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 2-23



รูปที่ 2-23 โครงสร้างเซลล์แบบ III-V on silicon cells
(ที่มา: High-efficiency III-V multijunction solar cells, 2018)

สารกึ่งตัวนำแบบผสม III-V ที่เชื่อมเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน แสงแดดที่มองเห็นได้จะถูกดูดกลืนในเซลล์บนสุดของแกลเลียม-อินเดียม-ฟอสไฟด์ (GaInP) แสงอินฟราเรดถูกดูดกลืนในแกลเลียม-อาร์เซไนด์ (GaAs) และความยาวคลื่นที่ยาวกว่านั้นถูกดูดกลืนในเซลล์ย่อยซิลิคอน ด้วยวิธีนี้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ซิลิคอนจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก

2) Perovskite on Silicon [19] เทคโนโลยีนี้คือการนำเซลล์แบบ Perovskite ไปทับซ้อนบนเซลล์แบบซิลิคอน ซึ่งข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด perovskite คือการดูดซับแสงได้ดีกว่าสารกึ่งตัวนำแบบแถบทางอ้อม เช่น ซิลิคอน นี่เป็นเรื่องจริงโดยเฉพาะในส่วนที่มองเห็นได้ของสเปกตรัม เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskite ร่วมกับอุปกรณ์ที่ทำจากผลึกซิลิคอน ระบบที่รวมกันนี้สามารถดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในส่วนที่มองเห็นได้ (ซึ่ง Perovskite มีบทบาทสำคัญ) และอินฟราเรดใกล้ โครงสร้างนี้เรียกกันทั่วไปว่าเซลล์แสงอาทิตย์ควบคู่ Perovskite – silicon ซึ่งมีโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2-24

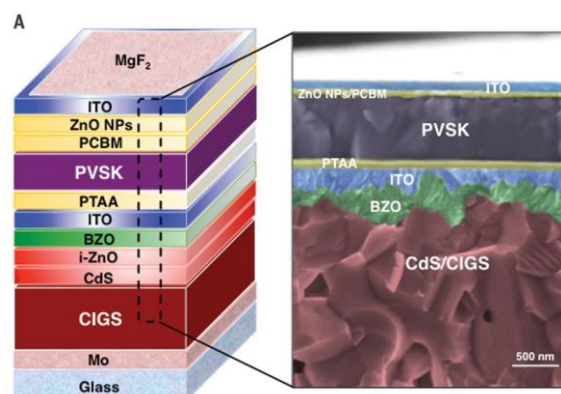


รูปที่ 2-24 โครงสร้างเซลล์แบบ Perovskite on silicon cells

(ที่มา: <https://www.fluxim.com/perovskite-silicon-tandem-solar-cell-simulation>, 2020)

ในเชิงทฤษฎีที่คาดหวังสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวอยู่ที่ประมาณ 40% ประสิทธิภาพจนถึงขณะนี้ประสบความสำเร็จในเซลล์แสงอาทิตย์แบบควมคือ 29.15% แม้จะมีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับขีดจำกัดทางทฤษฎี แต่ผลลัพธ์ที่ได้ก็แสดงให้เห็นแล้วว่าโซลูชันนี้มีแนวโน้มดีและการปรับปรุงเพิ่มเติมจะนำไปสู่อุปกรณ์ไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ง่ายต่อการประมวลผลซึ่งมีศักยภาพสูง

3) Perovskite on CIGS [20] เซลล์บนสุดคือเซลล์ perovskite ซึ่งใช้ดูดกลืนแสงในส่วนที่มองเห็นได้ของสเปกตรัมดวงอาทิตย์ ในขณะที่แสงในสเปกตรัมที่ใกล้อินฟราเรด ที่ผ่านเซลล์ Perovskite จะถูกเก็บเกี่ยวโดยเซลล์ CIGS ด้วยวิธีนี้ เซลล์ควมจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเซลล์ Perovskite และ CIGS แบบสแตนด์อโลน อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้เซลล์ Perovskite และ CIGS ต่างก็เป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง ซึ่งปูทางไปสู่เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความยืดหยุ่นสูงที่มีประสิทธิภาพสูง และสร้างโซลูชันเซลล์แสงอาทิตย์แบบบูรณาการ (BIPV) ซึ่งมีโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 2-25



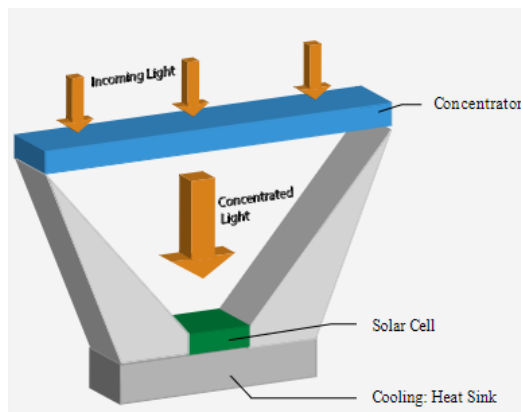
รูปที่ 2-25 โครงสร้างเซลล์แบบ Perovskite on CIGS cells

(ที่มา: High-performance perovskite/ Cu(In,Ga)Se₂ monolithic tandem solar cells, 2018)

การทำให้มีประสิทธิภาพสูงมีปัจจัยที่สำคัญอยู่ 2 ประการ ประการแรกการส่งผ่านของเซลล์ Perovskite สำหรับแสงที่ใกล้อินฟราเรด ได้รับการปรับปรุงโดยการเพิ่มขึ้น Coupling แบบออปติคัลลงในสแต็กควมและโดยการปรับอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างโปร่งใสให้เหมาะสม ประการที่สอง Perovskite เองได้รับการปรับให้เหมาะสมในแง่ของ Bandgap เพื่อประสิทธิภาพการที่สูงขึ้น

2.2.4 เซลล์แสงอาทิตย์แบบรวมแสง (Concentrating photovoltaic)

พื้นที่ขนาดใหญ่ของแสงแดดจะถูกโฟกัสไปที่เซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้อุปกรณ์ออปติคัลซึ่งแสดงดังรูปที่ 2-26 เทคโนโลยีนี้มีข้อได้เปรียบทางการแข่งขัน 3 ประการโดยมุ่งเน้นแสงแดดไปยังพื้นที่ขนาดเล็ก ประการแรกคือใช้วัสดุเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าในการจับแสงแดดเมื่อเทียบกับ PV ทั่วไป ประการที่สองคือทำให้การใช้เซลล์แบบมัลติจังก์ชัน (Multi-junction) ที่มีประสิทธิภาพสูงแต่มีราคาแพงในเชิงเศรษฐกิจ เนื่องจากความต้องการพื้นที่ขนาดเล็ก ประการที่สามคือระบบออปติคัลประกอบด้วยวัสดุมาตรฐานซึ่งผลิตขึ้นในกระบวนการที่ผ่านการพิสูจน์แล้วและเลนส์ยังมีราคาถูกกว่าเซลล์ อย่างไรก็ตาม แสงที่มีความเข้มข้นต้องการแสงแดดโดยตรงมากกว่าที่จะกระจายแสง ซึ่งจำกัดเทคโนโลยีนี้ให้อยู่ในสถานที่ที่ชัดเจนและมีแสงแดดส่องถึง [21]

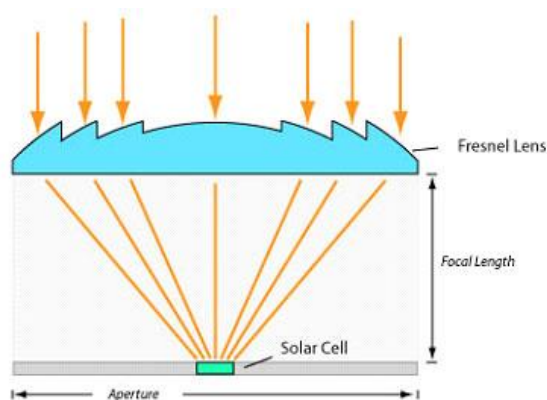


รูปที่ 2-26 เซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้อุปกรณ์ออปติคัล

(ที่มา: http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php, 2016)

โดยทั่วไปแล้ว Concentrating photovoltaic จะประกอบด้วยเทคโนโลยีเพิ่มความเข้มข้นทั้งหมด 3 รูปแบบ [21] ดังนี้

1) Fresnel lens เลนส์ Fresnel ซึ่งตั้งชื่อตามนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ประกอบด้วยส่วนต่างๆ หลายส่วนที่มีมุมต่างกัน ซึ่งช่วยลดน้ำหนักและความหนาเมื่อเปรียบเทียบกับเลนส์มาตรฐาน ด้วยเลนส์ Fresnel เป็นไปได้ที่จะได้ทางยาวโฟกัสสั้นและรับแสงขนาดใหญ่ในขณะที่รักษาเลนส์ไว้ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2-27

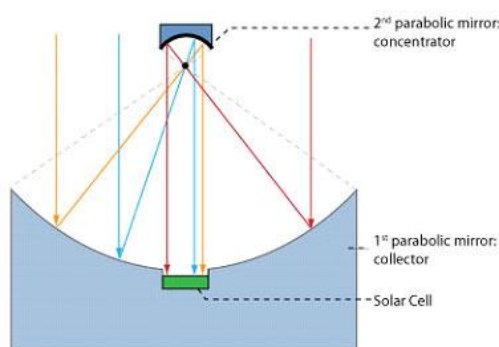


รูปที่ 2-27 หลักการทำงานของ Fresnel lens

(ที่มา: http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php, 2016)

เลนส์ Fresnel สามารถสร้างเป็นรูปร่างกลมเพื่อให้จุดโฟกัสที่มีอัตราส่วนความเข้มข้นประมาณ 500 หรือในรูปทรงกระบอกเพื่อให้เส้นโฟกัสมีอัตราส่วนความเข้มข้นต่ำกว่าด้วยอัตราส่วนความเข้มข้นสูงในเลนส์ Fresnel point จึงเป็นไปได้ที่จะใช้เซลล์สุริยะแบบหลายจุดแยกที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในไลน์คอนเดนเซอร์ เป็นเรื่องปกติที่จะใช้ซิลิคอนที่มีประสิทธิภาพสูง

2) Parabolic mirrors แสงคู่ขนานที่เข้ามาทั้งหมดจะสะท้อนโดยตัวสะสม (กระจกเงาตัวแรก) ผ่านจุดโฟกัสไปยังกระจกที่สอง กระจกอันที่สองนี้ ซึ่งเล็กกว่ามากยังเป็นกระจกพาราโบลาที่มีจุดโฟกัสเดียวกัน มันสะท้อนแสงลำแสงไปที่ตรงกลางของกระจกพาราโบลาแรกที่กระทบกับเซลล์แสงอาทิตย์ [21] ดังแสดงในรูปที่ 2-28

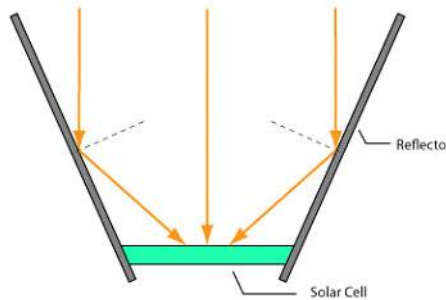


รูปที่ 2-28 หลักการทำงานของ Parabolic mirrors

(ที่มา: http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php, 2016)

ข้อดีของ Parabolic mirrors นี้คือไม่ต้องใช้เลนส์ออปติคัลอย่างไรก็ตาม ความสูญเสียจะเกิดขึ้นในกระจกทั้งสองบาน SolFocus บรรลุอัตราส่วนความเข้มข้น 500 ในรูปหัวจุดพร้อมกาติดตามแกนคู่

3) Reflectors โมดูลโฟโตโวลตาอิกที่มีความเข้มข้นต่ำใช้กระจกเพื่อรวมแสงอาทิตย์ เข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์บ่อยครั้งที่กระจกเหล่านี้ผลิตขึ้นด้วยโลหะเคลือบซิลิโคน เทคนิคนี้ช่วยลดการสูญเสียการสะท้อนโดยการให้กระจกภายในตัวที่สองอย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2-29



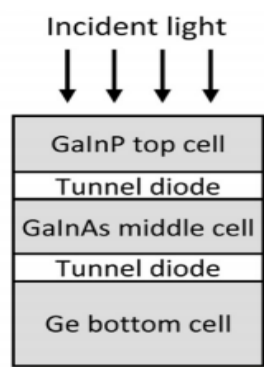
รูปที่ 2-29 หลักการทำงานของ Reflectors

(ที่มา: http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php, 2016)

มุมของกระจกขึ้นอยู่กับมุมเอียงและละติจูด ตลอดจนการออกแบบโมดูล แต่โดยทั่วไปแล้วค่าที่อัตราส่วนความเข้มข้นทำได้ตั้งแต่ 1.5 - 2.5 เซลล์ที่มีความเข้มข้นต่ำมักทำจากซิลิคอนโมโนคริสตัลไลน์ ไม่จำเป็นต้องระบายความร้อน

สำหรับระบบ HCPV เซลล์ที่ใช้กันมากที่สุดคือเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multi-junction ที่มีการผสมผสานวัสดุ III-V เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากเคมีคอนดักเตอร์ III-V มีประสิทธิภาพสูงสุดของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ใดๆ จนถึงปัจจุบัน [22]

วัสดุที่ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวประกอบด้วยสารประกอบของธาตุในกลุ่ม III และ V ของตารางธาตุเช่น InP, InAs, GaAs, GaN และ InSb เป็นต้น ข้อกำหนดเบื้องต้นสำหรับประสิทธิภาพสูงดังกล่าวคือความเป็นไปได้ในการซ้อนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากเคมีคอนดักเตอร์ III-V ที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถใช้สเปกตรัมแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสามทางแยกทั่วไปดังรูปที่ 2-30



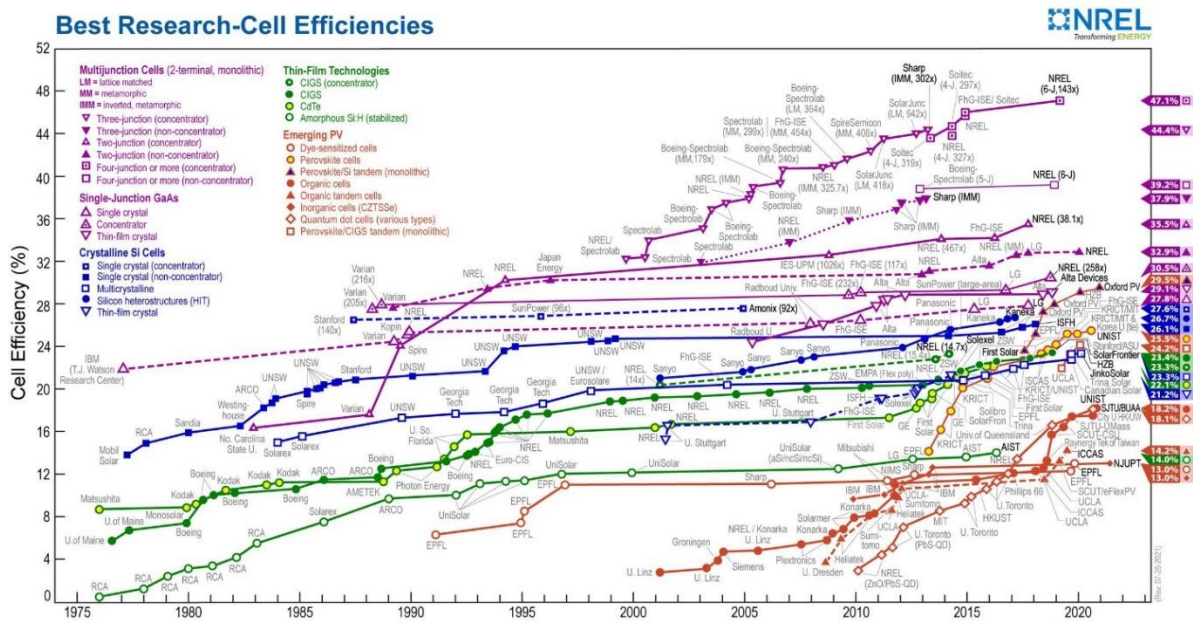
รูปที่ 2-30 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสามทางแยกทั่วไป

(ที่มา: High-efficiency III-V multijunction solar cells, 2018)

เซลล์ย่อยสามเซลล์ที่ประกอบด้วย GaInP, GaInAs และ Ge วางซ้อนกันอยู่ด้านบนซึ่งกันและกัน อนุกรมเชื่อมต่อกันด้วยอุโมงค์ไดโอด กฎแสงการใช้สเปกตรัมแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพคือแต่ละเซลล์ย่อยมีแถบความถี่ที่สูงกว่าด้านล่างด้วยวิธีนี้เซลล์ย่อยแต่ละเซลล์จะดูดซับแสงจากช่วงสเปกตรัมที่ใกล้เคียงกับแถบความถี่มากที่สุด จึงช่วยลดการสูญเสียจากความร้อน นอกจากนี้การสูญเสียการส่งผ่านยังสามารถลดลงได้ หากแบนด์แกปต่ำสุดของสแต็กมีแบนด์แกปที่ต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบจุดต่อทางเดียวทั่วไป วิธีการนี้ส่งผลให้อุปกรณ์มีหน้าสัมผัสสวบกและลบหน้าสัมผัสเดียว เนื่องจากเซลล์ย่อยเชื่อมต่อกันเป็นอนุกรมภายในเซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายจุด กระแสทั้งหมดจะถูกจำกัดโดยกระแสต่ำสุดที่สร้างโดยเซลล์ย่อยหนึ่งเซลล์ ดังนั้นการจับคู่เซลล์ย่อยในปัจจุบันจึงเป็นลักษณะการออกแบบส่วนกลางสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multi-junction III-V โดยส่วนใหญ่ จะถูกนำมาใช้ในการใช้งานที่แตกต่างกันที่โดดเด่นที่สุดคือดาวเทียมและยานอวกาศ

2.2.5 ภาพรวมเทคโนโลยีที่สำคัญสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์

จากเทคโนโลยีที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งดูได้จากการพัฒนาประสิทธิภาพจากอดีตจนถึงปัจจุบันจากกราฟรูปที่ 2-31 ของ National renewable energy laboratory (NREL)

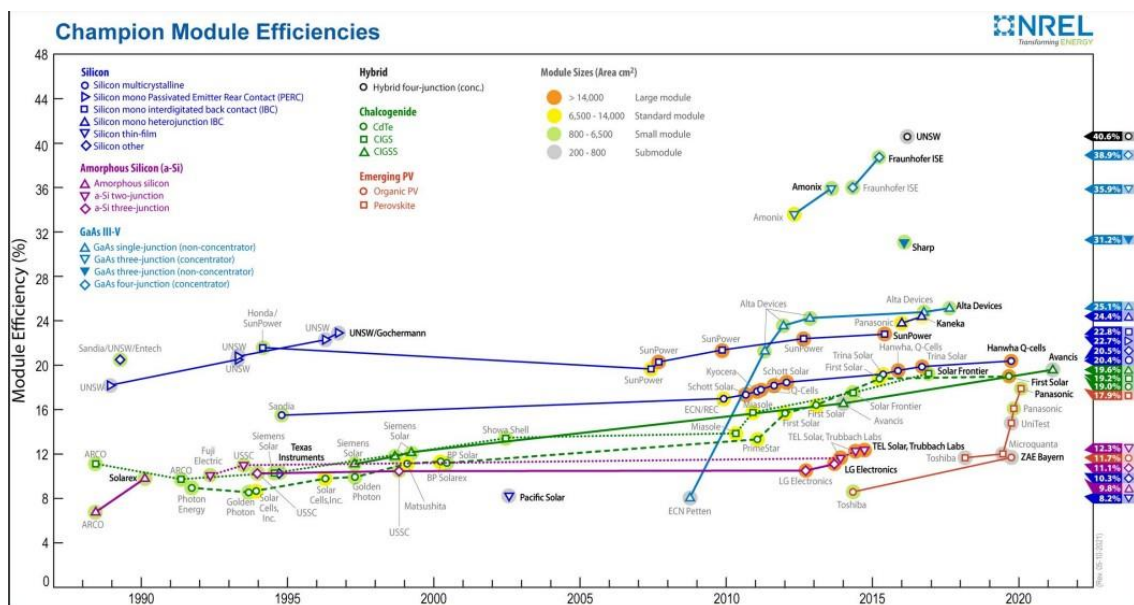


รูปที่ 2-31 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จากอดีตจนถึงปัจจุบัน
(ที่มา: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>, 2021)

จากกราฟของ NREL จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเป็นอันดับที่ 1 คือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multi-junction ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์แบบรวมแสง

มีประสิทธิภาพสูงถึง 47.1% อันดับที่ 2 คือเซลล์แสงอาทิตย์แบบควมคุมชนิด Perovskite on silicon ที่มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 29.5% อันดับที่ 3 คือเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนผลึกแบบเวเฟอร์ชนิด Monocrystalline มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 26.1% และอันดับสุดท้ายคือเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางมีชนิด Perovskite ประสิทธิภาพอยู่ที่ 25.5%

ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานส่วนใหญ่แล้วจะต้องนำเซลล์หลายๆ เซลล์มาต่อกันแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น ซึ่งเซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมจะถูกเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar module หรือ Solar panel) ดังนั้นนอกจากจะมีการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดแล้ว ยังต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละชนิด เช่นเดียวกันเพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 2-32



รูปที่ 2-32 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดกับปีที่ผลิต

(ที่มา: <https://www.nrel.gov/pv/module-efficiency.html>)

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดได้ถูกนำมาพัฒนาและทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ได้รับมาตรฐานจากผู้พัฒนาหลายกลุ่ม โดยสามารถสรุปช่วงเวลาสำคัญสำหรับการพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดได้ดังนี้

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์เป็นเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้วัสดุเป็นสารกึ่งตัวนำซิลิคอนแบบผลึก (Crystalline) โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโน-คริสตัลไลน์รุ่นแรกๆ ในปี ค.ศ. 1993-1996 ได้มีการใช้เทคโนโลยีการออกแบบเซลล์แบบ PERC ซึ่งช่วยให้การไหลของอิเล็กตรอนมีค่าคงที่และสม่ำเสมอมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้กระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การใช้เทคโนโลยีการออกแบบเซลล์แบบดังกล่าวยังช่วยเพิ่มความสามารถของเซลล์แสงอาทิตย์ในการจับแสงและสะท้อนความยาวคลื่นที่สะสมอยู่ชั้นด้านล่างเพื่อรักษาอุณหภูมิของ

เซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงทำให้มีประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงถึง 22.7% ต่อมาในปี ค.ศ. 1994-2015 ได้มีการพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์โดยเปลี่ยนเทคโนโลยีการออกแบบเซลล์จากแบบ PERC เป็นแบบ IBC ซึ่งการพัฒนาดังกล่าวส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพมากขึ้นเป็น 22.8% เนื่องจากการออกแบบเซลล์แบบ IBC สามารถช่วยในการป้องกันการสูญเสียจากการบังแสงทั้งหมด โดยวางหน้าสัมผัสทั้งสองไว้ที่บริเวณด้านหลังของเซลล์ซึ่งจะช่วยให้หน้าสัมผัสทั้งสองสามารถเชื่อมต่อกันได้ง่ายขึ้นและสามารถวางไวใกล้กันได้มากขึ้นในแผงเซลล์ สุดท้ายในปี ค.ศ. 2016 ได้มีการพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์โดยนำเทคโนโลยีการออกแบบเซลล์แบบ IBC มาใช้งานร่วมกับแบบ HJT เพื่อช่วยให้เซลล์สามารถดูดซับแสงได้มากขึ้นจากการเพิ่มชั้นฟิล์มบางเข้าไปที่ด้านบนและด้านล่างของเซลล์ ซึ่งส่งผลให้แผงเซลล์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 24.4% ในที่สุด จากหลักการพัฒนาดังกล่าวจะเห็นว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์มีค่าเพิ่มมากขึ้นผ่านการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเทคโนโลยีการออกแบบเซลล์ ซึ่งแตกต่างจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ที่มีการพัฒนาค่าประสิทธิภาพโดยการเพิ่มจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านการต่อบอนนุกรม โดยในปี ค.ศ. 1994 พบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์มีค่าอยู่ที่ 15.5% เมื่อต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบบอนนุกรมกัน 24 เซลล์ ขณะที่ประสิทธิภาพของแผงเซลล์ถูกปรับปรุงให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็น 17% ผ่านการเพิ่มจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อบอนนุกรมเป็น 36 เซลล์ในปี ค.ศ. 2009 โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ดังกล่าวถูกพัฒนาให้มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 20.4% ในช่วงปี ค.ศ. 2010-2019 โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์มาต่อบอนนุกรมกันทั้งหมด 60 เซลล์ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเพิ่มจำนวนการต่อบอนนุกรมกันของเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 120 เซลล์กลับทำให้แผงเซลล์มีประสิทธิภาพลดลงมาที่ 19.9% ในปี ค.ศ. 2015-2016

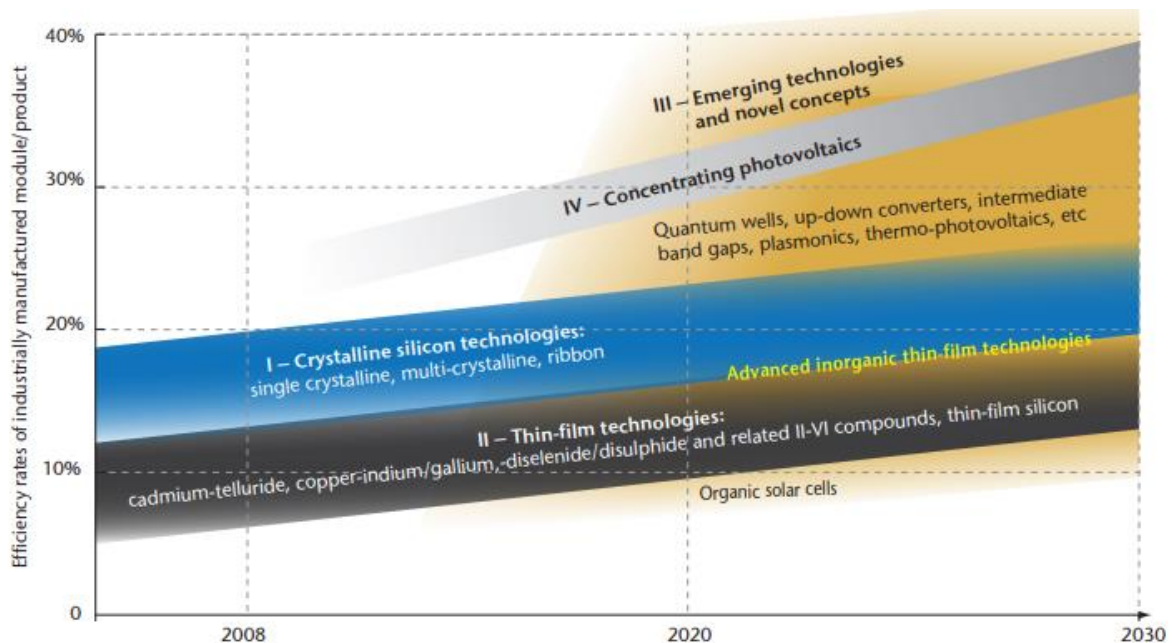
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่อไปที่จะกล่าวถึงคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง โดยในปี ค.ศ. 1993-2019 ได้มีการนำวัสดุชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) มาใช้เป็นส่วนประกอบของแผงเซลล์ ซึ่งวัสดุดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นชั้น Photoconversion หลักและสามารถดูดซับแสงที่มองเห็นได้มากที่สุดภายในวัสดุ ดังนั้นจึงทำให้แผงเซลล์มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 19% ขณะที่ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน (ปี ค.ศ. 1998-2021) ก็ได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางโดยการใช้แผงเซลล์ที่ทำจากวัสดุอีกชนิดคือ คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (CIGS) โดยฟิล์มบางของ CIGS ที่มีองค์ประกอบและโครงสร้างที่เหมาะสมจะทำให้ตัวพาประจุไฟฟ้าที่สร้างด้วยแสงอยู่ได้นานเพียงพอในชั้น CIGS ของอุปกรณ์ ซึ่งส่งผลให้สามารถแยกและเก็บที่ด้านหน้าและด้านหลังของหน้าสัมผัสเพื่อนำไปสู่ประสิทธิภาพของการแปลงที่สูงขึ้นได้ ดังนั้นจึงทำให้แผงเซลล์ที่ทำจากวัสดุดังกล่าวมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 19.6% นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2008-2019 ยังมีการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางชนิดสารอินทรีย์ (Organic photovoltaic, OPV) ขึ้นซึ่งมีความหลากหลายของวัสดุอินทรีย์ที่สามารถออกแบบและสังเคราะห์สำหรับตัวดูดซับ ตัวรับ และส่วนต่อประสาน ช่วยให้สามารถออกแบบสถาปัตยกรรมอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพมากขึ้น โดยมีประสิทธิภาพของแผงเซลล์สูงสุดอยู่ที่ 11.7% สุดท้ายในช่วงปี ค.ศ. 2016-2020 ได้มีการสร้างและพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Perovskites ซึ่งมีคุณสมบัติโฟโตอิเล็กทริกที่ดีเยี่ยม มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

แสงที่สูง และวัสดุมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกขนาดใหญ่ซึ่งทำให้อิเล็กตรอนและโฮลสามารถเคลื่อนที่และรวมกันได้ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดังกล่าวให้ค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 17.9%

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสุดท้ายคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรวมแสง โดยในปี ค.ศ. 2000-2013 ได้ใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด III-V three-junction ซึ่งประกอบไปด้วยเซมิคอนดักเตอร์กลุ่ม 3 และ 5 คือ InGaP, GaAs และ InGaAs เป็นเซลล์ย่อยสามเซลล์ที่วางซ้อนทับกันอยู่เซลล์ย่อยแต่ละเซลล์มีแถบ ความถี่ที่สูงกว่าด้านล่างด้วยวิธีนี้เซลล์ย่อยแต่ละเซลล์จะดูดซับแสงจากช่วงสเปกตรัมที่ใกล้เคียงกับ แถบความถี่มากที่สุดทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด จึงทำให้ได้ประสิทธิภาพแผงเซลล์สูงสุดอยู่ที่ 35.9% และในปี ค.ศ. 2008-2015 ได้ใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด III-V four-junction ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ย่อย GaInP/GaAs เป็นเซลล์ควบคู่ที่อยู่ด้านบนและเซลล์ย่อย GaInAsP/GaInAs เป็นเซลล์ควบคู่ที่อยู่ด้านล่างโดย เซลล์ย่อยทั้งสองเชื่อมกันด้วยชั้น Wafer bonding ทำให้เกิดเป็น four-junction ซึ่งดูดซับสเปกตรัมของแสง ได้ดีขึ้นทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงทำให้ได้ประสิทธิภาพแผงเซลล์สูงสุดอยู่ที่ 38.9%

2.3 แนวโน้มการผลิตและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

แนวโน้มการผลิตจะขึ้นอยู่กับแนวโน้มของเทคโนโลยี ซึ่งดูจากต้นทุนการผลิตและประสิทธิภาพ โดย แนวโน้มของเทคโนโลยีจะมุ่งเน้นไปที่การลดต้นทุนการผลิตและพัฒนาประสิทธิภาพให้เพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 2-33

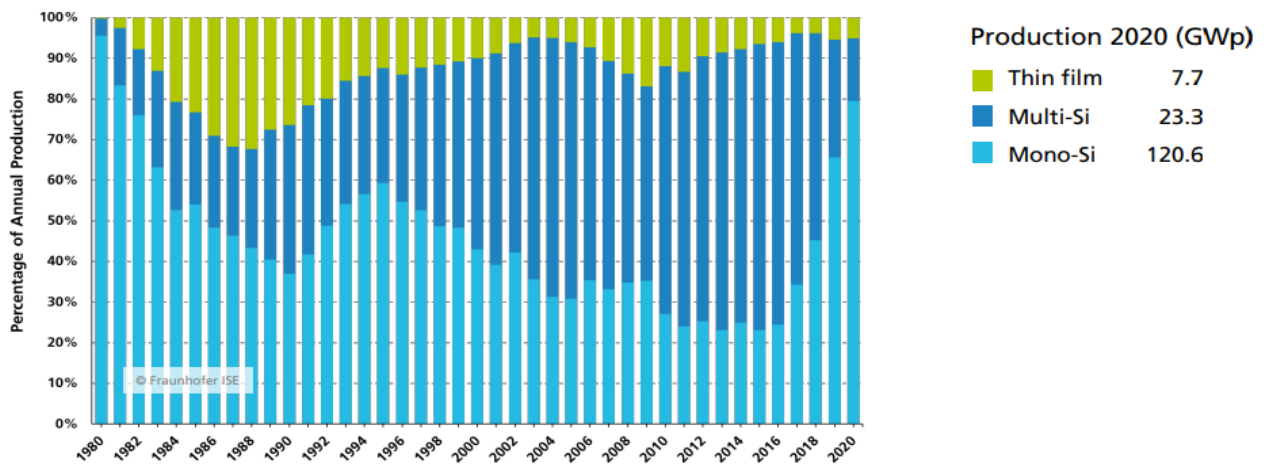


รูปที่ 2-33 สถานะและโอกาสของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์
(ที่มา: Technology roadmap solar photovoltaic energy, 2010)

ประสิทธิภาพของโมดูลเชิงพาณิชย์โดยทั่วไปคาดว่าจะเพิ่มขึ้นจาก 16% ในปี พ.ศ. 2553 เป็น 25% ในปี พ.ศ. 2573 โดยมีศักยภาพเพิ่มขึ้นถึง 40% ในปี พ.ศ. 2593 ในขณะเดียวกัน การใช้พลังงานและวัสดุในกระบวนการผลิตจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ระยะเวลาคืนพลังงานของระบบ PV สั้นลงอย่างมาก โดยคาดว่าจะลดลงจากสูงสุด 2 ปีในปี พ.ศ. 2553 เป็น 0.75 ปีในปี พ.ศ. 2573 และต่ำกว่า 0.5 ปีในระยะยาว สุดท้ายอายุการใช้งานคาดว่าจะเพิ่มขึ้นจาก 25 ปี เป็น 40 ปี ซึ่งจะเจาะลึกไปดูแลแนวโน้มของเทคโนโลยีที่สำคัญ [12] ดังนี้

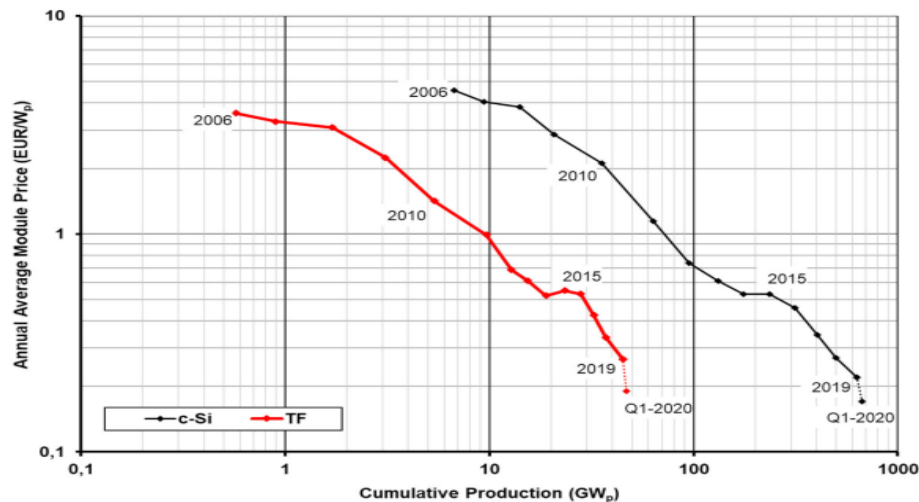
1) Crystalline silicon

เทคโนโลยี PV ที่ใช้ Si-wafer คิดเป็นประมาณ 95% ของการผลิตทั้งหมดในปี ค.ศ. 2020 ส่วนแบ่งของเทคโนโลยีโมโนคริสตัลไลน์ขณะนี้อยู่ที่ประมาณ 84% (เทียบกับ 66% ในปี ค.ศ. 2019) ของการผลิต c-Si ทั้งหมด [23] ดังรูปที่ 2-34



รูปที่ 2-34 เปอร์เซนต์ของการผลิตประจำปีทั่วโลก
(ที่มา: Photovoltaics report, 2020)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน คาดว่ายังคงเป็นเทคโนโลยี PV ที่โดดเด่น เนื่องจากเทคโนโลยีนี้ได้รับพิสูจน์แล้วและเชื่อถือได้ อายุการใช้งานยาวนาน และทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตมีอยู่มากมาย ความท้าทายหลักสำหรับโมดูล c-Si คือการปรับปรุงประสิทธิภาพและประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรผ่านการผลิตวัสดุ แต่ส่วนแบ่งในตลาดอาจจะลดลงในระยะยาวเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านประสิทธิภาพกำลังจะถึงจุดสูงสุดในอีกไม่นานนี้ และมีแนวโน้มต้นทุนการผลิตดังรูปที่ 2-35

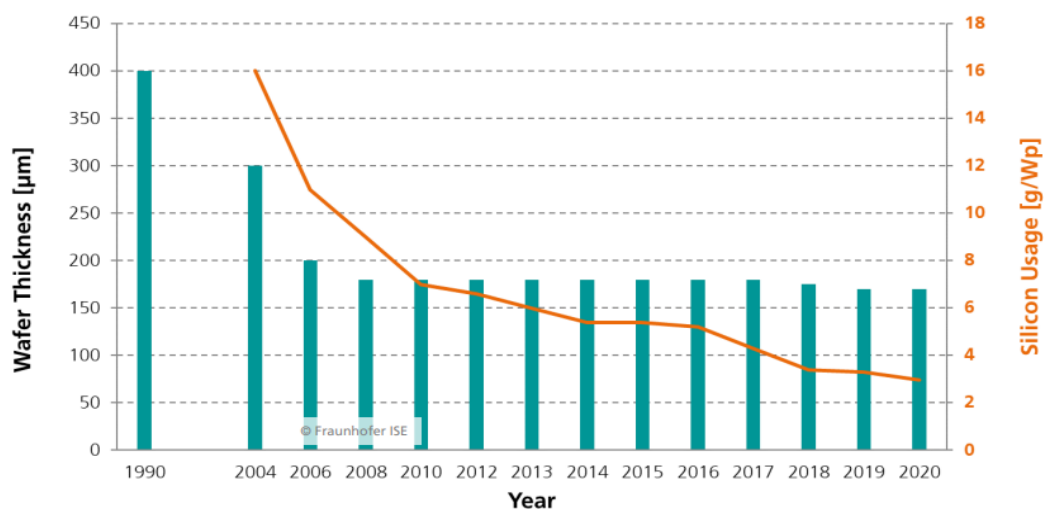


รูปที่ 2-35 แนวโน้มต้นทุนการผลิต

(ที่มา: PV cells and modules – State of the art, limits and trends, 2020)

จากกราฟต้นทุนการผลิตจะเห็นว่าต้นทุนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนมีแนวโน้มต้นทุนที่ลดลงเนื่องจากวัสดุมีจำนวนมากต้นทุนต่ำ ความต้องการในตลาดสูง เทคโนโลยีใหม่ที่น่าไปสู่กระบวนการผลิตใหม่ที่ลดต้นทุน และการเพิ่มปริมาณการผลิต

จากรูปที่ 2-36 จะเห็นว่าซิลิคอนที่ใช้ในการผลิตมีแนวโน้มลดน้อยลงทุกปี เนื่องจากเทคโนโลยีทำให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ดีขึ้น และจากการสูญเสียเพิ่มเติมบางส่วนอาจเกิดจากการผลิตโมดูลทำให้ประสิทธิภาพของโมดูลต่ำกว่าประสิทธิภาพของเซลล์ ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพของโมดูลสามารถทำได้โดยใช้เทคโนโลยีเซลล์แบบ Half-cut หรือการออกแบบ Shingling ซึ่งการปรับปรุงเหล่านี้ทำให้ใช้วัสดุตั้งต้นอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

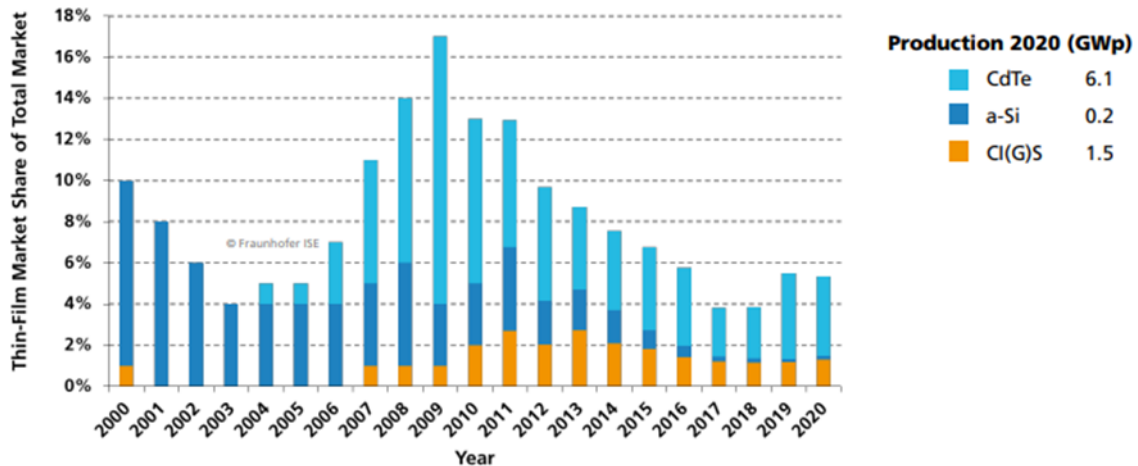


รูปที่ 2-36 แนวโน้มการใช้ซิลิคอนต่อวัตต์ในแต่ละปี

(ที่มา: Photovoltaics report, 2020)

2) Thin film

เทคโนโลยีนี้ประสบความสำเร็จในการคว้าส่วนแบ่งตลาดพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น ส่วนแบ่งการตลาดการผลิตแผ่นฟิล์มบางในตลาดเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด ในปี ค.ศ. 2009 แต่ด้วยความโดดเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนเวฟเฟอร์จึงทำให้ส่วนแบ่งทางการตลาดลดลง [4] ดังรูปที่ 2-37



รูปที่ 2-37 เปอร์เซ็นต์ของการผลิต Thin film ประจำปีทั่วโลก

(ที่มา: Photovoltaics report, 2020)

อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CdTe เป็นฟิล์มบางประเภทเฮมิคอนดักเตอร์ II-VI และมีกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างง่าย ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง เทคโนโลยี CdTe มีสัดส่วนในการผลิตสูงสุดของเทคโนโลยีฟิล์มบางทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีเวลาคืนทุนพลังงานเป็นเวลาแปดเดือน ซึ่งเป็นเวลาที่สั้นที่สุดในบรรดาเทคโนโลยี PV ที่มีอยู่ทั้งหมด สำหรับเซลล์ CIGS กระบวนการผลิตมีความต้องการมากขึ้นและส่งผลให้มีต้นทุนและประสิทธิภาพที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับเซลล์ CdTe ปัจจุบันนี้ CdTe ประสบความสำเร็จในด้านที่โดดเด่นในหมู่ฟิล์มบางในแง่ของส่วนแบ่งการตลาดและมีราคาต่อวัตต์เป็นผู้นำตลาด อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะคาดการณ์ว่าเทคโนโลยีฟิล์มบางชนิดใดจะเข้าถึงส่วนแบ่งการตลาดที่สูงขึ้นในมุมมองระยะกลางและระยะยาว [12]

จากรูป 2-35 จะเห็นได้ว่าต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางมีแนวโน้มต้นทุนที่ลดลงเนื่องจากการผลิตที่ง่าย เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังลดลงไม่เท่ากับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนเนื่องจากอายุการใช้งานที่สั้นกว่า ประสิทธิภาพและความต้องการในตลาดที่น้อยกว่า

จากตารางที่ 2-1 จะเห็นได้ว่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางมีแนวโน้มลดน้อยลง เนื่องจากเทคโนโลยีทำให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางดีขึ้น ซึ่งทำให้ใช้วัสดุตั้งต้นอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตารางที่ 2-1 แนวโน้มการใช้วัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง

Technology	Material	Scenario	Unit	2018	2030	2050
CdTe	Cd	LDS	t/GW	35.0	20.0	10.0
CdTe	Cd	MDS	t/GW	50.0	27.0	12.0
CdTe	Cd	HDS	t/GW	85.0	60.0	35.0
CdTe	Te	LDS	t/GW	35.0	20.0	11.0
CdTe	Te	MDS	t/GW	52.0	27.0	15.0
CdTe	Te	HDS	t/GW	95.0	70.0	40.0
CIGS	Cu	LDS	t/GW	20.0	12.5	6.0
CIGS	Cu	MDS	t/GW	22.0	15.0	10.5
CIGS	Cu	HDS	t/GW	24.0	17.5	15.0
CIGS	In	LDS	t/GW	10.0	8.0	5.0
CIGS	In	MDS	t/GW	15.0	10.0	6.0
CIGS	In	HDS	t/GW	27.0	17.0	10.0
CIGS	Ga	LDS	t/GW	3.0	2.0	1.0
CIGS	Ga	MDS	t/GW	4.0	2.5	1.5
CIGS	Ga	HDS	t/GW	7.0	4.5	2.5
CIGS	Se	LDS	t/GW	22.0	17.0	9.0
CIGS	Se	MDS	t/GW	35.0	20.0	12.0
CIGS	Se	HDS	t/GW	60.0	40.0	20.0
a-Si	Si	LDS	t/GW	150.0	75.0	40.0
a-Si	Si	MDS	t/GW	150.0	100.0	75.0
a-Si	Si	HDS	t/GW	150.0	130.0	110.0
a-Si	Ge	LDS	t/GW	48.0	22.0	10.0
a-Si	Ge	MDS	t/GW	48.0	27.0	15.0
a-Si	Ge	HDS	t/GW	48.0	32.0	20.0

3) Tandem PV

สำหรับการคาดการณ์ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์แบบควบคู่เข้าสู่ตลาด โดยทั่วไปจำเป็นต้องมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าปรับเฉลี่ยตลอดอายุการใช้งาน (Levelized cost of electricity, LCOE) ที่ต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปในตลาด ซึ่งหมายความว่าจำเป็นต้องลดต้นทุนของวัสดุและการแปรรูปแต่ยังคงให้ประสิทธิภาพที่สูงอยู่ แต่เนื่องด้วยต้นทุนของเซลล์แสงอาทิตย์แบบควบคู่มีต้นทุนในการผลิตสูงที่แตกต่างจากการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป จึงคาดว่าจะสามารถนำเข้าสู่ตลาดได้โดยการใช้งานแบบพิเศษ เช่น ใช้ในงานในยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ที่ต้องการประสิทธิภาพสูง เป็นต้น [24]

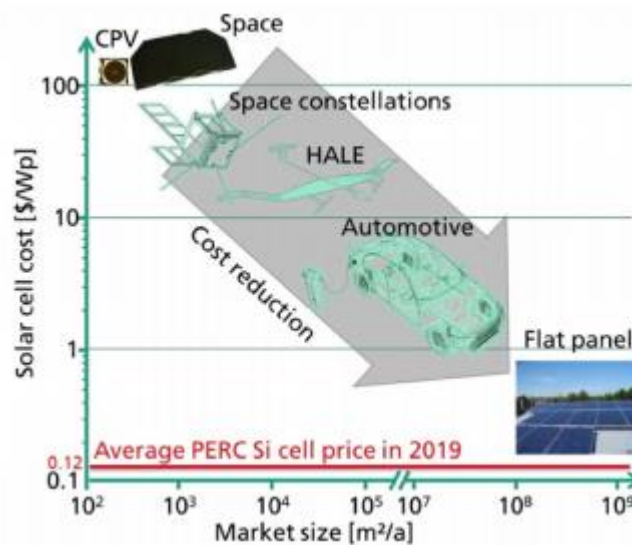
การสร้างความแตกต่างที่ให้เห็นชัดเจนระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์แบบควบคู่กับเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป ในด้านการใช้งานที่พิเศษและประสิทธิภาพที่สูงจะเป็นกุญแจสำคัญในการเข้าสู่ตลาดและขยายขนาดตลาดในขั้นต้นเพราะมีแนวโน้มว่าต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบควบคู่จะสูงกว่าต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปในการพิสูจน์และได้รับความน่าเชื่อถือในตลาด แล้วขั้นตอนต่อไปที่สำคัญคือการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์แบบควบคู่โดยที่ค่าของ LCOE ยังมีค่าที่ต่ำอยู่ [24]

4) Concentrator technologies (CPV)

เทคโนโลยีนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพสูงที่สุดจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ III-V Multi-junction วัสดุ III-V ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์บาง (ชั้นดูดซับจะมีความหนาระหว่าง 2 ถึง 5 μm), ยึดหยุ่นซึ่งสามารถใช้ได้

บนพื้นผิวโค้งและยังมีความเสถียรมาก ซึ่งตอบสนองต่อการนำไปใช้งานทั้งในปัจจุบันและอนาคต แต่เนื่องจากต้นทุนในการผลิตที่สูงและปริมาณงานในการผลิตที่ต่ำจึงทำให้เทคโนโลยีนี้มีราคาแพง [24]

อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์แบบ III-V แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่สูงมาก จึงทำให้มีตลาดบางแห่งที่ยอมรับเทคโนโลยีนี้โดยไม่ต้องแข่งขันทางด้านต้นทุนที่เท่ากันหรือต่ำกว่าของเทคโนโลยี PV ทั่วไป เช่น การใช้งานทางทหาร, ยานพาหนะที่ต้องการความทนทานสูง, ใช้ในอวกาศ และ รถยนต์หรือเครื่องบินไฟฟ้าที่รองรับพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น [24] ดังรูปที่ 2-38



รูปที่ 2-38 โอกาสขยายตลาดเมื่อลดต้นทุนเซลล์แสงอาทิตย์

(ที่มา: The 2020 photovoltaic technologies roadmap, 2020)

จากรูปแสดงให้เห็นถึงโอกาสของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ III-V ในการขยายตลาดให้ใหญ่ขึ้นเมื่อสามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มปริมาณงานในการผลิตให้มากขึ้น

5) สรุปเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

สรุปเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ข้างต้น ดังตารางที่ 2-2 จะเห็นว่าเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์แบบคริสตัลไลน์ซิลิคอน (Crystalline silicon, c-Si) และแบบฟิล์มบาง (Thin film) มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ โดยสามารถผลิตออกมาได้ในปริมาณมากเนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบชนิดอื่น ดังนั้นจึงทำให้เซลล์ทั้งสองชนิดนี้โดยเฉพาะแบบคริสตัลไลน์ซิลิคอนได้รับความนิยมและเป็นที่ต้องการในท้องตลาดซึ่งจะเห็นจากการมีส่วนแบ่งแถบจะทั้งหมดของตลาดเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน แต่ทว่าเซลล์ที่ผลิตขึ้นจากทั้งสองเทคโนโลยีดังกล่าวยังคงมีข้อเสียในเรื่องของประสิทธิภาพและอุณหภูมิการใช้งานที่ต่ำ โดยมีค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 25%-26% เท่านั้น และเมื่อถูกนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์มีค่าลดลง ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์แบบควม (Tandem PV) ที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงกว่าเซลล์ทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว

เล็กน้อยแต่กลับมีต้นทุนในการผลิตที่สูงกว่าเกือบ 315 เท่า ดังนั้นจึงส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์แบบควบคู่ยังไม่ถูกนำมาใช้งานจริงเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูงและมีความซับซ้อนมากในกระบวนการผลิต ในทางกลับกันการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เทคโนโลยีแบบรวมแสง (Concentrator technologies, CPV) ถึงแม้ว่าจะมีต้นทุนในการผลิตที่สูงกว่าเทคโนโลยีการผลิตชนิดอื่นทั้งหมด แต่ก็ให้ค่าประสิทธิภาพของการทำงานที่สูงถึง 47.1% เช่นกัน โดยเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์แบบรวมแสงดังกล่าวนอกจากจะมีประสิทธิภาพการทำงานและความคงทนที่สูงแล้ว ยังสามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเกิน 150 องศาเซลเซียสได้ ดังนั้นจึงถูกนิยมนำไปใช้งานในอวกาศหรือในสถานที่ที่มีความเข้มแสงมากเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของการทำงานที่มากที่สุด

ตารางที่ 2-2 สรุปเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์	ต้นทุนการผลิต	ประสิทธิภาพสูงสุด	ความคงทน	อายุการใช้งาน	การใช้งาน
Crystalline silicon(c-Si)	\$0.2/W, น้อยกว่า 4 g/W (Mono)	26.1%	แตกหักได้จากแรงทางกลเนื่องจากเซลล์มีความซับซ้อน โดยไม่ควรมีการงอเกิน 1-2 ซม. เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่สูงและควรหลีกเลี่ยงการตัดซ้ำๆ	25-40 ปี	นิยมนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตต่ำและให้ปริมาณงานในการผลิตสูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนานแต่ให้ประสิทธิภาพของการทำงานค่อนข้างต่ำ
	\$0.177/W, น้อยกว่า 4 g/W (Multi)	23.3%	นอกจากนี้เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลง 0.5% ต่อ 1 เคลวิน	20-35 ปี	
Thin film	\$0.221/W,0.102 g/W	25.5%	มีความยืดหยุ่น น้ำหนักเบาและงอได้เต็มที่เนื่องจากเซลล์มีความบาง โดยเมื่อนำมาใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพการทำงานน้อยกว่าเซลล์แบบ c-Si	10-25 ปี	ถูกนำมาใช้งานน้อยเนื่องจากมีอายุและประสิทธิภาพของการทำงานที่ต่ำกว่าเทคโนโลยีการผลิตแบบ c-Si
Tandem PV	\$97.15/W	29.5%	ความยืดหยุ่นของเซลล์และผลกระทบจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีความคล้ายคลึงกับเซลล์แบบ c-Si เนื่องจากชั้นด้านล่างของเซลล์ส่วนใหญ่มีส่วนประกอบเป็นซิลิคอน	คาดการณ์ 25ปี	ยังไม่ถูกนำมาใช้งานจริงเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูงและปริมาณงานในการผลิตต่ำมาก

ตารางที่ 2-2 สรุปเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์	ต้นทุนการผลิต	ประสิทธิภาพสูงสุด	ความคงทน	อายุการใช้งาน	การใช้งาน
Concentrator technologies (CPV)	\$100/W	47.1%	มีความคงทนของเซลล์ที่ดีและสามารถทำงานได้ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงเกิน 150 องศาเซลเซียสเนื่องจากเซลล์ต้องนำไปใช้ในความเข้มแสงที่มากและใช้ในอวกาศ	25-30 ปี	ถูกนำไปใช้งานเฉพาะกลุ่ม เช่น ในอวกาศ และทางด้านการทหาร เป็นต้น เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูงและปริมาณงานในการผลิตต่ำ

โดยจากตารางดังกล่าวจะเห็นว่าเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดมีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดจึงต้องมีการคำนึงถึงจุดประสงค์ของการใช้งานเป็นหลัก โดยมีปัจจัยด้านต้นทุนการผลิต อายุการใช้งาน ประสิทธิภาพ และความคงทนเป็นส่วนประกอบของการตัดสินใจ

2.4 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากองค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นพลังงานทางเลือกที่สะอาด เนื่องจากไม่มีขั้นตอนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในขั้นตอนกระบวนการผลิตไฟฟ้า ทำให้ไม่ก่อเกิดมลพิษทางอากาศ แต่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากซากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีย่อยด้วยกันหลายปัจจัย กล่าวคือ จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ อันได้แก่ ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงวิธีการกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ถูกต้อง ย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.4.1 ผลกระทบจากสารเคมีที่มีความเป็นพิษของเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงการผลิต

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ นั้นมีการใช้สารเคมีที่มีความหลากหลายมาก โดยสามารถแสดงได้ในตารางที่ 2-3 ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกซิลิคอนทั้งแบบผลึกเดี่ยวและหลายรูป ซึ่งมีการใช้ไฮโดรไฟเป็นจำนวนมาก สารเคมีที่มีฤทธิ์กัดกร่อน เช่น กรดต่างๆ และยังมีการใช้สารอื่นๆ เช่น อาร์ซีน (AsH_3) และฟอสฟีน (PH_3) ที่เป็นสารไวไฟในการผลิต จะเกิดเป็นของเสียที่มีความอันตรายสูง เช่น ไฮโดรเจนคลอไรด์ ($SiCl_4$) ออกมา สำหรับแบบผลึกเดี่ยวการใช้สารพวกแอมโมเนียฟลูออไรด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสออกไซด์คลอไรด์ เนื่องจากเป็นสารเคมีอันตรายจึงจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการใช้งานสำหรับแบบผลึกรวมมีการใช้สารอันตรายอีกเป็นจำนวนมาก ได้แก่ แอมโมเนีย ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบต่างๆ ไดโบเรน ไฮโดรเจน เอซิลอะซีเตต เอซิลไวโนลอะซีเตต ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไนโตรเจนสแตนนิกคลอไรด์ เป็นต้น [25]

มีการศึกษาเรื่องความเป็นพิษของเซลล์แสงอาทิตย์โดยสถาบันสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของสหรัฐอเมริกาพบว่า สารเคมีที่ใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์โดยเฉพาะธาตุ

แคดเมียมนั้นมีความเป็นพิษสูงที่สุด ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง CIS/CIGS มีความเป็นพิษรองลงมา [26] ส่วนความเป็นพิษของตะกั่วสามารถเกิดได้จากการใช้ภายในของแผงประเภทผลึกซิลิคอน

ตารางที่ 2-3 สารเคมีและโลหะหนักสำคัญที่ใช้ในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ [25]

กลุ่มผลึกซิลิคอน		กลุ่มฟิล์มบาง	
แบบผลึกเดี่ยว	แบบผลึกหลายรูป	แบบ CdTe	แบบ CIS/CIGS
กรดเกลือ	กรดเกลือ	แคดเมียม	แคดเมียม
ไฮโดรฟลูออไรด์	ไฮโดรฟลูออไรด์	แคดเมียมซัลไฟด์	แคดเมียมซัลไฟด์
เงิน	เงิน	แคดเมียมคลอไรด์	ก๊าซไข่เน่า
ซิลิคอน	ซิลิคอน	แคดเมียมซัลเฟต	ก๊าซไฮโดร
โซดาไฟ	โซดาไฟ	นิกเกิล	ก๊าซไฮโดรเจน
ฟอสฟีน	ฟอสฟีน	ซัลเฟอร์	แกลเลียม
อะลูมิเนียม	อะลูมิเนียม	เทลลูเรียม	ซีเลเนียม
อาร์ซีน	อาร์ซีน	เทลลูเรียมไดออกไซด์	ซีเลเนียมไฮดรอกไซด์
แอมโมเนีย	แอมโมเนีย	ดีบุก	ทองแดง
ไนโตรเจน	ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์		โมลิบดีนัม
ดีบุก	ซิลิคอนไดออกไซด์		สังกะสี
ตะกั่ว	ไดบอเรน		อินเดียม
ฟอสฟอรัส	ตัวเร่งทองแดง		ไฮโดรเจนเซลล์
ฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์	ตัวเร่งไอออนเอมีน		
ออกซิเจน	ไทเทเนียมไดออกไซด์		
แอมโมเนียฟลูออไรด์	โบรอนไตรคลอไรด์		
ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์	ไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์		
กรดไนตริก	สแตนนิกคลอไรด์		
กรดไฮโดรฟลูออริก	เอธิลอะซีเตต		
	เอธิลไวนิลอะซีเตต		
	ไฮโดรเจน		
	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์		
	กรดซัลฟูริก		

2.4.2 ผลกระทบจากสารเคมีที่มีความเป็นพิษของเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงหลังหมดอายุ

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกผลิตขึ้นนั้น นอกจากจะมีประเภทที่แตกต่างกันไปแล้ว ยังมีส่วนประกอบอื่น เช่น สายไฟ แผงวงจรไฟฟ้า กรอบอะลูมิเนียม พลาสติก กระจก ประกอบเข้าด้วยกันจนกลายเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ชิ้น ปัญหาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดความคุ้มค่าไม่ว่าจากการเสื่อมสภาพหรือชำรุดเสียหายก็คือ การจัดการของเสียเซลล์แสงอาทิตย์หลังจากที่ไม่สามารถใช้งานต่อไปได้อีก ซึ่งนี่คือความเป็นพิษที่มีต่อสภาพแวดล้อมก็มาจากชนิดและปริมาณของสารเคมีที่มีอยู่ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั่นเอง และเมื่อพิจารณาถึงผลกระทบจากความเป็นพิษกับประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันอาจจะจำแนกได้ดังนี้ [27]

2.4.2.1 ผลกระทบจากสารเคมีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ

(1) ตะกั่ว (Lead; Pb)

มักพบในเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทกลุ่มผลึกซิลิคอน เนื่องจากขั้นตอนการบัดกรี ตะกั่วเป็นโลหะที่มีความสามารถในการสะสมได้ทั้งในคนและในสิ่งแวดล้อม เมื่อเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ ตะกั่วจะเข้าไปในระบบหมุนเวียนเลือดและสะสมตัวในกระดูกได้ เมื่อสะสมในปริมาณที่มากขึ้น ตะกั่วจะเป็นอันตรายต่อระบบประสาท ไต ระบบภูมิคุ้มกันและระบบสืบพันธุ์ได้ เรียกว่าโรคพิษจากตะกั่ว [25]

ทั้งนี้การจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่ว่าจะเป็นการฝังกลบหรือการจัดการโดยผู้ประกอบการรับซื้อของเก่า อาจทำให้ตะกั่วรั่วไหลสู่ดิน และอาจกระทบต่อระบบน้ำใต้ดินบริเวณดังกล่าวได้ และต่อมาอาจกระทบกับแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มนุษย์ใช้อุปโภคและบริโภคได้อีกด้วย [28]

(2) แคดเมียม (Cadmium; Cd)

มักพบในเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทกลุ่มฟิล์มบาง ซึ่งความเป็นพิษที่พบจะอยู่ในแผงประเภท CdTe และ CIGS แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่สามารถสะสมในมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ โดยมีระยะเวลาครึ่งชีวิตในร่างกายคนอยู่ที่ 30 ปี แคดเมียมมีความเชื่อมโยงกับโรกระบบทางเดินหายใจและกระดูกพรุนในผู้สูงอายุ ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคกระดูกพรุนและโรคไต หากมีการสะสมมากจะทำให้เกิดอาการเจ็บปวดตามร่างกายเรียกว่า โรคไตอิตาลี (Itai-itai) ซึ่งเป็นภาวะพิษของแคดเมียมที่เคยมีการพบมากในประเทศญี่ปุ่น [25]

ผลการศึกษาของสหภาพยุโรป [27] พบว่าหากมีการจัดการที่ไม่ถูกต้องและปล่อยให้เกิดการละลายของโลหะหนักดังกล่าวออกมาได้ ความเสียหายของสุขภาพมนุษย์จากตะกั่วจะอยู่ที่ 12.5 ล้านบาทต่อตันของเสีย และจากแคดเมียมจะอยู่ที่ 433 บาทต่อตันของเสีย (ใช้อัตราแลกเปลี่ยนที่ 36 บาทต่อ 1 ยูโร) เหตุผลที่ความรุนแรงจากตะกั่วมีค่ามากกว่าแคดเมียมมากก็เพราะว่าตะกั่วมีโอกาสสูงมากที่จะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้โดยง่ายและการควบคุมผลกระทบของตะกั่วก็ทำได้ยากกว่า ดังนั้นการจัดการแผงที่หมดความคุ้มค่าตามหลักวิชาจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อป้องกันปัญหาโดยใช้ต้นทุนที่ต่ำกว่า

2.4.2.2 ผลกระทบจากสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ

(1) เทลลูเรียม

เทลลูเรียมถูกพบในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบแคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium telluride) ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง มีการใช้แคดเมียมผสมกับเทลลูเรียมให้มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ แม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดังกล่าวจะมีอันตรายน้อยกว่าสารประกอบแคดเมียมอื่นๆ เพราะความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำกว่า [28] แต่เมื่อมีส่วนประกอบมาจากแคดเมียมแล้วย่อมก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ หากภายหลังเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้หมดอายุการใช้งานจนกลายเป็นซากเซลล์แสงอาทิตย์และปราศจากการจัดการที่ดี เช่น การจัดการด้วยการเผาอาจทำให้แคดเมียมบางส่วนลอยปะปนกับอากาศเมื่อมนุษย์สูดดมสารดังกล่าวเข้าไปก็อาจทำให้ระบบทางเดินหายใจเสียหาย [29]

(2) สารหนู (Arsenic; As)

พบการใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติจังก์ชัน (Multi-junction Cells) สารหนูเป็นสารที่มีอันตรายสูงมาก หากภายหลังเซลล์แสงอาทิตย์กลายเป็นซากเซลล์แสงอาทิตย์และมีการจัดการโดยการฝังกลบอาจทำให้สารดังกล่าวรั่วไหลลงสู่พื้นดิน ระบบน้ำใต้ดิน หรือแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ทั้งปอด ตับ ระบบภูมิคุ้มกัน และระบบไหลเวียนโลหิต [28]

2.4.2.3 ผลกระทบจากส่วนประกอบอื่นๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ

ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์อื่นๆ เช่น สายไฟ แผงวงจรไฟฟ้า กรอบอะลูมิเนียม พลาสติก กระฉก เป็นต้น โดยส่วนประกอบเหล่านี้จะมีการใช้สารอันตรายชนิดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นตะกั่ว อะลูมิเนียม ทองแดง เป็นต้น โลหะหนักเหล่านี้ถือได้ว่าเป็นสารอันตรายที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง

อนึ่ง เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกผลิตขึ้นในยุโรปได้ถูกห้ามใช้โลหะหนักบางอย่างเป็นส่วนประกอบ ตามระเบียบของสหภาพยุโรปว่าด้วย การห้ามใช้สารอันตรายบางอย่างในเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Directive on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment) ซึ่งถือได้ว่าเป็นมาตรการในการป้องกันปัญหาที่เกิดจากการจัดการ ซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างดี อย่างไรก็ตามในภูมิภาคอื่นไม่มีการกำหนดระเบียบเช่นเดียวกับที่กำหนดในสหภาพยุโรป จึงทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกผลิตขึ้นในภูมิภาคอื่นอาจมีสารอันตรายเป็นส่วนประกอบได้ [28]

สำหรับผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากส่วนประกอบของซากเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

(1) สารหน่วงไฟประเภทโบรมีน (Brominated flame retardants; BFRs)

สารหน่วงไฟประเภทโบรมีน คือสารที่ใส่เข้าไปในวัสดุต่างๆ เพื่อยับยั้งการติดไฟและทำให้อัตราการเผาไหม้ช้าลง ตัวอย่างประเภทของสารนี้ที่ใช้กันทั่วไป เช่น โพลีโบรมิเนต ไดฟีนิล อีเทอร์ (PBDEs) เป็นต้น

สารโบรมีน ถูกใช้ในอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากกระแสดังตรงเป็นกระแสสลับที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ สารดังกล่าวอาจถูกปล่อยออกมาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ระหว่างการใช้งาน ทำให้เกิดเป็นฝุ่นเข้าไปอยู่ในบ้านเรือนของมนุษย์ ส่งผลให้มนุษย์สัมผัสกับสารเหล่านี้ เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่ถูกต้อง เช่น การเผา สามารถปล่อยสารโบรมีนในรูปแบบสารพิษอันตรายร้ายแรงอื่นๆ เช่น สารไฮโดรเจนโบรไมด์ และไดออกซินประเภทโบรมีนออกสู่บรรยากาศได้ ผลจากการที่สารโบรมีนปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดผลกระทบเป็นวงกว้าง โดยในต่างประเทศ สารโบรมีนถูกพบในสิ่งมีชีวิตจำนวนมาก ตั้งแต่นกทะเลในอ่าวซานฟรานซิสโกไปจนถึงหมีขั้วโลกในมหาสมุทรอาร์กติก ทั้งในสหรัฐอเมริกายังพบสารโบรมีนดังกล่าวในน้ำนมของมนุษย์อีกด้วย [28]

(2) โครเมียม (Chromium; Cr)

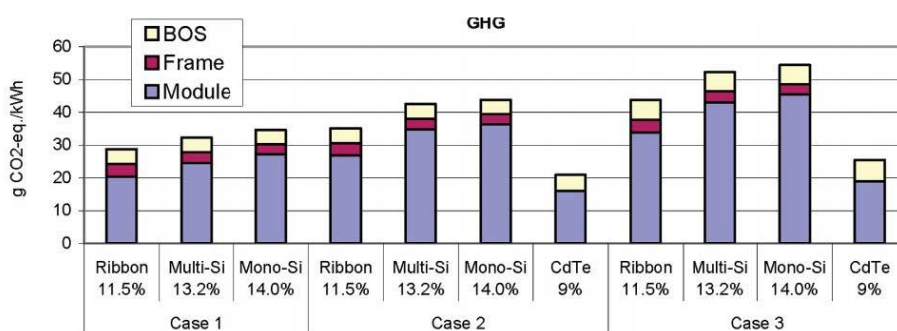
โครเมียมเป็นสารอันตรายต่อระบบการหายใจและไตของมนุษย์ [30] สารดังกล่าวถูกใช้ในการเคลือบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้สามารถดูดซับรังสีของดวงอาทิตย์ได้ นอกจากนั้นแล้วยังพบในตะปูควงและแผงวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์

2.4.3 ผลกระทบจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษอากาศอื่นๆ

โดยในหัวข้อที่ 2.4.3 นี้ จะเป็นเพียงการกล่าวเบื้องต้นถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น ซึ่งในบทที่ 6 เรื่อง ประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (Life Cycle Assessment) และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะเป็นการอภิปรายรายละเอียดที่ชัดเจนยิ่งขึ้น และในหัวข้อนี้นี้จะกล่าวถึงมลพิษอากาศประเภทอื่นๆ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และซัลเฟอร์ออกไซด์ (SOx) ที่เกิดขึ้นในวงจรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) จากกระบวนการในขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การขั้นตอนของวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการกำจัดของเสีย เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้หมดความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้าแล้ว โดยพบว่าการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตเป็นต้นเหตุหลักของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ อันได้แก่ แบบริบบิ้น (Ribbon-Si) แบบผลึกเดี่ยว (Mono-Si) แบบผลึกรวม (Multi-Si) และแบบ CdTe ใน 3 สถานการณ์จำลองโดยสถานการณ์จำลองที่ 1 มีการใช้ค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากการผลิตไฟฟ้าตามจริงจากแต่ละแหล่งผลิตขึ้นส่วนต่างๆ ในยุโรป สถานการณ์ที่ 2 ใช้ค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าเทียบเท่าของยุโรป และสถานการณ์ที่ 3 ใช้ค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าเทียบเท่าของอเมริกา ตามรูปที่ 2-39 โดยพบว่าแผงเซลล์แบบผลึกเดี่ยว (Mono-Si) มีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าสูงสุดในทุกสถานการณ์ และแผงเซลล์แบบ CdTe มีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่ำสุด โดยตัวองค์ประกอบหลักของแผงที่มีการปลดปล่อยสูงสุดเมื่อเทียบกับ

กรอบหรือองค์ประกอบระบบอื่นๆ (Balance of system; BOS) ในปี ค.ศ. 2012 หน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมของแคนาดา (Environment Canada) ได้นำเสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกซิลิคอนนั้นมีค่าตั้งแต่ 28-72.4 กรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง (gCO_2/kWh) ในส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) มีค่า 18-20 กรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง [26]



รูปที่ 2-39 การเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภท (พ.ศ. 2551) [26]

นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการใช้ก๊าซที่มีฟลูออรีนเป็นส่วนประกอบ (Fluorinated gases) ในการทำความสะอาดอุปกรณ์โดยผลการศึกษาของ Fthenakis และคณะพบว่า ก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางของอะมอร์ฟัสซิลิคอนและแบบผลึกซิลิคอนนั้นก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก 2 และ 7 กรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงตามลำดับ

มลพิษอากาศประเภทอื่นๆ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) ที่เกิดขึ้นในวงจรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ นั้น ได้มีการแสดงไว้ในตารางที่ 2-4 โดยทั้งนี้พบว่ามลพิษอากาศจะเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแผ่นเซลล์แบบผลึกซิลิคอนมากกว่าแบบชนิดฟิล์มบาง ซึ่งจะเห็นว่ามลพิษทางอากาศที่ถูกปลดปล่อยออกมาคือ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_x) และสารประกอบซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) ตามลำดับ โดยผลเปรียบเทียบระหว่างยุโรปและสหรัฐอเมริกาพบว่า สหรัฐอเมริกามารการปลดปล่อยมลพิษอากาศมากกว่ายุโรป [25]

ตารางที่ 2-4 ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษอากาศของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ [25]

Technology	NOx (mg/kWh)	SOx (mg/kWh)	Region/ country	Insolation (kWh/m ² per year) ³	Performance Ratio ⁴	Application type
Multicrystalline	75 – 85	125 – 150	UCTE ¹	1,700	0.80	Ground-mounted
Monocrystalline	80 – 85	140 – 160	UCTE	1,700	0.80	Ground-mounted
CdTe	35 – 45	50 – 90	UCTE	1,700	0.80	Ground-mounted
Multicrystalline	175 – 185	350 – 375	US ²	1,700	0.80	Ground-mounted
Monocrystalline	180 – 200	360 – 390	US	1,700	0.80	Ground-mounted
CdTe	75 – 85	150 – 175	US	1,700	0.80	Ground-mounted

หมายเหตุ UCTE¹ คือ Union for the Coordination of the Transmission of Electricity เป็นองค์กรที่รับผิดชอบด้านการเดินระบบและพัฒนาระบบกริดจ่ายไฟฟ้าในทวีปยุโรป

US² คือ สหรัฐอเมริกา

Insolation³ คือ ปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลก ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

Performance Ratio⁴ คืออัตราส่วนของพลังงานที่ผลิตได้ต่อผลคูณของปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงฯที่มีการผลิตพลังงานกับประสิทธิภาพของแผงฯ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

จะเห็นว่าแม้พลังงานจากแสงอาทิตย์จะถือว่าเป็นพลังงานสะอาดอย่างหนึ่ง แต่หากปราศจากการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต้องตามหลักการและมีประสิทธิภาพแล้ว ย่อมจะก่อให้เกิดผลกระทบทั้งในด้านของสิ่งแวดล้อมและด้านสุขภาพของมนุษย์อย่างมาก ดังนั้นจึงควรมีมาตรการในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy sage, Solar energy: what you need to know about solar panels, [Online], Available: <https://www.energysage.com/solar/>.
- [2] กระทรวงพลังงาน, การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.
- [3] A. Chodos, Bell Labs Demonstrates the First Practical Silicon Solar Cell, [Online], Available: <https://www.aps.org/publications/apsnews/200904/physics/history.cfm>.
- [4] N. Taylor, A. Jäger-Waldau, Photovoltaics Technology Development Report, EUR 30504EN, Publications Office of the European Union, pp.1-79, 2020.
- [5] D. D. Rooij, Aluminum Back Surface Field Solar Cells, [Online], Available: <https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/aluminum-back-surface-field-solar-cells/>.
- [6] R. A. Tegio, The Difference Between Standard and PERC Solar Cells, [Online], Available: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=16715>.
- [7] LG Electronics Inc., Bifacial Design Guide, [Online], Available: https://www.lg.com/global/business/download/resources/solar/Bifacial_design_guide_Full_ver.pdf.
- [8] Rodriguez, J. Bifacial solar cells – the two sides of the story, [Online], Available : <https://www.solarchoice.net.au/blog/news/bifacial-solar-cells-the-two-sides-of-the-story-050515>.
- [9] I. Suez, What is MWT?, [Online], Available : <https://www.altenergymag.com/article/2019/06/what-is-mwt/31248>.
- [10] D. D. Rooij, Interdigitated Back Contact cells, [Online], Available: <https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/interdigitated-back-contact-cells/>.
- [11] HuaSun, HJT Solar Cell, [Online], Available: <https://huasun.net/product/hjt-solar-cell/>.
- [12] N. Tanaka, Technology Roadmap Solar photovoltaic energy, The International Energy Agency (IEA), pp. 3-42, 2010.
- [13] National Renewable Energy Laboratory, Materials and Devices, [Online], Available: <https://www.nrel.gov/pv/materials-devices.html>.

- [14] D. Zhou, T. Zhou, Y. Tian, X. Zhu and Y. Tu, Perovskite-Based Solar Cells: Materials, Methods, and Future Perspectives, *Journal of Nanomaterials*, pp. 1-15, 2018.
- [15] ScienceDirect, Amorphous Silicon Solar Cell, [Online], Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/amorphous-silicon-solar-cell>.
- [16] Techsauce Team, Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC), [Online], Available: <https://techsauce.co/pr-news/ricoh-dye-sensitized-solar-cell->.
- [17] M. P. Suryawanshi, G. L. Agawane, S. M. Bhosale, S. W. Shin, P. S. Patil, J. H. Kim and A.V. Moholkar, CZTS based thin film solar cells: a status review, *Materials Technology*, vol. 28, pp. 98-108, 2013.
- [18] Fraunhofer Materials, High Efficiency Solar Cells based on Silicon or III-V Semiconductors as well as Tandem Solar Cells, [Online], Available: https://www.materials.fraunhofer.de/en/businessareas/energy_and_environment/high-efficiency-solar-cells-based-on-silicon-or-iii-v-semiconduc.html.
- [19] U. Aeberhard, Increase the Efficiency of a Perovskite-Silicon Tandem Solar Cell with a Full Electro Optical Simulation, [Online], Available: <https://www.fluxim.com/perovskitesilicon-tandem-solar-cell-simulation>.
- [20] EUREC, Perovskite/CIGS Tandem Cell with Record Efficiency of 24.6 percent Paves the Way for Flexible Solar, [Online], Available: <https://eurec.be/perovskite-cigs-tandem-cell-with-record-efficiency-of-24-6-percent-paves-the-way-for-flexible-solar/>.
- [21] Green Rhino Energy, Concentrating Photovoltaics (CPV), [Online], Available: http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php.
- [22] S. P. Philipps, F. Dimroth and A. W. Bett, High-Efficiency III-V Multijunction Solar Cells, *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE*, pp. 439-472, 2018.
- [23] Fraunhofer, PHOTOVOLTAICS REPORT, *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE*, pp. 1-50, 2021.
- [24] G. M. Wilson, et al, The 2020 photovoltaic technologies roadmap, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 53, pp. 1-47, 2020.
- [25] พิษณุ รัชฎาวงศ์ และคณะ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการ “การจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้า (Management of expired solar PV panels)”. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พ.ศ. 2559.
- [26] Fthenakis V.M., Kim H.C. and Alsema E. (2008). Emissions from photovoltaic life cycles, *Environ. Sci. Technol.*, 42 (6), 2168-2174.

-
- [27] Bio Intelligence Service. “Study on Photovoltaic Panels Supplementing the Impact Assessment for A Recast of the WEEE Directive.” [Online]. Available : <https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/weee/Study%20on%20PVs%20Bio%20final.pdf>. 2011.
- [28] ปัญญา จันทร์ลออ. “มาตรการทางกฎหมายในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์” วิทยานิพนธ์นิติศาสตรมหาบัณฑิต สาขากฎหมายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2559.
- [29] สุรวุฒิ ช่างโซติ, มนัสกร ราชกรกิจ, ธารทิพย์ พันธเมธาทิธี, ชนาธิป ผาโรโน, จุฬาลักษณ์ ชาญกุล และประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล. “การทบทวนวรรณกรรมวิชาการผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และอาชีวอนามัย ของแคดเมียมเทลลูไรด์ในเซลล์สุริยะตลอดช่วงอายุการติดตั้งและใช้งาน.” [Online]. Available : https://www.firstsolar.com/-/media/First-Solar/Sustainability-Documents/Sustainability-Peer-Reviews/Thai-EHS-Peer-Review_TH.ashx. 2556.
- [30] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. “Chromium.” [Online]. Available : <https://wwwn.cdc.gov/TSP/substances/ToxSubstance.aspx?toxid=17>. 2021.

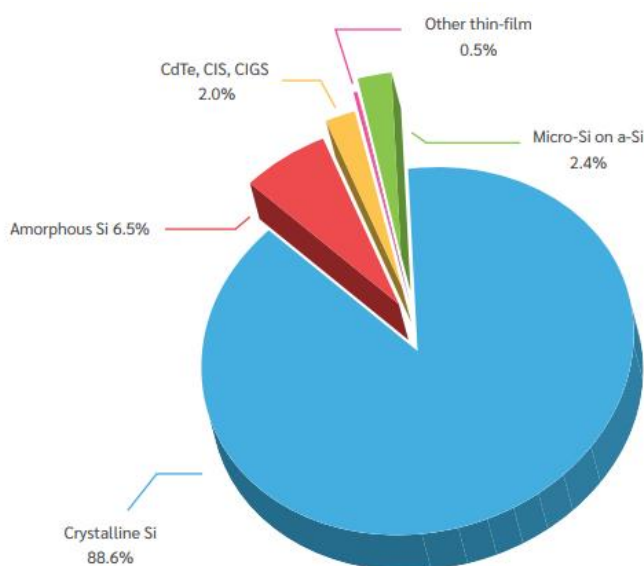
บทที่ 3

ข้อมูลเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน

3.1 สถานการณ์การผลิตและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

3.1.1 สถานการณ์การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยก่อตั้งขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 กำลังการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากผู้ผลิตในไทยอยู่ที่ 300 เมกะวัตต์ อย่างไรก็ตาม ในปี ค.ศ. 2015 ผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากต่างประเทศได้ลงทุนในประเทศไทยเพื่อผลิตเพื่อส่งออกเป็นหลัก เป็นผลให้มีการเติบโตอย่างมีนัยสำคัญในการส่งออกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์รวม 3,850 เมกะวัตต์ ของกำลังการผลิตในปี ค.ศ. 2018 ซึ่งมีสัดส่วนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดในประเทศไทย [1] ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 สัดส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดในประเทศไทย

(ที่มา: Thailand status report)

ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เทคโนโลยีซิลิคอนและซิลิคอนอสัณฐานของเทคโนโลยีฟิล์มบางเพื่อรองรับการใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ชนบท โดยเฉพาะโครงการบ้านพลังงานแสงอาทิตย์ และมีต้นทุนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย ดังตารางที่ 3-1

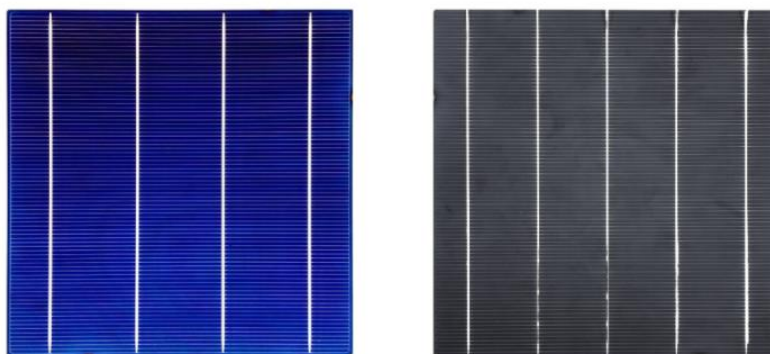
ตารางที่ 3-1 ต้นทุนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละปี (ที่มา: Thailand status report)

Year	1997 - 1998	1999 - 2000	2002 - 2003	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Typical module price, kW-scale (THB/Wp)	180 - 200			110	70 - 80	50 - 60	35 - 50	25 - 40	16 - 22	16 - 20	16 - 20
Best module price, MW-scale (THB/Wp)	-				50 - 60	35 - 45	20 - 25	20 - 25	15 - 20	15 - 17	14 - 16

ปัจจุบันการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปได้เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอย่างมากทำให้มีแนวโน้มการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ซึ่งต่อไปจะกล่าวถึงบริษัทผู้ผลิต ผู้นำเข้า และผู้จำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยรวมถึงชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิต และจำหน่าย ดังนี้

1) บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน)

บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด เป็นบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์พลังงานแสงอาทิตย์ภายในประเทศแบบ บริการครบวงจร มีโรงงานผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เทคโนโลยีเครื่องจักรการผลิตจากประเทศเยอรมันเป็นสายการผลิตแบบอัตโนมัติ ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานสากลต่างๆ เช่น UL (สหรัฐอเมริกา) MCS (สหราชอาณาจักร) JIS (ญี่ปุ่น) และ มอก. (ไทย) ซึ่งบริษัท โซลาร์ตรอน ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติคริสตัลไลน์ซิลิคอน [2] ดังรูปที่ 3-2 และ 3-3



รูปที่ 3-2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตโดยบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด
(ที่มา: <https://www.solartron.co.th/thai/about>)



รูปที่ 3-3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตโดยบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด
(ที่มา: <https://www.solartron.co.th/thai/about>)

2) บริษัท เอกรัฐวิศวกรรม จำกัด (มหาชน)

บริษัท เอกรัฐวิศวกรรม จำกัด เป็นบริษัทผู้ผลิตและผู้จำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยได้รับการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1843-2542 ด้านแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นรายแรกในประเทศไทย และได้รับการรับรองมาตรฐานสากล IEC 61215 (TÜV) พร้อมทั้งได้รับการรับรองคุณภาพต่างๆ อาทิ การรับรองระบบคุณภาพมาตรฐาน ISO 9001 การรับรองมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14001 ฯลฯ ซึ่งบริษัท เอกรัฐวิศวกรรม จำกัด ได้ผลิตและจำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ซิลิคอน และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ซิลิคอน [3] ดังรูปที่ 3-4 และ 3-5



รูปที่ 3-4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ซิลิคอนที่ผลิตโดยบริษัท เอกรัฐวิศวกรรม จำกัด
(ที่มา: <https://ekarat.co.th/en/solar-cell/>)



รูปที่ 3-5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ซิลิคอนที่ผลิตโดยบริษัท เอกรัฐวิศวกรรม จำกัด
(ที่มา: <https://ekarat.co.th/en/solar-cell/>)

3) บริษัท โซล่าเพาเวอร์ เทคโนโลยี จำกัด

บริษัท โซล่าเพาเวอร์ เทคโนโลยี จำกัด เป็นบริษัทที่ถูกก่อตั้งโดยบริษัท ไทยเอเยนซี เอ็นยีเนียร์ริง จำกัด เพื่อสร้างเป็นโรงงานผลิตและประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ SPOT ขยายตลาดส่งออกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปประเทศเยอรมนี และชุดระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมใช้งาน ยี่ห้อ SOLECTRIC KIT ในประเทศ ซึ่งบริษัท โซล่าเพาเวอร์ เทคโนโลยี จำกัด ได้ผลิต และจำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ [4] ดังรูปที่ 3-6



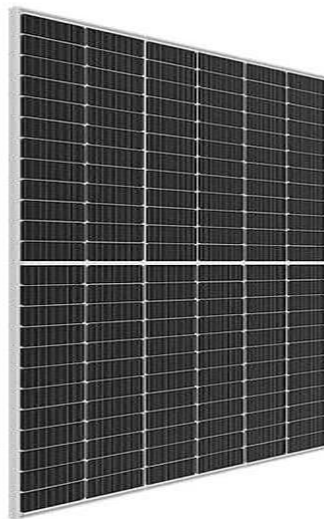
รูปที่ 3-6 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ยี่ห้อ SPOT
ที่ผลิตโดยบริษัท โซล่าเพาเวอร์เทคโนโลยี จำกัด
(ที่มา: http://www.spotsolar.com/product/view_product.php?id=9)

4) บริษัท เทคตรอน จำกัด

บริษัท เทคตรอน จำกัด เป็นบริษัทนำเข้าและจำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ ยี่ห้อ Canadiansolar และ Seraphim ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์จำหน่ายยี่ห้อ Longi [5] ดังรูปที่ 3-7 และ 3-8



รูปที่ 3-7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ยี่ห้อ Canadiansolar และ Seraphim
(ที่มา: <https://www.techtron.co.th/product-category/solar-panels/>)



รูปที่ 3-8 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ยี่ห้อ Longi
(ที่มา: <https://www.techtron.co.th/product-category/solar-panels/>)

5) บริษัท เฮอริเทจอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

บริษัท เฮอริเทจอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด เป็นบริษัทผู้ผลิตและผู้จำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยที่มีประสิทธิภาพสูงและคุณภาพดี ขบวนการผลิตมีมาตรฐานควบคุมคุณภาพดีเป็นที่เชื่อถือได้

ผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐาน CE, TUV, ISO, CQC, CEC (Australia) ซึ่งบริษัท เฮอร์เทจอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ได้ผลิตและจำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ และแบบโมโนคริสตัลไลน์ [6] ดังรูปที่ 3-9 และ 3-10



รูปที่ 3-9 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ที่ผลิตโดย บริษัท เฮอร์เทจอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
(ที่มา: <http://www.heritage-int.co.th/images/Documents/solar-cell/Solar%20Cell%20300%20Mono-Polycrystalline.pdf>)



รูปที่ 3-10 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมัลติคริสตัลไลน์ที่ผลิตโดย บริษัท เฮอร์เทจอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
(ที่มา: <http://www.heritage-int.co.th/images/Documents/solar-cell/Solar%20Cell%20300%20Mono-Polycrystalline.pdf>)

6) บริษัท โซลาร์ พีพีเอ็ม จำกัด

บริษัท โซลาร์ พีพีเอ็ม จำกัด เป็นบริษัทในเครือ พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย และมีการผลิต Original Equipment Manufacturer (OEM) ส่งออกแผงให้กับแบรนด์ชั้นนำ

เช่น CanadianSolar ,Gintech และ REC เป็นต้น ซึ่งบริษัท โซลาร์ ฟิฟตี้เอ็ม มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตเองเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ [7] ดังรูปที่ 3-11



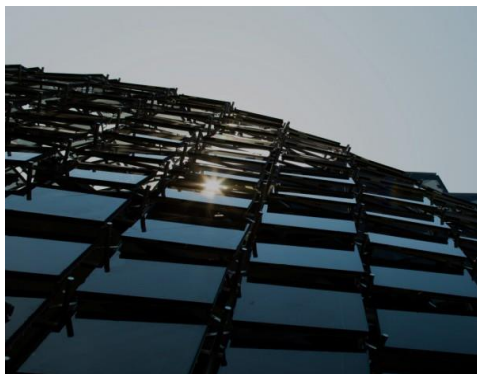
รูปที่ 3-11 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ที่ผลิตโดย บริษัท โซลาร์ ฟิฟตี้เอ็ม จำกัด
(ที่มา: <https://www.solarppm.com/pv-panel/>)

7) บริษัท ชันเนอจิสท์ จำกัด

บริษัท ชันเนอจิสท์ จำกัด เป็นตัวแทนจำหน่ายอย่างเป็นทางการของบริษัท Hanergy ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง ผลิตและติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ฟิล์มบางชนิด CIGS แบบประยุกต์ เช่น หลังคาโซลาร์ ผนังโซลาร์ ทางเดินโซลาร์ และกระจกโซลาร์ เป็นต้น [8] ดังรูปที่ 3-12 และ 3-13



รูปที่ 3-12 เซลล์แสงอาทิตย์ฟิล์มบางชนิด CIGS แบบประยุกต์เป็นหลังคาโซลาร์กับผนังโซลาร์
(ที่มา: <https://www.sunergistgroup.com/TH/product.html>)



รูปที่ 3-13 เซลล์แสงอาทิตย์ฟิล์มบางชนิด CIGS แบบประยุกต์เป็นกระจกฉนวนกับทางเดินโซลาร์

(ที่มา: <https://www.sunergistgroup.com/TH/product.html>)

จากสัดส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยและตัวอย่างบริษัทผู้ผลิต นำเข้า และจำหน่ายในประเทศไทย จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่เกือบจะทั้งหมดเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของโลกในปัจจุบันที่มีสัดส่วนการผลิตส่วนใหญ่ (มากกว่า 90% ของโลก) เป็นการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอน

3.1.2 สถานการณ์การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย ซึ่งจะครอบคลุมถึงภาพรวมสถานการณ์การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย รูปแบบการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย รวมถึงมาตรการส่งเสริมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยสามารถแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ดังนี้

3.1.2.1 ภาพรวมสถานการณ์การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตบริเวณเส้นศูนย์สูตรจึงทำให้อาจนำแสงอาทิตย์มาเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าผ่านระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างต่อเนื่องตลอดปีโดยค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั่วประเทศในแต่ละเดือนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-14



รูปที่ 3-14 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั่วประเทศในแต่ละเดือน

(ที่มา: แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (AEDP2018), 2561) [9]

ทั้งนี้จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (AEDP2018) จะพบว่าประเทศไทยมีผลการดำเนินงานด้านพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ปี พ.ศ. 2559 – 2561 เป็นไปตามแสดงในตารางที่ 3-2 ซึ่งจะพบว่ามีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สูงเป็นอันดับ 2 (2,962.45 MW ในปี พ.ศ.2561) เป็นรองเพียงการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล (3,372.93 MW ในปี พ.ศ. 2561) การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีแนวโน้มที่จะสูงมากขึ้นในแต่ละปี โดยประเทศไทยมีเป้าหมายกำลังการผลิตไฟฟ้าของพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกตาม PDP 2018 ระหว่างปี พ.ศ. 2561 – 2580 เป็นไปตามตารางที่ 3-3 ซึ่งจะพบว่าในปี พ.ศ. 2580 นั้นจะมีเป้าหมายกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ใหม่ทั้งหมด 12,015 MW (คิดเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ 9,250 MW และพลังงานแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ 2,725 MW)

ตารางที่ 3-2 ผลการดำเนินงานด้านพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ปี พ.ศ. 2559 - 2561

ชนิดพลังงาน	หน่วย	ผลการดำเนินงาน		
		พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2560	พ.ศ. 2561
ไฟฟ้า*	เมกะวัตต์	9,437	10,238	11,369
	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	2,122	2,473	2,960
1. แสงอาทิตย์	เมกะวัตต์	2,446.10	2,697.20	2,962.45
2. พลังงานลม	เมกะวัตต์	507.00	627.80	1,102.82
3. พลังน้ำขนาดเล็ก	เมกะวัตต์	182.10	182.30	187.72
4. ชีวมวล	เมกะวัตต์	2,814.70	3,157.30	3,372.93
5. ก๊าซชีวภาพ	เมกะวัตต์	434.90	475.40	505.24
6. ชยะ	เมกะวัตต์	145.30	191.50	317.82
7. พลังน้ำขนาดใหญ่	เมกะวัตต์	2,906.40	2,906.40	2,919.66
ความร้อน	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	7,182	7,322	7,919
1. แสงอาทิตย์	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	6.7	9.3	10.1
2. ชีวมวล	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	6,507	6,616	7,152
3. ก๊าซชีวภาพ	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	593	634	634
4. ชยะ	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	75	63	123
เชื้อเพลิงชีวภาพ	ล้านลิตร/วัน	7.1	7.7	8.4
	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	1,747	1,936	2,117
1. เอทานอล	ล้านลิตร/วัน	3.7	3.9	4.2
2. ไบโอดีเซล	ล้านลิตร/วัน	3.4	3.8	4.2
การใช้พลังงานทดแทน (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)		11,051	11,731	12,996
การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)		79,929	80,752	83,952
สัดส่วนพลังงานทดแทนต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (%)		13.83	14.53	15.48

*รวมการผลิตไฟฟ้าจากระบบ

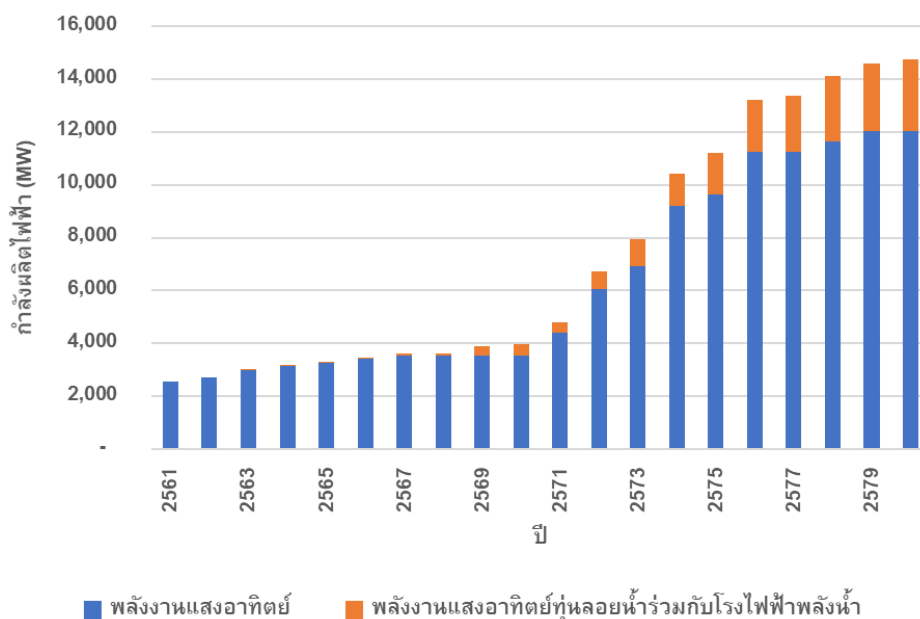
ที่มา: แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (AEDP2018), 2561 [9]

ตารางที่ 3-3 เป้าหมายกำลังการผลิตไฟฟ้าของพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกตาม PDP 2018 ระหว่างปี พ.ศ. 2561 – 2580

พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก	กำลังผลิตตามสัญญา (เมกะวัตต์)
พลังงานแสงอาทิตย์	9,290
พลังงานแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ	2,725
ชีวมวล	3,380
โรงไฟฟ้าชีวมวลประชารัฐในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้	120
พลังงานลม	1,485
ก๊าซชีวภาพ (น้ำเสีย/ของเสีย/พืชพลังงาน)	1,183
ขยะชุมชน	400
ขยะอุตสาหกรรม	44
พลังน้ำขนาดเล็ก	69
รวม	18,696

ที่มา: แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (AEDP2018), 2561 [9]

นอกจากนี้แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 – 2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 (PDP 2018 Revision 1) ได้มีการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ (Floating solar) โดยหากพิจารณาประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ (Floating solar) ในแต่ละปีดังแสดงในรูปที่ 3-15 จะพบว่าในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 2,573 MW และพลังงานแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ (Floating solar) 0 MW รวม 2,573 MW และในปี พ.ศ. 2580 ประเทศไทยมีกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 12,029 MW และพลังงานแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ (Floating solar) 2,725 MW รวม 14,754 MW



รูปที่ 3-15 ประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

(ที่มา: แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 – 2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1)

สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะมีการผลิตไฟฟ้าจากการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) รวมถึงการผลิตไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน ซึ่งสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนในประเทศไทยจะแบ่งประเภทได้ตามขนาดของกำลังผลิตไฟฟ้าได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (Independent power producer: IPP)

ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระหรือ IPP เป็นผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายใหญ่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 90 MW โดย กฟผ. ได้ประกาศรับซื้อไฟฟ้าจาก IPP เพื่อส่งเสริมให้เอกชนได้เข้ามามีบทบาทในกิจการไฟฟ้าของประเทศไทยมากขึ้น ทั้งนี้ IPP จะเป็นผู้เสนอพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ พลังงานนอกรูปแบบ (ไม่รวมนิวเคลียร์) ก๊าซธรรมชาติทั้งที่ผลิตในประเทศและนำเข้า ถ่านหิน และออร์มิลชั่น

2) ผู้ผลิตไฟฟ้าย่อยเล็ก (Small power producer: SPP)

ผู้ผลิตไฟฟ้าย่อยเล็กหรือ SPP เป็นผู้ผลิตไฟฟ้าที่มีขนาดตั้งแต่ 10 – 90 MW โดยผู้ผลิตไฟฟ้า SPP เหล่านี้จะเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมกัน (Cogeneration) หรือผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานนอกรูปแบบ การรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าย่อยเล็กจะมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมให้ผู้ผลิตรายเล็กเข้ามามีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้า เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้ต้นทุนพลังงานพลอยได้ในประเทศ และพลังงานนอกรูปแบบในการผลิตไฟฟ้า เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้ต้นทุนพลังงานในการผลิตไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น และเพื่อช่วยแบ่งเบาภาระทางด้านการลงทุนของรัฐในระบบการผลิต และระบบจำหน่ายไฟฟ้า

3) ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very small power producer: VSPP)

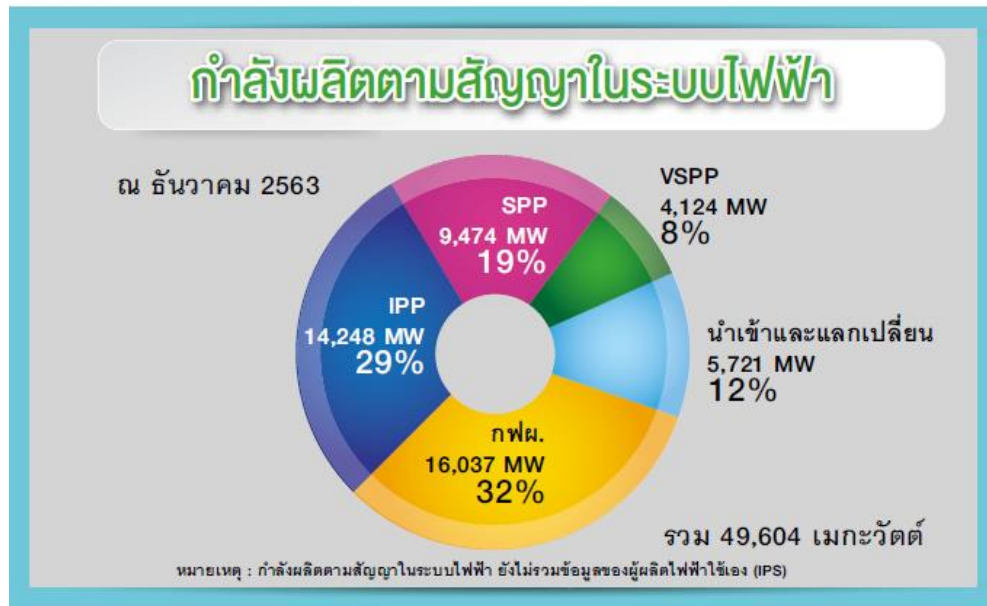
ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก หรือ VSPP คือ ผู้ผลิตไฟฟ้าที่มีการจำหน่ายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย (กฟผ. และ กฟน.) โดยมีขนาดกำลังผลิตน้อยกว่า 10 MW โดย กฟผ. และ กฟน. จะรับซื้อไฟฟ้าจาก SPP เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้ทรัพยากรภายในประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยแบ่งเบาภาระด้านการลงทุนของรัฐในระบบการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้า

นอกเหนือจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนทั้ง 3 ประเภทที่ได้มีการผลิตไฟฟ้าให้ขายให้แก่การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งแล้วยังมีผู้ใช้ไฟฟ้าเอกชนที่ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ไฟฟ้าและ/หรือขายตรงเป็นหลัก (Independent power supply: IPS) ซึ่งในปัจจุบันกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้าประเภทนี้อาจมีการระบุนขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าโดยรวมได้ยาก อย่างไรก็ตามในภาพรวม ณ ปลายปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีกำลังผลิตไฟฟ้าจาก IPP อยู่ที่ 14,248 MW SPP อยู่ที่ 9,474 MW และ VSPP อยู่ที่ 4,124 MW ดังแสดงในรูปที่ 3-16

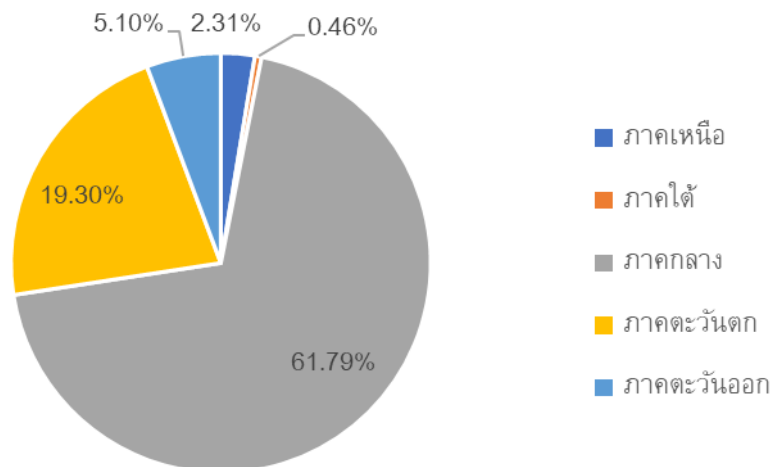
สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้า IPP SPP และ VSPP ที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานได้จัดทำระบบฐานข้อมูลเพื่อรวบรวมกำลังผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าดังกล่าว โดยในระบบฐานข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานได้แบ่งสถานะของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ ไว้ทั้งหมด 9 ประเภท ดังนี้

- โรงไฟฟ้าที่ยื่นคำขอแล้วแต่ยังไม่ได้ตอบรับซื้อ
- โรงไฟฟ้าที่ตอบรับซื้อแล้ว แต่ยังไม่เซ็น PPA
- โรงไฟฟ้าที่เซ็น PPA แล้ว แต่ยังไม่ COD
- โรงไฟฟ้าที่ COD แล้ว
- โรงไฟฟ้าที่ยกเลิกการตอบรับซื้อ
- โรงไฟฟ้าที่ยกเลิกแบบคำขอ
- โรงไฟฟ้าที่ยกเลิกสัญญา
- โครงการอยู่ระหว่างพิจารณาคดี
- โครงการที่อยู่ระหว่างการอุทธรณ์

โดยหากพิจารณาผู้ผลิตไฟฟ้ารวมทุกสถานะจะพบว่าในภาคกลางจะมีปริมาณระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สูงที่สุด (คิดเป็นร้อยละ 61.79 ของกำลังผลิตติดตั้งทั้งหมด) และภาคใต้จะมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์รวมทุกสถานะต่ำที่สุด (คิดเป็นร้อยละ 0.46 ของกำลังผลิตติดตั้งทั้งหมด) ทั้งนี้สัดส่วนกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์รวมทุกสถานะนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-17 นอกจากนี้ปริมาณกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ รวมทุกสถานะในแต่ละภาคนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-18 และตารางที่ 3-4 และจำนวนโครงการผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ รวมทุกสถานะในแต่ละภาคนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-5



รูปที่ 3-16 กำลังผลิตตามสัญญาในระบบไฟฟ้า ณ ธันวาคม พ.ศ. 2563
(ที่มา: รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2564, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2564) [10]

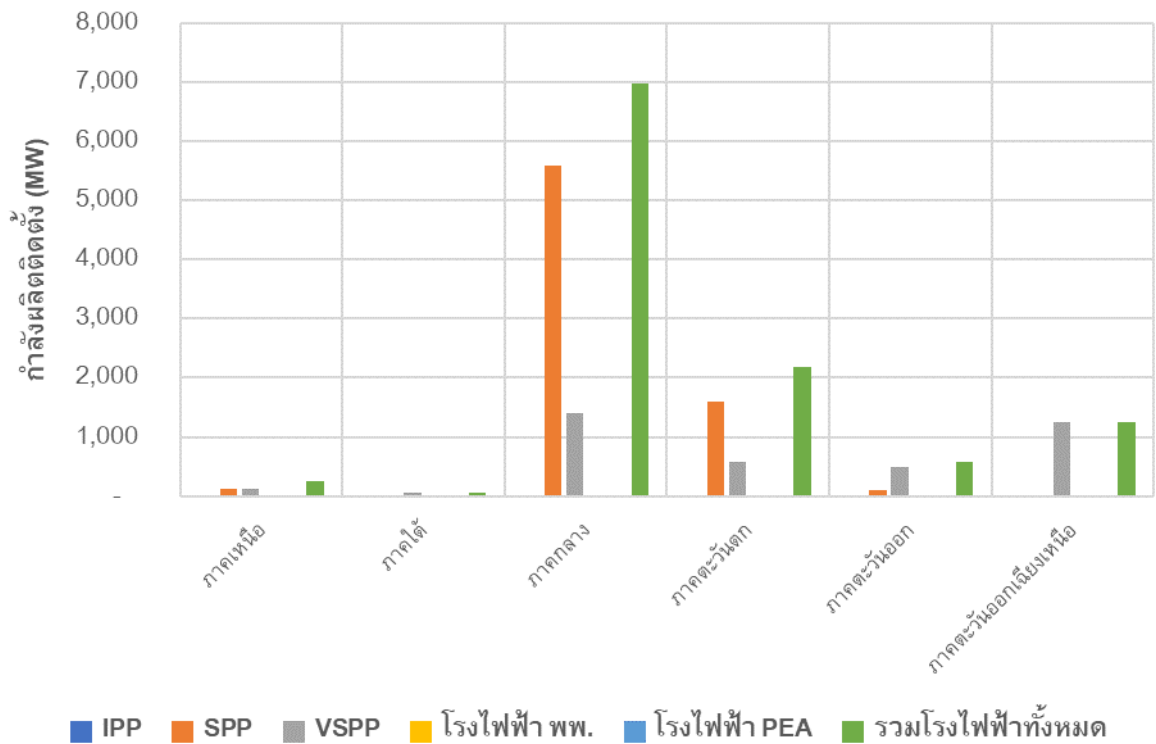


รูปที่ 3-17 กำลังผลิตตามสัญญาในระบบไฟฟ้ารายภูมิภาค ณ ธันวาคม พ.ศ. 2563

หมายเหตุ: กฟผ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 15 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟผ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟผ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563



รูปที่ 3-18 กำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ

หมายเหตุ: กฟผ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 15 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟภ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟน. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563

ตารางที่ 3-4 ปริมาณกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ประเภทโรงไฟฟ้า	กำลังการผลิตติดตั้ง (MW)						
	ภาคเหนือ	ภาคใต้	ภาคกลาง	ภาคตะวันตก	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	รวม
IPP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SPP	128.40	0.00	5,585.85	1,598.34	95.00	0.00	7,407.58
VSPP	133.15	50.90	1,396.14	582.99	481.80	1,246.44	3,891.42
โรงไฟฟ้า พ.พ.	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
โรงไฟฟ้า PEA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมโรงไฟฟ้าทั้งหมด	261.55	51.90	6,981.99	2,181.33	576.80	1,246.44	11,300.00

หมายเหตุ: กฟผ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 15 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟภ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟน. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563

ตารางที่ 3-5 จำนวนโครงการผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ประเภทโรงไฟฟ้า	จำนวนโครงการ						รวม
	ภาคเหนือ	ภาคใต้	ภาคกลาง	ภาคตะวันตก	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	
IPP	0	0	0	0	0	0	0
SPP	1	0	18	15	2	0	36
VSPP	39	21	309	116	100	314	899
โรงไฟฟ้า พพ.	0	1	0	0	0	0	1
โรงไฟฟ้า PEA	0	0	0	0	0	0	0
รวมโรงไฟฟ้าทั้งหมด	40	22	327	131	102	314	936

หมายเหตุ: กฟผ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 15 สิงหาคม พ.ศ. 2564

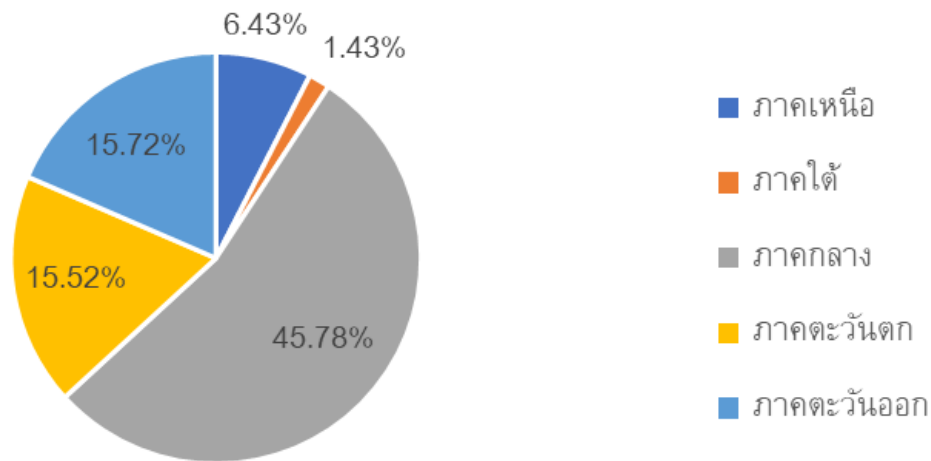
กฟภ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟน. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563

จากข้อมูลกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รวมทุกสถานะดังแสดงในรูปที่ 3-18 และตารางที่ 3-4 หากพิจารณากำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์รวมทุกสถานะจะพบว่าผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในกลุ่ม SPP ซึ่งกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้า SPP นี้จะมีกำลังผลิตติดตั้งสูงสุดรวมทุกสถานะในพื้นที่ภาคกลาง และรองลงมาเป็นภาคเหนือ และภาคตะวันออก ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะไม่มีผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในกลุ่ม SPP อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในภาพรวมของผู้ผลิตไฟฟ้าแต่ละกลุ่มจะพบว่าพื้นที่ภาคกลางมีกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์รวมทุกสถานะสูงที่สุด และรองลงมาเป็นพื้นที่ภาคตะวันตก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก ภาคเหนือ และภาคใต้ ตามลำดับ

นอกจากนี้หากพิจารณาจำนวนโครงการของผู้ผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในทุกๆ สถานะจะพบว่าผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยส่วนใหญ่จะเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าในกลุ่ม VSPP โดยหากพิจารณาในภาพรวมจะพบว่าผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จะมีจำนวนโครงการสูงสุดในพื้นที่ภาคกลาง และอันดับถัดมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันตก ภาคตะวันออก ภาคเหนือ และภาคใต้ ตามลำดับ

สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในกลุ่มที่ได้ COD แล้ว จะพบว่าในภาคกลางมีปริมาณระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สูงที่สุด (คิดเป็นร้อยละ 45.78 ของกำลังผลิตติดตั้งทั้งหมด) และภาคใต้จะมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำที่สุด (คิดเป็นร้อยละ 1.43 ของกำลังผลิตติดตั้งทั้งหมด) โดยสัดส่วนกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์รวมทุกสถานะนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-19 นอกจากนี้ปริมาณกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ ที่ได้ COD แล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-20 และตารางที่ 3-6 และจำนวนโครงการผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ ที่ได้ COD แล้วในแต่ละภาคนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-7

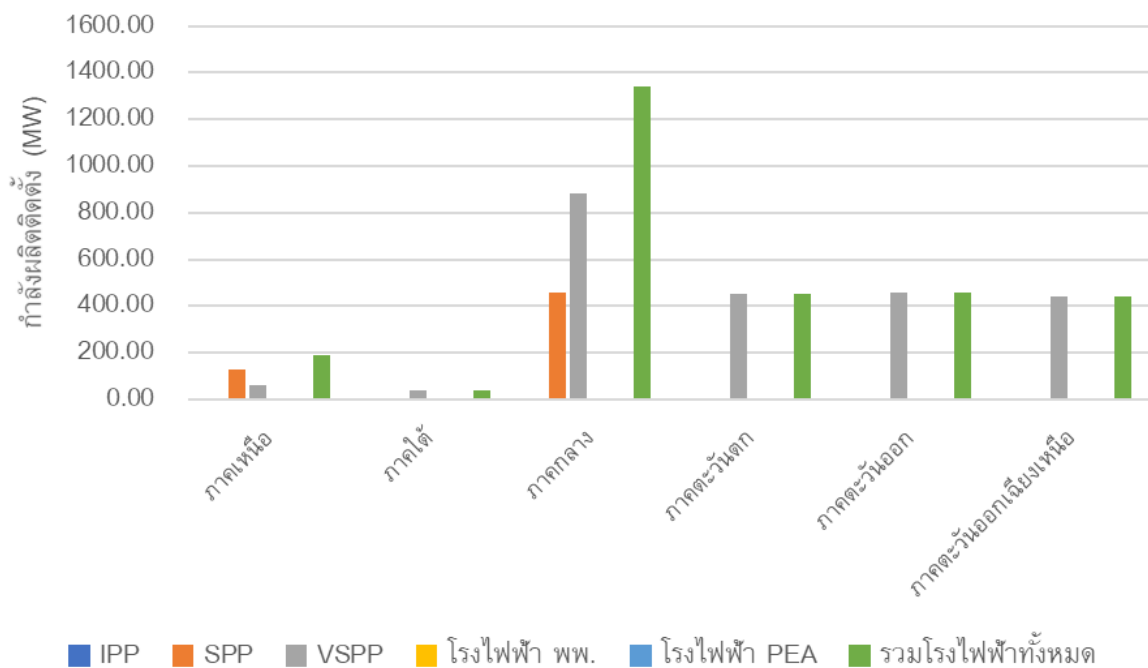


รูปที่ 3-19 กำลังผลิตตามสัญญาของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ COD แล้ว ในระบบไฟฟ้า

หมายเหตุ: กฟผ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 15 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟภ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟน. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563



รูปที่ 3-20 กำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ ที่ COD แล้ว

หมายเหตุ: กฟผ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 15 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟภ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟน. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563

ตารางที่ 3-6 ปริมาณกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ COD แล้ว

ประเภทโรงไฟฟ้า	กำลังการผลิตติดตั้ง (MW)						รวม
	ภาคเหนือ	ภาคใต้	ภาคกลาง	ภาคตะวันตก	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	
IPP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SPP	128.40	0.00	460.25	0.00	0.00	0.00	588.64
VSPP	60.09	40.87	880.84	454.73	460.61	442.69	2,339.82
โรงไฟฟ้า พพ.	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
โรงไฟฟ้า PEA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมโรงไฟฟ้าทั้งหมด	188.49	41.87	1,341.08	454.73	460.61	442.69	2,929.46

หมายเหตุ: กฟผ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 15 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟภ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟน. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563

ตารางที่ 3-7 จำนวนโครงการผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ COD แล้ว

ประเภทโรงไฟฟ้า	จำนวนโครงการ						รวม
	ภาคเหนือ	ภาคใต้	ภาคกลาง	ภาคตะวันตก	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	
IPP	0	0	0	0	0	0	0
SPP	1	0	6	0	0	0	7
VSPP	22	15	215	96	92	113	553
โรงไฟฟ้า พพ.	0	1	0	0	0	0	1
โรงไฟฟ้า PEA	0	0	0	0	0	0	0
รวมโรงไฟฟ้าทั้งหมด	23	16	221	96	92	113	561

หมายเหตุ: กฟผ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 15 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟภ. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 สิงหาคม พ.ศ. 2564

กฟน. บันทึกข้อมูลล่าสุด 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563

จากข้อมูลกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รวมที่ได้ COD แล้วดังแสดงในรูปที่ 3-20 และตารางที่ 3-6 จะพบว่าผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในกลุ่ม VSPP ซึ่งกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้า VSPP นี้จะมีกำลังผลิตติดตั้งสูงสุดในพื้นที่ภาคกลาง และรองลงมาเป็นภาคตะวันออก ภาคตะวันตก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้ ตามลำดับ สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้า SPP ที่ COD แล้วนั้นจะพบเฉพาะในพื้นที่ ภาคเหนือและภาคกลางเท่านั้น นอกจากนี้

