

เอกสารปกปิด ห้ามเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาต



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ“การพัฒนาต้นแบบเครื่องจักรสำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์”
สัญญาเลขที่ RDG61D0007

โดย
ดร.เอกชัย เป็งวัง และคณะ

12 กุมภาพันธ์ 2563

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการ“การพัฒนาต้นแบบเครื่องจักรสำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์”

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดรเอกชัย เป็งวัง.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. ดร พรศักดิ์.ศรีสังสิทธิสันติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
3. ดรเชิดพงษ์ ดีเลิศไพบุลย์.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)

(ความคิดเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

เอกสารปกปิด ห้ามเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาต

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีต้นทุนบางส่วนจากกระบวนการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อรักษาประสิทธิภาพในการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้อยู่ในสภาพที่ดี ซึ่งในปัจจุบันโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์หลายแห่งจะจ้างแรงงานในพื้นที่เพื่อล้างแผง แม้จะทำให้เกิดรายได้และความพึงพอใจของชุมชนในพื้นที่ แต่ก็อาจจะมีข้อจำกัดเรื่องแรงงานรับจ้างในฤดูกาลเกษตรและต้นทุนแรงงานในการทำความสะอาดที่สูง ในการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาและสร้างต้นแบบทางด้านเทคนิคของเทคโนโลยีหุ่นยนต์สำหรับการทำความสะอาดแผงเซลล์ในทั้งใน Solar Farm และ Rooftop ที่มีการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ มีความแข็งแรง ติดตั้งง่าย น้ำหนักเบา สามารถใช้ได้กับขนาดของแผงที่ยาวต่างกัน และมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดด้วยน้ำ รวมถึงการวิเคราะห์และประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และเสนอแนะแนวทางการร่วมมือของภาคอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลหรือบริษัทผลิตหุ่นยนต์ เพื่อพัฒนาและสร้างต้นแบบเชิงแนวคิดที่สามารถใช้งานได้จริงและตอบสนองความต้องการจากภาคผลิตและภาคอุตสาหกรรม โดยในโครงการนี้จะเป็นความร่วมมือกับภาควิชาการ ภาคอุตสาหกรรมการขึ้นรูประบบ และโรงไฟฟ้าหรือบริษัทที่เกี่ยวข้องกับการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ เพื่อสรุปแนวทางในการพัฒนาด้านแบบร่วมกัน เพื่อกำหนดคุณลักษณะของต้นแบบที่ตอบสนองความต้องการส่วนใหญ่ และเพื่อให้การพัฒนาด้านแบบเครื่องจักรกลในการทำความสะอาดแผงเซลล์ทั้งใน Solar farm และ Rooftop มีประสิทธิภาพในการทำงานและสามารถขยายผลได้จริง จากผลการศึกษาและพัฒนาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ได้ผลการรวบรวมข้อมูล โดยทบทวนจากเอกสาร บทความงานวิจัย หรือรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับชนิด/ประเภท ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ จากฐานข้อมูลในต่างประเทศ หรือข้อมูลรายงานการศึกษาในประเทศไทย โดยศึกษาเรื่องสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เทคนิคหรือเทคโนโลยีที่ใช้ในหุ่นยนต์แต่ละประเภท ราคาเบื้องต้น ข้อจำกัดของแต่ละประเภท

2. ได้ข้อมูลความต้องการในเรื่องของหุ่นยนต์ทำความสะอาดจากโรงไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และภาคอุตสาหกรรม โดยมีตัวแปรที่สนใจ ได้แก่ ราคา เทคโนโลยีที่เหมาะสม ความคุ้มทุน ขอบเขตและข้อกำหนด ข้อจำกัดในการพัฒนาของประเทศ เป็นต้น

3. ได้ข้อสรุปแนวทางที่เป็นไปได้ที่เหมาะสมของเทคโนโลยีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย รวมไปถึงข้อเสนอความเป็นไปได้และความคุ้มค่าการลงทุน เช่น ต้นทุนเครื่องจักรกับผลตอบแทนการลงทุนของโรงไฟฟ้า ความพร้อมและศักยภาพของอุตสาหกรรมในประเทศไทย และแนวทางการลงทุน รวมถึงแนวทางของอุตสาหกรรมเครื่องจักรทำความสะอาดแผงเซลล์ศักยภาพและโอกาสทางธุรกิจและการแข่งขันทางการตลาดของการผลิตและจำหน่ายเครื่องจักร

4. ได้ผลการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ต้นแบบที่สามารถใช้ได้จริง

4.1 ได้ออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบ ออกแบบฟังก์ชันหลักเข้าสั่งซื้ออุปกรณ์ ทำการทดลองสร้างฟังก์ชันหลักเพื่อพิสูจน์แนวคิดหลักของต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ในสถานที่จริง

4.2 ได้สร้างหุ่นยนต์ต้นแบบส่วนการเคลื่อนที่ การทำงานของเซนเซอร์ การควบคุมการเคลื่อนที่

4.3 ได้ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบส่วนการเคลื่อนที่ และประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ในสถานที่จริง

5. ได้ผลการวิเคราะห์และประเมินต้นทุนและความคุ้มทุนของหุ่นยนต์ต้นแบบของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm

เอกสารปกปิด ห้ามเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาต

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้นำเสนอแนวคิดการออกแบบและการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างหุ่นยนต์ทำความสะอาดสำหรับ solar farm และ solar rooftop ด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่เป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และสามารถใช้งานได้จริง โดยหุ่นยนต์สำหรับ solar farm เป็นแบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์วัตถุประสงค์เพื่อออกแบบหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับที่สามารถใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความยาวต่างกันเนื่องจากมีความแตกต่างขนาดของการจัดเรียงแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ หุ่นยนต์แบบโมดูลาร์จึงมีความจำเป็นต้องมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนขนาดความยาวของหุ่นยนต์ โดยใช้ประโยชน์จากหุ่นยนต์แบบแยกส่วน วิธีการทำงานของหุ่นยนต์คือทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยน้ำร่วมกับแปรงขัดแบบเกลียวและแปรงรีดน้ำแบบยาง แนวคิดการออกแบบหุ่นยนต์ต้องสามารถทำความสะอาดสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีช่วงความยาวตั้งแต่ 1 ถึง 4 เมตร มีต้นทุนในช่วง 70,000-100,000 บาท ซึ่งจะสามารถคืนทุนได้ในเวลา 6 เดือนสำหรับฟาร์มที่มีขนาด 1 MW และได้ทำการทดสอบในสถานที่ทำงานจริงแล้ว สำหรับหุ่นยนต์ประเภท solar rooftop เป็นหุ่นยนต์ประเภท mobile robot ที่มีประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย สามารถควบคุมโดยสัญญาณคลื่นแบบไร้สาย และใช้ระบบเซนเซอร์ป้องกันการตกขอบ มีต้นทุนในช่วง 150,000 บาท หุ่นยนต์นี้สามารถนำไปติดตั้งไว้บนหลังคาบ้าน หรือสามารถยกขึ้นไปเพื่อทำความสะอาดหลังคาบ้านได้ การนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ การต่อยอดระบบทำความสะอาดสำหรับโซลาร์ฟาร์ม, โซลาร์รูฟท็อปและแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์แบบลอยน้ำในอนาคต

Abstract

This project aims to study on the design and feasibility study for building cleaning robots for solar farm and solar rooftop. The goal is to build prototype for cleaning robot that can be implemented in field tests and can be affordable for economic aspects. The cleaning robot for solar farm is a modular robot that was to design a universal module for transmission and manipulation that can be used with different length of solar panels and different arrangements in solar panel. Since there are various configurations for arranging the solar panel, this robot can be modified using an advantage of modular robots. The principle of working is to clean a solar panel with water, spiral brush, and rubber sweeper. The cost for this prototype is in the range of 70,000 to 100,000 THB that can be return within 6 months for 1 MW plant. The modular concepts were validated for the solar panel with a range of 1 to 4 meters in both testing and field environments. On the other hand, the cleaning robot for solar rooftop is a mobile robot that can be moved in any direction on solar panel. The robot is controlled by wireless controller with fall detection avoidance. This robot has a cost around 150,000 THB and it can be implemented on household by lifting up in the installation phase.

The target applications for these two designs can be extended for a full cleaning system for solar farm, solar rooftop, and floating solar panels in future.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
รายการรูปประกอบ	ค
1. ที่มาและความสำคัญของโครงการ	
1.1 บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง	1
1.3 การทบทวนวรรณกรรม จากฐานข้อมูลงานวิจัยในห้องสมุดออนไลน์ของสกว.	7
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	7
1.5 กิจกรรมต่างๆ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยแต่ละข้อ	8
1.6 ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)	9
1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละช่วงระยะเวลา	11
1.8 การวิเคราะห์ผู้ใช้ประโยชน์จากผลงานวิจัย (User Analysis)	12
1.9 กระบวนการผลักดันผลงานดังกล่าวออกสู่การใช้ประโยชน์	13
1.10 ผลงานที่ส่งต่อ สกว. (ผลงานสมบูรณ์ที่ใช้ในการตรวจรับงาน)	15
1.11 เอกสารอ้างอิง	16
2. การทบทวนวรรณกรรม	
2.1 เครื่องทำความสะอาดที่ควบคุมด้วยคน	17
2.2 เครื่องทำความสะอาดแบบอัตโนมัติ	20
2.3 บทวิเคราะห์	26
3. หุ่นยนต์สำหรับ Solar Farm	27
3.1 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	33
3.2 ภาพรวมของระบบและฟังก์ชันการทำงาน	34
3.3 การออกแบบทางกลและไฟฟ้า	38
3.4 การออกแบบลักษณะการใช้งานการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์	
สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ 2 โมดูลาร์ทำงานร่วมกัน	45
3.5 การออกแบบโปรแกรมและลำดับการทำงาน	46
3.6 การทดสอบเบื้องต้น	48
3.7 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	89
3.8 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	98

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. หุ่นยนต์สำหรับ Solar Rooftop	104
4.1 แนวคิดในการออกแบบหุ่นยนต์สำหรับ solar Rooftop	104
4.2 ภาพรวมของหุ่นยนต์	106
4.3 การออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับ Mobile Solar Rooftop Robot	106
4.4 การออกแบบทางกลและทางไฟฟ้า	117
4.5 การออกแบบโปรแกรมและลำดับการทำงาน	134
4.6 การทดสอบเบื้องต้น	140
4.7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	144
5. สรุปแผนและผลการดำเนินงาน	148

บทที่ 1

ที่มาและความสำคัญของโครงการ

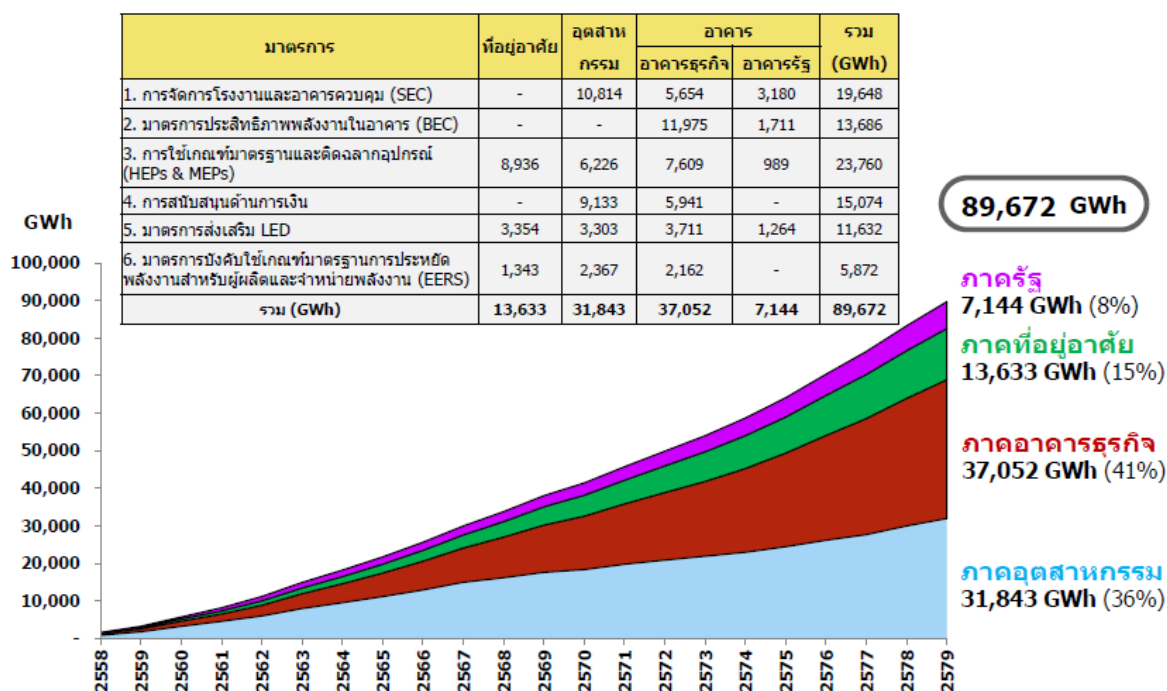
1. บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีต้นทุนบางส่วนจากกระบวนการการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อรักษาประสิทธิภาพในการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้อยู่ในสภาพที่ดี ซึ่งในปัจจุบันโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์หลายแห่งจะจ้างแรงงานในพื้นที่เพื่อล้างแผง แม้ว่าจะทำให้เกิดรายได้และความพึงพอใจของชุมชนในพื้นที่ แต่ก็อาจจะมีข้อจำกัดเรื่องแรงงานรับจ้างในฤดูกาลเกษตรและต้นทุนแรงงานในการทำความสะอาดที่สูง ในการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาและสร้างต้นแบบทางด้านเทคนิคของเทคโนโลยีหุ่นยนต์สำหรับการทำความสะอาดแผงเซลล์ในทั้งใน Solar Farm และ Rooftop ที่มีการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ มีความแข็งแรง ติดตั้งง่าย น้ำหนักเบา สามารถใช้ได้กับขนาดของแผงที่ยาวต่างกัน และมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดด้วยน้ำ รวมถึงการวิเคราะห์และประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และเสนอแนะแนวทางการร่วมมือของภาคอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลหรือบริษัทผลิตหุ่นยนต์เพื่อพัฒนาและสร้างต้นแบบเชิงแนวคิดที่สามารถใช้งานได้จริงและตอบสนองความต้องการจากภาคผลิตและภาคอุตสาหกรรม โดยในโครงการนี้จะเป็นความร่วมมือกับภาควิชาการ ภาคอุตสาหกรรมการขึ้นรูประบบ และโรงไฟฟ้าหรือบริษัทที่เกี่ยวข้องกับการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ เพื่อสรุปแนวทางในการพัฒนาต้นแบบร่วมกัน เพื่อกำหนดคุณลักษณะของต้นแบบที่ตอบสนองความต้องการส่วนใหญ่ และเพื่อให้การพัฒนาต้นแบบเครื่องจักรกลในการทำความสะอาดแผงเซลล์ทั้งใน Solar farm และ Rooftop มีประสิทธิภาพในการทำงานและสามารถขยายผลได้จริง

2. ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

2.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันทิศทางการใช้พลังงานของประเทศมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการเติบโตของเศรษฐกิจ (GDP) ปี 2556-2579 ที่ขยายตัวเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 3.94 ต่อปี จากแนวโน้มการขยายตัวทางเศรษฐกิจของไทย รวมทั้งการเตรียมการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community : AEC) ในปี 2558 จะส่งผลต่อการใช้ไฟฟ้าที่สูงขึ้นของประเทศไทยโดยรวม เพื่อให้เกิดความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของประเทศ กระทรวงพลังงาน ได้มีการจัดทำแผนพัฒนากำลังไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (PDP 2015) ตามมติ กพข เมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2557 เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้น พร้อมทั้งจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน (EEDP) และแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) ให้มีกรอบระยะเวลาของแผนระหว่างปี 2558-2579 (ดังรูปที่ 1.1) เช่นเดียวกับแผน PDP 2015

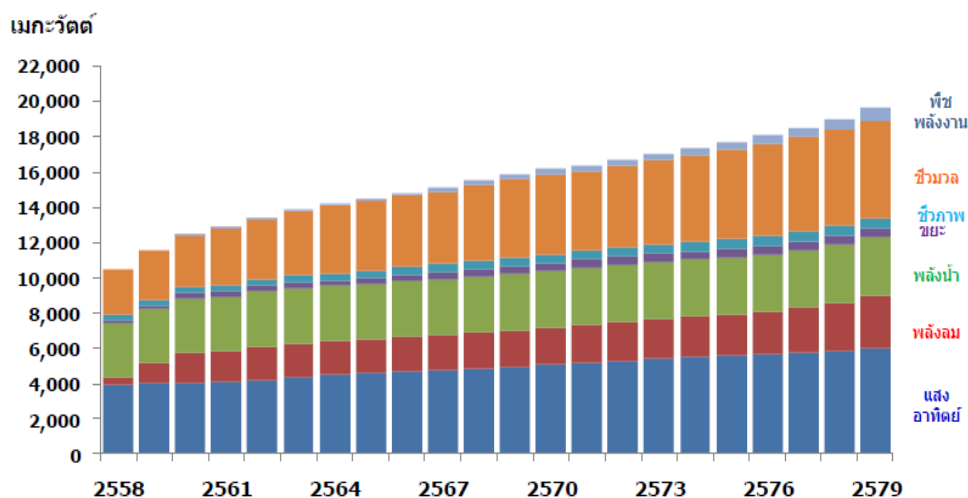


รูปที่ 1.1. เป้าหมายแผนอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า ตามแผนแผนอนุรักษ์พลังงาน (EEDP) 2558-2579
(ที่มา: กระทรวงพลังงาน)

ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 ฉบับนี้กำหนดเป้าหมายในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ตามแผนยุทธศาสตร์ดังกล่าว 6,000 เมกะวัตต์ ดังรูปที่ 1.2 จากเป้าหมายเดิมให้ติดตั้ง 3,000 เมกะวัตต์ ภายในปี 2564 ภายใต้มาตรการส่งเสริมสนับสนุน (Incentive Program) ที่มีทั้งแบบไม่เชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายและแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายของการไฟฟ้าฯ ครอบคลุมขนาดการผลิตติดตั้งตั้งแต่ระดับกิโลวัตต์ (solar PV rooftop) ไปจนถึงระดับหลายสิบล้านวัตต์ต่อแห่ง (PV plants หรือ solar farms) ซึ่งมีความแตกต่างหลากหลายของขนาดและจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อระบบตั้งแต่จำนวน 20-30 แผงต่อระบบ (ขนาดระบบไม่เกิน 10 kWp ขนาดแผงเซลล์ 300-400 Wp ต่อแผง) ไปจนถึง 5-7 แสนแผงต่อระบบ (ขนาดระบบ 50-90 MWp ขนาดแผงเซลล์ 120-150 Wp)

เป้าหมายของแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP)

ประเภท	ชยะ	ชีวมวล	ก๊าซชีวภาพ	พลังน้ำ	พลังลม	แสงอาทิตย์	พืชพลังงาน	รวม
กำลังผลิต ปี 2557	48	2,199	226	3,016	220	1,570	-	7,279
กำลังผลิต ปี 2579	501	5,570	600	3,282	3,002	6,000	680	19,635



รูปที่ 1.2. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 (ที่มา: กระทรวงพลังงาน)

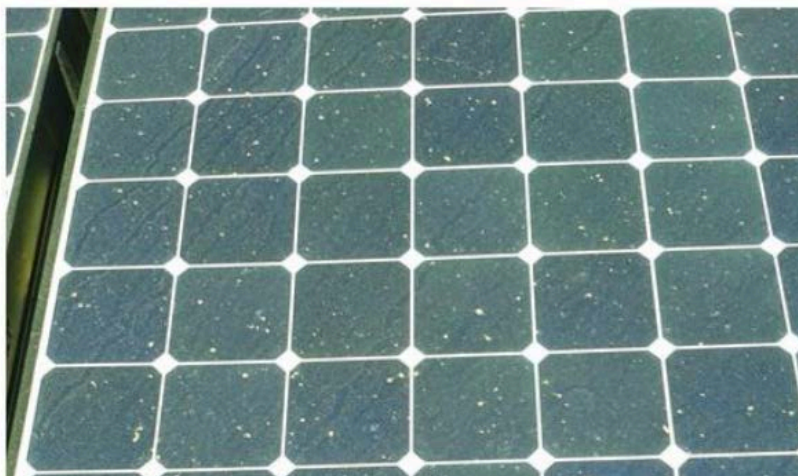
ซึ่งนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าของภาครัฐทำให้ผู้ประกอบการภาคเอกชนตั้งแต่ระดับครัวเรือนไปจนถึงอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้าเกิดเพิ่มขึ้นจำนวนมาก ในช่วงที่ผ่านมาจะเน้นการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เลือกอุปกรณ์หลักเช่นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ และการติดตั้งที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและความปลอดภัยเป็นสำคัญ รวมไปถึงการใช้งานและดูแลบำรุงรักษาตั้งแต่อง่าย เช่น การตัดหญ้า ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จนถึงการใช้งานทางวิศวกรรมตามรอบการซ่อมบำรุง เป็นต้น

แม้ว่าการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ภายหลังจากลงทุนเรื่องแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะไม่มีต้นทุนเชื้อเพลิง แต่ก็ยังต้องมีต้นทุนบำรุงรักษา ในส่วนของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ได้สมรรถนะหรือประสิทธิภาพที่ดีคงเดิม นั้น ในปัจจุบันโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์หลายแห่งจะจ้างแรงงานในพื้นที่เพื่อล้างแผงแม้ว่าจะทำให้เกิดรายได้และความพึงพอใจของชุมชนในพื้นที่ แต่ก็จะมีต้นทุนการทำความสะอาดเพื่อรักษาประสิทธิภาพระบบ ประกอบกับในบางพื้นที่อาจมีข้อจำกัดเรื่องแรงงานเพื่อการเกษตรกับแรงงานรับจ้างทำความสะอาดในฤดูกาลเกษตร

2.2 ผลกระทบของฝุ่นต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง F. Mejia และคณะ (F. Mejia, J. Kleissl, J. L. Bosch, 2014, The Effect of Dust on Solar Photovoltaic Systems, Energy Procedia 49, pp. 2370-2376.) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการสะสมของฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Concentrated Photovoltaic (CPV) ดังรูปที่ 1.3 โดยเลือกพื้นที่ตัวอย่างที่รัฐ California ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยทำการศึกษผลของ

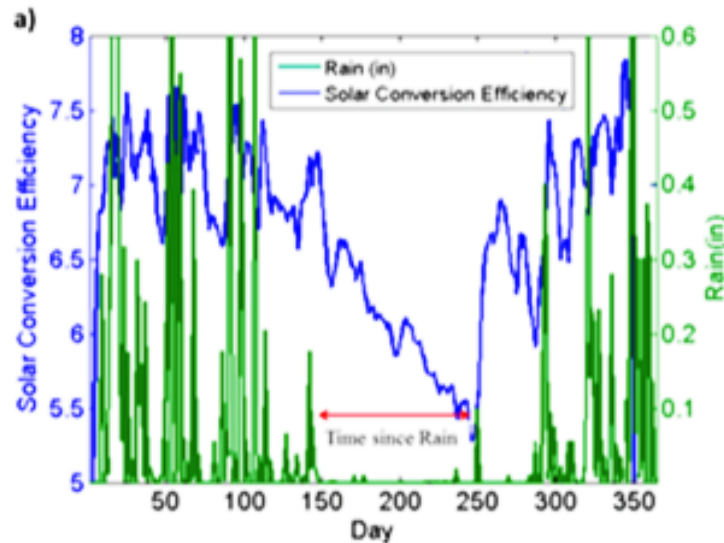
ฝุ่นทรายที่สะสมบนแผงเซลล์ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงและเก็บข้อมูลเป็นเวลา 1 ปี พร้อมกันนั้นได้เปรียบเทียบผลระหว่างสภาพอากาศที่แห้งกับสภาวะที่มีฝนตก ผลการศึกษาวิจัยพบว่า ผลกระทบจากฝุ่นทรายจะสัมพันธ์โดยตรงกับช่วงเวลาของสภาวะอากาศแห้ง (ช่วงฤดูร้อน) โดยประสิทธิภาพของเซลล์เมื่อมีฝุ่นทรายสะสมที่หน้าแผงเซลล์จะลดลง 0.21% ต่อวัน หรือเมื่อเทียบเป็น ประสิทธิภาพของเซลล์จะลดลงจาก 7.2% เป็น 5.6% ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับการลดลงของ ประสิทธิภาพจากการเสื่อมสภาพ (Cell Degradation) ซึ่งมีค่าโดยประมาณ 0.5% ต่อปี หรือ 0.5% ต่อ 108 วัน แต่เมื่อวัดประสิทธิภาพหลังฝนตก พบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์สูงกลับขึ้นมาเป็น 7.1% หรืออาจ กล่าวได้ว่าการสะสมของฝุ่นบนแผงเซลล์นั้นเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานลดลง อย่างชัดเจนมากกว่าการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์ และการทำความสะอาดจะช่วยให้ประสิทธิภาพการแปลง พลังงานกลับคืนสู่สภาวะปกติได้



รูปที่ 1.3. การสะสมของฝุ่นทรายบนผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

(ที่มา: F. Mejia, J. Kleissl, J. L. Bosch, 2014, The Effect of Dust on Solar Photovoltaic Systems, Energy Procedia 49, pp. 2370-2376)

นอกจากนั้นในกลุ่มวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาผลของการสะสมของฝุ่นทรายบนแผงเซลล์ชนิด Flat PV กับแผงเซลล์ชนิด CPV โดยพบว่าแผงเซลล์ชนิด CPV จะมีการลดลงของประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ Flat PV เนื่องจากในระบบ CPV จะมีชุดของระบบทางแสงที่ทำหน้าที่โฟกัสแสงอาทิตย์ให้ตกลงบนพื้นที่เล็กๆ โดยระบบแสงนี้อาจจะเป็น Reflector หรือเป็น Fresnel Lenses ซึ่งระบบทางแสงโดยเฉพาะที่เป็นกระจกสะท้อนนั้นฝุ่นทรายจะส่งผลมากเนื่องจากจะรบกวนการส่งผ่านแสงทั้งขาเข้าและการสะท้อนออกจากกระจก ทำให้การสูญเสียของพลังงานสูง ในการเปรียบเทียบผลการวิจัย ในกลุ่มวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลทั้งการสะสมของ ฝุ่น การวัดปริมาณฝน การเก็บค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน 15 นาทีในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ได้จาก AC Inverter จะเป็นค่าเฉลี่ยของตลอดทั้งวันและใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ในการหาคำนวณหาประสิทธิภาพ จากกำลังไฟฟ้าที่ได้และความเข้มแสงที่ตกกระทบ



รูปที่ 1.4. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างวันและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และปริมาณฝน

(ที่มา: F. Mejia, J. Kleissl, J. L. Bosch, 2014, The Effect of Dust on Solar Photovoltaic Systems, Energy Procedia 49, pp. 2370-2376)

จากรูปที่ 1.4 พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์จะลดลงอย่างชัดเจนในช่วงที่ไม่มีฝน และเมื่อฝนตก ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์จะกลับเข้าใกล้ค่าเริ่มต้นอีกครั้งและปริมาณน้ำฝนที่น้อยกว่า 0.02 นิ้ว จะไม่สามารถทำความสะอาดหรือกำจัดฝุ่นทรายที่สะสมบนแผงเซลล์ได้ ทั้งนี้ กลุ่มวิจัยของ S. Mekhilef และคณะ ได้ทำการศึกษาผลกระทบของฝุ่น ความชื้น และความเร็วลมที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (S. Mekhilef, R. Saidur and M. Kamalisarvestani, 2012, Effect of Dust, Humidity and Air Velocity on Efficiency of Photovoltaic Cells, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, pp. 2920-2925.) ฝุ่นที่สะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นกับสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศรวมถึงกิจกรรมอื่นๆทั้งจากธรรมชาติและจากมนุษย์ในพื้นที่ จากการศึกษาพบว่าผลกระทบจากฝุ่นที่สะสมที่มีต่อการลดลงของประสิทธิภาพของแผงเซลล์จะอยู่ในช่วงที่กว้าง คือ การลดลงของประสิทธิภาพเป็นไปได้ตั้งแต่ 1% จนถึง 4.7% ในช่วงระยะเวลาการสะสมฝุ่น 2 เดือนในพื้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ตัวเลขการลดลงสูงสุดจะเป็นที่ 40% จากการสะสมฝุ่น 6 เดือนในพื้นที่ประเทศซาอุดีอาระเบีย หรือประสิทธิภาพอาจจะลดลงในช่วง 17% - 65% ขึ้นกับองศาของการเอียงของแผงเซลล์ในประเทศคูเวตที่ระยะเวลาการสะสมฝุ่น 38 วัน เป็นต้น โดยในส่วนของประเทศไทยมีรายงานการลดลงของความเข้มแสงที่ผ่านเข้าไปถึงเซลล์ 11% ของช่วงการสะสมฝุ่น 1 เดือน ผลการศึกษายังพบว่าการเอียงแผงเซลล์ด้วยมุมที่สูงจะทำให้ฝุ่นที่สะสมบนแผงมีปริมาณน้อยทำให้ความเข้มแสงที่สูญเสียไปน้อยด้วย โดยฝุ่นที่มีขนาดเล็กจะส่งผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพของเซลล์สูงกว่าฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ และเมื่อความเร็วลมสูงการสะสมของฝุ่นจะสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพเซลล์ลดลงโดยกระทบที่ค่า Fill Factor ของเซลล์

ทั้งนี้ ตามที่ มจร. ได้รับการสนับสนุนให้ดำเนินโครงการการศึกษาแนวทางการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรักษาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นโครงการวิจัยภายใต้โครงการร่วมสนับสนุนทุนวิจัยและพัฒนา กฟผ.-สกว. ตามสัญญาเลขที่ RDG59D0002 วันที่สัญญา 15 ธ.ค. 2558 โดย

เป็นการศึกษาด้านการยืดเกาะของฝุ่นและสิ่งสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และศึกษาผลกระทบของฝุ่นต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และแนวทางของอุตสาหกรรมหรืออุตสาหกรรมเครื่องจักรกลทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลจากการศึกษาพบว่า แม้ว่าที่ผ่านมาโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เกือบทั้งหมด ยังคงทำความสะอาดด้วยการจ้างแรงงานทั้งจากคนในชุมชนรอบข้างและการขนย้ายแรงงานเวียนรอบก็ตาม และเมื่อมีการพัฒนาเมืองหรือช่วงฤดูทำการเกษตรก็จะพบปัญหาขาดแคลนแรงงาน มีโรงไฟฟ้า บางแห่งที่เริ่มพัฒนาเครื่องจักรล้างแผงแบบกึ่งอัตโนมัติผสมผสานกับแรงงานยกเคลื่อนย้ายเครื่องจักรที่ช่วยลดต้นทุนและล้างทำความสะอาดได้เร็วและรอบการล้างถี่ขึ้นกว่าเดิมมาก แต่ผู้ประกอบการก็ยังต้องการการพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องจักรกลหรือหุ่นยนต์ทำความสะอาดที่มีสมรรถนะดีขึ้น และมีโรงไฟฟ้า บางแห่งเริ่มสนใจที่จะจัดซื้อจัดหาเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์ซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศ แต่ก็ยังไม่มั่นใจความคุ้มค่าการใช้งานและเครื่องจักรต้นทุนสูงจึงเป็นข้อจำกัด รวมถึงการซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่นำเข้าจากต่างประเทศอีกด้วย ทั้งนี้ ผลจากการวิจัยและสำรวจจึงพบว่า นักวิชาการ และอุตสาหกรรมของประเทศไทยนั้น มีศักยภาพในการพัฒนาต้นแบบเครื่องจักรกลทำความสะอาด หรือหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบต่าง ๆ ทั้งที่ใช้งานกับโรงไฟฟ้า แบบ solar farm และที่ใช้กับ PV rooftop systems และภายหลังจากการจัดสัมมนาเผยแพร่ผลการศึกษาที่ผ่านมา และการพูดคุยให้ความเข้าใจถึงความจำเป็นของการศึกษาแล้ว กลุ่มโรงไฟฟ้า หลายแห่ง ให้ความสนใจและยินดีให้ความร่วมมือในการศึกษาวิจัยเพิ่มมากขึ้น ตลอดจนความสนใจในการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม ทางคณะผู้วิจัยได้ประมวลความต้องการและความจำเป็นของการทำโครงการวิจัยพัฒนาต่อเนื่องจากโครงการที่ผ่านมาเป็น 2 แนวทาง คือ การพัฒนาเชิงอุตสาหกรรม และการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิชาการของประเทศไทย โดยพิจารณาเรื่องความร่วมมือของภาควิชาการ ผู้ให้ทุนภาคอุตสาหกรรม และผู้ใช้งานจริงเข้าด้วยกันเป็นหัวใจสำคัญสุด เพื่อให้เกิดข้อสรุปและแนวทางที่เป็นไปในทางเดียวกันและเพื่อที่จะให้การต่อยอดเชิงพาณิชย์ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ภาพรวมของโครงการจะประกอบด้วย 3 ส่วนงานคือ

ส่วนที่ 1 คือ แหล่งทุนผู้สนับสนุน ในที่นี้ กฟผ.-สกว. จะสนับสนุน งบประมาณ. เฉพาะการจัดทำต้นแบบ

ส่วนที่ 2 คือ นักวิชาการจากคณะผู้วิจัย มจร. ทำหน้าที่ประสานความร่วมมือใน 3 กลุ่มทำงาน เพื่อรวบรวมข้อเสนอต้นแบบ กำหนดขอบเขตเงื่อนไขของข้อเสนอโครงการพัฒนาต้นแบบ ทบทวนกลุ่มที่มีศักยภาพพัฒนาต้นแบบได้สำเร็จและสามารถขยายผลได้ ออกแบบพัฒนาต้นแบบทางอุตสาหกรรม และสร้างต้นแบบเพื่อนำเสนอ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการผู้ใช้และภาคการผลิตมากที่สุด

ส่วนที่ 3 คือ กลุ่มผู้ใช้งานและอุตสาหกรรมการผลิต ต้องประกอบด้วยความร่วมมือของ 3 กลุ่ม (นักวิชาการ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักร และผู้ใช้งาน) รูปแบบการประยุกต์ (โรงไฟฟ้า กับ rooftop) ในที่นี้ การสนับสนุนอาจจะเกิดได้สองแนวทาง คือ การลงทุนร่วมในการสร้างเครื่องเพื่อนำไปทดลองใช้งานของโรงไฟฟ้า หรือการลงทุนปรับปรุงจากต้นแบบไปสู่การสร้างเครื่องตามจำนวนที่ทดลองใช้งาน

ในการศึกษานี้มุ่งเน้นการศึกษาแนวทางด้านเทคนิคหรือเทคโนโลยีสำหรับหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์ รวมถึงการหาความเป็นไปได้หรือแนวทางของอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลหรือหุ่นยนต์ภาคสนามในการสร้างหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์ ทั้งในโรงไฟฟ้าและแผงเซลล์ในที่สูงหรือบนหลังคา โดยมีขอบเขตการดำเนินงานวิจัย ดังต่อไปนี้

- ก) การสำรวจข้อมูลเชิงลึกด้านเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ที่มีอยู่ในและต่างประเทศ จากการทบทวนวรรณกรรม
- ข) การพัฒนาต้นแบบเชิงแนวคิดของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ จากการระดมสมองร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย อาทิเช่น แผนกจัดซื้อจัดหา แผนกวิจัยและพัฒนา แผนกผลิต แผนกการตลาด แผนกขายและให้บริการลูกค้า เป็นต้น
- ค) การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับต้นแบบเชิงแนวคิดของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่สร้างขึ้นจากการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน
- ง) การสร้างต้นแบบของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่เป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์
- จ) การทดสอบการใช้งานจริงของต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่สร้างขึ้น
- ฉ) การสรุปผลการดำเนินโครงการ รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับต่อยอดการวิจัยและพัฒนาเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ

3. การทบทวนวรรณกรรม จากฐานข้อมูลงานวิจัยในห้องสมุดออนไลน์ของ สกว. (<http://elibrary.trf.or.th>)

จากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยในห้องสมุดออนไลน์ของ สกว. ยังไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ หรือการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ยังมีน้อยมาก การศึกษาหุ่นยนต์ในฐานข้อมูลส่วนมากจะเป็นระบบอัตโนมัติ ระบบการควบคุมทางไกล และระบบอัจฉริยะที่ใช้การควบคุมแบบฉลาด อาจจะเป็นเพราะการศึกษาเรื่องเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ยังใหม่ในเรื่องของอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าอย่างแท้จริง ซึ่งในประเทศไทย การพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มักจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาน้อยกว่า 5 ปี

4. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 4.1 เพื่อพัฒนาและสร้างต้นแบบเชิงแนวคิดของเครื่องทำความสะอาดสำหรับทั้งแผง Solar rooftop และ Solar farm โดยใช้น้ำแบบอัตโนมัติ
- 4.2 เพื่อประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับต้นแบบเชิงแนวคิดของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ด้วยเทคโนโลยีหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
- 4.3 เพื่อสร้างต้นแบบสำหรับหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่เป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และสามารถใช้งานได้จริง

5. กิจกรรมต่างๆ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยแต่ละข้อ

5.1 แผนกิจกรรมหลักที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ รวมทั้งผลลัพธ์ (Output) ที่คาดว่าจะได้รับ

วัตถุประสงค์	กิจกรรม	ช่วงระยะเวลา ดำเนินการ	จำนวน วันที่ใช้	ผู้รับผิดชอบ
1. สํารวจข้อมูลเชิงลึกด้านเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm	1.1 การรวบรวมข้อมูลของระบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ โดยทบทวนจากเอกสาร บทความงานวิจัยหรือรายงานการศึกษา	หลังเริ่มโครงการ - เดือนที่ 2	60 วัน	นักวิจัยผู้ร่วมโครงการ ทุกคน
	1.2 การรวบรวมข้อมูลเทคโนโลยีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	หลังเริ่มโครงการ - เดือนที่ 2	60 วัน	นักวิจัยผู้ร่วมโครงการ ทุกคน
	1.3 รวบรวมและสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม และสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากฐานข้อมูลทางวิชาการและแหล่งอื่นๆ	หลังเริ่มโครงการ - เดือนที่ 2	60 วัน	นักวิจัยผู้ร่วมโครงการ ทุกคน
	1.4 สรุปปัญหาและกำหนดขอบเขตของการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบ	หลังเริ่มโครงการ - เดือนที่ 2	60 วัน	นักวิจัยผู้ร่วมโครงการ ทุกคน
2. พัฒนาดันแบบเชิงแนวคิดของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm	2.1 ออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบออกแบบฟังก์ชันหลัก สั่งซื้ออุปกรณ์ ทำการทดลองสร้างฟังก์ชันหลักเพื่อพิสูจน์แนวคิดหลัก	เดือนที่ 3 - เดือน ที่ 6	120 วัน	นักวิจัยผู้ร่วมโครงการ ทุกคน
	2.2 สร้างหุ่นยนต์ต้นแบบส่วนการเคลื่อนที่ การทำงานของเซนเซอร์การควบคุมการเคลื่อนที่	เดือนที่ 3 - เดือน ที่ 6	120 วัน	นักวิจัยด้านการขึ้นรูป ชิ้นงาน และคณะ
	2.3 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบส่วนการเคลื่อนที่	เดือนที่ 5 - เดือน ที่ 6	60 วัน	นักวิจัยด้านการทดสอบ และคณะ
3. ประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับต้นแบบเชิงแนวคิดของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm	3.1. วิเคราะห์และประเมินต้นทุนและความคุ้มทุนของหุ่นยนต์ต้นแบบของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm	เดือนที่ 7 - เดือน ที่ 8	60 วัน	นักวิจัยด้านการขึ้นรูป ชิ้นงาน และคณะ
	3.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง และประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบทั้งระบบ	เดือนที่ 9 - เดือน ที่ 10	60 วัน	นักวิจัยด้านการทดสอบ และคณะ

วัตถุประสงค์	กิจกรรม	ช่วงระยะเวลา ดำเนินการ	จำนวน วันที่ใช้	ผู้รับผิดชอบ
4. ทดสอบการใช้งานจริงของต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm	4.1 ปรับปรุงต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm	เดือนที่ 7 - เดือนที่ 10	120 วัน	นักวิจัยหลักด้านเทคนิค การทำความสะอาดแผงเซลล์
	4.2 ทดสอบการใช้งานจริงของต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ในสถานที่จริง	เดือนที่ 11 - เดือนที่ 13	90 วัน	นักวิจัยหลักด้านเทคนิค การทำความสะอาดแผงเซลล์
	4.3 สรุปผลการดำเนินโครงการ รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับต่อยอดการวิจัยและพัฒนาเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop	เดือนที่ 14 - เดือนที่ 15	60 วัน	นักวิจัยผู้ร่วมโครงการทุกคน

6. ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)

1. การรวบรวมข้อมูล โดยทบทวนจากเอกสาร บทความงานวิจัย หรือรายงานการศึกษา

1.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ ชนิด/ประเภท ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ จากฐานข้อมูลต่างประเทศ หรือข้อมูลรายงานการศึกษาในประเทศไทย เช่น กรมควบคุมมลพิษ และกรมอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น

1.2 รวบรวมข้อมูลงานวิจัย ผลงานวิชาการเกี่ยวกับหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.3 รวบรวมข้อมูลเทคโนโลยีหุ่นยนต์ภาคสนามหรือเครื่องจักรสำหรับการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ เทคนิคหรือเทคโนโลยีที่ใช้ ราคาเบื้องต้น ข้อจำกัดของแต่ละประเภท

2. การเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และภาคอุตสาหกรรม

2.1 ขอความร่วมมือจากผู้ประกอบการโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (PV plants or Solar Farms) หรือเจ้าของระบบที่ติดตั้งบนหลังคา (rooftop) เพื่อรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการล้างแผงกับไม่ล้างแผง ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการล้างแผง พลังงานไฟฟ้าที่ได้เพิ่มขึ้นหลังจากล้างแผงเซลล์ในแต่ละช่วงฤดูกาล เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์และการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผ่านมาของผู้ประกอบการแต่ละราย รวมถึงความยินยอมของการให้ข้อมูลและเงื่อนไขการเผยแพร่ข้อมูลด้วย

2.2 ขอความร่วมมือจากบริษัทและอุตสาหกรรมการผลิตหุ่นยนต์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV plants or Solar Farms) หรือเจ้าของระบบที่ติดตั้งบนหลังคา (rooftop) เพื่อรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ราคา เทคโนโลยีที่เหมาะสม ความคุ้มทุน ขอบเขตและข้อกำหนด ข้อจำกัดในการพัฒนาของประเทศ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์และการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผ่านมาของผู้ประกอบการแต่ละราย รวมถึงความยินยอมของการให้ข้อมูลและเงื่อนไขการเผยแพร่ข้อมูลด้วย

3. สรุปแนวทางที่เป็นไปได้ที่เหมาะสมของเทคโนโลยีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

3.1 สรุปข้อเสนอการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสรุปวิธีที่เหมาะสมกับฝุ่นหรือคราบสกปรกแต่ละประเภท เช่น การทำความสะอาดแบบใช้น้ำ หรือใช้สารละลายอย่างอื่น รวมถึงเทคนิคการเคลื่อนกระจกที่เริ่มมีผู้ผลิตบ้างแล้ว

3.2 ข้อเสนอความเป็นไปได้และความคุ้มค่าการลงทุน เช่น ต้นทุนเครื่องจักรกับผลตอบแทนการลงทุนของโรงไฟฟ้า ความพร้อมและศักยภาพของอุตสาหกรรมในประเทศไทย และแนวทางการลงทุน ได้แก่ รัฐลงทุนเรื่องการพัฒนาต้นแบบหรือผู้ประกอบการเอกชนสามารถออกแบบสร้างได้เอง รวมถึงแนวทางของอุตสาหกรรมเครื่องจักรทำความสะอาดแผงเซลล์ศักยภาพและโอกาสทางธุรกิจและการแข่งขันทางการตลาดของการผลิตและจำหน่ายเครื่องจักร

4. การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ต้นแบบ

4.1 ออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบ ออกแบบฟังก์ชันหลักเข้าสั่งซื้ออุปกรณ์ ทำการทดลองสร้างฟังก์ชันหลักเพื่อพิสูจน์แนวคิดหลัก

4.2 สร้างหุ่นยนต์ต้นแบบส่วนการเคลื่อนที่ การทำงานของเซนเซอร์ การควบคุมการเคลื่อนที่

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบส่วนการเคลื่อนที่

4.4 ทดสอบการใช้งานจริงของต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ในสถานที่จริง

4.5 ปรับปรุงต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm

5. การวิเคราะห์และประเมินต้นทุนและความคุ้มค่าของหุ่นยนต์ต้นแบบของเครื่องทำความสะอาดแผง

Solar rooftop และ Solar farm

5.1 วิเคราะห์และประเมินต้นทุนและความคุ้มค่าของหุ่นยนต์ต้นแบบของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง และประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบทั้งระบบ

7. ผลที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละช่วงระยะเวลา (แบ่งเป็นราย 6 เดือน)

7.1 ผลผลิต (Output) ที่คาดว่าจะได้รับ

เดือนที่	กิจกรรม (Activities)	ผลผลิต (outputs)
6 เดือนที่ 1	1.1 การรวบรวมข้อมูลของระบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ โดย ทบทวนจากเอกสาร บทความงานวิจัย หรือ รายงานการศึกษา	ได้ข้อมูลของเทคโนโลยีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบของรายงานจากการ ทบทวนเอกสาร
	1.2 การรวบรวมข้อมูลเทคโนโลยีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ทราบเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย
	1.3 รวบรวมและสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม และ สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากฐานข้อมูลทาง วิชาการและแหล่งอื่นๆ	
	1.4 สรุปปัญหาและกำหนดขอบเขตของการ ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบ	เจาะลึกในเทคนิคและเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการ ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศ ไทย
	2.1 ออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบ ออกแบบฟังก์ชันหลักเข้าสั่งซื้ออุปกรณ์ ทำการทดลองสร้าง ฟังก์ชันหลักเพื่อพิสูจน์แนวคิดหลัก	หุ่นยนต์ต้นแบบ รุ่นที่ 1 ของการทำความสะอาดทั้ง สองประเภท
	2.2 สร้างหุ่นยนต์ต้นแบบส่วนการเคลื่อนที่ การ ทำงานของเซนเซอร์ การควบคุมการเคลื่อนที่	
	2.3 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ หุ่นยนต์ต้นแบบส่วนการเคลื่อนที่	ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ หุ่นยนต์ต้นแบบ รุ่นที่ 1 ของการทำความสะอาดทั้ง สองประเภท
6 เดือนที่ 2	3.1. วิเคราะห์และประเมินต้นทุนและความคุ้มทุนของหุ่นยนต์ต้นแบบของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm	ได้ผลสรุปแนวทางที่เป็นไปได้ที่เหมาะสมของ เทคโนโลยีการทำความสะอาดแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ในประเทศไทยที่คุ้มทุน
	3.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง และประเมิน ประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบทั้ง ระบบ	การวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพการ ทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบ รุ่นที่ 1 ของการ ทำ ความสะอาดทั้งสองประเภท
	4.1 ปรับปรุงต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm	
3 เดือนสุดท้าย	4.1 ปรับปรุงต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm	ผลการปรับปรุงหุ่นยนต์ต้นแบบ รุ่นที่ 2 (ปรับปรุง) ของการทำความสะอาดทั้งสองประเภท
	4.2 ทดสอบการใช้งานจริงของต้นแบบเครื่อง ทำ ความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ในสถานที่จริง	ผลการทดสอบการใช้งานจริงของต้นแบบเครื่อง ทำ ความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ในสถานที่จริง
	4.3 สรุปผลการดำเนินโครงการ รวมถึง ข้อเสนอแนะสำหรับต่อยอดการวิจัยและพัฒนา เครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop	สรุปผลการดำเนินโครงการ รวมถึงข้อเสนอแนะ สำหรับต่อยอดการวิจัยและพัฒนาเครื่อง ทำ ความ สะอาดแผง Solar rooftop

7.2 ผลลัพธ์ (Outcome) ที่คาดว่าจะได้ตลอดระยะเวลาโครงการ

ผลลัพธ์	รายละเอียด
การศึกษาวิเคราะห์ทางด้านเทคโนโลยี หรือวิธีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานในประเทศไทย โดยคำนึงถึงประเภท ฝุ่น พื้นผิวหน้าแผงเซลล์ และเทคโนโลยีที่ใช้	รายงานผลการศึกษา
ต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพ โดยประเมินจากความสะดวกของแผง และมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ โดยประเมินจากความเร็วในการทำความสะอาด จำนวนแรงงานคนในการติดตั้งและควบคุม	ชิ้นงานต้นแบบทั้งระบบ และคู่มือการใช้งานเบื้องต้น
การประเมินความเป็นไปได้และความคุ้มค่า รวมถึงความพร้อมทางด้านอุตสาหกรรมของประเทศไทย สำหรับการใช้เครื่องจักร หรือหุ่นยนต์ทำความสะอาด	รายงานผลประเมินความคุ้มค่า

7.3 ผลกระทบ (Impact) ที่คาดว่าจะได้รับระหว่างดำเนินโครงการ หรือหลังสิ้นสุดโครงการแล้ว

ผลกระทบ	รายละเอียด
ต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาด และใช้แรงงานคนน้อยกว่าระบบแบบดั้งเดิม	ลดปัญหาการจ้างแรงงานในฤดูกาลเก็บเกี่ยว หรือการขาดแคลนแรงงานที่มีความเชี่ยวชาญในการทำทำความสะอาด
นวัตกรรมเครื่องทำความสะอาดที่สามารถผลิตแบบมวลได้	การต่อยอดเชิงธุรกิจและพาณิชย์ในศาสตร์ของการสร้างหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติที่สามารถใช้งานได้จริงและมีราคาที่เหมาะสม

8. การวิเคราะห์ผู้ใช้ประโยชน์จากผลงานวิจัย (User Analysis) และผลการจัดประชุมขอความเห็นจากผู้ใช้ประโยชน์จากผลงานวิจัย (User Meeting)

ภายหลังจากการจัดสัมมนาเผยแพร่ผลการศึกษาของโครงการก่อนหน้านี้ และการพูดคุยให้ความเข้าใจถึงความจำเป็นของการศึกษาแล้ว กลุ่มโรงไฟฟ้า หลายแห่ง ให้ความสนใจในการศึกษาวិจัยเรื่องการสร้างระบบอัตโนมัติสำหรับการทำความสะอาดเพิ่มมากขึ้น ตลอดจนความสนใจในการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม ทางคณะผู้วิจัยได้ประมวลความต้องการและความจำเป็นของการทำโครงการวิจัยพัฒนาต่อเนื่องจากโครงการที่ผ่านมาเป็น 2 แนวทาง คือ การพัฒนาเชิงอุตสาหกรรม และการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิชาการของประเทศไทย โดยพิจารณาเรื่องความร่วมมือของภาควิชาการ ผู้ให้ทุนภาคอุตสาหกรรม และผู้ใช้งานจริงเข้าด้วยกันเป็นหัวใจสำคัญสุด เพื่อให้เกิดข้อสรุปและแนวทางที่เป็นไปในทางเดียวกันและเพื่อที่จะให้การต่อยอดเชิงพาณิชย์ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้ โครงการนี้ยังครอบคลุมถึงการจัดการแลกเปลี่ยนความรู้และการอบรมสำหรับผู้ประกอบการทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้ประกอบการทางด้านเทคโนโลยีการทำความสะอาด และประชาชนที่สนใจ โดยการใช้ประโยชน์จากโครงการ โดยเนื้อหาในการเผยแพร่จะประกอบด้วย การวิเคราะห์การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แนวทางที่เหมาะสมในการนำเอาเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ และการวิเคราะห์การลงทุนและการต่อยอดทางธุรกิจจากหุ่นยนต์ต้นแบบในงานวิจัยนี้

9. กระบวนการผลักดันผลงานดังกล่าวออกสู่การใช้ประโยชน์

ทีมวิจัยและคณะทำงานของโครงการเป็นความร่วมมือใน 3 กลุ่ม คือ กลุ่มนักวิชาการในสถาบันการศึกษาหรือสถาบันวิจัย กลุ่มผู้ประกอบการอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรกลในประเทศไทย และกลุ่มผู้ใช้งานอาจจะเป็นผู้ประกอบการโรงไฟฟ้า หรือผู้ประกอบการด้านบริการบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า เพื่อให้มีความคิดการออกแบบที่หลากหลายและความเป็นไปได้ของโอกาสทางธุรกิจอุตสาหกรรม

จากการประเมินภาพรวมของโครงการเบื้องต้น การผลักดันผลงานจะเกิดขึ้นได้ด้วยความร่วมมือกันของทั้ง 3 ส่วนการทำงาน คือ

ส่วนที่ 1 คือ แหล่งทุนผู้สนับสนุน ในที่นี้ กฟผ.-สกว.

