



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการศึกษาศักยภาพและแนวทางการส่งเสริม
การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมในประเทศไทย

Waste Heat Recovery potential and promotion scheme

For Thai building and industry

โดย รศ.ดร.อภิชาติ เท็ดโยธิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ทราบศักยภาพและความคุ้มค่าในการประหยัดพลังงานจากการนำความร้อนกลับมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมและอาคารของประเทศไทย เทคโนโลยีและมาตรการนำความร้อนกลับมาใช้ที่น่าสนใจ ปัญหาอุปสรรคในการนำความร้อนกลับมาใช้ และจัดทำแผนงานส่งเสริมสถานประกอบการให้ดำเนินการปรับปรุง คณะผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ โดยการเข้าสำรวจและส่งแบบสอบถาม รวม 161 โรงงาน จากการประเมินความร้อนทิ้งที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก พบว่าอุตสาหกรรมของไทยมีศักยภาพรวม 1042 ktoe คิดเป็นร้อยละ 2.5 ของการใช้เชื้อเพลิงของภาคอุตสาหกรรม เมื่อแบ่งออกเป็นภาคการผลิตไฟฟ้าจะมีศักยภาพ 330.14 ktoe หรือร้อยละ 1.1 ของการใช้เชื้อเพลิงรวมของภาคผลิตไฟฟ้า และกลุ่มอุตสาหกรรมอื่น 711.79 ktoe หรือร้อยละ 6.1 ของการใช้เชื้อเพลิงรวมของกลุ่ม โดยกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สูง ได้แก่ การผลิตไฟฟ้า อุตสาหกรรมซีเมนต์ แก้ว กระจก กระดาษ เหล็ก และปิโตรเคมี ตามลำดับ คณะผู้วิจัยได้จัดสัมมนาผู้ประกอบการ เพื่อสรุปปัญหาอุปสรรค และจัดทำแผนการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับภาคอุตสาหกรรมทั้งหมด ระยะเวลา 5 ปี มีเป้าหมายการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ให้ได้ร้อยละ 50 ของศักยภาพปัจจุบัน หรือประมาณ 500 ktoe ต่อปี คิดเป็นมูลค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดประมาณ 5,700 ล้านบาท

คำสำคัญ ความร้อนทิ้ง Waste heat recovery

ABSTRACT

The objectives of this study are to evaluate Waste heat recovery potentials in Thai industry and to study Waste Heat Recovery Technology as well as barriers of business owners to invest in the improvement projects. Then develop a master plan to promote waste heat recovery in Thai industry. The study uses plant survey and questionnaire to collect data from 161 factories. The study estimate that Thai industry has a potentials to recover waste heat about 1042 ktoe or 2.5% of total fuel use. 330.14 ktoe came from Power Plant which is 1.1% of its consumption and 711.79 ktoe from other manufacturing industry which is 6.1% of its consumption. Potentials subsectors are Power plants, Cement ,Glass ,Pulp and paper, Steel and Petrochemical. The research has summarized business barriers and obstacles from workshops and field data , and develop a 5-year promotion plan to promote waste heat recovery up to 50% of present potentials or approximately 500 ktoe per year equivalent to 5,700 Million Bath ,fuel cost saving

KEY WORDS: Waste heat Recovery

บทสรุปผู้บริหาร

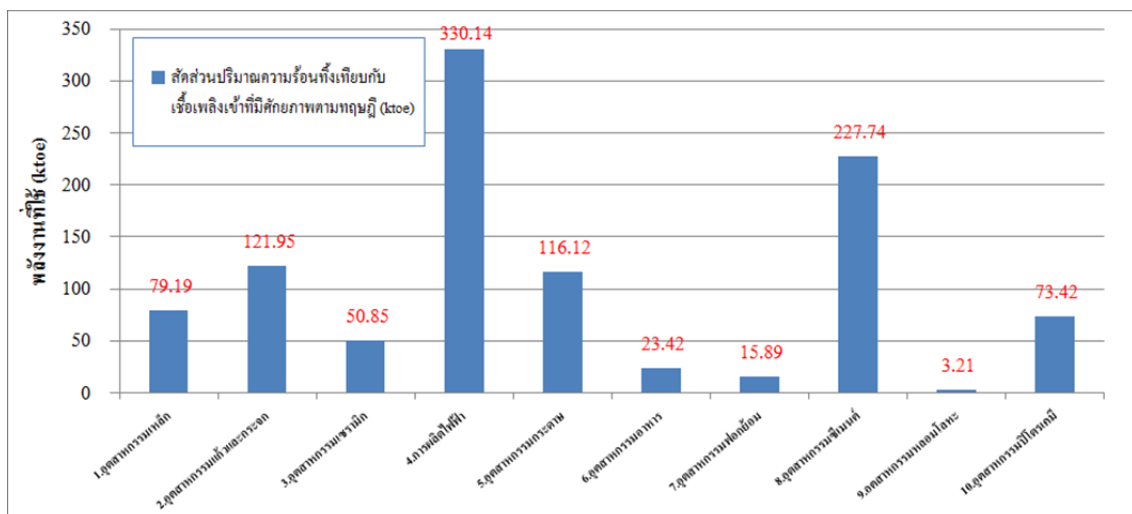
ศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ของประเทศไทย

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ทราบศักยภาพและความคุ้มค่าในการประหยัดพลังงานจากการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมและอาคารของประเทศไทย เทคโนโลยีและมาตรการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่น่าสนใจ และปัญหาอุปสรรคในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ และจัดทำแผนงานส่งเสริมสถานประกอบการให้ดำเนินการปรับปรุง

การดำเนินงาน คณะผู้วิจัยได้เข้าสัมภาษณ์สมาคมผู้ประกอบการ 5 แห่ง และสำรวจโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ของไทยรวม 48 แห่ง และเก็บข้อมูลความร้อนทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 117 แห่ง โดยใช้แบบสอบถาม และได้เข้าสัมภาษณ์ผู้ผลิตจำหน่ายเทคโนโลยี 6 แห่ง ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาด้านต่างๆ ได้ดังนี้

ศักยภาพ

จากการวิเคราะห์ข้อมูล ความร้อนทิ้งที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ พบว่ามีศักยภาพรวม (Primary Energy) 1042 ktoe คิดเป็นร้อยละ 2.5 ของการใช้เชื้อเพลิงของภาคอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพ และเมื่อแบ่งออกเป็นภาคการผลิตไฟฟ้าจะมีศักยภาพ 330.14 ktoe หรือร้อยละ 1.1 และกลุ่มอุตสาหกรรมอื่น 711.79 ktoe หรือร้อยละ 6.1 โดยศักยภาพในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม ดังแสดงในกราฟ ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ศักยภาพรายกลุ่มอุตสาหกรรม

โดยกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สูง ได้แก่ การผลิตไฟฟ้า อุตสาหกรรมซีเมนต์ แก้ว และกระดาษ กระดาษ เหล็ก และปิโตรเคมี ตามลำดับ การศึกษาพบว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความร้อนทิ้ง คือ เทคโนโลยีการผลิตที่ใช้ และสัมพันธ์กับขนาดโรงงาน เช่น โรงงานขนาดเล็ก เทคโนโลยีการผลิตมักเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ความร้อนทิ้งมีสัดส่วนสูง เป็นต้น

เทคโนโลยี

สำหรับเทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อาจแบ่งได้ 6 เทคโนโลยี หรือวิธีการ ได้แก่

1. การลดปริมาณความร้อนทิ้ง เช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้
2. การใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
3. การนำความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำกลับมาใช้ เช่น การใช้ฮีตปั๊ม
4. การใช้ความร้อนทิ้งในอากาศ เช่น ระบบปรับอากาศแบบดูดซึม
5. การผลิตไฟฟ้า เช่น การใช้วัฏจักร ORC
6. การอุ่นวัตถุดิบ (Load Preheating)

การวิเคราะห์ความคุ้มค่า

คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความคุ้มค่าของมาตรการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ 10 มาตรการ และแปรค่าปัจจัยที่มีผล เช่น ชนิด และราคาเชื้อเพลิง ราคาอุปกรณ์ ระดับอุณหภูมิที่ปล่อยทิ้ง พบว่า มาตรการส่วนใหญ่จะคืนทุนเร็ว ตัวแปรหลักที่มีผลต่อระยะเวลาคืนทุน คือ ราคาอุปกรณ์ และระดับอุณหภูมิที่ปล่อยทิ้ง

ปัญหาและอุปสรรคของการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

ในการศึกษา ได้สอบถามผู้ประกอบการถึงปัญหาอุปสรรคในการปรับปรุงการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ พบว่า มีปัญหาอุปสรรคสรุปได้ดังนี้

- ผู้ประกอบการขาดความเชื่อมั่นในการปรับปรุง
- ผู้ประกอบการขาดความรู้และเทคโนโลยีในการปรับปรุง
- ผลตอบแทนการลงทุนไม่คุ้มค่า
- ผู้ประกอบการขาดเงินลงทุน
- กฎระเบียบไม่คุ้มค่าให้เกิดการลงทุน

แผนการส่งเสริม

เพื่อส่งเสริมให้เกิดการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อย่างแพร่หลายยิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยเสนอแผนงานส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งที่มีอยู่นำกลับมาใช้ ให้ได้ร้อยละ 50 ของศักยภาพปัจจุบัน ซึ่งเท่ากับ 500 ktoe ในระยะเวลา 5 ปี แผนส่งเสริมดังกล่าวมียุทธศาสตร์ ใน 5 ด้าน ดังนี้

1. สร้างความเชื่อมั่นในมาตรการ เช่น จัดทำโครงการสาธิตในบางอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี การส่งเสริม ESCO การจัดสัมมนาผู้จำหน่าย ผู้ใช้ เป็นต้น
2. พัฒนาและเผยแพร่ความรู้ จัดทำเครื่องมือในการวิเคราะห์ ข้อมูลความรู้ เผยแพร่สู่ผู้ประกอบการ ผ่านเครือข่ายของภาคอุตสาหกรรม หอการค้า ฯลฯ
3. กำหนดมาตรฐานและปรับปรุงกฎระเบียบ จัดทำมาตรฐานบังคับสำหรับโรงงานใหม่ และมาตรฐานแนะนำสำหรับโรงงานเก่า การผลักดันให้มีการรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากความร้อนทิ้ง ฯลฯ
4. สนับสนุนส่งเสริมเงินลงทุน ตามเงินลงทุน หรือ ผลประหยัด ในบางเทคโนโลยี ที่มีศักยภาพ

5. ติดตามและประเมินผล โดยการกำหนดผู้รับผิดชอบ การเข้าไปส่งเสริม เป็นรายโรงงาน การบูรณาการรายงานข้อมูล เพื่อให้สามารถติดตามความร้อนทิ้งของประเทศได้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย ยังคงมีความร้อนทิ้งที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์อยู่จำนวนมาก เช่น โรงงานอุตสาหกรรมประเภทกระจกและหล่อโลหะ ที่มีเตาหลอม ซึ่งปล่อยไอเสียอุณหภูมิสูง ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำความร้อนทิ้งเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์บ้าง แต่ยังคงขาดการศึกษาศักยภาพในภาพรวม และเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ได้อย่างคุ้มค่า ทำให้ยังมีการใช้ไม่แพร่หลายเท่าที่ควร

ดังนั้นสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จึงได้สนับสนุนให้มีการวิจัยเกี่ยวกับศักยภาพและแนวทางการส่งเสริม การนำความร้อนทิ้งมาใช้ในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยมอบหมายให้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) เป็นผู้ดำเนินการวิจัยในเรื่องดังกล่าวมีระยะเวลาดำเนินงาน 1 ปี

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อให้ทราบศักยภาพและความคุ้มค่าในการประหยัดพลังงานจากการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมและอาคารของประเทศไทย

1.2.2 เพื่อให้ทราบปัญหาอุปสรรคในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ และแผนงานส่งเสริมสถานประกอบการให้ดำเนินการปรับปรุง

1.2.3 เพื่อให้ทราบเทคโนโลยีและมาตรการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่น่าสนใจ ทั้งที่ใช้กันแล้วในเชิงพาณิชย์และมีความเป็นไปได้ในอนาคต

1.3 เป้าหมายของงานวิจัย

1.3.1 ได้ผลการศึกษาและสำรวจความร้อนทิ้งในภาคอาคารและภาคอุตสาหกรรม ที่ละเอียดและเชื่อถือได้ ในการกำหนดนโยบาย

1.3.2 ได้แผนงานส่งเสริมที่สอดคล้องกับปัญหา อุปสรรคของสถานประกอบการซึ่งหน่วยงานด้านนโยบายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

1.3.3 ได้คู่มือในการประเมินศักยภาพและความคุ้มค่า สำหรับสถานประกอบการในการประเมินตนเอง

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย

1.4.1 หน่วยงานที่รับผิดชอบได้ทราบศักยภาพในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม และอาคารธุรกิจของไทย

1.4.2 หน่วยงานที่รับผิดชอบได้ทราบ ปัญหาอุปสรรค และแผนงานส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

1.4.3 ผู้ประกอบการได้ทราบมาตรการและเทคโนโลยีที่เหมาะสมในแต่ละอุตสาหกรรม

1.4.4 เกิดผลการประหยัดพลังงาน หากมีการส่งเสริมตามแผนงาน

1.4.5 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ได้แผนงานส่งเสริมการวิจัยเพื่อนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ศึกษาทบทวนแนวทางในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในต่างประเทศ ในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม

1.5.2 จัดตั้งคณะกรรมการด้านวิชาการจากหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง ผู้ประกอบการ และสมาคม

1.5.3 การสำรวจข้อมูลภาคสนามประกอบด้วย

1.5.3.1 จัดกลุ่มประเภทอุตสาหกรรมและอาคารที่มีศักยภาพ ออกเป็นกลุ่มย่อยและคัดเลือกประเภท (sector) ที่มีศักยภาพสูงในแต่ละกลุ่มให้เลือก 10 กลุ่ม

1.5.3.2 คัดเลือกโรงงาน/อาคาร ตัวอย่างเข้าสำรวจข้อมูลความร้อนทิ้งที่มีในสถานประกอบการ และความเห็นของสถานประกอบการ รวม 30 สถานประกอบการ

1.5.3.3 เข้าสัมภาษณ์สภาอุตสาหกรรม สมาคมอุตสาหกรรม เพื่อให้ทราบภาพรวมของการนำเทคโนโลยีนำความร้อนทิ้งมาใช้ในการกลุ่มอุตสาหกรรมนั้นๆ

1.5.3.4 เข้าสัมภาษณ์บริษัทที่จำหน่ายเทคโนโลยี เพื่อให้ทราบถึงขนาดการลงทุน และประเมินความคุ้มค่าของการปรับปรุง

1.5.3.5 เสนอทางเลือกของเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม และวิเคราะห์ความคุ้มค่าเปรียบเทียบระหว่างทางเลือกต่างๆ

1.5.3.6 ส่งแบบสอบถามจำนวน 500 สถานประกอบการ เพื่อประเมินสถานะปัจจุบันของการใช้ความร้อนทิ้ง

1.5.4 การประเมินศักยภาพ ประกอบด้วย

1.5.4.1 การกำหนดตัวชี้วัดความร้อนทิ้งที่มีอยู่ในแต่ละอุตสาหกรรม เปรียบเทียบกับความเป็นไปได้ที่จะนำกลับมาใช้ในทางทฤษฎี หรือข้อมูลต่างประเทศ

1.5.4.2 ประเมินศักยภาพในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ทุกส่วน

1.5.4.3 วิเคราะห์ปัญหาอุปสรรค และจัดประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) กับผู้ประกอบการ

1.5.5 จัดทำแผนงานส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่ครอบคลุมทุกองค์ประกอบ ทั้งด้านเทคโนโลยี และนโยบาย

1.5.6 การนำไปขยายผล ที่ปรึกษาจะจัดประชุมวิชาการระหว่างการศึกษา เพื่อรับทราบผลการศึกษาและให้ข้อเสนอแนะ และเมื่อผลการศึกษาแล้วเสร็จก็จะจัดประชุมนำเสนอต่อคณะกรรมการและหน่วยงาน ผู้เกี่ยวข้อง และส่งมอบให้หน่วยงานที่รับผิดชอบ/โรงงานที่เข้าร่วมเพื่อนำไปใช้ต่อไป

1.6 ระยะเวลาดำเนินงาน

15 พฤษภาคม 2557 – 14 พฤษภาคม 2558 และขยายเวลาการศึกษาไปอีก 3 เดือน สิ้นสุดในวันที่ 4 สิงหาคม 2558

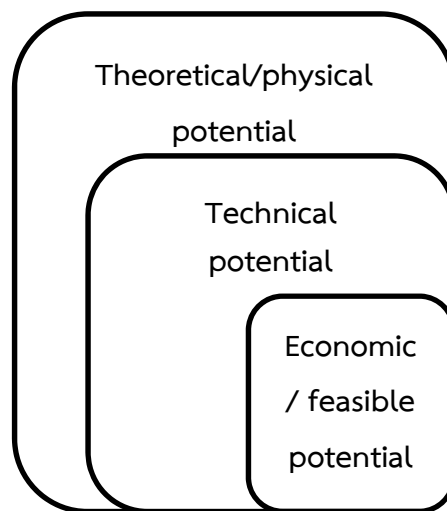
บทที่ 2

การศึกษาศักยภาพและนโยบายส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งมาใช้ในต่างประเทศ

ในบทนี้คณะวิจัยได้ศึกษาบทวนการศึกษาในลักษณะเดียวกันที่ดำเนินการในต่างประเทศ ทั้งในด้านศักยภาพและด้านการดำเนินการส่งเสริมดังนี้

2.1 การศึกษาศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

ในการประเมินศักยภาพความร้อนทิ้งมักจะมองใน 3 ด้าน คือ ศักยภาพเชิงทฤษฎี ศักยภาพด้านเทคนิค และ ศักยภาพทางด้านเศรษฐศาสตร์ การประเมินศักยภาพเชิงทฤษฎีนั้นต้องพิจารณาข้อจำกัดทางกายภาพ เช่น พิจารณาเฉพาะความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมที่อยู่ในตัวกลาง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาเช่น การแผ่รังสีนั้นจะไม่นำมาพิจารณา เป็นต้น สำหรับการประเมินศักยภาพทางด้านเทคนิคพิจารณาจากเทคโนโลยีที่ใช้ ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีก็จะมีข้อจำกัดแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิต่ำสุดที่จะทำให้ระบบทำงานได้และอื่นๆ สุดท้ายการประเมินศักยภาพทางด้านเศรษฐศาสตร์จะแสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้น มักจะใช้ตัวแปรทางการเงินในการแสดงผล เช่น ราคาพลังงาน อัตราดอกเบี้ย และระยะเวลาคืนทุน เป็นต้น



รูปที่ 2-1 ประเภทศักยภาพ

วิธีการประเมินศักยภาพ [1]

การจำแนกวิธีการมีเกณฑ์การพิจารณาแยกเป็น 3 ส่วน คือ ขนาดการศึกษา วิธีการรวบรวมข้อมูล (เช่น การสำรวจ หรือ การประมาณการณ์) และวิธีการดำเนินการ

1. ขนาดการศึกษา

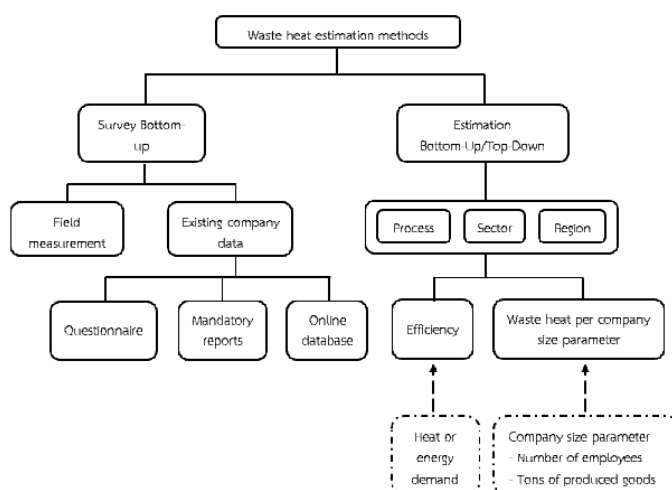
ขนาดการศึกษาแบ่งออกหลายระดับ เช่น ระดับท้องถิ่น ระดับเมือง, ระดับ หรือระดับประเทศ

2. วิธีการรวบรวมข้อมูล

แนวทางในการรวบรวมข้อมูลโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง คือ ข้อมูลประมาณการณ์หรือข้อมูลสำรวจ ข้อมูลสำรวจนั้นอาจจะวัดหรือเก็บข้อมูลผ่านแบบสอบถาม รายงานทางการหรือฐานข้อมูลออนไลน์ สำหรับการประมาณการณ์ทั้งประเมินจากพลังงานที่ใช้รวม ร่วมกับค่าประสิทธิภาพ หรือ ประเมินจากการใช้พลังงานต่อกิจกรรม ต่อตันการผลิต

3. วิธีการดำเนินการ

วิธีการดำเนินการมี 2 วิธี คือ รูปแบบการดำเนินการแบบบนลงล่าง (Top-down method) และรูปแบบการดำเนินการแบบล่างขึ้นบน (Bottom-up method) วิธีการล่างขึ้นบนจะพิจารณาจากข้อมูลกรณีศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างไปสู่ขอสรุปสำหรับข้อมูลทั่วไป ซึ่งจะต้องใช้การสำรวจกลุ่มตัวอย่าง ขณะที่วิธีการบนลงล่าง จะใช้ข้อมูลมหภาค เช่นการใช้พลังงาน หรือ การผลิตรวม และข้อมูลประสิทธิภาพ หรือ การสูญเสียจาก ผู้เชี่ยวชาญ หรือ การสำรวจกลุ่มตัวอย่าง อาจศึกษาในต่างประเทศมีทั้งสองประเภท ขึ้นกับขนาดของการศึกษา การสำรวจข้อมูลจะใช้วิธีการล่างขึ้นบนเสมอ การประมาณการณ์สามารถใช้ได้ทั้งวิธีการล่างขึ้นบน และวิธีบนลงล่างทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดการศึกษา หรืออาจใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันดังตารางที่ 2-1



รูปที่ 2-2 ประเภทวิธีการดำเนินการ

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบวิธีการศึกษา [1]

Approach	Region and scope of study	Year of publication
----------	---------------------------	---------------------

Approach		Region and scope of study	Year of publication
Bottom-up survey	Questionnaire	Norway, 4 waste incineration plants and 72 companies	2009
	Mandatory reports	Basque country (Spain), 260 companies from 10 industrial sectors	1997
		Basque country (Spain), 290 companies from 10 industrial sectors	1998
	Online waste heat platforms	Thuringia (Germany)	2013
		Bavaria (Germany)	2011
		Saxony (Germany)	2011
		Netherlands	2009
	Estimations	Us, 15 manufacturing sectors plus mining	2004
		US	1994
		Baden-Württemberg (Germany), based on 4 investigated towns	2008
		Baden-Württemberg (Germany), estimations for different sectors based on case studies and aggregated to region	2012
		UK, 60% energy use from industry and 90% energy intensive sectors	2009, 2010
		UK, preceeding work for studies	2001
		UK, 425 sites from the manufacturing sector	2012
	Top-down estimation	Germany, estimation based on energy factors form different studies	2010
		UK, process industry based on figures derived for the US	2012
		Europe, 32 states investigated using key figures derived in Sweden	2006
		Germany, expert estimation for German Industry	2001
	Combined top-down and bottom-up	North Rhine-Westphalia(Germany), key figures based on Duisburg, extrapolated to region	2002
		Sweden, 994 companies in 80 different communities investigated for key figures, than extrapolated to Sweden	2002, 2009

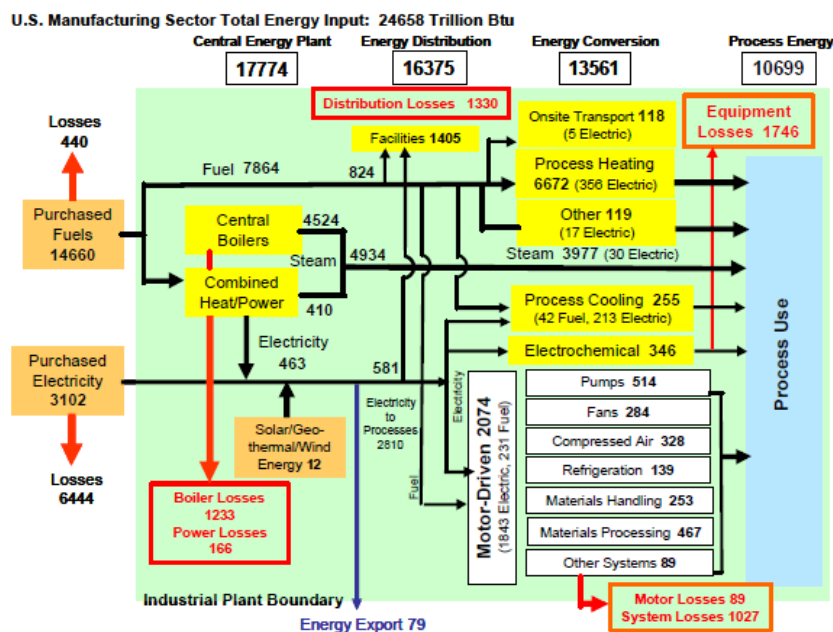
การศึกษาศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในสหรัฐอเมริกา

สหรัฐอเมริกามีการศึกษาศักยภาพของการนำความร้อนทิ้งระดับประเทศ ตั้งแต่ ปี 1982 โดย Environmental Protection Agency (EPA) ซึ่งวิเคราะห์จากข้อมูลก๊าซไอเสียอย่างเดียว

ต่อมาในปี 2004 โครงการ เทคโนโลยีภาคอุตสาหกรรม กระทรวงพลังงาน(DOE-ITP) ได้มอบให้บริษัท Energetics Inc. ทำการศึกษา Energy Use loss and Opportunities US

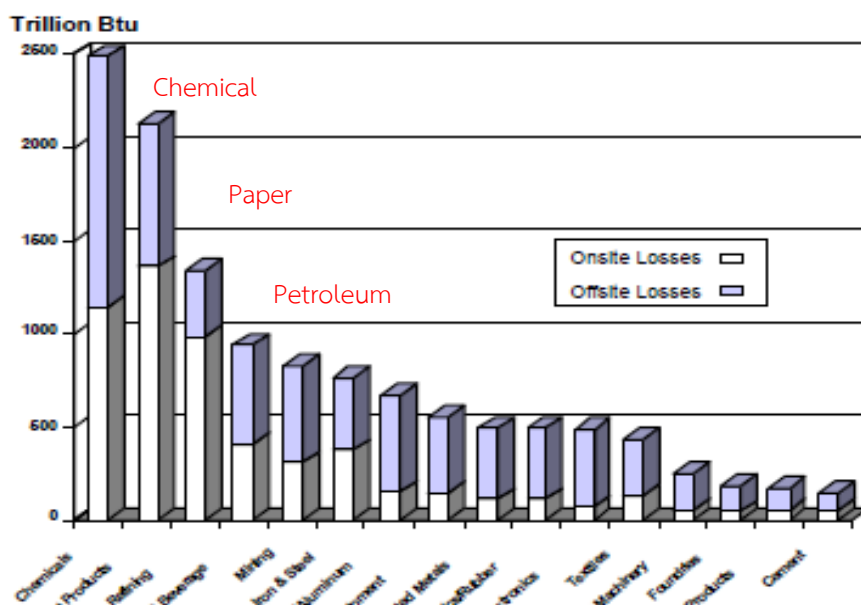
Manufacturing & Mining การศึกษาครอบคลุมการใช้พลังงานร้อยละ 80 ของทั้งหมด โดยนำข้อมูลการใช้พลังงานจากฐานข้อมูล MECS และจัดทำ Energy Footprint ซึ่งเป็นลักษณะการใช้พลังงานทั่วไปของแต่ละประเภทอุตสาหกรรม ตั้งแต่การรับ/ผลิตพลังงาน การจ่ายพลังงานจนถึงกระบวนการผลิต และจัดลำดับกลุ่มที่มีการใช้พลังงานสูงทำการศึกษารายละเอียด 6 กลุ่ม ได้แก่ [2]

- อุตสาหกรรมเคมี
- อุตสาหกรรมปิโตรเคมี
- อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม
- อุตสาหกรรมซีเมนต์
- อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากป่าไม้
- อุตสาหกรรมโลหะและเหล็ก
- อุตสาหกรรมเหมืองแร่



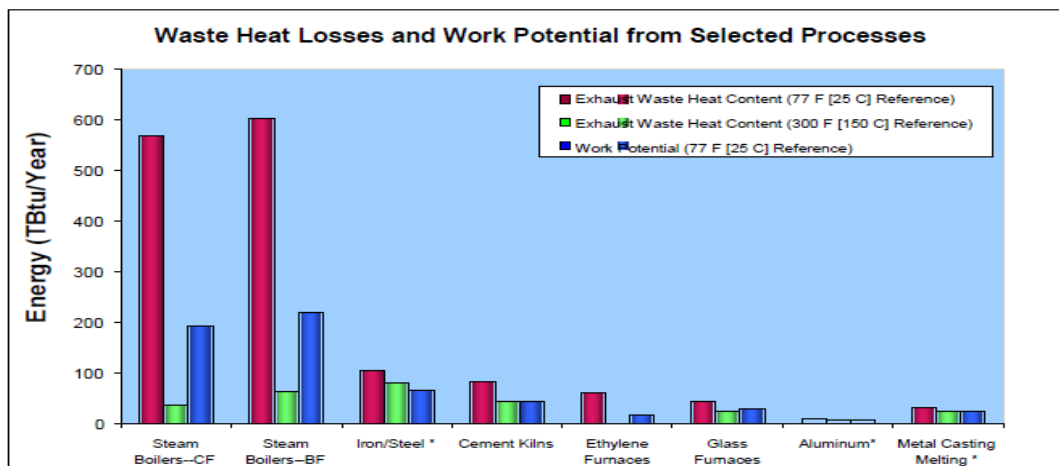
รูปที่ 2-3 Energy Footprint [2]

จากการศึกษาพบว่าภาคอุตสาหกรรมของสหรัฐอเมริกามีการสูญเสียพลังงานประมาณร้อยละสูญเสีย 13-18% และมีศักยภาพนำกลับมาใช้และไม่ความคุ้มค่า 1.4 quadrillion Btu หรือคิดเป็นร้อยละ 9 ของการใช้พลังงาน



รูปที่ 2-4 การสูญเสียพลังงานของอุตสาหกรรมต่างๆ ในสหรัฐอเมริกา [2]

ในปี 2008 กระทรวงพลังงาน ของสหรัฐอเมริกาได้ทำการศึกษาศักยภาพของความร้อนทิ้ง ใน อุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานสูง 7 ประเภท **Waste Heat Recovery – Technology and Opportunities in US industry** ดำเนินการโดยบริษัท โดย **BCS Inc.** การศึกษาใช้วิธี ล่างขึ้นบน และประเมินจากประสิทธิภาพคาร์โนต์ พบว่าอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูง ใช้พลังงานถึง 8,400 TBtu/ปี และยังสามารถนำกลับมาได้ 1,500 TBtu/ปี [3]

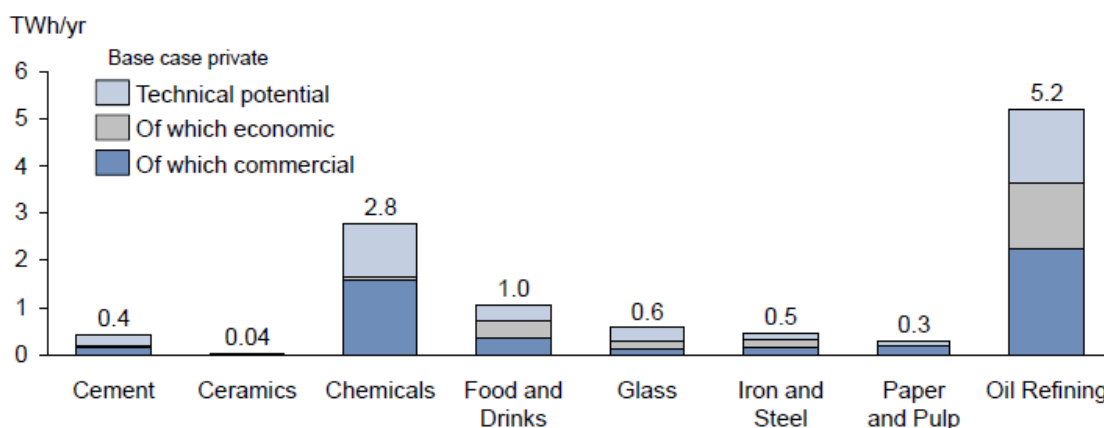


รูปที่ 2-5 ความร้อนทิ้ง และศักยภาพของอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานสูง การศึกษาศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในประเทศอังกฤษ [4]

ในประเทศอังกฤษ ก็ได้มีการศึกษาศักยภาพของความร้อนทิ้ง โดยในปี 2008 Carbon Trust ได้ประเมินศักยภาพของความร้อนทิ้งที่ 40 TWh/ปี และมีการศึกษาทบทวนในปี 2010 โดย Bath University, McKenna and Norman ซึ่งประเมินความร้อนทิ้งที่ 10-20 TWh/ปี ล่าสุดในปี 2014 Department of Energy and Climate Change (DECC) ได้ทำการศึกษาเรื่อง **The potential for recovering and using surplus heat from industry** โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากฐานข้อมูล (EU ETS, DUKES) 71 โรงงาน แยกพิจารณาเป็นแหล่งกำเนิด (Source) และแหล่งรับความร้อน (Sink) และจับคู่ความร้อนทิ้งทั้ง 2 แหล่งและประเมินศักยภาพเป็น 3 ระดับ ได้แก่

- ทางเทคนิค (Technical Potential)
- ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Potential)
- เชิงพาณิชย์ (Commercial Potential)

ผลการศึกษาในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม แสดงในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 ศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ของประเทศอังกฤษ

2.2 การศึกษานโยบายการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

อีกมิติหนึ่งที่น่าสนใจ นอกเหนือจากศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ คือ นโยบายมาตรการต่างๆ ที่มีใช้ และความร่วมมือกันทั้งองค์กรของภาครัฐและเอกชน ในการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ในที่นี้ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาตัวอย่างใน 3 กลุ่มประเทศ คือ สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป (เยอรมัน) และเอเชีย (จีน)

2.2.1 สหรัฐอเมริกา

สถานการณ์การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 2009 ภาคอุตสาหกรรมมีส่วนการใช้พลังงานมากที่สุดคิดเป็นสัดส่วนมากกว่า 28×10^5 บีทียู หรือร้อยละ 30 ของพลังงานทั้งหมดที่บริโภคในประเทศ และประมาณหนึ่งในสามของพลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมถูกปล่อยออกมาเป็นความร้อนทิ้งซึ่งส่วนใหญ่นั้นเป็นพลังงานที่มีคุณภาพต่ำ (เช่น ที่มีอยู่ในน้ำเสียที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 150°C หรือการสูญเสียความร้อนการแผ่รังสีที่ผิว) และพลังงานเหล่านี้นักไม่นำไปใช้ประโยชน์

การนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ของภาคอุตสาหกรรมในสหรัฐอเมริกาเป็นการใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่ ความร้อนทิ้งที่มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์อยู่ในอุณหภูมิระยะกลางถึงสูง (มากกว่า 260°C) ปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งในภาคอุตสาหกรรมอยู่ในช่วงของ $0.6-0.8 \times 10^5$ บีทียู หรือ 6,000 ถึง 8,000 เมกะวัตต์ของกำลังการผลิตไฟฟ้า และนอกจากนี้ยังมีความร้อนทิ้งส่วนที่นอกเหนือจากภาคอุตสาหกรรม เช่น ไอเสียจากแรงอัดขับเคลื่อนในท่อส่งก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 2,000 เมกะวัตต์ของพลังงานกำลังการผลิต โดยกำลังการผลิตรวมทั้งหมดจะอยู่ในช่วง 7 ถึง 10 จิกะวัตต์ [5]

เมื่อเปรียบเทียบพลังงานความร้อนทิ้งในกลุ่มอุตสาหกรรมของสหรัฐอเมริกาจากทั้งหมด 16 อุตสาหกรรมพบว่าปริมาณการใช้พลังงานกว่า 80% ของพลังงานในการผลิตทั้งหมดอยู่ที่ 5 อุตสาหกรรมหลัก ได้แก่ การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เคมีภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์จากป่าไม้ เหล็กและเหล็กกล้า และอาหารและเครื่องดื่ม ซึ่งคิดเป็นพลังงานสูญเสียในอุตสาหกรรมเหล่านี้ประมาณ 15% ของพลังงานใช้งานโดยภาคอุตสาหกรรมทั้งหมด

การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งในสหรัฐอเมริกา แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Combined Heat And Power Generation หรือ CHP) และเทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Waste heat recovery to power หรือ WHP) แบ่งเป็น 3 เทคโนโลยี ได้แก่ ระบบ Steam Rankine Cycle (SRC) อุณหภูมิที่ใช้สูงกว่า 430°C , Organic Rankine Cycles (ORC), และ Kalina Cycle ซึ่งเทคโนโลยี 2 ชนิดนี้สามารถใช้กับความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำกว่า 150°C ได้

ในปี ค.ศ. 2012 ในสหรัฐอเมริกา มีโครงการ WHP อยู่ทั้งสิ้น 34 แห่ง รวมกำลังการผลิตไฟฟ้าเป็น 557 เมกะวัตต์ อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ที่มีระบบ WHP มักใช้กับระบบกังหันไอน้ำ ใช้ความร้อนทิ้งที่อุณหภูมิมากกว่า 260°C ดังในตารางที่ 2-2 [5]

ตารางที่ 2-2 ตัวอย่างการผลิตไฟฟ้าจากการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในสหรัฐอเมริกาด้วยระบบ WHP แยกตามอุตสาหกรรม [5]

อุตสาหกรรม	โรงงาน	กำลังการผลิต (MW)
เคมี	12	224
การกลั่นปิโตรเคมี	5	131
อลูมิเนียม	2	10
โลหะพื้นฐาน	2	127
การฝังกลบ	1	<1
สถานีท่อส่งก๊าซธรรมชาติ	12	65
รวมทั้งหมด	34	557

Source: CHP Installation Database, DOE/ORNL, 2012

ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาและอุปสรรคที่พบทั่วไปในประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ด้าน คือ ทางเทคนิค ทางธุรกิจ และทางกฎหมาย ดังนี้

1. อุปสรรคทางเทคนิค ประกอบด้วย:

- แหล่งความร้อนทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรมมีการกระจายและยากที่จะเข้าถึงหรือไม่ต่อเนื่อง
- การดำเนินงานตามฤดูกาลของกระบวนการผลิต และปริมาณความร้อนทิ้งต่ำส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้
- แหล่งความร้อนทิ้งมักจะมีสารเคมีและ/หรือสารปนเปื้อนส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายและประสิทธิภาพของกระบวนการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้
- ความซับซ้อนสำหรับการติดตั้งระบบ WHP กับเครื่องจักรที่มีอยู่ เนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่ทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น และบางครั้งเป็นไปได้จะมีผลกำไร

2. อุปสรรคทางธุรกิจ

ในภาวะเศรษฐกิจตกต่ำส่งผลให้โรงงานในสหรัฐไม่กล้าลงทุนในกิจการที่ไม่ได้เพิ่มผลกำไรให้กับโรงงาน เนื่องจากการติดตั้งระบบการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ (WHR) มีความซับซ้อนทางเทคนิคและความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการผลิตของโรงงาน โดยส่วนใหญ่โครงการความร้อนทิ้งกลับมาใช้นั้นเผชิญ 2 ความเสี่ยงหลัก คือ

1. ความเสี่ยงในการดำเนินโครงการส่งผลกระทบต่อทางลบการดำเนินงานผลิตอื่นๆของโรงงาน
2. ความเสี่ยงซึ่งแม้ว่าจะประสบความสำเร็จในการดำเนินโครงการ แต่ไม่สามารถได้ผลตอบแทนตามที่คาดหวังไว้

3. อุปสรรคเกี่ยวกับกฎหมาย

เนื่องจากราคาค่าไฟฟ้าในพื้นที่ส่วนใหญ่ของสหรัฐอเมริกามีราคาถูก และอัตราส่วนลดค่าไฟฟ้าสำหรับกลุ่มลูกค้าในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การขายไฟฟ้าจากผลิตโดยการใช้ความร้อนทิ้งในภาคอุตสาหกรรมจึงต้องมีราคาถูกมากพอที่จะแข่งขันอย่างมีประสิทธิภาพกับไฟฟ้าจากสาธารณูปโภค รวมกับความเสี่ยงทางเทคโนโลยีเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้หลายบริษัทในภาคอุตสาหกรรมตัดสินใจว่าการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในการผลิตไฟฟ้านั้นไม่คุ้มค่า

มาตรการและการส่งเสริม

จากปัญหาและอุปสรรคข้างต้นทำให้ประเทศสหรัฐอเมริกาเฝ้านโยบายและมาตรการต่างๆออกเพื่อเพิ่มความสนใจในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น โดยมีแนวทางในส่งเสริมออกเป็น ดังนี้ [6]

1. การพัฒนาด้านเทคโนโลยี

ในการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในสหรัฐอเมริกาให้ความสำคัญกับการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งที่อุณหภูมิต่ำในโครงการขนาดเล็ก ทั้งนี้ได้มีการส่งเสริมให้ผู้ผลิตเทคโนโลยีมีการผลิตเทคโนโลยีใหม่ๆออกมา ตัวอย่างของบริษัทผู้ผลิตเทคโนโลยีในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า ได้แก่

บริษัท ElectraTherm มีสำนักงานใหญ่อยู่ในรัฐเนวาดา ได้มีการพัฒนาเครื่องสี่เหลี่ยม หรือ The Green Machine ซึ่งใช้ระบบ ORC ที่มีการออกแบบเป็นพิเศษเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในโครงการขนาดเล็ก ซึ่งสามารถใช้ได้กับน้ำร้อนในอุณหภูมิ 88-116 °C และมีพิกัด 30-50 kW และในปี 2011 บริษัทพัฒนาเทคโนโลยีที่มีการขยายช่วงพิกัดเป็น 30-65 kW และออกแบบให้มีขนาดเล็ก 5 x 5 ฟุต ทำให้สามารถอยู่ใกล้กับแหล่งความร้อนเสียในอาคารพาณิชย์และในโรงงานอุตสาหกรรมได้มากขึ้น

บริษัท Ener-G-Rotors สำนักงานใหญ่อยู่ในโรตเตอร์ดัม นิวเจอร์ซีย์ มีการพัฒนาเทคโนโลยีแปลงน้ำร้อนหรือไอน้ำความดันต่ำในอุณหภูมิ 65-149 °C เพื่อการผลิตไฟฟ้าในโครงการขนาดเล็ก เทคโนโลยี ใช้กำลังเครื่องยนต์แบบเกียร์ trochoidal ซึ่งแทนที่กังหันน้ำในระบบ ORC แบบดั้งเดิม และในปี ค.ศ. 2012 บริษัทมีการพัฒนาเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 40-60 kW มีอายุการใช้งานที่ 20 ปีและมีความต้องการการบำรุงรักษาน้อย สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าที่ราคา 0.015 เหรียญ/kWh

2. ธุรกิจรูปแบบใหม่

จากปัญหาและอุปสรรคทางด้านธุรกิจที่กล่าวมาข้างต้นในสหรัฐอเมริกา ทำให้มีการส่งเสริมการก่อตั้งธุรกิจรูปแบบใหม่เกิดขึ้น เพื่อลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดของโรงงานอุตสาหกรรมในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ โดยธุรกิจรูปแบบใหม่หรือบริษัทนี้ จะมีการจัดหาเงินทุนในการพัฒนา การก่อสร้าง และแม้กระทั่งเป็นเจ้าของโครงการเอง และให้บริการขายไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจากโครงการกลับไปยังเจ้าของแหล่งความร้อนด้วย ต้นทุนที่ต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าจากสาธารณูปโภค และการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากับบุคคลที่สาม (เช่น สาธารณูปโภค) ดังนั้นความเสี่ยงใดๆจะตกเป็นของบริษัทที่ให้บริการ ไม่ใช่ของเจ้าของแหล่งความร้อนหรือโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ธุรกิจรูปแบบใหม่ยังทำงานร่วมกับผู้ผลิตเทคโนโลยีหลากหลายสามารถเลือกเทคโนโลยีที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละโครงการโดยเฉพาะ ตัวอย่างของธุรกิจรูปแบบใหม่มีดังนี้

Recycled Energy Development LLC หรือ RED ตั้งอยู่ในเวสต์ รัฐอิลลินอยส์ เทคโนโลยีที่ใช้เป็นระบบความร้อนร่วม (ไฟฟ้าและความร้อน) RED ทำงานโดยการจัดซื้อหม้อไอน้ำที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมและ/หรืออุปกรณ์ที่ปล่อยความร้อนอื่น ๆ แล้วนำพลังงานความร้อนทิ้งจากอุปกรณ์นั้นไปใช้ผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นเจ้าของความร้อนสามารถใช้ไฟฟ้าได้โดยตรงหรือผ่าน RED และเจ้าของความร้อนยังสามารถร่วมกันกับ RED ขายไฟฟ้าให้กับบุคคลที่สาม ตลอดกระบวนการนี้ RED ดูแลเรื่องของการจัดการทางการเงิน วิศวกรรม การติดตั้ง และการ

ดำเนินงานในระยะยาวของโครงการ RED มีเป้าหมายในโครงการขนาดใหญ่ เช่น ในอุตสาหกรรมหล่อโลหะ เคมีภัณฑ์ อาหาร ปูนซีเมนต์ และอุตสาหกรรมแก้ว เป็นต้น

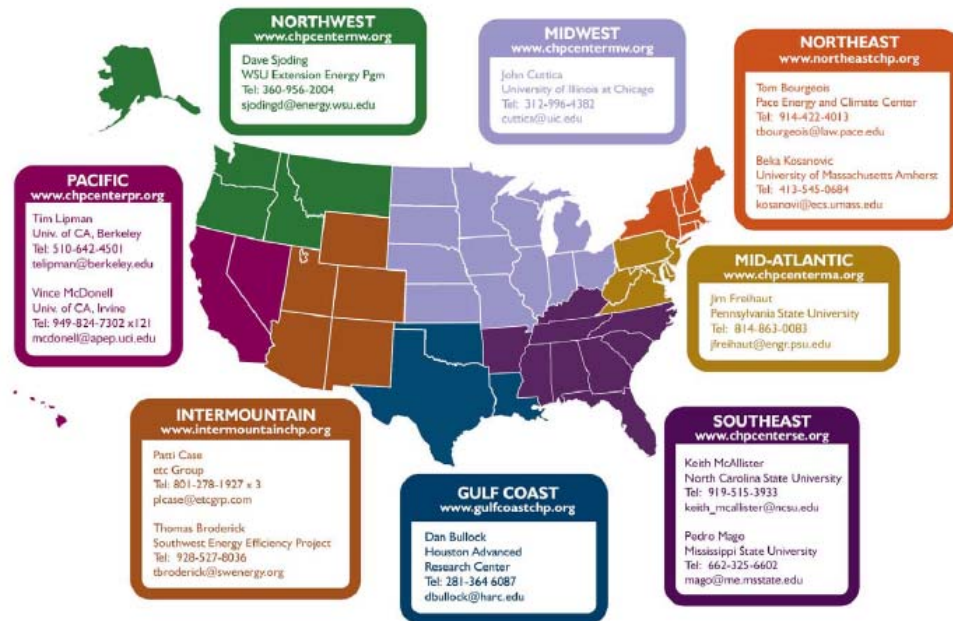
KGRA Energy Corp. ก่อตั้งขึ้นในปี 2009 และตั้งอยู่รัฐอิลลินอยส์ บริษัทจัดการด้านการเงิน วิศวกร การพัฒนา การดำเนินงาน และบางครั้งยังเป็นเจ้าของความร้อนเหลือทิ้งให้กับโครงการ บริษัท KGRA เป็นหนึ่งในบริษัทที่มีจุดแข็งในเรื่องของเงินทุน มีการพัฒนาความเชี่ยวชาญและการจัดการที่ดี โครงการแรกของ บริษัท KGRA เสร็จสิ้นในเดือนกรกฎาคมปี ค.ศ. 2011 ใช้อุปกรณ์ ORC ผลิตได้ 800 kW เป้าหมายของ KGRA คือการเป็นเจ้าของโครงการในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ สถานีขนส่งก๊าซธรรมชาติ เหล็ก สารเคมี การทำเหมืองแร่ โรงไฟฟ้า (รวมถึงโรงไฟฟ้าชีวมวล) และอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ โครงการส่วนใหญ่ซื้อเสนอขายไฟฟ้ากลับไปยังเจ้าของแหล่งความร้อน