หากพิจารณาในภาพรวมของผู้ผลิตไฟฟ้าแต่ละกลุ่มจะพบว่าพื้นที่ภาคกลางมีกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์รวมทุกสถานะสูงที่สุด และภาคใต้มีกำลังผลิตไฟฟ้าติดตั้งต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้หากพิจารณาจำนวนโครงการของผู้ผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในทุก ๆ สถานะจะพบว่าผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยส่วนใหญ่จะเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าในกลุ่ม VSPP (จำนวนโครงการผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ VSPP ที่ COD แล้วคิดเป็นร้อยละ 99 ของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ COD แล้วทั้งหมด) โดยหากพิจารณาในภาพรวมจะพบว่าผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จะมีจำนวนโครงการสูงสุดในพื้นที่ภาคกลาง และอันดับถัดมาเป็น ภาคตะวันออก เชียงเหนือ ภาคตะวันตก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ ตามลำดับ

นอกเหนือจากผู้ผลิตไฟฟ้า IPP SPP และ VSPP แล้วจะพบว่าในประเทศไทยมีผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บางรายได้ลงทะเบียนขออนุญาตผลิตไฟฟ้า โดยกำลังผลิตสูงสุดของผู้ผลิตไฟฟ้ากลุ่มนี้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-8 ซึ่งผู้ผลิตไฟฟ้ากลุ่มนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็น Prosumer ในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย กิจกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยจากตารางที่ 3-8 จะพบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าในกลุ่มกิจกรรมขนาดกลางและกิจกรรมขนาดใหญ่จะมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สูงที่สุด โดยที่กลุ่มกิจกรรมขนาดเล็กจะมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์น้อยที่สุด

ตารางที่ 3-8 กำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ลงทะเบียนขออนุญาตผลิตไฟฟ้า

ประเภทอาคาร	MWp
บ้านอยู่อาศัย	63.2997
กิจกรรมขนาดเล็ก	12.7667
กิจกรรมขนาดกลางและกิจกรรมขนาดใหญ่	84.3476
รวม	160.41

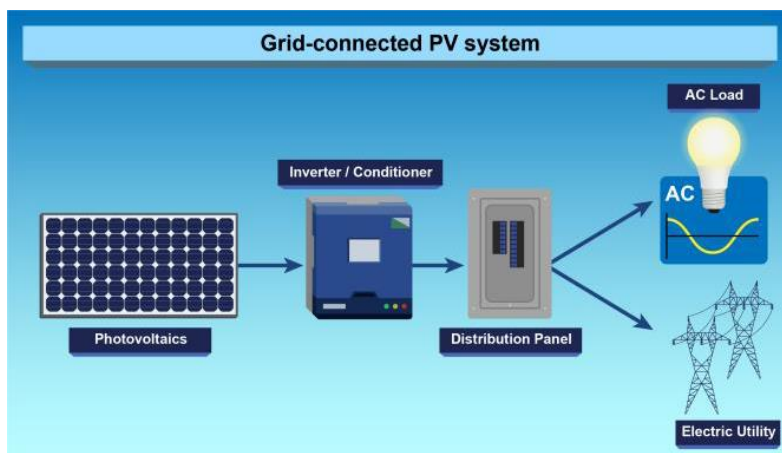
3.1.2.2 การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว เซลล์แสงอาทิตย์มีหน้าที่หลักในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยในหัวข้อ 3.1.2.1 นั้นได้กล่าวถึงผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละประเภทไปแล้ว อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในด้านการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยทั่วไปจะมีการใช้งานเพื่อผลิตไฟฟ้าทั้งหมด 3 ลักษณะ ดังนี้

1) ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า (PV grid connected system)

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า (PV grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าไฟฟ้าที่ออกแบบไว้สำหรับการเชื่อมต่อกับระบบส่ง และระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น

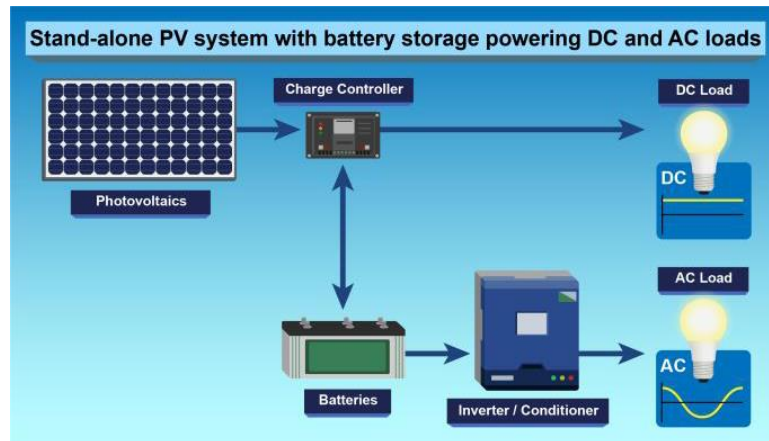
2 ประเภท คือ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดิน (PV solar farm) ซึ่งนิยมในหมู่ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก และผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก และระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดิน (PV solar rooftop) ซึ่งนิยมผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก และผู้ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งานเอง ตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-21



รูปที่ 3-21 ตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า
(ที่มา: การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอด และเผยแพร่การใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์, 2562) [11]

2) ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand alone system)

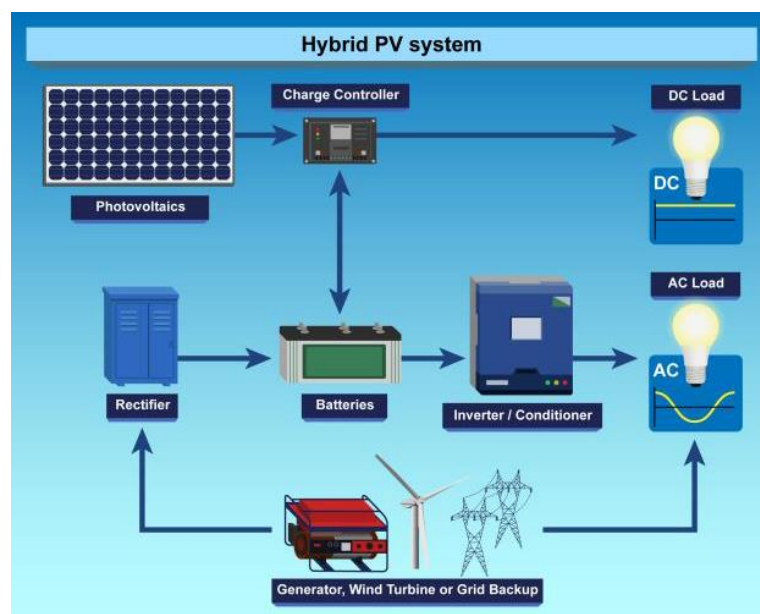
ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระเป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ไม่มีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้า ซึ่งเหมาะสมกับระบบที่ออกแบบไว้สำหรับบริเวณที่ห่างไกลมาก หรือบริเวณที่เป็นพื้นที่ชนบท ไม่มีระบบโครงข่ายของการไฟฟ้าที่จะสามารถจ่ายไฟฟ้าให้ได้ ระบบผลิตไฟฟ้าประเภทนี้อาจมีการทำงานควบคู่กับอุปกรณ์ต่างๆ เพิ่มเติม เช่น แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เป็นต้น ทั้งนี้แบตเตอรี่จะเป็นอุปกรณ์ที่จะช่วยให้สามารถกักเก็บพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินที่ผลิตได้ในช่วงเวลากลางวัน และนำมาใช้งานในช่วงเวลาอื่นๆ ได้ ตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-22



รูปที่ 3-22 ตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ
(ที่มา: การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอด และเผยแพร่การใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์, 2562) [11]

3) ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผสมผสาน (PV hybrid system)

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผสมผสาน (รูปที่ 3-23) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ออกแบบไว้สำหรับการทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าประเภทอื่นๆ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้ากังหันลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และ กังหันน้ำ เป็นต้น



รูปที่ 3-23 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผสมผสาน
(ที่มา: การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอด และเผยแพร่การใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์, 2562) [11]

3.1.2.3 มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ประเทศไทยมีนโยบายสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนหลากหลายรูปแบบ โดยสำหรับมาตรการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1) มาตรการอัตราส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder)

รัฐบาลมีนโยบายสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนผ่านมาตรการส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) โดยจะมีการให้ Adder แก่ผู้ผลิตไฟฟ้าในโครงการ VSPP เพิ่มเติมจากค่าไฟฟ้าฐานรวมกับค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) โดยมีระยะเวลาการสนับสนุนเป็นระยะเวลา 10 ปี นับจากวันเริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้า (Commercial operation date: COD) สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ การรับซื้อไฟฟ้าแบบ Adder ได้แบ่งประเภทของแหล่งพลังงานหมุนเวียนออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ขยะ พลังงานลม พลังงานน้ำขนาดเล็ก และพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแต่ละประเภทจะมี Adder ที่แตกต่างกัน โดยอัตราส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นดังนี้

- อัตราส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ปี พ.ศ. 2549 คิดเป็น 8 บาทต่อหน่วย
- อัตราส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ปี พ.ศ. 2553 คิดเป็น 6.5 บาทต่อหน่วย

2) มาตรการ Feed in Tariff (FiT)

มาตรการ Feed in Tariff เป็นมาตรการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในอัตราพิเศษตามประเภทแหล่งพลังงาน ในปี พ.ศ. 2556 คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพข.) ได้กำหนดอัตรารับซื้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ FiT สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบบนหลังคา โดยมีระยะเวลา 25 ปี ซึ่งอัตรารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในรูปแบบ FiT ตามมติ กพข. ในปีพ.ศ. 2556 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 อัตรารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในรูปแบบ FiT ตามมติ กพข. ปี พ.ศ. 2556

รูปแบบการรับซื้อ	บ้านอยู่อาศัย	อาคารธุรกิจขนาดเล็ก	อาคารธุรกิจขนาดกลาง-ใหญ่/โรงงาน
ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง	0-10 kWp	>10-250 kWp	>250-1,000 kWp
อัตรา FIT (บาท/หน่วย)	6.96	6.55	6.16

หมายเหตุ: ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง (Installed capacity) คิดจากกำลังผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

นอกจากนี้ในปี พ.ศ. 2557 คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพข.) ได้กำหนดอัตรารับซื้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ FiT สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบบนหลังคา ดังแสดงในตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-10 อัตราซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาแบบ FiT ตามมติ กพข. ปี พ.ศ. 2557

รูปแบบการรับซื้อ	แบบติดตั้งบนพื้นดิน	บ้านอยู่อาศัย ≤ 10 kW
อัตรา FIT (บาท/หน่วย)	5.66	6.85

นอกจากนี้ได้มีโครงการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ใน พ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นการจัดหาไฟฟ้าจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินสำหรับหน่วยงานราชการและสหกรณ์การเกษตรระยะที่ 2 ในรูปแบบ Feed-in Tariff 4.12 บาทต่อหน่วย ระยะเวลา 25 ปี

3) โครงการหรือมาตรการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

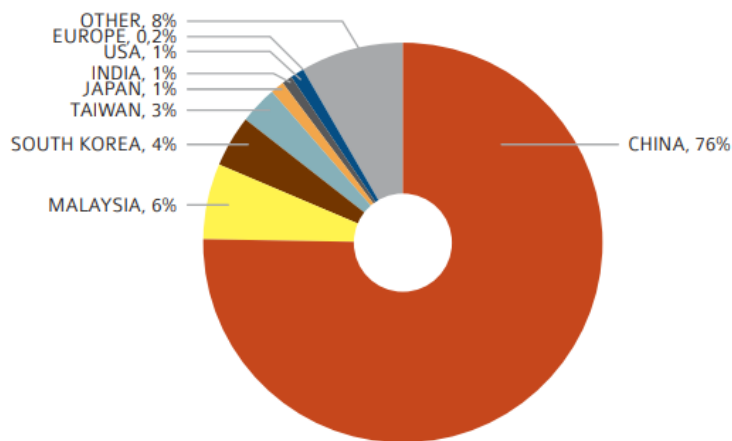
นอกเหนือจากมาตรการอัตราส่วนเพิ่มราคาซื้อไฟฟ้า (Adder) และมาตรการ Feed in tariff (FIT) ได้มีการดำเนินงานส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อื่นๆ เพิ่มเติม เช่น

- โครงการนำร่องการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอย่างเสรี พ.ศ. 2559 โดยมีเป้าหมายในการส่งเสริมการติดตั้งโซลาร์รูฟแบบเสรีให้มีการผลิตไฟฟ้าใช้ในบ้านหรือในอาคารเป็นหลัก โดยที่จะไม่มีการนับหน่วยไฟฟ้าหรือจ่ายเงินค่าไฟฟ้าที่ไหลเข้าระบบ และได้มีการปรับปรุงสัญญาเป็นการรับซื้อไฟฟ้าส่วนเกินในภายหลัง
- โครงการโซลาร์ภาคประชาชน ของคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ที่ให้ผู้บริโภคประเภทบ้านอยู่อาศัยที่ประสงค์จะผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา เพื่อใช้เองเป็นหลัก โดยส่วนที่เหลือขายเข้าระบบได้ ซึ่งกำหนดให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ได้แก่ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เปิดลงทะเบียนและรับข้อเสนอโครงการรับซื้อโซลาร์ภาคประชาชน ปี พ.ศ. 2562 มีเป้าหมาย และปริมาณการรับซื้อรวม 100 เมกะวัตต์ เป็นระยะเวลาสัญญา 10 ปี โดยรับซื้อปริมาณพลังไฟฟ้า ในอัตราซื้อไฟฟ้าอยู่ที่ 1.68 บาท/หน่วย

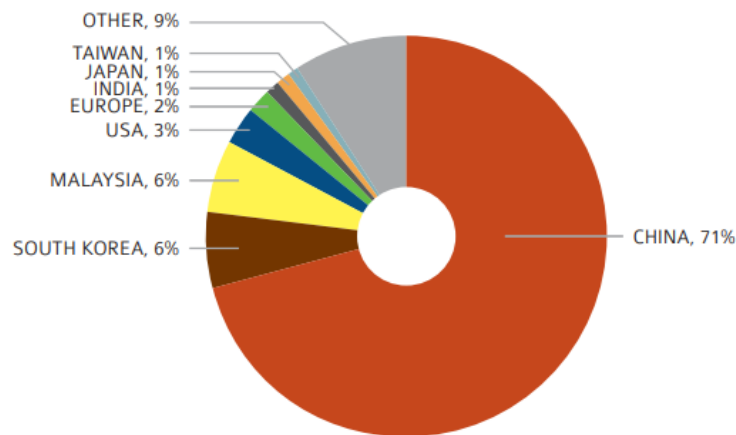
3.2 สถานการณ์การผลิตและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ

3.2.1 สถานการณ์การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศต่างประเทศ

ในปี ค.ศ. 2020 ข้อมูลการผลิตสำหรับการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกอยู่ระหว่าง 140 ถึง 160 กิกะวัตต์ และอาจเกิน 200 กิกะวัตต์ ในปี ค.ศ. 2021 ซึ่งจะประมาณการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกในปี ค.ศ. 2020 ไว้ที่ 147 กิกะวัตต์ แล้วเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกในปี ค.ศ. 2019 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นถึง 12% ซึ่งแต่ละประเทศจะมีส่วนแบ่งการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [12] ดังรูปที่ 3-24 และ 3-25



รูปที่ 3-24 ส่วนแบ่งการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของโลก

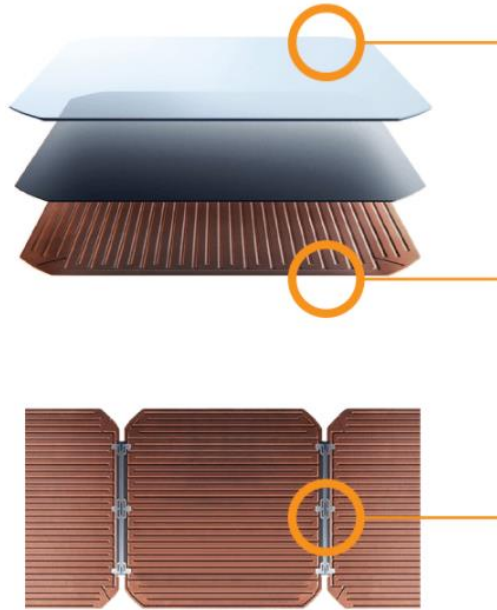


รูปที่ 3-25 ส่วนแบ่งการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของโลก

จากส่วนแบ่งการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของโลก จะเห็นได้ว่าประเทศจีนมีส่วนแบ่งการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของโลกมากที่สุด จึงทำให้ประเทศจีนเป็นผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์รายใหญ่ที่สุดในโลก ซึ่งมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 164 กิกะวัตต์ต่อปี ส่วนกำลังการผลิตของทั้งโลกอยู่ที่ 221 กิกะวัตต์ต่อปี สิ่งที่ทำให้มีกำลังการผลิตสูงขนาดนี้เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตชั้นนำของโลก ซึ่งจะยกตัวอย่างบริษัทชั้นนำของโลก [13] ดังนี้

1) บริษัท SunPower

บริษัท SunPower มีประวัติอันยาวนานในด้านการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ และได้รับการยกย่องว่าเป็นผู้นำเทคโนโลยีอุตสาหกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นผู้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์สำหรับที่พักอาศัยที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มีการเสื่อมสภาพต่ำที่สุด และ รับประกันประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในตลาด เนื่องจากบริษัท SunPower ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีชื่อว่า SunPower Maxeon Cells [14] ดังรูปที่ 3-26



รูปที่ 3-26 เซลล์แสงอาทิตย์ SunPower Maxeon Cells

(ที่มา: <https://sunpower.maxeon.com/int/solar-panel-products/sunpower-maxeon-solar-panels>)

เซลล์แสงอาทิตย์ SunPower Maxeon Cells ใช้เทคโนโลยีการออกแบบเซลล์แบบ Interdigitated Back Contact (IBC) ซึ่งช่วยขจัดเส้นตารางของโลหะที่ไม่นำดู และช่วยให้ดูดซับแสงแดดได้มากขึ้น ต่อมาแผ่นรองโลหะแข็ง ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับแต่ละเซลล์อย่างมาก ช่วยต้านทานการกัดกร่อนจากองค์ประกอบต่างๆ และทำให้ทั้งแผงมีความทนทานมากขึ้น ส่วนสุดท้ายคือข้อต่อแบบหนา ซึ่งช่วยการขยายและหดตัวจากอุณหภูมิที่ไม่คงที่ในแต่ละวันเพื่อให้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการคลายความเครียดในตัวเซลล์แสงอาทิตย์

2) บริษัท LG energy

บริษัท LG energy เป็นบริษัทย่อยจาก LG Corporation ได้รับการยอมรับว่าเป็นบริษัทชั้นนำของโลกในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากรางวัลมากมายในด้านเทคโนโลยีเซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งบริษัท LG energy ได้ทำการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาแล้วหลายรุ่น โดยรุ่นที่ได้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ รุ่น Neon R [15] ดังรูปที่ 3-27



รูปที่ 3-27 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Neon R

(ที่มา: https://gosolarquotes.com.au/review/lg-solar-panels/#NeON_R_Series)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Neon R ผลิตโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์โดยใช้เทคโนโลยีการออกแบบเซลล์แบบ Interdigitated Back Contact (IBC) ซึ่งได้ย้ายขั้วสารไปไว้ด้านหลังเพื่อให้ด้านหน้าของเซลล์มีพื้นที่ในการรับแสงมากขึ้นจึงทำให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิดีขึ้น

3) บริษัท REC

บริษัท REC เป็นผู้นำอุตสาหกรรมด้านความยั่งยืนด้วยการใช้การบัดกรีไร้สารตะกั่ว และใช้วิธีการผลิตที่มีประสิทธิภาพหลายวิธีเพื่อลดเวลาต้นทุน และการปล่อยพลังงานตลอดกระบวนการผลิต ซึ่งบริษัท REC ผลิตทุกอย่างตั้งแต่แท่งซิลิคอน เวฟเฟอร์เซลล์ และการประกอบโมดูลที่สมบูรณ์ ดังนั้น บริษัทจึงสามารถควบคุมคุณภาพและการตรวจสอบย้อนกลับของส่วนประกอบทั้งหมดได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งได้ทำการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกมาหลายรุ่นโดยรุ่นที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ REC Alpha Series [16] ดังรูปที่ 3-28



รูปที่ 3-28 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Alpha Series

(ที่มา: <https://www.recgroup.com/en/alpha>)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Alpha Series ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์โดยใช้เทคโนโลยี Heterojunction (HJT) ขั้นสูงในรูปแบบแผงแบบ Half-cut ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและให้ประสิทธิภาพการทำงานที่อุณหภูมิสูงขึ้น

4) บริษัท Panasonic

บริษัท Panasonic เป็นบริษัทที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นผู้นำในการพัฒนาอย่างยั่งยืน เนื่องจากเป็นผู้บุกเบิกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า และโซลูชันการสำรองแบตเตอรี่ของศูนย์ข้อมูล ตลอดจนเทคโนโลยีใหม่ ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ Panasonic EverVolt™ Series [17] ดังรูปที่ 3-29



รูปที่ 3-29 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น EverVolt™ Series

(ที่มา: <https://na.panasonic.com/us/energy-solutions/solar/evervolttm-modules/evervolttm-series-module-0>)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น EverVolt™ Series ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โมโนคริสตัลไลน์แบบ Half-cut ที่มีเทคโนโลยี Heterojunction (HJT) ช่วยลดการสูญเสียอิเล็กตรอน เพิ่มประสิทธิภาพการแปลงสูงสุด สร้างเอาต์พุตกำลังสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปอย่างมาก และสามารถทำงานได้ดีในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำ

5) บริษัท Silfab Solar

บริษัท Silfab Solar เป็นบริษัทชั้นนำในอเมริกาเหนือในการออกแบบ พัฒนา และผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คุณภาพสูงและประสิทธิภาพสูง ใช้เทคโนโลยีที่ดีที่สุดในระดับเดียวกันเพื่อผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับคะแนนสูงสุดจากโรงงานในรัฐวอชิงตันและโตรอนโต ประเทศแคนาดา โรงงานแต่ละแห่งมีสายการผลิตอัตโนมัติที่ผ่านการรับรองคุณภาพ ISO 9001-2015 ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ SILFAB ELITE [18] ดังรูปที่ 3-30



รูปที่ 3-30 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น SILFAB ELITE
(ที่มา: <https://silfabsolar.com/silfabelite/>)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น SILFAB ELITE ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์โดยใช้เทคโนโลยีการออกแบบเซลล์แบบ Interdigitated Back Contact (IBC) ขั้นสูงเพื่อลดการสูญเสียการนำไฟฟ้า ความเค้นทางกล ช่องว่างของเซลล์ และเงาบังด้านหน้าเซลล์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือ

6) บริษัท JinkoSolar

บริษัท JinkoSolar เป็นหนึ่งในผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใหญ่ที่สุดและมีนวัตกรรมมากที่สุดในโลก จัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์พลังงานแสงอาทิตย์และจำหน่ายโซลูชันและบริการให้กับฐานลูกค้าด้านสาธารณูปโภคระหว่างประเทศ เชิงพาณิชย์และที่อยู่อาศัยในหลายประเทศทั่วโลก และมีวิสัยทัศน์ในการจัดหาโซลูชันแบบครบวงจรสำหรับพลังงานสะอาดและเป็นผู้นำในอุตสาหกรรม ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ Tiger series [19] ดังรูปที่ 3-31

Tiger N-Type 66TR 390-410 Watt MONO-FACIAL MODULE

N-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

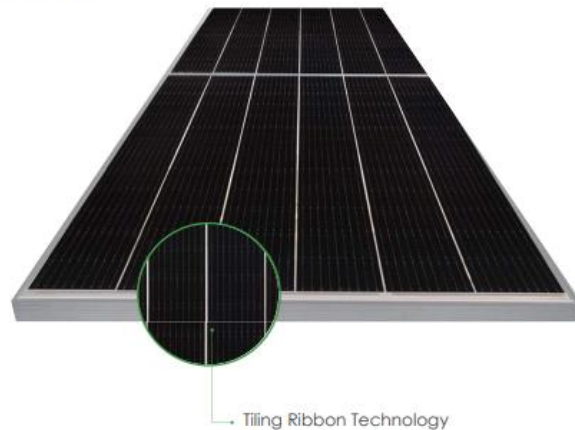
IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Quality Management System

ISO14001:2015: Environment Management System

ISO45001:2018

Occupational health and safety management systems



รูปที่ 3-31 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Tiger series

(ที่มา: [https://www.jinkosolar.com/uploads/JKM390-410N-6RL3-\(V\)-F1-EN%20\(IEC%202016\).pdf](https://www.jinkosolar.com/uploads/JKM390-410N-6RL3-(V)-F1-EN%20(IEC%202016).pdf))

แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Tiger series ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์มีบัสบาร์เส้นเล็ก 9 อันเรียกว่า Multi-busbar (MBB) ซึ่งช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมีค่าลดลง และมีเทคโนโลยี Tiling Ribbon เป็นเทคนิคการผลิตที่เซลล์จะเหลื่อมกันเล็กน้อย คล้ายกับเซลล์ที่มุงด้วยกระเบื้อง เพื่อจัดช่องว่างระหว่างเซลล์และเพิ่มความครอบคลุมของเซลล์โดยรวมซึ่งในทางกลับกันจะเพิ่มประสิทธิภาพ

7) บริษัท FuturaSun

บริษัท FuturaSun เป็นบริษัทที่ก่อตั้งในประเทศอิตาลีมีโรงงานผลิตขนาดใหญ่ตั้งอยู่ภูมิภาคเอเชียมีสายงานการผลิตที่เป็นระบบอัตโนมัติแล้วมีการควบคุมคุณภาพอย่างเข้มงวดดำเนินการตลอดทั้งกระบวนการทั้งหมดเพื่อในการรับประกันคุณภาพสูงสุด และสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ทั้งหมด ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ รุ่น Zebra [20] ดังรูปที่ 3-32



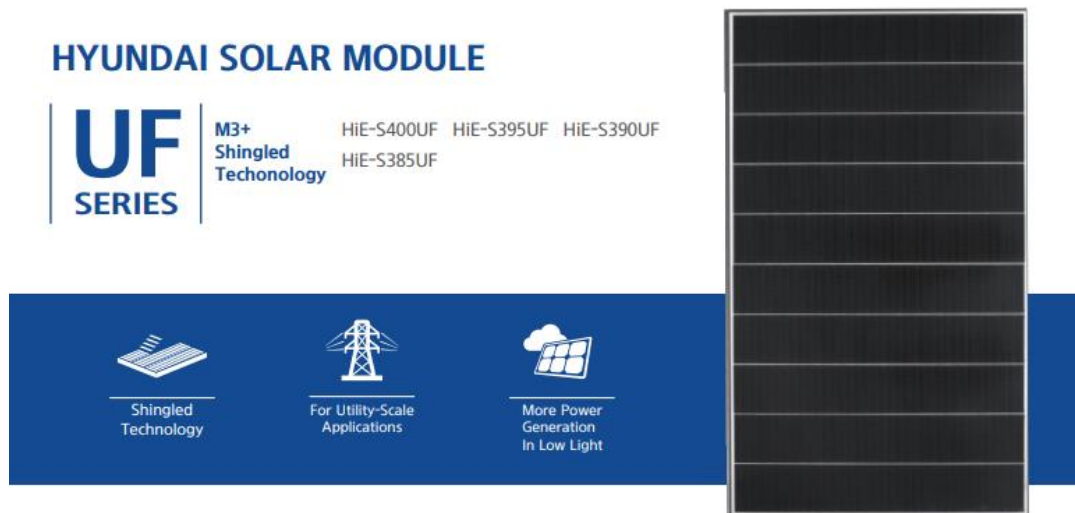
รูปที่ 3-32 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Zebra

(ที่มา: <https://www.futurasun.com/en/products/monocrystalline-pv-panels/zebra-back-contact-120-half-cut-ibc-cells/>)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Zebra ใช้นวัตกรรมเทคโนโลยี Zebra ที่พัฒนาในยุโรปนั่นก็คือ การเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ 120 เซลล์โดยใช้เทคโนโลยีการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Interdigitated Back Contact (IBC) และการออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Half-cut ซึ่งทั้งหมดนี้ช่วยในการลดการสูญเสียจากการบดบังเซลล์ด้านหน้า ช่วยให้การดูดกลืนแสงมากขึ้นและทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่ดีขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงที่สุด

8) บริษัท Hyundai Energy Solutions

บริษัท Hyundai Energy Solutions เป็นหนึ่งในแบรนด์ผู้บริโภครายใหญ่ที่สุดในโลก ในฐานะแบรนด์ระดับโลกที่ก่อตั้งมายาวนาน มีการรับประกันผลิตภัณฑ์ชั้นนำของตลาดสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับงานหนัก มีศูนย์วิจัยและพัฒนาของ Hyundai เป็นห้องปฏิบัติการทดสอบที่ได้รับการรับรองจากทั้งใบรับรองความปลอดภัยระดับโลก Underwriters Laboratories (UL) และ Verband der Elektrotechnik (VDE) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและรับประกันคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ รุ่น UF SERIES [21] ดังรูปที่ 3-33



รูปที่ 3-33 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น UF SERIES

(ที่มา: <https://www.hyundaisolar.com.au/wp-content/uploads/2021/05/HYUNDAI-M3-SHINGLED-UF-BF-25Y.pdf>)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น UF SERIES โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ที่ใช้เทคโนโลยีการออกแบบเซลล์แบบ Passivated emitter rear contact cell (PERC) และใช้เทคโนโลยี Shingled สร้างขึ้นโดยการตัดเซลล์ขนาดเต็มปกติเป็น 5 หรือ 6 แถบด้วยเลเซอร์ แล้วจัดวางเป็นชั้นๆ ทับซ้อนกันซึ่งสามารถประกอบในแนวนอนหรือแนวตั้งของแผงก็ได้ การเหลื่อมกันเล็กน้อยของแต่ละแถบเซลล์จะซ่อนบัสบาร์เดี่ยวที่เชื่อมต่อระหว่างแถบเซลล์ การออกแบบนี้ลดผลกระทบของเงาบังกับเซลล์ยาวแต่ละเซลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เซลล์แต่ละเซลล์ทำงานอย่างอิสระต่อกัน นอกจากนี้ยังมีราคาค่อนข้างถูกในการผลิต ดังนั้นจึงเป็นตัวเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงที่คุ้มค่า

9) บริษัท Trina Solar

บริษัท Trina Solar เป็นหนึ่งในบริษัทพลังงานแสงอาทิตย์แห่งแรกในจีนที่ก้าวขึ้นเป็นผู้นำระดับโลกในด้านเทคโนโลยีและการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ ระดับนวัตกรรมและความสามารถทางเทคโนโลยีที่ไม่มีใครเทียบได้ ทำให้ก้าวขึ้นเป็นผู้นำระดับโลกโดยกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของอุตสาหกรรมทั้งในด้านคุณภาพและประสิทธิภาพ เป็นผู้นำอุตสาหกรรมด้านการวิจัยและพัฒนาด้วยสิทธิบัตรพลังงานแสงอาทิตย์กว่า 1,300 รายการจนถึงปัจจุบัน มีการควบคุมคุณภาพอย่างเข้มงวดในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต ตั้งแต่การตกผลึกของซิลิคอนไปจนถึงการปรับใช้โมดูลในภาคสนามเพื่อรักษาความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพการทำงานที่มั่นคง ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ รุ่น Vertex [22] ดังรูปที่ 3-34



รูปที่ 3-34 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Vertex
(ที่มา: <https://www.trinasolar.com/us/product>)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Vertex ใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ที่ใช้เทคโนโลยีการออกแบบเซลล์แบบ Passivated emitter rear contact cell (PERC) และเทคโนโลยี Multi-Busbar (MBB) ใหม่เพื่อปรับปรุงการบัดบังเซลล์แสงอาทิตย์ และพัฒนาเทคโนโลยีการบัดกรีแบบไฮบริดใหม่เพื่อลดช่องว่างระหว่างเซลล์ เทคโนโลยีเหล่านี้ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมาก

10) บริษัท Spic Solar

บริษัท Spic Solar เป็นบริษัทในเครือของ HUANGHE HYDROPOWER DEVELOPMENT มีศูนย์เทคโนโลยีขององค์กรที่ได้รับการยอมรับของประเทศจีน เป็นผู้นำของการบริหารพลังงานแห่งชาติ มีเป้าหมายเพื่อให้บริการลูกค้าด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพในการแปลงสูง ผลิตภัณฑ์ได้รับการรับรองจาก German TUV rheinland, American UL, JET/JPEA ของญี่ปุ่น และมาตรฐานสากลอื่นๆ เพื่อให้มั่นใจในคุณภาพ และความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ รุ่น ANDROMEDA [23] ดังรูปที่ 3-35



รูปที่ 3-35 แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น ANDROMEDA

(ที่มา: <http://www.spicsolar.com/en/product.asp?id=431>)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น ANDROMEDA ใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ที่ใช้เทคโนโลยีการออกแบบเซลล์แบบ Interdigitated Back Contact (IBC) และการออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Half-cut ซึ่งช่วยในเรื่องการบดบังเซลล์แสงอาทิตย์ด้านหน้าเซลล์โดยการย้ายขั้วสารไปไว้ด้านหลังเพื่อเพิ่มพื้นที่รับแสง และทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่ดีขึ้น ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

จากการยกตัวอย่างบริษัทผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชั้นนำของโลกทำให้เห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการผลิตและพัฒนาประสิทธิภาพมากที่สุดมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนแบบโมโนคริสตัลไลน์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการผลิตทั่วโลกที่มีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนแบบโมโนคริสตัลไลน์มากที่สุดเนื่องจากให้ประสิทธิภาพที่ค่อนข้างดีรวมถึงต้นทุนในการผลิตที่ต่ำจึงเป็นที่นิยมของอุตสาหกรรม และจากบริษัทชั้นนำของโลกเทคโนโลยีการออกแบบเซลล์แบบ Interdigitated Back Contact (IBC) เริ่มนำมาใช้แทนที่เทคโนโลยีการออกแบบเซลล์แบบ Passivated emitter rear contact cell (PERC) เนื่องจากให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าเป็นการยกระดับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่เนื่องด้วยประสิทธิภาพที่มากกว่าก็จะมีต้นทุนในการผลิตที่สูงกว่าเช่นกัน

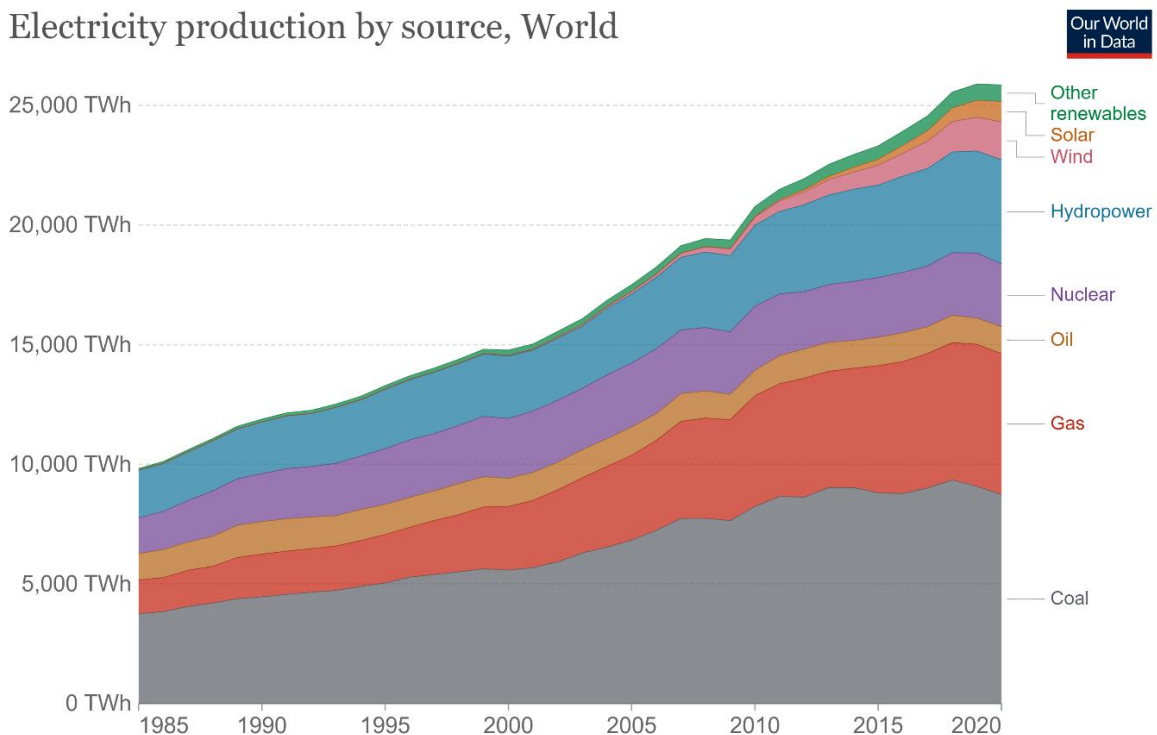
3.2.2 สถานการณ์การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ ซึ่งจะครอบคลุมถึงภาพรวมสถานการณ์การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ รูปแบบการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ รวมถึงมาตรการส่งเสริมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยสามารถแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ดังนี้

3.2.2.1 ภาพรวมสถานการณ์การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ

ในโลกของเรามีการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และแหล่งพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ ทั้งนี้จะพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละปีนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 3-36 จะพบว่าการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินนั้นมีแนวโน้มที่คงที่ และลดลงตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ. 2013 และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกนั้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น

Electricity production by source, World



Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy & Ember (2021)
Note: 'Other renewables' includes biomass and waste, geothermal, wave and tidal.

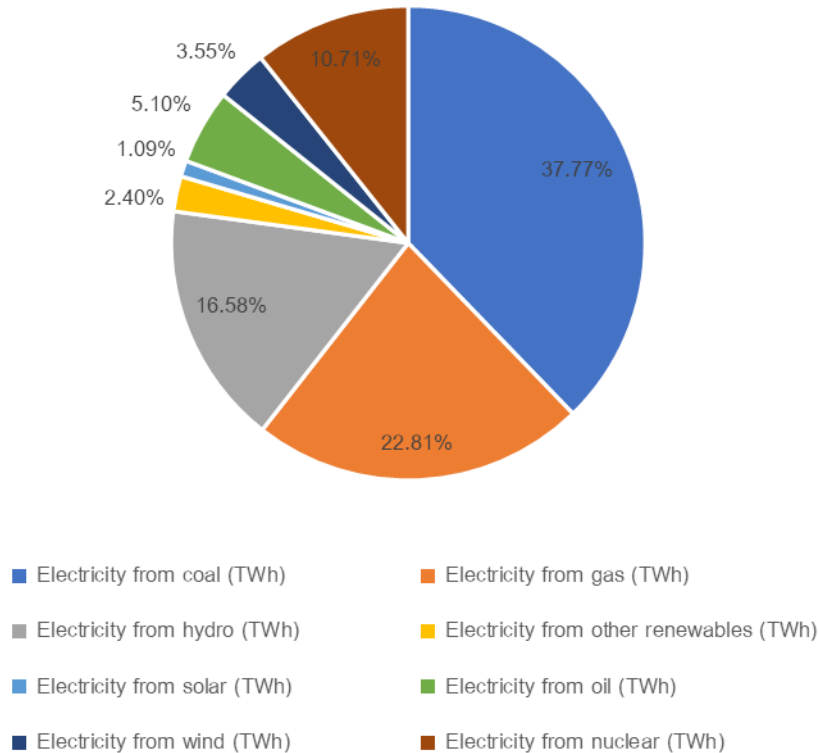
OurWorldInData.org/energy • CC BY

รูปที่ 3-36 สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ในโลก

โดยในปี ค.ศ. 2015 โลกได้มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-37 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ถ่านหินทั้งหมด 8,805.06 TWh (37.77%)
- การผลิตไฟฟ้าจากแก๊ส 5,316.75 TWh (22.81%)
- การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ 3,864.43 TWh (16.58%)
- การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 254.67 TWh (1.09%)
- การผลิตไฟฟ้าจากน้ำมัน 1,189.52 TWh (5.10%)
- การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม 828.65 TWh (3.55%)

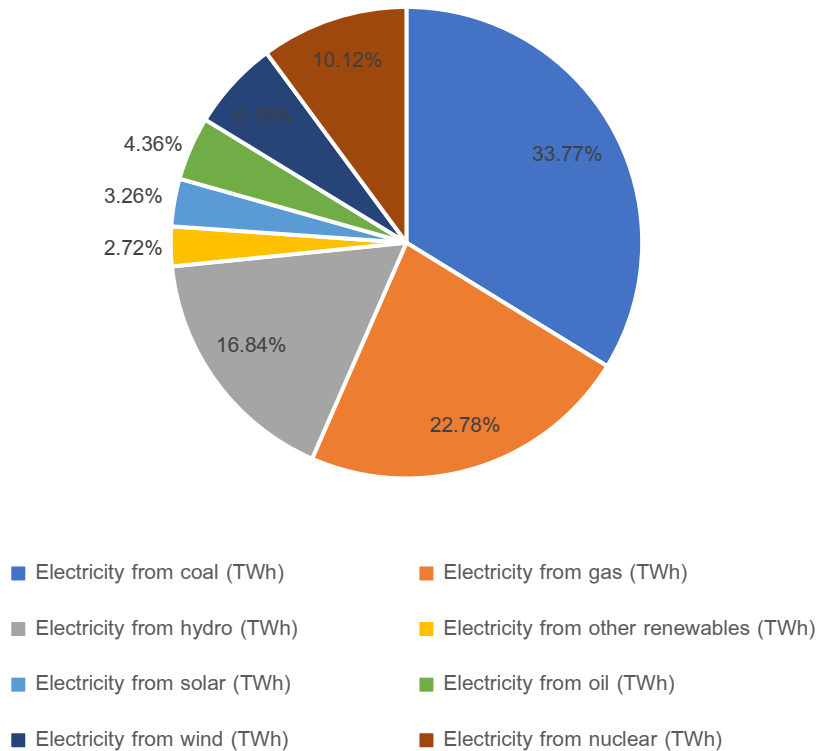
- การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ 2,496.12 TWh (10.71%)
- การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ 558.74 TWh (2.40%)



รูปที่ 3-37 สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ในโลก ในปี ค.ศ. 2015

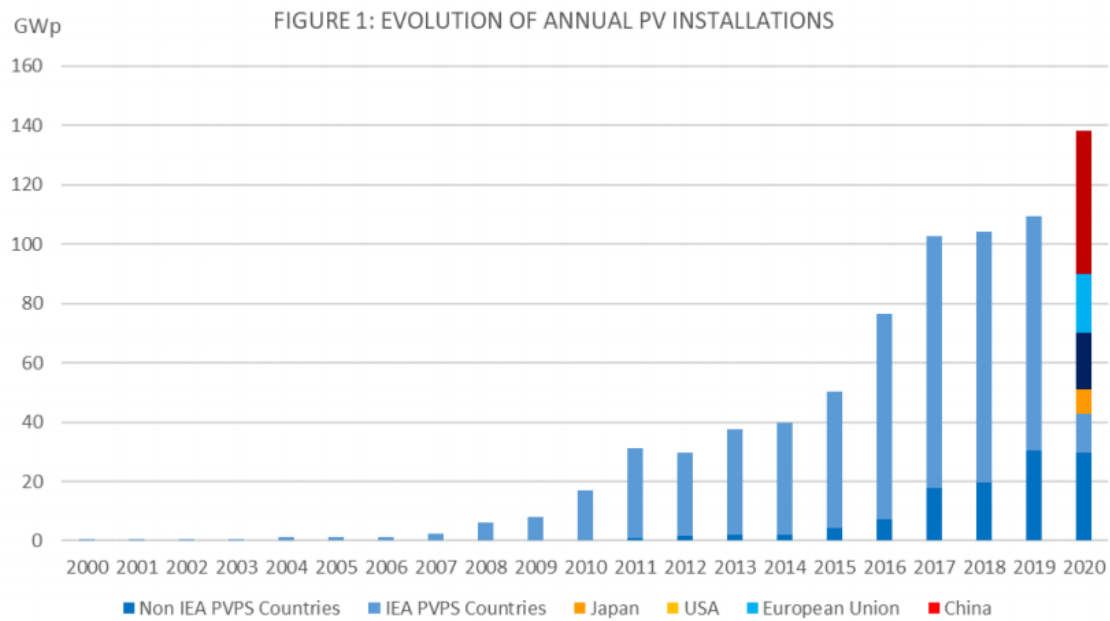
หากพิจารณาสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าในปี ค.ศ. 2020 ในโลกนั้นจะมีการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-38 ดังนี้

- ถ่านหินทั้งหมด 8,735.80 TWh (33.77%)
- การผลิตไฟฟ้าจากแก๊ส 5,892.44 TWh (22.78%)
- การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ 4,355.04 TWh (16.84%)
- การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 844.39 TWh (3.26%)
- การผลิตไฟฟ้าจากน้ำมัน 1,128.39 TWh (4.36%)
- การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม 1,590.19 TWh (6.15%)
- การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ 2,616.61 TWh (10.12%)
- การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ 702.89 TWh (2.72%)



รูปที่ 3-38 สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ในโลก ในปี ค.ศ. 2020

ทั้งนี้จะพบว่าในช่วงระยะเวลา 5 ปี จากปี พ.ศ. 2558 ถึงปี พ.ศ. 2563 นั้นในโลกได้มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีเพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 1.09 เป็นร้อยละ 3.26 โดยหากพิจารณาอัตราการเติบโตของการใช้พลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง 5 ปี จะพบว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในโลกมีอัตราการเติบโตสูงถึงร้อยละ 231.56 (เพิ่มขึ้นจาก 254.67 TWh เป็น 844.39 TWh) ซึ่งจะพบว่าการผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในทุกๆ ปี ดังแสดงในรูปที่ 3-39

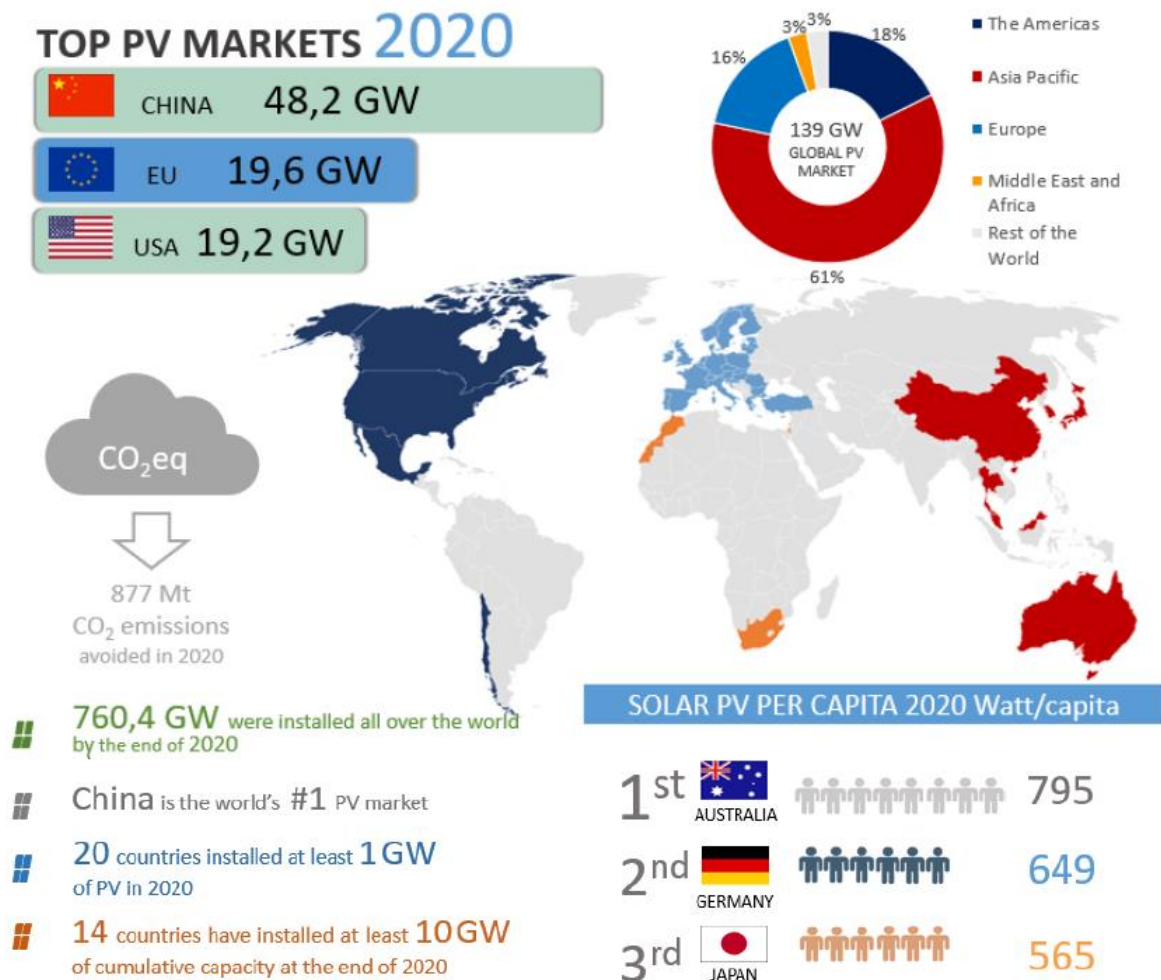


รูปที่ 3-39 กำลังผลิตติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าในแต่ละปี

(ที่มา: Snapshot of global PV markets, IEA, 2021) [24]

นอกจากนี้หากพิจารณากำลังผลิตสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในภาพรวมดังแสดงในรูปที่ 3-40 จะพบว่าในโลกได้มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2563 กว่า 139.4 GW โดยประเทศจีนมีสัดส่วนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุด โดยมีกำลังผลิตติดตั้งอยู่ที่ 48.2 GW รองลงมาเป็นประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปซึ่งมีกำลังผลิตติดตั้งอยู่ที่ 19.6 GW และอันดับถัดมาเป็นประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีกำลังผลิตติดตั้งอยู่ที่ 19.2 GW นอกจากนี้ในปี พ.ศ. 2563 จะมีประเทศอย่างน้อย 20 ประเทศที่ได้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อย่างน้อย 1 GW และ 14 ประเทศที่มีกำลังผลิตติดตั้งสูงกว่า 10 GW

A Snapshot of Global PV Markets



รูปที่ 3-40 ภาพรวมการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในโลก
(ที่มา: Snapshot of global PV markets, IEA, 2021) [24]

สำหรับ 10 อันดับแรกของประเทศที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2563 สูงที่สุดนั้นจะประกอบด้วย จีน สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา เวียดนาม ญี่ปุ่น เยอรมัน อินเดีย ออสเตรเลีย เกาหลี บราซิล และเนเธอร์แลนด์ และสำหรับ 10 อันดับแรกของประเทศที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สะสมรวมในปี พ.ศ. 2563 สูงที่สุดนั้นจะประกอบด้วย จีน สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เยอรมัน อินเดีย อิตาลี ออสเตรเลีย เวียดนาม เกาหลี และสหราชอาณาจักร โดยประเทศที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุด และมีกำลังผลิตติดตั้งสะสมสูงสุดในปี พ.ศ. 2563 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-41

TABLE 1: TOP 10 COUNTRIES FOR INSTALLATIONS AND TOTAL INSTALLED CAPACITY IN 2020							
FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY				FOR CUMULATIVE CAPACITY			
1		China	48,2 GW	1		China	253,4 GW
(2)		European Union	19,6 GW	(2)		European Union	151,3 GW
2		United States	19,2 GW	2		United States	93,2 GW
3		Vietnam	11,1 GW	3		Japan	71,4 GW
4		Japan	8,2 GW	4		Germany	53,9 GW
5		Germany	4,9 GW	5		India	47,4 GW
6		India	4,4 GW	6		Italy	21,7 GW
7		Australia	4,1 GW	7		Australia	20,2 GW
8		Korea	4,1 GW	8		Vietnam	16,4 GW
9		Brazil	3,1 GW	9		Korea	15,9 GW
10		Netherlands	3 GW	10		UK	13,5 GW

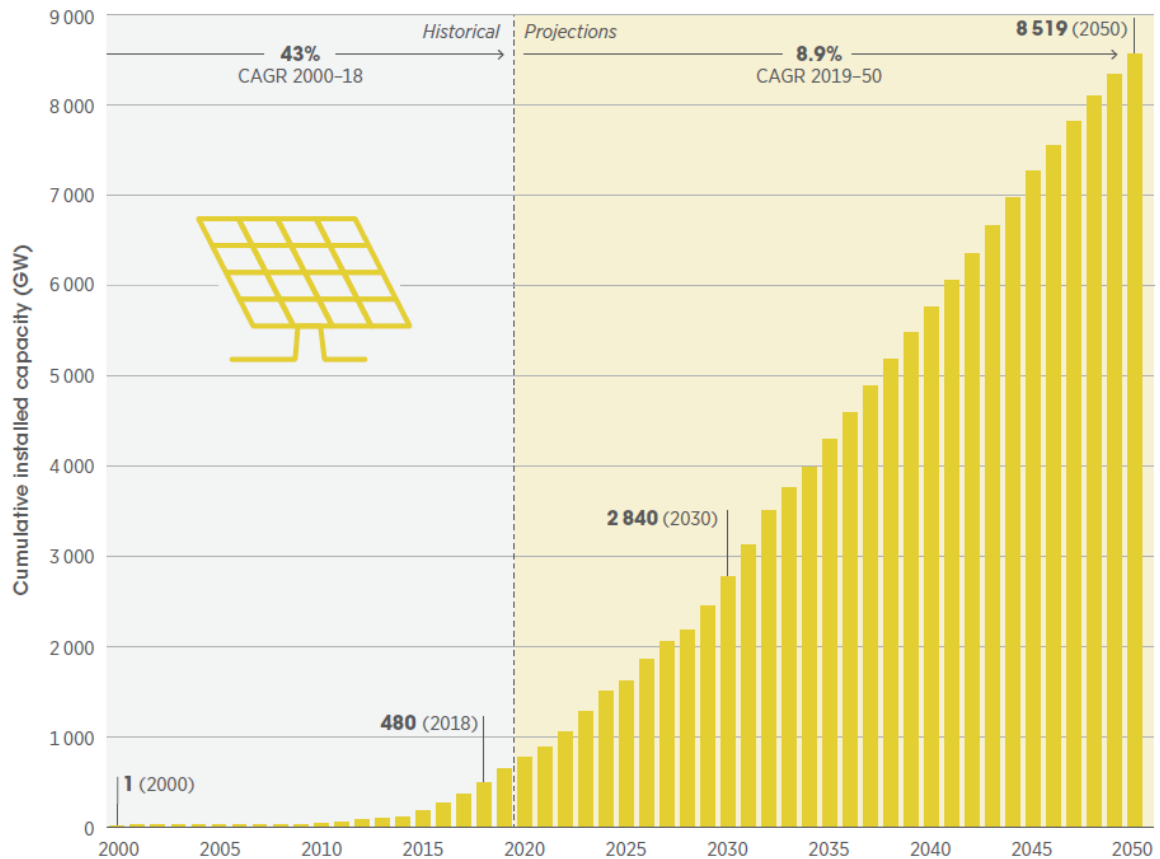
Source: IEA PVPS

รูปที่ 3-41 กลุ่มประเทศที่มีการติดตั้ง และมีกำลังผลิตติดตั้งสะสม ของระบบผลิตไฟฟ้า

จากพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดในปี พ.ศ. 2563

(ที่มา: Snapshot of global PV markets, IEA, 2021) [24]

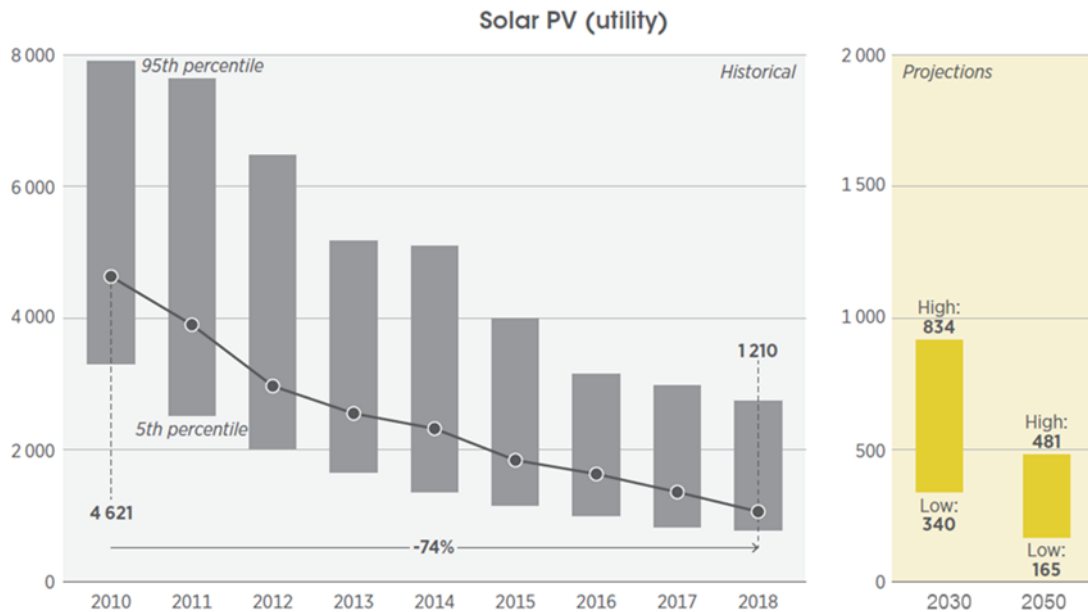
นอกจากนี้หากพิจารณาประมาณการกำลังผลิตติดตั้งสะสมของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในโลกจะพบว่า เมื่อพิจารณาถึงความพร้อมของทรัพยากร ศักยภาพทางการตลาด และต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีศักยภาพในการขับเคลื่อนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง โดยจากรูปที่ 3-42 จะพบว่าภายใน 10 ปี การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีแนวโน้มถึงจะสูงขึ้นถึง 6 เท่า โดยมีกำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ที่ 2,840 GW ภายในปี พ.ศ. 2573 และเพิ่มสูงขึ้นเป็น 8,519 GW ภายในปี พ.ศ. 2593 ซึ่งจะพบว่าการกำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2593 คิดเป็นประมาณ 18 เท่า ของประมาณการกำลังผลิตติดตั้งในปี พ.ศ. 2561 ทั้งนี้ในปี พ.ศ. 2593 นั้นจะมีระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 60% เป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์รายใหญ่ (Utility scale) และอีกประมาณ 40% เป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทบนหลังคา (Rooftop)



Sources: Historical values based on IRENA's renewable energy statistics (IRENA, 2019c) and future projections based on IRENA's analysis (2019a).

รูปที่ 3-42 ประมาณการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในโลกร
(ที่มา: Future of solar photovoltaic, IRENA, 2019) [25]

ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะสูงมากขึ้นนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากต้นทุนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะลดลงในแต่ละปี โดยหากเปรียบเทียบต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2553 กับ ปี พ.ศ. 2561 จะพบว่าต้นทุนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีค่าลดลงกว่าร้อยละ 74 ดังแสดงในรูปที่ 3-43 (ลดลงจากประมาณ 4,621 USD/kW เป็น 1,210 USD/kW) โดยในปี พ.ศ. 2573 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะมีราคาอยู่ในช่วง 340 ถึง 834 USD/kW และในปี พ.ศ. 2593 มีแนวโน้มที่จะมีราคาลดลงอยู่ในช่วง 165 ถึง 481 USD/kW ซึ่งจะพบว่าต้นทุนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะลดลงกว่าร้อยละ 90 หากเปรียบเทียบกับต้นทุนการติดตั้งในปี พ.ศ. 2553



รูปที่ 3-43 ต้นทุนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
(ที่มา: Future of solar photovoltaic, IRENA, 2019) [25]

3.2.2.2 การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ

เซลล์แสงอาทิตย์มีหน้าที่หลักในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะมีการใช้งานในรูปแบบต่างๆ ที่หลากหลายตามรูปแบบของธุรกิจหรือการใช้งานที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงโมเดลธุรกิจของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการกล่าวถึงโดยทั่วไปในต่างประเทศโดยแบ่งออกเป็น 6 รูปแบบ ดังนี้

1) การผลิตไฟฟ้าเพื่อการใช้งานเองเป็นหลัก (Self consumption)

การผลิตไฟฟ้าเพื่อการใช้งานเองเป็นหลักจะเกิดขึ้นเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าได้มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นของตนเอง โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นจะนำมาใช้งานเองก่อน และส่วนที่เหลือนั้นจะสามารถนำไปขายแก่การไฟฟ้าหรือบุคคลที่สามได้ การใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในลักษณะนี้เหมาะกับการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งานในช่วงที่มีอัตราค่าไฟฟ้าสูง เพื่อลดค่าไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องจ่าย นอกจากนี้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อาจมีการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น แบตเตอรี่ เพื่อให้ระบบผลิตไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

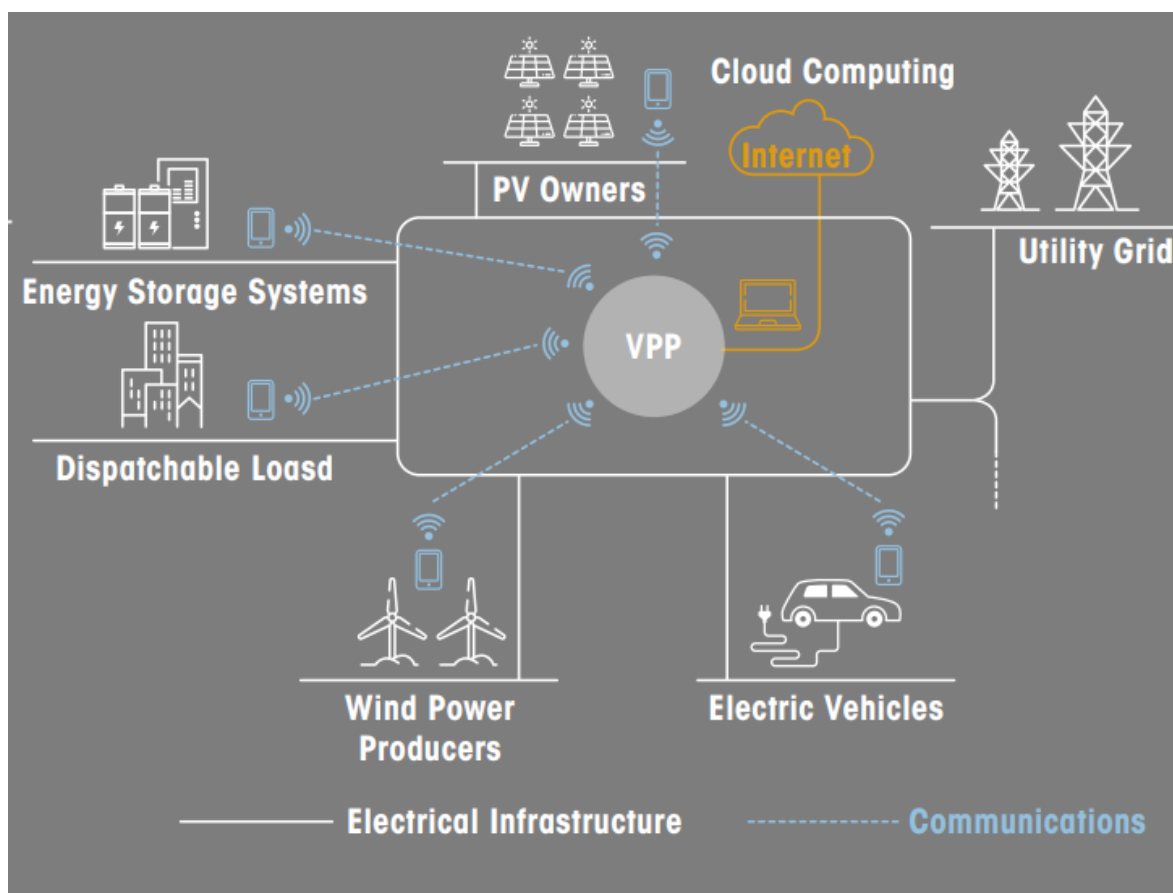
2) การทำข้อตกลงการซื้อขายพลังงานแสงอาทิตย์ (Power purchase agreement: PPA)

ข้อตกลงการซื้อขายพลังงานแสงอาทิตย์ หรือ PPA แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ Direct line PPA และ Utility PPA โดย Direct line PPA เป็นข้อตกลงซื้อขายที่เจ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียง โดยผู้ใช้ไฟฟ้าจะซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แทนที่จากการซื้อจากระบบโครงข่ายในอัตราขายปลีก การซื้อขายในลักษณะนี้จะทำ

ให้ผู้ซื้อไฟฟ้ามีอัตราค่าไฟฟ้าที่คงที่ในระยะยาวและป้องกันความเสี่ยงที่ราคาการซื้อขายพลังงานจะสูงขึ้น ในขณะที่ Utility PPA เป็นข้อตกลงซื้อขายไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตและขายไฟฟ้าให้แก่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า การซื้อขายในลักษณะนี้จะส่งผลให้พลังงานที่ผลิตได้สามารถขายได้ด้วยอัตราคงที่

3) โรงไฟฟ้าเสมือน (Virtual power plant: VPP)

โดยทั่วไป VPP จะเป็นการจัดการความต้องการไฟฟ้าในบริเวณหนึ่งให้เป็นไปตามความต้องการของการไฟฟ้า โดยในพื้นที่นั้นอาจประกอบด้วย ผู้ใช้ไฟฟ้า และ/หรือ ผู้ผลิตไฟฟ้าก็ได้ กล่าวคือระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของโรงไฟฟ้าเสมือนได้ VPP สามารถช่วยลดความผันผวนของพลังงานหมุนเวียน เป็นการส่งเสริมการเข้ามามีส่วนร่วมในระบบไฟฟ้าของพลังงานหมุนเวียนตามนโยบายของภาครัฐ ส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนที่มีราคาถูก ลดความสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการสนับสนุนติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าที่ใกล้กับผู้ใช้ไฟฟ้า อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนของระบบไฟฟ้าในการบริหารจัดการความผันผวนของพลังงานหมุนเวียนอีกด้วย โดยตัวอย่างโครงสร้าง VPP สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-44

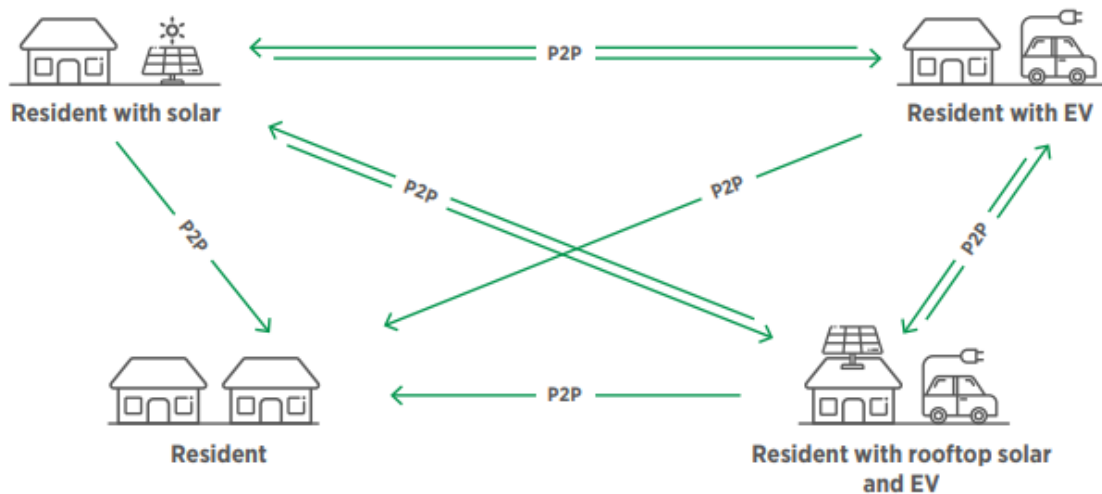


รูปที่ 3-44 โครงสร้าง Virtual power plant (VPP)

(ที่มา: Aggregators innovation landscape brief, IRENA, 2019) [26]

4) Peer-to-peer energy trading

การซื้อขายไฟฟ้าแบบ P2P เป็นรูปแบบธุรกิจของการซื้อขายแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าระหว่าง Prosumer ที่เป็นผู้ผลิตไฟฟ้าที่เป็นเจ้าของระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ เช่น ระบบโซลาร์รูฟ ยานยนต์ไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3-45 โดยมีจุดมุ่งหมายผลิตเพื่อใช้เองก่อน และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินเหลือใช้สามารถนำมาขายแก่ผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อยอื่นๆ ผ่านแพลตฟอร์มการซื้อขายไฟฟ้า ซึ่งแพลตฟอร์มการซื้อขายไฟฟ้าจะทำหน้าที่เสมือนตลาดออนไลน์ (Marketplace) โดยได้แรงบันดาลใจมาจากแนวคิดเศรษฐกิจแบบแบ่งปัน (Sharing economy) ซึ่งสามารถนำมาปรับใช้กับรูปแบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบ P2P ในการอนุญาตให้ผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถประมูลซื้อขายไฟฟ้า หรือทำการบริการอื่นๆ กันได้โดยตรง



รูปที่ 3-45 โครงสร้างการซื้อขายไฟฟ้าแบบ P2P

(ที่มา: IRENA Business model innovation landscape, 2020) [27]

5) PV-hybrid mini grid

PV-hybrid mini grid คือ ระบบโครงข่ายแบบ Distributed grid-integrated หรือ Off-grid ที่ประกอบด้วยระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ผู้ใช้ไฟฟ้า โครงสร้างพื้นฐานของระบบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความเชื่อถือได้ และจัดหาพลังงานในระดับท้องถิ่นเพื่อรองรับผู้ใช้ไฟฟ้าในกลุ่มบ้านอยู่อาศัย พาณิชยกรรม และ อุตสาหกรรม วัตถุประสงค์หลักของ PV-hybrid mini grid คือ เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าถึงแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่เชื่อถือได้ ก่อให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิง และลดการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในวงกว้าง

6) Mini PV

Mini PV คือ ระบบผลิตไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับระบบโครงข่าย ซึ่ง Mini PV หนึ่งๆ โดยปกติแล้วจะผลิตไฟฟ้าเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะเท่านั้น เช่น เพื่อการส่องสว่าง เพื่อชาร์จโทรศัพท์ เป็นต้น

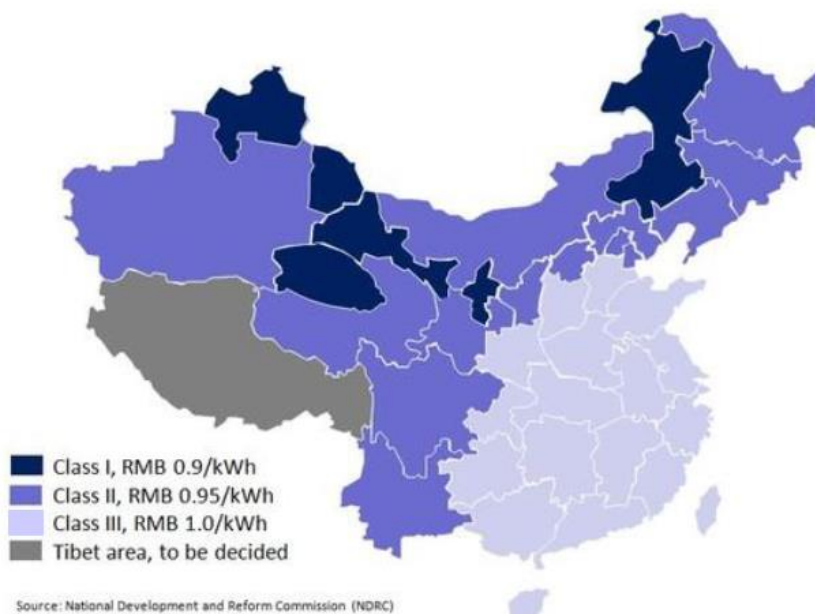
ประโยชน์หลักของ Mini PV คือการผลิตไฟฟ้าเพื่อการประหยัดค่าไฟ และเพื่อให้เข้าถึงการใช้ไฟฟ้าได้ง่าย

3.2.2.3 มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงมาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศ โดยเอกสาร “รายงานฉบับสมบูรณ์ การติดตามสถานการณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2561)” ซึ่งจัดทำโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และเสนอต่อกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้รวบรวมมาตรการมาตรการสนับสนุนและส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศต่างๆ ทั้งหมด 4 ประเทศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) จีน

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศจีนส่วนใหญ่เกิดขึ้นในภาคตะวันออกและภาคกลางของประเทศ ส่วนภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศยังมีไม่มากนัก ซึ่งในประเทศจีนได้มีการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ FiT โดยมีการจัดทำอัตรา FiT ที่แตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ โดยรูปที่ 3-46 พื้นที่การรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ FiT ในประเทศจีนโดยอัตรา การรับซื้อไฟฟ้ารูปแบบ FiT ในแต่ละพื้นที่สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-11



รูปที่ 3-46 พื้นที่การรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ FiT ในประเทศจีน

(ที่มา: รายงานฉบับสมบูรณ์ การติดตามสถานการณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย, 2561) [28]

ตารางที่ 3-11 อัตราการรับซื้อพลังงานไฟฟ้ารูปแบบ FiT จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

Region	FiT พ.ศ. 2559 (CNY/kWh)	FiT พ.ศ. 2560 (CNY/kWh)	FiT พ.ศ. 2561 (CNY/kWh)
China's Class 1	0.8	0.65	0.55
China's Class 2	0.88	0.75	0.65
China's Class 3	0.98	0.85	0.75
Distributed PV	0.42	0.42	0.37

2) ญี่ปุ่น

ประเทศญี่ปุ่นได้มีการประกาศอัตราการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ FiT ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 โดยมีการปรับปรุงในทุกปี ทั้งนี้ในปี พ.ศ. 2559 ประเทศญี่ปุ่นได้มีการทบทวนอัตราการรับซื้อไฟฟ้าแบบ FiT สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยให้ผู้ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดตั้งแต่ 2 MW ประมูลแข่งขันกัน โดยมีการเปิดประมูลแข่งขันกันทั้งหมด 3 ครั้งใน พ.ศ. 2560 – 2561 ซึ่งคิดเป็นปริมาณการรับซื้อรวม 1 – 1.5 GW อัตราการรับซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบ FiT ใหม่ เริ่มใช้ตั้งแต่เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2560 โดยมีอัตราดังแสดงในตารางที่ 3-12

ตารางที่ 3-12 อัตราการรับซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบ FiT ของประเทศญี่ปุ่น

ขนาดระบบ	ระยะเวลาการรับซื้อ (ปี)	อัตราการรับซื้อไฟฟ้า (บาท/kWh)
- มากกว่า 10 kWp	20	6.40
- น้อยกว่า 10 kWp สำหรับการติดตั้งบนหลังคา	10	
- กรณีมีอุปกรณ์ควบคุม		11.34
- กรณีไม่มีอุปกรณ์ควบคุม		10.66

หมายเหตุ: อัตราการรับซื้อไฟฟ้าคำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน 39.5 บาทต่อยูโร

ที่มา: รายงานฉบับสมบูรณ์ การติดตามสถานการณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย, 2561 [28]

3) สหรัฐอเมริกา

สหรัฐอเมริกามีการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จากภาครัฐที่มีรูปแบบแตกต่างกันตามแต่ละรัฐ โดยมาตรการสนับสนุนนั้นจะมีทั้งในรูปแบบการบังคับใช้กฎหมายและการจูงใจด้านการเงิน เช่น เครดิตภาษี (Tax credit) เป็นต้น หน่วยงานที่ดูแลฐานข้อมูลมาตรการจูงใจของ

แต่ละรัฐ คือ The North Carolina State University Solar Center เรียก ชื่อ ว่า “The Database of State Incentives for Renewables and Efficiency (DSIRE)” ซึ่งข้อมูลมาตรการสนับสนุนต่างๆ นั้นสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ผ่านเว็บไซต์ www.dsireusa.org/ โดยตัวอย่างมาตรการสนับสนุนในรัฐต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-13

ตารางที่ 3-13 ตัวอย่างมาตรการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศสหรัฐอเมริกา

มาตรการ	รายละเอียด
Mandatory Utility Green Power Option	ผู้ใช้ไฟฟ้ามีสิทธิ์เลือกซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ ลม พลังงานแสงอาทิตย์ ความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากขยะฝังกลบ พลังงาน ชีวมวล และพลังงานน้ำ
Tax Abatement for Solar Manufacturers	มาตรการลดภาษี B&O (Business and occupation) 43% สำหรับผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์บางประเภท
Renewable Energy Cost Recovery Incentive Payment	การไฟฟ้ารับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าบางประเภท โดยการไฟฟ้าจะได้เครดิตภาษีเทียบเท่ากับเงินที่ได้จ่ายไป (การไฟฟ้าซื้อไฟฟ้าในราคา \$0.02/kWh - \$0.12/kWh)
Renewable Energy Systems Sales Tax Exemption	ยกเว้นภาษีจากการขายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน
Local Option - Property Tax Exemption	ยกเลิกภาษีอสังหาริมทรัพย์และทรัพย์สินส่วนบุคคลสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนบางประเภท

4) เยอรมัน

ประเทศเยอรมันได้ประกาศรับประกันการรับซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบ FiT ใน พ.ศ. 2543 เป็นระยะเวลา 20 ปี โดยได้มีการปรับปรุงอัตราการรับซื้อให้เหมาะสมกับสภาพการเติบโตของตลาดเป็นระยะ ทั้งนี้ประเทศเยอรมันได้เริ่มปรับอัตราซื้อไฟฟ้าแบบ FiT ในทุกๆ เดือนตั้งแต่ พ.ศ. 2555 นอกจากนี้จะพบว่าตั้งแต่ พ.ศ. 2559 ได้มีการประกาศเชิญชวนสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดไม่เกิน 100 กิโลวัตต์สูงสุด โดยมีอัตราการรับซื้อไฟฟ้าแบบ FiT เป็นไปดังแสดงในตารางที่ 3-14

ตารางที่ 3-14 อัตราซื้อไฟฟ้าแบบ FiT ของประเทศเยอรมันใน พ.ศ. 2560

กรณีบ้านอยู่อาศัย อาคารพาณิชย์ / แผ่นกั้นเสียง (Sound Barrier)	
ขนาดระบบ (kWp)	อัตราซื้อ FiT (บาท/kWh)
ไม่เกิน 10 kWp	4.98
ตั้งแต่ 10 – 40 kWp	4.85
มากกว่า 40 – 750 kWp	4.35
กรณีสถานที่เชิงพาณิชย์	
ขนาดระบบ (kWp)	อัตราซื้อ FiT (บาท/kWh)
ไม่เกิน 750 kWp	3.49

หมายเหตุ: อัตราการซื้อไฟฟ้าคำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน 39.5 บาทต่อยูโร

ที่มา: รายงานฉบับสมบูรณ์ การติดตามสถานการณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย, 2561 [28]

3.3 หน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งาน และการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

3.3.1 หน่วยงานที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งานและการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ในประเทศไทยนั้น สามารถแบ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องออกเป็น 2 หน่วยงานใหญ่ๆ ได้แก่ หน่วยงานหลัก และหน่วยงานสนับสนุน ซึ่งในแต่ละหน่วยงานนั้นแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบในการดำเนินการออกเป็น 3 ส่วนคือ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า และการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังตารางที่ 3-15

ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องขอใบอนุญาต รวมถึงดำเนินการต่างๆ กระบวนการต่างๆ โดยต้องประสานงานกับหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนการขออนุญาตผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องและหน้าที่รับผิดชอบนั้นสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 3-15 และ 3-16

ตารางที่ 3-15 หน่วยงานหลักและหน่วยงานที่สนับสนุนที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งานและการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ [29]

หน่วยงานหลัก/หน่วยงานสนับสนุน	ดำเนินการเกี่ยวข้องกับ		
	การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า	การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
หน่วยงานหลัก			
กระทรวงอุตสาหกรรม - กรมโรงงานอุตสาหกรรม	- ขอใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานผลิต	- ขอใบอนุญาตประกอบกิจการโรงไฟฟ้า	- ขอใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานรับกำจัดและ/หรือบำบัดของเสีย - กำกับดูแลซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในภาคอุตสาหกรรมตั้งแต่แหล่งกำเนิดจนถึงปลายทาง
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม - กรมควบคุมมลพิษ - สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	- มาตรการควบคุมมลพิษในการผลิต - จัดทำรายงานผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (EIA / EHIA / IEE)	- มาตรการควบคุมมลพิษในการผลิตพลังงานไฟฟ้า - จัดทำรายงานผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (EIA / EHIA / IEE)	- ออกมาตรการในการกำกับดูแลการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถูกต้องและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด - จัดทำรายงานผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (EIA / EHIA / IEE)
กระทรวงพลังงาน - กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน		- ขอใบอนุญาตประกอบกิจการพลังงานควบคุม	
กระทรวงมหาดไทย	- กำกับดูแลกฎหมายควบคุมการผลิต	- กำกับดูแลกฎหมายควบคุมอาคารสำหรับประชาชนที่จะติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา	- กำกับดูแลซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในภาคประชาชน

ตารางที่ 3-15 หน่วยงานหลักและหน่วยงานที่สนับสนุนที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งานและการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ [29] (ต่อ)

หน่วยงานหลัก/หน่วยงานสนับสนุน	ดำเนินการเกี่ยวข้องกับ		
	การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า	การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
องค์การบริหารส่วนจังหวัด	- ขออนุญาตใช้พื้นที่ก่อสร้างโรงงานผลิต	- ขออนุญาตใช้พื้นที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้า	- กำกับดูแลซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในส่วนจังหวัด/ตำบล
องค์การบริหารส่วนตำบล			
สถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัย	- พัฒนาคณะความรู้ในด้านการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	- พัฒนาคณะความรู้ในด้านการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง	- พัฒนาคณะความรู้ในด้านการจัดการ การรวบรวม คัดแยกและกระบวนการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้น
สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน	- ขออนุญาตตั้งโรงงาน - ขอบินอนุญาตผลิตพลังงานควบคุม	- ขอบินอนุญาตประกอบกิจการไฟฟ้า	
การนิคมอุตสาหกรรม	- ขออนุญาตใช้พื้นที่ก่อสร้างโรงงาน	- ขออนุญาตใช้พื้นที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้า	- กำกับดูแลซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่
การไฟฟ้านครหลวง		- แจ้งความประสงค์จะจ่ายไฟเข้าระบบ และตรวจสอบการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า - ขอจำหน่ายไฟฟ้าและสัญญาซื้อขายไฟฟ้า	- กำกับดูแลซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นจากโครงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ของหน่วยงาน
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค			
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย			

ตารางที่ 3-15 หน่วยงานหลักและหน่วยงานที่สนับสนุนที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งานและการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ [29] (ต่อ)

หน่วยงานหลัก/หน่วยงานสนับสนุน	ดำเนินการเกี่ยวข้องกับ		
	การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า	การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
ผู้ประกอบการ	- ผลิต/นำเข้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์	- จัดจำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมการติดตั้ง	- กำกับดูแลซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นโดยเป็นผลิตภัณฑ์จากบริษัทของตนเอง
หน่วยงานสนับสนุน			
กระทรวงอุตสาหกรรม - กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและเหมืองแร่			- วิจัยและพัฒนากระบวนการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์
กระทรวงพาณิชย์ - กรมพัฒนาธุรกิจการค้า	- ขึ้นทะเบียนประกอบธุรกิจการผลิต	- ขึ้นทะเบียนประกอบธุรกิจการจัดจำหน่ายหรือติดตั้ง	- ขึ้นทะเบียนประกอบธุรกิจเกี่ยวข้องกับการจัดการของเสีย
กระทรวงการคลัง - กรมศุลกากร - สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง	- ภาษีนำเข้า	- ภาษีนำเข้า	
กระทรวงแรงงาน - กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน	- คุ้มครองแรงงาน ตามกฎหมายแรงงาน		
กระทรวงสาธารณสุข - กรมอนามัย	- มาตรการความปลอดภัยในการทำงาน		
กระทรวงคมนาคม - กรมการขนส่งทางบก	- ขึ้นทะเบียนพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง		

ตารางที่ 3-15 หน่วยงานหลักและหน่วยงานที่สนับสนุนที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งานและการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ [29] (ต่อ)

หน่วยงานหลัก/หน่วยงานสนับสนุน	ดำเนินการเกี่ยวข้องกับ		
	การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า	การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
กระทรวงศึกษาธิการ	- ศึกษาแนวทาง/ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น	- ศึกษาแนวทาง/ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น	- ศึกษาแนวทาง/ขั้นตอนการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้น
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี - สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ - สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ - สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ	- ศึกษาวิจัยเทคโนโลยีในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น	- ศึกษาวิจัยเทคโนโลยีในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น	- ศึกษาวิจัยเทคโนโลยีในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้น
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	- แหล่งทุนวิจัยพัฒนาด้านเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์	- แหล่งทุนวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์	- แหล่งทุนวิจัยพัฒนาด้านเทคโนโลยีการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
สำนักนายกรัฐมนตรี - สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน: BOI - สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค	- กำหนดนโยบาย กฎระเบียบ ข้อบังคับ และมาตรการการดำเนินงานสำหรับการผลิต	- กำหนดข้อบังคับ ในการติดตั้ง	- บูรณาการด้านกฎหมายที่เกี่ยวข้องในแต่ละหน่วยงาน เพื่อกำหนดกฎระเบียบ ข้อบังคับ ในการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3-15 หน่วยงานหลักและหน่วยงานที่สนับสนุนที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งานและการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ [29] (ต่อ)

หน่วยงานหลัก/หน่วยงานสนับสนุน	ดำเนินการเกี่ยวข้องกับ		
	การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า	การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
ศูนย์บ่มเพาะวิสาหกิจ		- เผยแพร่องค์ความรู้ด้านการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	
ธนาคาร	- ผู้ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการเงินการลงทุน		

ตารางที่ 3-16 สรุปรายชื่อหน่วยงานที่ผู้ลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ต้องยื่นขออนุญาต

ขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)	การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)	คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (แบบ รง.4)	องค์การบริหารส่วนตำบล หรือ หน่วยงานอื่นที่มีลักษณะเทียบเท่า	รายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อม	สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI)
<3.7 (กรณีบ้านที่อยู่อาศัย)	ขออนุญาตจำหน่ายไฟฟ้า และขอ Adder	ไม่ต้องขออนุญาต	ไม่ต้องขออนุญาต โดยแจ้งให้ทราบ	ไม่ต้องขออนุญาต	ไม่ต้องขออนุญาต	ไม่ต้องทำรายงาน	ไม่ได้
3.7<ขนาด<1,000	ขออนุญาตจำหน่ายไฟฟ้า และขอ Adder	ไม่ต้องขออนุญาต	ไม่ต้องขออนุญาต โดยแจ้งให้ทราบเท่านั้น	ต้องขออนุญาต	ขออนุญาต	ไม่ต้องทำรายงาน	ถ้าขอ จะได้รับการยกเว้นภาษีและสิทธิพิเศษต่างๆ
1,000<ขนาด<6,000	ขออนุญาตจำหน่ายไฟฟ้า และขอ Adder (การไฟฟ้าจะหักออก 2%)	ไม่ต้องขออนุญาต	ต้องขออนุญาต	ต้องขออนุญาต	ขออนุญาต	ไม่ต้องทำรายงาน	ถ้าขอ จะได้รับการยกเว้นภาษีและสิทธิพิเศษต่างๆ
6,000≤ขนาด<10,000	ขออนุญาตจำหน่ายไฟฟ้า และขอ Adder	ต้องขออนุญาต และ กฟผ.จะหัก 2%	ต้องขออนุญาต	ต้องขออนุญาต	ขออนุญาต	ไม่ต้องทำรายงาน	ถ้าขอ จะได้รับการยกเว้นภาษีและสิทธิพิเศษต่างๆ
≥10,000	ขออนุญาตจำหน่ายไฟฟ้า และขอ Adder	ต้องขออนุญาต และ กฟผ.จะหัก 2%	ต้องขออนุญาต	ต้องขออนุญาต	ขออนุญาต	ต้องทำรายงาน	ถ้าขอ จะได้รับการยกเว้นภาษีและสิทธิพิเศษต่างๆ

ที่มา: คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน, 2561 [30]

นอกจากนี้ในประเทศไทยได้มีหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 3-17

ตารางที่ 3-17 หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

หน่วยงาน	การทดสอบ
ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) CES Solar Cells Testing Center (CSSC) King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT)	- การทดสอบสาขาไฟฟ้า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ภาคพื้นดินชนิดผลึกซิลิคอน/แบบฟิล์มบาง ตามมาตรฐาน มอก. 61215 เล่ม 1 มอก. 61215 เล่ม 2 IEC61215-1 IEC61215-2 IEC61215:2005 และ มอก 2210-2555 IEC61646:2008 - มาตรฐานการทดสอบด้านความปลอดภัย มอก. 2580 เล่ม 2 IEC61730-2 และ IEC TS 62804-1 (PID) IEC TS 60904-13 (EL) - การทดสอบแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดใช้ประจำที่ประเภทช่องระบายอากาศ (Vented types) ตามมาตรฐาน IEC60896-11 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดใช้ประจำที่ประเภทวาล์วระบายแรงดัน (Valve regulated types) ตามมาตรฐาน IEC60896-21 และแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดใช้สตาร์ท (SLI types) ตามมาตรฐาน มอก. 6 เล่ม 1 IEC60095-1 - การทดสอบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบนระบบจำหน่าย Inverter (Single phase, Grid-connected / Grid-tied)

ตารางที่ 3-17 หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (ต่อ)

หน่วยงาน	การทดสอบ
สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม	- การทดสอบสมรรถนะเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ (Solar Simulator Performance Testing) ตามมาตรฐาน IEC 60904-9:2016 - Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements
สถาบันไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical and Electronics Institute)	- ทดสอบ Solar inverter สำหรับ Solar cell โดยได้รับการรับรองตาม ISO/IEC 17065 สำหรับหน่วยรับรองผลิตภัณฑ์จาก ONSC

3.3.2 หน่วยงานที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งานและการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ

จากการศึกษาพบว่า ประเทศส่วนใหญ่ยังไม่มีมาตรการในการบริหารจัดการและกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเกิดจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่ชัดเจน ยกเว้นในกลุ่มสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น

3.3.2.1 กลุ่มสหภาพยุโรป (ประเทศเยอรมนี) [31]

ประเทศเยอรมนีถือได้ว่าเป็นประเทศอันดับต้นๆของโลกที่ได้มีการนำแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อประมาณช่วงทศวรรษที่ 1990 ซึ่งประเทศเยอรมนีนั้นเป็นหนึ่งในประเทศกลุ่มสหภาพยุโรป ทำให้มีพันธะที่ต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบว่าด้วยซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของสหภาพยุโรปและกฎหมายอนุวัตรตามกฎระเบียบ Waste electrical and electronic equipment directive (WEEE directive) โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งานและการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมทั้งหน้าที่รับผิดชอบออกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนภาครัฐ โดยมีหน้าที่รับผิดชอบดังนี้

- ออกกฎหมายการจัดอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์คือ ElektroG ซึ่งเป็นรูปแบบเดียวกับ WEEE directive ของสหภาพยุโรป
- จัดตั้งสำนักทะเบียน เพื่อให้ผู้ผลิตขึ้นทะเบียนผู้ก่อเกิดขยะ
- จัดตั้งศูนย์รวบรวมของเสีย ดูแลรักษาซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เมื่อมีปริมาณที่มากเพียงพอจะดำเนินการแจ้งผู้ผลิตให้มารับไปดำเนินการจัดการต่อไป

ส่วนภาคเอกชน ผู้ผลิตและบริษัทผู้จัดจำหน่าย โดยมีหน้าที่รับผิดชอบดังนี้

- จัดเตรียมตู้คอนเทนเนอร์ สำหรับรับของเสียที่เกิดขึ้น
- ดำเนินการจัดการของเสียที่รวบรวม ถอด รีไซเคิลและกำจัดของเสีย
- รวมตัวกันก่อตั้งองค์กร PV cycle เพื่อทำหน้าที่รวบรวม ถอด รีไซเคิลและกำจัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานไม่ได้แล้ว

3.3.2.2 สหรัฐอเมริกา [31, 32]

ในสหรัฐอเมริกายังไม่มีผลการดำเนินการเรื่องการบริหารจัดการและกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชัดเจน โดยไม่มีกฎหมายในระดับรัฐบาลกลาง แต่มีกฎหมายมลรัฐว่าด้วยการควบคุมของเสียคือ กฎหมาย Resource conservation and recovery act (RCRA) เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ โดยมุ่งเน้นการป้องกันการเกิดมลพิษ และการลดการเกิดของเสีย

โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งานและการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมทั้งหน้าที่รับผิดชอบออกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนภาครัฐ โดยมีหน้าที่รับผิดชอบดังนี้

เนื่องจากมลรัฐต่างๆ ของสหรัฐอเมริกา จะมีเกณฑ์การควบคุมของเสียภายใต้กฎหมาย RCRA ที่ไม่แตกต่างกัน เช่น

- รัฐแคลิฟอร์เนียมีการกำหนดปริมาณของเสียอันตรายที่อยู่ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อที่จะจำแนกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใดจัดอยู่ในหมวดหมู่ของขยะอันตราย
- รัฐมินเนโซต้า มีกฎหมาย Video display and electronic device collection and recycling, 115A.1310-1330
- ประสานงานกับส่วนภาคเอกชน เพื่อให้การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไปตามนโยบายและไปในแนวทางเดียวกัน

ส่วนภาคเอกชน ผู้ผลิตและบริษัทผู้จัดจำหน่าย โดยมีหน้าที่รับผิดชอบดังนี้

- ดำเนินการจัดการของเสียที่รวบรวม ถอด รีไซเคิลและกำจัดของเสีย
- บริษัท First Solar ที่ได้มีมาตรการในการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตโดยบริษัทเอง

3.3.2.3 ประเทศญี่ปุ่น [31, 32]

ประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศผู้นำด้านพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีงานวิจัยและการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตมาเป็นเวลานาน อีกทั้งยังเป็นประเทศที่ถือเป็นต้นกำเนิดของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ชั้นนำอันดับต้นๆ ของโลก ถึงแม้ในช่วงแรกนั้นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ยังไม่แพร่หลาย แต่ด้วยเวลาเพียง 3 ปี ทำให้การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดจาก 6.7 จิกะวัตต์ในปี ค.ศ. 2012 เป็น 34.3 จิกะวัตต์ในปี ค.ศ. 2015

อย่างไรก็ตามประเทศญี่ปุ่นนั้นไม่ได้มีกฎหมายที่เฉพาะเจาะจงในเรื่องการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่มีการใช้ข้อบังคับตามกฎหมายหลักซึ่งเป็นกฎระเบียบทั่วไปว่าด้วยการจัดการของเสีย

โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งานและการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมทั้งหน้าที่รับผิดชอบออกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนภาครัฐ โดยมีหน้าที่รับผิดชอบดังนี้

- กระทรวงเศรษฐกิจ การค้า และอุตสาหกรรมออกกฎหมายไม่เจาะจงกับ PV 2 ฉบับคือ Law for promotion of effective utilization of resources (LPUR) และ the Law for recycling of specified home appliance (LRHA)
- กำหนดกฎหมายว่าด้วยการจัดการของเสีย (Waste Management and Public cleansing act) โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ มูลฝอยจากชุมชน (Municipal solid waste) และของเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial waste)
- ออกกฎหมาย “The basic law for establishing a sound material-cycle society” ซึ่งเป็นการกำหนดมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะและการรีไซเคิล
- Association of electric home appliance (AEHA) เข้ามาดูแลการเก็บรวบรวมในกรณีที่ตัวแทนจำหน่ายไม่สามารถจัดการได้

ส่วนภาคเอกชน ผู้ผลิตและบริษัทผู้จัดจำหน่าย โดยมีหน้าที่รับผิดชอบดังนี้

- ผู้ผลิตดำเนินการจัดการของเสียที่เกิดจากผู้ใช้งานที่ได้ซื้อแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับบริษัทตนเอง
- ประสานงานกับหน่วยงานภาครัฐ เพื่อให้เป็นไปตามนโยบายการรีไซเคิลของประเทศ และเพื่อป้องกันไม่ให้ของเสียอันตรายไปยังหลุมฝังกลบ
- องค์กร PV cycle เพื่อทำหน้าที่รวบรวม ถอด รีไซเคิลและกำจัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานไม่ได้แล้ว

3.4 การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของประเทศไทย

เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายว่าด้วยเรื่อง การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ชัดเจน ซึ่งตามพระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550 สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) เป็นผู้ออกใบอนุญาตประกอบกิจการพลังงาน สำหรับกิจการที่มีกำลังการผลิตมากกว่า 1 เมกะวัตต์ ทั้งนี้ผู้รับใบอนุญาตต้องปฏิบัติตามมาตรการป้องกัน แก๊ส และติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามประมวลหลักการปฏิบัติ (Code of practice; CoP) โดยเฉพาะหัวข้อด้านมาตรการ P1.4 ด้านการออกแบบติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน พ.ศ. 2556) และหัวข้อ P1.4.4 ยังระบุถึงการเสนอมาตรการในการกำจัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชำรุดหรือหมดสภาพการใช้งาน ทั้งระหว่างช่วงดำเนินการและช่วงรื้อถอน รวมไปถึงการส่งเสริมให้เลือกวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นลำดับแรกในการจัดการอีกด้วย ส่วนกรณีที่ผู้ประกอบการได้รับการยกเว้นการขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากกำลังการผลิตต่ำกว่า 1 เมกะวัตต์ ก็ยังจะต้องปฏิบัติตามประมวลหลักการปฏิบัติ (Code of practice; CoP) ในหัวข้อ P1 ที่ครอบคลุมถึง P1.4 ด้วยเช่นกัน [33]

ดังนั้นการติดตามรวบรวมการใช้งานและซากภายในประเทศ จะสามารถติดตามได้จากผู้ผลิต ผู้ขายรายใหญ่ ผู้ติดตั้งหรือผู้ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งผู้ผลิต ผู้ขายรายใหญ่หรือผู้ติดตั้งนั้นได้ขึ้นทะเบียนกับทาง

กรมโรงงาน ตัวอย่างโรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยจะแสดงดังตารางที่ 3-18

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34]

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
1.	บริษัท บีจีเอ็ม เม็ททรีล สแควร์ จำกัด	กรุงเทพมหานครฯ	- บดย่อยเศษและตะกั่วโลหะผสมจากการ บัดกรีและชุบขางจอร์อิเล็กทรอนิกส์
2.	บริษัท โลหะ สยาม จำกัด	กรุงเทพมหานครฯ	- บดย่อยเศษและตะกั่วโลหะและบดอัดเศษ โลหะปนเปื้อนน้ำมัน - คัดแยกสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็น ของเสียอันตราย
3.	บริษัท เอดิสัน เอ็กซ์ พอร์ทเทชั่น จำกัด	กรุงเทพมหานครฯ	- บดย่อยเศษและตะกั่วโลหะ - นำเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ ไม่ใช้แล้วมาปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแปรสภาพ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ - บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอัด เศษโลหะปนเปื้อนน้ำมัน - นำกากตะกอนจากการชุบโลหะมาผ่าน กระบวนการอบแห้ง - เก็บรวบรวมแบตเตอรี่ที่ใช้แล้ว
4.	บริษัท 106 สิ่งแวดล้อม จำกัด	สมุทรปราการ	- คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสีย อันตราย - นำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและตัวทำละลายที่ใช้ แล้วมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทน - นำน้ำมันที่ใช้แล้ว ตัวทำละลายที่ใช้แล้วและ เศษผ้าปนเปื้อนน้ำมันมาผลิตเชื้อเพลิงผสม - นำเศษวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ปนเปื้อนและมีค่า ความร้อนมาผลิตเชื้อเพลิงผสม (Blending) - รวบรวมแบตเตอรี่เก่าที่ใช้แล้ว โดยไม่มีการคัด แยก ไม่มีการแกะเพื่อแยกส่วนประกอบ ซ่อม และล้างบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย - บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
5.	อ.รุ่งเรืองพลาสติก	สมุทรปราการ	- คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย - บดย่อยเศษตะกรันโลหะ - ดัดแปลง ซ่อมแซม หรือปรับปรุงเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
6.	บริษัท ที.วี.เอส. เทรดิง เซ็นเตอร์ จำกัด	สมุทรปราการ	- ทำเชื้อเพลิงทดแทนจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและตัวทำละลายที่ใช้แล้ว - ทำเชื้อเพลิงผสม (Blending) จากเศษผ้าปนเปื้อนน้ำมัน วัสดุดูดซับ กากตะกอนน้ำมัน กากสี - บดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยเศษและตะกรันโลหะ - ซ่อมและล้างบรรจุภัณฑ์ด้วยตัวทำละลาย - คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย
7.	บริษัท ทีเอ็มซี เมททัล (ไทยแลนด์) จำกัด	สมุทรปราการ	- คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย - บดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ใช้แล้ว
8.	บริษัท บางกอกแอสเสย์ ออฟฟิส จำกัด	สมุทรปราการ	- สกัดโลหะมีค่าจากวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เช่น ทอง เงิน ทองคำขาว และทองแดง โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เป็นสารเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดโลหะมีค่าจากวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เป็นสารละลายประเภทกรดหรือด่าง เช่น น้ำยาชุบหรือล้างจากอุตสาหกรรมเครื่องประดับ สุขภัณฑ์ และอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น
9.	บริษัท บี.ซี.แอล.ซ์พพลาย จำกัด	สมุทรปราการ	- ทำเชื้อเพลิงผสม (Blending) จากน้ำมันหล่อเย็น วัสดุปนเปื้อนน้ำมันและตัวทำละลาย - เก็บรวบรวมแบตเตอรี่โดยไม่มีการแปรสภาพ - ทำเชื้อเพลิงทดแทน ล้างบรรจุภัณฑ์ด้วยตัวทำละลาย - นำกากตะกอนจากอุตสาหกรรมชุบโลหะ และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีโลหะมีค่ามาผ่านกระบวนการอบแห้งเพื่อส่งออก - บดย่อยเศษพลาสติกที่ชุบสีหรือเคลือบผิว

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
			- บดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ - ทำเม็ดพลาสติกเกรดบี - คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นอันตราย
10.	บริษัท ยูนิคอร์ มาร์เก็ตติ้ง เซอร์วิสেস (ประเทศไทย) จำกัด	สมุทรปราการ	- นำของเสียหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบของโลหะ มาผ่านกรรมวิธีทางอุตสาหกรรม เพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ - บดย่อยแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์
11.	บริษัท โอ.จี.ไอ จำกัด	สมุทรปราการ	- รีไซเคิลจอมอนิเตอร์แบบ LCD (Liquid Crystal Display) - บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
12.	บริษัท เอส.เอส.อิมพอร์ต เอ็กพอร์ต อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	สมุทรปราการ	- รีไซเคิลจอมอนิเตอร์แบบ LCD (Liquid Crystal Display) - บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
13.	บริษัท ภูริชานด์ โพลีเมอร์ จำกัด	ปทุมธานี	- คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย - บดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยและขัดผิวพลาสติกที่เคลือบสี หรือเคลือบโครเมียม
14.	บริษัท สยามโพลี (ไทยแลนด์) จำกัด	ปทุมธานี	- นำเศษโลหะ เศษชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีโลหะ ทองแดง ทองเหลือง และเศษพลาสติกที่ปนเปื้อนคราบน้ำมันติดอยู่บนพื้นผิวเป็นส่วนประกอบ มาผ่านกรรมวิธีทางอุตสาหกรรม โดยการอบให้แห้ง เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
15.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชินฟา	ปทุมธานี	- คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเฉพาะที่กำหนดในหมวด 1 ข้อ 1 ของภาคผนวกที่ 1 บัญชีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) - ซ่อมแซม ดัดแปลง และปรับปรุงเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ - อัดเศษโลหะ อัดเศษกระดาด และบดย่อยพลาสติก

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
16.	บริษัท มิซันไลน์รีไซเคิล จำกัด	ปทุมธานี	- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยเศษและตะกั่วโลหะผสม (Solder dross) จากขั้นตอนการบัดกรี และชิ้นส่วนขาววงจรอิเล็กทรอนิกส์ - ซ่อมและล้างถังด้วยตัวทำละลาย - ทำเชื้อเพลิงทดแทน
17.	บริษัท โกลบอล ไวต์ เวสต์ จำกัด	ปทุมธานี	- คัดแยกสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้แล้ว ที่ไม่เป็นอันตราย เช่น เศษทองเหลือง เศษทองแดง เศษเหล็ก เศษพลาสติก เศษกระดาษ ฯลฯ
18.	บริษัท ชัยปราการ เมทัล จำกัด	ปทุมธานี	- บดย่อยแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยเศษและตะกั่วโลหะผสม (Solder dross) จากการบัดกรีและชุบขาววงจรอิเล็กทรอนิกส์ - เก็บรวบรวมแบตเตอรี่โดยไม่มีการแปรสภาพ
19.	บริษัท โทเทิล เอนไวโรเมนทอล โซลูชันส์ จำกัด	ปทุมธานี	- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
20.	บริษัท วรินทร์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด	ปทุมธานี	- บดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ - สกัดโลหะมีค่าจากน้ำยาล้างฟิล์มและน้ำยาชุบโลหะ
21.	บริษัท สยามควาซิมา จำกัด	ปทุมธานี	- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
22.	บริษัท สุริรัตน์ รีไซเคิล จำกัด	ปทุมธานี	- บดย่อยแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยเศษและตะกั่วโลหะผสม (Solder dross) จากการบัดกรีและชุบขาววงจรอิเล็กทรอนิกส์ - เก็บรวบรวมแบตเตอรี่โดยไม่มีการแปรสภาพ
23.	บริษัท แอลซี แมนเนจเม้นท์ จำกัด	ปทุมธานี	- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ - สกัดโลหะมีค่าจากเศษชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
			- หลอมหล่อเศษโลหะ เศษโลหะผสมและเศษโลหะที่มีค่า
24.	บริษัท จรรยา ไซเคิล เทรน จำกัด	ปทุมธานี	- อบกาคตะกอนที่มีโลหะมีค่า - สกัดโลหะมีค่า จากกากตะกอนอุตสาหกรรม - ชุบโลหะ อุตสาหกรรมกัดผิวโลหะและ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
25.	บริษัท นิวไลฟ์ เวิลด์ เมทัล จำกัด	ปทุมธานี	- สกัดโลหะมีค่าจากกากตะกอนน้ำเสีย น้ำยา - ชุบโลหะ น้ำยากัดลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
26.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด พชรพล อาร์คิเทคเจอร์	พระนครศรีอยุธยา	- โม่ บด ย่อย และทำผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับ พลาสติก - คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็น ของเสียอันตราย เฉพาะเศษกระดาษ เศษ พลาสติก เศษโลหะ และอัดเศษโลหะ อัดเศษ กระดาษ - บดเศษพลาสติก - ซ่อมแซม ตัดแปลง ปรับปรุงเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
27.	บริษัท คัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล วงษ์พาณิชย์ จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว อัดเศษกระดาษและ เศษโลหะ - นำชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่าน การใช้งานแล้วมาปรับปรุงซ่อมแซม หรือ เปลี่ยนสภาพ เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
28.	บริษัท ไทยเอเชีย อินเตอร์เทรด จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็น ของเสียอันตราย - บดย่อยเศษพลาสติก - บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - รับซื้อและขายชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และรวมถึงให้บริการรับฝากสินค้า
29.	บริษัท 4 น. โขกพัฒนา จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเฉพาะที่กำหนดใน หมวด 1 ข้อ 1 ของภาคผนวกที่ 1 บัญชีสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วท้ายประกาศกระทรวง อุตสาหกรรมฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) - อัดเศษโลหะ อัดเศษกระดาษ

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
			- บดย่อยพลาสติกและนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วตัวทำละลายที่ใช้แล้วและเคมีภัณฑ์ที่ใช้แล้วมาผ่านกรรมวิธีทางอุตสาหกรรมเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ - ซ่อมและล้างถังตัวทำละลายแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ - ซ่อมแซม ดัดแปลง ปรับปรุงเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - นำเศษผ้าปนเปื้อน กากตะกอนน้ำมันและดินปนเปื้อนน้ำมันมาทำเชื้อเพลิงผสม (Blending)
30.	บริษัท ไทยเอเชีย 14001 จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเฉพาะที่กำหนดในหมวด 1 ข้อ 1 ของภาคผนวกที่ 1 บัญชีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) - บดย่อยพลาสติก อัดเศษกระดาษ อัดเศษโลหะ - นำเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว มาปรับปรุง ซ่อมแซมผลิต ประกอบเป็นวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ - คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ที่ไม่เป็นของเสียอันตราย - บดย่อยพลาสติก - อัดเศษกระดาษ อัดเศษโลหะ
31.	บริษัท มีเทค รีไซเคิล (ประเทศไทย) จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้วซึ่งไม่เป็นของเสียอันตราย (ตามภาคผนวกที่ 2 ของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องการจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548) - บดอัดเศษโลหะเศษพลาสติก - นำชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ใช้แล้วมาผ่านกรรมวิธีทางอุตสาหกรรมผลิตเป็นวัตถุดิบ
32.	บริษัท ส.พลาสติก ออยุธยา จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเฉพาะที่กำหนดไว้ในหมวด 1 ข้อ 1 ของภาคผนวกที่ 1 บัญชีสิ่ง

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
			ปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) - อัดเศษโลหะ พลาสติก และโฟม - บดและทำเม็ดพลาสติกเกรดบี - ซ่อมและล้างถังบรรจุด้วยตัวทำละลาย - ซ่อมแซม ตัดแปลง ปรับปรุงเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
33.	บริษัท สยาม พีเค พลาสติก จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- บดย่อยชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - สกัดโลหะมีค่าจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ - ฟิล์มเอกซ์เรย์ กากตะกอนที่มีองค์ประกอบของโลหะมีค่าจากอุตสาหกรรมชุบโลหะและอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ - คัดแยกสิ่งปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย
34.	บริษัท อโยธยารีไซเคิล 2002 จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- หลอมหล่อโลหะซึ่งมีใช้เหล็กหรือเหล็กกล้า - ซ่อมแซม ตัดแปลง ปรับปรุงเครื่องใช้ไฟฟ้าและชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แล้ว - นำเศษผ้าปนเปื้อน ถุงมือผ้า กากตะกอนน้ำมัน และดินปนเปื้อนน้ำมัน มาทำเชื้อเพลิงผสม - ทำอิฐบล็อกจากวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว
35.	บริษัท ซีพี อินดัสตรี จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ - สกัดโลหะมีค่าจากกากตะกอนอุตสาหกรรมชุบโลหะและอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีองค์ประกอบของโลหะมีค่า - หลอมหล่อโลหะผสมจากโลหะมีค่าที่ผ่านกระบวนการสกัดโลหะมีค่าแล้ว และจากชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่บดย่อยแล้ว
36.	บริษัท ทรี โพร อินเตอร์เทรด จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- นำกากตะกอนโลหะมีค่ามาผ่านกระบวนการกรรมวิธีทางอุตสาหกรรม โดยการอบแห้ง - บดย่อยโลหะแผงวงจร ชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
			- หล่อหลอมเศษโลหะมีค่า เช่น ทองคำ เงิน เป็นต้น - หล่อหลอมเศษและตะกรันโลหะ เช่น ตะกรันอลูมิเนียม ตะกรันสังกะสี
37.	บริษัท ทีไอเอส.เอเอ็มเอ็ม (ประเทศไทย) จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
38.	บริษัท มัตซึดะ ชังเกียว (ประเทศไทย) จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- คัดแยก รีไซเคิล แบ่งบรรจุ (Re-packing) เศษวัสดุของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ฟิล์มอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เศษชิ้นส่วนจากอุตสาหกรรมเครื่องประดับ จากอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ จากอุตสาหกรรมชิ้นส่วนเครื่องสุขภัณฑ์ เศษชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และอื่นๆ ที่ผ่านกระบวนการชุบ (Plating) และที่ผ่านกระบวนการ Stamping เพื่อการส่งออกและขายในประเทศ แบ่งบรรจุผลิตภัณฑ์ และชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อจำหน่ายในประเทศ - สกัดและถลุงทอง (Refining and smelting gold)
39.	บริษัท โลหะไทยสเตนเลส จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยเศษและตะกรันโลหะ - อัดเศษโลหะปนเปื้อนน้ำมัน
40.	บริษัท สามดี รีไซเคิล จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ตัวทำละลาย เคมีภัณฑ์ที่ใช้แล้ว เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ - ซ่อมและล้างถังบรรจุด้วยตัวทำละลาย ซ่อมแซม ดัดแปลง ปรับปรุงเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - นำเศษผ้าปนเปื้อน กากตะกอนน้ำมัน ดินปนเปื้อน น้ำมันมาทำเชื้อเพลิงผสม (Blending)

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
41.	บริษัท เอ็มอีพี เอ็นไวโรเทคโนโลยี (ไทยแลนด์) จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย - สกัดโลหะมีค่าจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ - นำยาชุบโลหะ แผ่นกรองที่มีองค์ประกอบของโลหะมีค่า กากตะกอนที่มีองค์ประกอบของโลหะมีค่าจากอุตสาหกรรมชุบโลหะและอิเล็กทรอนิกส์ - หลอมหล่อโลหะจากการสกัดโลหะมีค่า
42.	บริษัท เอกอุทัย จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- ทำเชื้อเพลิงทดแทน - ทำเชื้อเพลิงผสม - ซ่อมและล้างบรรจุภัณฑ์ด้วยตัวทำละลาย - นำน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วมาผ่านกระบวนการกรองเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ - บดย่อยแผงวงจรและชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ - คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย - นำสารละลายกรด-ด่างที่ใช้แล้วมาผ่านกรรมวิธีทางอุตสาหกรรมเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
43.	บริษัท ซีเอสเค อินเตอร์ จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	- ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่น ตัวทำละลายที่ใช้แล้ว เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ - ซ่อมและล้างถังบรรจุด้วยตัวทำละลาย - ซ่อมแซม ดัดแปลง ปรับปรุงเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ - นำเศษผ้าปนเปื้อน กากตะกอนน้ำมัน และดินปนเปื้อนน้ำมันมาทำเชื้อเพลิงผสม - คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย เฉพาะเศษโลหะ กระดาษ พลาสติก ไม้ แก้ว และยาง
44.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด เนตรสุวรรณ รีไซเคิล แอนด์ เซอร์วิส	พระนครศรีอยุธยา	- ซ่อมและล้างถังบรรจุภัณฑ์ด้วยตัวทำละลาย - ทำเม็ดพลาสติกจากเศษพลาสติก - หลอมหล่อโลหะ - ทำเชื้อเพลิงทดแทนจากน้ำมันหล่อลื่นและตัวทำละลายที่ใช้แล้ว

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
			- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - ทำเชื้อเพลิงผสม (Blending) จากเศษผ้าปนเปื้อน กากตะกอนน้ำมัน
45.	บริษัท พรหมภัสสร (ประเทศไทย) จำกัด	ชัยนาท	- บดย่อย ร่อน แยก หลอมหล่อ เศษและตะกั่วโลหะที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหลัก - บดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ - ทำอิฐปูพื้น อิฐบล็อกจากวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย
46.	บริษัท เคไอ-อีโคเทค จำกัด	ชลบุรี	- คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย
47.	บริษัท ไวซ์เทค โซลูชันส์ (ประเทศไทย) จำกัด	ชลบุรี	- ซ่อมแซมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ทุกประเภท เช่น ฮาร์ดดิสก์ ไทป์พิมพ์มือถือ เซิร์ฟเวอร์ (Server) เพาเวอร์ซัพพลาย (Power supply) และแผงวงจรไฟฟ้า - นำเครื่องใช้ไฟฟ้าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ใช้แล้ว ชิ้นส่วนอุปกรณ์หรือส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ใช้แล้ว เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องสื่อสารเคลื่อนที่ เครื่องพิมพ์หน่วยเก็บความจำสวิตซ์ อุปกรณ์ส่งสัญญาณข้อมูลทางแสงสายไฟ อุปกรณ์ชิ้นส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ Commodity/kit เป็นต้น หรือของเสียจากโรงงาน หรือบุคคลอื่นมาดำเนินการ ตัด บด ย่อย เพื่อจำหน่ายแก่ลูกค้า
48.	บริษัท โกลบอล (เอเชียแปซิฟิก) เอ็นไวรอนเม้นทอลโปรดักชั่น จำกัด	ชลบุรี	- คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเฉพาะที่กำหนดในหมวด 1 ข้อ 1 ของภาคผนวกที่ 1 บัญชีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) - บดย่อยพลาสติก - อัดเศษโลหะ - นำเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว มาปรับปรุง ซ่อมแซมผลิต ประกอบเป็นวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ - ทำน้ำมันเลี้ยงโซ่ น้ำมันทาไม้แบบจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
49.	บริษัท อีสเทิร์น ซีบอร์ด เอนไวรอนเมนทอล คอม เพล็กซ์ จำกัด	ชลบุรี	- การเก็บรักษา ลำเลียง แยก คัดเลือก หรือ แบ่งบรรจุเฉพาะของเสียเคมีวัตถุ - บำบัดน้ำเสียโดยวิธีชีวภาพ - คัดแยกฝักรถยนต์ - ล้างภาชนะปนเปื้อน และขจัดสารปนเปื้อน ในเครื่องจักร อุปกรณ์และภาชนะบรรจุ (Decontamination) - ผลิตเชื้อเพลิงผสมและเชื้อเพลิงทดแทนจาก วัสดุที่ไม่ใช่แล้ว - รีไซเคิลหลอดฟลูออเรสเซนต์ กระจกและ ขวดสเปรย์ที่ไม่ใช่แล้ว - การถอดและบดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ที่ ไม่ใช่แล้ว (E-waste dismantling) - การทำวัตถุดิบทดแทนสำหรับโรงงานผลิต ปูนซีเมนต์จากวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว - ผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากขยะ (Solid recovered fuel) - เป็นสถานีขนถ่ายของเสียและวัสดุรีไซเคิล
50.	บริษัท อีสเทิร์น รีคัลเวอรี จำกัด	ชลบุรี	- คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช่แล้วเฉพาะที่กำหนดไว้ใน หมวด 1 ข้อ 1 ของภาคผนวกที่ 1 บัญชีสิ่ง ปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ท้ายประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) - หล่อหลอมโลหะจากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยกรรมวิธีทางอุตสาหกรรม
51.	บริษัท จัวปการรีไซเคิลสห รุ่งเรือง จำกัด	ชลบุรี	- ทำเชื้อเพลิงทดแทนจากน้ำมันหล่อลื่น และ ตัวทำละลายที่ใช้แล้ว - ล้างบรรจุภัณฑ์ด้วยตัวทำละลาย - บดย่อยยางและพลาสติกที่ใช้แล้ว - บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
52.	บริษัท ซี.อี.โอ.อินเตอร์ เนชั่นแนล เวสต์ จำกัด	ชลบุรี	- ทำเชื้อเพลิงทดแทนจากน้ำมันหล่อลื่นและ ตัวทำละลายที่ใช้แล้ว - ทำเชื้อเพลิงผสม - ซ่อมและล้างบรรจุภัณฑ์ด้วยตัวทำละลาย - ทำวัตถุดิบทดแทนจากวัสดุที่ไม่ใช่แล้วในการ ผลิตปูนซีเมนต์