ส่วนที่ 2 คือ คณะผู้วิจัย มจร. ทำหน้าที่ประสานความร่วมมือใน 3 กลุ่มทำงาน

ส่วนที่ 3 คือ กลุ่มผู้เสนอโครงการพัฒนาต้นแบบ ต้องประกอบด้วยความร่วมมือของ 3 กลุ่ม (นักวิชาการ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักร และผู้ใช้งาน)

ซึ่งทางทีมวิจัยได้ประสานความร่วมมือเบื้องต้นและแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบในแต่ละกลุ่มดังต่อไปนี้

- กลุ่มวิชาการ ทำหน้าที่ออกแบบพัฒนาต้นแบบทางอุตสาหกรรม เพื่อสอดคล้องกับความต้องการผู้ใช้และภาคการผลิต
- กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรและกลุ่มที่มีศักยภาพพัฒนาต้นแบบได้สำเร็จและสามารถขยายผลได้ ทั้งนี้ กลุ่มอุตสาหกรรมสามารถพิจารณาลงทุนเพิ่มเติมหรือปรับปรุงจากต้นแบบไปสู่การสร้างเครื่องตามจำนวนที่ทดลองใช้งาน ในระหว่างการดำเนินงานวิจัย
- กลุ่มผู้ใช้งาน ในกรณีนี้ กฟผ. และสกว. จะลงทุนร่วมในการสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อนำไปทดลองใช้งาน ของโรงไฟฟ้า

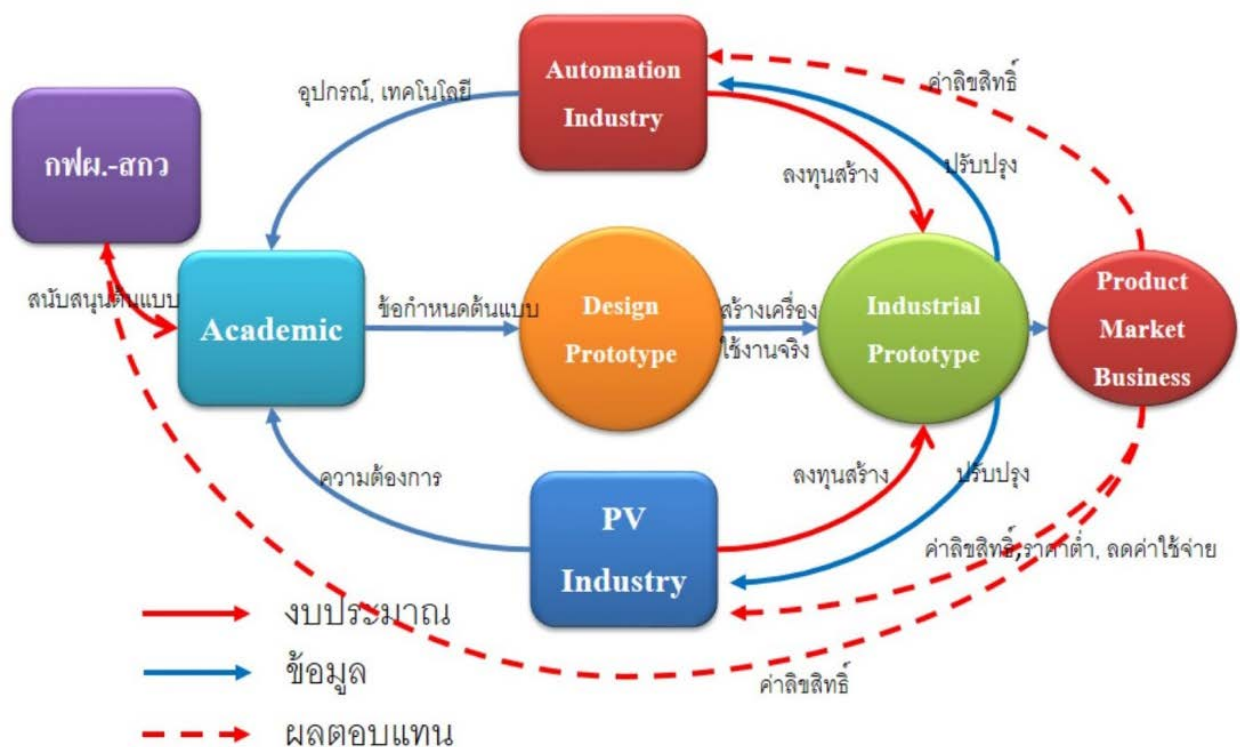
เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานและเพื่อหาข้อสรุปที่มาจากทุกภาคส่วนจริง โครงการนี้ยังครอบคลุมถึงการจัดการแลกเปลี่ยนความรู้และการอบรมสำหรับผู้ประกอบการทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้ประกอบการทางด้านเทคโนโลยีการทำความสะอาด และประชาชนที่สนใจ โดยการใช้ประโยชน์จากโครงการ ทั้งนี้ เนื้อหาในการเผยแพร่จะประกอบด้วย

- 1) การวิเคราะห์การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์
 - การพัฒนาและวิจัยเรื่องประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
 - แนวทางการปรับปรุงแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการป้องกันการยัดเกาะของฝุ่นและการทำความสะอาดที่ง่าย
 - แนวทางที่เหมาะสมในการนำเอาเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้
- 2) การวิเคราะห์การลงทุนและการต่อยอดทางธุรกิจ
 - แนวทางการศึกษาสามารถต่อยอดเป็นหุ่นยนต์ต้นแบบได้
 - การต่อยอดการศึกษาที่เป็นรูปแบบของธุรกิจที่เหมาะสม

โดยรูปแบบของการร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ความร่วมมือกับอุตสาหกรรมทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นผู้ใช้งานจริง หรือบริษัทที่ออกแบบและขึ้นรูประบบอัตโนมัติ โดยมีลักษณะความร่วมมือดังต่อไปนี้

- ในระยะแรกที่มีการสร้างต้นแบบ จะเป็นการสนับสนุนจากแหล่งทุน สกว.-กฟผ. เพื่อทำการกำหนดคุณลักษณะของต้นแบบและสร้างต้นแบบที่สามารถใช้งานได้จริง
- ในระยะขยายผล หากเป็นการขยายผลเพื่อสร้างต้นแบบจำนวนน้อยกว่า 5 เครื่องสำหรับใช้ในเครือข่ายของผู้ให้ทุน ทางผู้ให้ทุนสามารถว่าจ้างคณะวิจัยเพื่อทำการขึ้นต้นแบบในราคา add-cost ตามค่าใช้จ่ายของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้และค่าจ้างที่เกิดขึ้นในระหว่างขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อแสดงให้เห็นว่ากระบวนการขึ้นรูปต้นแบบนี้สามารถขยายผลได้จริง
- ในระยะขยายผลการผลิตปริมาณมาก หากผู้ให้ทุนหรือบริษัทที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ หรือบริษัทที่ขึ้นรูประบบอัตโนมัติ จะต้องเจรจากับผู้ให้ทุน เพื่อประเมินโครงการ สร้างความร่วมมือ และจ่ายค่าลิขสิทธิ์ให้กับผู้ให้ทุนและผู้สร้าง ก่อนจะทำการผลิตในปริมาณมาก ทั้งนี้ บริษัทเอกชนที่ร่วมโครงการและให้การสนับสนุนวิศวกรและบุคลากร ควรได้รับสิทธิในขยายผลและพิจารณาการผลิตเป็นบริษัทแรก หากไม่รับการพิจารณา บริษัทผู้ร่วมทุนสามารถจัดหาบริษัทขึ้นรูปเอง

ทั้งนี้ แผนภูมิการสนับสนุนและความร่วมมือกับทุกภาคส่วนของประเทศในการพัฒนาเครื่องจักรกลและหุ่นยนต์ทำความสะอาดเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ แสดงในรูปที่ 1.5.



รูปที่ 1.5. แผนภูมิแสดงความเชื่อมโยงและความร่วมมือกับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

ประเภทของการใช้ประโยชน์	โดยใคร (หน่วยงาน / บุคคล)	รายละเอียดการใช้ประโยชน์
1. ด้านนโยบาย	หน่วยงานภาครัฐจะตระหนักถึงเทคโนโลยีการสร้างหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติและสนับสนุนเชิงนโยบายในการผ่อนปรนเรื่องภาษีนำเข้าและอำนวยความสะดวกในเรื่องการเคลื่อนย้ายบุคลากรจากภาคการศึกษาไปยังภาคอุตสาหกรรม	การสร้างนโยบาย การสนับสนุนการสร้างและพัฒนาหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
2. ด้านสาธารณะ	การเผยแพร่ผลงานสู่สาธารณะ และการนำไปต่อยอดในการสร้างหุ่นยนต์	การเผยแพร่ผลงานผ่าน การสัมมนาในช่วงหลังของโครงการ
3. ด้านพาณิชย์	การศึกษาความคุ้มค่าและการต่อยอดเชิงพาณิชย์ของหุ่นยนต์ต้นแบบเพื่อการผลิตแบบมวลรวม	การร่วมลงทุนของภาคเอกชน หรือ การผลิตโดยผู้ใช้งานจริงจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศ
4. ด้านชุมชนและพื้นที่	การลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคการเกษตรและการเข้าถึงพื้นที่ของคนในชุมชน	
5. ด้านวิชาการ	การพัฒนาต่อยอดเชิงระบบอัตโนมัติและระบบอัจฉริยะในการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์	การวิจัยและปรับปรุงระบบให้มีความฉลาด โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับ

10. ผลงานที่ส่งต่อ สกว. (ผลงานสมบูรณ์ที่ใช้ในการตรวจรับงาน)

10.1 หุ่นยนต์ต้นแบบและระบบควบคุม และองค์ประกอบในแต่ละส่วน จำนวน 1 ชุด

10.2 คู่มือการทำงาน และรายละเอียดอุปกรณ์และแบบที่ใช้ในการสร้าง จำนวน 1 ชุด

10.3 ผลการทดสอบภาคสนามในสถานที่ใช้งานจริง

10.4 การฝึกอบรมการใช้งานให้กับผู้ปฏิบัติงาน

ผู้รับจ้างต้องจัดอบรมเกี่ยวกับการใช้งานหุ่นยนต์ และระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องตามสัญญาที่ให้แก่เจ้าหน้าที่พนักงานหรือลูกจ้างของผู้ว่าจ้าง เมื่อผู้รับจ้างได้ดำเนินการส่งมอบงานดังกล่าวเสร็จสมบูรณ์ โดยการอบรมดังกล่าวให้มีความครอบคลุมการอบรมวิธีการใช้งานหุ่นยนต์, ระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง, Software ระดับ User และแนะนำ Function สำคัญใน Source Code ให้โปรแกรมเมอร์ของผู้ว่าจ้างได้ทราบ

10.5 Source Code ในรูปแบบ Soft File และ Hard Copy จำนวน 1 ชุด

ผู้วิจัยจะทำการส่งมอบต้นฉบับและ Source Code ทั้งหมดของโครงการให้แก่ผู้ว่าจ้าง โดยผู้ว่าจ้างมีสิทธิที่จะทำการปรับปรุง คัดลอก หรือนำระบบงานนี้ไปใช้ในงานส่วนอื่น หรือวัตถุประสงค์ของผู้ว่าจ้างได้ตามต้องการ

เอกสารอ้างอิง

- (1) บริษัท เก้าแสน เพาเวอร์โซลาร์วิส จำกัด, 2559,
<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=579253042223875&set=pcb.579253188890527&type=3&theater>
- (2) Kaercher, 2013, iSolar, <https://www.kaercher.com/uk/professional/high-pressure-cleaners/isolar-clean-solar-modules-effectively-and-increase-electricity-production.html>
- (3) พิทักษ์ชัย จันทสิทธิ์, 2558, เครื่องล้างแผงโซลาร์เซลล์,
<https://www.facebook.com/pithukchai.jantasid/videos/10205543022751433/>
- (4) Bitimec, 2015, Bitimec's New Solar Panel Washing Machine Cleans Solar Panels Fast,
http://www.bitimec.com/bitimec_page.asp?IDProdotto=315
- (5) Unger, HiFlo PureWater Cleaning System,
http://www.ungerglobal.com/usa/media/wysiwyg/pdf/16465_PureWater_12_Page_BROCHURE.pdf
- (6) Serbot, 2013, GEKKO Solar Farm, <http://serbot.ch/en/products/solar-panel-cleaning-robots/gekko-solar-farm>
- (7) Eric Wesoff, Herman Trabish, 2013, SunPower Cleans Up Solar With Acquisition of Greenbotics,
<http://www.greentechmedia.com/articles/read/SunPower-Cleans-Up-Solar-With-Acquisiton-of-Greenbotics>
- (8) Wash Panel, Solar panel array cleaning Robot, <http://www.washpanel.com/file/WP-brochure2014.pdf>
- (9) Aerial Power Limited, 2014, SOLARBRUSH, <http://www.aerialpower.com/solarbrush>
- (10) (KAUST) near Jeddah, Saudi Arabia, King Abdullah University for Science and Technology, 2015, nomad desert solar, <http://www.nomaddesertsolar.com/>
- (11) Ecopia, 2014, ECOPPIA E4, <http://www.ecoppia.com/ecoppia-e4>
- (12) David Greig, 2009, Heliotex' automatic solar panel cleaning system,
<http://www.gizmag.com/heliotex-solar-panel-cleaning/11009/>
- (13) Atten P, Pang HL, Reboud JL. Study of dust removal by standing – Wave electric curtain for application to solar cells on Mars. IEEE Trans. Ind. Appl. 2009; 45:75–86.
- (14) Bock JP, Robison JR, Sharma R, Zhang J, Mazumder MK. An efficient power management approach for self cleaning solar panels with integrated electrodynamic screens. In: Proc. ESA Annual Meeting on Electrostatics 2008; Minneapolis, MN, Paper O2.
- (15) Nanoman, Nanotechnology: Solar Panel Glass Coating Solution,
<http://www.nanoman.com.au/solarcoat.html>

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

กระบวนการทั่วไปในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีทั้งระบบที่เป็นแบบอัตโนมัติและระบบที่ต้องใช้แรงงานคนในการทำความสะอาด ซึ่งในปัจจุบัน การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไป มีทั้งหมด 3 รูปแบบหลักๆ ได้แก่ การทำความสะอาดด้วยวิธีการของไฟฟ้าพลวัตแบบคลื่นและแบบหลายเฟส การเคลือบพื้นผิวของแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการของนาโนเทคโนโลยี และการใช้หุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติในการทำ ความสะอาด ทั้งนี้ การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่หรือการใช้หุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติก็ต้องอาศัยการลงทุนทางการเงิน การพัฒนาและการสร้างที่ต่างกัน ตัวอย่างเช่น การใช้ระบบฟลักของสปูและน้ำแบบอัตโนมัติจะมีการลงทุนที่ประมาณ 700,000 บาทและสามารถทำความสะอาดได้ถึง 50 แผงเซลล์เชื้อเพลิง การใช้ระบบหุ่นยนต์อาจจะต้องมีการลงทุน ในช่วง 100,000 บาทถึง 2,000,000 บาท ขึ้นอยู่กับขนาดของระบบ ความรวดเร็วในการทำงาน ความซับซ้อนในการทำงาน และประสิทธิภาพในการทำงาน ทั้งนี้ ข้อดีและข้อเสียของเทคโนโลยีต่างๆ ตลอดถึงความเหมาะสมในการใช้ งานจะถูกพิจารณาในโครงการนี้ เพื่อเป็นข้อเสนอแนะในกระบวนการทำความสะอาดของแผงเซลล์เชื้อเพลิงอีกด้วย

ทั้งนี้ อุตสาหกรรมทางด้านหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติของประเทศไทยได้รับการพัฒนาและส่งเสริมอย่างต่อเนื่อง และมีจำนวนของบุคลากรทางด้านหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติที่มากขึ้น ทำให้ประเทศไทยมีความพร้อมใน ด้านการลงทุนและโครงสร้างพื้นฐานที่เอื้อต่อการพัฒนาทางด้านนี้ สำหรับการพัฒนาหุ่นยนต์ที่ใช้ทำความสะอาดแผง เซลล์แสงอาทิตย์นั้น มีบริษัทชั้นนำได้ให้ความสนใจในการสร้างและพัฒนาทางด้านนี้เป็นจำนวนมาก แต่ยังไม่ มีผลงานหรือสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะสำหรับการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น การสอบถามและ การเจาะลึกในรายละเอียด อาทิ ความต้องการทางการตลาด สิ่งทางอุตสาหกรรมหุ่นยนต์ทำได้ และสิ่งที่ อุตสาหกรรมทางด้านพลังงานคาดหวังจะเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยต่อยอดทางการพัฒนาในด้านเทคโนโลยีหุ่นยนต์ ทำความสะอาดสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย ทั้งนี้ การวิจัยและพัฒนาเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ นั้นมีอยู่มากมายและหลากหลาย โดยเฉพาะในต่างประเทศ ซึ่งสามารถ แบ่งเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติของเครื่องทำความสะอาดแผงออกเป็น 2 ลักษณะ คือ เทคโนโลยีที่ใช้น้ำและไม่ใช้น้ำ โดยเทคโนโลยีที่ใช้น้ำเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับภูมิประเทศและปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ในประเทศไทย เช่น มุลนก ผุ่น เขม่าจากการเผาไหม้ทางการเกษตร เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้น้ำประกอบด้วย 2 รูปแบบ คือ การควบคุมด้วยคน และแบบอัตโนมัติ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 เครื่องทำความสะอาดที่ควบคุมด้วยคน

(1) แปรทั่วไป

ปัจจุบัน แปรทำความสะอาดแบบทั่วไปนั้นมีหลากหลายยี่ห้อ โดยส่วนใหญ่มีรูปลักษณะและลักษณะการใช้ งานที่ใกล้เคียงกัน คือ บริเวณหัวแปรงมีรูตรงกลางหรือด้านข้างทั้งสองข้าง ส่วนด้ามจับมีความกลวงเพื่อส่งน้ำจาก ด้ามจับไปยังหัวแปรงด้วยการเชื่อมต่อกับสายยางและปั้มน้ำ ซึ่งด้ามจับสามารถปรับขนาดความยาวให้เหมาะสมกับ ความยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1. เครื่องทำความสะอาดที่ควบคุมด้วยคน: แปรงทั่วไป

ที่มา: http://www.ungerglobal.com/usa/media/wysiwyg/pdf/16465_PureWater_12_Page_BROCHURE.pdf

(2) แปรง iSolar

แปรง iSolar แตกต่างจากแปรงทำความสะอาดโดยทั่วไปที่หัวแปรงซึ่งมีลักษณะกลมเหมือนแผ่นดิสก์ ที่สามารถหมุนได้ด้วยการทำงานของเกียร์ ส่วนด้ามจับมีความกลวงเพื่อส่งน้ำจากด้ามจับไปยังหัวแปรงด้วยการเชื่อมต่อกับสายยางและปั้มน้ำ ซึ่งด้ามจับสามารถปรับขนาดความยาวให้เหมาะสมกับความยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เช่นกัน แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2. เครื่องทำความสะอาดที่ควบคุมด้วยคน: แปรง iSolar

ที่มา: <https://www.kaercher.com/uk/professional/high-pressure-cleaners/isolar-clean-solar-modules-effectively-and-increase-electricity-production.html>

(3) Gekko

Gekko เป็นเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานโดยมีการใช้ไฟ น้ำ และแรงดันอากาศ รวมถึงการเคลื่อนย้าย Gekko ด้วย Joystick กับความสามารถในการทำความสะอาดได้เร็วถึง 2,900 ตารางเมตรต่อชั่วโมง ที่ทำ

ความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่เอียงทำมุม 30 องศาได้ และเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างได้ถึง 60 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3. เครื่องทำความสะอาดที่ควบคุมด้วยคน: Gekko

ที่มา: <http://serbot.ch/en/products/solar-panel-cleaning-robots/gekko-solar-farm>

(4) Telescopic boom

Telescopic boom แตกต่างจาก Gekko ที่การยืดติดของแปรงที่ยาวถึง 3.6 เมตร กับ Telescopic boom ด้วยระบบไฮดรอลิก ร่วมกับตัวรับสัญญาณคลื่นเสียงความถี่สูงสำหรับปรับแรงกดของแปรงขณะทำความสะอาด และควบคุมด้วย Joystick กับความสามารถในการทำสะอาด 1.3 MW ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใน 4 ชั่วโมง โดย Telescopic boom มีถังบรรจุน้ำในตัว และสามารถยืดได้ยาวถึง 9 เมตร แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4. เครื่องทำความสะอาดที่ควบคุมด้วยคน: Gekko

ที่มา: http://www.bitimec.com/bitimec_page.asp?IDProdotto=315

2.2 เครื่องทำความสะอาดแบบอัตโนมัติ

(1) Sunpower-greenbotic's GB1

Sunpower-greenbotic's GB1 เป็นเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานแบบไร้สาย (Wireless) และสามารถชาร์จไฟได้ โดยมีหัวแปรงและระบบเช็ดน้ำ อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีระบบอัตโนมัตินี้ยังต้องการแรงงานคนสำหรับติดตั้งและเคลื่อนย้ายจากแถวหนึ่งไปยังอีกแถวหนึ่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 2.5

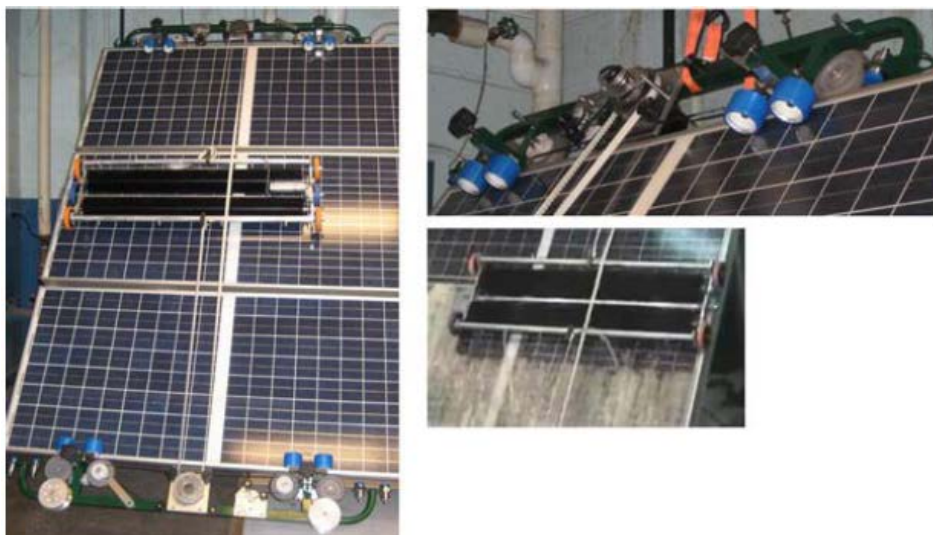


รูปที่ 2.5. เครื่องทำความสะอาดที่ควบคุมด้วยคน: Sunpower-greenbotic's GB1

ที่มา: <http://www.greentechmedia.com/articles/read/SunPower-Cleans-Up-Solar-With-Acquisiton-of-Greenbotics>

(2) หุ่นยนต์ PV cleaner V1

หุ่นยนต์ PV cleaner V1 เป็นเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่มีส่วนประกอบของล้อเลื่อนแบบมอเตอร์จำนวนสองคู่ สำหรับยึดและเคลื่อนที่ในแนวนอนที่ขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และหัวแปรงทำความสะอาดที่ขับเคลื่อนในแนวตั้งด้วยระบบสายพานและรอก กับความสามารถในการเคลื่อนที่บนแผงที่มีขนาดแตกต่างกันได้ด้วยการสับเปลี่ยนสายพาน ความสามารถในการเคลื่อนผ่านช่องว่างระหว่างแผงที่มีความกว้างไม่เกิน 8 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักรวม 34 กิโลกรัม กับความสามารถประกอบและติดตั้งได้ภายใน 10 นาที ด้วยแรงงาน 2 คน ความสามารถในการทำความสะอาดได้เร็วถึง 140 ตารางเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้น้ำ 0.58 ลิตรต่อตารางเมตร แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6. เครื่องทำความสะอาดแบบอัตโนมัติ: หุ่นยนต์ PV cleaner V1

(3) หุ่นยนต์ Wash panel cleaning

หุ่นยนต์ Wash panel cleaning เป็นเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่มีระบบส่งการผ่านเซ็นเซอร์ด้วยการพ่นน้ำ ระบบนี้สามารถควบคุมจากที่ไหนก็ได้ โดยไม่ต้องการการสนับสนุนจากอุปกรณ์เสริมอื่นๆ กับความสามารถในการติดตั้งบนพื้นดิน อาคาร และหลังคา และความสามารถในการติดตามตรวจสอบระบบโดยส่งข้อความมายังโทรศัพท์มือถือด้วยระบบ GSM และ WiFi อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีระบบอัตโนมัตินี้ยังต้องการแรงงานคนสำหรับติดตั้งและเคลื่อนย้ายจากแถวหนึ่งไปยังอีกแถวหนึ่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 2.7

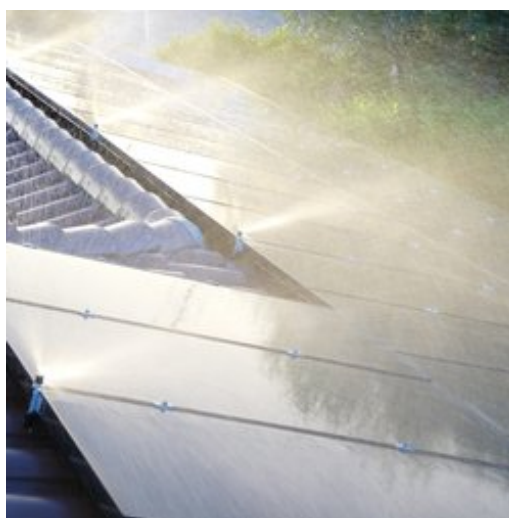


รูปที่ 2.7. เครื่องทำความสะอาดแบบอัตโนมัติ: หุ่นยนต์ Wash panel cleaning

ที่มา: <http://www.washpanel.com/file/WP-brochure2014.pdf>

(4) Heliotex

Heliotex เป็นเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่หัวสเปรย์บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกแผงที่เชื่อมต่อกับระบบจ่ายน้ำ ด้วยการควบคุมผ่านการเขียนโปรแกรม กับความสามารถในการติดตั้งได้กับทุกขนาดของแผง โดยมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 2,258 เหรียญดอลลาร์สหรัฐ สำหรับ 50 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีระบบอัตโนมัตินี้สิ้นเปลืองน้ำมากกว่าเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติอื่นๆ แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8. เครื่องทำความสะอาดแบบอัตโนมัติ: Heliotex

ที่มา: <https://s3-media2.fl.yelpcdn.com/bphoto/sQSKEqe7NN3iCvy2ocoHjg/ls.jpg>

(5) เครื่องล้างแผงโซลาเซลล์ แอล โซลาร์ 1

เครื่องล้างแผงกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นโดยบริษัท แอล โซลาร์ 1 จำกัด โดยในปัจจุบันยังไม่มีการผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นการใช้งานภายในบริษัทเท่านั้น การทำงานจะต้องใช้แรงงานคนในการยกเครื่องมาติดตั้งบนแผงซึ่งตัวเครื่องมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากถึง 80 กก. ซึ่งต้องใช้แรงงานคนทั้งหมด 4 คน ในการติดตั้งและเคลื่อนย้ายตัวเครื่องจะประกอบด้วยแปรง มอเตอร์ ผ้าซาฟเวอร์ หัวสเปรย์และสายยางที่เชื่อมต่อกับถังปั้มน้ำ การทำงานจะมีการพ่นน้ำเพื่อชะล้างตามด้วยแปรงลูกกลิ้งในการกำจัดคราบต่างๆ จากนั้นระบบจะทำการพ่นน้ำอีกครั้งและเช็ดด้วยผ้าซาฟเวอร์ โดยมีคนคอยจับสายยางเดินตามขณะเครื่องทำงาน รวมถึงการเปิด/ปิดสวิตช์เพื่อให้เครื่องทำงานและหยุดทำงาน วิธีนี้ยังต้องใช้คนในการควบคุม รวมถึงเคลื่อนย้ายเพื่อทำความสะอาด panel ถ้าวางต่อไป ตัวอย่างของเทคโนโลยีทำความสะอาดวิธีนี้ ดังรูปที่ 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2.9 เครื่องล้างแผงโซลาเซลล์

(ที่มา: <https://www.facebook.com/pithukchai.jantasid/videos/10205543022751433/>)



รูปที่ 2.10 วิธีการยกเครื่องเพื่อเคลื่อนย้ายไปยังแถวถัดไป

(ที่มา: https://www.youtube.com/watch?v=1aj_rNZbUig)

(6) หุ่นยนต์ทำความสะอาด Wash panel

หุ่นยนต์ Wash panel เป็นหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ทั้งระบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติมีระบบการทำงานอัตโนมัติเมื่อเวลาฝนตกจะไม่ใช้น้ำ หลักการทำความสะอาดจะใช้แปลงชุดพร้อมกับระบบฉีดน้ำประกอบด้วยแปรงที่ตั้งฉากกับแกนของ PV panel และระบบเช็ดน้ำ สามารถทำงานได้บนพื้นเอียง 10 องศา เพื่อในขณะกำลังนั้นสามารถล้างและกำจัดน้ำสกปรกออกไปพร้อมๆกัน โดยสามารถกำจัดได้ทั้งคราบฝุ่นและมูลนก



รูปที่ 2.11 หุ่นยนต์ทำความสะอาดด้วย Wash panel
(ที่มา: <http://www.washpanel.com/en/documenti.php>)

(7) หุ่นยนต์ทำความสะอาด SMR-640AD

ต้นแบบ SMR-640AD น้ำหนักเบาเพียง 17 กก. ทำงานด้วยแบตเตอรี่ Li-ion เวลาใช้งานประมาณ 1.5 ชั่วโมงต่อการชาร์จแบตเตอรี่ 3 ชั่วโมง หุ่นยนต์ทำงานอัตโนมัติ จะเปลี่ยนทิศทางเพื่อเคลื่อนไปยังบรรทัดถัดไปของโมดูลเมื่อถึงขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และส่งสัญญาณเมื่อถึงจุดสิ้นสุดของการทำความสะอาด การทดสอบแสดงให้เห็นว่าในกรณีใช้งานหุ่นยนต์ จะลดต้นทุนการทำความสะอาดลง 80 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับการทำความสะอาดด้วยมือ



รูปที่ 2.12 หุ่นยนต์ทำความสะอาด SMR-640AD
(ที่มา: <https://www.jetro.go.jp/en/mjcompany/miraikikai.html>)

(8) ผลงานประดิษฐ์อุปกรณ์ล้างแผงโซลาร์เซลล์ ของ ลัทธวิทย์ อวรรพรส่ง และณัฐพร สีดา วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี

การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า 'เซลล์แสงอาทิตย์' เพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงาน ไฟฟ้าซึ่งเมื่อใช้งานไปสักระยะจำเป็นต้องทำความสะอาดเพราะฝุ่นละออง เขม่าควัน และละอองเกสรดอกจะไปติดบนแผงทำให้ กำลังการผลิตของระบบลดลงถึง 20% ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้เกิดแนวคิดในการสร้างอุปกรณ์ที่สามารถทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ ได้สะดวกและสามารถทำงานแบบอัตโนมัติ หรือแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อให้การทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ ทำได้สะดวก และง่ายขึ้น ช่วยให้ประหยัดแรงงาน และ ทำให้แผงโซลาร์เซลล์ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

อุปกรณ์ล้างแผงโซลาร์เซลล์ ใช้ในการล้างแผงโซลาร์เซลล์โดยอุปกรณ์จะมีท่อพ่นน้ำเพื่อพ่นน้ำทำความสะอาด ฝุ่น และมีท่อสำหรับพ่นน้ำยาทำความสะอาด จากนั้นจะมีแปรงขัดแบบเกลียวทำหน้าที่ขัดแผงทำความสะอาด และจะมีท่อพ่นน้ำเพื่อล้างน้ำยาทำความสะอาด และท้ายสุดจะมียางปาดเพื่อปาดน้ำให้แห้ง โดยระบบทั้งหมดจะใช้วงจรควบคุมการทำงานร่วมกับปั้มน้ำ

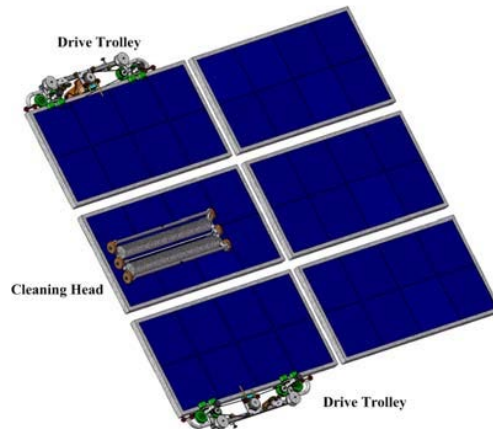


รูปที่ 2.13 อุปกรณ์ล้างแผงโซลาร์เซลล์

(ที่มา : <http://www.thaiinvention.net/detail.php?p=cHJvamVjdF9pZD0xNTAxNyZjZmdfaWQ9MjQmY29tcGV0X2lkPTI=>)

(9) งานวิจัยของ Mark Anderson, Ashton Grand, Jeremy Hastie, Andrew Sweezey, Richard Ranky, Constantin Mavroidis, 2014, ROBOTIC DEVICE FOR CLEANING PHOTOVOLTAIC PANEL ARRAYS.

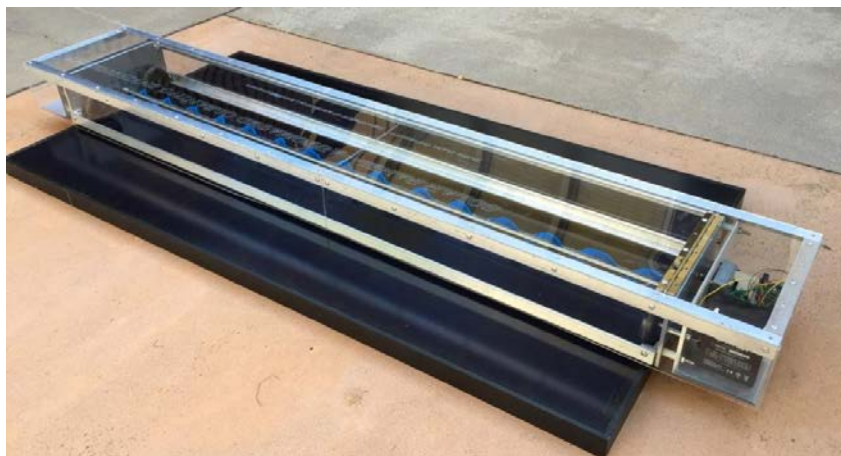
ได้สร้างหุ่นยนต์ PV cleaner V1 ประกอบด้วย motorized trolleys สองคู่ ที่ขอบของ panel ซึ่งเคลื่อนที่ในแนวนอน และ cleaning head ขับเคลื่อนโดยระบบสายพานและรอก ในแนวดิ่ง cleaning head ประกอบด้วย แปรงขัดทรงกระบอก และตัวเช็คคราบสกปรก สามารถเคลื่อนที่ไปบน panel ที่มีขนาดแตกต่างกันได้ด้วยการสับเปลี่ยนสายพานทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนแถวของ panel สามารถเคลื่อนผ่านช่องว่างระหว่าง panel ที่กว้างได้ถึง 8 เซนติเมตร ตัวต้นแบบของ V1 robot เครื่องมีน้ำหนักรวม 34 กิโลกรัม สามารถประกอบและติดตั้งได้ภายในระยะเวลาไม่เกิน 10 นาที ด้วยคนจำนวน 2 คน การทดสอบการล้างใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 2.33 ตารางเมตรต่อนาที โดยใช้น้ำ 0.58 ลิตรต่อตารางเมตร ทั้งนี้เป็นเพียงการล้าง 1 ครั้ง เท่านั้น



รูปที่ 2.14 ต้นแบบ PV Cleaner Robot V1.0

(10) งานวิจัยของ Matt Burke, Ryan Greenough, Daniel Jensen, Elliot Voss, 2016, *Solar Panel Automated Cleaning Environment*

โครงการสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัตโนมัติที่ยังมีต้นทุนต่ำกว่า 500 เหรียญและใช้งานได้ถึง 7 ปี การออกแบบทำงานโดยไม่ใช้น้ำ อุปกรณ์ใช้ในระบบทำความสะอาดคือแปรงทำความสะอาด ใช้มอเตอร์ 12V DC ไปหมุน แปลงยาว 5.00 ฟุต เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 นิ้วและขับเคลื่อนด้วย 2 ชุด แหล่งจ่ายไฟคือแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ การออกแบบน้ำหนักเบา ช่วยลดการใช้พลังงานระหว่างการทำความสะอาดและลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นเกิดจากการใช้แรงงาน ราคาขายปลีกมีราคาประมาณ 700 เหรียญสหรัฐฯ ระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 3.5 ปี อุปกรณ์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สกปรกได้ถึง 3.5%



รูปที่ 2.15 ต้นแบบ Solar Panel Automated Cleaning Environment

บทวิเคราะห์

จากความหลากหลายของเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติสำหรับเครื่องทำความสะอาดเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีข้อดี ข้อเสีย และค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกันไป ทำให้ทีมวิจัยจำเป็นต้องศึกษาและวิจัยเพื่อตอบโจทย์ให้กับภาคอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ โดยเน้นการวิจัยและพัฒนาเครื่องทำความสะอาด Solar farm ด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ ตามความต้องการของโรงไฟฟ้าในเครือข่ายของ กฟผ. ในการวิจัยและพัฒนาเครื่องทำความสะอาดด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ ทั้งในระบบที่เป็นแผงที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar rooftop) และแบบฟาร์ม (Solar Farm) จึงเป็นที่มาของโครงการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการทำความสะอาดเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าและลดค่าใช้จ่ายในการผลิตให้มากที่สุด

บทที่ 3

หุ่นยนต์สำหรับ Solar Farm

รายละเอียดของบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับหุ่นยนต์ทำความสะอาดในโซลาร์ฟาร์ม ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้ ภาพรวมของระบบ การออกแบบหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ลักษณะการใช้งาน วิธีการวิจัย และการทดสอบ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในหัวข้อดังต่อไปนี้

ทั้งนี้ จากการสำรวจความต้องการของผู้เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ภายใต้โครงการวิจัยร่วมของกฟผ.-สกว. ตามสัญญาเลขที่ RDG59D0002 วันที่สัญญา 15 ธ.ค. 2558 โดยเป็นการศึกษาด้านการยืดเกาะของฝุ่นและสิ่งสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และศึกษาผลกระทบของฝุ่นต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และแนวทางของอุตสาหกรรมหรืออุตสาหกรรมเครื่องจักรกลทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลจากการสำรวจความคิดเห็นจากผู้ให้ข้อมูลจำนวน 59 แบบสอบถาม ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 โดยผู้ให้ข้อมูลประกอบด้วย (1) ผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และธุรกิจที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เจ้าของกิจการ 8 แบบสอบถาม และพนักงาน 38 แบบสอบถาม และ (2) เจ้าหน้าที่จากภาครัฐ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 13 แบบสอบถาม พบว่า เครื่องจักรกลทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความต้องการมีคุณสมบัติเบื้องต้น ดังนี้

- (1) ระบบการทำงานแบบอัตโนมัติที่สามารถทำงานได้ทั้ง solar farm และ PV solar rooftop
- (2) โครงสร้างอุปกรณ์แข็งแรงทนทาน กะทัดรัด มีขนาดพอดีกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมีความสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน
- (3) การใช้งานสามารถใช้ได้กับทุกขนาดของแผง
- (4) ประสิทธิภาพการทำความสะอาดสูง
- (5) ราคา 50,000 – 100,000 บาท
- (6) อายุการใช้งาน 5 ปี และบำรุงรักษาง่าย เช่น ทำความสะอาดง่าย และแยกชิ้นส่วนได้ เป็นต้น

การสำรวจความคิดเห็น (หน่วยเป็น %)

1. รูปแบบการจ้างงานและผลตอบแทน					
รูปจ้างชั่วคราว (เจ้าของ)	เครื่องจักร + คน	คน	เครื่องจักรอัตโนมัติ		
	62.5	25	12.5		
เกษตรกร (พนักงาน)	เครื่องจักร + คน	คน	เครื่องจักรอัตโนมัติ	รถจักรยานยนต์	อื่นๆ
	43.24	29.73	10.81	8.11	8.11
ภาครัฐ (เจ้าหน้าที่)	เครื่องจักร + คน		เครื่องจักรอัตโนมัติ	รถจักรยานยนต์	อื่นๆ
	53.85		23.08	15.38	7.69

3. เทคโนโลยีที่ช่วยด้านแรงงานและผลผลิต				
รูปจ้างชั่วคราว (เจ้าของ)	เครื่องจักรอัตโนมัติ	เครื่องจักร	เครื่องจักรไฟฟ้า	อื่นๆ
	50	25	12.5	12.5
เกษตรกร (พนักงาน)	เครื่องจักรอัตโนมัติ	เครื่องจักร	เครื่องจักรไฟฟ้า	อื่นๆ
	70.27	10.81	10.81	8.11
ภาครัฐ (เจ้าหน้าที่)	เครื่องจักรอัตโนมัติ	เครื่องจักร	เครื่องจักรไฟฟ้า	อื่นๆ
	41.67	25	16.67	8.33

รูปที่ 3.1. ข้อมูลจากการสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

คุณสมบัติเครื่องจักรทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (หน่วยเป็น %)

1. รูปแบบเครื่องจักรทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์			
รูปจ้างชั่วคราว (เจ้าของ)	พอลิเมอร์และพลาสติก	พลาสติก	
	50	50	
เกษตรกร (พนักงาน)	พอลิเมอร์และพลาสติก	พลาสติก	อื่นๆ
	50	39.47	10.53
ภาครัฐ (เจ้าหน้าที่)	พอลิเมอร์และพลาสติก	พลาสติก	อื่นๆ
	46.15	38.46	15.38

4. ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์					
รูปจ้างชั่วคราว (เจ้าของ)	ค่าใช้สอยต่ำ	ไม่ได้ใช้ประโยชน์	ค่าใช้สอยสูง	ค่าใช้สอยต่ำ	ค่าใช้สอยสูง
	37.5	25	12.5	12.5	12.5
เกษตรกร (พนักงาน)	ค่าใช้สอยต่ำ	ไม่ได้ใช้ประโยชน์	ค่าใช้สอยสูง	ค่าใช้สอยต่ำ	ค่าใช้สอยสูง
	42.11	31.58	10.53	10.53	5.26
ภาครัฐ (เจ้าหน้าที่)	ค่าใช้สอยต่ำ	ไม่ได้ใช้ประโยชน์	ค่าใช้สอยสูง	ค่าใช้สอยต่ำ	ค่าใช้สอยสูง
	53.85	23.08	15.38	7.69	

รูปที่ 3.2. ข้อมูลจากการสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับคุณสมบัติเครื่องจักรสำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Conceptual Design ของหุ่นยนต์เบื้องต้น

จากคุณสมบัติของหุ่นยนต์เบื้องต้น คณะวิจัยได้กำหนดรายละเอียดในการออกแบบในส่วนของตัวหุ่นยนต์ระบบขับเคลื่อน และส่วนประกอบเสริมสำหรับน้ำและแบตเตอรี่ ดังแสดงในรูปที่ 3.3-3.6 โดยมีรายละเอียดเบื้องต้นดังต่อไปนี้

1. สามารถถอดประกอบได้ง่าย
2. สามารถปรับความยาวของแขนให้เหมาะสมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3. มีน้ำหนักเบา
4. เคลื่อนย้ายง่าย
5. สามารถประกอบและติดตั้งกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ง่าย
6. มีโมดูลการเคลื่อนที่แบบตั้งฉากและในแนวระนาบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์
7. มีราคาไม่แพง
8. สามารถเลือกองค์ประกอบได้ตามต้องการ
9. ส่งการผ่านระบบไร้สายระยะทางไกล
10. เป็นการทำความสะอาดโดยใช้น้ำ
11. มีการปรับระยะกดของขนแปรงได้
12. ทำงานด้วยไฟ DC จากแบตเตอรี่
13. มีระบบน้ำแบบเคลื่อนย้ายพร้อมหุ่น หรือเคลื่อนย้ายด้วยคนตามหุ่นยนต์ไป
14. ปรับความเร็วของแปรงหมุนได้
15. มีเซนเซอร์เช็คและป้องกันการตกขอบ
16. มีล้อสปริงและล้อยางที่ไม่ทำลายพื้นผิว
17. มีความเร็วในการทำความสะอาดไม่น้อยกว่า 2,000 ตารางเมตรต่อชั่วโมง (ครอบคลุมสำหรับ 0.35 MW ต่อชั่วโมง)
18. สามารถตรวจจับขอบหรือพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หูนขึ้นมา (optional)
19. มีผ้าเช็ดทำความสะอาด (ชามัวร์) มาเช็ดอีกครั้ง (optional)
20. มีระบบการเคลือบผิวแบบ nano-spray หลังการขัดล้าง (Optional)



MODULAR ROBOTS

- เพื่อให้การประกอบและติดตั้งทำได้ง่าย
- เพื่อสามารถแก้ไขส่วนต่างๆ หรือปรับเปลี่ยนได้อย่างรวดเร็ว
- น้ำหนักเบา
- เคลื่อนย้ายง่าย