3. แรงจูงใจจากรัฐบาล

ด้านเศรษฐกิจ ทางออกหนึ่งของปัญหาคือแรงจูงใจจากการลดภาษีจากรัฐบาลในเดือนกรกฎาคมปี ค.ศ. 2010 สมาชิกวุฒิสภาในสหรัฐอเมริกามีความต้องการส่งเสริมผลิตไฟฟ้าโดยการใช้ความร้อนเหลือทิ้งโดยการละเว้นภาษีการลงทุน 30% ให้กับโครงการที่ผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม แต่กฎหมายนี้ไม่ได้รับการอนุมัติ

ด้านนโยบาย กระทรวงพลังงานของประเทศสหรัฐ (DOE) ได้จัดตั้งศูนย์ U.S. Department of Energy Clean Energy Application Centers ขึ้นเพื่อเป็นศูนย์กลางข้อมูลและดำเนินการจัดอบรมในการปฏิบัติการ และกำหนดแนวทางนโยบายสำหรับการบริหารจัดการในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เป็นศูนย์กลางในการส่งเสริม ให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในสหรัฐอเมริกา หน้าที่ของศูนย์ คือ การพัฒนาความรู้การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและการศึกษาโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นเพื่อนำไปสู่ "พลังงานสะอาด" เทคโนโลยีที่เป็นพลังงานทางเลือกที่มีศักยภาพและลดความเสี่ยงในการดำเนินการ และมุ่งเน้นให้การขยายงานและโปรแกรมการใช้เทคโนโลยีให้กับผู้ใช้ สาธารณูปโภค และผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง โดยมีการให้การศึกษากำหนดเป้าหมาย การให้ข้อมูลที่เป็นกลาง และการช่วยเหลือด้านเทคนิค ศูนย์มีการกระจายทั้งหมด 8 แห่ง ทั่วอเมริกาเหนือครอบคลุมทั้งหมด 50 รัฐแสดงในรูปที่ 2-7 [7]

เทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่อยู่ในความรับผิดชอบของโครงการ ได้แก่ ระบบ CHP เป็นการผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ระบบ Waste Heat Recovery เป็นการนำความร้อนทิ้งในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมกลับมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ระบบ District Energy คือ ระบบการทำความร้อนและเย็นส่วนกลางร่วมกับการผลิตไฟฟ้าเชื่อมต่อกับเครือข่ายการส่งจ่ายความร้อนสำหรับอาคารจำนวนมาก (วิทยาเขต/พื้นที่ในเมือง)



รูปที่ 2-7 Clean Energy Application Centers ทัวอเมริกาเหนือ [7]

ในปี ค.ศ. 2009 ศูนย์ได้ส่งเสริมโครงการ DOE Industrial Technology Program (ITP) เป้าหมายโดยรวม คือ การลดการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรม 25% ในช่วงสิบปีข้างหน้า และเพิ่มปริมาณเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วม CHP จาก 9% ของกำลังการผลิตของสหรัฐในปี ค.ศ. 2010 เป็น 20% ในปี ค.ศ. 2030

ตัวอย่างการดำเนินงานด้านนโยบายของ U.S. Department of Energy Clean Energy Application Centers ได้แก่ รัฐนิวเจอร์ซีย์อนุญาตให้โรงงานเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วม (CHP) ให้ผลิตพลังงานความร้อนให้กับพื้นที่ข้างเคียงและยังให้พลังงานไฟฟ้าก็บอส่งหาริมทรัพย์เหล่านั้นด้วย และมีการจัดตั้งศูนย์ Mid-Atlantic RAC นี้ ให้ความรู้แก่สมาชิกและนักกฎหมายบนแนวคิด ประโยชน์ และการใช้งานเบื้องต้น

2.2.2 สหภาพยุโรป

ในปี ค.ศ. 2010 โครงการแรกของสหภาพยุโรปเป็นการทำแผนเกี่ยวกับศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบ ORC ในภาคอุตสาหกรรม (ในพื้นที่นำร่อง) โครงการนี้ได้รับทุนจาก LIFE + โปรแกรม (ตัวย่อ "H-REII") มีเป้าหมายในการส่งเสริม การดำเนินการด้านนโยบาย และการกำกับดูแลสนับสนุนการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าในอุตสาหกรรมและการลดปริมาณ CO₂ อย่างมีศักยภาพ HREII มีวัตถุประสงค์คือ

- พัฒนารูปแบบแรกของโรงงานไฟฟ้าระบบ ORC ในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ จากเตา EAF (Electric Arc Furnace) ในอุตสาหกรรมเหล็กในระบบทำความสะอาดบำบัดควินอย่างสมบูรณ์

- ส่งเสริมนโยบายของสหภาพยุโรปและการดำเนินการของภาครัฐในการกระตุ้นการนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า ลดการปล่อยก๊าซ CO₂

การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าในอุตสาหกรรมพลังงานของยุโรปนั้นมีความเข้มข้น โดยได้มีการดำเนินการดำเนินงานติดตั้งระบบ ORC ในหลายอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมแก้ว และในการขนส่งและจัดเก็บก๊าซธรรมชาติ มีการประเมินศักยภาพทางทฤษฎีของการให้พลังงานขั้นต้นของระบบ ORC ประมาณ 2.5 กิกะวัตต์ เมื่อพิจารณาการใช้งานคิดเป็น 8,000 ชั่วโมงต่อปี ระบบ ORC สามารถผลิตไฟฟ้าเกือบ 20 TWh ซึ่งเป็นร้อยละ 4.8 ของปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมของอุตสาหกรรมสหภาพยุโรปในปี ค.ศ. 2009 และหมายถึงการหลีกเลี่ยงการปล่อยก๊าซ CO₂ เกือบ 7.5 ล้านตัน [8] ประเทศในสหภาพยุโรปที่มีความน่าสนใจในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ได้แก่ เยอรมนี

เยอรมนี

ในปี 2007 สองในสามของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของอุตสาหกรรมในเยอรมนี ถูกนำมาใช้ในกระบวนการทำความร้อนซึ่งในกระบวนการดังกล่าวมีความร้อนทิ้งที่สามารถนำมาใช้ได้ เช่น การผลิตไฟฟ้าหรือป้อนความร้อน อย่างไรก็ตามในประเทศเยอรมนีและสหภาพยุโรปมีศักยภาพทางด้านนี้และส่วนใหญ่ยังไม่ได้นำมาใช้ อุณหภูมิที่มีการศึกษาศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ของความร้อนทิ้งอยู่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 140 °C คาดว่ามีมากกว่า 12% ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในอุตสาหกรรมของเยอรมัน และอีก 6% มีอุณหภูมิระหว่าง 60 - 140 °C แต่เนื่องจากอุปสรรคทางด้านโครงสร้าง การเงิน และการดำเนินงาน ทำให้มีความร้อนทิ้งสามารถใช้ได้แค่บางส่วนเท่านั้น

ในปี 2009 มีการศึกษาศักยภาพความร้อนทิ้งของอุตสาหกรรมในนอร์เวย์โดยการส่งออกแบบสอบถามไปยังภาคอุตสาหกรรมพลังงานขั้นสุดท้ายและได้รับการตอบรับกลับมา 72 บริษัท จาก 105 บริษัท คิดเป็น 65% และสามารถเทียบเคียงศักยภาพความร้อนเสียภาคอุตสาหกรรมกับประเทศเยอรมัน แสดงในตารางที่ 2-3 [9] ซึ่งชี้ให้เห็นถึงศักยภาพความร้อนทิ้งจากอุตสาหกรรมในประเทศเยอรมนี และพบว่าอุตสาหกรรมใหญ่ๆ ในเยอรมัน ที่มีความร้อนทิ้งอุณหภูมิมากกว่า 140 °C ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตโลหะ เคมีภัณฑ์ และการแปรรูปของหินและดิน

ตารางที่ 2-3 ศักยภาพความร้อนทิ้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 140 °C จากอุตสาหกรรมในประเทศเยอรมนี [9]

Description	Final Energy	Waste heat percentage	
		above 140 °C of the final energy consumption	
Waste heat over 140 °C final energy consumption	TJ		TJ
Metal production	561,846	30 %	168,554
Basic chemicals	460,104	8 %	36,808
Commercial paper	242,634		
Processing of stone and earth	221,802	40 %	88,721
Food and tobacco	204,328		

Other economic sectors	215,970		
Glass and ceramics	92,501	3 %	2,775
Metal working	114,476	3 %	3,434
NF metals, foundries	133,674	3 %	4,010
Automobile industry	131,117	3 %	3,993
Other chemical industry	91,138	3 %	2,734
Machine construction	84,435	3 %	2,533
Rubber/ plastic products	81,298	3 %	2,439
Mining	17,777		
	2,653,101		316,001

ปัญหาและอุปสรรค

1. อุปสรรคทางโครงสร้าง

การใช้ความร้อนทิ้งภายในอุปกรณ์และจุดใกล้กับจุดที่เกิดความร้อนลักษณะนี้จะไม่เป็นอุปสรรค แต่เมื่อมีการส่งไปยังแหล่งรับอื่นๆ ที่ไกลออกไป การขนส่งความร้อนมักจะมีนัยสำคัญในผลกำไร ในการวางแผนช่วงเริ่มต้นนั้นเป็นเรื่องยากที่จะคาดคะเนได้ถึงปริมาณการไหลของความร้อนจากที่แหล่งจ่ายความร้อนไปแหล่งที่รับความร้อนหรือไปยังบุคคลที่สาม (เช่น พื้นที่ใกล้เคียง ธุรกิจหรือพื้นที่อยู่อาศัย) นอกจากนี้ผู้นอญมียังจะต้องตรงกับลักษณะการใช้งานเพื่อให้ความร้อนสามารถนำมาปรับใช้ในรูปแบบไอน้ำหรือปั๊มความร้อนได้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้หมายถึงความจำเป็นที่จะต้องใช้ความสามารถทางด้านวิศวกรรมเพิ่มเติม อุปสรรคทางการขนส่งจึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง

2. อุปสรรคทางการเงินและการบริหารจัดการ

การขนส่งความร้อนไปยังแหล่งอื่นส่งผลให้มีเพิ่มเติมการลงทุน นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายในการค้นหาและการจัดการ เมื่อเปรียบเทียบผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ถือว่าสูงแม้ว่าคืนทุนได้แต่ต้องใช้เวลา ซึ่งบริษัทส่วนใหญ่จะลงทุนในมาตรการที่มีระยะเวลาคืนสั้นภายในสองถึงสามปีเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานอย่างมีนัยสำคัญ

3. อุปสรรคความมั่นคงในการผลิต

การติดตั้งอุปกรณ์การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ส่งผลต่อความกังวลในช่วงการดำเนินงานและความไม่มั่นคงในระหว่างการผลิตการติดตั้ง และระหว่างการทำงาน การลงทุนที่มีผลต่อธุรกิจหลักของบริษัทนี้ มีบทบาทสำคัญ

4. อุปสรรคด้านข้อมูล

บริษัทไม่มีพนักงานพิเศษที่มีความรู้ด้านเทคโนโลยีความร้อนทิ้งโดยเฉพาะ ทำให้ต้องจ้างบริษัทผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานมาประเมินการประหยัดพลังงานทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น (ปัญหาและอุปสรรคนี้สามารถแก้ไขได้ผ่านการให้คำปรึกษาและฝึกอบรมบุคคลที่เกี่ยวข้อง)

5. อุปสรรคทางกฎหมาย

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากข้อกำหนดทางกฎหมาย (เช่น กฎหมายสิ่งแวดล้อม กฎหมายการก่อสร้างและการขออนุญาตการดำเนินงาน ยกตัวอย่างการติดตั้งท่อส่งความร้อน ฯลฯ)

มาตรการและการส่งเสริม

1. การให้ข้อมูล การฝึกอบรม การแลกเปลี่ยนประสบการณ์ และการสร้างแรงจูงใจ

การนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ได้อย่างยั่งยืนขึ้นอยู่กับการเสริมสร้างความแข็งแกร่งของข้อมูล การฝึกอบรมจะช่วยลดค่าใช้จ่ายสำหรับการวิจัย ช่วยการตัดสินใจของผู้ประกอบการและวิศวกร และยังให้ผู้ผลิตและผู้ติดตั้งเทคโนโลยีอยู่กับมาตรฐานข้อมูลล่าสุดอีกด้วย

2. การให้ความรู้ทางด้านการปฏิบัติการ การฝึกอบรม และให้คำปรึกษาด้านพลังงาน

การฝึกอบรมอย่างเป็นระบบสำหรับกลุ่มเป้าหมายในหลากหลายภาคส่วน โดยให้การศึกษาอย่างต่อเนื่อง สนับสนุนการศึกษาสำหรับวิศวกรและผู้ติดตั้ง

3. การพัฒนาเครื่องมือคำนวณการลงทุนที่มีคุณภาพสูง

สร้างเครื่องมือที่จะช่วยให้เกิดการวิเคราะห์อย่างรวดเร็วของการใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากแหล่งจ่ายและแหล่งรับความร้อน และอำนวยความสะดวกในการทำสัญญาการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้และเป็นวิธีการลดค่าในการวิจัยและการวางแผน (โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับธุรกิจ SME)

4. การใช้ระบบสารสนเทศหรืออินเทอร์เน็ต

มีการให้ข้อมูลผ่าน web-based "ข้อมูลความร้อน" ในรูปแบบในการจัดหาความร้อนทิ้งแหล่งจ่ายและแหล่งรับ (เรื่องนี้เกิดขึ้นในรัฐแซกโซนีในประเทศเยอรมนี แนวคิดคือ การวางแผนการใช้ความร้อนภายในชุมชน และการรวบรวมการวิเคราะห์ของแหล่งความร้อนทิ้ง)

5. แรงจูงใจทางการเงิน

โปรแกรมการสนับสนุนทางการเงินของเยอรมัน ในปัจจุบันมีการให้คำปรึกษาในการลงทุนสำหรับธุรกิจ SME กำหนดโดยสหภาพยุโรป

6. New Feed-in tariff สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้ง

การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้ง" กลายเป็นส่วนหนึ่งของพลังงานทดแทน (EEG) สำหรับการผลิตไฟฟ้า ภาษีสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งอยู่ในช่วงระหว่าง 8-15 เซนต์/กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ภาษีได้รับการจัดลำดับตามความต่อเนื่องตามขนาดแหล่งความร้อนและระดับอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังต้องได้รับการยืนยันว่าไม่มีน้ำมันเชื้อเพลิงถูกนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพ

7. มาตรการภาษี

บริษัทที่ใช้พลังงานสูงที่มีกฎหมายพิเศษสำหรับการจัดเก็บภาษีเชื้อเพลิงความร้อนและไฟฟ้า การยกเว้นภาษีดังกล่าวจะเป็นแรงจูงใจที่ชัดเจนสำหรับการพัฒนา มาตรการอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.3 ประเทศจีน

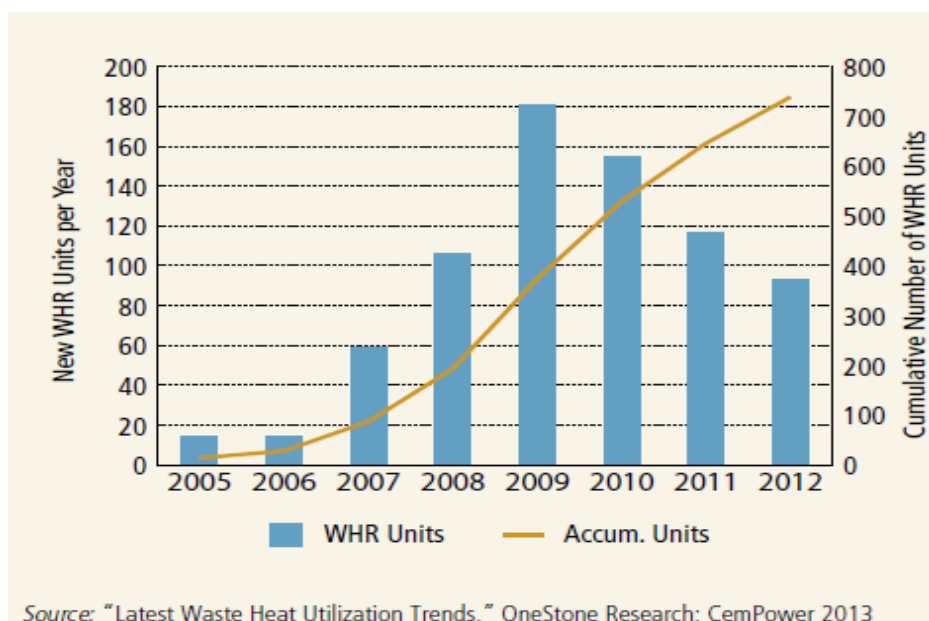
ในประเทศจีนมีการมุ่งเน้นที่อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีความร้อนทิ้งอุณหภูมิสูง (เช่น มีกำลังไฟฟ้าติดตั้งประมาณ 10 - 12 เมกะวัตต์) เช่น อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เหล็กและเหล็กกล้า ผลิตภัณฑ์ เคมี แก้ว ฯลฯ นโยบายกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM) ที่ได้รับการผลักดันการใช้งานในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในประเทศจีน นอกจากนี้ยังมีโครงการที่ส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งขนาดเล็กที่อยู่ในช่วง 1.0-2.0 เมกะวัตต์[10] เช่น ความร้อนทิ้งอยู่ที่อุณหภูมิปานกลางในเตาเผาอุโมงค์ (tunnel kilns) ในอุตสาหกรรมถ่านหิน และอิฐ ทั้งนี้ในการศึกษาการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่น่าสนใจในประเทศจีนนั้นอยู่ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของจีน

การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า (WHR) ด้วยระบบไอน้ำแบบเดิม Rankine-cycle steam-based ระบบ Organic Rankine Cycle (ORC) และระบบ Kalina cycle WHR power ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์นั้นมีกว่า 850 ระบบทั่วโลก ประเทศจีนเป็นประเทศที่มีการเติบโตมากที่สุด ด้วยจำนวนของการติดตั้ง 739 ระบบ ตามด้วยอินเดียติดตั้งทั้งหมดจำนวน 26 ระบบ และญี่ปุ่น 24 ระบบในปี ค.ศ. 2012 [11]

แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของจีนแสดงในรูปที่ 2-8 [11] พบว่ามีพัฒนาการอย่างรวดเร็วในปี ค.ศ. 2009 ในสายการผลิตปูนเม็ดมีการการใช้โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนทิ้ง (WHR) 193 ระบบ มีกำลังการผลิตติดตั้งกว่า 1,600 เมกะวัตต์ โดยสิ้นปี ค.ศ. 2010 กว่า 700 สายผลิต ใช้ระบบ WHR ประมาณ 650 ยูนิต กำลังการผลิตไฟฟ้า 4,800 เมกะวัตต์

เทียบเท่ากับการประหยัดพลังงานมากกว่า 9.0 ล้านตันถ่านหิน โดยสิ้นปี ค.ศ. 2012 มีประเทศจีนมีการใช้งานทั้งหมดทั้งหมด 739 ระบบ มีกำลังผลิตไฟฟ้า 6,575 เมกะวัตต์



รูปที่ 2-8 การติดตั้งของอุปกรณ์การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศจีน [11]

มาตรการและการส่งเสริม

มาตรการการกำกับดูแลและลดเงินทุนของต้นทุนเป็นปัจจัยสำคัญที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของจีนในการส่งเสริมเทคโนโลยี WHR มีขับเคลื่อนโดยแรงจูงใจ เช่น มาตรการลดภาษี และการพัฒนากลไกที่สะอาด (CDM) การให้เงินสำหรับการลดการปล่อยมลพิษจากโครงการ เป็นต้น ขณะที่ผู้ผลิตระบบ WHR ของจีนเข้ามาในตลาดมากขึ้นช่วยลดเรื่องของเงินทุนและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของของระบบ WHR อีกทาง จีนมีการออกกฎหมายดูแลทางด้านนี้อย่างเป็นรูปธรรม การกฎหมายควบคุมที่สำคัญสำหรับการพัฒนาระบบ WHR ในประเทศจีน มีดังต่อไปนี้

กฎหมายและข้อบังคับ

- กฎหมายการอนุรักษ์พลังงานของสาธารณรัฐประชาชนจีน

ระเบียบที่ 31 - รัฐบาลส่งเสริมให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมใช้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงาน หม้อไอน้ำ เตาเผา พัดลม เครื่องสูบน้ำ และเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนร่วมและเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ การใช้ถ่านหินสะอาด การตรวจสอบการใช้พลังงานขั้นสูง และการควบคุมอื่น ๆ

- กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (MIIT) ออกข้อบังคับในปีค.ศ. 2010 โรงงานปูนซีเมนต์สายการผลิตเม็ดปูนทั้งหมดที่สร้างขึ้นใหม่ (หลังจากมกราคม ค.ศ. 2011) ต้องมีการติดตั้งกับอุปกรณ์การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งที่อุณหภูมิต่ำ

- โครงการ The Twelfth Five-Year Development Planning of Cement Industry (2012–2016)
 1. ประเทศจีนส่งเสริมประสิทธิภาพเทคโนโลยีการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องและการพัฒนาและส่งเสริมอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการลดการปล่อยก๊าซ NO_x และ SO_2
 2. มุ่งเน้นการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตและอุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงของเตาหลอมเตาเผาปูนซีเมนต์ เทคโนโลยีและอุปกรณ์การใช้ประโยชน์จากความร้อนทิ้ง เทคโนโลยีที่ลดการปล่อยก๊าซ และอุปกรณ์ลดฝุ่นละอองและ NO_x และเทคโนโลยีที่ใช้ประโยชน์จาก CO_2
 3. สัดส่วนของพลังงานความร้อนทิ้งที่มีอุณหภูมิต่ำจะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 65 ภายในปี 2015

รูปแบบการดำเนินการแบบใหม่

นอกจากนี้จีนยังมีการรูปแบบในดำเนินโครงการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อย่างเป็นรูปธรรมเพื่อการส่งเสริมและพัฒนา โดยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

1. **ออกแบบ - ประมูล - การสร้าง (DBB)** เป็นวิธีการแบบดั้งเดิมของโครงการในภาคอุตสาหกรรม ที่เจ้าของโรงงานทำสัญญากับบริษัทวิศวกรรม หรือผู้จำหน่ายเทคโนโลยี WHR ในการออกแบบโครงการที่ขอการเสนอราคาสำหรับอุปกรณ์และการติดตั้ง โดยรับผิดชอบเต็มรูปแบบ การประสานงานระหว่างผู้ผลิต วิศวกร และผู้รับเหมาอาจจะยุ่งยากและใช้เวลานาน และต้องการลงทุนก่อน ความของวิธีการนี้ในโครงการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่นี้มีปริมาณลดลงเรื่อยๆ
2. **วิศวกรรม-การจัดหา-ก่อสร้าง (EPC)** เป็นวิธีการทำสัญญาทั่วไปมักจะเรียกว่าเป็น "แบบครบวงจรหรือ Turnkey" ผู้จัดจำหน่าย WHR ผู้รับเหมาจะเป็นผู้รับผิดชอบในการออกแบบ การบริการด้านวิศวกรรม จัดซื้ออุปกรณ์ และวัสดุ การว่าจ้างการก่อสร้างและดำเนิน "แบบครบวงจร" หมายความว่าระบบจะถูกส่งไปยังลูกค้าแบบพร้อมสำหรับการดำเนินงานและคุณลักษณะที่สำคัญของ EPC คือราคาโครงการนั้นจะสูง โครงการส่วนใหญ่ผู้รับเหมาจะเป็นบริหารจัดการค่าใช้จ่าย ความเสี่ยง และการควบคุม ดังนั้นผู้รับเหมาใน EPC ถือว่าความรับผิดชอบเป็นสิ่งสำคัญ รูปแบบธุรกิจ EPC เป็นลักษณะที่ใช้กันทั่วไปการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศจีน คิดเป็นมากกว่าร้อยละ 60 ของส่วนแบ่งการตลาด
3. **สร้าง-ดำเนินการ-โอน (BOT)** เป็นโปรแกรมใช้กว้างขวางในโครงการโครงสร้างพื้นฐานโดยความร่วมมือของภาครัฐและเอกชน ในระเบียบของ BOT สำหรับโครงการ WHR เจ้าของโรงงานจะมอบหมายความรับผิดชอบให้กับผู้จัดจำหน่าย WHR หรือกลุ่มของนักลงทุนที่ติดต่อกับผู้จัดจำหน่าย ในการออกแบบ การก่อสร้าง การดำเนินงาน และการบำรุงรักษาส่งอำนวยความสะดวกของโครงการ ในช่วงเวลาหนึ่งผู้จัดจำหน่าย WHR หรือกลุ่มนักลงทุนจะเพิ่มเงินทุนและมีสิทธิในทั้งหมดหรือบางส่วนของรายได้จากโครงการที่สร้างขึ้น(ช่วงของการ

เตรียมการแบ่งปันรายได้) และเป็นเจ้าของสิ่งอำนวยความสะดวกของโครงการ ซึ่งในช่วงท้ายของสัญญาสัมปทานสิ่งอำนวยความสะดวกและระบบ WHR จะถูกโอนไปยังเจ้าของโรงงาน รูปแบบนี้จะช่วยให้ระบบ WHR สามารถติดตั้งโดยไม่ต้องลงทุนสูงโดยโรงงานได้รับประโยชน์ในช่วงระยะเวลาสัมปทานผ่านรูปแบบของการชำระเงินและพลังงาน จากการรับซื้อไฟฟ้าและการลดค่าใช้จ่ายจากระบบ เมื่อหลังจากหมดระยะเวลาตามสัมปทานจะมีการโอนสิทธิ์ทั้งหมดกลับมายังเจ้าของ โมเดลนี้มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 10 ของระบบ WHR ในประเทศจีน แต่ที่น่าสนใจคือโปรแกรมนี้มีการเจริญเติบโตมากขึ้น

จากศึกษาการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในต่างประเทศพบว่าการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในต่างประเทศหลักๆ เป็นการนำความร้อนทิ้งมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยระบบที่มีการนำมาใช้ คือ ระบบการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าแบบอุณหภูมิต่ำ (WHR) โดยใช้เทคโนโลยี Rankine-cycle steam-based เทคโนโลยี Organic Rankine Cycle (ORC) และเทคโนโลยี Kalina cycle เป็นหลัก ปัญหาและอุปสรรคในหลายๆประเทศมีความคล้ายคลึงกัน คือปัญหาในเรื่องข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยี ความเสี่ยงต่อความไม่คุ้มค่าในการลงทุน โดยในแต่ละประเทศมีลักษณะในการแก้ปัญหาคล้ายกัน คือ การคิดรูปแบบธุรกิจหรือการดำเนินแบบใหม่ออกมาเพื่อลดความเสี่ยงของผู้ประกอบการหรือเจ้าของโรงงาน นอกจากนี้ยังมีการสร้างมาตรการและโครงการต่างๆโดยรูปแบบของโครงการส่วนใหญ่เป็นส่งเสริม สนับสนุน และกระตุ้นให้เกิดการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้มากขึ้น โดยการให้ข้อมูล การฝึกอบรม และการสร้างนโยบาย แต่ทั้งนี้ยังไม่เห็นตัวอย่างของการออกกฎหมายจากภาครัฐในการบังคับใช้อย่างชัดเจน จากการศึกษาพบเพียงประเทศจีนเท่านั้นที่มีการออกกฎหมายอย่างเป็นรูปธรรมในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เช่น การบังคับให้ทุกโรงงานปูนซีเมนต์มีการนำระบบการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในปี ค.ศ. 2011 เป็นต้น

บทที่ 3

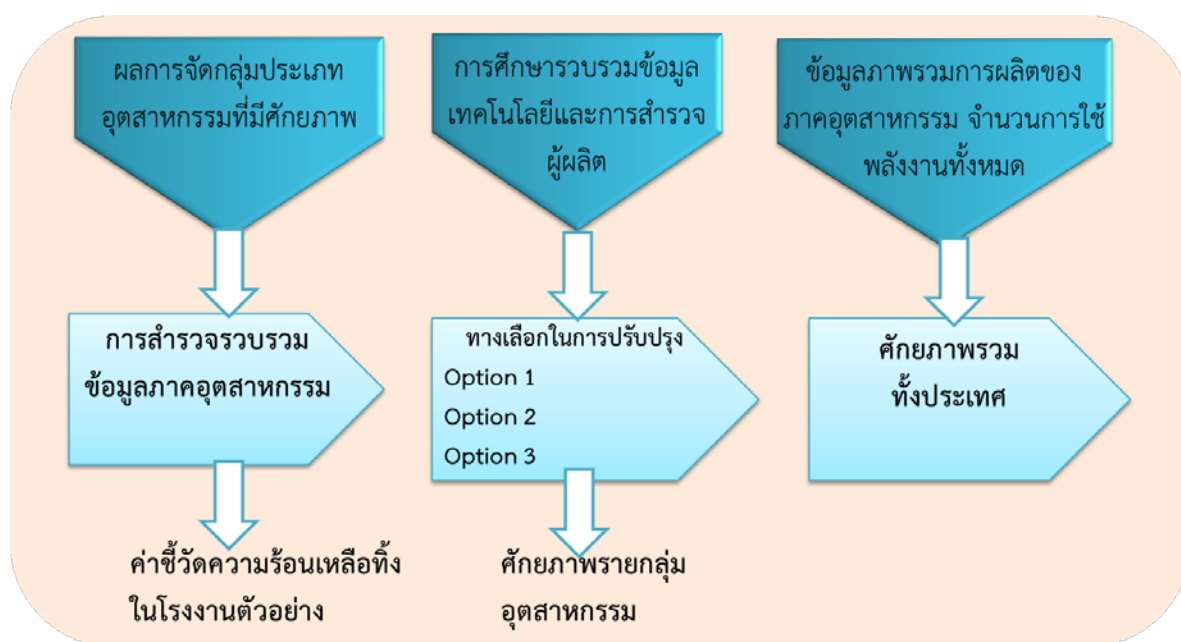
วิธีดำเนินการศึกษา

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการศึกษาของโครงการซึ่งถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดวิธีดำเนินการศึกษาศักยภาพในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ และใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการของโครงการ ประกอบด้วย ระเบียบวิธีการศึกษา แผนผังการศึกษาวิจัยศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้และคำอธิบาย การคัดเลือกกลุ่มอุตสาหกรรม การสำรวจและเข้าสัมภาษณ์สถานประกอบการ การเข้าสัมภาษณ์ผู้ผลิตจำหน่ายเทคโนโลยี การส่งแบบสอบถาม

3.1 ระเบียบวิธีการศึกษา

3.1.1 แนวคิดในการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

ที่ปรึกษาวางแผนการรวบรวมข้อมูลเพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่ต้องการดังนี้



รูปที่ 3-1 แนวคิดในการดำเนินการศึกษา

3.1.2 แนวคิดในการกำหนดขั้นตอนการศึกษา

ที่ปรึกษาจะแบ่งขั้นตอนการศึกษอย่างสอดคล้องกันเป็น 5 ขั้นตอนได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 การรวบรวมข้อมูล ได้แก่การศึกษางานวิจัยของต่างประเทศ

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกกลุ่มตัวอย่างและสำรวจเก็บข้อมูลผู้เกี่ยวข้องทุกส่วน

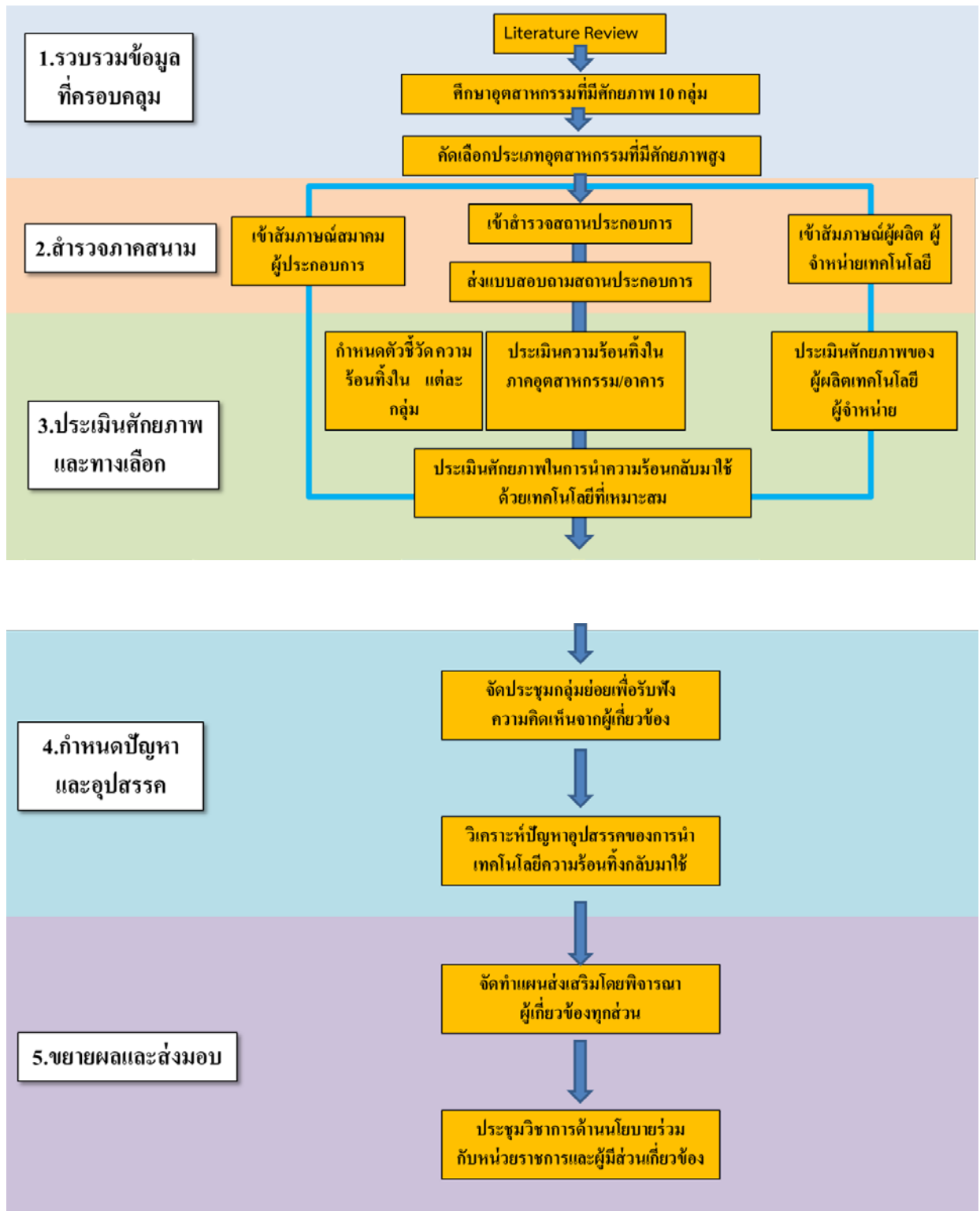
ขั้นตอนที่ 3 การประเมินศักยภาพและวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุง

ขั้นตอนที่ 4 การกำหนด/บ่งชี้ปัญหาอุปสรรค

ขั้นตอนที่ 5 การจัดทำแผนงานส่งเสริมและการขยายผล

การกำหนดขั้นตอนและผลลัพธ์ที่ต้องการในแต่ละชั้น จะทำให้มีการดำเนินงานครอบคลุม และ
บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

แผนผังการศึกษาวิจัยศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้



รูปที่ 3-2 แผนผังการศึกษาวิจัยศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

3.2 ขั้นตอนและขอบเขตการดำเนินการวิจัยศึกษา

ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

3.2.1. การรวบรวมข้อมูลที่ครอบคลุม ประกอบด้วย

3.2.1.1 การศึกษาทบทวนแนวทาง (Literature Review) ในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในต่างประเทศ ในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม

3.2.1.2 การศึกษากลุ่มอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพด้านความร้อนทิ้ง

3.2.1.3 การคัดเลือกกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพด้านความร้อนทิ้ง เพื่อทำการศึกษารายละเอียดต่อไป และจัดกลุ่มประเภทอุตสาหกรรมและอาคารที่มีศักยภาพ ออกเป็นกลุ่มย่อยและคัดเลือกประเภท (sector) ที่มีศักยภาพสูงในแต่ละกลุ่ม โดยคัดเลือกให้ได้จำนวน 10 กลุ่ม

3.2.2. การสำรวจข้อมูลภาคสนาม ประกอบด้วย

3.2.2.1 เข้าสัมภาษณ์สภาอุตสาหกรรม สมาคมอุตสาหกรรม เพื่อให้ทราบภาพรวมของการนำเทคโนโลยีนำความร้อนทิ้งมาใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมนั้นๆ

3.2.2.2 คัดเลือกโรงงาน/อาคาร ตัวอย่างเข้าสำรวจและสัมภาษณ์ข้อมูลความร้อนทิ้งที่มีในสถานประกอบการ และความเห็นของสถานประกอบการ รวม 30 สถานประกอบการ

3.2.2.3 เข้าสัมภาษณ์บริษัทที่จำหน่ายเทคโนโลยี เพื่อให้ทราบถึงขนาดการลงทุน และประเมินความคุ้มค่าของการปรับปรุง รวมถึงเสนอทางเลือกของเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม และวิเคราะห์ความคุ้มค่าเปรียบเทียบระหว่างทางเลือกต่างๆ

3.2.2.4 ส่งแบบสอบถามจำนวน 500 สถานประกอบการ เพื่อประเมินสถานะปัจจุบันการใช้ความร้อนทิ้งในปัจจุบัน

3.2.3 การประเมินศักยภาพและทางเลือก ประกอบด้วย

3.2.3.1 การกำหนดตัวชี้วัดความร้อนทิ้งที่มีอยู่ในแต่ละอุตสาหกรรม เปรียบเทียบกับความเป็นไปได้ที่จะนำกลับมาใช้ในทางทฤษฎี หรือข้อมูลอ้างอิงจากต่างประเทศ

3.2.3.2 ประเมินศักยภาพในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

3.2.3.3 ประเมินศักยภาพในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในกลุ่มผู้ผลิตและจำหน่ายเทคโนโลยีด้านความร้อนทิ้ง

3.2.3.4 ประเมินศักยภาพในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

3.2.4. การกำหนดปัญหาและอุปสรรค ประกอบด้วย

3.2.4.1 จัดประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) กับผู้ประกอบการในกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ ผู้ผลิตเทคโนโลยีและผู้ที่เกี่ยวข้อง

3.2.4.2 วิเคราะห์ปัญหาและอุปสรรคในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

3.2.5. การขยายผลและส่งมอบงาน

3.2.5.1 จัดทำแผนงานส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่ครอบคลุมทุกองค์ประกอบ ทั้งด้านเทคโนโลยีและนโยบาย

3.2.5.2. การนำไปขยายผล ที่ปรึกษาจะจัดประชุมวิชาการระหว่างการศึกษา เพื่อรับทราบผลการศึกษาและให้ข้อเสนอแนะ และเมื่อผลการศึกษาแล้วเสร็จก็จะจัดประชุมนำเสนอต่อคณะกรรมการและหน่วยงาน ผู้เกี่ยวข้อง และส่งมอบให้หน่วยงานที่รับผิดชอบ/โรงงานที่เข้าร่วม เพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

3.3 การคัดเลือกกลุ่มอุตสาหกรรม

เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจมีจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องมีการประเมินศักยภาพเพื่อคัดเลือกกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญเป็นตัวแทนของศักยภาพของอุตสาหกรรมทั้งประเทศ โดยในกลุ่มอุตสาหกรรมที่คัดเลือกมานั้นควรมีผลรวมของการใช้พลังงานครอบคลุมถึงร้อยละ 80 ของทั้งประเทศ นอกจากนี้ยังควรเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตมีความคล้ายคลึงกันเพื่อสะดวกต่อการศึกษาและขยายผลต่อไป

3.3.1 วิธีการคัดเลือก

การศึกษาศักยภาพความร้อนทิ้งในภาพรวมของประเทศทางคณะผู้วิจัยทำการคัดเลือกกลุ่มอุตสาหกรรม โดยใช้วิธีการให้คะแนนประเมินตามศักยภาพ มีหลักเกณฑ์การพิจารณา ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม เนื่องจากการใช้ปริมาณพลังงานที่สูงย่อมได้รับผลประโยชน์ที่สูงในการปรับปรุง

2. ความคล้ายคลึงกันของกระบวนการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรม เพื่อการขยายผลที่ชัดเจนในการดำเนินการปรับปรุงและการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

3. ศักยภาพความร้อนทิ้ง โดยพิจารณาจากระดับอุณหภูมิของความร้อนทิ้งที่ปล่อยออกมาในกระบวนการผลิต และความร้อนทิ้งนั้นต้องมีความเป็นไปได้ที่จะดำเนินการกู้คืน

เกณฑ์การให้คะแนน ถ้าผู้วิจัยแบ่งระดับคะแนนออกเป็น 1-4 คะแนน โดยพิจารณาลำดับคะแนนในแต่ละหลักเกณฑ์ตามศักยภาพ ดังนี้

1. ปริมาณพลังงานที่ใช้ มีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-4 ดังนี้

0-500 ktoe = 1 คะแนน

501-1,000 ktoe = 2 คะแนน

1,000-1,500 ktoe = 3 คะแนน

>1,501 ktoe = 4 คะแนน

2. ความคล้ายคลึงกันของกระบวนการผลิต พิจารณาจำนวนความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และอุปกรณ์ในการผลิต โดยมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-4 ดังนี้

ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต มีความหลากหลายมาก = 1 คะแนน

ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต มีความหลากหลายปานกลาง = 2 คะแนน

ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต มีความหลากหลายเล็กน้อย = 3 คะแนน

ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต มีคล้ายคลึงกันหรือเป็นชนิดเดียวกัน = 4 คะแนน

3. ศักยภาพความร้อนทิ้ง พิจารณาระดับอุณหภูมิตามความสามารถการนำกลับมาใช้โดยอ้างอิงระดับอุณหภูมิจากการศึกษางานวิจัยในต่างประเทศ โดยมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-4 ดังนี้

ความสามารถการนำกลับมาใช้และระดับอุณหภูมิ ต่ำที่สุด ($<100^{\circ}\text{C}$) = 1 คะแนน

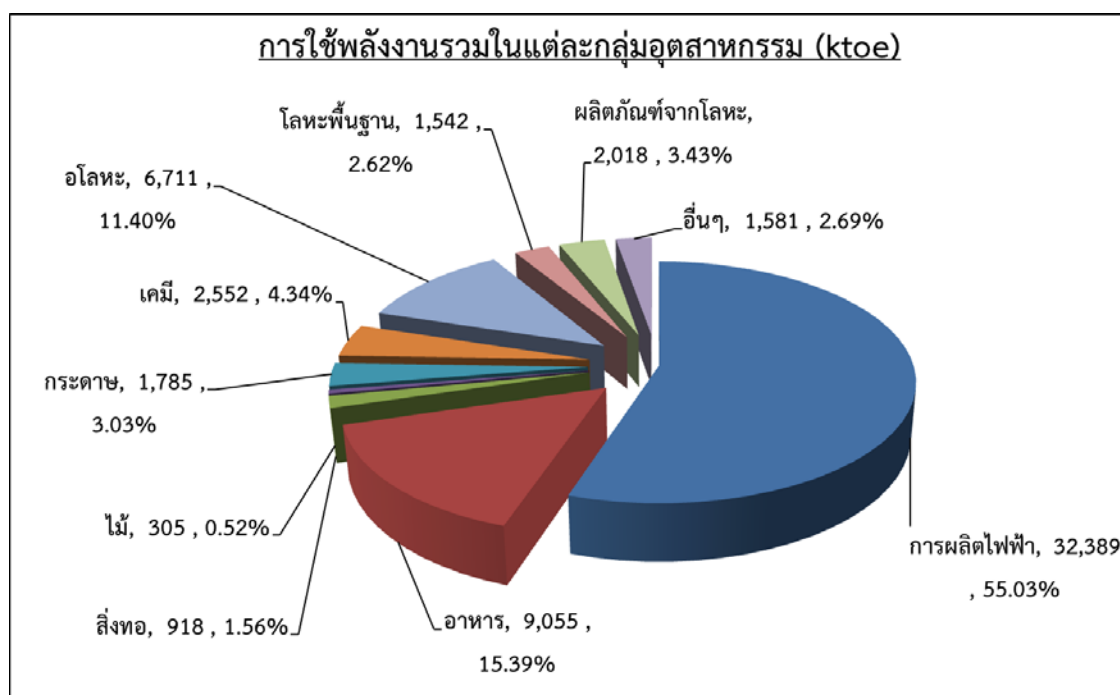
ความสามารถการนำกลับมาใช้และระดับอุณหภูมิ ต่ำ ($100-250^{\circ}\text{C}$) = 2 คะแนน

ความสามารถการนำกลับมาใช้และระดับอุณหภูมิ ปานกลาง ($250-650^{\circ}\text{C}$) = 3 คะแนน