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
			- ทำอิฐบล็อก อิฐตัวหนอนจากสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย - บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - สกัดโลหะมีค่าจากน้ำยาชุบโลหะ - คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย
53.	บริษัท ธง ไฮ เทรดิง จำกัด	ชลบุรี	- สกัดโลหะมีค่าจากเศษชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ น้ำยาชุบโลหะ กากตะกอนจากอุตสาหกรรมชุบโลหะและอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีองค์ประกอบของโลหะมีค่า
54.	บริษัท นาโมยะ ชินโป เนชั่น กรุป จำกัด	ชลบุรี	- ผลิตเชื้อเพลิงผสม เชื้อเพลิงทดแทน สีทาแบบกันสนิม - สกัดโลหะเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ - ซ่อมแซม ปรับปรุง ดัดแปลงเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - ผลิตอิฐปูผนัง - ซ่อมและล้างถังด้วยตัวทำลาย
55.	บริษัท อีโค แมเนจเม้นท์ อินดัสเตรียล จำกัด	ชลบุรี	- ผลิตเชื้อเพลิงทดแทนจากน้ำมันหล่อลื่นและตัวทำลายใช้แล้ว เชื้อเพลิงผสมจากเศษผ้าปนเปื้อน กากสี กากขาวหรือวัสดุที่มีค่าความร้อน - บดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ - หลอมเม็ดพลาสติกเก่า - ล้างบรรจุภัณฑ์ - สกัดโลหะมีค่าจากน้ำยาชุบโลหะ
56.	บริษัท มัตซึดะ ชิงเกียว (ประเทศไทย) จำกัด	ชลบุรี	- รวบรวมสะสมคัดแยกจำหน่ายเศษวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นอันตราย - รวบรวมสะสมจำหน่ายเศษวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นอันตราย - บดย่อยรีไซเคิลเศษชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เศษโลหะและชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ใช้แล้ว - นำเข้าแบ่งบรรจุและจำหน่ายเคมีภัณฑ์สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
			- นำเข้าและจำหน่ายวัสดุเพื่อการปรับปรุงสภาพ ผิวอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึง เครื่องจักรและชิ้นส่วนอุปกรณ์ของระบบ Precious metal recovery
57.	บริษัท สุรศักดิ์ เมทัล จำกัด	ชลบุรี	- บดย่อยแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เศษโลหะ อ่อนที่สามารถบดย่อยได้ เช่น เศษทองเหลือง เศษทองแดง
58.	บริษัท เอเชีย รีไซเคิล แอนด์ เซอร์วิส จำกัด	ชลบุรี	- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยเศษและตะกั่วโลหะผสม (Solder dross) จากการบัดกรี - ผลิตเม็ดพลาสติกเกรดบีจากพลาสติกเก่า
59.	บริษัท คิง ไอโอบี เอนไว รอนเมทัล แอนด์ อินดัสตรี โฮลดิ้ง (ไทย แลนด์) จำกัด	ชลบุรี	- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์
60.	บริษัท แสงตะวันพลาสติก 2012 (ประเทศไทย) จำกัด	ระยอง	- ทำเชื้อเพลิงทดแทนจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ แล้วและตัวทำละลายที่ใช้แล้ว - บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยเศษและตะกั่วโลหะ - สกัดโลหะมีค่าจากกากตะกอนอุตสาหกรรม ชุบโลหะ และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ - หลอมทำเม็ดพลาสติกเกรดบี - ล้างบรรจุภัณฑ์ด้วยตัวทำละลาย
61.	บริษัท ไฮเทค พลาส จำกัด	ระยอง	- นำตะกั่วเหล็กมาผ่านกรรมวิธีการบดย่อย เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เป็นวัตถุดิบใน อุตสาหกรรมหลอมเหล็กและอุตสาหกรรม ก่อสร้าง - บดย่อยแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์
62.	บริษัท เจ.พี.เอส เมทัล กรุ๊ป อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	ฉะเชิงเทรา	- นำชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มาผ่านกระบวนการบดย่อยเพื่อนำกลับมาใช้ ประโยชน์ใหม่ - บดย่อยและหลอมสายไฟ

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
63.	บริษัท ชันโคะ คินโซคุ (ประเทศไทย) จำกัด	ฉะเชิงเทรา	- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ วงจรรวม (Integrated circuit) ไดโอด (Diode) ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) แผ่น PCB (Printed Circuit Board) บัสเซอร์ (Buzzer) และรีเลย์ (Relay)
64.	บริษัท ทรัพย์เจริญ รีไซเคิล จำกัด	ฉะเชิงเทรา	- นำของเสียจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ผ่านกรรมวิธีบดย่อย เพื่อคัดแยกนำโลหะกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
65.	บริษัท ท็อป เท็น เอ็นไวรอนเมนต์ จำกัด	ฉะเชิงเทรา	- ทำเชื้อเพลิงผสมจากวัสดุอุตสาหกรรมน้ำมันหรือตัวทำละลาย น้ำมันหล่อเย็น - บดย่อยพลาสติกและชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - เก็บรวบรวมแบตเตอรี่ โดยไม่มีการแปรสภาพ - รีไซเคิลหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ - ทำอิฐประสานจากทรายหล่อแบบ - ผลิตปุ๋ยชีวภาพ - อบลดความชื้นกากตะกอนจากอุตสาหกรรมชุบโลหะและอิเล็กทรอนิกส์ที่มีโลหะมีค่า
66.	บริษัท สามเอ็น คอร์ป (ประเทศไทย) จำกัด	ปราจีนบุรี	- นำน้ำมันหล่อลื่น ตัวทำละลายที่ใช้แล้วมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทน - เคมีภัณฑ์ที่ใช้แล้วมาผ่านกรรมวิธีทางอุตสาหกรรมเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ - ซ่อมและล้างถังด้วยตัวทำละลาย - นำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว จากโรงงานอุตสาหกรรมมาผลิตเป็นอิฐบล็อก อิฐปูพื้น - ซ่อมแซม ดัดแปลง ปรับปรุงเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - นำเศษผ้าปนเปื้อนกากตะกอนน้ำมัน และดินปนเปื้อนน้ำมันมาทำเชื้อเพลิงผสม (Blending)
67.	"สมหวังรีไซเคิล"	นครราชสีมา	- ซ่อมแซม ดัดแปลง ปรับปรุงเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
68.	บริษัท ดวงดำรงค์ รีไซเคิล จำกัด	ลำพูน	- ทำเชื้อเพลิงทดแทน - ทำเชื้อเพลิงผสม - ซ่อมและล้างบรรจุภัณฑ์ - บดย่อยเศษและตะกรันโลหะ - บดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ - สกัดโลหะมีค่า - หลอมหล่อโลหะมีค่า เช่น ทอง เงิน นาค
69.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที.วี.พี. พลาสติก	ลำพูน	- หลอมโลหะมีค่า เช่น ทอง เงิน นิกเกิล - บดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ - ซ่อมและล้างถังด้วยตัวทำละลาย - ทำเชื้อเพลิงทดแทนจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว
70.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ภูมิวิศ เทรดิ่ง	ลำปาง	- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - สกัดโลหะมีค่า - ทำเชื้อเพลิงผสม - ทำน้ำมันเชื้อเพลิงจากพลาสติกและยางที่ใช้แล้ว
71.	บริษัท เอส.เอส.เจ รีไซเคิล จำกัด	เชียงราย	- คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเฉพาะที่กำหนดในหมวด 1 ข้อ 1 ของภาคผนวกที่ 1 บัญชีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) - ทำเชื้อเพลิงทดแทนจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว - ซ่อมแซม ประกอบเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยพลาสติก
72.	บริษัท ชลธาร เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด	อุทัยธานี	- คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ที่ไม่เป็นของเสียอันตราย
73.	บริษัท สุวรรณภูมิ เอ็นจิเนียริง จำกัด	ราชบุรี	- คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เฉพาะที่กำหนดไว้ในหมวด 1 ข้อ 1 ของภาคผนวกที่ 1 ของบัญชีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) - อัดเศษกระดาษ - นำน้ำมันเครื่องใช้แล้วมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทน น้ำมันผสมยางและน้ำมันน้ำมันหยอดทิ้ง

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
74.	บริษัท เทพพัฒนา เวสต์ แอนด์ เซอร์วิส จำกัด	กาญจนบุรี	- ทำเชื้อเพลิงทดแทนจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและตัวทำละลายที่ใช้แล้ว - ทำเชื้อเพลิงผสม (Blending) จากเศษผ้าปนเปื้อนน้ำมัน วัสดุดูดซับ กากตะกอนน้ำมัน กากสี - ซ่อมและล้างบรรจุภัณฑ์ด้วยตัวทำละลาย - บดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยเศษและตะกอนโลหะ - คัดแยกสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย
75.	บริษัท อาร์ที โกลเบล กรุ๊ป จำกัด	นครปฐม	- คัดแยกวัสดุที่ไม่ใช่แล้วเฉพาะที่กำหนดไว้ในหมวด 1 ข้อ 1 ของภาคผนวกที่ 1 บัญชีสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) - บดย่อยพลาสติก - ซ่อมแซม ดัดแปลง คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดที่ผ่านการใช้งานแล้ว
76.	บริษัท ยง ถัง จำกัด	นครปฐม	- นำชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เข้าสู่กระบวนการทางอุตสาหกรรม เพื่อนำโลหะกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
77.	บริษัท อันชิง อินดัสทรี จำกัด	สมุทรสาคร	- นำสารเคมีเสื่อมคุณภาพ สารเคมีจำพวกกรดหรือด่างที่ไม่ใช่แล้วมาผ่านกรรมวิธีการผลิตทางอุตสาหกรรม เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ - ล้างบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการบรรจุเคมีภัณฑ์แล้ว - คัดแยกสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย - สกัดโลหะมีค่าจากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ - อบกากตะกอนที่มีองค์ประกอบของโลหะมีค่าจากอุตสาหกรรมชุบโลหะและอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
78.	บริษัท สมานทองพาณิชย์ จำกัด	สมุทรสงคราม	- บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 3-18 โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการกำจัดแผงอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย [34] (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/โรงงาน	จังหวัด	ประกอบกิจการ
79.	บริษัท หวินจี (ประเทศไทย) จำกัด	เพชรบุรี	- สกัดแยกโลหะมีค่า เช่น ทองแดง เงิน ดีบุก จากแผงวงจรและชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ - อบกากตะกอนที่มีโลหะมีค่าจากโรงงานชุบโลหะและโรงงานเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ เช่น โครเมียม นิกเกิล ทองแดง
80.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด บุรีรัมย์ เซอร์วิส	สงขลา	- ทำเชื้อเพลิงทดแทนจากน้ำมันหล่อลื่นและตัวทำละลายที่ใช้แล้ว - ทำเชื้อเพลิงผสมจากเศษผ้าปนเปื้อนน้ำมัน วัสดุดูดซับและกากตะกอนน้ำมัน - บดย่อยชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ - ซ่อมและล้างบรรจุภัณฑ์ด้วยตัวทำละลาย - เก็บรวบรวมแบตเตอรี่โดยไม่มีการแปรสภาพ - คัดแยกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย

ปัจจุบันการกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่มีวิธีการกำจัดที่แน่ชัด เนื่องจากปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงมีปริมาณไม่มากพอ ส่งผลให้การลงทุนกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์มีวิธีในการกำจัดตามองค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด ดังตารางที่ 3-19 แสดงการจำแนกส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดพร้อมทั้งวิธีการจัดการของประเทศไทยในปัจจุบัน

ตารางที่ 3-19 วิธีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบ

กลุ่มของเซลล์ แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์ แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		วิธีการจัดการ	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มผลึกซิลิคอน (Wafer-based crystalline silicon)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด ผลึก (Crystalline Silicon Solar Cells)	แก้ว	แผ่นแก้ว	✓		- ขายให้กับบริษัทหรือโรงงานที่รับ กำจัด บดจนได้เศษแก้ว และส่งต่อ โรงงานเพื่อนำไปหลอมใหม่	- Rinkesh. 2021. What is E-waste Recycling?. (https://www.conserve-energy-future.com/e-waste-recycling-process.php)
		กรอบ อะลูมิเนียม	พลาสติก/ อะลูมิเนียม		✓	- พลาสติก: บดแล้วผ่านกระบวนการ อัดเม็ดให้เป็นเม็ดพลาสติก - อะลูมิเนียม: ผ่านการแยกและ รวบรวม เพื่อนำมาหลอมและขึ้นรูป ใหม่โดยโรงงานลำดับที่ 60	- Digio (Thailand) Co., Ltd. 2016. กระบวนการรี ไซเคิลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ณ โรงงาน TES-AMM สิงคโปร์. (https://www.blognone.com/node/86588) - กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2556. คู่มือบัญชีของเสียที่เป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน. (http://recycle.dpim.go.th/wastelist/download_files/Dpim-waste-1.pdf)
		ซิลิคอน	สารเคมี	✓		- การหลอมชิ้นส่วนของผลึกซิลิคอนให้ เป็นแท่งผลึก เพื่อใช้เป็นวัสดุตั้งต้น ก่อนนำกลับมาสร้างแผ่นเวเฟอร์อีก ครั้ง	- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลัง. “คู่มือแนวทางป้องกันผลกระทบ ทางสิ่งแวดล้อมและวิธีกำจัดกากขยะที่เกิดจาก โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับ ประเทศไทย.” (https://www.dede.go.th/ewtadmin/ewt/de_de_web/download/banner_60/1_Quotation009-2560.pdf)
		วัสดุห่อหุ้ม (EVA)	พลาสติกกัน ความชื้น		✓	- เผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 600°C	
		วัสดุเทดลาร์ (Tedlar)	พลาสติก คุณภาพสูง		✓		

ตารางที่ 3-19 วิธีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		วิธีการจัดการ	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มผลึกซิลิคอน (Wafer-based crystalline silicon)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Silicon Solar Cells)	การเชื่อมประสาน	วัสดุยึดติด		✓	- นำไปกำจัดโดยการนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงทดแทน เชื้อเพลิงผสม หรือเผาทำลายในเตาเผาเฉพาะสำหรับของเสียอันตราย	- ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม 2561. เรื่อง การกำหนดชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วและวิธีการกำจัด. (http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2561/E/095/8.PDF)
		ทองแดง	สารเคมี		✓	- บดรวมกับสายไฟ และแยกด้วยระบบลม จะได้เป็นเกล็ดทองแดง	- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2558. หลักเกณฑ์ประกอบกรพิจารณา นำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (กากอุตสาหกรรม) ออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2). (http://www.industry.go.th/samutprakan/index.php/download/22250-2-1/file)
		ดีบุก	สารเคมี		✓	- นำเข้าสู่กระบวนการฝังกลบอย่างปลอดภัย	- มงคลชัย อัครวิฑฐเลิศ และเจริศา จำปา. 2561. การใช้ประโยชน์จากซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ส่วนอลูมิเนียม) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 22 (ฉบับที่ 1), 34-43. (http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6102/25)

ตารางที่ 3-19 วิธีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์ แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์ แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		วิธีการจัดการ	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มผลึกซิลิคอน (Wafer-based crystalline silicon)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด ผลึก (Crystalline Silicon Solar Cells)	สังกะสี	สารเคมี		✓	- ผ่านการแยกและรวบรวม เพื่อนำมา หลอมและขึ้นรูปใหม่โดยโรงงาน ลำดับที่ 60	- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2556. คู่มือบัญชีของเสียที่เป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน. (http://recycle.dpim.go.th/wastelist/download_files/Dpim-waste-1.pdf)
		ตะกั่ว	สารเคมี		✓	- นำเข้าสู่กระบวนการฝังกลบอย่าง ปลอดภัย	- มงคลชัย อัครวิฑูริช และเจริศา จำปา. 2561. การใช้ประโยชน์จากซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ส่วนอลูมิเนียม) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 22 (ฉบับที่ 1), 34-43. (http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6102/25)
		โลหะเงิน	สารเคมี		✓	- สกัดเป็นแร่เงิน เพื่อนำไปใช้เป็น วัตถุดิบตั้งต้นให้กับอุตสาหกรรมยาน ยนต์ อุตสาหกรรม เครื่องประดับ และอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง	- โซวเทคโนโลยีรีไซเคิล รับมือแผงโซลาร์เซลล์ หมดอายุ. (https://www.energynewscenter.com/%E0%B8%81%E0%B8%9E%E0%B8%A3-%E0%B9%82%E0%B8%8A%E0%B8%A7%E0%B9%8C%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B9%82%E0%B8%99%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%A2%E0%B8%B5%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B9%84%E0%B8%8B%E0%B9%80%E0%B8%84/)

ตารางที่ 3-19 วิธีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์ แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์ แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		วิธีการจัดการ	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มผลึกซิลิคอน (Wafer-based crystalline silicon)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด ฟิล์มบางซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell: a-Si)	แก้ว	แผ่นแก้ว	✓		- ขายให้กับบริษัทหรือโรงงานที่รับ กำจัด บดจนได้เศษแก้ว และส่งต่อ โรงงานเพื่อนำไปหลอมใหม่	- Rinkesh. 2021. What is E-waste Recycling?. (https://www.conserve-energy-future.com/e-waste-recycling-process.php)
		กรอบ อะลูมิเนียม	พลาสติก/ อะลูมิเนียม		✓	- พลาสติก: บดแล้วผ่านกระบวนการ อัดเม็ดให้เป็นเม็ดพลาสติก - อะลูมิเนียม: ผ่านการแยกและ รวบรวม เพื่อนำมาหลอมและขึ้นรูป ใหม่โดยโรงงานลำดับที่ 60	- Digio (Thailand) Co., Ltd. 2016. กระบวนการรี ไซเคิลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ณ โรงงาน TES-AMM สิงคโปร์. (https://www.blognone.com/node/86588) - กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2556. คู่มือบัญชีของเสียที่เป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน. (http://recycle.dpim.go.th/wastelist/download_files/Dpim-waste-1.pdf)
		ซิลิคอน	สารเคมี	✓		- การหลอมชิ้นส่วนของผลึกซิลิคอน ให้เป็นแท่งผลึก เพื่อใช้เป็นวัสดุตั้งต้น ก่อนนำกลับมา สร้างแผ่นเวเฟอร์อีกครั้ง	- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลัง. “คู่มือแนวทางป้องกันผลกระทบ ทางสิ่งแวดล้อมและวิธีกำจัดกากขยะที่เกิดจาก โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับ ประเทศไทย.” (https://www.dede.go.th/ewtadmin/ewt/de de_web/download/banner_60/1_Quotation 009-2560.pdf)

ตารางที่ 3-19 วิธีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		วิธีการจัดการ	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มผลึกซิลิคอน (Wafer-based crystalline silicon)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell: a-Si)	กาวเชื่อมประสาน	วัสดุยึดติด		✓	- นำไปกำจัดโดยการนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงทดแทน เชื้อเพลิงผสม หรือเผาทำลายในเตาเผาเฉพาะสำหรับของเสียอันตราย	- ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม 2561. เรื่อง การกำหนดชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วและวิธีการกำจัด. (http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2561/E/095/8.PDF)
		เอ็มดีไอ	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์		✓	- คัดแยกเอาโลหะที่มีค่าออกก่อนโดยโรงงานอุตสาหกรรมและนำโลหะไปหลอมเพื่อใช้ประโยชน์ใหม่ ส่วนซากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดโลหะจะต้องนำเข้าสู่กระบวนการฝังกลบอย่างปลอดภัย	- มงคลชัย อัสวดิษฐเลิศ และเจริศา จำปา. 2561. การใช้ประโยชน์จากซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ส่วนโลหะ) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 22 (ฉบับที่ 1), 34-43. (http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6102/25)
		ทองแดง	สารเคมี		✓	- บดรวมกับสายไฟ และแยกด้วยระบบลม จะได้เป็นเกล็ดทองแดง	- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2558. หลักเกณฑ์ประกอบการพิจารณา นำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (กากอุตสาหกรรม) ออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2). (http://www.industry.go.th/samutprakan/index.php/download/22250-2-1/file)

ตารางที่ 3-19 วิธีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		วิธีการจัดการ	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มผลึกซิลิคอน (Wafer-based crystalline silicon)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell: a-Si)	สังกะสี	สารเคมี		✓	- ผ่านการแยกและรวบรวม เพื่อนำมาหลอมและขึ้นรูปใหม่โดยโรงงานลำดับที่ 60	- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2556. คู่มือบัญชีของเสียที่เป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน. (http://recycle.dpim.go.th/wastelist/download_files/Dpim-waste-1.pdf)
		อินเดียม	สารเคมี		✓		
		เจอร์มาเนียม	สารเคมี		✓	- นำเข้าสู่กระบวนการฝังกลบอย่างปลอดภัย	- มงคลชัย อัสวดิษฐเลิศ และเจริศา จำปา. 2561. การใช้ประโยชน์จากซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ส่วนโลหะ) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 22 (ฉบับที่ 1), 34-43. (http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6102/25)

ตารางที่ 3-19 วิธีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์ แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์ แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		วิธีการจัดการ	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มฟิล์มบาง (Thin-film photovoltaics)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด แคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium Telluride: CdTe)	แก้ว	แผ่นแก้ว	✓		- ขายให้กับบริษัทหรือโรงงานที่รับ กำจัด บดจนได้เศษแก้ว และส่งต่อ โรงงานเพื่อนำไปหลอมใหม่	- Rinkesh. 2021. What is E-waste Recycling?. (https://www.conserve-energy-future.com/e-waste-recycling-process.php)
		กรอบ อะลูมิเนียม	พลาสติก/ อะลูมิเนียม		✓	- พลาสติก: บดแล้วผ่านกระบวนการ อัดเม็ดให้เป็นเม็ดพลาสติก - อะลูมิเนียม: ผ่านการแยกและ รวบรวม เพื่อนำมาหลอมและขึ้นรูป ใหม่โดยโรงงานลำดับที่ 60	- Digio (Thailand) Co., Ltd. 2016. กระบวนการรี ไซเคิลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ณ โรงงาน TES-AMM สิงคโปร์. (https://www.blognone.com/node/86588) - กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2556. คู่มือบัญชีของเสียที่เป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน. (http://recycle.dpim.go.th/wastelist/download_files/Dpim-waste-1.pdf)
		วัสดุห่อหุ้ม (EVA)	พลาสติกกัน ความชื้น		✓	- คัดแยกจากแผ่นกระจกด้วยการคัด กรองด้วยการสั่นสะเทือน ก่อนนำไป จัดการต่อด้วยการเผา	- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลัง. “คู่มือแนวทางป้องกันผลกระทบ ทางสิ่งแวดล้อมและวิธีกำจัดกากขยะที่เกิดจาก โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับ ประเทศไทย.” (https://www.dede.go.th/ewtadmin/ewt/de de_web/download/banner_60/1_Quotation 009-2560.pdf)

ตารางที่ 3-19 วิธีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์ แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์ แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		วิธีการจัดการ	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มฟิล์มบาง (Thin-film photovoltaics)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด แคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium Telluride: CdTe)	ทองแดง	สารเคมี		✓	- บดรวมกับสายไฟ และแยกด้วย ระบบลม จะได้เป็นเกล็ดทองแดง	- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2558. หลักเกณฑ์ ประกอบการพิจารณา นำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้ แล้ว (กากอุตสาหกรรม) ออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2). (http://www.industry.go.th/samutprakan/index.php/download/22250-2-1/file)
		สังกะสี	สารเคมี		✓	- ผ่านการแยกและรวบรวม เพื่อนำมา หลอมและขึ้นรูปใหม่โดยโรงงานลำดับ ที่ 60	- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2556. คู่มือบัญชีของเสียที่เป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน. (http://recycle.dpim.go.th/wastelist/download_files/Dpim-waste-1.pdf)
		แคดเมียม	สารเคมี		✓		
		เทลลูเรียม	สารเคมี		✓	- นำเข้าสู่กระบวนการฝังกลบอย่าง ปลอดภัย	- มงคลชัย อัครวิฑูริช และเจริศา จำปา. 2561. การใช้ประโยชน์จากกากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ส่วนโลหะ) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 22 (ฉบับที่ 1), 34-43. (http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6102/25)

ตารางที่ 3-19 วิธีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		วิธีการจัดการ	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มฟิล์มบาง (Thin-film photovoltaics)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคอปเปอร์อินเดียม แกลเลียมไดเซเลไนด์ (Copper indium galliumdi selenide: CIGS)	แก้ว	แผ่นแก้ว	✓		- ขายให้กับบริษัทหรือโรงงานที่รับกำจัด บดจนได้เศษแก้ว และส่งต่อโรงงานเพื่อนำไปหลอมใหม่	- Rinkesh. 2021. What is E-waste Recycling?. (https://www.conserve-energy-future.com/e-waste-recycling-process.php)
		กรอบอะลูมิเนียม	พลาสติก/อะลูมิเนียม		✓	- พลาสติก: บดแล้วผ่านกระบวนการอัดเม็ดให้เป็นเม็ดพลาสติก - อะลูมิเนียม: ผ่านการแยกและรวบรวม เพื่อนำมาหลอมและขึ้นรูปใหม่โดยโรงงานลำดับที่ 60	- Digio (Thailand) Co., Ltd. 2016. กระบวนการรีไซเคิลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ณ โรงงาน TES-AMM สิงคโปร์. (https://www.blognone.com/node/86588) - กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2556. คู่มือบัญชีของเสียที่เป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน. (http://recycle.dpim.go.th/wastelist/download_files/Dpim-waste-1.pdf)
		วัสดุห่อหุ้ม (EVA)	พลาสติกกันความชื้น		✓	- คัดแยกจากแผ่นกระจกด้วยการคัดกรองด้วยการสั่นสะเทือน ก่อนนำไปจัดการต่อด้วยการเผา	- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลัง. “คู่มือแนวทางป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและวิธีกำจัดกากขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับประเทศไทย.” (https://www.dede.go.th/ewtadmin/ewt/de_de_web/download/banner_60/1_Quotation009-2560.pdf)

ตารางที่ 3-19 วิธีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์ แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์ แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		วิธีการจัดการ	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มฟิล์มบาง (Thin-film photovoltaics)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด คอปเปอร์อินเดียม แกลเลียมไดเซเลไนด์ (Copper indium galliumdi selenide: CIGS)	ทองแดง	สารเคมี		✓	- บดรวมกับสายไฟ และแยกด้วย ระบบลม จะได้เป็นเกล็ดทองแดง	- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2558. หลักเกณฑ์ ประกอบการพิจารณา นำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่ แล้ว (กากอุตสาหกรรม) ออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2). (http://www.industry.go.th/samutprakan/index.php/download/22250-2-1/file)
		ตะกั่ว	สารเคมี		✓	- นำเข้าสู่กระบวนการฝังกลบอย่าง ปลอดภัย	- มงคลชัย อัสวดิษฐเลิศ และเจริศา จำปา. 2561. การใช้ประโยชน์จากซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ส่วนโลหะ) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 22 (ฉบับที่ 1), 34-43. (http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6102/25)
		แคดเมียม	สารเคมี		✓		
		อินเดียม	สารเคมี		✓		
		เซเลเนียม	สารเคมี		✓		
		แกลเลียม	สารเคมี		✓		

3.5 การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของต่างประเทศ

ประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปที่มีการบริหารจัดการที่ชัดเจน โดยการออกกฎหมายอนุวัติตามกฎหมาย WEEE directive ซึ่งมีการประกาศใช้กฎระเบียบดังกล่าวนี้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 ที่ได้มีการบรรจุแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic panels) เข้าไปในกลุ่มขยะในความรับผิดชอบของผู้ผลิต (Extended producer responsibility; EPR) ที่พัฒนาต่อยอดมาจากหลักการผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย (Polluter pay principle; PPP) นั่นเอง

นอกจากนี้ในยุโรปมีการจัดตั้งองค์กรที่เรียกว่า PV cycle ที่มีสำนักงานใหญ่อยู่ที่เมืองบรัสเซล ประเทศเบลเยียม โดยให้บริการทั้งในยุโรปและญี่ปุ่น เพื่อจัดเก็บ ขนส่ง และรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดผลึกซิลิคอนและชนิดฟิล์มบาง แบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์ของกลุ่มสมาชิก ผ่านกลไกทั้งแผงฯในแต่ละจุดของ PV cycle และจุดเก็บแผงฯของเทศบาล เพื่อนำวัสดุตั้งต้นที่ผ่านกระบวนการแล้วจะสามารถนำไปใช้ใหม่ได้อีกครั้ง

ซึ่งตัวอย่างการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของต่างประเทศมีดังต่อไปนี้

3.5.1 ประเทศเยอรมนี [33]

ในการบริหารจัดการขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศเยอรมนีนั้นไม่ได้มีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉพาะ แต่เป็นการประยุกต์ใช้กฎหมายการจัดการอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical and electronic equipment act; Elektroggesetz, ElektroG) ที่มีอยู่เดิม ในกฎหมาย ElektroG มีการระบุว่า กระทรวงสิ่งแวดล้อม (Federal ministry of environment; UBA) ได้มอบหมายและให้อำนาจในการบริหารจัดการขยะอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์แก่สำนักทะเบียนผู้ก่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Stiftung elektro-altgeraete register; Stiftung EAR) โดยหน่วยงานที่ทำหน้าที่รับขึ้นทะเบียนและออกเลขทะเบียนให้กับผู้ผลิต ซึ่งจะเป็นผู้รับผิดชอบอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์หลังหมดอายุใช้งาน โดยผู้ผลิตในที่นี้จะรวมถึงโรงงานที่ทำการผลิต ผู้นำเข้า ผู้จัดจำหน่ายอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ด้วย

ในการรวบรวม WEEE นั้น หน่วยงาน Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (öRE) จะแจ้งประชาชนผู้เป็นเจ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics and electrical equipment; EEE) ในเรื่องกรรมวิธีการจัดการกับ WEEE โดยหน่วยงานนี้จะเป็นผู้กำหนดวิธีในการเรียกคืนและการรวบรวม WEEE ในแต่ละพื้นที่ ทำการชี้แจงกฎระเบียบในการรีไซเคิลหรือนำกลับมาใช้ใหม่ของ WEEE ระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ WEEE เช่น ลักษณะสัญลักษณ์บนฉลากสินค้า รวมไปถึงหน้าที่การเตรียมให้ WEEE ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมก่อนผู้ผลิตจะนำ WEEE ไปดำเนินการในขั้นต่อไป

ทั้งนี้ผู้ผลิตจะมีหน้าที่ในการเรียกคืน รวบรวม และนำอุปกรณ์ที่หมดอายุจากครัวเรือน ไปดำเนินการถอดแยก รีไซเคิล หรือส่งต่อไปยังโรงงานที่ทำหน้าที่ดังกล่าว ตัวอย่างบริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศเยอรมนีจะแสดงดังตารางที่ 3-20 ซึ่งผู้ผลิตจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการ

ดำเนินการทั้งหมด โดยรวมไปถึงการจัดตั้งจุดรวบรวม WEEE การจัดหาภาชนะรวบรวม WEEE และการทำบัญชีแสดงปริมาณของ WEEE ที่เกิดขึ้นเพื่อส่งให้กับ Stiftung EAR ทุกปี โดยกฎหมาย ElectroG ได้มีการระบุหลักเกณฑ์ในเรื่องความสามารถในการถอดแยกส่วนประกอบ และการรีไซเคิล ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะต้องมีอัตราการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Rate of recovery) อย่างน้อยร้อยละ 80 (โดยน้ำหนักรวม)

ในปี พ.ศ. 2550 กลุ่มผู้ผลิตแผงในสหภาพยุโรปได้รวมกันก่อตั้งองค์กรชื่อ PV cycle เพื่อจัดทำการบริหารจัดการแผงหมดความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้า โดยทำหน้าที่ประสานการจัดเก็บรวบรวม การขนส่งและการทำรีไซเคิลในพื้นที่ต่างๆ ทั่วทวีปยุโรป รวมถึงในประเทศเยอรมนีด้วย

ตารางที่ 3-20 บริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศเยอรมนี [35]

ลำดับ	ชื่อบริษัท/โรงงาน	บริการรีไซเคิล	ผลิตภัณฑ์รีไซเคิล
1.	บริษัท ออรูบิส จำกัด (มหาชน) (Aurubis AG)	รับซื้อวัสดุรีไซเคิล	สารประกอบทางเคมี
2.	บริษัท เอนวาริส จำกัด (Envaris GmbH)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์และสายเคเบิล
3.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไรลิ่ง กลาส รีไซเคิลลิ่ง (Reiling Glas Recycling GmbH & Co. KG)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
4.	บริษัท รีเกอร์ แอนด์ ราฟท์ จำกัด (Rieger & Kraft Solar GmbH)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
5.	บริษัท ซิก โพรเซสซิง (เยอรมนี) จำกัด (SiC Processing (Deutschland) GmbH)	รับรีไซเคิลอุปกรณ์และรับรีไซเคิลโดยตรง	สารละลายชนิดชั้น

3.5.2 สหรัฐอเมริกา [33]

ในสหรัฐอเมริกายังไม่มีผลการดำเนินการเรื่องการบริหารจัดการและกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชัดเจน โดยไม่มีกฎหมายในระดับรัฐบาลกลาง แต่มีกฎหมายมลรัฐว่าด้วยการควบคุมของเสียคือ กฎหมาย Resource conservation and recovery act (RCRA) เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ โดยมุ่งเน้นการป้องกันการเกิดมลพิษ และการลดการเกิดของเสีย ตัวอย่างบริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ในสหรัฐอเมริกาส่งแสดงดังตารางที่ 3-21 ซึ่งเป็นหน่วยงานเอกชนเป็นผู้ดำเนินการจัดการ

ตารางที่ 3-21 บริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ในสหรัฐอเมริกา [35]

ลำดับ	ชื่อบริษัท/โรงงาน	มลรัฐ	บริการรีไซเคิล	ผลิตภัณฑ์รีไซเคิล
1.	บริษัท 3อาร์ รีไซเคิลลิง ซิน ซินนาติ จำกัด (3R Recycling Cincinnati)	โอไฮโอ (Ohio)	รับรีไซเคิลอุปกรณ์และ รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
2.	บริษัท แคสเคด อีคอล มิน เนเรลส์ จำกัด (Cascade Eco Minerals; CEM)	มิสซูรี (Missouri)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และกระจก
3.	บริษัท คลีนไลต์ส รีไซเคิล ลิง จำกัด (Cleanlites Recycling)	โอไฮโอ (Ohio)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
4.	บริษัท ไดนามิก ไลฟ์ไซเคิล อินโนเวชัน จำกัด (Dynamic Lifecycle Innovations)	วิสคอนซิน (Wisconsin)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ สายเคเบิล กล่องพัก สายไฟและกรอบ
5.	บริษัท เอคโค เอนไวรอน เมนทอล จำกัด (Echo Environmental)	เท็กซัส (Texas)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
6.	บริษัท เอ็กซ์เทค จำกัด (Exotech)	ฟลอริดา (Florida)	รับซื้อวัสดุรีไซเคิล	
7.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด แฟปเทค (FabTech)	แอริโซนา (Arizona)	รับรีไซเคิลโดยตรงและ รับซื้อวัสดุรีไซเคิล	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
8.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด เฟิร์ส โซลาร์ (First Solar)	แอริโซนา (Arizona)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
9.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด กรีน ไลต์ส รีไซเคิลลิง (Green Lights Recycling)	มินนิโซตา (Minnesota)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 3-21 บริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ในสหรัฐอเมริกา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อบริษัท/โรงงาน	มลรัฐ	บริการรีไซเคิล	ผลิตภัณฑ์รีไซเคิล
10.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด อินเทคอะ เมทเทิลทรอลนิคส์ รีไซเคิลเลอร์ (Interco -- A Metaltronics Recycler)	อิลลินอยส์ (Illinois)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
11.	บริษัท เมทเทิล แอนด์ แคททาเลิสต์ รีซอร์ส จำกัด (Metal & Catalyst Resources)	เท็กซัส (Texas)	รับรีไซเคิลโดยตรง	สารประกอบทางเคมี
12.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด มิซูบิชิ อิเล็กทริกส์ (Mitsubishi Electric)	แคลิฟอร์เนีย (California)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
13.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด มอร์เกรน อินดัสทรี (Morgen Industries)	นิวยอร์ก (New York)	รับรีไซเคิลโดยตรง	เซลล์แสงอาทิตย์
14.	บริษัท รีไซเคิล พีวี โซลาร์ จำกัด (Recycle PV Solar)	เนวาดา (Nevada)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
15.	บริษัท รีไซเคิล วันทูทรีโฟล จำกัด (Recycle1234)	แคลิฟอร์เนีย (California)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
16.	บริษัท ซิลิคอน สเปเชียลิสต์ จำกัด (Silicon Specialists)	แคลิฟอร์เนีย (California)	รับรีไซเคิลโดยตรงและรับซื้อวัสดุรีไซเคิล	แผ่นเวเฟอร์
17.	บริษัท เซมิคอนดักเตอร์ จำกัด (Silrec Corporation)	เคนตักกี (Kentucky)	รับรีไซเคิลโดยตรง	ก้อนโลหะและแผ่นเวเฟอร์
18.	บริษัท โซลาร์ รีไซเคิลลิง เอกเพิร์ท จำกัด (Solar Recycling Experts)	แคลิฟอร์เนีย (California)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
19.	บริษัท โซลาร์ ซัน รีไซเคิลลิง จำกัด (Solar Sun's Recycling)	ฟลอริดา (Florida)	รับรีไซเคิลโดยตรง	เซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 3-21 บริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ในสหรัฐอเมริกา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อบริษัท/โรงงาน	มลรัฐ	บริการรีไซเคิล	ผลิตภัณฑ์รีไซเคิล
20.	บริษัท โซลลาร์ซิลิคอน รีไซเคิลลิง เซอร์วิส จำกัด (Solarsilicon Recycling Services; SRS)	แคลิฟอร์เนีย (California)	รับรีไซเคิลโดยตรง	ก้อนโลหะ
21.	บริษัท เซอร์พลัส เซอร์วิส จำกัด (Surplus Service)	แคลิฟอร์เนีย (California)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
22.	บริษัท วี รีไซเคิล โซลลาร์ จำกัด (We Recycle Solar)	แอริโซนา (Arizona)	รับรีไซเคิลโดยตรง	เซลล์แสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์และสารประกอบทางเคมี

3.5.3 ประเทศญี่ปุ่น [33]

สำหรับการบริหารจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ในประเทศญี่ปุ่นยังไม่มีกฎหมายที่มีผลบังคับใน เรื่องการบริหารจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุใช้งานโดยเฉพาะ มีเพียงกฎหมายที่ใช้ในการ จัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ 2 ฉบับที่ส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมลดการเกิดขยะอุปกรณ์ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์ ด้วยกระบวนการรีไซเคิล และการนำกลับมาใช้ใหม่คือ The law for promotion of effective utilization of resources (LPUR) และ The law for recycling of specified home appliance (LRHA)

ภาคอุตสาหกรรมของญี่ปุ่นโดยเฉพาะกลุ่มผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความตื่นตัวและเริ่ม กระบวนการเก็บรวบรวมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน โดยคิดค่าบริการ 8 ยูโรต่อเซลล์ แสงอาทิตย์ 1 แผงมา ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 และเริ่มมีมาตรการเพื่อการสนับสนุนนโยบายการรี ไซเคิลของรัฐบาล ซึ่งวัตถุประสงค์หลักเพื่อการถอดแยก ขนส่งและแปรรูปของเสียอุปกรณ์การผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อป้องกันปัญหาที่จะมีขยะแผงเซลล์ในหลุมฝังกลบ โดยมาตรการนี้จะส่งเสริมให้เกิด การแยกวัสดุมีค่าเช่น เงิน ทองแดง และแร่ธาตุหายากชนิดต่างๆ ออกจากแผงเซลล์หมดอายุ เพื่อเป็นการ สงวนแหล่งทรัพยากร เนื่องจากประเทศญี่ปุ่นต้องนำเข้าแร่ธาตุจากต่างประเทศ จึงเห็นสมควรว่าไม่ควรทิ้ง ของมีค่าไปโดยเปล่าประโยชน์ รัฐบาลญี่ปุ่นได้มีการเตรียมความพร้อมในการเก็บรวบรวมแผงและการรี ไซเคิล โดยการสนับสนุนการวิจัยร่วม ตัวอย่างบริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศญี่ปุ่นจะ แสดงดังตารางที่ 3-22 นอกจากนี้ยังมีองค์กร PV cycle จัดเก็บรวบรวม การขนส่งและการทำรีไซเคิลใน พื้นที่ต่างๆ ทั่วทวีปยุโรป รวมถึงในประเทศญี่ปุ่นเช่นกัน

ตารางที่ 3-22 ตัวอย่างบริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศญี่ปุ่น [35]

ลำดับ	ชื่อบริษัท/โรงงาน	บริการรีไซเคิล	ผลิตภัณฑ์รีไซเคิล
1.	บริษัท อิกิ โซจิ จำกัด (มหาชน) (Eiki Shoji Co., Ltd.)	รับรีไซเคิลโดยตรงและ รับซื้อวัสดุรีไซเคิล	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
2.	บริษัท โอไคชิ คันทรัคเคิน จำกัด (มหาชน) (Okaishi Construction Co., Ltd)	รับรีไซเคิลโดยตรง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์
3.	บริษัท ทรินิตี้ จำกัด (มหาชน) (Trinity Co., Ltd.)	รับรีไซเคิลโดยตรงและ รับซื้อวัสดุรีไซเคิล	ก้อนโลหะ แผ่นเวเฟอร์ เซลล์ แสงอาทิตย์และสารประกอบทาง เคมี

อย่างไรก็ตามประเทศญี่ปุ่นมีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์มาอย่างต่อเนื่อง ในปี ค.ศ. 2014 National institute of advanced industrial science and technology (NEDO) ได้ร่วมมือกับหน่วยงานทางสิ่งแวดล้อม และบริษัทภาคเอกชนต่างๆ ในการร่วมกันวิจัยและพัฒนาการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถพัฒนากระบวนการคัดแยกชิ้นส่วนเซลล์ออกจากกระจก ด้วยวิธีการใช้ความร้อน (Hot knife process) ทำให้แยกชิ้นส่วนดังกล่าวได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาเพียง 40 วินาทีต่อ 1 แผง/พานอล [36] ทั้งนี้ปัจจุบันหน่วยงาน Japan photovoltaic energy association (JPEA) ได้รวบรวมรายชื่อบริษัทที่รับจัดการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเหมาะสมทั้งหมด 30 บริษัท [37] ดังตารางที่ 3-23 ยกตัวอย่างเช่น บริษัท NPC Incorporated สามารถรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์รวมทั้งหมด 32,150 แผง/พานอล (ข้อมูล ณ วันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2564) โดยคัดแยกออกเป็น ก่อ่ง Junction, กรอบเฟรม, กระจก และแผงเซลล์อีวีเอ [38]

ตารางที่ 3-23 บริษัทรับจัดการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศญี่ปุ่นที่ระบุโดย Japan photovoltaic energy association (JPEA)

ลำดับ	ชื่อบริษัท	เว็บไซต์
1	MATEC Inc.	https://www.matec-inc.co.jp/
2	SEINAN	http://www.seinan-group.co.jp/
3	Mitsuba Resources Co., Ltd.	http://www.mitsuba-shigen.com/
4	Kankyo Hozen Service Co., Ltd.	http://www.khs.ne.jp/
5	Moriya Co., Ltd.	http://www.ecomoriya.com/
6	Shirakawa Shoten Co., Ltd.	http://www.shirakawa-syouten.co.jp/
7	Nippon Metal Chemical Co., Ltd.	http://www.nmcc.co.jp/

ตารางที่ 3-23 บริษัทบริหารจัดการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศญี่ปุ่นที่ระบุโดย Japan photovoltaic energy association (JPEA) (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อบริษัท	เว็บไซต์
8	Mizukaido Sangyo Co., Ltd.	https://www.mitsukaido.net/
9	Um Welt Japan Co., Ltd.	http://www.u-w-j.co.jp/
10	Re-Tem Corporation	https://www.re-tem.com/
11	HAMADA Co., Ltd.	https://www.kkhamada.com/
12	Tokyo Power Technology	https://www.tokyo-pt.co.jp/
13	Toshiba environmental solutions corporation	https://www.toshiba-tesc.co.jp/index_j.htm
14	ECONECOL Inc.	http://www.econecol.co.jp/
15	Harita Metal Co.,Ltd.	http://www.harita.co.jp/
16	Recycle Tech Japan	http://www.r-t-j.co.jp/
17	Kinki Denden Yuso.,Ltd.	https://www.kdy.co.jp/service/recycling
18	Hakuto Environmental Development Co., Ltd.	http://www.hakuto-kankyo.co.jp/
19	Hirakintec Co., Ltd.	https://www.hirakin.co.jp/
20	Kangai Co., Ltd.	http://www.kangai.co.jp/
21	SUNADA Co., Ltd.	http://www.e-sunada.com/
22	Eco Tec Kaneshiro Sangyou	https://eco-kaneshiro.com/
23	NPC Incorporated	https://www.npcgroup.net/
24	Shinryo Corporation	https://ce3r.shinryo-gr.com/recycle-tech
25	Kyushu Kitasei Co., Ltd.	https://www.k-hokusei.co.jp/
26	Environmental Conservation Service Co., Ltd.	https://www.glassrecycle.ne.jp/
27	Glass Recycling Committee of Japan (GRCJ)	http://www.grcj.jp/
28	Keiaisha Co., Ltd.	https://www.keiaisha.co.jp/index.html
29	Next Energy & Resources Co., Ltd.	https://www.nextenergy.jp/
30	ORIX Eco Services Corporation	https://www.orix.co.jp/eco/

3.6 เทคโนโลยีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน

3.6.1 เทคโนโลยีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

เนื่องจากในปัจจุบันการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้น นิยมใช้วิธีการคัดแยกขยะแล้วนำไปย่อยสลายเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยก่อนเข้าตามกระบวนการและนำทิ้งในหลุมฝังกลบตามกฎหมาย ทำให้เทคโนโลยีในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยยังถือว่ามียุ่่น้อย เมื่อเทียบกับต่างประเทศ

นอกจากนี้เทคโนโลยีในการรีไซเคิลของไทยนั้นยังคงอยู่ในระดับของห้องปฏิบัติการเท่านั้น แต่เพื่อให้สอดคล้องกับกฎระเบียบ WEEE directive จึงทำให้เล็งเห็นถึงวัสดุมีค่าที่เป็นส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อนำวัสดุมีค่ากลับมาใช้อีกครั้งนั่นเอง โดยแนวทางและเทคโนโลยีที่พบในประเทศไทยมีดังต่อไปนี้

- (1) เทคโนโลยีรีไซเคิลเงินบริสุทธิ์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (โซลาร์เซลล์) ของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ [39]
- (2) การศึกษาแนวทางการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ และพัฒนาโรงงานรีไซเคิลซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ต้นแบบของประเทศไทย โดยความร่วมมือของกรมโรงงานอุตสาหกรรมและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [40]
- (3) กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ รับมอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุ เพื่อการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิล จากบริษัท เอท โซลาร์ จำกัด [41]
- (4) คู่มือแนวทางป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและวิธีกำจัดกากขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับประเทศไทย โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [42]

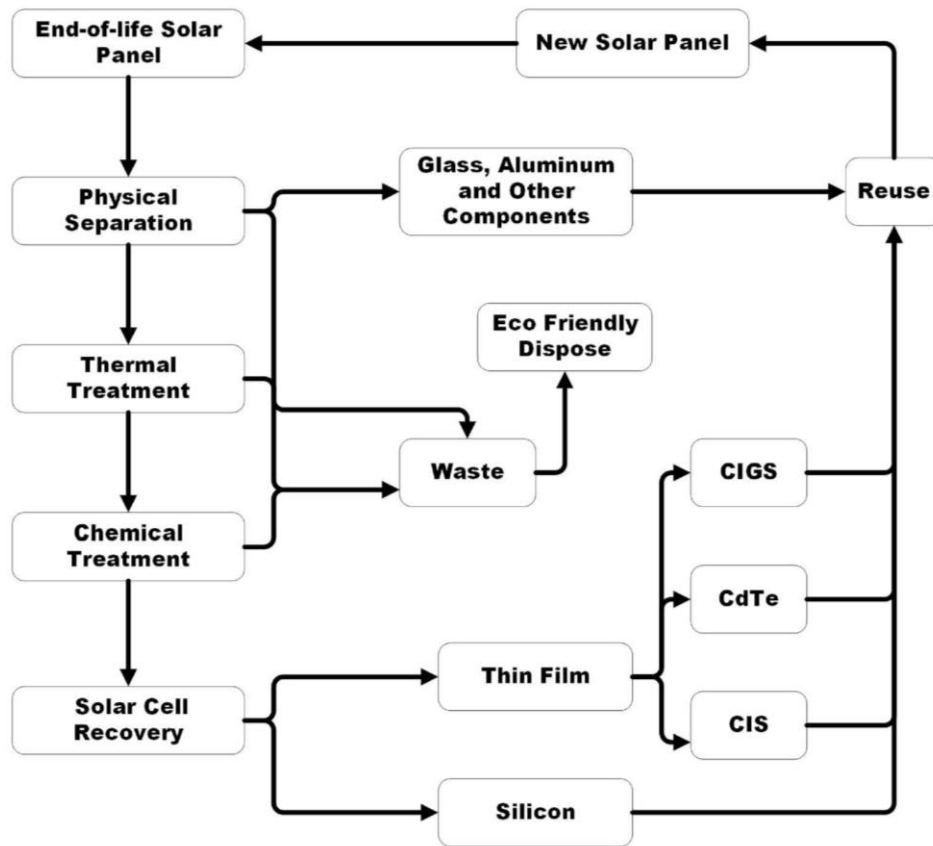
จากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่า หน่วยงานภาครัฐในประเทศไทยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต จึงได้เตรียมความพร้อมในการศึกษาแนวทางในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมทั้งเทคโนโลยีเพื่อรีไซเคิลวัสดุมีค่าจากซากเซลล์แสงอาทิตย์ และแม้ว่าจะได้มีการหาแนวทางรับมือไว้แล้วก็ตาม ก็ยังคงขาดนักวิจัยเพื่อดำเนินการสำหรับการทดลองในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้น รวมถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเพื่อรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย

3.6.2 เทคโนโลยีการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ

ในประเทศญี่ปุ่น ประเทศในทวีปยุโรป และประเทศประเทศสหรัฐอเมริกามุ่งเน้นไปที่การวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการรีไซเคิลส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน ซึ่งมุ่งหวังที่จะกู้คืนและรีไซเคิลชิ้นส่วนที่สำคัญที่สุด

ในปัจจุบันมีกระบวนการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สำคัญที่สุดแบ่งออกเป็นสามประเภท ได้แก่ การแยกทางกายภาพ (Physical separation) การกำจัดด้วยความร้อน (Thermal treatment) และการกำจัดทางเคมี (Chemical treatment) ดังแสดงในรูปที่ 3-47 เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีวัสดุมีค่าที่

สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือเพิ่มมูลค่าของของเสียที่เกิดขึ้น และยังเป็นการลดปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3-47 ขั้นตอนกระบวนการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน

(ที่มา: An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling, 2020) [43]

- ขั้นตอนการแยกทางกายภาพ (Physical separation) [43]

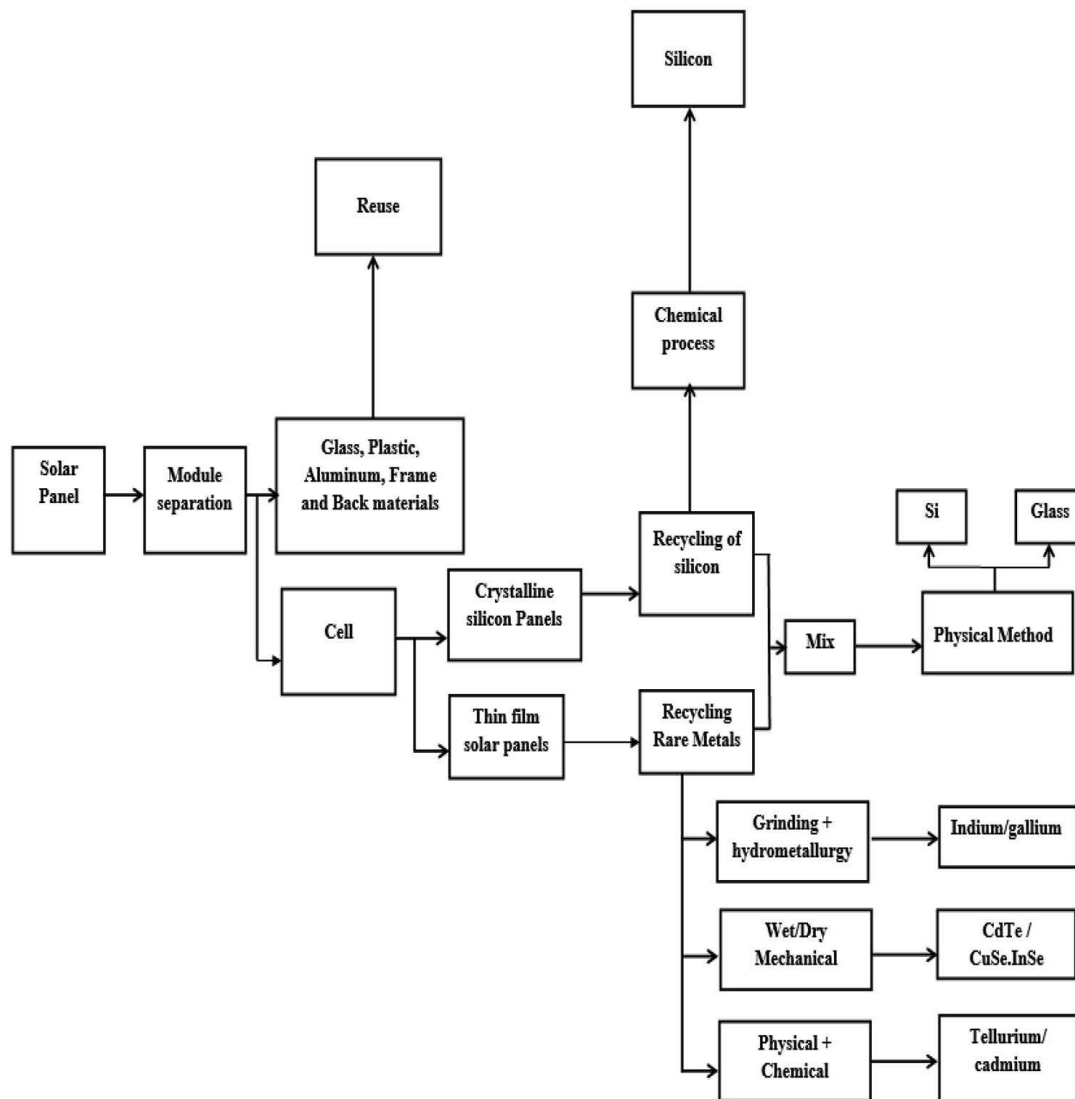
ในขั้นตอนนี้เป็นการแยกวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุโลหะ ได้แก่ กรอบอะลูมิเนียม เส้นลวดโลหะ และกระจก เป็นต้น ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถดำเนินการเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลได้ทันที

- ขั้นตอนการกำจัดด้วยความร้อน (Thermal treatment) [43]

กระบวนการนี้เป็นการให้ความร้อนหรือการเผาเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยอุณหภูมิประมาณ 500-600 องศาเซลเซียส ซึ่งส่วนประกอบที่ประเภทโพลีเมอร์จะถูกกำจัดในขั้นตอนนี้ แต่วัสดุอื่นๆ เช่น แก้ว เซลล์ซิลิคอน และโลหะจะถูกแยกออก เศษแก้วและโลหะที่ถอดออกสามารถส่งไปรีไซเคิลได้ แผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ใหม่สามารถสร้างขึ้นโดยใช้ซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้

- ขั้นตอนการกำจัดทางเคมี (Chemical treatment) [43]

ขั้นตอนการกำจัดทางเคมีนั้น เริ่มจากการนำซากเซลล์แสงอาทิตย์จุ่มในตัวทำละลาย โดยที่ส่วนประกอบจะถูกแยกออกหลังจากเกิดปฏิกิริยาเคมี และกระบวนการนี้จะใช้เวลามากกว่าการกำจัดด้วยความร้อน แต่ประสิทธิภาพของซิลิคอนที่ผ่านการใช้เคลือบสูงกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการกำจัดด้วยความร้อน ซึ่งเทคโนโลยีการใช้เคลือบประเภทต่างๆ จะแสดงรูปที่ 3-48



รูปที่ 3-48 เทคโนโลยีรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน

(ที่มา: An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling, 2020) [43]

นอกจากนั้นซากเซลล์แสงอาทิตย์ยังสามารถจำแนกตามผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความสามารถในการรีไซเคิล และมูลค่าทางการค้า ดังแสดงรูปที่ 3-49 โดยการจำแนกประเภทจะคำนึงถึงผลกระทบต่อ

สิ่งแวดล้อม ซึ่งขึ้นอยู่กับคำจำกัดความของของเสียอันตรายที่จัดทำโดยกฎของเสียอันตรายและของเสียอื่น (การจัดการและการเคลื่อนไหวข้ามพรมแดน) ประจำปี พ.ศ. 2559 ของกระทรวงสิ่งแวดล้อม ป่าไม้ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รัฐบาลอินเดีย ตามกฎหมายนี้ของเสียอันตรายหมายถึงของเสียใดๆ ที่โดยเหตุผลของลักษณะทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ การเกิดปฏิกิริยา ความเป็นพิษ วัตถุไวไฟ การระเบิดหรือการกีดร่อนที่ทำให้เกิดอันตรายหรือมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพหรือสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 3-49 การจำแนกประเภทซากเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
(ที่มา: Managing India's PV module waste, 2019) [44]

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน, Thailand PV Status Report B.E.2561, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย
- [2] บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด, ข้อมูลบริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด, Available:
<https://www.solartron.co.th/thai/about>
- [3] บริษัท เอกรั่ววิศวกรรม จำกัด, ข้อมูลบริษัท เอกรั่ววิศวกรรม จำกัด, Available:
<https://ekarat.co.th/>
- [4] บริษัท โซล่าเพาเวอร์ เทคโนโลยี จำกัด, ข้อมูลบริษัท โซล่าเพาเวอร์ เทคโนโลยี จำกัด, Available:
http://www.spotsolar.com/product/view_product.php?id=9
- [5] บริษัท เทคตรอน จำกัด, ข้อมูลบริษัท เทคตรอน จำกัด, Available:
<https://www.techtron.co.th/product-category/solar-panels/>
- [6] บริษัท เฮอร์ริเทจอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, ข้อมูลบริษัท เฮอร์ริเทจอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด,
Available: <http://www.heritage-int.co.th/index.php/>
- [7] บริษัท โซลาร์ ฟิฟเอ็ม จำกัด, ข้อมูลบริษัท โซลาร์ ฟิฟเอ็ม จำกัด, Available:
<https://www.solarppm.com/pv-panel/>
- [8] บริษัท ชันเนอจิสท์ จำกัด, ข้อมูลบริษัท ชันเนอจิสท์ จำกัด, Available:
<https://www.sunergistgroup.com/TH/product.html>
- [9] กระทรวงพลังงาน, แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (AEDP2018), กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.
- [10] กระทรวงพลังงาน, รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2564, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.
- [11] กระทรวงพลังงาน, การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอด และเผยแพร่การใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, พ.ศ. 2562.
- [12] Waldau A. J., Snapshot of photovoltaics - March 2021, European Commission, Joint Research Centre (JRC), Via E. Fermi 2749, Ispra, VA I-21027, Italy
- [13] Masson G., et al., TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS 2020, International Energy Agency (IEA).
- [14] Sunpower, SunPower Maxeon Solar Panels, Available:
<https://sunpower.maxeon.com/int/solar-panel-products/sunpower-maxeon-solar-panels>

-
- [15] Svarc J., LG Solar Panels Review, Available:
<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/lg-solar-panel-review>
 - [16] Svarc J., REC Solar Panel Review 2021, Available:
<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/rec-solar-panel-review>
 - [17] Panasonic, EverVolt™ Series Module, Available:
<https://na.panasonic.com/us/energy-solutions/solar/evervolttm-modules/evervolttm-series-module-0>
 - [18] Silfab Solar, High-Efficiency Monocrystalline PV Modules, Available:
<https://silfabsolar.com/silfabelite/>
 - [19] Svarc J., Jinko Solar Panels Review, Available:
<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/jinko-solar-panels-review>
 - [20] Futurasun, About-us, Available:
<https://www.futurasun.com/en/about-us/manufacturing-photovoltaic-panels-2/>
 - [21] Hyundai Solar, What is the value of a Brand?, Available:
<https://www.hyundaisolar.com.au/>
 - [22] Trinasolar, Abundant. Accessible. Affordable., Available:
<https://www.trinasolar.com/us/about-solar/why-solar>
 - [23] Spic Solar, Product. Available: <http://www.spicsolar.com/en/product.asp?id=431>
 - [24] IEA, Snapshot of global PV markets, 2021, [Online], Available: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA_PVPS_Snapshot_2021-V3.pdf
 - [25] IRENA, Future of solar photovoltaic, 2019, [Online], Available:
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf
 - [26] IRENA, Aggregators innovation landscape brief, 2019, [Online], Available:
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Aggregators_2019.PDF
 - [27] IRENA, Business Models: Innovation Landscape, 2020, [Online], Available:
<https://www.irena.org/->

- /media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Business_Models_Collection_2020.pdf
- [28] กระทรวงพลังงาน, รายงานฉบับสมบูรณ์ การติดตามสถานการณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, พ.ศ. 2561.
- [29] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจัดทำแผนแม่บทการจัดการซากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ : เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. พ.ศ. 2560.
- [30] กระทรวงพลังงาน, คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, พ.ศ. 2561.
- [31] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาศักยภาพเชิงพื้นที่ในการบริหารจัดการกากขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- [32] ปัญญ์ จันทรลออ. “มาตรการทางกฎหมายในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์” วิทยานิพนธ์นิติศาสตรมหาบัณฑิต สาขากฎหมายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2559.
- [33] พิษณุ รัชฎาวงศ์ และคณะ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการ “การจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้า (Management of expired solar PV panels)”. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พ.ศ. 2559.
- [34] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ข้อมูลโรงงาน > ค้นหาโรงงานอุตสาหกรรม [ออนไลน์]. <https://www.diw.go.th/webdiw/search-factory/>.
- [35] Solar Trade Platform and Directory of Solar Companies. “Solar Recycling Companies.” [Online]. Available: <https://www.ensolar.com/directory/service/manufacturers-recycling>. 2021.
- [36] Yadav, A., and Lewis, G.M. 2021. Investigate technical, policy and business approaches to addressing stewardship and circularity for end-of-life for PV system. Final Project Report. University of Michigan School for Environment and Sustainability.
- [37] Japan photovoltaic energy association (JPEA). 2021. 適正処理(リサイクル)の可能な産業廃棄物中間処理業者名 一覧表. Available: <http://www.jpea.gr.jp/pdf/t180827.pdf>.
- [38] NPC Incorporated. 2021. PV Panel Recycling Service. Available: <https://www.npcgroup.net/eng/solarpower/reuse-recycle/recycle-service>.

- [39] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. “กพร. เปิดผลสำเร็จรีไซเคิลเงินบริสุทธิ์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแห่งแรกของไทย พร้อมเดินเกมรุกเร่งรีไซเคิลขยะหมุนเวียนเป็นทรัพยากรทดแทนให้เกิดประโยชน์สูงสุด.” [Online], Available: <http://www.dpim.go.th/purchase/article?catid=102&articleid=11461>. 2021.
- [40] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. “การศึกษาแนวทางการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่และพัฒนาโรงงานรีไซเคิลซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ต้นแบบของประเทศไทย.” [Online], Available: <https://oldweb.diw.go.th/hawk/showinfo.php?mode=info&id=3217>. 2021.
- [41] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. “ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิล กพร. รับมอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุ จากบริษัท เอท โซลาร์ จำกัด.” [Online], Available: <http://www.dpim.go.th/maincontent/article?catid=121&articleid=13638>. 2021.
- [42] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลัง. “คู่มือแนวทางป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและวิธีกำจัดกากขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับประเทศไทย.” [Online], Available: https://www.dede.go.th/ewtadmin/ewt/dede_web/download/banner_60/1_Quotation009-2560.pdf. 2021.
- [43] Chowdhury MS. Rahman KS. Chowdhury T. Nuthammachot N. Techato K. Akhtaruzzaman M. Tiong SK. Sopian K. and Amin N. “An overview of solar photovoltaic panels’ end-of-life material recycling.” **Energy Strategy Reviews.**, vol. 27. Jan 2020. Pp. 1-11.
- [44] Bridge to India. “Managing India’s PV module waste.” [Online], Available: <https://bridgetoindia.com/backend/wp-content/uploads/2019/04/BRIDGE-TO-INDIA-Managing-Indias-Solar-PV-Waste-1.pdf>. 2021.

บทที่ 4

กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์

4.1 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับผู้ประกอบกิจการนำเข้าหรือผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

ผู้ประกอบการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มาตรฐาน มอก.1843 – 2553 ของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4321 (พ.ศ. 2554) ออกตามความในพระราชบัญญัติ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน และมาตรฐาน มอก. 2210-2555 ของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 4500 (พ.ศ. 2556) ออกตามความในพระราชบัญญัติ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง ดังนี้

1. ขอบข่ายและวัตถุประสงค์

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดคุณสมบัติที่ต้องการของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการ ออกแบบและรับรองแบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Terrestrial photovoltaic module) ซึ่งได้กำหนดไว้ เฉพาะชนิดผลึกซิลิคอนสำหรับการใช้งานกลางแจ้งในระยะยาวในภูมิอากาศทั่วไปที่ได้กำหนดไว้ใน IEC 60721-2-1 สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางได้กำหนดไว้ใน IEC 61646

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ไม่ครอบคลุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้การรวมแสงอาทิตย์ (Concentrated sunlight) วัตถุประสงค์ของลำดับการทดสอบคือ การหาคุณลักษณะทางไฟฟ้าและทาง ความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเพื่อแสดงความเป็นไปได้ของคุณลักษณะข้างต้น ภายใต้ข้อจำกัด ทางด้านราคาและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องสามารถทนอยู่ในที่กลางแจ้งเป็นเวลานานในภูมิอากาศที่ได้ อธิบายในขอบข่ายนี้ อายุการใช้งานจริงที่คาดหวังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านคุณสมบัติที่ต้องการขึ้นอยู่กับ การออกแบบ สภาพแวดล้อม และเงื่อนไขการทำงาน

2. เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิงที่ใช้กับมาตรฐานนี้มีดังต่อไปนี้ สำหรับเอกสารที่ระบุปีให้ใช้เฉพาะฉบับปีที่อ้างอิง ส่วนเอกสารอ้างอิงฉบับที่ไม่ได้ระบุปีที่พิมพ์ให้ใช้ฉบับล่าสุด

- IEC 60068-1: 1988, Environmental testing - Part 1: General and guidance
- IEC 60068-2-21: 1999, Environmental testing - Part 2- 21: Tests-Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices
- IEC 60068-2-78: 2001, Environment testing – Part 2-78: Tests–Test Cab: Damp heat, steady state
- IEC 60410: 1973, Sampling plans and procedures for inspection by attributes

- IEC 60721-2-1: 1982, Classification of environmental conditions - Part 2: Environmental conditions appearing in nature- Temperature and humidity
- IEC 60891: 1987, Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic (PV) devices Amendment 1 (1992)
- IEC 60904-1: 1987, Photovoltaic devices - Part 1: Measurements of photovoltaic current-voltage characteristics
- IEC 60904-2: 1989, Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for reference solar cells
- IEC 60904-3: 1989, Photovoltaic devices - Part 3: Measurements principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data
- IEC 60904-6: 1994, Photovoltaic devices – Part 6: Requirements for reference solar modules
- IEC 60904-7: 1998, Photovoltaic devices – Part 7: Computation of spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device
- IEC 60904-9: 1995, Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements
- IEC 60904-10:1998, Photovoltaic devices – Part 10: Method of linearity measurements
- IEC 61853: Performance testing and energy rating of terrestrial photovoltaic (PV) modules
- ISO/IEC 17025: 1999, General requirements for competence of testing and calibration laboratories

3. การสุ่มตัวอย่าง

ให้สุ่มตัวอย่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 8 แผง (อาจเพิ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำรองได้ตามความเหมาะสม)โดยวิธีสุ่มจากรุ่นการผลิต (Batch) หรือหลายรุ่นการผลิต (Batches) สำหรับการทดสอบคุณสมบัติที่ต้องการตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ใน IEC 60410 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องผลิตขึ้นจากวัสดุและส่วนประกอบได้กำหนดไว้ตามแบบที่เขียน เอกสารกระบวนการผลิต และผ่านการตรวจพิจารณาการควบคุมคุณภาพ และขั้นตอนการยอมรับได้ในการผลิตตามปกติแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีความสมบูรณ์ในทุกรายละเอียด และต้องมีคู่มือของผู้ทำข้อเสนอแนะในการติดตั้งรวมทั้งระบุค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบที่สามารถใช้งานได้ ถ้าไม่สามารถเข้าถึงขั้วบัสบาร์ได้อัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ให้จัดเตรียมตัวอย่างพิเศษ

สำหรับการทดสอบทางความร้อนของ บายพาสส์ไดโอด (ข้อ 10.18) ต้องติดตั้งบายพาสส์ไดโอด เช่นเดียวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามกระบวนการผลิต และติดตั้งตัวรับรู้อุณหภูมิบนไดโอด ตามข้อกำหนดในข้อ 10.18.2 ตัวอย่างไดโอดนี้ไม่ทำไว้เพื่อการทดสอบในขั้นตอนอื่นตามรูปที่ 4-1

ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบ เป็นต้นแบบของการออกแบบใหม่และยังไม่มีเป็นผลิตภัณฑ์จากการผลิต ต้องแจ้งในรายงานการทดสอบ

4. การทำเครื่องหมาย

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกแผงอย่างน้อยต้องมีเครื่องหมายต่อไปนี้อย่างชัดเจนและไม่ลบเลือนง่าย

- ชื่อ ชื่อย่อ หรือ สัญลักษณ์ของผู้ทำ
- แบบ หรือหมายเลขแบบ
- หมายเลขลำดับ (Serial number)
- แสดงสภาพข้อต่อสายหรือของสายไฟฟ้า (ใช้รหัสสีได้)
- ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- ค่าต่ำสุดของกำลังขาออกสูงสุดที่ STC ตามที่ระบุโดยผู้ผลิตสำหรับประเภทผลิตภัณฑ์ (ค่าต่ำสุดของกำลังขาออกสูงสุดหมายถึงกำลังไฟฟ้าที่เสถียรต่ำสุดที่ผลิตระบุไว้สำหรับประเภทผลิตภัณฑ์ เป็นข้อเพิ่มเติมสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง)
- วันที่และสถานที่ของการผลิตต้องระบุไว้บนแผง หรือสามารถสอบกลับได้จากหมายเลขลำดับ

5. การทดสอบ

ก่อนการทดสอบ ให้นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด รวมทั้งอุปกรณ์ควบคุม วางภายใต้แสงอาทิตย์ (ธรรมชาติหรือเทียม) โดยให้มีพลังงานรังสีอาทิตย์ 5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรถึง 5.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรและให้เปิดวงจรไว้

ทำการแบ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกลุ่มๆ และทดสอบตามลำดับตามรูปที่ 4-1 สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอน ทดสอบตามลำดับตามรูปที่ 4-2 สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง ในหัวข้อย่อยแต่ละหัวข้อตามมาตรฐานนี้ กระบวนการทดสอบ และความเข้มงวด รวมทั้งการวัดค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้ายตามที่จำเป็น ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในข้อ 10

หมายเหตุ 1 ผลการวัดขั้นสุดท้ายของการทดสอบในขั้นตอนที่ผ่านมาสามารถใช้เป็นค่าเริ่มต้นของการทดสอบในลำดับต่อไป ไม่จำเป็นต้องวัดซ้ำ

ในขณะทดสอบควรปฏิบัติตามคำแนะนำในการต่อและติดตั้งตามคู่มือของผู้ทำอาจยกเว้นการทดสอบตามข้อ 10.4 ข้อ 10.5 ข้อ 10.6 และข้อ 10.7 หากมีการทดสอบตาม IEC 61853 เงื่อนไขการทดสอบได้สรุปไว้ตามตารางที่ 4-1

หมายเหตุ 2 ระดับการทดสอบ ในตารางที่ 4-1 เป็นข้อกำหนดคุณสมบัติขั้นต่ำถ้าหน่วยทดสอบและผู้ทำการทดลองเป็นอย่างอื่นการทดสอบอาจทำในระดับความเข้มงวดมากขึ้นได้

6. เกณฑ์การตัดสิน

การออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถือว่าผ่านการทดสอบคุณสมบัติและผ่านการรับรองแบบตามมาตรฐานนี้ ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้

- ก) ภายหลังจากทดสอบต้องไม่เกิดการเสื่อมสภาพที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงมากกว่า 8% ของแต่ละลำดับขั้นตอนการทดสอบ (Sequence) หรือลดลงไม่เกินขีดจำกัดที่ได้กำหนดไว้แต่ละหัวข้อการทดสอบ สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน และภายหลังจากการทดสอบกำลังสูงสุดขาออกที่ STC ต้องไม่น้อยกว่า 90% ของค่าต่ำสุดที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ในข้อ 4 สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง
- ข) ระหว่างการทดสอบ วงจรภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกแผงต้องไม่เปิดวงจร
- ค) ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักที่มองเห็นได้ตามที่กำหนดไว้ในข้อ 7
- ง) ภายหลังจากการทดสอบ ผลการทดสอบการฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนด
- จ) การทดสอบกระแสไฟฟ้ารั่วขณะเปียกต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ทั้งขณะเริ่มต้นและสิ้นสุดแต่ละลำดับขั้นตอน รวมทั้งภายหลังจากการทดสอบความร้อนขึ้น
- ฉ) แต่ละหัวข้อการทดสอบต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่ได้ระบุไว้

ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ 2 แผงขึ้นไปไม่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติถือว่าไม่ผ่านข้อกำหนดคุณสมบัติที่ต้องการ ถ้าพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์ 1 แผงให้สุ่มตัวอย่างตามหัวข้อ 3 มาอีก 2 แผงและทำการทดสอบทั้งหมดตามลำดับตั้งแต่เริ่มต้น ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบใหม่นี้พบว่าแผงใดแผงหนึ่งไม่ผ่านการทดสอบให้ถือว่าไม่ผ่านข้อกำหนดคุณสมบัติที่ต้องการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบใหม่ต้องผ่านข้อกำหนดทั้ง 2 แผงจึงถือว่าผ่านการทดสอบ

7. ความบกพร่องหลักที่มองเห็นได้

เพื่อเป็นไปตามจุดประสงค์ของคุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบ สภาพดังต่อไปนี้ให้ถือว่าเป็นความบกพร่องหลักที่มองเห็นได้

- ก) มีพื้นผิวภายนอกแตกร้าว หรือฉีกขาด รวมถึง ชูเปอร์สเตรต ซับสเตรต กรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และกล่องต่อสาย
- ข) พื้นผิวภายนอกโค้ง หรือบิดเบี้ยว รวมถึง ชูเปอร์สเตรต ซับสเตรต กรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกล่องต่อสาย ที่มีผลให้การติดตั้งและ/หรือการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เสื่อมสภาพลง
- ค) การแพร่กระจายของรอยร้าวในเซลล์มากกว่า 10% ของพื้นที่ของเซลล์นั้นๆ
- ง) มีฟองอากาศหรือเกิดการลอก่อนที่เกิดจากการพ่นกึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จนก่อให้เกิดแนวต่อเนืองระหว่างส่วนใดๆ ของวงจรไฟฟ้ากับขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- จ) สูญเสียความสมบูรณ์ทางกลมีผลให้การติดตั้งและ/หรือการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เสื่อมลง

8. การรายงาน

ตามการรับรองแบบ การรายงานการทดสอบด้วยการวัดคุณลักษณะทางสมรรถนะและการให้รายละเอียดของความบกพร่องที่ไม่ผ่านมาตรฐาน และการทดสอบซ้ำ รายงานนี้ต้องถูกจัดเตรียมโดยหน่วยงานที่ได้การรับรอง ISO/IEC 17025 รายงานต้องมีรายละเอียดลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละใบรับรองหรือรายงานผลการทดสอบอย่างน้อยต้องระบุสิ่งต่อไปนี้

- ก) เรื่อง
- ข) ชื่อและที่อยู่ของห้องปฏิบัติการทดสอบ และสถานที่ทำการทดสอบ
- ค) การชี้แจงของใบรับรอง หรือรายงานและการชี้แจงของแต่ละหน้า
- ง) ชื่อและที่อยู่ของลูกค้า ตามความเหมาะสม
- จ) รายละเอียด และการชี้แจงของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ
- ฉ) คุณลักษณะและสภาพ ของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ
- ช) วันที่รับตัวอย่างและช่วงวันที่ทำการทดสอบ ตามความเหมาะสม
- ซ) การชี้แจงวิธีการทดสอบที่ใช้
- ฌ) การอ้างอิงวิธีการชักตัวอย่าง ตามหัวข้อที่เกี่ยวข้อง
- ญ) การเบี่ยงเบน ข้อเพิ่มเติม หรือข้อยกเว้นจากวิธีการทดสอบ และข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้องที่กำหนดไว้ใน การทดสอบ เช่นภาวะแวดล้อม
- ฎ) การวัด การตรวจสอบ และผลที่ได้รับในรูปของตาราง กราฟ ภาพสเก็ท และภาพถ่าย ตามความเหมาะสมรวมถึง
 - สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร
 - สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด
 - สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกำลังไฟฟ้าค่ายอด

- ค่า NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)
- กำลังไฟฟ้าที่ NOCT
- กำลังไฟฟ้าที่ STC (Standard test condition)
- กำลังไฟฟ้าที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ
- สเปกตรัมของหลอดไฟฟ้าที่ใช้เพื่อการทดสอบรังสี UV
- การสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สังเกตได้หลังผ่านการทดสอบทั้งหมด
- ความบกพร่องอื่นๆ ที่สังเกตได้

ฎ) ข้อความแสดงค่าโดยประมาณของความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของผลการทดสอบ (ที่เกี่ยวข้อง)

ฐ) ลายเซ็น และตำแหน่ง หรือการขึ้นชื่อบุคคลที่รับผิดชอบในเนื้อหาของใบรับรองหรือรายงาน และวันที่ออกใบรับรองหรือรายงาน

ท) ข้อความแสดงว่ารายงานการทดสอบเป็นผลการทดสอบของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเท่านั้น

ฒ) ข้อความที่ระบุว่า ใบรับรองหรือรายงานการทดสอบต้องไม่ถูกทำซ้ำบางส่วน โดยไม่ได้รับการยินยอมจากหน่วยตรวจสอบเป็นลายลักษณ์อักษรยกเว้นได้ทำซ้ำเต็มฉบับ

ณ) ผู้ทำต้องเก็บสำเนารายงานการทดสอบ จุดประสงค์เพื่อใช้ในการอ้างอิง

9. การปรับปรุงแก้ไข

ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบ วัสดุส่วนประกอบหรือขั้นตอนการผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อาจต้องทำการทดสอบคุณสมบัติใหม่ทั้งหมดหรือบางส่วน เพื่อรักษาการรับรองแบบไว้

10. ขั้นตอนการทดสอบ

สรุปหัวข้อการทดสอบได้ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 สรุปหัวข้อการทดสอบ

การทดสอบ	หัวข้อ	เงื่อนไขการทดสอบ
10.1	การตรวจพินิจ (Visual inspection)	ดูรายละเอียดในหัวข้อ 10.1.2
10.2	การหาลำดับกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power determination)	ดู IEC 60904-1

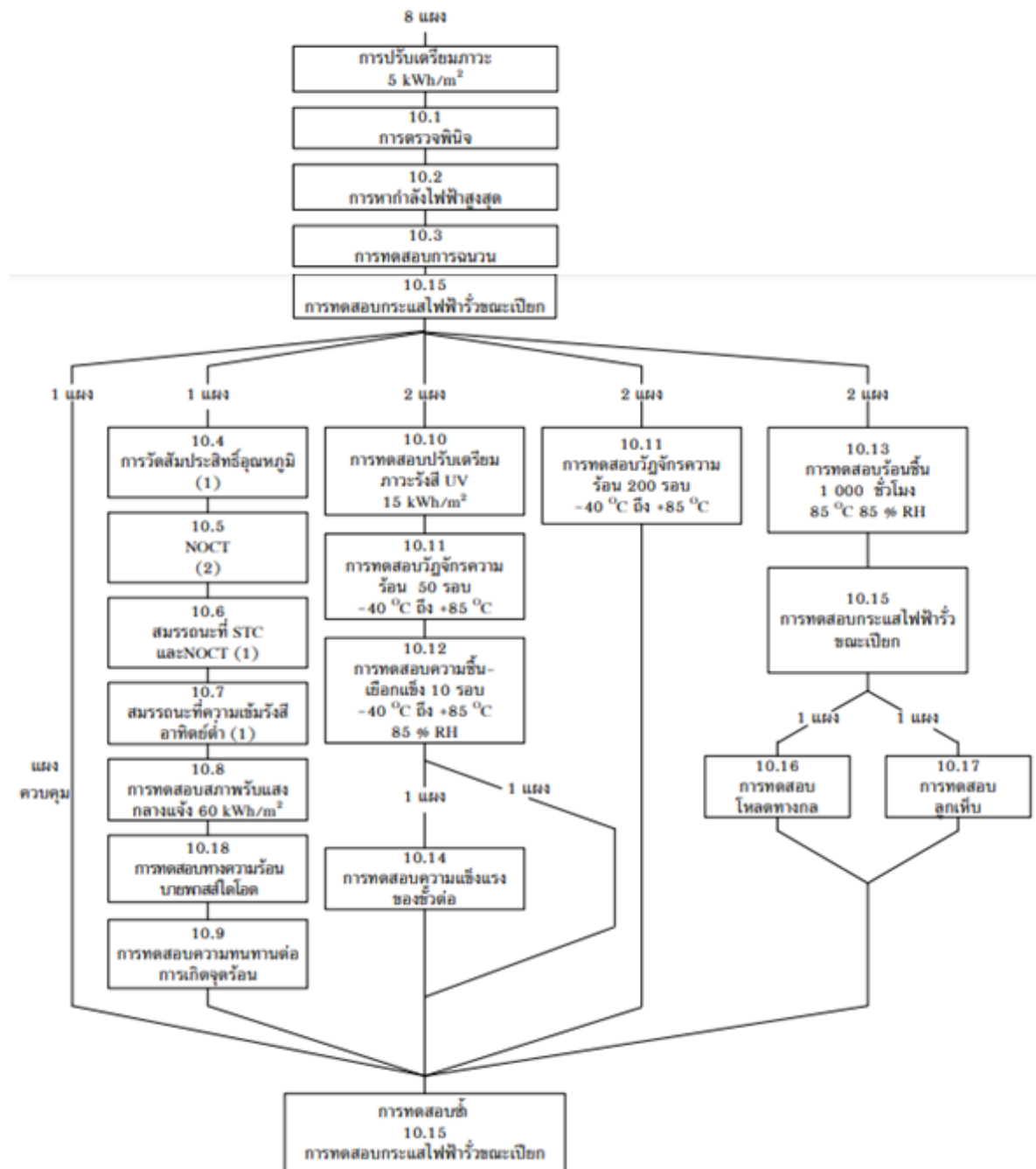
ตารางที่ 4-1 สรุปหัวข้อการทดสอบ (ต่อ)

การทดสอบ	หัวข้อ	เงื่อนไขการทดสอบ
10.3	การทดสอบการฉนวน (Insulation test)	การทนได้อิเล็กทริกที่ 1000 V d.c. + สองเท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบเป็นเวลา 1 นาที กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่น้อยกว่า 0.1 m ² ความต้านทานฉนวนต้องไม่น้อยกว่า 400 M Ω กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่มากกว่า 0.1 m ² ความต้านทานฉนวนคูณด้วยพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องไม่น้อยกว่า 40 M $\Omega \cdot m^2$ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้วัด 500 V หรือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบ แล้วแต่ค่าใดสูงกว่า
10.4	การวัดสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (Measurement of temperature coefficients) ดูหมายเหตุ 1	ดูรายละเอียดในหัวข้อ 10.4 ดู IEC 60904-10 เป็นแนวทาง
10.5	การวัด NOCT (Measurement of NOCT) ดูหมายเหตุ 1	ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ 800 W/m ² อุณหภูมิโดยรอบที่ 20 °C ความเร็วลม 1 m/s
10.6	สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC และที่ NOCT (Performance at STC and NOCT) ดูหมายเหตุ 1	อุณหภูมิเซลล์ที่ 25 °C และที่ NOCT ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ 1000 และ 800 W/m ² การกระจายความเข้มของ รังสีเชิงสเปกตรัมอ้างอิงตาม IEC 60904-3
10.7	สมรรถนะที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ (Performance at low irradiance) ดูหมายเหตุ 1	อุณหภูมิเซลล์ที่ 25 °C ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ 200 W/m ² การกระจายความเข้มของรังสีเชิง สเปกตรัมอ้างอิงตาม IEC 60904-3
10.8	การทดสอบสภาพรับแสงกลางแจ้ง (Outdoor exposure test)	พลังงานแสงอาทิตย์ 60 kWh/m ²
10.9	การทดสอบความทนทานต่อการเกิดจุดร้อน (Hot-spot endurance test)	วางไว้ 5 ชั่วโมงในความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ 1000 W/m ² ในเงื่อนไขที่จุดร้อนที่ให้ผลเลวที่สุด
10.10	การปรับเตรียมภาวะรังสี UV (UV preconditioning test)	พลังงานรังสี UV รวม 15 kWh/m ² ที่ความยาวคลื่น 280 nm ถึง 385 nm พลังงานรังสี UV รวม 5 kWh/m ² ที่ความยาวคลื่น 280 nm ถึง 320 nm

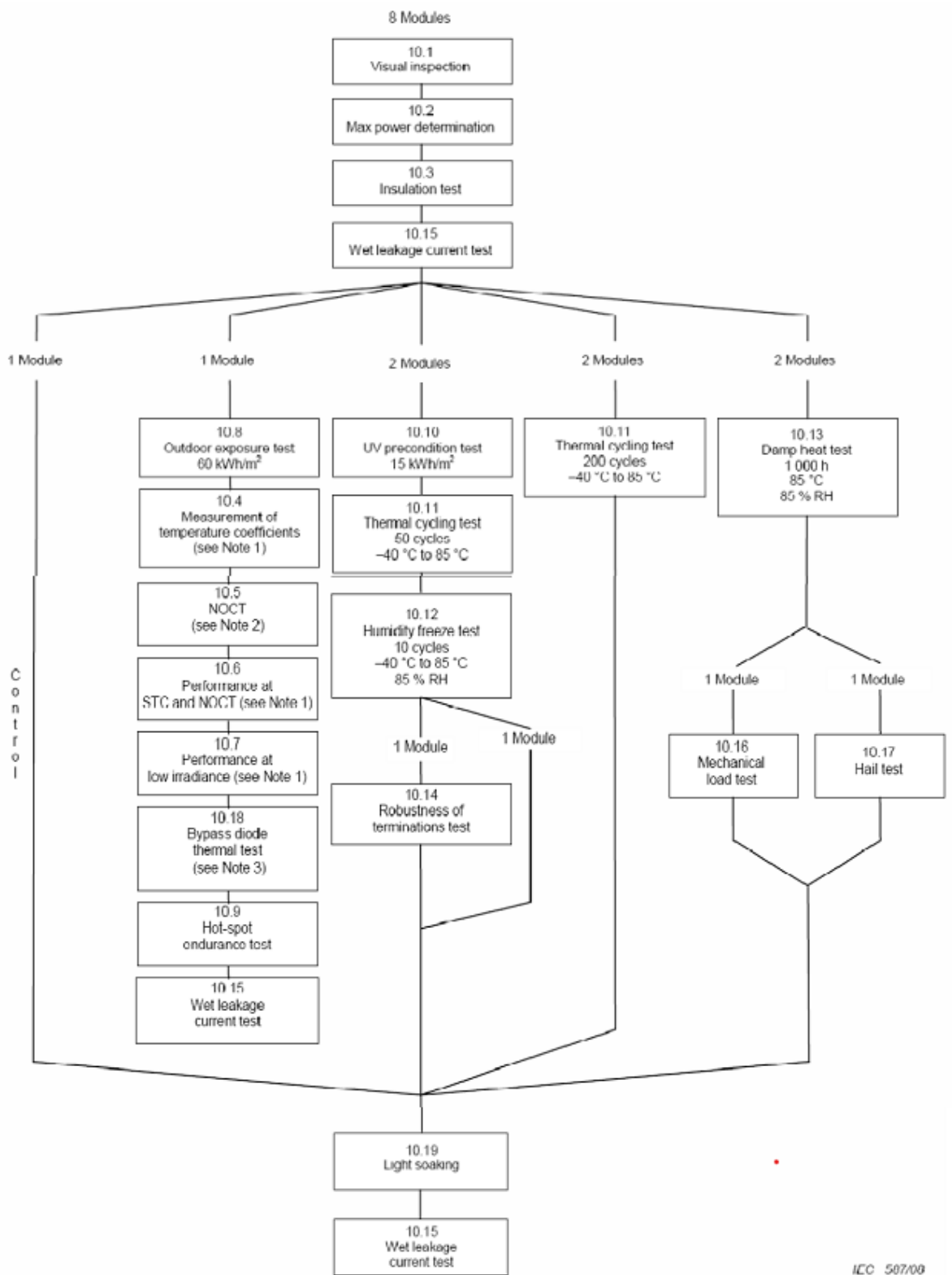
ตารางที่ 4-1 สรุปหัวข้อการทดสอบ (ต่อ)

การทดสอบ	หัวข้อ	เงื่อนไขการทดสอบ
10.11	การทดสอบวัฏจักรความร้อน (Thermal cycling test)	ทดสอบ 50 รอบ และ 200 รอบ ที่ $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยป้อนกระแสไฟฟ้าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ STC จำนวน 200 รอบ
10.12	การทดสอบความชื้น-เยือกแข็ง (Humidity freeze test)	ทดสอบ 10 รอบ จาก $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$, 85% RH ถึง $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$
10.13	การทดสอบร้อนชื้น (Damp-heat test)	ทดสอบ 1000 ชั่วโมง ที่ $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$, 85% RH
10.14	การทดสอบความแข็งแรงของขั้วต่อ (Robustness of termination test)	ดู IEC 60068-2-21
10.15	การทดสอบกระแสไฟฟ้ารั่วขณะเปียก (Wet leakage current test)	ดูรายละเอียดในหัวข้อ 10.15 กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่น้อยกว่า 0.1 m^2 ความต้านทานฉนวนต้องไม่น้อยกว่า $400\text{ M}\Omega$ กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่มากกว่า 0.1 m^2 ความต้านทานฉนวนคูณด้วยพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องไม่น้อยกว่า $40\text{ M}\Omega\cdot\text{m}^2$ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้วัด 500 V หรือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบ แล้วแต่ค่าใดสูงกว่า
10.16	การทดสอบโหลดทางกล (Mechanical load test)	ทดสอบ 3 รอบ ด้วยโหลดสม้ำเสมอ 2400 Pa ที่ผิวด้านหน้า และด้านหลังรอบละ 1 ชั่วโมง ในรอบสุดท้ายของการทดสอบผิวด้านหน้าอาจจะเลือกใช้โหลดหิมะ 5400 Pa ได้
10.17	การทดสอบลูกเห็บ (Hail test)	ยิงลูกน้ำแข็งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm ด้วยความเร็ว 23.0 m/s จำนวน 11 ตำแหน่ง
10.18	การทดสอบทางความร้อนบายพาสส์ไดโอด (Bypass diode thermal test)	1 ชั่วโมง ที่ I_{sc} ที่ $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 1 ชั่วโมง ที่ 1.25 เท่า I_{sc} ที่ $75\text{ }^{\circ}\text{C}$
10.19	การแช่แสง (Light-soaking) เพิ่มเติมสำหรับการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง	การรับแสงที่มีความเข้มข้น 800 W/m^2 ถึง 1000 W/m^2 ภายใต้โหลดความต้านทานจนกว่า P_{max} จะคงที่ภายใน 2%

หมายเหตุ 1 การทดสอบเหล่านี้อาจจะเว้นได้ถ้าในอนาคตได้มีการทดสอบตาม IEC 61853 แล้ว



รูปที่ 4-1 ลำดับการทดสอบคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอน



รูปที่ 4-2 ลำดับการทดสอบคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง

4.2 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และภาคประชาชน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และภาคประชาชนโดยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

4.2.1 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และภาคประชาชนในประเทศไทย

ในประเทศไทยนั้น ยังไม่มีกฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อย่างชัดเจน โดยกฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องสำหรับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และภาคประชาชนในประเทศไทยนั้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-2

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

ตารางที่ 4-2 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	รายละเอียด
- มอก. 2580 หรือ IEC 61730	ครอบคลุมข้อกำหนดพื้นฐานสำหรับการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้มีความปลอดภัยทางไฟฟ้าและทางกล
- มอก. 17025 - ISO/IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories1	ครอบคลุมข้อกำหนดการทดสอบสำหรับการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้มีความปลอดภัยทางไฟฟ้าและทางกล
- IEC 61727 - IEC 62116 - ระเบียบของ การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559	ครอบคลุมมาตรฐานของอุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้าชนิดต่อกับระบบจำหน่าย (Grid Connected Inverter)
- มอก. 1843 - IEC 61215	กำหนดคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการออกแบบและรับรองแบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้กำหนดไว้เฉพาะชนิดผลึกซิลิคอน
- มอก. 2210 - IEC 61646	กำหนดคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการออกแบบและรับรองแบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้กำหนดไว้เฉพาะชนิดฟิล์มบาง
- มอก. 2572-2555	มาตรฐานที่ครอบคลุมระบบจ่ายแรงดันไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และใช้กับการติดตั้งทางไฟฟ้าระบบจ่ายแรงดันไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
- ร่างประมวลหลักการปฏิบัติ (Code of Practice: COP)	มาตรการป้องกัน แก๊ส และติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม สำหรับผู้ประกอบการกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่เข้าข่ายต้องได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการผลิตไฟฟ้า
- กฎกระทรวง ฉบับที่ 65 (พ.ศ.2558) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารอยู่อาศัย ที่มีขนาดพื้นที่ติดตั้งไม่เกิน 160 ตารางเมตร และมีน้ำหนักรวมไม่เกิน 20 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยต้องมีผลการตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงที่กระทำและรับรองโดยวิศวกรโยธาตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกรว่าสามารถติดตั้งได้อย่างปลอดภัย และแจ้งให้เจ้าพนักงานท้องถิ่นทราบก่อนดำเนินการ

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

ตารางที่ 4-2 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (ต่อ)

กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	รายละเอียด
- พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 - พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518 - พระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2528 - พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535	สำหรับการขออนุญาตก่อสร้างอาคาร ดัดแปลงอาคาร หรือรื้อถอนอาคาร
- พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 - กฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การทำรายงานเกี่ยวกับการศึกษามาตรการป้องกันและแก้ไข ผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย พ.ศ. 2552 - กฎกระทรวง ฉบับที่ 23 (พ.ศ. 2557) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 - กฎกระทรวง ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2558) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535	เกี่ยวข้องกับการขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้า
- มาตรา 48 แห่งพระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550	กำหนดประเภทและใบอนุญาตการประกอบกิจการพลังงาน
- มาตรา 48 แห่งพระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550	สำหรับขอรับใบอนุญาตให้ผลิตพลังงานควบคุม (พค. 2) และการแจ้งความเห็นของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ 4-2 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (ต่อ)

กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	รายละเอียด
- ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 - ระเบียบการไฟฟ้านครหลวงว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2558	กำหนดหลักเกณฑ์ขั้นต่ำด้านเทคนิคการออกแบบรายละเอียดทางเทคนิคของอุปกรณ์ไฟฟ้า และมาตรฐานการติดตั้งสำหรับผู้ให้บริการที่ต้องการจะเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า

4.3 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และภาคประชาชน

4.3.1 ในประเทศไทย [1]

เนื่องจากนโยบายของรัฐที่ต้องการส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทน ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 โดยส่งเสริมให้ประชาชนติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา (Solar rooftop) ซึ่งประเทศไทยอาจแบ่งประเภทผู้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกเป็น 2 ประเภทคือ ผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และประชาชนทั่วไป

อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เฉพาะเจาะจงอย่างชัดเจน แต่อาจพิจารณามาตรการทางกฎหมายตามพระราชบัญญัติและกฎหมายลำดับรองที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนแนวนโยบายต่างๆ ของทางรัฐที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมาปรับใช้ให้มีความเหมาะสมในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นกฎหมายทั่วไปที่สามารถนำมาปรับใช้ สำหรับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อาจจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีตามประเภทของผู้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังนี้

4.3.1.1 มาตรการทางกฎหมายสำหรับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้า [1]

ผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้า ซึ่งต้องได้รับใบอนุญาตผลิตไฟฟ้าตามพระราชบัญญัติประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550 ต้องปฏิบัติตามประมวลหลักการปฏิบัติ (Code of Practice; CoP) และแนบท้ายประกาศคณะกรรมการกิจการพลังงานเรื่อง มาตรการป้องกัน แก๊ส และติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำหรับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากเทคโนโลยีแผงโฟโตโวลเทอิกที่เข้าข่ายต้องได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2557 ที่กำหนดไว้ว่า ในขั้นตอนการก่อสร้างผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าต้องเลือกการจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมทั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องด้วยวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นลำดับแรก ซึ่งภายหลังกำหนดให้ดำเนินการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการส่งออกไปจัดการนอกประเทศตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 จึงหมายความว่าซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แล้ว ตามบัญชี 5.3 และจัดเป็นวัตถุอันตรายประเภทที่ 3 ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2556 ซึ่งอาจตีความได้ว่าซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แล้ว ตามบัญชี 5.3 และจัดเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2556

สำหรับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้า ซึ่งไม่ต้องได้รับใบอนุญาตผลิตไฟฟ้ายังคงต้องปฏิบัติตามประมวลหลักการปฏิบัติ (Code of Practice; CoP) ที่แนบท้ายประกาศคณะกรรมการกิจการพลังงานเรื่อง มาตรการด้านการออกแบบติดตั้งและการจัดการขยะและกากของเสียอันตรายสำหรับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากเทคโนโลยีแผงโฟโตโวลเทอิกที่ได้รับการยกเว้นไม่ต้องขอใบอนุญาตประกอบกิจการผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2557 ซึ่งมีรายละเอียดเช่นเดียวกับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าที่ต้องได้รับใบอนุญาต

นอกจากนี้ การจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปัจจุบันในประเทศไทยยังคงเป็นการฝังกลบในหลุมฝังกลบของเสียอันตรายหรือเผาทำลายด้วยเตาเผาเฉพาะของเสียอันตราย หรือจัดการด้วยวิธีการอื่นตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 โดยซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถือว่าเป็นสิ่งของที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการโรงผลิตไฟฟ้า ทั้งยังมียังมีผู้ประกอบการหรือมีการปนเปื้อนสารอันตราย ซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็น “สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว” และ “ของเสียอันตราย” ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 โดยกำหนดไว้ว่า ห้ามนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วหรือของเสียอันตรายออกนอกบริเวณโรงงาน เว้นแต่จะได้รับอนุญาต และการขนส่งต้องมีใบกำกับการขนส่ง ซึ่งนอกจากนี้การดำเนินการจัดการต้องกระทำโดยผู้บำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้แล้วเท่านั้น โดย ณ ที่นี้หมายถึงโรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการคัดแยกหรือฝังกลบสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้แล้วตามประเภทหรือชนิดของโรงงานลำดับที่ 105 แต่ในมาตรการทางกฎหมายฉบับนี้นั้นไม่มีการกำหนดโรงงานลำดับที่ 106 ซึ่งเป็นโรงงานที่ประกอบกิจการรีไซเคิลเอาไว้ด้วย

โดยกฎหมายที่บังคับใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามกำลังการผลิต แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 กฎหมายที่บังคับใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามกำลังการผลิต [1]

ประเภท กฎหมาย	Solar Rooftop			Solar Farm		
	กำลังการผลิต 1,100 kW	กำลังการผลิต 900 kW	กำลังการผลิต 700 kW	กำลังการผลิต 1,100 kW	กำลังการผลิต 900 kW	กำลังการผลิต 700 kW
พระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550	✓	✓		✓	✓	
พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535	✓			✓	✓	✓
พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535	✓	✓	✓	✓	✓	✓

4.3.1.2 มาตรการทางกฎหมายสำหรับประชาชน [1]

(1) พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535

ซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประชาชนนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าสำหรับครัวเรือนนั้น ถือได้ว่าเป็น “มูลฝอย” ตามพระราชบัญญัติฉบับนี้ และกำหนดมาตรการในการจัดการไว้หลายประการ อาทิเช่น ตามมาตรา 18 กำหนดให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเก็บ ขน และกำจัดมูลฝอย โดยอาจร่วมการดำเนินการกับหน่วยงานภาครัฐ หรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่นๆ อีกทั้งยังสามารถออกใบอนุญาตให้เอกชนดำเนินการเก็บ ขน และกำจัดมูลฝอยโดยคิดค่าบริการได้อีกด้วย และตามมาตรา 20 ให้อำนาจองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่จะออกข้อกำหนดท้องถิ่นเพื่อควบคุมการเก็บ ขน และกำจัดมูลฝอย

มาตราที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นการจัดการขยะมูลฝอยทั่วไปเท่านั้น แต่ซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นของเสียอันตรายที่มีการจัดการที่แตกต่างกัน และยังไม่มียกเว้นให้คัดแยกของเสียอันตรายออกจากมูลฝอยทั่วไปอีกด้วย รวมถึงพระราชบัญญัติการสาธารณสุขนั้นไม่ได้กำหนดบทลงโทษประชาชนที่ฝ่าฝืนข้อกำหนดท้องถิ่น และหากประชาชนฝ่าฝืนและทิ้งซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยขัดกับข้อกำหนดท้องถิ่นก็ไม่มีโทษสำหรับการกระทำนั้น

(2) พระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ. 2535

มาตรา 34/1 แห่งพระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ. 2535 กำหนดให้การจัดการของเสียอันตรายเป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน เว้นแต่ในกรณีที่มีของเสียอันตรายปนอยู่กับสิ่งปฏิกูลและมูลฝอยที่ราชการส่วนท้องถิ่นจัดเก็บ โดยให้หน่วยงานราชการท้องถิ่นแจ้งให้พนักงาน/เจ้าหน้าที่ ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงานมาดำเนินการตามกฎหมายว่าด้วยโรงงานต่อไป และหากไม่ดำเนินการภายใน 3 วัน ให้หน่วยงานราชการท้องถิ่นดำเนินการกับสิ่งปฏิกูลและมูลฝอยนั้นตามเห็นสมควร

(3) ประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่อง กิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ. 2558

วิธีการจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางคือ การขายต่อให้ผู้ประกอบการรับซื้อของเก่า โดยมาตรการควบคุมการประกอบการรับซื้อของเก่านั้น พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ให้อำนาจแก่รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขจะเป็นผู้กำหนดให้กิจการใดเป็นกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา และทั้งนี้หากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเห็นว่ากิจการใดที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพซึ่งรัฐมนตรีประกาศกำหนดควรถูกควบคุมในท้องถิ่นของตน ก็อาจออกข้อกำหนดท้องถิ่นให้ประเภทกิจการนั้นเป็นกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพซึ่งอาจถูกควบคุมในท้องถิ่นของตนได้

การจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยผู้ประกอบการรับซื้อของเก่า ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่อง กิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ. 2558 [2] ซึ่งออกโดยอาศัยอำนาจตามมาตรา 31

แห่งพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ได้กำหนดให้กิจการสะสมวัตถุหรือสิ่งของที่ชำรุด ใช้แล้ว หรือเหลือใช้ เป็นกิจการอื่นๆ ที่เป็นกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ [3]

(4) ร่างพระราชบัญญัติการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [1]

แนวคิดในการจัดทำกฎหมายระดับพระราชบัญญัติที่เกี่ยวกับการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะ ในลักษณะเดียวกับประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป โดยเจตนารมณ์ในการร่างกฎหมายในลักษณะนี้ขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาจากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หมดอายุการใช้งาน ซึ่งปัจจุบันปริมาณขยะจากซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอายุการใช้งานผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สั้นลง ด้วยสาเหตุจากพฤติกรรมของผู้บริโภคที่ต้องการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและการออกแบบผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิต ร่างกฎหมายลักษณะนี้ไม่ได้มุ่งเน้นให้นำไปใช้กับการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉพาะ แต่ทำให้สามารถกำหนดซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นให้อยู่ในบังคับของร่างกฎหมายฉบับนี้

กรมควบคุมมลพิษได้จัดทำร่างพระราชบัญญัติการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และซากผลิตภัณฑ์อื่น ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากการศึกษากฎหมายและประสบการณ์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในประเทศต่างๆ กว่า 10 ประเทศ รวมไปถึงการสัมภาษณ์ภาคส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่ายและโรงงานรีไซเคิล และได้มีการจัดประชุมรับฟังความคิดเห็นเกี่ยวกับร่างพระราชบัญญัติฉบับดังกล่าวหลายครั้ง ยิ่งไปกว่านั้นได้มีการส่งหนังสือเวียนพร้อมแนบร่างพระราชบัญญัตินี้ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้มีการแสดงความเห็นประกอบอีกด้วย ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าหลักการพื้นฐานและสาระสำคัญของร่างพระราชบัญญัตินี้ได้ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนและภาคส่วนต่างๆ อย่างครบถ้วนแล้ว [4]

โดยกฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบ โดยแสดงดังตารางที่ 4-4 สำหรับผู้ประกอบการ/ผู้รับกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 4-4 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบสำหรับผู้ประกอบกิจการ/ผู้รับกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์

กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มผลึกซิลิคอน (Wafer-based crystalline silicon)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Silicon Solar Cells)	แก้ว	แผ่นแก้ว	✓		- พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535	- http://law.industry.go.th/laws/file/59074
		กรอบอะลูมิเนียม	พลาสติก/อะลูมิเนียม		✓	- ประมวลหลักการปฏิบัติ (Code Of Practice; COP) - พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 - พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548	- http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Document/Code%20of%20Practice_HB.pdf - http://law.industry.go.th/laws/file/59074 - http://law.industry.go.th/laws/file/61392 - http://law.industry.go.th/laws/file/61314
		ซิลิคอน	สารเคมี	✓		- พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535	- http://law.industry.go.th/laws/file/59074
		วัสดุห่อหุ้ม (EVA)	พลาสติกกันความชื้น		✓	- ประมวลหลักการปฏิบัติ (Code Of Practice; COP) - พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 - พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535	- http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Document/Code%20of%20Practice_HB.pdf - http://law.industry.go.th/laws/file/59074 - http://law.industry.go.th/laws/file/61392 - http://law.industry.go.th/laws/file/61314
		วัสดุเทดลาร์ (Tedlar)	พลาสติกคุณภาพสูง		✓	- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548	

ตารางที่ 4-4 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบสำหรับผู้ประกอบกิจการ/ผู้รับกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์ แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์ แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มผลึกซิลิคอน (Wafer-based crystalline silicon)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด ผลึก (Crystalline Silicon Solar Cells)	กาวเชื่อม ประสาน	วัสดุยึดติด		✓	- ประมวลหลักการปฏิบัติ (Code Of Practice; COP) - พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 - พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548	- http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/ Document/Code%20of%20Practice_HB.pdf - http://law.industry.go.th/laws/file/59074 - http://law.industry.go.th/laws/file/61392 - http://law.industry.go.th/laws/file/61314
		ทองแดง	สารเคมี		✓		
		ดีบุก	สารเคมี		✓		
		สังกะสี	สารเคมี		✓		
		ตะกั่ว	สารเคมี		✓		
		โลหะเงิน	สารเคมี		✓		
	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด ฟิล์มบางซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell: a-Si)	แก้ว	แผ่นแก้ว	✓		- พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535	- http://law.industry.go.th/laws/file/59074
		กรอบ อะลูมิเนียม	พลาสติก/ อะลูมิเนียม		✓	- ประมวลหลักการปฏิบัติ (Code Of Practice; COP) - พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 - พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548	- http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/ Document/Code%20of%20Practice_HB.pdf - http://law.industry.go.th/laws/file/59074 - http://law.industry.go.th/laws/file/61392 - http://law.industry.go.th/laws/file/61314
		ซิลิคอน	สารเคมี	✓		- พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535	- http://law.industry.go.th/laws/file/59074

ตารางที่ 4-4 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบสำหรับผู้ประกอบกิจการ/ผู้รับกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มผลึกซิลิคอน (Wafer-based crystalline silicon)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell: a-Si)	การเชื่อมประสาน	วัสดุยึดติด		✓	- ประมวลหลักการปฏิบัติ (Code Of Practice; COP) - พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 - พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548	- http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Document/Code%20of%20Practice_HB.pdf - http://law.industry.go.th/laws/file/59074 - http://law.industry.go.th/laws/file/61392 - http://law.industry.go.th/laws/file/61314
		เอ็มดีไอ	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์		✓	- ร่างพระราชบัญญัติการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. ...	- https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2021/04/pcdnew-2021-04-23_03-20-34_060056.pdf
		ทองแดง	สารเคมี		✓	- ประมวลหลักการปฏิบัติ (Code Of Practice; COP) - พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 - พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548	- http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Document/Code%20of%20Practice_HB.pdf - http://law.industry.go.th/laws/file/59074 - http://law.industry.go.th/laws/file/61392 - http://law.industry.go.th/laws/file/61314

ตารางที่ 4-4 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบสำหรับผู้ประกอบกิจการ/ผู้รับกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มผลึกซิลิคอน (Wafer-based crystalline silicon)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell: a-Si)	สังกะสี	สารเคมี		✓	- ประมวลหลักการปฏิบัติ (Code Of Practice; COP) - พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 - พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548	- http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Document/Code%20of%20Practice_HB.pdf - http://law.industry.go.th/laws/file/59074 - http://law.industry.go.th/laws/file/61392 - http://law.industry.go.th/laws/file/61314
		อินเดียม	สารเคมี		✓		
		เจอร์มาเนียม	สารเคมี		✓		
กลุ่มฟิล์มบาง (Thin-film photovoltaics)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium Telluride: CdTe)	แก้ว	แผ่นแก้ว	✓		- พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535	- http://law.industry.go.th/laws/file/59074
		กรอบอะลูมิเนียม	พลาสติก/อะลูมิเนียม		✓	- ประมวลหลักการปฏิบัติ (Code Of Practice; COP) - พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 - พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548	- http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Document/Code%20of%20Practice_HB.pdf - http://law.industry.go.th/laws/file/59074 - http://law.industry.go.th/laws/file/61392 - http://law.industry.go.th/laws/file/61314
		วัสดุห่อหุ้ม (EVA)	พลาสติกกันความชื้น		✓		
		ทองแดง	สารเคมี		✓		
		สังกะสี	สารเคมี		✓		
		แคดเมียม	สารเคมี		✓		
		เทลลูเรียม	สารเคมี		✓		

ตารางที่ 4-4 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยจำแนกตามองค์ประกอบสำหรับผู้ประกอบกิจการ/ผู้รับกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์	ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	ส่วนประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ความอันตราย/ความเป็นพิษ		กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง	อ้างอิง
				ไม่อันตราย	อันตราย		
กลุ่มฟิล์มบาง (Thin-film photovoltaics)	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคอปเปอร์อินเดียม แกลเลียมไดเซเลไนด์ (Copper indium galliumdi selenide: CIGS)	แก้ว	แผ่นแก้ว	✓		- พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535	- http://law.industry.go.th/laws/file/59074
		กรอบอะลูมิเนียม	พลาสติก/อะลูมิเนียม		✓	- ประมวลหลักการปฏิบัติ (Code Of Practice; COP) - พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 - พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548	- http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Document/Code%20of%20Practice_HB.pdf - http://law.industry.go.th/laws/file/59074 - http://law.industry.go.th/laws/file/61392 - http://law.industry.go.th/laws/file/61314
		วัสดุห่อหุ้ม (EVA)	พลาสติกกันความชื้น		✓		
		ทองแดง	สารเคมี		✓		
		ตะกั่ว	สารเคมี		✓		
		แคดเมียม	สารเคมี		✓		
		อินเดียม	สารเคมี		✓		
		เซเลเนียม	สารเคมี		✓		
		แกลเลียม	สารเคมี		✓		

4.3.2 ในต่างประเทศ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งแม้ว่าจะไม่มีหลักการโดยเฉพาะแต่อาจถือได้ว่าซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง และยังเป็นของเสียอันตรายอีกด้วย จึงต้องมีการศึกษาหลักการจัดการทั้งสองอย่าง โดยแสดงดังตารางที่ 4-5 แสดงกฎหมายว่าด้วยการจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในต่างประเทศ นอกจากนั้นยังจะกล่าวถึงอนุสัญญาบาเซลซึ่งบังคับใช้ในกรณีมีการส่งออกซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกไปจัดการนอกประเทศ [1]

ในต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปต่างใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ทำให้ปัจจุบันมีของเสียอันตรายจากซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อันเป็นผลให้ประเทศเหล่านั้นมีมาตรการทางกฎหมายในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉพาะและเป็นรูปธรรม

ตารางที่ 4-5 กฎหมายว่าด้วยการจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในต่างประเทศ [5]

ประเทศ	กฎหมายหลัก	รูปแบบการจัดการและผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม
สหภาพยุโรป	- WEEE Directive 2002 (ประกาศ 13 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2003 มีผลบังคับใช้ (อนุวัตร) ตั้งแต่ 13 สิงหาคม ค.ศ. 2004) - WEEE Directive (recast), 2002 (ประกาศ 24 กรกฎาคม ค.ศ. 2012 มีผลบังคับใช้ (อนุวัตร) ตั้งแต่ 14 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2014)	- รูปแบบการขยายความรับผิดชอบเพิ่มขึ้นของผู้ผลิต (Extended Producer Responsibility; EPR) Full EPR - ผลิตภัณฑ์ควบคุม: 10 กลุ่มผลิตภัณฑ์ 1. เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนขนาดใหญ่ 2. เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนขนาดเล็ก 3. อุปกรณ์สารสนเทศและสื่อสาร 4. อุปกรณ์เพื่อความบันเทิงของผู้บริโภค 5. อุปกรณ์ให้แสงสว่าง 6. อุปกรณ์ช่าง 7. ขงเล่น อุปกรณ์สันทนาการและกีฬา 8. อุปกรณ์ทางการแพทย์ 9. เครื่องมือตรวจสอบ 10. ตู้อัตโนมัติ

ตารางที่ 4-5 กฎหมายว่าด้วยการจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในต่างประเทศ (ต่อ)

ประเทศ	กฎหมายหลัก	รูปแบบการจัดการและผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม
สหรัฐอเมริกา	- ไม่มีกฎหมายระดับรัฐบาลกลาง แต่มีกฎหมายระดับมลรัฐ - แคลิฟอร์เนีย Electronic Waste Recycling Act (ประกาศ 24 กันยายน ค.ศ. 2003 มีผลบังคับใช้ ตั้งแต่ 1 มกราคม ค.ศ. 2005) - มินเนโซต้า Video Display and Electronic Device Collection and Recycling, 115A.1310-1330 ค.ศ. 2007	- แคลิฟอร์เนีย รูปแบบกองทุนของรัฐ - ผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม: หลอดภาพ CRT (โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์และเครื่องเล่นภาพแบบพกพา) ที่มีขนาดใหญ่กว่า 4 นิ้ว (ตามแนวทแยง) - มินเนโซต้า รูปแบบ Full EPR - ผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม: โทรทัศน์และคอมพิวเตอร์ โทรสาร เครื่องเล่น DVD เครื่องบันทึกเทปวีดีโอ และอุปกรณ์จอภาพที่ขายให้กับครัวเรือน
ญี่ปุ่น	<u>กฎหมายพื้นฐาน</u> - Fundamental Law for Establishing a Sound Material-Cycle Society (มกราคม ค.ศ. 2001) <u>กฎหมายเฉพาะ</u> - Specified Home Appliances Recycling Law (SHARL) (ประกาศ 5 มิถุนายน ค.ศ. 1998 มีผลบังคับใช้ ตั้งแต่ 1 เมษายน ค.ศ. 2001) - Law for Promotion of Effective Utilization of Resources (LPEUR) (มีผลบังคับใช้ เมษายน ค.ศ. 2001) - Law for Recycling of Small Electric & Electronic Appliances (LRSEEA) (ประกาศใช้ ค.ศ. 2012)	- SHARL: รูปแบบ Full EPR - ผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม: เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนขนาดใหญ่ ได้แก่ โทรทัศน์จอ CRT ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า เครื่องอบผ้า และโทรทัศน์จอ LCA และ Plasma - LPEUR: รูปแบบ Full EPR แบบสมัครใจ - ผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม: คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและแบตเตอรี่ขนาดพกพาที่อัดประจุใหม่ได้ - LRSEEA: ท้องถิ่นรับผิดชอบหลัก - ผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม: ซากผลิตภัณฑ์ฯ เกือบทุกชนิดที่ไม่ได้ถูกควบคุมโดยกฎหมาย SHARL และ LPEUR โดยรัฐบาลกลางจะประกาศรายชื่อประเภทผลิตภัณฑ์พื้นฐาน แต่รัฐบาลท้องถิ่นมีอำนาจที่เลือกกำหนดประเภทผลิตภัณฑ์ที่จะเก็บรวบรวม
จีน	- Ordinance on the Administration of the Recovery and Disposal of Waste Electronic and Electrical Products (China WEEE) (ประกาศ 25 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2009 มีผลบังคับใช้ ตั้งแต่ 1 มกราคม ค.ศ. 2011)	- รูปแบบกองทุนของรัฐ - ผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม: โทรทัศน์ ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ และคอมพิวเตอร์ (รวมแท็บเล็ตพีซี)

ตารางที่ 4-5 หมายความว่าด้วยการจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในต่างประเทศ (ต่อ)