รูปที่ 3.3. การออกแบบเชิง concept เบื้องต้น

การออกแบบ conceptual design ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โดยลักษณะโดยทั่วไปของหุ่นยนต์ทำความสะอาดที่สามารถตอบสนองความต้องการในภาคอุตสาหกรรมจะมีลักษณะเป็นหุ่นยนต์ที่ทำความสะอาดด้วยน้ำ มีแขนแปร่งที่สามารถปรับระยะกดและความยาวได้ เพื่อให้ตอบสนองกับการประกอบและการติดตั้งอย่างรวดเร็ว โดยหุ่นยนต์ต้นแบบจะเป็นลักษณะของ หุ่นยนต์โมดูล “Modular Robots” ที่มีส่วนประกอบของแปร่งและมอเตอร์หมุนแปร่ง ด้านพยางค์โครงสร้าง ตัวขับเคลื่อนล้อ และระบบท่อน้ำ โดยแต่ละโมดูลจะถูกสร้างแยกจากกัน แล้วทำการประกอบตามลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละสถานที่ หรือตามความต้องการของลูกค้า ทั้งนี้ ระบบไฟฟ้าทั้งหมดของหุ่นยนต์จะเป็นระบบไฟกระแสตรง (DC) ที่มีแหล่งประมวลผลและวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ภายในโมดูลตัวขับเคลื่อน ในส่วนขององค์ประกอบแปร่ง จะสามารถเลือกความยาวของแปร่งได้ตามต้องการ หรือจะใช้เป็นตัวติดแบบข้อต่อมาติดตั้งต่อจากความยาวเดิมได้ ในส่วนของล้อจะใช้เป็นล้อยางและล้อสปริงเพื่อให้มีความยืดหยุ่นในการเคลื่อนที่ และไม่ทำลายพื้นผิว แต่ยังคงไว้ซึ่งความแข็งแรงของระบบโดยรวม ในส่วนของระบบการขับเคลื่อน ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ได้ทั้งระบบตั้งฉากกับแผงหรือแบบหนีบเข้ากับรางด้านบนแผง โดยองค์ประกอบเบื้องต้นแสดงในรูปที่ 3.4

การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในโครงการนี้มุ่งจะสร้างระบบอัตโนมัติที่สามารถทำงานได้อย่างง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุม โดยจะเป็นการสั่งงานแบบระยะทางไกลผ่านแผงควบคุมที่ใช้คลื่นวิทยุในการส่งสัญญาณ ทั้งนี้ระบบสามารถแจ้งเตือนเมื่อมีเหตุฉุกเฉินหรือมีความผิดปกติบางอย่างเกิดขึ้น เช่นสายน้ำตึงแบตหมด กำลังเคลื่อนที่ไปถึงบริเวณขอบ หรือมีขอบของแผงเซลล์ที่ไม่อยู่ในระนาบ โดยจะรับค่าเหล่านี้มาจากเซนเซอร์ประเภท limit switch หรือ proximity sensor ที่ติดตั้งไว้บริเวณตรงปลายของหุ่นยนต์ ในส่วนของระบบน้ำล่างจะเป็นระบบปั๊มที่วางไว้บนรถลาก โดยรถลากนี้จะเคลื่อนที่ด้วยคนตามหุ่นยนต์ไป และยังสามารถติดตั้งร่วมกับระบบแบตเตอรี่เพื่อลดน้ำหนักของหุ่นยนต์ หรือติดตั้งถังน้ำทำความสะอาดพิเศษ หรือน้ำยาเคลือบผิวแบบ nano-spray เพื่อให้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดดีขึ้น องค์ประกอบในส่วนของเคลื่อนที่แสดงในรูปที่ 2.20

สำหรับการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น หากพิจารณาการทำงานของหุ่นยนต์นี้ที่ใช้คนงาน 2 คน มีความเร็วในการเคลื่อนที่ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ประมาณ 2,000 ตารางเมตรต่อชั่วโมง หรือครอบคลุมพื้นที่อัตราการผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุดถึง 350 MW ต่อชั่วโมง และหากการทำความสะอาดนี้เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ 5% สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 MW จะสามารถคิดเป็นความคุ้มค่าที่มีค่า 50 หน่วยต่อชั่วโมง ซึ่งหากงบลงทุนในตัวหุ่นยนต์อยู่ในช่วง 50,000-100,000 บาท ก็จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 170-340 ชั่วโมง หรือภายใน 20-40 วัน (ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ด้าน เช่น งบลงทุน ขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ฤดูกาล ความบ่อยในการทำความสะอาด เป็นต้น) ทั้งนี้ เนื่องจากช่วงการลงทุนยังอยู่ในขั้นตอนศึกษาในเชิงตัวเลขเบื้องต้น แต่งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้น 3 ระดับในการพัฒนาหุ่นยนต์ที่ผู้ใช้สามารถเลือกระดับการลงทุนได้ โดยระดับเบื้องต้นจะเป็นระบบอัตโนมัติที่สามารถปรับระยะกดและเปลี่ยนความยาวแปร่งได้ ระดับกลางจะเป็นการเพิ่มความสะดวกสบายในเรื่องของสายน้ำ การเดินตามของตัวระบบปั๊มน้ำ และระบบการแจ้งเตือนเมื่อสายน้ำหรือสายไฟตึง ระดับสามหรือระดับสูงสุดจะเป็นการเพิ่มความฉลาดในการเคลื่อนที่ ที่มีการเช็คขอบของแผงที่ผิดปกติ การขัดขัดด้วยผ้า และการเคลือบด้วยน้ำยา nano-spray เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกระดับการลงทุนที่เหมาะสมกับทางความต้องการ รูปแบบการออกแบบเชิงธุรกิจแสดงในรูปที่ 3.5

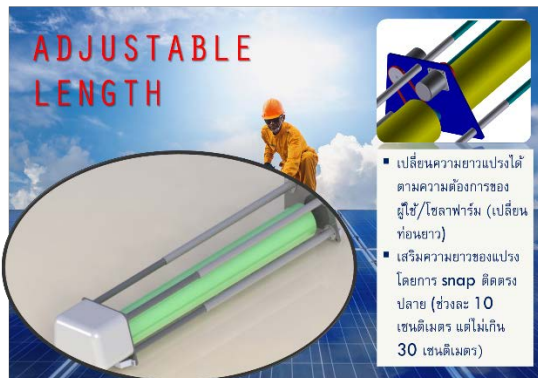
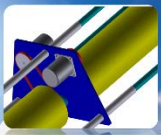


KEY FEATURES

ข้อมูลเชิงเทคนิคทั่วไป

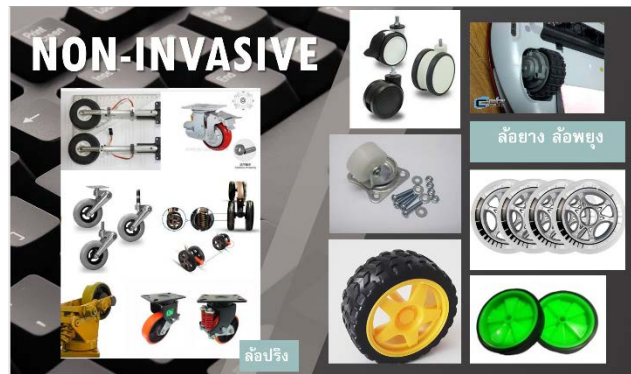
- ❖ เป็นการทำความสะอาดโดยใช้น้ำ
- ❖ ปรับระยะกดของขนแปรงได้
- ❖ แปรงหมุนสามารถปรับความยาวได้
- ❖ ทำงานด้วยไฟ DC จากแบตเตอรี่
- ❖ มีการเคลื่อนที่แบบคดบนรางด้านนอกและด้านบน

ADJUSTABLE LENGTH

- เปลี่ยนความยาวแปรงได้ตามความต้องการของผู้ใช้/โซลาร์ฟาร์ม (เปลี่ยนก่อนยาว)
- เสริมความยาวของแปรงโดยการ snap ติดตรงปลาย (ช่วงละ 10 เซนติเมตร แต่ไม่เกิน 30 เซนติเมตร)

NON-INVASIVE



ล้อยาง ล้อพยางค์

ล้อปริง

TWO TRANSMISSIONS

แบบผสม

แบบตั้งฉากอย่างเดียว

https://www.youtube.com/watch?v=QbN_yYmXEk

แบบผสม

Robotic Device for Cleaning Photovoltaic Panel Arrays

Conference Paper - September 2009

เครื่องทำความสะอาดแบบอัตโนมัติ: หุ่นยนต์ PV cleaner V1

รูปที่ 3.4. รายละเอียดของการออกแบบเชิง concept



รูปที่ 3.5. ภาพรวมการควบคุมเคลื่อนที่ของระบบและตัวปั๊มน้ำ

งบลงทุนเบื้องต้น
50,000-100,000 บาท

- ใช้คนงาน 2 คน
- ทำความสะอาดพื้นที่ผิวมากที่สุดได้ 0.35 MW/ชั่วโมง

สมมุติฐาน : หากเพิ่มไฟได้ 5% เทียบกับตอนไม่ทำความสะอาด สำหรับขนาด 1MW คิดเป็นค่าพลังงานประมาณ 50 หน่วยต่อชม. จะคืนทุนภายใน ระยะเวลา 170-340 ชั่วโมง (หรือ 20 วัน)

Note: Rooftop system ที่เหมาะสมควรมีขนาดไม่เล็กเกินไป หรือเช่าเครื่องเพื่อทำความสะอาดจะดีกว่า เพราะคืนทุนยาก

HIGH PROFIT RETURN

ECONOMY SUSTAINABILITY

HIGH RATE OF RETURN (IRR) / RETURN ON INVESTMENT (ROI)

AFFORDABLE

Superior

- Nano-coating
- Cloth cleaning (แปรงผ้า)
- Sensor edge defect detection

Premier

- สายน้ำเก็บเองได้
- รถลากปั้มน้ำและแบตเตอรี่เคลื่อนที่ตามไปใกล้
- เดือนเมื่อสายน้ำตั้ง หรือสายไฟตั้ง

Deluxe

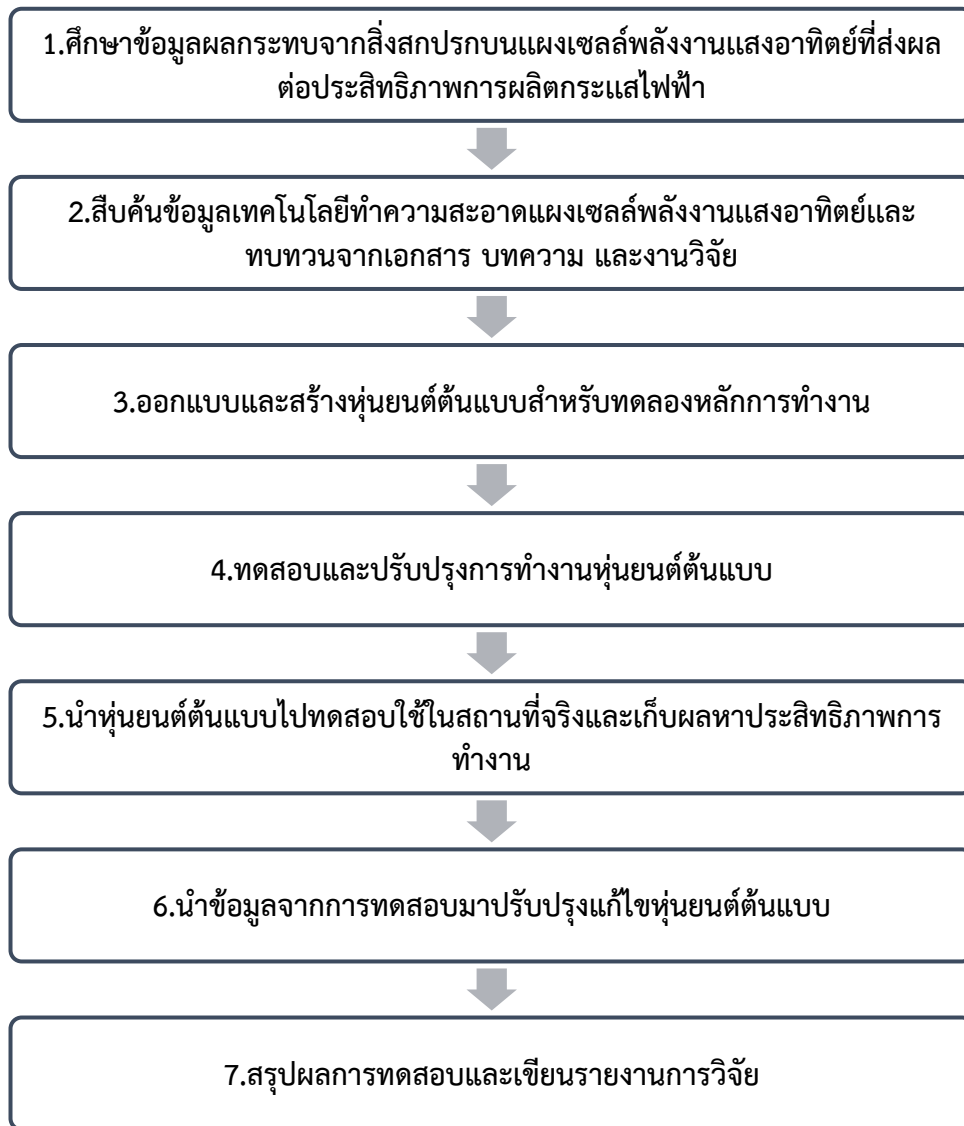
- Automation
- Brush Adjustment
- Customized length of brush

WIDE RANGES OF SELECTIONS

รูปที่ 3.6. ภาพรวมการออกแบบเชิงธุรกิจสำหรับสินค้าเชิงพาณิชย์และการคืนทุน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

รายละเอียดขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย หัวข้อการพัฒนาหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์มีดังต่อไปนี้

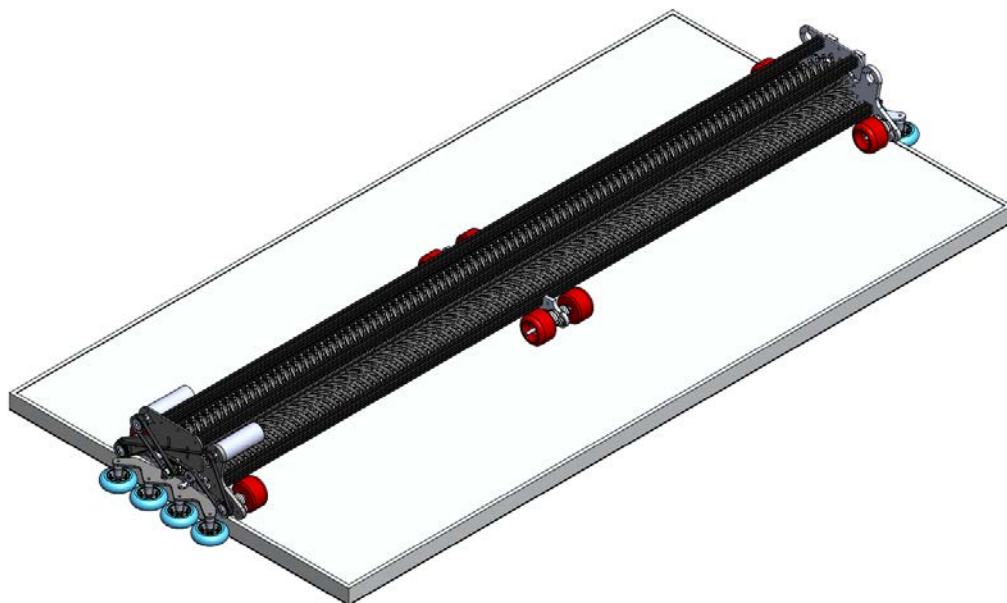


รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยพอสังเขป

3.2 ภาพรวมของระบบและฟังก์ชันการใช้งาน

3.2.1 ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมการทำงานของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหุ่นยนต์ที่ได้นำเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติมาใช้ในการออกแบบสำหรับการล้างทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อทดแทนการใช้แรงงานคนในการทำความสะอาด ช่วยลดต้นทุนการบำรุงรักษา และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีลักษณะการทำงานเป็นแบบระบบอัตโนมัติ การทำความสะอาดคือใช้แปรงหมุนขัดบนแผ่นหน้าของแผงรวมกับการใช้น้ำช่วยชำระล้าง เพื่อให้ประสิทธิภาพการทำความสะอาดดียิ่งขึ้น

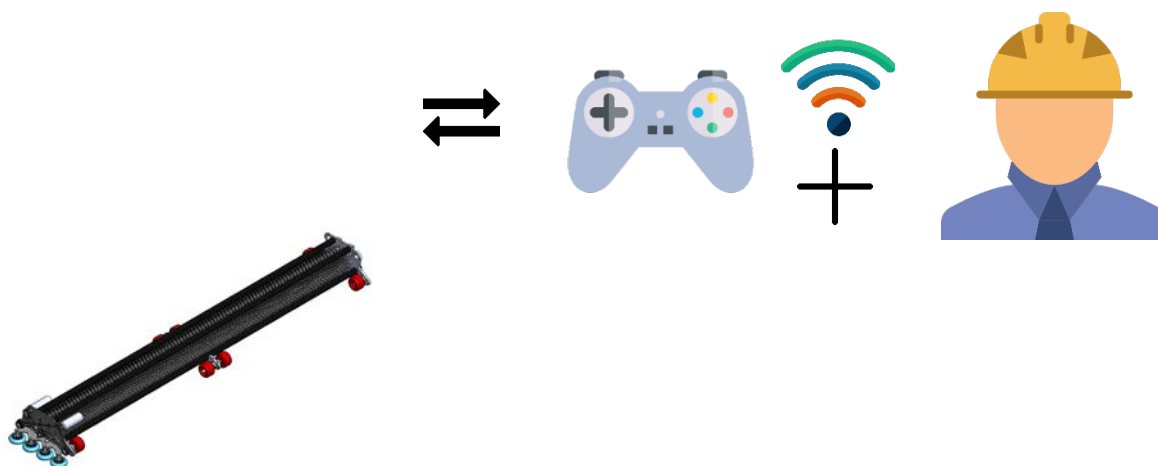


รูปที่ 3.8. แสดงหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

3.2.2 ฟังก์ชันการใช้งาน

- หุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์มีฟังก์ชันการทำงาน 2 ระบบคือ
1. การทำงานแบบอัตโนมัติ คือหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนได้ด้วยตัวเองและมีเซนเซอร์วัดระยะ (Proximity sensor) ทำการเช็คระยะขอบของแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำการเคลื่อนที่หรือการหยุดเมื่อสิ้นสุดตำแหน่งของแผงโดยอัตโนมัติ
 2. การทำงานแบบมีผู้ควบคุม คือผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ผ่านการสั่งการจากระยะไกลผ่านรีโมทคอนโทรล สามารถสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลังหรือหยุดการเคลื่อนที่ได้

Auto/Manual



รูปที่ 3.9. แสดงลักษณะการใช้งานหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ฟังก์ชันการปรับตั้งหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถปรับตั้งตัวหุ่นยนต์ให้เหมาะสมกับการทำงานได้

- การเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ เดินหน้า และถอยหลัง สามารถปรับความเร็วได้ 3 ระดับ คือ 10, 15 และ 20 เมตรต่อนาที สามารถเลือกความเร็วให้เหมาะสมกับความสกปรกบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

- การปรับตั้งระยะการกดของแปรงทำความสะอาด

สามารถปรับตั้งให้แปรงทำความสะอาดมีระยะกดให้เหมาะสมกับพื้นที่ติดตั้งตัวหุ่นยนต์และทำให้การทำความสะอาดมีประสิทธิภาพมากขึ้น

- การปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของแปรงหมุนทำความสะอาด

สามารถปรับความเร็วได้เพื่อให้สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และระดับความสกปรกบนหน้าแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

- การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลาร์

สามารถเชื่อมต่อตัวหุ่นยนต์ระหว่างโมดูลได้เพื่อให้สามารถทำความสะอาดได้ปริมาณพื้นที่ได้มากขึ้น ในการออกแบบ 1 โมดูล มีความยาว 2 เมตร หากนำหุ่นยนต์ 2 โมดูลมาต่อกันจะทำให้หุ่นยนต์มีความยาวรวม 4 เมตร

3.2.3 การลงพื้นที่เก็บข้อมูลโซลาร์ฟาร์ม

การลงพื้นที่เก็บข้อมูลเพื่อให้ทราบถึงปัญหาและความต้องการจากผู้ประกอบการโซลาร์ฟาร์มและนำข้อมูลกลับมาพัฒนาต่อยอดและแก้ไขปัญหาให้ตรงจุดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการของผู้ประกอบการ

1. โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จ.ลพบุรี โครงการ 1



รูปที่ 3.10. แสดงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จ.ลพบุรี โครงการ 1

เจ้าของโครงการ : บริษัท บางกอกโซลาร์ พาวเวอร์ จำกัด
 สถานที่ตั้ง : ตำบลสีลัง อำเภอฟากน้ำคม จังหวัดลพบุรี
 กำลังการผลิต : 2 เมกะวัตต์
 รายละเอียด : เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน แบบฟิล์มบาง ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 200 วัตต์ ต่อแผง

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บางกอกโซลาร์ พาวเวอร์ จ.ลพบุรี

ข้อมูลการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์		
1.ความต้องการหุ่นยนต์อัตโนมัติ	มีความต้องการ	หมายเหตุ
2.วิธีการทำความสะอาด	แรงงานคน	
3.ความถี่การทำความสะอาด	1 ครั้ง/เดือน	
4.แรงงาน	3 คน	
5.ค่าแรง	350 บาท/วัน	
6.ความสามารถ	25 วัน/ 2 เมกะวัตต์	
7.ค่าใช้จ่าย	30,000 บาท/ครั้ง	ทำความสะอาดและตัดหญ้า

2. โครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
 บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)



รูปที่ 3.11. แสดงโครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Sunny bangchak)

เจ้าของโครงการ : บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)
 สถานที่ตั้ง : ตำบลบางกระสั้น อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
 กำลังการผลิต : 44 เมกะวัตต์

รายละเอียด : เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน Multicrystalline Silicon Solar Cell, Polycrystalline Silicon Solar Cell ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 280-290 วัตต์ต่อแผง
กว่า 150,000 แผง

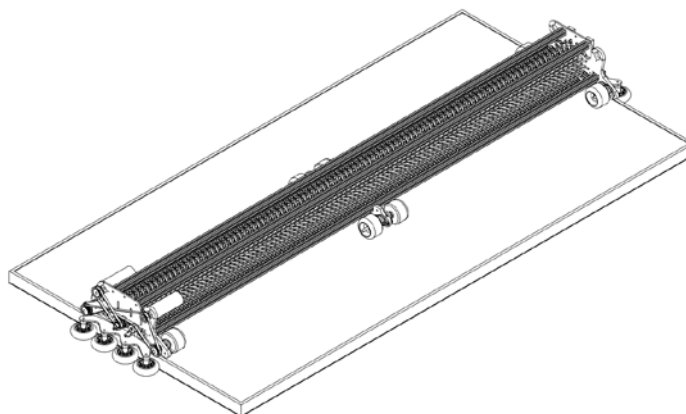
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ โครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Sunny bangchak) จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ข้อมูลการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์		
1.ความต้องการหุ่นยนต์อัตโนมัติ	มีความต้องการอย่างมาก	หมายเหตุ
2.วิธีการทำความสะอาด	แรงงานคน	
3.ความถี่การทำความสะอาด	1 ครั้ง/เดือน	ต้องการทำความสะอาดความถี่มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
4.แรงงาน	9 คน	
5.ค่าแรง	450 บาท/วัน	
6.ความสามารถ	20 วัน/ 44 เมกะวัตต์	
7.ค่าใช้จ่าย	80,000 บาท/ครั้ง	ทำความสะอาดแผงและตัดหญ้า

3.3 การออกแบบทางกลและทางไฟฟ้า

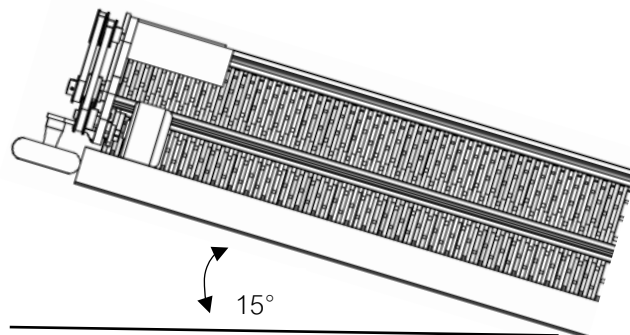
3.3.1 การออกแบบทางกล

หุ่นยนต์ประกอบไปด้วย 2 ระบบหลัก คือระบบการเคลื่อนที่และระบบการทำความสะอาด การทำงานแต่ละระบบทำงานด้วยมอเตอร์แยกส่วนกันใช้ มอเตอร์จำนวน 2 ตัว ในส่วนระบบการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์ประกอบได้ด้วยชุดล้อจำนวน 2 ชุด ได้แก่ ชุดล้อขับเคลื่อนระบบ จำนวน 2 ล้อ ชุดล้อประกอบ จำนวน 4 ล้อ การเคลื่อนที่ขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไปขับเคลื่อนล้อเพื่อเคลื่อนที่บนผิวหน้าของแผ่นเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนของชุดประกอบทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะระหว่างหุ่นยนต์และขอบแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ขณะเคลื่อนที่การที่มีจำนวน 4 ล้อช่วยให้สามารถข้ามช่องว่างระหว่างแผ่นเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.12. แสดงอุปกรณ์ของสำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การปรับตั้งการปรับตั้งระยะการกดของแปรงทำความสะอาดสามารถปรับตั้งให้แปรงทำความสะอาดมีระยะกดให้เหมาะสมกับพื้นที่ติดตั้งตัวหุ่นยนต์และทำให้การทำความสะอาดมีประสิทธิภาพมากขึ้น

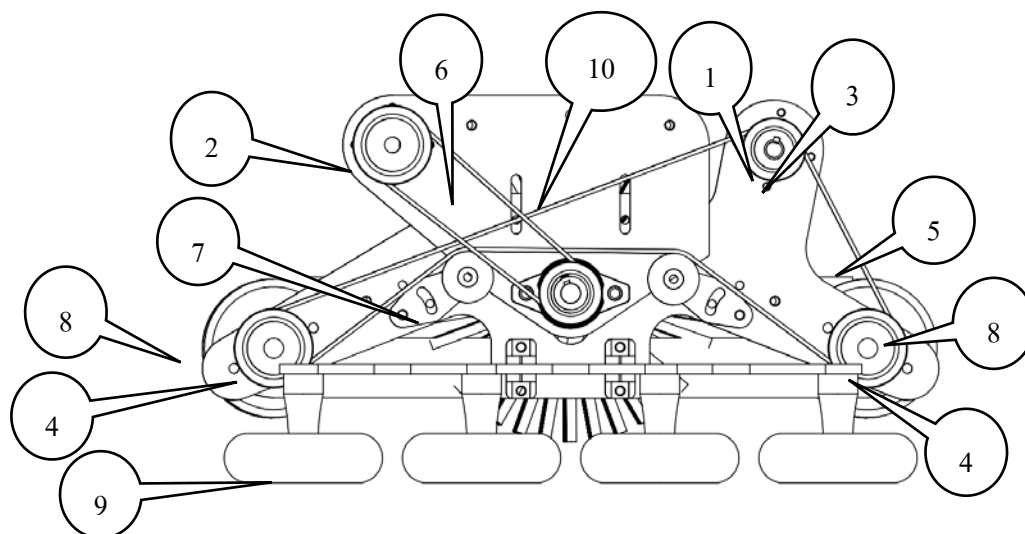


รูปที่ 3.13 แสดงอุปกรณ์ของสำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

3.3.1.1 ระบบขับเคลื่อน

ระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่

- 1.ระบบขับเคลื่อนเพื่อการเคลื่อนที่ซึ่งมอเตอร์ 1 ตัวในการส่งกำลัง โดยส่งกำลังผ่านสายพานเพื่อไปยังล้อของหุ่นยนต์ทั้ง 2 ด้าน และมีลูกกรอกเพื่อตั้งสายพานอยู่ 2 ตำแหน่ง
- 2.ระบบขับเคลื่อนแปรงทำความสะอาดซึ่งมอเตอร์ 1 ตัว ส่งกำลังไปยังมู่เล่ย์ของแปรงทำความสะอาด โดยการทำงานของทั้ง 2 ระบบทำงานแยกอิสระออกจากกัน



รูปที่ 3.14. แสดงส่วนประกอบระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ส่วนประกอบของระบบขับเคลื่อน

1. มอเตอร์ขับเคลื่อน DC 12 V ขนาด 25 W 150 rpm.
2. มอเตอร์แปรขั้ว DC 12 V ขนาด 25 W 250 rpm.
3. มู่เล่ย์ขับ ชนิด XL จำนวน 15 ฟัน
4. มู่เล่ย์ตาม ชนิด XL จำนวน 20 ฟัน
5. สายพาน ชนิด XL ความยาว 820 มิลลิเมตร
6. สายพาน ชนิด XL ความยาว 320 มิลลิเมตร
7. ลูกกรอกตึงสายพาน
8. ชุดล้อขับเคลื่อน
9. ชุดล้อประกอบ
10. โครงสร้าง

การคำนวณประกอบกาเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. อัตราทดระบบขับเคลื่อน

$$\text{อัตราทดระบบขับเคลื่อน} = \frac{\text{จำนวนฟันของเฟืองตาม}}{\text{จำนวนฟันของเฟืองขับ}}$$

จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\text{อัตราทดระบบขับเคลื่อน} &= \frac{20}{15} \\ \text{อัตราทดระบบขับเคลื่อน} &= 1.34 : 1\end{aligned}$$

2. อัตราทดระบบแปร่งทำความสะอาด

$$\text{อัตราทดระบบแปร่งทำความสะอาด} = \frac{\text{จำนวนฟันของเฟืองตาม}}{\text{จำนวนฟันของเฟืองขับ}}$$

จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\text{อัตราทดระบบแปร่งทำความสะอาด} &= \frac{15}{20} \\ \text{อัตราทดระบบแปร่งทำความสะอาด} &= 0.75 : 1\end{aligned}$$

3. การคำนวณกำลังงานเพื่อนำมาพิจารณาเลือกมอเตอร์

กำลังงานใช้งานในการขับเคลื่อน

$$P = T \cdot \omega$$

เมื่อ

P = กำลังงาน (watt)

T = แรงบิดที่ล้อ (N.m)

ω = ความเร็วเชิงมุม (rev/sec)

แรงบิดที่ใช้ขับเคลื่อน

$$T = F \cdot d$$

เมื่อ

$$T = \text{แรงบิดที่ล้อ (N.m)}$$

$$F = \text{แรงจากน้ำหนัก (N)}$$

$$d = \text{รัศมีล้อ (m)}$$

สมมุติฐาน น้ำหนักหุ่นยนต์ประมาณ 20 กิโลกรัม เกณฑ์ความเร็วการเคลื่อนที่ 1 กิโลเมตร/ชั่วโมง ขนาดรัศมีของล้อ 0.035 เมตร

แรงบิดที่ใช้ขับเคลื่อน

$$T = 200 \text{ N} \times 0.035 \text{ m}$$

$$T = 7 \text{ N.m}$$

ความเร็วเชิงมุม

$$\omega = \frac{0.278 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2\pi(0.035) \text{ m}}$$

$$\omega = 1.265 \frac{\text{rev}}{\text{sec}}$$

กำลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อน

$$P = 7 \text{ N.m} \times 1.265 \frac{\text{rev}}{\text{sec}}$$

$$P = 8.89 \text{ watt}$$

ดังนั้น เมื่อ กำลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อน คูณกับค่าความปลอดภัย (safety factor) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2 จะได้ว่า กำลังงานที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อน 17.78 วัตต์ หรือมากกว่า จึงได้เลือกใช้มอเตอร์ ขนาดกำลัง 20 วัตต์ แรงดัน 12 โวลต์

เกณฑ์ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 1 กิโลเมตร/ชั่วโมง ตัวล้อขับเคลื่อนขนาดรัศมี 0.035 เมตร หรือเส้นรอบวงล้อ 0.2198 เมตร ความเร็วรอบที่หุ่นล้ออยู่ที่

$$\frac{1000 \text{ m}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ rev}}{0.2198 \text{ m}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 75.83 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

จากอัตราทดระบบขับเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 1.34 : 1 จากการคำนวณมอเตอร์ต้องมีความเร็วรอบการหมุน 101.61 รอบ/นาที หรือมากกว่า

จากการคำนวณพิจารณาเลือกขนาดมอเตอร์ที่เหมาะสมกับหุ่นยนต์จึงได้เลือกใช้ มอเตอร์ขนาด 20 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

4. การคำนวณกำลังงานเพื่อนำมาพิจารณาเลือกแบตเตอรี่

กำลังงานทางไฟฟ้า

$$P = V \times I$$

P = กำลังงานทางไฟฟ้า(วัตต์)

V = แรงเคลื่อน(โวลต์)

I = กระแส (แอมแปร์)

จากการเลือกขนาดมอเตอร์ ขนาด 20 วัตต์ แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์ สามารถหาค่ากระแสที่มอเตอร์ต้องการได้มีค่า

$$I = \frac{P}{V}$$

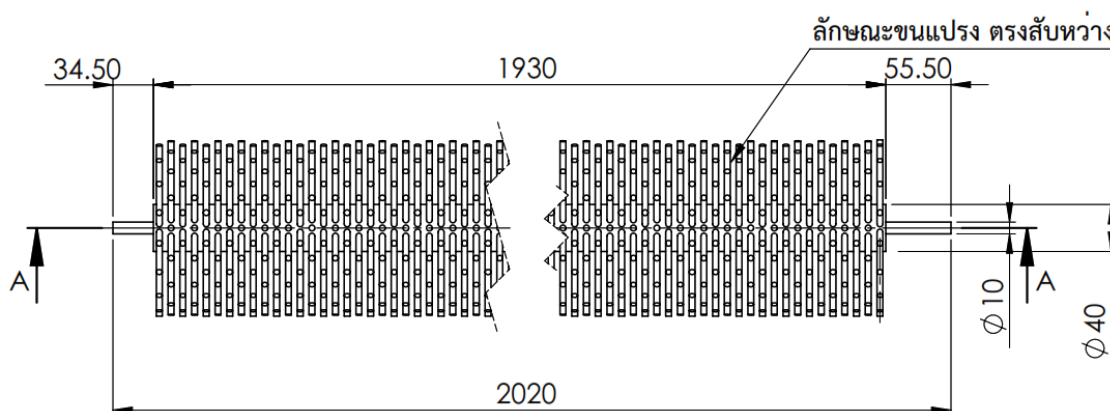
$$I = \frac{20 \text{ watt}}{12 \text{ volt}}$$

$$I = 1.67 \text{ Amp}$$

สมมุติฐาน จากการคำนวณการกินกระแสของมอเตอร์ระบบขับเคลื่อน กินกระแสประมาณ 2 แอมแปร์ หากใช้มอเตอร์ขนาดเดียวกัน ในระบบขับเคลื่อนและระบบแปรชัตประมาณการว่าหุ่นยนต์จะกินกระแสสูงสุดประมาณ 4 แอมแปร์ และจากเป้าหมายการทำงานของหุ่นยนต์จะต้องทำงานต่อเนื่องได้ขั้นต่ำ 4 ชั่วโมง ดังนั้นขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมควรมีขนาดมากกว่า 16 แอมแปร์

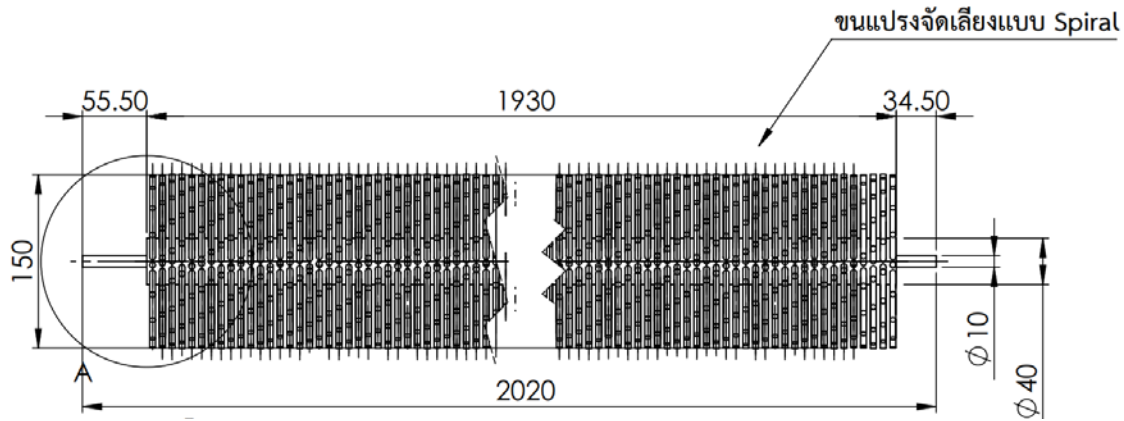
3.3.1.2 ลักษณะของแปรชัตทำความสะอาด

การออกแบบหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ จำเป็นจะต้องทำงานร่วมกับแปรทำความสะอาด ซึ่งแบบที่มีความเหมาะสมคือเป็นแบบลูกกลิ้ง มีลักษณะเป็นแปรทรงกลมยาว มีความยาวเท่ากับความยาวแผง ขนแปรงผลิตมาจากวัสดุไนลอน มีลักษณะการจัดเรียงขนแปรงอยู่แบบคือ 1. แปรทำความสะอาดจัดเรียงขนแปรงแบบตรงสับหว่าง มีระยะห่างระหว่างของขนแปรง 10 มิลลิเมตร เรียงตัวกันจำนวน 18 แถว



รูปที่ 3.15. แสดงแปรทำความสะอาดจัดเรียงขนแปรงแบบตรงสับหว่าง

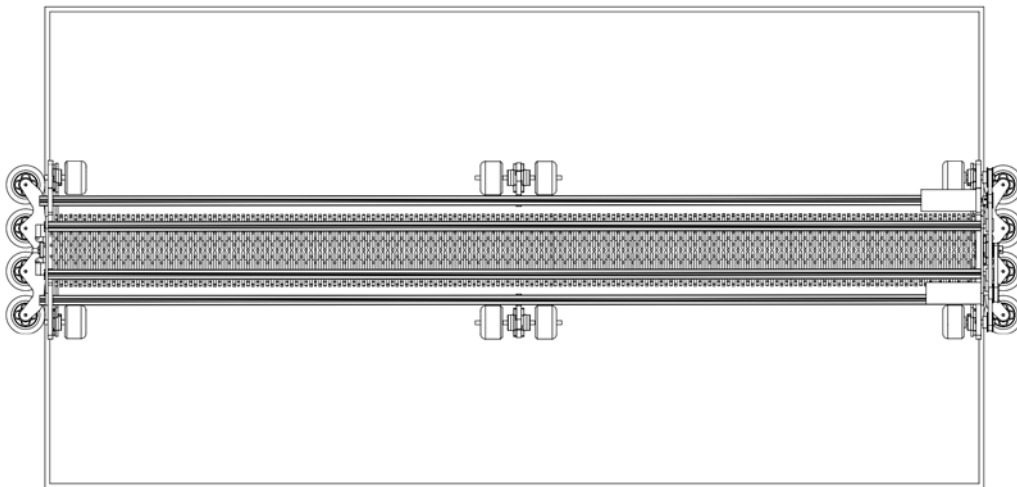
แบบที่ 2 แปรทำความสะอาดจัดเรียงขนแปรงแบบเกลียว (Spiral) มีระยะห่างระหว่างของขนแปรง 10 มิลลิเมตร เรียงตัวกันจำนวน 18 แถว



รูปที่ 3.16. แสดงแปรงทำความสะอาดจัดเรียงชนแปรงแบบเกลียว (Spiral)

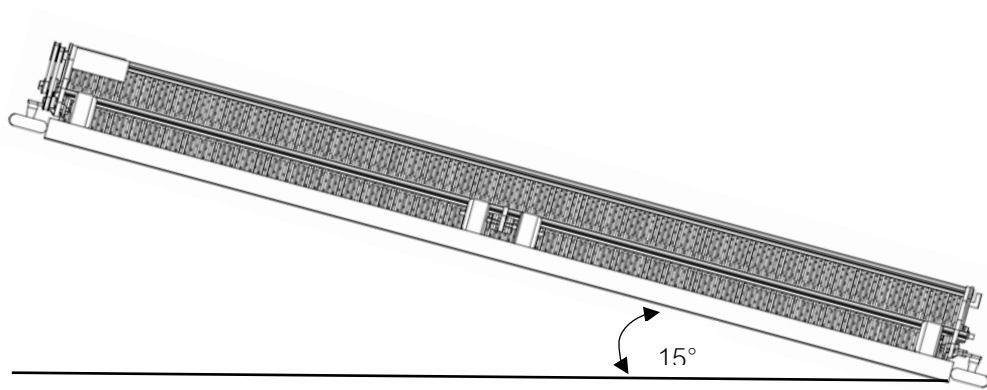
3.3.1.3 การกระจายน้ำหนักของหุ่นยนต์บนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ได้ออกแบบให้มีความกะทัดรัด ใช้งานง่าย และน้ำหนักเบา โดยคำนึงถึงแรงกดเนื่องจากน้ำหนักของหุ่นยนต์ที่จะกดลงบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์จึงออกแบบให้มีจำนวนล้อของหุ่นยนต์ 8 ล้อ เพื่อกระจายน้ำหนักลงบนแผงให้สม่ำเสมอ



รูปที่ 3.17. แสดงโครงสร้างและตำแหน่งของล้อหุ่นยนต์

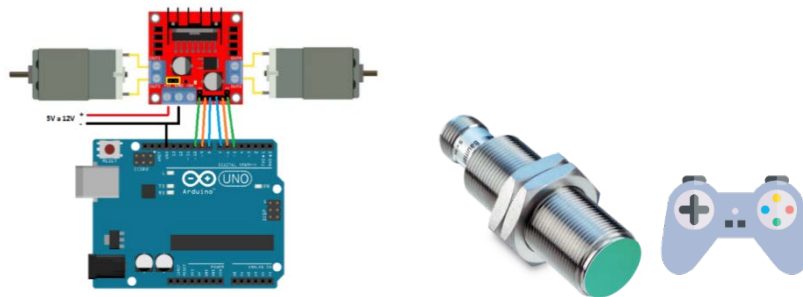
ลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์เมื่อติดตั้งบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปแล้วในประเทศไทยจะติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ท่ามกลางพื้นที่ 15 องศา และจากการเก็บโครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)



รูปที่ 3.18. แสดงลักษณะองศาการทำงานของหุ่นยนต์เมื่อมองจากด้านข้าง

3.3.2 การออกแบบทางไฟฟ้าและระบบควบคุม

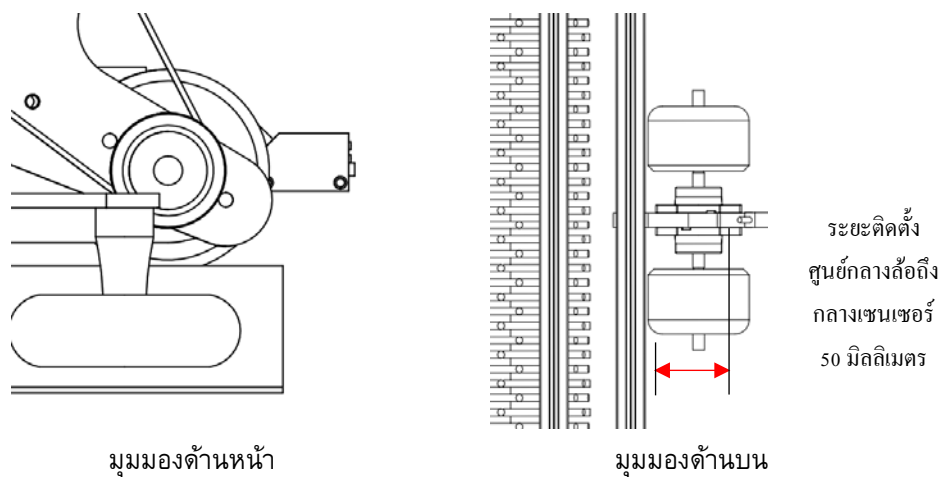
อุปกรณ์การควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบไปด้วยบอร์ดคอนโทรลเลอร์ บอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ มอเตอร์ เซนเซอร์วัดระยะ (proximity sensor) และรีโมทคอนโทรล



รูปที่ 3.19. แสดงอุปกรณ์ของควบคุมหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

3.3.3 ระบบป้องกันหุ่นยนต์ตกขอบแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

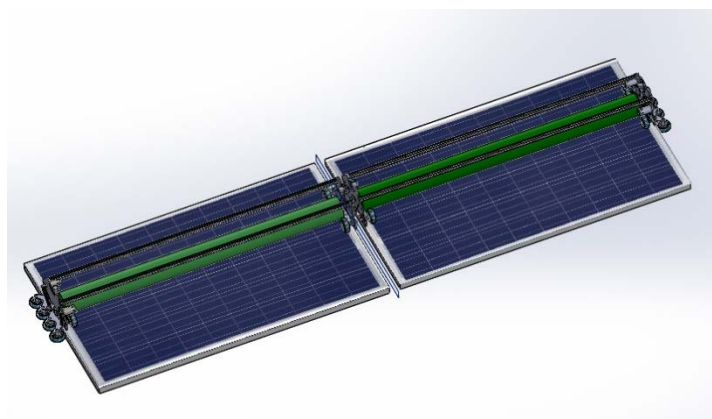
การทำงานของหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติจำเป็นต้องมีเซนเซอร์เพื่อเช็คสถานะตำแหน่งการทำงานและการสร้างหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ได้เลือกใช้ Photoelectric Sensor เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ลำแสงในการตรวจจับวัตถุโดยไม่ต้องมีการสัมผัส โดยมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีการตอบสนองตอบอย่างรวดเร็ว และสามารถตรวจจับได้ทุกวัตถุ เพื่อให้ทำงานของหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพและความปลอดภัยมากขึ้น



รูปที่ 3.20. แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Photoelectric Sensor ของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

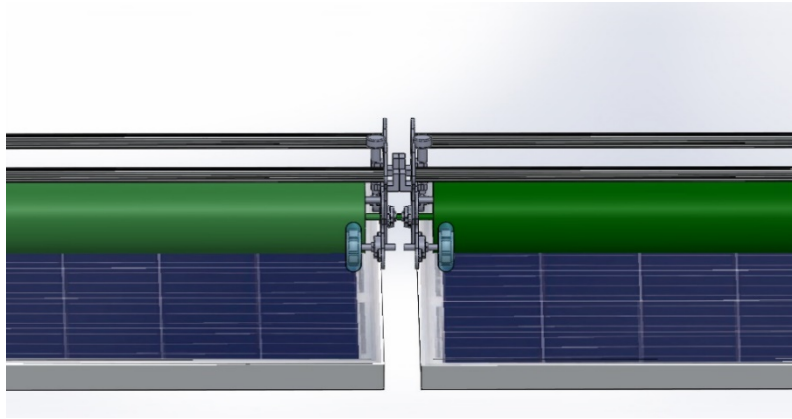
3.4 การออกแบบลักษณะการใช้งานการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ 2 โมดูลาร์ทำงานร่วมกัน

หุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ถูกออกแบบมาให้สามารถเชื่อมต่อตัวหุ่นยนต์ระหว่างโมดูลได้เพื่อให้สามารถทำความสะอาดได้ปริมาณพื้นที่ได้มากขึ้น ในการออกแบบ 1 โมดูล มีความยาว 2 เมตร หากนำหุ่นยนต์ 2 โมดูลมาต่อกันจะทำให้หุ่นยนต์มีความยาวรวม 4 เมตร



รูปที่ 3.21. แสดงลักษณะการใช้งานการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ 2 โมดูลาร์ทำงานร่วมกัน

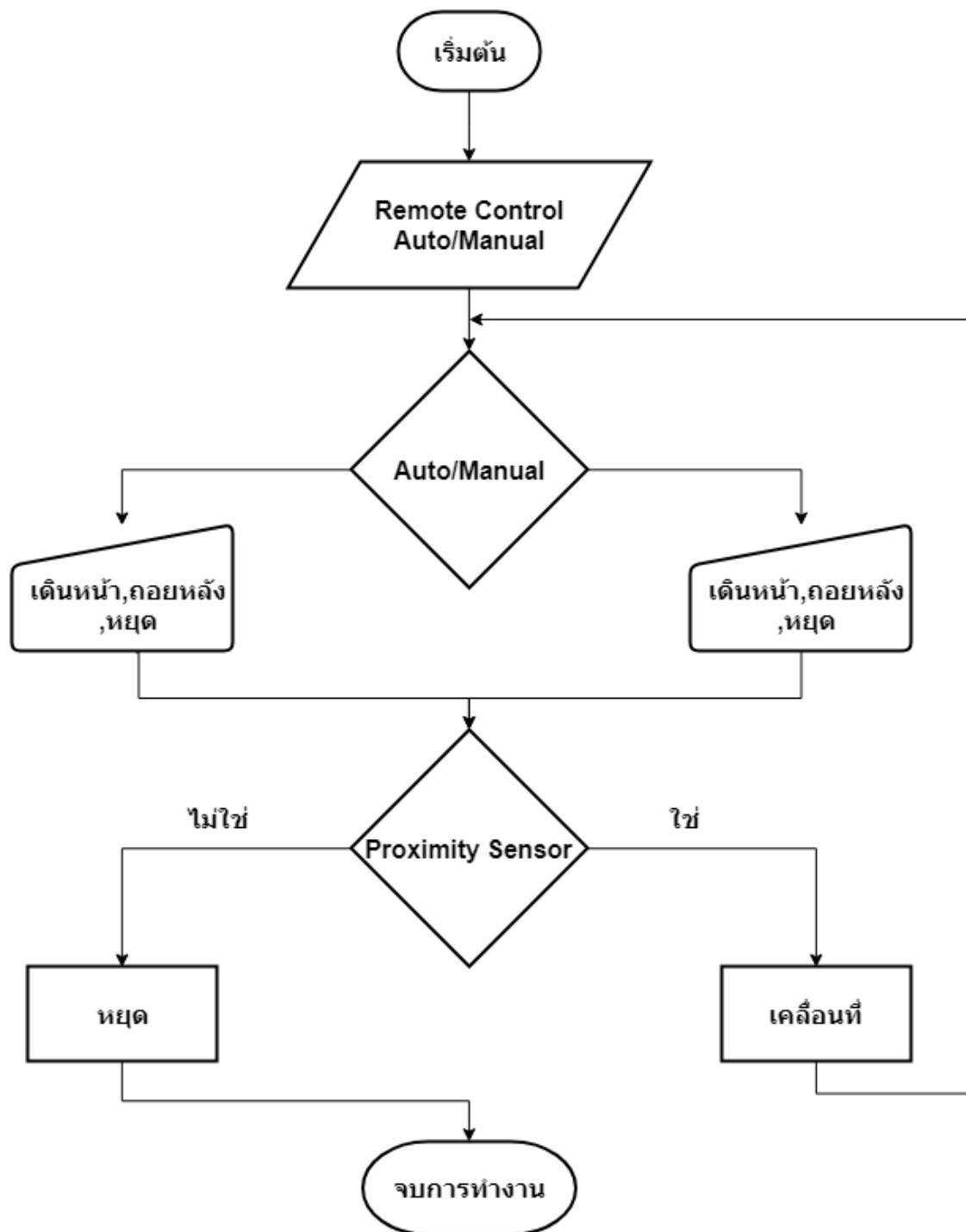
ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ 2 โมดูลาร์ทำงานร่วมกัน ทำให้มีความยาวรวมเป็น 4 เมตร