ความสามารถการนำกลับมาใช้และระดับอุณหภูมิ สูง ($>650^{\circ}\text{C}$) = 4 คะแนน

3.3.2 ผลการศึกษา

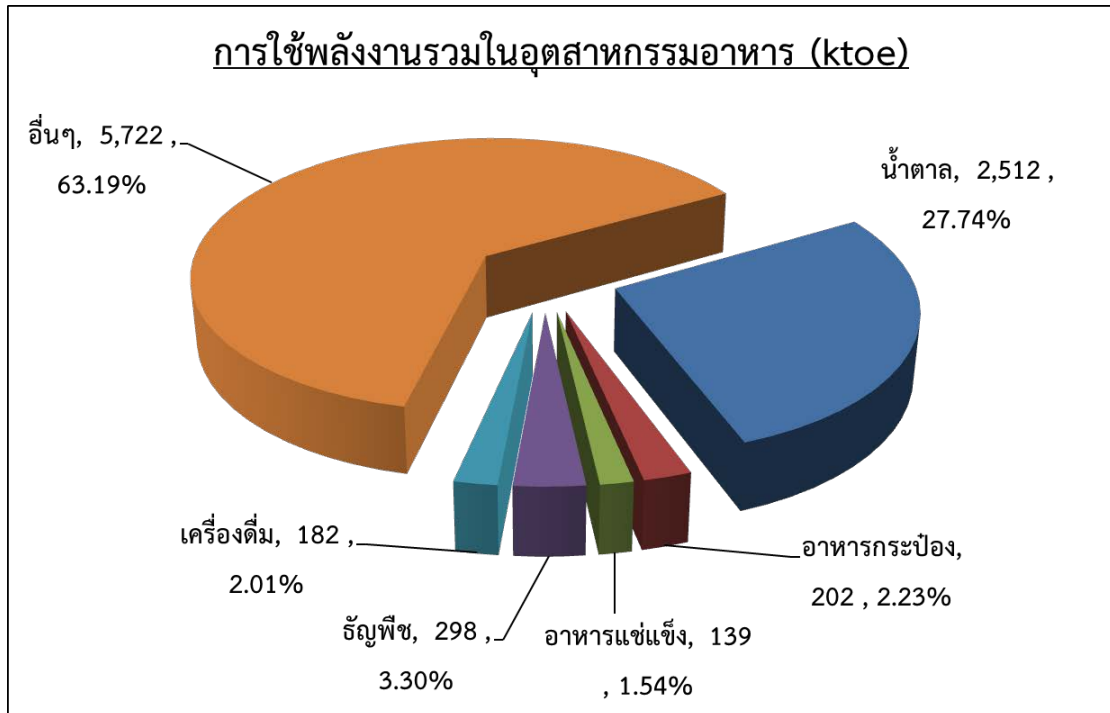
การคัดเลือกกลุ่มอุตสาหกรรมจากปริมาณพลังงานรวมในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ โดยพิจารณาคัดเลือกกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูง ทางคณะผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลโรงงานควบคุมของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนจัดทำเป็นแผนภูมิพายเพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรมใหญ่ต่างๆ ในหน่วย ktoe แสดงข้อมูลดังรูปที่ 3-3 [12]



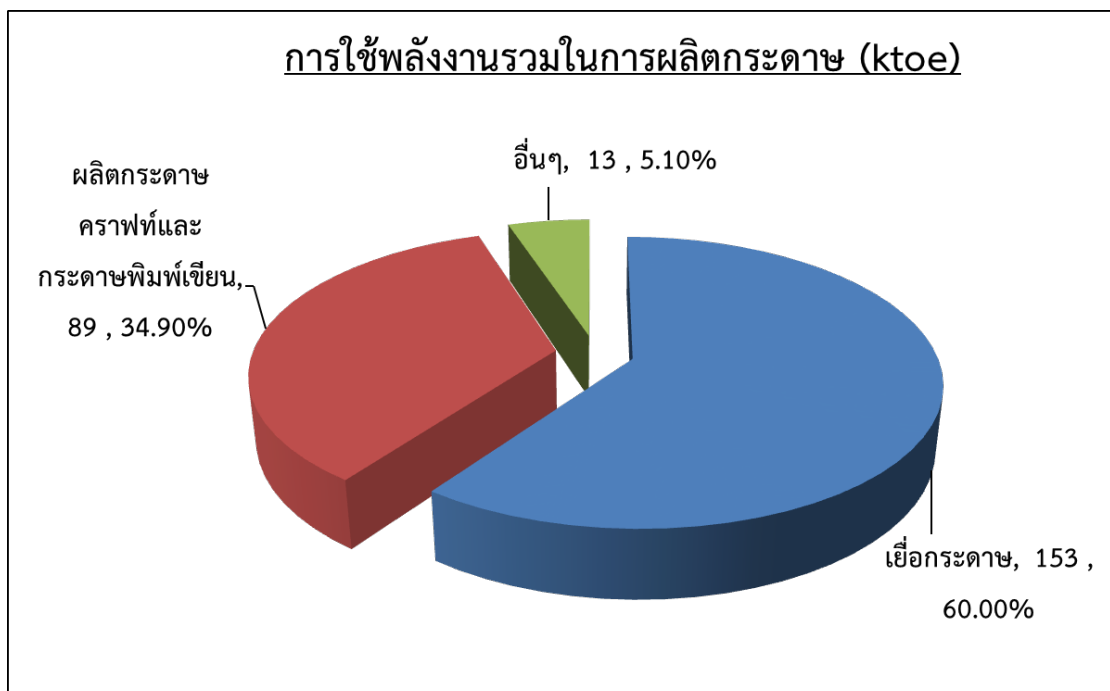
รูปที่ 3-3 การใช้พลังงานรวมในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมใหญ่ในหน่วย ktoe

จากรูปที่ 3-3 พบว่าจากอุตสาหกรรมทั้งหมด 10 กลุ่ม กลุ่มที่มีความน่าสนใจและมีการใช้พลังงานตั้งแต่มากที่สุดจนถึงน้อยที่สุด ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากโลหะ อุตสาหกรรมโลหะพื้นฐาน อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมไม้ และอื่นๆ ซึ่งในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมจะมีการ

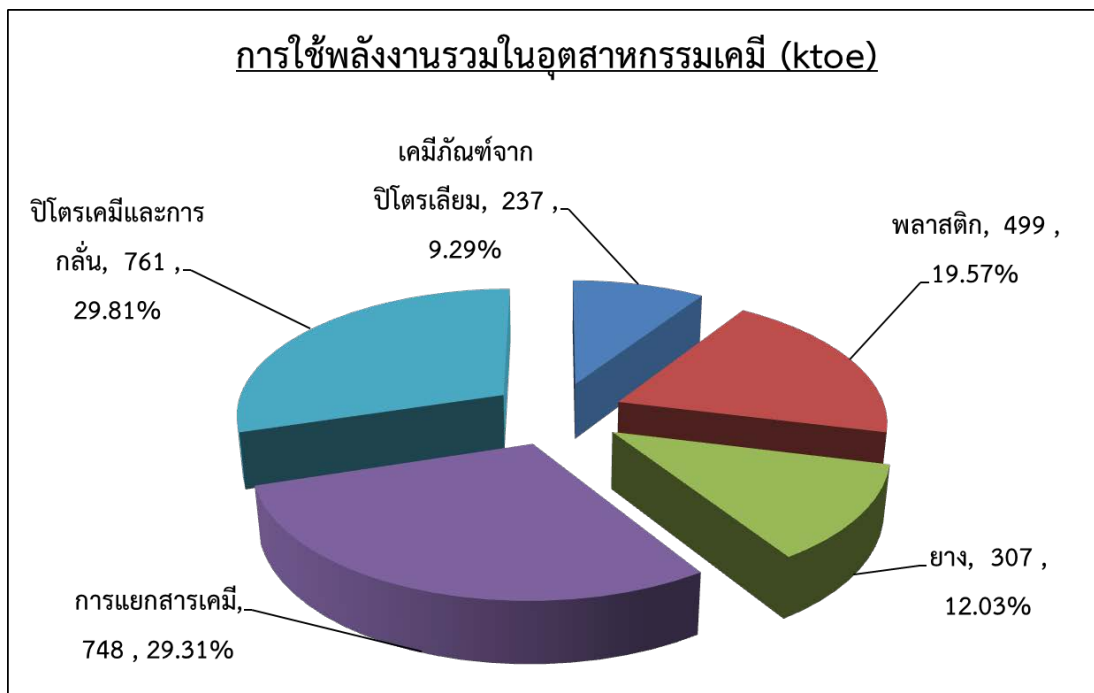
แยกย่อยการใช้พลังงานเป็นอุตสาหกรรมต่างๆอีก ยกตัวอย่างเช่นกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร สามารถแยกออกเป็น อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมธัญพืช และอื่นๆ ปริมาณพลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรมย่อยในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม แสดงในรูปที่ 3-4 ถึง 3-9



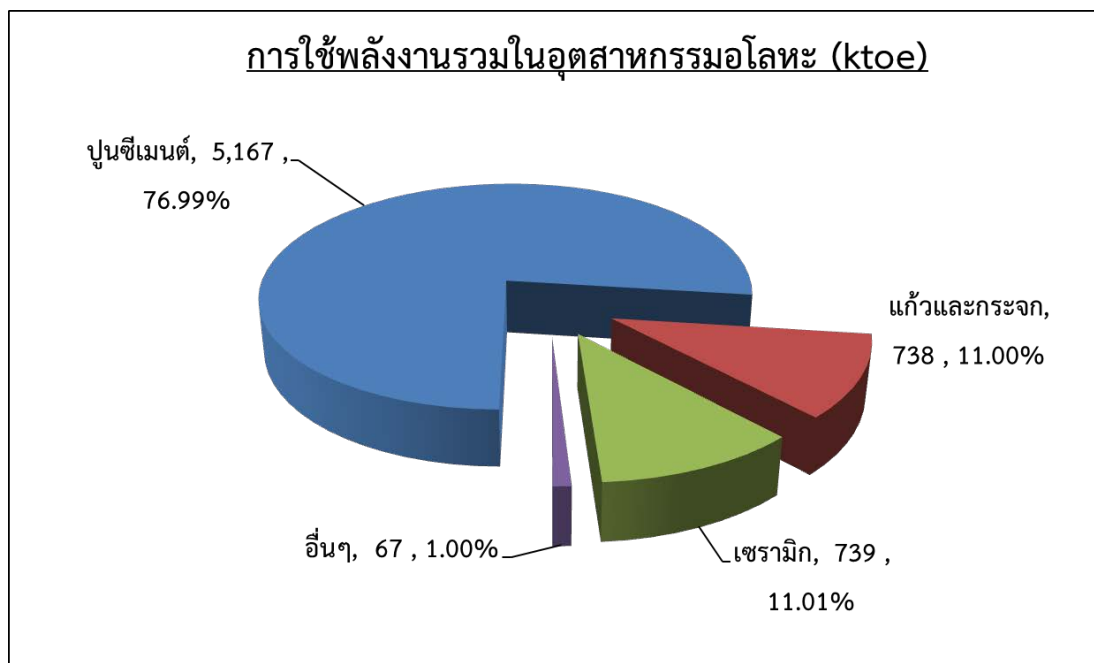
รูปที่ 3-4 การใช้พลังงานรวมในอุตสาหกรรมย่อยในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร ในหน่วย ktoe



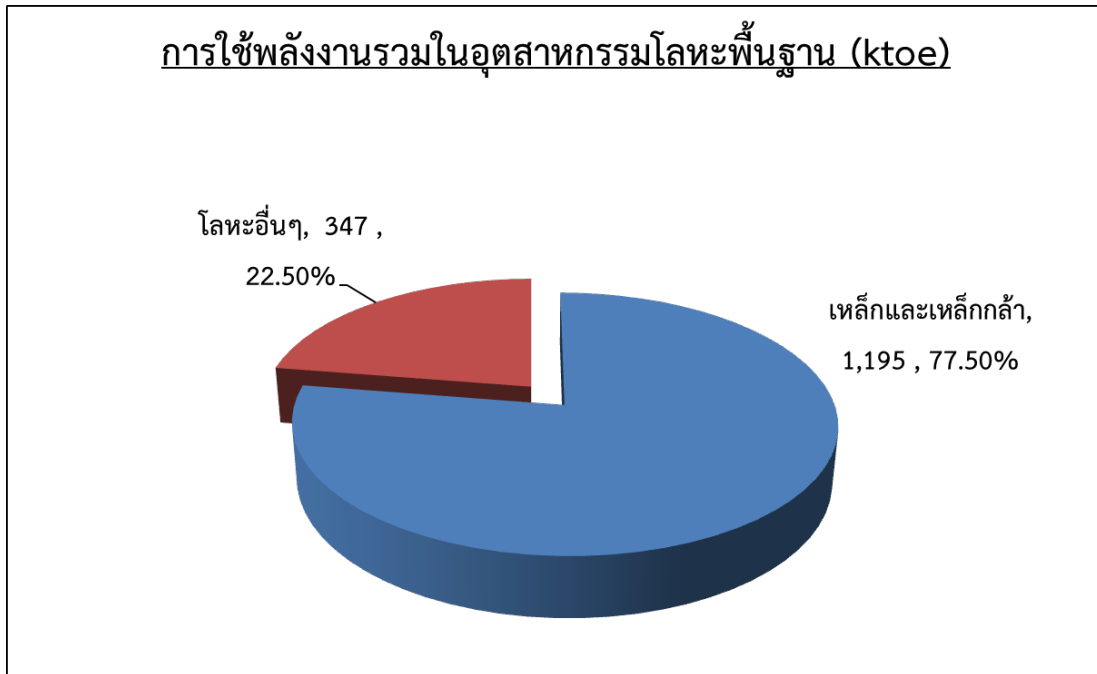
รูปที่ 3-5 การใช้พลังงานรวมในอุตสาหกรรมย่อยในกลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษ ในหน่วย ktoe



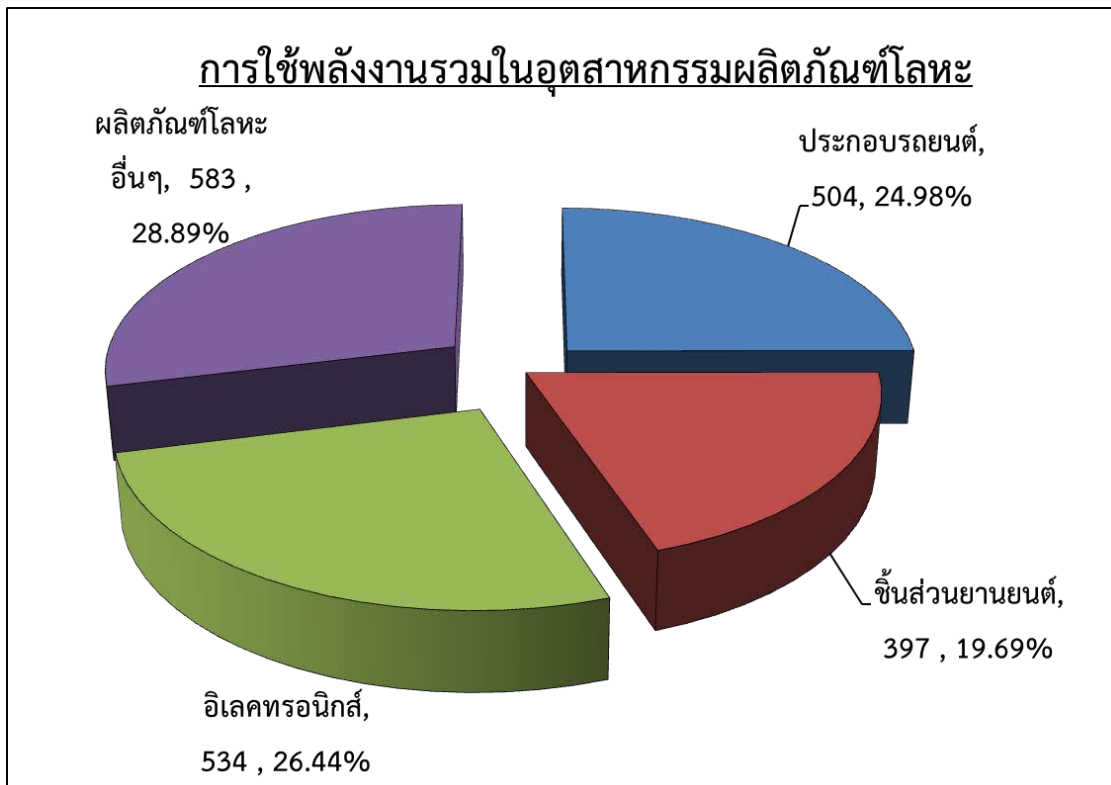
รูปที่ 3-6 การใช้พลังงานรวมในอุตสาหกรรมย่อยในกลุ่มอุตสาหกรรมเคมี ในหน่วย ktoe



รูปที่ 3-7 การใช้พลังงานรวมในอุตสาหกรรมย่อยในกลุ่มอุตสาหกรรมโลหะ ในหน่วย ktoe



รูปที่ 3-8 การใช้พลังงานรวมในอุตสาหกรรมย่อยในกลุ่มอุตสาหกรรมโลหะพื้นฐาน ในหน่วย ktoe



รูปที่ 3-9 การใช้พลังงานรวมในอุตสาหกรรมย่อยในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ ในหน่วย ktoe

จากรูปที่ 3-4- ถึง 3-9 แสดงปริมาณการใช้พลังงานรวมของกลุ่มอุตสาหกรรมย่อยในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมใหญ่ รวมถึงสัดส่วนการใช้พลังงานอย่างชัดเจน จากนั้นทางคณะผู้วิจัยได้นำข้อมูลไปพิจารณาการให้คะแนน

การให้คะแนนความคล้ายคลึงกันในกระบวนการผลิตในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมนั้นทางคณะผู้วิจัยได้ศึกษารายละเอียดข้อมูลอุปกรณ์และกระบวนการผลิตที่มีความร้อนทิ้งของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม จากข้อมูลทางเว็บไซต์และจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญรวมถึงการเข้าสัมภาษณ์สมาคมของกลุ่มอุตสาหกรรมบางกลุ่มเพื่อนำมาให้คะแนนตามความคล้ายคลึงกันตามความเหมาะสม รวมไปถึงการนำข้อมูลที่ได้การให้คะแนนศักยภาพความร้อนทิ้งโดยเปรียบเทียบอุปกรณ์ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมกับตารางอุณหภูมิแหล่งปล่อยความร้อนทิ้งตารางที่ 3-1 [3]

ตารางที่ 3-1 แหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิสูง ปานกลาง และต่ำ [3]

Temp Range	Example Sources	Temp (°F)	Temp (°C)
High >1,200°F [> 650°C]	Nickel refining furnace	2,500-3,000	1,370-1,650
	Steel electric arc furnace	2,500-3,000	1,370-1,650
	Basic oxygen furnace	2,200	1,200
	Aluminum reverberatory furnace	2,000-2,200	1,100-1,200
	Copper refining furnace	1,400-1,500	760-820
	Steel heating furnace	1,700-1,900	930-1,040
	Copper reverberatory furnace	1,650-2,000	900-1,090
	Hydrogen plants	1,200-1,800	650-980
	Fume incinerators	1,200-2,600	650-1,430
	Glass melting furnace	2,400-2,800	1,300-1,540
	Coke oven	1,200-1,800	650-1,000
	Iron cupola	1,500-1,800	820-980
Medium 450-1,200°F [230-650°C]	Steam boiler exhaust	450-900	230-480
	Gas turbine exhaust	700-1,000	370-540
	Reciprocating engine exhaust	600-1,100	320-590
	Heat treating furnace	800-1,200	430-650
	Drying & baking ovens	450-1,100	230-590
	Cement kiln	840-1,150	450-620
Low <450°F [<230°C]	Exhaust gases exiting recovery devices in gas-fired boilers, ethylene furnaces, etc.	150-450	70-230
	Process steam condensate	130-190	50-90
	Cooling water from:		
	furnace doors	90-130	30-50
	annealing furnaces	150-450	70-230
	air compressors	80-120	30-50
	internal combustion engines	150-250	70-120
	air conditioning and refrigeration condensers	90-110	30-40
	Drying, baking, and curing ovens	200-450	90-230
	Hot processed liquids/solids	90-450	30-230

ผลการให้คะแนนตามเกณฑ์การพิจารณาทั้ง 3 ข้อ แสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ตารางแสดงข้อมูลการให้คะแนนในกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ

ระดับ	อุณหภูมิที่ใช้ (°C)	ประเภทอุตสาหกรรม	พลังงาน (ktoe)	ปริมาณการใช้พลังงาน	ศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้	ความคล้ายคลึงกันของกระบวนการผลิต	รวม
สูง	1650	เหล็กและเหล็กกล้า	1,195	3	4	4	11
	1540	แก้วและกระจก	738	2	4	4	10
	1450	ปูนซีเมนต์	5,167	4	4	4	12
	1200	หลอมโลหะอื่นๆ	347	1	4	4	9
	1000	เซรามิก	739	2	4	4	10
กลาง	670	ปิโตรเคมีและการกลั่น	761	2	3	3	8
	540	การผลิตไฟฟ้า	32,389	4	3	3	10
	350	น้ำตาล	2,512	4	3	4	11
ต่ำ	150	เยื่อกระดาษ	1,071	3	2	4	9
	130	สิ่งทอ	918	2	2	3	7
	220	การแยกสารเคมี	748	2	3	1	6
	150	ผลิตกระดาษ	625	2	2	3	7
	<100	ผลิตภัณฑ์โลหะอื่นๆ	583	2	1	1	4
	<100	อิเล็กทรอนิกส์	534	2	1	1	4
	200	ประกอบรถยนต์	504	2	3	3	8
	150	พลาสติก	499	1	1	3	5
	120	ยาง	307	1	2	2	5
	150	ธัญพืช	298	1	2	2	5
	235	เคมีภัณฑ์จากปิโตรเลียม	237	1	3	2	6
	140	อาหารกระป๋อง	202	1	2	4	7
	120	เครื่องดื่ม	182	1	2	3	6
	120	อาหารแช่แข็ง	139	1	2	3	6

3.3.3 สรุปผลการคัดเลือก

กลุ่มอุตสาหกรรมที่มีคะแนนในช่วง 7-12 คะแนน เป็นกลุ่มที่มีคะแนนสูงและได้รับการพิจารณาได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมที่มีความร้อนทิ้งอุณหภูมิสูงทั้งหมด 5 กลุ่มอุตสาหกรรม กลุ่มที่มีความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำปานกลางและอุณหภูมิต่ำบางกลุ่ม ทั้งนี้ในส่วนของกลุ่มอุตสาหกรรมที่อยู่ในอุณหภูมิระดับปานกลางและต่ำที่ได้คัดเลือกมานั้นพบว่าหลักๆของอุปกรณ์ที่ปล่อยความร้อนทิ้งจากการใช้น้ำจึงนำมารวมเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อไอน้ำและมีการใช้น้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าในภาคอาคารธุรกิจนั้นมีการใช้พลังงานสูงจึงได้รับการพิจารณาโดยถือว่าอยู่ในกลุ่มอุณหภูมิระดับต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 แสดงกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการทำการศึกษา

ระดับ	อุณหภูมิที่ใช้ (°C)	ประเภทอุตสาหกรรม	พลังงาน (ktoe)	รวม	พลังงานสะสม (ktoe)	ร้อยละพลังงานสะสม
สูง	1650	เหล็กและเหล็กกล้า	1,195	11	1,195	2.03
	1540	แก้วและกระจก	738	10	1,933	3.28
	1450	ปูนซีเมนต์	5,167	12	7,100	12.06
	1200	หลอมโลหะอื่นๆ	347	9	7,447	12.65
	1000	เซรามิก	739	10	8,186	13.91
กลาง	670	ปิโตรเคมีและการกลั่น	761	8	8,947	15.20
	540	การผลิตไฟฟ้า	32,389	10	41,336	70.23
ต่ำ	<200	หม้อไอน้ำ และการใช้น้ำ	5,832	11	47,168	80.14
ต่ำ	100	อาคารธุรกิจ	5,303			

ดังนั้นสรุปผลการคัดเลือกกลุ่มอุตสาหกรรมที่นำมาศึกษาศักยภาพความร้อนทิ้งโดยรวมของทั้งประเทศต่อไป มีทั้งหมด 9 กลุ่ม ดังนี้

1. อุตสาหกรรมเหล็ก
2. อุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า
3. อุตสาหกรรมหล่อโลหะ
4. อุตสาหกรรมแก้วและกระจก
5. อุตสาหกรรมซีเมนต์
6. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี
7. อุตสาหกรรมเซรามิก
8. อุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำและไอน้ำความดันต่ำ ได้แก่ น้ำตาล อาหารกระป๋อง กระดาษและเยื่อกระดาษ สิ่งทอ และประกอบรถยนต์
9. อาคารธุรกิจ

3.4 การเข้าสัมภาษณ์และสำรวจ

การเข้าสัมภาษณ์และสำรวจ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ การเข้าสัมภาษณ์สมาคมหรือตัวแทนกลุ่มอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง และการเข้าสำรวจสถานประกอบการอุตสาหกรรมและอาคาร โดยเนื้อหาการสัมภาษณ์เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีความร้อนทิ้ง อุณหภูมิความร้อนทิ้ง และแนวทางการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ รวมถึงปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ และการสัมภาษณ์ผู้ผลิต จำหน่ายเทคโนโลยี

3.4.1 การเข้าสัมภาษณ์สมาคมหรือตัวแทนกลุ่มอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

เข้าสัมภาษณ์ สมาคมหรือตัวแทนกลุ่มอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับกระบวนการผลิต อุปกรณ์ที่มีความร้อนทิ้ง อุณหภูมิความร้อนทิ้ง และแนวทางการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ รวมถึงปัญหาหรืออุปสรรคในการดำเนินการ โดยสมาคมหรือตัวแทนกลุ่มอุตสาหกรรมที่เข้าสัมภาษณ์ประกอบด้วย

- | | |
|---|--------------------------|
| 1. สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย | (อุตสาหกรรมเหล็ก) |
| 2. สมาคมอุตสาหกรรมหล่อโลหะไทย | (อุตสาหกรรมหล่อโลหะ) |
| 3. บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) | (อุตสาหกรรมปิโตรเคมี) |
| 4. บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน) | (อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์) |
| 5. บริษัท กระจกไทยอาชาสี จำกัด (มหาชน) | (อุตสาหกรรมแก้วและกระจก) |

3.4.2 การเข้าสำรวจสถานประกอบการและอาคารธุรกิจ

จากการเข้าสัมภาษณ์เกี่ยวกับกระบวนการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรม เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีความร้อนทิ้ง รวมถึงอุณหภูมิความร้อนทิ้ง แนวทางการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ และปัญหาหรืออุปสรรคต่างๆ ในการดำเนินการและสำรวจสถานประกอบการต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยโรงงานขนาดใหญ่ (การใช้พลังงานรวมตั้งแต่ 20 ล้านเมกะจูลขึ้นไป) จำนวน 30 แห่ง อาคารธุรกิจ 1 แห่ง และโรงงานขนาดเล็ก (การใช้พลังงานรวมต่ำกว่า 20 ล้านเมกะจูล) จำนวน 18 แห่ง โดยแบ่งตามประเภทอุตสาหกรรมได้ดังนี้

โรงงานขนาดใหญ่ที่เข้าสัมภาษณ์แบ่งตามประเภทอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนี้

1. อุตสาหกรรมหล่อโลหะ 5 แห่ง
2. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี 4 แห่ง
3. อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 3 แห่ง
4. อุตสาหกรรมเหล็ก 3 แห่ง
5. อุตสาหกรรมแก้วและกระจก 3 แห่ง
6. อุตสาหกรรมเซรามิก 3 แห่ง
7. อุตสาหกรรมสิ่งทอ 3 แห่ง
8. อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า 2 แห่ง
9. อุตสาหกรรมกระดาษ 2 แห่ง
10. อุตสาหกรรมอาหาร 1 แห่ง
11. อุตสาหกรรมน้ำตาล 1 แห่ง
12. อุตสาหกรรม และอาคารประเภทโรงแรม 1 แห่ง

โดยมีรายชื่อโรงงานขนาดใหญ่และอาคารธุรกิจที่เข้าสำรวจ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3-4 รายชื่อสถานประกอบการขนาดใหญ่และอาคารธุรกิจที่เข้าสำรวจ

รายชื่อสถานประกอบการ	ประเภทอุตสาหกรรม	วันที่เข้าสัมภาษณ์
1.บริษัท แอลเมท ไทย จำกัด	หล่อโลหะ	22 ตุลาคม 2557
2.บริษัท ไทยบราส อินดัสตรี จำกัด	หล่อโลหะ	5 พฤศจิกายน 2557
3.บริษัท นครหลวงพัฒนาวิศวกรรม จำกัด	หล่อโลหะ	21 ตุลาคม 2557
4.บริษัท แคป ซี อี แอล จำกัด	หล่อโลหะ	5 พฤศจิกายน 2557
5.บริษัท บุรพาเหล็กกล้า จำกัด	หล่อโลหะ	6 ตุลาคม 2557
6.บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) สาขาที่ 5	ปิโตรเคมี	29 ตุลาคม 2557
7.บริษัท ศักดิ์ไชยสิทธิ์ จำกัด	ปิโตรเคมี	30 ตุลาคม 2557
8.โรงกลั่นน้ำมันบางจาก	ปิโตรเคมี	27 ตุลาคม 2557
9.บริษัท ระยองโอเลฟินส์ จำกัด	ปิโตรเคมี	29 กันยายน 2557
10.บริษัท ภูมิใจไทยซีเมนต์ จำกัด	ปูนซีเมนต์	24 ตุลาคม 2557
11.บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) (ท่าหลวง)	ปูนซีเมนต์	24 ตุลาคม 2557
12.บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) (โรงงาน 3)	ปูนซีเมนต์	25 ตุลาคม 2557
13.บริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด (มหาชน)	เหล็ก	1 พฤศจิกายน 2557
14.บริษัท แปซิฟิกไพพ์ จำกัด (มหาชน)	เหล็ก	7 ตุลาคม 2557

รายชื่อสถานประกอบการ	ประเภทอุตสาหกรรม	วันที่เข้าสัมภาษณ์
15.บริษัท สยามสตีล กัลวาไนซิง จำกัด	เหล็ก	14 ตุลาคม 2557
16.บริษัท โอเซียนกลาส จำกัด (มหาชน)	แก้วและกระจก	8 ตุลาคม 2557
17.บริษัท อุตสาหกรรมทำเครื่องแก้วไทย จำกัด (มหาชน)	แก้วและกระจก	10 ตุลาคม 2557
18.บริษัท กระจกไทยอาชาฮี จำกัด (มหาชน)	แก้วและกระจก	17 ตุลาคม 2557
19.ห้างหุ้นส่วนจำกัด กระเบื้องไทย	เซรามิก	4 พฤศจิกายน 2557
20.บริษัท ไทยอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา จำกัด	เซรามิก	4 พฤศจิกายน 2557
21.บริษัท ไสสุไต้ เซรามิค จำกัด	เซรามิก	20 กันยายน 2557
22.บริษัท ไทยกุลแซ่ จำกัด	สิ่งทอ	6 พฤศจิกายน 2557
23.บริษัท เค เวลด์ เท็กซ์ไทล์ จำกัด	สิ่งทอ	4 พฤศจิกายน 2557
24.บริษัท เพรสทีจพลัส จำกัด	สิ่งทอ	17 ตุลาคม 2557
25.บริษัท สมุทรปราการ โคเจนเนอเรชั่น จำกัด	ผลิตไฟฟ้า	8 ตุลาคม 2557
26.โรงไฟฟ้าบางปะกง	ผลิตไฟฟ้า	14 ตุลาคม 2557
27.บริษัท กระดาษสหไทย จำกัด (มหาชน)	กระดาษ	16 ตุลาคม 2557
28.บริษัท ดับเบิล เอ (1991) จำกัด (มหาชน)	กระดาษ	5 พฤศจิกายน 2557
29.บริษัท ไทยยูเนียนฟอสเฟต จำกัด	อาหาร	22 ตุลาคม 2557
30.บริษัท สหการน้ำตาลชลบุรี จำกัด	น้ำตาล	31 ตุลาคม 2557
31.โรงแรมแกรนด์ เมอร์เคียวฟอรฺจู	โรงแรม	20 ตุลาคม 2557

โรงงานขนาดเล็กที่เข้าสัมภาษณ์แบ่งตามประเภทอุตสาหกรรมต่าง ๆ ดังนี้

1. อุตสาหกรรมอาหาร 6 แห่ง
1. อุตสาหกรรมหล่อโลหะ 4 แห่ง
2. อุตสาหกรรมเซรามิก 4 แห่ง
3. อุตสาหกรรมสิ่งทอ 4 แห่ง

ตารางที่ 3-5 รายชื่อสถานประกอบการขนาดเล็กที่เข้าสำรวจ

รายชื่อสถานประกอบการ	ประเภทอุตสาหกรรม	วันที่เข้าสัมภาษณ์
1. บริษัท รัชชานนท์ แคนนิ่ง จำกัด	อาหาร (กระป๋อง)	16 มีนาคม 2558
2. บริษัท สยามคาสติ้ง จำกัด	หล่อโลหะ	17 มีนาคม 2558
3. บริษัท ลีบราเดอร์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด	หล่อโลหะ	18 มีนาคม 2558
4. บริษัท ตงไฮเซรามิก จำกัด	เซรามิก	19 มีนาคม 2558
5. บริษัท เอเชียติก อุตสาหกรรมเกษตร จำกัด	อาหาร (กระป๋อง)	20 มีนาคม 2558
6. บริษัท สแตนดาร์ด อินซูเรเตอร์ จำกัด	เซรามิก	24 มีนาคม 2558
7. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ดาราอุตสาหกรรมสิ่งทอ	สิ่งทอ	25 มีนาคม 2558
8. บริษัท ไอ.เอส.โอ.สตีล (ประเทศไทย) จำกัด	หล่อโลหะ	27 มีนาคม 2558
9(1). บริษัท เจดีฟู้ดส์โปรดัก จำกัด (สมุทรสาคร)	อาหาร	31 มีนาคม 2558
9(2) . บริษัท เจดีฟู้ดส์โปรดัก จำกัด (สมุทรสงคราม)	อาหาร	2 เมษายน 2558
10. บริษัท เซอร์รา จำกัด	เซรามิก	7 เมษายน 2558
11. บริษัท ศรีไทยไพศาลโลหะการ	หล่อโลหะ	7 เมษายน 2558
12. บริษัท เฟิสท์ แคน ฟู้ดส์ จำกัด	อาหาร (กระป๋อง)	8 เมษายน 2558
13. บริษัท จอมธนา จำกัด	อาหาร	9 เมษายน 2558
14. บริษัท วาย.ยู.ดี.เท็กซ์ไทล์ จำกัด	สิ่งทอ	27 เมษายน 2558
15. บริษัท คาร์เพท อินเตอร์เนชั่นแนล ไทยแลนด์ จำกัด	สิ่งทอ	29 เมษายน 2558
16. หจก.สหมิตรแป้งมัน ชลบุรี	อาหาร (แป้งมัน)	16 พฤษภาคม 2558
17. บริษัท แสทวี่อินเตอร์กรุ๊ป จำกัด	สิ่งทอ	26 พฤษภาคม 2558
18. บริษัท สุขภัณฑ์ไฮโดร	เซรามิก	16 มิถุนายน 2558

3.4.3 การเข้าสัมภาษณ์ผู้ผลิตและจำหน่ายเทคโนโลยี

เข้าสัมภาษณ์ผู้ผลิตและจำหน่ายเทคโนโลยี เพื่อให้ทราบถึง ภาพรวมของตลาด ความคุ้มค่าในการลงทุน ความพร้อมในการผลิตและติดตั้งใช้งาน กลุ่มลูกค้าที่มีศักยภาพ รวมถึงปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ซึ่งได้เข้าสัมภาษณ์ผู้ผลิตและจำหน่ายเทคโนโลยีจำนวน 6 แห่ง ประกอบด้วย

ตารางที่ 3-6 รายชื่อผู้ผลิตและจำหน่ายเทคโนโลยีที่เข้าพบ

รายชื่อผู้ผลิตจำหน่ายเทคโนโลยี	ประเภทเทคโนโลยี	วันที่เข้าสัมภาษณ์
1. บริษัท ยูที เอ็นจิเนียริง อินเตอร์เนชั่นแนล	Heat Exchanger	6 พฤศจิกายน 2557
2. บริษัท กรีนเทคโซลูชั่น จำกัด	ระบบผลิตไฟฟ้า	12 พฤศจิกายน 2557 (เช้า)
3. บริษัท อัลฟา-ลาวัล (ไทยแลนด์) จำกัด	Heat Exchanger	12 พฤศจิกายน 2557 (บ่าย)
4. บริษัท โกลด์มาร์กเทค จำกัด	ระบบผลิตไฟฟ้า	18 พฤศจิกายน 2557
5. บริษัท ไทยเบียร์เนอส์ อินดัสเตรียล ฮีต จำกัด	Burner	แบบสอบถาม
6. บริษัท เคเอสพี พรีซิชั่น เทคโนโลยี จำกัด	Burner	แบบสอบถาม

3.5 การส่งแบบสอบถาม

เพื่อให้ได้ข้อมูลในวงกว้าง ผู้วิจัยมีการจัดส่งแบบสอบถามร่วมกับการเข้าสำรวจในข้อ 3.4 ในแบบสอบถามจะเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานและการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ได้คัดเลือกแล้วว่ามีศักยภาพในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ และได้มีการส่งแบบสอบถามไปยังผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อให้ช่วยพิจารณาความถูกต้องเหมาะสมของเนื้อหาอีกด้วย ซึ่งเนื้อหาในแบบสอบถามประกอบด้วย

1 ข้อมูลเบื้องต้น โดยข้อมูลที่ต้องการประกอบด้วย ประเภทผลผลิต เวลาที่ใช้ในการผลิต กำลังการผลิต และผลผลิตจริง เพื่อต้องการทราบประเภทผลผลิต กำลังผลิตต่อปี ปริมาณผลผลิต และชั่วโมงที่ทำการผลิตต่อปี

2. ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง โดยข้อมูลที่ต้องการประกอบด้วย ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในปี 2556 และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปี 2556 หลังจากนั้นจะนำค่าที่ได้มาทำการหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption : SEC) ต่อไป

3. แหล่งความร้อนทิ้ง โดยข้อมูลที่ต้องการประกอบด้วย

- เครื่องจักรอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งความร้อนทิ้ง
- อุณหภูมิภายในเครื่องจักรอุปกรณ์
- พิกัดการผลิตของเครื่องจักรอุปกรณ์
- ปริมาณการผลิตจริง
- อุณหภูมิความร้อนที่ปล่อยทิ้งก่อนนำกลับมาใช้
- เทคโนโลยีที่ใช้ในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

- การผลิตลมร้อน การผลิตน้ำร้อน ระบบน้ำระบายความร้อน การผลิตน้ำเย็น
- แผนในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

จุดประสงค์ของแบบสอบถามในหัวข้อนี้เพื่อต้องการทราบรายละเอียดของเครื่องจักร/อุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนทิ้ง และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนทิ้งรวมของโรงงาน พร้อมกับสำรวจว่ามีการใช้เทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้แล้วหรือไม่อย่างไร และพิจารณาต่อไปว่าปริมาณความร้อนทิ้งที่มีอยู่หรือที่เหลือจากกลับมาใช้ใหม่มีความเหมาะสมกับเทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประเภทใดหรือแบบใดมากที่สุด

4. ปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ เนื้อหาของขั้นตอนนี้ประกอบด้วยการวิเคราะห์ความสำคัญของปัญหาด้านต่างๆ ได้แก่

- ขาดความรู้ในการปรับปรุง
- ขาดเงินลงทุน
- ขาดเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้
- ติดข้อกฎหมายหรือ กฎระเบียบ
- แหล่งที่จะนำความร้อนทิ้งไปใช้
- ความคุ้มค่า
- สถานที่ติดตั้ง
- การหยุดการผลิตเพื่อปรับปรุง
- ปัญหาอื่นๆ

โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนทั้งหมด 6 ระดับ ตั้งแต่ปัญหามากที่สุดจนถึงไม่มีปัญหา โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำประเด็นของปัญหาและอุปสรรคต่างๆมาประเมินว่า ปัญหาใดมีน้ำหนักหรือความสำคัญมากที่สุดและเรียงลำดับไปจนถึงน้อยที่สุด เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดในเชิงนโยบายรวมถึงปัญหาต่างๆกับความเหมาะสมในการเลือกใช้เทคโนโลยีต่างๆต่อไป

จากการส่งแบบสอบถามไปยังสถานประกอบการต่างๆเพื่อขอข้อมูลจำนวนประมาณ 700 แห่ง ปรากฏว่ามีสถานประกอบการที่ส่งแบบสอบถามกลับมาจำนวน 157 แห่ง และมีแบบสอบถามที่ข้อมูลครบถ้วนเพียงพอที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้านความร้อนทิ้งจำนวน 117 แห่ง โดยแบ่งเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3-7 จำนวนโรงงานที่ตอบแบบสอบถาม

ลำดับที่	ประเภทอุตสาหกรรม	จำนวนโรงงาน
1	เหล็กรีดร้อน	11
2	เหล็กรีดเย็น	4
3	ปิโตรเคมี	12
4	ผลิตไฟฟ้า	24
5	หล่อโลหะ	9
6	กระดาษ	8
7	สิ่งทอ	8
8	น้ำตาล	19
9	อาหารกระป๋อง	7
10	แก้วและกระจก	11
11	เซรามิก	3
12	ปูนซีเมนต์	1
	รวม	117

บทที่ 4

การศึกษาเทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

4.1 นิยาม

ความร้อนทิ้ง หรือ Waste heat ในที่นี้หมายถึง พลังงานที่ไหลออกไปพร้อมกับกระแสของอากาศ ก๊าซไอเสีย ของเหลว ที่ออกไปจากขอบเขตของอาคารหรือโรงงาน สู่อากาศแวดล้อม ซึ่งพลังงานเหล่านั้นในที่สุดไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ ตัวอย่างของความร้อนทิ้งดังกล่าว ได้แก่

- ก๊าซไอเสียจากอุปกรณ์ที่มีการเผาไหม้ เช่นอุตสาหกรรม หม้อไอน้ำ
- ก๊าซหรือความร้อนจากกระบวนการผลิต
- น้ำระบายความร้อน
- ความร้อนจากผิวร้อนของเครื่องจักร หรือผลิตภัณฑ์ แล้วถ่ายเทให้กับอากาศ โดยการเผาหรือแผ่รังสี

ความร้อนทิ้งมักแบ่งตามช่วงอุณหภูมิซึ่งจะแสดงถึงศักยภาพในการนำไปใช้งาน ซึ่งมาตรฐานในการแบ่งช่วงอุณหภูมิความร้อนทิ้งค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในการศึกษานี้จะใช้หน่วยอุณหภูมิตาม SI ดังนี้

- ความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ ช่วงอุณหภูมิ ต่ำกว่า 250°C
- ความร้อนทิ้งอุณหภูมิปานกลาง ช่วงอุณหภูมิ ตั้งแต่ 250 ถึง 500°C
- ความร้อนทิ้งอุณหภูมิสูง ช่วงอุณหภูมิ เกินกว่า 500°C

ขณะเดียวกันการนำความร้อนทิ้งมาใช้ จำเป็นต้องมีแหล่งรับความร้อนหรือ Heat sink ซึ่งได้แก่กระบวนการที่มีการทำความร้อนที่โรงงานต้องใช้ เช่นการผลิตน้ำร้อน การผลิตอากาศร้อน การให้ความร้อนขึ้นงาน ในที่นี้จะแบ่งแหล่งใช้ความร้อนออกเป็น 3 ช่วงได้แก่

- แหล่งรับความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ ต้องการอุณหภูมิ ต่ำกว่า 150°C
- แหล่งรับความร้อนทิ้งอุณหภูมิปานกลาง ต้องการอุณหภูมิ ในช่วง 150 ถึง 250°C
- แหล่งรับความร้อนทิ้งอุณหภูมิสูง ต้องการอุณหภูมิที่เกิน 500°C

4.2 ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ [3]

ในการประเมินความเป็นไปได้ในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ จะต้องพิจารณาตัวแปรปัจจัยที่เป็นลักษณะเฉพาะของแหล่งความร้อนทิ้งและแหล่งรับความร้อนที่ความร้อนจะถูกถ่ายเท โดยปัจจัยสำคัญๆ ที่มีผลต่อความเป็นไปได้ในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ มีดังนี้

- ปริมาณความร้อนทิ้ง (Heat quantity)
- คุณภาพ/ระดับอุณหภูมิของความร้อนทิ้ง (Heat temperature/Quality)
- องค์ประกอบ (Composition) ของความร้อนทิ้ง
- อุณหภูมิขั้นต่ำสุดที่ยอมรับได้ และ
- ชั่วโมงการทำงาน (Operating Schedule) ความพร้อม (availability) และระบบการขนส่งโลจิสติกส์ (Logistics)

ปัจจัยต่างๆ นี้ใช้การวิเคราะห์หาปริมาณและคุณภาพของความร้อนทิ้ง และใช้ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมเป็นไปได้ของวัสดุที่นำมาใช้ และข้อจำกัดในการออกแบบ ตัวอย่างเช่น การกักเก็บของสารตัวอย่างในการถ่ายเทความร้อน เป็นสิ่งที่ควรนำมาพิจารณาประกอบในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้งาน แม้ว่าความร้อนทิ้งนั้นจะมีปริมาณและคุณภาพที่ยอมรับได้ โดยหลักในการพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นไปได้ในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ ดังนี้

4.2.1 ปริมาณความร้อนทิ้ง (Heat Quantity)

เป็นการวัดปริมาณของพลังงานในความร้อนทิ้ง ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยปริมาณความร้อนทิ้ง จะขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิและอัตราการไหลเชิงมวลของแหล่งความร้อนทิ้ง ดังสมการ

$$E = m h(t)$$

เมื่อ E เป็นพลังงานความร้อนทิ้งที่สูญเสีย ในหน่วย Btu/ชม.

m เป็นอัตราการไหลเชิงมวลของแหล่งความร้อนทิ้ง ในหน่วย lb/ชม.