ประเทศ	กฎหมายหลัก	รูปแบบการจัดการและผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม
อินเดีย	- E-waste (Management and Handling Rules, 2011) ภายใต้ Environment (Protection) Act, No. 29 of 1986 (ประกาศ 12 พฤษภาคม ค.ศ. 2011 มีผลบังคับใช้ ตั้งแต่ 1 พฤษภาคม ค.ศ. 2012)	- รูปแบบ Full EPR ผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม: 1. กลุ่มอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศ (คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์รวมทั้งดรัมมิก และ โทรศัพท์ทุกชนิด) 2. กลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน (โทรทัศน์ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า และเครื่องปรับอากาศ)
เกาหลีใต้	- Act on the Promotion of Saving and Recycling of Resources (APSR) 1992 และ ฉบับแก้ไขปี ค.ศ. 2002 - Act on the Resources Recycling of Electrical and Electronic Equipment and Vehicles (ARREEEV) ใน ค.ศ. 2007	- เริ่มจากรูปแบบมัดจำคืนเงินแล้วปรับเป็น Full EPR - APSRR (1992) ผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม: 11 ประเภท ได้แก่ โทรศัพท์ เครื่องซักผ้า ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ คอมพิวเตอร์หลอดฟลูออเรสเซนต์ เครื่องเสียง โทรศัพท์มือถือ เครื่องพิมพ์ เครื่องถ่ายเอกสาร และเครื่องแฟกซ์ นอกจากนี้ ยังควบคุม ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่เป็นบรรจุภัณฑ์และของเสียอันตรายจากชุมชน - ARREEEV (2007) ผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม: ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกประเภท และ ยานพาหนะสี่ล้อทั่วไป ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล รถตู้ไม่เกิน 9 ที่นั่ง และรถบรรทุกขนาดเล็ก
ไต้หวัน	- Waste Disposal Act 1987 และฉบับแก้ไข 1997	- เริ่มจากรูปแบบ Full EPR แล้วปรับเป็น รูปแบบกองทุนของรัฐ ผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม: 14 กลุ่มผลิตภัณฑ์ในส่วนของซากผลิตภัณฑ์ฯ ได้แก่ กลุ่มอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์และสารสนเทศ (คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ hard disk drive ฯลฯ) กลุ่ม เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน (โทรทัศน์ เครื่องซักผ้า ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ และพัดลม) และ กลุ่มอุปกรณ์ให้แสงสว่าง

ตารางที่ 4-5 หมายความว่าด้วยการจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในต่างประเทศ (ต่อ)

ประเทศ	กฎหมายหลัก	รูปแบบการจัดการและผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม
เวียดนาม	- Decision No.50/2013 of the Prime Minister on Prescribing Retrieval and Disposal of Discarded Products (ประกาศ 9 สิงหาคม ค.ศ. 2013 มีผลบังคับใช้ ตั้งแต่ 25 กันยายน ค.ศ. 2013)	- รูปแบบ Full EPR ผลิตภัณฑ์ควบคุม: 6 กลุ่มผลิตภัณฑ์ ได้แก่ 1. แบตเตอรี่ 2. อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 3. สารเคมีในอุตสาหกรรม การเกษตร การประมง และยาที่ใช้ในมนุษย์ 4. สารหล่อลื่นและน้ำมัน 5. ยางรถยนต์ 6. ยานพาหนะ โดยแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์จะมีระยะเวลาผูกพันตามกฎหมายนี้แตกต่างกัน (ค.ศ. 2015, 2016, 2018)

นอกจากนี้ สหภาพยุโรปได้ประกาศบังคับใช้ระเบียบจำนวน 2 ฉบับ เพื่อเป็นแนวทางแก้ปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ ดังนี้

- (1) ระเบียบว่าด้วยเศษซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE)
- (2) ระเบียบว่าด้วยการกำจัดการใช้สารที่เป็นอันตรายบางประเภท (RoHS)

ระเบียบทั้ง 2 ฉบับ ประกาศบังคับใช้เมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546 ซึ่งกำหนดให้ประเทศสมาชิกต้องออกกฎหมายตามแนวทางของระเบียบ WEEE ภายในวันที่ 13 สิงหาคม พ.ศ. 2547 โดยจะต้องดำเนินการจัดระบบเก็บรวบรวมซากผลิตภัณฑ์ฯ และนำไปจัดการโดยเทคโนโลยีสูงที่สุดเท่าที่มีอยู่ รวมทั้งการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่อำนวยความสะดวกในการถอดแยกชิ้นส่วน เพื่อหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งภาระค่าใช้จ่ายทั้งหมดจะอยู่ในความรับผิดชอบของผู้ผลิตและผู้นำเข้า และระเบียบ RoHS กำหนดให้ประเทศสมาชิกจะต้องออกกฎหมายห้ามการใช้สารที่เป็นอันตราย 6 ประเภท ได้แก่ ตะกั่วปรอท แคดเมียมโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ โพลีโบรมิเนตเต็ด โปฟีนิล โพลีบิเมเนตเต็ด และไดฟีนิลอีเทอร์ ในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่วางจำหน่ายภายหลังจากวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2549

- อนุสัญญาบาเซลว่าด้วยการควบคุมการเคลื่อนย้ายและการกำจัดซึ่งของเสียข้ามแดน [1]

โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (The United Nation Environment Programme; UNEP) มีการจัดประชุมนานาชาติขึ้น เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2532 ณ นครบาเซล ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เพื่อจัดทำร่างอนุสัญญาบาเซลว่าด้วยการควบคุมการเคลื่อนย้ายและการกำจัดซึ่งของเสียข้ามแดน

อนุสัญญาบาเซลเป็นอนุสัญญา ซึ่งกำหนดหลักเกณฑ์เกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายของเสียอันตรายข้ามแดนเพื่อส่งออกไปกำจัดนอกอาณาเขตของรัฐนั้นๆ เพื่อคุ้มครองสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจากของเสียอันตราย มีวัตถุประสงค์ 3 ประการคือ เพื่อลดการเคลื่อนย้ายของเสียอันตรายข้ามแดนให้น้อย

ที่สุด เพื่อกำจัดของเสียอันตรายที่แหล่งกำเนิดให้ได้มากที่สุด และเพื่อลดการก่อกำเนิดของเสียอันตรายทั้งในเชิงปริมาณและความเป็นอันตราย

ทั้งนี้ การดำเนินการต่างๆ ต้องอยู่ภายใต้ความยินยอมของรัฐผู้นำเข้า โดยรัฐผู้ส่งออกมีพันธกรณีที่ต้องแจ้งการเคลื่อนย้าย ตีตลาดและบรรจุภัณฑ์ รวมถึงทำเอกสารเพื่อติดตามการเคลื่อนย้ายของเสียอันตรายให้ถูกต้อง หากประเทศปลายทางมิได้ให้ความยินยอม ไม่ได้รับการแจ้งล่วงหน้าหรือไม่มีสิ่งอำนวยความสะดวกหรือความสามารถเพียงพอในการกำจัดของเสียอันตราย ประเทศปลายทางมีอำนาจที่จะปฏิเสธหรือให้ผู้ส่งออกรนำของเสียอันตรายเหล่านั้นกลับไป เพื่อเป็นการป้องกันการลักลอบเคลื่อนย้ายของเสียอันตรายออกไปทั้งในอีกประเทศหนึ่ง

4.4 เกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้ซ้ำ

เนื่องจากประเทศไทยนั้น ยังไม่มีเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้ซ้ำ จึงจะเป็นการนำหลักเกณฑ์สำหรับการรีไซเคิลและการใช้ซ้ำจากต่างประเทศมาทำการศึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้ซ้ำในประเทศไทย

ซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถือได้ว่าเป็นของเสียอันตรายอย่างหนึ่ง โดยปกติจะมีส่วนประกอบที่ซับซ้อน ทำให้การจัดการของเสียอันตรายต้องมีการนำเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนและใช้ค่าใช้จ่ายสูง โดยวิธีการจัดการของเสียอันตรายที่ดีอย่างหนึ่งคือ การลดปริมาณของเสียอันตรายนั้น หากเป็นของเสียอันตรายจากชุมชนสามารถกระทำได้หลายวิธีคือ

1) การรีไซเคิล (Recycle) หมายถึง การนำของเสียอันตรายหมุนเวียนมาใช้ใหม่ในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ใหม่จากการผ่านกระบวนการผลิตบางประการ เช่น การนำกระจกที่เป็นส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาบดให้ละเอียดจนกลายเป็นเศษแก้ว ก่อนนำไปผ่านกระบวนการหลอมขึ้นรูปใหม่อีกครั้ง เป็นต้น

2) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) หมายถึง การนำของเสียอันตรายกลับมาใช้ใหม่ โดยไม่ผ่านกระบวนการผลิตใดๆ เช่น ประเทศพัฒนาแล้วขายแผงเซลล์แสงอาทิตย์เก่าให้แก่ประเทศกำลังพัฒนาเพื่อนำไปใช้ต่อ เป็นต้น

3) การทำซ้ำ (Reclaim) หมายถึง การสกัดหรือแยกส่วนประกอบที่ยังสามารถใช้ประโยชน์ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุใช้งานมาใช้ให้เกิดประโยชน์

4) การปรับสภาพกลับมาใช้ใหม่ (Recover) หมายถึง การปรับสภาพของเสียโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการผลิตใดๆ แล้วนำของเสียที่ถูกปรับสภาพแล้วนั้นกลับมาใช้ใหม่

5) การซ่อมแซม (Repair) หมายถึง การนำของเสียอันตรายมาซ่อมแซมแล้วนำกลับไปใช้ใหม่ ทำให้ลดปริมาณของเสียอันตรายที่ถูกทิ้งได้

6) การลด (Reduce) หมายถึง การลดการใช้ผลิตภัณฑ์หรือสิ่งของที่อาจก่อให้เกิดของเสียอันตราย เช่น การเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าชนิดอื่น

แต่ถ้าหากเป็นของเสียอันตรายจากการอุตสาหกรรมมี 2 แนวทางคือ การลดปริมาณของเสียที่แหล่งกำเนิด และการเวียนมาใช้ใหม่ ซึ่งคล้ายคลึงกับการลดปริมาณของเสียอันตรายจากชุมชนดังที่กล่าวข้างต้น

มาตรการทางกฎหมายในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่กำหนดในระเบียบของสหภาพยุโรปนั้น ยังสามารถนำมาเป็นแนวทางในการกำหนดเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการรีไซเคิลซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้ซ้ำ ซึ่งอาจสรุปได้ดังต่อไปนี้

4.4.1 มาตรการควบคุมในขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

โดยระเบียบการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มาตรา 4 กำหนดให้รัฐสมาชิกต้องสนับสนุนให้เกิดความร่วมมือระหว่างผู้ผลิตและผู้ประกอบธุรกิจรีไซเคิล (Recycle) เพื่อกำหนดมาตรการส่งเสริมการออกแบบและการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ง่ายต่อการนำกลับมาใช้ใหม่และการรีไซเคิล ทั้งนี้ผู้ผลิตต้องไม่ใช้การออกแบบหรือใช้กระบวนการผลิตที่มีลักษณะเฉพาะจนยากต่อการนำซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์กลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล

4.4.2 มาตรการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

นอกจากมาตรการควบคุมในขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วนั้น ระเบียบการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ยังกำหนดมาตรการจัดการซากแผงเซลล์อาทิตย์ ซึ่งเป็นการนำหลักการขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิตมาบัญญัติไว้อย่างเป็นรูปธรรม กล่าวคือ

(1) สร้างระบบการคัดแยก การส่งคืนและการเก็บรวบรวมซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากชุมชน

รัฐสมาชิกต้องมีการกำหนดมาตรการที่เหมาะสมในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการลดการกำจัดซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะเดียวกับการกำจัดมูลฝอยทั่วไป และยังต้องกำหนดมาตรการคัดแยกซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกจากซากเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่น ซึ่งการคัดแยกซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิดออกจากกัน ส่งผลให้การจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยให้สัดส่วนการรีไซเคิลเพิ่มขึ้นอีกด้วย

รัฐสมาชิกต้องจัดให้มีสถานที่เก็บรวบรวม (Collection facilities) ซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นเพื่อให้เจ้าของ ผู้ครอบครอง หรือผู้จัดจำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งคืนซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ผู้ผลิตรายเดียวหรือหลายราย อาจร่วมกันจัดตั้งระบบการรับคืนซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Take-back systems) เพื่อรับคืนซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากชุมชน

(2) สร้างระบบการจัดการที่เหมาะสม

รัฐสมาชิกต้องมีการกำหนดมาตรการที่เหมาะสมในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ การจัดการที่เหมาะสมนอกเหนือจากการนำกลับมาใช้ใหม่ การรีไซเคิล และการปรับปรุงสภาพกลับมาใช้ใหม่นั้น ยังต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในภาคผนวกแนบท้ายระเบียบฉบับนี้ ซึ่งรัฐสมาชิกต้องควบคุมให้ผู้ผลิตหรือบุคคลภายนอกที่กระทำแทนผู้ผลิตจัดให้มีระบบการปรับปรุงสภาพกลับมาใหม่ โดยสามารถดำเนินการด้วยเทคโนโลยีที่ดีที่สุด

(3) กำหนดเป้าหมายการปรับปรุงสภาพซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์กลับมาใช้ใหม่

ระเบียบการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มาตรา 11 ได้กำหนดเป้าหมายที่รัฐสมาชิกแต่ละรัฐต้องนำซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาผ่านกระบวนการปรับปรุงสภาพกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งในภาคผนวก 5 ท้ายระเบียบฉบับนี้กล่าวให้ซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทที่ 4 เป้าหมายการปรับปรุงสภาพกลับมาใช้ใหม่ มีสัดส่วนดังนี้

- ตั้งแต่วันที่ 13 สิงหาคม ค.ศ. 2012 ถึง 14 สิงหาคม ค.ศ. 2015 สัดส่วนซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการปรับปรุงสภาพกลับมาใช้ใหม่ต้องอยู่ที่ร้อยละ 75 และซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการรีไซเคิลต้องอยู่ที่ร้อยละ 65
- ตั้งแต่วันที่ 15 สิงหาคม ค.ศ. 2015 ถึง 14 สิงหาคม ค.ศ. 2018 สัดส่วนซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการปรับปรุงสภาพกลับมาใช้ใหม่ต้องอยู่ที่ร้อยละ 80 และซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการรีไซเคิลต้องอยู่ที่ร้อยละ 70
- ตั้งแต่วันที่ 15 สิงหาคม ค.ศ. 2018 เป็นต้นไป สัดส่วนซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการปรับปรุงสภาพกลับมาใช้ใหม่ต้องอยู่ที่ร้อยละ 85 และซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการรีไซเคิลต้องอยู่ที่ร้อยละ 80

(4) การสนับสนุนทางการเงินของผู้ผลิต

รัฐสมาชิกต้องให้ความมั่นใจว่าผู้ผลิตจะสนับสนุนทางการเงินในการรวบรวม การจัดการ การปรับปรุงสภาพกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมาจากบ้านเรือนของประชาชนและถูกเก็บไว้ ณ สถานที่เก็บรวบรวม

โดยความรับผิดชอบทางการเงินของผู้ผลิตจะมากหรือน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตรายนั้นๆ ผู้ผลิตแต่ละรายอาจให้การสนับสนุนทางการเงินด้วยตนเองหรือร่วมกับผู้ผลิตรายอื่นก็ได้

(5) การเข้าถึงข้อมูลของประชาชน

ระเบียบการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มาตรา 14 กำหนดให้รัฐสมาชิกต้องดำเนินการให้ประชาชนที่เป็นผู้ซื้อแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเข้าถึงข้อมูลที่จำเป็นในเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวกับการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นหลักการสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในการคุ้มครองและรักษาสิ่งแวดล้อม โดยข้อมูลที่รัฐสมาชิกต้องให้ประชาชนเข้าถึงได้นั้น เช่น

- ความจำเป็นที่ต้องไม่จัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการเดียวกับการจัดการขยะมูลฝอยธรรมดา
- ความจำเป็นที่ต้องมีการรวบรวมซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แยกต่างหากจากซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- ข้อมูลเกี่ยวกับระบบการส่งคืนและเก็บรวบรวมซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- การบูรณาการข้อมูลจากสถานที่เก็บรวบรวมต่างๆ
- วิธีการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การนำกลับมาใช้ใหม่ การรีไซเคิล หรือวิธีการอื่นๆใดที่สามารถนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาปรับสภาพกลับมาใช้ใหม่
- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ที่เป็นผลมาจากสารอันตรายที่เป็นส่วนประกอบในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

(6) การขึ้นทะเบียนผู้ผลิต

ระเบียบการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มาตรา 16 กำหนดให้รัฐสมาชิกขึ้นทะเบียนผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรัฐของตน ทั้งยังกำหนดให้ผู้ผลิตมีการให้ข้อมูลที่จำเป็นและบันทึกข้อมูลเหล่านั้นไว้ในระบบคอมพิวเตอร์ และกำหนดให้สำนักทะเบียนของรัฐสมาชิกสามารถบูรณาการข้อมูลระหว่างกันได้

4.4.3 (ร่าง) แผนที่นำทางการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ [6]

จากผลการศึกษาของโครงการพัฒนามาตรฐานด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดใช้พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (การจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ประกอบและแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า) ปี พ.ศ. 2563 ในส่วนของการจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายการบริหารจัดการซากอย่างครบวงจรและจัดทำแผนที่นำทาง (Road map) เพื่อจัดทำ (ร่าง) แผนที่นำทางการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์โดยประกอบการใช้หลักแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) ในการจัดทำมาตรการใน (ร่าง) แผนที่นำทางการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อการขับเคลื่อนการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจรภายในประเทศไทยและเป็นกลไกเพื่อการพัฒนาไปสู่เป้าหมายที่วางไว้จึงได้จัดทำมาตรการไว้ทั้งสิ้น 9 มาตรการ แสดงดังตารางที่ 4-6 โดยมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4-7 ถึง 4-15

ตารางที่ 4-6 มาตรการในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

มาตรการ	เป้าหมาย
S1 – JTF	จัดตั้งคณะทำงานร่วมเพื่อบูรณาการความร่วมมือ (Joint Task Force)
S2 – NMA	จัดทำบัญชีวัสดุโดยนำข้อมูลของแต่ละหน่วยงานมาเชื่อมโยงกัน
S3 – MB	ประเมินปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์จากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน
S4 – RCY	จัดตั้งโรงงานนำร่อง (Pilot Plant) ในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์
S5 – VC	สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุรอบสองที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิล
S6 – EXL	สร้างแพลตฟอร์มสนับสนุนกลไกการรองรับการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองและระบบการติดตามเซลล์แสงอาทิตย์ภาคครัวเรือน (Solar Rooftop)
S7 – CBM	ส่งเสริมรูปแบบธุรกิจหมุนเวียนเพื่อรองรับการเปลี่ยนมือ
S8 – LGP	พัฒนาฉลากประหยัดพลังงานและการจัดซื้อจัดจ้างสีเขียวของเซลล์แสงอาทิตย์
S9 – EPR	ทดลองนำร่องจำลอง (Role Play) กระบวนการรวบรวมและรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์

มาตรการในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 4-7 การจัดตั้งคณะทำงานร่วมเพื่อบูรณาการความร่วมมือ (Joint Task Force)

จัดตั้งคณะทำงานร่วมเพื่อบูรณาการความร่วมมือ (Joint Task Force) ระหว่างภาครัฐ - เอกชน ในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์		S1 JTF
วัตถุประสงค์	สร้างความร่วมมือเพื่อให้เกิดระบบการจัดการตลอดวงจรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	
ปัจจัยเริ่มต้น	ไม่มี	
สนับสนุนเป้าหมายหลัก	☒ มีโรงงานนำร่องในการการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในปี พ.ศ. 2566 ☒ สามารถจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระบบและครบวงจร โดยมีการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์กลับมารีไซเคิลได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนักซาก ภายในปี พ.ศ. 2568	
กลุ่มเครื่องมือ	☒ ข้อตกลงร่วมของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ☐ การเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะ ☐ เศรษฐศาสตร์และกลไกทางการคลัง ☐ กฎหมาย ☐ ความสมัครใจและความร่วมมือของการจัดการทางสิ่งแวดล้อม	
เครื่องมือทางสิ่งแวดล้อม	● การเพิ่มขีดความสามารถในการจัดการสิ่งแวดล้อม	
เป้าหมายของมาตรการ	ปี พ.ศ. 2564	ความร่วมมือที่เป็นรูปธรรมชัดเจน และครอบคลุมหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
หน่วยงานหลัก	1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) 2. คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) 3. กรมควบคุมมลพิษ (คพ.)	
หน่วยงานสนับสนุน	1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) 2. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) 3. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม (สศอ.) 4. กรมศุลกากร (กศก.) 5. สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง (สศค.)	

ตารางที่ 4-7 การจัดตั้งคณะทำงานร่วมเพื่อบูรณาการความร่วมมือ (Joint Task Force) (ต่อ)

จัดตั้งคณะทำงานร่วมเพื่อบูรณาการความร่วมมือ (Joint Task Force) ระหว่างภาครัฐ - เอกชน ในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์		S1 JTF
หน่วยงานสนับสนุน	6. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) 7. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) 8. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) 9. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม (สศอ.) 10. กรมศุลกากร (กศก.) 11. สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง (สศค.) 12. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) 13. สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ผู้แทนจากกลุ่มผู้ผลิต ผู้ใช้งาน และผู้รับ บำบัดกำจัดซาก) 14. สถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัยต่างๆ	
กลุ่มเป้าหมาย	☒ 1. ผู้ผลิต/ผู้นำเข้า/ผู้จัดจำหน่าย ☒ 2. ผู้ใช้งาน ☒ 3. ผู้รวบรวม ☒ 4. ผู้ขนส่ง ☒ 5. ผู้รับบำบัดกำจัด ☒ 6. ผู้ใช้วัสดุขั้นที่สอง ☒ 7. หน่วยงานกำกับดูแล ☒ 8. หน่วยงานสนับสนุนอื่นๆ	
สภาพปัจจุบัน	มีความร่วมมือเป็นกรณีเฉพาะ เช่น ความร่วมมือระหว่าง กรอ. และ พพ. ในการสนับสนุนการจัดการซาก ความร่วมมือระหว่าง กรอ. และ กฟผ. ในการศึกษาการบริหารจัดการซาก แต่ยังไม่เชื่อมโยงไปถึงเครือข่ายอื่นๆ ตลอดทั้งห่วงโซ่มูลค่า และขาดกลไกในการขับเคลื่อนความร่วมมืออย่างเป็นรูปธรรม	
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	การวางแผนยุทธศาสตร์ ทบทวน (ร่าง) แผนที่นำทาง แผนงาน และการพัฒนาเครื่องมือในการติดตามประเมินผลที่ใช้ประโยชน์ร่วมกัน ข้อกำหนดและข้อเสนอในหลักการ (Requirement & Concept Notes) เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้เป็นแนวทางในการดำเนินกิจกรรม/โครงการเพื่อสนับสนุนเป้าหมายหลัก	
กิจกรรมหลัก	จัดตั้งคณะทำงานร่วมระหว่างหน่วยงาน (Joint Task Force – JTF) เพื่อบูรณาการความร่วมมือระหว่างภาครัฐ-เอกชนในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า โดยมี (ร่าง) องค์กรประกอบคณะทำงาน และอำนาจหน้าที่ ดังนี้ (ร่าง) องค์กรประกอบ 1. อธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือผู้แทน ประธานร่วม	

ตารางที่ 4-7 การจัดตั้งคณะทำงานร่วมเพื่อบูรณาการความร่วมมือ (Joint Task Force) (ต่อ)

จัดตั้งคณะทำงานร่วมเพื่อบูรณาการความร่วมมือ (Joint Task Force) ระหว่างภาครัฐ - เอกชน ในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์		S1 JTF
กิจกรรมหลัก	2. อธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือผู้แทน ประธานร่วม 3. เลขาธิการคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน หรือผู้แทน ประธานร่วม 4. ผู้แทนกรมควบคุมมลพิษ 5. ผู้แทนกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 6. ผู้แทนกรมพื้นฐานและอุตสาหกรรมเหมืองแร่ 7. ผู้แทนสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม 8. ผู้แทนกรมศุลกากร 9. ผู้แทนสำนักงานเศรษฐกิจการคลัง 10. ผู้แทนการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 11. แทนสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ตัวแทนจากกลุ่มผู้ผลิต ผู้ใช้งาน และผู้รับบำบัดกำจัดซาก) 12. ผู้แทนกรมโรงงานอุตสาหกรรม เลขานุการ 13. ผู้แทนสถาบันการศึกษา ผู้ช่วยเลขานุการ (ร่าง) อำนาจหน้าที่ 1. วางแผนยุทธศาสตร์ ทบทวน (ร่าง) แผนที่น่าสนใจ แผนงานที่เกี่ยวข้อง แลกเปลี่ยนข้อมูลและแนวทางการเชื่อมโยงข้อมูล เพื่อพัฒนาเป็นเครื่องมือในการติดตามประเมินผล 2. ทบทวน ให้ข้อคิดเห็น หรือพัฒนาข้อเสนอในหลักการ (Concept Notes) เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้เป็นแนวทางในการดำเนินกิจกรรม/โครงการ 3. แลกเปลี่ยนข้อมูลอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ 4. รายงานสถานการณ์การดำเนินงานด้านการจัดการซาก เพื่อประโยชน์ต่อสาธารณะ 5. ปฏิบัติงานอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย มีการประชุมอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง	

ตารางที่ 4-8 การจัดทำบัญชีวัสดุโดยนำข้อมูลของแต่ละหน่วยงานมาเชื่อมโยงกัน

พัฒนาบัญชีวัสดุระดับชาติเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามประเมินผล การจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (National Material Account: PV)		S2 NMA
วัตถุประสงค์	นำข้อมูลขนาดใหญ่ตามพันธกิจของหน่วยงานมาเชื่อมโยงกันเป็นภาพการจัดการซากของประเทศตั้งแต่ต้นทางวัตถุดิบถึงการนำกลับมาใช้ใหม่และการบำบัดขั้นสุดท้าย เพื่อเป็นเครื่องมือในการติดตามประเมินผล ทบทวนเป้าหมาย และการตัดสินใจในระดับนโยบาย	
ปัจจัยเริ่มต้น	S1	
สนับสนุน เป้าหมายหลัก	☒ มีโรงงานนำร่องในการการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในปี พ.ศ. 2566 ☒ สามารถจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระบบและครบวงจร โดยมีการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์กลับมารีไซเคิลได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนักซากภายในปี พ.ศ. 2568	
กลุ่มเครื่องมือ	☐ ข้อตกลงร่วมของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ☒ การเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะ ☐ เศรษฐศาสตร์และกลไกทางการคลัง ☒ กฎหมาย ☐ ความสมัครใจและความร่วมมือของการจัดการทางสิ่งแวดล้อม	
เครื่องมือทางสิ่งแวดล้อม	● การใช้เทคโนโลยีที่ดีที่สุดในการจัดการผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ● การรายงานทางสิ่งแวดล้อม	
เป้าหมายของมาตรการ	ปี พ.ศ. 2565	บัญชีวัสดุระดับชาติในพื้นฐาน (Baseline National Material Account: PV and EV-LIB) ปี พ.ศ. 2564 และแผงควบคุม (Dashboard) สำหรับผู้ใช้งานแต่ละระดับ
	ปี พ.ศ. 2566	บัญชีวัสดุได้รับการอัปเดตอย่างต่อเนื่อง ระบบข้อมูลเสถียรมากขึ้น
หน่วยงานหลัก	คณะกรรมการร่วมระหว่างหน่วยงาน (JTF)	
หน่วยงานสนับสนุน	1. สำนักงานสถิติแห่งชาติ 2. กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม 3. สถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัยต่างๆ	
กลุ่มเป้าหมาย	☒ 1. ผู้ผลิต/ผู้นำเข้า/ผู้จัดจำหน่าย ☒ 2. ผู้ใช้งาน ☒ 3. ผู้รวบรวม ☒ 4. ผู้ขนส่ง ☒ 5. ผู้รับบำบัดกำจัด ☒ 6. ผู้ใช้วัสดุขั้นที่สอง ☒ 7. หน่วยงานกำกับดูแล ☒ 8. หน่วยงานสนับสนุนอื่นๆ	

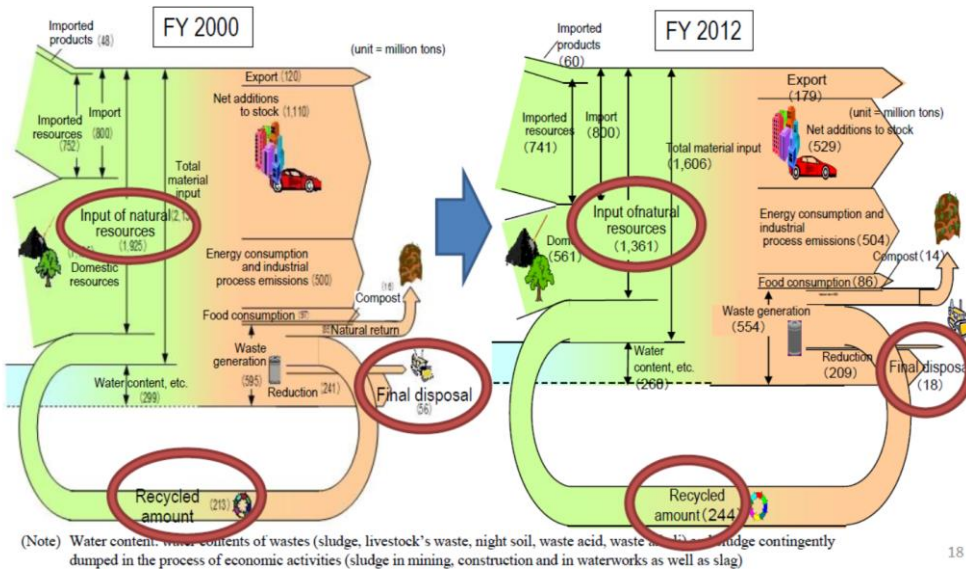
ตารางที่ 4-8 การจัดทำบัญชีวัสดุโดยนำข้อมูลของแต่ละหน่วยงานมาเชื่อมโยงกัน (ต่อ)

	พัฒนาบัญชีวัสดุระดับชาติเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามประเมินผล การจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (National Material Account: PV)	S2 NMA
สภาพปัจจุบัน	ข้อมูลที่จำเป็นในการบริหารจัดการซากอย่างบูรณาการทั้งระบบยังกระจายโครงการได้นำข้อมูลที่รวบรวมได้ ร่วมกับการประเมินด้วยสมมติฐานต่างๆ เพื่อทำการไหลของกระบวนการจัดการซากขึ้น แต่การดำเนินการเป็นโครงการ อาจเกิดความไม่ต่อเนื่องในการปรับปรุงให้มีความละเอียด แม่นยำมากขึ้น	
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ผู้ที่เกี่ยวข้องมีความเข้าใจในภาพรวมของการจัดการซาก มีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการสื่อสาร และสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เป็นผลจากนโยบายต่างๆ เพื่อพัฒนาเครื่องมือสนับสนุนที่เหมาะสมกับสถานการณ์	
กิจกรรมหลัก	1. กำหนดกรอบ (Framework) ของบัญชีวัสดุระดับชาติ โดยคำนึงถึงการนำไปใช้ประโยชน์ของผู้ใช้งานกลุ่มต่างๆ และลักษณะข้อมูลที่หน่วยงานต่างๆ มีการรวบรวมตามพันธกิจ ให้ครอบคลุมตั้งแต่ต้นทางไปจนถึงปลายทางขั้นสุดท้าย ทั้งในระดับผลิตภัณฑ์ (Goods) และองค์ประกอบที่แยกได้ (Substances) โดยสามารถใช้ผลการจัดทำผังการไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis) แสดงดังรูปที่ 4-3 เป็นร่างกรอบสำหรับพัฒนาเป็นบัญชีวัสดุระดับชาติ The diagram illustrates the material flow of PV modules in 2021. It starts with imports of solar cells and panels, followed by production stages (solar cell production, solar panel production). The flows lead to various end uses: solar power plants, domestic distribution, and other uses. The diagram also shows waste management, including recycling and landfill. A legend indicates that green arrows represent material flow, orange arrows represent energy flow, and black arrows represent economic data. The diagram is titled 'รูปที่ 4-3 ผังการไหลของการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2561'.	

รูปที่ 4-3 ผังการไหลของการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2561

อย่างไรก็ตาม การจัดการก่อนการเป็นซาก เริ่มมีบทบาทมากขึ้นตามทิศทางของเศรษฐกิจหมุนเวียน การเพิ่มกระบวนการของการใช้ซ้ำ การนำมาใช้ในแอปพลิเคชันอื่นๆ จะเป็นกลไกที่เริ่มมีบทบาท และจำเป็นต้องให้ความสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ

ตารางที่ 4-8 การจัดทำบัญชีวัสดุโดยนำข้อมูลของแต่ละหน่วยงานมาเชื่อมโยงกัน (ต่อ)

	พัฒนาบัญชีวัสดุระดับชาติเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามประเมินผล การจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (National Material Account: PV)	S2 NMA
กิจกรรมหลัก	2. กำหนดวิธีการเชื่อมต่อข้อมูลจากแหล่งข้อมูล เช่น ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการ ความถี่ของการอัปเดต รูปแบบการนำเสนอ ความสามารถของระบบ หน่วยงานที่จะดูแลระบบ และแผงควบคุม (Dashboard) ที่ครอบคลุมการใช้ประโยชน์ของผู้ที่เกี่ยวข้อง ในบางครั้งการนำเสนอบัญชีวัสดุระดับชาติ อาจนำเสนอในลักษณะของแผนภูมิแซนคีย์ แสดงดังรูปที่ 4-4  รูปที่ 4-4 Material Flow ของประเทศไทย (Ministry of the Environment, Japan) 3. พัฒนาระบบฐานข้อมูล และแพลตฟอร์มสำหรับใช้งาน 4. กำหนดหน่วยงานที่จะเป็นผู้ดูแลระบบ ในระยะแรกสามารถดำเนินการภายใต้คณะทำงานร่วมระหว่างหน่วยงาน (JTF) โดยอาศัยแหล่งทุนที่เกี่ยวข้อง เช่น กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน หรืองบประมาณของกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมภายใต้ แผนงานการขับเคลื่อนปัญหาประดิษฐ์เพื่อการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน เป็นต้น แต่ในระยะยาวควรมีหน่วยงาน/องค์กรกลาง ที่ทำหน้าที่ในการบริหารจัดการบัญชีวัสดุนี้โดยเฉพาะเนื่องจากจำเป็นต้องขยายขอบเขตไปสู่ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในอนาคต 5. เผยแพร่ ประชาสัมพันธ์ และมีการอัปเดตข้อมูลอย่างต่อเนื่อง	

ตารางที่ 4-9 การประเมินปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์จากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน

การจัดทำ Material Balance ในระดับโรงงานอุตสาหกรรมลำดับที่ 88 และโรงงานอื่นๆ ที่มีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อการใช้กฎหมายกากอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ		S3 MB
วัตถุประสงค์	เพื่อประเมินปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์จากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม จากจำนวนที่ถูกใช้งาน นำออกเป็นแผงมือสอง และนำออกเป็นซากได้แม่นยำมากขึ้นจากปริมาณแผงที่มีการติดตั้งใช้งาน และเชื่อมโยงไปยังการกำกับดูแลแผงมือสองที่จะเกิดเป็นซากในอนาคต	
ปัจจัยเริ่มต้น	ไม่มี	
สนับสนุนเป้าหมายหลัก	☒ มีโรงงานนำร่องในการการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในปี พ.ศ. 2566 ☒ สามารถจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระบบและครบวงจร โดยมีการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์กลับมารีไซเคิลได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนักซาก ภายในปี พ.ศ. 2568	
สนับสนุนเป้าหมายอื่น	☒ ส่งเสริมให้เกิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนครบวงจร	
กลุ่มเครื่องมือ	☐ Cooperative Management Agreements ☐ การเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะ ☒ เศรษฐศาสตร์และกลไกทางการคลัง ☐ กฎหมาย ☐ ความสมัครใจและความร่วมมือของการจัดการทางสิ่งแวดล้อม	
เครื่องมือทางสิ่งแวดล้อม	● ความรับผิดชอบทางกฎหมาย	
เป้าหมายของมาตรการ	ปี พ.ศ. 2565	Material Balance ในระดับผลิตภัณฑ์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม ของปี พ.ศ. 2563
	ปี พ.ศ. 2566	ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง
หน่วยงานหลัก	1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) 2. คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.)	
หน่วยงานสนับสนุน	1. สถาบันการศึกษา	
กลุ่มเป้าหมาย	☐ 1. ผู้ผลิต/ผู้นำเข้า/ผู้จัดจำหน่าย ☒ 2. ผู้ใช้งาน ☐ 3. ผู้รวบรวม ☐ 4. ผู้ขนส่ง ☐ 5. ผู้รับบำบัดกำจัด ☐ 6. ผู้ใช้วัสดุขั้นที่สอง ☐ 7. หน่วยงานกำกับดูแล ☐ 8. หน่วยงานสนับสนุนอื่นๆ	

ตารางที่ 4-9 การประเมินปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์จากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน (ต่อ)

การจัดทำ Material Balance ในระดับโรงงานอุตสาหกรรมลำดับที่ 88 และโรงงานอื่นๆ ที่มีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อการใช้กฎหมายกากอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ		S3 MB
สภาพปัจจุบัน	การประเมินปริมาณซาก มาจากการประเมินจากปริมาณการติดตั้งจากข้อมูลของ กกพ. เพียงอย่างเดียว ยังไม่มีข้อมูลจริงว่าอัตราการเกิดซาก และแผงที่มีประสิทธิภาพลดลงและถูกเปลี่ยนออกมีปริมาณมากน้อยเพียงใด ซึ่งแผงมือสองส่วนนี้มักถูกนำไปใช้ในชุมชน และยังขาดกลไกในการติดตามเมื่อออกจากแหล่งกำเนิดที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว นอกจากนี้ยังไม่มีมีการรับรองคุณภาพและความปลอดภัยของแผงมือสองเหล่านี้	
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ทราบอัตราการเกิดซากจริงตามพื้นที่ (ภูมิอากาศ ลักษณะการติดตั้ง ฯลฯ) การเกิดแผงมือสอง และสามารถขยายผลต่อไปยังการสร้างมูลค่าเพิ่มของแผงมือสองจากการตรวจสอบและรับรองคุณภาพ และความปลอดภัย รวมทั้งติดตามแผงที่ออกจากระบบอุตสาหกรรมได้	
กิจกรรมหลัก	1. เสริมสร้างสมรรถนะของบุคลากรให้มีความเข้าใจหลักการของการทำ Material Balance ได้แก่ การเลือกใช้ข้อมูล การใช้กฎหมาย การปันส่วน การใช้สัดส่วนองค์ประกอบ ความไม่แน่นอนของข้อมูล Error propagation และ Data reconciliation เพื่อให้เกิดประโยชน์จาก Material Balance ได้มากที่สุด 2. ออกแบบแบบสอบถาม เพื่อสอบถามข้อมูลจากโรงงานที่มีแผงโซลาร์เซลล์ ทั้งโรงงานที่เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และโรงงานอื่นๆ ที่มีการติดตั้งใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4-5 โดยมี ข้อมูลรายละเอียดแผง และมีหน่วยนับทั้ง จำนวนแผง/น้ำหนัก/กิโลวัตต์ อย่างน้อยประกอบด้วยข้อมูลในเรื่อง 3. ส่งแบบสอบถามออนไลน์ ไปยังผู้ประกอบการ โดยหน่วยงานกำกับดูแล 4. ประมวลผล และจัดทำ Material Balance ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของปี พ.ศ. 2563 5. จัดทำข้อสรุป ข้อเสนอแนะ และเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้กับคณะทำงานร่วมระหว่างหน่วยงาน (JTF) การจัดทำบัญชีวัสดุระดับชาติ (NMA) รวมทั้งเป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับมาตรการอื่นๆ 6. ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง	

ตารางที่ 4-9 การประเมินปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์จากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน (ต่อ)

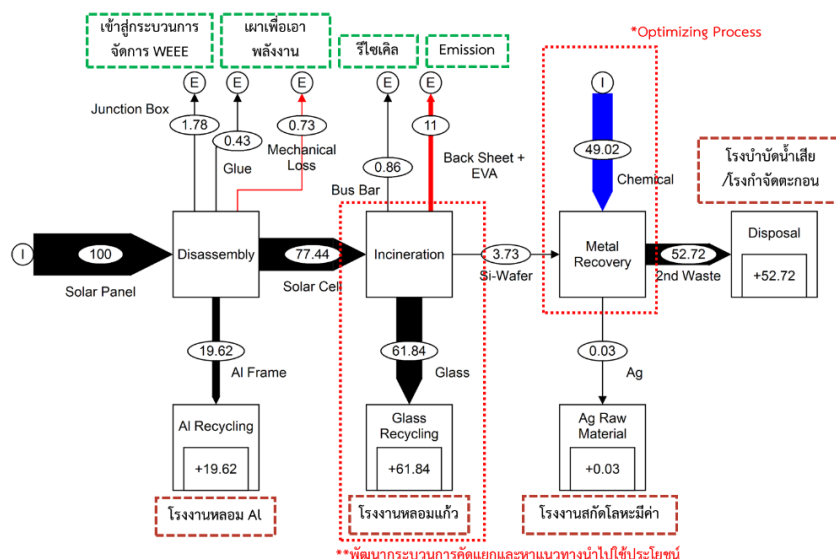
การจัดทำ Material Balance ในระดับโรงงานอุตสาหกรรมลำดับที่ 88 และโรงงานอื่นๆ ที่มีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อการใช้กฎหมายกากอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ		S3 MB
กิจกรรมหลัก	Import: Σ Import t/a dStock: Δ Stock t/a Export: Σ Export t/a New MFA-System, 2020	
	รูปที่ 4-5 การทำ Material balance ของโรงงานลำดับที่ 88 และโรงงานอื่นที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ● ปริมาณแผงฯ ที่มีการนำเข้ามาติดตั้งทดแทน ในปี พ.ศ. 2563 (F1) ● ปริมาณแผงฯ ที่ติดตั้งอยู่ในระบบเมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2563 (Installed PV) ● ปริมาณแผงฯ ที่นำออกไปใช้ประโยชน์อื่น (F2) และข้อมูลผู้รับ ● ปริมาณแผงฯ ที่เสื่อมสภาพ (F3) ● ปริมาณแผงฯ เสื่อมสภาพที่ส่งกำจัด (F4) และข้อมูลผู้รับ ● ปริมาณแผงฯ เสื่อมสภาพที่เก็บไว้ภายในโรงงานเมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2563 (Waste PV)	

ตารางที่ 4-10 การจัดตั้งโรงงานนำร่องในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์

การนำร่องโครงการจัดตั้งโรงงานนำร่องในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์		S4 RCY
วัตถุประสงค์	1. เพื่อสร้างโรงงานนำร่อง (Pilot Plant) ที่ได้มาตรฐาน ในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ 2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ 3. เพื่อเพิ่มมูลค่าของสิ่งที่ได้จากการรีไซเคิล (วัสดุรอบสอง)	
ปัจจัยเริ่มต้น	ไม่มี	
สนับสนุนเป้าหมายหลัก	☒ มีโรงงานนำร่องในการการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในปี พ.ศ. 2566 ☒ สามารถจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระบบและครบวงจร โดยมีการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์กลับมารีไซเคิลได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนักซากภายในปี พ.ศ. 2568	
สนับสนุนเป้าหมายอื่น	☒ ส่งเสริมให้เกิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนครบวงจร	
กลุ่มเครื่องมือ	☐ ข้อตกลงร่วมของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ☐ การเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะ ☐ เศรษฐศาสตร์และกลไกทางการคลัง ☒ กฎหมาย ☐ ความสมัครใจและความร่วมมือของการจัดการทางสิ่งแวดล้อม	
เครื่องมือทางสิ่งแวดล้อม	● การใช้เทคโนโลยีที่ดีที่สุดในการจัดการผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ● ประมวลหลักการปฏิบัติ	
เป้าหมายของมาตรการ	ปี พ.ศ. 2565	มีกระบวนการรีไซเคิลที่ได้มาตรฐาน และสามารถพัฒนากระบวนการรีไซเคิลแต่ละส่วน ไปสู่การดำเนินการในระดับอุตสาหกรรมได้
	ปี พ.ศ. 2566	เกิดโรงงานนำร่องที่สามารถรีไซเคิลซากที่ได้มาตรฐานและครบวงจร
หน่วยงานหลัก	1. กระทรวงพลังงาน (พน.) 2. กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) 3. การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.)	
หน่วยงานสนับสนุน	1. สถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัย 2. ผู้ประกอบการที่สนใจเข้าร่วมโครงการ	

ตารางที่ 4-10 การจัดตั้งโรงงานนำร่องในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

การนำร่องโครงการจัดตั้งโรงงานนำร่องในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์		S4 RCY
กลุ่มเป้าหมาย	☐ 1. ผู้ผลิต/ผู้นำเข้า/ผู้จัดจำหน่าย ☐ 2. ผู้ใช้งาน ☐ 3. ผู้รวบรวม ☐ 4. ผู้ขนส่ง ☒ 5. ผู้รับบำบัดกำจัด ☒ 6. ผู้ใช้วัสดุขั้นที่สอง ☒ 7. หน่วยงานกำกับดูแล ☒ 8. หน่วยงานสนับสนุนอื่นๆ	
สภาพปัจจุบัน	ยังไม่มีโรงงานที่สามารถรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นถูกส่งไปกำจัดยังหลุมฝังกลบ	
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	สามารถขยายผลของโครงการไปสู่การตั้งโรงงานนำร่อง และเผยแพร่ข้อมูลของวิธีการรีไซเคิลอย่างถูกต้อง เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถนำไปพัฒนาปรับปรุงกระบวนการจัดการซากได้	
กิจกรรมหลัก	1. Optimize กระบวนการรีไซเคิลร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้อง (ต้นน้ำและปลายน้ำ) 2. เตรียมข้อมูลการออกแบบของโรงงานนำร่อง (หรือกลุ่มโรงงานนำร่อง) 3. ออกแบบรายละเอียดของกระบวนการนำร่อง 4. สรุปแบบรายละเอียด 5. ติดตั้งเครื่องจักร 6. ทดลองเดินเครื่องและเก็บข้อมูล 7. สรุปผลโครงการนำร่อง โดยมีรายละเอียดแสดงดังรูปที่ 4-6	



รูปที่ 4-6 สมดุลมวลของการถอดแยก และการทดลองนำกลับโลหะมีค่า

ตารางที่ 4-11 การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุรอบสองที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิล

การสร้างความร่วมมือตลอดห่วงโซ่มูลค่า (Value Chain)		S5
เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์		VC
วัตถุประสงค์	เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุรอบสองที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิลจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสร้างความร่วมมือให้เกิดขึ้นในห่วงโซ่มูลค่าของวัสดุ	
ปัจจัยเริ่มต้น	S1 S2 S3 S4	
สนับสนุนเป้าหมายหลัก	☒ มีโรงงานนำร่องในการการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในปี พ.ศ. 2566 ☒ สามารถจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระบบและครบวงจร โดยมีการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์กลับมารีไซเคิลได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนักซาก ภายในปี พ.ศ. 2568	
สนับสนุนเป้าหมายอื่น	☒ ส่งเสริมให้เกิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนครบวงจร	
กลุ่มเครื่องมือ	☒ ข้อตกลงร่วมของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ☐ การเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะ ☐ เศรษฐศาสตร์และกลไกทางการคลัง ☒ กฎหมาย ☐ ความสมัครใจและความร่วมมือของการจัดการทางสิ่งแวดล้อม	
เครื่องมือทางสิ่งแวดล้อม	● การใช้เทคโนโลยีที่ดีที่สุดในการจัดการผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ● การเพิ่มขีดความสามารถในการจัดการสิ่งแวดล้อม	
เป้าหมายของมาตรการ	ปี พ.ศ. 2567	เกิดกรณีตัวอย่างของการนำวัสดุรอบสองที่ได้จากการรีไซเคิลจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์
หน่วยงานหลัก	1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) 2. คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) 3. กรมควบคุมมลพิษ (คพ.) 4. สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.)	
หน่วยงานสนับสนุน	1. กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม 2. สถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัย	
กลุ่มเป้าหมาย	☒ 1. ผู้ผลิต/ผู้นำเข้า/ผู้จัดจำหน่าย ☒ 2. ผู้ใช้งาน ☒ 3. ผู้รวบรวม ☒ 4. ผู้ขนส่ง ☒ 5. ผู้รับบำบัดกำจัด ☒ 6. ผู้ใช้วัสดุขั้นที่สอง ☒ 7. หน่วยงานกำกับดูแล ☒ 8. หน่วยงานสนับสนุนอื่นๆ	

ตารางที่ 4-11 การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุรอบสองที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิล (ต่อ)

การสร้างความร่วมมือตลอดห่วงโซ่มูลค่า (Value Chain) เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์		S5 VC
สภาพปัจจุบัน	ปัจจุบันการกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ยังเป็นการนำวัสดุส่วนใหญ่ไปฝังกลบ (ซากเซลล์แสงอาทิตย์ถือเป็นของเสียอันตราย) กระบวนการรีไซเคิลยังไม่มีมูลค่าเพียงพอทั้งในแง่ของปริมาณซากที่เข้าสู่ระบบ ต้นทุนการรีไซเคิล และความผันผวนของราคาวัสดุ	
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ความร่วมมือระหว่างผู้ผลิต ผู้ใช้งานผลิตภัณฑ์ ผู้รีไซเคิล และผู้ใช้วัสดุขั้นที่สอง ในการสร้างนวัตกรรมที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับทั้งห่วงโซ่มูลค่า	
กิจกรรมหลัก	1. ทำรายการวัสดุ (Bill of Materials) พร้อมคุณสมบัติ 2. ผู้ใช้วัสดุขั้นที่สองในแต่ละแอปพลิเคชันระบุข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) ของวัสดุที่ต้องการ 3. ศึกษาความต้องการของตลาด และศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของแต่ละแอปพลิเคชัน เน้นการใช้งานที่มีมูลค่าเพิ่มสูง ยกตัวอย่างเช่น การนำเงินไปใช้ในการผลิตเครื่องประดับ เป็นต้น 4. จับคู่ธุรกิจเพื่อทดลองนำร่องการเตรียมวัสดุขั้นที่สองกลับเข้าสู่ระบบเศรษฐกิจ 5. ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น 6. จัดทำกรณีศึกษา	

ตารางที่ 4-12 การสร้างแพลตฟอร์มสนับสนุนกลไกการรองรับการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองและระบบการติดตามเซลล์แสงอาทิตย์ภาคครัวเรือน (Solar Rooftop)

การสร้างแพลตฟอร์มเพื่อสนับสนุนกลไกการรองรับการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองและระบบการติดตามสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ภาคครัวเรือน (Solar Rooftop)		S6 TS
วัตถุประสงค์	สร้างแพลตฟอร์มเพื่อสนับสนุนกลไกการรองรับการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองและระบบการติดตามเซลล์แสงอาทิตย์ภาคครัวเรือน (Solar Rooftop)	
ปัจจัยเริ่มต้น	S1 S2 S3	
สนับสนุนเป้าหมายหลัก	☒ มีโรงงานนำร่องในการการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในปี พ.ศ. 2566 ☒ สามารถจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระบบและครบวงจร โดยมีการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์กลับมารีไซเคิลได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนักซาก ภายในปี พ.ศ. 2568	
สนับสนุนเป้าหมายอื่น	ส่งเสริมให้เกิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนครบวงจร	
กลุ่มเครื่องมือ	☐ Cooperative Management Agreements ☐ การเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะ ☒ เศรษฐศาสตร์และกลไกทางการคลัง ☐ กฎหมาย ☐ ความสมัครใจและความร่วมมือของการจัดการทางสิ่งแวดล้อม	
เครื่องมือทางสิ่งแวดล้อม	● ระบบมัดจำคืนเงิน ● ค่าธรรมเนียมและภาษีของผลิตภัณฑ์ ● การปฏิรูปกลไกทางการคลังเชิงนิเวศ	
เป้าหมายของมาตรการ	ปี พ.ศ. 2566	มาตรฐานการตรวจสอบประสิทธิภาพ และความปลอดภัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง และหน่วยปฏิบัติการที่มีความพร้อมในการตรวจสอบ และรับรองแผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง
	ปี พ.ศ. 2566	ระบบติดตามผลิตภัณฑ์ (Product tracking) ของเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง
	ปี พ.ศ. 2566	กรณีตัวอย่างโครงการนำร่องการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มือสอง พร้อมแสดงประโยชน์ที่ได้รับในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม และความสอดคล้องกับ SDGs เพื่อเป็นแนวทางเลือกก่อนการรื้อถอน

ตารางที่ 4-12 การสร้างแพลตฟอร์มสนับสนุนกลไกการรองรับการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองและระบบการติดตามเซลล์แสงอาทิตย์ภาคครัวเรือน (Solar Rooftop) (ต่อ)

การสร้างแพลตฟอร์มเพื่อสนับสนุนกลไกการรองรับการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองและระบบการติดตามสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ภาคครัวเรือน (Solar Rooftop)		S6 TS
หน่วยงานหลัก	1. ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ (ENTEC) 2. ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.)	
หน่วยงานสนับสนุน	1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) 2. คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) 3. กรมควบคุมมลพิษ (คพ.) 4. สถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัย	
กลุ่มเป้าหมาย	☒ 1. ผู้ผลิต/ผู้นำเข้า/ผู้จัดจำหน่าย ☒ 2. ผู้ใช้งาน ☐ 3. ผู้รวบรวม ☐ 4. ผู้ขนส่ง ☐ 5. ผู้รับบำบัดกำจัด ☐ 6. ผู้ใช้วัสดุขั้นที่สอง ☒ 7. หน่วยงานกำกับดูแล ☒ 8. หน่วยงานสนับสนุนอื่นๆ	
สภาพปัจจุบัน	ยังไม่มีแนวปฏิบัติในการกำหนดเกรดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ที่ระดับคุณภาพต่างๆ และยังไม่มีกลไกที่จะกำกับดูแล และติดตามวัสดุที่ไม่ใช้แล้วในภาคอุตสาหกรรม ที่จะกลายเป็นซากในอนาคต	
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ยืดอายุการใช้งาน และชะลอการเกิดซาก ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยเอื้อต่อการกำกับดูแลซากในอนาคต	

ตารางที่ 4-12 การสร้างแพลตฟอร์มสนับสนุนกลไกการรองรับการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองและระบบการติดตามเซลล์แสงอาทิตย์ภาคครัวเรือน (Solar Rooftop) (ต่อ)

การสร้างแพลตฟอร์มเพื่อสนับสนุนกลไกการรองรับการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองและระบบการติดตามสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ภาคครัวเรือน (Solar Rooftop)		S6 TS
กิจกรรมหลัก	1. สำรวจ และศึกษาความต้องการและเงื่อนไขต่างๆ ที่มีความเป็นไปได้สำหรับการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง 2. จัดทำมาตรฐานการตรวจสอบประสิทธิภาพ และความปลอดภัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง และมาตรฐานของหน่วยงานรับรอง 3. ส่งเสริมและพัฒนาขีดความสามารถของหน่วยปฏิบัติการให้มีความพร้อมในการตรวจสอบประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีการบริการที่สะดวกและรวดเร็ว 4. พัฒนาระบบติดตามแผงมือสอง โดยการขึ้นทะเบียนแผงมือสองที่ถูกนำออกจากระบบอุตสาหกรรม เพื่อสนับสนุนการจัดการซากในอนาคตที่ไม่ถือว่าเป็นวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตาม พ.ร.บ.โรงงาน ให้ยังสามารถติดตามแผงเซลล์แสงอาทิตย์เหล่านั้นได้โดยอาศัยกลไกตามกฎหมายอื่น รวมถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เข้าข่ายโรงงานตั้งแต่เริ่มติดตั้ง (Solar Rooftop) 5. จัดทำกรณีตัวอย่าง การใช้งานแผงมือสองพร้อมแสดงประโยชน์ที่ได้รับในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม และความสอดคล้องกับ SDGs 6.หารือร่วมกันกับผู้ที่เกี่ยวข้อง ให้โรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์จัดทำข้อเสนอทางเลือก และแนวปฏิบัติในการจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนการรื้อถอนต่อหน่วยงานกำกับดูแล เพื่อให้เกิดความชัดเจนเรื่องปริมาณ เวลา และสถานที่ที่จะเกิดซากเข้าสู่กระบวนการกำจัดบำบัด	

ตารางที่ 4-13 การส่งเสริมรูปแบบธุรกิจหมุนเวียนเพื่อรองรับการเปลี่ยนมือ

ส่งเสริมโมเดลธุรกิจหมุนเวียนเพื่อรองรับการเปลี่ยนมือ (แผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง)		S7 CBM
วัตถุประสงค์	เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังอยู่ในระบบที่ติดตามตรวจสอบได้ตลอดวงจรชีวิต	
ปัจจัยเริ่มต้น	S3 S6	
สนับสนุนเป้าหมายหลัก	☒ มีโรงงานนำร่องในการการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในปี พ.ศ. 2566 ☒ สามารถจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระบบและครบวงจร โดยมีการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์กลับมารีไซเคิลได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนักซาก ภายในปี พ.ศ. 2568	
สนับสนุนเป้าหมายอื่น	ธุรกิจสีเขียว	
กลุ่มเครื่องมือ	☐ Cooperative Management Agreements ☒ การเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะ ☐ เศรษฐศาสตร์และกลไกทางการคลัง ☒ กฎหมาย ☐ ความสมัครใจและความร่วมมือของการจัดการทางสิ่งแวดล้อม	
เครื่องมือทางสิ่งแวดล้อม	• รางวัลด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม • การแสดงความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม • การรายงานทางสิ่งแวดล้อมด้วยความสมัครใจ	
เป้าหมายของมาตรการ	ปี พ.ศ. 2565	เกิดธุรกิจในการซื้อขาย เช่า หรือแลกเปลี่ยนแผงมือสอง
หน่วยงานหลัก	1. ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ (ENTEC) 2. ผู้ประกอบการ/นักลงทุน	
หน่วยงานสนับสนุน	1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) 2. กรมควบคุมมลพิษ (คพ.) 3. สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (องค์การมหาชน)	

ตารางที่ 4-13 การส่งเสริมรูปแบบธุรกิจหมุนเวียนเพื่อรองรับการเปลี่ยนมือ (ต่อ)

ส่งเสริมโมเดลธุรกิจหมุนเวียนเพื่อรองรับการเปลี่ยนมือ (แผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง)		S7 CBM
กลุ่มเป้าหมาย	☐ 1. ผู้ผลิต/ผู้นำเข้า/ผู้จัดจำหน่าย ☒ 2. ผู้ใช้งาน ☐ 3. ผู้รวบรวม ☐ 4. ผู้ขนส่ง ☐ 5. ผู้รับบำบัดกำจัด ☐ 6. ผู้ใช้วัสดุขั้นที่สอง ☒ 7. หน่วยงานกำกับดูแล ☒ 8. หน่วยงานสนับสนุนอื่นๆ	
สภาพปัจจุบัน	มีการเปลี่ยนและจำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยังผลิตกระแสไฟฟ้าได้ แต่เนื่องจากประสิทธิภาพลดลงและไม่คุ้มค่าสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อจำหน่าย ซึ่งยังไม่มีกระบวนการควบคุมคุณภาพและความปลอดภัย ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ (ENTEC) เริ่มโครงการ Solar Sure เพื่อแบ่งเกรดคุณภาพของแผงใช้แล้ว	
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ออกจากการกำกับดูแลของกรมโรงงานอุตสาหกรรมยังมีระบบรองรับในการติดตามตรวจสอบได้ ทำให้เกิดการใช้ประโยชน์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างคุ้มค่า ปลอดภัย และส่งเสริมระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนที่ยืดอายุการใช้ สร้างโอกาสในการเข้าถึงพลังงานหมุนเวียน และสร้างธุรกิจสีเขียว	
กิจกรรมหลัก	1. ทำ Material Balance ของโรงงานที่มีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และกวดขันการกำกับดูแลการขออนุญาตจัดการแผงที่ไม่ใช้แล้ว รวมถึงแผงมือสอง อย่างเคร่งครัด 2. การขออนุญาตนำแผงมือสองออกนอกบริเวณโรงงานไม่ว่าจะเป็นการจำหน่ายหรือบริจาค ต้องมีผ่านการรับรองประสิทธิภาพและความปลอดภัย 3. ขึ้นทะเบียนแผงมือสองผ่านระบบติดตาม เพื่อให้ทราบตำแหน่งการใช้งานของแผงเมื่อแผงเหล่านั้นไม่อยู่ในระบบของกากอุตสาหกรรม 4. อบรมให้ความรู้ ทดสอบ และขึ้นทะเบียนผู้ที่สนใจในการเป็นผู้ตรวจสอบคุณภาพแผงมือสอง 5. สนับสนุนให้เกิดตลาดในการซื้อขาย เช่า แลกเปลี่ยน แผงมือสอง 6. หาหรือความเป็นไปได้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อเพิ่มเติมแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าเป็นผลิตภัณฑ์ควบคุม หลังจากร่าง พ.ร.บ. WEEE มีการบังคับใช้ หมายเหตุ: ปัจจุบัน (ร่าง) พระราชบัญญัติการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ระหว่างขั้นตอนการพิจารณาของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งกรมควบคุมมลพิษคาดการณ์ว่า (ร่าง) ดังกล่าว จะเรียบร้อยประมาณเดือน กรกฎาคม - สิงหาคม 2564	

ตารางที่ 4-14 การพัฒนาหลักประหยัพลังงานและการจัดซื้อจัดจ้างสีเขียวของเซลล์แสงอาทิตย์

การพัฒนาหลักประหยัพลังงานที่ส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน และการกระตุ้นตลาดด้วยกลไกการจัดซื้อจัดจ้างสีเขียว		S8 LGP
วัตถุประสงค์	เพื่อสร้างกลไกตลาดเป็นกลไกภาคสมัครใจสำหรับผู้ผลิตและผู้บริโภคในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	
ปัจจัยเริ่มต้น	S4 S5 หรือ S6	
สนับสนุนเป้าหมายหลัก	☒ มีโรงงานนำร่องในการการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในปี พ.ศ. 2566 ☒ สามารถจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระบบและครบวงจร โดยมีการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์กลับมารีไซเคิลได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนักซาก ภายในปี พ.ศ. 2568	
สนับสนุนเป้าหมายอื่น	ส่งเสริมให้เกิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนครบวงจร	
กลุ่มเครื่องมือ	☐ ข้อตกลงร่วมของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ☒ การเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะ ☐ เศรษฐศาสตร์และกลไกทางการคลัง ☐ กฎหมาย ☒ ความสมัครใจและความร่วมมือของการจัดการทางสิ่งแวดล้อม	
เครื่องมือทางสิ่งแวดล้อม	• ฉลากสิ่งแวดล้อม • การรายงานทางสิ่งแวดล้อม • รางวัลด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม • การแสดงความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม • การจัดซื้อจัดจ้างสีเขียว	
เป้าหมายของมาตรการ	ปี พ.ศ. 2567	ข้อกำหนดฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 ของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีข้อกำหนดเรื่องการจัดการซากร่วมอยู่ด้วย
	ปี พ.ศ. 2567	ประชาสัมพันธ์ฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 ของเซลล์แสงอาทิตย์
	ปี พ.ศ. 2567	ส่งเสริมการจัดซื้อจัดจ้างสีเขียวทั้งกลไกการจัดซื้อจัดจ้างสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมภาครัฐ และภาคเอกชน

ตารางที่ 4-14 การพัฒนาหลักประหยัพลังงานและการจัดซื้อจัดจ้างสีเขียวของเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

การพัฒนาหลักประหยัพลังงานที่ส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน และการกระตุ้นตลาด ด้วยกลไกการจัดซื้อจัดจ้างสีเขียว		S8 LGP
หน่วยงานหลัก	1. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) 2. กรมควบคุมมลพิษ (คพ.)	
หน่วยงานสนับสนุน	1. ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ (ENTEC) 2. กรมบัญชีกลาง 3. สื่อมวลชน 4. Influencer 5. สถาบันการศึกษา	
กลุ่มเป้าหมาย	☒ 1. ผู้ผลิต/ผู้นำเข้า/ผู้จัดจำหน่าย ☒ 2. ผู้ใช้งาน ☐ 3. ผู้รวบรวม ☐ 4. ผู้ขนส่ง ☐ 5. ผู้รับบำบัดกำจัด ☐ 6. ผู้ใช้วัสดุขั้นที่สอง ☐ 7. หน่วยงานกำกับดูแล ☒ 8. หน่วยงานสนับสนุนอื่นๆ	
สภาพปัจจุบัน	ยังไม่มีตลาดแสดงระดับประสิทธิภาพพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์	
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	มีกลไกภาคสมัครใจเพื่อเติมเต็มกลไกหลักในภาคบังคับ โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นของกลไกการจัดการซากที่ไม่ใช่กากอุตสาหกรรม และสามารถใช้เป็นกลไกในการพัฒนาระดับผลิตภัณฑ์ต่อไปในอนาคต	
กิจกรรมหลัก	1. จัดทำร่างข้อกำหนดโครงการตามกระบวนการของฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 และกำหนดขอบเขตของการจัดการซากที่ต้องการควบคุม เช่น มีกลไกการเรียกคืน มีการแสดงข้อมูลองค์ประกอบ มีการออกแบบเพื่อการรีไซเคิลได้ง่ายขึ้น เป็นต้น 2. เตรียมความพร้อมและรับสมัครผู้เข้าร่วมโครงการ 3. ติดตาม และทำการประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อช่องทางต่างๆ 4. ประสานงานกับผู้ที่เกี่ยวข้องในการส่งเสริมแนวปฏิบัติตามการจัดซื้อจัดจ้างสีเขียว หมายเหตุ: ฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่สนับสนุนให้เกิดการพัฒนากระบวนการออกแบบ ไปจนถึงการจัดการซากผลิตภัณฑ์ตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะบูรณาการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 กับการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น ระบบการติดตาม การระบุสัดส่วนการรีไซเคิล เป็นต้น ซึ่งจะต้องหารือในรายละเอียดต่อไป	

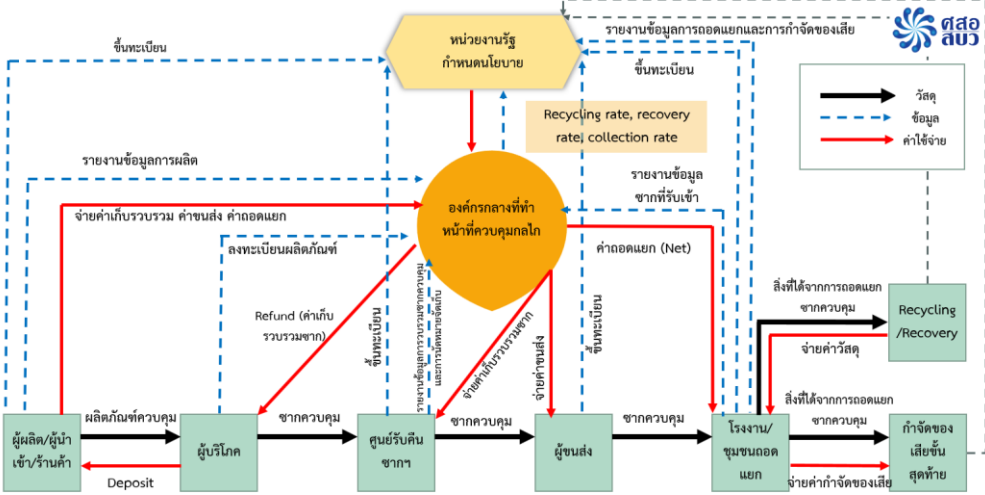
ตารางที่ 4-15 การทดลองนำร่องจำลอง (Role Play) กระบวนการรวบรวมและรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์

การทดลองนำร่องจำลองกระบวนการรวบรวมและรีไซเคิล และจัดทำรายละเอียดสำหรับกำหนดเป็นผลิตภัณฑ์ควบคุมเพิ่มเติมตามหลักการความรับผิดชอบต่อที่เพิ่มขึ้นของผู้ผลิต (Extend Producer Responsibility) ภายใต้ร่าง พ.ร.บ. WEEE		S9 EPR
วัตถุประสงค์	เพื่อให้มีกลไกในการนำซากส่วนที่ไม่เข้าข่ายเป็นกากอุตสาหกรรมเข้าสู่ระบบได้ทั้งหมด โดยอาศัยระบบขององค์กรกลางที่คาดว่าจะใช้กับการจัดการซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	
ปัจจัยเริ่มต้น	S1 S2 S3 S4 และ ร่าง พ.ร.บ. WEEE มีผลบังคับใช้ รวมถึงมีกฎกระทรวงระบุรายละเอียดที่จำเป็นในการกำหนดผลิตภัณฑ์เป็นผลิตภัณฑ์ควบคุม	
สนับสนุนเป้าหมายหลัก	☒ มีโรงงานนำร่องในการการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในปี พ.ศ. 2566 ☒ สามารถจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระบบและครบวงจร โดยมีการนำกลับวัสดุในซากเซลล์แสงอาทิตย์กลับมารีไซเคิลได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนักซาก ภายในปี พ.ศ. 2568	
สนับสนุนเป้าหมายอื่น	ส่งเสริมให้เกิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนครบวงจร	
กลุ่มเครื่องมือ	☐ ข้อตกลงร่วมของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ☐ การเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะ ☒ เศรษฐศาสตร์และกลไกทางการคลัง ☐ กฎหมาย ☐ ความสมัครใจและความร่วมมือของการจัดการทางสิ่งแวดล้อม	
เครื่องมือทางสิ่งแวดล้อม	● ความรับผิดชอบทางกฎหมาย ● ระบบมัดจำคืนเงิน ● ค่าธรรมเนียมและภาษีของผลิตภัณฑ์ ● การปฏิรูปกลไกทางการคลังเชิงนิเวศ	
เป้าหมายของมาตรการ	ปี พ.ศ. 2567	ข้อมูลจากการทดลองนำร่องกระบวนการรวบรวมและรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์
	ปี พ.ศ. 2568	รายละเอียดสำหรับการประกาศให้เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นผลิตภัณฑ์ควบคุมตาม ร่าง พ.ร.บ. WEEE

ตารางที่ 4-15 การทดลองนำร่องจำลอง (Role Play) กระบวนการรวบรวมและรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

การทดลองนำร่องจำลองกระบวนการรวบรวมและรีไซเคิล และจัดทำรายละเอียดสำหรับกำหนดเป็นผลิตภัณฑ์ควบคุมเพิ่มเติมตามหลักการความรับผิดชอบที่เพิ่มขึ้นของผู้ผลิต (Extend Producer Responsibility) ภายใต้ร่าง พ.ร.บ. WEEE		S9 EPR
หน่วยงานหลัก	1. กรมควบคุมมลพิษ (คพ.) 2. กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) 3. สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.) 4. องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) 5. ผู้รวบรวม/ขนส่ง 6. ผู้รีไซเคิล	
หน่วยงานสนับสนุน	1. คณะทำงานร่วมระหว่างหน่วยงาน (JTF)	
กลุ่มเป้าหมาย	☒ 1. ผู้ผลิต/ผู้นำเข้า/ผู้จัดจำหน่าย ☒ 2. ผู้ใช้งาน ☒ 3. ผู้รวบรวม ☒ 4. ผู้ขนส่ง ☒ 5. ผู้รับบำบัดกำจัด ☒ 6. ผู้ใช้วัสดุขั้นที่สอง ☒ 7. หน่วยงานกำกับดูแล ☐ 8. หน่วยงานสนับสนุนอื่นๆ	
สภาพปัจจุบัน	ร่าง พ.ร.บ. WEEE จะถูกนำเข้าพิจารณาอีกครั้งประมาณกลางปี พ.ศ. 2564 ในระหว่างนี้อยู่ระหว่างการศึกษาลำลองกระบวนการติดตามซาก และการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์ควบคุมที่ระบุใน ร่าง พ.ร.บ. WEEE จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ คอมพิวเตอร์ เครื่องโทรศัพท์ และโทรศัพท์ไร้สาย เครื่องปรับอากาศ เครื่องรับโทรทัศน์ และตู้เย็น โดยผลการศึกษาเพื่อพัฒนาและทดลองระบบติดตามซากแบบดิจิทัลตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ไปจนกระทั่งเป็นวัตถุดิบขั้นที่สองเพื่อเป็นเครื่องมือขององค์กรกลางในการบริหารจัดการระบบ และเป็นการศึกษาต้นทุนของกลไกที่มีองค์กรกลางในการจัดการ	
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	มีข้อมูลสำหรับพิจารณาความเหมาะสมในการนำซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ไม่อยู่ภายใต้ พ.ร.บ. โรงงาน เข้าเป็นซากควบคุม	
กิจกรรมหลัก	1. ทบทวนกรณีศึกษาของการจำลองกระบวนการติดตามซาก และการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์ควบคุม 5 ชนิด และกำหนดรายละเอียดที่จำเป็นต้องใช้ในการกำหนดผลิตภัณฑ์ควบคุม 2. กำหนดผู้ที่มีศักยภาพในการเป็นศูนย์รวบรวม ขนส่ง ถอดแยก รีไซเคิล และกำจัดเศษเหลือจากการรีไซเคิล และองค์กรกลางเพื่อทดลองนำร่องกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า	

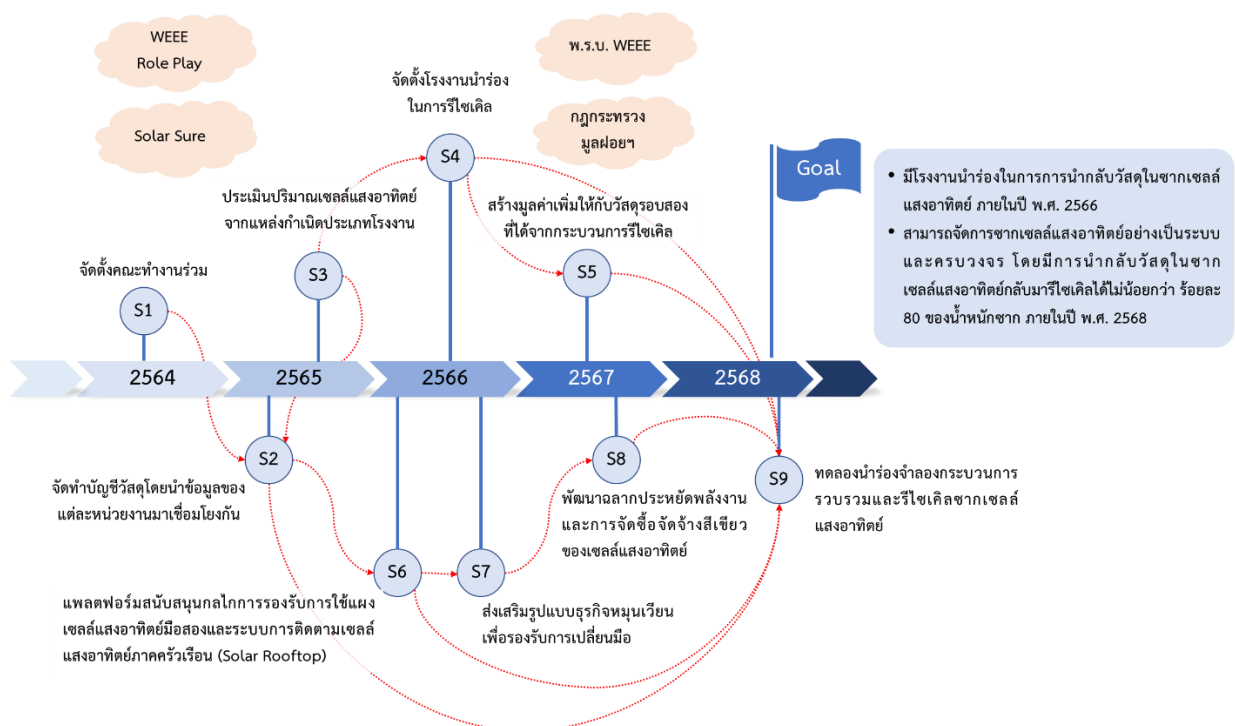
ตารางที่ 4-15 การทดลองนำร่องจำลอง (Role Play) กระบวนการรวบรวมและรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

กิจกรรมหลัก	การทดลองนำร่องจำลองกระบวนการรวบรวมและรีไซเคิล และจัดทำรายละเอียดสำหรับกำหนดเป็นผลิตภัณฑ์ควบคุมเพิ่มเติมตามหลักการความรับผิดชอบต่อที่เพิ่มขึ้นของผู้ผลิต (Extend Producer Responsibility) ภายใต้ร่าง พ.ร.บ. WEEE	S9 EPR
3. จำลองบทบาทของผู้ที่เกี่ยวข้องตามกลไก แสดงดังรูปที่ 4-7	 รูปที่ 4-7 ร่างกลไกการบริหารจัดการซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยองค์กรกลาง 4. ประมวลผลเพื่อจัดทำรายการวัสดุที่ถอดแยกได้ทั้งหมด (Bill of Recovered Materials) ส่วนที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ ส่วนที่ต้องบำบัดกำจัด เพื่อนำมาคำนวณค่าใช้จ่ายสุทธิในการจัดการ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการรวบรวม ขนส่ง เพื่อให้ได้ต้นทุนของระบบที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาเพิ่มเติมในกฎกระทรวง 5. พิจารณาความเหมาะสมในการเพิ่มเป็นซากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นซากควบคุม หมายเหตุ: ปัจจุบัน (ร่าง) พระราชบัญญัติการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ระหว่างขั้นตอนการพิจารณาของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งกรมควบคุมมลพิษคาดการณ์ว่า (ร่าง) ดังกล่าว จะเรียบร้อยประมาณเดือน กรกฎาคม - สิงหาคม 2564	

กรอบเวลาและมาตรการต่างๆ ของ (ร่าง) แผนที่นำทางในการจัดการซาก

สำหรับมาตรการและเป้าหมายใน (ร่าง) แผนที่นำทาง เมื่อพิจารณาองค์ประกอบแวดล้อมอื่นๆ ได้แก่ การมีผลบังคับใช้ของกฎกระทรวง การจัดการมูลฝอยที่เป็นพิษหรืออันตรายจากชุมชน พ.ศ. 2563 การคาดการณ์การมีผลบังคับใช้ของ (ร่าง) พ.ร.บ. การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งคาดว่าจะอยู่ราวปี พ.ศ. 2566 – 2567 โครงการหลักๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น โครงการ Solar sure ของศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ (ENTEC) และโครงการจำลองบทบาทสมมติการรวบรวมซากควบคุมโดยอาศัยกลไกองค์กรกลางตามหลักการความรับผิดชอบที่เพิ่มขึ้นของผู้ผลิต (Extended Producer Responsibility – EPR) ในปี พ.ศ. 2564 จากเงื่อนไขเหล่านี้ร่วมกับการคาดการณ์ปริมาณซากที่จะเกิดขึ้น จึงได้กำหนดกรอบเวลาของแต่ละมาตรการ แสดงดังรูปที่ 4-8

การจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4-8 กรอบเวลาของ (ร่าง) แผนที่นำทางในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปัญญ์ จันทร์ลออ. “มาตรการทางกฎหมายในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์” วิทยานิพนธ์นิติศาสตรมหาบัณฑิต สาขากฎหมายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2559.
- [2] กระทรวงสาธารณสุข. 2558. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 132 ตอนพิเศษ 165 ง ลงวันที่ 17 กรกฎาคม 2558. กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข.
- [3] กระทรวงสาธารณสุข. 2558. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ. 2558, ข้อ 3. กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข.
- [4] สุจิตรา วาสนาดำรงดี. “ร่าง พ.ร.บ. การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (ฉบับปรับปรุงแก้ไข): ความหวังหรือความสิ้นหวัง?” [Online]. Available: <https://thaipublica.org/2015/11/sujittra-e-waste/>. 2021.
- [5] นิชชา บุณยสิงห์. “ข้อมูลพื้นฐานเรื่อง ขยะอิเล็กทรอนิกส์”. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. พ.ศ. 2559.
- [6] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2563. โครงการพัฒนามาตรฐานด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดใช้พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (การจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ประกอบและแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า), บทที่ 13 จัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายการบริหารจัดการซากอย่างครบวงจรและจัดทำแผนที่นำทาง (Road map)

บทที่ 5

ข้อมูลผังการไหลของวัสดุ (Material flow analysis: MFA) ของเซลล์แสงอาทิตย์

ผังการไหลของวัสดุ (Material flow analysis : MFA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการอธิบาย/วิเคราะห์การไหลของวัสดุภายในระบบ ตั้งแต่เส้นทางเข้าของวัตถุดิบ เส้นทางออกของผลิตภัณฑ์ การอุปโภค-บริโภค การกำจัด ตลอดจนเส้นทางการปล่อยมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณ ตามแนวคิดสมดุลมวลสาร (Mass balance) [1] ซึ่งการทำผังการไหลของวัสดุส่วนใหญ่มักต่อยอดไปสู่การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยคำนวณจากสมดุลมวลสารที่เกิดขึ้นออกมาเป็นตัวเลขในเชิงผลกระทบ ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณนี้เรียกว่า การทำบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต (Life cycle inventory: LCI) เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการได้มาซึ่งข้อมูล การได้ข้อมูลที่ละเอียด ถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือ จะทำให้สามารถนำไปวางแผนการใช้ทรัพยากร การวางนโยบาย การคาดการณ์ปริมาณต่างๆ รวมถึงการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ใกล้เคียงความเป็นจริงยิ่งขึ้น

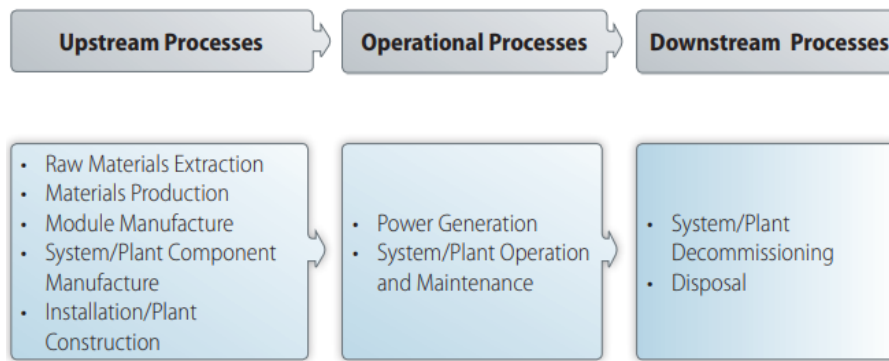
5.1 ข้อมูลผังการไหลของวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ

NREL (National renewable energy laboratory) เป็นหน่วยงานสังกัดภายใต้กระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกา ได้แบ่งภาพรวมผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักคือ ต้นน้ำ (Upstream processes) กลางน้ำ (Midstream processes) และปลายน้ำ (Downstream processes) [2] โดยรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนแบ่งตามลักษณะการติดตั้งได้ดังนี้

1) เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการติดตั้งบนพื้นดิน (Solar farm) เพื่อการประกอบกิจการผลิตและจำหน่ายกระแสไฟฟ้าในเชิงอุตสาหกรรม ประกอบด้วย

- ต้นน้ำ (Upstream processes) เป็นกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงกระบวนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อประกอบกิจการผลิตกระแสไฟฟ้าในเชิงอุตสาหกรรม
- กลางน้ำ (Midstream processes หรือ Operational processes) เป็นขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า การบำรุงรักษาเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการใช้งาน
- ปลายน้ำ (Downstream processes) คือขั้นตอนการรื้อถอนเซลล์แสงอาทิตย์ การนำซากเซลล์แสงอาทิตย์ไปจัดการ ยกตัวอย่างเช่น การใช้ซ้ำ การรีไซเคิล การกำจัดด้วยวิธีอื่นๆ เป็นต้น

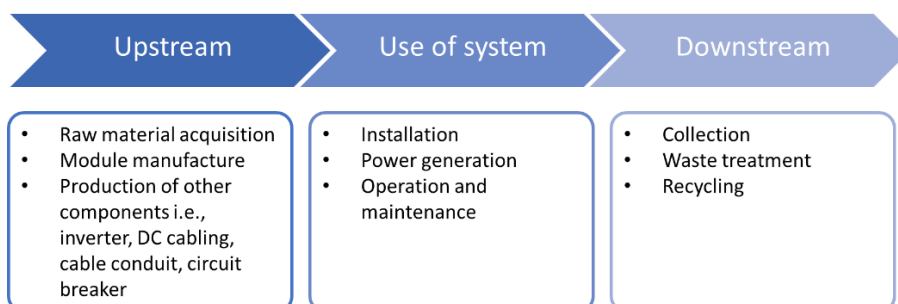
โดยผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบการติดตั้งบนพื้นดินตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำแสดงได้ดังรูปที่ 5-1



รูปที่ 5-1 ภาพรวมผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน [2]

2) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar rooftop) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้งานเองเป็นหลักนั้น ภาพรวมผังการไหลประกอบด้วย 3 กระบวนการหลักเช่นเดียวกับผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน หากแต่มีความแตกต่างกันในขั้นตอนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินรวมการติดตั้งอยู่ในกระบวนการต้นน้ำ ขณะที่ขั้นตอนการติดตั้งของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาจะอยู่ในกระบวนการกลางน้ำร่วมกับการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งาน [3] ผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาแสดงดังรูปที่ 5-2 ได้แก่

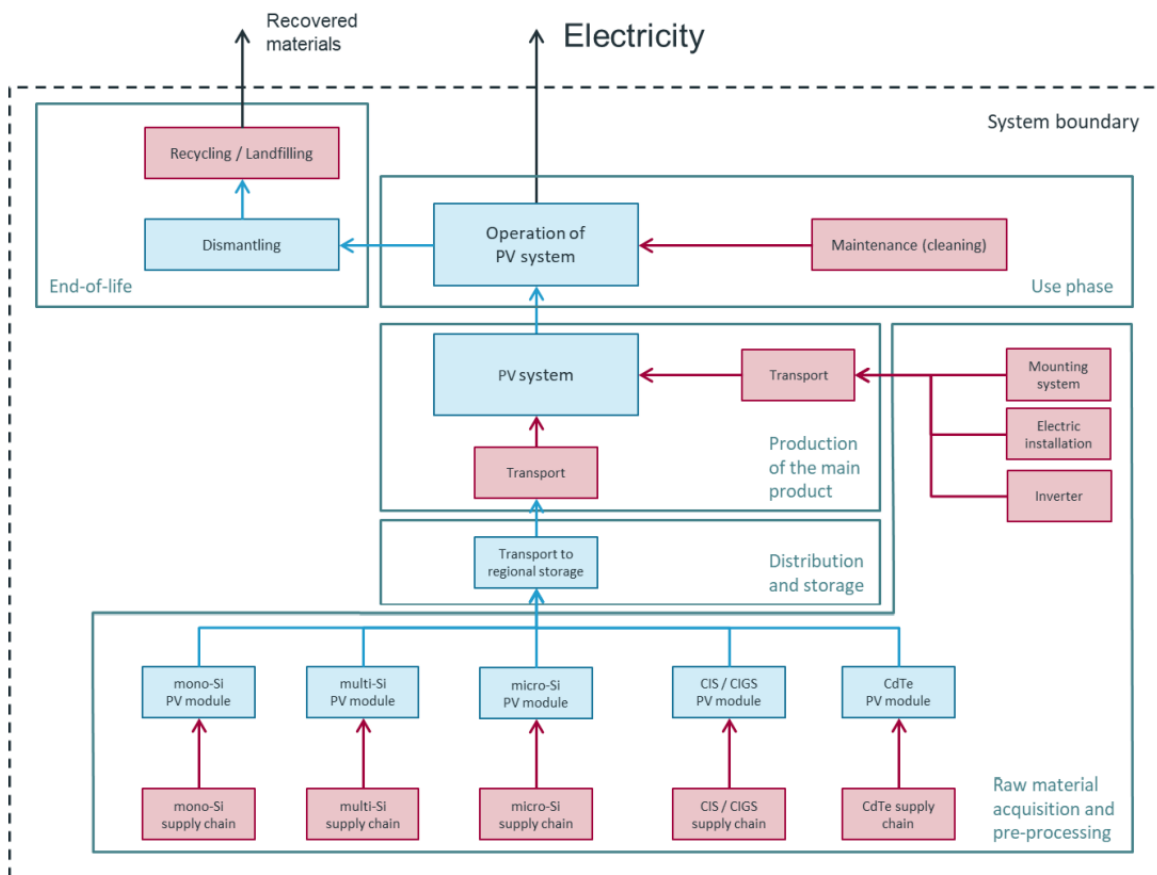
- ต้นน้ำ (Upstream processes) คือกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้งานทั่วไป
- กลางน้ำ (Midstream processes หรือ Use of system) เป็นขั้นตอนการนำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ซื้อจากร้านค้าปลีกต่างๆ มาติดตั้งเพื่อการใช้งาน รวมถึงขั้นตอนการบำรุงรักษา
- ปลายน้ำ (Downstream processes) เป็นขั้นตอนการรื้อถอน การรวบรวม และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 5-2 ภาพรวมผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา [3]

5.1.1 ผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ

องค์การพลังงานระหว่างประเทศ หรือ IEA (International energy agency) มีการจัดทำบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต (LCI) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ ขึ้น โดยเป็นการรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณจากทั่วโลกในปี ค.ศ. 2020 เพื่อสรุปเป็นค่ากลางของแต่ละภูมิภาค ได้แก่ 1) จีน (China: CN) 2) เอเชีย-แปซิฟิก (Asia and Pacific: APAC) 3) อเมริกา (Americas: US) และ 4) ยุโรป (Europe (continental): RER) [4] ซึ่งมีขอบเขตตลอดวัฏจักรชีวิตตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (Extraction of raw materials) จนถึงการทิ้งซากเซลล์แสงอาทิตย์ (Disposal) หรือการรีไซเคิลองค์ประกอบซากเซลล์แสงอาทิตย์กลับมาใช้ใหม่ (Recycling and recovery) ดังรูปที่ 5-3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการคำนวณการตลอดห่วงโซ่อุปทานเหล่านี้ก็จัดอยู่ในหมวดหมู่หลักตามที่กล่าวไปในรูปที่ 5-1 และ 5-2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



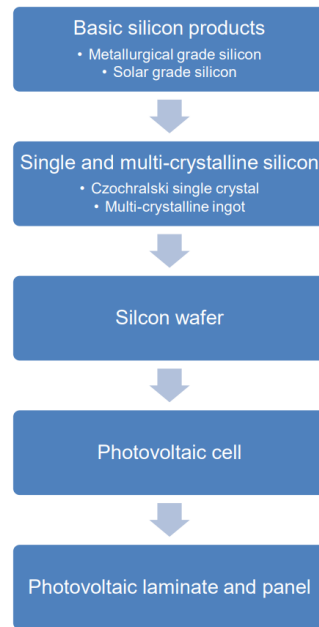
รูปที่ 5-3 ขอบเขตตลอดวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

5.1.1.1 บัญชีรายการกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

1) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก (Crystalline-Si PV)

องค์ประกอบหลักในกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกประกอบด้วย ขั้นตอนการทำซิลิคอนให้บริสุทธิ์ (Silicon purification) การผลิตซิลิคอนผลึก (Crystallization) การทำชิ้นรูปเวเฟอร์ (Wafering) การผลิตเซลล์ (Cell processing) และการผลิตแผง/โมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์ (Module

assembly) ดังรูปที่ 5-4 ซึ่งเริ่มจากการนำแร่ควอตซ์มาสกัด/ผลิตเป็นซิลิคอนเกรดโลหะ (Metallurgical-grade silicon: MG-silicon) แล้วทำให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้นจนเหมาะแก่การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar-grade polysilicon) โดยขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์นี้ใช้พลังงานสูง อีกทั้งมีการปล่อยมลพิษทางอากาศ เช่น ไฮโดรเจน (SiH_4) ไตรคลอโรไฮโดรเจน (SiHCl_3) เป็นต้น



รูปที่ 5-4 กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก (Crystalline-Si PV) [4]

- ขั้นตอนการทำซิลิคอนให้บริสุทธิ์

ข้อมูลบัญชีรายการของขั้นตอนการทำซิลิคอนให้บริสุทธิ์ หรือการผลิตซิลิคอนเกรดโลหะ (MG-silicon) ทางองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) ได้รวบรวมข้อมูลเพื่อเป็นตัวแทนแต่ละภูมิภาค โดยข้อมูลไฟฟ้าที่ใช้การผลิตของยุโรปเป็นการอ้างอิงจากโรงงานผลิตซิลิคอนเกรดโลหะที่ตั้งอยู่ในประเทศนอร์เวย์ (Norway: NO) กลุ่มประเทศเอเชีย-แปซิฟิก (APAC) อ้างอิงข้อมูลจากประเทศเกาหลีใต้ เนื่องจากเป็นประเทศที่มีการผลิตซิลิคอนเกรดโลหะในสัดส่วนสูงสุดในกลุ่มประเทศเอเชีย-แปซิฟิก สำหรับข้อมูลของอเมริกาอ้างอิงจากประเทศแถบอเมริกาเหนือ (แคนาดาและสหรัฐอเมริกา) อย่างไรก็ตามการรวบรวมข้อมูลปริมาณวัตถุดิบที่เข้าสู่ระบบ รวมถึงข้อมูลปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นมีความจำกัด จึงเห็นได้จากตารางที่ 5-1 ปริมาณวัตถุดิบขาเข้า และมลพิษขาออกของทั้ง 4 ภูมิภาค มีปริมาณเท่ากัน โดยใช้ค่ากลางจากแหล่งประเทศต่างๆ เช่น ควอตซ์หรือทรายซิลิกา (Silica sand) อ้างอิงข้อมูลปริมาณการใช้จากประเทศเยอรมนี (Germany/Deutsch: DE) จำนวน 2.70 กิโลกรัม (kg) ต่อผลิตภัณฑ์ซิลิคอนเกรดโลหะ 1 kg เป็นต้น ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตนั้นบันทึกจากตัวแทนแต่ละภูมิภาค โดยในที่นี้ไม่มีความแตกต่างกัน [4]

การผลิตซิลิคอนเกรดโลหะ 1 kg มีการใช้วัตถุดิบได้แก่ ทรายซิลิกา ไม้ ถ่าน ก๊าซออกซิเจน เป็นต้น และมีของเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต เช่น ตะกรัน ความร้อน ฝุ่นโลหะต่างๆ ไอระเหย ก๊าซไนโตรเจน

ออกไซด์ ก๊าซซิลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น สรุปบัญชีรายการขั้นตอนการผลิตซิลิคอนเกรดโลหะ แสดงดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตซิลิคอนเกรดโลหะโดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	MG-silicon, at plant			
						MG-silicon, at plant	MG-silicon, at plant	MG-silicon, at plant	MG-silicon, at plant
						NO	CN	US	APAC
product	MG-silicon, at plant	NO	0	kg	1	0	0	0	0
	MG-silicon, at plant	CN	0	kg	0	1	0	0	0
	MG-silicon, at plant	US	0	kg	0	0	1	0	0
	MG-silicon, at plant	APAC	0	kg	0	0	0	0	1
technosphere	electricity, medium voltage, at grid	NO	0	kWh	1.10E+1	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	CN	0	kWh	0	1.10E+1	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	US	0	kWh	0	0	1.10E+1	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	KR	0	kWh	0	0	0	0	1.10E+1
	wood chips, production mix, wet, measured as dry mass, at forest road & at sawmill	RER	0	kg	3.25E-3	3.25E-3	3.25E-3	3.25E-3	3.25E-3
	hard coal coke, at plant	RER	0	MJ	2.31E+1	2.31E+1	2.31E+1	2.31E+1	2.31E+1
	graphite, at plant	RER	0	kg	1.00E-1	1.00E-1	1.00E-1	1.00E-1	1.00E-1
	charcoal, at plant	GLO	0	kg	1.70E-1	1.70E-1	1.70E-1	1.70E-1	1.70E-1
	petroleum coke, at refinery	RER	0	kg	5.00E-1	5.00E-1	5.00E-1	5.00E-1	5.00E-1
	silica sand, at plant	DE	0	kg	2.70E+0	2.70E+0	2.70E+0	2.70E+0	2.70E+0
	oxygen, liquid, at plant	RER	0	kg	2.00E-2	2.00E-2	2.00E-2	2.00E-2	2.00E-2
	disposal, slag from MG silicon production, 0% water, to inert material landfill	CH	0	kg	2.50E-2	2.50E-2	2.50E-2	2.50E-2	2.50E-2
	silicone plant	RER	1	unit	1.00E-11	1.00E-11	1.00E-11	1.00E-11	1.00E-11
	transport, transoceanic freight ship	OCE	0	tkm	2.55E+0	2.55E+0	2.55E+0	2.55E+0	2.55E+0
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	1.56E-1	1.56E-1	1.56E-1	1.56E-1	1.56E-1
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	6.90E-2	6.90E-2	6.90E-2	6.90E-2	6.90E-2
emission air, low population density	Heat, waste	-	-	MJ	7.13E+1	7.13E+1	7.13E+1	7.13E+1	7.13E+1
	Arsenic	-	-	kg	9.42E-9	9.42E-9	9.42E-9	9.42E-9	9.42E-9
	Aluminium	-	-	kg	1.55E-6	1.55E-6	1.55E-6	1.55E-6	1.55E-6
	Antimony	-	-	kg	7.85E-9	7.85E-9	7.85E-9	7.85E-9	7.85E-9
	Boron	-	-	kg	2.79E-7	2.79E-7	2.79E-7	2.79E-7	2.79E-7
	Cadmium	-	-	kg	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10
	Calcium	-	-	kg	7.75E-7	7.75E-7	7.75E-7	7.75E-7	7.75E-7
	Carbon monoxide, biogenic	-	-	kg	6.20E-4	6.20E-4	6.20E-4	6.20E-4	6.20E-4
	Carbon monoxide, fossil	-	-	kg	1.38E-3	1.38E-3	1.38E-3	1.38E-3	1.38E-3
	Carbon dioxide, biogenic	-	-	kg	1.61E+0	1.61E+0	1.61E+0	1.61E+0	1.61E+0
	Carbon dioxide, fossil	-	-	kg	3.58E+0	3.58E+0	3.58E+0	3.58E+0	3.58E+0
	Chromium	-	-	kg	7.85E-9	7.85E-9	7.85E-9	7.85E-9	7.85E-9
	Chlorine	-	-	kg	7.85E-8	7.85E-8	7.85E-8	7.85E-8	7.85E-8
	Cyanide	-	-	kg	6.87E-6	6.87E-6	6.87E-6	6.87E-6	6.87E-6
	Fluorine	-	-	kg	3.88E-8	3.88E-8	3.88E-8	3.88E-8	3.88E-8
	Hydrogen sulfide	-	-	kg	5.00E-4	5.00E-4	5.00E-4	5.00E-4	5.00E-4
	Hydrogen fluoride	-	-	kg	5.00E-4	5.00E-4	5.00E-4	5.00E-4	5.00E-4
	Iron	-	-	kg	3.88E-6	3.88E-6	3.88E-6	3.88E-6	3.88E-6
	Lead	-	-	kg	3.44E-7	3.44E-7	3.44E-7	3.44E-7	3.44E-7
	Mercury	-	-	kg	7.85E-9	7.85E-9	7.85E-9	7.85E-9	7.85E-9
	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	9.60E-5	9.60E-5	9.60E-5	9.60E-5	9.60E-5
	Nitrogen oxides	-	-	kg	9.74E-3	9.74E-3	9.74E-3	9.74E-3	9.74E-3
	Particulates, > 10 um	-	-	kg	7.75E-3	7.75E-3	7.75E-3	7.75E-3	7.75E-3
	Potassium	-	-	kg	6.20E-5	6.20E-5	6.20E-5	6.20E-5	6.20E-5
	Silicon	-	-	kg	7.51E-3	7.51E-3	7.51E-3	7.51E-3	7.51E-3
	Sodium	-	-	kg	7.75E-7	7.75E-7	7.75E-7	7.75E-7	7.75E-7
	Sulfur dioxide	-	-	kg	1.22E-2	1.22E-2	1.22E-2	1.22E-2	1.22E-2
	Tin	-	-	kg	7.85E-9	7.85E-9	7.85E-9	7.85E-9	7.85E-9

หมายเหตุ: NO = Norway, CN = China, US = America, APAC = Asia-Pacific, KR = South Korea, RER = Europe (continental), GLO = Global, DE = Germany, CH = Switzerland, OCE = Oceanic

● ขั้นตอนการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์

การผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ต้องการซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูงกว่า 99.9999% (Six nines pure) ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้การผลิตของภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก อ้างอิงจากประเทศเกาหลีใต้ พลังงานไฟฟ้าของภูมิภาคอเมริกาอ้างอิงจากแถบประเทศอเมริกาเหนือที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำเป็นหลัก โดยตารางที่ 5-2 แสดงบัญชีรายการขั้นตอนการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าการผลิตซิลิคอนบริสุทธิ์ 1 kg ต้องการใช้ซิลิคอนเกรดโลหะ (MG-silicon) 1.13 kg กรดไฮโดรคลอริก 1.60 kg ไฮโดรเจนเหลว 0.05 kg โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.35 kg และมีการใช้ไฟฟ้าแตกต่างกันไปตามแต่ละภูมิภาคตามแต่ละตัวแทน นอกจากนี้ก็มีการปล่อยน้ำเสียปนเปื้อน เช่น ทองแดง สังกะสี เหล็ก เป็นต้น แต่มีปริมาณน้อยเมื่อคิดเทียบเป็นสัดส่วนต่อ 1 kg ซิลิคอนบริสุทธิ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกระบวนการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีระบบการบำบัดน้ำเสียด้วย [4]

ตารางที่ 5-2 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant
						RER	CN	US	APAC
						0 kg	0 kg	0 kg	0 kg
product	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	RER	0	kg	1	0	0	0	0
	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	CN	0	kg	0	1	0	0	0
	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	US	0	kg	0	0	1	0	0
	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	APAC	0	kg	0	0	0	1	1
technosphere	MG-silicon, at plant	NO	0	kg	1.13E+0	0	0	0	0
	MG-silicon, at plant	CN	0	kg	0	1.13E+0	0	0	0
	MG-silicon, at plant	US	0	kg	0	0	1.13E+0	0	0
	MG-silicon, at plant	APAC	0	kg	0	0	0	1.13E+0	1.13E+0
	hydrochloric acid, 30% in H ₂ O, at plant	RER	0	kg	1.60E+0	1.60E+0	1.60E+0	1.60E+0	1.60E+0
	hydrogen, liquid, at plant	RER	0	kg	5.01E-2	5.01E-2	5.01E-2	5.01E-2	5.01E-2
	sodium hydroxide, 50% in H ₂ O, production mix, at plant	RER	0	kg	3.48E-1	3.48E-1	3.48E-1	3.48E-1	3.48E-1
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	2.87E+0	2.87E+0	2.87E+0	2.87E+0	2.87E+0
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	3.65E+0	3.65E+0	3.65E+0	3.65E+0	3.65E+0
	electricity, at cogen 1MWe lean burn, allocation exergy	RER	0	kWh	1.75E+1	0	0	0	0
	electricity, hydropower, at run-of-river power plant	RER	0	kWh	3.93E+0	0	1.18E+1	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	DE	0	kWh	2.23E+1	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	NO	0	kWh	5.37E+0	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	CN	0	kWh	0	4.90E+1	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	US	0	kWh	0	0	3.72E+1	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	KR	0	kWh	0	0	0	4.90E+1	0
	heat, at cogen 1MWe lean burn, allocation exergy	RER	0	MJ	2.88E+1	2.88E+1	2.88E+1	2.88E+1	2.88E+1
	silicone plant	RER	1	unit	1.00E-11	1.00E-11	1.00E-11	1.00E-11	1.00E-11

ตารางที่ 5-2 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant
					RER	CN	US	APAC
					0	0	0	0
product	Location InfrastructureProcess Unit				kg	kg	kg	kg
	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	RER	0	kg	1	0	0	0
	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	CN	0	kg	0	1	0	0
	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	US	0	kg	0	0	1	0
	silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant	APAC	0	kg	0	0	0	1
emission air, high population density emission water, river	Heat, waste	-	-	MJ	1.76E+2	1.76E+2	1.76E+2	1.76E+2
	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	-	-	kg	1.26E-5	1.26E-5	1.26E-5	1.26E-5
	BOD5, Biological Oxygen Demand	-	-	kg	2.05E-4	2.05E-4	2.05E-4	2.05E-4
	COD, Chemical Oxygen Demand	-	-	kg	2.02E-3	2.02E-3	2.02E-3	2.02E-3
	Chloride	-	-	kg	3.60E-2	3.60E-2	3.60E-2	3.60E-2
	Copper	-	-	kg	1.02E-7	1.02E-7	1.02E-7	1.02E-7
	Nitrogen	-	-	kg	2.08E-4	2.08E-4	2.08E-4	2.08E-4
	Phosphate	-	-	kg	2.80E-6	2.80E-6	2.80E-6	2.80E-6
	Sodium, ion	-	-	kg	3.38E-2	3.38E-2	3.38E-2	3.38E-2
	Zinc	-	-	kg	1.96E-6	1.96E-6	1.96E-6	1.96E-6
	Iron	-	-	kg	5.61E-6	5.61E-6	5.61E-6	5.61E-6
	DOC, Dissolved Organic Carbon	-	-	kg	9.10E-4	9.10E-4	9.10E-4	9.10E-4
	TOC, Total Organic Carbon	-	-	kg	9.10E-4	9.10E-4	9.10E-4	9.10E-4

● ขั้นตอนการขึ้นรูปผลึก

กระบวนการขึ้นรูปผลึกจากซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งตามประเภทผลึกซิลิคอนที่ผลิตได้ ออกเป็น 2 ประเภทคือ ก้อนผลึกโมโนซิลิคอน (Mono-Si ingot) โดยกระบวนการสังเคราะห์แบบไซโครวสกี (Czochralski process) และก้อนผลึกมัลติซิลิคอน (Multi-Si ingot) โดยกระบวนการหลอมหล่อโลหะ ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตก้อนผลึกโมโนซิลิคอน (32 กิโลวัตต์•ชั่วโมงต่อกิโลกรัม, kWh/kg) สูงกว่าปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในการผลิตก้อนมัลติซิลิคอน (7 kWh/kg) รายละเอียดบัญชีรายการกระบวนการขึ้นรูปผลึกโมโนซิลิคอนแสดงดังตารางที่ 5-3 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการนี้เช่น ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดไนตริก เป็นต้น ในระหว่างกระบวนการผลิตมีการปล่อยของเสียเช่น ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ น้ำเสียในเตรต เป็นต้น สำหรับบัญชีรายการกระบวนการขึ้นรูปผลึกมัลติซิลิคอนแสดงดังตารางที่ 5-4 กระบวนการนี้มีการใช้วัตถุดิบน้อยกว่า รวมถึงความต้องการใช้ไฟฟ้าและน้ำในการผลิตที่ต่ำกว่า กระบวนการขึ้นรูปผลึกโมโนซิลิคอน ส่งผลให้มีการปล่อยของเสียต่ำกว่าเช่นกัน [4]

ตารางที่ 5-3 บัญชีรายการขั้นตอนการขึ้นรูปผลึกโมโนซิลิคอน (Mono-Si ingot) โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name		Location	InfrastructureProcesses	Unit	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant
	Location					CN	US	APAC	RER
	InfrastructureProcesses					0	0	0	0
	Unit					kg	kg	kg	kg
product	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant		CN	0	kg	1	0	0	0
	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant		US	0	kg	0	1	0	0
	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant		APAC	0	kg	0	0	1	0
	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant		RER	0	kg	0	0	0	1
technosphere	silicon, production mix, photovoltaics, at plant		CN	0	kg	1.00E+0	0	0	0
	silicon, production mix, photovoltaics, at plant		US	0	kg	0	1.00E+0	0	0
	silicon, production mix, photovoltaics, at plant		APAC	0	kg	0	0	1.00E+0	0
	silicon, production mix, photovoltaics, at plant		GLO	0	kg	0	0	0	1.00E+0
materials	argon, liquid, at plant		RER	0	kg	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0
	hydrogen fluoride, at plant		GLO	0	kg	1.00E-2	1.00E-2	1.00E-2	1.00E-2
	nitric acid, 50% in H2O, at plant		RER	0	kg	6.68E-2	6.68E-2	6.68E-2	6.68E-2
	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant		RER	0	kg	4.15E-2	4.15E-2	4.15E-2	4.15E-2
	ceramic tiles, at regional storage		CH	0	kg	1.67E-1	1.67E-1	1.67E-1	1.67E-1
	lime, hydrated, packed, at plant		CH	0	kg	2.22E-2	2.22E-2	2.22E-2	2.22E-2
	electricity, medium voltage, at grid		CN	0	kWh	3.20E+1	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid		US	0	kWh	0	3.20E+1	0	0
	electricity, medium voltage, at grid		KR	0	kWh	0	0	3.20E+1	0
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid		ENTSO	0	kWh	0	0	0	3.20E+1
	natural gas, burned in industrial furnace low-NOx >100kW		RER	0	MJ	6.82E+1	6.82E+1	6.82E+1	6.82E+1
	water, deionised, water balance according to MoeK 2013, at plant		CN	0	kg	4.01E+0	0	0	0
	water, deionised, water balance according to MoeK 2013, at plant		US	0	kg	0	4.01E+0	0	0
	water, deionised, water balance according to MoeK 2013, at plant		KR	0	kg	0	0	4.01E+0	0
	water, deionised, water balance according to MoeK 2013, at plant		RER	0	kg	0	0	0	4.01E+0

ตารางที่ 5-3 บัญชีรายการขั้นตอนการขึ้นรูปผลึกโมโนซิลิคอน (Mono-Si ingot) โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	InfrastructureProcesses	Unit	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant
	Location				CN	US	APAC	RER
	InfrastructureProcess				0	0	0	0
	Unit				kg	kg	kg	kg
product	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	CN	0	kg	1	0	0	0
	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	US	0	kg	0	1	0	0
	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	APAC	0	kg	0	0	1	0
	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	RER	0	kg	0	0	0	1
resource, in water	Water, cooling, unspecified natural origin, CN	-	-	m3	5.09E+0	0	0	0
	Water, cooling, unspecified natural origin, US	-	-	m3	0	5.09E+0	0	0
	Water, cooling, unspecified natural origin, KR	-	-	m3	0	0	5.09E+0	0
	Water, cooling, unspecified natural origin, RER	-	-	m3	0	0	0	5.09E+0
transport	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	1.13E+0	1.13E+0	1.13E+0	1.13E+0
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.41E+0	1.41E+0	1.41E+0	1.41E+0
infrastructure	silicone plant	RER	1	unit	1.00E-11	1.00E-11	1.00E-11	1.00E-11
disposal	disposal, waste, Si waferprod., inorg. 9.4% water, to residual material landfill	CH	0	kg	1.67E-1	1.67E-1	1.67E-1	1.67E-1
	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	4.84E+0	4.84E+0	4.84E+0	4.84E+0
emission air	Heat, waste	-	-	MJ	1.15E+2	1.15E+2	1.15E+2	1.15E+2
	Water, CN	-	-	kg	2.55E+2	0	0	0
	Water, US	-	-	kg	0	2.55E+2	0	0
	Water, KR	-	-	kg	0	0	2.55E+2	0
	Water, RER	-	-	kg	0	0	0	2.55E+2
	Nitrogen oxides	-	-	kg	3.39E-2	3.39E-2	3.39E-2	3.39E-2
emission water, river	Hydroxide	-	-	kg	4.42E-3	4.42E-3	4.42E-3	4.42E-3
	BOD5, Biological Oxygen Demand	-	-	kg	1.30E-1	1.30E-1	1.30E-1	1.30E-1
	COD, Chemical Oxygen Demand	-	-	kg	1.30E-1	1.30E-1	1.30E-1	1.30E-1
	DOC, Dissolved Organic Carbon	-	-	kg	4.05E-2	4.05E-2	4.05E-2	4.05E-2
	TOC, Total Organic Carbon	-	-	kg	4.05E-2	4.05E-2	4.05E-2	4.05E-2
	Nitrate	-	-	kg	8.35E-2	8.35E-2	8.35E-2	8.35E-2

ตารางที่ 5-4 บัญชีรายการขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ซิลิคอน (Multi-Si ingot) โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	silicon, multi-Si, casted, at plant	silicon, multi-Si, casted, at plant	silicon, multi-Si, casted, at plant	silicon, multi-Si, casted, at plant
						CN	US	APAC	RER
						0	0	0	0
product	silicon, multi-Si, casted, at plant	CN	0	kg	1	0	0	0	0
	silicon, multi-Si, casted, at plant	US	0	kg	0	1	0	0	0
	silicon, multi-Si, casted, at plant	APAC	0	kg	0	0	1	0	0
	silicon, multi-Si, casted, at plant	RER	0	kg	0	0	0	0	1
technosphere	silicon, production mix, photovoltaics, at plant	CN	0	kg	1.00E+0	0	0	0	0
	silicon, production mix, photovoltaics, at plant	US	0	kg	0	1.00E+0	0	0	0
	silicon, production mix, photovoltaics, at plant	APAC	0	kg	0	0	1.00E+0	0	0
	silicon, production mix, photovoltaics, at plant	GLO	0	kg	0	0	0	0	1.00E+0
resource, in water	argon, liquid, at plant	RER	0	kg	2.52E-1	2.52E-1	2.52E-1	2.52E-1	2.52E-1
	helium, at plant	GLO	0	kg	7.76E-5	7.76E-5	7.76E-5	7.76E-5	7.76E-5
	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant	RER	0	kg	5.00E-3	5.00E-3	5.00E-3	5.00E-3	5.00E-3
	nitrogen, liquid, at plant	RER	0	kg	3.04E-2	3.04E-2	3.04E-2	3.04E-2	3.04E-2
transport	ceramic tiles, at regional storage	CH	0	kg	2.14E-1	2.14E-1	2.14E-1	2.14E-1	2.14E-1
	electricity, medium voltage, at grid	CN	0	kWh	7.00E+0	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	US	0	kWh	0	7.00E+0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	KR	0	kWh	0	0	7.00E+0	0	0
infrastructure	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	0	0	0	0	7.00E+0
	Water, cooling, unspecified natural origin, CN	-	-	m3	9.43E-1	0	0	0	0
	Water, cooling, unspecified natural origin, US	-	-	m3	0	9.43E-1	0	0	0
	Water, cooling, unspecified natural origin, KR	-	-	m3	0	0	9.43E-1	0	0
disposal	Water, cooling, unspecified natural origin, RER	-	-	m3	0	0	0	0	9.43E-1
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	1.05E+0	1.05E+0	1.05E+0	1.05E+0	1.05E+0
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	2.00E-1	2.00E-1	2.00E-1	2.00E-1	2.00E-1
	silicone plant	RER	1	unit	1.00E-11	1.00E-11	1.00E-11	1.00E-11	1.00E-11
emission air	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	8.96E-1	8.96E-1	8.96E-1	8.96E-1	8.96E-1
	Heat, waste	-	-	MJ	2.52E+1	2.52E+1	2.52E+1	2.52E+1	2.52E+1
	Water, CN	-	-	kg	4.72E+1	0	0	0	0
	Water, US	-	-	kg	0	4.72E+1	0	0	0
	Water, KR	-	-	kg	0	0	4.72E+1	0	0
	Water, RER	-	-	kg	0	0	0	4.72E+1	0

● ขั้นตอนการผลิตซิลิคอนเวเฟอร์

ผลิตภัณฑ์ซิลิคอนทั้งแบบโมโนซิลิคอน และแบบมัลติซิลิคอน จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการผลิตซิลิคอนเวเฟอร์ (Silicon wafer production) ซึ่งปัจจุบันสารพวกซิลิคอนคาไบด์และไตรเอทิลอินโกลคอลไม่ได้มีการใช้แล้วในกระบวนการผลิตซิลิคอนเวเฟอร์ โดยขนาดของโมโนซิลิคอนเวเฟอร์และมัลติซิลิคอนเวเฟอร์ที่ใช้ในการประเมินบัญชีรายการคือ 158.75 มิลลิเมตร (mm) x 158.75 มิลลิเมตร (mm) x 170 ไมโครเมตร

(μm) และ $158.75 \text{ mm} \times 158.75 \text{ mm} \times 180 \text{ }\mu\text{m}$ ตามลำดับ บัญชีรายการของการผลิตซิลิคอนเวเฟอร์ดังตารางที่ 5-5 การผลิตโมโนซิลิคอนเวเฟอร์ขนาด 1 ตารางเมตร (m^2) ต้องใช้ผลึกโมโนซิลิคอน 0.595 kg วัตถุดิบอื่นๆ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดไฮโดรคลอริก กรดอะซิติก เป็นต้น ใช้ไฟฟ้า 4.76 kWh ขณะที่การผลิตมัลติซิลิคอนเวเฟอร์ต้องการใช้ผลึกมัลติซิลิคอน 0.635 kg และไฟฟ้า 5.56 kWh ซึ่งแตกต่างจากการผลิตโมโนซิลิคอนเวเฟอร์แม้ว่าจะใช้วัตถุดิบอื่นๆ ปริมาณเช่นเดียวกันก็ตาม ทั้งนี้ไม่ว่าจะผลิตซิลิคอนเวเฟอร์ชนิดใดก็มีของเสียเกิดขึ้น เช่น เศษชิ้นส่วนซิลิคอนเวเฟอร์ ोन้า น้ำเสีย เป็นต้น [4]

ตารางที่ 5-5 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตโมโนซิลิคอนเวเฟอร์และมัลติซิลิคอนเวเฟอร์ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	multi-Si wafer, at plant	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	multi-Si wafer, at plant
	Location					CN	CN	US	US
	Infrastructure	Process	Unit			m2	m2	m2	m2
product	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	CN	0	m2	1	0	0	0	0
	multi-Si wafer, at plant	CN	0	m2	0	1	0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	US	0	m2	0	0	1	0	0
	multi-Si wafer, at plant	US	0	m2	0	0	0	1	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0	0
	multi-Si wafer, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	RER	0	m2	0	0	0	0	0
	multi-Si wafer, at plant	RER	0	m2	0	0	0	0	0
technosphere	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	CN	0	kg	5.95E-1	0	0	0	0
	silicon, multi-Si, casted, at plant	CN	0	kg	0	6.35E-1	0	0	0
	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	US	0	kg	0	0	5.95E-1	0	0
	silicon, multi-Si, casted, at plant	US	0	kg	0	0	0	6.35E-1	0
	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	APAC	0	kg	0	0	0	0	0
	silicon, multi-Si, casted, at plant	APAC	0	kg	0	0	0	0	0
	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	RER	0	kg	0	0	0	0	0
	silicon, multi-Si, casted, at plant	RER	0	kg	0	0	0	0	0
	flat glass, uncoated, at plant	RER	0	kg	9.99E-3	4.08E-2	9.99E-3	4.08E-2	0
	sodium hydroxide, 50% in H ₂ O, production mix, at plant	RER	0	kg	1.50E-2	1.50E-2	1.50E-2	1.50E-2	0
	hydrochloric acid, 30% in H ₂ O, at plant	RER	0	kg	2.70E-3	2.70E-3	2.70E-3	2.70E-3	0
	acetic acid, 98% in H ₂ O, at plant	RER	0	kg	3.90E-2	3.90E-2	3.90E-2	3.90E-2	0
	dipropylene glycol monomethyl ether, at plant	RER	0	kg	3.00E-1	3.00E-1	3.00E-1	3.00E-1	0
	alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant	RER	0	kg	2.40E-1	2.40E-1	2.40E-1	2.40E-1	0
	acrylin binder, 3.4% in H ₂ O, at plant	RER	0	kg	9.99E-3	9.99E-3	9.99E-3	9.99E-3	0
	brass, at plant	CH	0	kg	7.44E-3	7.44E-3	7.44E-3	7.44E-3	0
	chromium steel 18/8, at plant	RER	0	kg	1.51E-3	1.51E-3	1.51E-3	1.51E-3	0
	wire drawing, steel	RER	0	kg	8.95E-3	8.95E-3	8.95E-3	8.95E-3	0
	electricity, medium voltage, at grid	CN	0	kWh	4.76E+0	5.56E+0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	US	0	kWh	0	0	4.76E+0	5.56E+0	0
	electricity, medium voltage, at grid	KR	0	kWh	0	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	0	0	0	0	0
	natural gas, burned in industrial furnace low-NO _x >100kW	RER	0	MJ	4.00E+0	4.00E+0	4.00E+0	4.00E+0	0