รูปที่ 3.22. แสดงลักษณะการใช้งานการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ 2 โมดูลาร์ทำงานร่วมกัน

3.5 การออกแบบโปรแกรมและลำดับการทำงาน

ลำดับขั้นตอนการทำงานโปรแกรมของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถสั่งงานได้รีโมทคอนโทรล และมีการทำงาน 2 โหมด คือ Auto และ Manual



รูปที่ 3.23 แสดง Flowchart การทำงานของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

3.6 การทดสอบเบื้องต้น

3.6.1 การทดสอบแนวคิดและหลักการทำงาน

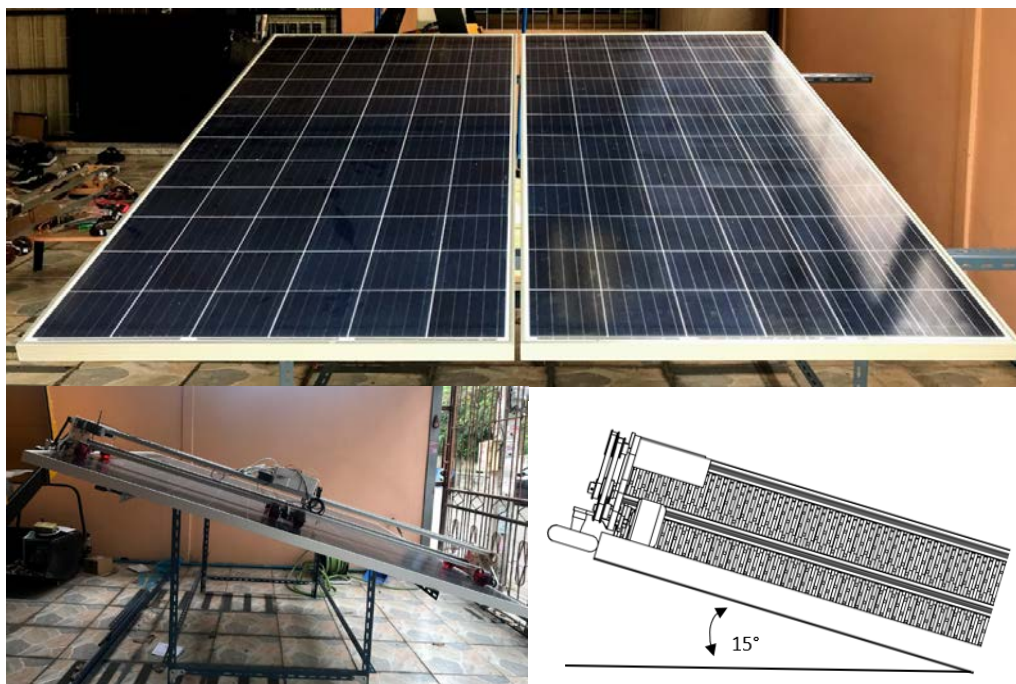
ส่วนที่ 1 การทดสอบการทำงานของระบบการเคลื่อนที่ หลังจากการออกแบบระบบการเคลื่อนที่เสร็จทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบเฉพาะส่วนระบบขับเคลื่อน และทำการทดสอบระบบขับเคลื่อนโดยการนำเฉพาะระบบขับเคลื่อนมาทดสอบการทำงานให้เคลื่อนบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ส่วนที่ 2 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ ได้แก่ การรับคำสั่งจากรีโมทคอนโทรล การทำงานมอเตอร์คอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ และการทำงานของเซนเซอร์วัดระยะ (Proximity sensor)

ส่วนที่ 3 การทดสอบระบบแปลงทำความสะอาดและการฉีดพ่นน้ำ โดยการประกอบระบบทำความสะอาดเข้ากับระบบขับเคลื่อนเพื่อใช้ในการทดสอบ

3.6.2 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

1. แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ 360 วัตต์ ขนาด ความกว้าง 992 มิลลิเมตร ความยาว 1955 มิลลิเมตร และความหนา 40 มิลลิเมตร น้ำหนัก 25 กิโลกรัม จำนวน 2 แผ่น มาวางเรียงต่อกันให้มีระยะห่างระหว่างแผ่น 15 มิลลิเมตร และทำมุมเอียงกับพื้นโลก 15 องศา ดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.24. แสดงอุปกรณ์เพื่อการทดสอบแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 2 แผ่นเรียงต่อกัน

2. หุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบไปด้วย โครงสร้าง ระบบขับเคลื่อน และอุปกรณ์ระบบควบคุม น้ำหนัก กิโลกรัม ไม่มีระบบทำความสะอาด (แปรงขัดทำความสะอาด และระบบพ่นน้ำ) น้ำหนักประมาณ 12 กิโลกรัม



รูปที่ 3.25 แสดงหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ 1 โมดูลาร์

3. ความเร็วในการทดสอบ สำหรับหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์นั้นได้มีเกณฑ์ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์ไว้ 3 ระดับ ความเร็วได้แก่ 1.ความเร็วต่ำ มีความเร็วการเคลื่อนที่ 0.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 2.ความเร็วปานกลาง มีความเร็วการเคลื่อนที่ 0.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 3.ความเร็วสูง ความเร็วการเคลื่อนที่ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3.6.3 การทดลองการเคลื่อนบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การทดลองการเคลื่อนที่เป็นการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ตามกำหนดและดูลักษณะของหุ่นยนต์เมื่อใช้ความเร็วในระดับต่าง ๆ

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้ได้ความเร็วตามกำหนด
2. เพื่อดูลักษณะรูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

เกณฑ์ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ

การทดลองเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3 ระดับได้แก่

1. การเคลื่อนที่ความเร็วต่ำ 0.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง
2. การเคลื่อนที่ความเร็วปานกลาง 0.8 กิโลเมตร/ชั่วโมง
3. การเคลื่อนที่ความเร็วสูง 1.0 กิโลเมตร/ชั่วโมง

เงื่อนไขการทดลอง

ในการทดลองการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ประกอบไปด้วย โครงสร้าง ระบบขับเคลื่อน และอุปกรณ์ระบบควบคุม ระบบทำความสะอาด ระบบพ่นน้ำ และแบตเตอรี่ ซึ่งหุ่นยนต์มีน้ำหนักประมาณ 25 กิโลกรัม การทดลองได้กำหนดค่าตัวแปรควบคุมสำหรับการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ โดยการกำหนดค่า Pulse Width Modulation หรือ (PWM) สำหรับแต่ละระดับความเร็ว



รูปที่ 3.26 แสดงหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ 1 โมดูลาร์

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรควบคุมในการทดลอง

ระดับความเร็ว \ ตัวแปรควบคุม	เกณท์ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	มอเตอร์ (รอบต่อนาที)	ล้อ (รอบต่อนาที)	PWM
ต่ำ	0.6	60.96	45.50	45
ปานกลาง	0.8	81.29	60.66	60
สูง	1.0	101.61	75.83	70

หมายเหตุ : อัตราทดระบบขับเคลื่อนมีค่า 1.34 : 1

ผลการทดลอง

จากการทดลองการเคลื่อนที่บนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์โดยการกำหนดความเร็วเป้าหมายไว้ 3 ระดับ คือ 1. การเคลื่อนที่ความเร็วต่ำ 0.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง 2. การเคลื่อนที่ความเร็วปานกลาง 0.8 กิโลเมตร/ชั่วโมง 3. การเคลื่อนที่ความเร็วสูง 1.0 กิโลเมตร/ชั่วโมง ผลปรากฏว่าหุ่นยนต์สามารถทำความเร็วได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ได้ และระบบควบคุมความเร็วสามารถควบคุมความเร็วได้อย่างคงที่ ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมในช่วงระดับความเร็วต่ำสังเกตได้ว่าการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มีแรงบิดน้อย ควรปรับเพิ่มอัตราทดระบบส่งกำลังเพื่อเพิ่มแรงบิดในรอบความเร็วต่ำ เพื่อไว้สำหรับโหลดที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3.4 แสดงการทดลองการเคลื่อนที่บนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การทำงาน \ ความเร็ว	ไม่สามารถทำงานได้	ทำงานได้	ระยะทาง 1.7 เมตร ใช้เวลาเฉลี่ย (วินาที)	คิดเป็น (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	หมายเหตุ
ต่ำ		/	9.10	0.63	(PWM)ต่ำ กำลังขับอาจจะไม่พอหากมีน้ำหนักหุ่นเพิ่มขึ้น
ปานกลาง		/	7.51	0.81	

สูง		/	6.05	1.01	แรงบิดสูงขณะออกตัวทำให้หุ่นเกิดการบิดตัว
-----	--	---	------	------	--

3.6.4 การทดลองหาค่าพลังงานที่ใช้ในของหุ่นยนต์การเคลื่อนบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การทดลองวัดค่าพลังงานจากการกินกระแสไฟขณะที่มอเตอร์ทำงานเพื่อให้ทราบปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละระดับความเร็ว

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้ได้ความเร็วตามกำหนดและทราบถึงพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละช่วงความเร็วของการเคลื่อนที่

เกณฑ์ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ

การทดลองเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3 ระดับได้แก่

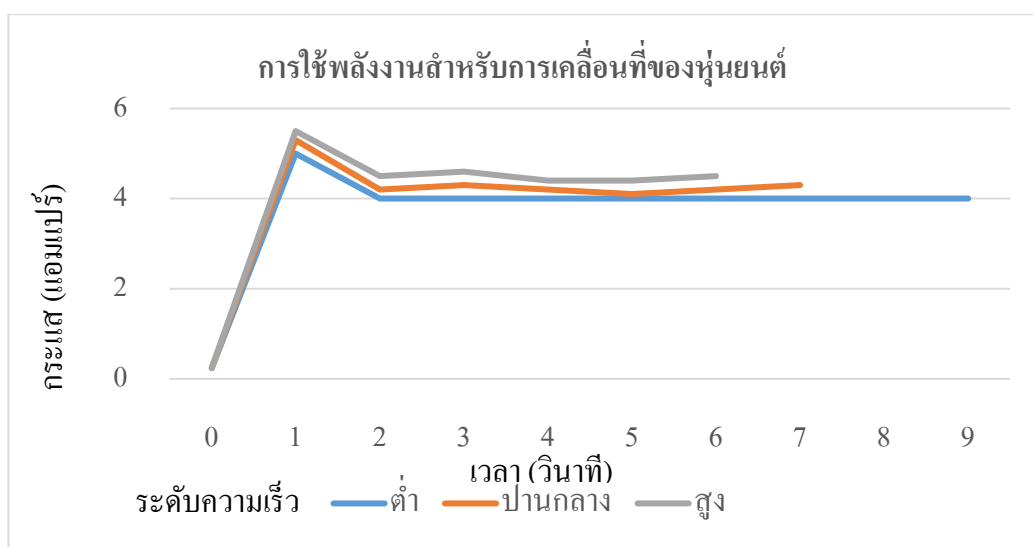
1. การเคลื่อนที่ความเร็วต่ำ 0.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง
2. การเคลื่อนที่ความเร็วปานกลาง 0.8 กิโลเมตร/ชั่วโมง
3. การเคลื่อนที่ความเร็วสูง 1.0 กิโลเมตร/ชั่วโมง

เงื่อนไขการทดลอง

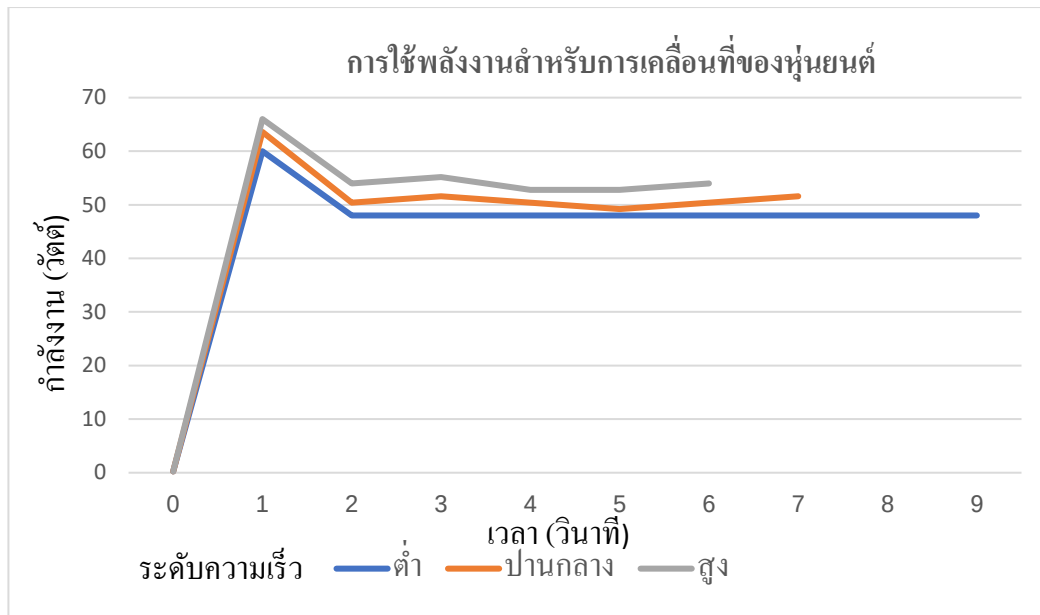
ในการทดลองหุ่นยนต์ประกอบไปด้วย โครงสร้าง ระบบขับเคลื่อน และอุปกรณ์ระบบควบคุม ระบบทำความสะอาด ระบบพ่นน้ำ และแบตเตอรี่ ซึ่งหุ่นยนต์มีน้ำหนักประมาณ 25 กิโลกรัม

ผลการทดลอง

การทดลองวัดค่าพลังงานจากการกินกระแสไฟขณะที่มอเตอร์ทำงานเพื่อให้ทราบปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละระดับความเร็ว จากการทดลองทำให้ทราบถึงพลังงานที่ต้องใช้ในระบบขับเคลื่อนซึ่งมีค่าการกินกระแสเฉลี่ยอยู่ที่ 5 แอมแปร์ สามารถนำไปพิจารณาเลือกขนาดแบตเตอรี่ให้มีขนาดเพียงพอต่อการใช้งานได้ต่อไป



รูปที่ 3.27 แสดงอัตราการใช้กระแสไฟ(แอมแปร์) เทียบกับเวลาขณะหุ่นยนต์เคลื่อนที่



รูปที่ 3.28 แสดงพลังงาน(วัตต์) เทียบกับเวลาขณะหุ่นยนต์เคลื่อนที่

หมายเหตุ ในการทดลองการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ประกอบไปด้วย โครงสร้าง ระบบขับเคลื่อน และอุปกรณ์ ระบบควบคุม ระบบทำความสะอาด ระบบพ่นน้ำ และแบตเตอรี่ ซึ่งหุ่นยนต์มีน้ำหนักประมาณ 25 กิโลกรัม

3.6.5 การทดลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านระหว่างแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การทดลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านระหว่างแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากรอยต่อระหว่างแผ่นของแต่ละโครงการมีระยะไม่เท่ากัน ส่งผลต่อความสามารถในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทดลองเพื่อหาความสามารถสูงสุดในการเคลื่อนที่ข้ามผ่านรอยต่อ

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อทดสอบระยะห่างระหว่างแผ่นสูงสุดที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้

เกณฑ์ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ

การทดสอบเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3 ระดับได้แก่

1. การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ 0.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง
2. การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วปานกลาง 0.8 กิโลเมตร/ชั่วโมง
3. การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง 1.0 กิโลเมตร/ชั่วโมง

โดยการทดสอบระยะห่างระหว่างแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ เริ่มทดสอบ จากระยะ 15 mm , 20 mm, 30 mm, 40 mm และ 50 mm

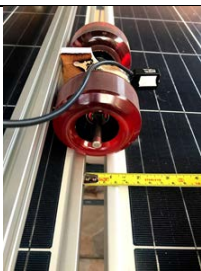
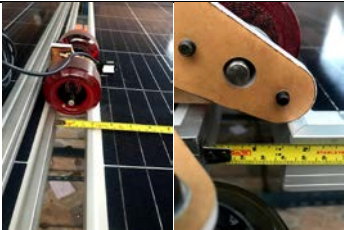
เงื่อนไขการทดลอง

ในการทดลองหุ่นยนต์ประกอบไปด้วย โครงสร้าง ระบบขับเคลื่อน และอุปกรณ์ระบบควบคุม ระบบทำความสะอาด ระบบพ่นน้ำ และแบตเตอรี่ ซึ่งหุ่นยนต์มีน้ำหนักประมาณ 25 กิโลกรัม

ผลการทดลอง

การทดลองเคลื่อนที่ผ่านระยะห่างระหว่างแผ่นสูงสุดที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ โดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ คือ ต่ำ ปานกลาง และสูง ปรากฏว่าทุกระดับความเร็วสามารถเคลื่อนที่ผ่านระยะช่องว่างแผ่นสูงสุดที่ 30 มิลลิเมตร ส่วนที่ระยะความกว้าง 40 และ 50 มิลลิเมตร ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ เนื่องจากเมื่อล้อเข้าไปติดอยู่ในร่องระหว่างแผ่น จึงไม่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นมาได้และประกอบกับโครงสร้างของตัวหุ่นเสียดสีกับแผง ได้สรุปการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.5 และตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างแผงของหุ่นยนต์

ตารางแสดงผลการทดลองการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างแผงของหุ่นยนต์			
ระยะห่าง	การเคลื่อนที่	รูปแบบ	หมายเหตุ
15 mm	ผ่าน		ระยะห่างมาตรฐานของการติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์
20 mm	ผ่าน		
30 mm	ผ่าน		
40 mm	ไม่ผ่าน		สาเหตุ 1. ล้อจมในช่องว่าง 2. โครงสร้างเสียดสีแผง
50 mm	ไม่ผ่าน		สาเหตุ 1. ล้อจมในช่องว่าง 2. โครงสร้างเสียดสีกับแผง

ระยะห่างระหว่างแผง จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูล โครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อําเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) มีระยะห่าง 15 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการทดลองเคลื่อนที่ข้ามผ่านระหว่างแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ระยะทาง ความเร็ว	15 mm	20 mm	30 mm	40mm	50 mm
ต่ำ	/	/	/	X	X
ปานกลาง	/	/	/	X	X
สูง	/	/	/	X	X

หมายเหตุ เครื่องหมาย / หมายความว่า ทำงานได้ และ เครื่องหมาย X หมายความว่า ไม่สามารถทำงานได้

3.6.6 การทดลองการทำงานของล้อ

หุ่นยนต์สำหรับทำความสะอาดเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ได้เลือกสำหรับการเคลื่อนที่บนพื้นผิวแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์มีลักษณะทรงกลม วัสดุเป็นพลาสติก เพื่อไม่ให้ล้อสร้างความเสียหายให้กับแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์และมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่บนแผงเซลล์ได้ดี

3.6.6.1 การทดลองเคลื่อนที่บนพื้นผิวแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่เปียกน้ำ

เพื่อดูลักษณะการส่งกำลังขับเคลื่อนระหว่างล้อกับพื้นผิวของแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เมื่อน้ำอยู่บนแผงเนื่องจากการทำความสะอาดจะใช้น้ำขัดร่วมกับน้ำ

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่บนพื้นผิวแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่เปียกน้ำ
2. เพื่อดูลักษณะรูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการทดลอง

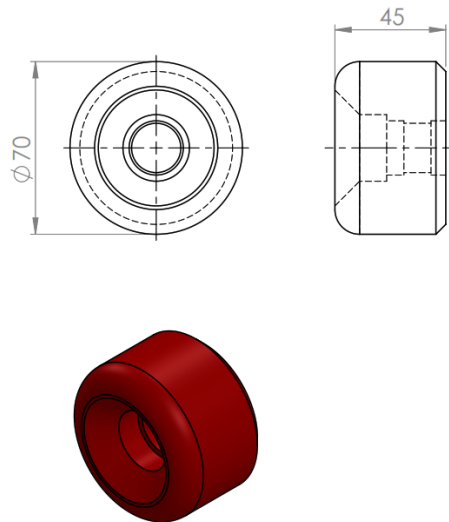
ฉีดน้ำลงบนแผ่นเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อจำลองลักษณะการทำงานให้เหมือนการทำความสะอาดจริงที่ต้องทำความสะอาดโดยการขัดร่วมกับน้ำ

การทดลองเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3 ระดับได้แก่

1. การเคลื่อนที่ความเร็วต่ำ 0.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง
2. การเคลื่อนที่ความเร็วปานกลาง 0.8 กิโลเมตร/ชั่วโมง
3. การเคลื่อนที่ความเร็วสูง 1.0 กิโลเมตร/ชั่วโมง

อุปกรณ์การทดลอง

ล้อยางแกนพลาสติก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.29 แสดงล้อยางแกนพลาสติกที่ใช้เป็นระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์

เงื่อนไขการทดลอง

ในการทดลองการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ประกอบไปด้วย โครงสร้าง ระบบขับเคลื่อน และอุปกรณ์ระบบควบคุม ระบบทำความสะอาด ระบบพ่นน้ำ และแบตเตอรี่ ซึ่งหุ่นยนต์มีน้ำหนักประมาณ 25 กิโลกรัม

ผลการทดลอง

จากการทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นผิวเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่เปียกน้ำพบว่า การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ดี และการหยุดการเคลื่อนที่ก็สามารถทำได้ดี เช่นกัน เนื่องจากการเริ่มทำงานและหยุดการทำงาน ทำพร้อมกับแปรงขัด ซึ่งสามารถช่วยให้การเคลื่อนที่และหยุดทำได้ดีด้วย

ตารางที่ 3.7 แสดงผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นผิวแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่เปียกน้ำ

สภาพ พื้นผิว ความเร็ว	แห้ง		เปียกน้ำ	
	เคลื่อนที่ได้ดี	หยุด ได้ดี	เคลื่อนที่ได้ดี	หยุด ได้ดี
ต่ำ	เคลื่อนที่ได้ดี	หยุด ได้ดี	เคลื่อนที่ได้ดี	หยุด ได้ดี
ปานกลาง	เคลื่อนที่ได้ดี	หยุด ได้ดี	เคลื่อนที่ได้ดี	หยุด ได้ดี
สูง	เคลื่อนที่ได้ดี	หยุด ได้ดี	หมุนฟรีขณะออก ตัวเล็กน้อย	หยุด ได้ดี

3.6.6.2 ทดลองการทนความร้อนของล้อ

ในการทำงานของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์มีการทำงานตอนกลางวันซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นเมื่อแสงแดดกระทบกับหน้าแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์จึงมีความจำเป็นต้องทดสอบความสามารถการทนความร้อนของล้อ รูปทรงของล้อ การใช้สำหรับการเคลื่อนที่ และการทิ้งร่องรอยบนหน้าแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อทดสอบความสามารถการทนความร้อนของล้อของหุ่นยนต์
2. เพื่อสังเกตลักษณะรูปทรงของล้อเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูง
3. เพื่อทดสอบความสามารถการเคลื่อนที่ของล้อของหุ่นยนต์

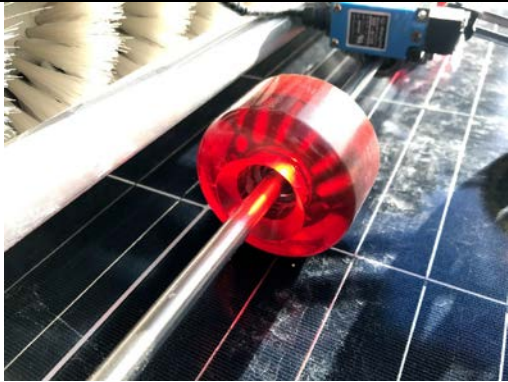
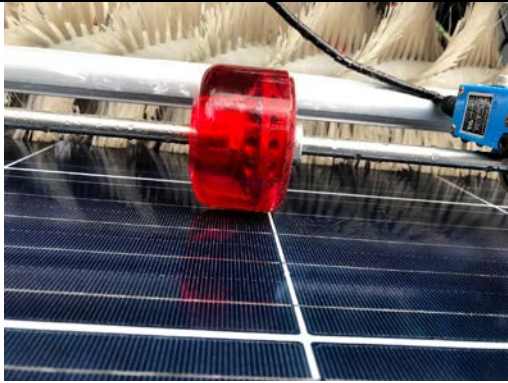
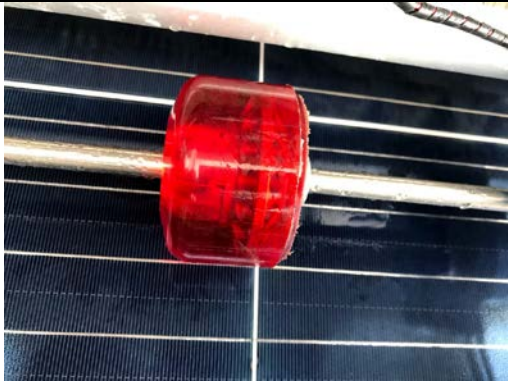
วิธีการทดลอง

1. นำหุ่นยนต์วางบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์กลางแดดเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง
2. ทำการวัดอุณหภูมิหน้าแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ สังเกตรูปทรงล้อของหุ่นยนต์และบันทึกการเปลี่ยนแปลง
3. การทดลองหลังจากเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง ทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไป-กลับ บนแผง สังเกตรูปทรงล้อและรอยบนหน้าแผงหลังหุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่าน

ผลการทดลอง

การทดลองใช้งานล้อพลาสติกเป็นล้อสำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ จากการทดลองและเก็บข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้ข้อมูลคืออุณหภูมิสภาพแวดล้อมอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส จะส่งผลทำให้อุณหภูมิที่สะสมหน้าแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิอยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส การทดลองวางหุ่นยนต์ไว้บนหน้าแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลาต่อเนื่อง 4 ชั่วโมงและทดลองการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ไป-กลับ จากการสังเกตและตรวจสอบพบว่าล้อที่ใช้ในหุ่นยนต์ยังคงรักษารูปทรงเป็นทรงกลมไม่บิดเบี้ยวทั้งยังสามารถทำงานในการเคลื่อนที่ได้ดี ไม่ส่งผลต่อหน้าผิวเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ไม่มีร่องรอยของล้อเมื่อเคลื่อนที่ผ่าน ในการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ใช้การทำความสะอาดร่วมกับน้ำซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิของผิวหน้าแผงให้ต่ำลงทำให้ช่วยให้ไม่มีความร้อนกระทบกับล้อของหุ่นยนต์

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการทดลองการทนความร้อนของล้อ

การทดลอง	อุณหภูมิ หน้าแมง (°C)	ภาพการทำงานของล้อ	ลักษณะล้อ
วางกลางแดด	70	 ภาพด้านข้างของล้อหุ่นยนต์	รูปทรงล้อสมบูรณ์ ผิวหน้าล้อแข็งแรง
วางกลางแดด	70	 ภาพด้านหน้าของล้อหุ่นยนต์	รูปทรงล้อสมบูรณ์ ผิวหน้าล้อแข็งแรง สมบูรณ์
วางกลางแดด	70	 ภาพด้านบนของล้อหุ่นยนต์	รูปทรงล้อสมบูรณ์ ผิวหน้าล้อแข็งแรง การเคลื่อนที่ได้ดีไม่ ทิ้งรอยบนหน้าแมง

3.6.7 การทดลองระบบการทำงานแบบอัตโนมัติและอุปกรณ์เซนเซอร์

3.6.7.1 การทำงานด้วย Photoelectric Sensor

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่บนพื้นผิวเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ

2. เพื่อทดสอบระบบเซนเซอร์กันตกของหุ่นยนต์ในโหมดการทำงานอัตโนมัติ
3. เพื่อทดสอบความแม่นยำและหาข้อผิดพลาดของระบบจากการทำงานในโหมดอัตโนมัติ

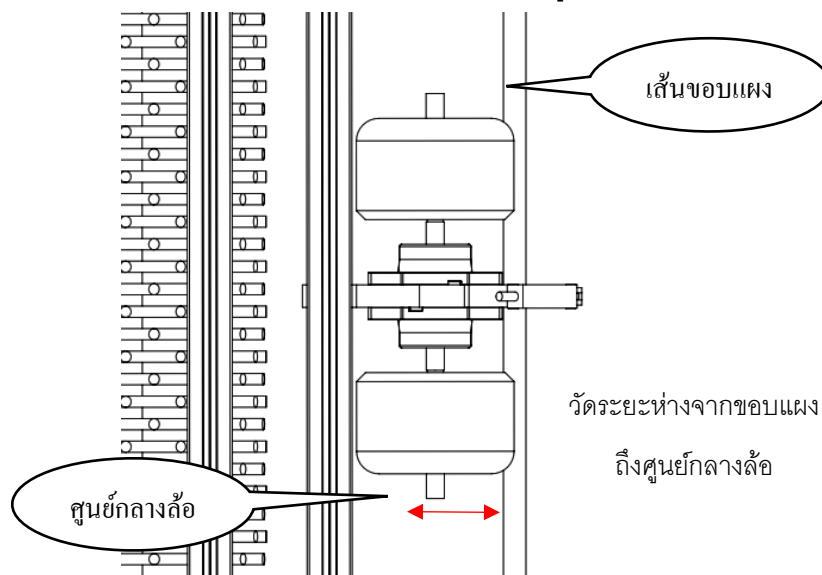
วิธีการทดลอง

ใช้โหมดการทำงานของหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทดสอบระบบการทำงานในโหมดอัตโนมัติ การทำงานระบบกันตกขอบและระบบการทำงานของเซนเซอร์เพื่อทดสอบความแม่นยำและหาข้อผิดพลาดในการทำงาน

การทดลองเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3 ระดับได้แก่

1. การเคลื่อนที่ความเร็วต่ำ 0.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง
2. การเคลื่อนที่ความเร็วปานกลาง 0.8 กิโลเมตร/ชั่วโมง
3. การเคลื่อนที่ความเร็วสูง 1.0 กิโลเมตร/ชั่วโมง

วิธีการ การวัดระยะห่างในการทดลองนี้ จะใช้การวัดจากขอบของแผงไปถึงศูนย์กลางของล้อ



รูปที่ 3.30 วิธีการวัดระยะห่างจากขอบของแผงไปถึงศูนย์กลางของล้อ

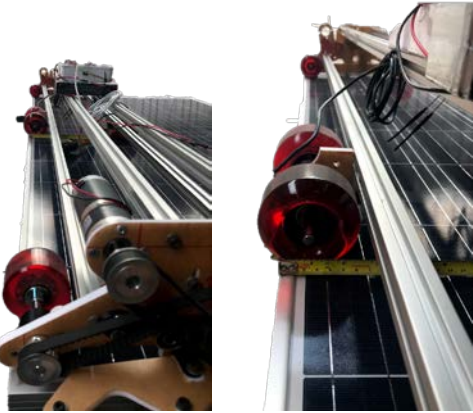
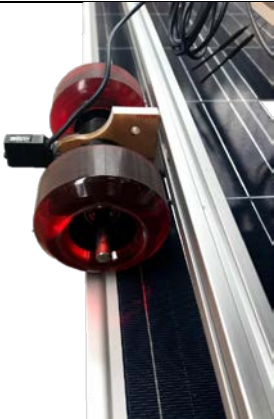
เงื่อนไขการทดลอง

ในการทดลองหุ่นยนต์ประกอบไปด้วย โครงสร้าง ระบบขับเคลื่อน และอุปกรณ์ระบบควบคุม ระบบทำความสะอาด ระบบพ่นน้ำ และแบตเตอรี่ ซึ่งหุ่นยนต์มีน้ำหนักประมาณ 25 กิโลกรัม

ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าการเคลื่อนที่และหยุดแบบอัตโนมัติของหุ่นยนต์ในรอบความเร็วต่ำ และรอบความเร็วปานกลาง มีการทำงานที่แม่นยำสมบูรณ์ไม่เกิดข้อผิดพลาดและความเสี่ยงให้หุ่นยนต์เกิดอุบัติเหตุจากการตกจากขอบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ในส่วนของการทดลองการเคลื่อนที่และหยุดแบบอัตโนมัติในรอบความเร็วสูง พบว่าในบางครั้งเกิดข้อผิดพลาดที่เสี่ยงต่อการตกขอบอันเนื่องมาจากความเร็วในการเคลื่อนที่และตำแหน่งในการติดเซนเซอร์ที่มีระยะห่างจากศูนย์กลางล้อ เพียง 5 เซนติเมตร จึงส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ ซึ่งจากการทดลองทำให้มีแนวทางการแก้ปัญหาคือควรเพิ่มระยะตำแหน่งการติดเซนเซอร์ให้เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำและปลอดภัยในการใช้งานหุ่นยนต์

ตารางที่ 3.9 แสดงลักษณะและตำแหน่งการหยุดของหุ่นยนต์

ตารางแสดงลักษณะและตำแหน่งการหยุดของหุ่นยนต์			
	การหยุด	รูปแบบ	หมายเหตุ
1.	ลักษณะการหยุดที่สมบูรณ์		
2.	ลักษณะการหยุดแบบเกยขอบแผง		มีความเสี่ยงและโอกาสที่จะตกแผง
3.	ลักษณะการตกขอบแผงแบบไม่ตกทุกล้อ		สาเหตุเกิดจากการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วทำให้โครงสร้างมีโอกาสบิดตัวจึงทำให้ล้อฝั่งอิสระเคลื่อนที่นำไปทำให้เกิดการตกขอบ
4.	ลักษณะการตกขอบแผงแบบตกทุกล้อ		สาเหตุเกิดจากการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์มีระยะใกล้ศูนย์กลางล้อทำให้มีโอกาสเกิดการตกขอบของหุ่นยนต์

ตารางที่ 3.10 แสดงผลการทดลองระบบการทำงานแบบอัตโนมัติและอุปกรณ์เซนเซอร์แบบโฟโต้เซ็นเซอร์

การทำงาน ความเร็ว	ครั้งที่	ไม่สามารถ ทำงานได้	สามารถทำงาน ได้	หมายเหตุ (ระยะห่างจากขอบแผง)	เฉลี่ย
ต่ำ (0.6 กิโลเมตร/ ชั่วโมง)	1		/	26	25.4
	2		/	25	
	3		/	25	
	4		/	26	
	5		/	25	
ปานกลาง (0.8 กิโลเมตร/ ชั่วโมง)	1		/	23	23.4
	2		/	22	
	3		/	24	
	4		/	25	
	5		/	23	
สูง (1.0 กิโลเมตร/ ชั่วโมง)	1		/	23	เสี่ยงต่อ การตก แผง
	2	/		เสี่ยงตกขอบแผง	
	3		/	20	
	4		/	22	
	5	/		หุ่นยนต์ตกขอบแผง	

(ระยะห่าง หน่วย: มิลลิเมตร)

แนวทางการแก้ปัญหา

การแก้ปัญหาโดยการปรับตำแหน่งมุมเอียงการติดตั้งเซนเซอร์ให้ทำมุม 30 องศา เพื่อให้เซนเซอร์สามารถตรวจจับวัตถุก่อนที่จะหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปถึง จากการทดลองพบว่าหลังจากการปรับตำแหน่งพบว่าการทำงานของระบบป้องกันการตกขอบทำได้ดีหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปกลับบนแผงไม่มีปัญหาเสี่ยงตกขอบหรือการตกขอบแผง



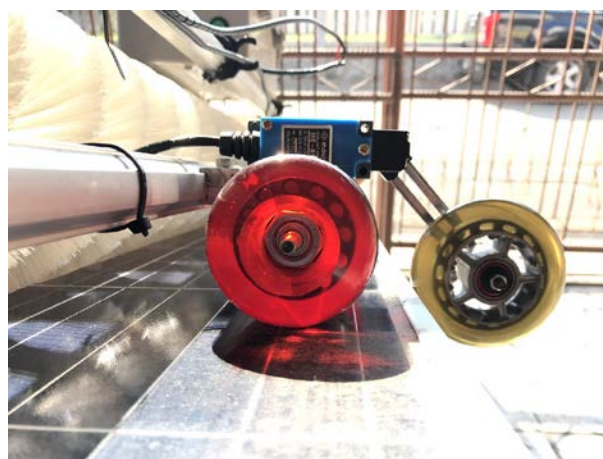
รูปที่ 3.31 แสดงรูปก่อนและหลังการปรับตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์ Proximity

ผลการทดสอบภาคสนาม

จากการทดสอบเกิดปัญหาการทำงานของระบบเซนเซอร์ พบว่าการทำงานของเซนเซอร์ทำงานไม่ต่อเนื่อง ส่งผลต่อระบบการทำงานการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เนื่องจากสถานที่ทดสอบอยู่กลางแจ้ง อุณหภูมิสูง และมีโอกาสโดนละอองน้ำ

3.6.7.2 การทำงานด้วย Limit Switch Sensor

การนำลิ้มิตสวิตช์ มาประยุกต์ใช้ในระบบป้องกันการตกขอบเนื่องจากการทำงานแบบกลไกสัมผัสกับหน้าแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงซึ่ง และระบบไม่มีความซับซ้อน ซึ่งจะให้ความแม่นยำ และลดข้อผิดพลาด จากการทำงานของเซนเซอร์ได้ดี



รูปที่ 3.32 รูปแบบการติดตั้ง Limit Switch sensor

ผลการทดลอง

ผลการทำงานของเซนเซอร์การตกขอบแบบลิมิตสวิทช์ พบว่าสามารถทำงานได้ดีไม่พบข้อผิดพลาด ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี สามารถรักษาระยะห่างของล้อกับขอบแฉ่งได้ดี ซึ่งสามารถไม่ให้เกิดปัญหาเนื่องการตกขอบแฉ่งของหุ่นยนต์ได้

ข้อเสนอแนะ สามารถเพิ่มระยะห่างระหว่างล้อของหุ่นยนต์กับขอบแฉ่งได้ด้วยการเพิ่มความยาวก้านล้อใช้ระยะขอบแฉ่งได้จะช่วยให้มีระยะห่างเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 3.11 แสดงผลการทดลองระบบการทำงานแบบอัตโนมัติและอุปกรณ์เซนเซอร์แบบลิมิตสวิทช์

การทำงาน ความเร็ว	ครั้งที่	ไม่สามารถ ทำงานได้	สามารถทำงาน ได้	หมายเหตุ (ระยะห่างจากขอบแฉ่ง)	เฉลี่ย
ต่ำ (0.6 กิโลเมตร/ ชั่วโมง)	1	-	/	60	56
	2	-	/	60	
	3	-	/	55	
	4	-	/	50	
	5	-	/	55	
ปานกลาง (0.8 กิโลเมตร/ ชั่วโมง)	1	-	/	45	45
	2	-	/	40	
	3	-	/	50	
	4	-	/	45	
	5	-	/	45	
สูง (1.0 กิโลเมตร/ ชั่วโมง)	1	-	/	40	36
	2	-	/	30	
	3	-	/	35	
	4	-	/	35	
	5	-	/	40	

(ระยะห่าง หน่วย: มิลลิเมตร)

3.6.8 ทดสอบการทำงานของแปรงขัดทำความสะอาด

การทดสอบแปรงขัดทำความสะอาดเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำความสะอาดของแปรงขัดเพื่อนำมาเลือกใช้แปรงให้เหมาะสมกับการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานอาทิตย์

3.6.8.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความสะอาดแปรงทำความสะอาด

ในการทดลองมีแปรง 2 ประเภทคือ 1. แปรงแบบตรง 2. แปรงแบบเกลียว ซึ่งมีขนาดแสดงในตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 แสดงคุณลักษณะของแปรง

	แปรงตรง	แปรงเกลียว
วัสดุขนแปรงไนลอน	0.8 มิลลิเมตร	
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแปรง	150 มิลลิเมตร	
ขนาดกอนแปรง	10 มิลลิเมตร	
แกนวัสดุ	PU และ เพลสแตนเลส	PU และ อลูมิเนียม
น้ำหนัก/เมตร	3 กิโลกรัม	1.5 กิโลกรัม

รูปแสดงลักษณะของขนแปรงแบบตรง และแปรงแบบเกลียวที่ใช้ในการทดลอง มีลักษณะดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.33 แสดงลักษณะแปรงทำความสะอาด แปรงขนเรียงตรง(ซ้าย) แปรงขนเรียงเกลียว(ขวา)

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการขัดทำความสะอาดฝุ่นบนหน้าแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์
2. เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแปรงแต่ละประเภทประกอบการตัดสินใจเลือกแปรง

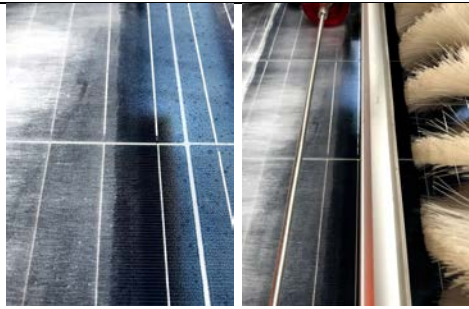
วิธีการทดลอง

นำแปรงทั้ง 2 ประเภท มาทดลองโดยการขัดฝุ่นที่ติดบนหน้าแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ได้ใช้รอบการหมุนแปรงที่ความเร็วรอบ 190 รอบต่อนาที (รอบสูงสุดของมอเตอร์แปรงขัดคือ 250 รอบต่อนาที สังกาลังผ่านสายพานอัตราทด 1.34 : 1) ทำการเปรียบเทียบข้อมูลด้วยการสังเกตผลการทดลอง

ผลการทดลอง

จากการทดลองการทำความสะอาดของแปรงทั้ง 2 ประเภทพบว่าได้ผลการทำความสะอาดไม่แตกต่างกัน และสามารถนำมาทำความสะอาดบนแผงได้ดี ไม่สร้างความเสียหายต่อแผง แต่สิ่งที่เป็นปัจจัยสำหรับการเลือกคือ 1. น้ำหนักของแปรง เนื่องจากการออกแบบหุ่นยนต์สำหรับการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสง ต้องการให้หุ่นยนต์น้ำหนักเบาที่สุด 2. ต้นทุนการผลิตเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ผลต่อราคาของหุ่นยนต์ ดังนั้นสำหรับการออกแบบหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์จึงเลือกใช้แปรงประเภทเกลียว ซึ่งมีข้อดีมากกว่าแปรงตรงและมีความเหมาะสม

ตารางที่ 3.13 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบแปรงตรงและแปรงเกลียว

ประเภทแปรง	ภาพการทำความสะอาด	ผลการทดลอง	ข้อดี	ข้อเสีย
แปรงตรง		บดฝุ่นหน้าแผงได้ดี	มีการเลี้ยงตัวของขนแปรงตลอดแนว	มีน้ำหนักมาก
แปรงเกลียว		บดฝุ่นหน้าแผงได้ดี	มีน้ำหนักเบา	ใช้เวลาผลิตนาน

หมายเหตุ เนื่องจากการผลิตแปรงทั้ง 2 ประเภทมีการผลิตต่างบริษัทกันทำให้มีโครงสร้างที่แตกต่างกันซึ่งส่งผลต่อน้ำหนักของแปรง

3.6.8.2 การทดลองระยะกวดแปรง

การทดลองการปรับตั้งระยะกวดแปรงขัดทำความสะอาด เนื่องจากการออกแบบหุ่นยนต์ได้ทำการออกให้สามารถปรับตั้งระยะกวดได้ จึงมีความจำเป็นอย่างมากในการหาระยะกวดที่มีความเหมาะสมในการขัดทำความสะอาดของแปรงขัดเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

วัตถุประสงค์การทดลอง

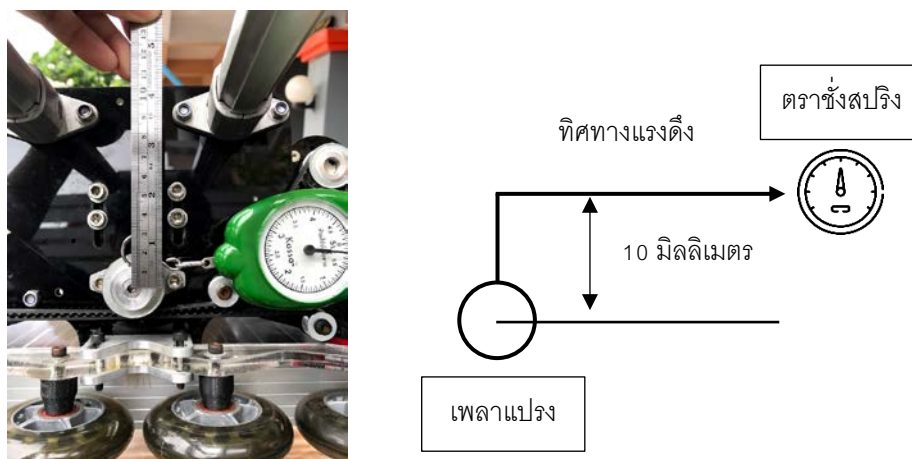
1. เพื่อหาค่าการปรับตั้งระยะกวดแปรงขัดทำความสะอาดให้มีความเหมาะสมกับการทำงานของหุ่นยนต์
2. ศึกษาปัจจัยที่จากการปรับระยะกวดของแปรงที่จะมีผลต่อการทำงานของหุ่นยนต์

วิธีการทดลอง

1. ทดลองปรับตั้งระยะกดของแปรงที่ละ 2 มิลลิเมตรและทำการบันทึกผลการทดลอง ในการทดลองให้ความเร็วรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนแปรงสูงสุด มีความเร็ว 190 รอบต่อนาที
2. จดบันทึกผลการทดลอง ค่าการกินกระแสไฟฟ้า และความเร็วในการหมุนของแปรง และเลือกระยะกดที่เหมาะสมในการใช้งาน
3. ในการทดลองรอบการหมุนแปรงที่ความเร็วรอบ 190 รอบต่อนาที (รอบสูงสุดของมอเตอร์แปรงขั้วคือ 250 รอบต่อนาที ส่งกำลังผ่านสายพานอัตราทด 1.34 : 1)

การวัดค่าแรงบิด

การวัดค่าแรงบิดที่ใช้ในการเริ่มต้นการหมุนแปรง โดยการใช้ตราขึงสปริงวัดแรงดึงจากตำแหน่งศูนย์กลางเพลาแปรง 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.34 แสดงวิธีการวัดแรงบิดที่ทำให้แปรงเริ่มหมุน

ผลการทดลอง

จากการทดลองปรับตั้งระยะกดแปรงทำความสะอาด โดยการปรับระยะกดเริ่มจากแปรงสัมผัสหน้าแผงแล้วปรับระยะกดลงทีละ 2 มิลลิเมตร จะไปถึงที่ระยะกด 10 มิลลิเมตร ทำการบันทึกผลการทดลอง ค่าแรงบิด การกินกระแสไฟฟ้า ความเร็วรอบ และสังเกตลักษณะของแปรงขณะทำความสะอาด ทุกครั้งเมื่อมีการปรับตั้งระยะกด พบว่าเมื่อเพิ่มระยะกดไปเรื่อยๆจะส่งผลต่อ แรงบิด และกระแสไฟฟ้าส่งผลทำให้มีค่าที่สูงขึ้นเรื่อยๆเช่นกัน ซึ่งสวนทางกับความเร็วรอบของแปรงที่หมุนจะต่ำลง

ระหว่างการทดลองได้สังเกตลักษณะของแปรงและความสะอาดไปด้วย พบว่าระยะการกดช่วง 6-10 มิลลิเมตร สังเกตด้วยตาความสะอาดไม่แตกต่างกัน แต่มีความต่างกันที่การกินกระแสไฟฟ้า และความเร็วรอบ จึงทำให้สรุปได้ว่าระยะการกดแปรงที่เหมาะสมที่สุดคือระยะ 6 มิลลิเมตร เนื่องจากสามารถสัมผัสหน้าแผงและทำความสะอาดได้ดี กินกระแสไฟฟ้าไม่มากและยังคงรอบการหมุนของแปรงที่สูง