$h(t)$ เป็นค่าเอนทัลปีจำเพาะของความร้อนทิ้ง ในหน่วย Btu/lb ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิ โดยในการศึกษาของ U.S นี้ จะคำนวณค่าเอนทัลปีของความร้อนทิ้งที่ระดับอุณหภูมิอ้างอิง 2 ระดับคือ ณ ที่อุณหภูมิ 25°C ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงที่ให้ค่าประมาณการของความร้อนทิ้งที่สูงที่สุด และที่อุณหภูมิ 150°C ซึ่งเป็นระดับอ้างอิงของอุณหภูมิความร้อนทิ้งปล่อยออกที่อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ปฏิบัติอยู่

4.2.2 คุณภาพ/ระดับอุณหภูมิของความร้อนทิ้ง (Heat temperature/Quality)

อุณหภูมิของความร้อนทิ้ง เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความเป็นไปได้ในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ อุณหภูมิของความร้อนทิ้ง สามารถมีได้หลากหลายระดับ เช่น น้ำระบายความร้อนมีได้ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิประมาณ $40-90^{\circ}\text{C}$ หรืออุณหภูมิเตาหลอมแก้ว มีอุณหภูมิที่สูงกว่า $1,320^{\circ}\text{C}$ เพื่อที่จะพิจารณาหาศักยภาพที่เป็นไปได้ของความร้อนทิ้ง จำเป็นที่จะต้องมียุณหภูมิของแหล่งความร้อนทิ้ง (Heat source) ที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ต้องการของแหล่งรับความร้อนทิ้ง (Heat sink) นั้นไปใช้งาน นอกจากนี้ ปัจจัยสำคัญที่ควรต้องพิจารณาคือ ความแตกต่างของระดับอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ (Heat Source) และแหล่งรับ (Heat Sink) หรือที่เรียกว่า ระดับคุณภาพ “Quality” ของความร้อนทิ้ง โดยที่ความแตกต่างของอุณหภูมิแหล่งให้และแหล่งรับจะมีผลต่อ

1 อัตราความร้อนที่ถ่ายเทต่อหน่วยพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน

2 ประสิทธิภาพสูงสุดเชิงทฤษฎีของการถ่ายเท/เปลี่ยนรูปของพลังงานความร้อนจากแหล่งให้ไปสู่แหล่งรับ (เช่น การเปลี่ยนรูปพลังงานเชิงกล หรือการเปลี่ยนรูปพลังงานเชิงไฟฟ้า) และ

3 ช่วงของอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลต่อการเลือกวัสดุและการออกแบบอุปกรณ์นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์

ทั้งนี้ ในการศึกษาได้แบ่งช่วงโอกาสของศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ออกเป็น 3 ช่วงตามช่วงของอุณหภูมิ ออกเป็น ระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับสูง

โดยตารางที่ 4-1 ได้แสดงตัวอย่างของแหล่งความร้อนทิ้งที่อุณหภูมิในช่วงระดับต่ำ-ปานกลาง-สูง ตลอดจนรูปแบบการนำไปใช้ประโยชน์ เทคโนโลยีที่นำไปใช้ และปัญหาอุปสรรค

4.2.3 พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่ต้องการ (Heat Exchanger Area Requirements)

อุณหภูมิของความร้อนทิ้ง เป็นปัจจัยมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างแหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อน ซึ่งมีผลต่อศักยภาพความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีไปใช้งาน สมการการถ่ายเทความร้อนสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$Q = UA \Delta T$$

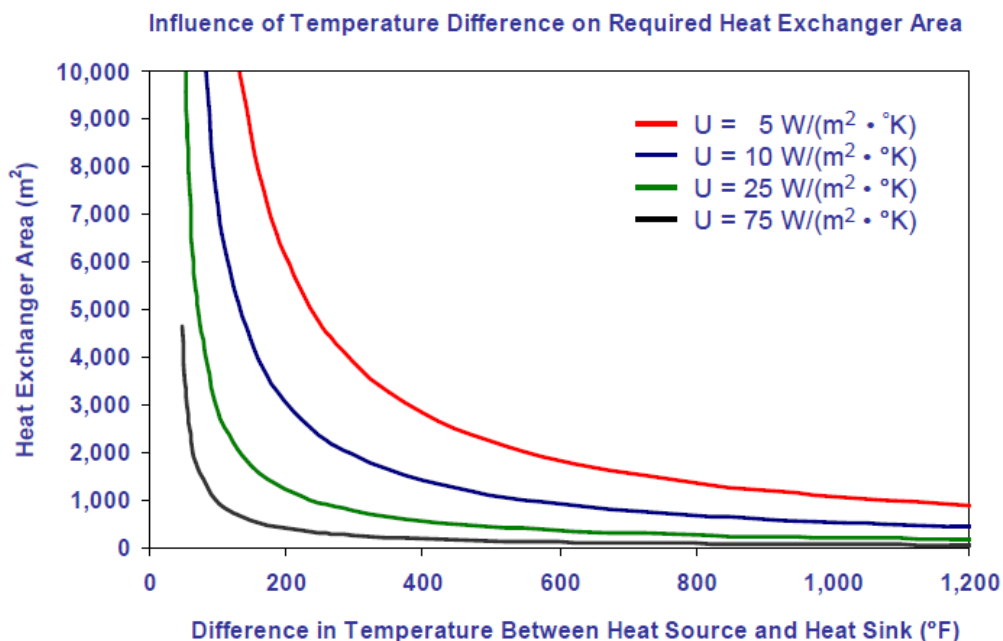
เมื่อ Q เป็นอัตราการถ่ายเทความร้อน ในหน่วย วัตต์ (W) หรือ Btu/วินาที

U เป็นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient) ในหน่วย $W/m^2 \cdot K$

A เป็นพื้นที่ผิวที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ในหน่วย ตารางเมตร (m^2)

ΔT เป็นความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อน (สายร้อน) และแหล่งรับ (สายเย็น)

ทั้งนี้ จากสมการ จะเห็นว่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) พื้นที่ผิวที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน (A) และค่า ΔT ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อน (สายร้อน) และแหล่งรับ (สายเย็น) ดังนั้น หากค่าความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองสายมีค่าน้อยๆ ย่อมต้องการพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนถ่ายเทความร้อนในปริมาณที่มากขึ้น ดังแสดงได้ดังกราฟรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 แสดงอิทธิพลของความแตกต่างของอุณหภูมิของแหล่งให้และแหล่งรับความร้อนที่มีผลต่อพื้นที่ผิวที่ต้องการในการแลกเปลี่ยนความร้อน

4.2.4 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุด ตามหลักประสิทธิภาพของ Carnot Efficiency

แหล่งให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างกัน จะมีข้อจำกัดในเชิงประสิทธิภาพทางทฤษฎีในการผลิตไฟฟ้าที่ต่างกัน โดยประสิทธิภาพสูงสุดทางทฤษฎีที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงได้ดังสมการ ประสิทธิภาพ Carnot Efficiency ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพสูงสุดที่เป็นไปได้ของเครื่องยนต์ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ประสิทธิภาพ Carnot จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และจะตกลงอย่างเห็นได้ชัดสำหรับช่วงอุณหภูมิต่ำๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-2

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

เมื่อ T_H เป็นอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อนทิ้ง

T_L เป็นอุณหภูมิของแหล่งรับความร้อน

เนื่องจากอุณหภูมิของความร้อนทิ้งมีผลกระทบต่อความเป็นไปได้ในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ จึงจำเป็นต้องมีการประเมินโอกาสของศักยภาพความร้อนทิ้งโดยการพิจารณาทั้งจากปริมาณความร้อนทิ้ง และคุณภาพของความร้อนทิ้งด้วย ในการวิเคราะห์ศักยภาพที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ จะหาในเชิงศักยภาพของงานที่ทำ (work potential) ซึ่งจะแสดงงานสูงสุดที่สามารถดึงออกมาได้จากความร้อนทิ้งที่มีดังสมการ

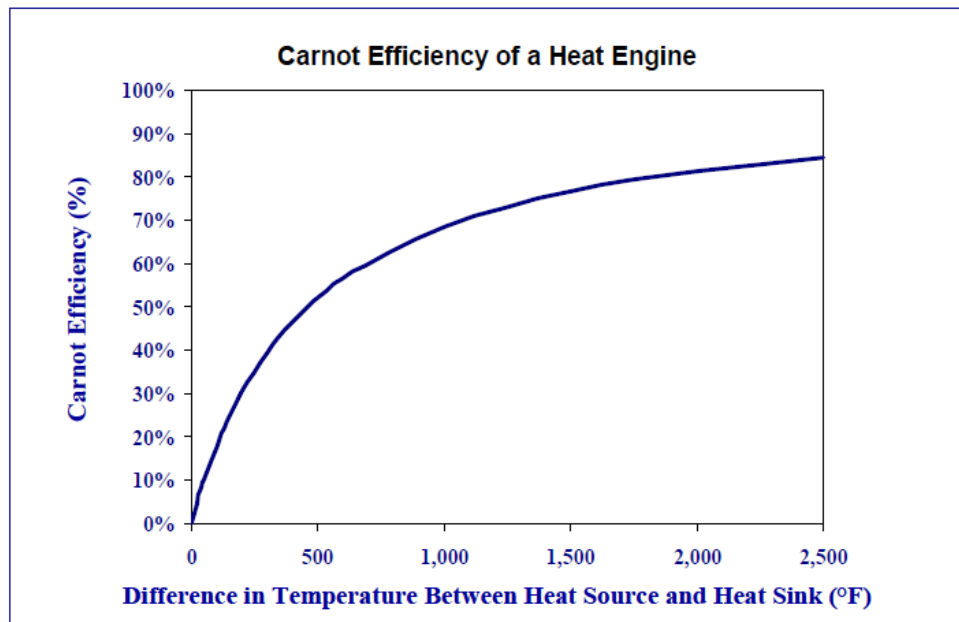
$$WP = \eta E = \left(1 - \frac{T_o}{T_H}\right) E$$

เมื่อ E เป็นความร้อนทิ้งที่สูญเสียไปในบรรยากาศ

η เป็นประสิทธิภาพ Carnot Efficiency

T_H เป็นอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อนทิ้ง

T_o เป็นอุณหภูมิของบรรยากาศ ที่ 25°C



รูปที่ 4-2 แสดงความแตกต่างของประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า Carnot Efficiency ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิต่างๆ

4.2.5 การเลือกอุณหภูมิและวัสดุที่ใช้

อุณหภูมิของความร้อนทิ้งมีผลต่อการเลือกใช้วัสดุของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและระบบนำความร้อนกลับ ปฏิกิริยาเคมีที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนและการเกิดออกซิเดชัน จะเกิดขึ้นเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าแหล่งความร้อนทิ้งประกอบไปด้วยสสารที่มีการกัดกร่อน พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของวัสดุจะเกิดความเสียหายได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ เหล็กหล่อ (Carbon steel) จะเกิดการออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 425°C สำหรับสแตนเลส จะเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่า 650°C ดังนั้น ควรใช้วัสดุเป็นวัสดุพิเศษจำพวกอัลลอยด์ หรือโลหะอัลลอยด์ประกอบผสมสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงๆ โดยปกติวัสดุจำพวกโลหะมักจะไม่ใช่ใช้งานที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่า 871°C ทางเลือกอื่นๆ รวมถึงการผสมอากาศเจือจางเข้าไปในก๊าซไอเสีย เพื่อลดอุณหภูมิไอเสีย หรือการใช้วัสดุเซรามิกที่สามารถทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่า สำหรับในกรณีการผสมอากาศเจือจางเข้าไปในไอเสีย ปริมาณของความร้อนจากแหล่งความร้อนทิ้งจะไม่เปลี่ยนแปลงแต่คุณภาพของความร้อนทิ้งที่ได้จะลดลง อันเนื่องจากอุณหภูมิต่ำของความร้อนทิ้งที่ลดลง

ตารางที่ 4-1 แสดงประเภทของแหล่งความร้อนทิ้งแยกตามระดับอุณหภูมิและโอกาสในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

ช่วงอุณหภูมิ	ตัวอย่างแหล่งความร้อนทิ้ง	อุณหภูมิ (°C)	ข้อดี / ประโยชน์	ข้อเสีย / อุปสรรค	วิธีการนำความร้อนทิ้งกลับ/ เทคโนโลยี
ระดับสูง อุณหภูมิ >1,200 °F [>650 °C]	เตาหลอมบริสุทธิ์นิกเกิล	1,370-1,650	ความร้อนทิ้งคุณภาพสูง สามารถนำไปใช้กับแหล่ง รับปลายทางได้	อุณหภูมิสูงทำให้เกิด ความเครียดจาก อุณหภูมิความร้อน (Thermal Stress) ในวัสดุ ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อน	อุณหภูมิสูงใช้ในการเผาไหม้
	เตาหลอมเหล็กแบบเตาอาร์คไฟฟ้า	1,370-1,650			
	เตาหลอมแบบเบสิคออกซิเจน	1,200			
	เตา reverberatory อลูมิเนียม	1,100-1,200			
	เตาหลอมบริสุทธิ์ทองแดง	760-820	หลากหลายการใช้งานใน หลายช่วงอุณหภูมิ		ผลิตไอน้ำสำหรับใช้ใน กระบวนการทำความร้อน สำหรับงานกลหรือไฟฟ้า
	เตาเผาอุ่นให้ความร้อนเหล็กกล้า	930-1,040			
	เตา reverberatory ทองแดง	900-1,090			
	โรงงานไฮโดรเจน	650-980			
	เตาเผาขยะแบบมีควัน	650-1,430	มีการผลิตไฟฟ้าที่มี ประสิทธิภาพสูงได้	เพิ่มการเกิดปฏิกิริยา เคมีในการเกิดการกัด กร่อน	การอุ่นชิ้นงานก่อนเข้า เตาเผา
	เตาหลอมแก้ว	1,300-1,540			
	เตาเผาถ่านโค้ก (Coke Oven)	650-1,000			
	เตาหลอมเหล็กแบบคิวโปลา	820-980			
			มีอัตราการถ่ายเทความ ร้อนสูงต่อหน่วยพื้นที่		ใช้ถ่ายเทความร้อนไปยัง กระบวนการที่ใช้อุณหภูมิ ปานกลาง-ต่ำ

ตารางที่ 4-1 แสดงประเภทของแหล่งความร้อนทิ้งแยกตามระดับอุณหภูมิและโอกาสในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ (ต่อ)

ช่วง อุณหภูมิ	ตัวอย่างแหล่งความร้อนทิ้ง	อุณหภูมิ (°C)	ข้อดี / ประโยชน์	ข้อเสีย / อุปสรรค	วิธีการนำความร้อนทิ้งกลับ/ เทคโนโลยี
ปานกลาง 450-1200°F [230-650°C]	ก๊าซไอเสียหม้อไอน้ำ	230-480	มีความเข้ากันได้ ง่ายกับวัสดุที่ใช้ทำ		อุ่นอากาศที่ใช้ในการเผา ไหม้
	ไอเสียจากกังหันก๊าซ	370-540	อุปกรณ์		การผลิตไฟฟ้าจากไอน้ำ
	ไอเสียจากเครื่องยนต์ลูกสูบ	320-590	แลกเปลี่ยนความ ร้อน		การผลิตไฟฟ้าจากระบบ ORC
ระดับต่ำ อุณหภูมิ <450°F [<230°C]	ไอเสียที่ออกจากระบบนำกลับในหม้อไอน้ำแบบเผาไหม้ด้วยก๊าซของเตาเผาเอทิลีน	70-230	ความร้อนทิ้ง อุณหภูมิต่ำมี ปริมาณมาก ที่มีใน	มีการใช้งานที่ต้องการความ ร้อนอุณหภูมิต่ำน้อย	การให้ความร้อนแก่พื้นที่ ใช้งาน
	คอนเดนเสทของกระบวนการใช้ไอน้ำ	50-90	กระบวนการต่างๆ ที่มีหลากหลาย	ประสิทธิภาพของการผลิต ไฟฟ้าต่ำ	การทำน้ำร้อนใช้ใน กระบวนการ
	น้ำระบายความร้อนจาก Furnace door ประตูเตาเผา	30-50		สำหรับก๊าซไอเสียจากการ เผาไหม้ ความร้อนทิ้งที่	การเพิ่มระดับ
	Annealing furnace เตาอบ	70-230		นำกลับมีอุณหภูมิต่ำ	upgrading ความร้อนทิ้ง
	เครื่องอัดอากาศ	30-50		ในทางปฏิบัติเกิดการกลั่น	ด้วยการใช้ฮีตปั๊ม เพื่อเพิ่ม
	เครื่องยนต์สันดาปภายใน	70-120		ตัวเป็นสภาพกรดที่ทำให้	อุณหภูมิให้เหมาะสมกับ การใช้งานของแหล่งรับ

ตารางที่ 4-1 แสดงประเภทของแหล่งความร้อนทิ้งแยกตามระดับอุณหภูมิและโอกาสในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ (ต่อ)

ช่วง อุณหภูมิ	ตัวอย่างแหล่งความร้อนทิ้ง	อุณหภูมิ (°C)	ข้อดี / ประโยชน์	ข้อเสีย / อุปสรรค	วิธีการนำความร้อนทิ้งกลับ/ เทคโนโลยี
ระดับต่ำ (ต่อ)	คอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศและทำความเย็น	30-40			
	เตา Drying, baking and curing oven	90-230		เกิดการกัดกร่อนอุปกรณ์	Organic Rankine Cycle
	ของแข็ง/ของเหลวจากกระบวนการผลิต	30-230		แลกเปลี่ยนความร้อน	

4.2.6 องค์ประกอบ (Composition) ของความร้อนทิ้ง

องค์ประกอบและสถานะของแหล่งความร้อนทิ้ง จะมีผลต่อค่าการนำความร้อนและพิกัดความจุของความร้อน ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของชุดแลกเปลี่ยนความร้อน และจะส่งผลต่อการออกแบบชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ข้อจำกัดในการเลือกใช้วัสดุ และต้นทุนค่าใช้จ่าย

ทั้งนี้ อัตราการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสถานะของแหล่งความร้อนทิ้ง และมีอิทธิพลต่อการสะสมของตะกรันในชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ของไหลที่หนาแน่นสูงจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง ซึ่งจะทำให้ได้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าต่อหน่วยพื้นที่ ที่ระดับอุณหภูมิอ้างอิง ตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ตัวอย่างช่วงของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

สำหรับการถ่ายเทความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

สถานะของของไหล	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน($W/(m^2 \cdot ^\circ K)$)
น้ำ ในสถานะของเหลว	5×10^3 ถึง 1×10^4
สารอินทรีย์เจือจาง ในสถานะของเหลว	1.5×10^3 ถึง 2×10^4
ก๊าซ ที่ความดัน 1,000 kPa	2.5×10^3 ถึง 4×10^4
ก๊าซ ที่ความดัน 100-200 kPa	8×10^3 ถึง 1.2×10^4

ปัจจัยอื่นที่ใช้ในการพิจารณา คือการทำปฏิกิริยาระหว่างกันของสารเคมีในสายของแหล่งความร้อนทิ้ง และวัสดุที่ใช้ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน การเกิดตะกรันเป็นปัญหาที่พบได้ทั่วไปในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และเป็นสิ่งที่จะลดประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนและเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลว การสะสมของตะกรันที่เกาะที่พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนจะลดอัตราการถ่ายเทความร้อน และขัดขวางการไหลของสารทำงาน รวมถึงทำให้ประสิทธิภาพของชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเสื่อมด้วยหากไม่มีการใช้งานนานๆ วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาตะกรันสามารถทำได้หลากหลาย ตั้งแต่การกรองแยกเอาสารปนเปื้อน การสร้างอุปกรณ์ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยวัสดุพิเศษ การเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน และการออกแบบให้ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนง่ายต่อการเข้าถึงและทำความสะอาด แม้กระนั้น ปัญหาของตะกรันก็ยังเป็นปัญหาที่ท้าทายต่อเทคโนโลยีด้านความร้อน ยังเป็นปัญหาที่ยังไม่สามารถแก้ไขได้หมด การวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นการพัฒนากระบวนการทำความสะอาดให้สะดวกง่าย มากกว่าวิธีการที่จะป้องกันการเกิดตะกรัน

4.2.7 อุณหภูมิต่ำสุดที่ยอมรับได้ (Minimum Allowable Temperature)

อุณหภูมิต่ำสุดที่ยอมรับได้สำหรับแหล่งความร้อนทิ้ง มักจะมีความสัมพันธ์กับปัญหาการกัดกร่อนของวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน การเผาไหม้ซึ่งขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงที่ใช้ จะมีส่วนสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่มีอยู่ในก๊าซไอเสีย มีผลต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) สารอินทรีย์ที่ไม่ออกซิไดซ์ และแร่ธาตุต่างๆ ถ้าก๊าซไอเสียถูก

ทำให้เย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ไอน้ำในก๊าซไอเสียจะกลั่นตัวและเกิดเป็นสารกัดกร่อนบนพื้นที่ผิว แลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ถูกออกแบบจากวัสดุราคาถูก จะง่ายต่อการเกิดความเสียหายอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้น โดยทั่วไปอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกออกแบบให้รักษาอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่าจุดน้ำค้าง อุณหภูมิต่ำสุดที่ยอมรับได้สำหรับการป้องกันการกัดกร่อนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเชื้อเพลิง ตัวอย่างเช่น ก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ อาจจะถูกทำให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 120°C ได้ ในขณะที่ก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหินหรือน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งมีปริมาณซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบที่มากกว่า อาจจะถูกจำกัดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 150°C ถึง ประมาณ 175°C ทั้งนี้ อุณหภูมิต่ำสุดอาจจะถูกจำกัดด้วยเงื่อนไขของกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีที่มีอยู่ในก๊าซไอเสีย ตัวอย่างเช่น สารซัลเฟตในก๊าซไอเสียจากเตาหลอมของกระบวนการหลอมแก้ว จะเกิดการสะสมที่พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 270°C

วิธีการที่มักพบใช้งานทั่วไปในการป้องกันการกัดกร่อนขององค์ประกอบสารเคมี คือการออกแบบให้ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิที่ปล่อยออกที่เหนือกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง อย่างไรก็ตาม มีบางกรณี ที่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีการใช้วัสดุอัลลอยด์และสารประกอบพิเศษ เพื่อนำความร้อนทิ้งที่อุณหภูมิต่ำกลับมาใช้งาน ระบบแบบนี้ พบมีการใช้งานในเชิงพาณิชย์ไม่มากนัก เนื่องจากเงินลงทุนราคาวัสดุที่สูง ต้องการพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มาก และขาดซึ่งจุดใช้งานปลายทาง End-Use ที่จะนำความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำที่ได้น่ากลับไปใช้งาน

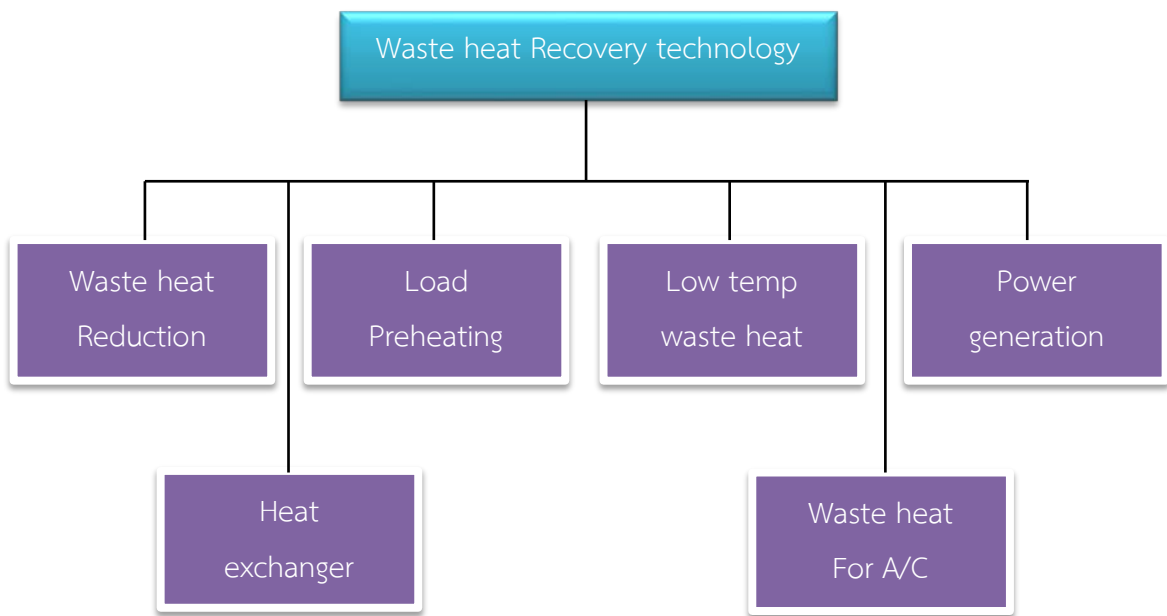
4.2.8 ขนาดที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การเข้าถึงเทคโนโลยี และปัจจัยอื่นๆ (Economic of Scale, Accessibility and Other Factor)

ปัจจัยอื่นๆ ที่สามารถนำมาพิจารณาความเป็นไปได้ในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ตัวอย่างเช่น โรงงานหรือกระบวนการผลิตที่มีขนาดเล็ก มักมีแนวโน้มที่ไม่ลงทุนติดตั้งอุปกรณ์นำความร้อนทิ้งกลับ เนื่องจากอาจไม่มีความพร้อมเรื่องเงินลงทุนที่เพียงพอ และเพราะต้องใช้ระยะเวลาคืนทุนที่ยาวนาน นอกจากนี้ ชั่วโมงการใช้งาน ก็ควรเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง ถ้าแหล่งความร้อนทิ้งมีความเป็นไปได้ที่จะมีข้อจำกัดด้านเวลาในแต่ละวัน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอาจจะมีช่วงอุณหภูมิที่สูงมากและต่ำมากได้ ในกรณีนี้ จะต้องมั่นใจว่าวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะสามารถทนทานต่อวงจรการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่แตกต่างนี้ได้ นอกจากนี้ สิ่งสำคัญคือ ชั่วโมงการทำงานของแหล่งให้ความร้อนทิ้ง จะต้องมีความสอดคล้องกับช่วงเวลาของความต้องการโหลดของแหล่งรับความร้อน ปัจจัยอื่นที่ควรพิจารณาคือ ความง่ายต่อการเข้าถึงของแหล่งให้ความร้อน ข้อจำกัดด้านการจัดวางอุปกรณ์ในโรงงานมีผลต่อความยากง่ายในการเข้าถึงแหล่งให้ความร้อนทิ้ง หรือข้อจำกัดในการขนส่งความร้อน โดยทั่วไป แหล่งความร้อนทิ้งที่เป็นของเหลวในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมมักพบว่ามี การนำกลับมาใช้ เนื่องจากเพราะง่ายต่อการขนส่ง ระบบท่อง่ายต่อการดึงเอาพลังงานออกมาและง่ายต่อการขนส่งผ่านท่อไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในทางกลับกัน แหล่งความร้อนทิ้งที่เป็นของแข็ง เช่น เศษก้อนซีโลหะ (ingot) เศษโลหะจากการหล่อ หรือเศษปูนเม็ด แม้ว่าจะมีปริมาณพลังงานที่มากเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้ แต่พลังงานเหล่านั้นไม่สามารถเข้าถึงและนำกลับหรือขนส่งมายังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ง่าย ผลคือ การนำความร้อนทิ้งกลับสำหรับแหล่งความร้อนทิ้งที่เป็นของแข็ง ยังไม่เป็นที่นิยมปฏิบัติกันอย่างแพร่หลาย

4.3 เทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

ในการศึกษานี้ได้แบ่งเทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใน 6 กลุ่ม ได้แก่

1. เทคโนโลยีลดความร้อน
2. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหรือสะสมความร้อน (Heat Exchanger or Storage)
3. การอุ่นชิ้นงาน (Load Preheating)
4. การใช้ความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ (Low temperature Waste heat)
5. การผลิตไฟฟ้า (Power generation)
6. การใช้ความร้อนทิ้งในการปรับอากาศ (Waste heat for Air con)



รูปที่ 4-3 กลุ่มเทคโนโลยีในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

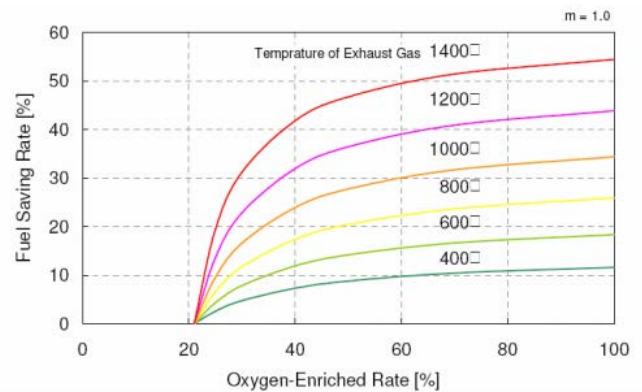
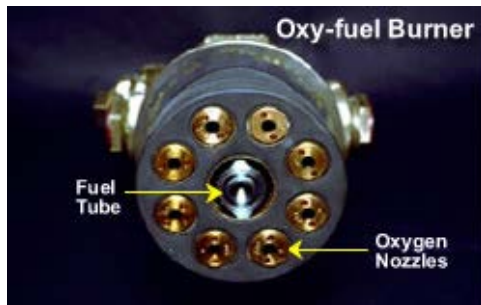
4.3.1 เทคโนโลยีที่ลดความร้อนทิ้ง

หลักการทำงาน

ความร้อนทิ้งที่เกิดขึ้น ถ้าจำแนกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ จะได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เป็นโอเสียจากการเผาไหม้ ความร้อนทิ้งที่ไปกับโอเสียขึ้นกับปริมาณก๊าซโอเสีย และอุณหภูมิโอเสียที่ปล่อยทิ้ง เทคโนโลยีในกลุ่มนี้ได้แก่ การปรับปรุงหัวเผาไหม้ให้มีก๊าซโอเสียลดลง อุณหภูมิต่ำ หรือปรับปรุงกระบวนการใช้ให้อุณหภูมิต่ำลง ความร้อนทิ้งก็จะลดลงอย่างมาก เทคโนโลยีที่น่าสนใจ ได้แก่ การใช้หัวเผา Oxy Burner เป็นต้น ความร้อนทิ้งอีกกลุ่ม คือ ความร้อนทิ้งจากกระบวนการ ซึ่งหากสามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการให้ไม่ต้องใช้ความร้อน หรือ อุณหภูมิใช้งานลดลง ความร้อนสูญเสียจากกระบวนการผลิตจะลดลง ตัวอย่างของเทคโนโลยีการลดความร้อนทิ้ง ได้แก่

1. การใช้หัวเผาแบบ Oxy-fuel [14]

หลักการของการเผาไหม้แบบใช้ออกซิเจนทั้งหมด หรือเพิ่มสัดส่วนออกซิเจนขึ้นแทนที่จะใช้อากาศปกติ เนื่องจากไนโตรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบในอากาศถึงร้อยละ 70 ปกติจะเป็นภาระในการทำความร้อน และทำให้อุณหภูมิเปลวจากการเผาไหม้ลดลง และใช้เชื้อเพลิงมากขึ้น



ที่มา : Tokyo Gas Co., Ltd, High Efficiency Furnace with Oxy-Fuel Combustion and Zero-Emission by CO₂ Recovery

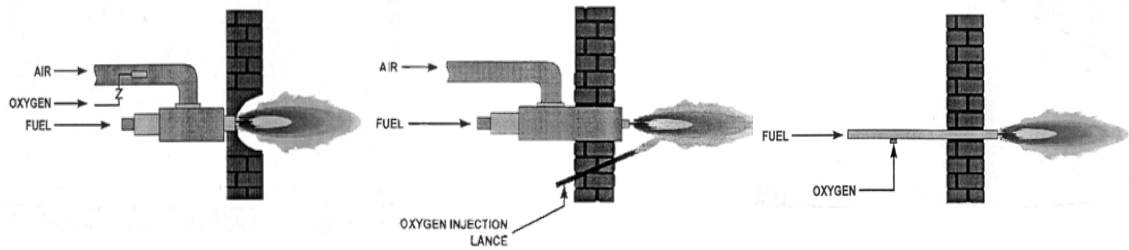
รูปที่ 4-4 หัวเผาแบบ Oxy fuel Burner [15]

ในระยะแรกหัวเผาแบบ Oxy-fuel แพร่หลายในงานเชื่อมประสาน งานตัด แต่ปัจจุบันมีการพัฒนาสำหรับหัวเผาที่ใช้ในอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และแพร่หลายในอุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมหลอมแก้วและกระจก ในอุตสาหกรรมแก้วและกระจกมีการใช้งานหัวเผาแบบ Oxy-burner ตั้งแต่นั้นปี ค.ศ. 1990 เนื่องจากเตาหลอมกระจกใช้อุณหภูมิสูงถึง 16°C ซึ่งการจะทำอุณหภูมิเปลวให้ถึงอุณหภูมิดังกล่าว ต้องมีลมเข้าเผาไหม้อุณหภูมิสูง โดยการใช้วิธี Regenerative เก็บความร้อนจากไอเสียและปล่อยให้อากาศเข้าเผาไหม้ ซึ่งหัวเผา Oxy-fuel สามารถทำอุณหภูมิดังกล่าวได้โดยไม่ต้องใช้รีเจนเนอเรเตอร์

ข้อดีของหัวเผา Oxy-fuel

- ก๊าซไอเสียลดลงทั้งปริมาณและมวลถึงร้อยละ 75
- ความร้อนทิ้งในก๊าซไอเสียลดลง
- อุปกรณ์บำบัดก๊าซไอเสียลดขนาดลง
- ก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้พาเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ ซึ่งจะลดความร้อนสูญเสีย
- สารมลพิษในก๊าซไอเสียจะกำจัดง่ายเนื่องจากความเข้มข้นจะสูง
- ลดการเกิด NO_x เนื่องจากไนโตรเจน มีสัดส่วนลดลงอย่างมาก
- การแยกหรือกำจัด CO₂ ทำได้ง่าย

การใช้งานหัวเผาแบบที่ใช้ออกซิเจน มีหลายแบบทั้งแบบที่เพิ่มออกซิเจนในอากาศเข้าเผาไหม้ (Oxygen-Enrich) หรือ Full Oxy Combustion การ Oxy-Burner แสดงดังรูป



รูปที่ 4-5 หัวเผาที่มีการป้อนออกซิเจนแบบต่าง ๆ

หัวเผาแบบ Oxy fuel มีราคาสูงกว่าหัวเผาปกติ และต้องมีการผลิตออกซิเจน ซึ่งในการแยกออกซิเจนออกจากอากาศใช้พลังงาน

การใช้ Catalytic Oxidizer ในการควบคุมมลภาวะ [16]

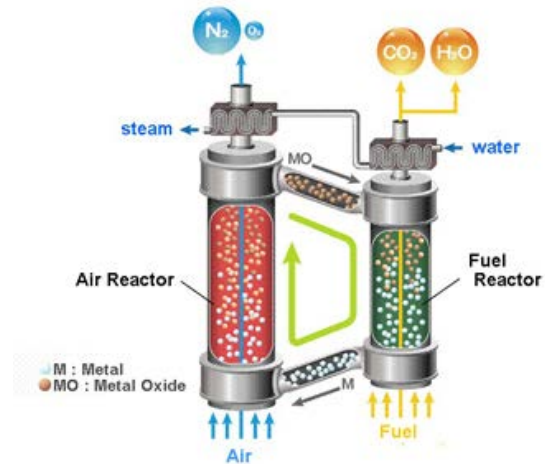
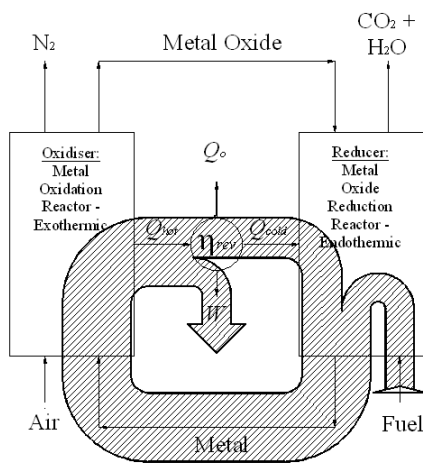
ในกระบวนการผลิตหลายอุตสาหกรรมที่มีก๊าซไอเสียที่เป็นอันตราย หรือมีผลต่อสิ่งแวดล้อม จะมีการกำจัดก๊าซเหล่านี้ด้วย Oxidizer burner เผาก๊าซเหล่านี้ขึ้นไปให้สูงกว่า 800°C วิธีการนี้เป็นแบบ Thermal oxidizer จะทำให้ไอระเหยที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ (Volatile Organic Compounds : VOCs) เปลี่ยนเป็นก๊าซที่ไม่มีอันตราย เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งผลก็จะทำให้มีความร้อนทิ้งไปค่อนข้างมาก การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในกรณี Thermal Oxidizer ทำได้โดยติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบ Recuperative ซึ่งจะดึงความร้อนกลับมาได้ถึง 80% หรือแบบ Regenerative ซึ่งจะมีประสิทธิภาพถึงร้อยละ 95

อีกแนวทางหนึ่งเป็นการใช้ Catalytic Oxidizer ซึ่งสารเร่งปฏิกิริยาหรือ Catalyst จะช่วยลดอุณหภูมิที่เผาทำลายไอระเหยจาก 800°C ลงมาที่ 45°C ซึ่งจะสามารถมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ Thermal Oxidizer 20-30% นอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่นเช่น การกำจัดสารที่ก่อมลพิษในก๊าซไอเสีย เช่น การสเปรย์ของเหลวไปในก๊าซไอเสีย หรือใช้ ตัวกรอง (filter) ซึ่งจะทำให้ไม่ต้องใช้การเผาไหม้เพื่อกำจัดหรือ ลดการเผาไหม้ลง อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้ง และอาจจะต้องมีวิธีการ กำจัดสารมลพิษเหล่านั้นในรูปอื่นต่อไป

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี (State of the Art) [17]

เทคโนโลยีที่กำลังมีการพัฒนาเกี่ยวกับ Oxy-fuel เพื่อให้ได้ออกซิเจนมาใช้ในการเผาไหม้ โดยต้นทุนต่ำกว่าการแยกจากอากาศมีชื่อว่า Chemical looping Combustion (CLC) ขณะนี้อยู่ระหว่างการศึกษาวิจัย

Chemical looping Combustion เป็นลักษณะการเผาไหม้แบบ Circulating Fluidized bed 2 ชุด โดย Fluidized bed ห้องแรกเรียกว่า Fuel reactor จะใช้โลหะออกไซด์เป็น bed material ทำหน้าที่ปล่อยออกซิเจนให้กับเชื้อเพลิง และโลหะที่ใช้แล้วจะถูกถ่ายไปที่ห้องที่สองที่เรียกว่า Air Reactor จะถูกออกซิไดซ์อีกครั้งก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งหากนำมาใช้ได้จะถือว่าเป็นเทคโนโลยีสำหรับ Zero emission combustion



รูปที่ 4-6 Chemical Loop Combustion

การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับ Oxy fuel combustion ปัจจุบันมุ่งเน้นการใช้งานกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่น ถ่านหิน เชื้อเพลิงแข็ง ขยะ เป็นต้น และการปรับปรุงเตาเดิมที่ใช้หัวเผาแบบใช้อากาศ เป็นหัวเผา Oxy fuel

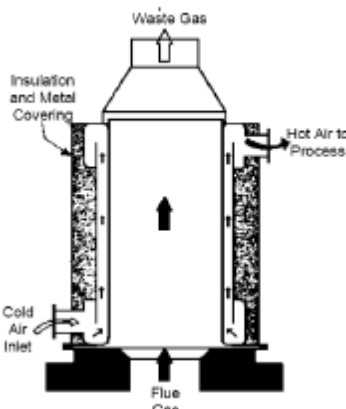
4.3.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

หลักการทำงาน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เป็นอุปกรณ์ที่มักพบใช้งานทั่วไปในการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซไอเสียร้อนเพื่ออุ่นอากาศที่จะเข้าไปเผาไหม้ในเตา เมื่ออากาศที่เข้าห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้ต้องการพลังงานจากเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ลดลง โดยทั่วไปเทคโนโลยีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้สำหรับการอุ่นอากาศ ที่พบ ได้แก่ เครื่องอุ่นอากาศ (Recuperator) เตาเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ (furnace regenerator) หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ (regenerator burners) โรตารีรีเจนเนอเรทีฟ (Rotary regenerator) และอีโคโนไมเซอร์ (Economizer)

1. เครื่องอุ่นอากาศ (Recuperator) [3]

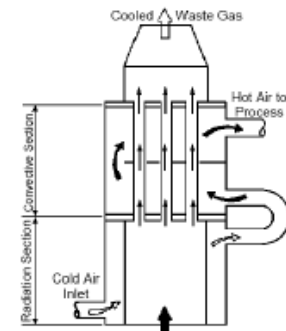
เครื่องอุ่นอากาศ ใช้ในการนำความร้อนทิ้งจากก๊าซไอเสียร้อนกลับมาในระดับช่วงอุณหภูมิปานกลาง-สูง เทคโนโลยีชนิดนี้สามารถใช้หลักการถ่ายเทความร้อนทั้งการแผ่รังสีความร้อน การพาความร้อน หรือผสมผสานระหว่างการแผ่รังสีและการพาความร้อน เทคโนโลยีเครื่องอุ่นอากาศแบบนี้ อาทิเช่น เตาอบขึ้นงาน (annealing oven), เตาหลอม (melting furnace), afterburners, เตาเผาแก๊ส (gas incinerators) หัวเผาแบบท่อเรเดีย้น (radiant-tube burners), เตาเผาอุ่นให้ความร้อนซ้ำ (reheat furnace)



(ก) เครื่องอุ่นอากาศแบบแผ้วรังสี



(ข) แบบพาความร้อน



(ค) แบบผสม

รูปที่ 4-7 แสดงลักษณะของเครื่องอุ่นอากาศ

จากรูปที่ 4-7 (ก) แสดงลักษณะของเครื่องอุ่นอากาศแบบแผ้วรังสีความร้อน ที่ก๊าซไอเสียร้อนจะไหลผ่านภายในท่อชั้นใน และความร้อนจะถูกถ่ายเทด้วยการแผ้วรังสีออกไปตามผนังท่อ เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศเย็นที่ไหลเข้ามาตามช่องระหว่างปลอกผนังท่อ (outer shell) ซึ่งอากาศที่อุ่นขึ้นจะถูกนำไปเข้าเตาเผาต่อไป รูป (ข) เป็นเครื่องอุ่นอากาศแบบพาความร้อน ซึ่งก๊าซร้อนจะไหลผ่านในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ หลายๆ ท่อที่บรรจุอยู่ในท่อขนาดใหญ่ (Shell) อากาศเผาไหม้ที่เย็นจะไหลเข้ามาในท่อ Shell และไหลผ่านไปรอบๆ ท่อก๊าซร้อนขนาดเล็ก เพื่อรับความร้อนผ่านผิวผนังท่อ และรูป (ค) เครื่องอุ่นอากาศแบบผสม ที่จะใช้หลักการถ่ายเทความร้อนทั้งการแผ้วรังสีก่อนนำไปผ่านการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนให้สูงขึ้น

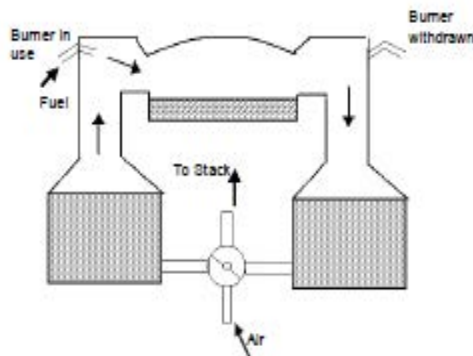
เครื่องอุ่นอากาศ สามารถผลิตจากวัสดุ ได้ทั้งที่เป็นวัสดุโลหะและเซรามิค โดยโลหะจะใช้กับการใช้งานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า $1,093^{\circ}\text{C}$ สำหรับเซรามิคจะเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการอุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถใช้กับก๊าซไอเสียร้อนที่มีอุณหภูมิ $1,538^{\circ}\text{C}$ และด้านสายเย็นที่รับความร้อนที่อุณหภูมิ 982°C ได้

2. รีเจนเนอเรเตอร์ (Regenerator) [3]

ในส่วนนี้ จะได้นำเสนอเทคโนโลยี 2 แบบคือ เตาเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ (Furnace regenerator) และโรตารีรีเจนเนอเรเตอร์หรือฮีทวีล (Rotary regenerator/Heat wheel)

1) เตาเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ (Furnace regenerator)

เตาเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ จะประกอบไปด้วยก้อนอิฐ 2 ห้อง (เรียกว่า “checkerwork”) ซึ่งมวลอากาศสายร้อนและสายเย็นจะไหลผ่านสลับกัน อิฐทั้งสองห้องจะใช้สลับกันรับความร้อนจากก๊าซไอเสียร้อนและถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศสายเย็น ดังแสดงในรูปที่ 4-8 เมื่ออากาศร้อนจากการเผาไหม้ไหลผ่านห้องหนึ่ง ความร้อนจะถูกดูดซับไว้ในก้อนอิฐและทำให้อิฐมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อนำอากาศสายเย็นมาไหลผ่าน ความร้อนจากก้อนอิฐจะถูกถ่ายเทให้กับอากาศเย็น สลับกันไป โดยการไหลของสายร้อนและสายเย็นจะสลับกันไปทุกๆ 20 นาที

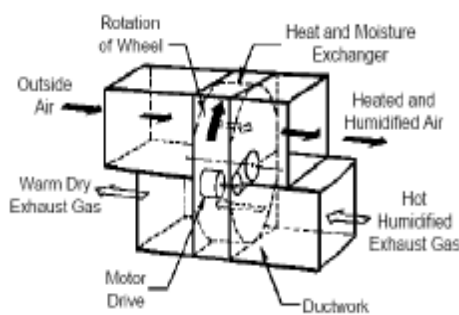


รูปที่ 4-8 แสดงลักษณะของเตาเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

โดยเตาเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ โดยปกติมักจะนิยมใช้กับเตาเผาของอุตสาหกรรมแก้วและเตาอบแบบโค้ก (coke oven) อุปกรณ์ชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการอุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถใช้กับก๊าซไอเสียร้อนที่มีความสกปรก แต่มีข้อเสียคือ อุปกรณ์มีขนาดใหญ่และต้องการเงินทุนสูง ซึ่งเงินทุนจะสูงกว่าอุปกรณ์แบบเครื่องอุ่นอากาศค่อนข้างมาก

2) โรตารีรีเจนเนอเรเตอร์หรือฮีทวีล (Rotary regenerator / Heat wheel)

หลักการทำงานคล้ายคลึงกับเตาเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ คือ การถ่ายเทความร้อนโดยผ่านวัสดุตัวกลางที่มีลักษณะรูพรุนที่สามารถเก็บกักดูดซึมและถ่ายเทความร้อนออกได้ เมื่อของไหลสายร้อนและสายเย็นไหลผ่าน สำหรับโรตารีรีเจนเนอเรเตอร์หรือฮีทวีล จะประกอบไปด้วยแผ่นวัสดุตัวกลางที่หมุนได้ติดตั้งในแนวขวางระหว่างท่อสายร้อนกับสายเย็น โดยจะหมุนสลับด้านกันเพื่อนำความร้อนที่รับจากด้านสายร้อนไปถ่ายเทให้กับด้านสายเย็น ดังแสดงในรูปที่ 4-9



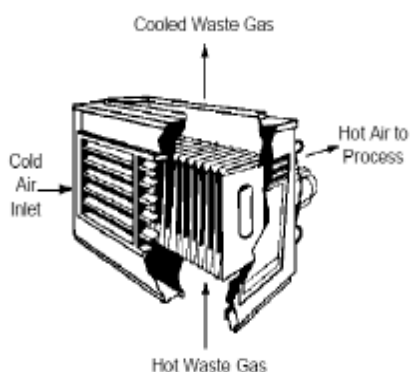
รูปที่ 4-9 แสดงลักษณะของโรตารีรีเจนเนอเรเตอร์หรือฮีทวีล

ฮีทวีล ปกติมักจะเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการอุณหภูมิต่ำ-ปานกลาง เนื่องจากข้อจำกัดด้านความเครียดเชิงความร้อนของวัสดุ (thermal stress) ที่จะเกิดขึ้นในวัสดุเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่สูงมากระหว่างสายร้อนกับสายเย็น จะก่อให้เกิดการขยายตัวของวัสดุอันเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่างกันมากและเกิดการบิดเสียรูปไปของวัสดุได้ ในบางกรณีหากต้องการใช้งานกับอุณหภูมิสูง สามารถใช้ฮีทวีลแบบเซรามิคได้ นอกจากนี้ สามารถพัฒนาไปใช้กับเตาเผาอุณหภูมิสูงได้ เช่น เตาเผาอะลูมิเนียม แต่ไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากต้นทุนที่สูง ข้อดีของเทคโนโลยีประเภทนี้ คือ สามารถออกแบบให้

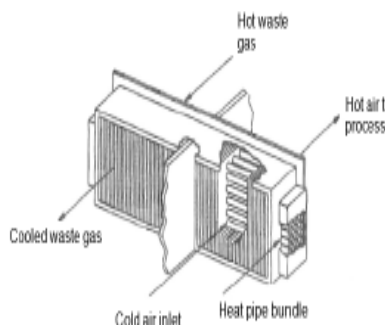
นำความร้อนทิ้งกลับมาด้วยได้ โดยใช้วัสดุตัวกลางที่เป็นชนิดอุ้มน้ำได้ (hygroscopic material) เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการอากาศที่สะอาด หรือระบบปรับอากาศ ที่ความร้อนและความชื้นในอากาศทิ้งที่ร้อนขึ้น จะถูกดึงออกไปแลกเปลี่ยนให้กับอากาศภายนอกที่เย็นกว่า ข้อจำกัดที่อาจเป็นอุปสรรค คือ การป้องกันการปนเปื้อนหรือเกิดการรั่วไหลผสมของสิ่งสกปรกปนเปื้อนระหว่างของไหลทั้งสองสาย ที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุตัวกลางที่มีรูพรุนนี้