ตารางที่ 5-5 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตโมโนซิลิคอนเวเฟอร์และมัลติซิลิคอนเวเฟอร์ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit				
						single-Si wafer, photovoltaics, at plant	multi-Si wafer, at plant	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	multi-Si wafer, at plant
						CN	CN	US	US
						0 m2	0 m2	0 m2	0 m2
product	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	CN	0	m2	1	0	0	0	0
	multi-Si wafer, at plant	CN	0	m2	0	1	0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	US	0	m2	0	0	1	0	0
	multi-Si wafer, at plant	US	0	m2	0	0	0	1	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0	1
	multi-Si wafer, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	RER	0	m2	0	0	0	0	0
	multi-Si wafer, at plant	RER	0	m2	0	0	0	0	0
	water, deionised, water balance according to MoeK 2013, at plant	CN	0	kg	5.56E+1	5.56E+1	0	0	0
water	water, deionised, water balance according to MoeK 2013, at plant	US	0	kg	0	0	5.56E+1	5.56E+1	0
	water, deionised, water balance according to MoeK 2013, at plant	KR	0	kg	0	0	0	0	0
	water, deionised, water balance according to MoeK 2013, at plant	RER	0	kg	0	0	0	0	0
	disposal, waste, silicon wafer production, 0% water, to underground deposit	DE	0	kg	1.10E-1	1.70E-1	1.10E-1	1.70E-1	0
disposal	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	2.36E-1	2.77E-1	2.36E-1	2.77E-1	0
transport	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.25E+0	1.27E+0	1.25E+0	1.27E+0	0
	infrastructure, water factory	DE	1	unit	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6
infrastructure	emission air, Heat, waste	-	-	MJ	1.71E+1	2.00E+1	1.71E+1	2.00E+1	0
	Water, CN	-	-	kg	5.56E+0	5.56E+0	0	0	0
	Water, US	-	-	kg	0	0	5.56E+0	5.56E+0	0
	Water, KR	-	-	kg	0	0	0	0	0
	Water, RER	-	-	kg	0	0	0	0	0
emission water, river	COD, Chemical Oxygen Demand	-	-	kg	2.95E-2	2.95E-2	2.95E-2	2.95E-2	0
	BOD5, Biological Oxygen Demand	-	-	kg	2.95E-2	2.95E-2	2.95E-2	2.95E-2	0
	COD, Chemical Oxygen Demand	-	-	kg	1.11E-2	1.11E-2	1.11E-2	1.11E-2	0
	TOC, Total Organic Carbon	-	-	kg	1.11E-2	1.11E-2	1.11E-2	1.11E-2	0
	technosphere, CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	CN	0	kg	0	0	0	0	0
technosphere	silicon, multi-Si, casted, at plant	CN	0	kg	0	0	0	0	0
	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	US	0	kg	0	0	0	0	0
	silicon, multi-Si, casted, at plant	US	0	kg	0	0	0	0	0
	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	APAC	0	kg	5.95E-1	0	0	0	0
	silicon, multi-Si, casted, at plant	APAC	0	kg	0	6.35E-1	0	0	0
	CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant	RER	0	kg	0	0	5.95E-1	0	0
	silicon, multi-Si, casted, at plant	RER	0	kg	0	0	0	6.35E-1	0
	flat glass, uncoated, at plant	RER	0	kg	9.99E-3	4.08E-2	9.99E-3	4.08E-2	0
	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant	RER	0	kg	1.50E-2	1.50E-2	1.50E-2	1.50E-2	0
	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	0	kg	2.70E-3	2.70E-3	2.70E-3	2.70E-3	0

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการวิจัยระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

ตารางที่ 5-5 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตโมโนซิลิคอนเวเฟอร์และมัลติซิลิคอนเวเฟอร์ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

product	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	multi-Si wafer, at plant	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	multi-Si wafer, at plant
	Location					APAC	APAC	RER	RER
	Infrastructure	Process	Unit			0	0	0	0
product	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0	0
	multi-Si wafer, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	US	0	m2	0	0	0	0	0
	multi-Si wafer, at plant	US	0	m2	0	0	0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	APAC	0	m2	1	0	0	0	0
	multi-Si wafer, at plant	APAC	0	m2	0	1	0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	RER	0	m2	0	0	1	0	0
	multi-Si wafer, at plant	RER	0	m2	0	0	0	1	0
	acetic acid, 98% in H2O, at plant	RER	0	kg	3.90E-2	3.90E-2	3.90E-2	3.90E-2	3.90E-2
	dipropylene glycol monomethyl ether, at plant	RER	0	kg	3.00E-1	3.00E-1	3.00E-1	3.00E-1	3.00E-1
water	alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant	RER	0	kg	2.40E-1	2.40E-1	2.40E-1	2.40E-1	2.40E-1
	acrylic binder, 34% in H2O, at plant	RER	0	kg	3.85E-3	3.85E-3	2.00E-3	3.85E-3	3.85E-3
	brass, at plant	CH	0	kg	7.44E-3	7.44E-3	7.44E-3	7.44E-3	7.44E-3
	chromium steel 18/8, at plant	RER	0	kg	1.51E-3	1.51E-3	1.51E-3	1.51E-3	1.51E-3
	wire drawing, steel	RER	0	kg	8.95E-3	8.95E-3	8.95E-3	8.95E-3	8.95E-3
	electricity, medium voltage, at grid	CN	0	kWh	0	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	US	0	kWh	0	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	KR	0	kWh	4.76E+0	5.56E+0	0	0	0
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	0	0	4.76E+0	5.56E+0	5.56E+0
	natural gas, burned in industrial furnace low-NOx >100kW	RER	0	MJ	4.00E+0	4.00E+0	4.00E+0	4.00E+0	4.00E+0
disposal	water, deionised, water balance according to MoeK 2013, at plant	CN	0	kg	0	0	0	0	0
	water, deionised, water balance according to MoeK 2013, at plant	US	0	kg	0	0	0	0	0
	water, deionised, water balance according to MoeK 2013, at plant	KR	0	kg	5.56E+1	5.56E+1	0	0	0
	water, deionised, water balance according to MoeK 2013, at plant	RER	0	kg	0	0	5.56E+1	5.56E+1	5.56E+1
	disposal, waste, silicon wafer production, 0% water, to underground deposit	DE	0	kg	1.70E-1	1.70E-1	1.10E-1	1.70E-1	1.70E-1
transport	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	2.36E-1	2.77E-1	2.36E-1	2.77E-1	2.77E-1
infrastructure	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.25E+0	1.27E+0	1.25E+0	1.27E+0	1.27E+0
	wafer factory	DE	1	unit	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6
emission air	Heat, waste	-	-	MJ	1.71E+1	2.00E+1	1.71E+1	2.00E+1	2.00E+1
	Water, CN	-	-	kg	0	0	0	0	0
	Water, US	-	-	kg	0	0	0	0	0
	Water, KR	-	-	kg	5.56E+0	5.56E+0	0	0	0
	Water, RER	-	-	kg	0	0	5.56E+0	5.56E+0	5.56E+0
emission water, river	COD, Chemical Oxygen Demand	-	-	kg	2.95E-2	2.95E-2	2.95E-2	2.95E-2	2.95E-2
	BOD5, Biological Oxygen Demand	-	-	kg	2.95E-2	2.95E-2	2.95E-2	2.95E-2	2.95E-2
	COD, Chemical Oxygen Demand	-	-	kg	1.11E-2	1.11E-2	1.11E-2	1.11E-2	1.11E-2
	TOC, Total Organic Carbon	-	-	kg	1.11E-2	1.11E-2	1.11E-2	1.11E-2	1.11E-2

● ขั้นตอนการผลิตเซลล์

วัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในการผลิตเซลล์ (Photovoltaic cell) ขนาด 1 m² แตกต่างกันตามประเภทของซิลิคอนเวเฟอร์ โดยเซลล์ชนิดโมโน/ซิงเกิลซิลิคอนผลิตจากโมโนซิลิคอนเวเฟอร์ 1.03 m² ซึ่งมี

การใช้สารเคมีเช่น ฟอสโฟริลคลอไรด์ ไอโซโพรพานอลแอลกอฮอล์ กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น มีการใช้น้ำประปาในการผลิต 171 kg (171 L) และไฟฟ้า 17.7 kWh ในส่วนของการผลิตเซลล์ชนิดมัลติซิลิคอน ต้องใช้มัลติซิลิคอนเวเฟอร์ขนาด 1.04 m² น้ำประปา 251 kg (251 ลิตร, L) และไฟฟ้า 17.7 kWh ซึ่งจากตารางที่ 5-6 เห็นได้ว่าการผลิตเซลล์ชนิดมัลติซิลิคอนมีความต้องการใช้วัตถุดิบที่หลากหลาย ในปริมาณสูงกว่า รวมถึงใช้ทรัพยากรน้ำสูงกว่าการผลิตเซลล์ชนิดโมโนซิลิคอนด้วย ทั้งนี้การผลิตเซลล์ทั้ง 2 ชนิดนั้นก็มีความเสี่ยงเกิดขึ้น ได้แก่ เศษซิลิคอนเวเฟอร์ สารละลายที่ใช้แล้ว น้ำเสีย มลพิษทางอากาศ เป็นต้น [4]

ตารางที่ 5-6 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์โมโนซิลิคอนและเซลล์มัลติซิลิคอน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	photovoltaic cell, single-Si, at plant			
					photovoltaic cell, multi-Si, at plant	photovoltaic cell, single-Si, at plant	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	photovoltaic cell, multi-Si, at plant
	Location				CN	CN	US	US
product	InfrastructureProcess			Unit	0	0	0	0
	Unit				m2	m2	m2	m2
	photovoltaic cell, single-Si, at plant				1	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant				0	1	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant				0	0	1	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant				0	0	0	1
	photovoltaic cell, single-Si, at plant				0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant				0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant				0	0	0	0
wafers	photovoltaic cell, multi-Si, at plant				0	0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	CN	0	m2	1.03E+0	0	0	0
	multi-Si wafer, at plant	CN	0	m2	0	1.04E+0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at regional storage	US	0	m2	0	0	1.03E+0	0
	multi-Si wafer, at regional storage	US	0	m2	0	0	0	1.04E+0
	single-Si wafer, photovoltaics, at regional storage	APAC	0	m2	0	0	0	0
	multi-Si wafer, at regional storage	APAC	0	m2	0	0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at regional storage	RER	0	m2	0	0	0	0
	multi-Si wafer, at regional storage	RER	0	m2	0	0	0	0
materials	metallization paste, front side, at plant	RER	0	kg	3.37E-3	3.37E-3	3.37E-3	3.37E-3
	metallization paste, back side, at plant	RER	0	kg	1.11E-3	1.11E-3	1.11E-3	1.11E-3
	metallization paste, back side, aluminium, at plant	RER	0	kg	5.54E-2	5.54E-2	5.54E-2	5.54E-2
chemicals	ammonia, liquid, at regional storehouse	RER	0	kg	2.19E-2	8.92E-3	2.19E-2	8.92E-3
	phosphoric acid, fertilizer grade, 70% in H2O, at plant	GLO	0	kg	0	8.63E-3	0	8.63E-3
	phosphoryl chloride, at plant	RER	0	kg	1.33E-2	2.74E-2	1.33E-2	2.74E-2
	isopropanol, at plant	RER	0	kg	1.77E-1	8.10E-4	1.77E-1	8.10E-4
	solvents, organic, unspecified, at plant	GLO	0	kg	0	1.13E-2	0	1.13E-2
	calcium chloride, CaCl2, at regional storage	CH	0	kg	0	3.15E-2	0	3.15E-2
	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	0	kg	6.29E-4	8.59E-3	6.29E-4	8.59E-3
	hydrogen fluoride, at plant	GLO	0	kg	6.45E-4	4.03E-1	6.45E-4	4.03E-1
	nitric acid, 50% in H2O, at plant	RER	0	kg	0	2.93E-1	0	2.93E-1
	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant	RER	0	kg	6.04E-1	7.07E-2	6.04E-1	7.07E-2
	lime, hydrated, packed, at plant	CH	0	kg	1.51E-2	2.18E-1	1.51E-2	2.18E-1

ตารางที่ 5-6 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์โมโนซิลิคอนและเซลล์มัลติซิลิคอน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	photovoltaic cell, single-Si, at plant			
					photovoltaic cell, multi-Si, at plant	photovoltaic cell, single-Si, at plant	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	photovoltaic cell, multi-Si, at plant
	Location				CN	CN	US	US
product	photovoltaic cell, single-Si, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	CN	0	m2	0	1	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	US	0	m2	0	0	1	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	US	0	m2	0	0	0	1
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	RER	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	RER	0	m2	0	0	0	0
	hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant	RER	0	kg	0	4.52E-4	0	4.52E-4
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	0	kg	0	1.01E-1	0	1.01E-1
gas	refrigerant R134a, at plant	RER	0	kg	3.12E-5	2.73E-5	3.12E-5	2.73E-5
	potassium hydroxide, at regional storage	RER	0	kg	0	3.00E-2	0	3.00E-2
	ammonium sulphate, as N, at regional storehouse	RER	0	kg	0	2.10E-2	0	2.10E-2
	oxygen, liquid, at plant	RER	0	kg	0	8.22E-3	0	8.22E-3
	nitrogen, liquid, at plant	RER	0	kg	1.15E+0	1.35E+0	1.15E+0	1.35E+0
	silane, at plant	RER	0	kg	2.91E-3	2.61E-3	2.91E-3	2.61E-3
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	CN	0	kg	1.71E+2	2.51E+2	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	US	0	kg	0	0	1.71E+2	2.51E+2
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	KR	0	kg	0	0	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	RER	0	kg	0	0	0	0
energy	electricity, medium voltage, at grid	CN	0	kWh	1.77E+1	1.77E+1	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	US	0	kWh	0	0	1.77E+1	1.77E+1
	electricity, medium voltage, at grid	KR	0	kWh	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	0	0	0	0
	natural gas, burned in industrial furnace low-NOx >100kW	RER	0	MJ	6.08E-2	2.47E-1	6.08E-2	2.47E-1
	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	RER	0	MJ	0	2.70E-3	0	2.70E-3
	photovoltaic cell factory	DE	1	unit	4.00E-7	4.00E-7	4.00E-7	4.00E-7
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	2.74E-1	5.22E-1	2.74E-1	5.22E-1
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.52E+0	3.94E-1	1.52E+0	3.94E-1
	treatment, PV cell production effluent, to wastewater treatment, class 3	CH	0	m3	1.54E-1	2.26E-1	1.54E-1	2.26E-1
disposal	disposal, waste, Si waferprod., inorg. 9.4% water, to residual material landfill	CH	0	kg	2.33E+0	2.74E+0	2.33E+0	2.74E+0
	disposal, solvents mixture, 16.5% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.72E-1	1.08E-2	1.72E-1	1.08E-2
	Heat, waste	-	-	MJ	5.18E+1	5.18E+1	5.18E+1	5.18E+1
	Water, CN	-	-	kg	1.71E+1	2.51E+1	0	0
	Water, US	-	-	kg	0	0	1.71E+1	2.51E+1
	Water, KR	-	-	kg	0	0	0	0
	Water, RER	-	-	kg	0	0	0	0
	Aluminium	-	-	kg	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6
	Hydrogen fluoride	-	-	kg	1.38E-4	6.90E-4	1.38E-4	6.90E-4
	Lead	-	-	kg	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6
emission air, high population density	Silicon	-	-	kg	3.17E-8	3.17E-8	3.17E-8	3.17E-8
	Silver	-	-	kg	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6
	Tin	-	-	kg	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6
	Ammonia	-	-	kg	3.73E-5	5.22E-4	3.73E-5	5.22E-4

ตารางที่ 5-6 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์โมโนซิลิคอนและเซลล์มัลติซิลิคอน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

product	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	photovoltaic cell, single-Si, at plant	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	photovoltaic cell, single-Si, at plant	photovoltaic cell, multi-Si, at plant
	Location				CN	CN	US	US
	InfrastructureProcess				0	0	0	0
	Unit				m2	m2	m2	m2
product	photovoltaic cell, single-Si, at plant	CN	0	m2	1	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	CN	0	m2	0	1	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	US	0	m2	0	0	1	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	US	0	m2	0	0	0	1
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	RER	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	RER	0	m2	0	0	0	0
	Carbon dioxide, fossil	-	-	kg	1.67E-1	6.82E-1	1.67E-1	6.82E-1
	Chlorine	-	-	kg	4.60E-5	0	4.60E-5	0
	Hydrogen	-	-	kg	1.10E-2	4.44E-4	1.10E-2	4.44E-4
	2-Propanol	-	-	kg	1.47E-2	0	1.47E-2	0
product	Acetaldehyde	-	-	kg	6.33E-4	0	6.33E-4	0
	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	-	-	kg	3.12E-5	2.73E-5	3.12E-5	2.73E-5
	Silicon	-	-	kg	3.33E-4	1.47E-4	3.33E-4	1.47E-4
	Silicon	-	-	kg	2.63E-3	6.00E-6	2.63E-3	6.00E-6
	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	1.26E-2	3.53E-4	1.26E-2	3.53E-4
	Nitric acid	-	-	kg	0	1.19E-4	0	1.19E-4
	Nitrogen oxides	-	-	kg	0	1.24E-2	0	1.24E-2
	Nitrogen oxides	-	-	kg	0	3.64E-3	0	3.64E-3
product	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	photovoltaic cell, single-Si, at plant	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	photovoltaic cell, single-Si, at plant	photovoltaic cell, multi-Si, at plant
	Location				APAC	APAC	RER	RER
	InfrastructureProcess				0	0	0	0
	Unit				m2	m2	m2	m2
product	photovoltaic cell, single-Si, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	US	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	US	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	APAC	0	m2	1	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	APAC	0	m2	0	1	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	RER	0	m2	0	0	1	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	RER	0	m2	0	0	0	1
wafers	single-Si wafer, photovoltaics, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0
	multi-Si wafer, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at regional storage	US	0	m2	0	0	0	0
	multi-Si wafer, at regional storage	US	0	m2	0	0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at regional storage	APAC	0	m2	1.03E+0	0	0	0
	multi-Si wafer, at regional storage	APAC	0	m2	0	1.04E+0	0	0
	single-Si wafer, photovoltaics, at regional storage	RER	0	m2	0	0	1.03E+0	0
	multi-Si wafer, at regional storage	RER	0	m2	0	0	0	1.04E+0
materials	metallization paste, front side, at plant	RER	0	kg	3.37E-3	3.37E-3	3.37E-3	3.37E-3
	metallization paste, back side, at plant	RER	0	kg	1.11E-3	1.11E-3	1.11E-3	1.11E-3
	metallization paste, back side, aluminium, at plant	RER	0	kg	5.54E-2	5.54E-2	5.54E-2	5.54E-2

ตารางที่ 5-6 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์โมโนซิลิคอนและเซลล์มัลติซิลิคอน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) (ต่อ) [4]

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	photovoltaic cell, single-Si, at plant	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	photovoltaic cell, single-Si, at plant	photovoltaic cell, multi-Si, at plant
						APAC	APAC	RER	RER
						0	0	0	0
						m2	m2	m2	m2
product	photovoltaic cell, single-Si, at plant	CN	0		m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	CN	0		m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	US	0		m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	US	0		m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	APAC	0		m2	1	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	APAC	0		m2	0	1	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	RER	0		m2	0	0	1	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	RER	0		m2	0	0	0	1
chemicals	ammonia, liquid, at regional storehouse	RER	0		kg	2.19E-2	8.92E-3	2.19E-2	8.92E-3
	phosphoric acid, fertiliser grade, 70% in H2O, at plant	GLO	0		kg	0	8.63E-3	0	8.63E-3
	phosphoryl chloride, at plant	RER	0		kg	1.33E-2	2.74E-2	1.33E-2	2.74E-2
	isopropanol, at plant	RER	0		kg	1.77E-1	8.10E-4	1.77E-1	8.10E-4
	solvents, organic, unspecified, at plant	GLO	0		kg	0	1.13E-2	0	1.13E-2
	calcium chloride, CaCl2, at regional storage	CH	0		kg	0	3.15E-2	0	3.15E-2
	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	0		kg	6.29E-4	8.59E-3	6.29E-4	8.59E-3
	hydrogen fluoride, at plant	GLO	0		kg	6.45E-4	4.03E-1	6.45E-4	4.03E-1
	nitric acid, 50% in H2O, at plant	RER	0		kg	0	2.93E-1	0	2.93E-1
	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant	RER	0		kg	6.04E-1	7.07E-2	6.04E-1	7.07E-2
	lime, hydrated, packed, at plant	CH	0		kg	1.51E-2	2.18E-1	1.51E-2	2.18E-1
	hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant	RER	0		kg	0	4.52E-4	0	4.52E-4
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	0		kg	0	1.01E-1	0	1.01E-1
	refrigerant R134a, at plant	RER	0		kg	3.12E-5	2.73E-5	3.12E-5	2.73E-5
	potassium hydroxide, at regional storage	RER	0		kg	0	3.00E-2	0	3.00E-2
	ammonium sulphate, as N, at regional storehouse	RER	0		kg	0	2.10E-2	0	2.10E-2
	oxygen, liquid, at plant	RER	0		kg	0	8.22E-3	0	8.22E-3
gases	nitrogen, liquid, at plant	RER	0		kg	1.15E+0	1.35E+0	1.15E+0	1.35E+0
	silane, at plant	RER	0		kg	2.91E-3	2.61E-3	2.91E-3	2.61E-3
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	CN	0		kg	0	0	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	US	0		kg	0	0	0	0
energy	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	KR	0		kg	1.71E+2	2.51E+2	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	RER	0		kg	0	0	1.71E+2	2.51E+2
	electricity, medium voltage, at grid	CN	0		kWh	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	US	0		kWh	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	KR	0		kWh	1.77E+1	1.77E+1	0	0
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0		kWh	0	0	1.77E+1	1.77E+1
	natural gas, burned in industrial furnace low-NOx >100kW	RER	0		MJ	6.08E-2	2.47E-1	6.08E-2	2.47E-1
	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	RER	0		MJ	0	2.70E-3	0	2.70E-3
infrastructure	photovoltaic cell factory	DE	1		unit	4.00E-7	4.00E-7	4.00E-7	4.00E-7
transport	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0		tkm	2.74E-1	5.22E-1	2.74E-1	5.22E-1
	transport, freight, rail	RER	0		tkm	1.52E+0	3.94E-1	1.52E+0	3.94E-1
disposal	treatment, PV cell production effluent, to wastewater treatment, class 3	CH	0		m3	1.54E-1	2.26E-1	1.54E-1	2.26E-1
	disposal, waste, Si waterprod., inorg, 9.4% water, to residual material landfill	CH	0		kg	2.33E+0	2.74E+0	2.33E+0	2.74E+0
	disposal, solvents mixture, 16.5% water, to hazardous waste incineration	CH	0		kg	1.72E-1	1.08E-2	1.72E-1	1.08E-2

ตารางที่ 5-6 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์โมโนซิลิคอนและเซลล์มัลติซิลิคอน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) (ต่อ) [4]

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	photo voltaic cell, single-Si, at plant			
					photo voltaic cell, multi-Si, at plant	photo voltaic cell, single-Si, at plant	photo voltaic cell, multi-Si, at plant	photo voltaic cell, multi-Si, at plant
					APAC	APAC	RER	RER
product	photo voltaic cell, single-Si, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0
	photo voltaic cell, multi-Si, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0
	photo voltaic cell, single-Si, at plant	US	0	m2	0	0	0	0
	photo voltaic cell, multi-Si, at plant	US	0	m2	0	0	0	0
	photo voltaic cell, single-Si, at plant	APAC	0	m2	1	0	0	0
	photo voltaic cell, multi-Si, at plant	APAC	0	m2	0	1	0	0
	photo voltaic cell, single-Si, at plant	RER	0	m2	0	0	1	0
	photo voltaic cell, multi-Si, at plant	RER	0	m2	0	0	0	1
emission air, high population density	Heat, waste	-	-	MJ	5.18E+1	5.18E+1	5.18E+1	5.18E+1
	Water, CN	-	-	kg	0	0	0	0
	Water, US	-	-	kg	0	0	0	0
	Water, KR	-	-	kg	1.71E+1	2.51E+1	0	0
	Water, RER	-	-	kg	0	0	1.71E+1	2.51E+1
	Aluminium	-	-	kg	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6
	Hydrogen fluoride	-	-	kg	1.38E-4	6.90E-4	1.38E-4	6.90E-4
	Lead	-	-	kg	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6
	Silicon	-	-	kg	3.17E-8	3.17E-8	3.17E-8	3.17E-8
	Silver	-	-	kg	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6
	Tin	-	-	kg	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6	7.73E-6
	Ammonia	-	-	kg	3.73E-5	5.22E-4	3.73E-5	5.22E-4
	Carbon dioxide, fossil	-	-	kg	1.67E-1	6.82E-1	1.67E-1	6.82E-1
	Chlorine	-	-	kg	4.60E-5	0	4.60E-5	0
	Hydrogen	-	-	kg	1.10E-2	4.44E-4	1.10E-2	4.44E-4
	2-Propanol	-	-	kg	1.47E-2	0	1.47E-2	0
	Acetaldehyde	-	-	kg	6.33E-4	0	6.33E-4	0
	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	-	-	kg	3.12E-5	2.73E-5	3.12E-5	2.73E-5
	Silicon	-	-	kg	3.33E-4	1.47E-4	3.33E-4	1.47E-4
	Silicon	-	-	kg	2.63E-3	6.00E-6	2.63E-3	6.00E-6
	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	1.26E-2	3.53E-4	1.26E-2	3.53E-4
	Nitric acid	-	-	kg	0	1.19E-4	0	1.19E-4
	Nitrogen oxides	-	-	kg	0	1.24E-2	0	1.24E-2
	Nitrogen oxides	-	-	kg	0	3.64E-3	0	3.64E-3

● ขั้นตอนการผลิตแผงของเซลล์แสงอาทิตย์

การประกอบเซลล์ซิลิคอนเป็นแผงของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar panel) อ้างอิงข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิกจากประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากเป็นประเทศที่มีสัดส่วนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนซิลิคอนและแบบมัลติซิลิคอน ส่วนการใช้ไฟฟ้าของอเมริกายังคงอ้างอิงจากกลุ่มประเทศอเมริกาเหนือเช่นเดิม ซึ่งกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการนำเซลล์หลายๆ เซลล์มาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงประกอบด้วยกระจกที่มีหน้าที่ให้แสงผ่าน อีกทั้งเพื่อใช้เป็นส่วนป้องกันเซลล์เสียหายทางกายภาพ โดยมีซิลิคอน

และอีวีเอ (Ethylene vinyl acetate: EVA) ประกอบอีกชั้น เพื่อป้องกันความชื้นที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน รวมถึงการติดตั้งกรอบ/โครงเพื่อเสริมความแข็งแรงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้หากมีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกโดยไม่ต้องมีการติดตั้งกรอบ/โครง เช่น กรอบอะลูมิเนียม ก็จะได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะเรียบ สามารถนำไปใช้ติดตั้งได้สะดวกยิ่งขึ้น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเสริมความแข็งแรงของกระจกนี้เรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลามิเนต (Laminate) ซึ่งองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) ก็ได้จัดทำบัญชีรายการการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งแบบมีโครง (Panel) และแบบไม่มีโครงประกอบ (Laminate) ดังแสดงในตารางที่ 5-7 ถึง 5-10 ของภูมิภาคจีน อเมริกา เอเชีย-แปซิฟิก และยุโรป ตามลำดับ การผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 m^2 ของทั้ง 5 ภูมิภาค ต้องการเซลล์ขนาด 0.935 m^2 เป็นวัตถุดิบเท่ากันไม่ว่าจะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาเนลหรือแบบลามิเนต เนื่องจากทั้ง 2 ชนิดนี้มีความแตกต่างกันในส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ทำโครงประกอบเท่านั้น ในส่วนของปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ รวมถึงของเสียที่เกิดขึ้นก็มีปริมาณเหมือนกัน [4]

ตารางที่ 5-7 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของภูมิภาคจีน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit				
					photovoltaic panel, single-Si, at plant	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant
					CN	CN	CN	CN
					1	1	1	1
product	Location				m2	m2	m2	m2
	InfrastructureProcess							
	Unit							
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	CN	1	m2	1	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	1	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	1	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	1
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
materials	photovoltaic cell, single-Si, at plant	CN	0	m2	9.35E-1	0	9.35E-1	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	CN	0	m2	0	9.35E-1	0	9.35E-1
	photovoltaic cell, single-Si, at regional storage	US	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at regional storage	US	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at regional storage	RER	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at regional storage	RER	0	m2	0	0	0	0

ตารางที่ 5-7 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของภูมิภาคจีน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit				
					photovoltaic panel, single-Si, at plant	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant
product	Location				CN	CN	CN	CN
	InfrastructureProcess Unit				1 m2	1 m2	1 m2	1 m2
product	photovoltaic panel, single-Si, at plant	CN	1	m2	1	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	1	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	1	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	1
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	aluminium alloy, AlMg3, at plant	RER	0	kg	2.13E+0	2.13E+0	0	0
	copper, at regional storage	RER	0	kg	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1
	wire drawing, copper	RER	0	kg	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1
	diode, unspecified, at plant	GLO	0	kg	2.81E-3	2.81E-3	2.81E-3	2.81E-3
auxiliaries	silicone product, at plant	RER	0	kg	1.22E-1	1.22E-1	1.22E-1	1.22E-1
	tin, at regional storage	RER	0	kg	1.29E-2	1.29E-2	1.29E-2	1.29E-2
	lead, at regional storage	RER	0	kg	7.25E-4	7.25E-4	7.25E-4	7.25E-4
	solar glass, low-iron, at regional storage	RER	0	kg	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0
	tempering, flat glass	RER	0	kg	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0
	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	0	kg	2.95E-1	2.95E-1	2.95E-1	2.95E-1
	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant	RER	0	kg	3.46E-1	3.46E-1	3.46E-1	3.46E-1
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	2.38E-2	2.38E-2	2.38E-2	2.38E-2
	ethylvinylacetate, foil, at plant	RER	0	kg	8.75E-1	8.75E-1	8.75E-1	8.75E-1
	polyvinylfluoride film, at plant	US	0	kg	1.12E-1	1.12E-1	1.12E-1	1.12E-1
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	CN	0	kg	5.03E+0	5.03E+0	5.03E+0	5.03E+0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	US	0	kg	0	0	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	KR	0	kg	0	0	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	RER	0	kg	0	0	0	0
	hydrogen fluoride, at plant	GLO	0	kg	6.24E-2	6.24E-2	6.24E-2	6.24E-2
	1-propanol, at plant	RER	0	kg	1.59E-2	1.59E-2	1.59E-2	1.59E-2
	isopropanol, at plant	RER	0	kg	1.47E-4	1.47E-4	1.47E-4	1.47E-4
	potassium hydroxide, at regional storage	RER	0	kg	5.14E-2	5.14E-2	5.14E-2	5.14E-2
	soap, at plant	RER	0	kg	1.16E-2	1.16E-2	1.16E-2	1.16E-2
	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	RER	0	kg	7.63E-1	7.63E-1	7.63E-1	7.63E-1
energy	EUR-flat pallet	RER	0	unit	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2
	electricity, medium voltage, at grid	CN	0	kWh	1.40E+1	1.40E+1	1.40E+1	1.40E+1
	electricity, medium voltage, at grid	US	0	kWh	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	KR	0	kWh	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	0	0	0	0
	diesel, burned in building machine, average	CH	0	MJ	8.75E-3	8.75E-3	8.75E-3	8.75E-3

ตารางที่ 5-7 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของภูมิภาคจีน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	photovoltaic panel, single-Si, at plant				photovoltaic panel, multi-Si, at plant				photovoltaic laminate, single-Si, at plant				photovoltaic laminate, multi-Si, at plant			
					CN				CN				CN				CN			
					1				1				1				1			
					m2				m2				m2				m2			
product	photovoltaic panel, single-Si, at plant	CN	1	m2	1				0				1				0			
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0				1				0				0			
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	CN	1	m2	0				0				1				0			
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0				0				0				1			
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	US	1	m2	0				0				0				0			
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	US	1	m2	0				0				0				0			
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	US	1	m2	0				0				0				0			
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	US	1	m2	0				0				0				0			
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0				0				0				0			
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0				0				0				0			
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0				0				0				0			
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0				0				0				0			
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	RER	1	m2	0				0				0				0			
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0				0				0				0			
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	RER	1	m2	0				0				0				0			
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0				0				0				0			
infrastructure	photovoltaic panel factory	GLO	1	unit	4.00E-6				4.00E-6				4.00E-6				4.00E-6			
transport	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	2.77E+0				3.01E+0				2.56E+0				2.79E+0			
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.66E+1				1.66E+1				1.54E+1				1.54E+1			
disposal	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	0	kg	3.00E-2				3.00E-2				3.00E-2				3.00E-2			
	disposal, polyvinylfluoride, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	4.29E-3				4.29E-3				4.29E-3				4.29E-3			
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.81E-2				2.81E-2				2.81E-2				2.81E-2			
	disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.61E-3				1.61E-3				1.61E-3				1.61E-3			
	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	4.53E-3				4.53E-3				4.53E-3				4.53E-3			
	Heat, waste	-	-	MJ	5.03E+1				5.03E+1				5.03E+1				5.03E+1			
emissions air	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	8.06E-3				8.06E-3				8.06E-3				8.06E-3			
	Carbon dioxide, fossil	-	-	kg	2.18E-2				2.18E-2				2.18E-2				2.18E-2			
	Water, CN	-	-	kg	5.03E-1				5.03E-1				5.03E-1				5.03E-1			
	Water, US	-	-	kg	0				0				0				0			
	Water, KR	-	-	kg	0				0				0				0			
	Water, RER	-	-	kg	0				0				0				0			
		-	-	kg	0				0				0				0			

ตารางที่ 5-8 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของภูมิภาคอเมริกา โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	photovoltaic panel, single-Si, at plant	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant
						US	US	US	US
						1	1	1	1
						m2	m2	m2	m2
product	photovoltaic panel, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	US	1	m2	1	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	1	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	1	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	1	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0	0
materials	photovoltaic cell, single-Si, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at regional storage	US	0	m2	9.35E-1	0	9.35E-1	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at regional storage	US	0	m2	0	9.35E-1	0	9.35E-1	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at regional storage	RER	0	m2	0	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at regional storage	RER	0	m2	0	0	0	0	0
	aluminium alloy, AlMg3, at plant	RER	0	kg	2.13E+0	2.13E+0	0	0	0
	copper, at regional storage	RER	0	kg	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1
	wire drawing, copper	RER	0	kg	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1
	diode, unspecified, at plant	GLO	0	kg	2.81E-3	2.81E-3	2.81E-3	2.81E-3	2.81E-3
	silicone product, at plant	RER	0	kg	1.22E-1	1.22E-1	1.22E-1	1.22E-1	1.22E-1
	tin, at regional storage	RER	0	kg	1.29E-2	1.29E-2	1.29E-2	1.29E-2	1.29E-2
	lead, at regional storage	RER	0	kg	7.25E-4	7.25E-4	7.25E-4	7.25E-4	7.25E-4
	solar glass, low-iron, at regional storage	RER	0	kg	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0
	tempering, flat glass	RER	0	kg	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0
	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	0	kg	2.95E-1	2.95E-1	2.95E-1	2.95E-1	2.95E-1
	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant	RER	0	kg	3.46E-1	3.46E-1	3.46E-1	3.46E-1	3.46E-1
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	2.38E-2	2.38E-2	2.38E-2	2.38E-2	2.38E-2
auxiliaries	ethylvinylacetate, foil, at plant	RER	0	kg	8.75E-1	8.75E-1	8.75E-1	8.75E-1	8.75E-1
	polyvinylfluoride film, at plant	US	0	kg	1.12E-1	1.12E-1	1.12E-1	1.12E-1	1.12E-1
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	CN	0	kg	0	0	0	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	US	0	kg	5.03E+0	5.03E+0	5.03E+0	5.03E+0	5.03E+0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	KR	0	kg	0	0	0	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	RER	0	kg	0	0	0	0	0
	hydrogen fluoride, at plant	GLO	0	kg	6.24E-2	6.24E-2	6.24E-2	6.24E-2	6.24E-2
	1-propanol, at plant	RER	0	kg	1.59E-2	1.59E-2	1.59E-2	1.59E-2	1.59E-2
	isopropanol, at plant	RER	0	kg	1.47E-4	1.47E-4	1.47E-4	1.47E-4	1.47E-4

ตารางที่ 5-8 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของภูมิภาคอเมริกา โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	photovoltaic panel, single-Si, at plant	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant
					US	US	US	US
					1	1	1	1
					m2	m2	m2	m2
product	photovoltaic panel, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	US	1	m2	1	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	1	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	1	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	1
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	potassium hydroxide, at regional storage	RER	0	kg	5.14E-2	5.14E-2	5.14E-2	5.14E-2
	soap, at plant	RER	0	kg	1.16E-2	1.16E-2	1.16E-2	1.16E-2
	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	RER	0	kg	7.63E-1	7.63E-1	7.63E-1	7.63E-1
	EUR-flat pallet	RER	0	unit	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2
energy	electricity, medium voltage, at grid	CN	0	kWh	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	US	0	kWh	1.40E+1	1.40E+1	1.40E+1	1.40E+1
	electricity, medium voltage, at grid	KR	0	kWh	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	0	0	0	0
	diesel, burned in building machine, average	CH	0	MJ	8.75E-3	8.75E-3	8.75E-3	8.75E-3
infrastructure	photovoltaic panel factory	GLO	1	unit	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6
transport	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	2.99E+0	3.01E+0	2.78E+0	2.79E+0
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.66E+1	1.66E+1	1.54E+1	1.54E+1
disposal	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	0	kg	3.00E-2	3.00E-2	3.00E-2	3.00E-2
	disposal, polyvinylfluoride, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	4.29E-3	4.29E-3	4.29E-3	4.29E-3
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.81E-2	2.81E-2	2.81E-2	2.81E-2
	disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.61E-3	1.61E-3	1.61E-3	1.61E-3
	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	4.53E-3	4.53E-3	4.53E-3	4.53E-3
emissions air	Heat, waste	-	-	MJ	5.03E+1	5.03E+1	5.03E+1	5.03E+1
	NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	8.06E-3	8.06E-3	8.06E-3	8.06E-3
	Carbon dioxide, fossil	-	-	kg	2.18E-2	2.18E-2	2.18E-2	2.18E-2
	Water, CN	-	-	kg	0	0	0	0
	Water, US	-	-	kg	5.03E-1	5.03E-1	5.03E-1	5.03E-1
	Water, KR	-	-	kg	0	0	0	0
	Water, RER	-	-	kg	0	0	0	0

ตารางที่ 5-9 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	photo voltaic panel, single-Si, at plant			
					photo voltaic panel, multi-Si, at plant	photo voltaic laminate, single-Si, at plant	photo voltaic laminate, multi-Si, at plant	
					APAC	APAC	APAC	APAC
					1 m2	1 m2	1 m2	1 m2
product	photo voltaic panel, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photo voltaic panel, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photo voltaic laminate, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photo voltaic laminate, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photo voltaic panel, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photo voltaic panel, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photo voltaic laminate, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photo voltaic laminate, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photo voltaic panel, single-Si, at plant	APAC	1	m2	1	0	0	0
	photo voltaic panel, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	1	0	0
	photo voltaic laminate, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	1	0
	photo voltaic laminate, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	1
	photo voltaic panel, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photo voltaic panel, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photo voltaic laminate, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photo voltaic laminate, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
materials	photo voltaic cell, single-Si, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0
	photo voltaic cell, multi-Si, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0
	photo voltaic cell, single-Si, at regional storage	US	0	m2	0	0	0	0
	photo voltaic cell, multi-Si, at regional storage	US	0	m2	0	0	0	0
	photo voltaic cell, single-Si, at plant	APAC	0	m2	9.35E-1	0	9.35E-1	0
	photo voltaic cell, multi-Si, at plant	APAC	0	m2	0	9.35E-1	0	9.35E-1
	photo voltaic cell, single-Si, at regional storage	RER	0	m2	0	0	0	0
	photo voltaic cell, multi-Si, at regional storage	RER	0	m2	0	0	0	0
	aluminium alloy, AlMg3, at plant	RER	0	kg	2.13E+0	2.13E+0	0	0
	copper, at regional storage	RER	0	kg	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1
	wire drawing, copper	RER	0	kg	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1
	diode, unspecified, at plant	GLO	0	kg	2.81E-3	2.81E-3	2.81E-3	2.81E-3
	silicone product, at plant	RER	0	kg	1.22E-1	1.22E-1	1.22E-1	1.22E-1
	tin, at regional storage	RER	0	kg	1.29E-2	1.29E-2	1.29E-2	1.29E-2
	lead, at regional storage	RER	0	kg	7.25E-4	7.25E-4	7.25E-4	7.25E-4
	solar glass, low-iron, at regional storage	RER	0	kg	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0
	tempering, flat glass	RER	0	kg	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0
	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	0	kg	2.95E-1	2.95E-1	2.95E-1	2.95E-1
	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant	RER	0	kg	3.46E-1	3.46E-1	3.46E-1	3.46E-1
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	2.38E-2	2.38E-2	2.38E-2	2.38E-2
auxiliaries	ethylvinylacetate, foil, at plant	RER	0	kg	8.75E-1	8.75E-1	8.75E-1	8.75E-1
	polyvinylfluoride film, at plant	US	0	kg	1.12E-1	1.12E-1	1.12E-1	1.12E-1
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	CN	0	kg	0	0	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	US	0	kg	0	0	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	KR	0	kg	5.03E+0	5.03E+0	5.03E+0	5.03E+0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	RER	0	kg	0	0	0	0
	hydrogen fluoride, at plant	GLO	0	kg	6.24E-2	6.24E-2	6.24E-2	6.24E-2
	1-propanol, at plant	RER	0	kg	1.59E-2	1.59E-2	1.59E-2	1.59E-2
	isopropanol, at plant	RER	0	kg	1.47E-4	1.47E-4	1.47E-4	1.47E-4

ตารางที่ 5-9 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	photovoltaic panel, single-Si, at plant	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant
					APAC	APAC	APAC	APAC
					1	1	1	1
					m2	m2	m2	m2
product	photovoltaic panel, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	APAC	1	m2	1	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	1	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	1	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	1
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	0
energy	potassium hydroxide, at regional storage	RER	0	kg	5.14E-2	5.14E-2	5.14E-2	5.14E-2
	soap, at plant	RER	0	kg	1.16E-2	1.16E-2	1.16E-2	1.16E-2
	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	RER	0	kg	7.63E-1	7.63E-1	7.63E-1	7.63E-1
	EUR-flat pallet	RER	0	unit	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2
	electricity, medium voltage, at grid	CN	0	kWh	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	US	0	kWh	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, at grid	KR	0	kWh	1.40E+1	1.40E+1	1.40E+1	1.40E+1
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	0	0	0	0
	diesel, burned in building machine, average	CH	0	MJ	8.75E-3	8.75E-3	8.75E-3	8.75E-3
	photovoltaic panel factory	GLO	1	unit	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6
transport	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	2.99E+0	3.01E+0	2.78E+0	2.79E+0
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.66E+1	1.66E+1	1.54E+1	1.54E+1
disposal	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	0	kg	3.00E-2	3.00E-2	3.00E-2	3.00E-2
	disposal, polyvinylfluoride, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	4.29E-3	4.29E-3	4.29E-3	4.29E-3
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.81E-2	2.81E-2	2.81E-2	2.81E-2
	disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.61E-3	1.61E-3	1.61E-3	1.61E-3
	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	4.53E-3	4.53E-3	4.53E-3	4.53E-3
emissions air	Heat, waste	-	-	MJ	5.03E+1	5.03E+1	5.03E+1	5.03E+1
	NMOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	8.06E-3	8.06E-3	8.06E-3	8.06E-3
	Carbon dioxide, fossil	-	-	kg	2.18E-2	2.18E-2	2.18E-2	2.18E-2
	Water, CN	-	-	kg	0	0	0	0
	Water, US	-	-	kg	0	0	0	0
	Water, KR	-	-	kg	5.03E-1	5.03E-1	5.03E-1	5.03E-1
	Water, RER	-	-	kg	0	0	0	0

ตารางที่ 5-10 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของภูมิภาคยุโรป โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	photovoltaic panel, single-Si, at plant	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant
					RER	RER	RER	RER
					1	1	1	1
					m2	m2	m2	m2
products	photovoltaic panel, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	RER	1	m2	1	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	1	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	1	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	1
materials	photovoltaic cell, single-Si, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	CN	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at regional storage	US	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at regional storage	US	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at plant	APAC	0	m2	0	0	0	0
	photovoltaic cell, single-Si, at regional storage	RER	0	m2	9.35E-1	0	9.35E-1	0
	photovoltaic cell, multi-Si, at regional storage	RER	0	m2	0	9.35E-1	0	9.35E-1
	aluminium alloy, AlMg3, at plant	RER	0	kg	2.13E+0	2.13E+0	0	0
	copper, at regional storage	RER	0	kg	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1
	wire drawing, copper	RER	0	kg	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1	1.03E-1
	diode, unspecified, at plant	GLO	0	kg	2.81E-3	2.81E-3	2.81E-3	2.81E-3
	silicone product, at plant	RER	0	kg	1.22E-1	1.22E-1	1.22E-1	1.22E-1
	tin, at regional storage	RER	0	kg	1.29E-2	1.29E-2	1.29E-2	1.29E-2
	lead, at regional storage	RER	0	kg	7.25E-4	7.25E-4	7.25E-4	7.25E-4
	solar glass, low-iron, at regional storage	RER	0	kg	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0
	tempering, flat glass	RER	0	kg	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0	8.81E+0
	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	0	kg	2.95E-1	2.95E-1	2.95E-1	2.95E-1
	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant	RER	0	kg	3.46E-1	3.46E-1	3.46E-1	3.46E-1
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	2.38E-2	2.38E-2	2.38E-2	2.38E-2
	ethylvinylacetate, film, at plant	RFR	0	kg	8.75E-1	8.75E-1	8.75E-1	8.75E-1
	polyvinylfluoride film, at plant	US	0	kg	1.12E-1	1.12E-1	1.12E-1	1.12E-1
auxiliaries	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	CN	0	kg	0	0	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	US	0	kg	0	0	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	KR	0	kg	0	0	0	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	RER	0	kg	5.03E+0	5.03E+0	5.03E+0	5.03E+0
	hydrogen fluoride, at plant	GLO	0	kg	6.24E-2	6.24E-2	6.24E-2	6.24E-2
	1-propanol, at plant	RER	0	kg	1.59E-2	1.59E-2	1.59E-2	1.59E-2
	isopropanol, at plant	RER	0	kg	1.47E-4	1.47E-4	1.47E-4	1.47E-4

ตารางที่ 5-10 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของภูมิภาคยุโรป โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit				
					photovoltaic panel, single-Si, at plant	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant
					RER	RER	RER	RER
					1	1	1	1
product	Location	InfrastructureProcess			1	1	1	1
	Unit				m2	m2	m2	m2
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	CN	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	US	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	APAC	1	m2	0	0	0	0
	photovoltaic panel, single-Si, at plant	RER	1	m2	1	0	0	0
	photovoltaic panel, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	1	0	0
	photovoltaic laminate, single-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	1	0
	photovoltaic laminate, multi-Si, at plant	RER	1	m2	0	0	0	1
	potassium hydroxide, at regional storage	RER	0	kg	5.14E-2	5.14E-2	5.14E-2	5.14E-2
	energy	soap, at plant	RER	0	kg	1.16E-2	1.16E-2	1.16E-2
corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant		RER	0	kg	7.63E-1	7.63E-1	7.63E-1	7.63E-1
EUR-flat pallet		RER	0	unit	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2
electricity, medium voltage, at grid		CN	0	kWh	0	0	0	0
electricity, medium voltage, at grid		US	0	kWh	0	0	0	0
infrastructure	electricity, medium voltage, at grid	KR	0	kWh	0	0	0	0
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	1.40E+1	1.40E+1	1.40E+1	1.40E+1
	diesel, burned in building machine, average	CH	0	MJ	8.75E-3	8.75E-3	8.75E-3	8.75E-3
	photovoltaic panel factory	GLO	1	unit	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6
	transport	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	2.77E+0	2.77E+0	2.56E+0
disposal	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.66E+1	1.66E+1	1.54E+1	1.54E+1
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	0	kg	3.00E-2	3.00E-2	3.00E-2	3.00E-2
	disposal, polyvinylfluoride, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	4.29E-3	4.29E-3	4.29E-3	4.29E-3
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.81E-2	2.81E-2	2.81E-2	2.81E-2
	disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.61E-3	1.61E-3	1.61E-3	1.61E-3
emissions air	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	4.53E-3	4.53E-3	4.53E-3	4.53E-3
	Heat, waste	-	-	MJ	5.03E+1	5.03E+1	5.03E+1	5.03E+1
	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	8.06E-3	8.06E-3	8.06E-3	8.06E-3
	Carbon dioxide, fossil	-	-	kg	2.18E-2	2.18E-2	2.18E-2	2.18E-2
	Water, CN	-	-	kg	0	0	0	0
	Water, US	-	-	kg	0	0	0	0
	Water, KR	-	-	kg	0	0	0	0
Water, RER	-	-	kg	5.03E-1	5.03E-1	5.03E-1	5.03E-1	

2) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe thin film)

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ องค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) ได้ศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ ฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ที่ผลิตในช่วงปี ค.ศ. 2015 (Series 4) และในช่วงปี ค.ศ. 2017 – 2018 (Series 6) เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตมีการพัฒนาประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วง ค.ศ. 2015 ฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์มีประสิทธิภาพในการแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 15.5%

ขณะที่ในช่วง ค.ศ. 2017 – 2018 มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็น 18% [4] บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ของภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิกอ้างอิงข้อมูลจากประเทศมาเลเซีย (Malaysia: MY) สำหรับภูมิภาคอเมริกาอ้างอิงจากแถบอเมริกาเหนือ ดังตารางที่ 5-11 ซึ่งการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ขนาด 1 m² ต้องใช้วัตถุดิบประกอบด้วย แคดเมียมเทลลูไรด์ แคดเมียมซัลไฟด์ ทองแดง อะลูมิเนียมอัลลอย เหล็กกล้าโครเมียม กระจก เป็นต้น ทั้งนี้วัตถุดิบที่ใช้เปรียบเทียบระหว่างปี ค.ศ. 2015 และ ค.ศ. 2017 – 2018 มีความแตกต่างกันในรายละเอียด วัตถุดิบบางประเภทถูกนำมาใช้แทนเพื่อให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น ทั้งนี้ในมุมมองของเสียที่เกิดขึ้นไม่มีความแตกต่างกัน [4]

ตารางที่ 5-11 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe thin film) ของภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก และอเมริกา โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 4, at plant	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 4, at plant	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 6, at plant	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 6, at plant
	Location				MY	US	MY	US
	InfrastructureProcess				1	1	1	1
	Unit				m2	m2	m2	m2
product	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 4, at plant	MY	1	m2	1	0	0	0
	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 4, at plant	US	1	m2	0	1	0	0
	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 6, at plant	MY	1	m2	0	0	1	0
	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 6, at plant	US	1	m2	0	0	0	1
materials	cadmium telluride, semiconductor-grade, at plant	US	0	kg	2.29E-2	2.37E-2	2.21E-2	2.29E-2
	cadmium sulphide, semiconductor-grade, at plant	US	0	kg	5.73E-4	5.92E-4	0	0
	copper, at regional storage	RER	0	kg	1.46E-2	1.48E-2	3.22E-3	3.27E-3
	aluminium alloy, AlMg3, at plant	RER	0	kg	0	0	1.67E+0	1.69E+0
	chromium steel 18/8, at plant	RER	0	kg	0	0	1.11E-2	1.13E-2
	flat glass, uncoated, at plant	RER	0	kg	7.99E+0	8.11E+0	5.34E+0	5.42E+0
	tempering, flat glass	RER	0	kg	7.99E+0	8.11E+0	0	0
	solar glass, low-iron, at regional storage	RER	0	kg	8.17E+0	8.44E+0	6.94E+0	7.18E+0
	ethylvinylacetate, foil, at plant	RER	0	kg	3.79E-1	3.85E-1	3.85E-1	3.91E-1
	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	0	kg	1.08E-1	1.08E-1	1.08E-1	1.08E-1
	silicone product, at plant	RER	0	kg	1.77E-2	1.80E-2	1.17E-1	1.19E-1
auxiliaries	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	MY	0	kg	2.07E+2	0	2.07E+2	0
	tap water, water balance according to MoeK 2013, at user	US	0	kg	0	1.93E+2	0	1.93E+2

ตารางที่ 5-11 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe thin film) ของภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก และอเมริกา โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	Infrastructure- Process	Unit	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 4, at plant	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 4, at plant	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 6, at plant	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 6, at plant
	Location				MY	US	MY	US
	InfrastructureProcess				1	1	1	1
	Unit				m2	m2	m2	m2
product	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 4, at plant	MY	1	m2	1	0	0	0
	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 4, at plant	US	1	m2	0	1	0	0
	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 6, at plant	MY	1	m2	0	0	1	0
	photovoltaic laminate, CdTe, First Solar Series 6, at plant	US	1	m2	0	0	0	1
	nitric acid, 50% in H2O, at plant	RER	0	kg	5.72E-2	5.72E-2	5.72E-2	5.72E-2
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	0	kg	3.93E-2	3.93E-2	3.93E-2	3.93E-2
	silica sand, at plant	DE	0	kg	4.68E-2	4.68E-2	0	0
	sodium chloride, powder, at plant	RER	0	kg	4.53E-2	4.53E-2	4.53E-2	4.53E-2
	hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant	RER	0	kg	1.67E-2	1.67E-2	1.67E-2	1.67E-2
	isopropanol, at plant	RER	0	kg	2.08E-3	2.08E-3	2.08E-3	2.08E-3
	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant	RER	0	kg	4.93E-2	4.93E-2	4.93E-2	4.93E-2
	chemicals inorganic, at plant	GLO	0	kg	7.55E-3	7.62E-3	9.26E-3	1.06E-2
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	8.65E-2	8.53E-2	2.68E-2	3.35E-2
	nitrogen, liquid, at plant	RER	0	kg	7.32E-2	7.32E-2	7.32E-2	7.32E-2
infrastructure	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	RER	0	kg	5.22E-1	5.22E-1	0	0
	EUR-flat pallet	RER	0	unit	2.78E-2	2.78E-2	1.45E-2	1.45E-2
	photovoltaic panel factory CdTe	US	1	unit	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6	4.00E-6
	electricity, medium voltage, at grid	MY	0	kWh	3.34E+1	0	3.34E+1	0
	electricity, medium voltage, at grid	US	0	kWh	0	3.48E+1	0	3.48E+1
	natural gas, burned in boiler modulating >100kW	RER	0	MJ	0	2.08E+1	0	2.08E+1
	transport							
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	1.44E-1	9.30E+0	1.02E-1	6.95E+0
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	2.48E+0	0	2.11E+0	0
	transport, transoceanic freight ship	OCE	0	tkm	4.17E+1	0	3.12E+1	0
	disposal							
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.52E-1	4.75E-1	2.52E-1	4.75E-1
	treatment, sewage, unpolluted, to wastewater treatment, class 3	CH	0	m3	0	8.63E-2	-	8.63E-2
	Heat, waste	-	-	MJ	1.20E+2	1.25E+2	1.20E+2	1.25E+2
emissions air	Water, MY	-	-	kg	9.51E+1	0	9.51E+1	0
	Water, US	-	-	kg	0	1.07E+2	0	1.07E+2
	Cadmium	-	-	kg	9.56E-9	9.56E-9	9.56E-9	9.56E-9
	Copper	-	-	kg	7.39E-9	7.39E-9	7.39E-9	7.39E-9
	Lead	-	-	kg	4.35E-9	4.35E-9	4.35E-9	4.35E-9
	Nitric acid	-	-	kg	3.00E-4	3.00E-4	3.00E-4	3.00E-4
	Cadmium	-	-	kg	3.62E-8	3.62E-8	3.62E-8	3.62E-8
	Copper	-	-	kg	1.76E-7	1.76E-7	1.76E-7	1.76E-7
	Lead	-	-	kg	2.58E-8	2.58E-8	2.58E-8	2.58E-8
	Nitrate	-	-	kg	2.59E-2	2.59E-2	2.59E-2	2.59E-2
	Zinc	-	-	kg	1.34E-7	1.34E-7	1.34E-7	1.34E-7

3) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-แกลเลียม-ไดเซเลไนต์ (CIGS thin film)

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-แกลเลียม-ไดเซเลไนต์ อ้างอิงข้อมูลจากประเทศเยอรมนี เพราะเป็นประเทศที่มีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ รวมถึงมีการใช้งานภายในประเทศ โดยบัญชีรายการของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-แกลเลียม-ไดเซเลไนต์ แสดงดังตารางที่ 5-12 ซึ่งการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 m² หลักๆ ต้องใช้ทองแดง 9.77 กรัม (g) อินเดียม 2.82 g แคดเมียมซัลไฟด์ 0.269 g แกลเลียม 0.899 g ซิลิเนียม 5.6 g และสารเคมีอื่นๆ หากต้องการเสริมความแข็งแรงสามารถทำได้โดยเพิ่มโครงอะลูมิเนียมอัลลอย และติดตั้งพลาสติกไฟเบอร์กลาสเพิ่มเติม จะได้เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Panel) [4]

ตารางที่ 5-12 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-แกลเลียม-ไดเซเลไนต์ (CIGS thin film) ของประเทศเยอรมนี โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	photovoltaic laminate, CIS, at plant	photovoltaic panel, CIS, at plant
	Location	Infrastructure	Process	Unit		DE	DE
	Unit					1	1
						m2	m2
product	photovoltaic laminate, CIS, at plant	DE	1	m2		1	0
	photovoltaic panel, CIS, at plant	DE	1	m2		0	1
energy	electricity, medium voltage, at grid	DE	0	kWh		45	0
	natural gas, burned in boiler condensing modulating >100kW	RER	0	MJ		0	0
	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	RER	0	MJ		0	1.55E+1
infrastructure	photovoltaic panel factory	GLO	1	unit		4.00E-6	0
materials	photovoltaic laminate, CIS, at plant	DE	1	m2		0	1.00E+0
	aluminium alloy, AlMg3, at plant	RER	0	kg		0	2.20E+0
	copper, at regional storage	RER	0	kg		9.77E-3	0
	wire drawing, copper	RER	0	kg		9.77E-3	0
	aluminium, production mix, at plant	RER	0	kg		4.44E-2	0
	flat glass, uncoated, at plant	RER	0	kg		5.27E+0	0
	diode, unspecified, at plant	GLO	0	kg		1.44E-3	0
	silicone product, at plant	RER	0	kg		4.04E-1	0
coating	molybdenum, at regional storage	RER	0	kg		6.06E-3	0
	indium, at regional storage	RER	0	kg		2.82E-3	0
	cadmium sulphide, semiconductor-grade, at plant	US	0	kg		2.69E-4	0
	cadmium sulphide, semiconductor-grade, at plant	US	0	kg		0	0
	gallium, semiconductor-grade, at regional storage	RER	0	kg		8.99E-4	0

ตารางที่ 5-12 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-แกเลียม-ไดเซเลไนด์ (CIGS thin film) ของประเทศเยอรมนี โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	photovoltaic laminate, CIS, at plant	photovoltaic panel, CIS, at plant
	Location				DE	DE
	Infrastructure Process				1	1
	Unit				m2	m2
product	photovoltaic laminate, CIS, at plant	DE	1	m2	1	0
	photovoltaic panel, CIS, at plant	DE	1	m2	0	1
energy	electricity, medium voltage, at grid	DE	0	kWh	45	0
	natural gas, burned in boiler condensing modulating >100kW	RER	0	MJ	0	0
	selenium, at plant	RER	0	kg	5.60E-3	0
	zinc, primary, at regional storage	RER	0	kg	0	0
	tin, at regional storage	RER	0	kg	1.23E-2	0
	solar glass, low-iron, at regional storage	RER	0	kg	7.70E+0	0
	tempering, flat glass	RER	0	kg	7.70E+0	0
	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	0	kg	0	4.00E-2
	ethylvinylacetate, foil, at plant	RER	0	kg	7.51E-1	0
	flux, wave soldering, at plant	CLO	0	kg	1.23E-2	0
	zinc oxide, at plant	RER	0	kg	9.09E-3	0
auxiliaries	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant	RER	0	kg	3.36E-1	0
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	4.84E-2	0
	polyvinylbutyral foil, at plant	RER	0	kg	1.89E-1	0
	polyphenylene sulfide, at plant	GLO	0	kg	8.59E-2	0
	tap water, at user	RER	0	kg	1.31E+2	0
	acetone, liquid, at plant	RER	0	kg	0	0
	argon, liquid, at plant	RER	0	kg	1.90E-2	0
	butyl acrylate, at plant	RER	0	kg	1.01E-1	0
	diborane, at plant	GLO	0	kg	2.01E-4	0
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	0	kg	3.31E-2	0
	hydrogen sulphide, H2S, at plant	RER	0	kg	1.91E-1	0
	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant	RER	0	kg	3.34E-2	0
	hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant	RER	0	kg	2.31E-2	0

ตารางที่ 5-12 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-แกเลียม-ไดเซเลไนต์ (CIGS thin film) ของประเทศเยอรมนี โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	photovoltaic laminate, CIS, at plant	photovoltaic panel, CIS, at plant
	Location				DE	DE
	Infrastructure Process				1	1
	Unit				m2	m2
product	photovoltaic laminate, CIS, at plant	DE	1	m2	1	0
	photovoltaic panel, CIS, at plant	DE	1	m2	0	1
energy	electricity, medium voltage, at grid	DE	0	kWh	45	0
	natural gas, burned in boiler condensing modulating >100kW	RER	0	MJ	0	0
	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	0	kg	9.94E-2	0
	nitrogen, liquid, at plant	RER	0	kg	1.57E+1	0
	ammonia, liquid, at regional storehouse	RER	0	kg	9.29E-2	0
	urea, as N, at regional storehouse	RER	0	kg	1.15E-3	0
	EUR-flat pallet	RER	0	unit	5.00E-2	0
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	1.70E+1	2.24E-1
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.02E+2	1.34E+0
disposal	disposal, waste, Si waferprod., inorg, 9.4% water, to residual material landfill	CH	0	kg	2.02E-2	0
	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill	CH	0	kg	6.50E-1	0
	disposal, glass, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	3.44E+0	0
	treatment, glass production effluent, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	0	0
	treatment, sewage, unpolluted, to wastewater treatment, class 3	CH	0	m3	1.31E-1	0
	treatment, sewage, unpolluted, to wastewater treatment, class 3	CH	0	m3	1.31E-1	0
emissions air	Heat, waste	-	-	MJ	1.61E+2	0
	Cadmium	-	-	kg	2.10E-8	0

5.1.1.2 บัญชีรายการกระบวนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมียุทธศาสตร์ประกอบต่างๆ ในการวาง/ยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ โดยแบ่งบัญชีรายการของกระบวนการติดตั้งออกตามจุดประสงค์การใช้งาน ได้แก่ การติดตั้งบนพื้นดิน (Ground-mount PV mounting system) และการติดตั้งบนหลังคา (Rooftop PV mounting system)

บัญชีรายการขั้นตอนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดินอ้างอิงข้อมูลจากยุโรป แสดงดังตารางที่ 5-13 โดยมีการใช้วัสดุเช่น โฟมโพลียูรีเทน แผ่นอะคริลิก กระจก เหล็ก บอร์ด คอนกรีต เป็นต้น เพื่อใช้เป็นฐานวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการใช้วัสดุเหล่านี้ อาจเกิดเศษที่เหลือจากการใช้งานแล้วทิ้งเป็นของเสียได้ [4]

ตารางที่ 5-13 บัญชีรายการกระบวนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	open ground construction, on ground, Mont Soleil
	Location				CH
	InfrastructureProcess				1
	Unit				m2
product materials	open ground construction, on ground, Mont Soleil	CH	1	m2	1
	gravel, round, at mine	CH	0	kg	350
	excavation, hydraulic digger, average	CH	0	m3	0
	zinc, primary, at regional storage	RER	0	kg	3
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	2.05E-2
	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	3.95E+1
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	2.51E+0
	particleboard, average glue mix, uncoated, at plant	RER	0	m3	9.98E-4
	roof tile, at plant	RER	0	kg	5.41E-1
	polyurethane, flexible foam, at plant	RER	0	kg	9.94E-2
	zinc coating, coils	RER	0	m2	1.83E-1
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	4.17E-2
	acetone, liquid, at plant	RER	0	kg	4.57E-2
	polyvinylchloride, at regional storage	RER	0	kg	1.11E-2
	bitumen, at refinery	CH	0	kg	2.03E-2
	rock wool, packed, at plant	CH	0	kg	1.92E-2
	flat glass, coated, at plant	RER	0	kg	7.21E-3
	acrylic binder, 34% in H2O, at plant	RER	0	kg	5.20E-3
	silicone product, at plant	RER	0	kg	4.79E-2
transport	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, fleet average	CH	0	tkm	9.45E+0
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, fleet average	CH	0	tkm	2.95E+0
disposal	disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill	CH	0	kg	4.87E+1
	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	CH	0	kg	3.95E+1
	disposal, building, fibre board, to final disposal	CH	0	kg	6.79E-1
	disposal, building, polyurethane foam, to final disposal	CH	0	kg	9.94E-2
	disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal	CH	0	kg	4.17E-2
	disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal	CH	0	kg	1.11E-2
	disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal	CH	0	kg	1.11E-2
	disposal, building, mineral wool, to sorting plant	CH	0	kg	1.92E-2
	disposal, building, glass pane (in burnable frame), to sorting plant	CH	0	kg	7.21E-3
resources	Transformation, from pasture and meadow	-	-	m2	4.72E+0
	Transformation, to industrial area, built up	-	-	m2	1.50E+0
	Transformation, to industrial area, vegetation	-	-	m2	3.22E+0
	Occupation, industrial area, built up	-	-	m2a	4.50E+1
emission	Occupation, industrial area, vegetation	-	-	m2a	9.67E+1
	Acetone	-	-	kg	4.57E-2

บัญชีรายการขั้นตอนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอ้างอิงข้อมูลจากยุโรปเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 5-14 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถติดตั้งได้หลายแบบขึ้นกับลักษณะของหลังคา หรืออาคารที่ต้องการติดตั้ง รวมถึงลักษณะการติดตั้งด้วยเช่น การสร้างติดตั้งร่วมกับโครงสร้างเป็นหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ หรือทำการติดตั้งเสริมบนโครงสร้างหลังคาเดิม เป็นต้น โดยมีองค์ประกอบวัสดุที่ต้องใช้แตกต่างกันไป ยกตัวอย่างเช่น หากต้องการติดตั้งเสริมบนโครงสร้างเดิมแบบลาดเอียงตามลักษณะของหลังคา (Slanted-roof construction, mounted, on roof) ต้องใช้อะลูมิเนียม บอร์ด พลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง พลาสติกโพลีไสตริค เหล็ก เป็นต้น [4]

ตารางที่ 5-14 บัญชีรายการกระบวนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	facade construction, mounted, at building	facade construction, integrated, at building	flat roof construction, on roof	slanted-roof construction, mounted, on roof	slanted-roof construction, integrated, on roof
					RER	RER	RER	RER	RER
					1	1	1	1	1
					m2	m2	m2	m2	m2
product	facade construction, mounted, at building		RER	1	m2	1	0	0	0
	facade construction, integrated, at building		RER	1	m2	-	1	0	0
	flat roof construction, on roof		RER	1	m2	-	-	1	0
	slanted-roof construction, mounted, on roof		RER	1	m2	-	-	-	0
	slanted-roof construction, integrated, on roof		RER	1	m2	-	-	-	1.00E+0
	open ground construction, on ground		RER	1	m2	-	-	-	0
	slanted-roof construction, mounted, on roof, Stade de Suisse	CH	1	m2	-	-	-	-	0
	aluminium, production mix, wrought alloy, at plant	RER	0	kg	2.64E+0	3.27E+0	2.52E+0	2.84E+0	2.25E+0
materials	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	RER	0	kg	4.03E-2	0	1.83E-2	1.33E-1	1.14E-1
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	7.32E-4	0	1.92E+0	1.40E-3	2.82E-2
	polystyrene, high impact, HIPS, at plant	RER	0	kg	3.66E-3	0	8.30E-3	7.02E-3	6.02E-3
	polyurethane, flexible foam, at plant	RER	0	kg	0	0	0	0	1.84E-2
	synthetic rubber, at plant	RER	0	kg	0	0	0	0	1.24E+0
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	1.80E+0	0	2.67E-1	1.50E+0	2.00E-1
	chromium steel 18/8, at plant	RER	0	kg	0	0	0	0	0
	gravel, unspecified, at mine	CH	0	kg	0	0	0	0	0
	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	-	0	-	-	-
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	-	0	-	0	-
	section bar extrusion, aluminium	RER	0	kg	2.64E+0	3.27E+0	2.52E+0	2.84E+0	2.25E+0
	sheet rolling, steel	RER	0	kg	1.10E-1	0	2.67E-1	1.50E+0	0
	section bar rolling, steel	RER	0	kg	1.69E+0	0	0	0	2.00E-1
	wire drawing, steel	RER	0	kg	-	0	0	0	-
	zinc coating, pieces	RER	0	m2	-	0	0	0	-
	zinc coating, coils	RER	0	m2	-	0	0	0	-
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	2.24E-1	1.64E-1	2.56E-1	2.25E-1	2.07E-1
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.61E+0	6.54E-1	1.05E+0	1.50E+0	8.52E-1
	transport, freight, light commercial vehicle	RER	0	tkm	4.44E-1	3.27E-1	4.72E-1	4.34E-1	3.75E-1
	disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to municipal incineration	CH	0	kg	4.03E-2	0	1.83E-2	1.33E-1	1.14E-1
disposal	disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal	CH	0	kg	7.32E-4	0	1.92E+0	1.40E-3	1.29E+0
	disposal, building, polystyrene isolation, flame-retardant, to final disposal	CH	0	kg	3.66E-3	0	8.30E-3	7.02E-3	6.02E-3
resources	Transformation, from pasture and meadow	-	-	m2	-	0	-	-	-
	Transformation, to industrial area, built up	-	-	m2	-	0	-	-	-
	Transformation, to industrial area, vegetation	-	-	m2	-	0	-	-	-
	Occupation, industrial area, built up	-	-	m2a	-	0	-	-	-
	Occupation, industrial area, vegetation	-	-	m2a	-	0	-	-	-

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญสำหรับการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์คือ อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้เซลล์แสงอาทิตย์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับในการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ และหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เพื่อใช้เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้ตรงกับค่าที่ใช้ตามปกติ ซึ่งเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีหลากหลายขนาดให้เลือกใช้ ขึ้นกับปริมาณไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์

ผลิตได้ ขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ใช้เชื่อมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอยู่ในช่วง 2.5-20 kW อ้างอิงข้อมูลจากแถบยุโรปเป็นหลัก โดยบัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (2.5, 5, 10, 20 kW) แสดงดังตารางที่ 5-15 ในส่วนของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินที่ต้องใช้เครื่องแปลงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อรองรับกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ปริมาณมาก บัญชีรายการข้อมูลของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1 เมกะวัตต์ (MW) (ไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้า) แสดงดังตารางที่ 5-16 ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวเป็นเพียงการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้น ยังไม่มีการเก็บข้อมูลโดยละเอียด [4]

ตารางที่ 5-15 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit				
						inverter, 2.5 kW, average, at plant	inverter, 5 kW, average, at plant	inverter, 10 kW, average, at plant	inverter, 20 kW, average, at plant
						RER 1 unit	RER 1 unit	RER 1 unit	RER 1 unit
product	inverter, 2.5 kW, average, at plant	RER	1	unit	1	0	0	0	
	inverter, 5 kW, average, at plant	RER	1	unit	0	1	0	0	
	inverter, 10 kW, average, at plant	RER	1	unit	0	0	1	0	
	inverter, 20 kW, average, at plant	RER	1	unit	0	0	0	1	
energy use	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	1.06E+1	1.69E+1	2.71E+1	4.34E+1	
	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	CH	0	MJ	2.26E-1	3.61E-1	5.79E-1	9.28E-1	
	natural gas , burned in power plant	DE	0	MJ	3.57E+0	5.72E+0	9.17E+0	1.47E+1	
	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW	RER	0	MJ	9.21E+0	1.47E+1	2.36E+1	3.79E+1	
individual components	aluminium , production mix, cast alloy, at plant	RER	0	kg	4.77E+0	7.64E+0	1.22E+1	1.96E+1	
	aluminium alloy, AlMg3, at plant	RER	0	kg	2.12E-1	3.39E-1	5.43E-1	8.70E-1	
	copper, at regional storage	RER	0	kg	1.91E+0	3.06E+0	4.90E+0	7.86E+0	
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	9.07E-1	1.45E+0	2.33E+0	3.73E+0	
	polypropylene, granulate, at plant	RER	0	kg	8.82E-1	1.41E+0	2.27E+0	3.63E+0	
	polycarbonate, at plant	RER	0	kg	2.02E-1	3.24E-1	5.19E-1	8.32E-1	
	cable, connector for computer, without plugs , at plant	GLO	0	m	1.31E-1	2.10E-1	3.37E-1	5.40E-1	
	inductor, ring core choke type, at plant	GLO	0	kg	8.71E-1	1.40E+0	2.24E+0	3.58E+0	
	integrated circuit, IC, logic type, at plant	GLO	0	kg	6.61E-2	1.06E-1	1.70E-1	2.72E-1	
	ferrite, at plant	GLO	0	kg	3.49E-2	5.59E-2	8.96E-2	1.44E-1	
	plugs, inlet and outlet, for network cable, at plant	GLO	0	unit	3.48E+0	5.58E+0	8.93E+0	1.43E+1	
	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	0	kg	1.31E-1	2.09E-1	3.35E-1	5.37E-1	
printed board assembly	printed wiring board, surface mount, lead-free surface, at plant	GLO	0	m2	1.01E-1	1.62E-1	2.60E-1	4.16E-1	
	tin, at regional storage	RER	0	kg	9.59E-3	1.54E-2	2.46E-2	3.94E-2	
	connector, clamp connection, at plant	GLO	0	kg	2.44E-2	3.91E-2	6.26E-2	1.00E-1	
	inductor, ring core choke type, at plant	GLO	0	kg	1.31E-1	2.09E-1	3.35E-1	5.37E-1	
	inductor, miniature RF chip type, MRFI, at plant	GLO	0	kg	1.10E-3	1.77E-3	2.83E-3	4.53E-3	
	integrated circuit, IC, logic type, at plant	GLO	0	kg	1.55E-1	2.49E-1	3.99E-1	6.39E-1	

ตารางที่ 5-15 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] (ต่อ)

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	inverter, 2.5 kW, average, at plant	inverter, 5 kW, average, at plant	inverter, 10 kW, average, at plant	inverter, 20 kW, average, at plant
						RER 1 unit	RER 1 unit	RER 1 unit	RER 1 unit
product	Location InfrastructureProcess Unit								
	inverter, 2.5 kW, average, at plant	RER	1	unit	1	0	0	0	
	inverter, 5 kW, average, at plant	RER	1	unit	0	1	0	0	
	inverter, 10 kW, average, at plant	RER	1	unit	0	0	1	0	
	inverter, 20 kW, average, at plant	RER	1	unit	0	0	0	1	
	integrated circuit, IC, memory type, at plant	GLO	0	kg	1.87E-3	3.00E-3	4.81E-3	7.70E-3	
	transistor, unspecified, at plant	GLO	0	kg	1.92E-2	3.07E-2	4.92E-2	7.89E-2	
	transistor, SMD type, surface mounting, at plant	GLO	0	kg	4.17E-2	6.69E-2	1.07E-1	1.72E-1	
	diode, glass-, SMD type, surface mounting, at plant	GLO	0	kg	2.01E-3	3.22E-3	5.15E-3	8.25E-3	
	light emitting diode, LED, at plant	GLO	0	kg	1.44E-5	2.31E-5	3.69E-5	5.92E-5	
	capacitor, film, through-hole mounting, at plant	GLO	0	kg	1.66E-1	2.67E-1	4.27E-1	6.84E-1	
	capacitor, electrolyte type, > 2cm height, at plant	GLO	0	kg	2.57E-1	4.12E-1	6.60E-1	1.06E+0	
	capacitor, electrolyte type, < 2cm height, at plant	GLO	0	kg	6.71E-3	1.08E-2	1.72E-2	2.76E-2	
	capacitor, SMD type, surface-mounting, at plant	GLO	0	kg	1.33E-3	2.14E-3	3.42E-3	5.49E-3	
	resistor, wirewound, through-hole mounting, at plant	GLO	0	kg	1.12E-3	1.79E-3	2.87E-3	4.60E-3	
	resistor, SMD type, surface mounting, at plant	GLO	0	kg	4.57E-3	7.33E-3	1.17E-2	1.88E-2	
	ferrite, at plant	GLO	0	kg	2.55E-5	4.09E-5	6.55E-5	1.05E-4	
	transformer, low voltage use, at plant	GLO	0	kg	4.01E-2	6.43E-2	1.03E-1	1.65E-1	
	plugs, inlet and outlet, for network cable, at plant	GLO	0	unit	2.79E-1	4.47E-1	7.16E-1	1.15E+0	
	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	0	kg	2.56E-2	4.10E-2	6.57E-2	1.05E-1	
cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs, at plant	GLO	0	kg	2.40E-4	3.84E-4	6.16E-4	9.86E-4		
processing	sheet rolling, steel	RER	0	kg	9.07E-1	1.45E+0	2.33E+0	3.73E+0	
	wire drawing, copper	RER	0	kg	1.91E+0	3.06E+0	4.90E+0	7.86E+0	
	section bar extrusion, aluminium	RER	0	kg	4.77E+0	7.64E+0	1.22E+1	1.96E+1	
	steel product manufacturing, average metal working	RER	0	kg	1.92E-2	3.08E-2	4.93E-2	7.90E-2	
infrastructure	metal working factory	RER	1	unit	1.10E-8	1.76E-8	2.82E-8	4.51E-8	
packaging	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	RER	0	kg	6.60E-1	1.06E+0	1.69E+0	2.71E+0	
	folding boxboard, FBB, at plant	RER	0	kg	1.16E+0	1.85E+0	2.97E+0	4.75E+0	
	packaging film, LDPE, at plant	RER	0	kg	1.15E-2	1.84E-2	2.95E-2	4.73E-2	
transport	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	6.76E-1	1.08E+0	1.74E+0	2.78E+0	
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	2.25E+0	3.61E+0	5.79E+0	9.27E+0	
	transport, transoceanic freight ship	OCE	0	tkm	2.03E+1	3.25E+1	5.21E+1	8.34E+1	
emission air, unspecified	Heat, waste	-	-	MJ	3.80E+1	6.09E+1	9.75E+1	1.56E+2	
technosphere	tap water, at user	RER	0	kg	1.99E+1	3.18E+1	5.10E+1	8.17E+1	
resource, in water	Water, unspecified natural origin, DE	-	-	m3	3.78E-2	6.06E-2	9.71E-2	1.56E-1	
disposal	treatment, sewage, unpolluted, to wastewater treatment, class 3	CH	0	m3	1.99E-2	3.18E-2	5.10E-2	8.17E-2	
	disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.82E+0	2.91E+0	4.66E+0	7.47E+0	
	disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.15E-2	1.84E-2	2.95E-2	4.73E-2	
	disposal, treatment of printed wiring boards	GLO	0	kg	1.22E+0	1.96E+0	3.14E+0	5.02E+0	
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.43E-1	3.89E-1	6.23E-1	9.98E-1	
	disposal, hazardous waste, 25% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.28E-2	2.06E-2	3.30E-2	5.28E-2	

ตารางที่ 5-16 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1 MW สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

Products	Unit	Amount	Comment
Inverters + Transformers	p	1.00	Nominal input power 1 MW DC
Materials			
Steels	kg	9792	
aluminum	kg	894	
copper	kg	2277	
polyamide injection molded	kg	485	
polyester	Kg	300	
Polyethylene, HD	Kg	150	
Paint	Kg	150	
Transformer oil (vegetable)	Kg	6001	

5.1.1.3 บัญชีรายการกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า และการดูแลรักษาเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) ยังไม่มีรายงานหรือการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับบัญชีรายการกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า และการดูแลรักษาเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ได้ระบุไว้ว่าอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินมีแนวโน้มเปลี่ยนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 2% ของช่วงอายุการใช้งาน (25-30 ปี) และมีประมาณ 1% ที่เสียไประหว่างการใช้งาน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ก็ต้องมีการตรวจสอบสภาพ แล้วต้องทำการเปลี่ยนหากหมดสภาพการใช้งาน เช่น เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า โดยทั่วไปมีอายุใช้งานประมาณ 15 ปี ดังนั้นต้องดำเนินการเปลี่ยน และต้องกระบวนการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นเป็นต้น [4]

จากรายงานของสำนักงานพลังงานทดแทนระหว่างประเทศ (International renewable energy agency: IRENA) ปี ค.ศ. 2016 ได้สรุปสาเหตุการเสียของเซลล์แสงอาทิตย์ว่ามาจากหลายสาเหตุ โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาคือ

1) ความเสียหายในช่วงแรก (Infant failure) มักเกิดในช่วง 4 ปีแรกหลังจากการติดตั้ง สาเหตุเกิดจากการเสื่อมถอยจากผลกระทบทางแสงต่ำ (Light-induced degradation) การวางแผนผิดพลาด งานติดตั้งที่ไม่ดี รวมถึงการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน

2) ความเสียหายในช่วงกลาง (Midlife failure) เกิดขึ้นในช่วง 5-11 ปีหลังการติดตั้ง ซึ่งมีสาเหตุจากการเสื่อมสภาพของสารเคลือบป้องกันแสงสะท้อนของกระจก การเปลี่ยนสีของเอทิลีนไวโนลอะซิเตท หรือการแยกตัว/การแตกของเซลล์

3) ความเสียหายจากการเสื่อมสภาพ (Wear-out failure) เกิดขึ้นเมื่อติดตั้งไปแล้วตั้งแต่ 12 ปีขึ้นไป โดยมีสาเหตุเช่นเดียวกับความเสียหายในช่วงกลาง อีกสาเหตุที่พบคือ เซลล์ถูกกัดกร่อนอย่างรุนแรงทำให้สูญเสียประสิทธิภาพในการทำงาน นอกจากนี้ภัยธรรมชาติต่างๆ ก็ส่งผลต่อการเสียของเซลล์แสงอาทิตย์ [5]

5.1.1.4 บัญชีรายการกระบวนการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

ซากเซลล์แสงอาทิตย์จัดเป็นของเสียชนิดใหม่ในระบบการจัดการของเสีย เนื่องจากปัจจุบันยังมีซากเซลล์แสงอาทิตย์เกิดขึ้นปริมาณน้อย แนวทางในการจัดการจึงเป็นเพียงแนวทาง/วิธีการจัดการเหมือนกับซากอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ไม่มีแนวทางการจัดการโดยเฉพาะ กระบวนการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ในเชิงพาณิชย์จึงเป็นการคัดแยกชิ้นส่วน (Cut-off) เท่านั้น เช่น กระจก อะลูมิเนียม ทองแดง เป็นต้น ที่สามารถคัดแยกออกได้ง่าย ขณะที่ตัวเซลล์และส่วนพลาสติกอื่นๆ ยังไม่มีการนำไปรีไซเคิลอย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งส่วนนี้จะถูกนำไปเผาหรือฝังกลบขยะอันตรายอย่างถูกหลักวิชาการต่อไป โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกสามารถรีไซเคิลกระจกออกมาได้ 59-75% และโลหะที่ไม่ใช่เหล็กได้ 13.5-21.8% บัญชีรายการขั้นตอนรีไซเคิลคัดแยกชิ้นส่วนซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกอ้างอิงข้อมูลจากประเทศแถบยุโรป แสดงดังตารางที่ 5-17 ยกตัวอย่าง จากซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก 1 kg หากจะแยกชิ้นส่วนกระจก อะลูมิเนียม และทองแดง ออกจากตัวซากแผงต้องใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0556 kWh พลังงานจากดีเซล 0.0324 เมกะจูล (MJ) ในการเดินเครื่องจักรเพื่อคัดแยก ชิ้นส่วนอื่นๆ ที่เหลืออยู่ เช่น เศษพลาสติก ก็ต้องส่งไปกำจัดต่อไป [4]

ตารางที่ 5-17 บัญชีรายการขั้นตอนรีไซเคิลคัดแยกชิ้นส่วนซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	treatment, c-Si PV module	glass cullets, recovered from c-Si PV module treatment	aluminium scrap, recovered from c-Si PV module treatment	copper scrap, recovered from c-Si PV module treatment
	Location Infrastructure Process Unit					RER 0 kg	RER 0 kg	RER 0 kg	RER 0 kg
product	treatment, c-Si PV module	RER	0	kg		1	0	0	0
	glass cullets, recovered from c-Si PV module treatment	RER	0	kg		0	1	0	0
	aluminium scrap, recovered from c-Si PV module treatment	RER	0	kg		0	0	1	0
	copper scrap, recovered from c-Si PV module treatment	RER	0	kg		0	0	0	1
technosphere	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh		5.56E-2	4.05E-3	1.42E-1	8.09E-1
	diesel, burned in building machine, average	CH	0	MJ		3.24E-2	2.36E-3	8.25E-2	4.71E-1
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg		7.34E-2	5.34E-3	1.87E-1	1.07E+0
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill	CH	0	kg		1.28E-2	9.33E-4	3.26E-2	1.87E-1
	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5	RER	0	tkm		5.00E-2	3.64E-3	1.27E-1	7.27E-1
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm		2.00E-1	1.45E-2	5.09E-1	2.91E+0

ซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe thin film) สามารถรีไซเคิลแยกองค์ประกอบพวกกระจก แคดเมียม และทองแดงออกจากตัวซากได้สูงถึง 90% โดยข้อมูลบัญชีรายการขั้นตอนรีไซเคิลคัดแยกแสดงดังตารางที่ 5-18 กระบวนการคัดแยกนี้ใช้สารละลายในการชะโลหะออกจาก

ซาก เช่น หากรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ 1 kg จะต้องใช้กรดซัลฟูริก 4.28 g ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 29.3 g โซดาไฟ 5.34 g ไฟฟ้า 0.224 kWh เป็นต้น แต่เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีแคดเมียมซึ่งเป็นโลหะหนัก การใช้วิธีชะละลายจึงมีการชะแคดเมียมออกมาด้วย ดังนั้นต้องมีระบบบำบัดอากาศและน้ำเสียที่เกิดขึ้น เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม [4]

ตารางที่ 5-18 บัญชีรายการขั้นตอนรีไซเคิลคัดแยกชิ้นส่วนซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียม-เทลลูไรด์ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	treatment, CdTe PV module	glass cullets, recovered from CdTe PV module treatment	copper scrap, recovered from CdTe PV module treatment	cadmium sludge, recovered from CdTe PV module treatment	copper telluride cement, recovered from CdTe PV module treatment
						DE 0 kg	DE 0 kg	DE 0 kg	DE 0 kg	DE 0 kg
product	treatment, CdTe PV module	DE	0	kg	1	0	0	0	0	0
	glass cullets, recovered from CdTe PV module treatment	DE	0	kg	0	1	0	0	0	0
	copper scrap, recovered from CdTe PV module treatment	DE	0	kg	0	0	1	0	0	0
	cadmium sludge, recovered from CdTe PV module treatment	DE	0	kg	0	0	0	1	0	0
	copper telluride cement, recovered from CdTe PV module treatment	DE	0	kg	0	0	0	0	0	1
technosphere	electricity, medium voltage, at grid	DE	0	kWh	2.24E-1	1.51E-2	3.02E+0	6.95E-2	5.89E+0	
	water, deionised, at plant	CH	0	kg	2.78E-1	1.87E-2	3.74E+0	8.60E-2	7.29E+0	
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	0	kg	4.28E-3	2.87E-4	5.75E-2	1.32E-3	1.12E-1	
	hydrogen peroxide, 50% in H ₂ O, at plant	RER	0	kg	2.93E-2	1.97E-3	3.94E-1	9.07E-3	7.68E-1	
	sodium hydroxide, 50% in H ₂ O, production mix, at plant	RER	0	kg	5.34E-3	3.59E-4	7.18E-2	1.65E-3	1.40E-1	
	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5	RER	0	tkm	8.47E-2	5.69E-3	1.14E+0	2.62E-2	2.22E+0	
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	4.90E-1	3.29E-2	6.59E+0	1.52E-1	1.29E+1	
	treatment, PV cell production effluent, to wastewater treatment, class 3	CH	0	m3	2.46E-4	1.65E-5	3.30E-3	7.61E-5	6.45E-3	
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill	CH	0	kg	3.16E-2	2.12E-3	4.25E-1	9.78E-3	8.29E-1	
	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill	CH	0	kg	6.59E-3	4.43E-4	8.86E-2	2.04E-3	1.73E-1	
emission air, unspecified	Cadmium	-	-	kg	3.02E-10	2.03E-11	4.06E-9	9.35E-11	7.93E-9	
emission water, unspecified	Cadmium	-	-	kg	4.58E-9	3.08E-10	6.15E-8	1.42E-9	1.20E-7	

5.1.1.5 ภาพรวมผังการไหลวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ

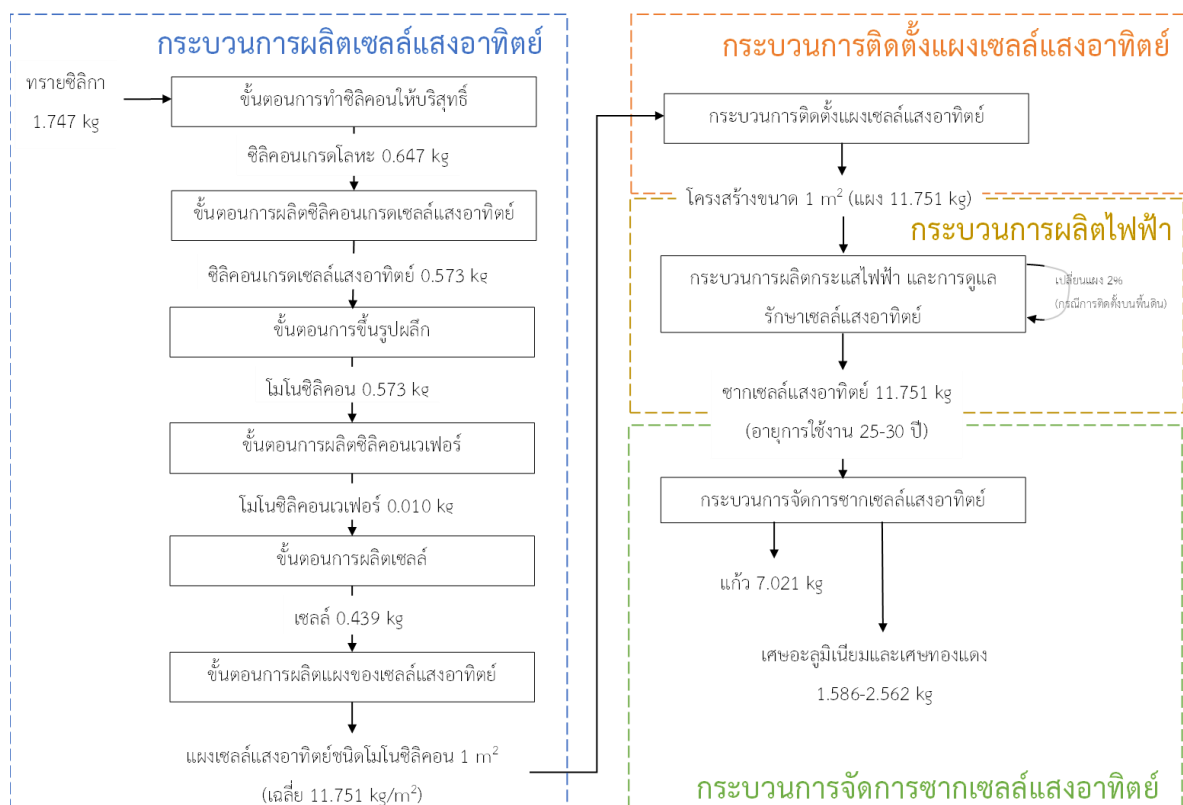
วัตถุดิบ/ทรัพยากรที่ใช้ตลอดผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกก็ใช้วัตถุดิบเป็นทรายซิลิกาเป็นหลัก ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางจะใช้สารประกอบโลหะในการผลิตเป็นหลัก ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก (Crystalline-Si PV)

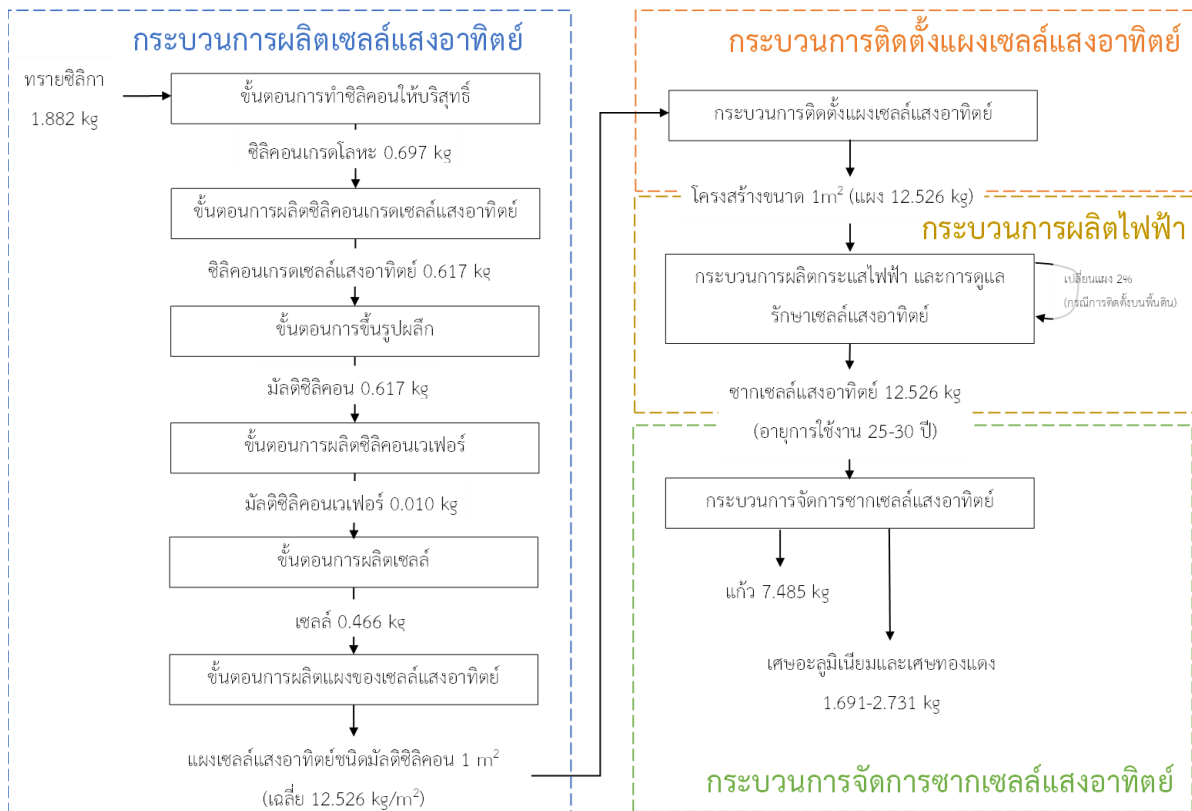
จากข้อมูลขององค์การพลังงานระหว่างประเทศ หรือ IEA [4] สรุปผังการไหลวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนซิลิคอนได้ดังรูปที่ 5-5 ซึ่งการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนซิลิคอนขนาด 1 m² หรือคิดเป็นมวลเฉลี่ย 11.751 kg/m² (10.253-12.644 kg/m² [6-8]) ต้องใช้ทรายซิลิกา/ควอตซ์ 1.747 kg ในขั้นตอนย่อยของการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการประกอบเซลล์เข้ากับแผ่นกระจก (มวลกระจก 8.81 kg) จึงทำให้มวลเพิ่มขึ้นจากวัตถุดิบหลักคือเซลล์ 0.439 kg เป็นแผงหนัก 11.751 kg/m² [4] เมื่อนำไปติดตั้ง

ขนาดโครงสร้าง 1 m^2 ประมาณการว่ามีการใช้แผงขนาด 1 m^2 เช่นกัน ซึ่งกระบวนการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานประมาณ 25-30 ปี ระหว่างนั้น 2% ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจมีการชำรุดได้จากหลายสาเหตุ และต้องดำเนินการเปลี่ยน อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นอายุขัยของแผงต้องมีการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น จากประสิทธิภาพที่สามารถรีไซเคิลแบบคัดแยกชิ้นส่วนในปัจจุบัน ทำให้สามารถประมาณปริมาณชิ้นส่วนที่รีไซเคิลได้ เช่น เศษแก้ว 7.021 kg เศษอะลูมิเนียมและเศษทองแดง (Non-ferrous metal) 1.586-2.562 kg เป็นต้น ทั้งนี้รายละเอียดวัตถุดิบอื่นๆ พลังงานไฟฟ้า น้ำ รวมถึงปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำอยู่ในหัวข้อต่างๆ ที่กล่าวไปข้างต้น

ผังการไหลวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอน ตั้งแต่ต้นน้ำเริ่มจากทรายซิลิกา 1.882 kg เมื่อผ่านขั้นตอนการขึ้นรูปผลึกจะได้มัลติซิลิคอน 0.617 kg จากนั้นผ่านขั้นตอนผลิตเวเฟอร์ ขึ้นรูปเซลล์ ผลิตเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอนขนาด 1 m^2 หรือ 12.526 kg ($10.253\text{-}15.714 \text{ kg/m}^2$ [6-9]) ซึ่งซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน หากนำไปรีไซเคิลจะได้เศษแก้ว 7.485 kg และเศษอะลูมิเนียม/เศษทองแดง 1.691-2.731 kg แสดงดังรูปที่ 5-6



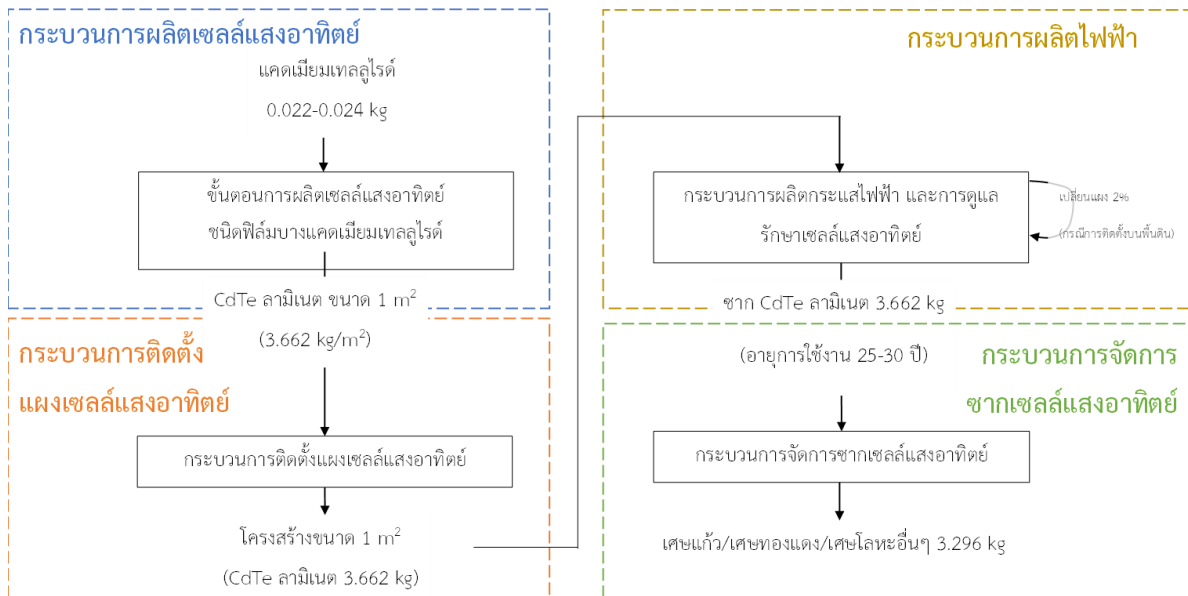
รูปที่ 5-5 ภาพรวมผังการไหลวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนซิลิคอน (Monocrystalline silicon) ของต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]



รูปที่ 5-6 ภาพรวมผังการไหลวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอน (Multicrystalline silicon) ของต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe thin film)

ผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ อ้างอิงจากข้อมูลขององค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4] แสดงดังรูปที่ 5-7 จะเห็นได้ว่าการผลิตแผ่นแคดเมียมเทลลูไรด์ลามิเนตขนาด 1 m² หรือคิดเป็นมวลเฉลี่ย 3.662 kg (2.441-4.882 kg/m² [8]) ใช้แคดเมียมเทลลูไรด์เป็นวัตถุดิบจำนวน 22-24 g ซึ่งหลังจากใช้หมดอายุการใช้งาน ซากแคดเมียมเทลลูไรด์ลามิเนตสามารถนำมารีไซเคิลคัดแยกชิ้นส่วนได้พวกเศษแก้ว เศษทองแดง และเศษโลหะอื่นๆ 90% หรือคิดเป็น 3.296 kg



รูปที่ 5-7 ภาพรวมผังการไหลวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe thin film) ของต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) [4]

5.1.1.6 ภาพรวมผังการไหลตามห่วงโซ่อุปทานของต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ

หากพิจารณาผังการไหลร่วมกับปริมาณที่เกิดขึ้นจริงในห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกพบว่า จากรายงาน “Trends in photovoltaic applications 2020” ขององค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) ในปี ค.ศ. 2019 ทั่วโลกมีการผลิตโพลีซิลิคอน/ซิลิคอนเกรดโลหะ (Polysilicon production) 507,500 ตัน (tonne) โดยสัดส่วนการผลิตส่วนใหญ่อยู่ในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน (68%) รองลงมาเป็นประเทศเยอรมนี (11%) เกาหลีใต้ (10%) สหรัฐอเมริกา (6%) มาเลเซีย (2%) และประเทศอื่นๆ (3%) ซึ่งประมาณ 469,000 tonne ใช้ในการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ และที่เหลือ 38,500 tonne ใช้ในการผลิตสารกึ่งตัวนำ/ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ดังนั้นกว่า 92.4% ของโพลีซิลิคอนที่ผลิตได้ทั่วโลกถูกผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ [10]

เมื่อนำโพลีซิลิคอนผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ ซิลิคอนที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น โดยโมโนซิลิคอนต้องมีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.99999999% (Eleven nines pure) และมัลติซิลิคอนบริสุทธิ์ 99.9999999% (Nine nines pure) อย่างไรก็ตามเนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตเวเฟอร์ที่ดีขึ้นและสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนา (โควิด-19) ส่งผลให้ราคาของโพลีซิลิคอนในตลาดโลกมีแนวโน้มลดลง จากราคาประมาณ 9 USD/kg ในช่วงต้นปี ค.ศ. 2019 ตกลงมาเป็น 6.19 USD/kg ในช่วงปี ค.ศ. 2020 [10]

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตเวเฟอร์เซลล์แสงอาทิตย์ (Silicon wafer production) มีการพัฒนาประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) ระบุว่า ปริมาณการใช้โพลีซิลิคอนในการผลิตเวเฟอร์ 1 W มีแนวโน้มลดลงในทุกๆ ปี ซึ่งในปี ค.ศ. 2018 มีการประมาณการใช้

โพลีซิลิคอนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 3.9 kg/W [10] สำหรับตลาดการผลิตซิลิคอนเวเฟอร์พบว่า ทั่วโลกมีการผลิตซิลิคอนเวเฟอร์ 142 กิกะวัตต์ (GW) โดยแหล่งการผลิตหลักคือ ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน (96%) และอื่นๆ (4%) เช่น ประเทศเกาหลีใต้ ญี่ปุ่น มาเลเซีย นอร์เวย์ สหรัฐอเมริกา สาธารณรัฐจีน/ไต้หวัน เป็นต้น จากสัดส่วนการผลิตของปี ค.ศ. 2019 ทั่วโลกมีการผลิตโมโนซิลิคอนเวเฟอร์ 35.5% และมัลติซิลิคอนเวเฟอร์ 64.5% ขนาดของซิลิคอนเวเฟอร์มีหลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น

- 156.75 mm x 156.75 mm (M2)
- 158.75 mm x 158.75 mm (G1)
- 166 mm x 166 mm (M6)
- 182 mm x 182 mm (M10)
- 210 mm x 210 mm (M12)

ซึ่ง 61% ของการผลิตเป็นเวเฟอร์ขนาด M2 อย่างไรก็ตามบริษัทผู้ผลิตได้กำหนดขนาดของการผลิตเวเฟอร์แตกต่างกัน เช่น บริษัท JA Solar บริษัท JinkoSolar และบริษัท Longi ซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มบริษัทหลักของการผลิตเวเฟอร์ได้ประกาศว่า M10 คือขนาดมาตรฐานในการผลิตตั้งแต่ปี ค.ศ. 2020 เป็นต้นมา

การผลิตเซลล์ (Cell production) ของทั้งชนิดซิลิคอนผลึกและชนิดฟิล์มบาง อ้างอิงปี ค.ศ. 2019 พบว่า ทั่วโลกมีปริมาณการผลิตประมาณ 144 GW โดยประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนผลิตเซลล์ 110 GW หรือคิดเป็น 76% ของการผลิตทั้งหมด รองลงมาคือ ประเทศมาเลเซีย (6%) เกาหลีใต้ (4%) สาธารณรัฐจีน/ไต้หวัน (3%) เป็นต้น [10]

การผลิตโมดูล/แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Module production) ของทั้งชนิดซิลิคอนผลึกและชนิดฟิล์มบางในปี ค.ศ. 2019 ทั่วโลกมีปริมาณการผลิตประมาณ 140 GW แบ่งออกเป็น ชนิดโมโนซิลิคอน 62% ชนิดมัลติซิลิคอน 34% และชนิดฟิล์มบาง 4% ซึ่ง 70% ของการผลิตอยู่ในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน สำหรับการติดตั้งพบว่า มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองชนิดรวมกันประมาณ 115 GW [10]

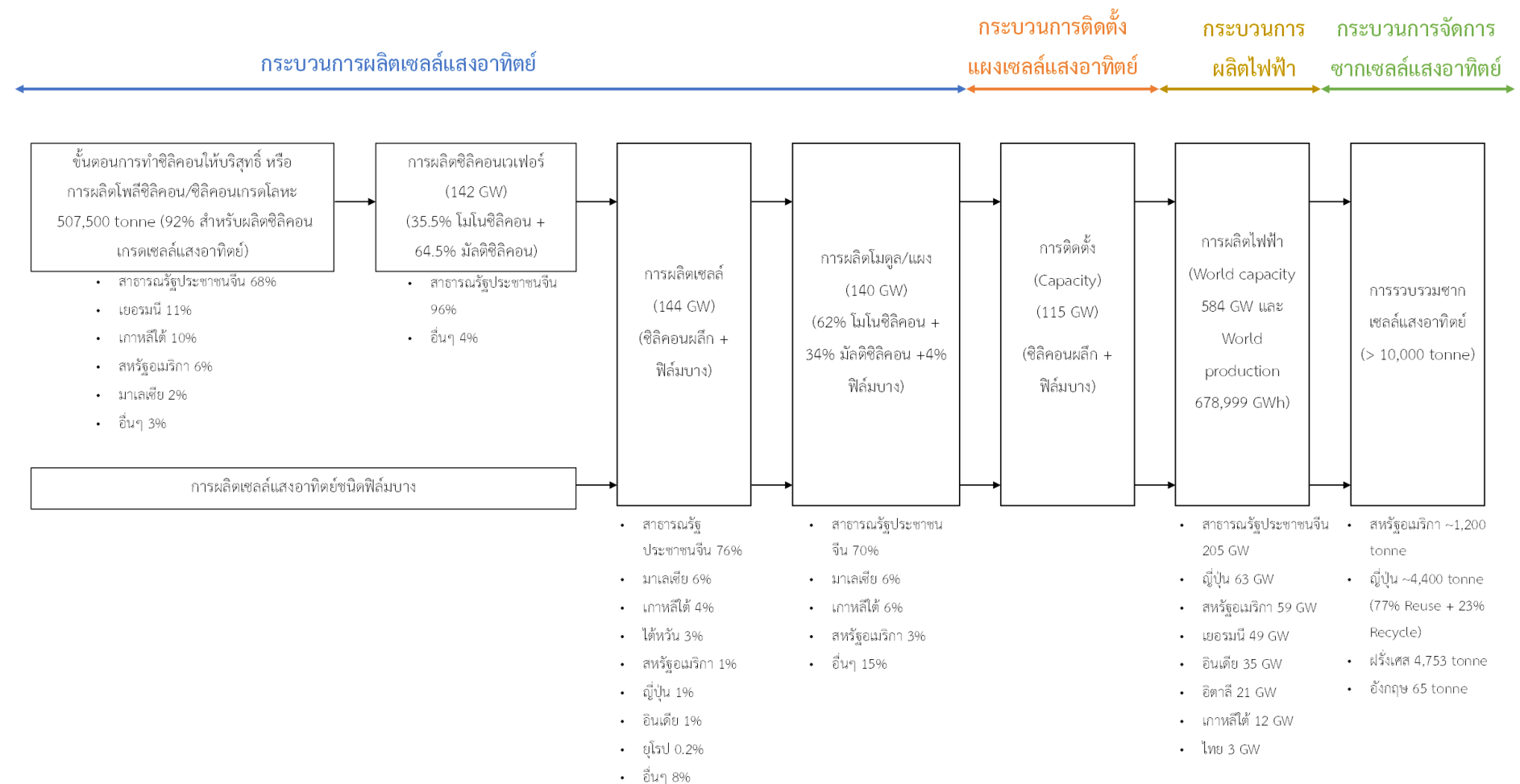
การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงข้อมูลจากสำนักงานพลังงานทดแทนระหว่างประเทศ (IRENA) พบว่าในปี ค.ศ. 2019 กำลังการผลิตไฟฟ้าทั่วโลก (Capacity) 584 GW โดยมีการผลิตจริง (Production) อยู่ที่ 678,999 กิกะวัตต์-ชั่วโมง (GWh) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน 35% ญี่ปุ่น 11% สหรัฐอเมริกา 10% เยอรมนี 8% อินเดีย 6% อิตาลี 4% และเกาหลีใต้ 2% โดยประเทศไทยมีการผลิต 3 GW (5,146 GWh) หรือคิดเป็น 0.005% ของกำลังการผลิตโลก [11]

การรวบรวมซากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันนั้น มีเพียงไม่กี่ประเทศที่สามารถดำเนินการได้อย่างเป็นระบบ โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) ระบุว่าในภาพรวมมีการรวบรวมซากได้มากกว่า 10,000 tonne (ค.ศ. 2019) ซึ่งทั้งนี้เมื่อรวบรวมได้ ซากเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำไปปรับปรุงเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หรือนำไปผ่านกระบวนการรีไซเคิล ยกตัวอย่างเช่น ประเทศญี่ปุ่นสามารถรวบรวมซากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ประมาณ 4,400 tonne ต่อปี โดยทำการปรับปรุงเพื่อนำกลับมาใช้ (Reuse) 3,400 tonne และอีก 1,000 tonne นำเข้าสู่ขั้นตอนรีไซเคิล เพื่อคัดแยกกระจก/โลหะออกมา [10]

ภาพรวมผังการไหลตามห่วงโซ่อุปทานของต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ อ้างอิงปี ค.ศ.
2019 แสดงดังรูปที่ 5-8

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน



รูปที่ 5-8 ภาพรวมผังการไหลตามห่วงโซ่อุปทานของต่างประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ปี ค.ศ. 2019

5.1.2 ผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องใดดำเนินการรวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต (LCI) ของเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยข้อมูลเชิงปริมาณที่สามารถรวบรวมได้นั้นจึงมาจากการวิจัยต่างๆ เท่านั้น

- เสาวภา ทินปาน และ ประพิศาริ ธนารักษ์ (พ.ศ. 2556) [12] ศึกษาฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous silicon) ขนาด 635 mm X 1,245 mm 40 W อายุการใช้งาน 20 ปี ติดตั้ง ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก โดยสรุปปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง (Module) ได้ดังตารางที่ 5-19

ตารางที่ 5-19 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง (Module) ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก [12]

สารเคมี	ปริมาณสารเคมี (kg/module)
SiH ₄	1.13x10 ⁻⁶
H ₂	1.69x10 ⁻⁸
CH ₄	1.54x10 ⁻⁷
Ar	2.33x10 ⁻⁶
PH ₃	2.87x10 ⁻⁷
TMB	2.70x10 ⁻⁷
N ₂	3.39x10 ⁻⁴
TCO	6.40
EVA film	0.23

- ปาณิสรา อ่อนดอกไม้ และ นัฐพร ไชยญาติ (พ.ศ. 2562) [13] ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาตั้งแต่กระบวนการสร้าง ใช้งาน และกำจัดซาก หน่วยในการประเมินคือ ปริมาณต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งข้อมูลปริมาณอ้างอิงจากการวิจัยต่างประเทศแสดงดังตารางที่ 5-20

ตารางที่ 5-20 บัญชีรายการของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ [13]

Descriptions	Quantity	Descriptions	Quantity
Construction phase		Operation and maintenance	
Solar panel		Battery (kg)	2.30E-03
Glass (kg)	5.99E+01	Tap water (kg)	2.80E+00
EVA (kg)	4.50E+00	Distilled water (kg)	1.17E-03
PET (kg)	3.00E+00	Electric wire	
Aluminum (kg)	6.10E+00	Copper (kg)	4.36E+00
Silicon (kg)	3.70E+00	Insulating (kg)	3.00E+00
Silver (kg)	3.20E-02	Holder	
Copper (kg)	5.80E-01	Aluminum (kg)	1.67E+01
Zinc	5.60E-02	Steel (kg)	3.00E+00
Lead (kg)	3.30E-02	Battery (kg)	2.30E-03
Silicone (kg)	6.70E-01	Recycle	
Inverter		Glass (kg)	4.43E+01
Aluminum (kg)	5.60E-01	Aluminum (kg)	2.34E+00
Styrene, PVC (kg)	8.00E-03	Silicon (kg)	3.33E+00
Plated circuit (kg)	9.00E-02	Steel (kg)	2.70E+00
Transverter (kg)	1.74E-01	Landfill	
Capacitor (kg)	2.48E-01	Solid waste (kg)	5.34E+01

● Smith และคณะ (ค.ศ. 2015) [14] ศึกษาพื้นที่ของเกาะจิก จังหวัดชลบุรี ที่มีการผลิตไฟฟ้าใช้เองภายในเกาะ (Microgrid) โดยเป็นการผลิตไฟฟ้าแบบผสมประกอบด้วย พลังงานดีเซล ลม และแสงอาทิตย์ ซึ่งพื้นที่เกาะมีอัตราลมไหลผ่านเฉลี่ย 5.93 เมตรต่อวินาที (m/s) และมีปริมาณแสงอาทิตย์ตกกระทบ (Solar insolation) 4.73 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (kWh/m²/d) ทำให้เกาะจิกมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลมและแสงอาทิตย์ โดยกำหนดให้ระบบมีอายุการใช้งาน 20 ปี ตารางที่ 5-21 แสดงรายละเอียดวัตถุดิบที่ใช้ พลังงานความร้อน/พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการใช้ขณะเดินระบบ และแนวทางการจัดการซากเมื่อระบบหมดอายุการใช้งาน สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้คือ ชนิดโมโนซิลิคอน 75 W หนัก 9.24 kg ประกอบด้วยวัตถุดิบหลักได้แก่ แก้ว 5.2 kg อะลูมิเนียม 2.8 kg เอทิลไวนิลอะซิเตต 0.7 kg เซลล์ 0.466 kg ทองแดง 0.07 kg และตะกั่ว 0.004 kg องค์ประกอบเหล่านี้คาดว่าจะดำเนินการกำจัดด้วยการทิ้งเศษแก้วที่หลุมฝังกลบ รีไซเคิลส่วนที่เป็นโลหะ และตัวเซลล์/เอทิลไวนิลอะซิเตตส่งเผาทำลาย

ตารางที่ 5-21 บัญชีรายการการผลิตไฟฟ้าแบบผสม ณ เกาะจิก จังหวัดชลบุรี [14]

Scenario	System component	Reference flow	Total mass (kg)	Materials	Material mass (kg)	Manufacturing energy inputs [heat/electrical] MJ	Disposal recycled [R] incinerated [I] landfilled [L]	
Microgrid		1						
	Diesel Generator	2	930	Steel	558	50220/14880	90% R	
				Aluminum	325.5		90%R	
				Copper	18.6		90% R	
	Diesel Fuel	—			343790.411538462		—	
	Lubrication Oil	—			872.496		—	
	Wind Turbines	2	12146.77	Concrete	10,662.55	0/71734	100% L	
				Galvanized steel	1070.2		90% R	
				Steel	233.5		90% R	
				Stainless steel	72.13	90% R		
				Steel rebar	45.7	90% R		
				Fiberglass	13.6	40% I/60% L		
				Copper	29.5	90% R		
	PV Solar Panels	120	9.24	Glass	5.2	5997/49054	100% L	
				Aluminum	2.8		90% R	
				Ethyl vinyl acetate	0.7		100% I	
				Solar cells	0.466	100% I		
				Copper	0.07	90% R		
				Lead	0.004	90% R		
	Lead Acid Batteries	300	60	Lead	43.44	0/1860	90% R	
				sulfuric acid	13.2		100% L	
				ABS plastic	3.06		100% I	
				Tin	0.12	90% R		
				Copper	0.06	90% R		
	Converters	10		Steel	190.72	0/2153	90% R	
				Copper	123.67		90% R	
				Aluminum	35.37		90% R	
				PE	1.17	100% I		
				Lead	0.88	90% R		
				SAN	0.19	100% I		
				PVC	0.19	100% I		
				Silver	0.086	90% R		
				Gold	0.0001589	90% R		
		Transmission	1	57997.8	Concrete		176619/1058	100% L
					Steel	4140		90% R
					Copper	3384		90% R
					PVC		100% L	
				Lead		90% R		
Home Diesel Generators	Generator Engine	216	96	Steel	57.6	5184/1536	90% R	
				Aluminum	33.6		90% R	
				Copper	1.92		90% R	
	Diesel Fuel	—			637998.1		—	
	Lubrication Oil	—			17029.44		—	
Grid Extension		1						
	Cable			Steel	151875.5	—	90% R	
				Lead	27800		90% R	
				Copper	17200		90% R	
				Aluminum	237250		90% R	
				Glass	18336.5		100% L	
				Cement	1566.5		100% L	
				Insulation oil	8080		100% I	
				Paper	7600		100% I	
				Bronze	6400		90% L	
				Polypropylene	3800		100% R	
				Asphalt	1400		100% L	
	Transformer		984.67	Steel	571.33	2254/529	90% R	
				Mineral oil	226.67		100% I	
				Aluminum	133.2		90% R	
	Infrastructure			Concrete	4212000	—	100% L	
				Steel	585000		90%R	
				Iron	195000		90%R	
				Zinc	9100		90% R	