ตารางที่ 3.14 แสดงผลการทดลองการหาระยะกดยของแปรงทำความสะอาด

ระยะกดยแปรง	แรงบิดที่ใช้เริ่ม หมุนแปรง (N.m)	การกินกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ความเร็วรอบหมุน แปรง (รอบต่อนาที)	หมายเหตุ
ไม่กดย	0.05	1.00	180	
2 มิลลิเมตร	0.06	1.54	175	
4 มิลลิเมตร	0.10	2.27	169	
6 มิลลิเมตร	0.16	3.08	160	กดยแปรงมากขึ้น กินกระแสขึ้น รอบหมุนต่ำลง
8 มิลลิเมตร	0.22	3.82	157	
10 มิลลิเมตร	0.3	4.54	150	

*หน่วยการวัดแรงบิด ใช้เป็น นิวตันเมตร

3.6.8.3 การทดลองหาทิศทางการหมุนแปรงทำความสะอาด

ในการทำงานของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์นั้นได้ออกแบบระบบการทำความสะอาดโดยใช้การหมุนของแปรงทำความสะอาดร่วมกับน้ำ ซึ่งการหมุนของแปรงนั้นเป็นปัจจัยสำคัญส่งผลต่อผลการทำความสะอาดและการทำงานของหุ่นยนต์ จึงได้มีการทดลองการหมุนเพื่อหาทิศทางที่เหมาะสมต่อการทำความสะอาดและการทำงานของหุ่นยนต์

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. ทดลองหาทิศทางการหมุนของแปรงให้เหมาะสมกับการทำงานของหุ่นยนต์
2. หาปัจจัยที่เป็นผลเนื่องมาจากทิศการหมุนของแปรงขัดทำความสะอาด

วิธีการทดลอง

การทดลองได้นำหุ่นยนต์มาทดลองโดยการปรับเปลี่ยนทิศทางการหมุนของหุ่นยนต์ ได้แก่

1. ทิศการหมุนแปรงตามทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ใช้ระยะกดยแปรง 6 มิลลิเมตร ความเร็วรอบแปรง 190 รอบต่อนาที
2. ทิศการหมุนของแปรงสวนทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ใช้ระยะกดยแปรง 6 มิลลิเมตร ความเร็วรอบแปรง 190 รอบต่อนาที
3. วัดการกินกระแสไฟฟ้า สังเกตและบันทึกผล

ผลการทดลอง

จากการทดลองทิศทางการหมุนของแปรงลักษณะหมุนตามการเคลื่อนที่ และหมุนสวนทางการเคลื่อนที่ พบว่าการการหมุนสวนทางการเคลื่อนที่ที่มีการกินกระแสสูงกว่าการหมุนตามการเคลื่อนที่เนื่องจากการต้านการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

การทดลองหน้าผกแบบแห้งและแบบเปียกพบว่าการทำงานของหุ่นยนต์กรณีแบบเปียกคือมีน้ำบนหน้าผกพบว่าการกินกระแสไฟฟ้าต่ำกว่าแบบแห้งเนื่องจากน้ำช่วยลดความฝืดระหว่างผกกับแปรงขัด และช่วยการยึดเกาะของลวดด้วยเช่นกัน

ประสิทธิภาพการทำความสะอาดจากการสังเกตด้วยตาไม่แตกต่างกันมากนัก การหมุนแปรตามทิศทางการเคลื่อนที่ น้ำกระเด็นไปด้านหลังควรมีแปรรัดน้ำ การหมุนแปรสวนทิศทางการเคลื่อนจำเป็นต้องเพิ่มการยึดเกาะระหว่างล้อ กับหน้าผาอ่อนข้างมากการทำงานบ้างครั้งพบว่าล้อหุ่นยนต์สิ้นเปลืองจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะของล้อ

ตารางที่ 3.15 แสดงผลการทดลองหาทิศทางการหมุนแปรทำความสะอาด

ลักษณะการ หมุน แปร	ความเร็วการ เคลื่อนที่หุ่นยนต์ (km/hr)	การกินกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)		การสังเกต	หมายเหตุ
		แห้ง	เปียก (ฉีดน้ำ)		
ตามทิศ	0.6	4.00	3.97	น้ำกระเด็นไป ด้านหลังควรมีแปร รัดน้ำ	น้ำลดความถี่การ กินแอมแปร์ลดลง
ทางการ	0.8	4.22	4.17		
เคลื่อนที่	1.0	4.48	4.41		
สวนทิศทาง การเคลื่อนที่	0.6	4.92	4.81	ต้านการเคลื่อนที่ กินกระแสสูง	ต้องเพิ่มการยึด เกาะระหว่างล้อกับ หน้าผา
	0.8	5.20	5.14		
	1.0	5.61	5.48		

3.6.9 การทดลองการทำงานต่อเนื่อง

การทดลองการทำงานต่อเนื่องเป็นการทดสอบระบบการทำงานของหุ่นยนต์ให้ทำงานเป็นระยะเวลานาน ต่อเนื่อง และเป็นการทดลองความแข็งแรง ทนทานต่อการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดในหุ่นยนต์หาข้อบกพร่องจากการทำงาน

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. ทดลองความแข็งแรง ทนทานของอุปกรณ์ในสถานการณ์ทำงานต่อเนื่องระยะเวลานาน ในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการทดลองทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง
2. หาข้อผิดพลาดและข้อเสียจากการทดลองแบบต่อเนื่องของหุ่นยนต์

วิธีการทดลอง

นำหุ่นยนต์มาทำการทดลองการทำงานต่อเนื่องโดยการให้เคลื่อนที่ไปและกลับระยะทาง 2 เมตรโดยการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติเป็นเวลาต่อเนื่อง 4 ชั่วโมง ระหว่างการทำงานได้สังเกตและบันทึกผล

ผลการทดลอง

จากการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์แบบต่อเนื่องในสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับหน้างาน พบว่าสามารถทำงานต่อเนื่องได้ อุปกรณ์ชิ้นส่วนโครงสร้างสามารถทำงานได้ไม่เกิดความเสียหาย ฟังก์ชันการทำงานทำงานได้ เช่น การเคลื่อนที่ควบคุมความเร็ว ระบบแปรทำความสะอาด ระบบน้ำ รวมไปถึงคอนโทรลเลอร์ ก็ยังคงสามารถทำงานในสภาวะกลางแจ้งที่มีอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 40 องศาได้ แต่ยังพบว่าอุปกรณ์ในชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่เช่น สายพาน ต้องมีการดึงสายพานช่วยเนื่องจากเคลื่อนที่ไป-กลับเกิดการกระชาก ส่วนล้อยังมีเกิดอาการคลายของน็อตขณะทำงานต่อเนื่อง ซึ่งแก้ไขโดยการใช้หมอนก้นคลาย โดยภาพรวมของหุ่นยนต์จากการทดสอบการ

ทำงานต่อเนื่องสามารถทำงานได้เกิน 4 ชั่วโมง โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 20 Ah ได้ แสดงรายละเอียดการทดสอบในตารางที่

ตารางที่ 3.16 ผลการทดสอบการทำงานแบบต่อเนื่องของหุ่นยนต์

อุปกรณ์	การทำงาน	หมายเหตุ
ระบบการเคลื่อนที่	/	เคลื่อนที่ไป-กลับทำได้ดี
1.มอเตอร์	/	สามารถทำงานได้ต่อเนื่องและรักษาความเร็วได้
2.สายพาน	/	เนื่องจากระยะเวลาทดสอบสั้นการเคลื่อนที่ไป-กลับ เนื่องจากต้องปรับตั้งความตึงสายพานบ่อย
3.ชุดล้อ	แก้ไข	ตัวหนอนล้อยางตัวคาย แก้ไขโดยการใช้ล้อยางกันคาย
ระบบแปร่งทำความสะอาด	/	ทำงานได้ดี
1.แปร่งทำความสะอาด	/	ไม่พบการหลุดของขนแปร่ง
2.ระบบน้ำ	/	หัวฉีดดันได้หากน้ำไม่สะอาด
ระบบควบคุม (คอนโทรลเลอร์)	/	ทำงานได้ต่อเนื่อง กล้องกันน้ำได้
1.ไมโครคอนโทรลเลอร์	/	ทำงานกลางแดดได้
2.บอร์ดไดรฟ์มอเตอร์	/	ทำงานกลางแดดได้ควบคุมมอเตอร์ได้
3.รีโมทควบคุม	/	ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ได้ดี
เซนเซอร์ป้องกันการตกขอบ	แก้ไข	ทำงานได้ดี ปรับเปลี่ยนวัสดุกันล้อให้แข็งแรงขึ้น
แบตเตอรี่ (20 Ah)	/	ทำงานได้เกิน 4 ชั่วโมง

3.6.10 การทดลองทำงานภาคสนาม

นำหุ่นยนต์ทดสอบการใช้งานในสถานที่จริง ขั้นตอนการนำหุ่นยนต์ไปทดสอบในสถานที่ใช้งานจริง ฟาร์มแมงแซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า เพื่อทดสอบการทำงานในสภาวะการใช้งานจริง รับฟังปัญหาจากผู้ใช้งานนำมาปรับปรุง และเก็บผลจากประสิทธิภาพการทำงานหุ่นยนต์โดยเทียบจากกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าก่อนและหลังทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ และได้รับความอนุเคราะห์การใช้สถานที่เพื่อทดสอบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์และได้ให้คำแนะนำเพื่อการพัฒนาหุ่นยนต์จากผู้ใช้งาน

ก) บริษัท เอส.เอส.เอ็ม.อินดัสตรี (S.S.M. Industry) จำกัด



รูปที่ 3.35 แสดงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ บริษัท เอส.เอส.เอ็ม.อินดัสตรี จำกัด

เจ้าของโครงการ : บริษัท เอส.เอส.เอ็ม.อินดัสตรี (S.S.M. Industry) จำกัด
สถานที่ตั้ง : 12/39 หมู่ที่ 10 ต.คลองข่อย อ.ปากเกร็ด จ. นนทบุรี 11120
รายละเอียด : ลักษณะการวางตำแหน่งแผง 1. โซลาร์รูฟท็อป 2. โซลาร์ฟาร์ม

ผลการทดสอบเบื้องต้น

จากการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์มาทดสอบกับแผงที่อยู่บนโต๊ะที่มีมุมเอียง 15 องศา ลักษณะการวางแผนแบบโซลาร์ฟาร์ม หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงขนาด 4 เมตร

- หุ่นยนต์ประกอบและติดตั้งเข้ากับแผงได้อย่างเหมาะสม
- หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ดีชุดล้อขับเคลื่อนและล้อประกอบทำงานดี
- ระบบแปรงสามารถขัดทำความสะอาดได้ดีขึ้นแปรงและน้ำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง น้ำไหลเร็วและพื้นผิวแผงสะอาดมากขึ้นเนื่องจากการไหลของสิ่งสกปรกตกลงด้านล่าง
- ระบบป้องกันการตกขอบพบปัญหาการทำงานของเซนเซอร์ทำงานไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากสถานที่ทดสอบกลางแจ้ง และมีอุณหภูมิสูง อาจส่งผลต่อการทำงานของเซนเซอร์

การทำงานของหุ่นยนต์บนพื้นราบบนหลังคาลักษณะการวางแผนแบบรูฟท็อป ทำได้แต่ติดปัญหาหัวฉีดที่เป็นสายกราว ที่มีอยู่ทุกกระยะหนึ่งเมตร ทำให้ระบบส่งกำลังไม่สามารถเอาชนะและเคลื่อนที่ผ่านได้ ถ้าไม่มีการช่วยลากจากผู้ใช้งาน

คำแนะนำและปัญหาจากการทดสอบการทำงาน

1. ล้อควรจะมีสปริงเพื่อให้หนีกับแผงได้ และคลายตัวเมื่อเจออุปสรรค เช่น หัวฉีดยึดกราว ซึ่งจะมีในแผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่นเก่า
2. แผ่นติดเซนเซอร์ควรแข็งแรง ไม่หักระหว่างขนย้าย หรืออาจจะปรับชนิดเซนเซอร์ และเพิ่มจำนวนของเซนเซอร์ เปลี่ยนที่ติดตั้ง การทำงานของเซนเซอร์ไม่ควรจะตัดสัญญาณการทำงานง่ายเกินไปกรณีเจอร่อง
3. ระบบน้ำควรไหลทั้งสองด้าน และมีวาล์วควบคุมปริมาณการไหล

4. ความเร็วของแปรงขัดควรจะปรับได้ด้วยการหมุน โดยไม่ต้องเปิดคอมพิวเตอร์
5. ที่ครอบควรจะมีเพื่อป้องกันน้ำกระเด็นกลับ และกระเด็นออกมาใส่ผู้ใช้งาน
6. ทิศทางการขัดของแปรงควรไปในทิศทางขัดไปข้างหน้าให้คราบไม่ตกลับไปที่เดิม
7. การกดแปรงดีแล้ว และควรกดให้สนิทกับแผง เพื่อทำความสะอาดคราบฝังลึก
8. ควรจะมีระบบรีดน้ำที่เป็นยาง และระบบเช็ดด้วยผ้าหลังจากการขัดด้วยแปรง เพื่อให้การทำความสะอาดมีประสิทธิภาพมากขึ้น
9. แบตเตอรี่ควรถอดประกอบได้ จะได้ไม่หนักในการขนย้าย ตอนนี้น้ำหนักรวมแบตเตอรี่ ประมาณ 25 กิโลกรัมสำหรับแผงขนาด 2 เมตร

การติดตั้งหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งเพื่อทดสอบการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ลักษณะการวางแผงแบบโซลาร์ฟาร์มท่ามุ่ม 15 องศา กับพื้น มีขนาดความกว้างของแผง 4 เมตร ได้อย่างพอดี



รูปที่ 3.36 การติดตั้งหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์โซลาร์ฟาร์มท่ามุ่ม 15 องศา

การติดตั้งเพื่อทดสอบการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ลักษณะการวางแผงแบบโซลาร์ฟาร์มที่อป วางราบลงบนพื้น มีขนาดความกว้างของแผง 4 เมตร สามารถวางลงบนแผงได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 3.37 การติดตั้งหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์โซลาร์รูฟท็อป

การติดตั้งหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ลักษณะการวางแผงแบบโซลาร์รูฟท็อป วางราบลงบนพื้น มีขนาดความกว้างของแผง 2 เมตร



รูปที่ 3.38 การติดตั้งหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ความกว้าง 2 เมตร

การทดสอบการทำงานการเชื่อมต่อระหว่างโมดูล

การทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ขณะทำความสะอาด ด้วยการเชื่อมต่อระหว่างโมดูลาร์โดยใช้สลักในการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์ทั้ง 2 ตัวเข้าด้วยกัน สามารถทำงานได้ดี มีความแข็งแรง



รูปที่ 3.39 แสดงรูปแบบการเชื่อมต่อหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์เข้าด้วยกันความยาว 4 เมตร

ลักษณะแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ก่อนและหลังการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ลักษณะสิ่งสกปรกบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ปัญหาเนื่องจากฝุ่นที่เกาะติดบนแผงและความสกปรกจากมูลนก ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 3.40 แสดงลักษณะสิ่งสกปรกที่เกาะติดบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์
(บริษัท เอส.เอส.เอ็ม.อินดัสตรี (S.S.M. Industry) จำกัด)

ลักษณะแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์หลังจากการล้างด้วยหุ่นยนต์ การทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ขณะทำความสะอาดโดยใช้แปรงขัดแบบหมุนร่วมกับน้ำสามารถทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ได้สะอาดเป็นอย่างดี



รูปที่ 3.41 แสดงลักษณะบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์หลังการล้างด้วยหุ่นยนต์

ผลการทดสอบหลังจากการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การเปรียบเทียบลักษณะผลการทำความสะอาดจากหุ่นยนต์ด้วยแปรงแบบไม่ใช้น้ำ ทำให้เห็นข้อเปรียบเทียบด้านขวาของรูปคือลักษณะแผงที่ยังไม่ได้ทำความสะอาด ส่วนด้านซ้ายของรูปการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์แบบไม่ใช้น้ำ จะเห็นได้ว่าสะอาดขึ้นแต่ยังมีคราบเนื่องจากฝุ่นอยู่บนแผง



รูปที่ 3.42 ลักษณะของฝุ่นหลังการการปัดด้วยแปรง (แบบไม่มีน้ำ)

(ด้านซ้าย) ทำความสะอาดเสร็จแล้ว (ด้านขวา) ยังไม่ได้ทำความสะอาด

การเปรียบเทียบลักษณะผลการทำความสะอาดจากหุ่นยนต์ด้วยแปรงแบบใช้น้ำ ทำให้เห็นข้อเปรียบเทียบด้านขวาของรูปคือลักษณะแผงที่ยังไม่ได้ทำความสะอาด ส่วนด้านซ้ายของรูปการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์แบบใช้น้ำ จะเห็นได้ว่าสะอาดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 3.43 ลักษณะของฝุ่นหลังการทำความสะอาดเสร็จสิ้น
(ด้านซ้าย) ทำความสะอาดเสร็จแล้ว (ด้านขวา) ยังไม่ได้ทำความสะอาด

การเปรียบเทียบการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้น้ำและแบบไม่ใช้น้ำ

การเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าการทำความสะอาดของหุ่นยนต์ร่วมกับน้ำสามารถทำความสะอาดได้ดีกว่าแบบไม่ใช้น้ำ เนื่องจากน้ำช่วยชะล้างสิ่งสกปรกออกจากแผงและไม่ทิ้งคราบสิ่งสกปรกหลงเหลือบนหน้าแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้การทำความสะอาดร่วมกับน้ำควรมีระบบการรีดน้ำออกจากหน้าแผงเพื่อไม่ให้เกิดคราบน้ำบนหน้าแผง ซึ่งคราบน้ำส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้



รูปที่ 3.44 การเปรียบเทียบลักษณะของฝุ่นหลังการทำความสะอาดเสร็จสิ้น
(ด้านซ้าย) ทำความสะอาดแบบไม่ใช้น้ำ (ด้านขวา) ทำความสะอาดด้วยน้ำ

ข) โครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ Sunny bangchak

อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)



รูปที่ 3.45 แสดงโครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Sunny bangchak)

เจ้าของโครงการ	: บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)
สถานที่ตั้ง	: ตำบลบางกระสั้น อำเภอบางปะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
กำลังการผลิต	: 44 เมกะวัตต์
รายละเอียด	: เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน Multicrystalline Silicon Solar Cell, Polycrystalline Silicon Solar Cell ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 280-290 วัตต์ต่อแผง กว่า 150,000 แผง

ผลการทดสอบเบื้องต้น

จากการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์มาทดสอบกับแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีมุมเอียง 15 องศา ลักษณะการวางแผงแบบโซลาร์ฟาร์ม หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงขนาด 4 เมตร

- หุ่นยนต์ประกอบและติดตั้งเข้ากับแผงได้อย่างเหมาะสม
- หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ดี ชูดูดล้อขับเคลื่อนและล้อประกอบทำงานดี และสามารถปรับตั้งการกดของล้อได้ดี
- ระบบแปรขนแปรสามารถทำความสะอาดได้ดี สามารถปรับตั้งระยะกดให้มีความเหมาะสมกับความสกปรก การทำงานของระบบฉีดพ่นน้ำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง น้ำไหลเร็ว และพ่นผิวแผงสะอาดมากขึ้นเนื่องจากการไหลของสิ่งสกปรกลงสิ่งด้านล่าง
- ระบบป้องกันการตกของหลังคาเปลี่ยนเป็นเซนเซอร์แบบลิ้มิตสวิทช์ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเที่ยงตรง
- การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลาร์ระบบสามารถเชื่อมต่อกันได้ดี ไม่พบข้อผิดพลาดระหว่างการทำงาน

คำแนะนำและปัญหาจากการทดสอบการทำงาน

1. ควรเพิ่มรอบการหมุนของแปรขจัดทำความสะอาด

2. แปรปรี่น้ำควรวางตำแหน่งให้พอดีหน้าแผงมีมุมเอียงของแปรปรี่ให้เหมาะกับการรี่ปน้ำและเพิ่มแปรปรี่น้ำให้เป็น 2 ผัง
3. เพิ่มแรงดันระบบฉีบน้ำและตำแหน่งติดตั้งเพื่อช่วยการดันฝุ่น
4. การเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์ต้องง่ายและใช้เวลาประกอบน้อยกว่านี้
5. แก้ปัญหาการเคลื่อนย้ายหุ่นยนต์ให้ง่ายกว่านี้
6. ปัญหาการตรึงสายพานส่งกำลัง
7. เพิ่มการทดสอบการหมุนของแปรปรี่ทำความสะอาดให้ส่วนทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งเพื่อการทดสอบการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ลักษณะการวางแผงแบบโซลาร์ฟาร์มท่ามม 15 องศา กับพื้น มีขนาดความกว้างของแผง 4 เมตร หุ่นยนต์สามารถติดตั้งได้อย่างพอดี ล้อประกอบสามารถประกบกับขอบแผงได้ดี



รูปที่ 3.46 แสดงสถานที่ทดสอบแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์โซลาร์ฟาร์มท่ามม 15 องศา ขนาดความกว้าง 4 เมตร

การติดตั้งหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ลักษณะการวางแผงแบบโซลาร์ฟาร์มท่ามมเอียง 15 องศา มีขนาดความกว้างของแผง 4 เมตร การทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ดีขึ้นเนื่องจากการทดสอบครั้งนี้ได้เพิ่มอุปกรณ์ระบบแปรปรี่น้ำ ให้กระบวนการทำความสะอาดมีประสิทธิภาพดีขึ้นเนื่องจากหลังจากการทำความสะอาดจากแปรปรี่ร่วมกับน้ำ ทำให้มีน้ำขังบนหน้าแผง แต่การเพิ่มระบบแปรปรี่น้ำทำให้ไม่มีน้ำค้างของบนหน้าแผง และบริเวณขอบแผง ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเกิดคราบน้ำที่แห้งติดบนหน้าแผง



รูปที่ 3.47 แสดงสถานที่ทดสอบการทำความสะอาดร่วมกับการใช้แปรงรีดน้ำ

การทดสอบการทำงานการเชื่อมต่อระหว่างโมดูลาร์ มีความยาว 4 เมตร

การทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ขณะทำความสะอาด ด้วยการเชื่อมต่อระหว่างโมดูลาร์โดยใช้สลักในการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์ทั้ง 2 ตัวเข้าด้วยกัน สามารถทำงานได้ดี มีความแข็งแรง หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ต่อเนื่องไม่เกิดปัญหาจากการเชื่อมต่อระหว่างโมดูล



รูปที่ 3.48 แสดงรูปแบบการเชื่อมต่อหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์เข้าด้วยกันความยาว 4 เมตร

ลักษณะแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ก่อนการทำความสะอาด

ลักษณะสิ่งสกปรกบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ มีฝุ่น คล้ายเมล็ดทราย เขม่าการเผาไหม้ ที่เกาะติดบนแผงและความสกปรกจากมูลนก เนื่องจากขาดการทำความสะอาดเป็นระยะเวลานาน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 3.49 แสดงลักษณะสิ่งสกปรกที่เกาะติดบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์
(โครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชั้นนี้บางจาก Sunny bangchak)

การเปรียบเทียบการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ก่อนและหลังแบบใช้น้ำ

การเปรียบเทียบจะเห็นได้ชัดว่าการทำความสะอาดของหุ่นยนต์ร่วมกับน้ำสามารถทำความสะอาดได้ดี เนื่องจากน้ำช่วยให้ชะล้างสิ่งสกปรกออกจากแผง ประกอบกับมีระบบแปรงรีดน้ำทำให้รีดน้ำออกจากหน้าแผง ไม่ทิ้งคราบสิ่งสกปรกและรอยน้ำจากการทำความสะอาด



รูปที่ 3.50 การเปรียบเทียบลักษณะของฝุ่นหลังการทำความสะอาดเสร็จสิ้น
(ด้านซ้าย) ยังไม่ได้ทำความสะอาด (ด้านขวา) ทำความสะอาดด้วยน้ำ

ค) โครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน สำหรับหน่วยงานราชการและสหกรณ์ภาคการเกษตร



รูปที่ 3.51 แสดงโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน สำหรับหน่วยงานราชการและสหกรณ์ภาคการเกษตร

เจ้าของโครงการ : องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก

สถานที่ตั้ง : ตำบลทรายขาว อำเภอสอยดาว จังหวัดจันทบุรี

กำลังการผลิต : 5 เมกะวัตต์

รายละเอียด : เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 360 วัตต์ต่อแผง จำนวน 14,000 แผง การติดตั้งบนพื้นดินลักษณะแบบโซลาร์ฟาร์ม การวางเรียงตำแหน่งแผงมีความกว้าง 4 เมตร

ผลการทดสอบเบื้องต้น

จากการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์มาทดสอบกับแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีมุมเอียง 15 องศา ลักษณะการวางแผงแบบโซลาร์ฟาร์ม หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงขนาด 4 เมตร

- หุ่นยนต์ประกอบและติดตั้งเข้ากับแผงได้อย่างเหมาะสม
- หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ดีชุดล้อขับเคลื่อนและล้อประกอบทำงานดี
- ระบบแปรขนแปรปรองสามารถทำความสะอาดได้ดี
- ระบบฉีดพ่นน้ำทำงานได้ดี และพื้นผิวแผงสะอาดมากขึ้นเนื่องจากการไหลของสิ่งสกปรกตกลงด้านล่าง
- ระบบป้องกันการตกขอบเป็นเซนเซอร์แบบลิมิตสวิทช์ทำงานได้เที่ยงตรง

คำแนะนำและปัญหาจากการทดสอบการทำงาน

1. ควรเพิ่มความแข็งแรงของตัวยึดชุดแปรกริดน้ำ
2. เพิ่มแรงดันระบบฉีดน้ำและตำแหน่งติดตั้งเพื่อช่วยการดันฝุ่น
3. การเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์ต้องง่ายและใช้เวลาประกอบน้อยกว่านี้

4. แก้ปัญหาการเคลื่อนย้ายหุ่นยนต์ให้ง่ายกว่านี้
5. ปัญหาการตรึงสายพานส่งกำลัง
6. ปัญหาจากพนักงานมีสกรูยึดแผงโพลีขึ้นมามีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร ทำให้แปรงรีดน้ำไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ (เนื่องจากเป็นแผงใหม่ยังไม่ได้ตัดความยาวสกรูออก)

ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งเพื่อการทดสอบการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ลักษณะการวางแผงแบบโซลาร์ฟาร์มท่ามม 15 องศา กับพื้น มีขนาดความกว้างของแผง 4 เมตร



รูปที่ 3.52 ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งหุ่นยนต์สามารถประกอบติดตั้งได้อย่างเหมาะสมพอดีกับความกว้างของแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีความยาว 4 เมตร การทดสอบการเคลื่อนที่และหยุดจอดนั้นทำได้ดีไม่พบข้อผิดพลาด



รูปที่ 3.53 การติดตั้งหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ลักษณะแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ก่อนและหลังการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การทำความสะอาดเปรียบเทียบ รูปด้านซ้ายยังไม่ได้ทำความสะอาด พบความสกปรกเนื่องจากฝุ่นที่มีลักษณะกระจายบนหน้าแผง ฝุ่นที่มีลักษณะเป็นจุดบนหน้าแผง และมูลนก แต่ความสกปรกไม่มากนักเนื่องจากมีฝน

ตกในวันก่อนหน้าวันบันทึกข้อมูล รูปด้านขวาแสดงภาพหลังจากการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ร่วมกับน้ำ สังเกตได้ชัดเจนว่าบนหน้าแผงมีความสะอาดมากขึ้น ไม่มีคราบน้ำเนื่องจากการล้างด้วยน้ำ



รูปที่ 3.54 การเปรียบเทียบลักษณะของฝุ่นหลังการทำความสะอาดเสร็จสิ้น
(ด้านซ้าย) ยังไม่ได้ทำความสะอาด (ด้านขวา) ทำความสะอาดด้วยน้ำ
(โครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน)

ง) โครงการสหกรณ์โคนมสอยดาว



รูปที่ 3.55 แสดงโครงการสหกรณ์โคนมสอยดาว

เจ้าของโครงการ : บริษัท เอส.เอส.เอ็ม.อินดัสตรี (S.S.M. Industry) จำกัด
สถานที่ตั้ง : 22/3 หมู่ที่ 17 ตำบลทับช้าง อำเภอสอยดาว จังหวัดจันทบุรี

กำลังการผลิต : 2 เมกะวัตต์

รายละเอียด : เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 360 วัตต์ต่อแผง จำนวน 5,500 แผง การติดตั้งบนพื้นดินลักษณะแบบโซลาร์ฟาร์ม การวางเรียงตำแหน่งแผงมีความกว้าง 4 เมตร

ผลการทดสอบเบื้องต้น

จากการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์มาทดสอบกับแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีมุมเอียง 15 องศา ลักษณะการวางแผงแบบโซลาร์ฟาร์ม หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงขนาด 4 เมตร

- หุ่นยนต์ประกอบและติดตั้งเข้ากับแผงได้อย่างเหมาะสม
- หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ดีชุดล้อขับเคลื่อนและล้อประกอบทำงานดี
- ระบบแปรขนแปรปรองสามารถทำความสะอาดได้ดี
- ระบบฉีดพ่นน้ำทำงานได้ดี และพื้นผิวแผงสะอาดมากขึ้นเนื่องจากการไหลของสิ่งสกปรกตกลงด้านล่าง
- ระบบป้องกันการตกขอบเป็นเซนเซอร์แบบลิมิตสวิตช์ทำงานได้เที่ยงตรง

คำแนะนำและปัญหาจากการทดสอบการทำงาน

1. ควรเพิ่มขนาดแบตเตอรี่ให้มีความจุเพิ่มมากขึ้น
2. เพิ่มแรงดันระบบฉีดยาและตำแหน่งติดตั้งเพื่อช่วยการดันฝุ่น
3. แก้ปัญหาการเคลื่อนที่ในบริเวณแนวแผงที่มีความลาดเอียง

ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการทดสอบการทำงานทำความสะอาด ลักษณะการวางแผงแบบโซลาร์ฟาร์มท่ามมุม 15 องศา กับพื้น มีขนาดความกว้างของแผง 4 เมตร ลักษณะการวางแผงมีความลาดชันตามภูมิประเทศ



รูปที่ 3.56 แสดงลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์
(โครงการสหกรณ์โคนมสอยดาว)

การติดตั้งหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งหุ่นยนต์ สามารถประกอบติดตั้งได้อย่างเหมาะสมพอดีกับความกว้างของแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีความยาว 4 เมตร ในช่วงการยกหุ่นยนต์ขึ้นแผงเนื่องจากแผงมีความสูงทำให้ยากต่อการยกหุ่นยนต์และวางบนหน้าแผง การทดสอบการเคลื่อนที่และหยุดจอนั้นทำได้ไม่พบข้อผิดพลาดในการทำงาน



รูปที่ 3.57 แสดงการติดตั้งหุ่นยนต์ล้างแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ลักษณะแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ก่อนและหลังการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การเปรียบเทียบก่อนและหลังทำความสะอาด รูปด้านซ้ายยังไม่ได้ทำความสะอาด พบความสกปรกเนื่องจากฝุ่นที่มีลักษณะกระจายบนหน้าแผง รูปด้านขวาแสดงภาพหลังจากการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ร่วมกับน้ำ สังเกตได้ว่าบนหน้าแผงมีความสะอาดมากขึ้น ไม่ทิ้งร่องรอยฝุ่นหรือคราบน้ำหลังจากการล้างทำความสะอาดบนหน้าแผง



รูปที่ 3.58 การเปรียบเทียบลักษณะของฝุ่นก่อนและหลังการทำความสะอาด

(ด้านซ้าย) ยังไม่ได้ทำความสะอาด (ด้านขวา) ทำความสะอาดด้วยน้ำ

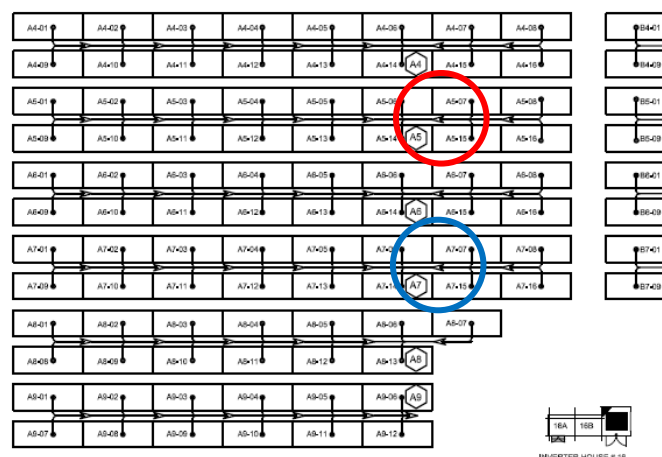
3.6.11 การทดสอบประสิทธิภาพการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การทดสอบประสิทธิภาพการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์นั้น เพื่อประเมินความสามารถการทำความสะอาดของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์และปรับปรุงแก้ไขการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และทำการเปรียบเทียบค่าการผลิตรกระแสไฟฟ้าระหว่างชุดแผงที่ไม่ได้รับการทำความสะอาดกับชุดแผงที่ได้รับการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ ซึ่งได้รับการสนับสนุนสถานที่ในการทดสอบจาก โครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชั้นนี้บางจาก (Sunny bangchak) ลักษณะการทดสอบในพื้นที่การติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์แบบโซลาร์ฟาร์ม มีความกว้างแผง ขนาด 4 เมตร โดยการทำทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

เงื่อนไขการทดลอง

ในการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพการทำความสะอาดของหุ่นยนต์ได้กำหนดพื้นที่สำหรับการทดสอบ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลได้อย่างชัดเจนและแม่นยำ โดยได้กำหนดพื้นที่ทดสอบไว้ดังนี้

1. แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ไม่ได้ทำความสะอาด
2. แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ จำนวน 40 แผ่น คิดเป็น 80 ตารางเมตร ซึ่งแผงทั้ง 2 ชุด ไม่ได้ทำความสะอาดเป็นระยะเวลาเท่ากันและติดตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.59 ตำแหน่งวงกลมสีแดง คือชุดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ไม่ได้ทำความสะอาดใช้ในการเปรียบเทียบ จำนวน 40 แผ่น คิดเป็น 80 ตารางเมตร ตำแหน่งวงกลมสีน้ำเงิน คือแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ จำนวน 40 แผ่น คิดเป็น 80 ตารางเมตร

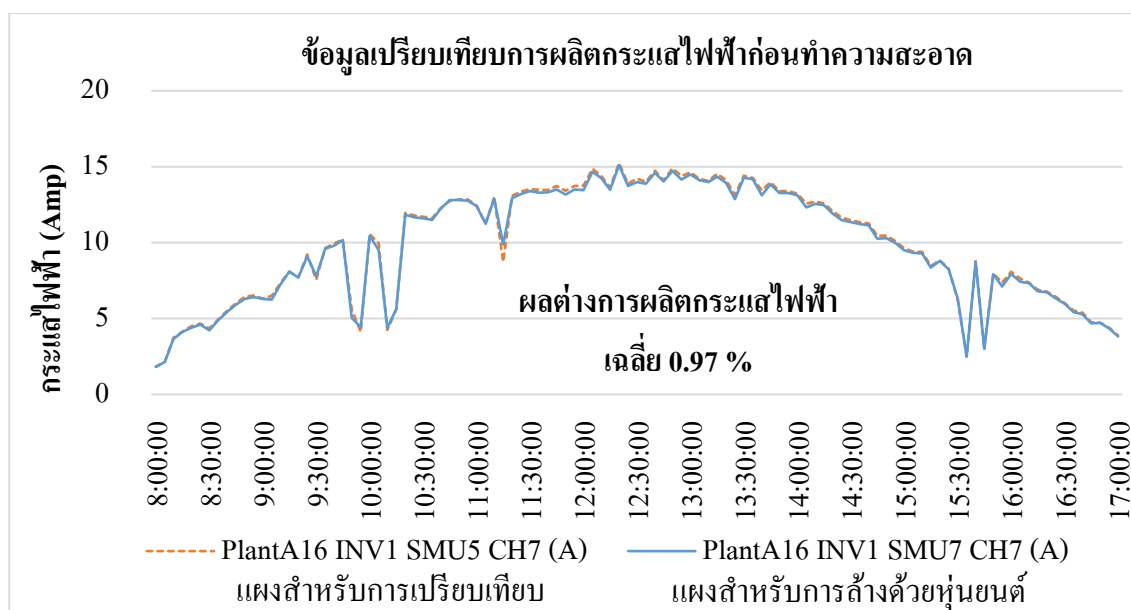


รูปที่ 3.59 แสดงตำแหน่งชุดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการทดสอบ

3.6.11.1 การทดสอบหาค่าการผลิตรกระแสไฟฟ้าก่อนการทำความสะอาด

การทดสอบได้ทำการเก็บข้อมูลค่าการผลิตรกระแสไฟฟ้าก่อนการทำความสะอาดเพื่อเปรียบเทียบการผลิตกระแสของแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่จะทดสอบ ให้เห็นการเปรียบเทียบค่าการผลิตรกระแสไฟฟ้าแผงสำหรับทดสอบการล้างทำความสะอาดและแผงสำหรับการใช้เปรียบเทียบทั้ง 2 ชุด ซึ่งพบว่ามีค่าการผลิตรกระแสไฟฟ้าทั้ง 2 ชุด ใกล้เคียงกัน สำหรับชุดที่จะใช้ทดสอบการล้างด้วยหุ่นยนต์นั้นมีการผลิตรกระแสไฟฟ้าได้น้อยกว่า ประมาณ 1

เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องมาจากคุณภาพของแผงที่ต่างกัน ผลต่างนั้นมีค่าน้อยมากซึ่งสามารถนำชุดแผงมาใช้ในการทดลองต่อไปได้ ซึ่งค่าการผลิตกระแสไฟฟ้าทั้ง 2 ชุด ตลอด 1 วัน แสดงในรูปที่ 3.60



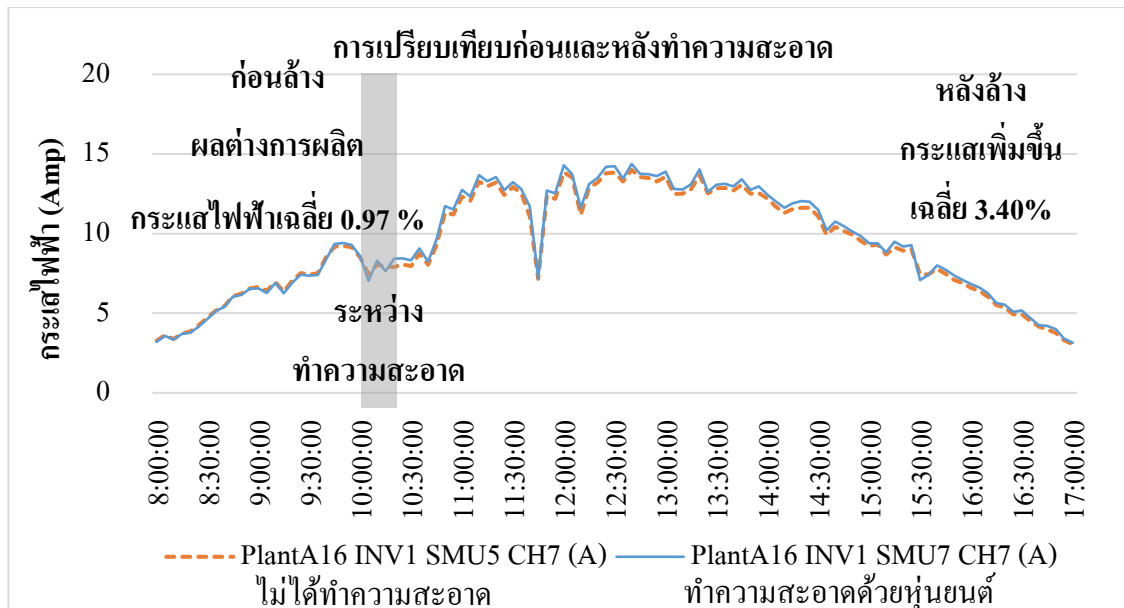
รูปที่ 3.60 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการผลิตกระแสไฟฟ้าก่อนทำการล้างทำความสะอาด

3.6.11.2 การทดสอบหาประสิทธิภาพการทำความสะอาดเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์

การทดสอบหาประสิทธิภาพการทำความสะอาดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าของชุดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ก่อนและหลังทำความสะอาดโดยการเปรียบเทียบระหว่างชุดแผงที่ไม่ได้ทำความสะอาดกับชุดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ จะสังเกตได้ว่า

ช่วงเวลาก่อนการล้างทำความสะอาดมีการผลิตกระแสไฟฟ้าทั้ง 2 ชุด มีค่ากระแสไฟฟ้าต่างกันประมาณ 0.97 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการทดสอบค่าการผลิตกระแสไฟฟ้าก่อนการทำความสะอาดในรูปที่ 3.61 ช่วงเวลาระหว่างการล้างทำความสะอาดจะสังเกตได้ว่า ค่าการผลิตกระแสไฟฟ้าของชุดแผงที่ถูกทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์เริ่มมีค่าสูงขึ้นกว่าชุดแผงที่ได้ไม่ทำความสะอาด

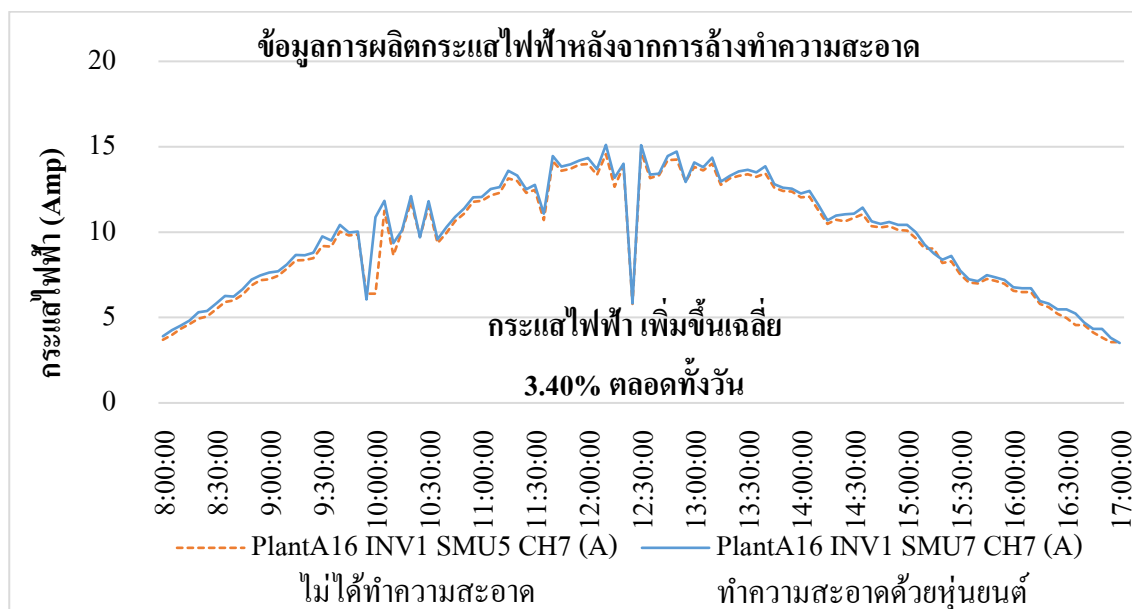
ช่วงเวลหลังการล้างทำความสะอาด เห็นได้ชัดเจนว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าของชุดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการผลิตกระแสไฟฟ้าของชุดแผงที่ไม่ได้ทำความสะอาดพบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.40 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.61



รูปที่ 3.61 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการผลิตกระแสไฟฟ้าก่อนและหลังทำการล้างทำความสะอาด

3.6.11.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพการทำความสะอาดเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์

จากการเก็บข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าหลังจากการทำความสะอาดในวันถัดไปพบว่าค่าการผลิตกระแสไฟฟ้าของชุดแผงที่ได้รับการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์มีค่าการผลิตที่สูงกว่าแผงที่ไม่ได้ทำความสะอาดเฉลี่ย 3.40 เปอร์เซ็นต์ ตลอดทั้งวัน ดังแสดงในรูปที่ 3.62



รูปที่ 3.62 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการผลิตกระแสไฟฟ้าหลังทำการล้างทำความสะอาดตลอดวัน

ตารางที่ 3.17 สรุปผลการผลิตกระแสไฟฟ้าและผลต่างในช่วงเวลาก่อนและหลังการทำความสะอาด

	วัน เวลา ในการ ทดสอบ	ชุดแผงเปรียบเทียบ ไม่ได้ทำความสะอาด (แอมแปร์)	ชุดแผงทำความสะอาด ด้วยหุ่นยนต์ (แอมแปร์)	ผลต่าง %
ช่วงเวลาก่อน ทำความสะอาด	13 มีนาคม 2562 8.00 น.- 17.00 น.	1075.85	1065.45	0.97
	14 มีนาคม 2562 8.00 น.- 10.00 น.	148.4	146.99	0.95
ช่วงเวลาหลัง ทำความสะอาด	14 มีนาคม 2562 10.00 น.- 17.00 น.	854.9	883.67	3.36
	15 มีนาคม 2562 8.00 น.- 17.00 น.	1049.73	1085.5	3.40

สรุปผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำความสะอาดเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์

จากการข้อมูลค่าการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์เปรียบเทียบกับแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ทำความสะอาด ช่วงก่อนและหลังทำความสะอาด ทำให้เห็นข้อมูลเปรียบเทียบค่าการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างชัดเจนว่า แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์สามารถทำความสะอาดลดลงถึงหกเปอร์เซ็นต์และฝุ่นบนหน้าแผงได้ ซึ่งส่งผลให้แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์มีค่าการผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.40 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.62 ทั้งนี้ประสิทธิภาพการผลิตค่ากระแสไฟฟ้าอาจจะเพิ่มมากขึ้นหากความสกปรกบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ก่อนการทำความสะอาดมีความสกปรกมากหรือไม่ได้รับการทำความสะอาดเป็นระยะเวลานาน

3.7 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบวิธีการทำความสะอาดระหว่างการใช้แรงงานคนกับหุ่นยนต์อัตโนมัติในการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้ทราบถึงความสามารถ ค่าใช้จ่าย และประเมินการคุ้มทุนสำหรับการใช้หุ่นยนต์ในการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

จากการเก็บข้อมูลการทำความสะอาดเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแรงงานคน ของโครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้บางจาก จังหวัดอยุธยา นำมาเปรียบเทียบกับทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ ในการคำนวณไม่ได้นำประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมาคำนวณเนื่องจากการคาดการณ์ประสิทธิภาพการทำความสะอาดระหว่างแรงงานคนและหุ่นยนต์ใกล้เคียงกัน

จากตารางที่ 3.18 ทำให้เห็นว่าการเลือกใช้หุ่นยนต์ในการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำความสะอาดในพื้นที่เท่ากันด้วยระยะเวลาที่น้อยกว่าแรงงานคน ซึ่งสามารถเพิ่มความถี่ในการล้างทำความสะอาดได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรงหากคำนวณพลังงานงานที่จะได้เพิ่มขึ้นหลังจากการทำความสะอาดประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ สามารถคิดเป็นเงินบาท ประมาณ 1,700,000 บาท ต่อ 1 เดือน ซึ่งหมายความว่าสามารถคืนทุนของตัวหุ่นยนต์จากการล้างทำความสะอาดเพียงแค่ 1 ครั้ง

การใช้หุ่นยนต์สามารถลดจำนวนแรงงานในการทำความสะอาดได้ ประหยัดค่าใช้จ่ายต่อการทำความสะอาดแต่ละครั้งลง และมีระยะเวลาการคืนทุนที่สั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความถี่ในการล้างทำความสะอาด ทำให้เห็นว่า การใช้หุ่นยนต์ทดแทนแรงงานคนจึงเป็นวิธีการที่มีความเหมาะสม ประหยัดค่าใช้จ่ายและมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

จากตารางการวิเคราะห์โดยคิดค่าใช้จ่ายในส่วนของแรงงานที่ลดลง สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 44 เมกะวัตต์ เป็นกรณีศึกษา หุ่นยนต์ทำความสะอาดจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายไปประมาณ 58,950 บาทต่อรอบการทำความสะอาด ทั้งนี้ปริมาณน้ำและไฟฟ้าจะมีค่าใช้จ่ายที่ยังไม่แตกต่างกันมาก ในส่วนของอุปกรณ์และการบำรุงรักษา หุ่นยนต์ทำความสะอาดจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงประมาณสองเท่าของการใช้แรงงานคน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความรุนแรงและปัญหาที่พบ แต่เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าที่ 58,950 บาทต่อรอบการทำความสะอาด (เมื่อเปรียบเทียบการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์และแรงงานคน) จะสามารถวิเคราะห์เบื้องต้นว่า การทำความสะอาดจำนวน 4 ครั้งก็จะสามารถคืนทุนในส่วนของการใช้จ่ายในการซื้อหุ่นยนต์

หากพิจารณาเพิ่มเติมในส่วนของการลงทุนจากค่าไฟฟ้าที่ได้เพิ่มขึ้นจากการทำความสะอาด ในกรณีของโรงไฟฟ้าขนาด 44 เมกะวัตต์และประสิทธิภาพในการทำความสะอาดเพิ่มขึ้น 3% จะทำให้ค่าไฟฟ้าที่ได้เพิ่มขึ้นถึง 1,700,000 บาทต่อเดือน ดังนั้น การใช้หุ่นยนต์ก็จะสามารถคืนทุนได้เลยใน 1 รอบการทำความสะอาด หากพิจารณาความคุ้มค่าการลงทุนจากค่าไฟฟ้าที่ได้เพิ่มขึ้นจากการทำความสะอาดในกรณีของโรงไฟฟ้าขนาด 1 เมกะวัตต์ จะทำให้ค่าไฟฟ้าที่ได้เพิ่มขึ้นประมาณ 40,700 บาทต่อเดือน ซึ่งตัวเลขการประเมินเบื้องต้นจากความคุ้มค่าในเรื่องแรงงานก็สามารถลดลงได้อีก เหลือประมาณ 2 ครั้งหรือ 2 เดือนก็จะสามารถคืนทุนได้