3. เครื่องอุ่นอากาศแบบพาสซีฟ (Passive Air Preheaters) [3]

เครื่องอุ่นอากาศแบบพาสซีฟ เป็นอุปกรณ์นำความร้อนกลับมาในช่วงอุณหภูมิการใช้งาน อุณหภูมิต่ำ-ปานกลาง ที่ป้องกันการไหลปนเปื้อนกันระหว่างก๊าซสายร้อนกับสายเย็น การใช้งานอุปกรณ์นี้สามารถทำได้ทั้ง เตาอบ (oven) หม้อไอน้ำ ไอเสียจากกังหันก๊าซ และการนำความร้อนกลับขึ้นที่สองของการใช้งานเตาเผา และการนำความร้อนกลับจากระบบปรับอากาศ โดยเครื่องอุ่นอากาศแบบพาสซีฟสามารถใช้งานได้ 2 ประเภท คือ แบบเพลท (Plate type) และแบบฮีทไพป์ (Heat pipe) ดังแสดงในรูปที่ 4-10



(ก) เครื่องอุ่นอากาศแบบเพลท ชนิดก๊าซ-ก๊าซ



(ข) เครื่องอุ่นอากาศแบบฮีทไพป์

รูปที่ 4-10 แสดงเครื่องอุ่นอากาศแบบพาสซีฟ

เครื่องอุ่นอากาศแบบเพลท จะประกอบไปด้วยแผ่นเพลทหลายๆ วางซ้อนกันในระยะห่างน้อยๆ ในระยะที่เพียงพอจะทำให้ก๊าซหรือของไหลสายร้อนและเย็นไหลผ่านได้ ซึ่งของไหลสายร้อน-สายเย็นจะไหลสลับอยู่คนละด้านของแผ่นเพลทที่มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่เพียงพอสำหรับการถ่ายเทความร้อนได้ อุปกรณ์ชนิดนี้ จะมีราคาสูงกว่าฮีทวอลล์ และอาจพบการอุดตันของตะกรัน (fouling) เกิดขึ้นได้ แต่ข้อดีคือมีการปนเปื้อนระหว่างสายร้อน-สายเย็นน้อยกว่า

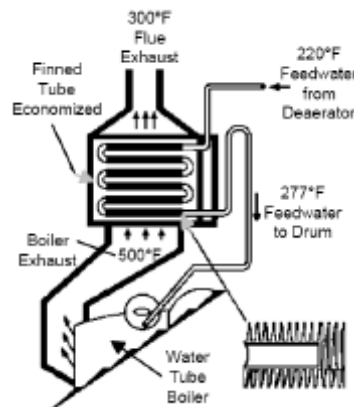
สำหรับเครื่องอุ่นอากาศแบบฮีทไพป์ จะประกอบไปด้วยท่อเล็กๆ หลายๆ ท่อที่มีการเชื่อมปิดที่ปลายท่อ โดยภายในท่อจะเกิดการเคลื่อนที่ของของไหลสารทำงานระหว่างด้านอุณหภูมิสูงไปด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ อันเกิดจากความแตกต่างของความดันไอในเส้นท่อ ซึ่งปลายท่อด้านหนึ่งจะเป็นด้านที่มีอุณหภูมิสูง ที่ทำให้สารทำงานเกิดการระเหยกลายเป็นไอเมื่อได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนทิ้งสายร้อน ก่อนที่จะไหลไปสู่ปลายอีกด้านที่เป็นด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ ที่ด้านอุณหภูมิต่ำนี้ ไอของสารทำงานจะถ่ายเทความร้อนให้กับแหล่งรับ และเกิดการกลั่นตัวเป็นของเหลว ก่อนที่จะหมุนเวียนในท่อกลับไปรับความร้อนที่ปลายด้านอุณหภูมิสูงอีกครั้ง

4. หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ หรือแบบอุ่นอากาศ (Regenerative/Recuperative Burner)

หัวเผาเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันมีแบบที่รวมเอาอุปกรณ์รีเจนเนอเรทีฟหรือระบบอุ่นอากาศไว้ด้วย เรียกว่า หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ เป็นระบบที่ออกแบบที่เป็นการนำกลับพลังงานเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียร้อนที่ปล่อยทิ้ง โดยทำให้ก๊าซไอเสียไหลผ่านกลับเข้าไปผ่านตัวหัวเผาที่มีสารตัวกลางที่ฉาบไว้ (refractory media) ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานให้กับการใช้งานหัวเผาที่ใช้อากาศบรรยากาศในการเผาไหม้ ซึ่งทำให้สะดวกต่อการใช้งานและขนาดกะทัดรัดกว่าระบบแบบแยกชิ้นเนื่องจากต้องการพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนน้อยกว่า ทั้งนี้แม้ว่าพลังงานความร้อนที่นำกลับได้จะสามารถทำได้น้อยกว่าแบบแยกชิ้น แต่ใช้เงินลงทุนที่น้อยกว่าและการซ่อมบำรุงที่สะดวกกว่า ทำให้เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

5. อีโคโนไมเซอร์แบบครีบท่อ (Finned Tube Heat Exchanger/Economizer) [3]

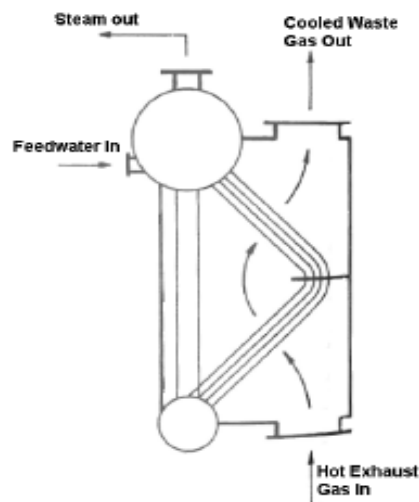
อีโคโนไมเซอร์แบบครีบท่อ ใช้ในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้งานจากก๊าซไอเสียหม้อไอน้ำ ในช่วงอุณหภูมิต่ำ-ปานกลาง ซึ่งอุปกรณ์จะประกอบไปด้วย ครีบท่อหลายๆ ครีบท่อที่ติดตั้งรอบๆ ท่อ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนให้มากที่สุดและเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน ของไหลที่จะรับความร้อนจะไหลในท่อเพื่อรับความร้อน ความร้อนจากก๊าซไอเสียที่ไหลรอบๆ ท่อด้านนอก จะถ่ายเทผ่านทางครีบท่อ ดังแสดงในรูปที่ 4-11 แสดงลักษณะของอีโคโนไมเซอร์ สำหรับการนำไปใช้งานสามารถใช้ได้ทั้งการอุ่นให้ความร้อนกับน้ำป้อนหม้อไอน้ำ หรือให้ความร้อนกับของไหลที่ใช้ในกระบวนการผลิต หรือการทำน้ำร้อนสำหรับการให้ความร้อนในพื้นที่ใช้งานหรือใช้ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 4-11 แสดงหลักการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์แบบครีบท่อในหม้อไอน้ำ

6. หม้อไอน้ำความร้อนทิ้ง (Waste Heat Boiler) [3]

หม้อไอน้ำความร้อนทิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 4-12 แสดงลักษณะของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำที่ใช้ก๊าซไอเสียในช่วงอุณหภูมิปานกลาง-สูง มาใช้ในการต้มน้ำ หม้อไอน้ำความร้อนทิ้งมีขนาดที่ใช้งานในเชิงพาณิชย์หลายขนาด ซึ่งสามารถใช้งานกับก๊าซไอเสียตั้งแต่ 1000 ถึง 1 ล้านลูกบาศก์ฟุต/นาทึ ในกรณีที่ความร้อนทิ้งจากก๊าซไอเสียไม่เพียงพอสำหรับการผลิตไอน้ำในระดับที่ต้องการ สามารถใช้หัวเผาเสริมเพื่อให้พลังงานเพิ่มเติมได้ เพื่อผลิตไอน้ำตามความต้องการของกระบวนการผลิต ไอน้ำที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้สำหรับกระบวนการทำความร้อน หรือนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้ สำหรับการผลิตไอน้ำแบบยิ่งยวด (Superheated steam) จะต้องการพลังงานเสริมสำหรับระบบ superheat เพิ่มเติม



รูปที่ 4-12 แสดงลักษณะของหม้อไอน้ำความร้อนทิ้ง

การเลือกใช้งาน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละประเภทมีช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ตลอดจนค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนแตกต่างกัน ค่าโดยทั่วไปของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกำหนดได้ดังนี้

ตารางที่ 4-3 ค่าพารามิเตอร์การใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั่วไป [4]

ตัวแปร	แบบแพลต		แบบเปลือกและท่อ	
	ชนิด ธรรมดา	ชนิด ฟิน	ชนิด แบบคอนเดนเซอร์	ชนิด คอนเวกทีฟ
ระดับอุณหภูมิ	100 – 650°C	60 – 90°C	100 – 500°C	40 – 500°C
U-value	0.06 – 0.28	0.06	0.11 – 0.85	0.11 – 0.57
ตัวกลาง	ไอน้ำ – น้ำ น้ำ – น้ำ	ไอน้ำ – น้ำ	ไอน้ำ – ไอน้ำ ไอน้ำ – ก๊าซ ไอน้ำ – น้ำ ก๊าซ – ก๊าซ	น้ำ – ก๊าซ น้ำ – น้ำ ก๊าซ – ก๊าซ ไอน้ำ – ไอน้ำ
ราคา โดยประมาณ	30,000 บาท/ตรม.	30,000 บาท/ตรม.	40,000 บาท/ตรม.	30,000 บาท/ตรม.

ตารางที่ 4-4 สรุปการเปรียบเทียบประเภทเทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ต่างๆ^a

ประเภทของเทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับ	ช่วงอุณหภูมิ	ชนิดของแหล่งความร้อนทิ้ง	การนำไปใช้งาน	ชนิดของสถานะการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่าง 2 สาย	การนำความร้อนกลับ (Recover Moisture)	มีความแตกต่างของอุณหภูมิมาก	ไม่มีการปนเปื้อนระหว่าง 2 สาย	ก๊าซที่คัดกรองที่ต้องใช้กับวัสดุพิเศษเฉพาะ
เครื่องอุ่นอากาศแบบแผ่รังสี (Radiation Recuperator)	H	เตาอบ Soaking or Annealing Oven, เตาหลอม (Melting Furnace), เตาเผาขยะ หัวเผาแบบท่อเรเดียนท์ เตาเผาอุ่นให้ความร้อน	การอุ่นอากาศก่อนเผาไหม้	ก๊าซ – ก๊าซ		X	X	X
เครื่องอุ่นอากาศแบบพาความร้อน (Convection Recuperator)	M-H	เตาเผาอุ่นให้ความร้อน	การอุ่นอากาศก่อนเผาไหม้	ก๊าซ – ก๊าซ		X	X	X
ฮีทวีลแบบโลหะ (Metallic Heat Wheel)	L-M	ก๊าซไอเสียหม้อไอน้ำ, เตาอบบ่มและอบแห้ง (Curing and Drying Oven)	การอุ่นอากาศก่อนเผาไหม้, เพิ่มอุณหภูมิพื้นที่	ก๊าซ – ก๊าซ	b		c	X
ฮีทวีลแบบวัสดุที่อุ้มน้ำได้ (Hygroscopic Heat Wheel)	M		การอุ่นอากาศก่อนเผาไหม้, เพิ่มอุณหภูมิพื้นที่	ก๊าซ – ก๊าซ	X		c	X
เซรามิกฮีทวีล (Ceramic Heat Wheel)	M-H	หม้อไอน้ำขนาดใหญ่ ไอเสียเตาเผาขยะและเตาหลอม	การอุ่นอากาศก่อนเผาไหม้	ก๊าซ – ก๊าซ		X		X
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเพลท (Plate Heat Exchanger)	L, M	ก๊าซไอเสียหม้อไอน้ำ เตาเผาขยะและกังหันไอน้ำ และ เตาอบแห้ง อบบ่ม	การอุ่นอากาศก่อนเผาไหม้, เพิ่มอุณหภูมิพื้นที่	ก๊าซ – ก๊าซ, ของเหลว-ของเหลว		X	X	

ประเภทของเทคโนโลยี การนำความร้อนทิ้งกลับ	ช่วงอุณหภูมิ	ชนิดของแหล่งความร้อนทิ้ง	การนำไปใช้งาน	ชนิดของสถานะ การแลกเปลี่ยน ความร้อนระหว่าง 2 สาย	การนำความร้อนกลับ (Recover Moisture)	มีความแตกต่างของ อุณหภูมิมาก	ไม่มีการปนเปื้อน ระหว่าง 2 สาย	ก๊าซที่กัดกร่อน ที่ต้องใช้กับวัสดุพิเศษ เฉพาะ
ฮีทไพป์ (Heat Pipe)	L-H	ไอน้ำทิ้ง อากาศร้อนจากเครื่อง อบแห้ง เตาเผาปูนซีเมนต์ และ เตาเผา reverberatory furnace (การนำความร้อนกลับขั้นที่2) เตา อบแห้ง อบบ่ม	การอุ่นอากาศก่อนเผาไหม้, การอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ, การ ทำน้ำร้อน, เพิ่มอุณหภูมิพื้นที่	ก๊าซ – ก๊าซ, ก๊าซ - ของเหลว		D	X	X
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ ครีม-ท่อ	L, M	ก๊าซไอน้ำหม้อไอน้ำ	การอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	ก๊าซ - ของเหลว		X	X	e
หม้อไอน้ำความร้อนทิ้ง (Waste Heat Boiler)	L-H	ไอเสียจากกังหันก๊าซ, ไอเสียจาก เครื่องยนต์ลูกสูบ เตาเผาขยะ และ เตาเผา	การทำน้ำร้อน หรือไอน้ำ	ก๊าซ - ของเหลว			X	e
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Shell & Tube	L, M		ของไหลในกระบวนการที่ ต้องการทำความร้อน	ก๊าซ – ของเหลว, ของเหลว-ของเหลว		X	X	

หมายเหตุ: a แหล่งที่มาข้อมูล W.Turner. Energy Management Handbook, 2007; PG&E Energy Efficiency Information “Industrial Heat Recovery Strategies,” 1997

b อ้างอิงจากผู้ผลิตบางราย

c หากมีการติดตั้งชุดอุปกรณ์ในการ purge อากาศ/ของไหล อัตราการปนเปื้อนของของไหลระหว่าง 2 สาย จะสามารถกำจัดให้เหลือน้อยกว่า 1% โดยมวลได้

d ยอมรับข้อจำกัดของอุณหภูมิและความแตกต่างของอุณหภูมิ ตามคุณสมบัติของสมดุระหว่างเฟสระหว่างของไหลภายในระบบ

e สามารถผลิตจากวัสดุที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนได้ แต่จะพิจารณาเฉพาะส่วนที่มีความเป็นไปได้มากที่จะเกิดความเสียหายของอุปกรณ์ อันมีสาเหตุจากการรั่วไหลหรือ
การแตกหักของท่อ

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี (State of the Art)

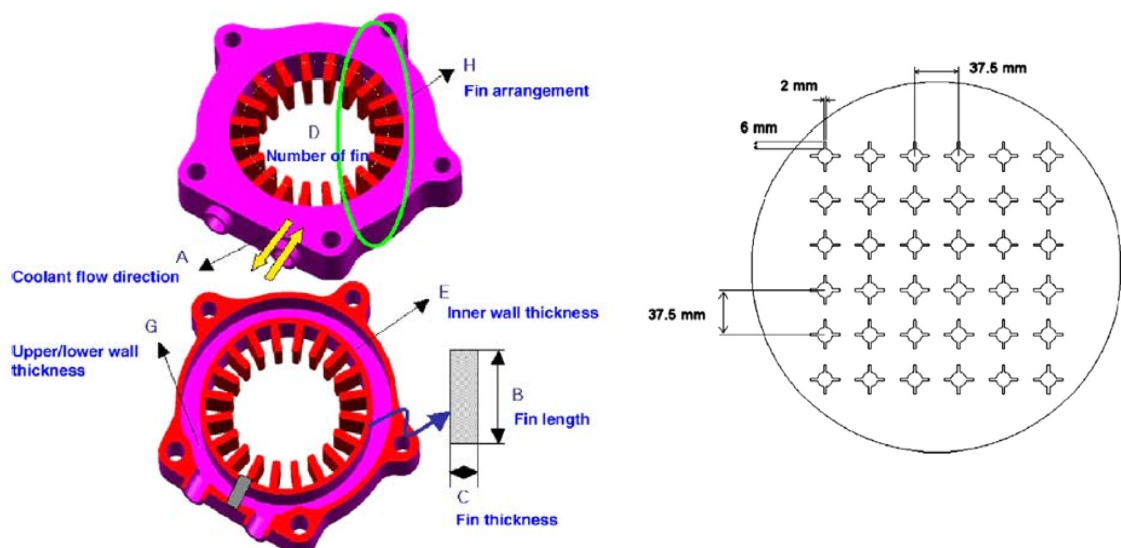
การศึกษาค้นคว้าเฉพาะที่เกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในงานความร้อนทิ้ง ที่พบมี 3 กลุ่ม คือ กลุ่มแลกเปลี่ยนความร้อนทิ้งที่ใช้กับเครื่องยนต์ กลุ่มการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และ กลุ่มที่นำฮีทไปป์มาใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน

ในอุตสาหกรรมมีการใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน เช่น เครื่องยนต์ก๊าซ การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์สันดาปภายในมาใช้ มีหลายวิธีการ บางเทคโนโลยีติดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนนำความร้อนที่ลูกสูบ ซึ่งเป็นส่วนที่อุณหภูมิสูงสุด การวิจัยพบว่า (Ghazikhani และคณะ) สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ถึงร้อยละ 14.1 งานวิจัยที่บางส่วนจะเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของรังผึ้ง เช่น การเติมสาร Nanofluid จำพวก Al_2O_3 หรือ SiO_2 หรือ Cu และ Glycol ลงในน้ำ ซึ่งมีรายงานการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น 4 ถึง 4.5% ของการใช้น้ำบริสุทธิ์ และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ท่อไอเสีย

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งกับท่อไอเสีย [18]

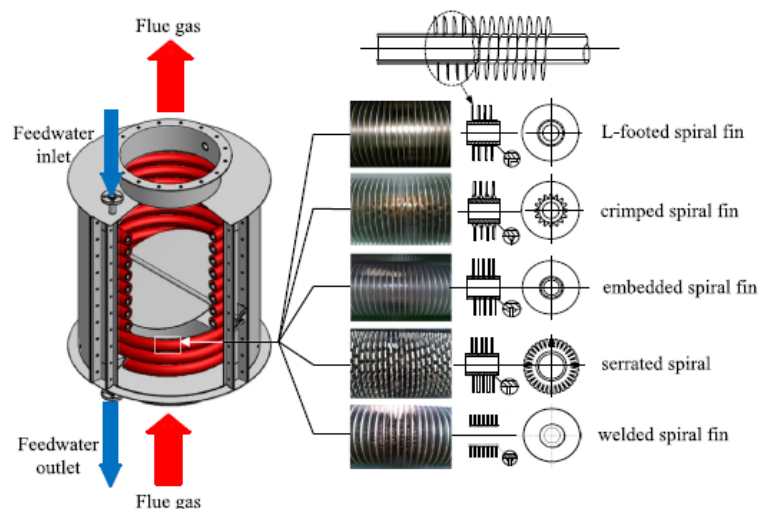
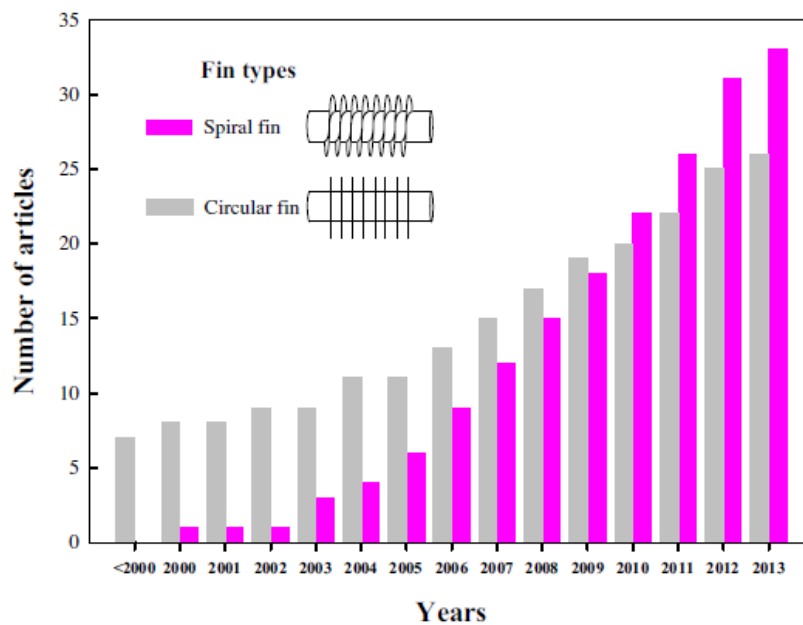
มีการศึกษาออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูง เช่น ใช้เทปปิดเป็นเกลียว (Zadsor และ Gorjt – Bandpy) การใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Fin-tube และตัวกลางสะสมความร้อน (Phase Change Materials) ซึ่งสามารถนำความร้อนกลับมาใช้ได้ถึงร้อยละ 15 (andiyarajan และคณะ) และนอกจากนี้ก็มีการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเป็นครีบทัดตั้งกับท่อไอเสีย เป็นต้น



รูปที่ 4-13 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ ที่ติดตั้งกับท่อไอเสีย

การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน [19]

มีการศึกษาและออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งพบว่าครีบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนได้มีการศึกษาผลของครีบบแบบธรรมดา รูปคลื่น ตะแกรง เป็นวงกลม เป็นเกลียว ที่ด้านสัมผัสอากาศ จากการศึกษาพบว่าถ้าเป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำ และอากาศการเพิ่มครีบบด้านอากาศจะเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีที่สุดในอดีตการวิจัยเกี่ยวกับครีบบท่อแบบวงกลม หรือ Circular fin จะมีสัดส่วนที่สูง แต่หลังปี ค.ศ.2005 การศึกษาครีบบแบบเกลียว (Spiral fin) มีเพิ่มมากขึ้น และมีสัดส่วนที่สูงกว่า เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่า อัตราการถ่ายเทสูงกว่า และยังมีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่า ผลิตง่ายกว่า ต้นทุนต่ำกว่า (Goldstein และคณะ)



รูปที่ 4-14 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเกลียว และจำนวนการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา [19]

การใช้ฮีทไปป์ในการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Pipe Heat Exchanger) [20]

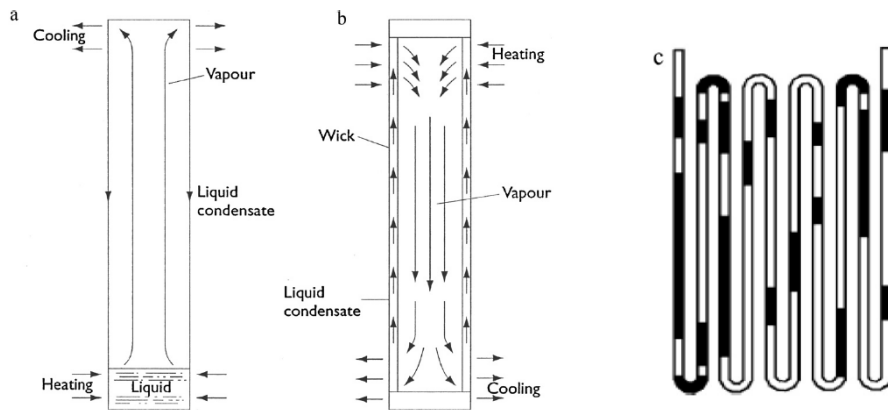
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ฮีทไปป์ หรือ HPHE ได้รับความสนใจในงานความร้อนทิ้งและมีการผลิตจำหน่ายเชิงพาณิชย์แล้ว HPHE จะใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนจากอากาศหรือก๊าซไอเสีย กับอากาศหรือน้ำ ซึ่งเป็นกระแสนิ่ง ข้อดีของ HPHE ก็คือป้องกันการรั่วไหลระหว่างกระแสนิ่งที่สกรอกกับกระแสนิ่งได้ ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง ไม่มีส่วนเคลื่อนไหว ขนาดเล็ก ความดันตกคร่อมอุปกรณ์ต่ำมาก

HPHE ที่นำมาใช้งานความร้อนทิ้ง มี 3 รูปแบบ คือ

แบบธรรมดา (Conventional Heat Pipe) ฮีทไปป์จะเป็นท่อยาวที่มีสารทำงานอยู่ภายใน ด้านบนเป็นอีเวปอเรเตอร์ ด้านล่างเป็นคอนเดนเซอร์ เมื่ออีเวปอเรเตอร์ได้รับความร้อน สารทำงานจะระเหย และไหลไปควบแน่นกลายเป็นของเหลว และไหลกลับไปที่อีเวปอเรเตอร์ทางช่องว่างเล็กๆ ขึ้นนอก ด้วยแรงตึงผิว

แบบ 2 เฟส (Two phase closed hermosyphon : TPCT) แบบนี้แตกต่างจากแบบธรรมดา ตรงที่อีเวปอเรเตอร์อยู่ด้านล่าง ภายในไม่มี 2 ชั้นเหมือนแบบธรรมดา สารทำงานของเหลวไหลจากคอนเดนเซอร์มาด้วยแรงโน้มถ่วง ข้อดีคือ ไม่มีสองชั้นเพื่อเป็นทางให้ของเหลวไหล ซึ่งจะมีการต้านทานการไหล

แบบออสซิลเลต (Oscilating Heat Pipe : OHP) เป็นเทคโนโลยีแบบล่าสุดที่สารทำงานไหลไม่ต่อเนื่อง ท่อฮีทไปป์แบบ OHP จะมีขนาดเล็กมากจนกระทั่งไอและสารทำงานของเหลวอยู่ในหลอดเดียวกัน หลอดทั้งหมดเชื่อมต่อกัน เมื่อฝั่งอีเวปอเรเตอร์ได้รับความร้อน สารทำงานจะกลายเป็นไอ และเป็นฟองก๊าซขับเคลื่อนไปยังด้านคอนเดนเซอร์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า ขณะที่ด้านคอนเดนเซอร์มีการควบแน่น ความดันก็จะลดลง ทำให้ฟองก๊าซและของเหลวเคลื่อนตัวมาคอนเดนเซอร์ แต่เนื่องจากหลอดเชื่อมต่อกัน ก็จะไปผลักดันให้ก๊าซและของเหลวในอีกหลอดไหลกลับไปกับอีเวปอเรเตอร์



รูปที่ 4-15 แสดงฮีทไปป์แบบต่างๆ a) แบบสองเฟส b) แบบธรรมดา c) แบบบอสซิเลท [20]

ในปัจจุบันมีการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์เพื่อใช้กับก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำ และใช้อุ่นน้ำป้อนจำหน่ายในเชิงพาณิชย์แล้ว จากข้อมูลการทดสอบค่าประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์แบบต่างๆ ที่กล่าวถึงสามารถทำได้เท่ากับหรือสูงกว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบทั่วไป

4.3.3 การอุ่นขึ้นงาน (Load Preheating)

หลักการทำงาน

การอุ่นขึ้นงานด้วยการนำความร้อนเหลือทิ้งจากระบบ มาใช้ในการให้ความร้อนหรืออุ่นขึ้นงานที่จะป้อนเข้าในระบบ หรือนำมาเพิ่มความร้อนให้กับวัตถุดิบ/ของไหลที่จะป้อนเข้า ตัวอย่างการใช้งานที่พบได้ทั่วไป ได้แก่ การอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำโดยการนำความร้อนที่ถ่ายเทจากอีโคโนไมเซอร์ที่รับความร้อนมาจากก๊าซไอเสีย หรือตัวอย่างการนำไปใช้งานในกระบวนการโดยตรง เช่น การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบโดยตรงระหว่างก๊าซไอเสียร้อนกับวัสดุของแข็งที่จะนำเข้าเตาเผา ซึ่งเป็นการใช้ไอเสียที่ออกจากเตาเผาแล้วกลับมาอุ่นเพิ่มอุณหภูมิให้กับชิ้นงานที่เตรียมจะหล่อ อาทิเช่น โรงงานหล่อเหล็ก/อะลูมิเนียม จะพบการใช้งานชุดหลอมที่ปล่อยไอเสีย (Stack melters) โดยก้อนโลหะเศษชิ้นเหล็ก (ingots and scrap) จะถูกนำไปเข้าสู่ชุดหลอม stack melter ที่บริเวณช่วงบนของเตาเผา และเศษชิ้นเหล็กจะถูกทำให้ร้อนด้วยก๊าซไอเสีย ก่อนที่ปล่อยก๊าซไอเสียทิ้งออกไป ดังแสดงในรูปที่ 4-16 ชุด stack melter ที่โรงงานหล่อแบบพิมพ์ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานกว่าร้อยละ 47 เมื่อเทียบกับเตาเผาแบบธรรมดา [3]



รูปที่ 4-16 ชุด stack melter ที่โรงงานหล่อแบบพิมพ์ [3]

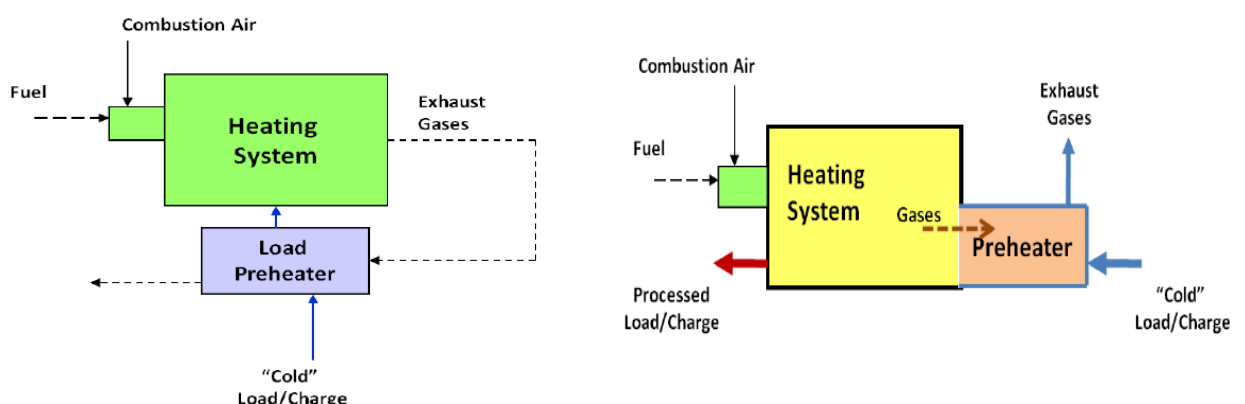
การนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานมักถูกออกแบบมากับกระบวนการผลิตเนื่องจากการอุ่นชิ้นงานจะใช้ความร้อนได้สูงสุด ประสิทธิภาพสูงสุด และมักมีใช้อยู่แล้วในอุตสาหกรรมที่ใช้อุณหภูมิสูง เช่น ซีเมนต์ เซรามิก ปิโตรเคมี เป็นต้น และการออกแบบปรับปรุงภายหลังค่อนข้างเฉพาะ มีข้อจำกัดมาก เช่น การควบคุมคุณภาพ ผลด้านสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างการอุ่นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมซีเมนต์ ได้แก่ การนำไอเสียจากเตาเผาผ่านไซโคลนสวนทางคลุกเคล้ากับวัตถุดิบที่ไหลป้อนเข้าเตาเผา

อุตสาหกรรมเซรามิก มีการแบ่งเตาอบออกเป็นโซน และลมร้อนจากโซน Heating ถูกนำไปใช้ในโซน Preheating เป็นต้น

อุตสาหกรรมแก้วและเหล็ก ส่วนใหญ่ไม่มีการนำก๊าซไอเสียมาอุ่นวัตถุดิบเป็นกระบวนการมาตรฐาน แต่มีตัวอย่างของการปรับปรุงในต่างประเทศ

การปรับปรุงระบบให้นำความร้อนกลับมาอุ่นชิ้นงาน [31]

การอุ่นชิ้นงานอาจจะดำเนินการได้ใน 3 รูปแบบ ต่อไปนี้



รูปที่ 4-17 การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อุ่นชิ้นงาน [32]

1. สร้างส่วนที่ไม่มีการเผาไหม้ หรือ Preheating zone ขึ้นโดยต่อขยายออกจากเตา นำก๊าซไอเสียจากส่วนที่เผาไหม้มาถ่ายเทความร้อนให้กับวัตถุดิบที่เข้ามา

2. สร้างส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนแยกจากเตา และนำไอเสียไปให้ความร้อนวัตถุดิบก่อนป้อนเข้าเตา

3. สร้างส่วนที่วัตถุดิบ และก๊าซไอเสียวิ่งสวนทางกัน

ในการปรับปรุงระบบให้มีส่วนที่อุ่นขึ้นงาน จำเป็นจะต้องพิจารณาหัวข้อต่อไปนี้

1) ก๊าซไอเสียสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นที่มีความคุ้มค่ามากกว่าหรือไม่

2) ส่วนที่อุ่นขึ้นงานต้องมีขนาดเท่าใด

3) มีพื้นที่เพียงพอหรือไม่

4) กระแสของก๊าซไอเสียที่ไหลมีข้อกำหนดหรือไม่ และมีความดันตกคร่อมสูงหรือไม่

5) ถ้ามีส่วนขนถ่ายวัตถุดิบ เช่น สายพาน ฯลฯ สามารถทนอุณหภูมิความร้อนได้หรือไม่

6) พัดลมที่ใช้เดิมสำหรับส่งก๊าซไอเสียเพียงพอหรือไม่

7) ความร้อนที่ให้กับความร้อนที่ต้องการสมดุลกันหรือไม่

8) การสูญเสียความร้อนของลมร้อนก่อนเข้าอุ่น และอุณหภูมิชิ้นงานที่อุ่นแล้วก่อนเข้าเตาและวิธีควบคุม

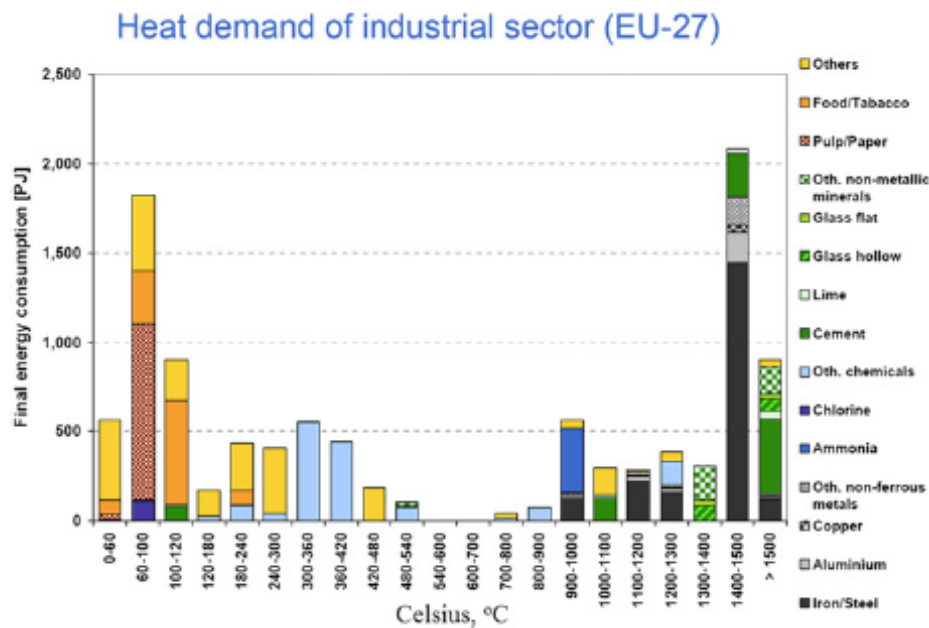
9) ระบบควบคุมที่ใช้ และมีความจำเป็นต้องมีระบบให้ความร้อนสำรองหรือไม่

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี (State of the Art)

เนื่องจากการนำความร้อนทิ้งมาใช้โดยการอุ่นวัตถุดิบ ส่วนใหญ่อยู่ในอุตสาหกรรมหนัก และใช้เงินลงทุนปรับปรุงสูง เทคโนโลยีมักอยู่กับผู้ผลิต ออกแบบโรงงาน ประเภะนั้นๆ โดยเฉพาะ

4.3.4 การนำความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำกลับมาใช้ (Low temperature Heat Exchange)

จากการสำรวจความร้อนทิ้งที่มีใช้ในอุตสาหกรรมในสหภาพยุโรป พบว่าความร้อนทิ้งกระจายอยู่ในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังรูปที่ 4-18



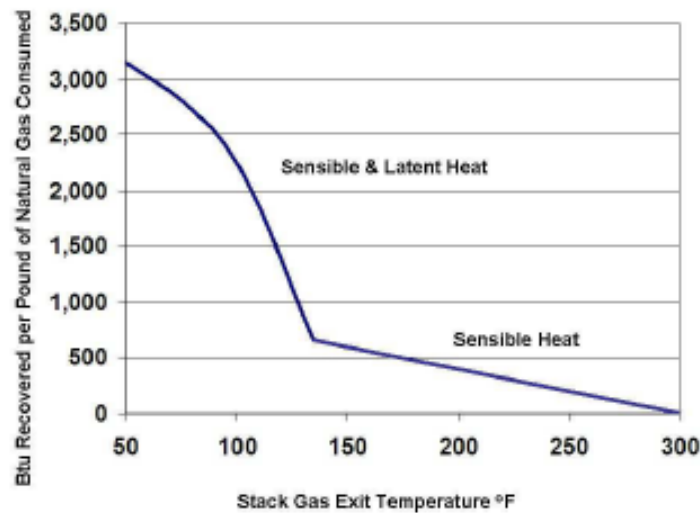
รูปที่ 4-18 อุณหภูมิใช้งานของอุตสาหกรรมต่างๆ ในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป [21]

จะพบว่าความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ (250°C) มีสัดส่วนเกือบ 1 ใน 3 และเป็นส่วนที่ยังนำกลับมาใช้น้อย ความร้อนทิ้งในกลุ่มนี้น่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีปริมาณมาก ที่ผ่านมานี้เนื่องจากเงินลงทุนที่สูงและข้อจำกัดทางเทคนิคหลายอย่างจึงยังไม่มีการใช้ประโยชน์ ปัจจุบันเริ่มมีเทคโนโลยีจะนำกลับมาใช้ได้มากขึ้น

ความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ มักเป็นความร้อนทิ้งในช่วงอุณหภูมิต่ำ เช่น ระบบเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่มีการใช้เทคโนโลยีนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้แล้ว ทำให้ก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งส่วนใหญ่จะมีอุณหภูมิประมาณ $150-180^{\circ}\text{C}$ นอกจากนี้ ความร้อนทิ้งปริมาณสูงในอุตสาหกรรม สามารถพบได้จากน้ำระบายความร้อนและระบบทำความเย็นอากาศ เช่น การระบายความร้อนของเครื่องอัดอากาศ

สำหรับก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ ความร้อนทิ้งสามารถดึงออกมาได้จากการที่ไอน้ำที่อยู่ในก๊าซไอเสียถูกทำให้มีอุณหภูมิที่ต่ำลง โดยปกติการใช้งานส่วนใหญ่ ก๊าซไอเสียจะมีข้อจำกัดในการลดอุณหภูมิไม่ให้ต่ำไปกว่า $120-150^{\circ}\text{C}$ เพื่อป้องกันการกลั่นตัวของไอน้ำในก๊าซไอเสียจนกลายเป็นคอนเดนเสทที่มีสภาพความเป็นกรดที่กัดกร่อนต่อวัสดุที่ผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อย่างไรก็ตาม การระบายความร้อนในก๊าซไอเสีย สามารถเพิ่มศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับได้ หากมีเทคโนโลยีที่สามารถดึงเอาพลังงานความร้อนแฝง (Latent Heat) ที่เหลือในก๊าซไอเสียมาใช้ให้มากขึ้น โดยเป็นการทำให้ก๊าซเย็นตัวลงที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้าง (Dew Point) หรือจุดกลั่นตัว (Condensation point) เพื่อนำความร้อนทิ้งในช่วงอุณหภูมิต่ำมาใช้ (Low temp waste heat) ดังแสดงในรูปที่ 4-19 ถ้าหากก๊าซไอเสียถูกทำให้

เย็นลงจาก 150°C เป็น 60°C จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 3% และถ้าก๊าซไอเสียถูกทำให้เย็นตัวลงที่ 38°C จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้ 11% จากการดึงเอาความร้อนแฝงออกมา [3]



รูปที่ 4-19 กราฟแสดงความร้อนที่สามารถนำกลับมา สำหรับหม้อไอน้ำชนิดใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ [3]

ความท้าทายของเทคโนโลยีการนำความร้อนอุณหภูมิต่ำกลับมาใช้งาน [3]

การนำความร้อนอุณหภูมิต่ำกลับมาใช้งาน จะต้องเผชิญกับความท้าทายใน 3 ประเด็น คือ

- การกักความร้อนของพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากไอน้ำในก๊าซไอเสียเมื่อเย็นตัวลงและกลั่นตัว จะมีคุณสมบัติเป็นกรดที่กัดกร่อนต่อวัสดุที่ใช้ทำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้นการออกแบบเทคโนโลยีการนำความร้อนอุณหภูมิต่ำกลับมาใช้งาน จะต้องออกแบบให้ทนต่อการกัดกร่อนได้ ซึ่งโดยทั่วไป มักใช้วัสดุพิเศษที่สามารถทนทานต่อการกัดกร่อน หรือการเปลี่ยนชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่บ่อยขึ้น ซึ่งมักพบว่าเป็นข้อจำกัดหนึ่งต่อศักยภาพในเชิงเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีนี้

อุณหภูมิน้ำค้างของซัลเฟอร์ในก๊าซไอเสีย สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$t_{sld} = t_{ld} + \frac{\beta^3 \sqrt{S^x}}{1.05^{\infty} A^x}$$

โดยที่ t_{sld} เป็นอุณหภูมิน้ำค้างของไอน้ำในก๊าซไอเสีย (°C)

S เป็นค่าสัดส่วนซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิงที่ปรับแก้มีหน่วยเป็น (kg/kJ)

$$S^x = \frac{4187 S_{ar}}{Q_{net,ar}}$$

A^x เป็นค่าสัดส่วนเท่าที่ปรับแก้มีหน่วยเป็น kg/kJ

$$A^x = \frac{4187 A_{ar}}{Q_{net,ar}}$$

S_{ar} เป็นองค์ประกอบเซลล์เฟอร์ในเชื้อเพลิงเป็นร้อยละ

A_{ar} เป็นองค์ประกอบเถ้าในเชื้อเพลิงเป็นร้อยละ

$Q_{net,ar}$ เป็นค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kg/kJ)

∞ เป็น fly ash factor

β เป็นค่าอัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่ปล่อยทิ้ง

- ความร้อนอุณหภูมิต่ำต้องการพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดใหญ่ โดยอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นฟังก์ชันของค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของวัสดุที่ใช้ทำพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน ความแตกต่างของอุณหภูมิ และพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากการนำความร้อนทั้งอุณหภูมิต่ำมาใช้ จะมีความแตกต่างของอุณหภูมิสองสายที่มาแลกเปลี่ยนความร้อนกันต่ำ ทำให้ต้องการพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนปริมาณมาก ทำให้เป็นข้อจำกัดหนึ่งต่อศักยภาพในเชิงเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีนี้

- การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในช่วงความร้อนอุณหภูมิต่ำ จะเหมาะสมถ้าหากโรงงานมีความต้องการใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำ ศักยภาพของแหล่งที่นำไปใช้ได้ เช่น การใช้น้ำร้อนภายในโรงงาน การทำความร้อนให้กับพื้นที่ และการใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำในกระบวนการผลิต ทางเลือกอื่นในการนำไปใช้ รวมถึงการใช้ฮีตปั๊ม ในการยกระดับ (upgrade) ความร้อนต่ำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อยเพื่อให้ตรงกับโหลดความต้องการที่มี

เทคโนโลยีที่มีความเป็นไปได้ในการนำความร้อนอุณหภูมิต่ำกลับมาใช้งาน ประกอบด้วยเทคโนโลยี Deep Economizer, Indirect Contact Condensation Recovery, Direct Contact Condensation Recovery และที่พัฒนาล่าสุดเมื่อเร็วๆ นี้ คือ Transport Membrane Condenser (TMCs) อย่างไรก็ตามในเชิงพาณิชย์แล้ว ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากค่าใช้จ่ายเงินลงทุนที่สูง และขาดซึ่งแหล่งรับเอาความร้อนไปใช้งาน รวมถึงการใช้งาน ฮีตปั๊ม และระบบผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนต่ำ ที่บ่อยครั้งพบข้อจำกัดในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน

หลักการทำงาน

1. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอุณหภูมิต่ำ

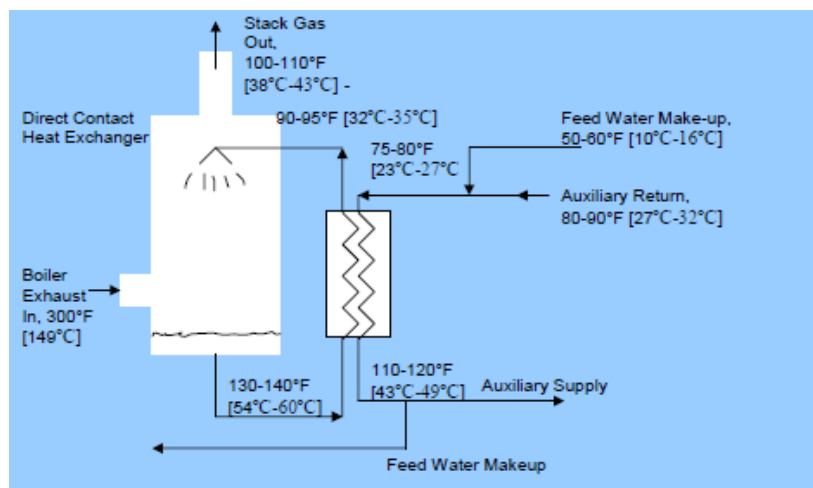
1) Deep Economizer เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อลดอุณหภูมิไอเสียให้อยู่ที่ประมาณ 65-71 °C แต่เพื่อให้สามารถทนทานต่อการกัดกร่อนได้ การออกแบบจะต้องมี

- ออกแบบให้ใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนต่อความเป็นกรดของไอน้ำที่กลั่นตัวในช่วงปลายอุปกรณ์ Economizer เช่น การใช้วัสดุ Teflon หรือท่อสแตนเลส หรือการใช้ท่อแบบแก้ว

- การติดตั้งช่องทางระบายน้ำคอนเดนเสทแบบที่เปลี่ยน หรือถอดทิ้งได้ ที่บริเวณปลายด้านอุณหภูมิต่ำของอีโคโนไมเซอร์ ซึ่งท่อระบายน้ำคอนเดนเสท อาจมีการสีกกร่อน และต้องทำการเปลี่ยนเป็นระยะ ทั้งนี้ ความถี่ในการเปลี่ยน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของก๊าซไอเสียและวัสดุที่ใช้ทำชุดแลกเปลี่ยนความร้อน