● Khaenson และคณะ (ค.ศ. 2016) [15] ศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินเปรียบเทียบกับระหว่างชนิดมัลติซิลิคอน และชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous silicon) โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากโรงไฟฟ้าภาคเหนือ และภาคกลาง ตามลำดับ แล้วนำมาประเมินปริมาณ พลังงานที่ใช้ รวมถึงมลภาวะที่อาจเกิดขึ้น ในหน่วยของปริมาณต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงที่ผลิตไฟฟ้าได้ ดังตารางที่ 5-22 และ 5-23 ซึ่งเห็นได้ว่าชนิดมัลติซิลิคอนต้องการใช้ไฟฟ้าในการเริ่มระบบ และมีการปล่อยมลภาวะอากาศมากกว่าชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน

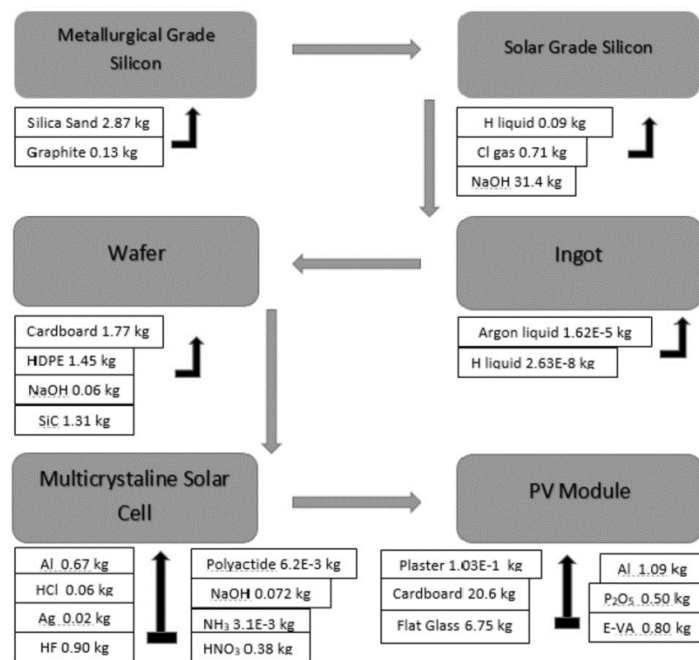
ตารางที่ 5-22 บัญชีรายการของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอนแบบติดตั้งบนพื้นดินของภาคเหนือ [15]

Description	Unit	Quantity				
		Solar cell array	Inverter stations	Transformer stations	Control center	Substations
Input						
Solar energy	kWh/kWh	4.87E+00	0	0	0	0
Electricity	kWh/kWh	2.00E-04	10.7E-04	7.10E-04	9.50E-04	9.20E-04
Water	cm ³ /kWh	7.31E+01	0	0	2.79E+01	0
Arable land	m ² /kWh	1.48E-02	1.61E-05	8.06E-06	4.03E-05	4.84E-05
Output						
Carbon dioxide	kgCO ₂ /kWh	1.66E-04	7.74E-04	5.17E-04	6.96E-04	6.66E-04
Methane	kgCH ₄ /kWh	0.68E-05	3.10E-05	2.07E-05	2.79E-05	2.66E-05
Nitrogen	kgN ₂ /kWh	0.17E-02	0.89E-02	0.60E-02	0.80E-02	0.77E-02
Oxygen	kgO ₂ /kWh	0.30E-03	1.61E-03	1.07E-03	1.43E-03	1.38E-03
Water vapor	kgH ₂ O/kWh	0.11E-03	0.61E-03	0.41E-03	0.54E-03	0.53E-03
Nitric oxide	kgNO/kWh	0.20E-07	1.08E-07	0.72E-07	0.96E-07	0.93E-07
Nitrogen dioxide	kgNO ₂ /kWh	0.16E-08	0.87E-08	0.58E-08	0.77E-08	0.75E-08
NO _x	kgNO _x /kWh	0.33E-07	1.74E-07	1.16E-07	1.55E-07	1.50E-07

ตารางที่ 5-23 บัญชีรายการของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนแบบติดตั้งบนพื้นดินของภาคกลาง [15]

Description	Unit	Quantity				
		Solar cell array	Inverter stations	Transformer stations	Control center	Substations
Input						
Solar energy	kWh/kWh	49.46E+00	0	0	0	0
Electricity	kWh/kWh	0	1.67E-03	1.14E-03	0.83E-03	1.32E-03
Water	cm ³ /kWh	4.74E+01	0	0	2.88E+00	0
Arable land	m ² /kWh	1.67E-02	2.81E-05	1.41E-05	4.21E-05	5.61E-05
Output						
Carbon dioxide	kgCO ₂ /kWh	0.16E-04	12.1E-04	8.29E-04	6.06E-04	9.56E-04
Methane	kgCH ₄ /kWh	0.06E-05	4.84E-05	3.31E-05	2.43E-05	3.82E-05
Nitrogen	kgN ₂ /kWh	0	1.40E-02	0.96E-02	0.07E-02	1.10E-02
Oxygen	kgO ₂ /kWh	0	2.52E-03	1.72E-03	1.26E-03	1.99E-03
Water vapor	kgH ₂ O/kWh	0	0.96E-03	0.65E-03	0.48E-03	0.75E-03
Nitric oxide	kgNO/kWh	0	1.69E-07	1.16E-07	0.84E-07	1.33E-07
Nitrogen dioxide	kgNO ₂ /kWh	0	0.14E-07	0.09E-07	0.07E-07	0.11E-07
NO _x	kgNO _x /kWh	0	2.72E-07	1.86E-07	1.36E-07	2.15E-07

● Eskew และคณะ (ค.ศ. 2018) [16] ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอนที่ทำการติดตั้งบนหลังคา กำหนดผลิตไฟฟ้าได้ 2,190 เมกะวัตต์•ชั่วโมง (MWh) ตลอดอายุการใช้งาน 30 ปี โดยวัตถุดิบหลักในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 m² แสดงดังรูปที่ 5-9 ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนเช่นเดียวกับการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของต่างประเทศ ในส่วนการจัดการซากได้มีการประเมินปริมาณการรวบรวมที่คุ้มทุนต่อการเก็บขนและรีไซเคิลคือ 4,330 kg เมื่อนำไปรีไซเคิลจะสามารถแยกอะลูมิเนียมได้ 413 kg เศษแก้ว 1,630 kg เศษเงิน 2 kg และซิลิคอน 150 kg ดังตารางที่ 5-24



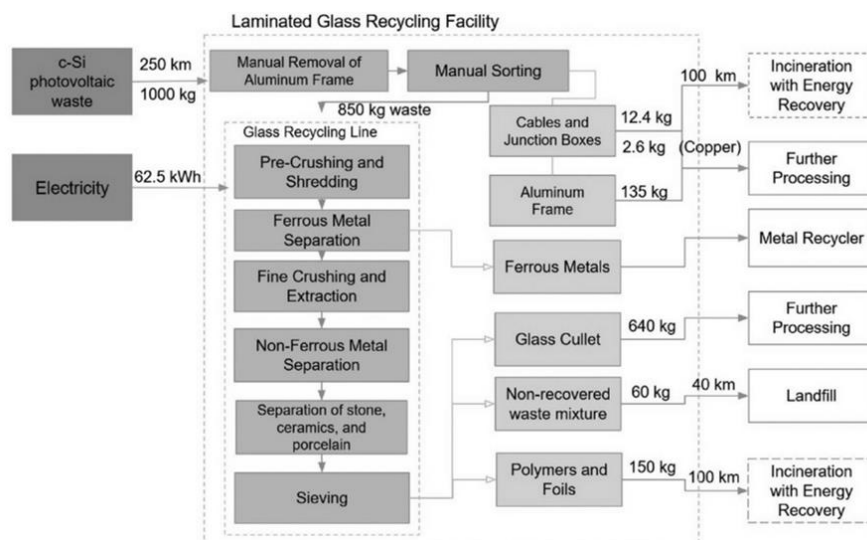
รูปที่ 5-9 ผังการไหลของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอนขนาด 1 m²

โดย Eskew และคณะ (ค.ศ. 2018) [16]

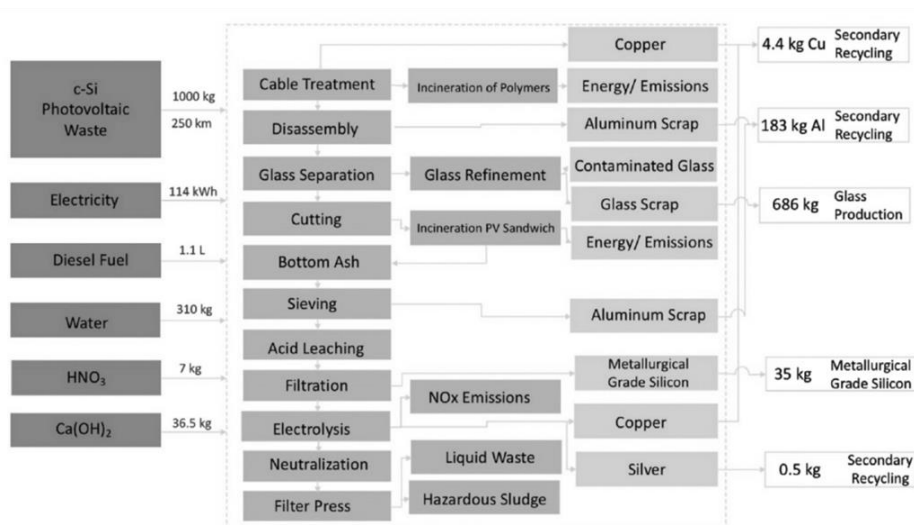
ตารางที่ 5-24 ข้อมูลเข้า-ขาออกของการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอน [16]

Input material	Amount	Output recovered	Amount	Output to landfill	Amount
PV modules (kg)	4,330	Aluminum scrap (kg)	413	Fly ash & waste sludge (kg)	166
Diesel fuel (L)	5	Glass scrap (kg)	1,630	Waste glass (kg)	45
Water (kg)	984	Silver scrap (kg)	2	Wastewater (kg)	972
Nitric acid (kg)	23	MG grade silicon (kg)	150		
Lime (kg)	116				

● Faircloth และคณะ (ค.ศ. 2019) [17] ศึกษาการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกปริมาณ 1,000 kg โดยระบุค่าเฉลี่ยน้ำหนักแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 18.6 kg/module (54 module/1,000 kg) ขนาดเฉลี่ย 1,650 mm x 992 mm x 37 mm ซึ่งอ้างอิงข้อมูลปริมาณจากยุโรปในการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วเปรียบเทียบระหว่างการรีไซเคิลคัดแยก (Cut-off recycling) ที่ดำเนินการจริงในเชิงพาณิชย์ กับการรีไซเคิลเซลล์เพื่อให้ได้ซิลิคอนกลับมาใช้งานใหม่ในระดับโรงงานต้นแบบ (Pilot scale) แสดงดังรูปที่ 5-10 และ 5-11 ตามลำดับ จากผลที่ได้พบว่า การเพิ่มขึ้นตอนการรีไซเคิลเซลล์ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น รวมถึงทรัพยากร/สารเคมีที่ใช้มากขึ้น แต่จะได้ซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์กลับไปใช้งานใหม่ได้ 35 kg ต่อซากเซลล์แสงอาทิตย์ 1,000 kg

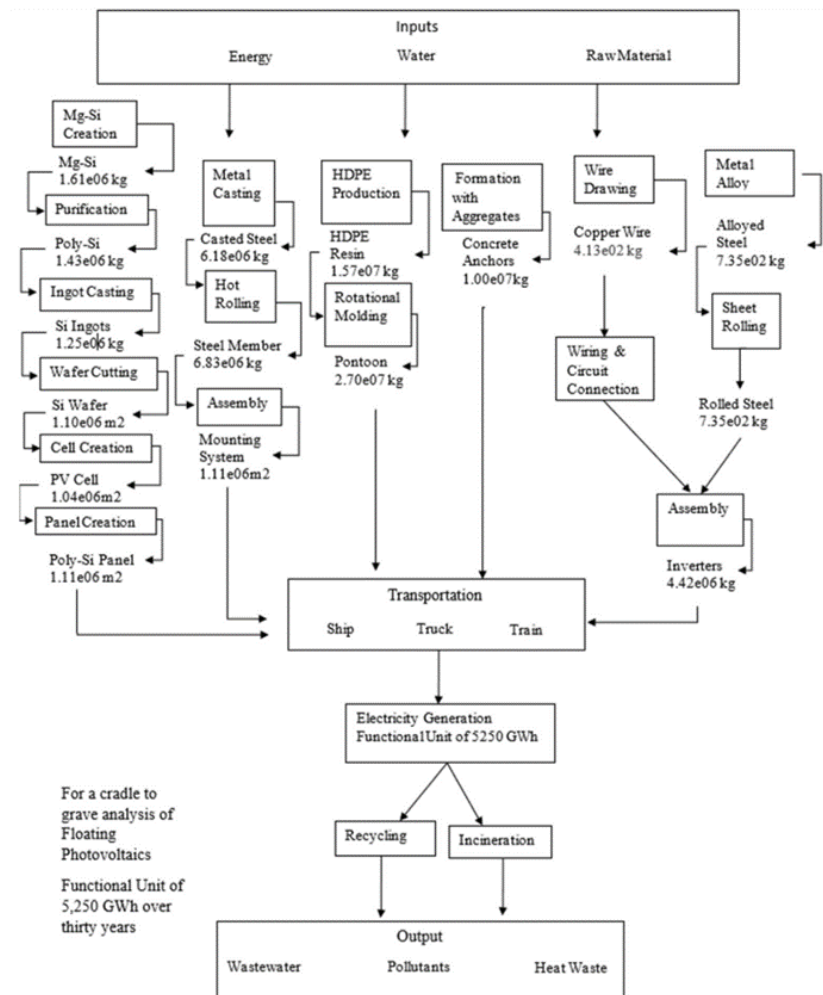


รูปที่ 5-10 ผังการไหลการรีไซเคิลคัดแยก (Cut-off recycling) จากซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก [17]



รูปที่ 5-11 ผังการไหลการรีไซเคิลเซลล์จากซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก [17]

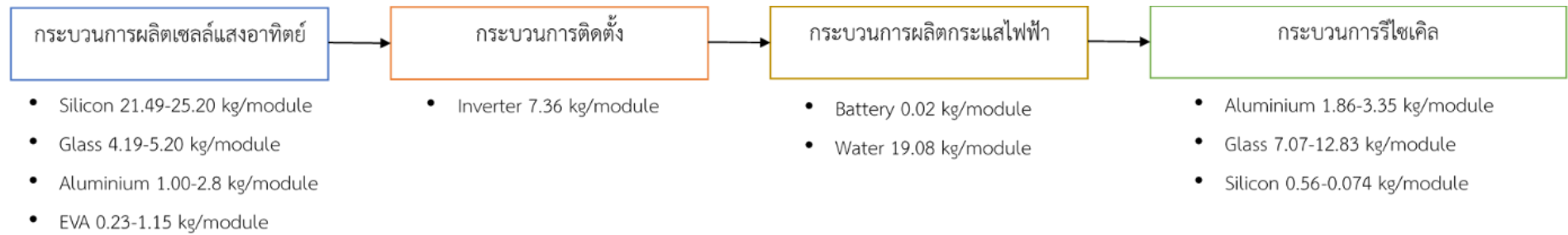
● Clemons และคณะ (ค.ศ. 2021) [18] ศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอนแบบติดตั้งลอยน้ำ โดยกำหนดให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 555,482 แผง มีอายุการใช้งาน 30 ปี ผลิตไฟฟ้า 5,250 GWh และกำหนดขอบเขตของการวิเคราะห์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงการกำจัดซาก ซึ่งข้อมูลบัญชีรายการเชิงปริมาณอ้างอิงจากประเทศสหรัฐอเมริกา สรุปได้ดังรูปที่ 5-12



รูปที่ 5-12 บัญชีรายการเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติซิลิคอนแบบติดตั้งลอยน้ำ [18]

5.1.2.1 ภาพรวมฝั่งการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ส่วนใหญ่ข้อมูลการผลิตเชิงปริมาณในประเทศเป็นการอ้างอิงจากแหล่งการผลิต/งานวิจัยจากต่างประเทศ มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นดำเนินการรวบรวมข้อมูลจากในประเทศ [14, 15] ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ว่ายังไม่ได้มีการแจกแจงข้อมูลโดยละเอียด จึงสรุปภาพรวมฝั่งการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกจากงานวิจัยในประเทศไทย ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำได้ดังรูปที่ 5-13 ในหน่วยกิโลกรัมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางยังไม่มีข้อมูลเชิงปริมาณที่เพียงพอในด้านวัตถุดิบที่ใช้ตลอดจนการรีไซเคิล



รูปที่ 5-13 ภาพรวมผังการไหลวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกของประเทศไทย ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ

5.1.2.2 ภาพรวมฝั่งการผลิตตามห่วงโซ่อุปทานในประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ

ภาพรวมฝั่งการผลิตตามห่วงโซ่อุปทานในประเทศไทย ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลาย ประกอบด้วย การนำเข้า-ส่งออก กำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ และการรวบรวมซากเซลล์แสงอาทิตย์

ในเบื้องต้นพิกัดศุลกากร (HS code) ที่เกี่ยวข้องกับการนำเข้า-ส่งออกชิ้นส่วน/แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยคือ 85.41 หมายถึง ไดโอด ทรานซิสเตอร์และอุปกรณ์กึ่งตัวนำที่คล้ายกัน อุปกรณ์กึ่งตัวนำแบบไวแสง และโฟโตวอลตาอิกเซลล์ จะประกอบขึ้นเป็นโมดูลหรือทำเป็นแผงหรือไม่ก็ตาม ไดโอดเปล่งแสง (แอลอีดี) รวมทั้งผลึกฟิโอะโซอิเล็กทริกที่ประกอบแล้ว โดยรหัสย่อยพิกัดศุลกากรแสดงดังตารางที่ 5-25 รหัส 85.41.40.21 และ 85.41.40.22 คือ โฟโตวอลตาอิกเซลล์ที่ยังไม่ได้ประกอบและประกอบแล้ว ตามลำดับ รหัส 85.41.40.90.001 คือ เซลล์แสงอาทิตย์อื่นๆ และรหัส 85.41.40.90.801 คือ ซากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งข้อมูลพิกัดเหล่านี้ทำให้สามารถหาปริมาณนำเข้า-ส่งออกได้จากรายงานสถิติของกรมศุลกากร

ตารางที่ 5-25 พิกัดศุลกากร (HS code) ที่เกี่ยวข้องกับการนำเข้า-ส่งออกชิ้นส่วน/แผงเซลล์แสงอาทิตย์

พิกัดศุลกากร	รายการ
85.41.40.21	โฟโตวอลตาอิกเซลล์ที่ยังไม่ได้ประกอบ
85.41.40.22	โฟโตวอลตาอิกเซลล์ที่ประกอบขึ้นเป็นโมดูลหรือ ทำเป็นแผง
85.41.40.90.001	Solar cells
85.41.40.90.801	Used solar cells

ปริมาณการนำเข้า-ส่งออกตามรายงานสถิติของกรมศุลกากรในปี พ.ศ. 2563 [19] แสดงดังตารางที่ 5-26 โดยโฟโตวอลตาอิกเซลล์ที่ยังไม่ได้ประกอบมีปริมาณการนำเข้า 147,023,779 kg ซึ่งส่วนใหญ่นำเข้าจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน และเวียดนามเป็นหลัก แต่มีการส่งออกในปริมาณที่สูงกว่าการนำเข้า อยู่ที่ 282,285,108 kg โดยส่วนใหญ่ส่งไปยังประเทศเวียดนาม อินเดีย และสาธารณรัฐประชาชนจีน สำหรับโฟโตวอลตาอิกเซลล์ที่ประกอบขึ้นเป็นโมดูล/แผงมีปริมาณนำเข้า 8,689,178 kg ปริมาณส่งออก 6,710,884 kg ซึ่งส่วนใหญ่นำเข้าจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน และส่งออกไปยังประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นหลัก ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์อื่นๆ มีการนำเข้า 9,765,984 kg จากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนเป็นส่วนใหญ่ และส่งออก 92,129,045 kg ไปยังประเทศเวียดนามและประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนเป็นหลัก สำหรับซากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการนำเข้าเข้ามาในประเทศ แต่มีการส่งออกไปยังประเทศอิหร่านจำนวน 5,628 kg

ตารางที่ 5-26 ปริมาณการนำเข้า-ส่งออก ปี พ.ศ. 2563 [19]

พิกัดศุลกากร	ปริมาณการนำเข้า (kg)	ปริมาณการส่งออก (kg)
85.41.40.21	147,023,779	282,285,108
85.41.40.22	8,689,178	6,710,884
85.41.40.90.001	9,765,984	92,129,045
85.41.40.90.801	-	5,628

จากข้อมูลในบทที่ 3 ปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตเซลล์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์รวมอยู่ที่ 3,850 MW ซึ่งปัจจุบันมีแนวโน้มการผลิตเพิ่มขึ้น จึงประมาณได้ว่า การผลิตเซลล์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2563 มีไม่น้อยกว่า 3,850 MW

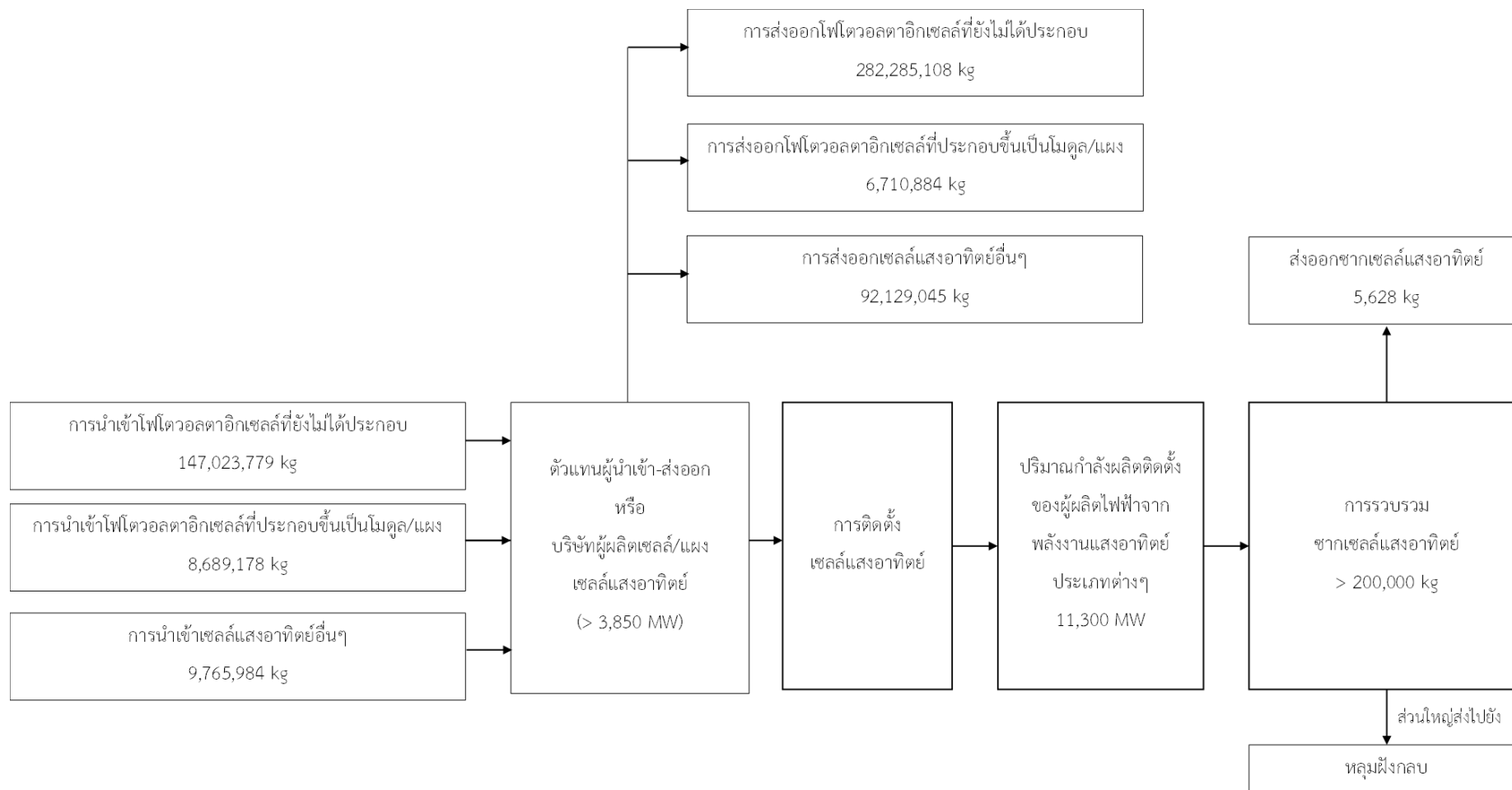
ปริมาณกำลังผลิตติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ ในปัจจุบันของประเทศไทยดังที่ได้กล่าวไปในบทที่ 3 มีกำลังการผลิตติดตั้งทั้งหมด 11,300 MW ซึ่งเป็นปริมาณกำลังการผลิตจากการติดตั้งในอดีตที่ยังคงใช้งานอยู่ในปัจจุบัน รวมถึงส่วนที่มีการติดตั้งใหม่เพิ่มเติมด้วย

ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยปัจจุบันยังไม่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างชัดเจน เนื่องจากอายุขัยของเซลล์แสงอาทิตย์ยาวนาน 25-30 ปี จึงทำให้ไม่มีการตัวเลขบันทึกที่เป็นทางการเผยแพร่ออกมา หากแต่เป็นเพียงการคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตเท่านั้น ทั้งนี้ ข้อมูลจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2558 พบว่ามีซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่โรงงานขออนุญาตส่งไปฝังกลบปริมาณ 246 tonne และซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขออนุญาตเก็บในโรงงานปริมาณ 0.25 tonne [20] ดังนั้นจึงประมาณได้ว่า ซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2563 มีไม่น้อยกว่า 200 tonne

สรุปภาพรวมผังการไหลตามห่วงโซ่อุปทานในประเทศไทย ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลาย ปี พ.ศ. 2563 ดังรูปที่ 5-14

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน



รูปที่ 5-14 ภาพรวมผังการไหลตามห่วงโซ่อุปทานของในประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ปี พ.ศ. 2563

5.2 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์

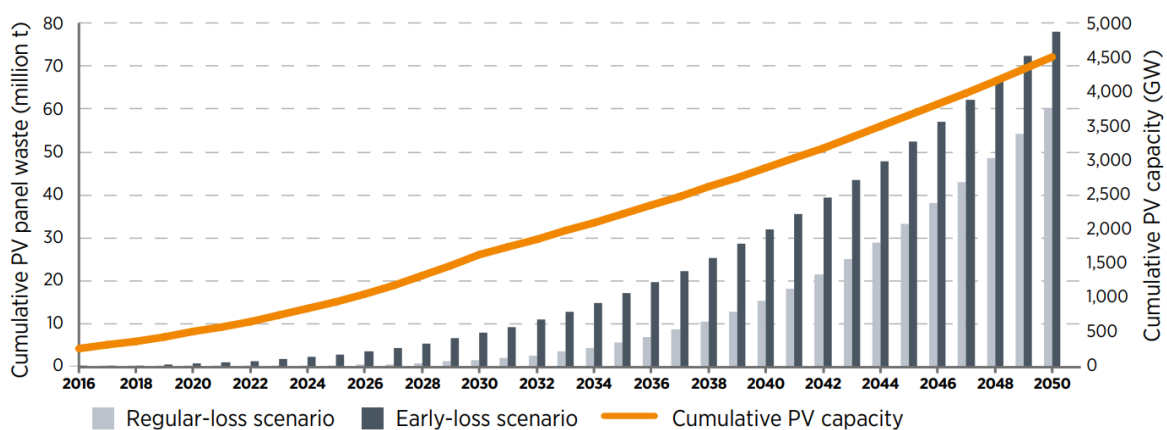
5.2.1 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ

การผลิตและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขยายเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันนั้นหมายถึงปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่กำลังจะเกิดขึ้นตามมาจำนวนมากในอนาคต โดยทั่วไปอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ประมาณ 25-30 ปี ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์อาจเกิดการเสียหายก่อนหมดอายุการใช้งานได้ เช่น การชำรุดระหว่างการขนส่งหรือขณะติดตั้ง การเสียหายระหว่างการใช้งาน ตลอดจนการเสียหายจากภัยธรรมชาติ เป็นต้น ดังนั้นองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) ร่วมกับสำนักงานพลังงานทดแทนระหว่างประเทศ (IRENA) จึงได้ประเมินและคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 2016 – 2050 โดยวิเคราะห์จากปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นจริงในอดีต (ก่อนปี ค.ศ. 2016) และจากความเป็นไปได้ในการเกิดความเสียหาย/ชำรุดของเซลล์แสงอาทิตย์ [5, 21] ซึ่งได้ทำการประเมินออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

1) กรณีที่มีความชำรุดปกติตามอายุการใช้งาน (Regular-loss scenario)

2) กรณีที่มีความชำรุดเร็วกว่าปกติ (Early-loss scenario) กรณีนี้ ประเมินปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Non-linear regression) คือ ระหว่างการขนส่ง/ติดตั้งมีการชำรุด 0.5% หลังการติดตั้งภายใน 2 ปีแรก ชำรุด 0.5% หลังจาก 10 ปี ชำรุด 2% และหลังจาก 15 ปี ชำรุด 4%

โดยทั้ง 2 กรณี ตั้งสมมติฐานกำหนดให้เซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งาน 30 ปี ผลการคาดการณ์ซากเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 5-15 กรณีที่มีความชำรุดปกติตามอายุการใช้งาน ปริมาณซากที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2016 มีประมาณ 43,500 tonne ซึ่งคาดว่าจะมีปริมาณสะสม 1,700,000 tonne ในปี ค.ศ. 2030 และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสูงถึง 60,000,000 tonne ในปี ค.ศ. 2050 ในส่วนของกรณีหลังที่มีการความชำรุดเร็วกว่าปกติคาดการณ์ว่า ในปี ค.ศ. 2016 จะมีปริมาณซาก 250,000 tonne แล้วเพิ่มขึ้นเป็น 8,000,000 tonne ในปี ค.ศ. 2030 และ 78,000,000 tonne ในปี ค.ศ. 2050 ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลนี้สามารถประมาณได้ว่าปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมที่เกิดขึ้นในปัจจุบันจะอยู่ระหว่างปริมาณการคาดการณ์ของ 2 กรณีดังกล่าว [5]



รูปที่ 5-15 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมของโลก [5]

นอกจากนี้องค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) และสำนักงานพลังงานทดแทนระหว่างประเทศ (IRENA) ก็ยังมีการคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศอื่นๆ ที่มีการใช้/ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังตารางที่ 5-27 ซึ่งได้ทำการประเมินปริมาณซากตามสมมติฐานทั้ง 2 กรณีเช่นกัน โดยประเทศที่ได้มีการคาดการณ์นั้นเป็นประเทศหลักที่คาดว่าจะมีแนวโน้มการเติบโตของเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคตตามแต่ละภูมิภาคต่างๆ ภูมิภาคแถบเอเชียเป็นภูมิภาคที่มีการเติบโตของพลังงานทดแทนสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและสูงกว่าภูมิภาคอื่นๆ ส่งผลให้มีปริมาณซากที่จะเกิดขึ้นในอนาคตสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งประกอบด้วยประเทศหลักๆ ได้แก่ ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ญี่ปุ่น อินเดีย เกาหลีใต้ อินโดนีเซีย และมาเลเซีย

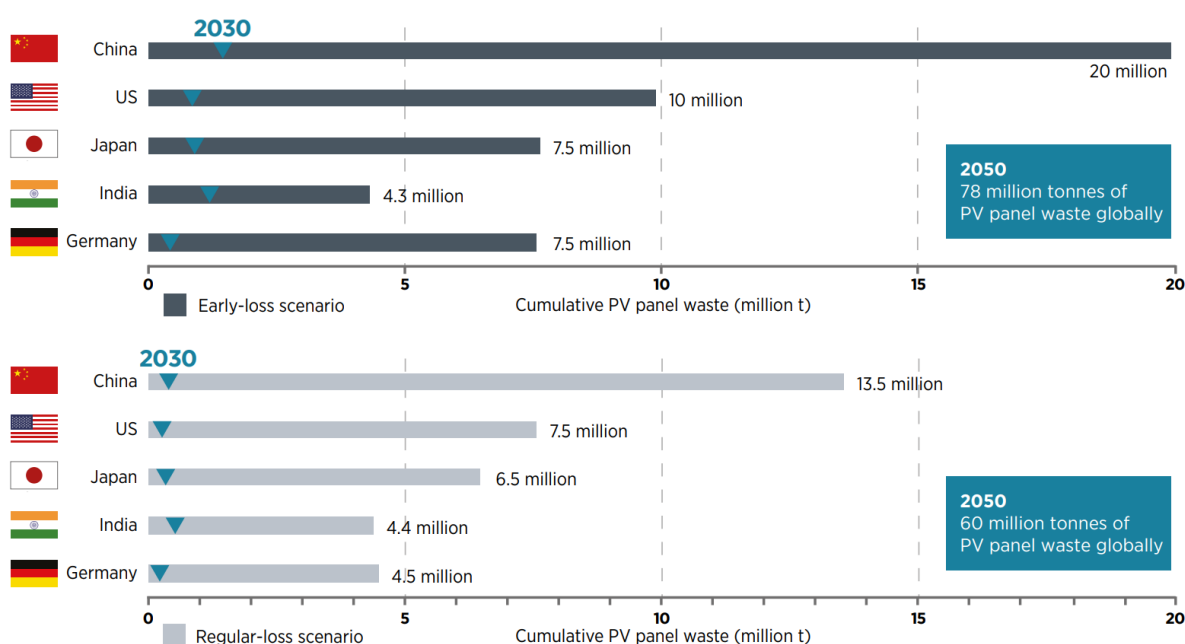
ตารางที่ 5-27 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมของประเทศต่างๆ (tonne) [5]

Year	2016		2020		2030		2040		2050	
Scenario (regular-loss/early-loss)	regular loss	early loss	regular loss	early loss	regular loss	early loss	regular loss	early loss	regular loss	early loss
Asia										
China	5,000	15,000	8,000	100,000	200,000	1,500,000	2,800,000	7,000,000	13,500,000	19,900,000
Japan	7,000	35,000	15,000	100,000	200,000	1,000,000	1,800,000	3,500,000	6,500,000	7,600,000
India	1,000	2,500	2,000	15,000	50,000	325,000	620,000	2,300,000	4,400,000	7,500,000
Republic of Korea	600	3,000	1,500	10,000	25,000	150,000	300,000	820,000	1,500,000	2,300,000
Indonesia	5	10	45	100	5,000	15,000	30,000	325,000	600,000	1,700,000
Malaysia	20	100	100	650	2,000	15,000	30,000	100,000	190,000	300,000
Europe										
Germany	3,500	70,000	20,000	200,000	400,000	1,000,000	2,200,000	2,600,000	4,300,000	4,300,000
Italy	850	20,000	5,000	80,000	140,000	500,000	1,000,000	1,200,000	2,100,000	2,200,000
France	650	6,000	1,500	25,000	45,000	200,000	400,000	800,000	1,500,000	1,800,000
United Kingdom	250	2,500	650	15,000	30,000	200,000	350,000	600,000	1,000,000	1,500,000
Turkey	30	70	100	350	1,500	11,000	20,000	100,000	200,000	400,000
Ukraine	40	450	150	2,500	5,000	25,000	50,000	100,000	210,000	300,000
Denmark	80	400	100	2,000	4,000	22,000	40,000	70,000	130,000	125,000
Russian Federation	65	65	100	350	1,000	12,000	20,000	70,000	150,000	200,000
North America										
United States of America	6,500	24,000	13,000	85,000	170,000	1,000,000	1,700,000	4,000,000	7,500,000	10,000,000
Mexico	350	800	850	1,500	6,500	30,000	55,000	340,000	630,000	1,500,000
Canada	350	1,600	700	7,000	13,000	80,000	150,000	300,000	650,000	800,000
Middle East										
United Arab Emirates	0	10	50	100	3,000	9,000	20,000	205,000	350,000	1,000,000
Saudi Arabia	200	250	300	1,000	3,500	40,000	70,000	220,000	450,000	600,000
Africa										
South Africa	350	550	450	3,500	8,500	80,000	150,000	400,000	750,000	1,000,000
Nigeria	150	200	250	650	2,500	30,000	50,000	200,000	400,000	550,000
Morocco	0	25	10	100	600	2,000	4,000	32,000	50,000	165,000

ตารางที่ 5-27 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมของประเทศต่างๆ (tonne) [5] (ต่อ)

Year	2016		2020		2030		2040		2050	
Scenario (regular-loss/early-loss)	regular loss	early loss	regular loss	early loss	regular loss	early loss	regular loss	early loss	regular loss	early loss
Oceania										
Australia	900	4,500	2,000	17,000	30,000	145,000	300,000	450,000	900,000	950,000
Latin America and Caribbean										
Brazil	10	10	40	100	2,500	8,500	18,000	160,000	300,000	750,000
Chile	150	200	250	1,500	4,000	40,000	70,000	200,000	400,000	500,000
Ecuador	10	15	15	100	250	3,000	5,000	13,000	25,000	35,000
Total World	43,500	250,000	100,000	850,000	1,700,000	8,000,000	15,000,000	32,000,000	60,000,000	78,000,000
Sum of Leading Countries	28,060	187,255	72,160	668,500	1,352,850	6,442,500	12,252,000	26,105,000	48,685,000	67,975,000
Rest of the World	15,440	62,745	27,840	181,500	347,150	1,557,500	2,748,000	5,895,000	11,315,000	10,025,000

ทั้งนี้จากตารางที่ 5-27 พบว่าประเทศหลักที่มีปริมาณการคาดการณ์ซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมสูงสุด 5 อันดับแรกประกอบด้วย ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น อินเดีย และเยอรมนี โดยมีปริมาณคาดการณ์ซากแตกต่างกันตามแต่ละกรณีที่พิจารณา ซึ่งจะเห็นได้ว่าในอีกประมาณ 30 ปีข้างหน้า ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนจะเป็นประเทศที่มีปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมเกิดขึ้นมากที่สุดในโลก สูงถึง 13,500,000-20,000,000 tonne รองลงมาเป็นประเทศสหรัฐอเมริกา 7,500,000-10,000,000 tonne ประเทศญี่ปุ่น 6,500,000-7,500,000 tonne ประเทศเยอรมนี 4,500,000-7,500,000 tonne และประเทศอินเดีย 4,300,000-4,400,000 tonne ตามลำดับ [5] ดังรูปที่ 5-16



รูปที่ 5-16 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมสูงสุด 5 ประเทศแรก [5]

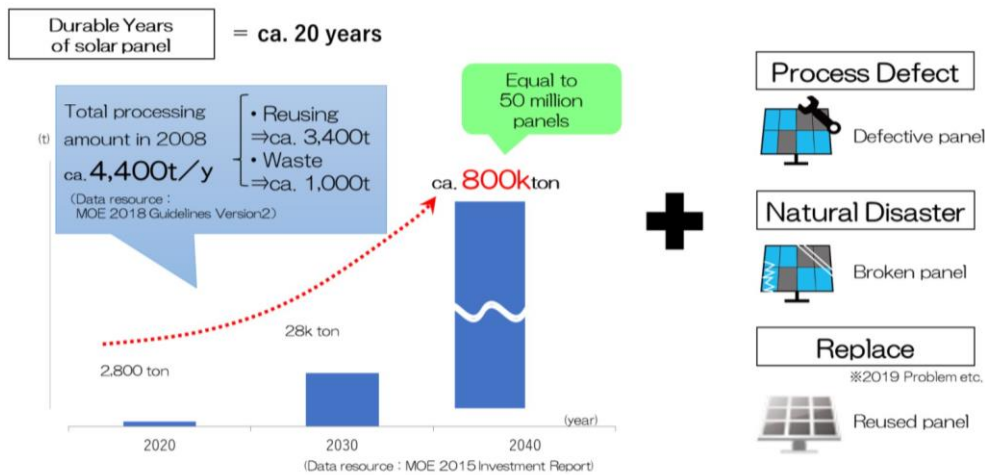
นอกจากข้อมูลการคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ขององค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) และสำนักงานพลังงานทดแทนระหว่างประเทศ (IRENA) แล้วนั้น ประเทศต่างๆ ก็มีการศึกษา/ประเมิน ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศตนเองเช่นกัน โดยยกตัวอย่างประเทศดังต่อไปนี้

- ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน หากพิจารณาถึงนโยบายการพัฒนาพลังงานทดแทน ภายในประเทศที่ตั้งเป้าหมายให้มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ 3,000 GW ภายในปี ค.ศ. 2035 ซึ่งถ้า เป้าหมายบรรลุผลสำเร็จ ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะเกิดขึ้นในอีก 13 ปีข้างหน้า (ค.ศ. 2034) จะมี ประมาณ 600,000 tonne โดยประเมินปริมาณซากจากสัดส่วนการติดตั้งด้วยสมมติฐานว่า การติดตั้งเซลล์ แสงอาทิตย์ 1 MW จะก่อให้เกิดซาก 75 tonne ซึ่งปริมาณซากที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในแต่ละปีแสดงดังตารางที่ 5-28 [22]

ตารางที่ 5-28 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์รายปีของประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ในปี ค.ศ. 2020 – 2034 [22]

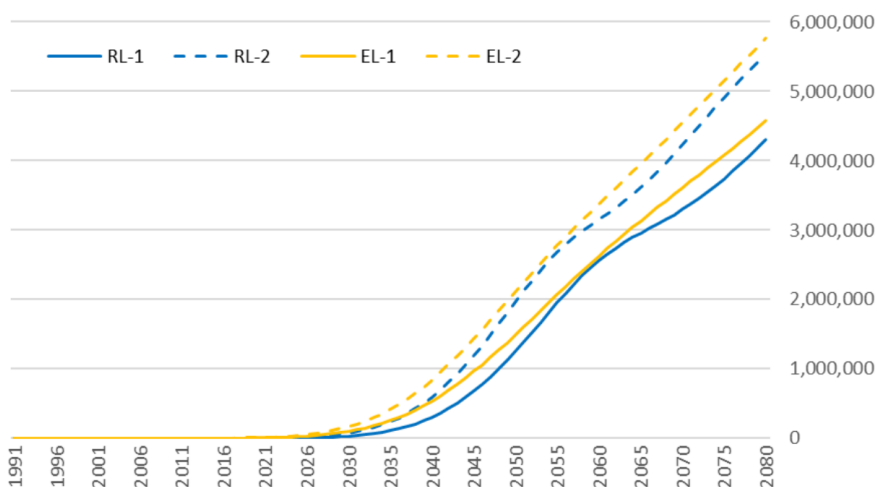
ปี ค.ศ.	ปริมาณซากที่เกิดขึ้น (MW)	ปริมาณซากที่เกิดขึ้น (10 ³ tonne)	ปี ค.ศ.	ปริมาณซากที่เกิดขึ้น (MW)	ปริมาณซากที่เกิดขึ้น (10 ³ tonne)
2020	1,414	10.61	2028	20,377	152.83
2021	2,163	16.22	2029	26,271	197.03
2022	3,202	24.02	2030	33,486	251.15
2023	4,609	34.56	2031	42,236	316.77
2024	6,455	48.41	2032	52,705	395.29
2025	8,826	66.20	2033	65,111	488.33
2026	11,829	88.72	2034	79,638	597.28
2027	15,628	117.21			

- ประเทศญี่ปุ่น กระทรวงสิ่งแวดล้อม (Ministry of Environment: MOE) ได้คาดการณ์ปริมาณซาก เซลล์แสงอาทิตย์ กรณีที่มีอายุการใช้งาน 20 ปี ซึ่งคาดว่าจะมีซากเกิดขึ้นในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี ค.ศ. 2040 จะมีปริมาณสูงถึง 800,000 tonne ดังรูปที่ 5-17 สาเหตุที่ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขำรุดเช่น การเสื่อมสภาพของเซลล์ ภัยธรรมชาติ และการเปลี่ยนเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสัญญาในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นเมื่อ ค.ศ. 2009 และสิ้นสุดในปี ค.ศ. 2019 จึง คาดว่าในปัจจุบันที่สิ้นสุดสัญญาจะส่งผลให้ราคาขายไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง รวมถึงอาจทำให้เกิดการทิ้งซาก เซลล์แสงอาทิตย์ก่อนหมดอายุการใช้งานจริง [23]



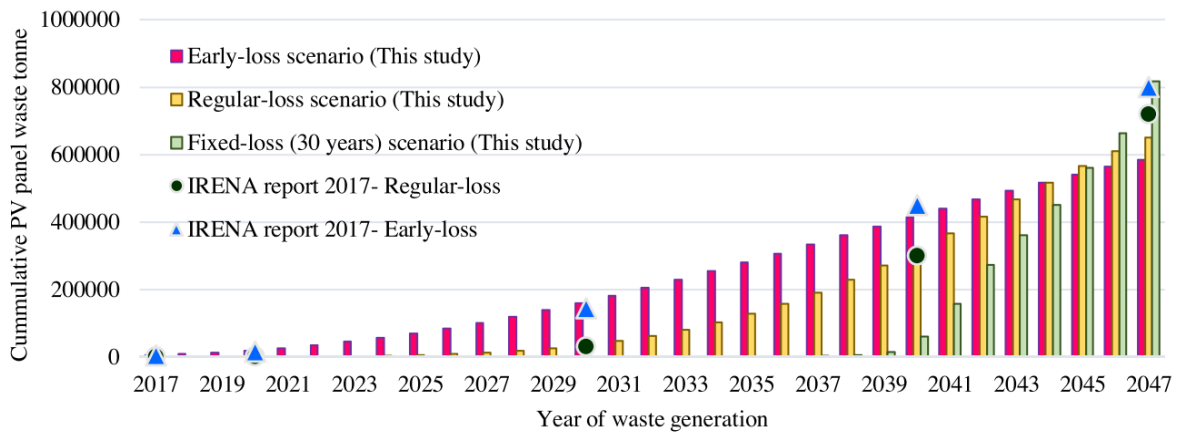
รูปที่ 5-17 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์รายปีของประเทศไทย
ในปี ค.ศ. 2020 – 2040 [23]

● ประเทศเกาหลีใต้ ตั้งเป้าหมายในการใช้พลังงานทดแทนเพื่อผลิตไฟฟ้าให้ได้ 20% หรือ 63.8 GW ภายในปี ค.ศ. 2030 โดย 57% ของปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเป็นการผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงเป้าหมายและปริมาณการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ จึงประเมินปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 5-18 โดยคาดว่าประเภทซากเซลล์แสงอาทิตย์หลักที่จะเกิดขึ้นคือ ชนิดซิลิคอนผลึก (Crystalline-Si PV) ซึ่งแบ่งการคาดการณ์ออกเป็น 4 กรณี คือ 1) กรณีที่เกิดความชำรุดปกติตามอายุการใช้งานตามปกติ อายุการใช้งาน 30 ปี (RL-1) 2) กรณีที่เกิดความชำรุดปกติตามอายุการใช้งานตามปกติ อายุการใช้งาน 25 ปี (RL-2) 3) กรณีที่มีความชำรุดเร็วกว่าปกติ อายุการใช้งาน 30 ปี (EL-1) และ 4) กรณีที่มีความชำรุดเร็วกว่าปกติ อายุการใช้งาน 25 ปี (EL-2) โดยผลการคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมพบว่าในปี ค.ศ. 2080 จะมีซากเกิดขึ้น 4,300,000-5,800,000 tonne [24]



รูปที่ 5-18 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมของประเทศเกาหลีใต้ (tonne)
ในปี ค.ศ. 1991 – 2080 [24]

● ประเทศออสเตรเลีย คาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ออกเป็น 3 กรณี คือ 1) กรณีที่เกิดความชำรุดเร็วกว่าปกติ (Early loss) 2) กรณีที่เกิดความชำรุดตามปกติ (Regular loss) และ 3) กรณีที่ไม่มีการชำรุดเลยจนกว่าจะหมดอายุการใช้งาน (Fixed loss 30 years) ซึ่งพบว่าในปี ค.ศ. 2047 จะมีปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมประมาณ 700,000-800,000 tonne [25] ดังรูปที่ 5-19

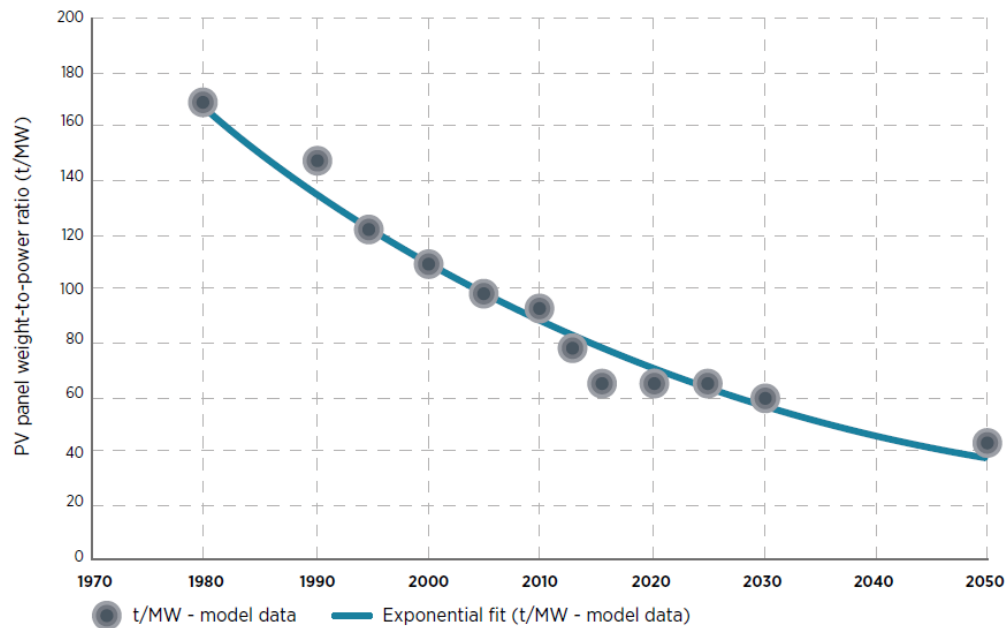


รูปที่ 5-19 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์สะสมของประเทศออสเตรเลีย
ในปี ค.ศ. 2017 – 2047 [25]

5.2.2 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เสื่อมสภาพหมดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าอาจจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุ ซึ่งหมายถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เสื่อมประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าจนหมดความสามารถในการผลิต และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เสียหายจากการใช้งาน เช่น ชำรุดเสียหายหรือหมดสภาพจากอุบัติเหตุในการขนส่ง การติดตั้ง รวมถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานได้แก่ การถูกกระแทกจากของแข็งต่างๆ ในขณะที่การใช้งาน การบำรุงรักษา ทำความสะอาดหรือจากภัยพิบัติธรรมชาติ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีตำหนิบกพร่องหรือผิดพลาดจากโรงงานผู้ผลิต เป็นต้น โดยปกติแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีอายุการใช้งานระหว่าง 20-30 ปี ขึ้นอยู่กับความสามารถในการบำรุงรักษา คุณภาพผลิตภัณฑ์และสภาพแวดล้อมโดยรอบ

จากการศึกษาแบบจำลองการคาดการณ์ปริมาณซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของ IRENA (International Renewable Energy Agency) [5] ในหัวข้อเรื่อง End-of-life management solar photovoltaic panels 2016 ซึ่งได้ผลการศึกษ้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ตัน/เมกะวัตต์) แสดงดังรูปที่ 5-20 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้น้ำหนักของแผงเซลล์อาทิตย์มีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 5-20 อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [5]

โดยขั้นตอนการประเมินซากจะแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน

1. แปลงค่ากำลังผลิตติดตั้ง (เมกะวัตต์) ให้อยู่ในหน่วยของน้ำหนัก (ตัน) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะอ้างอิงรูปที่ 5-20 เป็นอัตราส่วนในการแปลงค่าจากกำลังผลิตติดตั้งเป็นค่าน้ำหนัก

2. กำหนดสถานการณ์ในการประเมินปริมาณซาก โดยแบบจำลองการคาดการณ์ปริมาณซากได้คำนึงถึงสถานการณ์ที่เกิดการเสียหายจากการใช้งานตามปกติ และจากเหตุสุดวิสัย โดยมีปัจจัยดังนี้

- อายุการใช้งานโดยเฉลี่ยที่ 30 ปี
- สิ้นอายุการใช้งานที่ 40 ปี
- เสียหายจากการติดตั้งและขนส่งที่ 0.5%
- ในสองปีแรกเริ่มมีปริมาณซากอยู่ที่ 0.5%
- หลังจาก 10 ปี นับจากเริ่มติดตั้งเริ่มมีปริมาณซากอยู่ที่ 2%
- หลังจาก 15 ปี นับจากเริ่มติดตั้งเริ่มมีปริมาณซากอยู่ที่ 4%
- การคำนวณพารามิเตอร์ Weibull ใช้สมการที่ 5.1 [26] โดยค่าของพารามิเตอร์คำนวณโดยรวมปัจจัยเสียหายจากการติดตั้งและขนส่งและปริมาณซากจากการใช้งานและใช้สมการในการคำนวณดังนี้

$$F(t) = 1 - e^{-(t/T)^\alpha} \quad (5.1)$$

โดยที่ t = จำนวนปีนับจากปีที่เริ่มติดตั้ง

T = อายุการใช้งานโดยเฉลี่ย

α = พารามิเตอร์ Weibull

หลังจากการคำนวณจะได้พารามิเตอร์การเสียหายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการใช้งานแสดงดังตารางที่ 5-29

ตารางที่ 5-29 ค่าพารามิเตอร์การเสียหายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการใช้งาน

ปีที่ติดตั้ง	ค่าพารามิเตอร์การเสียหาย	ปีที่ติดตั้ง	ค่าพารามิเตอร์การเสียหาย
1	0.00001335	16	0.11805952
2	0.00013148	17	0.14226072
3	0.00050106	18	0.16915341
4	0.00129425	19	0.19868940
5	0.00270093	20	0.23076652
6	0.00492411	21	0.26522690
7	0.00817602	22	0.30185678
8	0.01267447	23	0.34038822
9	0.01863893	24	0.38050287
10	0.02628623	25	0.42183775
11	0.03582593	26	0.46399315
12	0.04745516	27	0.50654224
13	0.06135311	28	0.54904236
14	0.07767524	29	0.59104736
15	0.09654732	30	0.63212056

การคาดการณ์ปริมาณซากที่จะเกิดขึ้นคำนวณจากข้อมูลกำลังติดตั้งของคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานแห่งชาติ (กกพ.) พ.ศ. 2562 และแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561-2580 (PDP2018) เรื่องการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยอ้างอิงข้อมูลกำลังผลิตตามสัญญารายปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2563-2580 ตามพลังงานหมุนเวียนประเภทพลังงานแสงอาทิตย์และแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำและอ้างอิงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อกำลังติดตั้งจากงานวิจัยข้างต้น เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์คาดการณ์ปริมาณซากในอนาคตได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5-30

ตารางที่ 5-30 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะเกิดขึ้นปี พ.ศ. 2545-2600

ปี พ.ศ.	กำลังติดตั้ง (เมกะวัตต์)	กำลังติดตั้ง สะสม (เมกะวัตต์)	น้ำหนัก (ตัน)	น้ำหนักสะสม (ตัน)	ปริมาณ ซากต่อปี (ตัน/ปี)	ปริมาณ ซากสะสม (ตัน)
2545	1.12	2.89	109.76	109.76	0.00	0.00
2546	1.33	4.22	129.01	238.77	0.01	0.02
2547	6.61	10.83	634.56	873.33	0.06	0.08
2548	1.31	12.14	124.45	997.78	0.21	0.29
2549	6.64	18.78	624.16	1,621.94	0.51	0.81
2550	1.98	20.76	184.14	1,806.08	1.05	1.86
2551	0.89	21.65	81.88	1,887.96	1.89	3.75
2552	8.07	29.71	734.37	2,622.33	3.08	6.83
2553	7.19	36.90	647.10	3,269.43	4.72	11.55
2554	124.38	161.28	10,945.44	14,214.87	7.07	18.63
2555	206.70	367.98	17,776.20	31,991.07	11.28	29.91
2556	526.97	894.95	44,265.48	76,256.55	19.97	49.88
2557	433.10	1,328.06	35,514.20	111,770.75	38.35	88.23
2558	712.36	2,040.41	56,988.80	168,759.55	73.03	161.26
2559	834.85	2,875.27	65,118.30	233,877.85	132.88	294.14
2560	76.78	2,952.05	5,835.28	239,713.13	228.20	522.34
2561	203.32	3,155.37	15,045.68	254,758.81	366.08	888.42
2562	100.00	3,255.37	7,200.00	261,958.81	551.72	1,440.14
2563	145.00	3,400.37	10,150.00	272,108.81	789.20	2,229.34
2564	102.00	3,502.37	6,936.00	279,044.81	1,081.70	3,311.04
2565	97.00	3,599.37	6,402.00	285,446.81	1,431.43	4,742.47
2566	124.00	3,723.37	7,936.00	293,382.81	1,839.50	6,581.97
2567	202.00	3,925.37	12,726.00	306,108.81	2,306.11	8,888.08
2568	70.00	3,995.37	4,340.00	310,448.81	2,830.60	11,718.68
2569	462.00	4,457.37	28,182.00	338,630.81	3,411.00	15,129.67
2570	236.00	4,693.37	14,160.00	352,790.81	4,045.28	19,174.96

ตารางที่ 5-30 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะเกิดขึ้นปี พ.ศ. 2545-2600 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	กำลังติดตั้ง (เมกะวัตต์)	กำลังติดตั้ง สะสม (เมกะวัตต์)	น้ำหนัก (ตัน)	น้ำหนักสะสม (ตัน)	ปริมาณ ซากต่อปี (ตัน/ปี)	ปริมาณ ซากสะสม (ตัน)
2571	1,062.00	5,755.37	62,658.00	415,448.81	4,730.76	23,905.72
2572	1,268.00	7,023.37	73,544.00	488,992.81	5,466.93	29,372.65
2573	1,318.00	8,341.37	75,126.00	564,118.81	6,255.38	35,628.03
2574	2,290.00	10,631.37	128,240.00	692,358.81	7,098.99	42,727.01
2575	680.00	11,311.37	37,400.00	729,758.81	8,003.50	50,730.52
2576	2,428.00	13,739.37	131,112.00	860,870.81	8,971.55	59,702.06
2577	251.00	13,990.37	13,303.00	874,173.81	10,007.55	69,709.61
2578	1,021.00	15,011.37	53,092.00	927,265.81	11,110.89	80,820.50
2579	693.00	15,704.37	35,343.00	962,608.81	12,278.23	93,098.73
2580	175.00	15,879.37	8,750.00	971,358.81	13,502.30	106,601.03
2581				971,358.81	14,772.67	121,373.70
2582				971,358.81	16,077.48	137,451.18
2583				971,358.81	17,403.95	154,855.13
2584				971,358.81	18,738.73	173,593.86
2585				971,358.81	20,068.10	193,661.96
2586				971,358.81	21,378.08	215,040.05
2587				971,358.81	22,654.55	237,694.60
2588				971,358.81	23,883.22	261,577.82
2589				971,358.81	25,049.64	286,627.46
2590				971,358.81	26,139.18	312,766.64
2591				971,358.81	27,136.99	339,903.63
2592				971,358.81	28,028.02	367,931.65
2593				971,358.81	28,797.12	396,728.77
2594				971,358.81	29,429.22	426,157.99
2595				971,358.81	29,909.61	456,067.59
2596				971,358.81	30,224.36	486,291.96

ตารางที่ 5-30 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะเกิดขึ้นปี พ.ศ. 2545-2600 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	กำลังติดตั้ง (เมกะวัตต์)	กำลังติดตั้ง สะสม (เมกะวัตต์)	น้ำหนัก (ตัน)	น้ำหนักสะสม (ตัน)	ปริมาณ ซากต่อปี (ตัน/ปี)	ปริมาณ ซากสะสม (ตัน)
2597				971,358.81	30,360.85	516,652.81
2598				971,358.81	30,308.39	546,961.20
2599				971,358.81	30,058.88	577,020.08
2600				971,358.81	29,607.54	606,627.62

จากการคาดการณ์ปริมาณซากที่จะเกิดขึ้นจะเห็นได้ว่าแม้ว่าปริมาณซากมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2597 จะมีปริมาณซากที่เกิดขึ้นสูงถึง 30,360.85 ตัน และหากภายหลังปี พ.ศ. 2580 ไม่มีการติดตั้งเพิ่มเติมปริมาณซากที่เกิดขึ้นหลังปี พ.ศ. 2598 จะค่อยๆ ลดลง ในส่วนของปริมาณซากสะสม พ.ศ. 2600 ก็มีปริมาณสูงถึง 606,627.02 ตัน และหากซากเหล่านี้ไม่ได้รับการอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพอาจจะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตได้ ทั้งนี้การคาดการณ์ปริมาณซากครั้งนี้เป็นการคาดการณ์ที่ไม่รวมปัจจัยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใหม่ทดแทนของที่เสียหายไปหรือการติดตั้งเพิ่มเติมหลังจากปี พ.ศ. 2580 คำนึงเพียงปัจจัยตามที่กล่าวข้างต้นเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). 2561. แนวทางการจัดการปาล์มน้ำมันและผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องที่ใช้ประโยชน์จากน้ำมันปาล์มอย่างยั่งยืน. ข้อเสนอเชิงนโยบายเกษตร.
- [2] NREL (National Renewable Energy Laboratory). 2012. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics. Online available from <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>
- [3] Eskew, J., Ratledge, M., Wallace, M., Gheewala, S.H., and Rakkwamsuk, P. 2018. An environmental Life Cycle Assessment of rooftop solar in Bangkok, Thailand. *Renewable Energy*, 123, 781-792.
- [4] International Energy Agency (IEA). 2020. Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic System. Available: <https://iea-pvps.org/key-topics/life-cycle-inventories-and-life-cycle-assessments-of-photovoltaic-systems/>.
- [5] IRENA. 2016. End-of-life management – Solar photovoltaic panels. Available: <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels>.
- [6] Elamin, A., Hartiti, B., Haibaoui, A., Lfakir, A., and Thevenin, P. 2017. Analysis and comparison of different PV technologies for determining the optimal PV panels- A case study in Mohammedia , Morocco. *Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, 12, 37-45.
- [7] Zinaddinov, M., Mil'shtein, S., and Kazmer, D. 2019. Design of Light-Weight Solar Panels. *Conference Paper*. DOI: 10.1109/PVSC40753.2019.8980588.
- [8] Binkley, A. 2012. Solar technology reference guide. NAIOP research foundation. North America. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjFmu_eh4XzAhW4zjgGHc5jA5oQFnoECAYQAAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.naiop.org%2F-%2Fmedia%2FResearch%2FResearch%2FResearch-Reports%2FSolar-Technology-Reference-Guide%2Fsolartechrefguide.ashx&usq=AOvVaw0BhcBxuKYYGKhr0C2c3s_h.
- [9] Latunussa, C.E.L., Mancini, L., Blengini, G.A., Ardente, F., and Pennington, D. 2016. Analysis of Material Recovery from Silicon Photovoltaic Panels. JRC technical reports. Europe. Available: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC100783>.

- [10] IEA-PVPS. 2020. Trends in photovoltaic application 2020. Available: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/11/IEA_PVPS_Trends_Report_2020-1.pdf.
- [11] IRENA. 2021. RENEWABLE ENERGYSTATISTICS 2021. Available: <https://irena.org/publications/2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021>.
- [12] เสาวภา ทินปาน และ ประพิธาร์ ธนารักษ์. 2013. การประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน สำหรับการผลิตไฟฟ้า. Naresuan University Journal, 21(3), 49-58.
- [13] ปาณิสรา อ่อนดอกไม้ และ นัฐพร ไชยญาติ. 2562. การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- [14] Smith, C., Burrows, J., Scheier, E., Young, A., Smith, J., Young, T., and Gheewala, S.H. Comparative Life Cycle Assessment of a Thai Island's diesel/PV/wind hybrid microgrid. . *Renewable energy*, 80, 85-100.
- [15] Khaenson, W., Maneewan, S., and Punlek, C. 2016. Life Cycle Assessment of Power Generation from Renewable Energy in Thailand. *GMSARN International Journal*, 10, 145-156.
- [16] Eskew, J., Ratledge, M., Wallace, M., and Gheewala, S.H. 2018. An environmental Life Cycle Assessment of rooftop solar in Bangkok, Thailand. *Renewable energy*, 123, 781-792.
- [17] Faircloth, C.C., Wagner, K.H., Woodward, K.E., Rakkwamsuk, P., and Gheewala, S.H. 2019. The environmental and economic impacts of photovoltaic waste management in Thailand. *Resources, Conservation & Recycling*, 143, 260-272.
- [18] Clemons, S.K.C., Salloum, C.R., Herdegen, K.G., Kamens, R.M., and Gheewala, S.H. 2021. Life cycle assessment of a floating photovoltaic system and feasibility for application in Thailand. *Renewable energy*, 168, 448-462.
- [19] กรมศุลกากร. 2563. รายงานสถิติ. ออนไลน์: https://www.customs.go.th/statistic_report.php?ini_content=statistics_report&ini_menu=nmenu_eservice&left_menu=nmenu_eservice_007&lang=th&left_menu=nmenu_eservice_007.
- [20] นายเอกบุตร อุดมพงศ์. 2558. แผนแม่บทการจัดการซากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์: เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. กองบริหารจัดการอุตสาหกรรม. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ออนไลน์: <http://www.tei.or.th/tbcds/event/171122-tbcds-1.pdf>.

- [21] IEA-PVPS. 2018. End-of-Life Management of Photovoltaic Panels: Trends in PV Module Recycling Technologies. Available: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/End_of_Life_Management_of_Photovoltaic_Panels_Trends_in_PV_Module_Recycling_Technologies_by_task_12.pdf.
- [22] Liu, C., Zhang, Q., and Wang, H. 2020. Cost-benefit analysis of waste photovoltaic module recycling in China. *Waste Management*, 118, 491-500.
- [23] HAMADA CO.,LTD. 2021. Industrial Waste: Solar Panel Reuse & Recycling Service. Available: <https://www.kkhamada.com/en/business/industrial/enjoy.html>.
- [24] Kim, H., and Park, H. 2018. PV Waste Management at the Crossroads of Circular Economy and Energy Transition: The Case of South Korea. *Sustainability*, 10, 1-15.
- [25] Mahmoudi, A., Huda, N., and Behnia, M. 2019. Photovoltaic waste assessment: Forecasting and screening of emerging waste in Australia. *Resources, Conservation & Recycling*, 146, 192-205.
- [26] Kultsche, J. 2010. Statistical Lifetime Predictions for PV Modules, presentation, wwwl.eere.energy.gov/solar/pdfs/pvrw2010_kuitche.pdf.

บทที่ 6

การประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (Life Cycle Assessment) และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้า จากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับเซลล์แสงอาทิตย์

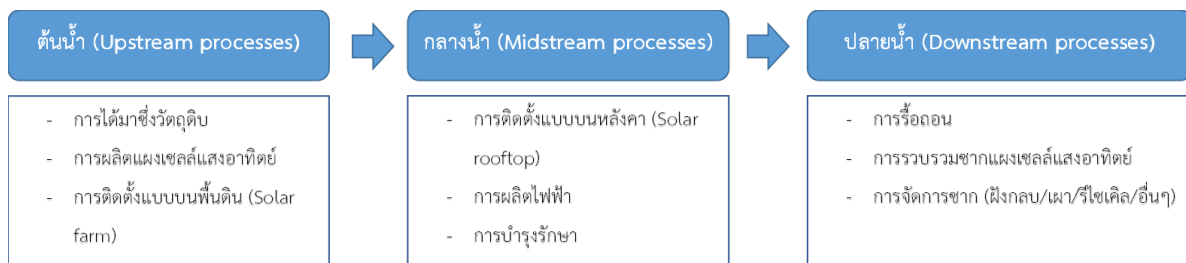
6.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง อ้างอิงตามเส้นทางการไหลที่กล่าวในบทที่ 5 แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก [1, 2] ดังรูปที่ 6-1 ได้แก่

1) ต้นน้ำ (Upstream processes) ประกอบด้วยตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตเซลล์/แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการติดตั้งบนพื้นดินสำหรับประกอบกิจการผลิตกระแสไฟฟ้าในเชิงอุตสาหกรรม (Solar farm/ground-mounted solar)

2) กลางน้ำ (Midstream processes) ประกอบด้วยขั้นตอนการติดตั้งบนหลังคาสำหรับใช้งานภายในบ้าน/โรงงาน (Solar rooftop) ขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า และการบำรุงรักษา

3) ปลายน้ำ (Downstream processes) ประกอบด้วยขั้นตอนการรื้อถอน การรวบรวม และการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น การฝังกลบ การเผา การรีไซเคิล เป็นต้น



รูปที่ 6-1 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้หลากหลาย เช่น การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ การก่อให้เกิดฝนกรด การเกิดสภาวะโลกร้อน การทำลายชั้นโอโซน ความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ทั้งนี้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ในส่วนของกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์จนถึงกระบวนการติดตั้ง มีการใช้โลหะ/สารเคมีต่างๆ เป็นวัตถุดิบ ซึ่งส่งผลกระทบให้เกิดการทำลายชั้นโอโซน การเกิดฝุ่น และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนได้ โดยเฉพาะจากกระบวนการขึ้นรูปผลึกซิลิคอน การผลิตซิลิคอนเวเฟอร์ และการผลิตอะลูมิเนียมเพื่อใช้ในการผลิต/ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [3] สำหรับกระบวนการปลายน้ำ แผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อหมดอายุการใช้งานกลายเป็นซาก จัดว่าเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ประเภทหนึ่ง (Waste electrical and electronic equipment: WEEE) ซึ่งสหภาพยุโรป (European Union: EU) ได้ออก

ระเบียบขยะอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE Directive L197-2012) โดยแบ่งประเภทขยะอิเล็กทรอนิกส์ออกเป็น 6 ประเภทหลัก ซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จัดอยู่ในหมวดขยะอิเล็กทรอนิกส์ประเภทที่ 4 คือ เครื่องมือ/อุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ (Large equipment) [4] ต่อมาในปี ค.ศ. 2019 คณะกรรมาธิการยุโรปได้ออกประกาศ (Commission Implementing Decision 2019/2193) ว่าขยะอิเล็กทรอนิกส์ประเภทที่ 4 นั้นสามารถแบ่งประเภทย่อยออกเป็น 2 หมวด [5] ได้แก่

- หมวด 4a คือ เครื่องมือ/อุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ไม่รวมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Large equipment excluding photovoltaic panels)
- หมวด 4b คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic panels)

ดังนั้นซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงจัดอยู่ในหมวดที่ชัดเจนยิ่งขึ้น (หมวด 4b) จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขยะอิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละประเภทโดยมหาวิทยาลัยสหประชาชาติ (United Nations University: UNU) พบว่าหากจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างไม่ถูกต้องเหมาะสม ทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักๆ ได้แก่ สภาวะโลกร้อน ความเป็นพิษต่อมนุษย์ และความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำจืด แต่ถ้ามมีการนำไปรีไซเคิลจะส่งผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อมนุษย์ และความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำจืดเป็นหลัก [6]

สรุปผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ประกอบด้วย

- สภาวะโลกร้อน (Global warming potential/Greenhouse gas emission)
- การเกิดฝุ่นขนาดเล็ก (Fine particulate matter: PM2.5)
- การทำลายชั้นโอโซน (Ozone layer depletion)
- ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity)
- ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำจืด (Fresh water aquatic ecotoxicity)

6.1.1 สภาวะโลกร้อน (Global warming potential/Greenhouse gas emission)

การประเมินผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนเป็นการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งทางตรงและทางอ้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (kgCO₂ eq./unit) ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงเกิดได้จากกระบวนการเช่น การผลิตที่ต้องใช้ปฏิกิริยาทางเคมี การใช้พลังงานฟอสซิลในเครื่องจักรต่างๆ โดยเฉพาะการได้มาซึ่งวัตถุดิบแร่ซิลิคอน/ควอตซ์ และการผลิตซิลิคอนเกรดโลหะ เป็นต้น ส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมเช่น การใช้ไฟฟ้าจากระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้าฯ หรือ การใช้น้ำประปาจากการประปาฯ เป็นต้น

จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยของทั้งในและต่างประเทศ แสดงผลได้ดังตารางที่ 6-1 ซึ่งส่วนใหญ่แสดงผลกระทบต่อหน่วยกำลังไฟที่ผลิตได้ตลอดอายุขัยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (กิโลวัตต์·ชั่วโมง, kWh)

ตารางที่ 6-1 การประเมินผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน/การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
				ค่าเฉลี่ย	ช่วง	หน่วย	จำนวน งานวิจัย	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	Solar farm/rooftop	USA	1700-2400	40	30-220	gCO ₂ eq./kWh	41	60-70%	21-26%	5-20%	NREL, 2012 [7]
Thin film photovoltaics	Solar farm/rooftop	USA	1700-2401	30	20-50	gCO ₂ eq./kWh	5	60-70%	21-26%	5-20%	NREL, 2012 [7]
Concentrating solar power (Trough and tower)	Solar farm/rooftop	USA	1700-2402	25	10-80	gCO ₂ eq./kWh	36	-	-	-	NREL, 2012 [7]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	Solar farm/rooftop	-	1200-2017	38	30-55	gCO ₂ eq./kWh	26	-	-	-	Kim et al., 2012 [8]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	Solar farm/rooftop	-	1430-2280	28	25-48	gCO ₂ eq./kWh	24	-	-	-	Kim et al., 2012 [8]
Thin-film copper indium gallium diselenide (CIGS)	Solar farm/rooftop	-	1200-2200	40	35-55	gCO ₂ eq./kWh	14	-	-	-	Kim et al., 2012 [8]
Monocrystalline silicon	Solar farm/rooftop	-	1700	65	40-70	gCO ₂ eq./kWh	13	-	-	-	Hsu et al., 2012 [9]
Multicrystalline silicon	Solar farm/rooftop	-	1700	55	45-85	gCO ₂ eq./kWh	28	-	-	-	Hsu et al., 2012 [9]
Monocrystalline silicon	Solar farm/rooftop	USA	1700	70	30-215	gCO ₂ eq./kWh	30	-	-	-	IPCC, 2012 [10]
Multicrystalline silicon	Solar farm/rooftop	USA	1700	58	10-215	gCO ₂ eq./kWh	56	-	-	-	IPCC, 2012 [10]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	Solar farm/rooftop	USA	1700	25	10-65	gCO ₂ eq./kWh	12	-	-	-	IPCC, 2012 [10]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	Solar farm/rooftop	USA	1700	20	10-20	gCO ₂ eq./kWh	13	-	-	-	IPCC, 2012 [10]
Nano-crystalline dye sensitized (DSC)	Solar farm/rooftop	USA	1700	18	20-30	gCO ₂ eq./kWh	4	-	-	-	IPCC, 2012 [10]
Concentrating solar power	Solar farm/rooftop	USA	1700	58	20-150	gCO ₂ eq./kWh	6	-	-	-	IPCC, 2012 [10]

ตารางที่ 6-1 การประเมินผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน/การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต (ต่อ)

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
				ค่าเฉลี่ย	ช่วง	หน่วย	จำนวน งานวิจัย	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Ribbon Silicon	Solar farm/rooftop	USA	1700	30	-	gCO ₂ eq./kWh	2	-	-	-	IPCC, 2012 [10]
Cadmium selenide quantum dot (QDPV)	Solar farm/rooftop	USA	1700	5	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	IPCC, 2012 [10]
Concentrating solar power (Trough)	Solar farm/rooftop	USA	1700	19	9-49	gCO ₂ eq./kWh	20	-	-	-	IPCC, 2012 [10]
Concentrating solar power (Tower)	Solar farm/rooftop	USA	1700	29	11-55	gCO ₂ eq./kWh	14	-	-	-	IPCC, 2012 [10]
Concentrating solar power (Stirling)	Solar farm/rooftop	USA	1700	14	8-89	gCO ₂ eq./kWh	4	-	-	-	IPCC, 2012 [10]
Concentrating solar power (Fresnel)	Solar farm/rooftop	USA	1700	18	16-22	gCO ₂ eq./kWh	4	-	-	-	IPCC, 2012 [10]
Multicrystalline silicon	Solar farm	Gobi Desert/China	2017	52	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	Komoto et al., 2009 [11]
Monocrystalline silicon	Solar farm	Gobi Desert/China	2017	62	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	Komoto et al., 2009 [11]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	Solar farm	Gobi Desert/China	2017	53	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	Komoto et al., 2009 [11]
Thin film Si	Solar farm	Gobi Desert/China	2017	71	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	Komoto et al., 2009 [11]
Thin film copper indium selenium (CIS)	Solar farm	Gobi Desert/China	2017	59	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	Komoto et al., 2009 [11]

ตารางที่ 6-1 การประเมินผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน/การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต (ต่อ)

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
				ค่าเฉลี่ย	ช่วง	หน่วย	จำนวน งานวิจัย	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	Solar farm	Gobi Desert/China	2017	66	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	Komoto et al., 2009 [11]
Monocrystalline silicon	-	China (100% manufacturing)	-	74	-	gCO ₂ eq./kWh	1	100%	x	x	Collins et al., 2015 [12]
Monocrystalline silicon	-	USA (Import of China solar cells)	-	73	-	gCO ₂ eq./kWh	1	100%	x	x	Collins et al., 2015 [12]
Monocrystalline silicon	-	USA (100% manufacturing)	-	58	-	gCO ₂ eq./kWh	1	100%	x	x	Collins et al., 2015 [12]
Multicrystalline silicon	-	China (100% manufacturing)	-	60	-	gCO ₂ eq./kWh	1	100%	x	x	Collins et al., 2015 [12]
Multicrystalline silicon	-	USA (Import of China solar cells)	-	59	-	gCO ₂ eq./kWh	1	100%	x	x	Collins et al., 2015 [12]
Multicrystalline silicon	-	USA (100% manufacturing)	-	52	-	gCO ₂ eq./kWh	1	100%	x	x	Collins et al., 2015 [12]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	Solar farm	Southern Europe	1700	53	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	x	Gladden et al., 2012 [13]
Thin film gallium arsenide (GaAs)	Solar farm	Netherlands	1700	62	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	x	Gladden et al., 2012 [13]

ตารางที่ 6-1 การประเมินผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน/การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต (ต่อ)

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
				ค่าเฉลี่ย	ช่วง	หน่วย	จำนวน งานวิจัย	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Multicrystalline silicon	Solar farm	Southern Europe	1700	60	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	x	Gladden et al., 2012 [13]
Thin-film copper indium gallium diselenide (CIGS)	Solar farm	Europe	1700	49	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	Gladden et al., 2012 [13]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	Solar roof	-	-	23	-	kgCO ₂ eq./kg pv module	1	98.9	x	1.1 (Cut-off)	IEA-PVPS, 2018 [14]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	Solar roof	-	-	6.08	-	kgCO ₂ eq./kg pv module	1	95.2	x	4.8 (Cut-off)	IEA-PVPS, 2018 [14]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	-	-	-	446	-	kgCO ₂ eq./1000 kg waste	1	x	x	100% Recycling	Latunussa et al., 2016 [15]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	Solar roof	Denmark	1700	53	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	Cut-off	Palanov, 2014 [16]
Monocrystalline silicon	Solar roof	Europe	1700	-	29-37	gCO ₂ eq./kWh	-	-	-	-	IEA-PVPS, 2011 [17]
Multicrystalline silicon	Solar roof	Europe	1700	-	28-35	gCO ₂ eq./kWh	-	-	-	-	IEA-PVPS, 2011 [17]
Ribbon Silicon	Solar roof	Europe	1700	31	-	gCO ₂ eq./kWh	-	-	-	-	IEA-PVPS, 2011 [17]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	Solar roof	Europe	1700	-	17-18	gCO ₂ eq./kWh	-	-	-	-	IEA-PVPS, 2011 [17]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	Solar roof	Greece	-	43.5	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]

ตารางที่ 6-1 การประเมินผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน/การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต (ต่อ)

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
				ค่าเฉลี่ย	ช่วง	หน่วย	จำนวน งานวิจัย	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Thin film copper indium selenium (CIS)	Solar roof	Greece	-	39.5	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Multicrystalline silicon	Solar roof	Greece	-	44.3	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Monocrystalline silicon	Solar roof	Greece	-	52.4	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Multicrystalline silicon	Solar roof	USA and southern Europe	1700	50	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	x	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	Solar roof	USA and southern Europe	1700	40	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	x	Alsema, 2012 [19]
Multicrystalline silicon	Solar roof	USA and southern Europe	1700	30	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	x	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	Solar roof	USA and southern Europe	1700	20	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	x	Alsema, 2012 [19]
Multicrystalline silicon	Solar roof	USA and southern Europe	1700	20	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	x	Alsema, 2012 [19]

ตารางที่ 6-1 การประเมินผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน/การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต (ต่อ)

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
				ค่าเฉลี่ย	ช่วง	หน่วย	จำนวน งานวิจัย	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	Solar roof	USA and southern Europe	1700	10	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	x	Alsema, 2012 [19]
Monocrystalline silicon	Solar farm	India	1700	316.5	-	gCO ₂ eq./kWh	1	91.2	8.8	x	Prabhu et al., 2021 [20]
Multicrystalline silicon	Solar farm	India	1700	346.6	-	gCO ₂ eq./kWh	1	89.8	10.2	x	Prabhu et al., 2021 [20]
Monocrystalline silicon	Solar roof	India	1700	257.5	-	gCO ₂ eq./kWh	1	91.3	8.7	x	Prabhu et al., 2021 [20]
Multicrystalline silicon	Solar roof	India	1700	271.5	-	gCO ₂ eq./kWh	1	89.5	10.5	x	Prabhu et al., 2021 [20]
Low concentration photovoltaic (LCPV)	Solar wall	China	722-1280	1.09	-	kgCO ₂ eq./Wp	1	-	-	x	Li et al., 2018 [21]
High concentration photovoltaic (HCPV)	-	Europe	2400-3040	-	16.4-18.4	gCO ₂ eq./kWh	1	81-92	<1	8-19	Payet and Greffe, 2019 [22]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	Solar roof	Europe	1331	19.9	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	0.05	-	EC, 2021 [23]
Thin film copper indium selenium (CIS)	Solar roof	Europe	1331	35.9	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	0.04	-	EC, 2021 [23]
Micromorphous silicon (micro-Si) PV modules	Solar roof	Europe	1331	43	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	0.03	-	EC, 2021 [23]

ตารางที่ 6-1 การประเมินผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน/การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต (ต่อ)

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
				ค่าเฉลี่ย	ช่วง	หน่วย	จำนวน งานวิจัย	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Multicrystalline silicon	Solar roof	Europe	1331	48.8	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	0.02	-	EC, 2021 [23]
Monocrystalline silicon	Solar roof	Europe	1331	80.4	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	0.01	-	EC, 2021 [23]
Concentrated solar power (< 50 MW)	Solar farm/rooftop	-	-	33.2	21-47	gCO ₂ eq./kWh	29	-	-	-	Silva and Raadal, 2019 [24]
Concentrated solar power (50-100 MW)	Solar farm/rooftop	-	-	31	10-56	gCO ₂ eq./kWh	29	-	-	-	Silva and Raadal, 2019 [24]
Concentrated solar power (> 100 MW)	Solar farm/rooftop	-	-	24	11-39	gCO ₂ eq./kWh	29	-	-	-	Silva and Raadal, 2019 [24]
Monocrystalline silicon	Solar farm/rooftop	-	-	61.8	20-130	gCO ₂ eq./kWh	13	-	-	-	Silva and Raadal, 2019 [24]
Multicrystalline silicon	Solar farm/rooftop	-	-	52.2	10-110	gCO ₂ eq./kWh	21	-	-	-	Silva and Raadal, 2019 [24]
Thin film photovoltaics	Solar farm/rooftop	-	-	35.5	10-95	gCO ₂ eq./kWh	11	-	-	-	Silva and Raadal, 2019 [24]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	Solar farm/rooftop	-	-	30	12.5-45	gCO ₂ eq./kWh	4	-	-	-	Silva and Raadal, 2019 [24]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	Solar farm/rooftop	-	-	26	15-50	gCO ₂ eq./kWh	4	-	-	-	Silva and Raadal, 2019 [24]
Thin-film copper indium gallium diselenide (CIGS)	Solar farm/rooftop	-	-	55	20-95	gCO ₂ eq./kWh	3	-	-	-	Silva and Raadal, 2019 [24]

ตารางที่ 6-1 การประเมินผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน/การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต (ต่อ)

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
				ค่าเฉลี่ย	ช่วง	หน่วย	จำนวน งานวิจัย	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Perovskite tandem	-	-	-	10.7	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	Tian et al., 2020 [25]
Multicrystalline silicon	Solar roof	Bangkok, Thailand	-	79	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	Landfill	Eskew et al., 2018 [26]
Monocrystalline silicon	Solar roof	Bangkok, Thailand	-	55	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	Recycling	Eskew et al., 2018 [26]
Monocrystalline silicon	Wind/solar/diesel microgrid	Koh Jig, Chanthaburi, Thailand	1726	88	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	Smith et al., 2015 [27]
Multicrystalline silicon	Solar farm	Chiang Mai, Thailand	1772	186	-	gCO ₂ eq./kWh	1	96.8	<1	3.2 Landfill	APEC Energy Working Group, 2019 [28]
Multicrystalline silicon	Solar farm	Chiang Mai, Thailand	1772	70	-	gCO ₂ eq./kWh	1	93.9	1.1	5 Landfill	APEC Energy Working Group, 2019 [28]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	-	Thailand	-	377	-	kgCO ₂ eq./kWh	1	-	-	Cut-off	ปาณิสรา และ นัฐพร, 2561 [29]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	-	Pitsanulok, Thailand	-	33.1	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	เสาวภา และ ประพิธาร์, 2013 [30]
Monocrystalline silicon	Solar roof	Thailand	1752	-	5-35	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	Kittner et al., 2013 [31]

ตารางที่ 6-1 การประเมินผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน/การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต (ต่อ)

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
				ค่าเฉลี่ย	ช่วง	หน่วย	จำนวน งานวิจัย	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Thin film photovoltaics	Solar roof	Thailand	1752	-	4-22	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	Kittner et al., 2013 [31]
Floating photovoltaics (FPV - Poly-Si)	Solar floating	Thailand	1670-1895	73.3	-	gCO ₂ eq./kWh	1	66.75	32.99 (Installation)	0.08	Clemons et al., 2021 [32]
Multicrystalline silicon	-	Thailand	-	8.637	-	kgCO ₂ eq./module	1	x	x	100 (Export to recycle)	พุทธดี อุบลสุข และ คณะ, 2563 [33]
Monocrystalline silicon	-	Thailand	-	63	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	กรมพัฒนาพลังงาน ทดแทน, 2560 [34]
Multicrystalline silicon	-	Thailand	-	56	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	กรมพัฒนาพลังงาน ทดแทน, 2560 [34]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	-	Thailand	-	54	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	กรมพัฒนาพลังงาน ทดแทน, 2560 [34]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	-	Thailand	-	53	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	กรมพัฒนาพลังงาน ทดแทน, 2560 [34]
Thin film copper indium selenium (CIS)	-	Thailand	-	57	-	gCO ₂ eq./kWh	1	-	-	-	กรมพัฒนาพลังงาน ทดแทน, 2560 [34]

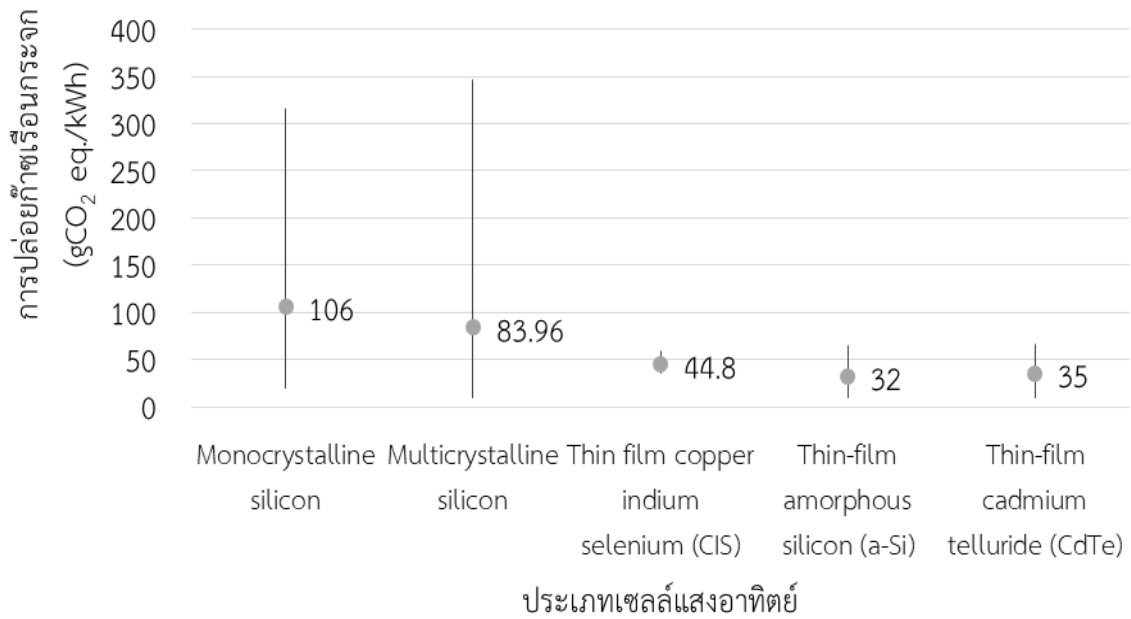
หมายเหตุ: x คือ ไม่มีการประเมิน/วิเคราะห์ในขอบเขตของงานวิจัย

- คือ ไม่มีข้อมูลระบุในงานวิจัย

Cut-off คือ การคัดแยกชิ้นส่วนขนาดใหญ่พวกโลหะ/กระจกออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำไปรีไซเคิล ส่วนซากที่เหลือส่วนใหญ่ทิ้งลงหลุมฝังกลบ

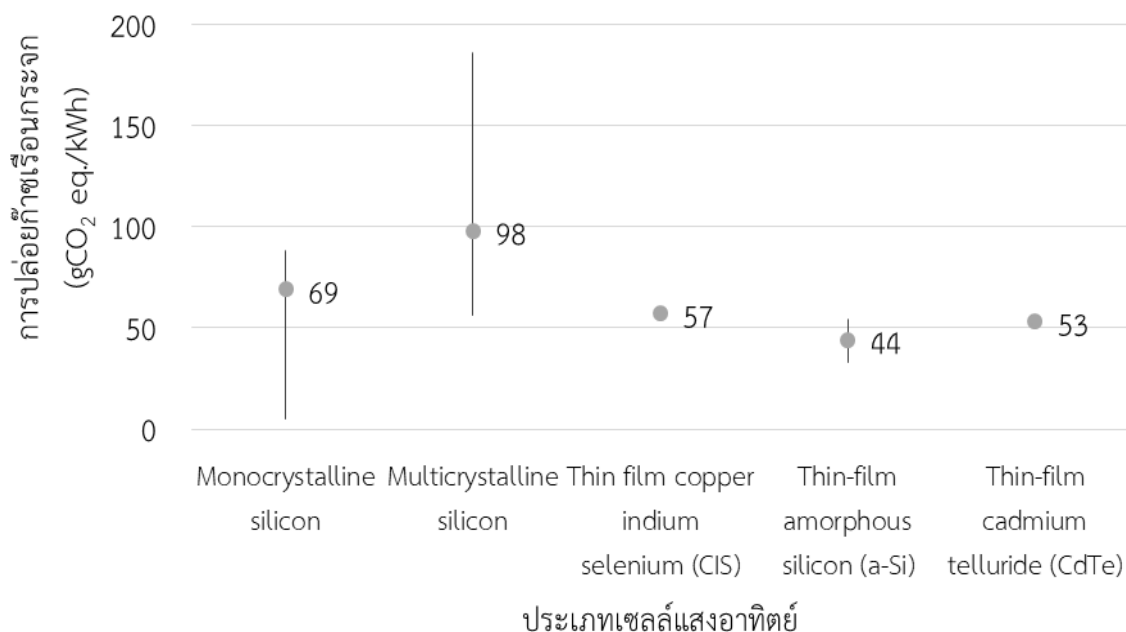
NREL (National renewable energy laboratory) หน่วยงานสังกัดภายใต้กระทรวงพลังงานของ ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อสภาวะโลกร้อน/การปล่อยก๊าซเรือน กระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึก (Crystalline-Si PV) ซึ่งเป็นชนิดหลักที่มีการใช้มากใน ปัจจุบัน พบว่าจากการศึกษาวิจัยในประเทศสหรัฐอเมริกา 41 ฉบับ มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 30- 220 gCO₂ eq./kWh หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 40 gCO₂ eq./kWh โดยผลกระทบส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการ ตั้มน้ำ (การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์) 60-70% รองลงมาคือกระบวนการกลั่นน้ำ (การ ผลิตไฟฟ้า) 21-26% และกระบวนการปลายน้ำ (การจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์) 5-20% ตามลำดับ ขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film) มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ย 30 gCO₂ eq./kWh (20-50 gCO₂ eq./kWh) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรวมแสง (Concentrated solar power) การปล่อย ก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ย 25 gCO₂ eq./kWh (10-80 gCO₂ eq./kWh) [7] ซึ่งทั้ง 2 ชนิดนี้มีปริมาณการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าชนิดซิลิคอนผลึก เนื่องจากการได้มาซึ่งซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์และการผลิต แผงเซลล์ฯ มีการใช้พลังงานและวัตถุดิบที่หลากหลายและมากกว่าชนิดฟิล์มบางหรือชนิดรวมแสง

เมื่อเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแต่ละชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของต่างประเทศ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโมโนซิลิคอนมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 106 gCO₂ eq./kWh รองลงมาคือชนิดผลึกมัลติซิลิคอน (84 gCO₂ eq./kWh) ฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-เซลล์เนียม (45 gCO₂ eq./kWh) ฟิล์มบางแคดเมียม-เทลลูไรด์ (35 gCO₂ eq./kWh) และฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (32 gCO₂ eq./kWh) ตามลำดับ ดังรูปที่ 6-2 โดยจากรูปแสดงถึงค่าเฉลี่ย (ตัวเลข) และช่วง (เส้นตรง) ของการปล่อย ก๊าซเรือนกระจก อย่างไรก็ตามเห็นได้ว่าข้อมูลที่รวบรวมมีผลลัพธ์ที่หลากหลายแตกต่างกันไปในแต่ละ งานวิจัย เนื่องจากมีวิธีการ/การรวบรวมข้อมูล/สมมติฐาน/การเลือกค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG emission factor) ที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Milousi และคณะ (ค.ศ. 2019) ศึกษาการ ปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกมัลติซิลิคอน โดยในขั้นตอนการกำจัดซากพิจารณา ว่ามีการตัดคัดแยกชิ้นส่วนหลัก/ขนาดใหญ่ (Cut-off treatment) เพื่อนำไปขึ้นส่วนเหล่านี้อีกกลับไปรีไซเคิล ทำให้ตลอดวัฏจักรชีวิตมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 44.3 gCO₂ eq./kWh [18] ขณะที่งานของ Eskew และ คณะ (ค.ศ. 2018) ศึกษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกมัลติซิลิคอนเช่นเดียวกัน แต่ในขั้นตอนการจัดการ ซากพิจารณาว่าส่งกำจัดเข้าหลุมฝังกลบ ไม่มีการคัดแยกชิ้นส่วนใดก่อน ทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตลอดวัฏจักรชีวิตอยู่ที่ 79 gCO₂ eq./kWh [26] ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่รายงานของ Milousi และคณะ (ค.ศ. 2019) เพราะการทิ้งซากโดยตรงส่งผลให้มีโอกาสเกิดการปนเปื้อนของสารต่างๆ ลงสู่สิ่งแวดล้อมสูงกว่าการจัดการ คัดแยกแล้วนำไปรีไซเคิลกลับเข้าสู่ระบบอุตสาหกรรม เป็นต้น



รูปที่ 6-2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดในต่างประเทศ
(• คือ ค่าเฉลี่ย และ — คือ ช่วง)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแต่ละชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 6-3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณงานวิจัยที่มีเผยแพร่ยังไม่หลากหลายและมีการศึกษาน้อยกว่าของต่างประเทศ โดยส่วนใหญ่ศึกษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน เพราะมีการจำหน่ายและใช้ภายในประเทศ ขณะที่ชนิดฟิล์มบางมีการศึกษาน้อยกว่า อย่างไรก็ตามชนิดฟิล์มบางก็มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าชนิดซิลิคอน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยต่างประเทศ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกมัลติซิลิคอนเฉลี่ยอยู่ที่ 98 gCO₂ eq./kWh รองลงมาเป็นชนิดผลึกโมโนซิลิคอน 69 gCO₂ eq./kWh ฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-เซลล์เนียม 57 gCO₂ eq./kWh ฟิล์มบางแคดเมียม-เทลลูไรด์ 53 gCO₂ eq./kWh และฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน 44 gCO₂ eq./kWh ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับของต่างประเทศ อย่างไรก็ตามฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-เซลล์เนียมและฟิล์มบางแคดเมียม-เทลลูไรด์ รวบรวมมาจากผลงานวิจัย 1 แหล่งเท่านั้น [34]



รูปที่ 6-3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดในประเทศไทย
(• คือ ค่าเฉลี่ย และ — คือ ช่วง)

สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากประเภทหลักนั้น ยกตัวอย่างเช่น Floating photovoltaics (FPV - Poly-Si), High concentration photovoltaic (HCPV), Low concentration photovoltaic (LCPV) เป็นต้น มีการศึกษาวิจัยน้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหลักๆ และเป็นข้อมูลจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสามารถดูปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จากตารางที่ 6-1

6.1.2 การเกิดฝุ่นขนาดเล็ก (Fine particulate matter: PM2.5)

ฝุ่นขนาดเล็ก (PM2.5) เป็นอีกหนึ่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเฉพาะกระบวนการตัดแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ ฝุ่นเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานภายในสถานประกอบการ รวมถึงอาจบดบังทัศนวิสัยภายในโรงงานได้ ซึ่งจากการรวบรวมงานวิจัยดังตารางที่ 6-2 พบว่า ในต่างประเทศการเกิดฝุ่นขนาดเล็กของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 10^{-4} กิโลกรัมฝุ่นขนาดเล็กเทียบเท่าต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kg PM2.5 eq./kWh) โดยส่วนใหญ่มากกว่า 95% เกิดในช่วงต้นน้ำหรือกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ปริมาณการเกิดฝุ่นขนาดเล็กของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยจากงานวิจัยของ ปาณิสรา และ นัฐพร (พ.ศ. 2561) พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนมีการเกิดฝุ่นสูงถึง 1.26 kg PM2.5 eq./kWh [29] ขณะที่งานวิจัยของ Clemons และคณะ (ค.ศ. 2021) ที่ศึกษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด มัลติ/โพลีซิลิคอนแบบติดตั้งลอยน้ำ มีการปล่อยฝุ่น 1.14×10^{-4} kg PM2.5 eq./kWh [32] ซึ่งน้อยกว่า งานวิจัยของปาณิสรา และนัฐพร (พ.ศ. 2561) อาจเนื่องจากการรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณที่แตกต่างกัน จึง

ส่งผลให้ค่าผลกระทบที่ได้มีความแตกต่างกันหลายเท่า หากพิจารณาสัดส่วนการเกิดฝุ่นขนาดเล็กในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรพบว่าอยู่ในช่วงกลางน้ำมากที่สุด เพราะขอบเขตการวิจัยของ Clemons และคณะ (ค.ศ. 2021) รวมกระบวนการติดตั้งอยู่ในขั้นตอนนี้ [32]

ตารางที่ 6-2 การประเมินผลกระทบต่อการเกิดฝุ่นขนาดเล็ก (PM2.5) ตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้มแสงอาทิตย์	ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้น	สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
					ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	Solar roof	-	-	0.0315 kg PM2.5 eq./kg pv module	99.9	x	0.1 (Cut-off)	IEA-PVPS, 2018 [14]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	Solar roof	-	-	0.00328 kg PM2.5 eq./kg pv module	97.4	x	2.6 (Cut-off)	IEA-PVPS, 2018 [14]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	-	-	-	9.81×10^{-2} kg PM2.5 eq./1000 kg waste	x	x	100% Recycling	Latunussa et al., 2016 [15]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	Solar roof	Greece	-	1.09×10^{-4} kg PM2.5 eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Thin film copper indium selenium (CIS)	Solar roof	Greece	-	9.39×10^{-5} kg PM2.5 eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Multicrystalline silicon	Solar roof	Greece	-	1.04×10^{-4} kg PM2.5 eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Monocrystalline silicon	Solar roof	Greece	-	1.23×10^{-4} kg PM2.5 eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
High concentration Photovoltaic (HCPV)	-	Europe	2400-3040 kWh/m ² /year	11.8-12.4 mg PM2.5 eq./kWh	81-82	<1	17.6-18.1 (Cut-off)	Payet and Greffe, 2019 [22]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	-	Thailand	-	1.26 kg PM2.5 eq./kWh	-	-	Cut-off	ปาณิสรา และ นัฐพร, 2561 [29]
Floating photovoltaics (FPV - Poly-Si)	Solar floating	Thailand	1670-1895	1.14×10^{-4} kg PM2.5 eq./kWh	13.3	86.6	0.05	Clemons et al., 2021 [32]

6.1.3 การทำลายชั้นโอโซน (Ozone layer depletion)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อการทำลายชั้นโอโซน (Ozone layer depletion) ประเมินออกมาในหน่วย กิโลกรัมคลอโรฟลูออโรคาร์บอน-11 เทียบเท่า (kg CFC-11 eq.) ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ จากการรวบรวม งานวิจัยของต่างประเทศพบว่า ภาพรวมมีการปล่อยสารทำลายชั้นโอโซน 10^{-11} - 10^{-8} kg CFC-11 eq./kWh โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนมีแนวโน้มส่งผลกระทบมากกว่าชนิดฟิล์มบาง เพราะกระบวนการ ได้มาซึ่งวัตถุดิบซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์และกระบวนการผลิตมีการใช้สารเคมี/สารประกอบคลอรีนที่ เป็นตัวเร่งการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศได้ สำหรับการประเมินผลกระทบในประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 10^{-6} - 10^{-5} kg CFC-11 eq./kWh ซึ่งสูงกว่างานวิจัยอื่นๆ ในต่างประเทศ

ตารางที่ 6-3 แสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อการทำลายชั้นโอโซนของงานวิจัยในประเทศไทยและ ต่างประเทศ

ตารางที่ 6-3 การประเมินผลกระทบต่อการทำลายชั้นโอโซน (Ozone layer depletion) ตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณผลกระทบต่อการทำลายชั้น โอโซน	สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
					ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	-	-	-	3.21x10 ⁻⁵ kg CFC-11 eq./1000 kg waste	x	x	100% Recycling	Latunussa et al., 2016 [15]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	Solar roof	Denmark	1700	2.25x10 ⁻⁸ kg CFC-11 eq./kWh	-	-	Cut-off	Palanov, 2014 [16]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	Solar roof	Greece	-	1.70x10 ⁻⁸ kg CFC-11 eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Thin film copper indium selenium (CIS)	Solar roof	Greece	-	1.75x10 ⁻⁸ kg CFC-11 eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Multicrystalline silicon	Solar roof	Greece	-	2.06x10 ⁻⁸ kg CFC-11 eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Monocrystalline silicon	Solar roof	Greece	-	2.45x10 ⁻⁸ kg CFC-11 eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Low concentration photovoltaic (LCPV)	Solar wall	China	722-1280	6.47x10 ⁻⁸ kg CFC-11 eq./Wp	-	-	x	Li et al., 2018 [21]
High concentration photovoltaic (HCPV)	-	Europe	2400-3040	1.69 x10 ⁻⁹ -2.06x10 ⁻⁹ kg CFC-11 eq./kWh	-	-	Cut-off	Payet and Greffe, 2019 [22]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	Solar roof	Europe	1331	1.19x10 ⁻¹¹ kg CFC-11 eq./kWh	-	0.17	-	EC, 2021 [23]
Thin film copper indium selenium (CIS)	Solar roof	Europe	1331	2.64x10 ⁻¹¹ kg CFC-11 eq./kWh	-	0.1	-	EC, 2021 [23]
Micromorphous silicon (micro-Si) PV modules	Solar roof	Europe	1331	1.48x10 ⁻¹¹ kg CFC-11 eq./kWh	-	0.19	-	EC, 2021 [23]

ตารางที่ 6-3 การประเมินผลกระทบต่อการทำลายชั้นโอโซน (Ozone layer depletion) ตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณผลกระทบต่อการทำลายชั้น โอโซน	สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
					ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Multicrystalline silicon	Solar roof	Europe	1331	3.04x10 ⁻¹⁰ kg CFC-11 eq./kWh	-	0.01	-	EC, 2021 [23]
Monocrystalline silicon	Solar roof	Europe	1331	5.09x10 ⁻¹⁰ kg CFC-11 eq./kWh	-	<0.01	-	EC, 2021 [23]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	-	Thailand	-	2.61x10 ⁻⁵ kgCFC-11 eq./kWh	-	-	Cut-off	ปาณิสรา และ นัฐพร, 2561 [29]
Floating photovoltaics (FPV - Poly-Si)	Solar floating	Thailand	1670-1895	3.22x10 ⁻⁶ kgCFC-11 eq./kWh	5.87	94.08	0.05	Clemons et al., 2021 [32]

6.1.4 ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity) พิจารณาในด้านความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็ง เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีโลหะหนักองค์ประกอบเป็นองค์ประกอบเช่น แคดเมียม ตะกั่ว สารหนู เป็นต้น รวมถึงมีการใช้สารเคมี/วัตถุอันตรายที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds: VOCs) นอกจากนี้การเกิดฝุ่นขนาดเล็ก (PM2.5) ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลต่อสุขภาพระบบทางเดินหายใจของมนุษย์เช่นกัน โดยประเมินในหน่วยกิโลกกรัมของ 1,4ไดคลอโรเบนซีน เทียบเท่า (1,4 Dichlorobenzene equivalent: kg1,4-DCB eq.) ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หรือความเป็นพิษต่อมนุษย์เทียบเท่า (Comparative Toxic Unit for human: CTUh) ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแปลงหน่วยทั้ง 2 แบบด้วยอัตรา 1.8×10^{-7} CTUh/kg 1,4-DCB

จากตารางที่ 6-4 ในต่างประเทศแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อความเป็นพิษต่อมนุษย์อยู่ที่ 4×10^{-3} - 7×10^{-3} g1,4-DCB eq./kWh โดยผลกระทบส่วนใหญ่มากกว่า 90% อยู่ในช่วงกระบวนการต้นน้ำ ขณะที่ในประเทศไทยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีค่าผลกระทบประมาณ 1.39×10^{-4} - 6.97×10^2 kg1,4-DCB eq./kWh ซึ่งค่าในประเทศไทยค่อนข้างแปรปรวนอาจเป็นเพราะรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณจากหลายแหล่งหลายประเทศ สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางในต่างประเทศมีค่าผลกระทบแตกต่างกันไปตามแต่ละประเภทของฟิล์มบาง เช่น ฟิล์มบางแคดเมียม-เทลลูไรด์ $1.14 \text{ kgCO}_2 \text{ eq./kg pv module}$ ฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน $6.50 \times 10^{-3} \text{ kg1,4-DCB eq./kWh}$ เป็นต้น

ตารางที่ 6-4 การประเมินผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity) ตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณผลกระทบต่อ ความเป็นพิษต่อมนุษย์	ในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
					ค่าเฉลี่ย	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	Solar roof	-	-	4.20x10 ⁻⁷ CTUh/kg pv module	99.5	x	0.5 (Cut-off)	IEA-PVPS, 2018 [14]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	Solar roof	-	-	2.05x10 ⁻⁷ CTUh/kg pv module	96.6	x	3.4 (Cut-off)	IEA-PVPS, 2018 [14]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	-	-	-	2.95x10 ⁻⁵ CTUh/kg pv module	x	x	100% Recycling	Latunussa et al., 2016 [15]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	Solar roof	Denmark	1700	0.086 kg 1,4-DCB eq./kWh	-	-	Cut-off	Palanov, 2014 [16]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	Solar roof	Greece	-	6.50x10 ⁻³ kg1,4-DCB eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Thin film copper indium selenium (CIS)	Solar roof	Greece	-	4.19x10 ⁻³ kg1,4-DCB eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Multicrystalline silicon	Solar roof	Greece	-	4.17x10 ⁻³ kg1,4-DCB eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Monocrystalline silicon	Solar roof	Greece	-	4.33x10 ⁻³ kg1,4-DCB eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Low concentration photovoltaic (LCPV)	Solar wall	China	722-1280	0.38 kg DCB eq./Wp			x	Li et al., 2018 [21]
High concentration photovoltaic (HCPV)	-	Europe	2400-3040	2.46x10 ⁻⁹ -2.92x10 ⁻⁹ CTUh/kWh	-	-	Cut-off	Payet and Greffe, 2019 [22]
Monocrystalline silicon	Wind/solar/diesel microgrid	Koh Jig, Chanthaburi	1726	1.03 kg1,4-DCB eq./kWh	-	-	-	Smith et al., 2015 [27]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	-	Thailand	-	6.97x10 ² kg1,4-DCB eq./kWh	-	-	Cut-off	ปาณิสสา และ นัฐพร, 2561 [29]
Floating photovoltaics (FPV - Poly-Si)	Solar floating	Thailand	1670-1895	1.39x10 ⁻⁴ kg1,4-DCB eq./kWh	<1	99	<1	Clemons et al., 2021 [32]

หมายเหตุ 1 kg 1,4-DCB = 1.8x10⁻⁷ CTUh

6.1.5 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำจืด (Fresh water aquatic ecotoxicity)

ในระหว่างกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือกระบวนการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการใช้ทรัพยากรน้ำ ซึ่งทำให้มีน้ำเสียเกิดขึ้น และต้องได้รับการบำบัดก่อนปล่อยลงสิ่งแวดล้อม เพราะอาจมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ รวมถึงโลหะหนักต่างๆ แล้วส่งผลกระทบต่อเนื่องแก่ระบบนิเวศน้ำจืดได้ โดยการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำจืด (Fresh water aquatic ecotoxicity) ตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ทำการประเมินในหน่วยความเป็นพิษต่อระบบนิเวศเทียบเท่า (Comparative toxic unit for ecosystem: CTUe) ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หรือหน่วยกิโลกรัมของ 1,4ไดคลอโรเบนซีนเทียบเท่า (1,4 Dichlorobenzene equivalent: kg1,4-DCB eq.) ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้สามารถแปลงหน่วยได้จากอัตราส่วน 1 kg 1,4 DCB มีค่าเท่ากับ 9.83×10^2 CTUe

จากงานวิจัยในต่างประเทศ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนมีค่าผลกระทบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำจืดประมาณ 0.01 kg 1,4 DCB-eq./kWh โดยทั้งผลึกโมโนซิลิคอนและมัลติซิลิคอนมีค่าใกล้เคียงกัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางก็มีค่าผลกระทบประมาณ 0.01 kg 1,4 DCB-eq./kWh เช่นเดียวกัน ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภท/ชนิดใดก็มีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำจืดใกล้เคียงกัน สำหรับในประเทศไทยมีค่าผลกระทบของชนิดผลึกซิลิคอน 0.32-10.1 kg 1,4 DCB-eq./kWh ซึ่งมีการประเมินสูงกว่าจากของต่างประเทศ

ตารางที่ 6-5 การประเมินผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำจืด (Fresh water aquatic ecotoxicity) ตลอดวัฏจักรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การติดตั้ง	ประเทศ	ความเข้มแสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	ปริมาณผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำจืด	สัดส่วนในแต่ละขั้นตอน (%)			แหล่งอ้างอิง
				ค่าเฉลี่ย	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ	
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	Solar roof	-	-	32.9 CTUe/kg pv module	99.2	x	0.8 (Cut-off)	IEA-PVPS, 2018 [14]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	Solar roof	-	-	19.7 CTUe/kg pv module	99.2	x	0.8 (Cut-off)	IEA-PVPS, 2018 [14]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	-	-	-	4.36x10 ³ CTUe/1000 kg waste	x	x	100% Recycling	Latunussa et al., 2016 [15]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	Solar roof	Greece	-	1.11x10 ⁻² kg1,4-DCB eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Thin film copper indium selenium (CIS)	Solar roof	Greece	-	1.30x10 ⁻² kg1,4-DCB eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Multicrystalline silicon	Solar roof	Greece	-	1.16x10 ⁻² kg1,4-DCB eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
Monocrystalline silicon	Solar roof	Greece	-	1.17x10 ⁻² kg1,4-DCB eq./kWh	-	-	Cut-off	Milousi et al., 2019 [18]
High concentration photovoltaic (HCPV)	-	Europe	2400-3040	2.68-3.11 CTUe/kWh	-	-	Cut-off	Payet and Greffe, 2019 [22]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	-	Thailand	-	10.1 kg1,4-DCB eq./kWh	-	-	Cut-off	ปาณิสรา และ นัฐพร, 2561 [29]
Floating photovoltaics (FPV - Poly-Si)	Solar floating	Thailand	1670-1895	0.32 kg1,4-DCB eq./kWh	<1	<1	>99	Clemons et al., 2021 [32]

หมายเหตุ 1 kg 1,4 DCB = 9.83x10² CTUe

6.2 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน (Energy payback time: EPBT)

ระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน (Energy payback time: EPBT) คือ ระยะเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณเท่ากับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต/การดำเนินการ/การจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ [26]

$$EPBT \text{ (yrs)} = \frac{(E_{\text{mat}} + E_{\text{manuf}} + E_{\text{trans}} + E_{\text{inst}} + E_{\text{EOL}})}{\left(\frac{E_{\text{agen}}}{N_G}\right) - E_{\text{O\&M}}}$$

- E_{mat} คือ พลังงานปฐมภูมิ (Primary energy) ที่ใช้ในการผลิตวัตถุดิบในการระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (เมกะจูล, MJ)
- E_{manuf} คือ พลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (MJ)
- E_{trans} คือ พลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบซึ่งใช้ในระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต (MJ)
- E_{inst} คือ พลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (MJ)
- E_{EOL} คือ พลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (MJ)
- E_{agen} คือ ปริมาณการผลิตไฟฟ้ารายปี (MJ)
- $E_{\text{O\&M}}$ คือ ปริมาณการใช้พลังงานปฐมภูมิรายปี ในการดำเนินงานและบำรุงรักษา (MJ)
- N_G คือ ประสิทธิภาพของโครงข่าย (%) ในการแปลงพลังงานปฐมภูมิเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไป จะเกิดการสูญเสียพลังงานประมาณ 10%

จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยของทั้งในและต่างประเทศ สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 6-6 ซึ่งหากพิจารณาตามปีที่ทำการศึกษาระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน จะเห็นได้ว่าระยะเวลาคืนทุนของพลังงานมีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 6-4 เนื่องจากปัจจุบันการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถผลิตไฟฟ้าได้ปริมาณสูงขึ้นต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง [19]

ความเข้มของแสงอาทิตย์ (Solar irradiation) ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน บริเวณพื้นที่ที่มีความเข้มของแสงอาทิตย์สูง เช่น พื้นที่แถบทะเลทราย ทวีปแอฟริกาใต้ ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกาแถบตะวันตกเฉียงใต้ เป็นต้น ก็มีแนวโน้มที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลิตไฟฟ้าได้สูงขึ้น ทำให้ระยะเวลาคืนทุนของพลังงานลดลง ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Alsema (2012) ศึกษาเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเดียวกันในพื้นที่ที่มีความเข้มแสงแตกต่างกัน (กิโวลต์ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี, kWh/m²/yr) [19] พบว่าการเพิ่มความเข้มแสง 35% ช่วยลดระยะเวลาคืนทุนของพลังงานได้ถึง 33-35%

ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์แต่ละพื้นที่ทั่วโลกสามารถค้นหาได้ที่เว็บไซต์ Global Solar Atlas (<https://globalsolaratlas.info/download>)

ตารางที่ 6-6 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน (Energy payback time: EPBT) ของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ความเข้มแสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	การติดตั้ง	ปี	ประเทศ	EPBT (yr)	แหล่งอ้างอิง
Solar domestic hot water systems	-	-	2006	Southern Australia	2-2.5	Harvey, 2006 [35]
Integrated thermosyphon flat-plate solar collector and storage device	-	-	2006	Southern Australia	1.3-4	Harvey, 2006 [35]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	1700	-	2009	Palermo (Italy)	2-2.5	Perpinan et al. (2009) [36]
Grid-connected PV systems	1400-1900	-	2010	-	2-5	Fthenakis and Kim (2010) [37]
Multicrystalline silicon	2017	Ground-mounted	2009	Gobi Desert/China	2.2	Komoto et al., 2009 [11]
Monocrystalline silicon	2017	Ground-mounted	2009	Gobi Desert/China	2.8	Komoto et al., 2009 [11]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	2017	Ground-mounted	2009	Gobi Desert/China	2.4	Komoto et al., 2009 [11]
Thin film Si	2017	Ground-mounted	2009	Gobi Desert/China	2.6	Komoto et al., 2009 [11]
Thin film copper indium selenium (CIS)	2017	Ground-mounted	2009	Gobi Desert/China	2.1	Komoto et al., 2009 [11]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	2017	Ground-mounted	2009	Gobi Desert/China	2.5	Komoto et al., 2009 [11]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	1700	Ground-mounted	2012	San Francisco Bay Area	1.6	Gladden et al., 2012 [13]
GaAs	1700	Ground-mounted	2012	San Francisco Bay Area	2.5	Gladden et al., 2012 [13]
Multicrystalline silicon	1700	Ground-mounted	2012	San Francisco Bay Area	2.1	Gladden et al., 2012 [13]
Thin-film copper indium gallium diselenide (CIGS)	1700	Ground-mounted	2012	San Francisco Bay Area	1.5	Gladden et al., 2012 [13]
Multicrystalline silicon	-	Rooftop	2000	-	2.5	Alsema, 2000 [38]

ตารางที่ 6-6 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน (Energy payback time: EPBT) ของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ความเข้มแสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	การติดตั้ง	ปี	ประเทศ	EPBT (yr)	แหล่งอ้างอิง
Monocrystalline silicon	-	Rooftop	2000	-	3.1	Alsema, 2000 [38]
Multicrystalline silicon	2200	Rooftop	2012	Southwestern USA and Sahara	2.5	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	2200	Rooftop	2012	Southwestern USA and Sahara	1.8	Alsema, 2012 [19]
Multicrystalline silicon	2200	Ground-mounted	2012	Southwestern USA and Sahara	3.1	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	2200	Ground-mounted	2012	Southwestern USA and Sahara	3.1	Alsema, 2012 [19]
Multicrystalline silicon	1700	Rooftop	2012	USA and southern Europe	3.2	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	1700	Rooftop	2012	USA and southern Europe	2.4	Alsema, 2012 [19]
Multicrystalline silicon	1700	Ground-mounted	2012	USA and southern Europe	4	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	1700	Ground-mounted	2012	USA and southern Europe	4	Alsema, 2012 [19]
Multicrystalline silicon	1100	Rooftop	2012	Central Europe (Germany)	4.8	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	1100	Rooftop	2012	Central Europe (Germany)	3.7	Alsema, 2012 [19]
Multicrystalline silicon	1100	Ground-mounted	2012	Central Europe (Germany)	6.2	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	1100	Ground-mounted	2012	Central Europe (Germany)	6.2	Alsema, 2012 [19]