ตารางที่ 3.18 การเปรียบเทียบวิธีการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (กรณีศึกษา)

เปรียบเทียบวิธีการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์			
กำลังการผลิตขนาด	44 เมกะวัตต์		หมายเหตุ
จำนวนแผ่น	150,000 แผ่น		
วิธีการทำความสะอาด	แรงงานคน	หุ่นยนต์	
ความสามารถ			
ระยะเวลาทำความสะอาด	20 วัน	ความเร็ว 1 กิโลเมตร/ชั่วโมง = 74.4 ชั่วโมง = 10 วัน	หุ่นยนต์ ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง/วัน
ความถี่การทำความสะอาด	1 ครั้ง/เดือน	1 ครั้ง/เดือน	หุ่นยนต์สามารถทำได้ 4 ครั้งต่อเดือน
ค่าใช้จ่าย			
ค่าอุปกรณ์	2,000 บาท	500 บาท	200,000 บาท/ตัว
ค่าน้ำและไฟฟ้า	2,000 บาท	2,000 บาท	
แรงงาน	9 คน	3 คน	
ค่าแรง	450 บาท/วัน	450 บาท/วัน	
ค่าใช้จ่ายแรงงาน	80,000 บาท/ครั้ง	17,550 บาท/ครั้ง	หุ่นยนต์ทำงาน 13 วัน
การบำรุงรักษา	-	5,000 บาท/ครั้ง	กรณีเกิดความเสียหาย
รวมค่าใช้จ่าย	84,000 บาท/ครั้ง	25,050 บาท/ครั้ง	หุ่นยนต์ประหยัดกว่า 58,950 บาท
ผลประหยัด			
ผลประหยัดจากการใช้หุ่นยนต์	58,950 บาท/ครั้ง		
ความคุ้มค่า			
การใช้หุ่นยนต์ (ราคาหุ่นยนต์/ผลประหยัด)		200,000/58,950	
ระยะเวลาคืนทุน ***ไม่ได้นำพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากการทำความสะอาดมาคิด***		3.4	
พลังงานที่เพิ่มขึ้น ประมาณ 3% หลังการทำความสะอาด ของโรงไฟฟ้าขนาด 44 เมกะวัตต์		1,793,000 บาท/เดือน	
พลังงานที่เพิ่มขึ้น ประมาณ 3% หลังการทำความสะอาด ของโรงไฟฟ้าขนาด 1 เมกะวัตต์		40,700 บาท/เดือน	
		โดยประมาณ	

หมายเหตุ การคำนวณพลังงานที่เพิ่มขึ้นหลังการทำความสะอาด จากขนาดโซลาร์ฟาร์ม 44 เมกะวัตต์ มีชั่วโมงการรับแสงแดด 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 30 วัน และค่าไฟฟ้า อัตรา 5.66 บาทต่อหน่วยไฟฟ้า

ข้อมูลจำเพาะหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ได้คำนึงถึงขนาดความยาวของแผงเซลล์พลังงานงานแสงอาทิตย์ซึ่งในการติดตั้งนั้นหากเป็นแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline ในประเทศไทยจะมีการติดตั้งอยู่ 4 แบบคือ ความยาว 1, 2, 3 และ 4 เมตร ดังนั้นในการออกแบบหุ่นยนต์ต้องมีความสามารถในการทำความสะอาดได้ทั้ง 4 รูปแบบ ซึ่งในการออกแบบได้ใช้การลักษณะหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.19 แสดงข้อมูลจำเพาะของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

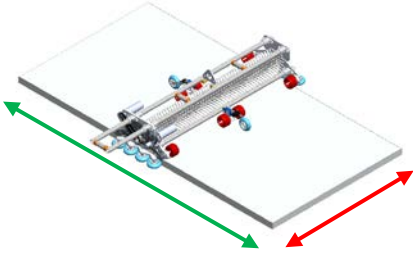
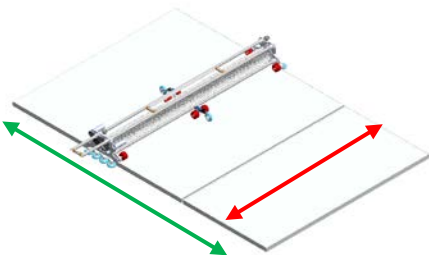
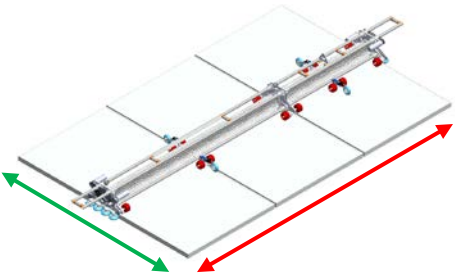
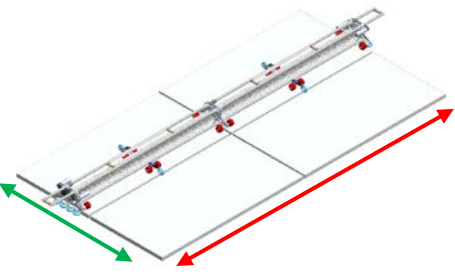
ข้อมูลจำเพาะ		รุ่นของหุ่นยนต์			
	หน่วย	SLB-1M	SLB-2M	SLB-3M	SLB-4M
สำหรับทำความสะอาดแผงยาว *ออกแบบสำหรับแผงชนิดPolycrystalline	มิลลิเมตร	1000	1955	3030	3930
ระยะห่างระหว่างแผง	มิลลิเมตร	20			
การเชื่อมต่อ	โมดูล	1 (SLB-1M)	1 (SLB-2M)	2 (SLB1M+ SLB-2M)	2 (SLB2M+ SLB-2M)
ความเร็วการเคลื่อนที่	กิโลเมตร/ ชั่วโมง	สามารถปรับความเร็วได้ 3 ระดับ (0.6, 0.8 และ 1.0)			
การเคลื่อนที่		เคลื่อนที่ไปข้างหน้า - ถอยหลัง			
ความสามารถการทำความสะอาด *ไม่รวมเวลาเคลื่อนย้ายหุ่นยนต์	แผ่น/ชั่วโมง	500	1000	1500	2000
ความยาวหุ่นยนต์	มิลลิเมตร	1130	2050	3160	4080
ความกว้างหุ่นยนต์	มิลลิเมตร	400			
ความสูงหุ่นยนต์	มิลลิเมตร	250	250	250	250
น้ำหนักหุ่นยนต์ *น้ำหนักรวมแบตเตอรี่	กิโลกรัม	17	25	40	50
แรงขับเคลื่อนทำความสะอาด	มิลลิเมตร	1000	1955	3030	3930
		แบบเกียร์วัสดุไพลอน สามารถปรับระยะกวดได้			
ขนาดมอเตอร์ขับเคลื่อน, ความเร็วรอบ	วัตต์, รอบ ต่อนาที	20, (150)			
ขนาดมอเตอร์แรงขับเคลื่อน, ความเร็วรอบ	วัตต์, รอบ ต่อนาที	25, (250)			
แบตเตอรี่	แอมป์(Ah)	20		40	
ระยะเวลาการทำงาน	ชั่วโมง	4-5			
การทำความสะอาด		ทำความสะอาดร่วมกับน้ำ และแปรงรีดน้ำ			
โหมดการทำงาน		โหมดบังคับด้วยคน และ โหมดทำงานอัตโนมัติ			
ระบบกันตกขอบแผง		ลิมิตสวิตช์			
อุปกรณ์ควบคุม		รีโมทบังคับวิทยุ			

หมายเหตุ การออกแบบหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ได้อ้างอิงจากขนาดของแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline เนื่องจากการเก็บข้อมูลจากโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ส่วนมากได้ใช้แผงชนิดนี้ และมีลักษณะการติดตั้งแผงความยาวในช่วง 1 ถึง 4 เมตร

ลักษณะการเลือกใช้งานขนาดหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การใช้งานหุ่นยนต์ต้องเลือกตามขนาดความยาวของแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งอยู่ในช่วงความยาว 1 ถึง 4 เมตร

ตารางที่ 3.20 ลักษณะการติดตั้งแผงในรูปแบบต่างๆ

ภาพตัวอย่างการใช้งาน	ลักษณะการติดตั้งแผง	รุ่นหุ่นยนต์ที่เหมาะสม
	แผงชนิด Polycrystalline วางแนวนอน ลูกศรสีแดง ความยาวแผง 1000มิลลิเมตร ลูกศรสีเขียวทิศทางการเคลื่อนที่หุ่นยนต์	SLB-1M
	แผงชนิด Polycrystalline วางแนวตั้ง ลูกศรสีแดง ความยาวแผง 1955มิลลิเมตร ลูกศรสีเขียวทิศทางการเคลื่อนที่หุ่นยนต์	SLB-2M
	แผงชนิด Polycrystalline 3 แผ่วางแนวนอนต่อกัน ระยะห่างระหว่างแผง 20 มิลลิเมตร ลูกศรสีแดง ความยาวแผง 3030มิลลิเมตร ลูกศรสีเขียวทิศทางการเคลื่อนที่หุ่นยนต์	SLB-1M ต่อกับ SLB-2M
	แผงชนิด Polycrystalline 2 แผ่วางแนวตั้งต่อกัน ระยะห่างระหว่างแผง 20 มิลลิเมตร ลูกศรสีแดง ความยาวแผง 3930มิลลิเมตร ลูกศรสีเขียวทิศทางการเคลื่อนที่หุ่นยนต์	SLB-2M ต่อกับ SLB-2M

หมายเหตุ การออกแบบหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ได้อ้างอิงจากขนาดของแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline เนื่องจากการเก็บข้อมูลจากโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ส่วนมากได้ใช้แผงชนิดนี้ และมีลักษณะการติดตั้งแผงความยาวในช่วง 1 ถึง 4 เมตร

การบำรุงรักษาหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

อายุการใช้งานและการตรวจเช็คชิ้นส่วนของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ได้ถูกออกแบบไว้เบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางในการบำรุงรักษาและยืดอายุการใช้งานของหุ่นยนต์ ทั้งนี้ อุปกรณ์แต่ละชิ้นมีความแตกต่างกันการเปลี่ยนหรือซ่อมบำรุง จึงมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งานของผู้ใช้งานด้วย

การใช้งานทั่วไปและข้อควรปฏิบัติของหุ่นยนต์ควรปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งระบบน้ำที่มีความแรงเกิน 3 bar เพื่อการฉีดพ่นที่เพียงพอ
2. สามารถแบ่งโมดูลในการขนย้ายเพื่อความสะดวกในการใช้งาน
3. การประกอบหรือขยายความยาวโมดูลสามารถทำได้โดยการใช้สลักยึด
4. การ Set up ระบบใช้เวลาประมาณ 20 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนและสิ่งอำนวยความสะดวกในแต่ละสถานที่
5. ระยะเวลาในการทำความสะอาดประมาณ 10 นาทีควรจะมีการพักเครื่อง
6. ควรระมัดระวังเรื่องของสายยางน้ำไม่ให้พันกับสิ่งกีดขวางต่างๆ ตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์
7. ผู้ใช้งานควรจะถือรีโมทคอนโทรลไว้ติดตัวเสมอขณะที่เครื่องทำความสะอาดอยู่
8. เมื่อสิ้นสุดการทำความสะอาด ผู้ใช้งานควรทำความสะอาดเพิ่มเติมในบริเวณหัวและท้ายที่หุ่นยนต์เข้าไม่ถึง
9. หลังจากการขนย้ายหุ่นยนต์ออกควรฉีดล้างแปรงด้วยน้ำเปล่า เพื่อทำความสะอาดขนแปรงก่อนการเก็บ
10. สายพานและองค์ประกอบทางกลควรได้รับการตรวจเช็คให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานตลอดเวลา
11. หากมีปัญหาเรื่องโปรแกรมควบคุมหรือแผงวงจร ควรติดต่อผู้พัฒนาหรือผู้เชี่ยวชาญในการซ่อมบำรุง
12. แบตเตอรี่แห้งควรถอดเก็บหลังจากสิ้นสุดการทำความสะอาด และนำไปชาร์ตไฟอย่างสม่ำเสมอไม่ให้ระดับความตักยต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้

ในส่วนของชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งจะมีการซ่อมบำรุงและเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่หลังจากครบอายุการใช้งาน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.21 ซึ่งในตารางจะรวบรวมข้อมูลทั้งบค่าใช้จ่ายโดยประมาณและอายุการใช้งานเบื้องต้นได้ระบุไว้โดยจำแนกตามชิ้นส่วนที่สำคัญ

ตารางที่ 3.21 ลักษณะการบำรุงรักษาชิ้นส่วนต่างๆของหุ่นยนต์

อุปกรณ์	อายุการใช้งาน	ประมาณค่าใช้จ่าย	ดำเนินการ	การบำรุงรักษา	ข้อควรระวัง
โครงสร้าง					
1.อลูมิเนียม	ตลอดอายุการใช้งาน	4,000 บาทต่อครั้ง	-	ทำความสะอาด	
2.อะคริลิก	4 ปี หรือ 10,000 ชั่วโมงทำงาน (การทำงานสภาวะกลางแดด)	3,000 บาทต่อครั้ง	เปลี่ยน	ทำความสะอาด	ระมัดระวังใน การเคลื่อนย้าย
3.แปรง	หมั่นตรวจเช็ค	300 บาทต่อครั้ง	-	เช็ดซิลยาง	-
ระบบการเคลื่อนที่					
1.มอเตอร์	2 ปี หรือ 5,000 ชั่วโมงทำงาน	6,000 บาทต่อเซต	เปลี่ยน	เปลี่ยนเพรงถ่าน	-
2.สายพาน	1 ปี หรือ 2,500 ชั่วโมงทำงาน	600 บาทต่อระบบ	เปลี่ยน	หมั่นปรับระยะตั้ง สายพาน	-
3.ชุดล้อ	หมั่นตรวจเช็ค	2,000 บาทต่อระบบ	-	ทำความสะอาด	-
ระบบแปร่งทำความสะอาด	-				
1.แปร่งทำความสะอาด	2 ปี หรือ 5,000 ชั่วโมงทำงาน	8,000 บาทต่อแปร่ง 2 เมตร	เปลี่ยน	ทำความสะอาด	
2.ระบบน้ำ	4 ปี หรือ 10,000 ชั่วโมงทำงาน	1,200 บาทต่อระบบ	-	-	ควรใช้น้ำ สะอาด
ระบบควบคุม (คอนโทรลเลอร์)					
1. ไมโครคอนโทรลเลอร์	ตลอดอายุการใช้งาน	2,000 บาทต่อระบบ	-	จัดเก็บหุ่นยนต์ใน พื้นที่แห้งไม่ชื้น	ห้ามไม่ให้โดน น้ำ
2.บอร์ดไดรฟ์มอเตอร์	ตลอดอายุการใช้งาน	2,000 บาทต่อระบบ	-	จัดเก็บหุ่นยนต์ใน พื้นที่แห้งไม่ชื้น	ห้ามไม่ให้โดน น้ำ
3.รีโมทควบคุม	ตลอดอายุการใช้งาน	3,000 บาทต่อระบบ	-	จัดเก็บหุ่นยนต์ใน พื้นที่แห้งไม่ชื้น	ห้ามไม่ให้โดน น้ำ
4.เซนเซอร์ป้องกัน การตกขอบ	4 ปี หรือ 10,000 ชั่วโมงทำงาน	1,200 บาทต่อระบบ	-	-	-
แบตเตอรี่ (20 Ah)	2 ปี หรือ 5,000 ชั่วโมงทำงาน	2,000 บาทต่อระบบ	เปลี่ยน	ชาร์จแบตเตอรี่ให้ เต็มตลอดเมื่อไม่ใช้ งาน	-

หมายเหตุ ชั่วโมงการทำงานของหุ่นยนต์กำหนดจาก การทำงาน 1 วัน หุ่นยนต์ทำงาน 6 ชั่วโมง

3.8 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

3.8.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ได้คำนึงถึงการใช้งานของผู้ใช้เป็นหลักได้ทำการออกแบบให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้โดยง่าย สามารถติดตั้งได้อย่างง่ายดาย สามารถปรับตั้งหุ่นยนต์ให้มีความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานที่หลากหลายได้ มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงทนต่อการใช้งาน มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ จากการทดลองในบทที่ 4 ทำให้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

3.8.2 การทดลองการเคลื่อนที่บนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

จากการทดลองการเคลื่อนที่บนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์โดยการกำหนดความเร็วเป้าหมายไว้ 3 ระดับ คือ 1. การเคลื่อนที่ความเร็วต่ำ 0.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง 2. การเคลื่อนที่ความเร็วปานกลาง 0.8 กิโลเมตร/ชั่วโมง 3. การเคลื่อนที่ความเร็วสูง 1.0 กิโลเมตร/ชั่วโมง ผลปรากฏว่าหุ่นยนต์สามารถทำความเร็วได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ได้ และระบบควบคุมความเร็วสามารถควบคุมความเร็วได้อย่างคงที่ ทั้งนี้ยังสามารถปรับตั้งค่าความเร็วได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการได้

3.8.3 การทดลองหาค่าพลังงานที่ใช้ในของหุ่นยนต์การเคลื่อนที่บนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การทดลองวัดค่าพลังงานจากการกินกระแสไฟขณะที่มอเตอร์ทำงานเพื่อให้ทราบปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละระดับความเร็ว จากการทดลองทำให้ทราบถึงพลังงานที่ต้องใช้ในระบบขับเคลื่อนซึ่งมีค่าการกินกระแสเฉลี่ยอยู่ที่ 5 แอมแปร์

3.8.4 การทดลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านระหว่างแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

การทดลองเคลื่อนที่ผ่านระยะห่างระหว่างแผ่นสูงสุดที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ โดยการใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ คือ ต่ำ ปานกลาง และสูง ปรากฏว่าทุกระดับความเร็วสามารถเคลื่อนที่ผ่านระยะช่องว่างแผ่นสูงสุดที่ 30 มิลลิเมตร

3.8.5 การทดลองเคลื่อนที่บนพื้นผิวแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่เปียกน้ำ

จากการทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นผิวแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่เปียกน้ำพบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ดีและการหยุดการเคลื่อนที่ก็สามารถทำได้ดี เช่นกัน เนื่องจากการเริ่มทำงานและหยุดการทำงานทำพร้อมกับแปรงขัด ซึ่งสามารถช่วยให้การเคลื่อนที่และหยุดทำได้ดีด้วย

3.8.6 การทดลองระบบการทำงานแบบอัตโนมัติและอุปกรณ์เซนเซอร์

ผลการทำงานของเซนเซอร์การตกขอบแบบลิมิตสวิตช์ พบว่าสามารถทำงานได้ดีไม่พบข้อผิดพลาด ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี สามารถรักษาระยะห่างของล้อกับขอบแผงได้ดี ซึ่งสามารถไม่ให้เกิดปัญหาเนื่องการตกขอบแผงของหุ่นยนต์

3.8.7 การทำทดลองระบบแปรงขัดทำความสะอาดและระบบฉีดพ่นน้ำ

จากการทดสอบการทำความสะอาดของแปรงขัดขนวัสดุไนลอนทำงานร่วมกับน้ำทำให้เห็นผลชัดเจนว่าสามารถทำงานได้ดี การกำจัดฝุ่น เหมม่า และมูลนกได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งการทำงานของระบบแปรงฉีดน้ำสามารถลดการขังของน้ำบนหน้าแผงได้ดีไม่ทำให้เกิดปัญหารอยคราบน้ำหลังจากการทำความสะอาด

3.8.8 การทดลองทำงานภาคสนาม

จากการนำหุ่นยนต์ทดสอบภาคสนามหุ่นยนต์สามารถประกอบติดตั้งเข้ากับแผงได้อย่างเหมาะสม หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ดีชุดล้อขับเคลื่อนและล้อประกอบทำงานดีและสามารถปรับตั้งการกดของล้อได้ดี ระบบแปรขนแปรสามารถขัดทำความสะอาดได้ดี สามารถปรับตั้งระยะทำให้มีความเหมาะสมกับความสกปรก การทำงานของระบบฉีดพ่นน้ำทำงานได้ดี น้ำไหลเร็ว และพื้นผิวแผงสะอาดมากขึ้นเนื่องจากการไหลของสิ่งสกปรกปรกกลงด้านล่าง ระบบป้องกันการตกขอบเซนเซอร์แบบลิมิตสวิทช์ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเที่ยงตรง การทำงานการเชื่อมต่อระหว่างโมดูลาร์ระบบสามารถเชื่อมต่อกันได้ดีไม่พบข้อผิดพลาดระหว่างการทำงาน

จากผลการสำรวจแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งทำขึ้นหลังการทดสอบภาคสนาม โดยประเมินใช้เกณฑ์ประเมินในสเกล 1-5 และใช้การสัมภาษณ์ประกอบการประเมินในบางบริษัทหรือโรงไฟฟ้าที่ไม่สะดวกที่จะทำแบบประเมินความพึงพอใจ ผลเฉลี่ยความพึงพอใจจาก 7 ผู้ประเมินมีค่า 4.28 จากคะแนนเต็ม 5 ทั้งนี้ข้อเสนอแนะต่างๆ คือ ความพร้อมในการใช้งาน ความยาวของหุ่นยนต์ที่มีผลต่อการขนย้าย หัวพ่นน้ำที่ยังเบาไปสำหรับการทำความสะอาดคราบฝังแน่น เป็นต้น

3.8.9 การทดสอบหาประสิทธิภาพการทำความสะอาดเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์

แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์สามารถทำความสะอาดลดลงถึงสกปรกและฝุ่นบนหน้าแผงได้ดี ซึ่งส่งผลให้แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์มีค่าการผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น เฉลี่ย 4.07 เปอร์เซ็นต์ ตลอดทั้งวัน ทำให้เห็นได้ว่าการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำความสะอาดและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานให้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ได้จริง

ข้อเสนอแนะ

- โครงสร้างสามารถปรับเปลี่ยนไปใช้วัสดุอื่นที่มีความแข็งแรงและน้ำหนักเบาได้มากกว่านี้
- ชุดระบบขับเคลื่อนสามารถปรับปรุงใช้ระบบการทำงานแบบอื่นได้ เช่น การเปลี่ยนจากการใช้ล้อในการเคลื่อนที่เปลี่ยนเป็นสายพาน เป็นต้น
- การทดลองเปลี่ยนวัสดุหรือค่าความแข็งแรงแปรปรวนเพื่อให้วัสดุที่สุ่มในการขัดทำความสะอาดหน้าแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์
- เพิ่มระบบเช็คความหนาแน่นของฝุ่นหรือ มุลนก ในแต่ละจุดเพื่อให้หุ่นยนต์เน้นการทำความสะอาดบริเวณนั้นๆ
- เพิ่มความสามารถให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนย้ายไปทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์แผงอื่นได้แบบอัตโนมัติ

รูปภาพเพิ่มเติมการทดสอบภาคสนาม

1. บริษัท เอส.เอส.เอ็ม.อินดัสตรี (S.S.M. Industry) จำกัด

พื้นที่ทำงาน	
	
การติดตั้งหุ่นยนต์	
	
การทำงานของหุ่นยนต์	
	
ผลการทำความสะอาด	
	

2. Sunny bangchak

พื้นที่ทำงาน	
	
การติดตั้งหุ่นยนต์	
	
การทำงานของหุ่นยนต์	
	
ผลการทำความสะอาด	
	

3. โครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน สำหรับหน่วยงานราชการและสหกรณ์
ภาคการเกษตร

พื้นที่หน้างาน	
	
การติดตั้งหุ่นยนต์	
	
การทำงานของหุ่นยนต์	
	
ผลการทำความสะอาด	
	

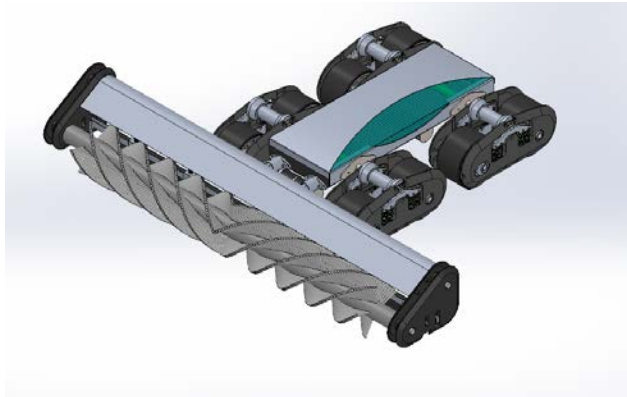
4. โครงการสหกรณ์โคนมสอยดาว

พื้นที่ทำงาน	
	
การติดตั้งหุ่นยนต์	
	
การทำงานของหุ่นยนต์	
	
ผลการทำงานสะอาด	
	

บทที่ 4

หุ่นยนต์สำหรับ Solar Rooftop

4.1 แนวคิดในการออกแบบหุ่นยนต์สำหรับ Solar Rooftop



รูปที่ 4.1 แนวคิดการออกแบบหุ่นยนต์สำหรับ solar rooftop

หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาอาคารแทนการใช้แรงงานคน โดยเฉพาะแผงที่ติดตั้งบนอาคารสูง พื้นที่การทำงานจำกัด ยากต่อการเข้าถึงด้วยคน เสี่ยงอันตรายจากคนงานเหยียบบนแผงหรือตกจากแผง หุ่นยนต์สามารถทำความสะอาดได้รวดเร็ว ทำความสะอาดแผงเป็นประจำเพื่อลดการเกิดคราบฝังแน่น มีระบบความปลอดภัยในการเคลื่อนที่ไม่ให้วิ่งออกมานอกแผง การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะใช้เซนเซอร์เพื่อแยกช่องว่างระหว่างแผงหรือขอบแผงได้ สามารถเคลื่อนที่ผ่านหัวนอตยึดและช่องว่างระหว่างแผงได้ สามารถทำความสะอาดได้ต่อเนื่องบนพื้นที่แผงที่ติดตั้งต่อกันเป็นพื้นที่ใหญ่โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายบนแผงโซลาร์เซลล์

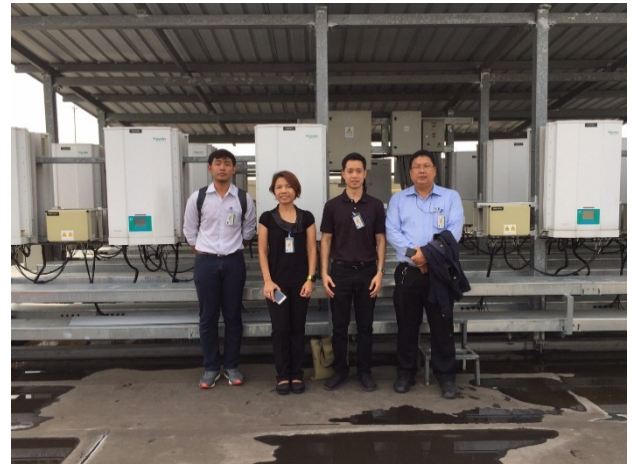
- หุ่นยนต์สามารถถอดประกอบได้ น้ำหนักแยกส่วนเบาเพื่อให้เคลื่อนย้ายสะดวก (แบ่งเป็น 3 ส่วน)
- เคลื่อนที่แบบอิสระบนแผง
- เพิ่มการทำความสะอาดปรังหน้า-หลัง
- ใช้ความยาวแปรง 1.2 เมตร และใช้แปรง 2 ชุดติดหน้าหลัง
- มีความเร็วในการทำสะอาด (2,000 m²/h)
- ล้อแบบกันลื่น สามารถไต่พื้นเอียงได้ดี 0-15 องศา
- หมุนกลับตัวได้รวดเร็ว โดยไม่เสียพื้นที่กลับตัว
- เคลื่อนที่ทำความสะอาดแบบอิสระ
- ข้ามช่องว่างระหว่างแผงได้ มีเซนเซอร์กันตกจากแผง
- สำหรับการใช้งานบนหลังคาสูงที่รับน้ำหนักได้น้อย ไม่สามารถให้คนขึ้นบน solar rooftop ได้

การลงพื้นที่เก็บข้อมูลโซลาร์ Rooftop

ทางทีมวิจัยได้เข้าศึกษาปัญหาในการทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์และลักษณะของการติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารตรวจดูพื้นที่ทำงานจริง วัดขนาดความสูงและช่องว่างรอยต่อของอุปกรณ์และสิ่งกีดขวางและข้อจำกัดต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาหุ่นยนต์ให้สามารถทำงานได้ตามความต้องการ และหลังจากเก็บข้อมูลได้มีการประชุมหารือกับตัวแทนบริษัท เพื่อให้ได้แบบหุ่นยนต์ที่เหมาะสม

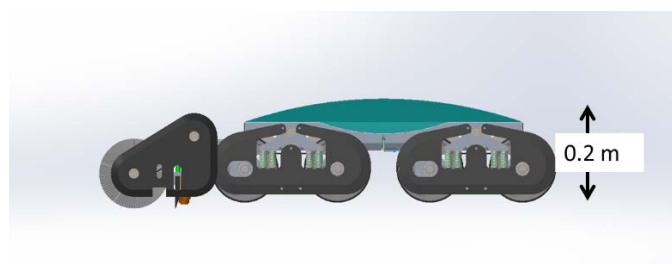
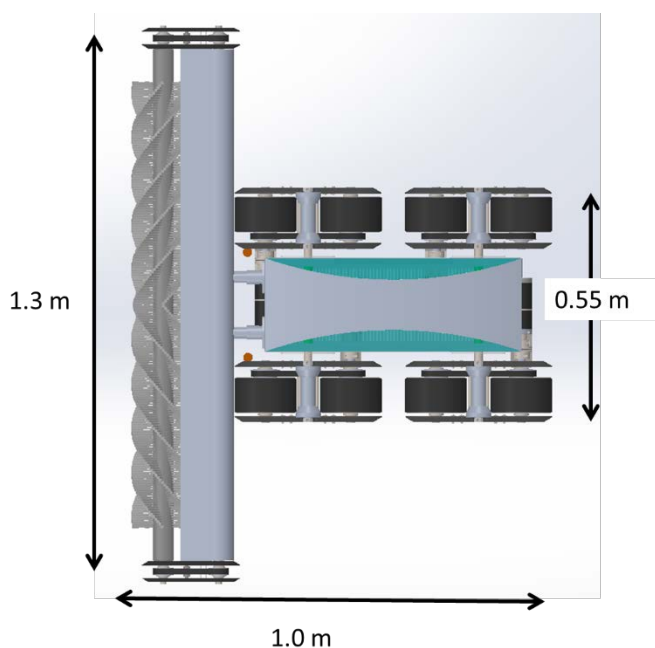


รูปที่ 4.2 ตัวอย่างแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร (Solar Rooftop)



รูปที่ 4.3 ทางทีมวิจัยได้เข้าศึกษาปัญหาและพูดคุยกับวิศวกร

4.2 ภาพรวมของหุ่นยนต์



รูปที่ 4.4 กำหนดขนาดภาพรวมของหุ่นยนต์

4.3 การออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับ Mobile Solar Rooftop Robot

หุ่นยนต์ทำความสะอาดสำหรับ Solar Rooftop มีลักษณะเป็นหุ่นยนต์มีล้อ 4 ชุดที่มีแปรงอยู่บริเวณด้านหน้า และด้านหลังมีคุณสมบัติเบี่ยงตัว ดังต่อไปนี้

1. สามารถทำความสะอาดฝุ่นและสิ่งสกปรกที่เกาะบนแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความลาดเอียง $0^\circ - 15^\circ$ ได้
2. อุปกรณ์ประกอบระบบหุ่นยนต์ติดตั้งง่าย สะดวก สามารถทำงานได้ในพื้นที่จำกัด
3. Mobile Solar Rooftop Robot สามารถเคลื่อนที่ได้ในบริเวณกว้าง (30 เมตร x 30 เมตร) ในระนาบ ผ่านรอยต่อระหว่างแผงได้
4. ใช้ระบบควบคุมที่ง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถควบคุมให้เคลื่อนที่ในพื้นที่ที่ต้องการได้ทั้งระบบ manual และ automatic
5. สามารถออกแบบโปรแกรมให้ทำความสะอาดได้ตามพื้นที่จริงอย่างเหมาะสม
6. มีระบบการติดตามผลการเคลื่อนที่และการทำความสะอาดโดยใช้เซนเซอร์
7. มีความแข็งแรงทนทาน กันน้ำได้ ง่ายต่อการดูแลรักษา ใช้ชิ้นส่วนที่สามารถเปลี่ยนอะไหล่ได้
8. ไม่ทำให้แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เสียหายระหว่างการเคลื่อนที่จากแรงกระแทกในการทำงาน
9. มีระบบความปลอดภัย และป้องกันไม่ให้หุ่นตกจากแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบบนหลังคา ก่อน
ออกแบบ

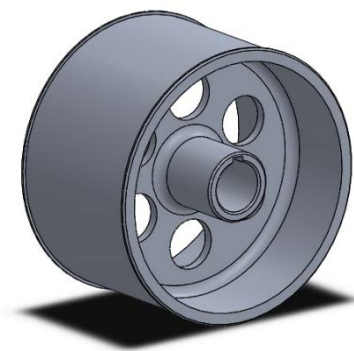
ลำดับ	หัวข้อ	ข้อกำหนด
1	น้ำหนักของหุ่นยนต์	น้ำหนักทั้งหมดต้องไม่เกิน 50 กิโลกรัม
2	ขนาดของหุ่นยนต์	กว้าง 1.5 เมตร ยาว 1.5 เมตร และสูง 1.5 เมตร
3	ความยาวของแปรงทำความสะอาด	ต้องยาวไม่น้อยกว่า 1 เมตร
4	ระยะควบคุมการทำงาน	ต้องไม่น้อยกว่า 10 เมตร
5	มุมเอียงที่สามารถทำงานได้	ต้องไม่น้อยกว่า 15 องศา
6	วัสดุของหุ่นยนต์	กันแสงอาทิตย์ กันน้ำ ไม่เป็นสนิม
7	ระบบป้องกันฉุกเฉิน	มีเซ็นเซอร์ป้องกันหุ่นยนต์ตกจากแผงเซลล์
8	การเคลื่อนย้าย	ถอดประกอบได้

โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม SolidWorks 2018 ในการออกแบบ และสร้างโมเดลสามมิติ เพื่อจำลองผล
เรื่องความแข็งแรง การรับน้ำหนัก รวมถึงการโค้งงอของชิ้นส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับทำความสะอาด
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบบนหลังคา

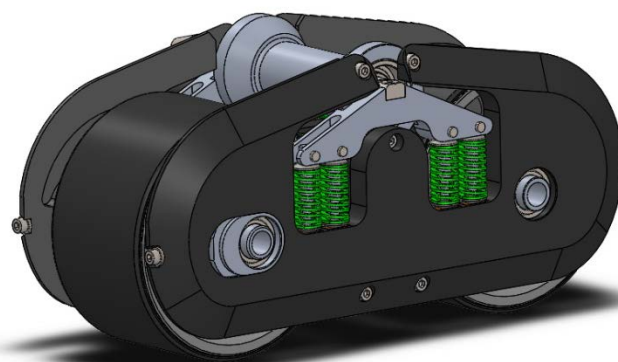
4.3.1 การออกแบบ

ในการออกแบบต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลายอย่าง ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์หลักของงาน เช่น งานที่
เกี่ยวข้องกับอาหาร ซึ่งต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นอันดับแรก งานปิโตรเคมีซึ่งมีสารเคมีอันตรายมาเกี่ยว
ข้อง ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งานเป็นอันดับแรก รวมทั้งการออกแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์
แสงอาทิตย์แบบบนหลังคา ซึ่งจุดประสงค์หลักของโครงการคือ การสร้างหุ่นยนต์ทำความสะอาดที่ตอบสนองต่อความ
ต้องการของผู้ประกอบการ และจากได้เก็บข้อมูล การแนะนำจากผู้ประกอบการจึงสรุปคุณลักษณะของหุ่นยนต์ทำ
ความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบบนหลังคาตามตารางที่ 4.1 ซึ่งจะเน้นการถอดประกอบมาเป็นปัจจัยหลักใน
การออกแบบ เพราะการทำงานทั้งหมดอยู่บนหลังคาสูง ยากต่อการเคลื่อนย้าย การแยกชิ้นส่วนเพื่อขนย้ายจึงต้อง
คำนึงเป็นสิ่งแรก

เริ่มจากชุดล้อขับเคลื่อน เนื่องจากผู้ประกอบการต้องการแปรงทำความสะอาดที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 1
เมตร เพราะฉะนั้นแล้วหุ่นยนต์ต้องมีขนาดใหญ่เพื่อรับน้ำหนัก และขนาดของแปรงทำความสะอาด ทั้งนี้ยังต้อง
คำนึงถึงการทำงานบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งพื้นผิวเป็นกระจกที่มีความลื่นสูง ความสามารถในการยึดเกาะของ
วัสดุหุ้มล้อหุ่นยนต์จึงเป็นสิ่งสำคัญและต้องทดสอบในการใช้งานจริงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ล้อของหุ่นยนต์จึง
ต้องเปลี่ยนวัสดุหุ้มล้อได้ตามภาพที่ 4.5 และชุดขับเคลื่อนล้อต้องสามารถขนย้ายได้ วัสดุส่วนใหญ่จึงมีน้ำหนักเบา มี
ที่จับให้สะดวกสำหรับการขนย้ายตามภาพที่ 4.6

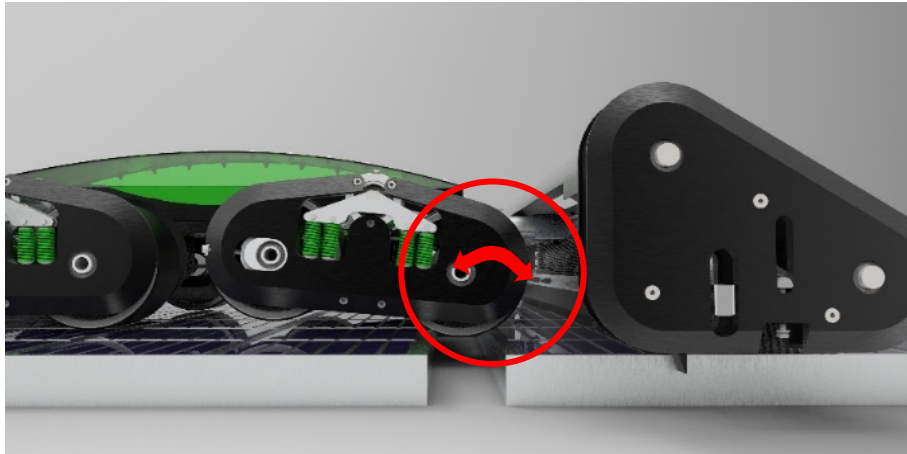


รูปที่ 4.5 แกนล้อหุ่นยนต์วัสดุอลูมิเนียมหนัก 700 กรัม สำหรับเปลี่ยนวัสดุหุ้มล้อ



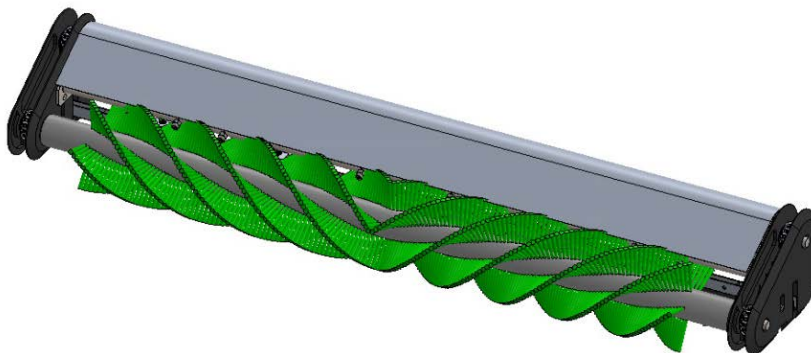
รูปที่ 4.6 ชุดล้อขับเคลื่อนหุ่นยนต์หนัก 7.2 กิโลกรัม พร้อมที่จับสำหรับการขนย้าย

จากการทดลอง ล้อที่ไม่มีจุดหมุนที่แกนทำให้การเคลื่อนที่ข้ามช่องว่างระหว่างแผง ล้อหน้าของหุ่นยนต์ตกลงไปในช่องว่างและล้อด้านหลังจะลอยขึ้น ทำให้ล้อไม่สัมผัสกับแผงเซลล์ทุกล้อ มีผลให้การยึดเกาะแผงลดลง จนเกิดการไถลของตัวหุ่นยนต์ การออกแบบโมดูลล้อจึงเพิ่มจุดหมุนในแต่ละโมดูล รวมถึงสปริงเพื่อให้ทุกล้อสัมผัสกับหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดเวลา ตามภาพที่ 4.7



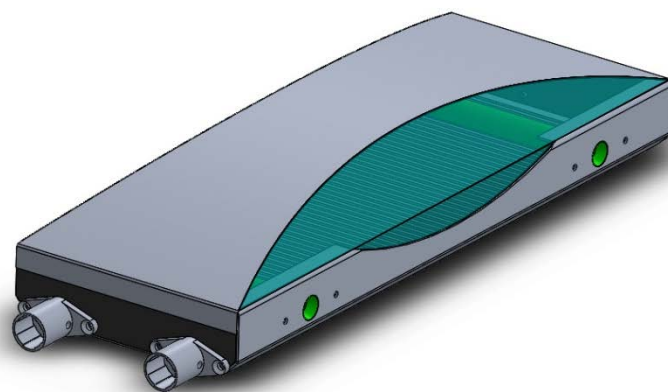
รูปที่ 4.7 จุดหมุนของมอเตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการสัมผัสกับหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดเวลา

ต่อมาเป็นชุดแปรงทำความสะอาด ซึ่งทางผู้ประกอบการต้องการแปรงทำความสะอาดที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 1 เมตร เพื่อให้สามารถทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้พื้นที่มาก ตามภาพที่ 4.8 และเพื่อให้เหมาะสมกับการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นผิวเป็นกระจก วัสดุและรูปร่างการติดตั้งขนแปรงต้องเหมาะสม ซึ่ง จะทำการทดสอบในขั้นต่อไป



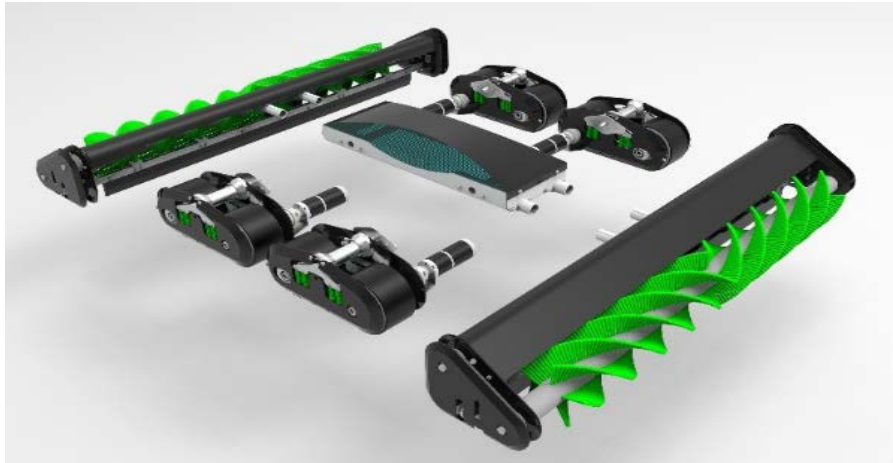
รูปที่ 4.8 ชุดแปรงทำความสะอาดยาว 1,044 มิลลิเมตร น้ำหนัก 13.5 กิโลกรัม

สุดท้ายเป็นส่วนของโครงสร้างหลัก ที่ต้องรับน้ำหนักของชุดล้อขับเคลื่อนและชุดแปรงทำความสะอาด รวมทั้งต้องเป็นส่วนที่ใช้ใส่อุปกรณ์ไฟฟ้าไว้ภายใน ตามภาพที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ชุดโครงสร้างหลักของหุ่นยนต์ทำความสะอาด หลัก 2.5 กิโลกรัม

หลังจากใช้คุณลักษณะที่กำหนดจากการสำรวจตามตารางที่ 4.1 ในการออกแบบ ทำให้หุ่นยนต์มีลักษณะตามภาพที่ 4.10 สามารถแยกเป็นส่วนต่างๆ ออกเป็นโมดูล ให้ง่ายในการขนย้ายและถอดประกอบได้ โดยแบ่งเป็นโมดูลจำนวน 4 ชั้น โมดูลแปรงทำความสะอาดจำนวน 2 ชั้น และโมดูลวงจรไฟฟ้าอีก 1 ชั้น แสดงในภาพที่ 4.10 หุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบบนหลังงาน ตามคุณลักษณะจากการรวบรวมข้อมูล

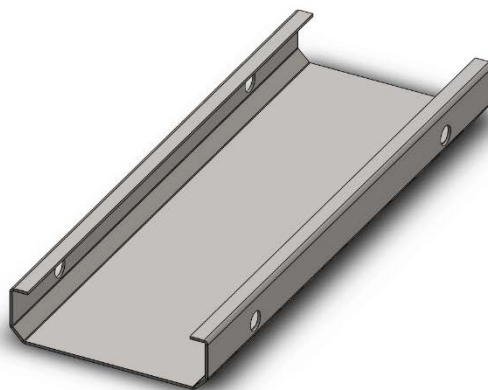


รูปที่ 4.10 ชิ้นส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์หลังจากแยกเป็นแต่ละโมดูล

การจำลองผลจากโมเดลสามมิติ

จากการจำลองผลจากโมเดลสามมิติชุดโครงสร้างหลักโดยใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation Static Test เพื่อหาการเสียรูปของวัสดุ (Deformation) ของชิ้นส่วนและวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์ ซึ่งถ้าค่าความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นไม่เกินค่าความครากของวัสดุ (Yield strength) วัสดุนั้นจะเป็นการเสียรูปแบบไม่ถาวรสามารถคืนสภาพเดิมได้ แต่ถ้าค่าความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นเกินค่าความครากของวัสดุ (Yield strength) วัสดุนั้นจะเสียรูปแบบถาวรไม่สามารถคืนสภาพเดิมได้

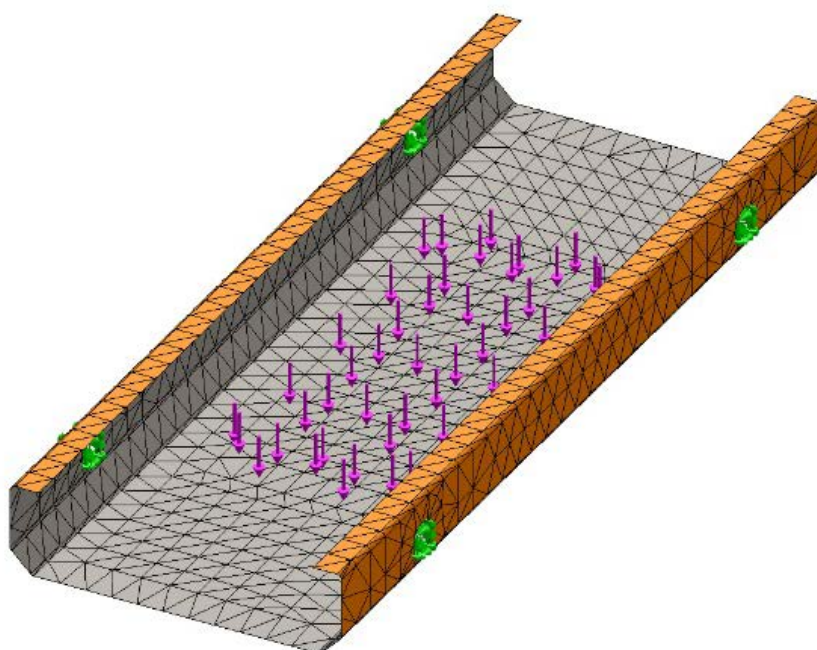
ซึ่งได้ยกตัวอย่างโครงสร้างหลัก ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ขึ้นรูปด้วยวิธีการพับตามภาพที่ 4.11 มีขนาดความกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร และสูง 60 มิลลิเมตร ซึ่งในการทดสอบได้ใช้วัสดุเป็นสแตนเลสสตีล (SUS304) ที่มีค่าคุณสมบัติของวัสดุในโปรแกรม SolidWorks ตามภาพที่ 4.12



รูปที่ 4.11 ภาพโครงสร้างหลัก ที่ขึ้นรูปด้วยการพับ

Property	Value	Units
Elastic Modulus	190000	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.29	N/A
Shear Modulus	75000	N/mm ²
Mass Density	8000	kg/m ³
Tensile Strength	517.017	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	206.807	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	1.8e-05	/K