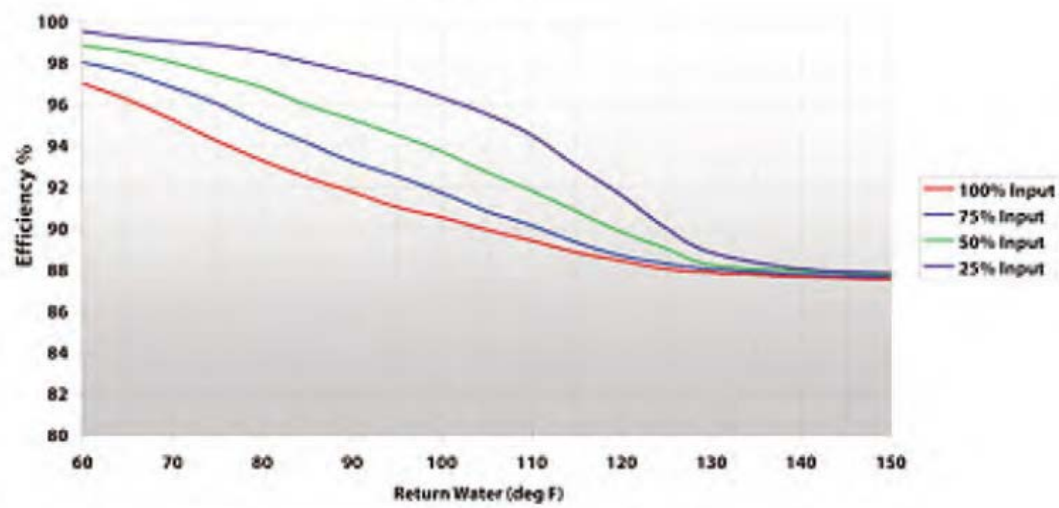
2) Indirect Contact Condensation Recovery เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดอุณหภูมิก๊าซไอเสีย ให้อยู่ที่ประมาณ 38-43°C และทำให้อุณหภูมิในก๊าซไอเสีย ควบแน่นจนเกือบหมด ภายในอุปกรณ์นี้จะประกอบไปด้วย Shell & Tube ที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไม่สัมผัสตรง และการออกแบบ จำเป็นต้องใช้วัสดุพิเศษที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนต่อความเป็นกรดของไอน้ำที่กลั่นตัวได้ เช่น การใช้วัสดุ Teflon หรือท่อสแตนเลส หรือการใช้ท่อแบบแก้ว หรือวัสดุพิเศษอื่นๆ

3) Direct Contact Condensation Recovery เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการผสมสัมผัสโดยตรงระหว่างของไหลไอเสียร้อนกับของไหลสายเย็นที่มารับความร้อน เป็นการให้ความร้อนทั้งสัมผัสกับของไหลโดยตรง เพื่อลดความต้องการใช้พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนขนาดใหญ่ ตัวอย่างการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 4-20 เช่น ป้อนไอเสียเข้าเครื่อง Heat Exchanger และใช้น้ำสเปรย์ทางด้านบนของปล่อง เพื่อให้ น้ำแลกเปลี่ยนรับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ก่อนนำไปถ่ายเทความร้อนนำไปใช้งานต่อไป



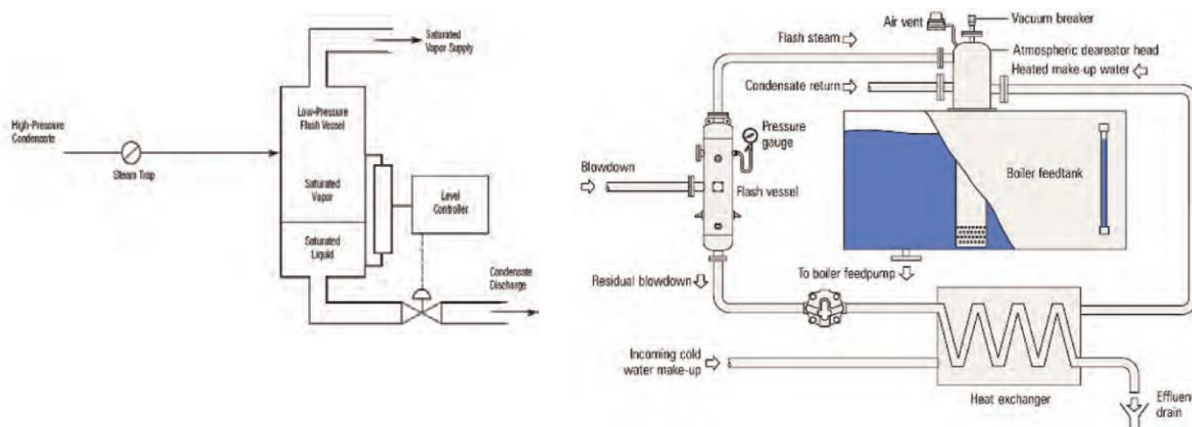
รูปที่ 4-20 กราฟแสดงการนำความร้อนทิ้งกลับแบบ Direct Contact Condensation Heat Recovery

4) หม้อไอน้ำแบบคอนเดนซิ่ง [3] หม้อไอน้ำทั่วไปจะออกแบบไม่ให้เกิดการควบแน่นของก๊าซไอเสียเพื่อป้องกันการเกิดของเหลวที่เป็นกรด และทำให้หม้อไอน้ำเสียหาย ตรงกันข้าม หม้อไอน้ำแบบคอนเดนซิ่ง จะออกแบบให้ทนต่อการกัดกร่อนและให้อุณหภูมิในก๊าซไอเสียเกิดการควบแน่น โดยทั่วไปความร้อนจากการเผาไหม้ร้อยละ 10 ถูกใช้ในการระเหยน้ำที่ได้จากปฏิกิริยาสันดาปให้กลายเป็นไอน้ำ ดังนั้นหากสามารถเก็บความร้อนนี้กลับมาได้จะทำให้ความร้อนกลับมาใช้ได้มากขึ้น ในหม้อไอน้ำแบบคอนเดนซิ่ง ส่วนก๊าซไอเสียจะมีขนาดใหญ่ และมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งมีน้ำป้อนอุณหภูมิต่ำพอไหลเข้ามาเพื่อให้ก๊าซไอเสียมีอุณหภูมิต่ำลงจนถึงอุณหภูมิน้ำค้างและควบแน่น กราฟในรูปที่ 4-21 แสดงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแบบคอนเดนซิ่ง ที่ สูงขึ้นเพื่ออุณหภูมิน้ำป้อนต่ำลง



รูปที่ 4-21 กราฟประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแบบคอนเดนซิ่ง [16]

5) การนำความร้อนทิ้งจากน้ำระบายหม้อไอน้ำกลับมาใช้ [16] แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำอีกจุดคือ น้ำระบายของหม้อไอน้ำ ซึ่งจะมีการระบายทิ้งเป็นระยะเพื่อควบคุมปริมาณสารแขวนลอยในหม้อไอน้ำ น้ำหรือคอนเดนเสทที่ปล่อยทิ้งนี้จะมีอุณหภูมิและความดันสูงพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ได้



ก.การใช้ถังแฟลช

ข.การนำคอนเดนเสทกลับมาแลกเปลี่ยนกับน้ำป้อน

รูปที่ 4-22 การนำความร้อนทิ้งจากน้ำระบายกลับมาใช้ [16]

การนำความร้อนทิ้งจากน้ำระบายกลับมาใช้ มี 2 รูปแบบ ซึ่งอาจจะมีทั้งสองแบบในระบบเดียวกันก็ได้ แบบแรกน้ำระบายความดันสูงถูกปล่อยลงในถังความดันต่ำหรือถังแฟลช น้ำระบายจะขยายตัวเป็นไอน้ำความดันต่ำใช้งานในถังไล่อากาศ (Deaerator) หรือใช้ในกระบวนการที่ต้องการความดันต่ำ ตัวอย่างเช่น คอนเดนเสทอุณหภูมิ 120°C จะผลิตไอน้ำความดัน 1 บาร์เกจ

อีกแบบคือ คอนเดนเสทความดันต่ำ ซึ่งอาจจะเหลือจากแบบแรก ผ่านเข้ามาในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนก่อนเข้าถังไล่อากาศ ซึ่งระบบที่มีการนำความร้อนกลับมาทั้งสองแบบข้างต้นจะสามารถนำความร้อนกลับมาได้ถึงร้อยละ 90

หม้อไอน้ำที่มีการระบายน้ำเกินร้อยละ 5 ระบบนำความร้อนทิ้งจากน้ำระบายกลับมาใช้จะมีความน่าสนใจอย่างยิ่ง

2. การใช้งานฮีตปั๊มเพื่อเพิ่มคุณภาพความร้อน (Heat pump)

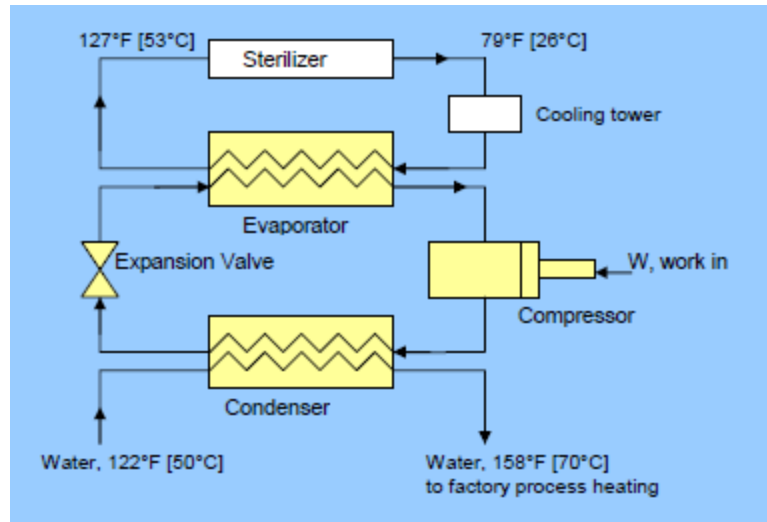
ในกรณีที่พลังงานความร้อนทิ้งมีอุณหภูมิต่ำกว่าระดับอุณหภูมิที่แหล่งรับความร้อนต้องการใช้งาน เทคโนโลยีฮีตปั๊ม (Heat pump) จะนำมาใช้เพื่อยกระดับเพิ่มอุณหภูมิให้กับความร้อนเหลือทิ้งที่มีอุณหภูมิต่ำ เป็นการ “Upgrading” เพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการ end-use ที่ต้องการนำความร้อนไปใช้งาน โดยฮีตปั๊ม จะใช้แหล่งพลังงานจากภายนอกเพื่อดูดพลังงานจากแหล่งความร้อนต่ำและปล่อยออกที่อุณหภูมิสูง ซึ่งลักษณะการใช้งานฮีตปั๊ม สามารถทำได้ 2 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับการออกแบบ คือ ทั้งการ upgrade ยกระดับอุณหภูมิของความร้อนทิ้งให้มีอุณหภูมิ หรือ การนำความร้อนทิ้งไปเป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption cooling system)

การยกระดับความร้อนทิ้ง (upgrade) ด้วยฮีตปั๊ม จะมีศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ในบางกรณี ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต้องการและต้นทุนค่าใช้จ่ายค่าเชื้อเพลิงและไฟฟ้า ปัจจัยสำคัญในการพิจารณาความเป็นไปได้ของการใช้ฮีตปั๊ม คือ อุณหภูมิของความร้อนทิ้งและระดับอุณหภูมิที่ต้องการเพิ่ม เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของแหล่งรับความร้อน ถ้าแหล่งรับมีภาระความร้อน (heat load) ที่ต้องการใช้อุณหภูมิสูงแตกต่างจากอุณหภูมิความร้อนทิ้งที่มีในระดับที่ไม่ต่างกันมาก จะมีความเหมาะสมที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ด้วยอุปกรณ์ฮีตปั๊ม นอกจากนี้ ชนิดของวงจรการนำความร้อนกลับที่ใช้และชนิดของสารทำงานจะมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิรับและคายของฮีตปั๊มด้วย ซึ่งจะส่งผลต่ออุณหภูมิสูงสุดที่ยกขึ้นได้ของฮีตปั๊ม ตารางที่ 4-5 แสดงชนิดของวงจรและสารทำงานที่ใช้ฮีตปั๊มสำหรับการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ [3]

ตารางที่ 4-5 แสดงชนิดของวงจรและสารทำงานที่ใช้ฮีตปั๊มสำหรับการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ [3]

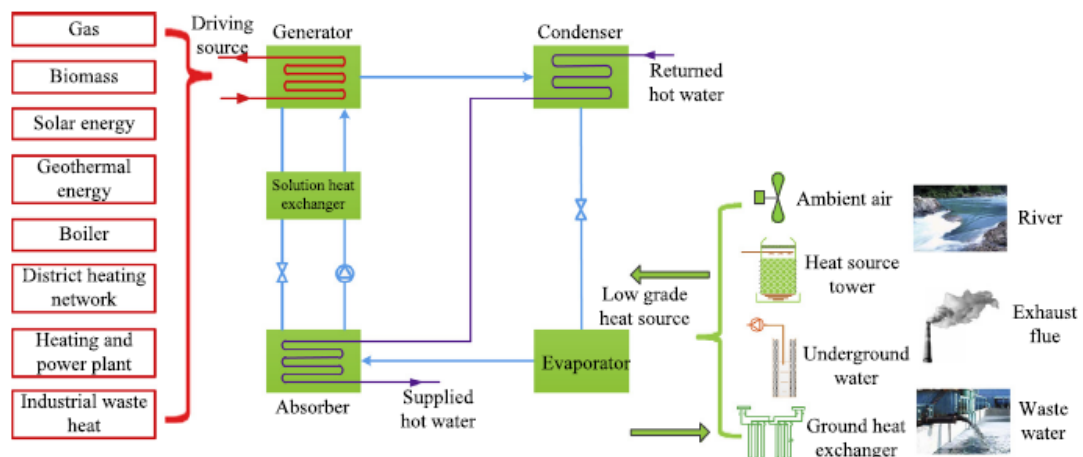
ชนิดของฮีตปั๊ม	อุณหภูมิสูงสุดของแหล่งรับ (Sink Temp.)	อุณหภูมิสูงสุดที่เพิ่มระดับ (Lift Temp.)	ค่าใช้จ่ายเงินลงทุนติดตั้ง (บาท/kW) ตามขนาดของฮีตปั๊ม		
			0.5 MW	1 MW	4 MW
Electric Motor Closed Compression Cycle	120°C	120°C	14,850 – 23,100	10,560 – 18,150	7,920 – 13,860
Diesel Motor Closed Compression Cycle	130°C	90°C	17,160 – 25,410	12,870 – 20,460	9,900 – 16,170
Mechanical Vapor Recompression	190°C	90°C	17,160 – 25,410	12,870 – 20,460	9,900 – 16,170
Thermal Vapor Recompression	150°C	40°C	Not Available	6,930- 8,910	3,300 – 3,960
Absorption Cycle (Type I. Heat pump)	100°C	50°C	11,220- 12,780	9,900 – 1,1550	8,250 – 9,570
Absorption Cycle (Type II. Heat Transformer)	150°C	60°C	26,400 – 29,700	23,760 – 27,390	19,470 – 22,440

- Closed Compression Cycle เป็นการใช้อุปกรณ์ที่ดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ โดยใช้งานร่วมกับ Heat pump, Evaporator, Condenser เพื่อดึงความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำส่วนนี้ ไปเพิ่มอุณหภูมิและนำไปใช้ในกระบวนการผลิตอื่นๆ รูปที่ 4-23 แสดงตัวอย่างของระบบอัดแบบปิดที่นำความร้อนทิ้งจากน้ำระบายความร้อนที่ออกจากระบบหม้อน้ำฆ่าเชื้อ (Sterilizer) ในโรงงานผลิตนม ซึ่งอุปกรณ์หม้อน้ำจะมีน้ำระบายความร้อนที่อุณหภูมิ 53°C ถูกนำมาระบายความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่ Evaporator โดยสารทำความเย็นใน Evaporator เมื่อได้รับความร้อนและเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ของชุดฮีตปั๊ม จะใช้รับพลังงานเพิ่มทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนในสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาพไอแดง (Superheated) ที่ออกจากชุดคอมเพรสเซอร์ จะนำไปถ่ายเทความร้อนเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่คอนเดนเซอร์ ต่อไป [3]



รูปที่ 4-23 แสดงลักษณะการทำงานของฮีตปั๊ม ที่ใช้ในโรงงานผลิตนม

● ฮีตปั๊มแบบดูดซึม (Absorption Heat pump) ลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับระบบ closed compression cycle ยกเว้นชุดเครื่องอัดจะขับเคลื่อนการทำงานด้วยระบบดูดซึมความร้อน ระบบนี้ มีการใช้งานได้ทั้งแบบ ฮีตปั๊ม “Type I” สามารถใช้กับพลังงานความร้อนทั้งนำเข้าที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า หรือ สูงกว่าอุณหภูมิที่ผลิตได้ สำหรับแบบ ฮีตปั๊ม “Type II” สามารถใช้กับพลังงานความร้อนทั้งนำเข้าที่มีอุณหภูมิปานกลาง และสามารถปล่อยออกเป็นสองสายคือ สายอุณหภูมิต่ำและสายอุณหภูมิสูง การใช้งานสามารถใช้กับระบบปรับอากาศ และหรือระบบทำความเย็น



รูปที่ 4-24 แสดงลักษณะการทำงานของ ฮีตปั๊มแบบดูดซึม [14]

การทำงานของฮีตปั๊มแบบดูดซึม ระบบประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 4 ส่วน คือ Generator ทำหน้าที่รับความร้อนจากแหล่งความร้อนคุณภาพสูงต่างๆ ทำหน้าที่ต้มสารทำงานให้มีความเข้มข้น และนำกลับไปใช้ใหม่ที่ Absorber

Condenser เป็นส่วนที่รับไอร้อนที่เกิดจากการระเหยใน Generator และถ่ายเทความร้อนชั้นแรก ให้กับกระแสน้ำก่อนที่จะไปรับความร้อนอีกชั้นที่ Absorber

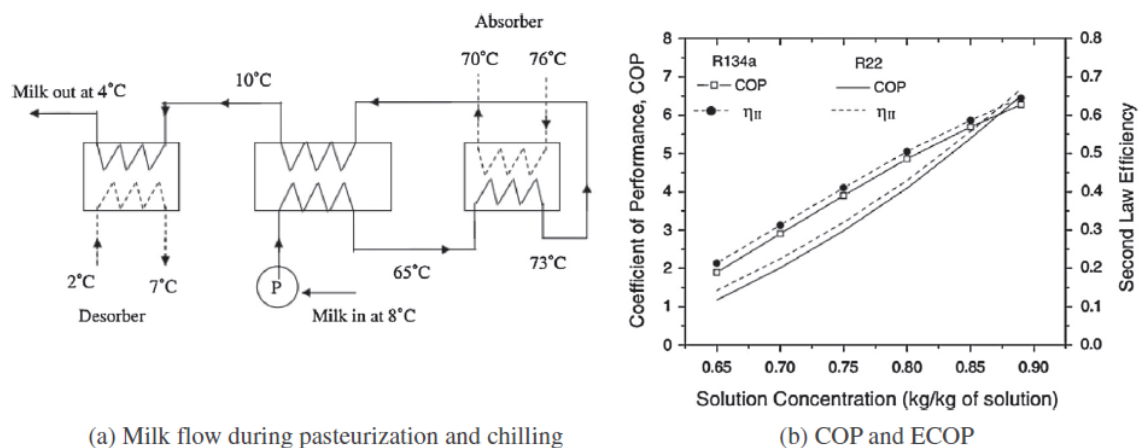
Evaporator ไอร้อนที่คายความร้อนในคอนเดนเซอร์จะควบแน่นเป็นของเหลวและกลับมาที่ Evaporator เพื่อรับความร้อนทิ้งคุณภาพต่ำ และกลายเป็นไอ และป้อนกลับมาที่ Absorber

Absorber สารดูดซึ่มที่เข้มข้นจาก Generator จะจับตัวกับไอระเหยจาก Evaporator และคายความร้อนให้กับกระแสน้ำ และจ่ายน้ำร้อนออกมาใช้งาน ขณะที่สารดูดซึ่มที่เจือจางจะถูกปั๊มกลับไปต้มที่ Generator [22]

การนำฮีตปั๊มแบบดูดซึ่มมาใช้ในอุตสาหกรรม นอกจากกระบวนการอบแห้งการระเหยยังแพร่หลายมากในการนำความร้อนทิ้งมาใช้ Garimella ได้วิเคราะห์การใช้ฮีตปั๊มแบบดูดซึ่มที่ใช้แอมโมเนียเป็นสารทำงาน ใช้ความร้อนทิ้งจากก๊าซร้อนอุณหภูมิ 120°C อุณหภูมิน้ำ 43°C ผลิตน้ำร้อน 50°C ได้ 3.57 MW

Cortes และ Rivera ใช้ความร้อนทิ้งจาก Evaporator ของโรงงานเยือกกระดาช อุณหภูมิ 70-80°C ป้อนให้ฮีตปั๊มแบบดูดซึ่มและผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 90-120°C ป้อนให้กับหม้อไอน้ำ ซึ่งลดการใช้ก๊าซธรรมชาติลงได้ถึงร้อยละ 25 [22]

ในรูปที่ 4-25 แสดงการใช้ฮีตปั๊มแบบดูดซึ่มในโรงงานนมที่มีขั้นตอนการฆ่าเชื้อ (Pasteurization) ซึ่งต้องมีการอุ่นนมให้อุณหภูมิ 73°C และมีกระบวนการที่ลดอุณหภูมิลงที่ 4°C ซึ่งสามารถใช้ความร้อนจาก Absorber และ ความเย็นจาก Desorber [22]



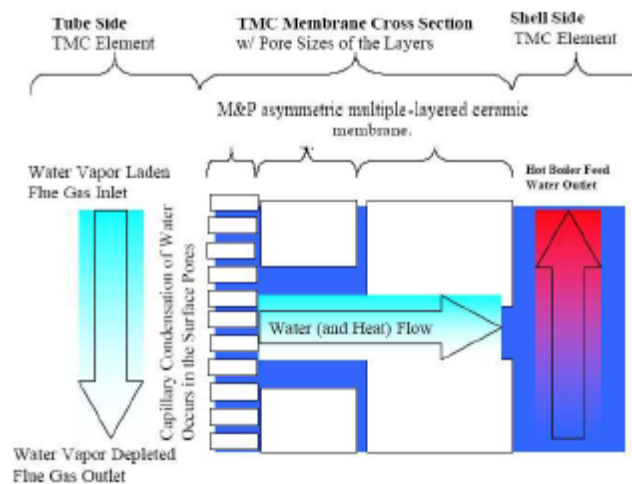
รูปที่ 4-25 การใช้ฮีตปั๊มแบบดูดซึ่มในโรงงานนมที่มีทั้งการทำความร้อน และต้องการความเย็น

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี (State of the Art)

เทคโนโลยีที่น่าสนใจในการนำความร้อนอุณหภูมิต่ำกลับมาใช้ ได้แก่ เทคโนโลยีเมมเบรน และการพัฒนาเพิ่มสมรรถนะฮีตปั๊ม

Transport Membrane Condenser (TMCs) [23]

เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่อดึงทั้งความร้อนและน้ำออกจากก๊าซไอเสีย โดยมีหลักการทำงานของอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4-26 โดยเมมเบรนที่ประกอบไปด้วยชั้นของท่อคอนเดนเซอร์เซรามิกขนาดเล็กๆ (Capillary condensation) จำนวนมาก ทำหน้าที่ดึงเอาความร้อนและไอน้ำที่มีอยู่ในก๊าซไอเสีย สกัดออกที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดน้ำค้างผ่านทาง TMCs เมมเบรน และรวบรวมเป็นน้ำคอนเดนเสทร้อน ป้อนกลับเข้าหอน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ โดยวิธีนี้ น้ำคอนเดนเสทที่ได้ผ่านเยื่อตัวกรองหรือเมมเบรน จะลดสารปนเปื้อนในน้ำได้ ซึ่งจะแตกต่างจากวิธีการสัมผัสแลกเปลี่ยนความร้อนตรง (Direct contact condensation recovery) เทคโนโลยีนี้ได้ถูกพัฒนาทดลองใช้กับก๊าซไอเสียในหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ แต่เทคโนโลยีนี้ยังต้องการพัฒนา R&D ในส่วนของวัสดุพิเศษที่นำมาใช้สำหรับไอเสียที่มีความสกปรกสูง รวมทั้ง TMC ที่มีความแข็งแรงและทนทานต่อสารปนเปื้อนในไอเสีย

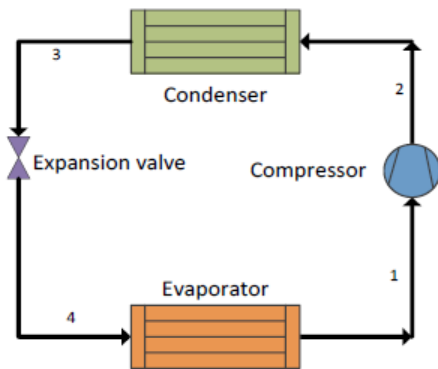


รูปที่ 4-26 แสดงลักษณะการทำงานของ Transport Membrane Condenser (TMCs)

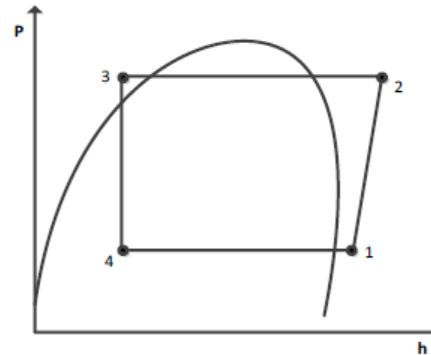
เทคโนโลยีฮีตปั๊มสำหรับความร้อนทิ้ง [24]

การพัฒนามุ่งไปสู่ฮีตปั๊มแบบ 2 ขั้น (2-stage) ซึ่งให้อัตราส่วนการอัดสูงกว่าและขนาดเล็กลง K.J Chau. และคณะได้แสดงให้เห็นว่าฮีตปั๊มแบบ 2 ขั้นที่ใช้ R22 เป็นสารทำงานสำหรับระบบอบแห้งให้ความร้อนได้มากกว่าแบบขั้นเดียวถึงร้อยละ 40 มีการทำการศึกษาเพื่อเพิ่มสมรรถนะของฮีตปั๊มเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้ถังแฟลชร่วมกับคอมเพรสเซอร์แบบสคอลกับการใช้ sub cooler โดย Ma และ Zao ก็พบว่าถังแฟลชเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่าในภาวะที่อุณหภูมิแวดล้อมต่ำ

Wei Yang และคณะได้วิเคราะห์เปรียบเทียบฮีตปั๊มแบบ 2 ชั้น 5 รูปแบบ เปรียบเทียบกับแบบ 1 ชั้น พบว่าฮีตปั๊มที่ร่วมกับถังแฟลชที่อุณหภูมิ Evaporator 35°C และอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ 95°C ให้ค่าสมรรถนะที่ 4.2 เทียบกับแบบ 1 ชั้นที่สมรรถนะเพียง 3.3 และประเมินระยะเวลาคืนทุนของระบบ 4.4 ปี เทียบกับแบบชั้นเดียวที่ 11.7 ปี

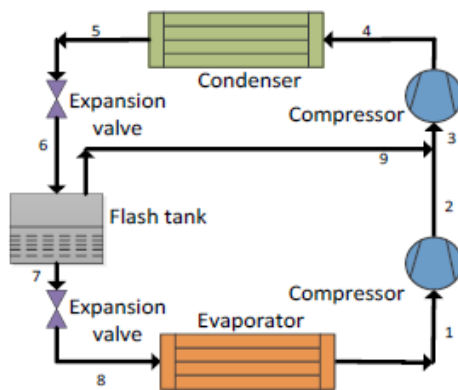


scheme

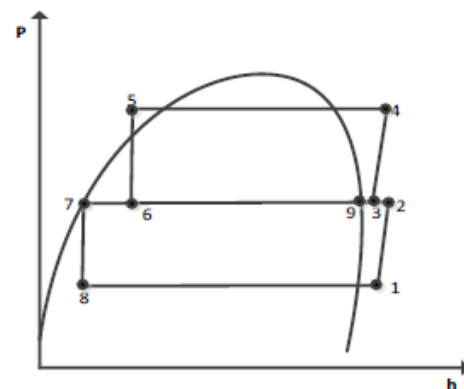


p-h diagram

ก. แบบชั้นเดียว



scheme



p-h diagram

ข. แบบสองชั้น

รูปที่ 4-27 แสดงลักษณะการทำงานของฮีตปั๊มแบบชั้นเดียว และสองชั้น

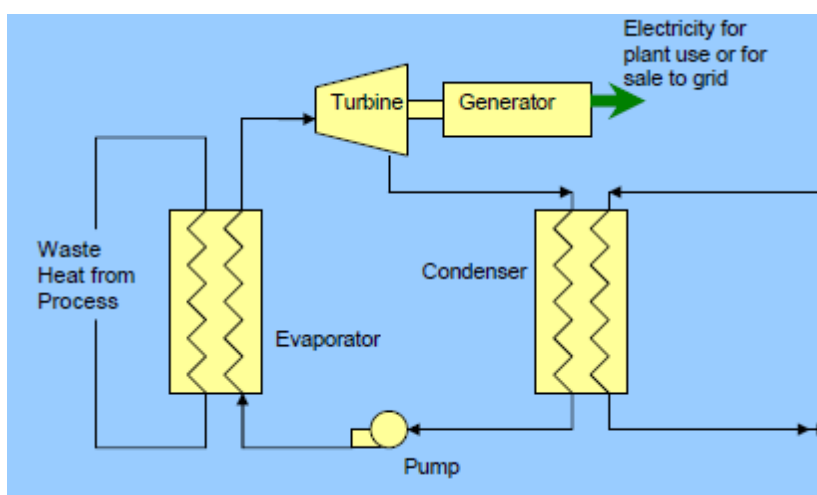
งานศึกษาฮีตปั๊มกับความร้อนทิ้งอุณหภูมิ ส่วนหนึ่งมุ่งไปที่การใช้งานกับน้ำเสีย เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานที่มีการใช้ความร้อน อุณหภูมิค่อนข้างสูง และคงที่ ปัจจุบันมีการใช้ฮีตปั๊มกับเสียมากกว่า 500 แห่งทั่วโลก โดยมีขนาดตั้งแต่ 10 kW – 20 MW ใช้งานกับน้ำเสียอาคาร โรงงาน น้ำเสียของเมืองหรือชุมชน ค่าสมรรถนะที่รายงานอยู่ในช่วง 2.8-4.85 [25]

4.3.5 การผลิตไฟฟ้า (Power generation)

หลักการทำงาน

การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้ง เช่น ความร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำ สามารถใช้ขับเคลื่อนพลังงานกลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เมื่อพิจารณาถึงทางเลือกในการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้ง เช่น วงจรไอน้ำแบบ Steam Rankine Cycle, ระบบ Organic Rankine Cycle และ ระบบ Kalina Cycle เป็นต้น ปัจจัยสำคัญที่จะต้องพิจารณาคือข้อจำกัดทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ประสิทธิภาพของระบบจะขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิของความร้อนทิ้งค่อนข้างมาก โดยทั่วไปการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งพบว่าจำกัดอยู่ที่แหล่งความร้อนทิ้งในระดับอุณหภูมิปานกลาง – สูง

1) **Steam Rankine Cycle (SRC)** เป็นระบบการผลิตไฟฟ้าที่นิยมใช้มากที่สุด โดยนำความร้อนทิ้งมาผลิตไอน้ำในการขับเคลื่อนกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) วงจรการทำงานดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 4-28 [3]

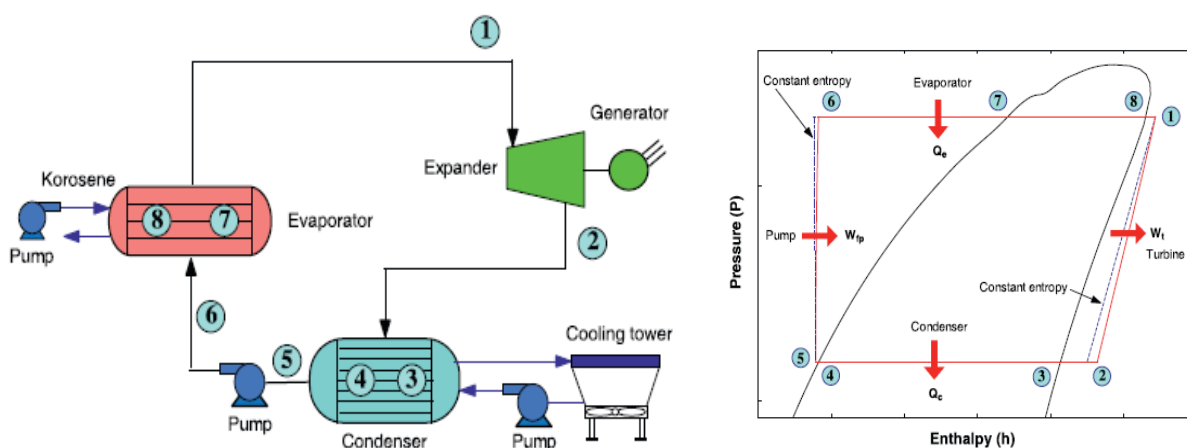


รูปที่ 4-28 แสดงลักษณะการทำงานของ การนำความร้อนทิ้งกลับด้วยระบบ Rankine Cycle [3]

ซึ่งแม้ว่า SRC เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการดึงความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด สำหรับการนำความร้อนทิ้งจากไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงกว่า $340-370^{\circ}\text{C}$ แต่ที่อุณหภูมิของความร้อนทิ้งที่ต่ำ การทำงานของไอน้ำจะให้ประสิทธิภาพที่ต่ำลง เนื่องมาจากอุณหภูมิความร้อนทิ้งที่ต่ำจะไม่สามารถให้พลังงานที่เพียงพอที่จะทำให้เป็นไอน้ำที่ยืดได้ (Superheat steam) และไอน้ำที่ความดันต่ำจะต้องการอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ระบบยังต้องการอุปกรณ์ที่ป้องกันการกลั่นตัวของคอนเดนเสทและการกัดกร่อนของใบกังหันไอน้ำด้วย ดังนั้น สำหรับความร้อนทิ้งที่มีอุณหภูมิต่ำ ระบบ Organic Rankine Cycle หรือ Kalina Cycle จะมีความเหมาะสมกว่า

2) **Organic Rankine Cycle (ORC)** หลักการทำงานจะคล้ายคลึงกับ Steam Rankine Cycle (SRC) แต่จะนิยมใช้กับสารทำงานที่เป็นของไหลประเภทสารประกอบอินทรีย์ชนิดที่มีจุดเดือดต่ำและมีความดันไอสูงกว่าน้ำ และมีมวลโมเลกุลสูงกว่าและให้อัตราการไหลเชิงมวลที่สูงกว่า เช่น น้ำมันซิลิกอน (Silicon oil), โพรเพน (Propane), ฮาโลอัลเคน (halo alkanes), ไอโซเพนเทน (iso-pentane),

ไอโซบิวเทน (iso-butane), พาราไซลีน (p-xylene) และ โทลูอิน (toluene) เป็นต้น ทำให้ระบบ Organic Rankine Cycle สามารถทำงานได้ด้วยความร้อนทิ้งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าได้ ทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าสำหรับแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ และทำให้ได้ประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำที่สูงกว่า โดยระบบ ORC สามารถนำมาใช้กับแหล่งความร้อนทิ้งที่มีอุณหภูมิต่ำประมาณ 150°C ได้ ในขณะที่ระบบไอน้ำจะจำกัดที่แหล่งความร้อนจะต้องมีอุณหภูมิสูงกว่า 260°C ในบางกรณีพบที่ระดับอุณหภูมิความร้อนทิ้งที่ 66°C โดยช่วงอุณหภูมิความร้อนทิ้งของระบบ ORC จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกของสารทำงาน เมื่อเปรียบเทียบกับสารทำงานที่เป็นไอน้ำ สารทำงานที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ของระบบ ORC จะมีมวลโมเลกุลสูงกว่าให้อัตราการไหลเชิงมวลที่สูงกว่า และให้ประสิทธิภาพของเทอร์ไบน์ที่สูงกว่า และทำให้การออกแบบระบบเล็กกะทัดรัดกว่า อย่างไรก็ตาม ต้องระลึกไว้ว่า เมื่อระบบวงจรทำงานที่อุณหภูมิต่ำจะให้ประสิทธิภาพรวมที่ต่ำกว่าวงจรทำงานที่อุณหภูมิสูง โดยประสิทธิภาพของระบบ ORC โดยรวม (Overall efficiency) จะมีค่าประมาณ 10-20% เท่านั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของชุดอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) และคอนเดนเซอร์ (Condenser) หากเทียบกับระบบที่ใช้อุณหภูมิสูง ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตไฟฟ้าจากไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะมีประสิทธิภาพ 30-40% ทั้งนี้ข้อจำกัดของประสิทธิภาพ อธิบายได้ด้วยสมการ Carnot Efficiency ประสิทธิภาพสูงสุดที่เป็นไปได้สำหรับเครื่องยนต์ความร้อน จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิสารทำงานที่สูงสุดและอุณหภูมิของสารทำงานที่จุดต่ำสุด

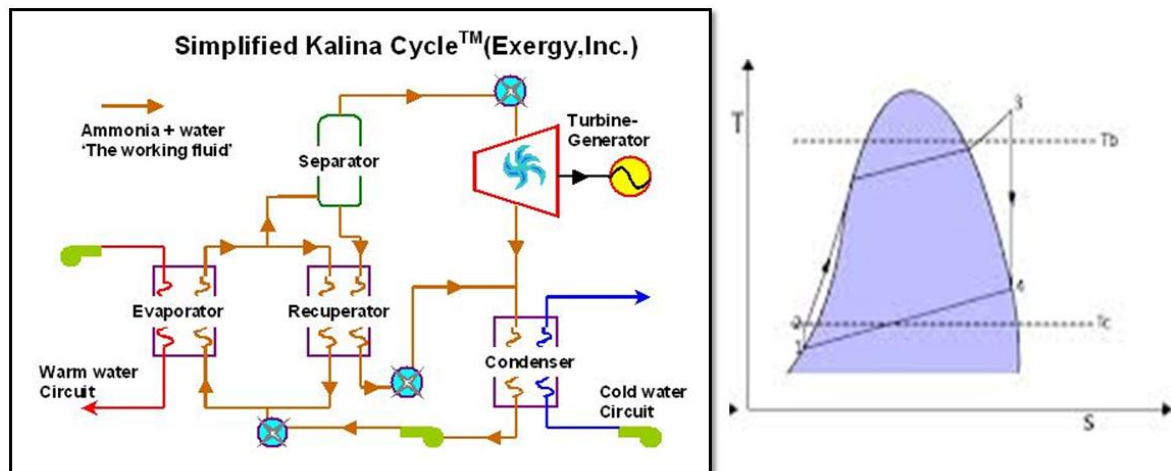


รูปที่ 4-29 แสดงลักษณะการทำงานของระบบ ORC [3]

ระบบ ORC นี้เป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้งานในเชิงพาณิชย์อย่างน้อย 30 แห่งทั่วโลก พบใช้งานทั่วไปในระบบของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ และแหล่งความร้อนทิ้ง และใช้กับอุปกรณ์นำความร้อนกลับมาใช้ประโยชน์ในชุดอัดความดัน (Compressor) ตัวอย่างของการใช้งานที่ประสบความสำเร็จ เช่น โรงงานปูนซีเมนต์ที่ Bavaria ประเทศเยอรมนี ใช้ระบบ ORC ในการนำความร้อนทิ้งจากการระบายความร้อนเม็ดปูน (Clinker cooler) ที่ก๊าซไอเสียมีอุณหภูมิ 500°C ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าป้อนได้ร้อยละ 12 ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน และสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ประมาณ 7,000 ตัน แม้ว่าการประยุกต์นำระบบ ORC ไปใช้จะต้องมีการพิจารณาวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ให้ละเอียด แต่เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

สำหรับอุตสาหกรรมที่กระบวนการผลิตในโรงงานไม่มีทางเลือกในการนำความร้อนทิ้งไปใช้ด้วยวิธีอื่นๆ หรือไม่มีโรงงานข้างเคียงที่สามารถนำความร้อนทิ้งที่มีไปใช้ได้ [3]

3) Kalina Cycle เป็นระบบการทำงานแบบ Rankine Cycle ชนิดหนึ่ง ที่ใช้สารทำงานเป็นของไหลที่เป็นสารประกอบ 2 ชนิด (Binary Fluids) เช่นสารประกอบผสมแอมโมเนียกับน้ำ เป็นการใช้ความแตกต่างของจุดเดือดและจุดควบแน่นของสารสองชนิดที่ต่างกัน และใช้หลักของการให้และการรับความร้อนของไอสารทำงาน (Evaporation phase) ที่สภาวะความเข้มข้นต่างๆ เพื่อนำมาใช้แลกเปลี่ยนเพิ่มอุณหภูมิแก่ระบบ ซึ่งจะทำให้สามารถดึงเอาพลังงานออกจากแหล่งความร้อนได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าโดยรวม ความแตกต่างที่สำคัญของการใช้สารทำงานแบบของไหลผสมสารประกอบ 2 ชนิด คือ รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงจุดเดือด (boiling) และช่วงกลั่นตัว (Condensation) โดยที่สารทำงานที่เป็น Binary Fluid อยู่ในทั้งสองช่วงดังกล่าวจะไม่คงที่จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตลอดเวลาในช่วงเดือด และลดลงในช่วงกลั่นตัว ทำให้ประสิทธิภาพตาม Carnot Efficiency มีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงได้แผนภาพอย่างง่ายและ ไดอะแกรม T-S ในรูปที่ 4-30 ในขณะที่ถ้าสารทำงานแบบชนิดเดียว อุณหภูมิของสารทำงานในทั้งสองช่วงดังกล่าวจะมีค่าคงที่ [3]



รูปที่ 4-30 แสดงลักษณะการทำงานของ การนำความร้อนทิ้งกลับด้วยระบบ Kalina Cycle

จากไดอะแกรม T-S จะเห็นว่าสำหรับวงจร Rankine ที่สารทำงานคือน้ำ เมื่อความร้อนถ่ายเทให้กับสารทำงาน อุณหภูมิของสารทำงานที่เป็นน้ำจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิจุดเดือด และจะคงที่จนกระทั่งน้ำระเหยหมด แต่สำหรับสาร Binary Fluid ที่สารผสมสองชนิดมีอุณหภูมิจุดเดือดที่ต่างกัน อุณหภูมิในช่วงจุดเดือดนี้ จะไม่คงที่ โดนมีการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงที่เกิดการระเหย และในช่วงกลั่นตัวอุณหภูมิก็จะลดลงเรื่อยๆ ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า และสามารถปรับการแลกเปลี่ยนความร้อนของแหล่งความร้อนทิ้งกับตัวกลางในการรับความร้อนได้ดีกว่า

ระบบ Kalina Cycle สามารถทำงานที่ความร้อนทิ้งที่ช่วงอุณหภูมิ 95°C ถึง 550°C และให้ประสิทธิภาพสูงกว่าระบบแบบ ORC ได้ถึง 15-25% ณ ระดับอุณหภูมิความร้อนทิ้งเดียวกัน ระบบนี้พบว่าเป็นที่นิยมใช้งานในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนใต้พิภพที่แหล่งน้ำความร้อนทิ้งมีอุณหภูมิต่ำกว่า 150°C ตัวอย่างของการใช้งานที่ประสบผลสำเร็จ เช่น โรงงานเหล็กที่ประเทศญี่ปุ่น ในปี 1999 โดยเป็นการนำความร้อนทิ้งจากเตาเผาขยะชุมชน และความร้อนจากกระบวนการระบายความร้อนไฮโดรคาร์บอน สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบ Kalina Cycle จากน้ำระบายความร้อนที่อุณหภูมิ 98°C โดยใช้อัตราการไหลของน้ำระบายความร้อน 1300 ตันต่อชั่วโมง ให้พลังงานไฟฟ้า 4500 kW ใช้เงินลงทุน 4 ล้านดอลลาร์สหรัฐหรือคิดเป็น \$1,100/kW

ตารางที่ 4-6 ตัวอย่างของการติดตั้งใช้งานระบบ Kalina [26]

สถานที่	ปีที่ติดตั้ง	ประเทศ	แหล่งความร้อน	ไฟฟ้าที่ได้	แหล่งความร้อน
Kashima	1999	ญี่ปุ่น	น้ำระบายความร้อน	3,450 kW	98 °C
Husavik	2000	ไอซ์แลนด์	น้ำร้อนใต้พิภพ	1,700 kW	121 °C
Fuji Oil	2005	ญี่ปุ่น	กระบวนการปิโตรเคมี	3,900 kW	118 °C
Unterhaching	2009	เยอรมัน	น้ำร้อนใต้พิภพ	3,400 kW	122.35 °C
Bruchsal	2009	เยอรมัน	น้ำร้อนใต้พิภพ	580 kW	118 °C
Expo2010	2010	จีน	พลังแสงอาทิตย์	50 kW	92 °C

ตารางสรุปเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งดังแสดงในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 แสดงสรุปเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้ง ที่มาการศึกษาพัฒนาขึ้น [3]

เทคโนโลยี	ช่วงอุณหภูมิ	ชนิดแหล่งของความร้อนทิ้ง	เงินลงทุนบาท/kW
ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวงจรไอน้ำแบบปกติ (Traditional steam cycle) ^a	ปานกลาง, สูง	ก๊าซไอเสียจากกังหันไอแก๊ส (Exhaust Gas Turbine) เครื่องยนต์แบบลูกสูบ (Reciprocating) เตาเผาขยะ (incinerator) และเตาหลอม (Furnace)	36,300 – 46,200 /kW ^f
ระบบผลิตไฟฟ้า แบบ Kalina Cycle ^b	ต่ำ, ปานกลาง	ก๊าซไอเสียจากกังหันไอแก๊ส (Exhaust Gas Turbine) ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ (Boiler exhaust) ความร้อนทิ้งจากเตาเผาปูนซีเมนต์ (cement kilns)	36,300 – 49,500 /kW ^f
ระบบผลิตไฟฟ้า แบบ Organic Rankine Cycle ^{c,e}	ต่ำ, ปานกลาง	ก๊าซไอเสียจากกังหันไอแก๊ส (Exhaust Gas Turbine) ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ (Boiler exhaust) น้ำร้อน ความร้อนทิ้งจากเตาเผาปูนซีเมนต์ (cement kilns)	36,300 – 115,500 /kW ^f

^a Sean Casten, 2003, Update on US Steam Turbine Technology, Presented to Canadian District Energy Association 8th Annual Conference June 20th 2003.

^b BSC, Inc., Engineering Scoping Study of Thermoelectric Generator Systems for Industrial Waste Heat Recovery

^c Daniel Duffy, “Better Cogeneration through Chemistry : the Organic Rankine Cycle

^d based on cement kiln waste heat recovery project economics. Mark Mirolli, “The Kalina Cycle for Cement Kiln Waste Heat Recovery Power Plants.” Cement Industry Technical Conference, 2005. 15-20 May 2005.