ตารางที่ 6-6 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน (Energy payback time: EPBT) ของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

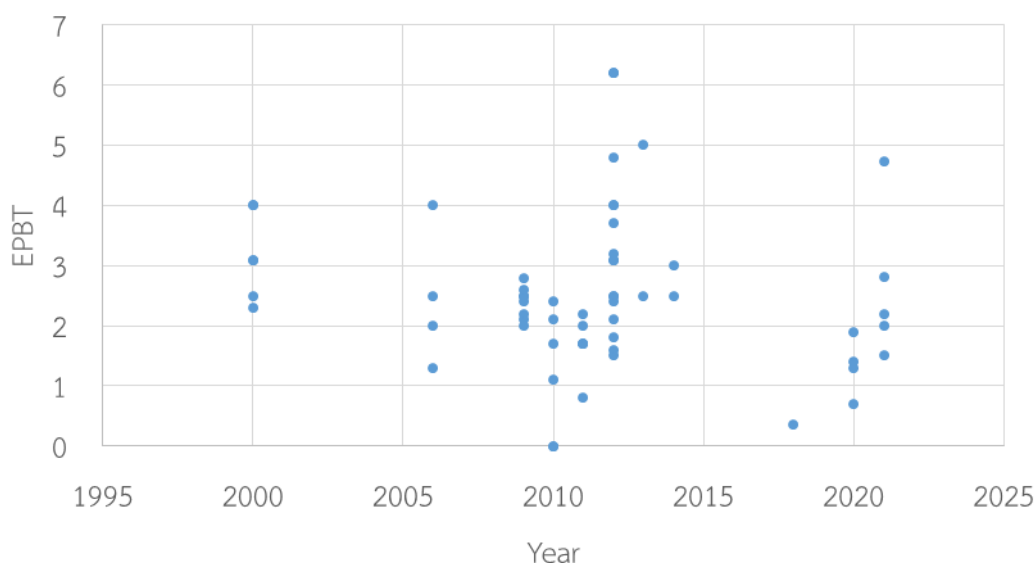
ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ความเข้มแสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	การติดตั้ง	ปี	ประเทศ	EPBT (yr)	แหล่งอ้างอิง
Multicrystalline silicon	1700	Rooftop	2000	USA and southern Europe	3.1	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	1700	Rooftop	2000	USA and southern Europe	2.3	Alsema, 2012 [19]
Multicrystalline silicon	1700	Rooftop	2010	USA and southern Europe	1.7	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	1700	Rooftop	2010	USA and southern Europe	1.1	Alsema, 2012 [19]
Multicrystalline silicon	1700	Rooftop	2020	USA and southern Europe	1.3	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	1700	Rooftop	2020	USA and southern Europe	0.7	Alsema, 2012 [19]
Multicrystalline silicon	1700	Ground-mounted	2000	USA and southern Europe	4	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	1700	Ground-mounted	2000	USA and southern Europe	4	Alsema, 2012 [19]
Multicrystalline silicon	1700	Ground-mounted	2010	USA and southern Europe	2.4	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	1700	Ground-mounted	2010	USA and southern Europe	2.1	Alsema, 2012 [19]
Multicrystalline silicon	1700	Ground-mounted	2020	USA and southern Europe	1.9	Alsema, 2012 [19]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	1700	Ground-mounted	2020	USA and southern Europe	1.4	Alsema, 2012 [19]
Crystalline silicon photovoltaics (Mono and multi)	1700	Rooftop	2014	Denmark	2.5-3	Palanov, 2014 [16]
Monocrystalline silicon	1700	Rooftop	2011	European	1.7-2.2	IEA-PVPS, 2011 [17]
Multicrystalline silicon	1700	Rooftop	2011	European	1.7-2	IEA-PVPS, 2011 [17]

ตารางที่ 6-6 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน (Energy payback time: EPBT) ของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ความเข้มแสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	การติดตั้ง	ปี	ประเทศ	EPBT (yr)	แหล่งอ้างอิง
Ribbon Silicon	1700	Rooftop	2011	European	1.7	IEA-PVPS, 2011 [17]
Thin-film cadmium telluride (CdTe)	1700	Rooftop	2011	European	0.8	IEA-PVPS, 2011 [17]
Monocrystalline silicon	1700	Ground-mounted	2021	India	2.2	Prabhu et al., 2021 [20]
Multicrystalline silicon	1700	Ground-mounted	2021	India	2	Prabhu et al., 2021 [20]
Monocrystalline silicon	1700	Rooftop	2021	India	1.7	Prabhu et al., 2021 [20]
Multicrystalline silicon	1700	Rooftop	2021	India	1.5	Prabhu et al., 2021 [20]
Low concentration photovoltaic (LCPV)	722-1280	Wall	2021	China	2.82-4.74	Li et al., 2018 [21]
Perovskite tandem	-	-	2018	-	0.35	Tian et al., 2020 [25]
Multicrystalline silicon	-	Rooftop	2019	Bangkok, Thailand	1.65-2.47	Eskew et al., 2018 [26]
Multicrystalline silicon	1772	Ground-mounted	2019	Chiang Mai, Thailand	15	APEC Energy Working Group, 2019 [28]
Multicrystalline silicon	1772	Rooftop	2019	Chiang Mai, Thailand	7.84	APEC Energy Working Group, 2019 [28]
Thin-film amorphous silicon (a-Si)	-	-	2013	Naresuan University, Pitsanulok, Thailand	0.29	เสาวภา และ ประพัฑรย์, 2013 [30]
Monocrystalline silicon	1752	Rooftop	2013	Thailand	2.5-5	Kittner et al., 2013 [31]
Thin film photovoltaics	1752	Rooftop	2013	Thailand	2-3.5	Kittner et al., 2013 [31]

ตารางที่ 6-6 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน (Energy payback time: EPBT) ของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ความเข้มแสงอาทิตย์ (kWh/m ² /yr)	การติดตั้ง	ปี	ประเทศ	EPBT (yr)	แหล่งอ้างอิง
Floating photovoltaics (FPV – Poly-Si)	-	-	2021	Thailand	7.5	Clemons et al., 2021 [32]
Multicrystalline silicon	-	-	2021	Thailand	7.8	Clemons et al., 2021 [32]
Thin film photovoltaics	-	-	2021	Thailand	16.3	Clemons et al., 2021 [32]

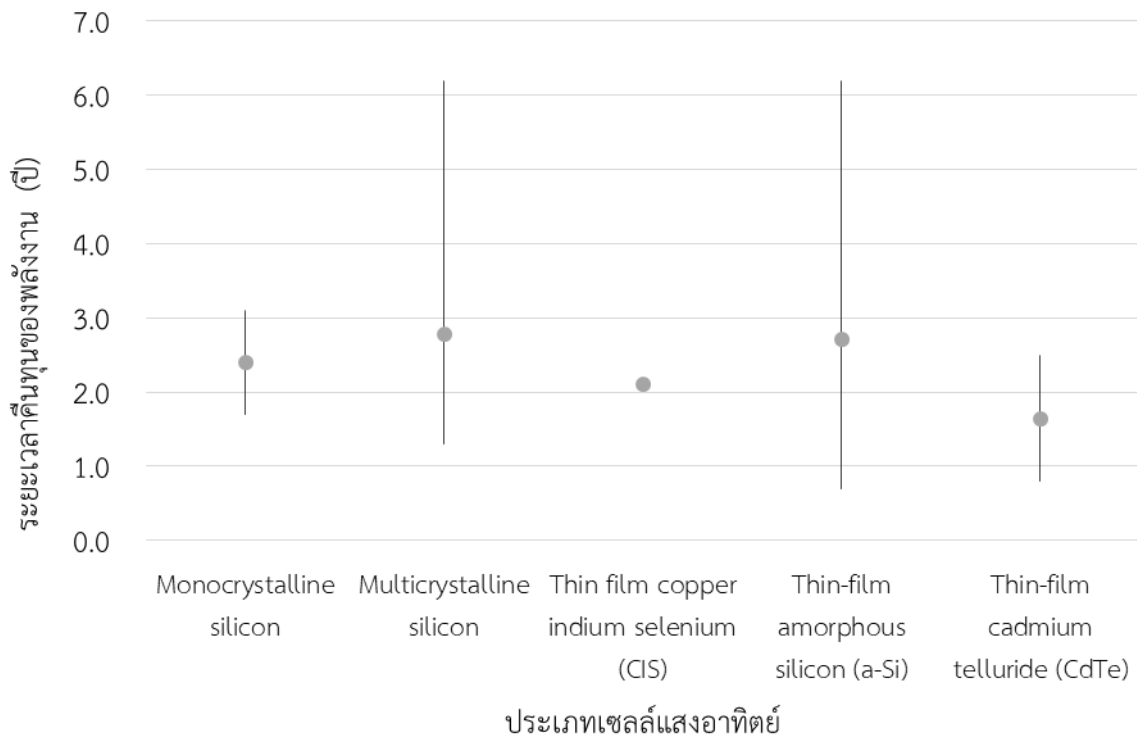


รูปที่ 6-4 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน (Energy payback time: EPBT) ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตามปี

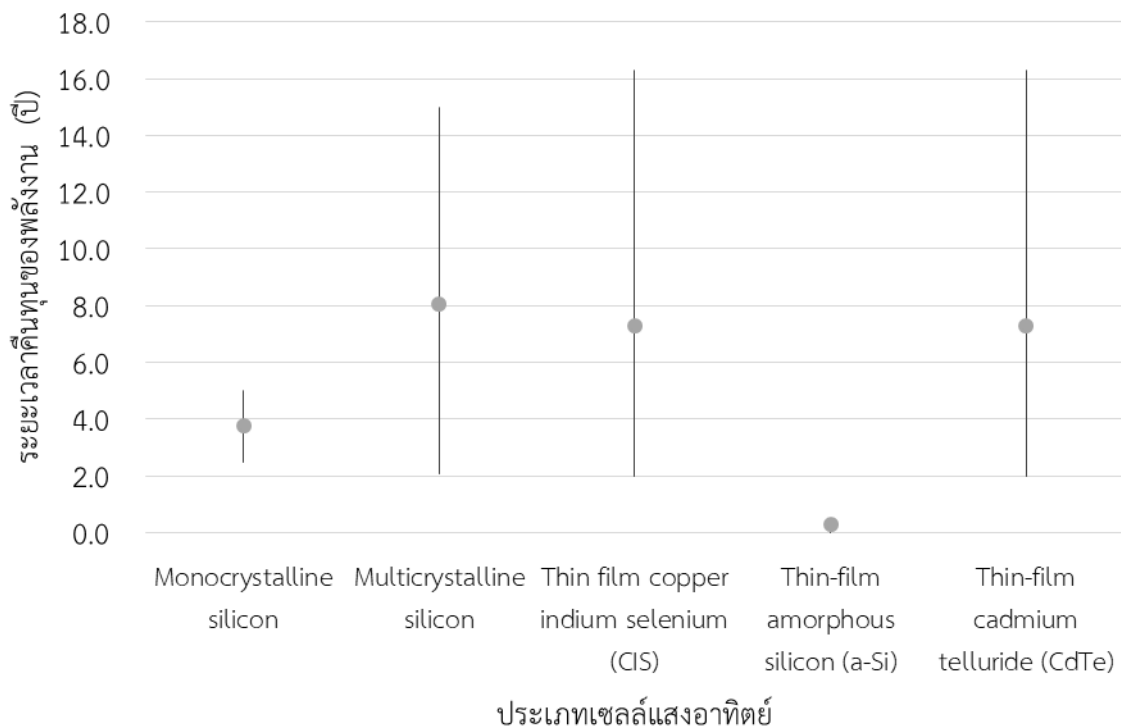
ภาพรวมระยะเวลาคืนทุนของพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนอยู่ในช่วง 1.3-15 ปี โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 3.4 ปี ซึ่งไม่ว่าจะเป็นชนิดผลึกโมโนซิลิคอนหรือมัลติซิลิคอนก็มีระยะเวลาคืนทุนใกล้เคียงกัน สำหรับข้อมูลของต่างประเทศ พบว่าระยะเวลาคืนทุนของพลังงานของผลึกซิลิคอนเฉลี่ย 2.7 ปี ขณะที่ประเทศไทยมีระยะเวลาคืนทุนของพลังงานสูงกว่า อาจเป็นเพราะการประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดเล็กกว่าในต่างประเทศ ทำให้อัตราการลงทุนต่อผลิตผลไฟฟ้าที่ได้ต่ำกว่า จึงใช้เวลาในการคืนทุนนานกว่า ทั้งนี้ระยะเวลาคืนทุนของพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนแต่ละชนิดของทั้งในและต่างประเทศแสดงดังรูปที่ 6-5 และ 6-6

ระยะเวลาคืนทุนของพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-เทลลูไรด์ โดยเฉลี่ยของต่างประเทศอยู่ที่ 2.1 ปี ฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน 2.7 ปี ฟิล์มบางแคดเมียม-เทลลูไรด์ 1.6 ปี และฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-เทลลูไรด์-ไดเซเลไนด์ (CIGS) 1.5 ปี จะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางมีแนวโน้มคืนทุนพลังงานในระยะเวลาดำเนินการต่ำกว่าชนิดผลึกซิลิคอน สำหรับในประเทศไทย ฟิล์มบางทองแดง-อินเดียม-เทลลูไรด์มีระยะเวลาคืนทุนของพลังงาน 7.3 ปี ฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน 0.3 ปี และฟิล์มบางแคดเมียม-เทลลูไรด์ 7.3 ปี

รูปที่ 6-5 และ 6-6 แสดงถึงระยะเวลาคืนทุนของพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศและในประเทศไทยตามลำดับ โดยเส้นทึบบอกถึงช่วงระยะเวลาคืนทุน และจุดคือค่าเฉลี่ยที่ได้จากการรวบรวมข้อมูล ทั้งนี้ระยะเวลาคืนทุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ แสดงในตารางที่ 6-6 เช่น Perovskite tandem มีระยะเวลาคืนทุน 0.35 ปี [25] Ribbon Silicon 1.7 ปี [17] Low concentration photovoltaic (LCPV) 2.82–4.74 ปี [21]



รูปที่ 6-5 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ
(• คือ ค่าเฉลี่ย และ — คือ ช่วง)

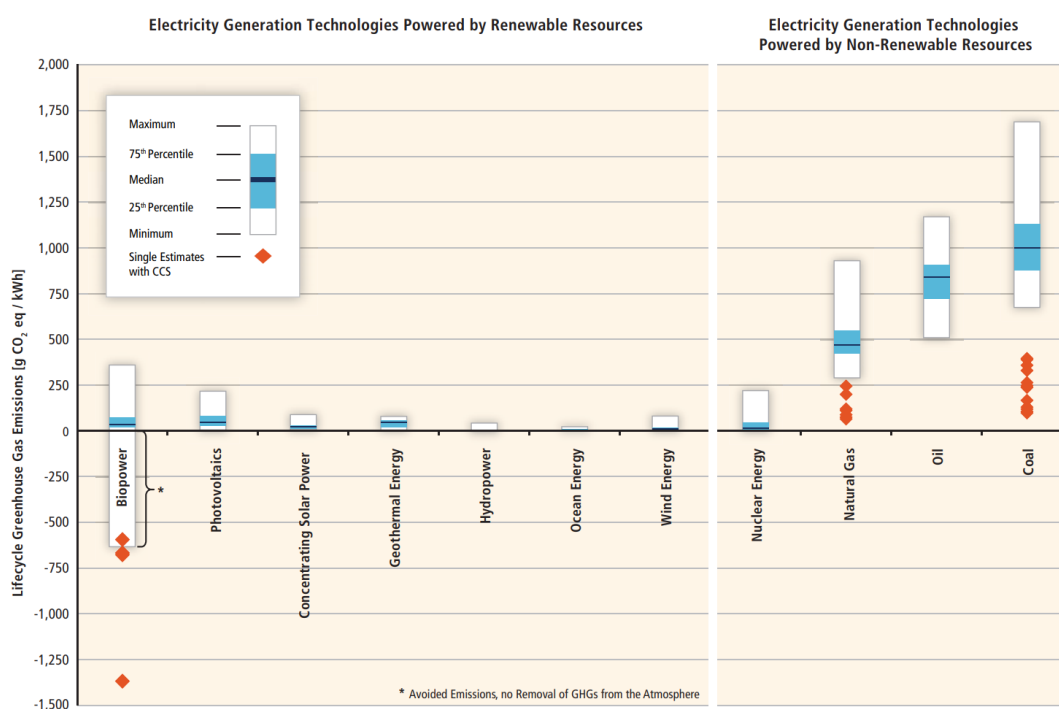


รูปที่ 6-6 ระยะเวลาคืนทุนของพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย
(• คือ ค่าเฉลี่ย และ — คือ ช่วง)

6.3 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับ เซลล์แสงอาทิตย์

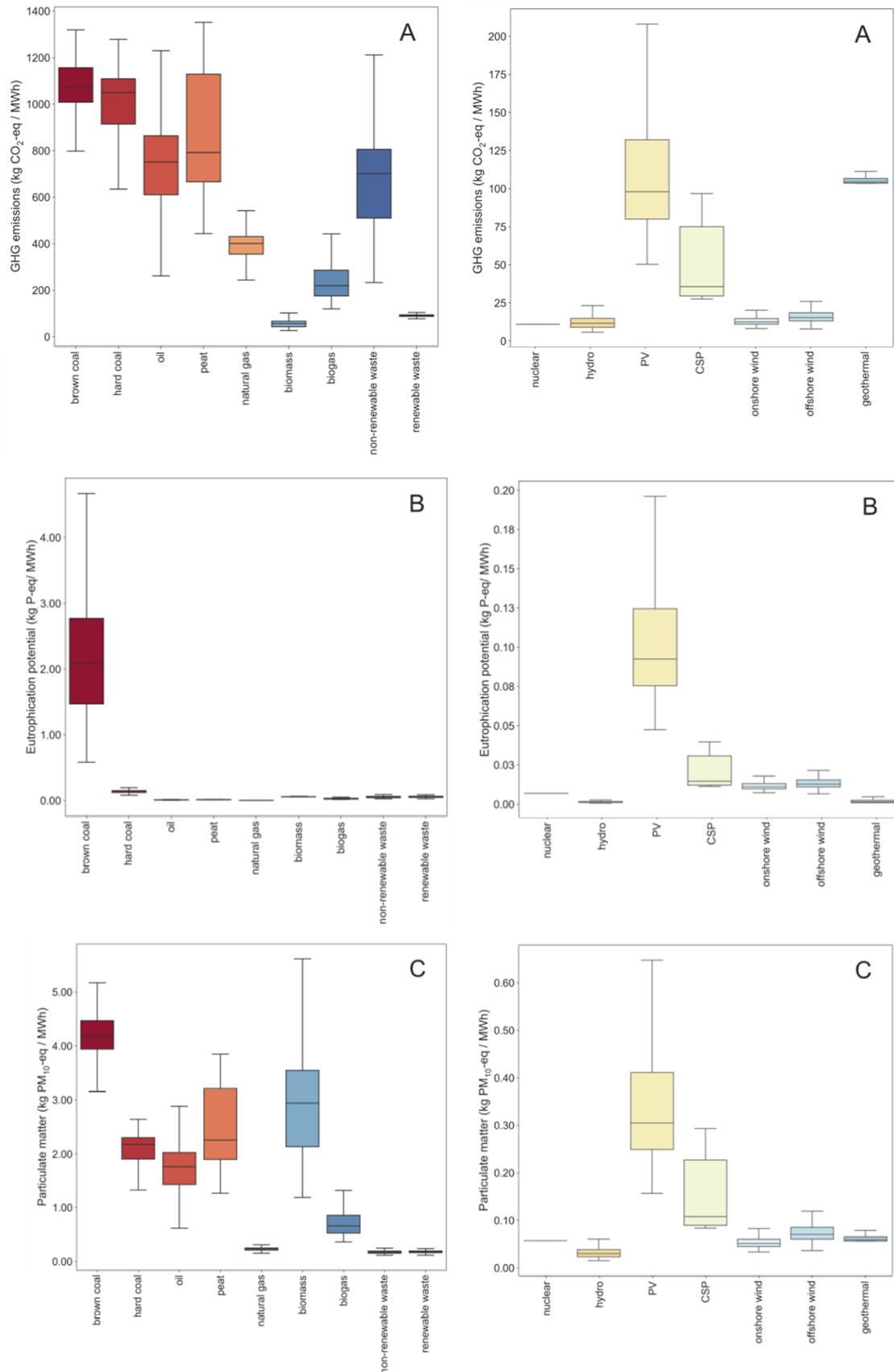
6.3.1 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในต่างประเทศ

คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental panel on climate change: IPCC) ได้เปรียบเทียบผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตระหว่างแหล่งพลังงานต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า [39] ดังรูปที่ 6-7 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (250 gCO₂ eq./kWh) มีปริมาณต่ำกว่าแหล่งพลังงานฟอสซิล (ก๊าซธรรมชาติ 250-1000 gCO₂ eq./kWh น้ำมัน 500-1000 gCO₂ eq./kWh และถ่านหิน 700-1800 gCO₂ eq./kWh) ส่วนพลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานคลื่น พลังงานความร้อนใต้พิภพ เป็นต้น ก็มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานฟอสซิล



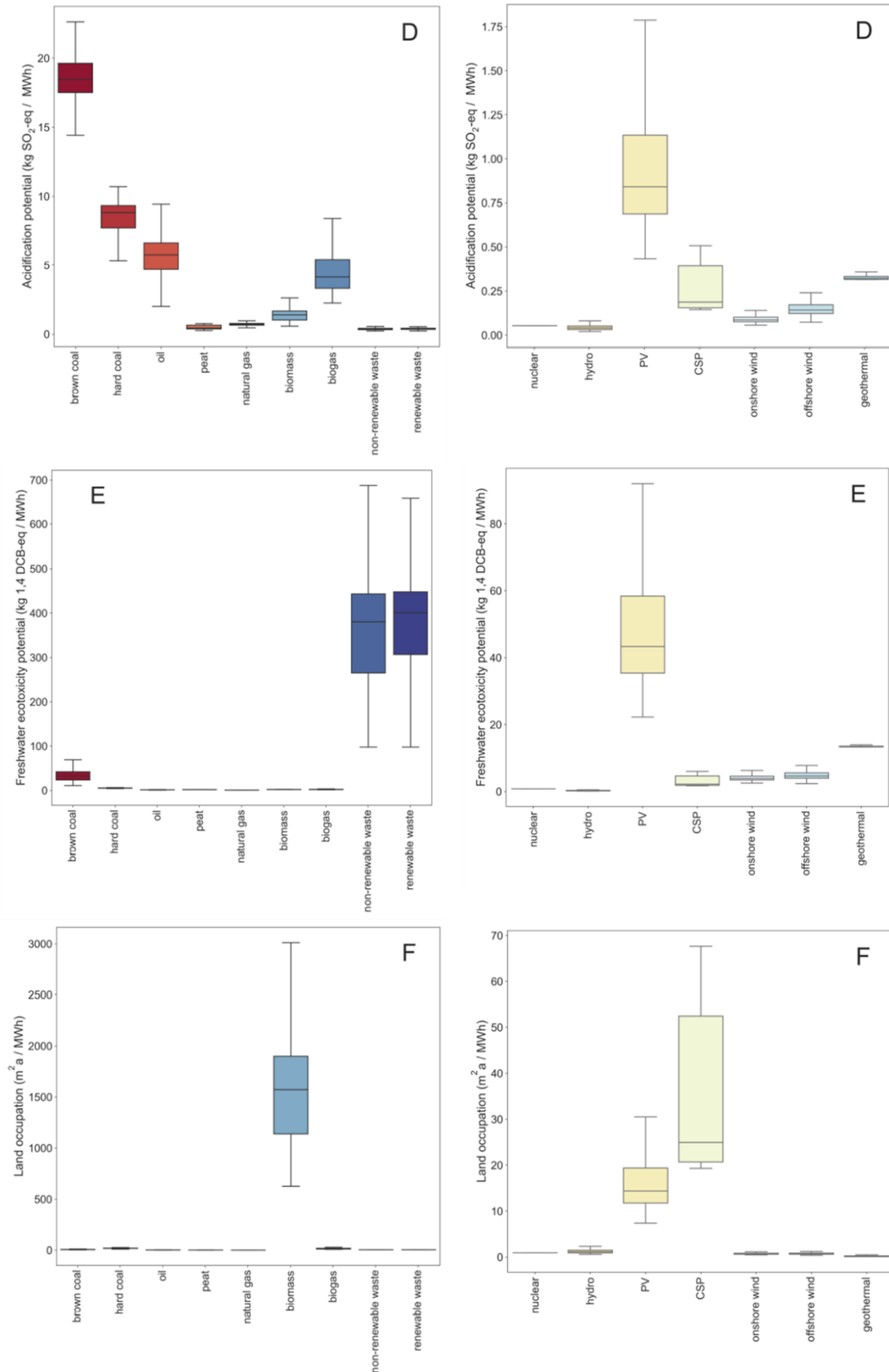
รูปที่ 6-7 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของแหล่งพลังงานต่างๆ ในการผลิตไฟฟ้าของต่างประเทศ [39]

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านอื่นๆ เปรียบเทียบกันในแต่ละแหล่งพลังงานแสดงดังรูปที่ 6-8 ในด้านมลภาวะจากธาตุอาหาร/ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) แหล่งพลังงานฟอสซิล (ยกเว้นถ่านหินลิกไนต์ หรือ Brown coal) และพลังงานทดแทนส่งผลกระทบต่อการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันตําน้อยกว่า 0.5 kg P-eq./MWh สำหรับด้านการเกิดฝุ่น/การก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด/การใช้ที่ดิน พลังงานแสงอาทิตย์ก็ส่งผลกระทบต่ำกว่าพลังงานฟอสซิล แต่ด้านระบบนิเวศน์ในน้ำจืด พลังงานแสงอาทิตย์ (20-100 kg1,4 DCB eq./MWh) กลับส่งผลกระทบสูงกว่าพลังงานฟอสซิล (<50 kg1,4 DCB eq./MWh)



รูปที่ 6-8 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของแหล่งพลังงานต่างๆ

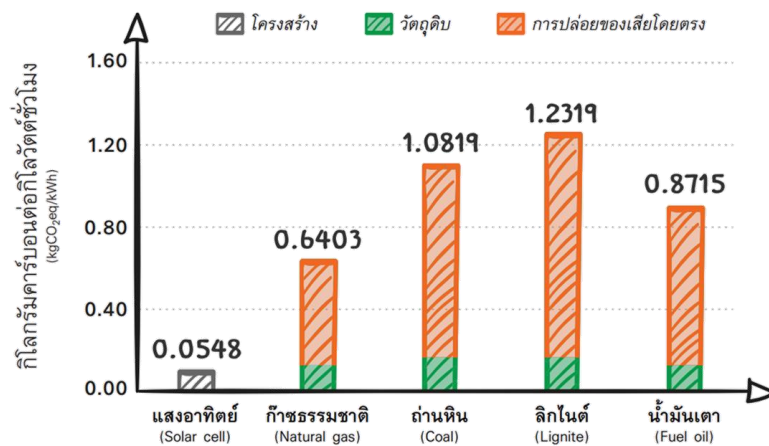
ในการผลิตไฟฟ้าของต่างประเทศ [40]



รูปที่ 6-8 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของแหล่งพลังงานต่างๆ
ในการผลิตไฟฟ้าของต่างประเทศ [40] (ต่อ)

6.3.2 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนได้สรุปผลการเปรียบเทียบด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังรูปที่ 6-9 โดยอ้างอิงจากฐานข้อมูล Ecoinvent 2.20 พบว่าพลังงานแสงอาทิตย์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.05 kgCO₂ eq./kWh ขณะที่พลังงานฟอสซิลมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็น 0.64-1.23 kgCO₂ eq./kWh ซึ่งหากเทียบระหว่าง 2 กลุ่มนี้ จะเห็นได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้กว่า 92-96% เทียบกับพลังงานฟอสซิล [34]



รูปที่ 6-9 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของแหล่งพลังงานต่างๆ
ในการผลิตไฟฟ้าของต่างประเทศ

เอกสารอ้างอิง

- [1] NREL (National Renewable Energy Laboratory). 2012. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics. Online available from <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>
- [2] Eskew, J., Ratledge, M., Wallace, M., Gheewala, S.H., and Rakkwamsuk, P. 2018. An environmental Life Cycle Assessment of rooftop solar in Bangkok, Thailand. *Renewable Energy*, 123, 781-792.
- [3] Raouz, K. 2017. Environmental Impact Assessment of a Photovoltaic Power Station in Stockholm. KTH Industrial Engineering and Management. Sweden.
- [4] Official Journal of the European Union. 2012. Legislation L197. Available: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:FULL:EN:PDF>.
- [5] WEEE Forum. 2021. Issues associated to photovoltaic panels and compliance with EPR legislation. Available: <https://weee-forum.org/wp-content/uploads/2021/06/WEEE-Forum-PV-Panels-Issue-Paper-2021-Final.pdf>.
- [6] United Nations University. 2008. Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). Available: https://www.researchgate.net/publication/236838723_Review_of_Directive_200296_on_Waste_Electrical_and_Electronic_Equipment_WEEE.
- [7] NREL. 2012. Life cycle greenhouse gas emissions from solar photovoltaics. Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>
- [8] Kim, H.C., Fthenakis, V., Choi, J.K., and Turney, D.E. 2012. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Thin-film Photovoltaic Electricity Generation. *Research and analysis*, 16, 110-121.
- [9] Hsu, D.D., Donoughue, P.O., Fthenakis, V., Heath, G.A., Kim, H.C., Sawyer, P., Choi, J.K., and Turney, D.E. 2012. *Journal of Industrial Ecology*, 16, 122-135.
- [10] IPCC. 2012. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Available: <https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/>
- [11] Komoto, K. Ito, M. Van Der Vleuten, P. Faiman, D. Kurokawa, K. (September 2009). *Energy from the Desert -Very Large Scale Photovoltaic Systems: Socio-economic,*

- Financial, Technical and Environmental Aspects, Earthscan, ISBN-13: 978-1844077946
- [12] Collins, K., Powell, B., and Anctil, A. 2015. Life cycle assessment of silicon solar panels manufacturing in the United States. IEEE.
- [13] Gladden, C., Kim, E., Lin, Z., Ulmefors, M., Dornfeld, D., and Hutchins, M. 2012. Life cycle assessment of photovoltaic modules. University of California, Berkeley, Department of Mechanical Engineering.
- [14] IEA-PVPS. 2018. Life Cycle Assessment of Current Photovoltaic Module Recycling. International Energy Agency Power Systems Programme, Report IEA-PVPS T12-13:2018.
- [15] Latunussa, C.E.L., Ardente, F., Blengini, G.A., and Mancini, L. 2016. Life cycle assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels. Solar energy materials & Solar cells, 156, 101-111.
- [16] Palanov, N. 2014. Life-cycle assessment of Photovoltaic systems. Lund University.
- [17] IEA-PVPS. 2011. Life cycle inventories and life cycle assessments of photovoltaic systems. International Energy Agency(IEA) PVPS Task 12, Report T12-02:2011.
- [18] Milousi, M., Souliotis, M., Armpatzis, G., and Papaefthimiou, S. 2019. Evaluating the Environmental Performance of Solar Energy Systems Through a Combined Life Cycle Assessment and Cost Analysis. Sustainability, 11, 1-23.
- [19] Alsema, E. 2012. CHAPTER IV-2: Energy Payback Time and CO₂ Emissions of PV Systems. Practical Handbook of Photovoltaics, 1097-1117.
- [20] Prabhu, V.S., Shrivastava, S., and Mukhopadhyay, K. 2021. Life Cycle Assessment of Solar Photovoltaic in India: A Circular Economy Approach. Circular Economy and Sustainability.
- [21] Li, G., Xuan, Q., Pei, G., Su, Y., Lu, Y., and Ji, J. 2018. Life-cycle assessment of a low-concentration PV module for building south wall integration in China. Applied Energy, 215, 174-185.
- [22] Payet, J., and Greffe, T. 2019. Life Cycle Assessment of New High Concentration Photovoltaic (HCPV) Modules and Multi-Junction Cells. Energies, 12, 2916, 1-24.

-
- [23] European Commission (EC). 2021. Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR): Photovoltaic modules used in photovoltaic power systems for electricity generation. Available: https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_PV_electricity_feb2020_2.pdf.
- [24] Silva, M., and Raadal, H.L. 2019. Life cycle GHG emissions of renewable and nonrenewable electricity generation technologies. Part of the RE-Invest project. Available: https://reinvestproject.eu/wp-content/uploads/2019/11/OR_RE-INVEST_Life-cycle-GHG-emissions-of-renewable-and-non-renewable-electricity.pdf.
- [25] Tian, X., Stranks, S.D., and You, F. 2020. Life cycle energy use and environmental implications of high-performance perovskite tandem solar cells. *Science Advances*, 6, 1-10.
- [26] Eskew, J., Ratledge, M., Wallace, M., Gheewala, S., and Rakkwamsuk, P. 2018. An environmental Life Cycle Assessment of rooftop solar in Bangkok, Thailand. *Renewable Energy*, 123, 781-792.
- [27] Smith, C., Burrows, J., Scheier, E., Young, A., Smith, J., Young, T., and Gheewala, S.H. 2015. Comparative Life Cycle Assessment of a Thai Island's diesel/PV/wind hybrid microgrid. *Renewable Energy*, 80, 85-100.
- [28] APEC Energy Working Group. 2019. Life Cycle Assessment of Photovoltaic Systems in the APEC Region. Available: <https://www.apec.org/Publications/2019/04/Life-Cycle-Assessment-of-Photovoltaic-Systems-in-the-APEC-Region>
- [29] ปาณิสรา อ่อนดอกไม้ และ รัฐพร ไชยญาติ. 2562. การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- [30] เสาวภา ทินปาน และ ประพิธาร์ ธารักษ์. 2013. การประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน สำหรับการผลิตไฟฟ้า. *Naresuan University Journal*, 21(3), 49-58.
- [31] Kittner, N., Gheewala, S.H., and Kamens, R.M. 2013. An environmental life cycle comparison of single-crystalline and amorphous-silicon thin-film photovoltaic systems in Thailand. *Energy for Sustainable Development*, 17, 605-614.

- [32] Clemons, S.K.C., Salloum, C.R., Herdegen, K.G., Kamens, R.M., and Gheewala, S.H. 2021. Life cycle assessment of a floating photovoltaic system and feasibility for application in Thailand. *Renewable energy*, 168, 448-462.
- [33] พุทธิ อุดลสุข, ฉัตรแก้ว ชัยลือชา, และ สุรัตน์ เศษโพธิ์. 2563. การศึกษาและประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกล าบง. ฉบับที่ 2, 12-23.
- [34] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน. 2560. คู่มือแนวทางป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและวิธีกำจัดกากขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย. *กระทรวงพลังงาน*.
- [35] Harvey, L.D.D. 2006. A Handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems: Fundamentals, Techniques and Examples. Earthscan, Sterling, VA, USA, 701 pp.
- [36] Perpinan, O., E. Lorenzo, M.A. Castro, and R. Eyras. 2009. Energy payback time of grid connected PV systems: Comparison between tracking and fixed systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 17(2), pp. 137-147.
- [37] Fthenakis, V.M., and H.C. Kim. 2010. Photovoltaics: Life-cycle analyses. *Solar Energy*, doi:10.1016/j.solener.2009.10.002.
- [38] Alsema, E. A. Energy Pay-back Time and CO2 Emissions of PV Systems. *Prog. Photovolt: Res. Appl.* 2000, 8, 17–25.
- [39] IPCC. 2011. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Available: https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf.
- [40] Bouman, E.A. 2020. A life cycle perspective on the benefits of renewable electricity generation. European Topic Centre on Climate change mitigation and energy. Available: [file:///C:/Users/PHUWA/Downloads/ETC_report_4_2020%20final%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/PHUWA/Downloads/ETC_report_4_2020%20final%20(3).pdf)

การวิเคราะห์ช่องว่าง (Gap Analysis)

7.1 การวิเคราะห์ช่องว่างด้านเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์ช่องว่างทางด้านเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ มีเป้าหมายสำคัญเพื่อสนับสนุนด้านการวิจัยและพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยมีการกล่าวถึงสถานการณ์ปัจจุบันเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์และหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ช่องว่างที่เกิดขึ้น ซึ่งจะถูกแบ่งออกทั้งหมดเป็น 4 ด้าน ได้แก่ ด้านการจัดการข้อมูล ด้านเทคโนโลยี ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย โดยแต่ละด้านมีรายละเอียดที่แตกต่างกัน ดังนี้

7.1.1 ด้านการจัดการข้อมูล

● สถานการณ์ปัจจุบัน

1) ข้อมูลด้านการวิจัยสำหรับเทคโนโลยีการผลิต

จากการรวบรวมข้อมูลด้านการวิจัยส่วนใหญ่มาจากฐานข้อมูลของต่างประเทศ ซึ่งประเทศไทยยังไม่มีฐานข้อมูลที่รวบรวมเกี่ยวกับการวิจัยด้านเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ทำให้หาข้อมูลเช่น งานวิจัย จำนวนงานวิจัย จำนวนนักวิจัย และการขอทุนวิจัยด้านเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น ของประเทศไทยได้ยากและไม่ครอบคลุมทั้งหมด แล้วจากการหาข้อมูลงานวิจัยจากฐานข้อมูลของต่างประเทศเช่น Scopus หรือ แหล่งอื่นๆ ก็ไม่สามารถบอกได้ว่ามีข้อมูลงานวิจัยของไทยครอบคลุมทั้งหมดได้ ซึ่งควรมีหน่วยงานที่เข้ามาช่วยจัดการข้อมูลด้านการวิจัยเช่น สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน เป็นต้น

2) ข้อมูลด้านการผลิตในประเทศ

จากการรวบรวมข้อมูลด้านการผลิตในประเทศข้อมูลในส่วนนี้ค่อนข้างหายากเนื่องจากไม่มีการอัปเดตข้อมูลการผลิตในประเทศ ซึ่งข้อมูลที่มีการรวบรวมและอัปเดตล่าสุดเป็นข้อมูลของปี พ.ศ. 2561 จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกับศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จึงจำเป็นต้องทำการหาข้อมูลจากการเข้าเว็บไซต์ของบริษัทต่างๆ เพื่อหาข้อมูลล่าสุดในด้านการผลิตแต่บ้างบริษัทก็ไม่มีการเปิดเผยข้อมูลการผลิตและเว็บไซต์มีปัญหาไม่สามารถเข้าไปหาข้อมูลได้ทำให้ไม่สามารถหาข้อมูลที่เป็นปัจจุบันและครอบคลุมทุกบริษัทในประเทศได้

- ช่องว่างที่พบ

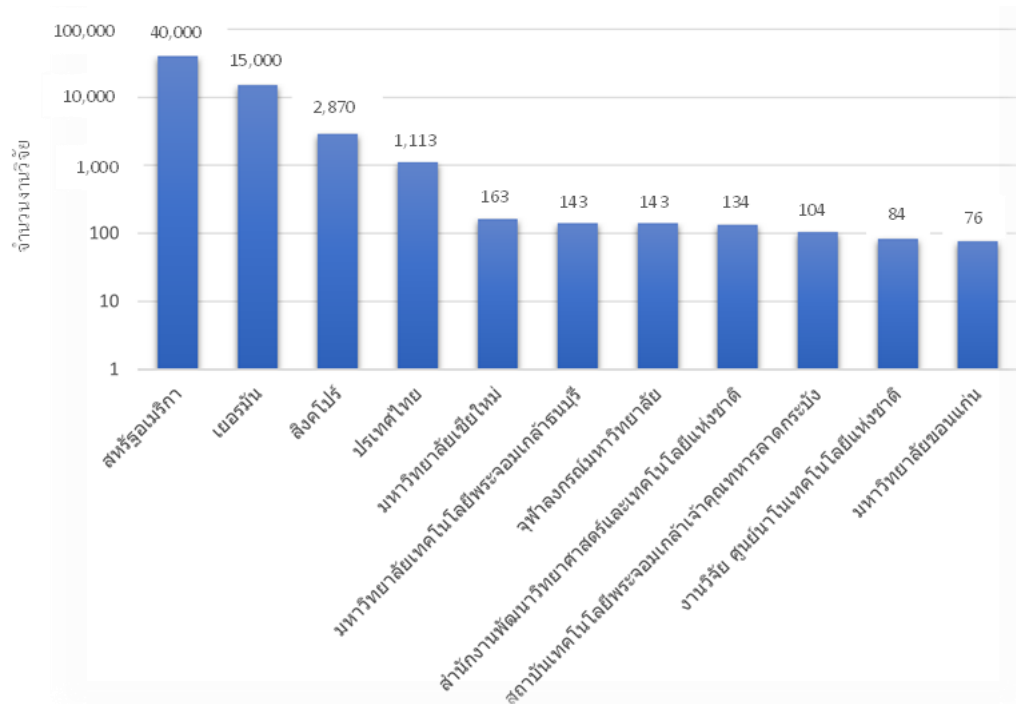
ช่องว่างที่พบในด้านการจัดการข้อมูลคือขาดฐานข้อมูลที่รวบรวมข้อมูลทั้งหมดด้านเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย เช่น ด้านงานวิจัย จำนวนผลงานวิจัย จำนวนนักวิจัย การขออนุญาตงานวิจัยด้านเซลล์แสงอาทิตย์ และรวมถึงด้านการผลิตในประเทศ เป็นต้น ซึ่งทำให้หาข้อมูลด้านเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยได้ยาก ไม่มีโอกาสให้เป็นปัจจุบัน และไม่ครบถ้วน ดังนั้นเพื่อให้เกิดการพัฒนาการจัดการข้อมูลเซลล์แสงอาทิตย์ จึงควรต้องมีการเพิ่มการสนับสนุนและส่งเสริมจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน เป็นต้น

7.1.2 ด้านเทคโนโลยี

- สถานการณ์ปัจจุบัน

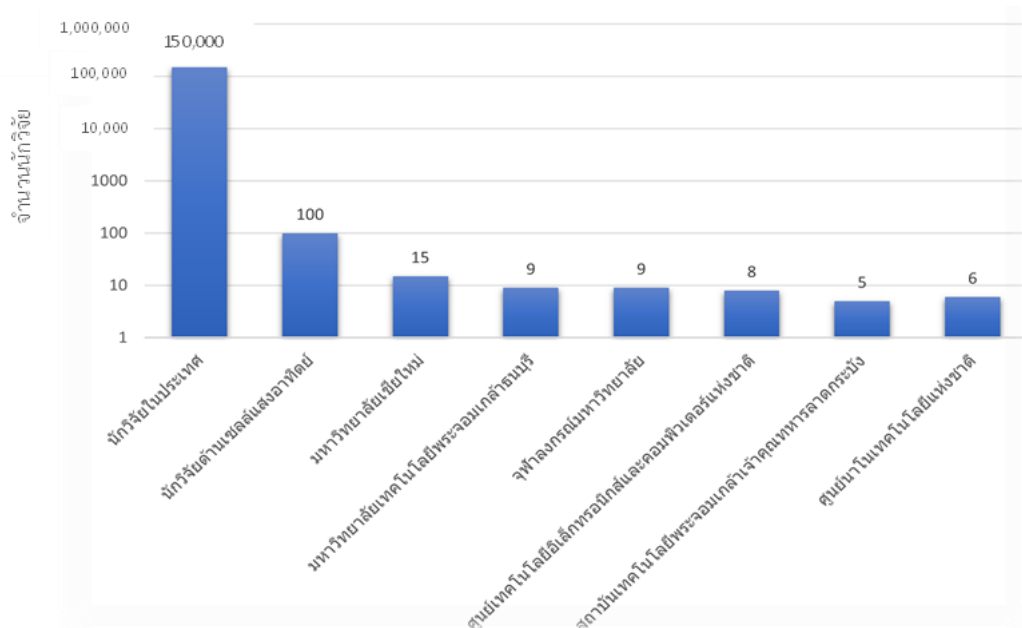
- 1) จำนวนงานวิจัยด้านเทคโนโลยีการผลิตสมัยใหม่

จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยพบว่า มีการวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในระดับนานาชาติด้านเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ประมาณ 1,113 งานวิจัย โดยสามารถจำแนกปริมาณงานวิจัยออกเป็นแต่ละสังกัดได้ ยกตัวอย่างเช่น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่มี 163 งานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าธนบุรีและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมี 143 งานวิจัยเท่ากัน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติมี 134 งานวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมี 104 งานวิจัย ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติมี 83 งานวิจัย และมหาวิทยาลัยขอนแก่นมี 76 งานวิจัย เป็นต้น ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณงานวิจัยทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยยังถือว่ามียังมีปริมาณที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับประเทศที่เป็นผู้นำทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกามีงานวิจัยทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์มากถึง 40,000 งานวิจัย ขณะที่ประเทศเยอรมันมีงานวิจัยทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ 15,000 งานวิจัย เป็นต้น ในทางกลับกันเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับประเทศที่อยู่ในแถบภูมิภาคเดียวกัน เช่น ประเทศสิงคโปร์ซึ่งมีจำนวนประชากรในประเทศน้อยกว่าประเทศไทยเกือบ 13 เท่า แต่กลับมียังมีปริมาณงานวิจัยที่มากกว่าถึง 2,870 งานวิจัย เป็นต้น เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบจึงทำเป็นกราฟเปรียบเทียบข้อมูลงานวิจัยดังรูปที่ 7-1



รูปที่ 7-1 กราฟเปรียบเทียบจำนวนงานวิจัยระหว่างตัวอย่างต่างประเทศกับประเทศไทย

สังกัดที่สนับสนุนงานวิจัยทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์อย่างจริงจังในประเทศไทยมีทั้งหมดประมาณ 24 แห่ง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสถาบันการศึกษา ขณะที่จำนวนนักวิจัยผู้เชี่ยวชาญทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีแค่ประมาณ 100 คนเท่านั้น โดยสามารถแบ่งจำนวนนักวิจัยตามสังกัดต่างๆ ได้ เช่น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีผู้วิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 15 คน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีผู้วิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 9 คน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีผู้วิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 9 คน ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติมีผู้วิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 8 คน ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติมีผู้วิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 6 คน และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีผู้วิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 5 คน เป็นต้น ซึ่งจากจำนวนนักวิจัยทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยดังกล่าวจะเห็นว่ายังคงมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนนักวิจัยทั้งหมดในประเทศที่มีจำนวนมากกว่า 150,000 คน ดังนั้น เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบจึงทำเป็นกราฟเปรียบเทียบข้อมูลงานวิจัยดังรูปที่ 7-2



รูปที่ 7-2 กราฟเปรียบเทียบจำนวนนักวิจัยระหว่างนักวิจัยในประเทศกับนักวิจัยด้านเซลล์แสงอาทิตย์

2) งานวิจัยสำหรับเทคโนโลยีการผลิตสมัยใหม่

จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ของต่างประเทศที่กำลังเป็นที่น่าสนใจอยู่ในปัจจุบันพบว่า มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskites เป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตต่ำและมีประสิทธิภาพของการแปลงที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจาก 3% ในปี พ.ศ. 2549 เป็นมากกว่า 25% ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskite จะมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น แต่ก็ยังมีส่วนที่ต้องดำเนินการปรับปรุงเพิ่มขึ้นอีกหลายด้านเพื่อให้กลายเป็นเทคโนโลยีที่จะสามารถแข่งขันเชิงพาณิชย์ได้ โดยเพื่อให้ผู้อ่านสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้นจึงมีการยกตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskites ของต่างประเทศ ดังนี้

- งานวิจัยเพื่อศึกษาการทำงานร่วมกันของโครงสร้าง Mesoporous และ Rubidium fluoride (RbF) สำหรับชั้น SnO_2 ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskites ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เนื่องจากโครงสร้าง Mesoporous มีพื้นที่ผิวจำเพาะขนาดใหญ่จึงทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรวบรวมอิเล็กตรอนได้ ขณะที่ RbF สามารถเพิ่มการนำไฟฟ้าของชั้นขนส่งอิเล็กตรอน SnO_2 ได้ดี จึงทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskites มีเสถียรมากขึ้นและมีประสิทธิภาพการแปลงโดยรวมสูงถึง 22.72% (Qian C. et al., 2022)
- งานวิจัยเพื่อศึกษาการใช้ EDTA-2 M สำหรับฟิล์ม SnO_2 ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskites ผลการศึกษาพบว่า ชั้นการขนส่งอิเล็กตรอน (ETL) มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskite (PSCs) ที่มีประสิทธิภาพสูงโดย Ethylene diamine

tetraacetic acid (EDTA) ส่วน M คือสาร K Rb และ Cs ใช้เพื่อให้คอลลอยด์ SnO_2 เสถียร นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงคุณสมบัติทางไฟฟ้าและพื้นผิวของชั้นฟิล์ม SnO_2 ด้วยการใช้ EDTA-2 M ซึ่งช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนของฟิล์ม SnO_2 ให้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถจัดข้อบกพร่องของอินเทอร์เฟซของ SnO_2 ได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskites มีประสิทธิภาพการแปลงสูงสุดถึง 23.30% (Junlei T. et al., 2022)

- งานวิจัยเพื่อศึกษาการเพิ่ม KMnO_4 สำหรับชั้น SnO_2 ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskite โดยจัดเตรียมฟิล์ม SnO_2 คุณภาพสูงด้วยการเพิ่ม Potassium permanganate (KMnO_4) ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่ม KMnO_4 สำหรับชั้น SnO_2 ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ perovskite สามารถช่วยลดข้อบกพร่องในการตกและช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนของชั้น SnO_2 ให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ไอออนของ K จะกระจายเข้าไปในฟิล์ม Perovskite ส่งผลให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นและช่วยลดฮิสเทรีซิส ส่วนไอออน Mn จะช่วยเพิ่มทั้งความเป็นผลึกและความเสถียรของฟิล์ม Perovskite ทำให้ได้ประสิทธิภาพการแปลงสูงสุดถึง 21.70% (Guoqing T. et al., 2021)

จากตัวอย่างงานวิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ของต่างประเทศพบว่าส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงเพิ่มเติมชั้นการขนส่งอิเล็กตรอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์ ขณะที่ในประเทศไทยก็มีงานวิจัยทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ที่สอดคล้องกับงานวิจัยของต่างประเทศเช่นเดียวกัน กล่าวคือ มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskite เหมือนกัน แต่การศึกษาส่วนใหญ่พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยยังคงมีประสิทธิภาพของการใช้งานที่ต่ำกว่า ซึ่งได้มีการยกตัวอย่างงานวิจัยในประเทศไทยที่สอดคล้องกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskite ดังนี้

- งานวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มชั้น Ag หรือ Ag-Cu บนผิวชั้นการขนส่งอิเล็กตรอนของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskite ซึ่งชั้น Ag หรือ Ag-Cu ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มการดูดกลืนแสง การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน การแยกประจุ และการนำไฟฟ้าของชั้นการขนส่งอิเล็กตรอนให้ดีขึ้น ซึ่งโครงสร้างแบบนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพที่ประหยัดโดยทำให้ได้ประสิทธิภาพการแปลง 11.68% สำหรับการใช้ Ag และประสิทธิภาพการแปลง 10.58% สำหรับการใช้ Ag-Cu (Siripraparat A. et al., 2021)
- งานวิจัยเพื่อศึกษาฟิล์มบางที่เคลือบด้วย ZnO แบบ Slot-die-coated สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Perovskite จากผลการศึกษาพบว่า การเคลือบด้วย ZnO ทำให้ได้ชั้นการขนส่งอิเล็กตรอนที่มีคุณภาพ ซึ่งส่งผลให้ลดการรวมตัวของประจุอินเทอร์เฟซใหม่และเพิ่มความเสถียร ทำให้ได้ประสิทธิภาพการแปลง 10.81% (Khambunkoed N. et al., 2021)

นอกจากการเพิ่มประสิทธิภาพจะเป็นการบ่งบอกถึงการพัฒนาเทคโนโลยีแล้ว ถ้าสามารถนำมาผลิตเพื่อใช้จริงได้ก็จะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าต่อพื้นที่ให้ได้มากขึ้น ปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะมากขึ้นทำให้สามารถบรรลุเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามแผน PDP 2018 ได้เร็วขึ้นจากการที่มีพื้นที่ในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้นและได้ปริมาณการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากพื้นที่เท่าเดิม

3) เทคโนโลยีการผลิตในประเทศ

จากการรวบรวมพบว่า มีเทคโนโลยีการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย ดังนี้ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์แบบคริสตัลไลน์ซิลิคอนคิดเป็น 91% และเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางคิดเป็น 9% โดยแบ่งเป็น อะมอร์ฟัสซิลิคอน 6.5% CdTe,CIS,CIGS 2.0% และ อื่นๆ อีก 0.5% ซึ่งประเทศไทยมีการส่งออกแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ 3,150 เมกกะวัตต์และมีการผลิตเพื่อใช้ในประเทศอยู่ที่ 531 เมกกะวัตต์เป็นข้อมูลจากศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ (สรบ.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) เมื่อนำปริมาณการผลิตที่ใช้ในประเทศไปเทียบกับเป้าหมายกำลังการผลิตไฟฟ้าของพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกตามแผน PDP 2018 ระหว่างปี พ.ศ. 2561 – 2580 มีเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดอยู่ที่ 14,754 เมกกะวัตต์ คิดเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ 12,029 เมกกะวัตต์ และพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูญเสียรวมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ 2,725 เมกกะวัตต์ จะเห็นได้ว่าปริมาณการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยยังน้อยอยู่มากเมื่อเทียบกับเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามแผน PDP 2018

● ช่องว่างที่พบ

ช่องว่างทางด้านเทคโนโลยีจะแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้ ส่วนแรกช่องว่างด้านข้อมูลการวิจัยเกิดขึ้นทั้งในเรื่องของจำนวนผลงานวิจัยเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยังมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับของต่างประเทศ หรือจำนวนนักวิจัยผู้เชี่ยวชาญทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ที่ก็ถือว่ายังมีปริมาณน้อยเช่นกันเมื่อเทียบกับจำนวนนักวิจัยทั้งหมดภายในประเทศ ส่วนต่อมาช่องว่างด้านงานวิจัยจากสถานการณ์ปัจจุบันจะเห็นว่า ตัวอย่างงานวิจัยของต่างประเทศกับงานวิจัยของประเทศไทยมีความสอดคล้องกันแต่มีความแตกต่างทางด้านประสิทธิภาพของเซลล์ ซึ่งเกิดขึ้นจากการเลือกใช้วัสดุและเทคโนโลยีสำหรับการปรับปรุงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีค่าต่ำกว่าของต่างประเทศ ส่วนสุดท้ายด้านเทคโนโลยีการผลิตในประเทศจะเห็นได้ว่าการผลิตในประเทศส่วนใหญ่เน้นไปทางการส่งออกมากกว่าการใช้ในประเทศเนื่องจากการส่งออกได้รับสิทธิประโยชน์ในการลดหย่อนภาษี ซึ่งปริมาณการผลิตเพื่อใช้ในประเทศยังน้อยอยู่และยังต้องการการส่งเสริมเพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์

แสงอาทิตย์ตามแผน PDP 2018 ดังนั้นเพื่อให้เกิดการพัฒนาด้านเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น จึงควรต้องมีการเพิ่มการสนับสนุนและส่งเสริมจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น สถาบันการศึกษา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน เป็นต้น

7.1.3 ด้านเศรษฐศาสตร์

● สถานการณ์ปัจจุบัน

จากการรวบรวมข้อมูลพบว่า มีผู้ลงทุนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจำหน่ายภายในประเทศอยู่ประมาณ 8 บริษัท อาทิเช่น บริษัท เจทชั่น โซล่า (ไทยแลนด์) จำกัด โดยเป็นบริษัทในเครือของบริษัท China National Building Material Company Limited (CNBM) ซึ่งเป็นการร่วมทุนไทย-จีน ทำธุรกิจผลิตและจำหน่ายเซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยโรงงานมีกำลังการผลิตต่อปีอยู่ที่ 250 เมกกะวัตต์ บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) เป็นบริษัทของคนไทยเพียงหนึ่งเดียวที่ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นเอง ซึ่งสินค้าหลักเป็นเซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับรองมาตรฐานทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีกำลังการผลิตสูงสุดถึง 55 ล้านแผ่นหรือ 1.5 ล้านแผงต่อปี คิดเป็นกำลังการผลิตประมาณ 185 เมกกะวัตต์ต่อปี บริษัท เอกรัฐโซลาร์ จำกัด เป็นบริษัทในเครือเอกรัฐวิศวกรรม จำกัด (มหาชน) เป็นของคนไทยและเป็นบริษัทผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งชนิดโมโนคริสตัลไลน์ ซิลิคอนและโพลีคริสตัลไลน์ซิลิคอน ซึ่งมีกำลังการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อปีอยู่ที่ 15 เมกกะวัตต์ และบริษัท โซล่าเพาเวอร์ เทคโนโลยี จำกัด เป็นบริษัทผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนและคริสตัลไลน์ซิลิคอน โดยมีกำลังการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อปีอยู่ที่ 25 เมกกะวัตต์ เป็นต้น นอกจากนี้แล้วการลงทุนเพื่อให้ถึงเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามแผน PDP 2018 ซึ่งตอนนี้ประเทศไทยมีการลงทุนประมาณ 7,965 ล้านบาท อาจจะต้องเสี่ยงประมาณในการนำเข้ามหาศาลอีกประมาณ 75,794 ล้านบาท เพื่อให้ได้ตามเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าตามแผน PDP 2018 ต่อมาจะเป็นการเปรียบเทียบราคาขายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัทที่ผลิตในประเทศไทยกับราคาขายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของต่างประเทศดังตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7-1 ราคาขายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัทที่ผลิตในประเทศไทยและต่างประเทศ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย			แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ		
ผู้ผลิต	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ราคา (บาท)	แบรนด์	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ราคา (บาท)
ผู้ผลิตที่ 1	325	6,600	ผู้ผลิตที่ 1	330	7,370
ผู้ผลิตที่ 2	320	4,160	ผู้ผลิตที่ 2	330	5,220
ผู้ผลิตที่ 3	330	5,590	ผู้ผลิตที่ 3	330	5,144
ราคาเฉลี่ย โดยรวม	16.73 บาทต่อวัตต์		ราคาเฉลี่ย โดยรวม	17.90 บาทต่อวัตต์	

จากตารางที่ 7-1 เป็นตัวอย่างราคาขายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยกับราคาขายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศชนิดมัลติคริสตัลไลน์ซิลิคอน เนื่องจากไม่สามารถหาราคาขายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ซิลิคอนของประเทศไทยได้ จากตารางราคาเฉลี่ยโดยรวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยอยู่ที่ 16.73 บาทต่อวัตต์ และราคาเฉลี่ยโดยรวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศอยู่ที่ 17.90 บาทต่อวัตต์ จะเห็นได้ว่าราคาเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากประเทศไทยสามารถส่งออกไปแข่งขันกับราคาเซลล์แสงอาทิตย์ของต่างประเทศได้

- ช่องว่างที่พบ

ช่องว่างที่พบจากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า มีผู้ลงทุนผลิตเซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจำหน่ายและใช้งานในประเทศไทยน้อยเนื่องจากไม่สามารถแข่งขันทางด้านต้นทุนการผลิตภายในประเทศกับต่างประเทศได้ ซึ่งเกิดจากราคาวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตมีต้นทุนสูงจากการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศสืบเนื่องมาจากมาตรการทางภาษีซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป ดังนั้นควรต้องมีการส่งเสริมจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น หน่วยงานเอกชน สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน และกระทรวงการคลัง เป็นต้น

7.1.4 ด้านกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย

- สถานการณ์ปัจจุบัน

จากการรวบรวมข้อมูลพบว่า ประเทศไทยส่งเสริมการส่งออกเป็นหลักจากการได้รับสิทธิประโยชน์จาก BOI กล่าวคือ เมื่อมีการส่งออกสินค้าไปแล้ว ผู้ผลิตสามารถขอคืนอากรขาเข้าสำหรับของที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เพื่อใช้ผลิต หรือ ผสม หรือ ประกอบ หรือบรรจุเป็นของที่ส่งออกไปนอกราชอาณาจักร ภายใน 1 ปี นับแต่วันที่นำของเข้ามาในราชอาณาจักร และต้องยื่นขอคืนอากร ภายใน 6 เดือนนับแต่วันที่ส่งออก

ตามมาตรา 19 ทวิ มาตรา 19 ตี และมาตรา 19 จัตวา แห่งพระราชบัญญัติศุลกากร (ฉบับที่ 9) พ.ศ. 2482 และที่แก้ไขเพิ่มเติมตามประกาศคณะปฏิวัติฉบับที่ 329 และที่แก้ไขเพิ่มเติมโดยมาตรา 9 และมาตรา 10 และมาตรา 11 แห่งพระราชบัญญัติ ศุลกากร (ฉบับที่ 18) พ.ศ. 2543 นอกจากนี้หากเป็นผู้ประกอบการที่ เขตอุตสาหกรรมการส่งออกสินค้าและบริการจะได้รับสิทธิเสียภาษีมูลค่าเพิ่มในอัตราร้อยละ 0 จึงทำให้อุตสาหกรรมการส่งออกไม่มีการภาษีเมื่อมีการส่งออกสินค้า ซึ่งแตกต่างจากการนำเข้าวัสดุหรือวัตถุดิบเพื่อผลิตหรือประกอบในประเทศแล้วใช้ในประเทศสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูง 99.9999% (Solar grade silicon (99.9999% Si)) จะต้องเสียอากรขาเข้าอัตราร้อยละ 30 ตามพิกัดศุลกากร 2841.61.00 ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ถูกระบุอยู่ในการส่งเสริมการลงทุนตามมาตรา 30 พระราชบัญญัติส่งเสริมการลงทุน พ.ศ. 2520 นอกจากนี้จะต้องเสียภาษีมูลค่าเพิ่มจากการนำเข้าในอัตราร้อยละ 7 ตามมาตรา 77/2 (2) ประมวลรัษฎากร เป็นเหตุทำให้ต้นทุนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีค่าสูง (Runsungnoen N., 2016)

นอกจากการลดต้นทุนการผลิตในประเทศแล้วการสร้างแรงจูงใจในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์จากการผลิตในประเทศก็เป็นปัจจัยสำคัญในการดึงดูดนักลงทุน โดยมีมาตรการจาก BOI สำหรับการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบ่งเป็น 2 แบบดังนี้ แบบที่ 1 การจัดตั้งบริษัทซื้อ-ขายไฟฟ้า โดยจะต้องจัดตั้งบริษัทผลิตไฟฟ้าเพื่อขายไฟฟ้าให้กับบริษัทที่เกี่ยวข้องกัน หรือ บริษัทอื่น ซึ่งบริษัทที่ลงทุนติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะได้ยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล 8 ปี และ ได้ยกเว้นภาษีอากรขาเข้าเครื่องจักร หรือ อุปกรณ์ด้วย แบบที่ 2 รูปแบบกิจการลงทุนโซลาร์เซลล์เพื่อลดค่าไฟฟ้าของตัวเอง โดยกิจการที่ขอรับการส่งเสริมการลงทุนของ BOI สำหรับการติดตั้งโซลาร์เซลล์ นั้นมีด้วยกัน 8 กลุ่มกิจการดังนี้ เกษตรกรรมและผลิตผลจากการเกษตร, แร่ เซรามิกส์ และโลหะขั้นมูลฐาน, อุตสาหกรรมเบา, ผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์ขนส่ง, อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, เคมีภัณฑ์ พลาสติก และกระดาษ, กิจการบริการและสาธารณูปโภค และ การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม ซึ่งจะได้สิทธิประโยชน์คือ จำนวนเงินที่สามารถลดภาษีนั่นคำนวณได้จาก 50% ของเงินลงทุน และเอามาลดภาษีได้ภายในเวลาภายใน 3 ปี นอกจากนี้ยังสามารถลดภาษีนำเข้า และ VAT เป็น 0% อีกด้วย ซึ่งจากมาตรการของ BOI เป็นการส่งเสริมการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์จริงแต่ไม่ได้เป็นการสนับสนุนการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์จากการผลิตในประเทศ อาจทำให้ขาดแรงจูงใจในการลงทุนผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานในประเทศอีกด้วย

● ช่องว่างที่พบ

ช่องว่างที่พบจากมาตรการส่งเสริมการลงทุนส่วนใหญ่ของประเทศที่ส่งเสริมการส่งออกมากกว่าการผลิตใช้เองภายในประเทศ ทำให้เห็นว่าประเทศไทยยังขาดมาตรการส่งเสริมการลงทุนด้านภาษีในประเทศเพื่อการผลิตและใช้งานภายในประเทศ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ใน ประเทศมีค่าสูงและไม่

สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้ ส่วนมาตรการการส่งเสริมการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ของ BOI ก็เป็นมาตรการการส่งเสริมการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์จากการนำเข้ามามากกว่าการใช้เซลล์แสงอาทิตย์จากการผลิตในประเทศ ทำให้ขาดมาตรการเพื่อเพิ่มแรงจูงใจในการลงทุนผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไปด้วย จึงทำให้มีผู้ลงทุนทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศน้อยตามไปด้วย ดังนั้นเพื่อลดปัญหาช่องว่างที่เกิดขึ้น ประเทศไทยจึงควรมีการสร้างมาตรการทางด้านภาษีจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน และกระทรวงการคลัง เป็นต้น เพื่อสนับสนุนและสร้างแรงจูงใจให้งานวิจัยและการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศมีการดำเนินการแบบครบวงจรเพิ่มมากขึ้น

7.2 การวิเคราะห์ช่องว่างด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

จากฐานข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่รวบรวมได้จะพบว่าในปัจจุบันมีปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันที่สามารถรวบรวมข้อมูลได้ ประกอบด้วย กลุ่มโรงไฟฟ้าที่ COD แล้วประเภทต่างๆ ได้แก่ IPP SPP VSPP โรงไฟฟ้า พพ. และโรงไฟฟ้า PEA รวมถึงผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ลงทะเบียนยกเว้นขอใบอนุญาตผลิตไฟฟ้า โดยปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าตามฐานข้อมูลสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 7-2 ทั้งนี้จะพบว่ากำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์รวมอยู่ที่ 3,809.87 MW ทั้งนี้แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 – 2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 (PDP 2018 Revision 1) ได้มีการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ (Floating solar) ในปี พ.ศ. 2580 รวม 14,754 MW ซึ่งจะพบว่ามีปริมาณคิดเป็นประมาณ 4.8 เท่าของกำลังผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน

ตารางที่ 7-2 สรุปปริมาณกำลังไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ประเภทผู้ผลิตไฟฟ้า	ประเภทโรงไฟฟ้า/อาคาร	กำลังการผลิตติดตั้ง (MW)
ผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ COD แล้ว	IPP	0.00
	SPP	588.64
	VSPP	2,339.82
	โรงไฟฟ้า พพ.	1.00
	โรงไฟฟ้า PEA	0.00
	รวม	2,929.46
ผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ลงทะเบียนยกเว้นขอใบอนุญาตผลิตไฟฟ้า	บ้านอยู่อาศัย	63.30
	กิจการขนาดเล็ก	12.77
	กิจการขนาดกลางและกิจการขนาดใหญ่	84.35
	รวม	160.41
รวมผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์		3,089.87

เพื่อให้ประเทศไทยมีส่วนกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปริมาณที่สูงขึ้นให้เป็นตามเป้าหมายที่วางไว้ในแผนพัฒนาพลังงานกำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 – 2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 (PDP 2018 Revision 1) หรือมีกำลังผลิตไฟฟ้ารวมในปริมาณที่สูงกว่า ในหัวข้อนี้จึงจะนำเสนอการวิเคราะห์ช่องว่างด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นด้านต่างๆ ทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ ด้านการจัดการข้อมูล ด้านเทคโนโลยี ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.2.1 ด้านการจัดการข้อมูล

- สถานการณ์ปัจจุบัน

ในปัจจุบันการรวบรวมข้อมูลของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นโดยส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลของผู้ผลิตไฟฟ้าที่เป็นโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ ได้แก่ IPP SPP VSPP โรงไฟฟ้า พพ. และโรงไฟฟ้า PEA รวมถึงข้อมูลของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ลงทะเบียนยกเว้นขอใบอนุญาตผลิตไฟฟ้า

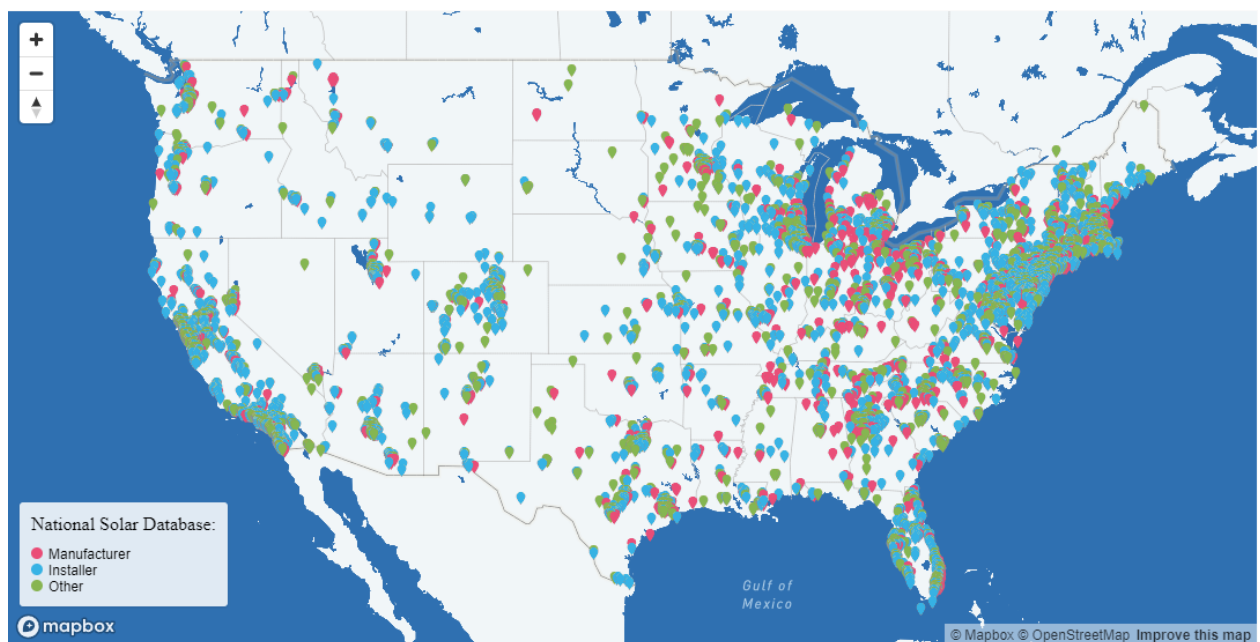
นอกเหนือจากข้อมูลในด้านปริมาณระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้วในมุมมองด้านการใช้งานของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉพาะในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย ผู้ใช้ไฟฟ้าในภาคการเกษตร หรือผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มอื่นๆ ที่ไม่ใช่ภาคธุรกิจนั้นจะพบว่าการเข้าถึงของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องที่มีมาตรฐานนั้นอาจเข้าถึงได้ยากหรือต้องผ่านขั้นตอนการพิจารณาอย่างถี่ถ้วน

- ช่องว่างที่พบ

ฐานข้อมูลของกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในกลุ่มอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็น ผู้ใช้ไฟฟ้าเอกชนที่ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ไฟฟ้าและ/หรือขายตรงเป็นหลัก (Independent power supply: IPS) และผู้ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand alone system) ทั้งสำหรับผู้ไฟฟ้าในชุมชน ในชนบท ใช้สำหรับการเกษตร หรือการใช้งานรูปแบบอื่นๆ นั้นสามารถเข้าถึงข้อมูลหรือระบุขนาดของกำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ยาก การเข้าถึงข้อมูลการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในทุกๆ ประเภทยานั้นจะทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กระทรวงพลังงาน และสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน สามารถติดตามสถานะปัจจุบันได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ รวมถึงสามารถเตรียมการรองรับถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ การติดตามสถานะการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นนอกเหนือจากก่อให้เกิดผลดีในภาพรวมของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานแล้วนั้น ยังส่งผลให้ในภาคการผลิตและภาคการบริหารจัดการซากแสงอาทิตย์สามารถประเมินปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในระบบได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น นอกเหนือจากการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าแล้ว

การรวบรวมข้อมูลการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าแบบเฉพาะเจาะจงก็ถือว่าเป็นอีกข้อมูลที่ทำให้สามารถบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างครบวงจรมากยิ่งขึ้น

ในด้านการเข้าถึงระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้มาตรฐานนั้นจะพบว่าหากผู้ใช้ไฟฟ้าได้มีการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้มาตรฐานอาจส่งผลให้เกิดปัญหาด้านความปลอดภัยต่างๆ ได้ เช่น ไฟไหม้บนหลังคาบ้าน เป็นต้น ปัญหาดังกล่าวนี้นั้นส่วนหนึ่งมาจากการที่ผู้รับเหมาผู้รับเหมาในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ยังไม่มีความรู้ในเรื่องของความปลอดภัยทางไฟฟ้าอย่างเพียงพอ รวมถึงผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นไม่มีงบประมาณเพียงพอที่จะจ้างที่ปรึกษาในการติดตั้ง ดังนั้นหนึ่งในวิธีการบรรเทาปัญหาดังกล่าวนั้นสามารถจัดทำได้โดยจัดทำฐานข้อมูลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อถือได้ โดยการจัดทำฐานข้อมูลนี้จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าถึงและคัดเลือกผู้รับเหมาที่มีมาตรฐานได้ ตัวอย่างฐานข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์แห่งชาติของ Solar Energy Industries Association (SEIA) ในประเทศสหรัฐอเมริกาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7-3 โดยในฐานข้อมูลนี้จะมีการรวบรวมข้อมูลบริษัทในอุตสาหกรรมที่จะช่วยเพิ่มความโปร่งใสให้กับลูกค้า และให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่างๆ สามารถเข้าถึงกันได้มากยิ่งขึ้น โดยในเว็บไซต์จะมีการรวบรวมข้อมูลต่างๆ เช่น ชื่อบริษัท ชื่อผู้ติดต่อ ที่อยู่ของบริษัท ประเภทธุรกิจ ผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่าย บริการที่รองรับ รวมถึงสถิติการจ้างงาน



รูปที่ 7-3 ตัวอย่างฐานข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์แห่งชาติ ของประเทศสหรัฐอเมริกา
(ที่มา: <https://www.seia.org/national-solar-database>)

7.2.2 ด้านเทคโนโลยี

• สถานการณ์ปัจจุบัน

สำหรับการวิเคราะห์ช่องว่างด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ด้านเทคโนโลยีที่กล่าวถึงในหัวข้อนี้ นั้นจะไม่ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง เช่น ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น แต่ในหัวข้อนี้จะมุ่งเน้นถึงการวิเคราะห์ช่องว่างในด้านความรู้ความเข้าใจในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ควบคู่กับเทคโนโลยีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

สำหรับในภาคผู้ใช้ไฟฟ้านั้นถือว่าผู้ใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่มีความรู้ความเข้าใจในเทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างน้อยหรืออาจไม่มีความรู้ความเข้าใจเลย ซึ่งโดยส่วนใหญ่ภาคผู้ใช้ไฟฟ้าอาจมีความรู้เพียงแค่การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถช่วยลดค่าไฟฟ้าได้เท่านั้น

นอกเหนือจากการให้ความรู้ในภาคผู้ใช้ไฟฟ้าในด้านของความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้วนั้นจะพบว่าในปัจจุบันในหลายๆ ภาคส่วนจะมุ่งเน้นการใช้งานผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้ามุ่งเน้นการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลักไม่ควบคู่กับเทคโนโลยีอื่นๆ

• ช่องว่างที่พบ

ในด้านความรู้ความเข้าใจถึงเทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้น เพื่อให้ภาคประชาชนสามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และใช้งานได้มีประสิทธิภาพ รวมถึงเพื่อป้องกันปัญหาและอันตรายต่างๆ ที่เกิดขึ้นการให้ความรู้ความเข้าใจในด้านเทคโนโลยีแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งจำเป็น ความรู้ความเข้าใจในด้านเทคโนโลยีในหลายๆ ประเด็นที่ผู้ใช้ไฟฟ้าควรได้รับความรู้มีหลากหลายประเด็น ยกตัวอย่างเช่น

- การดูแลรักษาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้สามารถใช้งานได้ตามอายุการใช้งาน
- ปรากฏการณ์บดบังแสงบนเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากปัจจัยภายนอก เช่น ใบไม้ เป็นต้น ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้จะส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์นั้นๆ นำกระแสไฟฟ้าไม่ได้ และทำให้แรงดันไฟฟ้าทั้งหมดทั้งระบบ จึงมาตกคร่อมที่เซลล์นั้นๆ ซึ่งหากเป็นระบบผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ก็จะทำให้เกิดความร้อนและไฟลุกไหม้ได้
- การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับเข้าไปในระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย
- การตรวจสอบและคัดเลือกระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีสองที่ที่เหมาะสมกับการนำมาใช้งาน

ในด้านการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ควบคู่กับการใช้งานเทคโนโลยีอื่นๆ นั้นจะพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้ไฟฟ้ามากขึ้นหากมีการ

ทำงานร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ เช่น ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System: ESS) ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) แพลตฟอร์มการซื้อขายไฟฟ้า (Energy Trading Platform: ETP) และโรงไฟฟ้าเสมือน (Virtual Power Plant: VPP) เป็นต้น ซึ่งการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเทคโนโลยีเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นหากมีการทำงานร่วมกับมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meters) โดยมีมิเตอร์อัจฉริยะนั้นจะช่วยส่งเสริมในด้านต่างๆ เช่น การตรวจวัดการผลิตไฟฟ้าและการใช้ไฟฟ้าที่ละเอียดและแม่นยำ การตรวจจับและตรวจวัดผลกระทบด้านลบต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น เป็นต้น โดยในปัจจุบันจะพบว่า กฟภ. และ กฟน. ได้มีการติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะโดยมุ่งเน้นไปที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรมเป็นหลัก และมีการติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะให้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บางส่วน ดังนั้นแล้ว การศึกษาการทำงานร่วมกันระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และเทคโนโลยีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องจะนำไปสู่ผลประโยชน์ที่สูงมากยิ่งขึ้นของผู้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับแพลตฟอร์มการซื้อขายไฟฟ้านั้นจะพบว่าในประเทศไทยได้มีโครงการศึกษาจากหลายๆ หน่วยงานดังแสดงในตารางที่ 7-3

ตารางที่ 7-3 ตัวอย่างโครงการศึกษาแพลตฟอร์มการซื้อขายไฟฟ้าในประเทศไทย

ชื่อโครงการ	ผู้ดำเนินโครงการ
T77	BCPG
GEMS	BCPG
Sun Share	BCPG
โครงการนำร่องการให้บริการรับส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านระบบ โครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้า จากพลังงานทดแทนและลูกค้าของผู้ผลิตไฟฟ้า	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
การสร้างต้นแบบระบบการซื้อขายไฟฟ้าลักษณะ P2P ภายใต้ ความร่วมมือระหว่างหน่วยงานเอกชน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง	บริษัท กันกุลเอ็นจิเนียริง จำกัด (มหาชน)
MEA Energy Trading Platform	การไฟฟ้านครหลวง
โครงการศึกษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ Peer to Peer ผ่าน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และพัฒนาระบบกักเก็บพลังงานแก๊ส ชีวภาพเพื่อให้สามารถจำหน่ายไฟฟ้าได้เหมาะสม	บริษัท วิสาหกิจเพื่อสังคมและพลังงาน ชุมชน จำกัด
โครงการพื้นที่ทดสอบมหาวิทยาลัยอัจฉริยะด้านพลังงาน: การ ซื้อขายไฟฟ้าแบบ Peer to Peer และ อาคารอัจฉริยะ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (มหาชน) การไฟฟ้านครหลวง
Mini Power Pool	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน

ทั้งนี้ในการใช้งานเทคโนโลยีอื่นๆ ควบคู่กับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจำเป็นต้องมีการให้ความรู้ความเข้าใจแก่ภาคผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นอย่างมากเนื่องด้วยความซับซ้อนในการทำงานที่มีเพิ่มมากยิ่งขึ้น

7.2.3 ด้านเศรษฐศาสตร์

- สถานการณ์ปัจจุบัน

จากการศึกษาในบทที่ 3 จะพบว่าต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะลดลงในแต่ละปี โดยหากประเมินว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งาน 20 ปี ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและซ่อมบำรุงคิดเป็นร้อยละ 2 ต่อปี และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีตัวประกอบโรงไฟฟ้า (Plant factor) ที่ 18% ตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 – 2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 (PDP 2018 Revision 1) จะสามารถประมาณต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ระดับกิจการ (Utility scale) อย่างง่ายได้ดังแสดงในตารางที่ 7-4

ตารางที่ 7-4 ประมาณการต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ระดับกิจการ (Utility scale) อย่างง่าย

ปี พ.ศ.	ต้นทุน (USD/kW)	ต้นทุน (Baht/kW)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานตลอดอายุการใช้งาน (Baht/kW)	ต้นทุนรวม (Baht/kW)	ต้นทุนรวม (Baht/kWh)
2561	1,210	40,389.80	16,155.92	56,545.72	1.7931
2573	340 - 834	11,349.20 - 27,838.92	4,539.68 - 11,135.57	15,888.88 - 38,974.49	0.5038 - 1.2359
2593	165 - 481	5,507.70 - 16,055.78	2,203.08 - 6,422.31	7,710.78 - 22,478.09	0.2445 - 0.7128

หมายเหตุ: ต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในตารางเป็นการประมาณการต้นทุนอย่างง่ายสำหรับพิจารณาแนวโน้มราคาเท่านั้น ในการประมาณการต้นทุนจริงจำเป็นต้องมีการคำนึงถึงตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม

จากตารางที่ 7-4 จะพบว่าราคาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ระดับกิจการมีแนวโน้มที่ลดลงเป็นอย่างมาก โดยหากเปรียบเทียบต้นทุนรวมในหน่วยบาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงจะพบว่าต้นทุนดังกล่าวนี้มีแนวโน้มที่จะราคาลดลงต่ำกว่าราคารับซื้อไฟฟ้าจากภาครัฐต่างๆ ทั้งในรูปแบบ Adder, FiT หรือโครงการโซลาร์ภาคประชาชน ของคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานที่มีราคาอยู่ในช่วง 1.6 – 8 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง อย่างไรก็ตามต้นทุนดังกล่าวนี้เป็นต้นทุนที่พิจารณาเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งไม่รวมต้นทุนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินกิจการรวมถึงหากภาคผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า

จากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นต้นทุนของภาคผู้ใช้ไฟฟ้าก็จะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่แสดงในตาราง นอกจากนี้หากเปรียบเทียบกับอัตราสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศต่างๆ ได้แก่ ประเทศจีน ประเทศญี่ปุ่น ประเทศสหรัฐอเมริกา และ ประเทศเยอรมัน จะพบว่าอัตราสนับสนุนในต่างประเทศจะมีค่าอยู่ในช่วง 2.00 – 10.66 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง จะพบว่าประเทศไทยนั้นถือว่ามียอัตรสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำกว่าประเทศอื่นๆ เล็กน้อย ซึ่งในภาพรวมอาจกล่าวได้ว่าในปัจจุบันต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าอยู่ในระดับปานกลางหรือสูง นอกจากนี้จะพบว่าประเทศไทยได้มีการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมผ่านมาตรการสนับสนุนการลงทุนในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) สำหรับผู้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยจะได้รับสิทธิประโยชน์ 2 รูปแบบหลัก คือ การยกเว้นอากรนำเข้าเครื่องจักร ซึ่งครอบคลุมการยกเว้นภาษีนำเข้าร้อยละ 10 และ VAT อีกร้อยละ 7 และยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลเป็นเวลา 3 ปี โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 50 ของเงินลงทุน

- ช่องว่างที่พบ

ต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ดังแสดงในตารางที่ 7-4 นั้น เป็นต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าในระดับกิจการโดยที่ไม่รวมการทำงานร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ ซึ่งหากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีการทำงานร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ เช่น ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System: ESS) จะทำให้ต้นทุนในภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อกระตุ้นให้ผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน รวมถึงภาคผู้ใช้ไฟฟ้ามีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มากยิ่งขึ้นในระยะสั้นประเทศไทยควรมีการศึกษาถึงมาตรการสนับสนุนต่างๆ สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มากยิ่งขึ้น เช่น มาตรการด้านการลดภาษี หรือ การเพิ่มอัตราเงินสนับสนุน เป็นต้น ทั้งนี้ในระยะยาวต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะลดลงดังนั้นการสนับสนุนในระยะยาวอาจมีค่าลดลงหรือไม่ก็ได้ ในด้านการสนับสนุนด้านภาษีจะพบว่าประเทศไทยมีมาตรการสนับสนุนการลงทุนในแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) โดยมุ่งเน้นไปผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มอุตสาหกรรมที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้หากมีการพิจารณาให้มาตรการดังกล่าวนี้ครอบคลุมในส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วไปมากยิ่งขึ้นจะส่งผลให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนสำหรับผู้บริโภคไฟฟ้าทั่วไปมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ดังที่ได้กล่าวไปแล้วการวิเคราะห์ช่องว่างด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ด้านเทคโนโลยีผู้ผลิตไฟฟ้าภาคเอกชน และผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถรับประโยชน์เพิ่มเติมจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นได้หากมีกลไกหรือเทคโนโลยีอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System: ESS) ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) แพลตฟอร์มการซื้อขายไฟฟ้า (Energy Trading Platform: ETP) และโรงไฟฟ้าเสมือน (Virtual Power Plant: VPP) เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีและธุรกิจที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นก็จะนำไปสู่ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากยิ่งขึ้นได้

7.2.4 ด้านกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย

- สถานการณ์ปัจจุบัน

สำหรับการวิเคราะห์ช่องว่างด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ด้านกฎหมายข้อบังคับ และนโยบายจะพบว่าในปัจจุบันกฎหมายที่เกี่ยวข้องนั้นจะสอดคล้องกับการขออนุญาตก่อสร้างอาคาร ดัดแปลงอาคาร หรือ รื้อถอนอาคาร การขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้า และกำหนดหลักเกณฑ์ขั้นต่ำด้านเทคนิคการออกแบบรายละเอียดทางเทคนิคของอุปกรณ์ไฟฟ้า และมาตรฐานการติดตั้ง สำหรับผู้ใช้บริการที่ต้องการจะเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งจะครอบคลุมสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นหลักและอาจไม่ครอบคลุมผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand alone system) นอกจากนี้จะพบว่าในปัจจุบันจะมีผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บางรายที่มีการผลิตไฟฟ้าและเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายโดยไม่ได้ขออนุญาตเชื่อมต่อกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

- ช่องว่างที่พบ

ในด้านกฎหมายข้อบังคับเกี่ยวกับการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นควรมีการดำเนินให้รองรับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand alone system) รวมถึงรองรับเหตุการณ์ที่มีผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บางรายที่มีการผลิตไฟฟ้าและเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายโดยไม่ได้ขออนุญาตเชื่อมต่อกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยในภาคนโยบายนั้นควรมีการผลักดันและให้ความรู้แก่ภาคประชาชนเกี่ยวกับขั้นตอนกลไกที่ต้องเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งในรูปแบบเชื่อมต่อกับระบบโครงข่าย (On-grid) และในรูปแบบอิสระ (Stand alone system) ซึ่งหากมีการผลักดันให้ผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ดำเนินงานอย่างถูกต้องแล้วนั้นก็将会ทำให้การดำเนินงานด้านการจัดการข้อมูลเป็นไปได้อย่างราบรื่นเช่นเดียวกัน ในทำนองเดียวกันด้านนโยบายควรมีการผลักดันและศึกษาทางด้านข้อกำหนดและกฎหมายที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีและธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สอดคล้องกับการศึกษาช่องว่างทางด้านเทคโนโลยี และเศรษฐศาสตร์ ซึ่งการดำเนินงานจะทำให้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยเติบโตขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง

นอกจากนี้ในปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเข้าถึงได้ค่อนข้างยากในพื้นที่ชนบท ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความรู้ความเข้าใจในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ต้นทุนที่ไม่เพียงพอต่อการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นในภาคการศึกษาและภาคนโยบายควรมีการศึกษาและผลักดันให้ผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มนี้สามารถเข้าถึงระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากยิ่งขึ้น

7.3 การวิเคราะห์ช่องว่างด้านการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

เป้าหมายของการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานนั้นคือ มีการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจรภายในประเทศ และสามารถรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนัก ภายในปี พ.ศ. 2568 โดยอ้างอิงจาก (ร่าง) แผนที่นำทางในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์หลังจากการรื้อถอนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เสื่อมสภาพและไม่สามารถใช้งานต่อได้ออกจากจุดติดตั้งแล้ว จะนำซากเหล่านี้เข้าสู่กระบวนการรวบรวมและรีไซเคิลเพื่อนำวัสดุมีค่ากลับมาใช้ใหม่ โดยกระบวนการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ [1, 2]

1) การรวบรวมซากเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่เสื่อมสภาพและสิ้นอายุการใช้งานจะถูกคัดแยกและรวบรวมโดยผู้จัดการของเสียเพื่อนำไปแกะแยกชิ้นส่วน รีไซเคิล หรือฝังกลบอย่างถูกต้องต่อไป

2) การคัดแยกวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีทางกายภาพและความร้อน

ขั้นตอนนี้ซากเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกคัดแยกทางกายภาพ โดยจะแยกวัสดุประเภทโลหะ ได้แก่ กรอบอะลูมิเนียมและเส้นลวดโลหะ ออกจากส่วนกรอบของแผงโดยการบดหยาบ จากนั้นจะทำการบดละเอียดเพื่อให้ชิ้นส่วนซากมีขนาดเล็กลงและสะดวกต่อการจัดการต่อไป หลังจากนั้นซากเซลล์แสงอาทิตย์บางชนิดจะต้องผ่านการแยกวัสดุด้วยความร้อน เช่น ซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน

3) การรีไซเคิลด้วยกระบวนการทางเคมี

ซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกทำให้มีขนาดเล็กลงจะเข้าสู่กระบวนการทางเคมีเพื่อกำจัดวัสดุเคลือบผิวบนตัวเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีหน้าที่ลดการสะท้อนแสง (Anti-reflecting coating) โดยควรเลือกชนิดของสารเคมีที่ใช้กัดและล้างให้เหมาะสมกับวัสดุเคลือบผิว ต้องใช้สารเคมีกัดและล้างออกหลายครั้ง

ซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนที่ผ่านการแยกวัสดุและผ่านกระบวนการทางเคมีข้างต้นแล้ว จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นผงซิลิคอน เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการหลอมและนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ต่อไป ส่วนซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางจะต้องผ่านกระบวนการอื่นๆ เช่น การแยกของแข็งของเหลว การตกตะกอน การแยกน้ำ เป็นต้น ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคดเมียมและเทลลูเรียม ที่สามารถนำไปใหม่ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้

4) การฝังกลบอย่างปลอดภัย

จากกระบวนการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ในขั้นตอนการแยกทางกายภาพและทางความร้อน รวมถึงการรีไซเคิลด้วยกระบวนการทางเคมีนั้น จะเกิดผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์พลอยได้จากขั้นตอนต่างๆ หลายชนิดที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นได้ เช่น ซิลิคอน แคดเมียม เทลลูเรียม อะลูมิเนียม กระจุกที่ผ่านการกัดและล้างสารเคลือบออกแล้ว เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการจัดการซากแสงอาทิตย์เหล่านี้ยังก่อให้เกิดของเสียบางประเภทที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ต่อได้และต้องทำการกำจัดโดยการฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secured landfill) เนื่องจากเป็นของเสียประเภทของเสียอันตราย เช่น

กระจกที่มีการปนเปื้อน ของเสียจากขั้นตอนการตกตะกอนโดยสารเคมี หรือฟิล์มห่อหุ้มเซลล์แสงอาทิตย์ (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) จากซากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง เป็นต้น

จากกระบวนการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวถึงในข้างต้น หากต้องการมุ่งให้ประเทศไทยมีการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศอย่างครบวงจรและสามารถรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ จึงควรทำการศึกษการวิเคราะห์ช่องว่างด้านการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ด้านหลัก ดังต่อไปนี้

7.3.1 ด้านการจัดการข้อมูล

- สถานการณ์ปัจจุบัน

ข้อมูลซากเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทยที่ถูกรวบรวมในปัจจุบันคือ ข้อมูลปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมได้จากการขึ้นทะเบียนผู้ประกอบการกิจการพลังงานทดแทน แต่เมื่อเทียบกับการรวบรวมข้อมูลติดตามเซลล์แสงอาทิตย์ของภาคอุตสาหกรรมหรือผู้ผลิตของต่างประเทศที่เริ่มตั้งแต่ต้นทางจากโรงงานหรือบริษัทผู้ผลิตไปจนถึงขั้นตอนกระบวนการรีไซเคิลที่มีหน่วยงานภาครัฐเป็นศูนย์กลางในการรวบรวมข้อมูล อีกทั้งทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าถึงข้อมูลด้านนี้ได้อย่างทั่วถึง และมีการปรับปรุงข้อมูลให้มีความสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันอย่างสม่ำเสมอ

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้จัดโครงการระบบบริหารจัดการกากอุตสาหกรรมแบบครบวงจร (E-fully manifest) ซึ่งเป็นระบบที่รวบรวมข้อมูลของผู้เกี่ยวข้องภายในระบบทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ ผู้กำเนิดของเสีย (Waste Generator; WG) ผู้ขนส่งของเสีย (Waste Transporter; WT) และผู้กำจัดของเสีย (Waste Processor; WP) [3] ที่รองรับสำหรับภาคอุตสาหกรรมในการรวบรวมข้อมูลและติดตามกากอุตสาหกรรม นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีระบบรหัสกากอุตสาหกรรม (Waste code) ที่ใช้ในปัจจุบันเป็นการจำแนกตามกระบวนการผลิต จึงมีบทบาทสำคัญต่อการขออนุญาตและการรายงานต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อช่วยให้ทราบว่าของเสียที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการใดหรือเป็นของเสียชนิดไหน และจะส่งไปกำจัดอย่างไร [4]

การจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้น นิยมใช้วิธีการคัดแยกขยะแล้วนำไปย่อยสลายให้มีขนาดเล็กก่อนเข้าตามกระบวนการและนำทิ้งในหลุมฝังกลบตามกฎหมาย

แม้ว่าประเทศไทยได้เตรียมความพร้อมในการรับมือซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในอนาคตอย่างรอบด้าน แต่เนื่องด้วยซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานในประเทศไทยยังมีปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับต่างประเทศ ทำให้การดำเนินการสำหรับการรีไซเคิลหรือการนำกลับมาใช้ใหม่ภายในประเทศยังมีไม่มากนัก

- ช่องว่างที่พบ

ประเทศไทยยังขาดข้อมูลปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ การติดตาม และวิธีการจัดการและการควบคุมปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ในภาคประชาชนและอื่นๆ และข้อมูลกระบวนการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทยยังไม่ได้ถูกเผยแพร่มากนัก

เนื่องจากข้อมูลปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทยที่ถูกรวบรวมในปัจจุบันจะอยู่เป็นในส่วนของภาคอุตสาหกรรมเท่านั้น ทำให้ขาดข้อมูลในการติดตามและการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ของภาคประชาชนตามที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้การติดตามข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในประเทศนั้นค่อนข้างยาก และส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานในประเทศยังมีบางส่วนที่ไม่อาจติดตามข้อมูลได้ นอกจากนี้ยังขาดการเก็บรวบรวมข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองที่จะกลายเป็นซากเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคตอีกด้วย

โครงการระบบบริหารจัดการกากอุตสาหกรรมแบบครบวงจร (E-fully manifest) ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นระบบที่รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกากอุตสาหกรรม ซึ่งหากมีการขยายรูปแบบของระบบออกไปสู่ภาคประชาชน อาจจะทำให้เกิดการรวบรวมและติดตามข้อมูลเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของภาคประชาชนได้ และรหัสกากอุตสาหกรรม (Waste code) ที่ใช้ในปัจจุบันนั้นมีการจำแนกของเสียจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ไว้ในหมวดที่ 16 02 แต่ในปัจจุบันยังไม่มีกระบวนการซากเซลล์อาทิตย์เข้าไปในหมวดรหัสกากอุตสาหกรรมอย่างชัดเจน จะเป็นการจำแนกตามการคัดแยกส่วนประกอบของซากเซลล์แสงอาทิตย์แล้วนำไปดำเนินการกำจัดต่อไป [5]

แม้ว่าในปัจจุบันหน่วยงานราชการร่วมกับสถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัย หน่วยงานเอกชน และหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ ได้ร่วมมือกันเพื่อดำเนินการศึกษาเทคโนโลยีและข้อมูลในการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน และผลงานวิจัยเกี่ยวกับการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทยนั้นยังมีไม่มาก เมื่อเทียบกับประเทศที่เป็นผู้นำทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น

1) งานวิจัยเพื่อศึกษาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ยั่งยืนในการนำกลับของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่โครซิลิคอนและไมโครซิลเวอร์จากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ใช่แล้ว ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีแบบบูรณาการเพื่อนำกลับโลหะมีค่าที่เป็นส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Yousef S. et al., 2019)

2) วิธีการรีไซเคิลซิลิคอนเวเฟอร์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานและแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการใช้ซิลิคอนเวเฟอร์ที่รีไซเคิล ซึ่งงานวิจัยนี้อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการรีไซเคิลที่เป็นนวัตกรรมใหม่เพื่อนำแผ่นเวเฟอร์ซิลิคอน (Si) กลับมาใช้ใหม่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน (Jeongeun S. et al., 2017)

7.3.2 ด้านเทคโนโลยี

- สถานการณ์ปัจจุบัน

ตามที่กล่าวมาข้างต้น ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานในประเทศไทยยังมีปริมาณที่น้อย ทำให้การศึกษาระบบการคัดแยกและการรีไซเคิลยังไม่ครบถ้วน และการเพิ่มมูลค่าของวัสดุที่ได้จากการคัดแยกและรีไซเคิลนั้นยังไม่ได้ได้รับการพัฒนาไปเท่าที่ควร เมื่อเทียบกับผลงานวิจัยของประเทศที่เป็นผู้นำทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ ประเทศไทยถือว่ายังมีผลงานวิจัยด้านเทคโนโลยีการจัดการที่น้อย ซึ่งรวมถึงการใช้เทคโนโลยีเพื่อติดตามและรวบรวมซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศเช่นกัน

เทคโนโลยีในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความสนใจอย่างมากในประเทศไทย อีกทั้งหน่วยงานภาครัฐและสถาบันการศึกษาได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของเทคโนโลยีที่จะถูกนำมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในอนาคต เมื่อปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทยที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งปัจจุบันเทคโนโลยีการรีไซเคิลของประเทศไทยนั้นสามารถนำกลับโลหะมีค่า เช่น เงินบริสุทธิ์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานได้แล้ว ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่างศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่กับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี [6] ซึ่งเตรียมดำเนินการต่อยอดเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีโลหะมีค่าที่นอกเหนือจากเงินที่สามารถนำกลับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว เช่น ซิลิกอน และอะลูมิเนียม เป็นต้น

นอกจากนี้ได้เริ่มมีการเตรียมการจัดตั้งโรงงานต้นแบบสำหรับการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุแล้ว ซึ่งเป็นการลงนาม MOU ทำ “โครงการศึกษาการบริหารจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ในประเทศไทย” ระหว่างการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและกรมโรงงานอุตสาหกรรม [7]

- ช่องว่างที่พบ

ประเทศไทยยังขาดการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในการรวบรวมซากเซลล์แสงอาทิตย์ การคัดแยกซากเซลล์แสงอาทิตย์ และการรีไซเคิล เพื่อให้ได้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และขาดการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุที่ได้จากการรีไซเคิล เมื่อเทียบกับต่างประเทศที่ได้มีการขยายขนาดของเทคโนโลยีรีไซเคิลสู่ระดับอุตสาหกรรมและมีการเตรียมตลาดสำหรับการซื้อขายวัสดุมีค่าที่ได้จากการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์

นอกจากนี้ยังขาดการร่วมมือของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในด้านการกระจายข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และความร่วมมือจากทางภาครัฐ ภาคเอกชน รัฐวิสาหกิจและสถาบันการศึกษา เพื่อส่งเสริมการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของเทคโนโลยีในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์หรือเทคโนโลยีในระบบการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ตามที่กล่าวมาข้างต้น

7.3.3 ด้านเศรษฐศาสตร์

- สถานการณ์ปัจจุบัน

การบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยนิยมใช้วิธีการคัดแยกกรอบอะลูมิเนียมและแยกสายไฟออกก่อน โดยส่วนประกอบที่เหลือจะนำไปนำไปกำจัดโดยการฝังกลบอย่างถูกต้องตามกฎหมาย ทำให้เทคโนโลยีในการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยยังถือว่ามียู้อย่างจำกัด และเนื่องจากปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานในประเทศไทยยังมีปริมาณที่น้อยรวมถึงตลาดที่รองรับวัสดุมีค่าที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยยังมีน้อย ส่งผลให้การลงทุนเพื่อจัดตั้งโรงงานหรือบริษัทที่รีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจรภายในประเทศไทยสำหรับปัจจุบันนั้นยังมีน้อย เนื่องจากดำเนินการแล้วไม่มีความคุ้มค่าด้วยปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาดำเนินการรีไซเคิลนั้นยังมีปริมาณที่น้อย แต่หน่วยงานภาครัฐได้มีการเตรียมความพร้อมสำหรับการวิจัยเทคโนโลยีรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์และจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบ [7, 8]

จากรายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาศักยภาพเชิงพื้นที่ในการบริหารจัดการกากขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย [9] มีการศึกษาการกำหนดขนาดของศูนย์รีไซเคิลกากขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ 5 ขนาด เพื่อรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานที่ถูกรวบรวมในแต่ละวัน เป็น 1 2 3 4 และ 5 ตันต่อวัน และตั้งสมมติฐานให้ดำเนินการปีละ 300 วัน คิดเป็นปริมาณแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานที่ 300 600 900 1,200 และ 1,500 ตันต่อปี ซึ่งเมื่อวิเคราะห์จากการคาดการณ์ปริมาณแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน และจากการประเมินราคาขายจริงที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาประเมินมูลค่าของรายได้จากการขายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน ดังตารางที่ 7-5 และ 7-6

ตารางที่ 7-5 การคัดแยกส่วนประกอบของแผงเซลล์อาทิตย์ที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิล [9]

ส่วนประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์	สัดส่วน	ปริมาณขยะจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ตัน/ปี)				
		1 ตัน/วัน	2 ตัน/วัน	3 ตัน/วัน	4 ตัน/วัน	5 ตัน/วัน
		300 ตัน/ปี	600 ตัน/ปี	900 ตัน/ปี	1,200 ตัน/ปี	1,500 ตัน/ปี
- เศษแก้วสีขาว (กระจก)	65%	195.00	390.00	585.00	780.00	975.00
- อะลูมิเนียม	20%	60.00	120.00	180.00	240.00	300.00
- ซิลิคอน	4%	12.00	24.00	36.00	48.00	60.00
- ทองแดง	1%	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00
- พลาสติก	1%	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00
- เงิน	0.05%	0.16	0.32	0.48	0.64	0.80
รวม	91.05%	273.16	546.32	819.48	1,092.64	1,365.80

ตารางที่ 7-6 ราคาขายขยะรีไซเคิลจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และรายได้ต่อปี [9]

ส่วนประกอบแผง เซลล์แสงอาทิตย์	ราคาขาย (บาท/ กิโลกรัม)	ปริมาณขยะรีไซเคิลจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์				
		1 ตัน/วัน	2 ตัน/วัน	3 ตัน/วัน	4 ตัน/วัน	5 ตัน/วัน
		300 ตัน/ปี	600 ตัน/ปี	900 ตัน/ปี	1,200 ตัน/ปี	1,500 ตัน/ปี
- เศษแก้วสีขาว (กระจก)	2.00	0.39	0.78	1.17	1.56	1.95
- อะลูมิเนียม	38.00	2.28	4.56	6.84	9.12	11.40
- ซิลิคอน	20.00	0.24	0.48	0.72	0.96	1.20
- ทองแดง	159.00	0.48	0.95	1.43	1.91	2.39
- พลาสติก	6.00	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09
- เงิน	15,000.00	2.39	4.77	7.16	9.54	11.93
รวมรายได้ (ล้านบาท)		5.79	11.58	17.37	23.16	28.95

- ช่องว่างที่พบ

การก่อตั้งโรงงานหรือบริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิลอย่างครบวงจรนั้น สำหรับสถานการณ์นั้นถือว่ามีความเสี่ยงในด้านการลงทุน นอกจากนี้ในบางกระบวนการจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่เฉพาะทางที่มีราคาสูง และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับซากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งในด้านการรวบรวม กระบวนการคัดแยกที่มีประสิทธิภาพ ทำให้การนำเข้าเทคโนโลยีสำหรับการคัดแยกและการรีไซเคิลยังมีไม่มาก [6] อีกทั้งยังขาดการส่งเสริมธุรกิจการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจรในประเทศ เช่น เงินลงทุนสนับสนุน การจัดหาซากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

ปัจจุบันวัสดุมีค่าที่ได้จากกระบวนการคัดแยกซากเซลล์แสงอาทิตย์ทางกายภาพ เช่น เหล็ก กระจก ทองแดง และอะลูมิเนียม เป็นต้น เป็นกลุ่มวัสดุพื้นฐานที่มีตลาดที่รองรับ แต่วัสดุมีค่าจากกระบวนการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยกระบวนการทางเคมี เช่น เงิน ซิลิคอน เป็นต้น นั้นเป็นกลุ่มวัสดุที่ยังไม่มีตลาดรองรับ ทำให้การจัดตั้งโรงงานหรือบริษัทที่รับรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจรภายในประเทศดำเนินการได้ยาก เพราะมีความเสี่ยงในการลงทุนสูง

7.3.4 ด้านกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย

- สถานการณ์ปัจจุบัน

ประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เฉพาะเจาะจงอย่างชัดเจน แต่อาจพิจารณามาตรการทางกฎหมายตามพระราชบัญญัติและกฎหมายลำดับรองที่เกี่ยวข้องตลอดจนแนวนโยบายต่างๆ ของทางรัฐที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมาปรับใช้ให้มีความเหมาะสมในการจัดการซาก

เซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งในด้านการรวบรวม ติดตามข้อมูล เกณฑ์การคัดแยกส่วนประกอบของซากเซลล์แสงอาทิตย์ และการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น

- 1) พระราชบัญญัติการสาธารณสุข (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2560 [10]
- 2) พระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2560 [11]
- 3) พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2562 [12]
- 4) ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการปฏิบัติเกี่ยวกับการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2551 [13]
- 5) ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการปฏิบัติเกี่ยวกับการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วของผู้ประกอบกิจการบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2550 [14]
- 6) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง หลักเกณฑ์การพิจารณาอนุญาตประเภทหรือชนิดของโรงงาน ลำดับที่ 105 และลำดับที่ 106 [15]

นอกจากนี้ประเทศไทยได้นำกฎหมายอนุวัตรตามกฎระเบียบ Waste electrical and electronic equipment directive (WEEE Directive) มาเป็นแนวทางในการร่างกฎหมายเกี่ยวกับการจัดการขยะจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อรองรับของเสียประเภทอิเล็กทรอนิกส์ในอนาคต

- ช่องว่างที่พบ

กฎหมายความรับผิดชอบของผู้ผลิต (Extended producer responsibility; EPR) ของประเทศไทยที่ยังไม่แน่ชัด เนื่องจากยังไม่ได้มีการออกกฎหมายที่ระบุและบรรจุแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic panels) เข้าไปในกลุ่มขยะในความรับผิดชอบของผู้ผลิต เมื่อเทียบกับประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปที่มีการระบุแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าไปในกลุ่มขยะในความรับผิดชอบของผู้ผลิต ที่ภายหลังพัฒนายอดมาจากหลักการผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย (Polluter pay principle; PPP) [9]

กฎหมายความรับผิดชอบของผู้ผลิต (Extended producer responsibility; EPR) ของประเทศไทยที่ยังไม่แน่ชัด เนื่องจากยังไม่ได้มีการออกกฎหมายที่ระบุและบรรจุแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic panels) เข้าไปในกลุ่มขยะในความรับผิดชอบของผู้ผลิต เมื่อเทียบกับประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปที่มีการระบุแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าไปในกลุ่มขยะในความรับผิดชอบของผู้ผลิต ที่ภายหลังพัฒนายอดมาจากหลักการผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย (Polluter pay principle; PPP) [9]

7.4 การวิเคราะห์ช่องว่างด้านผังการไหลและผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์

ในการจัดทำผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์ ช่องว่างหลักที่สำคัญคือ ด้านการจัดการข้อมูล ซึ่งควรต้องมีการรวบรวม/จัดทำข้อมูลอย่างเป็นระบบ รวมถึงควรมีการศึกษา/วิจัยอย่างต่อเนื่อง และเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการไปต่อยอดด้านต่างๆ เช่น การวางแผนนโยบาย หลักปฏิบัติ การ

จัดการสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ดังนั้นเป้าหมายของการจัดทำผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยคือ การจัดทำผังการไหลตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของกระบวนการผลิต/ใช้/กำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในปี พ.ศ. 2565 โดยอ้างอิงตามกรอบเวลาของ (ร่าง) แผนที่นำทางในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) [16] ดังกล่าวในบทที่ 4

การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยต่อยอดข้อมูลมาจากการจัดทำผังการไหล ดังนั้นเป้าหมายของการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตจึงมีความสอดคล้องกับการจัดทำผังการไหลเช่นกัน เพราะฉะนั้นหากอ้างอิงตามกรอบเวลาของ (ร่าง) แผนที่นำทางในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) เป้าหมายในการประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์คือ การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ภายในปี พ.ศ. 2565 ในด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลกระทบด้านอื่นๆ ในอีกหลากหลายด้าน เพื่อให้สามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Emission factor) ของประเทศได้ในอนาคต

7.4.1 ด้านการจัดการข้อมูล

- สถานการณ์ปัจจุบัน

สำหรับผังการไหล สถานการณ์ปัจจุบัน ในต่างประเทศมีการรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณของเซลล์แสงอาทิตย์โดยละเอียด ตั้งแต่กระบวนการผลิต การติดตั้ง และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้น (ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ) ซึ่งมีการจัดทำ/วิเคราะห์ข้อมูลผังการไหลเป็นรายละเอียดวัตถุดิบ/ทรัพยากรของประเทศนั้นๆ โดยเฉพาะในแถบสหรัฐอเมริกาและยุโรป อีกทั้งมีการเผยแพร่ การปรับข้อมูลให้ทันสมัยอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามในส่วนของการจัดการการผลิตและการติดตั้งยังแสดงเป็นหน่วยทางไฟฟ้า (วัตต์) ไม่ได้ระบุเป็นเชิงมวล สำหรับซากเซลล์แสงอาทิตย์มีการรวบรวมข้อมูลปริมาณ รวมถึงการคาดการณ์ปริมาณซากในอนาคต ซึ่งข้อมูลเหล่านี้หลายประเทศมีหน่วยงานในการรวบรวมข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ส่วนสถานการณ์ปัจจุบันในประเทศไทยพบว่า มีการศึกษาวิจัยเซลล์แสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง แต่ข้อมูลของวัตถุดิบ/ทรัพยากรเชิงปริมาณที่รวบรวมได้มีความละเอียดน้อยกว่าของต่างประเทศ และข้อมูลส่วนใหญ่ยังคงเป็นการอ้างอิงข้อมูลจากต่างประเทศเท่านั้น ซึ่งอาจส่งผลให้การวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนได้ นอกจากนี้ยังไม่มี การบันทึกข้อมูลอย่างเป็นทางการและต่อเนื่อง เมื่อพิจารณาข้อมูลด้านการผลิต การติดตั้ง พบว่าเป็นการ แสดงในหน่วยทางไฟฟ้า (วัตต์) ไม่ได้ระบุเป็นหน่วยเชิงมวล สำหรับด้านการจัดการซาก ประเทศไทยมีการ รวบรวมข้อมูลปริมาณซากบางส่วนโดยเฉพาะในส่วนของภาคอุตสาหกรรม แต่ไม่มีการเผยแพร่ข้อมูลสู่ สาธารณะ อย่างไรก็ตามก็มีการคาดการณ์ซากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเตรียมนโยบายหรือแนวทางปฏิบัติในการ รองรับซากที่จะเกิดขึ้นในอนาคต แต่ทั้งนี้ยังไม่มีความชัดเจนในการรวบรวมและเผยแพร่ข้อมูลอย่างต่อเนื่อง

สำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต สถานการณ์ปัจจุบันในต่างประเทศมี การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมในหลายๆ ด้าน ซึ่งส่วนใหญ่มีการอ้างอิงหรือเก็บข้อมูลจริงในแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะข้อมูลเชิงปริมาณ อีกทั้งมีการแสดงผลเป็นช่วงและค่าเฉลี่ย รวมถึงมีการตรวจสอบ ปรับปรุง และ

เผยแพร่ข้อมูลอย่างต่อเนื่อง โดยมีหน่วยงานชัดเจนในการรวบรวมจัดทำข้อมูล ส่วนสถานการณ์ปัจจุบันในประเทศไทยพบว่า งานวิจัยในประเทศแม้จะมีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง แต่ยังมีปริมาณค่อนข้างน้อย โดยส่วนใหญ่เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งข้อมูลเชิงปริมาณส่วนมากก็เป็นการอ้างอิงจากต่างประเทศ อีกทั้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) ก็ยังไม่มีรวบรวมข้อมูล แสดงผลค่าเฉลี่ยของประเทศเผยแพร่อย่างเป็นทางการ โดยยังอยู่ในขั้นตอนการศึกษาและอ้างอิงจากงานวิจัยของ Gheewala และคณะ เท่านั้น [17-21]

- ช่องว่างที่พบ

เมื่อวิเคราะห์ช่องว่างของผังการไหลจากสถานการณ์ปัจจุบันไปสู่เป้าหมายที่กำหนดไว้ จะเห็นได้ว่าประเทศไทยยังไม่มีมีการรวบรวมข้อมูลภายในประเทศโดยละเอียดอย่างเป็นระบบ รวมถึงการแสดงผลอย่างเป็นทางการเผยแพร่สู่สาธารณะ ที่หน่วยงานต่างๆ หรือประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ ในส่วนของการผลิตและการติดตั้งไม่มีข้อมูลเชิงมวล อีกทั้งไม่มีหน่วยงานใดรวบรวมข้อมูลผังการไหลเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางอย่างบูรณาการ โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องยกตัวอย่างเช่น องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เป็นต้น

การวิเคราะห์ช่องว่างของการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตระหว่างสถานการณ์ปัจจุบันสู่เป้าหมายที่ตั้งไว้ จะเห็นได้ว่างานวิจัยด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยยังมีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับงานวิจัยต่างประเทศ รวมถึงยังไม่มีมีการรวบรวมข้อมูลภายในประเทศอย่างละเอียด และการแสดงผลเผยแพร่อย่างเป็นทางการ โดยยังไม่มีหน่วยงานใดเป็นผู้จัดทำ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเช่น องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) หรือ หน่วยงานอื่นๆ เป็นต้น

7.4.2 ด้านกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย

- สถานการณ์ปัจจุบัน

นโยบาย/มาตรการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และส่งผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ประกอบด้วย ยุทธศาสตร์แห่งชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) ที่ออกตามความตกลงปารีส (COP21) แผนพื้่นทางลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ (พ.ศ. 2564-2573) และแผนพลังงานชาติ (ค.ศ. 2065-2070) ที่อิงตามการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (COP26) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามความตกลงปารีส (COP21) พบว่าหลายๆ ประเทศมีแผนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนภายในปี ค.ศ. 2030 เช่น ประเทศอังกฤษตั้งเป้าลดก๊าซเรือนกระจกให้ได้ 80% ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนระบุว่า จะลดความเข้มข้นของคาร์บอนลง

60-65% ประเทศฟิลิปปินส์จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ต่ำกว่าปกติ 70% เป็นต้น ซึ่งจากทั้ง 3 ประเทศที่ยกตัวอย่างมีแนวโน้มทำได้สำเร็จ/ได้ดีกว่าที่ตั้งเป้าหมายไว้ สำหรับประเทศไทยมีการออกแผนระยะยาวตาม “การมีส่วนร่วมที่ประเทศกำหนด” (Nationally determined contribution: NDC) ที่ได้เสนอไปว่าจะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 20-25% หรือจำนวน 111-139 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ภายในปี ค.ศ. 2030 ตามความตกลงปารีส (COP21) โดยระบุอยู่ในยุทธศาสตร์แห่งชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) ยุทธศาสตร์ที่ 5 ว่าจะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 20-25% และเพิ่มพื้นที่ป่า 40% (128 ล้านไร่) ดำเนินการโดยจัดระบบอนุรักษ์ พื้นฟูและป้องกันการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ วางระบบบริหารจัดการน้ำอย่างบูรณาการ พัฒนาและใช้พลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในทุกภาคเศรษฐกิจ พัฒนาเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศและเมืองที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ร่วมลดปัญหาโลกร้อนและปรับตัวให้พร้อมรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์และนโยบายการคลังเพื่อสิ่งแวดล้อม

2) สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้ออกแผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี พ.ศ. 2564-2573 ขึ้น [22] ซึ่งตั้งเป้าหมายว่า ภายในปี พ.ศ. 2573 จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ 115.6 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยภาคพลังงานและการขนส่งตั้งเป้าลดให้ได้ 113 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งมาตรการที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์คือ มาตรการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 18 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมีหน่วยงานรับผิดชอบหลักได้แก่ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ซึ่งอีกมาตรการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์คือ มาตรการใช้พลังงานทดแทนในอุตสาหกรรมให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 32 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมีหน่วยงานรับผิดชอบหลักได้แก่ กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สศก.) สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สผ.) และ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.)

3) การประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (COP 26) ณ เมืองกลาสโกว์ ประเทศสหราชอาณาจักร สำหรับประเทศอื่นๆ ที่เข้าร่วม COP26 มีการวางแผนที่ชัดเจนอย่างเป็นทางการ เพื่อให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิให้เป็นศูนย์ ยกตัวอย่างเช่น ประเทศสิงคโปร์มีการบูรณาการแนวทางการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิให้เป็นศูนย์ไว้ในนโยบายระดับชาติ ประเทศสาธารณรัฐประชาชนลาวประกาศคำมั่นสัญญาทางการเมือง (Political Pledge) ในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิให้เป็นศูนย์ เป็นต้น ในส่วนของประเทศไทยตั้งเป้าให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิให้เป็นศูนย์ (Carbon neutral/Net zero) ภายในปี ค.ศ. 2065-2070 (พ.ศ. 2608-2613) จากเป้าหมายดังกล่าวประเทศไทยได้จัดทำแผนพลังงานชาติ (ค.ศ. 2065-2070) (สถานะอยู่ระหว่างการจัดทำรายละเอียดและรับฟังความคิดเห็น) ขึ้นโดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน เนื่องจากภาคพลังงานเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักของประเทศ หรือคิดเป็น 71.65% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งประเทศ ซึ่งแผนพลังงานชาติฉบับนี้มุ่งเน้นจัดการพลังงาน 4 ด้าน [23] ได้แก่ ด้านไฟฟ้า ด้านก๊าซธรรมชาติ ด้านน้ำมัน และ

ด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน โดยมุ่งเน้นการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลแล้วให้พึ่งพาพลังงานหมุนเวียน/พลังงานทดแทนมากขึ้น และมุ่งให้มีการเพิ่มสัดส่วนพลังงานทดแทนจากโรงไฟฟ้าใหม่ไม่น้อยกว่า 50%

จากแนวทางนโยบายทั้ง 3 แนวทางนี้ ทำให้ส่งผลต่อภาคการผลิตไฟฟ้า ภาคการขนส่ง รวมถึงภาคพลังงานอื่นๆ ที่ต้องมีการปรับนโยบาย/แผนต่างๆ เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายในอนาคตของทั้งประเทศต่อไป

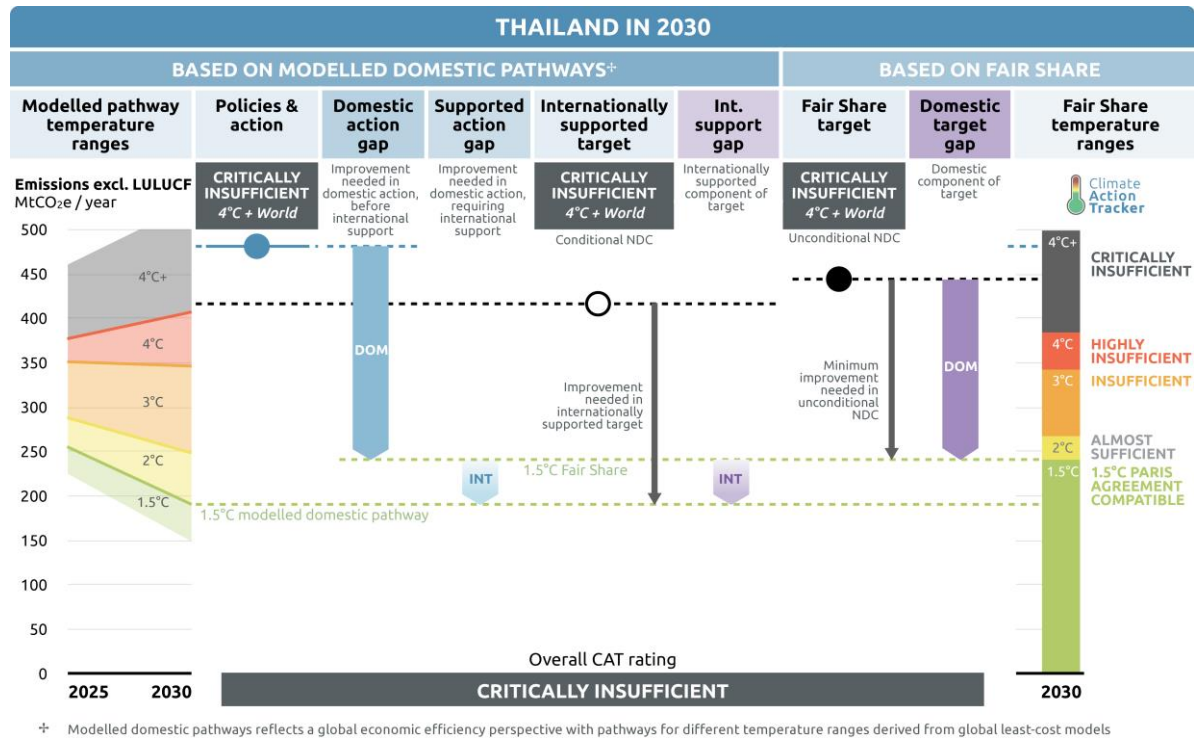
- ช่องว่างที่พบ

ช่องว่างที่พบตามแต่ละแผน/นโยบายต่างๆ ทั้ง 3 แนวทาง สรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ตามยุทธศาสตร์แห่งชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) ที่อ้างอิงเป้าหมายตามความตกลงปารีส (COP21) ประเทศไทยถูกประเมินความเป็นไปได้/วิเคราะห์ช่องว่างที่จะบรรลุเป้าหมาย COP21 โดยการวิเคราะห์ของโครงการภายใต้ความร่วมมือขององค์กรวิจัยนานาชาติเพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ (Climate action tracker: CAT) ว่า "ไม่มีแนวทางและเป้าหมายเพียงพอขั้นวิกฤต" (Critically insufficient) [24] แสดงดังรูปที่ 7-4 คือ ความเป็นไปได้ได้น้อยมากๆ ที่จะสำเร็จตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ทั้งใน ด้านนโยบายและทางปฏิบัติ ซึ่งหากจะปรับเปลี่ยนในสถานการณ์ดังกล่าวให้ดีขึ้นต้องได้รับการร่วมมือหลากหลายหน่วยงาน ทั้งองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) รวมถึงหน่วยงานรัฐและเอกชนอื่นๆ

2) ในส่วนของแผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี พ.ศ. 2564-2573 ยังอยู่ระหว่างเริ่มต้นดำเนินการตามแนวทาง ช่องว่างที่พบในเบื้องต้นคือ มาตรการที่ออกมาในลักษณะภาพรวมเท่านั้น ยังไม่มีมาตรการย่อยที่ชัดเจนที่จะปฏิบัติให้บรรลุถึงเป้าหมายของแผนที่นำทางฯ นี้

3) สำหรับเป้าหมายการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิให้เป็นศูนย์ (Net zero) ที่ประเทศไทย ตั้งไว้ใน COP26 นั้น สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (ทีดีอาร์ไอ) วิเคราะห์ว่า ประเทศไทยยังไม่มี การประกาศนโยบายหรือเป้าหมายการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิให้เป็นศูนย์ครอบคลุมทุกภาคส่วน ซึ่งมีเพียงกรอบพลังงานชาติที่ตั้งเป้าหมายที่เป็นรูปธรรมที่สุดเท่านั้น [25]



รูปที่ 7-4 การประเมินความเป็นไปได้ที่จะบรรลุเป้าหมายตามความตกลงปารีส (COP21) ของประเทศไทย [24]

7.5 สรุปการวิเคราะห์ช่องว่าง

สรุปการวิเคราะห์ช่องว่างด้านเทคโนโลยีการผลิต ด้านการใช้งาน ด้านการบริหารจัดการซาก และด้านฝังการไหลและการประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย ดังตารางที่ 7-7

ตารางที่ 7-7 สรุปการวิเคราะห์ช่องว่างของเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักร

หัวข้อหลัก	เป้าหมาย	หมวด	สถานการณ์ปัจจุบัน	ช่องว่างที่พบ	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
เทคโนโลยีการผลิต	สนับสนุนด้านการวิจัยและพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	ด้านการจัดการข้อมูล	- การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยของไทยหาได้ยากและไม่ครอบคลุมซึ่งส่วนใหญ่มาจากฐานข้อมูลต่างประเทศ - การรวบรวมข้อมูลด้านการผลิตในประเทศหาได้ยากซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่ไม่ได้รับการอัปเดตให้เป็นปัจจุบัน	- ขาดฐานข้อมูลที่รวบรวมข้อมูลด้านเซลล์แสงอาทิตย์ในไทยทั้งด้านงานวิจัยและด้านการผลิต	- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน - สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
เทคโนโลยีการผลิต	สนับสนุนด้านการวิจัยและพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	ด้านเทคโนโลยี	- ปัจจุบันประเทศไทยมีงานวิจัยด้านเซลล์แสงอาทิตย์น้อยเมื่อเทียบกับต่างประเทศและมีผู้วิจัยด้านเซลล์แสงอาทิตย์น้อยเมื่อเทียบกับผู้วิจัยในประเทศ - งานวิจัยในปัจจุบันของประเทศไทยสอดคล้องกับงานวิจัยต่างประเทศแต่ด้านประสิทธิภาพยังด้อยกว่า - เทคโนโลยีการผลิตในประเทศสอดคล้องกับต่างประเทศแต่ปริมาณการผลิตเพื่อใช้ในประเทศยังน้อยอยู่เมื่อเทียบกับปริมาณการผลิตไฟฟ้าตามแผน PDP	- ขาดผลงานวิจัยและผู้วิจัยด้านเซลล์แสงอาทิตย์ - ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในงานวิจัยของประเทศไทยยังต่ำกว่าของต่างประเทศ - ปริมาณการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในประเทศยังน้อยอยู่	- สถาบันการศึกษา - สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ - กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน - สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

ตารางที่ 7-7 สรุปการวิเคราะห์ช่องว่างของเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักร (ต่อ)

หัวข้อหลัก	เป้าหมาย	หมวด	สถานการณ์ปัจจุบัน	ช่องว่างที่พบ	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
เทคโนโลยีการผลิต	สนับสนุนด้านการวิจัยและพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	ด้านเศรษฐศาสตร์	- มีบริษัทที่ลงทุนด้านการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยน้อย	- ไม่สามารถแข่งขันทางด้านต้นทุนการผลิตกับต่างประเทศได้ ซึ่งเกิดจากวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตมีต้นทุนสูงจากการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศ	- หน่วยงานเอกชน - กระทรวงการคลัง - BOI
เทคโนโลยีการผลิต	สนับสนุนด้านการวิจัยและพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	ด้านกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย	- การสนับสนุนทางด้านภาษีเป็นการสนับสนุนการส่งออกมากกว่าการผลิตใช้ในประเทศ - การสนับสนุนด้านการใช้งานเป็นการสนับสนุนการนำเข้าเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งมากกว่าการใช้ในประเทศ	- ขาดมาตรการทางภาษีที่ส่งเสริมการลงทุนเพื่อผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครบวงจร และอุปกรณ์ระบบติดตั้งที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต - ขาดมาตรการสนับสนุนการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการดึงดูดให้มีการลงทุนในประเทศ	- กระทรวงการคลัง - BOI
การใช้งาน	ประเทศไทยมีผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ตามแผน PDP หรือสูงกว่า	ด้านการจัดการข้อมูล	- ข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่รวบรวมได้ส่วนใหญ่จะเป็นโรงไฟฟ้าเอกชนในกลุ่ม IPP SPP และ VSPP เป็นหลัก	- ข้อมูลการติดตั้งใช้งานกลุ่ม Off-grid และ Standalone ยังเก็บรวบรวมข้อมูลได้ไม่ครบถ้วน	- ข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่รวบรวมได้ส่วนใหญ่จะเป็นโรงไฟฟ้าเอกชนในกลุ่ม IPP SPP และ VSPP เป็นหลัก
การใช้งาน	ประเทศไทยมีผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ตามแผน PDP หรือสูงกว่า	ด้านเทคโนโลยี	- ผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้ามุ่งเน้นการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก	- ผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้ามีการระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ ในปริมาณน้อย	- สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน - กระทรวงพลังงาน - การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค - การไฟฟ้านครหลวง

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

ตารางที่ 7-7 สรุปการวิเคราะห์ช่องว่างของเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักร (ต่อ)

หัวข้อหลัก	เป้าหมาย	หมวด	สถานการณ์ปัจจุบัน	ช่องว่างที่พบ	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
การใช้งาน	ประเทศไทยมีผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ตามแผน PDP หรือสูงกว่า	ด้านเศรษฐศาสตร์	- ต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าค่อนข้างสูง	- มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากระบบแสงอาทิตย์มีค่าค่อนข้างต่ำ - ผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับประโยชน์จากการขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้า และผลิตเพื่อใช้เองเป็นหลัก	- สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน - กระทรวงพลังงาน
การใช้งาน	ประเทศไทยมีผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ตามแผน PDP หรือสูงกว่า	ด้านกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย	- มีผู้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบ On-grid โดยไม่ขออนุญาต	- กฎหมายด้านการติดตั้งใช้งานยังไม่ครอบคลุมสำหรับผู้ติดตั้งใช้งานในกลุ่ม Off-grid หรือ Standalone	- สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน - การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค - การไฟฟ้านครหลวง
การบริหารจัดการซาก	การรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถูกต้อง และมากกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนัก	ด้านการจัดการข้อมูล	- ข้อมูลปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ภาคอุตสาหกรรมอยู่ภายใต้การดูแลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม - ข้อมูลด้านกระบวนการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยยังไม่เผยแพร่มากนัก	- ขาดระบบสำหรับหน่วยงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ครบวงจร - ขาดการนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับซากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์ได้ทุกฝ่าย - ขาดการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ภาคประชาชนและอื่นๆ - ขาดวิธีการจัดการและควบคุมปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ในภาคประชาชนและอื่นๆ	- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี - สถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัย - กรมโรงงานอุตสาหกรรม - กรมควบคุมมลพิษ - กระทรวงสาธารณสุข - หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

ตารางที่ 7-7 สรุปการวิเคราะห์ช่องว่างของเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักร (ต่อ)

หัวข้อหลัก	เป้าหมาย	หมวด	สถานการณ์ปัจจุบัน	ช่องว่างที่พบ	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
การบริหารจัดการซาก	การรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถูกต้อง และมากกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนัก	ด้านเทคโนโลยี	- ผลการวิจัยและพัฒนาการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจรยังไม่ครบถ้วน - เทคโนโลยีสำหรับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจรอยู่เพียงแค่ระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale)	- ขาดการสนับสนุนงานวิจัยด้านการพัฒนาเทคโนโลยีและสร้างนักวิจัยภายในประเทศ - ขาดการขยายผลจากระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) สู่ระดับนำร่อง (Pilot scale) - ขาดการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุที่ได้จากการรีไซเคิล - ขาดมาตรฐานที่รับรองประสิทธิภาพและคุณสมบัติของวัสดุมีค่าที่นำกลับจากชิ้นส่วนซากเซลล์แสงอาทิตย์	- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ - สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) - กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี - สถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัย - หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน
การบริหารจัดการซาก	การรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถูกต้อง และมากกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนัก	ด้านเศรษฐศาสตร์	- การลงทุนเพื่อจัดตั้งโรงงาน/บริษัทที่รับจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจรภายในประเทศยังไม่คุ้มทุน - ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศยังมีไม่มากนัก	- ขาดการส่งเสริมธุรกิจการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจรภายในประเทศ เช่น เงินลงทุนสนับสนุน การจัดหาซากเซลล์แสงอาทิตย์ - ขาดตลาดสำหรับรองรับวัสดุที่ได้หลังจากผ่านการรีไซเคิล - ขาดซากเซลล์แสงอาทิตย์ในดำเนินการโรงงานนำร่องได้	- กระทรวงพาณิชย์ - กระทรวงการคลัง (กรมสรรพสามิต และ กรมสรรพากร) - กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี - กรมโรงงานอุตสาหกรรม - ธนาคารหรือแหล่งเงินทุน - หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนหน่วยงานรัฐและเอกชน

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

ตารางที่ 7-7 สรุปการวิเคราะห์ช่องว่างของเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักร (ต่อ)

หัวข้อหลัก	เป้าหมาย	หมวด	สถานการณ์ปัจจุบัน	ช่องว่างที่พบ	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
การบริหารจัดการซาก	การรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถูกต้อง และมากกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนัก	ด้านกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย	- หลักเกณฑ์สำหรับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจรยังไม่ชัดเจน - มีหลักเกณฑ์สำหรับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงแค่ภาคอุตสาหกรรม	- ขาดกฎหมายความรับผิดชอบของผู้ผลิต (Extended producer responsibility; EPR) - ขาดกฎหมายที่ระบุและบรรจุแผนเซลล์แสงอาทิตย์เข้าไปในกลุ่มขยะในความรับผิดชอบของผู้ผลิต - ขาดหลักการผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย (Polluter pay principle; PPP) ที่ต่อยอดมาจากกฎหมายความรับผิดชอบของผู้ผลิต - ขาดความชัดเจนในการตั้งหลักเกณฑ์สำหรับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจร - ขาดหลักเกณฑ์และมาตรฐานสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองที่จะเกิดขึ้นอนาคต	- กระทรวงสาธารณสุข - กระทรวงอุตสาหกรรม - กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม - กระทรวงพาณิชย์ - สำนักนายกรัฐมนตรี

ตารางที่ 7-7 สรุปการวิเคราะห์ช่องว่างของเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักร (ต่อ)

หัวข้อหลัก	เป้าหมาย	หมวด	สถานการณ์ปัจจุบัน	ช่องว่างที่พบ	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
ผังการไหล	จัดทำผังการไหลตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในปี พ.ศ. 2565	ด้านการจัดการข้อมูล	- ยังไม่มีการจัดทำข้อมูลผังการไหลโดยละเอียด - รวบรวมข้อมูลผังการไหลโดยอ้างอิงจากต่างประเทศ - ไม่มีการปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัยอย่างต่อเนื่อง - ปริมาณการผลิตและการติดตั้งเป็นหน่วยไฟฟ้า (วัตต์) ไม่ได้ระบุเชิงมวล - มีการรวบรวมข้อมูลจากเซลล์แสงอาทิตย์ในบางหน่วยงาน แต่ไม่มีการเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะ - มีการคาดการณ์จากเซลล์แสงอาทิตย์ - ไม่มีหน่วยงานชัดเจนในการรวบรวมข้อมูลอย่างต่อเนื่อง	- ไม่มีการรวบรวมข้อมูลภายในประเทศอย่างละเอียด รวมถึงการแสดงผลอย่างเป็นทางการ - ข้อมูลปริมาณการผลิตและการติดตั้งไม่มีข้อมูลเชิงมวล - ไม่มีข้อมูลปริมาณจากเผยแพร่สาธารณะ - ไม่มีหน่วยงานใดมีหน้าที่ชัดเจนในการจัดทำ	- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) - กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) - การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)
ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในปี พ.ศ. 2565	ด้านการจัดการข้อมูล	- ส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก - อ้างอิงข้อมูลปริมาณจากต่างประเทศ - ไม่มีการแสดงผลเป็นช่วงและค่าเฉลี่ยของประเทศ - ไม่มีการตรวจสอบและปรับปรุงข้อมูลอย่างต่อเนื่อง - ไม่มีหน่วยงานรับผิดชอบชัดเจนในการรวบรวมข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์ - ไม่มีหน่วยงานเผยแพร่ข้อมูลให้ทันสมัยอย่างต่อเนื่อง	- มีงานวิจัยค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับงานวิจัยต่างประเทศ - ไม่มีการรวบรวมข้อมูลภายในประเทศอย่างละเอียด - ไม่มีแสดงผลสรุปของทั้งประเทศอย่างเป็นทางการ - ไม่มีหน่วยงานใดมีหน้าที่ชัดเจนในการจัดทำ	- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) - กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) - การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)

ตารางที่ 7-7 สรุปการวิเคราะห์ช่องว่างของเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักร (ต่อ)

หัวข้อหลัก	เป้าหมาย	หมวด	สถานการณ์ปัจจุบัน	ช่องว่างที่พบ	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศ 20-25% ภายในปี ค.ศ. 2030	ด้านกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย	- ออกแผนระยะยาวระบุในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) ยุทธศาสตร์ที่ 5	- จากการวิเคราะห์ของ CAT ประเทศไทยถูกประเมินว่า "ไม่มีแนวทางและเป้าหมายเพียงพอชั้นวิกฤต"	- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) - กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) - การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) - หน่วยงานรัฐและเอกชนอื่นๆ
ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงานและการขนส่ง 113 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ภายในปี พ.ศ. 2573	ด้านกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย	- ออกแผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี พ.ศ. 2564-2573	- ไม่มีมาตรการย่อยที่ชัดเจนเพื่อบรรลุถึงเป้าหมายของแผนที่นำทางฯ นี้	- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) - การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) - การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) - การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) - กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) - สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สศก.) - สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สผ.) - องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.)
ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (เพิ่มสัดส่วนพลังงานทดแทนไม่น้อยกว่า 50%) ภายในปี ค.ศ. 2065-2070	ด้านกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย	- กำลังดำเนินการออกแผนพลังงานชาติ (ค.ศ. 2065-2070)	- จากการวิเคราะห์ของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (ทีดีอาร์ไอ) ประเมินว่า ไม่มีนโยบายการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิให้เป็นศูนย์ครอบคลุมทุกภาคส่วน	- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) - กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) - กรมธุรกิจพลังงาน - กรมการขนส่งทางบก

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลัง. “คู่มือแนวทางป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและวิธีกำจัดกากขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับประเทศไทย.” [Online], Available: https://www.dede.go.th/ewtadmin/ewt/dede_web/download/banner_60/1_Quotation009-2560.pdf. 2021.
- [2] กระทรวงอุตสาหกรรม. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือ การจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [3] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. “คู่มือการใช้งานระบบ E- fully Manifest.” [Online], Available: http://www.genco.co.th/Document/e_manifest_manual.pdf. 2021.
- [4] ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย. “โครงการความร่วมมือทางวิชาการเพื่อสนับสนุนนโยบายและแนวปฏิบัติในการจัดการของเสีย.” [Online], Available: https://hsm.chula.ac.th/waste_talk/WASTE%20TALK%20Vol.2.pdf. 2021.
- [5] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. “รหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.” [Online], Available: <http://iwmb2.diw.go.th/e-waste/EU2.asp?co=1602>. 2021.
- [6] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. “กพร. เปิดผลสำเร็จจีไอเซลล์เงินบริสุทธิ์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแห่งแรกของไทย พร้อมเดินเกมรุกเร่งจีไอเซลล์ขยะหมุนเวียนเป็นทรัพยากรทดแทนให้เกิดประโยชน์สูงสุด.” [Online], Available: <http://www.dpim.go.th/purchase/article?catid=102&articleid=11461>. 2021.
- [7] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. “ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิล กพร. รับมอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุ จากบริษัท เอท โซลาร์ จำกัด.” [Online], Available: <http://www.dpim.go.th/maincontent/article?catid=121&articleid=13638>. 2021.
- [8] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. “การศึกษาแนวทางการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่และพัฒนาโรงงานรีไซเคิลซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ต้นแบบของประเทศไทย.” [Online], Available: <https://oldweb.diw.go.th/hawk/showinfo.php?mode=info&id=3217>. 2021.
- [9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาศักยภาพเชิงพื้นที่ในการบริหารจัดการกากขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. พ.ศ. 2561.
- [10] สำนักคณะกรรมการกฤษฎีกา. “พระราชบัญญัติการสาธารณสุข (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2560.” [Online], Available: <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2560/A/065/48.PDF>. 2021.

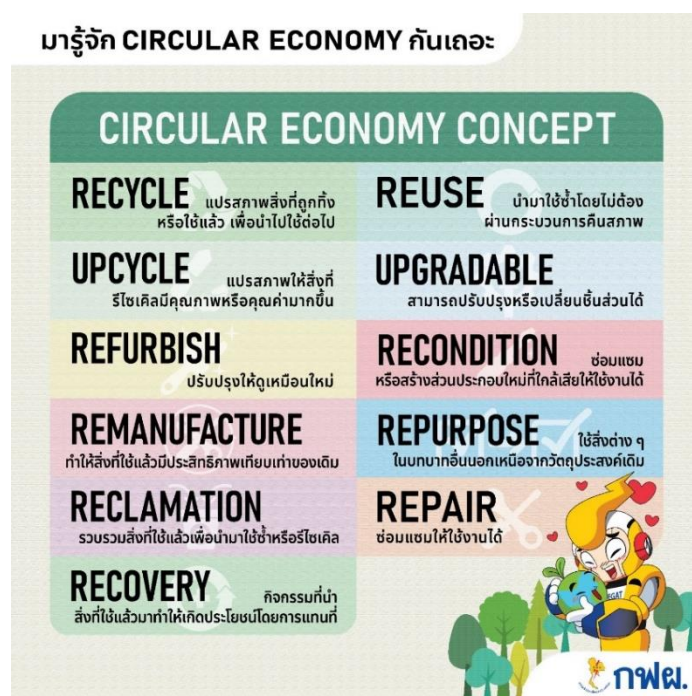
- [11] สำนักคณะกรรมการกฤษฎีกา. “พระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2560.” [Online], Available: <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2560/A/005/1.PDF>. 2021.
- [12] สำนักคณะกรรมการกฤษฎีกา. “พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2562.” [Online], Available: http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2562/A/056/T_0231.PDF. 2021.
- [13] สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี. “ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการปฏิบัติเกี่ยวกับการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2551.” [Online], Available: <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2551/D/103/15.PDF>. 2021.
- [14] สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี. “ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการปฏิบัติเกี่ยวกับการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วของผู้ประกอบกิจการบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2550.” [Online], Available: https://old.ieat.go.th/handbook/Program_IEAT/pages/th/Department/IND.html. 2021.
- [15] สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี. “ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง หลักเกณฑ์การพิจารณาอนุญาตประเภทหรือชนิดของโรงงาน ลำดับที่ 105 และลำดับที่ 106.” [Online], Available: https://old.ieat.go.th/handbook/Program_IEAT/pdf/laws/full/FAC077.pdf. 2021.
- [16] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2563. โครงการพัฒนามาตรฐานด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดใช้พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (การจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ประกอบและแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า), บทที่ 13 จัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายการบริหารจัดการซากอย่างครบวงจรและจัดทำแผนที่นำทาง (Road map)
- [17] Eskew, J., Ratledge, M., Wallace, M., Gheewala, S.H., and Rakkwamsuk, P. 2018. An environmental Life Cycle Assessment of rooftop solar in Bangkok, Thailand. Renewable Energy, 123, 781-792.
- [18] Eskew, J., Ratledge, M., Wallace, M., Gheewala, S., and Rakkwamsuk, P. 2018. An environmental Life Cycle Assessment of rooftop solar in Bangkok, Thailand. Renewable Energy, 123, 781-792.
- [19] Smith, C., Burrows, J., Scheier, E., Young, A., Smith, J., Young, T., and Gheewala, S.H. 2015. Comparative Life Cycle Assessment of a Thai Island's diesel/PV/wind hybrid microgrid. Renewable Energy, 80, 85-100.
- [20] Kittner, N., Gheewala, S.H., and Kamens, R.M. 2013. An environmental life cycle comparison of single-crystalline and amorphous-silicon thin-film photovoltaic systems in Thailand. Energy for Sustainable Development, 17, 605-614.

-
- [21] Clemons, S.K.C., Salloum, C.R., Herdegen, K.G., Kamens, R.M., and Gheewala, S.H. 2021. Life cycle assessment of a floating photovoltaic system and feasibility for application in Thailand. *Renewable energy*, 168, 448-462.
- [22] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2564. แผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564 – 2573. [Online], Available: <https://www.onep.go.th/book/%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%B3%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A5%E0%B8%94%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8B%E0%B9%80%E0%B8%A3/>.
- [23] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2564. แผนพลังงานชาติ (National Energy Plan). [Online], Available: <http://www.eppo.go.th/epposite/index.php/th/petroleum/oil/link-doeb/item/17093-nep>
- [24] CAT. 2021. Targets: Thailand. Available: <https://climateactiontracker.org/countries/thailand/targets/>.
- [25] สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (ทีดีอาร์ไอ). 2564. ‘COP26’ เป้าหมาย ‘เน็ตซีโร่’ ไทย ก้าวทันประชาคมโลก?. [Online], Available: <https://tdri.or.th/2021/10/thailand-netzero-cop26/>.

บทที่ 8

ข้อเสนอแนะแนวทางการศึกษา วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการบริหารจัดการ จากการใช้พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)

จากการวิเคราะห์ช่องว่าง (Gap analysis) ในบทที่ 7 จึงนำมาพิจารณาจัดทำข้อเสนอแนะต่างๆ รวมถึงระบุกลุ่มงาน กลไก/รูปแบบที่ใช้ขับเคลื่อน วัตถุประสงค์ กลุ่มเป้าหมาย ผลที่คาดว่าจะได้รับ/ตัวชี้วัด หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และการดำเนินงาน เพื่อให้ลดช่องว่างที่ได้จากวิเคราะห์ดังกล่าว และมีความสอดคล้องกับหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy: CE concept) โดยหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนมุ่งเน้นให้มีการใช้ทรัพยากรที่คุ้มค่าที่สุด ควบคู่ไปกับการทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ซึ่งสามารถนำมาปรับกระบวนการผ่านแนวทางต่างๆ ดังรูปที่ 8-1 ยกตัวอย่างเช่น การแปรรูป (Recycle) คือ การนำผลิตภัณฑ์ส่วนประกอบ หรือวัสดุที่ทิ้งหรือใช้แล้ว นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบ หรือวัสดุต่อไป การใช้ซ้ำ (Reuse) คือ การนำผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบ หรือวัสดุมาใช้อีกครั้งโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการผลิตใหม่หรือกระบวนการคืนสภาพ เป็นต้น ภาพรวมเส้นทางของเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่กระบวนการผลิต การใช้งาน จนถึงกระบวนการจัดการซาก สามารถใช้หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนในการจัดการทรัพยากรและของเสียให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้หลากหลายแนวทาง แสดงดังรูปที่ 8-2



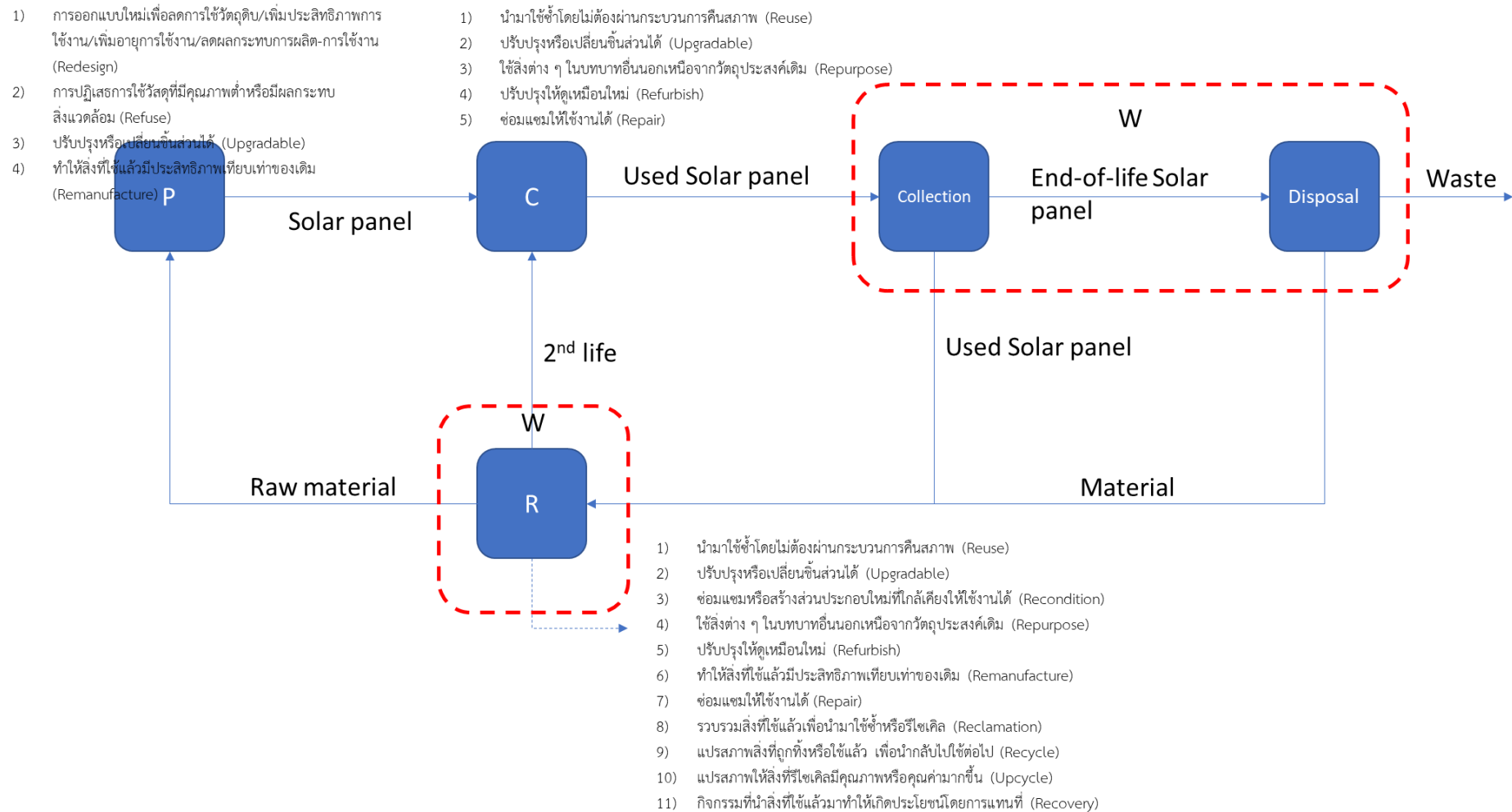
รูปที่ 8-1 แนวทางการทำเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)

(ที่มา: https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=3971:2021

0901-art01&catid=49:public-articles-egat&Itemid=251)

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน



รูปที่ 8-2 แนวทางตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนของเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ

ข้อเสนอแนะพิจารณาตามที่ได้ดำเนินการวิเคราะห์ช่องว่าง ประกอบด้วย 4 หมวดหลัก ได้แก่

- 1) หมวดการจัดการข้อมูล
- 2) หมวดเทคโนโลยี
- 3) หมวดเศรษฐศาสตร์
- 4) หมวดกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย

ซึ่งในแต่ละหมวดนั้น คำนึงถึงด้านเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ ด้านการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ และด้านฝั่งการผลิตและผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบ่งออกเป็นกิจกรรมต่างๆ ที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางต่อยอดในเชิงการศึกษา วิจัย การสาธิตริเริ่ม ตลอดจนการดำเนินงานได้

8.1 หมวดการจัดการข้อมูล

สรุปช่องว่างที่พบและข้อเสนอแนะในหมวดการจัดการข้อมูลของแต่ละด้านได้ต่อไปนี้

8.1.1 ด้านเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

- ช่องว่างที่พบ
 - 1) ขาดฐานข้อมูลที่รวบรวมข้อมูลด้านเซลล์แสงอาทิตย์ในไทยทั้งด้านงานวิจัยและด้านการผลิต
- ข้อเสนอแนะ
 - 1) ควรมีหน่วยงานหลักในการรับผิดชอบ และร่วมมือประสานกับหน่วยงานอื่นๆ ในการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์โดยการสร้างแพลตฟอร์มที่รวบรวมข้อมูลทั้งหมดไว้ มีการตรวจสอบข้อมูลก่อนการเผยแพร่ มีการอัปเดตข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน และทุกคนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย หลากหลายวิธีการ

8.1.2 ด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

- ช่องว่างที่พบ
 - 1) ข้อมูลการติดตั้งของผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในกลุ่ม Off-grid และ Standalone ยังเก็บรวบรวมข้อมูลได้ไม่ครบถ้วน
 - 2) ยังไม่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองที่ถูกเปลี่ยนเจ้าของ เพื่อติดตามการใช้งาน
 - 3) ไม่มีฐานข้อมูลหรือมาตรการติดตามอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานเพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าถึงได้

- ข้อเสนอแนะ

- 1) จัดทำฐานข้อมูลของกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้ครอบคลุมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบ
- 2) จัดทำฐานข้อมูลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อถือได้

8.1.3 ด้านการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

- ช่องว่างที่พบ

- 1) ขาดระบบสำหรับหน่วยงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ครบวงจร
- 2) ขาดการนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับซากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์ได้ทุกฝ่าย
- 3) ขาดการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ภาคประชาชนและอื่นๆ
- 4) ขาดวิธีการจัดการและควบคุมปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ในภาคประชาชนและอื่นๆ

- ข้อเสนอแนะ

- 1) วางระบบในการติดตามและตรวจสอบข้อมูลของซากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าเซลล์แสงอาทิตย์ และผู้ประกอบการกำจัดของเสียในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์
- 2) วางระบบในการติดตามและตรวจสอบข้อมูลของซากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับภาคประชาชนและอื่นๆ ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์
- 3) จัดการอบรมเผยแพร่หรือจัดทำคู่มือข้อมูลเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเผยแพร่ข้อมูลโดยความร่วมมือของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
- 4) ดำเนินการจัดประชุมหารือ เพื่อระบุประเภท การจัดการ และรหัสกากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมแก่ซากเซลล์แสงอาทิตย์

8.1.4 ด้านผังการไหล

- ช่องว่างที่พบ

- 1) ไม่มีการรวบรวมข้อมูลภายในประเทศอย่างละเอียด รวมถึงการแสดงผลอย่างเป็นทางการ
- 2) ข้อมูลปริมาณการผลิตและการติดตั้งไม่มีข้อมูลเชิงมวล
- 3) ไม่มีข้อมูลปริมาณซากเผยแพร่สาธารณะ
- 4) ไม่มีหน่วยงานใดมีหน้าที่ชัดเจนในการจัดทำ

- ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรส่งเสริม พัฒนา งานวิจัยจัดทำผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศให้ครอบคลุม ตั้งแต่กระบวนการผลิต การใช้งาน และการจัดการซาก โดยละเอียด
- 2) ควรมีการศึกษา รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลจากหน่วยไฟฟ้าแปลงเป็นหน่วยเชิงปริมาณ เช่น จำนวนแผงต่อกำลังไฟ มวลต่อแผง เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการประมาณปริมาณของเซลล์แสงอาทิตย์ที่กำลังมีการใช้งาน รวมถึงซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้
- 3) ควรมีการเผยแพร่ข้อมูลปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ และอัปเดตอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทุกหน่วยงานหรือผู้สนใจสามารถเข้าถึงข้อมูล รวมถึงใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวางแผน/กำหนดนโยบายต่างๆ สำหรับการจัดการซากให้สอดคล้องกับหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนยิ่งขึ้น
- 4) การจัดทำผังการไหลของเซลล์แสงอาทิตย์ให้สมบูรณ์ ควรต้องมีหน่วยงานหลักที่ทำหน้าที่รับผิดชอบในการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำการวิเคราะห์รวมข้อมูลในมีความสอดคล้องกันตลอดผังการไหล

8.1.5 ด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม

- ช่องว่างที่พบ

- 1) มีงานวิจัยค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับงานวิจัยต่างประเทศ
- 2) ไม่มีการรวบรวมข้อมูลภายในประเทศอย่างละเอียด
- 3) ไม่มีแสดงผลสรุปของทั้งประเทศอย่างเป็นทางการ
- 4) ไม่มีหน่วยงานใดมีหน้าที่ชัดเจนในการจัดทำ

- ข้อเสนอแนะ

- 1) ส่งเสริมการผลิตงานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมาย (ร่าง) แผนที่น่าทางในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ ของ กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.)
- 2) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมต้องทำควบคู่ไปกับการจัดทำผังการไหล จึงควรมีการจัดทำผังการไหลเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศโดยละเอียด เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ละเอียดตามไปด้วยเช่นกัน
- 3) ควรมีการสรุปผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้งประเทศอย่างเป็นทางการ โดยรวบรวมจากการศึกษาหรืองานวิจัยต่างๆ ในประเทศ แล้วนำมาสรุปผลเป็นช่วงหรือค่าเฉลี่ย พร้อมกับอัปเดตและเผยแพร่ผลดังกล่าวสู่สาธารณะอย่างต่อเนื่อง
- 4) ควรต้องมีหน่วยงานหลักที่ทำหน้าที่รับผิดชอบในการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำการวิเคราะห์จัดทำผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต รวมถึง

รวบรวมข้อมูลงานวิจัยต่างๆ ในประเทศที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์

8.2 หมวดเทคโนโลยี

สรุปช่องว่างที่พบและข้อเสนอแนะในหมวดเทคโนโลยีของแต่ละด้านได้ต่อไปนี้

8.2.1 ด้านเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

- ช่องว่างที่พบ
 - 1) ขาดผลงานวิจัยและผู้วิจัยด้านเซลล์แสงอาทิตย์
 - 2) ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในงานวิจัยของประเทศยังต่ำกว่าของต่างประเทศ
 - 3) ปริมาณการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในประเทศยังน้อยอยู่
- ข้อเสนอแนะ
 - 1) ควรมีการสนับสนุนงบประมาณจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นในการวิจัยด้านเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นการดึงดูดให้มาเป็นผู้วิจัยเพิ่มขึ้น มีการวิจัยต่อเนื่องและจริงจังมากขึ้นจะได้มีผลงานวิจัยที่เพิ่มขึ้น มีการสนับสนุนการต่อยอดจากงานวิจัยสู่การนำไปใช้จริงในภาคอุตสาหกรรม
 - 2) ควรมีการเพิ่มงบประมาณในการวิจัยเพื่อเพิ่มศักยภาพในการวิจัย การศึกษาเทคโนโลยีจากต่างประเทศที่เข้มข้นเพื่อเป็นต้นแบบและนำมาปรับใช้กับงานวิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
 - 3) ควรมีการส่งเสริมการผลิตเพื่อใช้ในประเทศ มีแผนพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในประเทศไทย ที่สอดคล้องกับแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (PDP)

8.2.2 ด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

- ช่องว่างที่พบ
 - 1) ผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้ามีการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ ในปริมาณน้อย
 - 2) ขาดการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถเข้าถึงผู้ใช้ไฟฟ้าในทุกๆ ภาคส่วน
- ข้อเสนอแนะ
 - 1) เผยแพร่ จัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ และ/หรือ แพลตฟอร์มที่รวบรวมความรู้ความเข้าใจที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
 - 2) เผยแพร่ จัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ และ/หรือ แพลตฟอร์มที่รวบรวมความรู้ความเข้าใจที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ เช่น

ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System: ESS) ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) แพลตฟอร์มการซื้อขายไฟฟ้า (Energy Trading Platform: ETP) และโรงไฟฟ้าเสมือน (Virtual Power Plant: VPP) เป็นต้น

8.2.3 ด้านการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

- ช่องว่างที่พบ
 - 1) ขาดการสนับสนุนงานวิจัยด้านการพัฒนาเทคโนโลยีและสร้างนักวิจัยภายในประเทศ
 - 2) ขาดการขยายผลจากระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) สู่ระดับนำร่อง (Pilot scale)
 - 3) ขาดการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุที่ได้จากการรีไซเคิล
 - 4) ขาดมาตรฐานที่รับรองประสิทธิภาพและคุณสมบัติของวัสดุมีค่าที่นำกลับจากชิ้นส่วนซากเซลล์แสงอาทิตย์
- ข้อเสนอแนะ
 - 1) หน่วยงานภาครัฐหรือหน่วยงานวิจัย ให้งบประมาณสนับสนุนในการพัฒนาเทคโนโลยี
 - 2) จัดอบรมเผยแพร่ข้อมูลเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้น
 - 3) จัดโครงการโรงงานนำร่อง โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อต่อยอดด้านการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์จากระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) สู่ระดับนำร่อง (Pilot scale)

8.3 หมวดเศรษฐศาสตร์

สรุปช่องว่างที่พบและข้อเสนอแนะในหมวดเศรษฐศาสตร์ของแต่ละด้านได้ต่อไปนี้

8.3.1 ด้านเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

- ช่องว่างที่พบ
 - 1) ไม่สามารถแข่งขันทางด้านต้นทุนการผลิตกับต่างประเทศได้ ซึ่งเกิดจากวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตมีต้นทุนสูงจากการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศ
- ข้อเสนอแนะ
 - 1) ควรมีมาตรการส่งเสริมการลงทุนโดยการยกเว้นภาษีนำเข้าสำหรับวัตถุดิบที่จำเป็นในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่สามารถผลิตขึ้นใช้เองในประเทศได้ เพื่อที่จะสามารถแข่งขันกับต่างประเทศที่มีการลงทุนในประเทศไทยได้

8.3.2 ด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

- ช่องว่างที่พบ
 - 1) มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากระบบแสงอาทิตย์มีค่าค่อนข้างต่ำ

- 2) ผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับประโยชน์จากการขายไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้า และผลิตเพื่อใช้เองเป็นหลัก

- ข้อเสนอแนะ

- 1) จัดทำมาตรการสนับสนุนสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

8.3.3 ด้านการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

- ช่องว่างที่พบ

- 1) ขาดการส่งเสริมธุรกิจการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจรภายในประเทศ
- 2) ขาดตลาดสำหรับรองรับวัสดุที่ได้หลังจากผ่านการรีไซเคิล
- 3) ขาดซากเซลล์แสงอาทิตย์ในดำเนินการโรงงานนำร่องได้

- ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษากระบวนการก่อตั้งโรงงานจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจร
- 2) หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนให้งบประมาณสนับสนุนในด้านการลงทุน
- 3) จัดอบรมเผยแพร่ข้อมูล สำหรับการก่อตั้งโรงงานนำร่อง
- 4) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องดำเนินการจัดหาซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน เพื่อให้สามารถดำเนินการโรงงานนำร่องได้

8.4 หมวดกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย

สรุปช่องว่างที่พบและข้อเสนอแนะในหมวดกฎหมายข้อบังคับและนโยบายของแต่ละด้านได้ต่อไปนี้

8.4.1 ด้านเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

- ช่องว่างที่พบ

- 1) ขาดมาตรการทางภาษีที่ส่งเสริมการลงทุนเพื่อผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครบวงจร และอุปกรณ์ระบบติดตั้งที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต
- 2) ขาดมาตรการสนับสนุนการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการดึงดูดเพื่อให้มีการลงทุนในประเทศ

- ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีมาตรการส่งเสริมการลงทุนที่ช่วยในเรื่องภาษีสำหรับการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานหรือจำหน่ายในประเทศเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตและดึงดูดผู้ลงทุนให้มากขึ้น
- 2) ควรมีมาตรการส่งเสริมการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตในประเทศ เพื่อเป็นการแรงจูงใจในการใช้สินค้าภายในประเทศและเป็นการดึงดูดนักลงทุนให้มีการลงทุนในประเทศเพิ่มมากขึ้นด้วย

8.4.2 ด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

- ช่องว่างที่พบ
 - 1) การบังคับใช้กฎหมายข้อบังคับยังไม่สัมฤทธิ์ผลมากนักทั้งในกลุ่ม On-grid แบบไม่ขายไฟ และกลุ่ม Off-grid หรือ Standalone
 - 2) กลไกและระเบียบข้อบังคับการติดตามข้อมูลของผู้ติดตั้งใช้งานยังไม่ครอบคลุมผู้ติดตั้งใช้งานในกลุ่ม off-grid หรือ Standalone
- ข้อเสนอแนะ
 - 1) ควรมีการผลักดันและให้ความรู้แก่ภาคประชาชนเกี่ยวกับขั้นตอนกลไกที่ถูกต้องเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งในรูปแบบเชื่อมต่อกับระบบโครงข่าย (On-grid) และในรูปแบบอิสระ (Stand alone system)
 - 2) ผลักดันและศึกษาทางด้านข้อกำหนดและกฎหมายที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีและธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
 - 3) ผลักดันให้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเข้าถึงในพื้นที่ชนบท

8.4.3 ด้านการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

- ช่องว่างที่พบ
 - 1) ขาดกฎหมายรับผิดชอบของผู้ผลิต (Extended producer responsibility; EPR)
 - 2) ขาดกฎหมายที่ระบุและบรรจุแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าไปในกลุ่มขยะในความรับผิดชอบของผู้ผลิต
 - 3) ขาดหลักการผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย (Polluter pay principle; PPP) ที่ต่อยอดมาจากกฎหมายความรับผิดชอบของผู้ผลิต
 - 4) ขาดความชัดเจนในการตั้งหลักเกณฑ์สำหรับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจร
 - 5) ขาดหลักเกณฑ์และมาตรฐานสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองที่จะเกิดขึ้นอนาคต
- ข้อเสนอแนะ
 - 1) ศึกษาการใช้กฎหมายความรับผิดชอบของผู้ผลิตจากต่างประเทศ เพื่อนำมาปรับใช้ให้สอดคล้องกับกฎหมายที่มีอยู่แล้วภายในประเทศ
 - 2) จัดประชุมและหารือ เพื่อหาแนวทางในการนำกฎหมายความรับผิดชอบของผู้ผลิตมาใช้ภายในประเทศ
 - 3) จัดประชุมและหารือ เพื่อหาแนวทางในการตั้งหลักเกณฑ์สำหรับความรับผิดชอบของผู้ผลิตที่เป็นผู้ก่อมลพิษต้องจ่าย
 - 4) จัดประชุมและหารือ เพื่อหาแนวทางในการตั้งหลักเกณฑ์สำหรับการนำซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นเข้าสู่กระบวนการจัดการอย่างเหมาะสมและปลอดภัย

- 5) ศึกษาหลักเกณฑ์และมาตรฐานสำหรับการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์มือสองจากต่างประเทศ

8.4.4 ด้านผังการไหลและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- ช่องว่างที่พบ
 - 1) จากการวิเคราะห์ของ CAT ประเทศไทยถูกประเมินว่า "ไม่มีแนวทางและเป้าหมายเพียงพอชั้นวิกฤต"
 - 2) ไม่มีมาตรการย่อยที่ชัดเจนเพื่อบรรลุถึงเป้าหมายของแผนที่นำทางฯ นี้
 - 3) จากการวิเคราะห์ของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (ทีดีอาร์ไอ) ประเมินว่า ไม่มีนโยบายการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิให้เป็นศูนย์ครอบคลุมทุกภาคส่วน
- ข้อเสนอแนะ
 - 1) ควรมีการจัดทำเป้าหมายย่อย และแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจน โดยให้สอดคล้องกับเป้าหมายตามความตกลงปารีส (COP21) และตามยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) ในภาพรวมประเทศ
 - 2) ภาคพลังงานและการขนส่งควรมีการจัดทำมาตรการย่อยที่ชัดเจน เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามเป้าหมายของแผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี พ.ศ. 2564-2573
 - 3) ควรมีการจัดทำนโยบายลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ในทุกภาคส่วนภายในปี ค.ศ. 2065-2070 ให้สอดคล้องตามการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (COP 26) และแผนพลังงานชาติ (ค.ศ. 2065-2070) โดยเฉพาะด้านการผลิตไฟฟ้าควรมีนโยบาย/มาตรการที่ชัดเจน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายในการเพิ่มสัดส่วนพลังงานทดแทนไม่น้อยกว่า 50% (หมายเหตุ แผนพลังงานชาติ (ค.ศ. 2065-2070) อยู่ระหว่างการจัดทำรายละเอียดและรับฟังความคิดเห็น)

8.5 สรุปกิจกรรมที่ใช้ในการขับเคลื่อนช่องว่างที่เกิดขึ้น

จากช่องว่างที่พบในด้านต่างๆ อันได้แก่ ด้านเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ ด้านการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ และด้านผังการไหลและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้การพิจารณาวิเคราะห์ทั้ง 4 หมวด คือ หมวดการจัดการข้อมูล หมวดเทคโนโลยี หมวดเศรษฐศาสตร์ และหมวดกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย ได้นำมาซึ่งข้อเสนอกิจกรรมที่ใช้ในการขับเคลื่อนเพื่อลดช่องว่างที่เกิดขึ้น สรุปได้ดังตารางที่ 8-1 และสามารถดูความสอดคล้องของกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยกับช่องว่างในแต่ละหมวดแสดงดังตารางที่ 8-2 โดยแบ่งกิจกรรมหลักได้ 4 กิจกรรม ดังนี้ 1. สนับสนุนการดำเนินงาน (ตารางที่ 8-3 ถึง 8-8) 2. การผลิต (ตารางที่ 8-9 ถึง 8-10) 3.

การใช้งาน (ตารางที่ 8-11 ถึง 8-13) และ 4. การจัดการซาก (ตารางที่ 8-14) ในแต่ละกิจกรรมหลักจะมีกิจกรรมย่อยสำหรับการดำเนินการเพื่อการขับเคลื่อนเพื่อลดช่องว่างที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 8-1 สรุปกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยเพื่อการขับเคลื่อนเพื่อลดช่องว่างที่เกิดขึ้น

กิจกรรมหลัก	กิจกรรมย่อย	
สนับสนุนการดำเนินงาน	กิจกรรม A1	การจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการติดตามการไหลของข้อมูลตั้งแต่การนำเข้า การผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
	กิจกรรม A2	การขึ้นทะเบียนข้อมูลผู้จำหน่าย ผู้ติดตั้ง-รีไซเคิล และจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการรวบรวมผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องตั้งแต่ต้นน้ำ-ปลายน้ำ
	กิจกรรม A3	การจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการรวบรวม ติดตามข้อมูลผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
	กิจกรรม A4	การทดสอบและกำหนดค่ามาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง
	กิจกรรม A5	การจัดทำระบบการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์โดยกำหนดพื้นที่การจัดส่งและการจัดการซาก
	กิจกรรม A6	การจัดทำประมวลหลักปฏิบัติ (Code of Practice : COP) สำหรับโรงงานจัดการซากฯ
การผลิต	กิจกรรม B1	สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้กลไกทางด้านภาษีนำเข้า/ภาษีสรรพสามิต/ภาษีเงินได้นิติบุคคล
	กิจกรรม B2	สนับสนุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยใช้กลไกทางด้านภาษีนำเข้า/ภาษีสรรพสามิต/ภาษีเงินได้นิติบุคคล
การใช้งาน	กิจกรรม C1	สนับสนุนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยใช้เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ
	กิจกรรม C2	สนับสนุนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยการลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีเงินได้นิติบุคคล
	กิจกรรม C3	ส่งเสริมการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มือสองในภาคการเกษตรและวิสาหกิจชุมชน
การจัดการซาก	กิจกรรม D1	สนับสนุนการจัดตั้งโรงงานต้นแบบการจัดการซากแบบครบวงจร

ตารางที่ 8-2 ความสอดคล้องของกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยกับช่องว่างในแต่ละหมวด

กิจกรรมหลัก	กิจกรรมย่อย	หมวดที่นำมาพิจารณา			
		หมวดการจัดการข้อมูล	หมวดเทคโนโลยี	หมวดเศรษฐศาสตร์	หมวดกฎหมายข้อบังคับและนโยบาย
สนับสนุนการดำเนินงาน	A1				
	A2				
	A3				
	A4				
	A5				
	A6				
การผลิต	B1				
	B2				
การใช้งาน	C1				
	C2				
	C3				
การจัดการซาก	D1				

ตารางที่ 8-3 กิจกรรม A1 การจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการติดตามการไหลของข้อมูล ตั้งแต่การนำเข้า การผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

กลุ่มงาน / กลไกที่ใช้และรูปแบบของกิจกรรม	กลุ่มงาน การศึกษา วิจัย / การสาธิต ริเริ่ม / การดำเนินงาน กลไกที่ใช้และรูปแบบของกิจกรรม การสนับสนุนทางการเงินแบบให้เปล่าในการจัดทำระบบการบริหารจัดการข้อมูล
ความสอดคล้องตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	เป็นการสร้างระบบรวบรวมและบริหารจัดการข้อมูลเพื่อใช้สนับสนุนการขับเคลื่อนกิจกรรมต่างๆ ตามหลัก Circular economy ในแต่ละ Supply chain ของการนำเข้า การผลิต การใช้งาน และการจัดการซาก
วัตถุประสงค์	- เพื่อจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้เป็นระบบในการรวบรวมและบริหารจัดการข้อมูลการนำเข้า การผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งระบบ - เพื่อนำข้อมูลการไหลมาใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการที่จะเกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา
กลุ่มเป้าหมาย	หน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้องทั้งในการนำเข้า การผลิต การใช้งาน และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	- กรมศุลกากร (บทบาท: มีข้อมูลนำเข้า-ส่งออก) - กรมสรรพสามิต (บทบาท: มีข้อมูลการผลิตภายในประเทศ) - กระทรวงพาณิชย์ (บทบาท: มีข้อมูลการซื้อขาย) - กรมโรงงานอุตสาหกรรม (บทบาท: มีข้อมูลกากอุตสาหกรรม) - กระทรวงพลังงาน (บทบาท: กำกับ ดูแลและส่งเสริมการใช้) - องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น (บทบาท: มีข้อมูลการรวบรวมปริมาณซากในภาคครัวเรือน)
รายละเอียดการดำเนินงานโดยสรุป	- กรมโรงงานอุตสาหกรรมควรเป็นหน่วยงานหลักในการดำเนินงาน เนื่องจากเป็นหน่วยงานที่ต้องกำกับ ติดตามและบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม โดยต้องร่างแนวทางในการจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มในการรวบรวมข้อมูลต้นน้ำ-ปลายน้ำ - จัดประชุมเพื่อหารือในการพิจารณาร่างแนวทางการดำเนินงานและความเป็นไปได้ในการดำเนินงานกับหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง - ดำเนินการจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์ม พร้อมกับเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างหน่วยงานให้เป็นปัจจุบันอย่างต่อเนื่อง
ตัวชี้วัดและเป้าหมาย	- มีการรวบรวมและออกแบบการไหลของข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดทำระบบแล้วเสร็จภายในปี พ.ศ.2567 (การศึกษา วิจัย) - มีการจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มและให้หน่วยงานภาครัฐและเอกชนทดลองใช้งานได้ภายในปี พ.ศ.2568-2569 (การสาธิต ริเริ่ม) - มีการปรับปรุงระบบฯ เพื่อให้ใช้งานได้อย่างสมบูรณ์และสามารถนำระบบฯ ไปใช้งานได้อย่างเป็นรูปธรรมภายในปี พ.ศ.2570 เป็นต้นไป และมีการปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอย่างต่อเนื่องทุกปี (การดำเนินงาน)

ตารางที่ 8-4 กิจกรรม A2 การขึ้นทะเบียนข้อมูลผู้จำหน่าย ผู้ติดตั้ง-รถยนต์ และจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการรวบรวมผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องตั้งแต่ต้นน้ำ-ปลายน้ำ

กลุ่มงาน / กลไกที่ใช้ / รูปแบบของกิจกรรม	กลุ่มงาน การศึกษา วิจัย / การสาธิต ริเริ่ม / การดำเนินงาน กลไกที่ใช้และรูปแบบของกิจกรรม การบังคับใช้ระเบียบข้อบังคับเพื่อขึ้นทะเบียนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ (เฉพาะที่ยังไม่ได้อยู่ในระบบ ประกอบด้วยผู้จำหน่าย ผู้ติดตั้ง-รถยนต์) และการสนับสนุนทางการเงินแบบให้เปล่าในการจัดทำระบบการบริหารจัดการข้อมูล
ความสอดคล้องตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	(None)
วัตถุประสงค์	- เพื่อรวบรวมข้อมูลผู้จำหน่าย ผู้ติดตั้ง-รถยนต์ต่างๆ ในประเทศไทย และดำเนินการขึ้นทะเบียนในระบบ - เพื่อจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อรวบรวมข้อมูลผู้ผลิต ผู้จำหน่าย ผู้ติดตั้ง-รถยนต์ ผู้รวบรวม ผู้ขนส่งและผู้จัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ของหน่วยงานต่างๆ ในประเทศไทย
กลุ่มเป้าหมาย	- ผู้จำหน่าย-ติดตั้ง-รถยนต์ (กลุ่มเป้าหมายหลัก) - ผู้ผลิต ผู้รวบรวม ผู้ขนส่ง และผู้จัดการซากฯ (กลุ่มเป้าหมายรอง)
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	- กระทรวงพาณิชย์ (บทบาท: มีข้อมูลผู้ประกอบการธุรกิจ) - องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น (บทบาท: มีข้อมูลผู้ใช้งาน รวบรวมและขนส่งซากของครัวเรือน) - การไฟฟ้านครหลวง-ภูมิภาค (บทบาท: มีข้อมูลผู้ใช้งานและปริมาณการใช้) - สำนักงานกำกับกิจการพลังงาน (บทบาท: มีข้อมูลผู้ใช้งานและปริมาณการใช้) - กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (บทบาท: ส่งเสริมการใช้) - กรมโรงงานอุตสาหกรรม (บทบาท: มีข้อมูลกากอุตสาหกรรม)
รายละเอียดการดำเนินงานโดยสรุป	- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานกำกับกิจการพลังงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม และกระทรวงพาณิชย์ควรเป็นหน่วยงานหลักในการดำเนินงานโดยร่วมมือกันในการจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์ม - กระทรวงพาณิชย์ควรเป็นหน่วยงานหลักในการกำหนดระเบียบข้อบังคับเรื่องการขึ้นทะเบียนบริษัทผู้ผลิต-จำหน่าย-ติดตั้ง-รถยนต์เซลล์แสงอาทิตย์ และให้มีการรายงานข้อมูลในดิจิทัลแพลตฟอร์ม
ตัวชี้วัดและเป้าหมาย	- รวบรวมข้อมูลผู้จำหน่าย ผู้ติดตั้ง-รถยนต์ และดำเนินการขึ้นทะเบียนในระบบได้ทั้งหมด ภายในปี พ.ศ.2567 (การดำเนินงาน) - ออกแบบฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มแล้วเสร็จภายในปี พ.ศ.2567 (การศึกษาวิจัย) - จัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มและให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทดลองใช้งานได้ภายในปี พ.ศ.2568-2569 (การสาธิต ริเริ่ม) - ปรับปรุงระบบฯ เพื่อให้ใช้งานได้อย่างสมบูรณ์และสามารถนำระบบฯ ไปใช้งานได้เป็นรูปธรรมภายในปี พ.ศ.2570 เป็นต้นไป และมีการปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอย่างต่อเนื่องทุกปี (การดำเนินงาน)

หมายเหตุ

- ผู้ขนส่งซากฯ ของกากอุตสาหกรรมมีกฎหมายกำกับอยู่แล้ว คงเหลือแต่ การปรับปรุงข้อมูลกฎหมายให้องค์การบริหารส่วนท้องถิ่นที่จะมีหน้าที่รวบรวม “ซากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จัดเป็นของเสียอันตราย” ในภาคครัวเรือนและอาคารพาณิชย์ ขนส่งไปยังโรงงานจัดการซากฯ ได้
- ข้อมูลผู้ผลิต ผู้รวบรวมซาก ผู้ขนส่งและโรงงานจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยงานที่กำกับดูแลอยู่แล้ว ในอนาคตสามารถเชื่อมโยงข้อมูลได้ ดังนั้นกิจกรรมนี้จะมุ่งเป้าให้มีการขึ้นทะเบียนสำหรับผู้จำหน่าย ผู้ติดตั้ง-รถยนต์

ตารางที่ 8-5 กิจกรรม A3 การจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการรวบรวม ติดตามข้อมูล ผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์

กลุ่มงาน / กลไกที่ใช้ / รูปแบบของกิจกรรม	กลุ่มงาน การศึกษา วิจัย / การสาธิต ริเริ่ม / การดำเนินงาน กลไกที่ใช้และรูปแบบของกิจกรรม การสนับสนุนทางการเงินแบบให้เปล่าใน การจัดทำระบบการบริหารจัดการข้อมูล
ความสอดคล้องตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	เป็นการจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการรวบรวม ติดตามข้อมูลด้านการวิจัย ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อนำข้อมูลมาประเมินศักยภาพในการดำเนินการตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน เช่น การออกแบบใหม่/การเลือกวัสดุ/การผลิต เพื่อลดการใช้วัตถุดิบเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน เพิ่มอายุการใช้งาน ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น
วัตถุประสงค์	- เพื่อรวบรวม ติดตามข้อมูลผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ การผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ของหน่วยงานต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ - เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับหน่วยงานหรือบุคคลที่สนใจด้านเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องของเซลล์แสงอาทิตย์ให้สอดคล้องตามหลักของเศรษฐกิจหมุนเวียน
กลุ่มเป้าหมาย	- หน่วยงานของรัฐที่ต้องการส่งเสริมงานวิจัย การผลิต การใช้งาน การจัดการซาก เป็นต้น - นักวิจัยของสถาบันการศึกษา - บริษัทเอกชนที่เกี่ยวข้องในการผลิตและการจัดการซากฯ เป็นต้น
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	- กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (บทบาท: ส่งเสริมการศึกษาวิจัย และให้งบประมาณในการศึกษา วิจัย) - สถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัยอื่นๆ (บทบาท: ศึกษา วิจัย) - กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (บทบาท: ส่งเสริมและรวบรวมผลงานศึกษา วิจัย) - กรมโรงงานอุตสาหกรรม (บทบาท: กำกับ ดูแลและส่งเสริมการจัดการกากอุตสาหกรรม) - องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (บทบาท: จัดทำ รวบรวมและบันทึกข้อมูลผลกระทบและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก)
รายละเอียดการดำเนินงานโดยสรุป	- กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมควรเป็นหน่วยงานหลักในการดำเนินงาน โดยจัดทำร่างแนวทางในการจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มในการรวบรวมข้อมูลผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง - จัดประชุมเพื่อหารือในการพิจารณาร่างแนวทางการดำเนินงานและความเป็นไปได้ในการดำเนินงานกับหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
ตัวชี้วัดและเป้าหมาย	- ออกแบบฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มแล้วเสร็จภายในปี พ.ศ.2567 (การศึกษา วิจัย) - จัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มและให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทดลองใช้งานได้ภายในปี พ.ศ.2568-2569 (การสาธิต ริเริ่ม) - ปรับปรุงระบบฯ เพื่อให้ใช้งานได้อย่างสมบูรณ์และสามารถนำระบบฯ ไปใช้งานได้เป็นรูปธรรมภายในปี พ.ศ.2570 เป็นต้นไป และมีการปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอย่างต่อเนื่องทุกปี (การดำเนินงาน) - o มีการรวบรวมข้อมูลผลการศึกษาวิจัยทั้งในและต่างประเทศและนำเข้าฐานข้อมูลอย่างน้อย xxx ข้อมูลต่อปี

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

	○ มีการค้นหาหรือดาวน์โหลดข้อมูลจากระบบฯ ไปใช้อย่างน้อย xxx ข้อมูลต่อปี ○ มีการขยายผลหรือมีการลงทุนจากข้อมูลผลการศึกษาวิจัยจากระบบฯ ไปใช้ในการดำเนินงานจริง

ตารางที่ 8-6 กิจกรรม A4 การทดสอบและกำหนดค่ามาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง

กลุ่มงาน / กลไกที่ใช้ / รูปแบบของกิจกรรม	กลุ่มงาน การศึกษา วิจัย / การสาธิต ริเริ่ม / การดำเนินงาน กลไกที่ใช้และรูปแบบกิจกรรม - สนับสนุนด้านการเงินแบบให้เปล่าในการจัดซื้ออุปกรณ์ให้กับศูนย์ทดสอบ - กำหนดระเบียบข้อบังคับการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ - กำหนดค่ามาตรฐานของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง
ความสอดคล้องตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	การนำกลับมาใช้ซ้ำโดยไม่ผ่านกระบวนการคืนสภาพ (Reuse)
วัตถุประสงค์	- เพื่อออกระเบียบข้อบังคับให้มีการทดสอบประสิทธิภาพและความปลอดภัยของเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนนำไปจัดการซาก - เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มือสองไปใช้งานอย่างปลอดภัยและคุ้มค่า
กลุ่มเป้าหมาย	สถาบันหรือหน่วยงานที่มีห้องทดสอบที่มีความพร้อมหรือมีศักยภาพในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	- ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น (บทบาท: ทดสอบและรับรองคุณภาพเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง และกำหนดค่ามาตรฐานของเซลล์ที่จะนำกลับไปใช้ซ้ำ) - สำนักงานกำกับกิจการพลังงาน (บทบาท: กำกับกลุ่มที่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าเพื่อขายและใช้เอง) - กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (บทบาท: ส่งเสริมการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในภาคส่วนต่างๆ ผ่านโครงการส่งเสริม)
รายละเอียดการดำเนินงานโดยสรุป	- กระทรวงพลังงานของบประมาณจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในการจัดซื้ออุปกรณ์ในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับศูนย์ทดสอบฯ เพื่อใช้ในการทดสอบด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัยของเซลล์แสงอาทิตย์ - ศูนย์ทดสอบฯ ทำการทดสอบและกำหนดค่ามาตรฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ว่าค่าระดับใดที่สามารถนำไปใช้ซ้ำหรือต้องนำไปกำจัดซาก - ศูนย์ทดสอบฯ กกพ. และหรือ พพ. ร่วมกันกำหนดระเบียบข้อบังคับเรื่องการนำซากเซลล์แสงอาทิตย์ไปจัดการโดยการรีไซเคิลต้องผ่านการตรวจสอบ ทดสอบประสิทธิภาพและความปลอดภัยก่อนว่าสามารถนำไปใช้ซ้ำได้หรือไม่ กรณีที่มีค่าประสิทธิภาพและความปลอดภัยต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดต้องนำไปทำการจัดการซากโดยการรีไซเคิล - เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการรับรองว่าสามารถนำไปใช้ซ้ำได้ควรบันทึกข้อมูลไว้ในระบบก่อนที่จะนำไปติดตั้งให้กับผู้ขอรับการสนับสนุน - กกพ. และ พพ. ควรเป็นหน่วยงานหลักในการรับผิดชอบเป็นผู้ดำเนินโครงการ โดยมีศูนย์ทดสอบฯ เป็นหน่วยงานสนับสนุนในเรื่องของการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์
ตัวชี้วัดและเป้าหมาย	- มีศูนย์ทดสอบเพื่อดำเนินการทดสอบค่าประสิทธิภาพและความปลอดภัยของเซลล์แสงอาทิตย์ภายในปี พ.ศ.2568 (การศึกษา วิจัย)

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

	- มีการกำหนด (ร่าง) ค่ามาตรฐานประสิทธิภาพและความปลอดภัยของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถนำไปใช้เป็นมือสองได้ และนำร่องในการใช้งานในพื้นที่ตัวอย่างภายในปี พ.ศ.2569 (การสาธิต ริเริ่ม) - จัดทำ (ร่าง) ระเบียบข้อบังคับการใช้เซลล์อาทิตย์มือสอง แล้วเสร็จภายในปี พ.ศ. 2568 (การศึกษา วิจัย) - กำหนดค่ามาตรฐานฯ และประกาศใช้พร้อมระเบียบข้อบังคับในการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มือสอง ภายในปี พ.ศ.2570 (การดำเนินงาน)

ตารางที่ 8-7 กิจกรรม A5 การจัดทำระบบการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์โดยกำหนดพื้นที่การจัดส่งและการจัดการซาก

กลุ่มงาน / กลไกที่ใช้ / รูปแบบของกิจกรรม	กลุ่มงาน การดำเนินงาน กลไกที่ใช้และรูปแบบกิจกรรม - จัดทำระบบการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ และจัดทำระเบียบข้อบังคับในการรวบรวม ขนส่งซากฯ นำไปจัดการซากฯ ตามพื้นที่ที่กำหนด
ความสอดคล้องตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	รวบรวมสิ่งที่ใช้แล้วเพื่อนำมาใช้ซ้ำหรือรีไซเคิล (Recycle)
วัตถุประสงค์	- เพื่อให้มีระบบบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างสอดคล้องตามปริมาณการเกิดซากในแต่ละพื้นที่ - เพื่อให้มีระบบในการบริหารจัดการความเสี่ยงสำหรับผู้สนใจจะประกอบธุรกิจการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
กลุ่มเป้าหมาย	หน่วยงานภาครัฐต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการกำกับ ดูแลและส่งเสริมการใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ และสถานประกอบการที่สนใจทำธุรกิจการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	- สำนักงานกำกับกิจการพลังงาน (บทบาท: กำกับ ดูแลกลุ่มที่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าเพื่อขายและใช้เอง) - กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (บทบาท: ส่งเสริมการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในภาคส่วนต่างๆ ผ่านโครงการส่งเสริม) - กรมโรงงานอุตสาหกรรม (บทบาท: กำกับ ดูแลและส่งเสริมการจัดการกากอุตสาหกรรม)
รายละเอียดการดำเนินงานโดยสรุป	- กรมโรงงานอุตสาหกรรมต้องเป็นหน่วยงานหลักในการดำเนินกิจกรรมนี้ เนื่องจากมีภารกิจโดยตรงในการกำกับดูแลการจัดการกากอุตสาหกรรม - จัดทำฐานข้อมูลที่ต้องมีการบันทึกข้อมูล ประกอบด้วย - o กลุ่มผู้ใช้งานหรือก่อเกิดซาก ประกอบด้วย พิกัดที่ตั้ง ชนิด ปริมาณการใช้ ปีพ.ศ. ที่ติดตั้งใช้งาน ข้อมูลการรื้อถอน เป็นต้น - o กลุ่มผู้ขนส่ง-รวบรวมซาก ประกอบด้วย ชนิด ปริมาณซาก แหล่งที่รวบรวม วันที่รวบรวม-ขนส่ง และโรงงานที่จะนำไปจัดการซาก เป็นต้น - o กลุ่มผู้จัดการซาก ประกอบด้วย รูปแบบและปริมาณซากที่สามารถบริหารจัดการได้กระบวนการใดกระบวนการหนึ่งหรือทั้งหมด (กระบวนการทางกล กระบวนการความร้อน กระบวนการเคมี) ผู้ขนส่งที่นำซากมา ชนิด ปริมาณที่รับมา วันที่ข้อมูลการจัดการซาก (ปริมาณซากที่ผ่านการบริหารจัดการแล้ว) การขนส่งไปจัดการซากต่อ (ถ้ามี) เป็นต้น หมายเหตุ ข้อมูลจะต้องเชื่อมโยงกับกิจกรรม A1

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

	- กรมโรงงานอุตสาหกรรมจัดทำระเบียบข้อบังคับเพื่อกำหนดให้มีการรวบรวม ขนส่งเพื่อนำซากฯ ไปจัดการตามพื้นที่ที่กำหนด - กรณีที่มีโรงงานมาขอยื่นการจัดตั้งโรงงานหรือขออนุญาตในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ ทางกรมโรงงานต้องทำการตรวจสอบในระบบว่ามีโรงงานชนิดเดียวกันบริเวณระยะทางที่กำหนดไว้หรือไม่ และมีความสามารถในการจัดการซากเท่าใด มีความสอดคล้องกับปริมาณซากที่มีอยู่ในระบบอย่างเพียงพอ และจะต้องไม่มีผลกระทบต่อการจัดหาซากมาใช้เพื่อให้อุปสงค์การลงทุน กรณีที่ตรวจสอบในระบบแล้วว่ามีศักยภาพตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้ก็สามารถอนุญาตให้จัดตั้งโรงงานหรือขยายโรงงานในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ได้
ตัวชี้วัดและเป้าหมาย	- จัดทำระเบียบข้อบังคับและประกาศบังคับใช้ ภายในปี พ.ศ.2571

หมายเหตุ

- ภาคอุตสาหกรรมมีกฎหมายบังคับใช้สำหรับผู้ก่อเกิดซาก (West generator) ผู้ขนส่งซาก (West transfer) และผู้กำจัดซาก (West processor) กำกับดูแลโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม แต่ในส่วนของภาคอาคารธุรกิจและครัวเรือนและอื่นๆ ยังไม่มีกลไกในการรองรับในการกำกับดูแลอย่างเป็นระบบ แม้แต่ต่อการปกครองส่วนท้องถิ่น ก็ไม่มีอำนาจในการบริหารจัดการ “ของเสียอันตราย” ได้แค่เพียงรวบรวมไว้เท่านั้น

ตารางที่ 8-8 กิจกรรม A6 การจัดทำประมวลหลักปฏิบัติ (Code of Practice: COP) สำหรับโรงงานจัดการซากฯ

กลุ่มงาน / กลไกที่ใช้ / รูปแบบของกิจกรรม	กลุ่มงาน การดำเนินงาน กลไกที่ใช้และรูปแบบกิจกรรม - จัดทำระเบียบข้อบังคับ มาตรฐานสำหรับโรงงานจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
ความสอดคล้องตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	(None)
วัตถุประสงค์	- เพื่อจัดทำประมวลหลักปฏิบัติสำหรับโรงงานจัดการซากฯ และเพื่อกำกับดูแลให้โรงงานจัดการซากฯ มีมาตรฐานที่ดีคำนึงสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย ตั้งแต่กระบวนการออกแบบ การก่อสร้าง การดำเนินงาน
กลุ่มเป้าหมาย	สถานประกอบการที่สนใจจะตั้งโรงงานการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	- กรมโรงงานอุตสาหกรรม (บทบาท: กำกับ ดูแลและส่งเสริมการจัดการกากอุตสาหกรรม)
รายละเอียดการดำเนินงานโดยสรุป	- กรมโรงงานอุตสาหกรรมจัดทำ (ร่าง) ประมวลหลักปฏิบัติสำหรับโรงงานจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ - เชิญชวนผู้ประกอบการที่มีความสนใจที่จะตั้งโรงงานการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ให้ความคิดเห็นต่อ (ร่าง) และกรมโรงงานอุตสาหกรรมสรุปและจัดทำประมวลหลักปฏิบัติฯ ก่อนประกาศใช้ หมายเหตุ ผลจากกิจกรรมนี้จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้มาจากกิจกรรม D1
ตัวชี้วัดและเป้าหมาย	- จัดทำประมวลหลักปฏิบัติฯ และประกาศบังคับใช้ ภายในปี พ.ศ.2571

ตารางที่ 8-9 กิจกรรม B1 สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้กลไกทางด้านภาษีนำเข้า/ภาษีสรรพสามิต/ภาษีเงินได้นิติบุคคล

กลุ่มงาน / กลไกที่ใช้ / รูปแบบของกิจกรรม	กลุ่มงาน การดำเนินงาน กลไกที่ใช้และรูปแบบกิจกรรม - การลดหรือยกเว้นภาษีนำเข้าและภาษีสรรพสามิตของเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุ เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ - การลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีเงินได้นิติบุคคลสำหรับหน่วยงานที่แสวงหากำไรที่มี การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ
ความสอดคล้องตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	เป็นการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เป็นไปตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน เช่น การออกแบบใหม่/การเลือกวัสดุ/การผลิต เพื่อลดการใช้ วัสดุดิบ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน เพิ่มอายุการใช้งาน ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น
วัตถุประสงค์	เพื่อส่งเสริมให้มีการวิจัยและพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศและลดต้นทุนในการวิจัยและการพัฒนา
กลุ่มเป้าหมาย	องค์กรที่แสวงหากำไร เช่น สถาบันการศึกษาเอกชน หน่วยงานวิจัย และบริษัทเอกชน
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	- กระทรวงการคลัง (กรมศุลกากร กรมสรรพสามิต กรมสรรพากร) (บทบาท: สนับสนุนการลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีนำเข้า ภาษีสรรพสามิต ภาษีเงินได้นิติบุคคล) - กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (บทบาท: ส่งเสริมและสนับสนุนการศึกษา วิจัย) - สถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัยอื่นๆ (บทบาท: การศึกษา วิจัย) - กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (บทบาท: ส่งเสริมและรวบรวมผลงานศึกษา วิจัย)
รายละเอียดการดำเนินงานโดยสรุป	- กระทรวงการคลังพิจารณาและจัดทำ (ร่าง) รายการเครื่องจักร อุปกรณ์ และวัสดุที่ใช้ในการศึกษา วิจัยหรือพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ และจัดทำ (ร่าง) ข้อกำหนดและอัตราการลดหรือยกเว้นภาษีนำเข้า ภาษีสรรพสามิต และหรือภาษีเงินได้นิติบุคคลให้แก่องค์กรที่แสวงหากำไร เช่น สถาบันการศึกษาเอกชน หน่วยงานวิจัย และบริษัทเอกชน - เชิญองค์กรหรือหน่วยงานต่างๆ ที่มีการศึกษา วิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เข้ามาร่วมพิจารณา (ร่าง) รายการเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุฯ และข้อกำหนดและอัตราในการลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีที่จะให้การสนับสนุน - กระทรวงการคลังสรุปและจัดทำรายการ ฯ ข้อกำหนดและอัตราการจัดเก็บภาษีฯ ฉบับสมบูรณ์และประกาศใช้
ตัวชี้วัดและเป้าหมาย	- จัดทำบัญชีรายการเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุที่ให้การสนับสนุนในการลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษี และประกาศใช้ ภายในปี พ.ศ.2569 - มีการนำเข้าเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการศึกษา วิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศมากขึ้น - มีผลงานวิจัยและการพัฒนาด้านเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศมากขึ้น

หมายเหตุ

- การนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศกรมศุลกากรจะมีการจัดเก็บภาษีนำเข้าและภาษีสรรพสามิต (กรมศุลกากรจะจัดเก็บภาษีสรรพสามิตแทนกรมสรรพสามิต)
- มาตรการด้านภาษีนี้นี้จะส่งเสริมเฉพาะหน่วยงานที่นำเครื่องจักร อุปกรณ์มาใช้ในการศึกษา วิจัยและพัฒนา ฯ เท่านั้น ไม่รวมการนำมาเพื่อใช้ในการผลิตและขาย

ตารางที่ 8-10 กิจกรรม B2 สนับสนุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยใช้กลไกทางด้านภาษีนำเข้า/ภาษีสรรพสามิต/ภาษีเงินได้นิติบุคคล

กลุ่มงาน / กลไกที่ใช้ / รูปแบบของกิจกรรม	กลุ่มงาน การดำเนินงาน กลไกที่ใช้และรูปแบบกิจกรรม - การลดหรือยกเว้นภาษีนำเข้าและภาษีสรรพสามิตของเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุเพื่อใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ - การลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีเงินได้นิติบุคคลสำหรับการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ (หมายเหตุ อาจจะพิจารณาสนับสนุนเฉพาะกลุ่มที่สามารถต่อยอดจากการศึกษา วิจัยภายในประเทศ)
ความสอดคล้องตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	(None)
วัตถุประสงค์	เพื่อสนับสนุนให้มีการลงทุนและผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศมากขึ้น
กลุ่มเป้าหมาย	ผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศไทย
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	- กระทรวงการคลัง (กรมศุลกากร กรมสรรพสามิต กรมสรรพากร) (บทบาท: สนับสนุนการลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีนำเข้า ภาษีสรรพสามิต ภาษีเงินได้นิติบุคคล) - กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (บทบาท: เผยแพร่ผลการศึกษา วิจัย) - ผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ (บทบาท: นำผลการศึกษา วิจัยไปใช้ในการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์)
รายละเอียดการดำเนินงานโดยสรุป	- กระทรวงการคลังและกระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมร่วมกันพิจารณาและจัดทำ (ร่าง) รายการเครื่องจักร อุปกรณ์ และวัสดุที่ใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ และจัดทำ (ร่าง) ข้อกำหนดและอัตราการลดหรือยกเว้นภาษีนำเข้า ภาษีสรรพสามิต และหรือภาษีเงินได้นิติบุคคลให้แก่ผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ - เชิญผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เข้ามาร่วมพิจารณา (ร่าง) รายการเครื่องจักร อุปกรณ์ และวัสดุ ฯ และข้อกำหนดและอัตราในการลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีที่จะให้การสนับสนุน - กระทรวงการคลังและกระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมร่วมกันสรุปและจัดทำรายการ ฯ ข้อกำหนดและอัตราการจัดเก็บภาษี ฯ ฉบับสมบูรณ์และประกาศใช้
ตัวชี้วัดและเป้าหมาย	- จัดทำบัญชีรายการเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้การสนับสนุนในการลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษี และประกาศใช้ ภายในปี พ.ศ.2570 - มีการนำเข้าเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศมากขึ้น - มีผู้ขอรับการสนับสนุนด้านภาษีในรูปแบบของภาษีนำเข้า ภาษีสรรพสามิต และหรือภาษีเงินได้นิติบุคคล ไม่น้อยกว่า xxx ราย และหรือรวมมูลค่าทางภาษีกว่า xxx ล้านบาท

ตารางที่ 8-11 กิจกรรม C1 สนับสนุนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยใช้เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ

กลุ่มงาน / กลไกที่ใช้ / รูปแบบของกิจกรรม	กลุ่มงาน การดำเนินงาน กลไกที่ใช้และรูปแบบกิจกรรม - สนับสนุนด้านการเงิน-เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ
ความสอดคล้องตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	(None)
วัตถุประสงค์	เพื่อสนับสนุนให้มีการติดตั้งและใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศมากขึ้น
กลุ่มเป้าหมาย	ประชาชนในภาคครัวเรือน และผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	- สถาบันการเงิน
รายละเอียดการดำเนินงานโดยสรุป	- ขอความร่วมมือกับสถาบันการเงินให้ปล่อยเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ โดยให้คิดอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 3-4 ต่อปี โดยอาจจะพิจารณา ยกเว้นการเก็บดอกเบี้ยในช่วง 1-3 ปีแรก (เก็บเฉพาะเงินต้น)
ตัวชี้วัดและเป้าหมาย	- สถาบันการเงินเข้าร่วมโครงการเพื่อปล่อยสินเชื่อเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำกับภาครัฐ และมีการจัดสรรวงเงินไม่น้อยกว่า 1,000 ล้านบาทต่อปี ภายในปี พ.ศ.2568 - มีผู้ยื่นขอสินเชื่อเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ โดยมีวงเงินที่ขอกู้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของวงเงินที่สถาบันการเงินปล่อยกู้

ตารางที่ 8-12 กิจกรรม C2 สนับสนุนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยการลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีเงินได้นิติบุคคล

กลุ่มงาน / กลไกที่ใช้ / รูปแบบของกิจกรรม	กลุ่มงาน การดำเนินงาน กลไกที่ใช้และรูปแบบกิจกรรม - สนับสนุนด้านภาษี-การลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีเงินได้นิติบุคคล
ความสอดคล้องตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	(None)
วัตถุประสงค์	เพื่อสนับสนุนให้มีการติดตั้งและใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศมากขึ้น
กลุ่มเป้าหมาย	ผู้ประกอบการขนาดใหญ่ (กลุ่มที่มีผลประกอบการมีกำไร ต้องการลดหย่อนทางภาษี)
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (บพท: ดำเนินโครงการสนับสนุน) - กรมสรรพากร (บพท: พิจารณาปรับลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีเงินได้นิติบุคคล)
รายละเอียดการดำเนินงานโดยสรุป	กรมสรรพากรกับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ร่วมจัดตั้งโครงการ โดยให้ทาง พพ. เป็นผู้ดำเนินงานบริหารจัดการโครงการและสรุปข้อมูลส่งให้กรมสรรพากรเพื่อดำเนินการลดหรือยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลให้แก่ผู้ขอรับการสนับสนุนในแต่ละปี
ตัวชี้วัดและเป้าหมาย	- จัดตั้งโครงการเพื่อสนับสนุนให้แก่กลุ่มเป้าหมายแล้วเสร็จภายในปี พ.ศ.2568 - มีผู้ขอรับการสนับสนุนโดยลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีเงินได้นิติบุคคล ไม่น้อยกว่า xxx ราย และหรือรวมมูลค่าทางภาษีกว่า xxx ล้านบาทต่อปี

ตารางที่ 8-13 กิจกรรม C3 ส่งเสริมการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มือสองในภาคการเกษตรและวิสาหกิจชุมชน

กลุ่มงาน / กลไกที่ใช้ / รูปแบบของกิจกรรม	กลุ่มงาน การดำเนินงาน กลไกที่ใช้และรูปแบบกิจกรรม - สนับสนุนที่ปรึกษาในการดำเนินงานเพื่อติดตั้งและอบรมการใช้งาน การบำรุงรักษาให้แก่กลุ่มเป้าหมาย
ความสอดคล้องตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	การนำกลับมาใช้ซ้ำโดยไม่ผ่านกระบวนการคืนสภาพ (Reuse)
วัตถุประสงค์	เพื่อสนับสนุนให้มีการติดตั้งและใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในภาคการเกษตรและวิสาหกิจชุมชนภายในประเทศมากขึ้นและเพื่อให้เกิดการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์อย่างคุ้มค่า
กลุ่มเป้าหมาย	ประชาชนในภาคการเกษตรและวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็ก
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	- กรมส่งเสริมการเกษตร (บทบาท: ส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน) - สำนักงานกำกับกิจการพลังงาน (บทบาท: กำกับกลุ่มที่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าเพื่อขายและใช้เอง) - กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (บทบาท: ส่งเสริมการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในภาคส่วนต่างๆ ผ่านโครงการส่งเสริม)
รายละเอียดการดำเนินงานโดยสรุป	- สำนักงานกำกับกิจการพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และกรมส่งเสริมการเกษตร ร่วมกันกำหนดรายละเอียดการให้การสนับสนุน - ประชาสัมพันธ์และขอความร่วมมือผู้ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และผู้ผลิตผู้จำหน่ายเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อรวบรวมเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ต้องการใช้งาน นำมาทดสอบค่ามาตรฐาน (ตามกิจกรรม A4) ที่เกี่ยวข้อง และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านทดสอบตามค่ามาตรฐานจะนำไปใช้ในการติดตั้งให้แก่กลุ่มเป้าหมาย - กรมส่งเสริมการเกษตรดำเนินการประชาสัมพันธ์และรวบรวมกลุ่มเป้าหมาย - กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานเป็นหน่วยงานหลักในการดำเนินการติดตั้งและอบรมวิธีการใช้งานและการบำรุงรักษา โดย พพ. อาจต้องของบประมาณจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานมาดำเนินโครงการ
ตัวชี้วัดและเป้าหมาย	- มีการนำเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้าเพื่อขายหรือใช้เอง ที่มีการรีดือนนำมาใช้ซ้ำในกลุ่มภาคการเกษตรและวิสาหกิจชุมชนไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้งานเป็นมือสองได้

หมายเหตุ

- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการรับรองว่าสามารถนำไปใช้ซ้ำได้ครบถ้วนข้อมูลไว้ในระบบก่อนที่จะนำไปติดตั้งให้กับผู้รับการสนับสนุน

ตารางที่ 8-14 กิจกรรม D1 สนับสนุนการจัดตั้งโรงงานต้นแบบการจัดการซากแบบครบวงจร

กลุ่มงาน / กลไกที่ใช้ / รูปแบบของกิจกรรม	กลุ่มงาน การศึกษา วิจัย / สาธิต ริเริ่ม กลไกที่ใช้และรูปแบบกิจกรรม - สนับสนุนการลงทุนบางส่วนเพื่อติดตั้งเครื่องจักร อุปกรณ์ในระบบการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์แบบครบวงจร
ความสอดคล้องตามหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	แปรสภาพสิ่งที่ถูกทิ้งหรือใช้แล้ว เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle)
วัตถุประสงค์	เพื่อสนับสนุนการตั้งโรงงานต้นแบบในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์แบบครบวงจร
กลุ่มเป้าหมาย	หน่วยงานภาครัฐวิสาหกิจ สถาบันการศึกษา หรือผู้ประกอบการ
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	- กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (บทบาท: ส่งเสริมและสนับสนุนการศึกษา วิจัย) - กรมโรงงานอุตสาหกรรม (บทบาท: กำกับ ดูแลและส่งเสริมการจัดการกากอุตสาหกรรม) - ผู้ประกอบการโรงงานประเภท 102, 105 และ 106
รายละเอียดการดำเนินงานโดยสรุป	- กรมโรงงานอุตสาหกรรมต้องเป็นหน่วยงานหลักในการดำเนินงาน เนื่องจากมีการปฏิบัติงานโดยตรงในการทำ กำกับ ดูแลและส่งเสริมการจัดการกากอุตสาหกรรม โดยมีกระทรวง อุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมเป็นหน่วยงานในการส่งเสริมและสนับสนุนผลการศึกษา วิจัย รวมถึงนักวิจัยที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน มาร่วมกับตัวแทนของผู้ประกอบการโรงงานประเภท 102, 105, 106 ในการออกแบบระบบ ร่วมทดสอบระบบทั้งในการจัดการซากฯ และการบำบัดมลพิษ - ของบประมาณจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในรูปแบบเงินให้เปล่าบางส่วน เช่น ร้อยละ 50 เพื่อนำมาใช้ในการจัดซื้อเครื่องจักร อุปกรณ์ในการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ (อาจให้การสนับสนุนเฉพาะรายการเครื่องจักร อุปกรณ์ ไม่รวมค่าที่ดินและสิ่งก่อสร้าง) - ประชาสัมพันธ์ผู้ที่สนใจจะตั้งโรงงานจัดการซากฯ แบบครบวงจรและคัดเลือกโรงงานที่มีความสนใจหรือมีความพร้อม อย่างน้อย 1 แห่ง เพื่อตั้งเป็นโรงงานต้นแบบ - ดำเนินการติดตั้งและเดินระบบ พร้อมตรวจวัดความสามารถในการจัดการซากฯ ทรัพยากรที่ใช้ พลังงาน ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย - กำหนดค่ามาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และจัดทำประมวลหลักปฏิบัติสำหรับโรงงานจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ (สอดคล้องกับกิจกรรมที่ A5) - วิเคราะห์มูลค่าของซากฯ และรายจ่ายในการจัดการซากฯ ในแต่ละกระบวนการ และประเมินหาตัวเลขการสนับสนุนในการจัดการซากฯ หรือการคิดค่าธรรมเนียมในการจัดการซากฯ ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการสนับสนุนธุรกิจการจัดการซากฯ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการดำเนินธุรกิจอย่างยั่งยืน โดยค่าธรรมเนียมในการจัดการซากฯ ที่จะจัดเก็บอาจจะบวกรวมกับภาษีสรรพสามิตของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ไปเลยก็ได้ (ต้องศึกษาความเหมาะสมอีกครั้ง) - จัดทำรายงานการศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) ของโรงงานจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์
ตัวชี้วัดและเป้าหมาย	- คัดเลือกโรงงานและจัดตั้งโรงงานต้นแบบเพื่อเริ่มต้นทดสอบระบบ ภายในปี พ.ศ. 2568 - จัดทำรายงานการศึกษาความเป็นไปได้ และจัดทำประมวลหลักปฏิบัติฯ และประกาศใช้แล้วเสร็จภายในปี พ.ศ.2571

ตารางที่ 8-15 เป้ากรอบเวลาของกิจกรรม

กิจกรรมหลัก	กิจกรรมย่อย	ปี พ.ศ. 25XX									
		'67	'68	'69	'70	'71	'72	'73	'74	'75	
สนับสนุนการดำเนินงาน	A1	←(1)→	←(2)→				(3)			→	
	A2	←(1)→	←(2)→				(3)			→	
	A3	←(1)→	←(2)→				(3)			→	
	A4		←(1)→	←(2)→			(3)			→	
	A5				←		(3)		→		
	A6					←(3)→					
การผลิต	B1	←(3)→									
	B2		←	(3)	→						
การใช้งาน	C1	←(3)→									
	C2	←(3)→									
	C3	←(3)→									
การจัดการซาก	D1		←(1)→	←(2)→				(3)			

หมายเหตุ: 1 คือ การศึกษาวิจัย

2 คือ การสาธิต ริเริ่ม จัดทำต้นแบบ

3 คือ การดำเนินงาน (ดำเนินงานโดยภาครัฐ และ/หรือภาคเอกชนที่เกี่ยวข้อง ภายหลังกิจกรรมสัมฤทธิ์ผล โดยมีการปรับปรุงและพัฒนาตามความเหมาะสม)

และเมื่อนำกิจกรรมที่ใช้ในการขับเคลื่อนช่องว่างที่เกิดขึ้นมาวิเคราะห์ความสอดคล้องและความสัมพันธ์กับแผนยุทธศาสตร์และหน่วยงานเกี่ยวข้องพร้อมการส่งเสริมในแต่ละด้านที่ต้องดำเนินการเพื่อให้กิจกรรมสามารถบรรลุผลได้ แสดงดังรูปที่ 8-3 และชื่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ระบุไว้ด้วยอักษรย่อแสดงดังตารางที่ 8-16 ในส่วนของกำลังคนที่ต้องส่งเสริมให้เกิดความเชี่ยวชาญและบุคลากรเพิ่มมากขึ้นจะมีบทบาทที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังตารางที่ 8-17 ซึ่งในปัจจุบันกิจกรรมที่ใช้ในการขับเคลื่อนช่องว่างที่เกิดขึ้นอาจมีหน่วยงานหรือสถาบันที่เกี่ยวข้องได้ดำเนินการไปบ้างแล้ว จากการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นสามารถแสดงสถานการณ์ปัจจุบันของกิจกรรมที่มีการขับเคลื่อนโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แสดงดังตารางที่ 8-18

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

แผน ววน. ปี 2566-2570 (ต่อ)	ประเภทพลังงาน	กำลังคน	โครงสร้างพื้นฐาน	เทคโนโลยี	ส่วนสนับสนุน	กฎหมายข้อบังคับ
N7 (S1P4) พัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการใช้ประโยชน์พลังงานสะอาด	พลังงานแสงอาทิตย์ (เซลล์แสงอาทิตย์)	บพข. สวทช. กพร. สภาวิศวกร สถาบันการศึกษา - นักวิจัยด้านเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ - นักวิจัยด้านเทคโนโลยีการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ - วิศวกรด้านเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ - วิศวกรไฟฟ้า ด้านระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ - ช่างฝีมืออาชีพด้านการติดตั้งระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ - นักวิทยาศาสตร์ข้อมูล	บพข. กกพ. พพ. กรอ. กรมศุลกากร กรมสรรพสามิต กรมสรรพากร สถาบันการเงิน - สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้กลไกทางด้านภาษีนำเข้า/ภาษีสรรพสามิต/ภาษีเงินได้นิติบุคคล - สนับสนุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยใช้กลไกทางด้านภาษีนำเข้า/ภาษีสรรพสามิต/ภาษีเงินได้นิติบุคคล - สนับสนุนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศโดยใช้เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ หรือการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคล - ส่งเสริมการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มือสองในภาคการเกษตรและวิสาหกิจชุมชน	บพข. สวทช. วช. กพร. สดช. - จัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์ม ข้อมูลปริมาณนำเข้า-ส่งออก การผลิต การใช้งานและการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ - จัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์ม ข้อมูลการขึ้นทะเบียนข้อมูลผู้จำหน่าย ผู้ติดตั้ง-รีดออน ผู้รวบรวมและรับกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ - จัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์ม เพื่อใช้ในการรวบรวม ติดตามข้อมูลผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ - ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์สู่ระดับอุตสาหกรรม - ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์สู่ระดับโรงงานนำร่อง - ส่งเสริมให้เกิดการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ	กรอ. กรมศุลกากร กรมสรรพสามิต กรมสรรพากร กระทรวงพาณิชย์ อปท. กกพ. พพ. - ข้อมูลปริมาณนำเข้า-ส่งออก การผลิต การใช้งานและการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ - ข้อมูลผู้จำหน่าย ผู้ติดตั้ง-รีดออน ผู้รวบรวมและรับกำจัดซากเซลล์แสงอาทิตย์ - ข้อมูลการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ - เผยแพร่ข้อมูลและความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเซลล์อาทิตย์ ทั้งในภาคการวิจัยและพัฒนา การติดตั้งใช้งาน การบำรุงรักษาและความปลอดภัย และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถูกต้อง	ศทอ. สมอ. สทพ. กกพ. กทอ. กกพ. กฟผ. กฟน. กฟภ. กรอ. - จัดทำประมวลหลักปฏิบัติสำหรับโรงงานจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์ - กำหนดหลักเกณฑ์การทดสอบและกำหนดค่ามาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง - ศึกษาและออกกฎระเบียบข้อบังคับการติดตามข้อมูลของผู้ติดตั้งใช้งานในกลุ่ม Off-grid หรือ Standalone - ส่งเสริมกฎหมายความรับผิดชอบของผู้ผลิตและหลักการผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย - กำหนดหลักเกณฑ์ของวัสดุที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 8-3 ความสอดคล้องและความสัมพันธ์กับแผนยุทธศาสตร์และหน่วยงานเกี่ยวข้องต่อกิจกรรมที่ขับเคลื่อน

ตารางที่ 8-16 ความหมายของอักษรย่อชื่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

อักษรย่อ	ชื่อหน่วยงาน
กกพ.	คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน
กฟผ.	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
กฟน.	การไฟฟ้านครหลวง
กฟภ.	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
กทอ.	คณะกรรมการกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน
กพร.	กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
กรอ.	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
พพ.	กรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน
วช.	สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ
สคช.	สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
อปท.	องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
บพข.	หน่วยบริหารและการจัดการด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ
สวทช.	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
ศทอ.	ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
สมอ.	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
สนพ.	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน

ตารางที่ 8-17 บุคลากรและบทบาทที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

บุคลากร	บทบาท
นักวิจัย	วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลักดันให้ประสิทธิภาพการใช้งานสูงขึ้นและมีความหลากหลายทางเทคโนโลยีมากยิ่งขึ้น คิดค้นเทคโนโลยีใหม่ที่สามารถประยุกต์การใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น
วิศวกร	ศึกษาและกำหนดเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยของการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์มือ 2 ควบคุมดูแลการติดตั้งระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้ถูกต้องตามมาตรฐานการใช้งานและความปลอดภัย ร่วมคิดค้นเทคโนโลยีกับนักวิจัย
ช่างฝีมืออาชีพ	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถูกต้องตามมาตรฐาน ตรวจเช็คและบำรุงรักษาเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างถูกวิธี

ตารางที่ 8-17 บุคลากรและบทบาทที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

บุคลากร	บทบาท
นักวิทยาศาสตร์ข้อมูล	ออกแบบการเก็บรวบรวมข้อมูลให้มีความละเอียดครอบคลุมและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในวงกว้าง รวบรวมและเชื่อมโยงข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ เพื่อจัดทำฐานข้อมูลและแพลตฟอร์มการใช้งานข้อมูล

ตารางที่ 8-18 สถานการณ์ของกิจกรรมการขับเคลื่อนในปัจจุบัน

กิจกรรมหลัก	กิจกรรมย่อย		การขับเคลื่อนในปัจจุบัน
สนับสนุนการดำเนินงาน	กิจกรรม A1	การจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการติดตามการไหลของข้อมูลตั้งแต่การนำเข้า การผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์	ยังไม่มี การดำเนินกิจกรรม
	กิจกรรม A2	การขึ้นทะเบียนข้อมูลผู้จำหน่าย ผู้ติดตั้ง-รีไซเคิล และจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการรวบรวมผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องตั้งแต่ต้นน้ำ-ปลายน้ำ	ยังไม่มี การดำเนินกิจกรรม
	กิจกรรม A3	การจัดทำฐานข้อมูลและดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการรวบรวม ติดตามข้อมูลผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต การใช้และการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์	กพร. ดำเนินการเผยแพร่ข้อมูลเทคโนโลยีรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ยังไม่มี การจัดทำในส่วนอื่นของกิจกรรม
	กิจกรรม A4	การทดสอบและกำหนดค่ามาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์มือสอง	สวทช. กำลังดำเนินการอยู่ ข้อมูลเพิ่มเติมติดต่อ ดร.อมรรัตน์ ลิ้มมณี
	กิจกรรม A5	การจัดทำระบบการบริหารจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์โดยกำหนดพื้นที่การจัดส่ง และการจัดการซาก	ยังไม่มี การดำเนินกิจกรรม
	กิจกรรม A6	การจัดทำประมวลหลักปฏิบัติ (Code of Practice: COP) สำหรับโรงงานจัดการซากฯ	กรอ. กำลังดำเนินการศึกษาเพิ่มเติม
การผลิต	กิจกรรม B1	สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้กลไกทางด้านภาษีนำเข้า/ภาษีสรรพสามิต/ภาษีเงินได้นิติบุคคล	ยังไม่มี การดำเนินกิจกรรม
	กิจกรรม B2	สนับสนุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยใช้กลไกทางด้านภาษีนำเข้า/ภาษีสรรพสามิต/ภาษีเงินได้นิติบุคคล	ยังไม่มี การดำเนินกิจกรรม

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

ตารางที่ 8-18 สถานการณ์ของกิจกรรมการขับเคลื่อนในปัจจุบัน (ต่อ)

กิจกรรมหลัก	กิจกรรมย่อย		การขับเคลื่อนในปัจจุบัน
การใช้งาน	กิจกรรม C1	สนับสนุนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยใช้เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ	ธนาคารกสิกรไทยกำลังดำเนินการปล่อยสินเชื่อ
	กิจกรรม C2	สนับสนุนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยการลดหรือยกเว้นการจัดเก็บภาษีเงินได้นิติบุคคล	ยังไม่มีดำเนินการกิจกรรม
	กิจกรรม C3	ส่งเสริมการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มือสองในภาคการเกษตรและวิสาหกิจชุมชน	สวทช. กำลังดำเนินการอยู่ ข้อมูลเพิ่มเติมติดต่อ ดร.อมรรัตน์ ลิ้มมณี
การจัดการซาก	กิจกรรม D1	สนับสนุนการจัดตั้งโรงงานต้นแบบการจัดการซากแบบครบวงจร	กรอ. กำลังดำเนินการศึกษาเพิ่มเติม

ภาคผนวก ก
แผนการดำเนินงาน

กิจกรรมการดำเนินงาน	เดือน	ส.ค.-64				ก.ย.-64				ต.ค.-64				พ.ย.-64				ธ.ค.-64			
	สัปดาห์	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	เป้าหมาย	#1		#2								#3				#4					
	กำหนดส่ง																				
บทที่ 1 ความเป็นมาและขอบเขตดำเนินงาน																					
จัดทำแผนการดำเนินงานของโครงการ โดยกำหนดวิธีการและกิจกรรม รายละเอียดของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน พร้อมทั้งกำหนดระยะเวลา และผู้รับผิดชอบในแต่ละกิจกรรม	15 ส.ค.																				
บทที่ 2 เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์																					
ศึกษาและทบทวนข้อมูลเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด โดยพิจารณารวมไปถึง องค์ประกอบและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของ เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด																					
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์	31 ส.ค.																				
- ข้อมูลสัดส่วนองค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด	31 ส.ค.																				
2.2 เทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	15 ส.ค.																				
- เทคโนโลยีการผลิต (เริ่มที่ชนิดที่มีใช้ประเทศไทย กับยกตัวอย่างชนิดที่อยู่ใน Trend)	15 ส.ค.																				
2.3 แนวโน้มการผลิตและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	31 ส.ค.																				
2.4 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากองค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์	15 ก.ย.																				

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

กิจกรรมการดำเนินงาน	เดือน	ส.ค.-64				ก.ย.-64				ต.ค.-64				พ.ย.-64				ธ.ค.-64			
	สัปดาห์	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	เป้าหมาย	#1		#2								#3								#4	
	กำหนดส่ง																				
- ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด	15 ก.ย.																				
บทที่ 3 ข้อมูลเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน																					
ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำทั้งในและต่างประเทศ																					
3.1 สถานการณ์การผลิตและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	21 ส.ค.																				
- รวบรวมรายชื่อผู้ผลิต/นำเข้าเซลล์แสงอาทิตย์	15 ส.ค.																				
- รวบรวมรายชื่อผู้ประกอบการกิจการเกี่ยวข้องกับการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	15 ส.ค.																				
- การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย แบ่งเป็นกลุ่ม	21 ส.ค.																				
3.2 สถานการณ์การผลิตและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในต่างประเทศ	21 ส.ค.																				
- รวบรวมรายชื่อผู้ผลิต/นำเข้าเซลล์แสงอาทิตย์	15 ส.ค.																				
- รวบรวมรายชื่อผู้ประกอบการกิจการเกี่ยวข้องกับการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	15 ส.ค.																				
- การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศต่างประเทศ แบ่งเป็นกลุ่ม	21 ส.ค.																				
3.3 หน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการผลิต การใช้งาน และการบริหาร จัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์	15 ส.ค.																				
- หน่วยงานที่รับผิดชอบในด้านที่เกี่ยวข้อง	15 ส.ค.																				
3.4 การบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของประเทศ ไทย	15 ส.ค.																				
- หน่วยงานที่รับผิดชอบในด้านที่เกี่ยวข้อง	15 ส.ค.																				
- รวบรวมรายชื่อผู้ที่ประกอบกิจการเกี่ยวข้องกับการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์	15 ส.ค.																				

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

กิจกรรมการดำเนินงาน	เดือน	ส.ค.-64				ก.ย.-64				ต.ค.-64				พ.ย.-64				ธ.ค.-64			
	สัปดาห์	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	เป้าหมาย	#1		#2								#3				#4					
	กำหนดส่ง																				
- การรวบรวมและติดตามการใช้งานและซากในประเทศไทย	21 ส.ค.																				
- การกำจัดและรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	21 ส.ค.																				
3.5 การบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของต่างประเทศ	15 ส.ค.																				
- หน่วยงานที่รับผิดชอบในด้านที่เกี่ยวข้อง	15 ส.ค.																				
- รวบรวมรายชื่อผู้ที่ประกอบกิจการเกี่ยวข้องกับการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์	15 ส.ค.																				
- การบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ของต่างประเทศ (เช่น การติดตามเซลล์แสงอาทิตย์ การรวบรวมซาก เทคโนโลยีการรีไซเคิล การนำไปใช้ซ้ำ)	7 ก.ย.																				
บทที่ 4 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย																					
ศึกษากฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ภายในประเทศ																					
4.1 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับผู้ประกอบกิจการนำเข้าหรือผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	15 ก.ย.																				
- นำเข้า/ผลิต	15 ก.ย.																				
4.2 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และภาค ประชาชน	15 ก.ย.																				
- การใช้งาน	15 ก.ย.																				

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

กิจกรรมการดำเนินงาน	เดือน	ส.ค.-64				ก.ย.-64				ต.ค.-64				พ.ย.-64				ธ.ค.-64			
	สัปดาห์	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	เป้าหมาย	#1		#2								#3				#4					
	กำหนดส่ง																				
4.3 กฎหมายข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผู้ประกอบกิจการ ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และภาคประชาชน	15 ก.ย.																				
- การรวบรวม/กำจัดซาก	15 ก.ย.																				
4.4 เกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการรีไซเคิลซากเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้ซ้ำ	15 ก.ย.																				
- รีไซเคิล/ใช้ซ้ำ	15 ก.ย.																				
บทที่ 5 ข้อมูลผังการไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis: MFA) ของเซลล์แสงอาทิตย์																					
จัดทำข้อมูลผังการไหลของวัสดุ (Material flow analysis : MFA) ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของเซลล์แสงอาทิตย์ครอบคลุมปริมาณตั้งแต่การผลิตหรือนำเข้า การใช้งานและซากที่ถูกกำจัด โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจข้อมูลภายในประเทศและ/หรือ จากการศึกษาข้อมูลจากต่างประเทศ																					
5.1 ข้อมูลผังการไหลของวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของเซลล์ แสงอาทิตย์	30 ก.ย.																				
- ปริมาณผลิต/นำเข้า	30 ก.ย.																				
- ปริมาณการใช้งาน	30 ก.ย.																				
- ปริมาณซาก	30 ก.ย.																				
- ปริมาณการรีไซเคิล/ใช้ซ้ำ	30 ก.ย.																				
5.2 การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์	7 ต.ค.																				

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

กิจกรรมการดำเนินงาน	เดือน	ส.ค.-64				ก.ย.-64				ต.ค.-64				พ.ย.-64				ธ.ค.-64			
	สัปดาห์	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	เป้าหมายs	#1		#2								#3				#4					
	กำหนดส่ง																				
บทที่ 6 ประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (Life Cycle Assessment) และเปรียบเทียบ ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับเซลล์แสงอาทิตย์																					
ประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (Life Cycle Assessment) เช่น ด้านเทคโนโลยีการผลิต ด้านการใช้งาน ด้านการบริหารจัดการ และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับเซลล์แสงอาทิตย์																					
6.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์	21 ต.ค.																				
- ประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์	21 ต.ค.																				
6.2 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับ เซลล์แสงอาทิตย์	21 ต.ค.																				
- เปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับเซลล์แสงอาทิตย์	21 ต.ค.																				
บทที่ 7 วิเคราะห์ช่องว่าง (Gap Analysis) ด้านเทคโนโลยีการผลิต ด้านการใช้งาน ด้านการบริหาร จัดการเซลล์แสงอาทิตย์																					
7.1 การวิเคราะห์ช่องว่างด้านเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	21 ต.ค.																				
- วิเคราะห์ช่องว่างด้านเทคโนโลยีการผลิต	21 ต.ค.																				
7.2 การวิเคราะห์ช่องว่างด้านการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	21 ต.ค.																				
- วิเคราะห์ช่องว่างด้านการใช้งาน	21 ต.ค.																				

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

กิจกรรมการดำเนินงาน	เดือน	ส.ค.-64				ก.ย.-64				ต.ค.-64				พ.ย.-64				ธ.ค.-64			
	สัปดาห์	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	เป้าหมาย	#1		#2								#3				#4					
	กำหนดส่ง																				
7.3 การวิเคราะห์ช่องว่างด้านการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์	21 ต.ค.																				
- วิเคราะห์ช่องว่างด้านการบริหารจัดการ	21 ต.ค.																				
7.4 ข้อเสนอที่ได้จากการวิเคราะห์ช่องว่าง	21 ต.ค.																				
บทที่ 8 จัดทำข้อเสนอแนะแนวทางการศึกษา วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี และการบริหารจัดการจากการใช้ พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)																					
จัดทำข้อเสนอแนะแนวทางการศึกษา วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการ บริหารจัดการจากการใช้พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามหลัก เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)																					
8.1 ข้อเสนอแนวทางการศึกษา วิจัยและพัฒนาเพื่อลดช่องว่างด้านเทคโนโลยี การผลิตเซลล์ แสงอาทิตย์	7 ธ.ค.																				
- จัดทำข้อเสนอแนะด้านเทคโนโลยีการผลิต	7 ธ.ค.																				
8.2 ข้อเสนอแนวทางการศึกษา วิจัยและพัฒนาเพื่อลดช่องว่างด้านการใช้งาน เซลล์แสงอาทิตย์	7 ธ.ค.																				
- จัดทำข้อเสนอแนะด้านการใช้งาน	7 ธ.ค.																				
8.3 ข้อเสนอแนวทางการศึกษา วิจัยและพัฒนาเพื่อลดช่องว่างด้านการบริหาร จัดการเซลล์ แสงอาทิตย์	7 ธ.ค.																				
- จัดทำข้อเสนอแนะด้านการบริหารจัดการ	7 ธ.ค.																				

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

กิจกรรมการดำเนินงาน	เดือน	ส.ค.-64				ก.ย.-64				ต.ค.-64				พ.ย.-64				ธ.ค.-64			
	สัปดาห์	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	เป้าหมายs	#1		#2								#3				#4					
	กำหนดส่ง																				
8.4 ข้อเสนอแนะทางการศึกษา วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการบริหารจัดการจากการใช้ พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน	7 ธ.ค.																				
9. จัดทำเล่มรายงาน																					
- เล่มรายงานเบื้องต้น			15 ส.ค.																		
- เล่มรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1													31 ต.ค.								
- (ร่าง) เล่มรายงานฉบับสมบูรณ์																		15 ธ.ค.			
- เล่มรายงานฉบับสมบูรณ์																					31 ธ.ค.

ภาคผนวก ข

ตารางเปรียบเทียบผลการดำเนินงาน

วัตถุประสงค์	กิจกรรม	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
1. เพื่อจัดทำข้อมูลผังการไหลของวัสดุ (Material flow analysis: MFA) ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของเซลล์แสงอาทิตย์	บทที่ 5 ข้อมูลผังการไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis: MFA) ของเซลล์แสงอาทิตย์: จัดทำข้อมูลผังการไหลของวัสดุ (Material flow analysis : MFA) ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของเซลล์แสงอาทิตย์ครอบคลุมปริมาณตั้งแต่การผลิตหรือนำเข้า การใช้งานและซากที่ถูกกำจัด โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจข้อมูลภายในประเทศ และ/หรือ จากการศึกษาข้อมูลจากต่างประเทศ	- ผังการไหลของวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของเซลล์ แสงอาทิตย์ - การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์	- ผังการไหลของวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของเซลล์ แสงอาทิตย์ ของประเทศไทย และต่างประเทศ - ผังการไหลตามห่วงโซ่อุปทาน ของประเทศไทย และต่างประเทศ - การคาดการณ์ปริมาณซากเซลล์แสงอาทิตย์ ของประเทศไทย และต่างประเทศ	
2. เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (Life cycle assessment) และวิเคราะห์ช่องว่างเพื่อเป็นแนวทางสนับสนุนให้เกิดการสร้างงานวิจัยและนวัตกรรมพัฒนาเสริมศักยภาพเทคโนโลยี	บทที่ 6 ประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (Life Cycle Assessment) และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับเซลล์แสงอาทิตย์: ประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (Life Cycle Assessment) และวิเคราะห์ช่องว่าง เช่น ด้านเทคโนโลยีการผลิต ด้านการใช้งาน ด้านการบริหารจัดการ และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับเซลล์แสงอาทิตย์	- การประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ - การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับ เซลล์แสงอาทิตย์	- การประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ ในผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ - ระยะเวลาคืนทุนของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ - การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกับ เซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งในและต่างประเทศ	

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเชิงระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายการวิจัยและพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

วัตถุประสงค์	กิจกรรม	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
3. เพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบายเพื่อการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการบริหารจัดการจากการใช้พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)	บทที่ 2-6 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง บทที่ 7 วิเคราะห์ช่องว่าง (Gap Analysis) ด้านเทคโนโลยีการผลิต ด้านการใช้งาน ด้านการบริหาร จัดการเซลล์แสงอาทิตย์ บทที่ 8 จัดทำข้อเสนอแนะแนวทางการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการบริหารจัดการจากการใช้ พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)	- ข้อมูลทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ - สถานการณ์ปัจจุบันของเซลล์แสงอาทิตย์ - กฎหมาย ข้อบังคับ ที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ - ข้อมูลผังการไหล - ข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิต - ช่องว่างที่พบ - ข้อเสนอแนะ	- ข้อมูลทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ - สถานการณ์ปัจจุบันของเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งในและต่างประเทศ - กฎหมาย ข้อบังคับ ที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งในและต่างประเทศ - ข้อมูลผังการไหล ทั้งในและต่างประเทศ - ข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิต ทั้งในและต่างประเทศ - ช่องว่างที่พบ - ข้อเสนอแนะ - กิจกรรมการลดช่องว่างและบรรลุข้อเสนอแนะ	
4. เพื่อเตรียมความพร้อมของบุคลากรและสถาบันการวิจัยที่สามารถผลิตองค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและการบริหารจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตอบสนองสถานการณ์ในอนาคตได้ภายในประเทศ ลดการพึ่งพาต่างประเทศ	บทที่ 8 จัดทำข้อเสนอแนะแนวทางการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและการบริหารจัดการจากการใช้ พลังงานหมุนเวียนจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)	- ข้อเสนอแนะ	- ข้อเสนอแนะ - กิจกรรมการลดช่องว่างและบรรลุข้อเสนอแนะ ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดแก่ประชาชน องค์กร หรือหน่วยงานต่างๆ ได้	