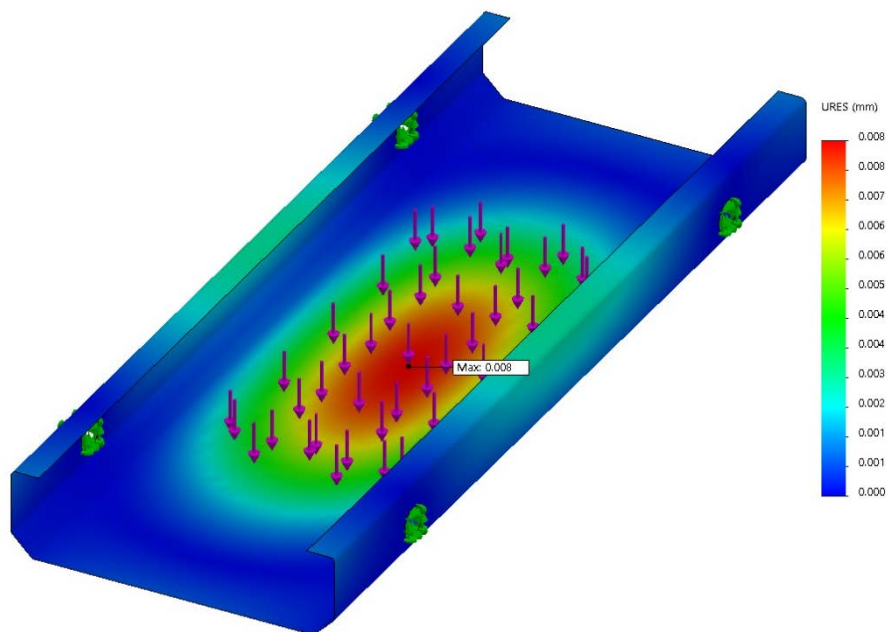
รูปที่ 4.12 คุณสมบัติวัสดุของสแตนเลสสตีล (SUS304) ในโปรแกรม SolidWorks



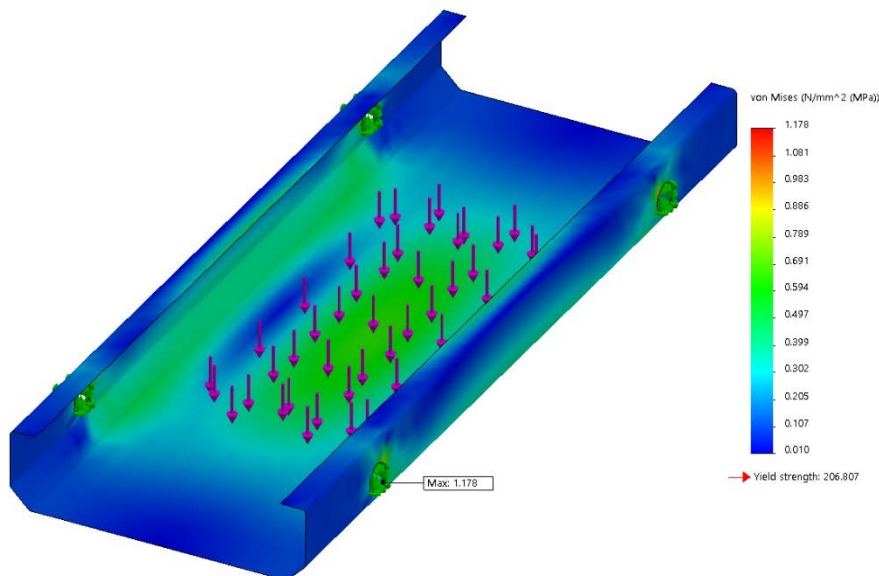
รูปที่ 4.13 โครงสร้างหลักในคำสั่ง Mesh ที่กำหนดตำแหน่งยึดและน้ำหนักกดแล้ว

ในการทดสอบเริ่มจากกำหนดจุดยึด ซึ่งโครงสร้างหลักจะทำการยึดแบบ Fixed บริเวณรูเจาะทั้ง 4 รู ในภาพที่ 4.11 ซึ่งจะแสดงเป็นลูกศรสีเขียว และกำหนดบริเวณน้ำหนักกดที่มาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าของหุ่นยนต์ กระจายในตำแหน่งกลางของหุ่นยนต์ กว้าง 120 มิลลิเมตร และยาว 300 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 2 กิโลกรัม ซึ่งจะแสดงเป็นลูกศรสีชมพูในภาพที่ 4.13 จากนั้นใช้คำสั่ง Mesh ก่อนทดสอบ

จากนั้นทำการทดสอบในคำสั่ง SolidWorks Simulation Static Test ซึ่งได้ผลเป็นความเค้น (Stress) ของชิ้นทดสอบตามภาพที่ 4.14 และได้ค่าความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) ของชิ้นทดสอบตามภาพที่ 4.15



รูปที่ 4.14 การทดสอบความเค้น (Stress) ของโครงสร้างหลัก



รูปที่ 4.15 การทดสอบความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) ของโครงสร้างหลัก

ผลจากการทดสอบโครงสร้างหลักที่มีวัสดุเป็นสแตนเลสสตีล (SUS304) ความเค้น (Stress) ของโครงสร้างหลักเกิดสูงสุดที่ตำแหน่งรูเจาะที่เป็นจุดยึดเกิดแรงเท่ากับ 1.178 MPa และมีค่าความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) ในตำแหน่งกลางของโครงสร้างหลัก อยู่ที่ 0.008 มิลลิเมตร ซึ่ง สแตนเลสสตีล (SUS304) มีคุณสมบัติของวัสดุที่มีค่าความครากของวัสดุ (Yield strength) เท่ากับ 206.807 MPa ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างหลักจะไม่เสียรูปแบบถาวรจากน้ำหนักของอุปกรณ์ไฟฟ้า การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นสามารถคืนสภาพเดิมได้

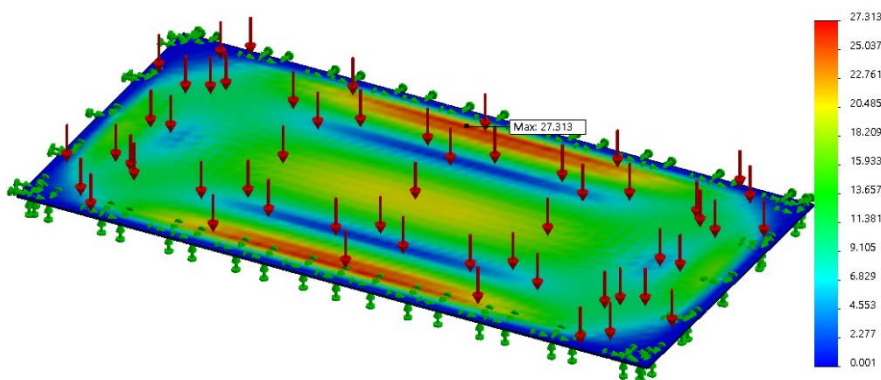
การทดสอบ SolidWorks Simulation Static Test ยังรวมถึงการทดสอบขณะที่หุ่นยนต์อยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจาก Standard IEC 61625 แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถรับแรงดันได้สูงสุดที่ 5.4 kPa

Property	Value	Units
Elastic Modulus	68935	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.23	N/A
Shear Modulus	28022	N/mm ²
Mass Density	2457.6	kg/m ³
Tensile Strength		N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength		N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	9e-06	/K
Thermal Conductivity	0.74976	W/(m·K)

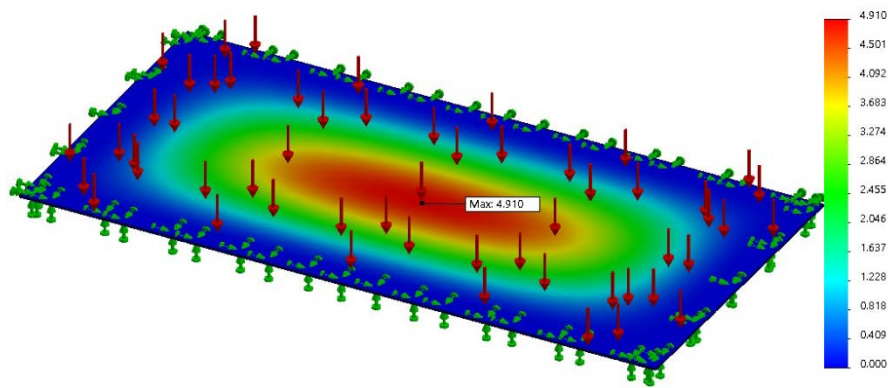
รูปที่ 4.16 คุณสมบัติวัสดุของกระจก ในโปรแกรม SolidWorks

ซึ่งในการทดสอบจะทำในลักษณะเดียวกับการทดสอบโครงสร้างหลัก แต่จะต่างกันในโปรแกรม SolidWorks ไม่มีวัสดุที่เป็นแผงเซลล์อาทิตย์ จึงใช้กระจกที่เป็นส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นวัสดุในการทดสอบมีค่าคุณสมบัติของวัสดุในโปรแกรม SolidWorks ตามภาพที่ 4.16

จากนั้นทำการทดสอบโดยการใส่แรงดันขนาด 5.4 KPa บนแผ่นกระจกหนา 6 มิลลิเมตร กว้าง 1 เมตร และยาว 2 เมตร เพื่อดูความเค้น (Stress) ของชิ้นทดสอบตามภาพ และได้ค่าความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) ของชิ้นทดสอบตามภาพ ซึ่งจะนำผลทั้ง 2 มาใช้เปรียบเทียบกับน้ำหนักของหุ่นยนต์ที่กดลงบนแผ่นกระจก



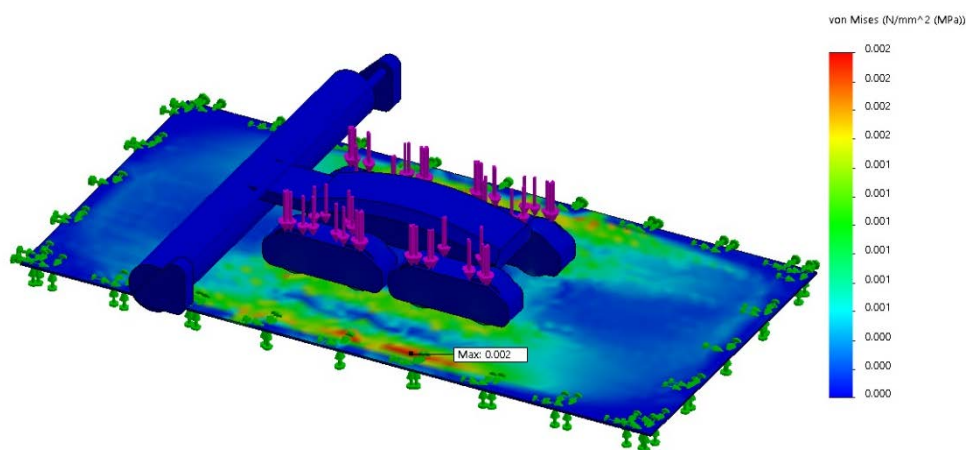
รูปที่ 4.17 การทดสอบความเค้น (Stress) ของแผ่นกระจก



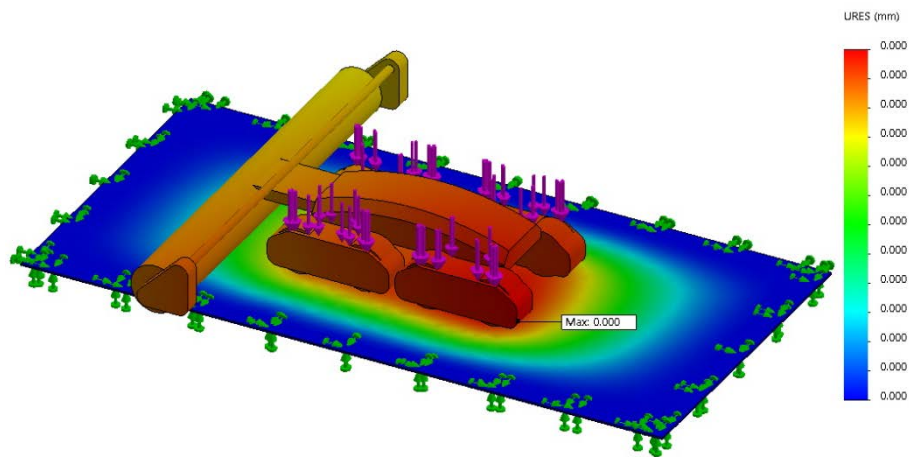
รูปที่ 4.18 การทดสอบความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) ของแผ่นกระจก

ซึ่งผลจากการทดสอบความเค้น (Stress) ของแผ่นกระจกที่นำมาทดสอบแทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดบริเวณขอบของกระจก ซึ่งเป็นตำแหน่งยึดกับกรอบรับน้ำหนัก มีความตึงเครียด (Stress) อยู่ที่ 27.313 MPa และมีความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) ของแผ่นกระจกในตำแหน่งกลางของแผ่นกระจกอยู่ที่ 4.910 มิลลิเมตร

ต่อมาเป็นการทดสอบน้ำหนักของหุ่นยนต์ที่ตกลงบนแผ่นกระจก โดยหุ่นยนต์มีน้ำหนักอยู่ที่ 47 กิโลกรัม สร้างจุดสัมผัสเพื่อถ่ายเทน้ำหนักเป็นแรงกระทำต่อแผ่นกระจก และให้วัสดุของหุ่นยนต์เป็นอลูมิเนียม (Al6061) จากนั้นทำการทดสอบเปรียบเทียบความเค้น (Stress) ตามภาพที่ 4.17 กับ การทดสอบความเค้น (Stress) ของแผ่นกระจกในภาพที่ 4.17 และความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) ตามภาพที่ 4.18 กับ การทดสอบความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) ของแผ่นกระจกในภาพที่ 63 และนำมาเปรียบเทียบกันในตารางที่ 5



รูปที่ 4.19 การทดสอบความเค้น (Stress) ของน้ำหนักหุ่นยนต์ที่ตกลงบนแผ่นกระจก



รูปที่ 4.20 การทดสอบความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) ของน้ำหนักหุ่นยนต์ที่กดลงบนแผ่นกระจก

ผลจากการทดสอบความเค้น (Stress) ของน้ำหนักหุ่นยนต์ที่กดลงบนแผ่นกระจกที่นำมาทดสอบแทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดบริเวณขอบของกระจก ซึ่งเป็นตำแหน่งยึดกับกรอบรับน้ำหนัก มีความเค้น (Stress) อยู่ที่ 0.002 MPa และมีความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) ของน้ำหนักหุ่นยนต์ที่กดลงบนแผ่นกระจกในตำแหน่งกลางของแผ่นกระจกอยู่ที่ 0.000 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบการทดสอบ SolidWorks Simulation Static Test ของแผ่นกระจก

การทดสอบ SolidWorks Simulation Static Test ของแผ่นกระจก	ความเค้น (Stress)	ความแอ่นตัวรวม (Total Displacement)
Standard IEC 61625 (แรงดัน 5.4 KPa)	27.313 MPa	4.910 มิลลิเมตร
น้ำหนักรุ่นหุ่นยนต์ที่กดลงบนแผ่น กระจก (47 กิโลกรัม)	0.002 MPa	0.000 มิลลิเมตร

เมื่อใช้คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตาม Standard IEC 61625 แผ่นกระจกที่นำมาทดสอบแทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เกิดความเค้น (Stress) อยู่ที่ 27.313 MPa เปรียบเทียบกับน้ำหนักของหุ่นยนต์ที่กดลงบนแผ่นกระจกที่ 47 กิโลกรัม เกิดความเค้น (Stress) เพียง 0.002 MPa และในความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) ตาม Standard IEC 61625 แผ่นกระจกที่นำมาทดสอบแทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เกิดความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) อยู่ที่ 4.910 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเทียบกับน้ำหนักของหุ่นยนต์ที่กดลงบนแผ่นกระจก ผลคือ แผ่นกระจกมีค่าความแอ่นตัวรวม (Total Displacement) เท่ากับ 0.000 มิลลิเมตร จึงสรุปได้ว่า หุ่นยนต์สามารถทำงานบนแผ่นกระจกหนา 6 มิลลิเมตรได้ โดยไม่ทำให้แผ่นกระจกเสียหาย

4.3.2 ฟังก์ชันการใช้งาน

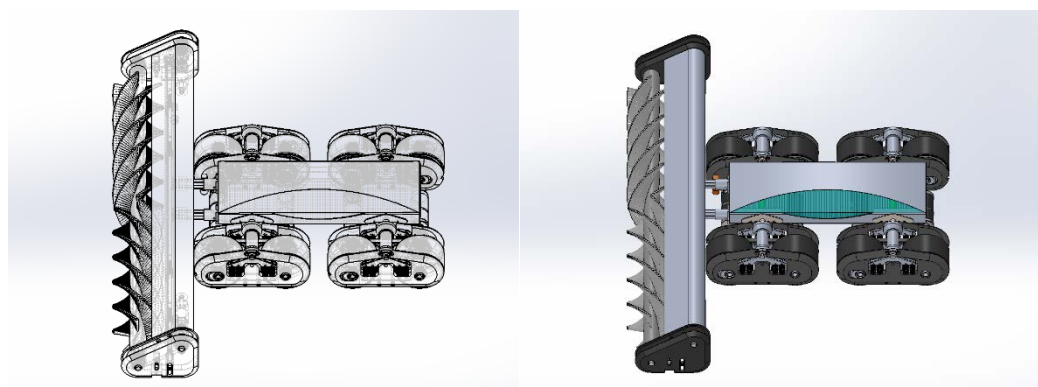
หุ่นยนต์ขับเคลื่อนบนแผงโซลาร์ด้วยชุดล้อ 4 ชุด และแปรงหมุนขัดหน้าหลังที่เปิดปิดได้อิสระ การทำงานของหุ่นจะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สำหรับแบบไร้สายหรือต่อกับไฟฟ้า 220 V เพื่อให้สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง การทำความสะอาดบนแผงที่สกปรกมากจะต้องอาศัยน้ำต่อแรงดันเพื่อส่งไปยังแปรงขัดทั้งด้านหน้า-หลัง ดังนั้นจึงต้องออกแบบระบบลากและม้วนสายไฟฟ้าและสายน้ำเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่และลากสายไฟฟ้าและน้ำในระยะทาง 30-50 เมตร

การเชื่อมต่อระบบข้อมูล

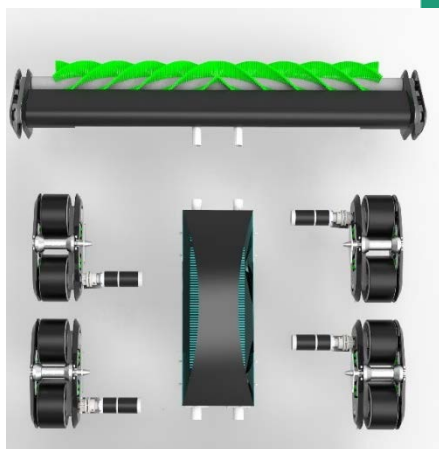
การเคลื่อนแบบอัตโนมัติ จะใช้ตัว photo sensor เป็นตัวเช็คขอบพื้นที่ของชุดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ และป้องกันการตกหล่นจากแผงและจะใช้ตัว Encoder ในการนับระยะทางการวิ่ง และใช้ sensor IMU ในการตรวจสอบทิศทางของหน้าหุ่น การปิดตัว เพื่อใช้ในการทำแผนการเคลื่อนที่ และจะสามารถติดตั้งกล้องในการตรวจสอบการเคลื่อนของหุ่นยนต์ ผ่านระบบส่งสัญญาณแบบไร้สาย(wireless) มายังคอมพิวเตอร์ได้

4.4 การออกแบบทางกลและทางไฟฟ้า

ในการออกแบบ ทำให้หุ่นยนต์มีลักษณะตามรูปที่ 4.21 สามารถแยกเป็นส่วนต่างๆ ออกเป็นโมดูล ให้ง่ายในการขนย้ายและถอดประกอบได้ โดยแบ่งเป็น โมดูลล้อจำนวน 4 ชิ้น โมดูลแปรงทำความสะอาดจำนวน 1 ชิ้น และโมดูลวงจรไฟฟ้าอีก 1 ชิ้น



รูปที่ 4.21 การออกแบบใช้คุณลักษณะที่กำหนดจากการสำรวจตามตารางที่ 1



Specifications

Length	1179 mm.
Width	1300 mm.
Height	236 mm.
Total weight	47 kg.
Brush width	1044 mm.
Brush diameter	150 mm.
Remote Control	
Wireless Range	12 m.
Power	
Power Line	220V to 24V
(Battery)	(2 x 5200mAh 24 V)
Moving system	
Climbing capacity	15°
Speed	30 m/min
Safety sensor	
Photosensors	4 positions

รูปที่ 4.22 Specifications ของหุ่นยนต์

1. แบ่งส่วนประกอบเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1.ชุดขับเคลื่อน(ล้อ) สามารถถอดแยกได้ 4 ชุด

2.ชุดทำความสะอาด(แปรง) 2 ชุด

3.ชุดโครงสร้างหลัก(วางบอร์ดควบคุม)

2. วัสดุโครงสร้างเป็น อลูมิเนียมและสแตนเลส

3. ชุดล้อขับเคลื่อนใช้มอเตอร์ DC 24V. จำนวน 4 ตัว มีล้อ 8 ล้อขับเคลื่อนด้วยสายพาน 4 เส้น

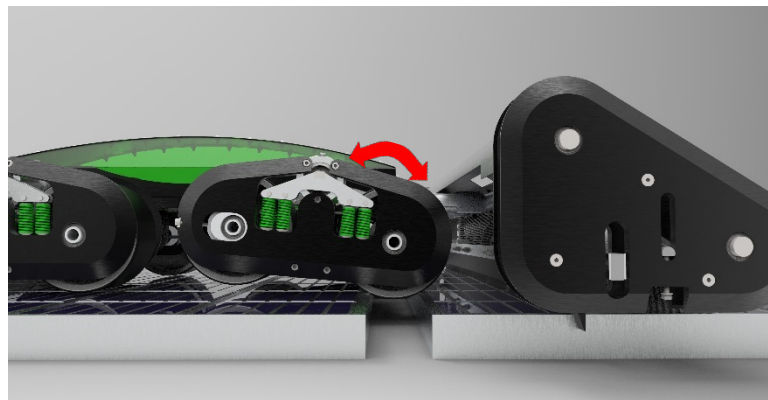
4. ชุดแปรงทำความสะอาดใช้มอเตอร์ DC 24V. จำนวน 4 ตัว

4.4.1 ระบบขับเคลื่อน

หลักการออกแบบล้อ

ชุดขับเคลื่อน 4 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยล้อ 2 ล้อ ส่งกำลังจากล้อขับเคลื่อนด้วยสายพาน โดยออกแบบให้ล้อทั้งสองสามารถสัมผัสแผ่นได้ดีแม้ตัวหุ่นยนต์จะเอียง ซึ่งแกนชุดล้อจะหมุนได้เทียบกับแกนของโครงสร้างหุ่นยนต์ โดยแยกสปริงกด 2 ตัวเพื่อเพิ่มแรงเสียดทานให้ล้อสัมผัสกับแผ่น โดยจะมีแกนหลักเป็นจุดหมุน และมีสปริงช่วยเพิ่มแรงกดให้ล้อกับแผ่น

จากการทดลอง ล้อที่ไม่มีจุดหมุนที่แกนทำให้การเคลื่อนที่ข้ามช่องว่างระหว่างแผ่น ล้อหน้าของหุ่นยนต์ตกลงไปในช่องว่างและล้อด้านหลังจะลอยขึ้น ทำให้ล้อไม่สัมผัสกับแผ่นเซลล์ทุกล้อ มีผลให้การยึดเกาะแผ่นลดลง จนเกิดการไถลของตัวหุ่น การออกแบบโมดูลล้อจึงเพิ่มจุดหมุนในแต่ละโมดูล รวมถึงสปริงเพื่อให้ทุกล้อสัมผัสกับหน้าแผ่นตลอดเวลา ตัวอย่างในรูป



รูปที่ 4.23 การออกแบบล้อให้สามารถข้ามแผ่นโซล่าเซลล์ได้

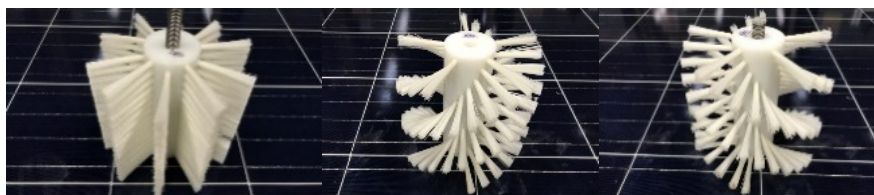
การเลี้ยวหรือกลับตัวของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผ่นจะใช้วิธีการหมุนล้อด้านซ้ายและด้านขวาสวนทางกัน เพื่อให้เกิดจุดหมุนอยู่ตรงกลางของตัวหุ่น ทำให้มีวงเลี้ยวที่แคบที่สุดเพียง 60 เซนติเมตร ทั้งยังลดการไถลบนแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ และผลจากการทดสอบต่างๆ ที่จะบรรยายในส่วนถัดไป

4.4.2 ลักษณะของแปรงขัดทำความสะอาด

หลักการออกแบบแปรงหมุนขัดจะให้ขนแปรงเรียงตัวแบบตัววีโดยเมื่อแปรงหมุนจะดันพาฝุ่นออกจากตรงกลางหุ่นไปทางด้านนอกหุ่น ขนแปรงเลือกใช้แบบที่แข็งกว่าขนแปรงทั่วไปเพื่อให้อยู่ทรงและขัดคราบฝังแน่นได้ดี แกนกลางผลิตจากวัสดุพลาสติกชนิด Polyacetal (POM) ที่มีความแข็งแรงทนทานกับการใช้งานที่ตากแดดและสัมผัสน้ำตลอดเวลา ขนแปรงเกรดอุตสาหกรรม อายุการใช้งาน 1 ปี (1,000 ชม.)

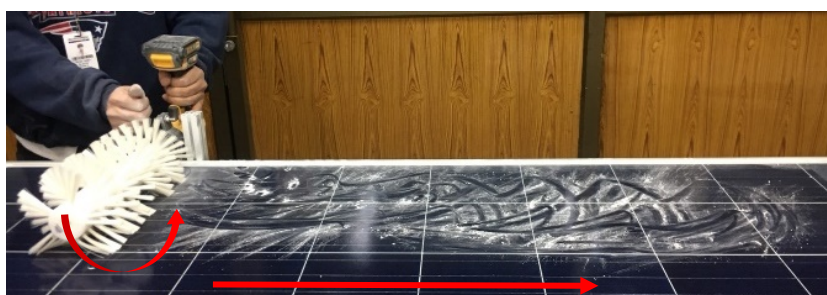
ในการทดลองใช้แปรงไนลอนที่มีการติดตั้งขนแปรงต่างกันทั้งหมด 3 แบบคือ ขนแบบตรง ขนแบบเกลียวขวา และขนแบบเกลียวซ้าย ตามรูปที่ 4.24 และเลือกใช้แปรงฝุ่นแทนสิ่งสกปรกที่ปกคลุมพื้นผิว

ของแผงเซลล์ การจำลองการทำความสะอาดของแปรงใช้สว่านไฟฟ้าแทนมอเตอร์ในการหมุนแปรงแบบต่อกัน 2 โมดูล (ความยาว 30 เซนติเมตร) หมุนทางเดียวกับการเคลื่อนที่ และหมุนสวนทางกับการเคลื่อนที่ ซึ่งจากผลการตรวจสอบด้วยสายตา ได้ผลสรุป การหมุนขนแปรงปัดขึ้นไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ตามรูปที่ 4.25จะได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำความสะอาด ตามผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 4.26

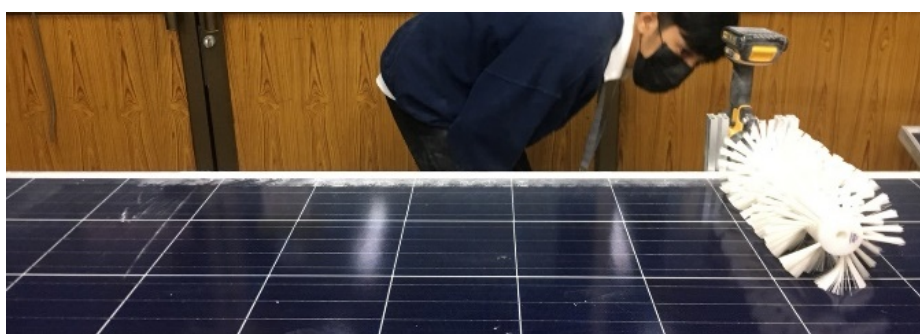


ขนแปรงตรง ขนแปรงเกลียวขวา ขนแปรงเกลียวซ้าย

รูปที่ 4.24 ลักษณะแปรงไนลอนทำความสะอาดแบบต่างๆ



รูปที่ 4.25 แปรงแบบต่อกัน 2 โมดูลหมุนทางเดียวกับการเคลื่อนที่



รูปที่ 4.26 ผลการทดสอบแปรงแบบต่อกัน 2 โมดูล หมุนทางเดียวกับการเคลื่อนที่

การทดสอบประสิทธิภาพของแปรงทำความสะอาด

ในการทดลองใช้แปรงไนลอนที่มีการติดตั้งขนแปรงต่างกันทั้งหมด 3 แบบคือ ขนแปรงแบบตรง ขนแปรงแบบเกลียวขวา ขนแปรงแบบเกลียวซ้าย และเลือกใช้แปรงไนลอนแทนสิ่งสกปรกที่ปกคลุมพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การจำลองการทำความสะอาดของแปรงใช้สว่านไฟฟ้าแทนมอเตอร์ในการหมุนแปรงแบบต่อกัน 2 โมดูล (ความยาว 30 เซนติเมตร) ให้ความเร็วของขนแปรงที่จุดสัมผัสมีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ และให้ความเร็วของขนแปรงที่จุดสัมผัสสวนทางกับการเคลื่อนที่ ซึ่งจากผลการตรวจสอบด้วยสายตา ได้ผลสรุปคือ ขนแปรงเกลียวขวาและขนแปรงเกลียวซ้ายต่อกันและการให้ความเร็วของขนแปรงที่จุดสัมผัสมีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ตามแสดงในภาพที่ 4.27 จะได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำความสะอาดตามแสดงในภาพ



รูปที่ 4.27 การทดสอบการทำงานของแปรงในการรีดน้ำออกด้านข้าง

วัสดุที่ที่เหมาะสมกับการเคลื่อนที่บนพื้นผิวโซลาร์เซลล์

วัสดุที่เหมาะสมกับการใช้งานบนแผงโซลาร์เซลล์นั้นจะต้องมีความเสียดทานสูงโดยเฉพาะเมื่อขณะที่แผงเปียกน้ำ เพื่อป้องกันการลื่นไถลของหุ่นยนต์ขณะขับเคลื่อน จากการพัฒนาที่มวิจัยได้ลองใช้วัสดุหลายชนิดได้แก่ โฟม ยางแผ่น ยางกันลื่น ผ้าแบบต่างๆ ดังรูป จากผลการทดลองขับเคลื่อนบนแผงโซลาร์ที่มีความลาดเอียง 15 องศา ได้ผลดังนี้

1. ล้อยาง มีอายุการใช้งานนานแต่ลื่นไถลบ้างเมื่อโดนฝุ่น
2. ล้อผ้า ยึดเกาะได้ดีแม้เปียกน้ำแต่อายุการใช้งานสั้นเนื่องจากโดนขูดจากน็อตยึดหรือขอบแผง



รูปที่ 4.28 การทดสอบวัสดุหุ้มล้อแบบยางและแบบผ้า

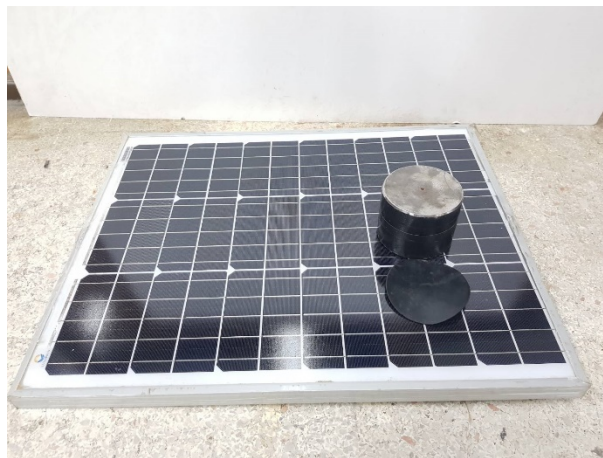
ในการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุในการหุ้มล้อของหุ่นยนต์นั้น ได้ทำการเลือกวัสดุสำหรับทดสอบ เป็นวัสดุ 3 ชนิด ที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด เพื่อใช้ในการทดสอบหาความสามารถในการยึดเกาะ ซึ่งจะทดสอบโดยการวางแท่งเหล็กน้ำหนัก 6.5 กิโลกรัม บนวัสดุที่ใช้ทดสอบตามคุณลักษณะในตารางที่ 4.3 และได้แสดงภาพที่ 4.29 ถึงภาพที่ 4.31

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะของวัสดุหุ้มล้อของหุ่นยนต์

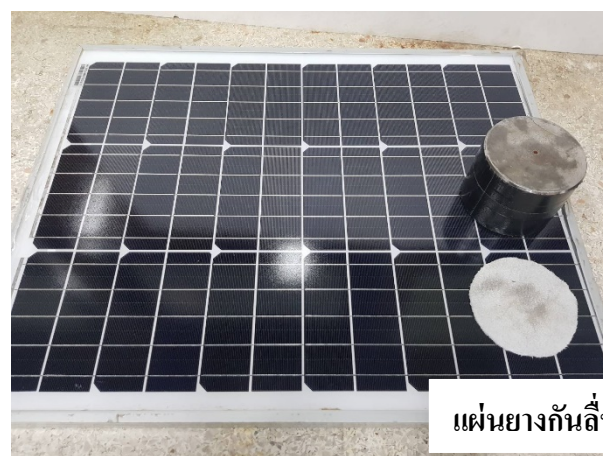
วัสดุ	ขนาด	คุณลักษณะ
แผ่นยางกันลื่น (สำหรับสระว่ายน้ำ)	เส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร หน้า 4 มิลลิเมตร	ใช้สำหรับปูพื้นสระว่ายน้ำ โรงงานอุตสาหกรรม ทำความสะอาดได้ง่าย
แผ่นยาง CR (Neoprene)	เส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร หน้า 1.6 มิลลิเมตร	ใช้สำหรับงานอุตสาหกรรม ทนกรดและสารกัดกร่อน
ผ้าหนังวัว (สำหรับทำผ้ากันความร้อน)	เส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร หน้า 1.5 มิลลิเมตร	ผ้าหนังวัวกลับด้าน ทนความร้อนสูง พื้นผิวหยาบ ดูดซับน้ำได้ดี



รูปที่ 4.29 ตัวอย่างแผ่นยางกันลื่นสำหรับทดสอบ



รูปที่ 4.30 ตัวอย่างแผ่นยาง CR สำหรับทดสอบ



รูปที่ 4.31 ตัวอย่างผ้าหนังวัวสำหรับทดสอบ

ซึ่งในการทดสอบทำการนำวัสดุหุ้มล้อหุ่นยนต์ทั้ง 3 ประเภท มาวางบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วนำแท่งเหล็กน้ำหนัก 6.5 กิโลกรัม มาวางบนวัสดุเพื่อเพิ่มน้ำหนักกด แล้วค่อยๆ ยกแผงเซลล์ขึ้น จากนั้นวัดมุมเอียงที่เกิดขึ้น ก่อนวัสดุทดสอบจะไถลลงตามภาพที่ 4.32

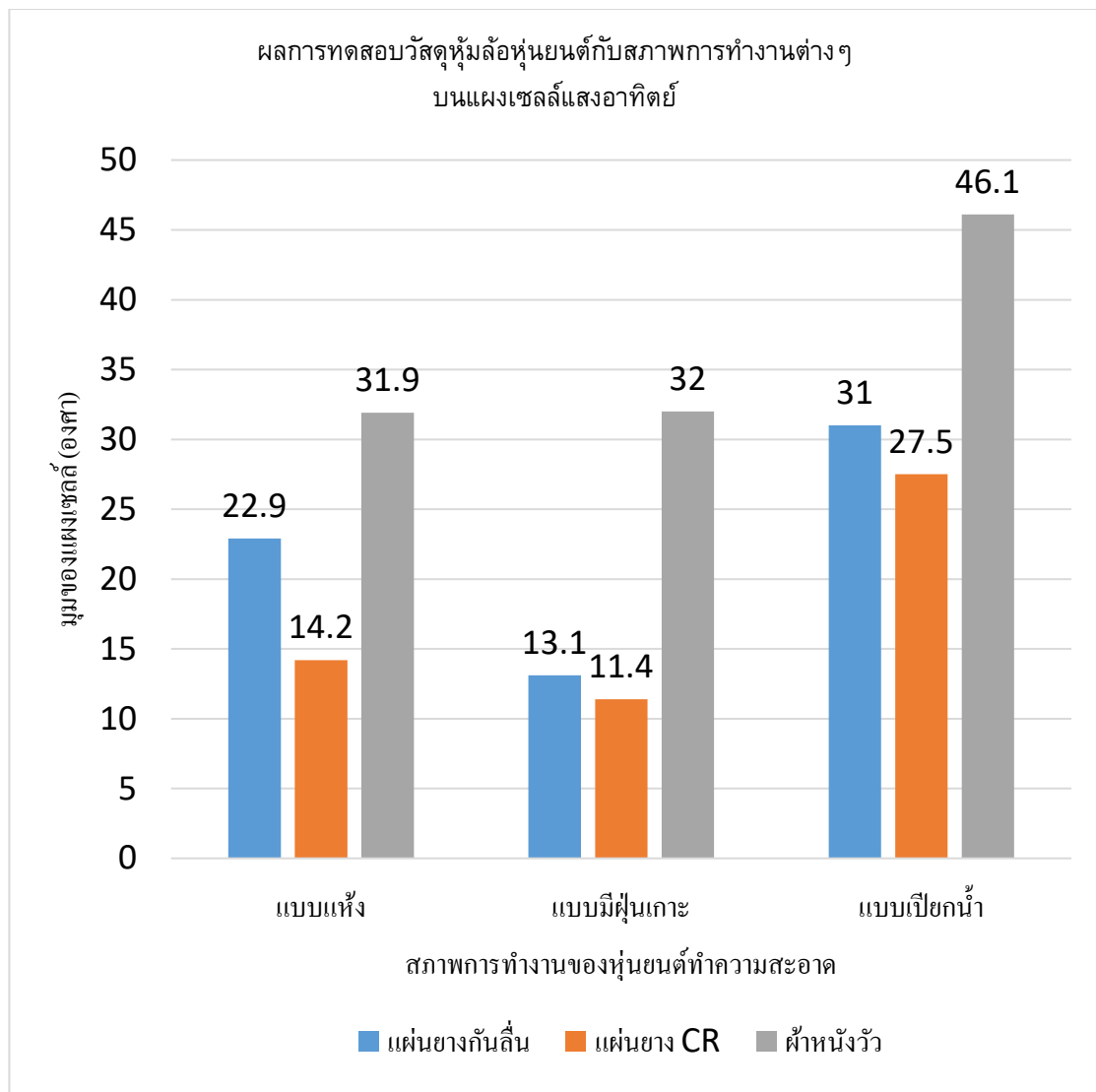


รูปที่ 4.32 ตัวอย่างการทดสอบแผ่นยางกันลื่นกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แห้งทำมุมได้ 22.9 องศา ก่อนวัสดุทดสอบจะไถลลง

โดยการทดสอบจะแบ่งเป็น 3 สภาพการทำงานของหุ่นยนต์ทำความสะอาด คือ บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แห้ง บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่นเกาะ และบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปียกน้ำ ซึ่งผลการทดสอบจะแสดงในตารางที่ 4.4 และแสดงในภาพที่ 4.33

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบวัสดุหุ้มล้อหุ่นยนต์กับสภาพการทำงานต่างๆ บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

วัสดุหุ้มล้อหุ่นยนต์	สภาพการทำงานของหุ่นยนต์ทำความสะอาด		
	แบบแห้ง	แบบมีฝุ่นเกาะ	แบบเปียกน้ำ
1. แผ่นยางกันลื่น	22.9 องศา	13.1 องศา	31.0 องศา
2. แผ่นยาง CR	14.2 องศา	11.4 องศา	27.5 องศา
3. ผ้าหนังวัว	31.9 องศา	32.0 องศา	46.1 องศา



รูปที่ 4.33 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบวัสดุหุ้มล้อหุ่นยนต์กับสภาพการทำงานต่าง ๆ บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ซึ่งผลจากการทดสอบ ผ้าหนังวัวมีความสามารถในการยึดเกาะกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพการทำงานต่าง ๆ ได้มุงมองศาาก่อนจะไถลมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ประเภท และมุงมองศาของผ้าหนังวัวที่สามารถยึดเกาะได้ มากกว่ามุมของการติดตั้งแผงเซลล์อาทิตย์บนหลังคาที่ติดตั้งอยู่ที่ 0 ถึง 15 องศา อยู่ 2 ถึง 3 เท่า จึงเป็นผลที่นำไปสู่การเลือกใช้ผ้าหนังวัว (สำหรับทำผ้ากันความร้อน) มาใช้ในการหุ้มล้อของหุ่นยนต์ทำความสะอาด

4.4.3 การออกแบบทางไฟฟ้าและระบบควบคุม

ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega เป็นบอร์ดควบคุมมอเตอร์ล้อ 4 ตัวและมอเตอร์แปร่ง 2 ตัว และเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ 8 ตัวป้องกันหุ่นยนต์ตกจากแผง การควบคุมผ่านเกมส์คอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4.34 บอร์ดและคอนโทรลเลอร์ควบคุมหุ่นยนต์

ระบบไฟฟ้าและระบบควบคุม

หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกออกแบบมาเพื่อลดความเสี่ยงในการทำความสะอาดแผงเซลล์ของคนที่ เนื่องจากแผงเซลล์ติดตั้งอยู่บนหลังคาสูงและพื้นผิวของแผงเซลล์เป็นกระจกที่มีความลื่น ฉะนั้นแล้ว หุ่นยนต์ทำความสะอาดจึงมีระบบควบคุมแบบไร้สาย ให้ง่ายต่อการใช้งาน และปลอดภัยต่อผู้ทำงานในการทำความสะอาด ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ระบบไฟฟ้า และระบบควบคุม

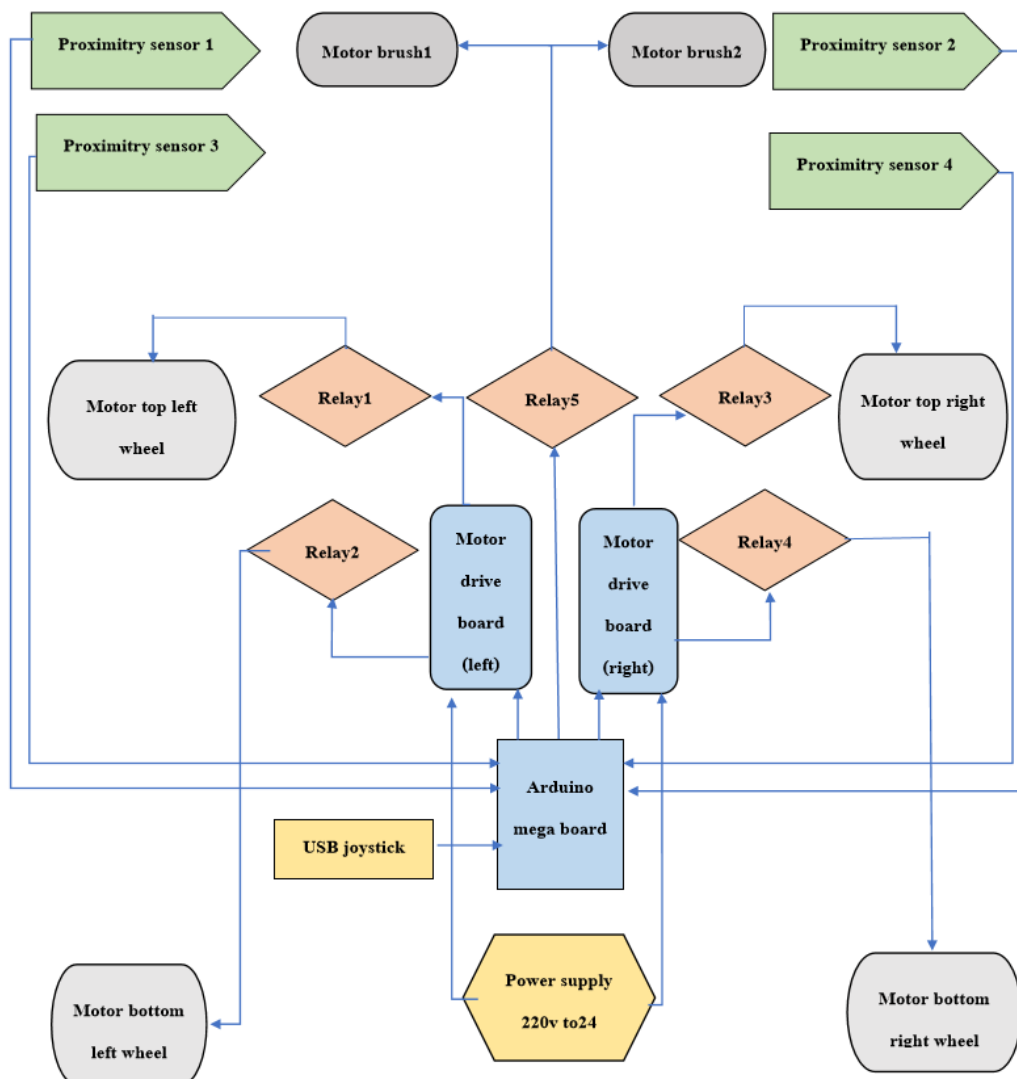
ในส่วนของระบบไฟฟ้านั้น ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega เป็นตัวควบคุม เนื่องจากหาได้ง่ายในท้องตลาด และราคาไม่สูงมาก มอเตอร์ที่ใช้เป็น DC มอเตอร์ ขนาด 120 วัตต์ ใช้กำลังไฟ 24 โวลต์ ทดรอบจาก 3,000 รอบต่อนาที เหลือ 100 รอบต่อนาที ทั้งหมด 4 ตัวสำหรับชุดขับเคลื่อน 4 ชุด เพื่อให้ได้กำลังในการขับเคลื่อน หุ่นยนต์ทำความสะอาด รวมถึงมีระบบเซ็นเซอร์ป้องกันหุ่นยนต์ตกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะแสดงการต่อวงจรไฟฟ้าในภาพที่ 4.35 โดยการทำงานจะเป็นเป็น 5 ส่วนหลัก

เริ่มจากการคุมล้อด้านซ้ายทั้ง 2 ล้อ ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega ส่งคำสั่งไปยัง Motor Drive Board ตัวด้านซ้าย แล้วส่งไปที่ Relay 1 เพื่อคุมล้อบนซ้าย และส่งไปที่ Relay 2 เพื่อคุมล้อล่างซ้าย

การคุมล้อด้านขวาทั้ง 2 ล้อ จะทำเหมือนการคุมล้อด้านซ้ายคือ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega ส่งคำสั่งไปยัง Motor Drive Board ตัวด้านขวา แล้วส่งไปที่ Relay 3 เพื่อคุมล้อบนขวา และส่งไปที่ Relay 4 เพื่อคุมล้อล่างขวา

ในการทำงานของแปรงทำความสะอาดจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega ส่งคำสั่งไปยัง Relay 5 โดยตรง เพื่อเปิดและปิดการทำงานเท่านั้น และสุดท้ายคือการทำงานของเซ็นเซอร์ป้องกันหุ่นยนต์ตกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 4 ตัว จะทำงานโดยการส่งคำสั่งตรงจากไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega เพื่อให้เกิดความผิดพลาดจากการทำงานของอุปกรณ์น้อยที่สุด

สำหรับระบบควบคุมได้มีการแสดงตัวอย่างการเขียนคำสั่งควบคุม ในโปรแกรม Arduino ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.36 ซึ่งเป็นการควบคุมการขับเคลื่อน โดยชุดล้อด้านซ้าย และชุดล้อด้านขวาเป็นอิสระต่อกัน และจะทำงานเมื่อได้รับสัญญาณจากรีโมทควบคุม



รูปที่ 4.35 ตัวอย่างการต่อวงจรไฟฟ้าของหุ่นยนต์ทำความสะอาดเซลล์แสงอาทิตย์

```

if (Xbox.getAnalogHat(LeftHatX, i) > 7500 || Xbox.getAnalogHat(LeftHatX, i)
    < -7500 || Xbox.getAnalogHat(LeftHatY, i) > 7500 || Xbox.getAnalogHat(LeftHatY, i)
    < -7500 || Xbox.getAnalogHat(RightHatX, i) > 7500 || Xbox.getAnalogHat(RightHatX, i)
    < -7500 || Xbox.getAnalogHat(RightHatY, i) > 7500 || Xbox.getAnalogHat(RightHatY, i) < -7500) {
    if (Xbox.getAnalogHat(RightHatY, i) < -7500) {
        TR = TOP;
        BR = TOP;
        digitalWrite(TOP_DIR2_RIGHT, LOW);
        digitalWrite(BOT_DIR2_RIGHT, LOW); }
    if (Xbox.getAnalogHat(RightHatY, i) > 7500) {
        Serial.print(F("BWt"));
        TR = TOP;
        BR = TOP;
        digitalWrite(TOP_DIR2_RIGHT, HIGH);
        digitalWrite(BOT_DIR2_RIGHT, HIGH); }
    if (Xbox.getAnalogHat(LeftHatY, i) < -7500) {
        TL = TOP;
        BL = TOP;
        digitalWrite(TOP_DIR1_LEFT, LOW);
        digitalWrite(BOT_DIR1_LEFT, LOW); }
    if (Xbox.getAnalogHat(LeftHatY, i) > 7500) {
        Serial.print(F("BWt"));
        TL = TOP;
        BL = TOP;
        digitalWrite(TOP_DIR1_LEFT, HIGH);
        digitalWrite(BOT_DIR1_LEFT, HIGH); } }