^e “Organic Rankine Cycle for Electricity Generation” <http://www.stowa-selectedtechnologies.nl>

ประสิทธิภาพของระบบ [27]

ประสิทธิภาพของระบบ ORC ควรมีค่าสูงสุดเท่าใด สามารถประเมินได้ด้วยวัฏจักรคาร์โนต์ของ Heat Engine

$$\eta_c = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

ตัวอย่างเช่น แหล่งความร้อนอุณหภูมิ 140 °C แหล่งรับความร้อนอุณหภูมิ 40°C

$$\eta_c = 1 - \left(\frac{273.15 + 40}{273.15 + 140} \right) = 24.2\%$$

แต่วัฏจักรคาร์โนต์ค่อนข้างอุดมคติ และห่างจากเครื่องจักรที่ทำได้จริง Novikov และ Chambada ได้เสนอการวิเคราะห์แบบ Endoreversible Thermodynamics ซึ่งพิจารณากระบวนการเป็นแบบ irreversible ซึ่งสอดคล้องกับระบบที่เป็นจริง ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพที่หาได้เรียกว่า Chambadal-Novikov efficiency

$$\eta = 1 - \sqrt{\frac{T_L}{T_H}}$$

ตารางต่อไปนี้จะแสดงข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่ทำนายด้วยประสิทธิภาพคาร์โนต์ และ Chambadal-Novikov efficiency และค่าจริง

ตารางที่ 4-8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่ประเมินจากคาร์โนต์ และ แบบ Endoreversible

โรงไฟฟ้า	T _C (°C)	T _H (°C)	η_{carnot}	$\eta_{\text{End oreversible}}$	$\eta_{\text{ตรวจวัด}}$
West thurppck Coal-fire Plant	25	565	0.64	0.40	0.36
Candu Nuclear Power Plant	25	300	0.48	0.28	0.30
Larderello Geothermal Plant	80	250	0.33	0.178	0.16

จากตัวอย่างข้างต้นค่าประสิทธิภาพ $\eta_{\text{End oreversible}}$ จะเท่ากับ 12.9% จะเห็นได้ว่าสมการข้างต้นทำนายประสิทธิภาพระบบ ORC ได้เบื้องต้น ถ้าทราบอุณหภูมิแหล่งความร้อนและตัวรับความร้อน ในการวิเคราะห์ทั่วไปอาจอ้างอิงข้อมูลทั่วไปดังนี้

ตารางที่ 4-9 ค่าพารามิเตอร์ทั่วไปของระบบ ORC [4]

พารามิเตอร์	วัฏจักรกังหัน ORC (อุณหภูมิต่ำ)	วัฏจักรกังหัน ORC (อุณหภูมิสูง)
อุณหภูมิความร้อนทิ้งที่มี (Tin)	90 – 150 °C	300 – 500 °C
อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (T _C)	40 °C	150 °C
ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า (eff)	โดยรวม 10% สุทธิ 10%	โดยรวม 18 – 20% สุทธิ 16 – 17
ตัวกลางของความร้อนทิ้ง	ไอเสีย ไอน้ำ น้ำร้อน น้ำมันร้อน	ไอเสีย ไอน้ำ น้ำร้อน น้ำมันร้อน
ราคาระบบ (I)	200,000 บาท/kW	250,000 บาท/kW

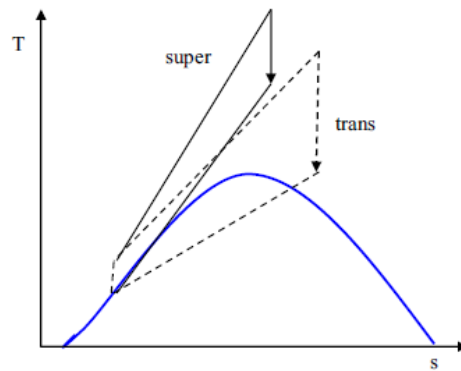
ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี (State of the Art)

ระบบ ORC เริ่มแพร่หลายมากขึ้น และในบางการประยุกต์ใช้งาน เช่น ความร้อนใต้พิภพ ค่อนข้างเป็นที่ยอมรับและอยู่ตัวแล้ว ขณะที่ระบบ Kalina ซึ่งปรับปรุงต่อยอดจากระบบ ORC ยังอยู่ในขั้นทดลอง แม้จะมีการติดตั้งเชิงพาณิชย์แล้ว ทั้งสองระบบต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไป ส่วนใหญ่จะมุ่งเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้น ทั้งในด้านการออกแบบวัฏจักร การเลือกสารทำงาน

นอกจากนี้ยังมีการวิจัยที่จะให้สารทำงานทำงานในสภาวะวิกฤต (Supercritical หรือ Trans-critical) ซึ่งจากประสิทธิภาพคาร์โนต์ จะมีค่าสูงขึ้นจากสภาวะอัมตั่วทั่วไป วัฏจักรชนิดนี้เรียกว่า Super Critical Rankine Cycle (SRC) หรือ Trans- Critical Rankine Cycle (TSRC) สารทำงานที่ใช้เป็น CO₂ และน้ำหรือสารไฮโดรคาร์บอนด์ เป็นการเปลี่ยนสถานะสารทำงานของเหลวเป็นสภาวะวิกฤต (Supercritical) ซึ่งประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น ข้อดีของระบบ SRC คือ

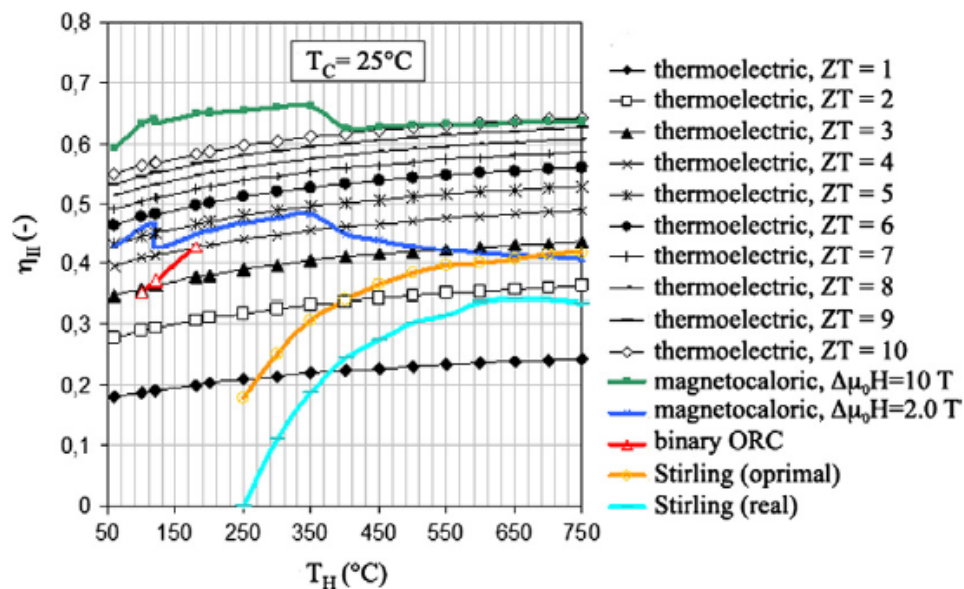
- ใช้ความดันระดับปานกลาง (73.8 บาร์)
- คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์แน่นอน
- CO₂ มีในธรรมชาติ และต้นทุนไม่สูง
- ไม่กัดกร่อน ไม่ระเบิด

บริษัท Echogen ได้ผลิตระบบ SRC โดยใช้ CO₂ เป็นสารทำงานขนาด 250 kW - 50 kW และประสิทธิภาพที่ทำได้ถึงร้อยละ 30 [26]



รูปที่ 4-31 การทำงานในสถานะ Supercritical และ Trans-critical state [28]

เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ ที่น่าสนใจนอกเหนือจากเทคโนโลยี ORC ที่ได้กล่าวถึงแล้วและอยู่ในความสนใจ ได้แก่เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก เทคโนโลยี Magnetocaloric เทคโนโลยีเทอร์โมออสติก เทคโนโลยี ORC แบบ Binary กราฟในรูปที่ 4-32 แสดงเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพที่ทำได้ของเทคโนโลยีเหล่านี้



รูปที่ 4-32 กราฟเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า [26]

ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงเทคโนโลยีข้างต้นโดยสังเขป

1. เทอร์โมอิเล็กทริก [28]

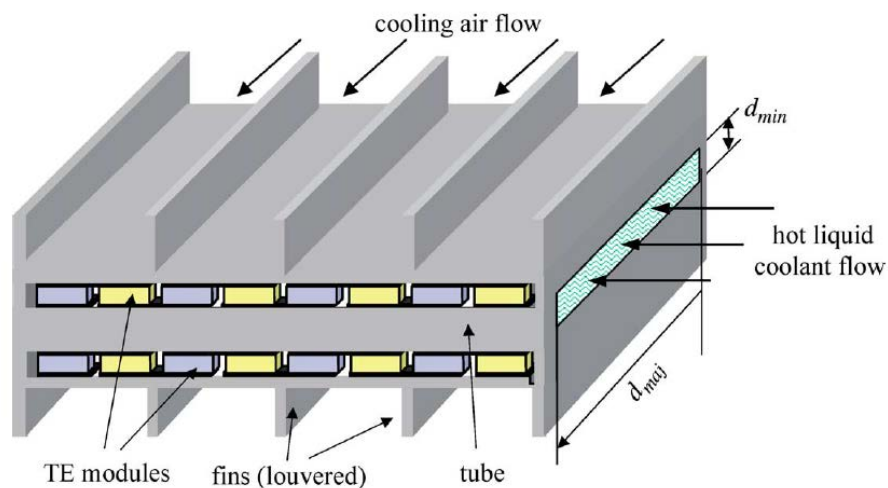
เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นที่รู้จักกันมานานมาก มีการใช้งานในเครื่องมือวัด เช่น เทอร์มิสเตอร์ เป็นต้น และใช้ระบายความร้อนในแผงวงจรรวมที่มีขนาดเล็ก ไม่สามารถใช้เทคโนโลยีอื่นได้ แต่ในด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้าในอดีตไม่ได้รับความสนใจนัก เนื่องจากประสิทธิภาพต่ำ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าร้อยละ 4

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นกับ 2 ปัจจัย คือ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนที่ป้อนเข้า (η_{TE}) และความสามารถในการถ่ายเทความร้อน (ϵ) ดังสมการ

$$\eta_{th} = \eta_{TE} \epsilon$$

ค่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า η_{TE} ขึ้นกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริก ตามค่า Figure of Merit หรือ ZT ของสาร และค่า ϵ ขึ้นกับการออกแบบการถ่ายเทความร้อน ปัจจุบันมีการผลิตสารประเภท Supper lattic ที่มีค่า ZT สูงขึ้นถึง 3 และค่า η_{TE} สูงขึ้นถึงร้อยละ 20

โครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริก และถูกขนานด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 2 ด้านคือ ด้านกระแสนร้อนและด้านกระแสนเย็น เมื่อมีอุณหภูมิแตกต่างกันเกิดระหว่างรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ ที่มีค่า Work function ต่างกันทำให้อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงหลุดออกมาเกิดความต่างศักย์ขึ้นที่รอยต่อทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล



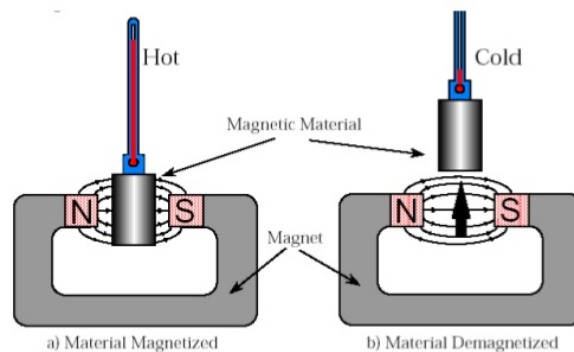
รูปที่ 4-33 โครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริก

2. การใช้อุปกรณ์แปลงผันพลังงานที่ใช้สนามแม่เหล็ก (Magnetocaloric Energy Conversion)[29]

นอกจากเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกแล้ว การผลิตไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก หรือ Magnetocaloric Energy Conversion (MEC) เทคโนโลยี MEC ซึ่งปัจจุบันมีการใช้งานเฉพาะในตู้เย็นที่ใช้สนามแม่เหล็กเริ่มได้รับความสนใจในวงวิชาการ สำนักงานพลังงานของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ (Swiss Federal Office of Energy – SFOE) ได้ตีพิมพ์รายงานที่สรุปถึงความก้าวหน้าของ MEC

MEC เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กแปรตามอุณหภูมิ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน จะเกิดแรงที่กระทำแต่ละด้านของแกนหมุนไม่เท่ากันและเกิดแรงบิด และได้มีการค้นพบสาร MEC ประเภทอัลลอยด์ที่ให้ค่า Magnetocaloric effect สูง มีอุณหภูมิทำงานที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องซึ่งมีความคาดหวังว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ MEC ได้สูงขึ้น

ประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ของ MEC เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมลดลง ที่อุณหภูมิ 30°C ประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 14



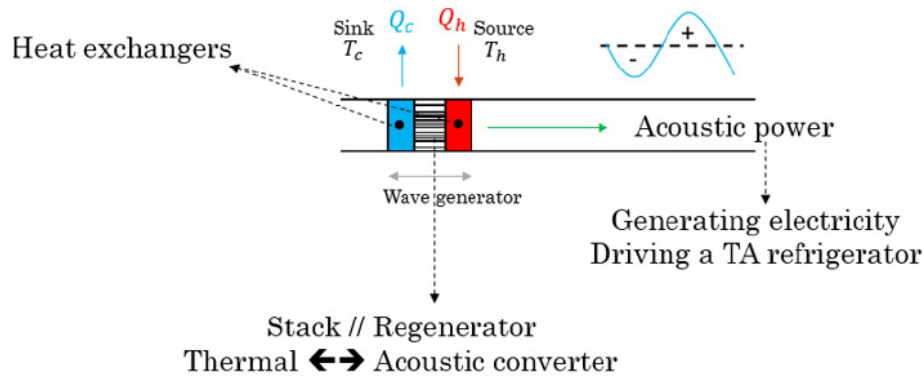
รูปที่ 4-34 ปรากฏการณ์ Magneto carloric

3. เทคโนโลยีเทอร์โมอคูสติค (Thermoacoustic Heat Engine : THE) [26]

เทคโนโลยีเทอร์โมอคูสติคเป็นการเปลี่ยนแปลงความร้อนเป็นพลังงานเสียง ซึ่งอาจนำไปใช้ในระบบทำความเย็น หรือ ไปขับลูกสูบ และผลิตกระแสไฟฟ้า ในระบบ stirling cycle ก็ได้

ปรากฏการณ์เทอร์โมอคูสติคที่เปลี่ยนแปลงความร้อนเป็นพลังงานเสียงเกิดในวัสดุที่มีรูพรุน เรียกว่า Regenerator หรือ Stack ซึ่งถูกประกอบด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองด้าน ซึ่งเชื่อมต่อกับแหล่งความร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอุณหภูมิต่ำ หรือ sink ต่อกับแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ T_C และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอุณหภูมิสูง หรือ Source ต่อกับแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง T_h ซึ่งรักษาอุณหภูมิแตกต่าง ΔT ด้วยอุณหภูมิแตกต่าง จะเหนี่ยวนำให้เกิดคลื่นเสียงในตัวกลาง เกิดการอัดและขยายตัวของของไหลที่เป็นตัวกลาง เทอร์โมอคูสติค มีโครงสร้างที่ง่าย ๆ ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่และใช้ตัวกลางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น อากาศ อาร์กอน ฮีเลียม มีขนาดเล็ก และมีความเป็นไปได้ที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะสูงถึงร้อยละ 30 บริษัท ASTER THERMOACOUSTICS ได้ผลิตเครื่องเทอร์โมอคูสติค โดยใช้ส่วนผสมของไฮโดรเจน 3 ชุด สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

ได้ถึงร้อยละ 10 และบริษัท HEYCOM ได้สร้างเครื่องต้นแบบขนาด 70 kW มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวัฏจักร Rankine

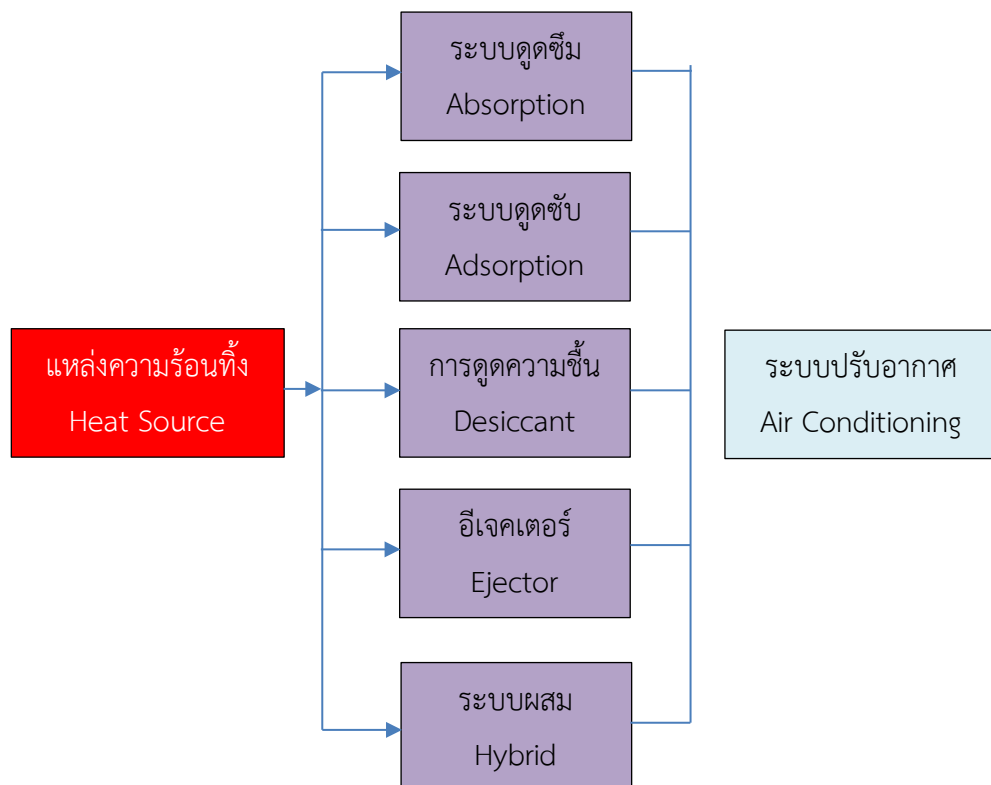


รูปที่ 4-35 โครงสร้างของเทอร์โมอะคูสติก

4.3.6 การนำความร้อนทิ้งมาใช้ในการปรับอากาศ (Waste heat Recovery for Air Conditioning)

หลักการทำงาน

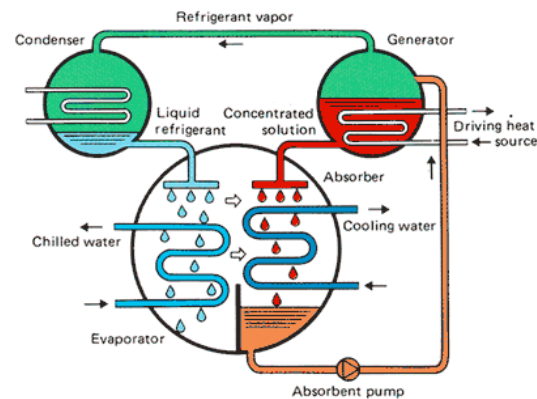
เทคโนโลยีในการนำความร้อนทิ้งมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในการปรับอากาศมีหลายเทคโนโลยี อาทิ ระบบดูดซึม ระบบดูดซับ การใช้สารดูดความชื้นและการใช้อีเจกเตอร์ เป็นต้น



รูปที่ 4-36 ผังแสดงการใช้งานความร้อนทิ้งเพื่อการปรับอากาศ

1. ระบบดูดซึม [27]

ระบบปรับอากาศแบบดูดซึมคล้ายคลึงกับฮีตปั๊มแบบดูดซึมที่ได้กล่าวถึงแล้วและมีจำหน่ายแพร่หลายแล้ว มีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงเป็นพันตัน ความร้อนทิ้งจะถูกป้อนให้กับ Generator ความร้อนที่ใช้อาจมีอุณหภูมิต่ำกว่า $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ก็ได้ขึ้นกับคู่สารทำงานที่เลือก ภาระความร้อนที่ปรับอากาศจะเข้ามาทางอีเวปอเรเตอร์ ทำให้สารทำงานกลายเป็นไอและมาจัดตัวกับสารละลายเข้มข้นใน Absorber ให้สารละลายเจือจางลงและถูกปั๊มไปรับความร้อนใหม่ที่ Generator ระบบดูดซึมจะมีสมรรถนะสูงกว่าระบบที่ใช้ความร้อนอื่นๆ ทั้ง 5 ประเภท สำหรับวัฏจักรแบบขั้นเดียว ค่า COP เท่ากับ 0.6-0.8 และแบบ Double effect 2 stage จะเพิ่มเป็น 1.2 – 1.3

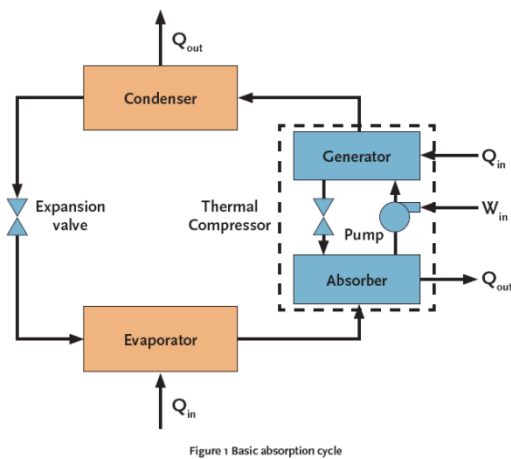


รูปที่ 4-37 เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม

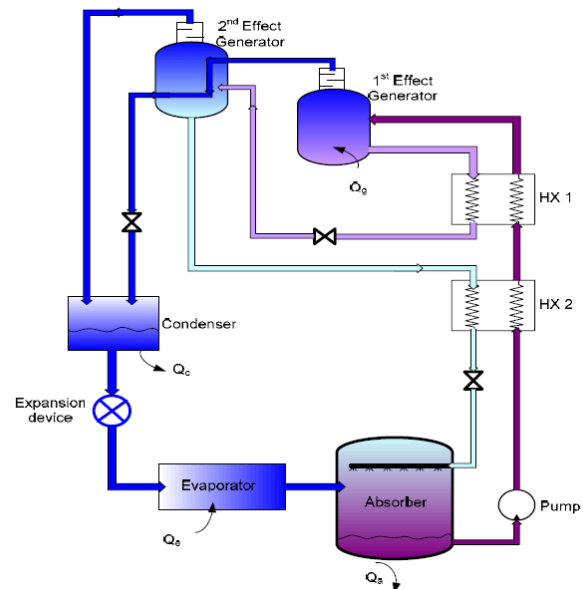
ตารางที่ 4-10 ค่าสมรรถนะของระบบดูดซึม

ประเภท	แหล่งความร้อน อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า COP ทั้งหมด
Sink effect	85	0.7
Double effect	130	1.2
Triple effect	220	1.7

ระบบที่เป็นแบบ Double หรือ Mult-effect ความร้อนจะถูกใช้หลายขั้นตอนระดับอุณหภูมิ ตามตัวอย่างในรูปที่ 4-38 ซึ่งหมายถึงต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลายชุด ความซับซ้อนมากขึ้น และราคาสูงขึ้น



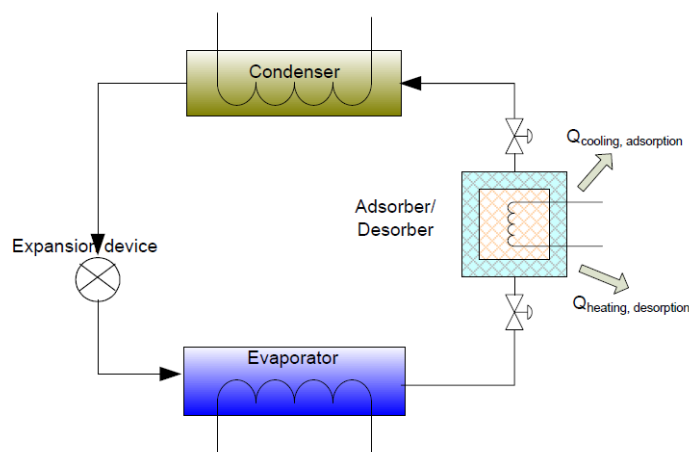
ก. Single Effect



รูปที่ 4-38 ระบบ Single และ Double Effects

2. ระบบดูดซับ (Adsorption) [27]

ระบบดูดซับมีทั้งแบบที่เป็นสารดูดซับ (Solid Adsorption) และเป็นแบบที่ใช้ปฏิกิริยาเคมี แต่การทำงานใกล้เคียงกัน ระบบจะมี 2 กระบวนการคือการดูดซับ (adsorption) และคาย (desorption หรือ Regeneration) ในการทำความเย็น สารทำงานจะระเหยกลายเป็นไอใน Evaporator และจะถูกดูดซับด้วยสารดูดซับของแข็งที่มีลักษณะมีรูพรุน ในขั้นตอนการคาย สารดูดซับจะรับความร้อนในที่นี้คือแหล่งความร้อนทิ้ง สารในงานหลุดออกมาในรูปของเหลวและกลับไประเหยใหม่ในอีเวปอเรเตอร์ สารทำงานที่ใช้มีหลายชนิด เช่น น้ำ – Zeolite หรือ Methanol – activated carbon ระบบดูดซับมี 2 ประเภท คือ ระบบดูดซับที่ใช้สารดูดซับ และระบบที่ใช้ปฏิกิริยาเคมีทั้งสองระบบ ที่ใช้ต่างกันที่แรงดูดซับ ในสารดูดซับจะใช้แรงทางกายภาพขณะที่แบบปฏิกิริยาเคมีใช้แรงดึงดูดจากพันธะทางเคมี



รูปที่ 4-39 การทำงานของระบบดูดซับ

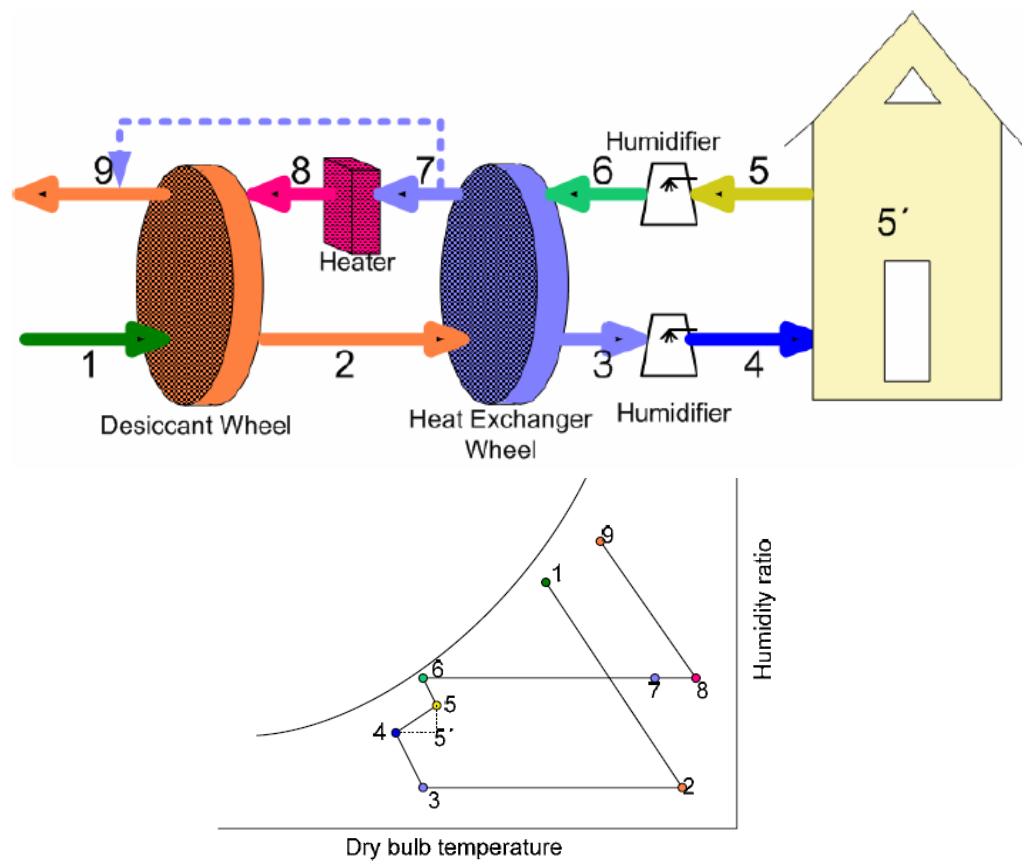
3. ระบบที่ใช้สารดูดความชื้น [27]

ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นมี 2 แบบ คือ แบบที่ใช้สารดูดความชื้นของแข็ง (Solid desiccant) และแบบที่ใช้สารดูดความชื้นของเหลว

ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นของแข็ง สารดูดความชื้นประเภทซิลิกาเจล หรือ Activated Alumina หรือ สารที่โครงสร้างโมเลกุลเป็นโครงข่ายจะติดตั้งบนวงล้อที่หมุนได้ (Desiccant Wheel) และบนจานหมุนมีรูเล็กๆ ให้ลมผ่านได้ ท่อลมที่ผ่านจานหมุนจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนลดความชื้น อากาศดีจะไหลเข้าและส่วนไล่ความชื้นลมร้อนจะไหลผ่าน เมื่ออากาศผ่านส่วนที่ลมเข้า สารดูดความชื้นจะจับไอน้ำในอากาศและทำให้อากาศแห้ง เมื่อจานหมุนหมุนเข้าไปในส่วนที่ไล่ความชื้น ลมร้อนที่ผลิตจากแหล่งความร้อนทิ้งจะไหลผ่านจานหมุนทำให้ความชื้นที่สะสมอยู่ระเหยออกมา หรือ Regeneration สารดูดความชื้นเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ในส่วนลมเข้า

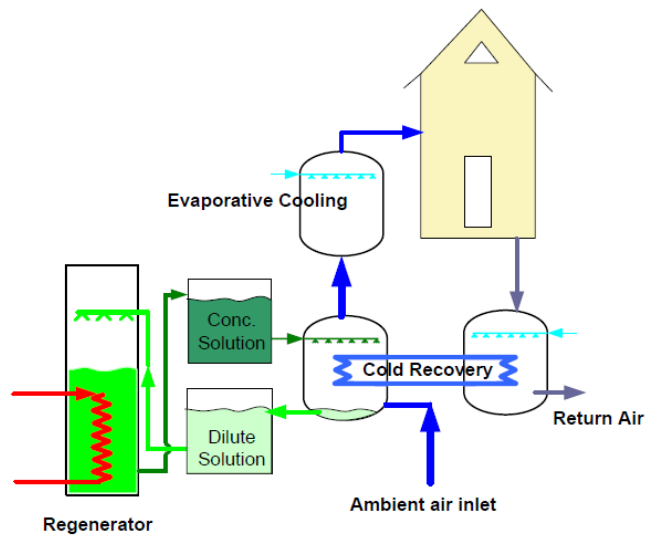
การนำสารดูดความชื้นของแข็งมาใช้งานปรับอากาศจำเป็นต้องทำงานร่วมกับระบบระเหยน้ำ (Evaporative Cooling) เนื่องจากการดูดความชื้นไม่ทำให้อุณหภูมิลดลง แต่กลับมีผลให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ระบบที่ใช้งานจะเป็นดังรูปที่ 4-40 ซึ่งมีการนำลมกลับภายในอาคารมาแลกเปลี่ยนกับอากาศภายนอก ก่อนนำมาผลิตลมร้อนอีกด้วย

ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นของแข็งนี้ค่อนข้างแพร่หลายในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารขนาดใหญ่ที่มีการออกแบบให้มีการลดความชื้นอากาศภายนอกก่อนนำเข้ามาปรับอากาศ จุดอ่อนของระบบสารดูดความชื้นก็คือมีส่วนเคลื่อนไหว และอาจมีการปนเปื้อนของอากาศทั้งสองฝั่ง



รูปที่ 4-40 ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นของแข็ง

ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นของเหลว (Liquid Desiccant) ใช้คุณสมบัติของสารละลายประเภทเกลือ เช่น Lithium bromide หรือ Lithium Chloride หรือ Calcium chloride ซึ่งสามารถจับไอน้ำหรือความชื้นในอากาศได้ โดยที่ความเข้มข้นจะลดลง และคายความร้อนออกมา ดังนั้น ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นเหลวจะมีการสเปรย์สารดูดความชื้นในอากาศที่ไหลผ่าน ทำให้อากาศแห้ง และสารดูดความชื้นที่เจือจางจะถูกดูดกลับมาให้ความร้อนด้วยความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ ให้มีความเข้มข้นและนำกลับมาสเปรย์ใหม่ อย่างไรก็ตามอากาศที่ผ่านการดูดความชื้นจะมีอุณหภูมิสูงจำเป็นต้องนำมาผ่านชุดระเหยน้ำ (Evaporative Cooling) ทำให้อากาศแห้งอุณหภูมิต่ำลงก่อนนำเข้าไปปรับอากาศ ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นเหลวมีสมรรถนะค่อนข้างสูง สามารถทำค่า COP ได้สูงกว่า 0.8 ปัจจุบันมีจำหน่ายเชิงพาณิชย์แล้ว แต่ยังมีจำกัดที่จะต้องไม่ให้ไอระเหยของสารดูดความชื้นติดไปกับอากาศและสารดูดความชื้นเหล่านี้นี้ไม่เป็นพิษ แต่มีคุณสมบัติกัดกร่อนค่อนข้างสูง

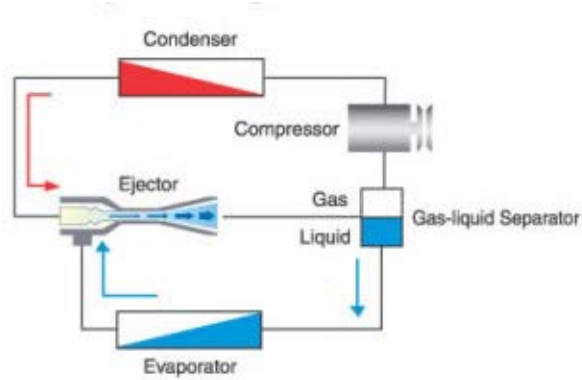


รูปที่ 4-41 ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นของเหลว

4. ระบบที่ใช้ไอเจกเตอร์ (Ejector Refrigeration) [27]

ระบบทำความเย็นด้วยไอเจกเตอร์มีข้อดีที่มีชิ้นส่วนน้อยชิ้นไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว ทนทาน สารทำงานที่ใช้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ หรือสารทำความเย็นอื่น แต่ยังไม่ได้รับความนิยมเนื่องจากสมรรถนะต่ำ ปัจจุบันมีการออกแบบไอเจกเตอร์ได้ดีขึ้น ทำให้สมรรถนะของระบบสูงขึ้น

การทำงานของระบบที่ใช้ไอเจกเตอร์ สารทำงานในหม้อต้ม ซึ่งอาจจะเป็นน้ำได้รับความร้อนจากความร้อนทิ้งทำให้กลายเป็นไอ และมีความดันสูง วิ่งผ่านไอเจกเตอร์ในรูป Nozzle ด้วยความเร็วสูงทำให้บริเวณรูที่ก๊าซจะไอเวปเปอร์เรเตอร์เข้ามาผสมในไอเจกเตอร์มีความดันต่ำลง ส่งผลให้การระเหยในไอเวปเปอร์เรเตอร์เกิดขึ้นที่ความดันต่ำลง สารทำงานที่ระเหยจากไอเวปเปอร์เรเตอร์ผสมกับก๊าซความดันสูงที่วิ่งผ่านไอเจกเตอร์เข้าควบแน่นในคอนเดนเซอร์ ด้วยความดันที่สูงขึ้น จะเห็นว่าในระบบไม่มีส่วนที่ใช้พลังงานอื่น ยกเว้นปั๊มหมุนเวียนสารทำงานไปยังหม้อต้ม การทำงานของระบบไอเจกเตอร์ แสดงดังรูปที่ 4-42



รูปที่ 4-42 ระบบที่ใช้ไอเจกเตอร์

จากข้อมูลการวิจัยพบว่า สมรรถนะของระบบที่ใช้ไอเจกเตอร์ปัจจุบันอยู่ที่ 0.2-0.3

5. ระบบผสม

เป็นการผสมระหว่างระบบข้างต้น เช่น การใช้ระบบดูดซับร่วมกับสารดูดความชื้นของแข็ง ระบบดูดซับร่วมกับไอเจกเตอร์ เป็นต้น

ประสิทธิภาพของระบบ

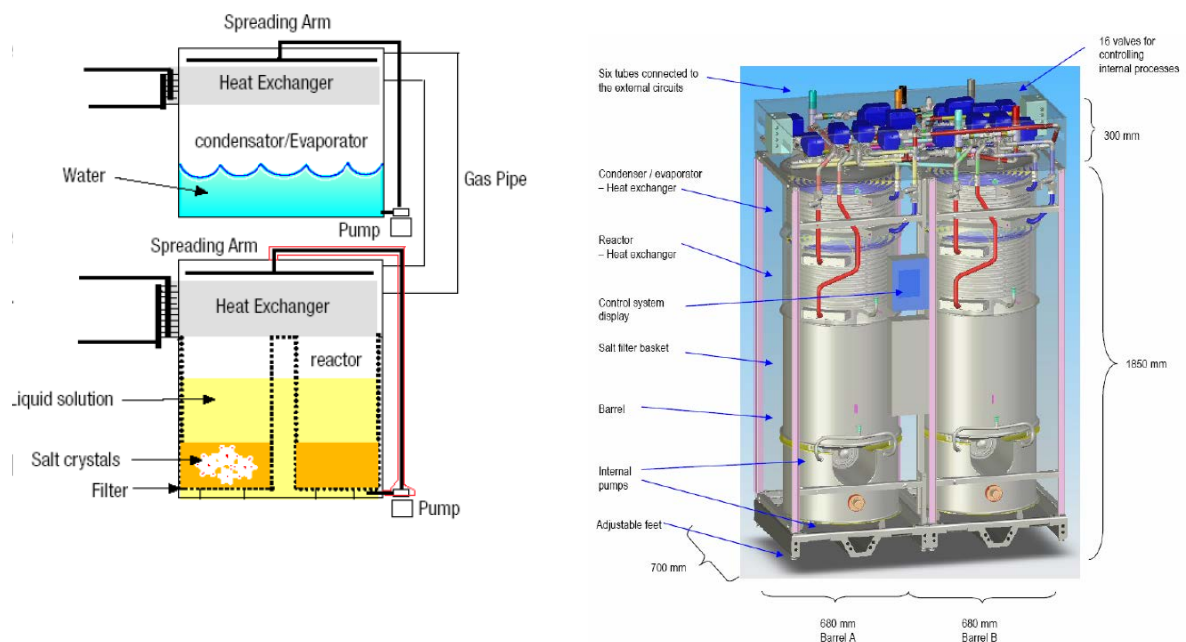
โดยสรุปเทคโนโลยีการนำความร้อนมาใช้ในการปรับอากาศมีค่าสมรรถนะและระดับอุณหภูมิที่ใช้งานได้ เปรียบเทียบได้ ดังนี้

ตารางที่ 4-11 การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทำความเย็น

ระบบ	ระดับอุณหภูมิที่ต้องการ (°C)	สมรรถนะ (COP)
1 ระบบอัดไอ	(ใช้ไฟฟ้า)	3-5
2 ระบบเทอร์โมอิเล็กตริก	(ใช้ไฟฟ้า)	0.5
3 ระบบดูดซึม	80-300	0.6-0.8
4 ระบบดูดซับ		
- ทางกายภาพ	80-300	0.3-0.8
- ทางเคมี	80-300	0.1-0.2
5 ระบบใช้สารดูดความชื้น	40-80	0.5-1.5
6 ระบบที่ใช้ Ejector	80-150	0.3-0.8

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี (State of the Art)

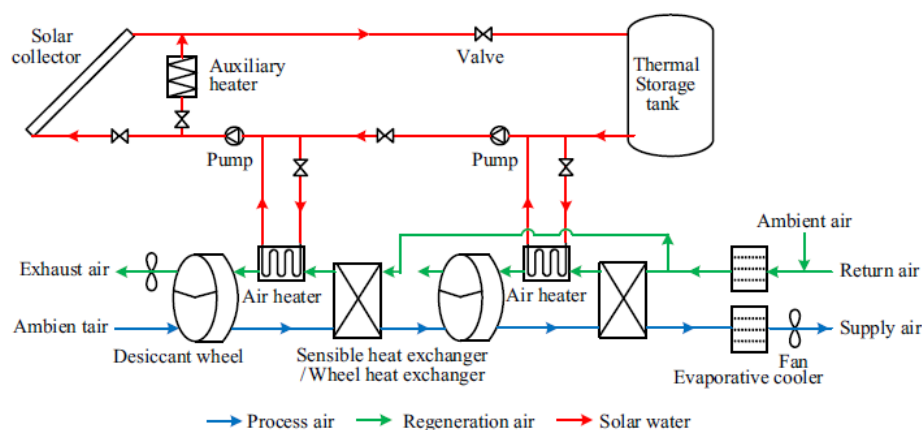
ระบบดูดซึมการศึกษาค้นคว้าส่วนใหญ่มุ่งไปที่การเพิ่มสมรรถนะ การเลือกคู่สารพลังงานเทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบดูดซึมที่น่าสนใจระบบหนึ่งได้แก่ระบบ Thermochemical generator หรือ TCA ซึ่งมีการใช้ LiCl และน้ำเป็นสารทำงาน ข้อแตกต่างจากระบบดูดซึมทั่วไป คือ มีสะสมพลังงานในรูปผลึกเกลือของ LiCl ซึ่งเป็นการเปลี่ยนเฟส และเมื่อผลึกเปลี่ยนเฟสกลับมาเป็นสารละลายก็จะดูดความร้อน จึงสามารถสะสมพลังงานได้ และด้านบนของชุดแลกเปลี่ยนความร้อนมีส่วนที่กระจายสารละลายให้ทั่วเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีผลให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น ซึ่งสามารถทำค่า COP ได้ถึง 0.7 [20]



รูปที่ 4-43 ระบบ TCA

ในระบบดูดซับงานศึกษาค้นคว้าส่วนใหญ่มุ่งไปที่การออกแบบระบบ การออกแบบวัฏจักรใหม่ และการเพิ่มขึ้น การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของสารทำงาน และการเก็บพลังงานความร้อน เช่น จากแสงอาทิตย์ ด้วยสมรรถนะที่ต่ำและขนาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใหญ่ทำให้อุปกรณ์มีขนาดใหญ่ ระบบดูดซับจึงต้องมุ่งไปในด้านการพัฒนาระบบให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น และราคาไม่สูง

ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นของแข็ง มีการศึกษาพบว่าสมรรถนะที่ต่ำลงของระบบ Rotary Desiccant Wheel เนื่องมาจากความร้อนในการดูดซึมที่เกิดระหว่างการหมุนของล้อ (Ge และคณะ) จึงมีการพัฒนาระบบ Inter-Cooling Two stage Desiccant Wheel Cooling System หรือ TSDCS ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิที่ไล่ความชื้นต่ำลง และค่า COP สูงขึ้น จากการศึกษาเปรียบเทียบกับระบบดังกล่าวที่ใช้ในภูมิอากาศของเมืองเบอร์ลิน เยอรมนี ต้องการอุณหภูมิไล่ความชื้นเพียง 55°C และ 85°C สำหรับเซียงไฮ้เท่านั้น ซึ่งทำให้มีความคุ้มค่าสูงขึ้น [30]



รูปที่ 4-44 ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นของแข็งแบบสองชั้น [30]

ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นของเหลว การศึกษาส่วนใหญ่มุ่งไปที่การเพิ่มสมรรถนะระบบด้วยการออกแบบส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน การสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนและมวล การทำงานร่วมกับระบบระเหยน้ำ แบบ Direct และ Indirect ซึ่งสามารถทำค่า COP ได้ถึง 1.3 การเลือกสารทำงานที่เหมาะสม

การศึกษาเทคโนโลยีด้านอีเจ็คเตอร์ประกอบด้วยการพัฒนาแบบจำลองของอีเจ็คเตอร์ ทั้งเฟสเดียว สองเฟส และในสถานะไม่อยู่ตัว การออกแบบมิติและขนาดที่เหมาะสม ซึ่งจากการทดสอบสามารถทำค่า COP ได้ถึง 0.4 การเพิ่มประสิทธิภาพโดยไม่ใช้ปั๊มหมุนเวียน การใช้แรงโน้มถ่วงแทนปั๊มหมุนเวียน การใช้อีเจ็คเตอร์คู่ (Bi-ejector system) การใช้ฮีทปั๊มร่วมกับอีเจ็คเตอร์ซึ่งมีรายงานว่าสามารถทำ COP ได้ถึง 0.3 ที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 100°C และที่น่าสนใจที่สุดน่าจะเป็นการทำงานในภาวะวิกฤต หรือ Transcritical ejector refrigeration system : TERS ซึ่งการถ่ายเทความร้อนเกิดในสถานะ Supercritical ซึ่งต่างจากการควบแน่นที่ความดันคงที่ Yu และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์ระบบ TERS ที่ใช้ R 134a อุณหภูมิคอนเดนเซอร์ $60-100^{\circ}\text{C}$ ความดัน 6-10 MPa ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าสมรรถนะอยู่ในช่วง 0.35 ถึง 0.75 ซึ่งสูงกว่าระบบอีเจ็คเตอร์ทั่วไปเกือบเท่าตัว และมีการศึกษาที่ใช้ CO_2 เป็นสารทำงาน Yari และ Sirousazar ได้ออกแบบระบบที่ใช้ CO_2 เป็นสารทำงาน Internal Heat Exchanger และ Inter cooler ซึ่งพบว่าค่า COP สูงกว่าระบบอีเจ็คเตอร์ทั่วไปถึงร้อยละ 26 [33]

บทที่ 5

การศึกษาศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ของประเทศไทย

บทนี้เป็นการศึกษาและประเมินศักยภาพของความร้อนทิ้ง ที่มีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ โดยทำการศึกษาแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรม และกลุ่มอาคารธุรกิจ

5.1 ศักยภาพในภาคอุตสาหกรรม

จากกลุ่มอุตสาหกรรมที่ทางคณะทำงานได้ทำการพิจารณาว่ามีการใช้พลังงานความร้อนและสามารถจะนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ได้มีด้วยกันทั้งหมดดังนี้

1. อุตสาหกรรมเหล็ก
2. อุตสาหกรรมแก้วและกระจก
3. อุตสาหกรรมเซรามิก
4. อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า
5. อุตสาหกรรมกระดาษ
6. อุตสาหกรรมอาหาร
7. อุตสาหกรรมพอกย้อม
8. อุตสาหกรรมซีเมนต์
9. อุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะ
10. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี

โดยมีวิธีการวิเคราะห์และผลการศึกษาดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1.1 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการเข้าสำรวจโรงงานกลุ่มตัวอย่าง และข้อมูลตอบกลับจากแบบสอบถาม พลังงานความร้อนที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ สามารถสรุปอยู่ใน 3 รูปแบบ คือ