```

เมื่อค่าสัญญาณ analog ฝั่ง ขวา น้อยกว่า -7500 ล้อฝั่งขวาทั้งหมดจะไม่ทำงาน แต่ถ้ามากกว่า 7500 ล้อขวาทั้งหมดจะทำงาน

เมื่อค่าสัญญาณ analog ฝั่ง ซ้าย น้อยกว่า -7500 ล้อฝั่งซ้ายทั้งหมดจะไม่ทำงาน แต่ถ้ามากกว่า 7500 ล้อซ้ายทั้งหมดจะทำงาน

รูปที่ 4.36 ตัวอย่างคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในโปรแกรม Arduino

4.4.4 น้ำหนักกดลงบนแผงและค่าความปลอดภัย

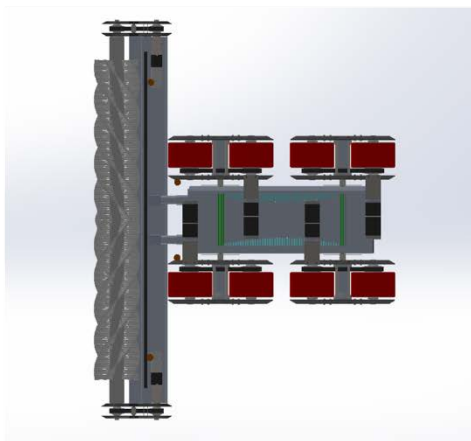
ทีมวิจัยได้ประเมินค่าความเค้น (stress) ที่เกิดขึ้นเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากการกระจายน้ำหนักของหุ่นยนต์บนแผงโซลาร์ น้ำหนักหุ่นยนต์รวม 47 kg กระจายบนล้อ 8 ล้อ ริงบนแผงโซลาร์ โดยคิดพื้นที่ล้อ 0.5 ตร.ม. และน้ำหนักรวม 460 นิวตัน คิดเป็นความเค้นที่ล้อ 921 Pa ตามมาตรฐานแผงโซลาร์ทั่วไปจะสามารถรับความเค้นได้ 5,400 Pa (Standard IEC 61625) ดังนั้นจึงมีค่าความปลอดภัย Safety Factor 5.8 สำหรับการใช้งาน ไม่ให้เกิดความเสียหายบนแผงจากการทำงานของหุ่นยนต์

Loading from the robot

- พื้นที่ล้อ 0.5 ตร.ม.
- น้ำหนักรวม 460 นิวตัน

Loading Stress = 921 Pa

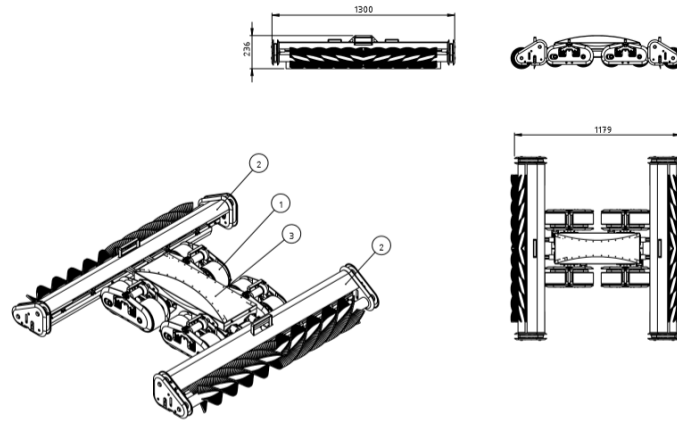
Solar panel max. stress = 5,400 Pa
(Standard IEC 61625)



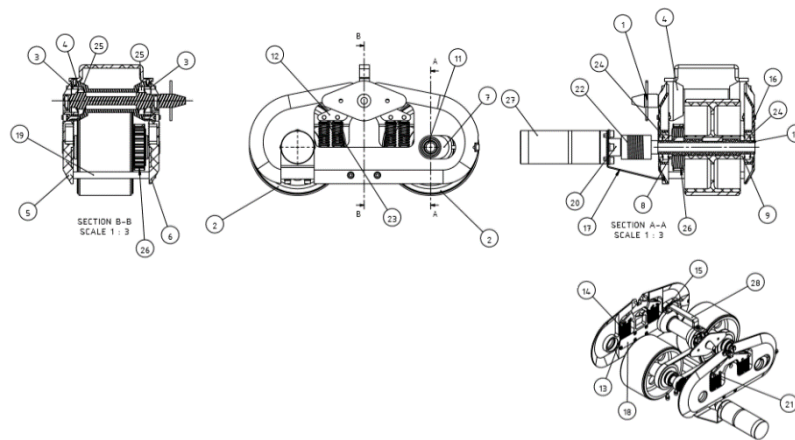
รูปที่ 4.37 การคำนวณ Factor of safety สำหรับป้องกันความเสียหายจากแรงกดทับกระจก

คุณลักษณะของหุ่นยนต์ต้นแบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

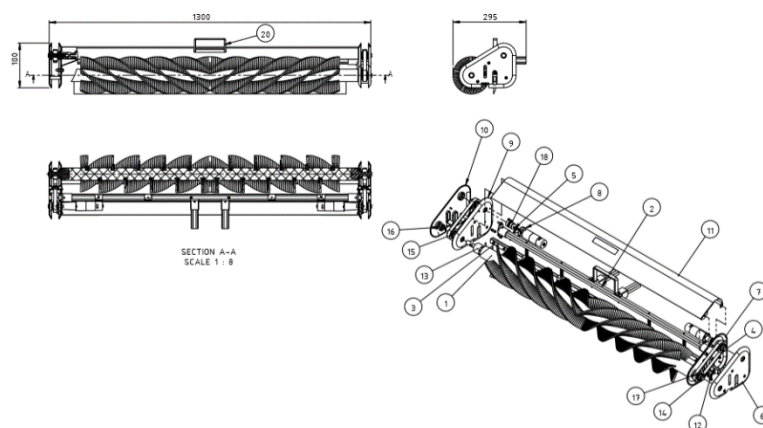
จากผลการออกแบบและการทดลองทำความสะอาดจึงสามารถสร้างและประกอบหุ่นยนต์ทำความสะอาดต้นแบบ ตามภาพที่ 4.38 ถึงภาพที่ 4.41 โดยมีคุณลักษณะตามที่กำหนดในตารางที่ 4.1 และมีตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุแบบแสง (Photoelectric sensor) ทั้ง 8 ตำแหน่ง ที่แสดงในภาพที่ และวิธีการทำงานของเซ็นเซอร์ตามลำดับ ซึ่งเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างของแผงจะต้องมีเซ็นเซอร์ 1 ใน 2 ตัว ตรวจเจอแผงเสมอ เมื่อเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตรวจไม่เจอแผง แสดงว่าเป็นขอบของแผง หุ่นยนต์หยุดการทำงานเพื่อป้องกันหุ่นยนต์เคลื่อนตกจากแผง



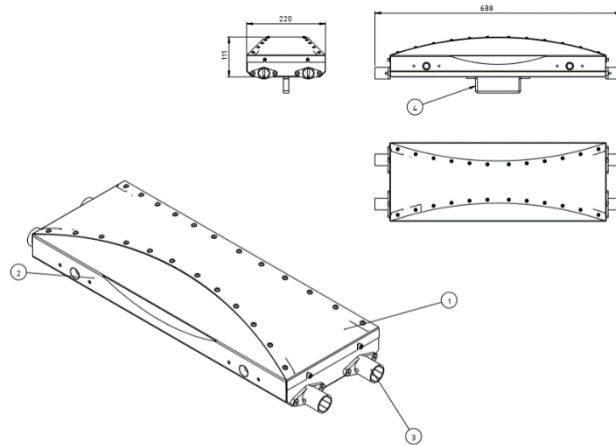
รูปที่ 4.38 โครงสร้างทั้งหมดของหุ่นยนต์ต้นแบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.39 โมดูลล้อของหุ่นยนต์ต้นแบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



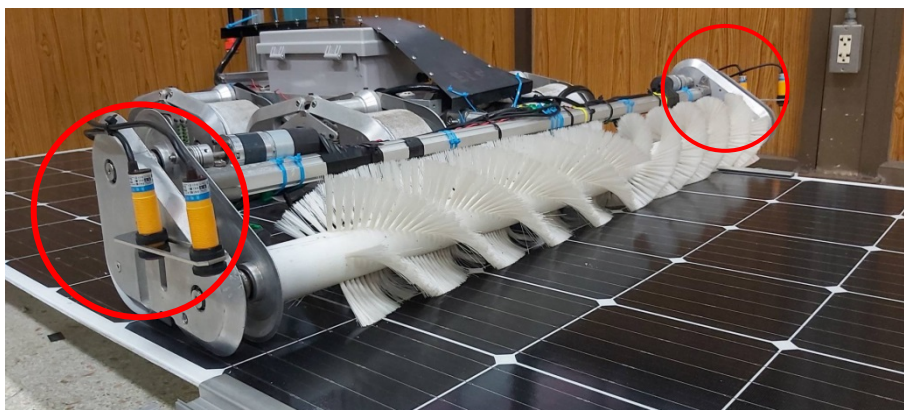
รูปที่ 4.40 โมดูลแปรงทำความสะอาดของหุ่นยนต์ต้นแบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



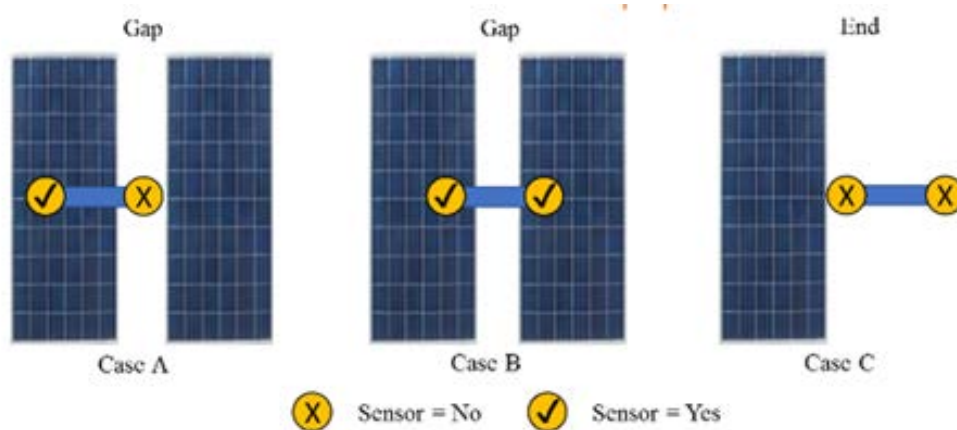
รูปที่ 4.41 โมดูลวงจรไฟฟ้าของหุ่นยนต์ต้นแบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



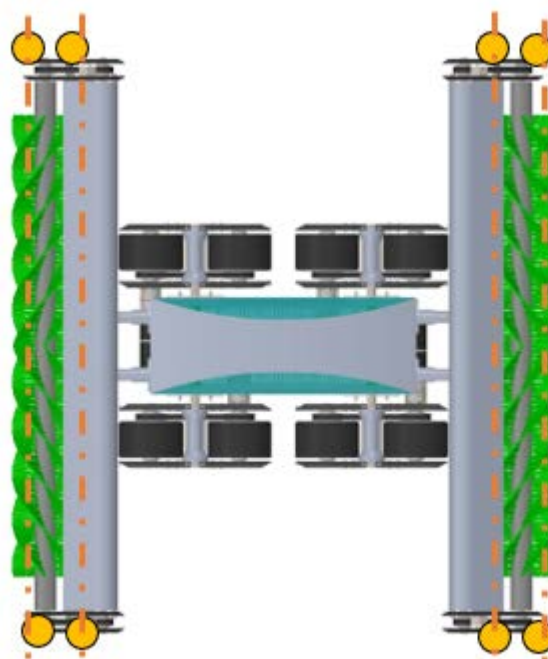
รูปที่ 4.42 หุ่นยนต์ต้นแบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.43 ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ป้องกันหุ่นตกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

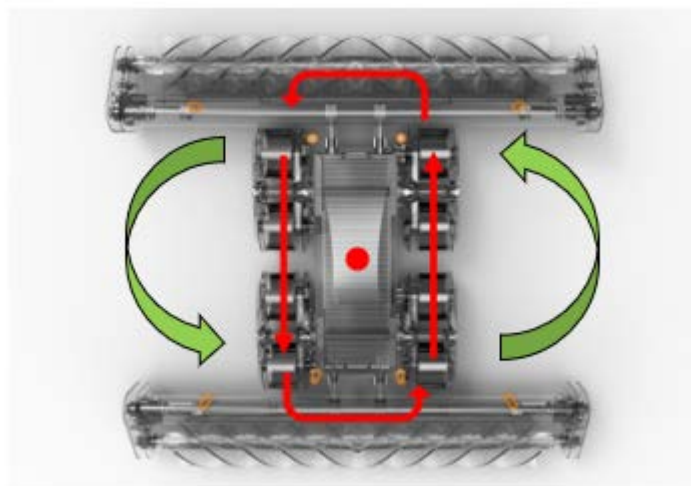


รูปที่ 4.44 จำลองตำแหน่งของเซ็นเซอร์ป้องกันหุ่นตกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.45 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ป้องกันหุ่นตกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การเลี้ยวหรือกลับตัวของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงจะใช้วิธีการหมุนล้อด้านซ้ายและด้านขวาสวนทางกัน เพื่อให้เกิดจุดหมุนอยู่ตรงกลางของตัวหุ่นยนต์ ทำให้มีวงเลี้ยวที่แคบที่สุดเพียง 60 เซนติเมตร ทั้งยังลดการไถลบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังตัวอย่างที่แสดงการเลี้ยวซ้าย ตามภาพที่ 4.46 และผลจากการทดสอบต่างๆ ทำให้หุ่นมีรายละเอียดด้านคุณลักษณะ ที่แสดงในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.46 ตัวอย่างการเลี้ยวไปทางด้วยซ้ำของหุ่นยนต์ต้นแบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 4.5 คุณลักษณะของหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบบนหลังคา หลัง ออกแบบ

ลำดับ	หัวข้อ	ข้อกำหนด
1	น้ำหนักของหุ่นยนต์	47 กิโลกรัม
2	ความยาวของหุ่นยนต์	1,179 มิลลิเมตร
3	ความกว้างของหุ่นยนต์	1,300 มิลลิเมตร
4	ความสูงของหุ่นยนต์	236 มิลลิเมตร
5	ความยาวของแปรง	1,044 มิลลิเมตร
6	เส้นผ่านศูนย์กลางของแปรง	150 มิลลิเมตร
7	ระยะการควบคุมการทำงาน	15 เมตร
8	พลังงาน	220 V to 24 V
9	มุมเอียงที่สามารถทำงานได้	0-15 องศา
10	ความเร็วในการเคลื่อนที่	30 เมตรต่อนาที
11	ระบบป้องกันฉุกเฉิน	เซ็นเซอร์ 8 ตำแหน่ง
12	การเคลื่อนย้าย	แยกส่วนได้ 7 ชั้น
13	วัสดุของหุ่นยนต์	(SUS304) ,(AI 6061)
14	วัสดุของแปรง	ขนแปรงไนลอน
15	บอร์ดควบคุม	ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega

4.4.5 ระบบป้องกันหุ่นยนต์ตกขอบแผงโซลาร์เซลล์

หุ่นยนต์ประกอบด้วย 8 โฟโตเซ็นเซอร์ แบ่งการทำงานเป็น 4 คู่ โดยเมื่อหุ่นยนต์วิ่งผ่านช่องว่างระหว่างแผง เซ็นเซอร์จะตรวจเจอวัตถุ 1 ใน 2 เซ็นเซอร์เสมอ หากเซ็นเซอร์ทั้งสองตัวในคู่ไม่เจอวัตถุแสดงว่าเป็นขอบของแผง หุ่นยนต์จะหยุดเคลื่อนที่และถอยหลังเพื่อทำความสะอาดในแนวการเคลื่อนที่ลำดับถัดไป

4.5 การออกแบบโปรแกรมและลำดับการทำงาน

ลำดับขั้นตอนการทำงานโปรแกรมของหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถสั่งงานได้รีโมทคอนโทรล และมีการทำงาน 2 โหมด คือ Auto และ Manual

ทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในมุมต่าง ๆ

การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดที่หุ้มล้อด้วยผ้าหนังวัวจะใช้การคำนวณความยาวเส้นรอบวงของล้อหุ่นยนต์กับความเร็วรอบมาใช้เป็นค่าอ้างอิง ซึ่งจากการออกแบบล้อของหุ่นยนต์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 155 มิลลิเมตร และมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อน มีความเร็วรอบอยู่ที่ 100 รอบต่อนาที จะสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ความยาวเส้นรอบวงของล้อ} = 2\pi r = 2 \times \pi \times (155 \div 2) = 486.95 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\text{ใน 1 นาที จะเคลื่อนที่ได้} = 486.95 \times 100 = 48,695 \text{ มิลลิเมตร หรือ } 4,869.5 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{ฉะนั้นใน 1 วินาที จะเคลื่อนที่ได้} = 4,869.5 \div 60 = 81.16 \text{ เซนติเมตร}$$

ผลการคำนวณการเส้นผ่านศูนย์กลางล้อหุ่นยนต์และความเร็วขั้วจากมอเตอร์ โดยไม่สนใจตัวแปรชนิดอื่น หุ่นยนต์จะสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าในแนวราบได้ 81.16 เซนติเมตร ในระยะเวลา 1 วินาที ซึ่งจะแทบเป็น 100% และใช้อ้างอิงสำหรับการทดสอบภาคสนามต่อไป

ในการทดสอบภาคสนามจะทำโดยการ นำหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาวางบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพการทำงานต่างๆ ทั้ง สภาพการทำงานแบบแห้งที่แสดงในตารางที่ 4.6 สภาพการทำงานแบบมีฝุ่นเกาะที่แสดงในตารางที่ 4.7 และสภาพการทำงานแบบเปียกที่แสดงในตารางที่ 4.8 จากนั้นค่อยๆ ยกแผงเซลล์ขึ้นให้เกิดความชัน แล้วเคลื่อนที่หุ่นยนต์ไปข้างหน้าเป็นเวลา 1 วินาที ตามภาพที่ 4.47 และวัดระยะทางที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปได้โดยวัดจากล้อหลังกับขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามภาพที่ 4.48 สุดท้ายจึงนำมาเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณ



รูปที่ 4.47 ภาพการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนแผงเซลล์ที่ชัน 10 องศาในสภาพการทำงานแบบแห้ง



รูปที่ 4.48 ภาพการวัดระยะทางของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่บนแผงเซลล์ที่ชั้น 10 องศาในสภาพการทำงานแบบแห้ง

ตารางที่ 4.6 การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาพการทำงานแบบแห้ง

ความชันของแผงเซลล์	ระยะทางการเคลื่อนที่	เทียบผลกับการคำนวณ (81.16 เซนติเมตร = 100%)
0 องศา	76 เซนติเมตร	93.64%
5 องศา	67 เซนติเมตร	82.55%
10 องศา	54 เซนติเมตร	66.54%
15 องศา	40 เซนติเมตร	49.28%

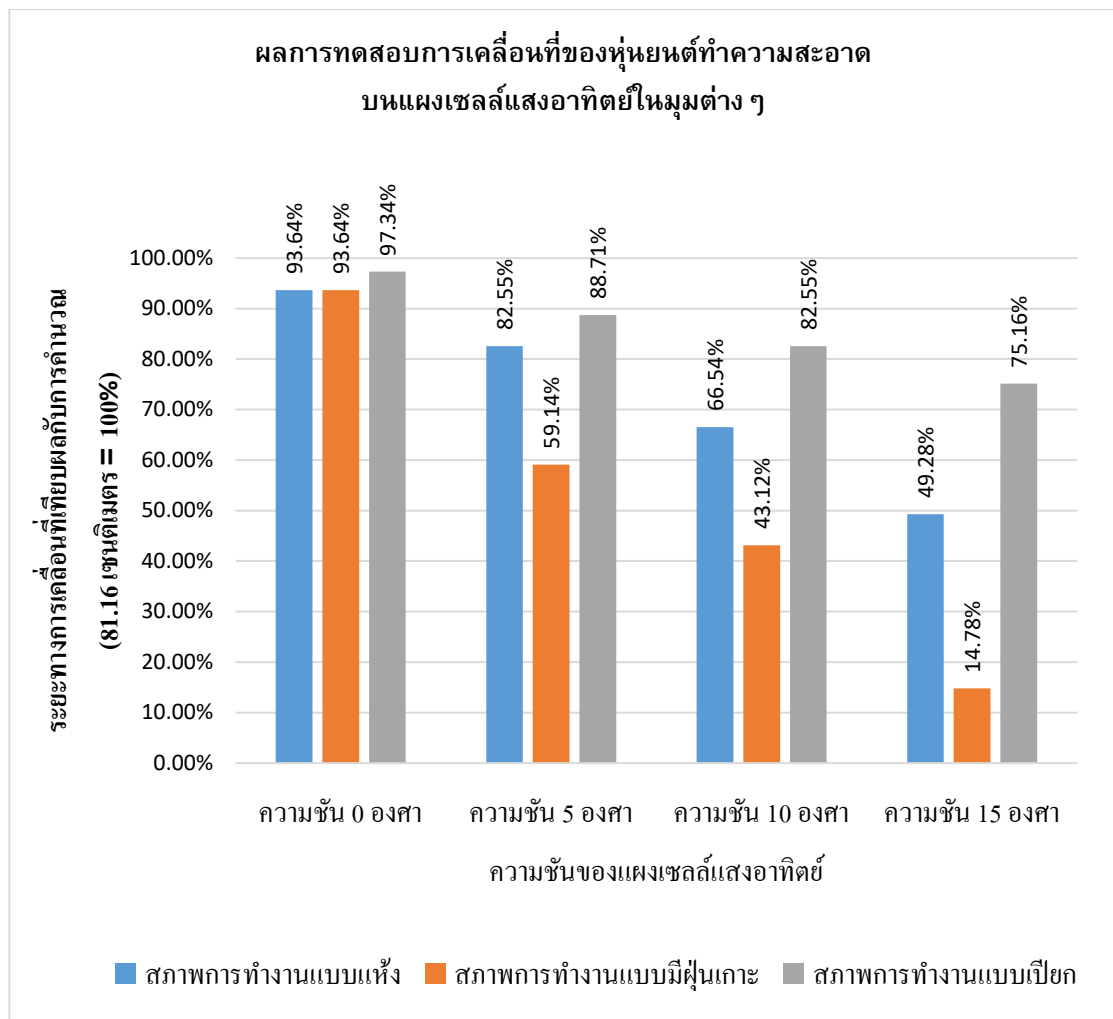
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาพการทำงานแบบมีฝุ่นเกาะ

ความชันของแผงเซลล์	ระยะทางการเคลื่อนที่	เทียบผลกับการคำนวณ (81.16 เซนติเมตร = 100%)
0 องศา	76 เซนติเมตร	93.64%
5 องศา	48 เซนติเมตร	59.14%
10 องศา	35 เซนติเมตร	43.12%
15 องศา	12 เซนติเมตร	14.78%

ตารางที่ 4.8 การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพเปียก

ความชันของแผงเซลล์	ระยะทางการเคลื่อนที่	เทียบผลกับการคำนวณ (81.16 เซนติเมตร = 100%)
0 องศา	79 เซนติเมตร	97.34%
5 องศา	72 เซนติเมตร	88.71%
10 องศา	67 เซนติเมตร	82.55%
15 องศา	61 เซนติเมตร	75.16%

จากการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทั้งหมดสามารถนำมาเปรียบเทียบในภาพแผนภูมิที่ 90 ซึ่งผลจากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า ความชันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลต่อความสามารถในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาด ยิ่งความชันของแผงเซลล์มากยิ่งทำให้ความสามารถในการไต่ขึ้นแผงเซลล์ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดลดลงไปด้วย และล้อที่หุ้มด้วยผ้าหนังวัวจะไต่แผงที่มีฝุ่นเกาะได้แย่ที่สุดใน 3 สภาพการทำงาน และไต่ได้ดีที่สุดในสภาพการทำงานที่เปียก ซึ่งเหมาะกับการใช้น้ำในการทำความสะอาด



รูปที่ 4.49 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาด
บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในมุมต่าง ๆ

4.5.1 การประเมินอายุการใช้งาน

จากการประเมินอายุการใช้งานของหุ่นยนต์ทำความสะอาดประเภท Rooftop ในลักษณะของ mobile robot จะมีอุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษาและเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง จำนวน 4 ส่วน ได้แก่ โครงสร้างหุ่นยนต์ แปรงขัด สายไฟ และสายน้ำ และล้อยาง ซึ่งอายุการใช้งานและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อครั้งแสดงในรูปที่ 4.50

การประเมินอายุการใช้งาน		
อุปกรณ์	อายุ	ค่าใช้จ่าย
โครงสร้างหลัก	5 ปี	20,000 บาท
แปรง	1 ปี	10,000 บาท
สายไฟ-น้ำ	1 ปี	1,000 บาท
ยางล้อ	3 เดือน	1,000 บาท

รูปที่ 4.50 ตัวอย่างการประเมินประเมินอายุการใช้งานของหุ่นยนต์แบบ rooftop

4.5.2 ค่าอุปกรณ์หุ่นยนต์

No	รายการ	ราคา	จำนวน	รวม
1	ชุดแปรง	15,000	1	15,000
2	ชุดล้อ	10,000	4	40,000
3	ชุดโครงสร้างหลัก	10,000	1	10,000
4	ระบบควบคุม	10,000	1	10,000
5	ระบบไฟฟ้า	12,000	1	12,000
รวมต้นทุน				87,000
ราคาจำหน่าย				150,000

รูปที่ 4.51 ตัวอย่างการประเมินต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการผลิตและราคาจำหน่าย

4.5.3 ความคุ้มค่าของการใช้หุ่นยนต์แทนแรงงานคน

เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานสำหรับทำความสะอาด Solar Rooftop ตัวอย่าง แผงโซลาร์ขนาด 1 เมกะวัตต์ (3,300 แผง 6,600 ตารางเมตร) 10 ครั้ง/ปี จากตาราง ใช้หุ่นยนต์จะประหยัดได้ปีละ 79,000 บาท หุ่นยนต์ราคาขาย 150,000 บาท จะคุ้มทุนในเวลา 1 ปี 11 เดือน

ค่าใช้จ่าย	หุ่นยนต์	แรงงานคน
จำนวนคน (ต่อครั้ง)	2 คน	5 คน
เวลาที่ใช้ (ต่อครั้ง)	6 ชม.	5 วัน
ค่าจ้างแรงงานรวม 10 ครั้ง (1 ปี)	6,000 บาท	75,000 บาท
ค่าอุปกรณ์ทำความสะอาด (1 ปี)		30,000 บาท
ค่าบำรุงรักษา อะไหล่ (แปรง, ล้อ)	20,000 บาท	
รวมค่าใช้จ่าย (ต่อปี)	26,000 บาท	105,000 บาท

4.6 การทดสอบเบื้องต้น

4.6.1 การทดสอบแนวคิดและหลักการทำงาน

จากการออกแบบและการวิเคราะห์การทำงาน นำไปใช้การทดสอบจริงดังแสดงในรูปที่ 4.52 โดยการประกอบหุ่นยนต์จะสมบูรณ์ตั้งแต่ห้องปฏิบัติการ การ set up หุ่นยนต์จะใช้เวลาประมาณ 20 นาที ซึ่งรวมถึงขั้นตอนการต่อสายไฟเข้ากับไฟบ้านทั่วไป และการต่อสายเข้ากับหุ่นยนต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสิ่งอำนวยความสะดวกในแต่ละสถานที่ทดสอบ การยกและขนย้ายหุ่นยนต์สามารถใช้คนงานจำนวน 2 คน โดยผลการทำความสะอาดเบื้องต้น หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้บน Rooftop ที่มีความลาดชันประมาณ 15 องศาในทุกๆ ทิศทางการเคลื่อนที่ และความสะอาดของแผงสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ดังแสดงในรูปประกอบและวิดีโอ



รูปที่ 4.52 การทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์แบบ rooftop



รูปที่ 4.53 การทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์แบบ rooftop ความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นลง และด้านข้าง

ตารางที่ 4.9 สรุปผลการทดสอบหุ่นยนต์ทำความสะอาดประเภท Solar Rooftop

การทดสอบ	ผลการทดสอบ
การเคลื่อนที่แนวราบ	ความเร็ว 2 km/h
การเคลื่อนที่แบบพื้นเอียง 15 องศา	ความเร็ว 2 km/h
การทดสอบเคลื่อนที่แบบหิ้ง เอียง 15 องศา	สามารถเคลื่อนที่ซ้าย-ขวา ขึ้น-ลงได้
การทดสอบการเคลื่อนที่แบบเปียก เอียง 15 องศา	สามารถเคลื่อนที่ได้ปกติ ล้อผ้าเกาะแฉ่งโซลาร์ ได้ดีกว่าล้อแบบยางกันลื่น มี ลื่นไถลบ้างเล็กน้อย
การเลี้ยวกลับตัว	สามารถเลี้ยวได้ วงเลี้ยวรัศมี 0.6 เมตร
การทำงานของแปรง	ปัดรีดน้ำออกทางด้านข้างได้
การทดสอบความสะอาด	ทางกายภาพสามารถปัดสิ่งสกปรกออกได้
การทำงานของเซ็นเซอร์	(ระหว่างทดสอบ)
การทำงานของลิ้งอัตโนมัติ	(ระหว่างทดสอบ)

**ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานจริงของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบ
บนหลังคา เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคน**

งบประมาณของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบบนหลังคา มีผลต่อการตัดสินใจไปใช้
งานจริงของผู้ประกอบการ ซึ่งในตารางที่ 4.10 จะเป็นการแสดงต้นทุนงบประมาณในการสร้างหุ่นยนต์ทำความสะอาด
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบบนหลังคา รวมถึงการประเมินอายุการใช้งานซึ่งจะแสดงต่อไปในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 ต้นทุนงบประมาณในการสร้างหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบบนหลังคา

รายการ	ราคา	จำนวน	ราคารวม
ชุดแปรงทำความสะอาด	15,000 บาท	1	15,000 บาท
ชุดล้อขับเคลื่อน	10,000 บาท	4	40,000 บาท
ชุดโครงสร้างหลัก	10,000 บาท	1	10,000 บาท
ระบบควบคุม	10,000 บาท	1	10,000 บาท
ระบบไฟฟ้า	12,000 บาท	1	12,000 บาท
ราคาต้นทุนรวม			87,000 บาท
ราคาขายรวมกำไร 42%			150,000 บาท

ตารางที่ 4.11 การประเมินอายุการใช้งานของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบบนหลังคา

รายการ	อายุการใช้งาน	ค่าใช้จ่ายต่อปี
ชุดโครงสร้างหลัก	5 ปี	2,000 บาท
ชุดแปรงทำความสะอาด	1 ปี	10,000 บาท
สายน้ำ ,สายไฟ	1 ปี	1,000 บาท
ผ้าแห้งผ้าหุ้มล้อ	3 เดือน	4,000 บาท
อื่นๆ	1 ปี	2,000 บาท
		20,000 บาท

ในปัจจุบันผู้ประกอบการส่วนใหญ่ใช้แรงงานคนในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งสามารถเปรียบเทียบความคุ้มค่าได้ในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสำหรับการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบบนหลังคา ระหว่าง หุ่นยนต์ทำความสะอาดกับแรงงานคน ในพื้นที่ขนาด 1 เมกะวัตต์ หรือ 3,300 แผง (6,600 ตารางเมตร) จำนวน 10 ครั้งต่อปี

รายการ	หุ่นยนต์ทำความสะอาด	แรงงานคน
จำนวนคน (ต่อครั้ง)	2 คน	5 คน
เวลาทำงาน (ต่อครั้ง)	6 ชั่วโมง	5 วัน
ค่าแรง 10 ครั้ง (1 ปี)	6,000 บาท	75,000 บาท
ค่าอุปกรณ์ทำความสะอาด (1 ปี)	-	30,000 บาท
ค่าบำรุงรักษาหุ่นยนต์ (แปรง ,ล้อ)	20,000 บาท	-
ค่าใช้จ่ายรวม (1 ปี)	26,000 บาท	105,000 บาท

สรุปค่าใช้จ่ายสำหรับหุ่นยนต์เมื่อเทียบกับแรงงานคนจะสามารถประหยัดได้ปีละ 79,000 บาท และถ้าลงทุนซื้อหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบบนหลังคา ในราคา 150,000 บาท จะสามารถคุ้มทุนในเวลา 1 ปี 11 เดือน

4.7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในโครงการพัฒนาหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบบนหลังคา สามารถสรุปได้เป็น 8 ข้อหลัก คือ

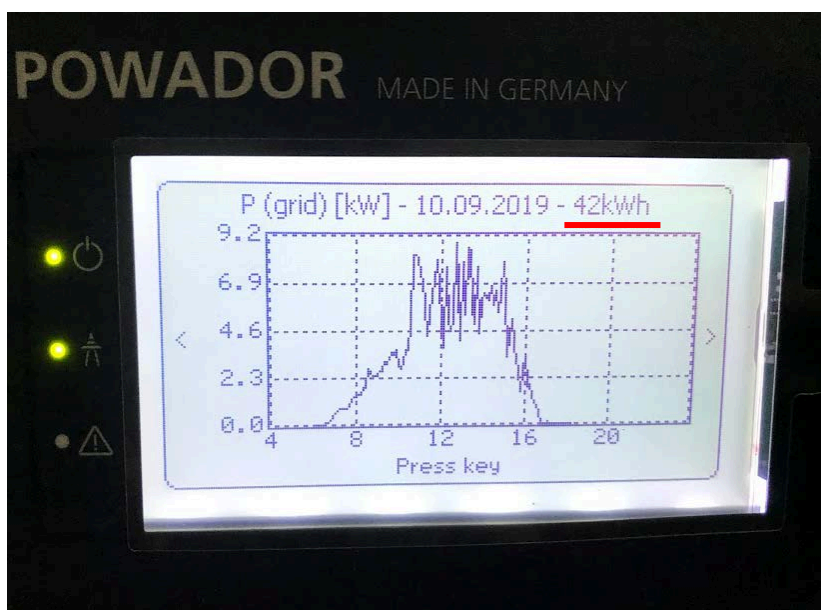
1. ผู้ประกอบการต้องการหุ่นยนต์ทำความสะอาดที่มีน้ำหนักไม่เกิน 50 กิโลกรัม มีขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 1.5 เมตร สูง 1.5 เมตร สามารถทนแสงแดดและน้ำได้ มีเซ็นเซอร์ป้องกันหุ่นยนต์ตกจากแผง และสามารถถอดประกอบได้
2. และเมื่อใช้ความต้องการของผู้ประกอบการเป็นหัวข้อหลักในการออกแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาด โดยหุ่นยนต์มีน้ำหนัก 47 กิโลกรัม มีความกว้าง 1,300 มิลลิเมตร ยาว 1,179 มิลลิเมตร สูง 236 มิลลิเมตร วัสดุเป็นสแตนเลสสตีล (SUS304) ที่สามารถทนแสงแดดและน้ำได้ มีเซ็นเซอร์ป้องกันหุ่นยนต์ตกจากแผงทั้งหมด 8 ตำแหน่ง และสามารถถอดประกอบได้ 7 ชิ้น มีการใช้น้ำในการทำความสะอาด ด้วยการลากสายยางไปกับหุ่นยนต์
3. โดยโครงสร้างทุกชิ้นผ่านการทดสอบด้วย SolidWorks Simulation Static Test ในโปรแกรม SolidWorks โดยออกแบบชิ้นส่วนไม่ให้ค่าความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นเกินค่าความครากของวัสดุ (Yield strength) จนวัสดุเสียรูปแบบถาวร
4. และใช้ชนแปรงเกลียวขวาและชนแปรงเกลียวซ้ายต่อกันและการให้ความเร็วของชนแปรงที่จุดสัมผัสมีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ จะได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำความสะอาด
5. มีผ้าแห้งผ้ามีความสามารถในการยืดเกาะกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพการทำงานแบบแห้ง แบบมีฝุ่น และแบบเปียก ได้มุมมองศาก่อนจะไกลมากที่สุด
6. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega เป็นตัวควบคุม มอเตอร์ที่ใช้เป็น DC มอเตอร์ ขนาด 120 วัตต์ ใช้กำลังไฟ 24 โวลต์ ทั้งหมด 4 ตัวสำหรับชุดขับเคลื่อน 4 ชุด มีระบบเซ็นเซอร์ป้องกันหุ่นยนต์ตกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถสั่งงานให้หุ่นยนต์เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา เปิดและปิดแปรงทำความสะอาด ผ่านรีโมทควบคุม
7. ซึ่งจากการทดสอบหุ่นยนต์ทำความสะอาดที่มีล้อหุ้มด้วยผ้าแห้งผ้าจะไต่แผงที่มีฝุ่นเกาะได้แย่ที่สุด และไต่ได้ดีที่สุดในสภาพการทำงานที่เปียก ซึ่งเหมาะกับการใช้น้ำในการทำความสะอาด
8. เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานทำความสะอาดด้วยแรงงานคนแล้วหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบบนหลังคา ในราคา 150,000 บาท จะสามารถคุ้มทุนในเวลา 1 ปี 11 เดือน

ในการทดสอบได้ทำการเปรียบเทียบความสะอาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งก่อนและหลังทำความสะอาด โดยใช้การประเมินผลด้วยสายตา พิจารณาจากฝุ่นที่เกาะอยู่บนแผงเซลล์ ผลเป็นที่น่าพอใจ การเคลื่อนที่ไม่การสะดุดสามารถเคลื่อนที่ได้ต่อเนื่อง โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักของตัวเครื่องได้ สามารถทำความสะอาดฝุ่นได้ดีตามภาพที่



รูปที่ 4.54 การทดสอบการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบบนหลังคา โดยใช้การประเมินผลด้วยสายตา

และเมื่อดูค่าพลังงานก่อนและหลังการทำความสะอาด จะเห็นได้ว่าก่อนทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 42 กิโลวัตต์ (kWh) ตามที่แสดงในภาพที่ 4.55 และหลังจากทำความสะอาดแล้วแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นจนเป็น 47 กิโลวัตต์ (kWh) ตามที่แสดงในภาพที่ 4.56



รูปที่ 4.55 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนทำความสะอาดผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 42 กิโลวัตต์ (kWh)



รูปที่ 4.56 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนทำความสะอาดผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 47 กิโลวัตต์ (kWh)

บริษัทที่ร่วมพัฒนาและทดสอบ



Fah Chai Engineering Co., Ltd.
1299,1301 Sutthisan Winitchai Road, Din
Daeng Sub-district, Din Daeng District,
Bangkok 10400 Thailand.



Enmax Holding (Thailand) Co., Ltd.
57/37 Moo 4 Ekachai Road, Kokkarm,
Muang, Samutsakorn 74000 Thailand
Tel : 099-950-8441



SSM Industry CO., LTD.
12/39 Moo 10, T.Klongkoi,
A.Pakkret,Nonthaburi 11120

รับชมวิดีโอสาริตการทดสอบเบื้องต้น

<https://youtu.be/4sMQWqW0cxQ>



บทที่ 5

สรุปแผนและผลการดำเนินงาน

สรุปแผนการดำเนินงานของโครงการลุล่วงไปด้วยดี และบรรลุเป้าหมายที่วางไว้ โดยสามารถสรุปเป็นตาราง ผลลัพธ์ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1. สรุปผลลัพธ์ของโครงการ

Output		ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%) ให้ท่านระบุสาเหตุ และการแก้ไขที่ท่านดำเนินการ
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ / หรือจากการปรับแผน	ผลสำเร็จ (%)	
1.1 การรวบรวมข้อมูลของระบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์ พลังงานแสงอาทิตย์ โดยทบทวนจากเอกสาร บทความงานวิจัย หรือรายงานการศึกษา	100%	-
1.2 การรวบรวมข้อมูลเทคโนโลยีการทำความสะอาดแผงเซลล์ แสงอาทิตย์	100%	-
1.3 รวบรวมและสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม และสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากฐานข้อมูลทางวิชาการและแหล่งอื่นๆ	100%	-
1.4 สรุปปัญหาและกำหนดขอบเขตของการออกแบบและสร้าง หุ่นยนต์ต้นแบบ	100%	-
2.1 ออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบ ออกแบบฟังก์ชันหลัก สั่งซื้ออุปกรณ์ ทำการทดลองสร้างฟังก์ชันหลักเพื่อพิสูจน์แนวคิดหลัก	100%	-
2.2 สร้างหุ่นยนต์ต้นแบบส่วนการเคลื่อนที่ การทำงานของ เซนเซอร์ การควบคุมการเคลื่อนที่	100%	
2.3 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบส่วน การเคลื่อนที่	100%	
3.1. วิเคราะห์และประเมินต้นทุนและความคุ้มค่าของหุ่นยนต์ ต้นแบบของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm	100%	
3.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง และประเมินประสิทธิภาพการทำงานของ หุ่นยนต์ต้นแบบทั้งระบบ	100%	
4.1 ปรับปรุงต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm	100%	
4.2 ทดสอบการใช้งานจริงของต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ในสถานที่จริง	100%	
4.3 สรุปผลการดำเนินโครงการ รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับต่อยอด การวิจัยและพัฒนาเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop	100%	

โดยรายละเอียดของงานที่ได้ดำเนินการและประสบผลสำเร็จได้แก่

1. การรวบรวมข้อมูล โดยทบทวนจากเอกสาร บทความงานวิจัย หรือรายงานการศึกษา

1.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ ชนิด/ประเภท ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ จากฐานข้อมูลต่างประเทศ หรือข้อมูลรายงานการศึกษาในประเทศไทย เช่น กรมควบคุมมลพิษ และกรม อุตสาหกรรมวิทยาเป็นต้น

1.2 รวบรวมข้อมูลงานวิจัย ผลงานวิชาการเกี่ยวกับหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.3 รวบรวมข้อมูลเทคโนโลยีหุ่นยนต์ภาคสนามหรือเครื่องจักรสำหรับการทำความสะอาดแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ ได้แก่ เทคนิคหรือเทคโนโลยีที่ใช้ ราคาเบื้องต้น ข้อจำกัดของแต่ละประเภท

2. การเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และภาคอุตสาหกรรม

2.1 ขอความร่วมมือจากผู้ประกอบการโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (PV plants or Solar Farms) หรือเจ้าของ ระบบที่ติดตั้งบนหลังคา (rooftop) เพื่อรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง การล้างแผงกับไม่ล้างแผง ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการล้างแผง พลังงานไฟฟ้าที่ได้เพิ่มขึ้นหลังจากล้างแผงเซลล์ใน แต่ละช่วงฤดูกาล เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์และการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผ่านมาของผู้ประกอบการ แต่ละราย รวมถึงความยินยอมของการให้ข้อมูลและเงื่อนไขการเผยแพร่ข้อมูลด้วย

2.2 ขอความร่วมมือจากบริษัทและอุตสาหกรรมการผลิตหุ่นยนต์สำหรับทำความสะอาดเซลล์แสงอาทิตย์ (PV plants or Solar Farms) หรือเจ้าของระบบที่ติดตั้งบนหลังคา (rooftop) เพื่อรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ราคา เทคโนโลยีที่เหมาะสม ความคุ้มค่า ขอบเขตและข้อกำหนด ข้อจำกัดในการพัฒนาของประเทศ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์และการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผ่านมาของผู้ประกอบการแต่ละราย รวมถึงความ ยินยอมของการให้ข้อมูลและเงื่อนไขการเผยแพร่ข้อมูลด้วย

3. สรุปแนวทางที่เป็นไปได้ที่เหมาะสมของเทคโนโลยีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

3.1 สรุปข้อเสนอการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสรุปวิธีที่เหมาะสมกับฝุ่นหรือคราบสกปรก แต่ละประเภท เช่น การทำความสะอาดแบบใช้น้ำ หรือใช้สารละลายอย่างอื่น รวมถึงเทคนิคการเคลือบ กระจกที่เริ่มมีผู้ผลิตบ้างแล้ว

3.2 ข้อเสนอความเป็นไปได้และความคุ้มค่าการลงทุน เช่น ต้นทุนเครื่องจักรกับผลตอบแทนการลงทุนของ โรงไฟฟ้า ความพร้อมและศักยภาพของอุตสาหกรรมในประเทศไทย และแนวทางการลงทุน ได้แก่ รัฐ ลงทุนเรื่องการพัฒนาต้นแบบหรือผู้ประกอบการเอกชนสามารถออกแบบสร้างได้เอง รวมถึงแนวทางของ อุตสาหกรรมเครื่องจักรทำความสะอาดแผงเซลล์ศักยภาพและโอกาสทางธุรกิจและการแข่งขันทางการตลาด ของการผลิตและจำหน่ายเครื่องจักร

4. การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ต้นแบบ

- 4.1 ออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบ ออกแบบฟังก์ชันหลักเข้าสั่งซื้ออุปกรณ์ ทำการทดลองสร้างฟังก์ชันหลักเพื่อพิสูจน์แนวคิดหลัก
- 4.2 สร้างหุ่นยนต์ต้นแบบส่วนการเคลื่อนที่ การทำงานของเซนเซอร์ การควบคุมการเคลื่อนที่
- 4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบส่วนการเคลื่อนที่
- 4.4 ทดสอบการใช้งานจริงของต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm ในสถานที่จริง
- 4.5 ปรับปรุงต้นแบบเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm

5. การวิเคราะห์และประเมินต้นทุนและความคุ้มค่าของหุ่นยนต์ต้นแบบของเครื่องทำความสะอาดแผง

Solar rooftop และ Solar farm

- 5.1 วิเคราะห์และประเมินต้นทุนและความคุ้มค่าของหุ่นยนต์ต้นแบบของเครื่องทำความสะอาดแผง Solar rooftop และ Solar farm
- 5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง และประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบทั้งระบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] รายงานสถานภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พ.ศ. 2557-2558, หน้า 13
- [2] Nattakarn Sakarapunthip, Dhirayut Chenvidhya, Surawut Chuangchote, Krissanapong Kirtikara, Tanokkorn Chenvidhya and Wandee Onreabroy, KMUTT, 2017, **Effects of dust accumulation and module cleaning on performance ratio of solar rooftop system and solar power plants**, Japanese Journal of Applied Physics 56
- [3] บุญเทียม เลี่ยมพระจันทร์, พงษ์ศักดิ์ ทามแก้ว, กฤติเดช บัวใหญ่ และกานท์ เกิดชื่น, 2017, การศึกษาเพื่อหาแนวทางปรับปรุงเพิ่มสมรรถนะระบบโซลาร์เซลล์ที่แผงมีความสกปรก, วารสารเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า EENET Journal Vol. 1, No.1 (1), Jan-Jun 2017
- [4] กระทรวงพลังงาน, 2542, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน, แผนที่ยกยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (2542)
- [5] คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์, กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
- [6] Nawaf Albaqawi, 2014, **Development of an automatic robotic cleaning system for photovoltaic plants.**
- [7] Sullivan, R. M. 2013, **SHADOW EFFECTS ON A SERIES-PARALLEL ARRAY OF SOLAR CELLS.**, from Nasa: http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19650020213_1965020213.pdf,
- [8] Hill, C., 2013., **The Effects of Temperature on Solar Panel Power Production.**
, from sfgate: <http://homeguides.sfgate.com/effectstemperature-solar-panel-power-production-79764.html>
- [9] Kasim, N. K., 2010, **New Technique for Treatment of the dust accumulation from PV solar panels surface.** Iraqi Journal of Physics, 2010.
- [10] Adinoyi, M. J., 2013, **Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules.**, from sciencedirect: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148113003078>
- [11] KÄRCHER iSolar ระบบทำความสะอาดสำหรับแผงโซลาร์เซลล์, 2018,
<https://www.kaercher.com/th/professional/high-pressure-cleaners/isolar.html>
- [12] GEKKO Solar Farm Roboter, 2018, <https://serbot.ch/en/solar-panels-cleaning/gekko-solar-farm-robot>
- [13] Washpanel, 2018, <http://www.washpanel.com/en/documenti.php>
- [14] Miraikikai, 2018, **Lightweight Solar Panel Cleaning Robots,**
<https://www.jetro.go.jp/en/mjcompany/miraikikai.html>
- [15] NOMADD, 2018, **The NO-water Mechanical Automated Dusting Device.**,
<http://www.nomaddesertsolar.com/>
- [16] ecoppia, 2018, <http://www.ecoppia.com/technology/>
- [17] ลัทธวิทย์ อวรพรส่ง และณัฐพร สีดา, อุปกรณ์ล้างแผงโซลาร์เซลล์, วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี,
<http://www.thaiinvention.net/detail.php?p=cHJvamVjdF9pZD0xNTAxNyZjZmdfaWQ9MjQmY29tcGV0X2lkPTI=>

[18] MARK ANDERSON, ASHTON GRANDY, JEREMY HASTIE, ANDREW SWEEZEY, RICHARD RANKY, CONSTANTINOS MAVROIDIS, 2014, **ROBOTIC DEVICE FOR CLEANING PHOTOVOLTAIC PANEL ARRAYS.**

[19] Matt Burke, Ryan Greenough, Daniel Jensen, Elliot Voss, 2016, **Solar Panel Automated Cleaning Environment.**