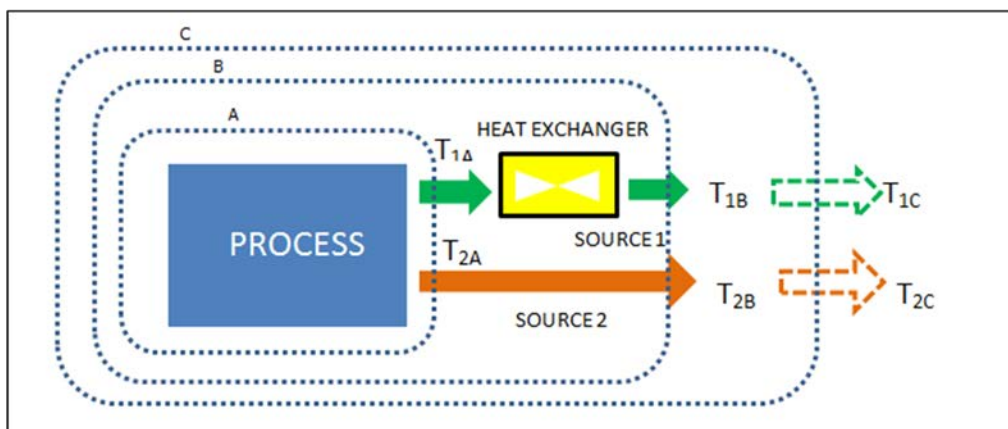
1. ก๊าซไอเสีย จากการเผาไหม้
2. อากาศร้อน จากกระบวนการ และ
3. น้ำร้อน

จุดที่ทำการวิเคราะห์การปล่อยความร้อนในแต่ละอุตสาหกรรมมีทั้งหมด 3 ตำแหน่งหลัก ดังรูปที่ 5.1 ได้แก่

ตำแหน่ง A: คือความร้อนทิ้งจากกระบวนการ โดยที่ยังไม่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหรือมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์แต่อย่างใด (**Total Heat Reject**)

ตำแหน่ง B: คือความร้อนทิ้งจากกระบวนการ ที่มีการนำกลับมาใช้โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หรือที่ยังไม่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและไม่มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ (**Heat Exit**)

ตำแหน่ง C: คือความร้อนทิ้งเป้าหมายตามเกณฑ์ ที่มีการปรับปรุงและนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์สูงสุดแล้วก่อนจะทำการปล่อยทิ้งสุดท้ายที่ปลายทาง (**ค่าเป้าหมาย**)



รูปที่ 5-1 แสดงตำแหน่งจุดที่ทำวิเคราะห์พลังงานความร้อน

การวิเคราะห์หาปริมาณสัดส่วนความร้อนในแต่ละตำแหน่ง A, B และ C ทำได้โดยใช้สมการ ดังนี้

$$Q_A = \frac{\sum_{n=1}^N m_n \times C_{p_n} \times (T_{nA} - T_0)}{\sum_{n=1}^N F_n \times LHV_n} \quad \text{ในกรณีอากาศร้อนหรือน้ำร้อน} \quad \text{----- 5.1}$$

$$Q_A = \frac{\sum_{n=1}^N A_n \times C_{p_n} \times (T_{nA} - T_0)}{\sum_{n=1}^N F_n \times LHV_n} \quad \text{ในกรณีก๊าซไอเสีย} \quad \text{----- 5.2}$$

โดยที่

- m = เป็นปริมาณของไหลที่พาความร้อนทิ้งต่อปี (kg/ปี)
- A = เป็นปริมาณก๊าซไอเสียที่ปล่อยจากกระบวนการทั้งหมด (m³/ปี)
- Cp = ค่าความจุความร้อนของตัวกลาง (MJ/kg °C หรือ MJ/m³ °C)
- T_{nA} = เป็นอุณหภูมิที่ปล่อยทิ้งจากกระบวนการ (°C) ก่อนนำกลับมาใช้ (Exit Temp)
- T_{nB} = เป็นอุณหภูมิที่ปล่อยทิ้งหลังนำกลับมาใช้ (Final Exit Temp)
- T_{nC} = เป็นอุณหภูมิเป้าหมาย โดย ก๊าซไอเสีย จากเชื้อเพลิงเซลล์เฟอร์ต่ำ กำหนดที่ 100 °C และจากเชื้อเพลิงเซลล์เฟอร์สูง ที่ 160 °C น้ำร้อนและอากาศร้อน กำหนดที่ 40 °C

- T₀ = อุณหภูมิฐาน อ้างอิงที่ 30 °C
- F = ปริมาณเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ใช้ต่อปี (kg/ปี)
- LHV = เป็นค่าความร้อนเชื้อเพลิงนั้นๆ (MJ/kg)

สำหรับการประเมินหาปริมาณสัดส่วนความร้อนที่ตำแหน่ง B และ C ใช้สูตรเดียวกันเพียงแต่ทำการเปลี่ยน T_{nA} เป็น T_{nB} และ T_{nC} เป็นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ

5.1.1.1 การประเมินร้อยละในการนำกลับมาใช้ในรายอุตสาหกรรม การประเมินร้อยละในการปลดปล่อยความร้อนและศักยภาพในการนำกลับมาใช้ทางทฤษฎี ในแต่ละรายอุตสาหกรรมสามารถวิเคราะห์ได้ตามสมการข้างต้น โดยใช้ข้อมูลการสำรวจและแบบสอบถาม การใช้พลังงานความร้อนในปี พ.ศ. 2556 ดังนี้

1. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตทั้งปี
2. เครื่องจักร/อุปกรณ์ ที่มีการใช้เชื้อเพลิงหรือความร้อน
3. ประเภทเชื้อเพลิงที่ใช้
4. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ หรือปริมาณอัตราการไหลของอากาศและน้ำ
5. อุณหภูมิที่ปลดปล่อย ณ ตำแหน่ง A (Exit Temp) และ ตำแหน่ง B (Final Exit Temp)
6. ชั่วโมงการทำงานต่อปี

7. การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์แล้วหรือไม่ ในรูปแบบใดและปริมาณที่นำกลับมาใช้เป็นเท่าใด และอุณหภูมิหลังจากนำกลับมาใช้แล้วปล่อยทิ้งเท่าใด เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยในแต่ละตำแหน่งภายในโรงงาน

การประเมินสัดส่วนปริมาณความร้อนทิ้งรวมของโรงงาน เนื่องจากโรงงานให้ข้อมูลเป็นรายชั่วโมง ดังนั้นจะประเมินสัดส่วนความร้อนทิ้งเฉลี่ยรายชั่วโมง แล้วนำค่าสัดส่วนที่ได้ไปประเมินปริมาณความร้อนทิ้งต่อปีจาก ข้อมูลการใช้พลังงานความร้อนในรอบปี พ.ศ.2556 การประเมินสัดส่วนปริมาณความร้อนทิ้งรวมของโรงงานเฉลี่ยรายชั่วโมง ประเมินจาก

$$\text{สัดส่วนปริมาณความร้อนทิ้ง} = \frac{\sum_{n=1}^N Q_n}{\sum_{n=1}^N (F_h \times h \times LHV_n)} \quad \text{----- 5.3}$$

โดยที่

- | | | |
|---------|---|---|
| Q_n | = | ปริมาณความร้อนทิ้งแต่ละรายการเครื่องจักรต่อชั่วโมง (MJ/hr) |
| F_h | = | ปริมาณเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ใช้ในแต่ละเครื่องจักรต่อชั่วโมง (kg/hr) |
| h | = | ชั่วโมงการเดินเครื่องจักรต่อปี (hr/ปี) |
| LHV_n | = | เป็นค่าความร้อนเชื้อเพลิงนั้นๆ (MJ/หน่วย) |

และนำค่าสัดส่วนที่คำนวณได้ทำการเทียบกับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงรวมในรอบปีที่ทางโรงงานระบุมาให้ จึงทราบค่าปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยในแต่ละตำแหน่งจากการใช้เชื้อเพลิงคิดเป็นปริมาณเท่าใด

ตัวอย่างข้อมูลโรงงาน

- ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง น้ำมันเตา 4,195,356 ลิตร/ปี
- ชั่วโมงการทำงาน 19 ชม/วัน 312 วัน/ปี

ตารางที่ 5-1 ตัวอย่างการคำนวณ

ชนิดของแหล่งพลังงาน	เครื่องจักร/อุปกรณ์	ชนิดเชื้อเพลิง	ปริมาณที่ใช้/ชั่วโมง	หน่วย	Exit Temp (°C)	Final Exit Temp (°C)	ชั่วโมงทำงาน/ปี	Heat Reject (MJ/ชั่วโมง)	Heat Reject (MJ/ปี)	Heat Exit (MJ/ชั่วโมง)	Heat Exit (MJ/ปี)
Furnace	เตาอุ่นชิ้นงาน	น้ำมันเตา	707.78	ลิตร	700	403	5,928	9,247.15	54,817,079.71	5,148.04	30,517,568.26
Hot water	เตาอุ่นชิ้นงาน	Water flowrate	200	m ³	40	40	5,928	8,367.66	49,603,475.20	8,367.66	49,603,475.20

จากข้อมูลการใช้พลังงานเบื้องต้นสามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อย ตำแหน่ง A (Total Heat Reject) และ B (Total Heat Exit) โดยที่ตำแหน่ง B คือ อุณหภูมิหลังจากมีการนำกลับมาใช้แล้วหรือปล่อยทิ้งสุดท้ายปลายทางโดยไม่ได้มีการนำไปใช้งานต่อ ได้เท่ากับ

$$\text{Total Heat Reject} = 54,817,079.71 + 49,603,475.20 = 104,420,554.91 \text{ MJ/ปี}$$

$$\text{Total Heat Exit} = 30,517,568.26 + 49,603,475.20 = 80,121,043.46 \text{ MJ/ปี}$$

$$\text{หาสัดส่วนปริมาณความร้อนทั้งหมดตำแหน่ง A} = \frac{104,420,554.91}{707.78 \times 5,928 \times 39.77} = 0.6258$$

$$\text{นำค่าสัดส่วนที่ได้เทียบกับปริมาณการใช้งานเชื้อเพลิงรวมในรอบปีที่ทางโรงงานระบุมาให้ตำแหน่ง A} = (4,195,356 \times 39.77) \times 0.6258$$

$$\text{ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ตำแหน่ง A} = 104,414,297.02 \text{ MJ/ปี}$$

$$\text{หาสัดส่วนปริมาณความร้อนทั้งหมดตำแหน่ง B} = \frac{80,121,043.46}{708.78 \times 5,928 \times 39.77} = 0.4802$$

นำค่าสัดส่วนที่ได้เทียบกับปริมาณการใช้งานเชื้อเพลิงรวมในรอบปีที่ทางโรงงานระบุมาให้ตำแหน่ง B $= (4,195,356 \times 39.77) \times 0.4802$

ปริมาณความร้อนทิ้งรวมที่ตำแหน่ง B $= 80,121,037.76 \text{ MJ/ปี}$

ในลักษณะเดียวกันที่ตำแหน่ง C หรือค่าเป้าหมายได้ทำการกำหนดอุณหภูมิสุดท้ายในการปล่อยความร้อนทิ้งในรูปแบบต่างๆ ตามแต่ละชนิดของเชื้อเพลิง

ตารางที่ 5-2 ตัวอย่างการคำนวณ

ชนิดของแหล่งพลังงาน	เครื่องจักร/อุปกรณ์	ชนิดเชื้อเพลิง	อุณหภูมิเป้าหมาย (°C)	Heat Exit (MJ/ชั่วโมง)	Heat Exit (MJ/ปี)
Furnace	เตาอุ่นชิ้นงาน	น้ำมันเตา	150	1,656.21	9,817,984.43
Hot water	เตาอุ่นชิ้นงาน	Water flowrate	40	8,367.66	49,603,475.20

Total Heat Exit $= 9,817,984.43 + 49,603,475.20 = 59,421,459.63 \text{ MJ/ปี}$

หาสัดส่วนปริมาณความร้อนทิ้งรวมตำแหน่ง C $= \frac{59,421,459.63}{707.78 \times 5,928 \times 39.77} = 0.3561$

นำค่าสัดส่วนที่ได้เทียบกับปริมาณการใช้งานเชื้อเพลิงรวมในรอบปีที่ทางโรงงานระบุมาให้ตำแหน่ง C $= (4,195,356 \times 39.77) \times 0.3561$

ปริมาณความร้อนทิ้งรวมที่ตำแหน่ง C $= 59,415,038.62 \text{ MJ/ปี}$

∴ สัดส่วนปริมาณความร้อนทิ้งเทียบกับเชื้อเพลิงเข้าที่มีศักยภาพตามทฤษฎีคือ สัดส่วนปริมาณความร้อนทิ้งรวมตำแหน่ง B ลบกับตำแหน่ง C หรือ ปริมาณความร้อนรวมตำแหน่ง B ลบกับตำแหน่ง C

จากโรงงานตัวอย่าง จะได้สัดส่วนปริมาณความร้อนทิ้งเทียบกับเชื้อเพลิงเข้าที่มีศักยภาพตามทฤษฎี

$$= 0.4802 - 0.3561$$

$$= 0.1241$$

คิดเป็นปริมาณความร้อนที่มีศักยภาพตามทฤษฎี $= (4,195,356 \times 39.77) \times 0.1241$

$$= 20,705,999.14 \text{ MJ/ปี}$$

ดังนั้น โรงงานตัวอย่างมีปริมาณความร้อนที่มีศักยภาพตามทฤษฎีจริงที่จะนำกลับมาใช้งานได้ 20,705,999.14 MJ/ปี

5.1.1.2 การประเมินการใช้พลังงานความร้อนรายอุตสาหกรรมของประเทศ ในการประเมินศักยภาพระดับประเทศ เมื่อทราบสัดส่วนการปล่อยความร้อนทิ้งในระดับกลุ่มอุตสาหกรรมแล้ว จำเป็นต้องทราบการใช้พลังงานรวมรวมในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่

1. ข้อมูลภาพรวมการใช้พลังงานความร้อนในกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ จากรายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย 2013 ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ทำให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานความร้อนเป็นหน่วย พันตันน้ำมันดิบ (ktoe) ในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ได้ค่าดังนี้ [13]

อุตสาหกรรมกระดาษ	= 1,528	ktoe
อุตสาหกรรมเคมี	= 1,889	ktoe
อุตสาหกรรมโลหะมูลฐาน	= 820	ktoe
อุตสาหกรรมสิ่งทอ	= 280	ktoe
อุตสาหกรรมอโลหะ	= 5,812	ktoe
อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม	= 8,464	ktoe
อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า	= 30,639.99	ktoe

2. ข้อมูลภาพรวมการใช้พลังงานความร้อนในกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ ทำการแยกเป็นการใช้พลังงานความร้อน 2 กลุ่มคือ กลุ่มโรงงานขนาดเล็ก-ขนาดใหญ่

ข้อมูลการใช้พลังงานความร้อนของโรงงานขนาดใหญ่ในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม จากรายงานการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุม ปี 2556 ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้ค่าดังนี้ [12]

อุตสาหกรรมกระดาษ	= 1,130.96	ktoe
อุตสาหกรรมเคมี	= 1,553.80	ktoe
อุตสาหกรรมโลหะมูลฐาน	= 439.85	ktoe
อุตสาหกรรมสิ่งทอ	= 210.66	ktoe
อุตสาหกรรมอโลหะ	= 4,194.44	ktoe
อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม	= 4,376.89	ktoe
อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า	= 30,639.99	ktoe

ข้อมูลการใช้พลังงานความร้อนของโรงงานขนาดเล็กในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม จากข้อมูลโรงงานขนาดใหญ่ หักจากข้อมูลภาพรวมการใช้พลังงานจากรายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย 2013 ได้ค่าดังนี้

อุตสาหกรรมกระดาษ	= 1,528 - 1,130.96	= 397.04	ktoe
อุตสาหกรรมเคมี	= 1,889 - 1,553.80	= 335.20	ktoe

อุตสาหกรรมโลหะมูลฐาน	= 820-439.85	= 380.15	ktoe
อุตสาหกรรมสิ่งทอ	= 280-210.66	= 69.34	ktoe
อุตสาหกรรมอโลหะ	= 5,812-4,194.44	= 1,617.56	ktoe
อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม	= 8,464-4,376.89	= 4,087.11	ktoe

5.1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลโรงงานที่ทางคณะผู้วิจัยเข้าสำรวจ ร่วมกับแบบสอบถามการใช้พลังงานและการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศไทย คณะผู้วิจัยได้ศึกษาและประเมินเปรียบเทียบปริมาณพลังงานความร้อนทิ้ง ออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่

1. การศึกษาปริมาณความร้อนทิ้งแยกตามเทคโนโลยีที่ใช้ในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม
2. การศึกษาปริมาณความร้อนทิ้งตามขนาดโรงงาน ขนาดเล็ก-ขนาดใหญ่ ในแต่ละกลุ่ม

อุตสาหกรรม

3. การประเมินความร้อนทิ้งความร้อนรวม และศักยภาพ ทุกกลุ่มอุตสาหกรรมในประเทศไทย

5.1.2.1 การศึกษาปริมาณความร้อนทิ้งแยกตามเทคโนโลยีที่ใช้ในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

การประเมินสามารถแยกเป็นประเภทผลผลิตและเทคโนโลยีในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม จากผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณความร้อนทิ้งในแต่ละอุตสาหกรรม คือ เทคโนโลยีการผลิตที่ใช้ ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงจำแนก กลุ่มอุตสาหกรรมออกตามเทคโนโลยีด้วย เช่น อุตสาหกรรมเซรามิก แบ่งตามประเภทเตาเผาแบบ Shuttle Kiln, Tunnel Kiln หรือ Roller Kiln เป็นต้น

จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมรายอุตสาหกรรม (แสดงในภาคผนวก ก) สามารถวิเคราะห์ การใช้พลังงาน ความร้อน และความร้อนทิ้งแยกตามเทคโนโลยีได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5-3 ผลการวิเคราะห์ความร้อนทิ้งรายเทคโนโลยี

ประเภทอุตสาหกรรม/ เทคโนโลยี	การใช้พลังงาน (ktoe)	ก๊าซไอเสีย		อากาศร้อน		น้ำร้อน		A: Total Heat reject		B: Total Heat exit		C: ค่าเป้าหมาย		สัดส่วนปริมาณความร้อน เทียบกับเชื้อเพลิงเข้า ที่มีศักยภาพตามทฤษฎี	
		(ktoe)	Heat Exit (%)	(ktoe)	Heat Exit (%)	(ktoe)	Heat Exit (%)	A (ktoe)	Total Heat Reject (%)	B (ktoe)	Total Heat Exit (%)	C (ktoe)	ค่าเป้าหมาย (%)	(%)	(ktoe)
1. อุตสาหกรรมเหล็ก															
1.1 เหล็กรีดร้อน															
1.1.1 Electric Arc Furnace	144.78	14.44	10.0%	11.63	8.0%	24.98	17.3%	64.04	44.2%	51.05	35.3%	34.72	24.0%	11.3%	16.33
1.1.2 Reheating Furnace	363.12	59.00	16.2%	-	0.0%	86.44	23.8%	212.63	58.6%	145.44	40.1%	85.36	23.5%	16.5%	60.07
1.2 เหล็กรีดเย็น															
1.2.1 รีดเย็น	28.08	0.88	3.1%	-	0.0%	-	0.0%	0.88	3.1%	0.88	3.1%	0.88	3.1%	0.0%	-
1.2.2 ล้างผิวรีดเย็น	18.72	1.23	6.6%	0.86	4.6%	1.58	8.4%	5.69	30.4%	3.67	19.6%	2.25	12.0%	7.5%	1.41
1.2.3 ขม	22.00	2.10	9.5%	-	0.0%	9.96	45.3%	13.47	61.2%	12.06	54.8%	10.68	48.6%	6.3%	1.38
2. อุตสาหกรรมแก้วและกระจก															
2.1 กระจก	479.70	90.92	19.0%	9.16	1.9%	67.02	14.0%	363.67	75.8%	167.10	34.8%	86.58	18.0%	16.8%	80.52
2.2 ขวดแก้ว	221.40	45.31	20.5%	1.25	0.6%	12.51	5.7%	152.50	68.9%	59.07	26.7%	21.12	9.5%	17.1%	37.96
2.3 ฉนวนใยแก้ว	36.90	4.01	10.9%	0.10	0.3%	0.96	2.6%	16.17	43.8%	5.08	13.8%	1.60	4.3%	9.4%	3.48
3. อุตสาหกรรมเซรามิก															
3.1 Shuttle kiln	73.70	17.60	23.9%	-	0.0%	-	0.0%	21.19	28.8%	17.60	23.9%	2.62	3.6%	20.3%	14.98
3.2 Tunnel kiln	184.75	31.43	17.0%	0.02	0.0%	-	0.0%	31.48	17.0%	31.45	17.0%	6.38	3.5%	13.6%	25.08
3.3 Roller kiln	295.60	9.24	3.1%	1.07	0.4%	-	0.0%	19.44	6.6%	10.31	3.5%	8.80	3.0%	0.5%	1.50
3.4 แบบผสม	184.75	33.30	18.0%	0.24	0.1%	-	0.0%	48.44	26.2%	33.54	18.2%	24.25	13.1%	5.0%	9.29
4. การผลิตไฟฟ้า															
4.1 Combined Cycle	18,235.01	787.75	4.3%	-	0.0%	5,922.73	32.5%	10,144.13	55.6%	6,710.48	36.8%	6,528.13	35.8%	1.0%	182.35
4.2 Stream Turbine	12,243.04	820.28	6.7%	-	0.0%	6,158.25	50.3%	8,570.13	70.0%	6,978.53	57.0%	6,856.10	56.0%	1.0%	122.43
4.3 Gas Engine	97.17	19.63	20.2%	-	0.0%	6.72	6.9%	26.43	27.2%	26.14	26.9%	12.44	12.8%	14.1%	13.70
4.4 Gas Turbine	64.78	13.60	21.0%	-	0.0%	-	0.0%	13.60	21.0%	13.60	21.0%	1.94	3.0%	18.0%	11.66
5. อุตสาหกรรมกระดาษ															
5.1 เยื่อกระดาษ	962.60	58.61	6.1%	33.12	3.4%	147.35	15.3%	329.23	34.2%	239.08	24.8%	129.74	13.5%	11.4%	109.34
5.2 การผลิตกระดาษ	563.00	39.03	6.9%	-	0.0%	-	0.0%	46.32	8.2%	39.03	6.9%	32.25	5.7%	1.2%	6.77
6. อุตสาหกรรมอาหาร															
6.1 น้ำตาล	2,512.00	229.57	9.1%	2.11	0.1%	37.22	1.5%	467.22	18.6%	272.51	10.8%	263.04	10.5%	0.4%	9.47
6.2 อาหารกระป๋อง	202.00	19.20	9.5%	0.25	0.1%	21.72	10.8%	41.86	20.7%	41.18	20.4%	27.23	13.5%	6.9%	13.95
7. อุตสาหกรรมฟอกย้อม															
7.1 กระบวนการต่อเนื่อง	25.20	0.40	1.6%	2.66	10.5%	0.69	2.7%	3.85	15.3%	3.67	14.6%	0.53	2.1%	12.4%	3.13
7.2 กระบวนการไม่ต่อเนื่อง	58.80	4.80	8.2%	3.25	5.5%	12.82	21.8%	22.04	37.5%	20.89	35.5%	8.14	13.8%	21.7%	12.75
8. อุตสาหกรรมซีเมนต์															
8.1 ปูนซีเมนต์	3,128.31	322.15	10.3%	330.74	10.6%	-	0.0%	1,330.47	42.5%	652.88	20.9%	425.14	13.6%	7.3%	227.74
9. อุตสาหกรรมหลอมโลหะ															
9.1 Induction Furnace	157.96	1.58	1.0%	-	0.0%	-	0.0%	1.58	1.0%	1.58	1.0%	1.58	1.0%	0.0%	-
9.2 Arc Furnace	157.96	21.64	13.7%	-	0.0%	-	0.0%	23.52	14.9%	21.64	13.7%	18.43	11.7%	2.0%	3.21
10. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี															
10.1 Upstream	1,036.31	40.30	3.9%	4.36	0.4%	-	0.0%	72.65	7.0%	45.38	4.4%	20.16	1.9%	2.4%	25.22
10.2 Downstream	517.42	51.49	10.0%	8.15	1.6%	-	0.0%	78.29	15.1%	59.64	11.5%	11.43	2.2%	9.3%	48.21
รวม	42,015.05	2,739.49	6.5%	408.97	1.0%	12,510.96	29.8%	22,120.92	52.6%	15,663.47	37.3%	14,621.54	34.8%	2.5%	1,041.93

หมายเหตุ: การใช้พลังงาน (ktoe) เป็นตัวเลขที่แสดงปริมาณการใช้พลังงานรวมของอุตสาหกรรมแต่ละประเภทโดยทำการถ่วงน้ำหนักตามสัดส่วนของอุตสาหกรรมแล้ว

A คือ ปริมาณความร้อนที่ปล่อยทิ้งทั้งหมดจากกระบวนการ โดยที่ยังไม่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหรือที่ยังไม่มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์

B คือ ปริมาณความร้อนที่ปล่อยทิ้งจากกระบวนการที่มีการนำกลับมาใช้ โดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 ความร้อนทิ้งที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ส่วนที่ 2 ความร้อนทิ้งที่ไม่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และไม่มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์

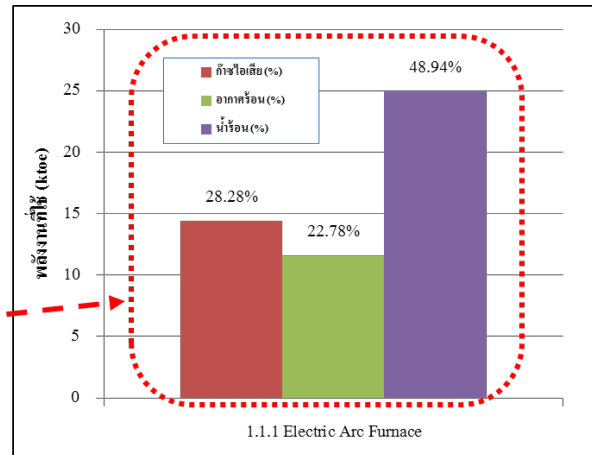
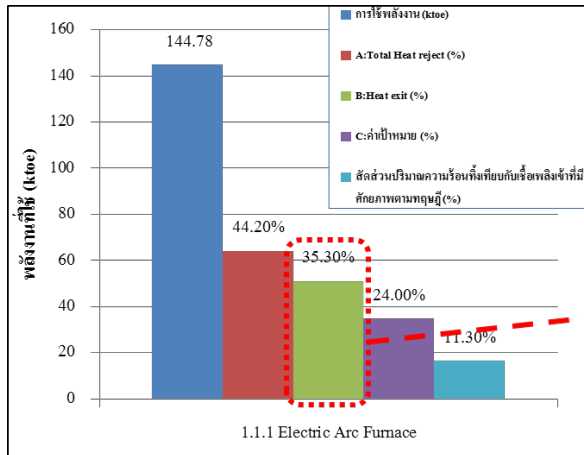
C คือ ปริมาณความร้อนทิ้งสุดท้าย เมื่อมีการปรับปรุงและนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์แล้วก่อนทำการปล่อยทิ้งที่ปลายทาง

สำหรับปริมาณความร้อนที่ปล่อยทิ้งสุดท้ายของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมปล่อยทิ้ง สามารถแจกแจงเป็น ก๊าซไอเสีย อากาศร้อน และน้ำร้อน แสดงในรูปกราฟ ได้ดังนี้

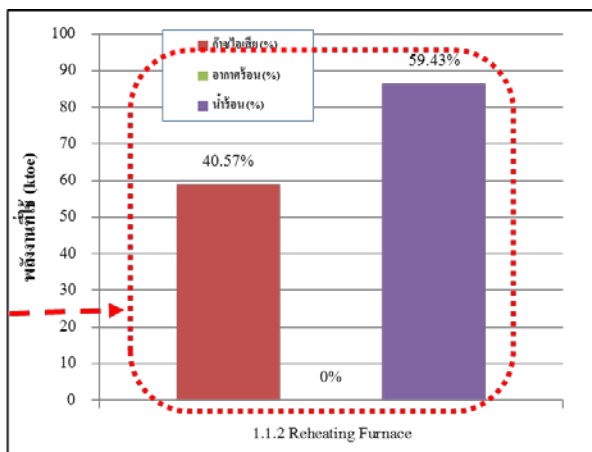
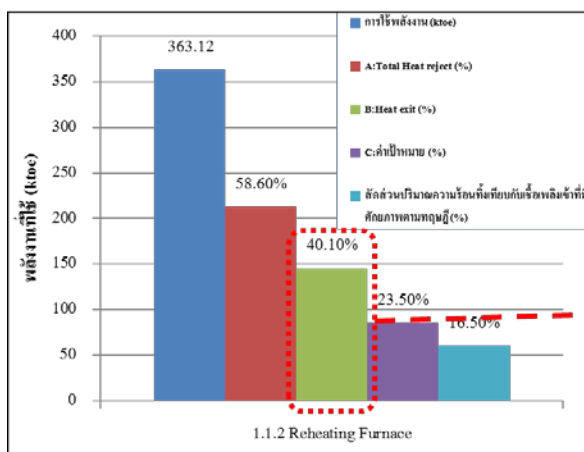
1. อุตสาหกรรมหลัก

1.1 เหล็กรีดร้อน

1.1.1 Electric Arc Furnace (โรงงานที่มีเตาหลอม)

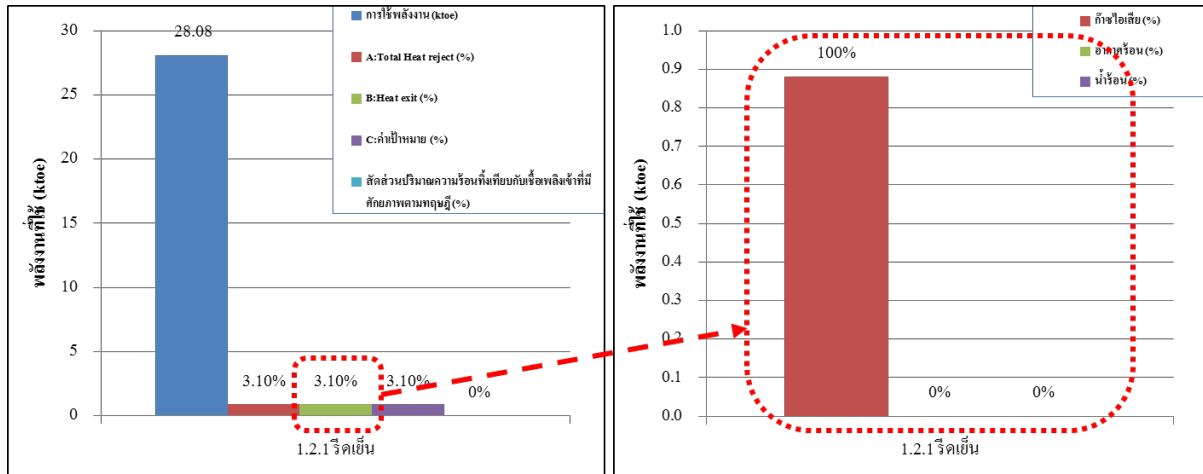


1.1.2 Reheating Furnace (โรงงานที่ไม่มีเตาหลอม)

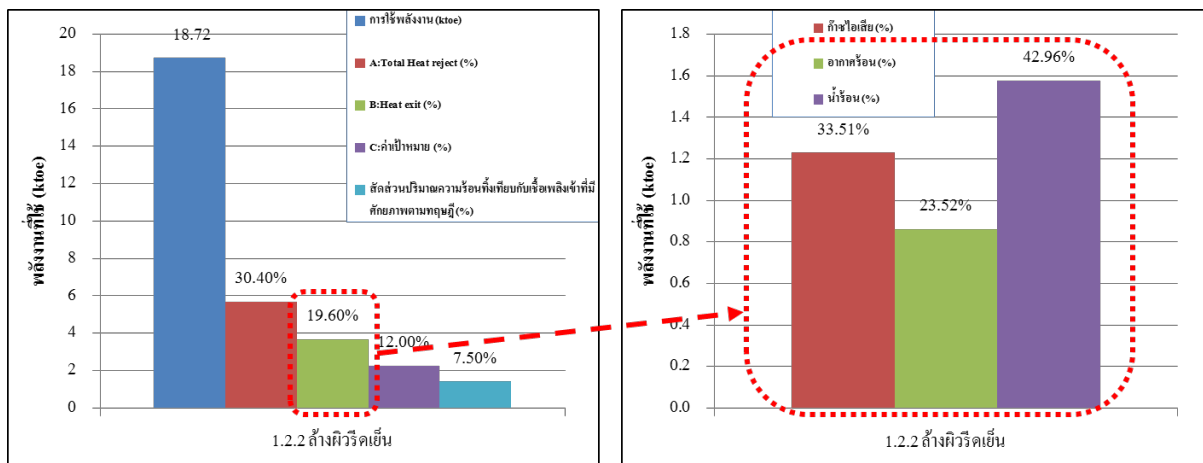


1.2 เหล็กรีดเย็น

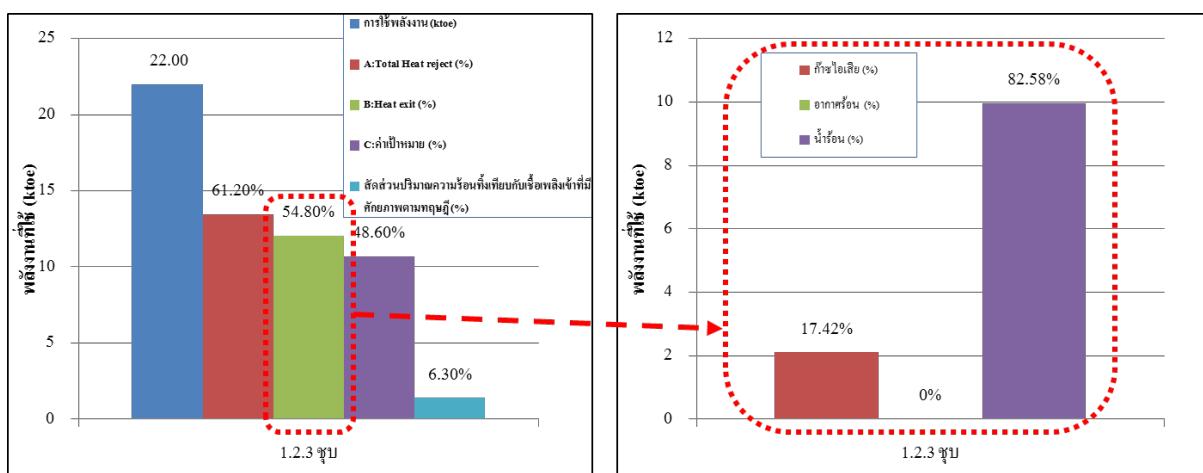
1.2.1 รีดเย็น



1.2.2 ล้างผิวและรีดเย็น

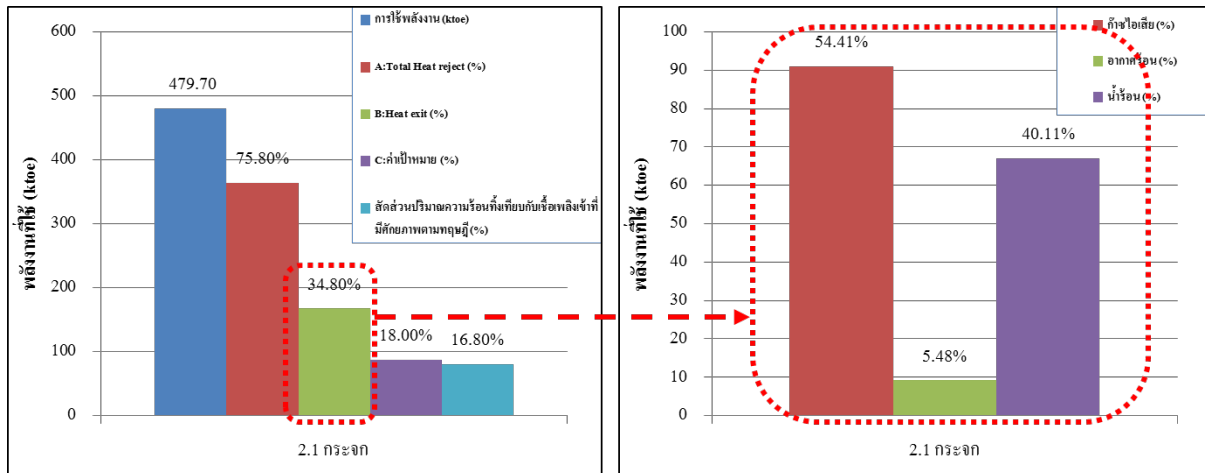


1.2.3 ชุบ

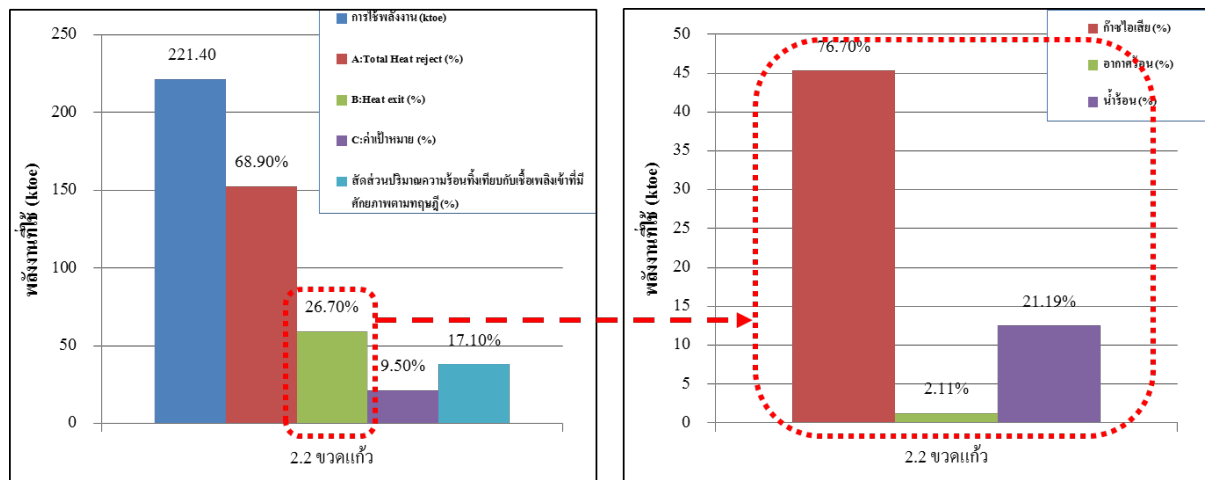


2. อุตสาหกรรมแก้วและกระจก

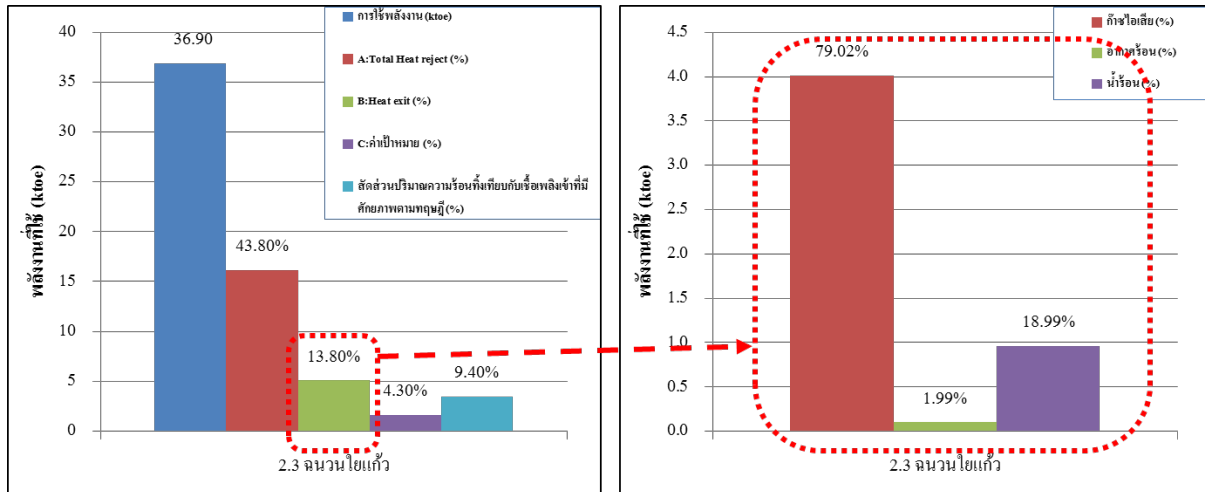
2.1 กระจก



2.2 ขวดแก้ว

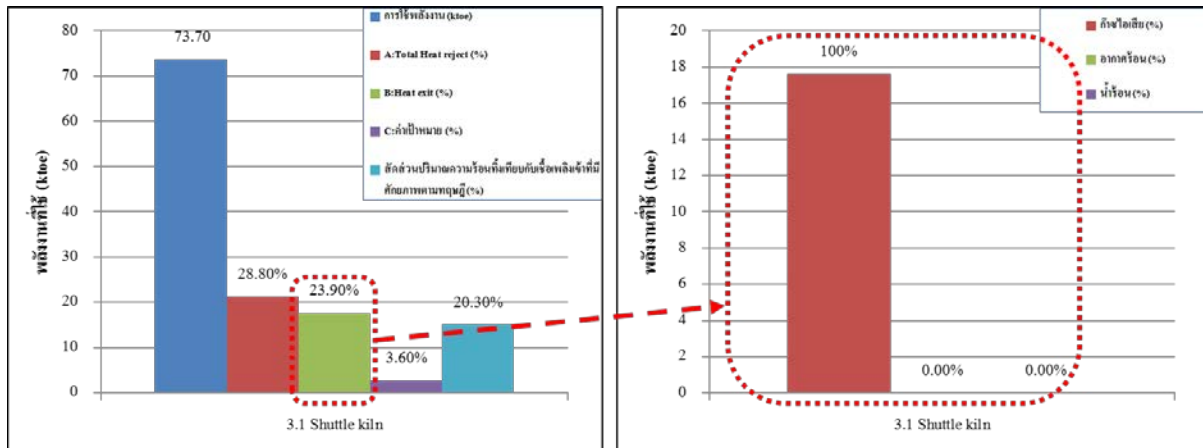


2.3 ฉนวนใยแก้ว

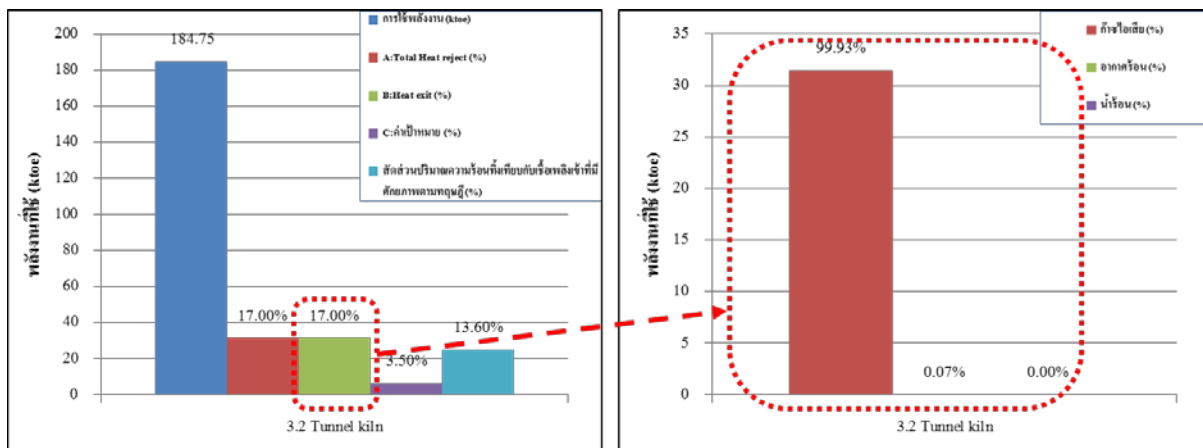


3. อุตสาหกรรมเซรามิก

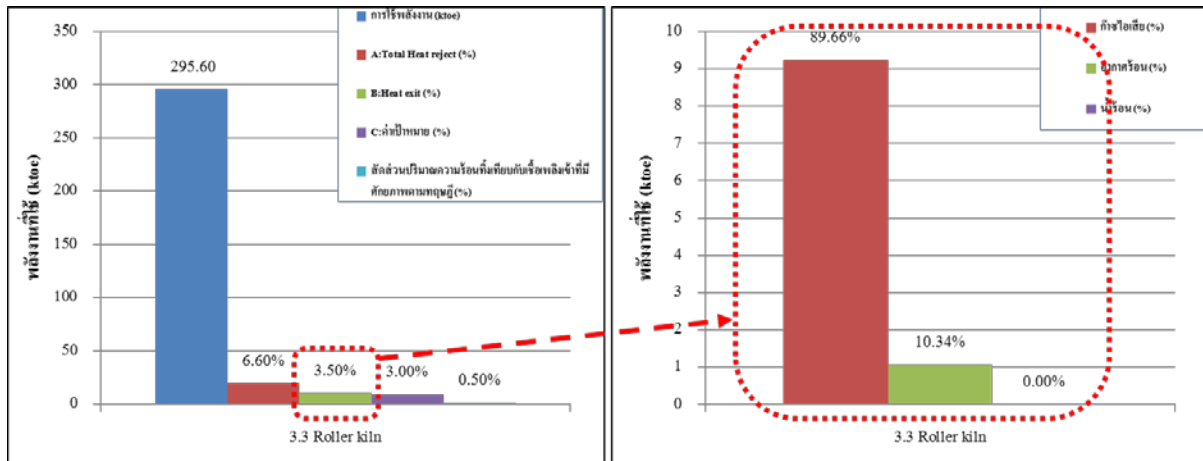
3.1 Shuttle Kiln



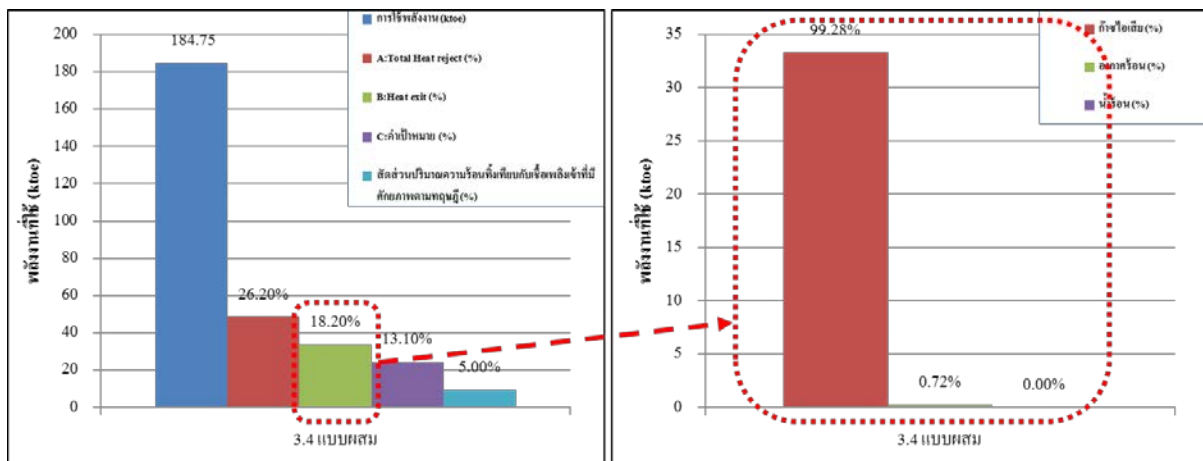
3.2 Tunnel Kiln



3.3 Roller Kiln

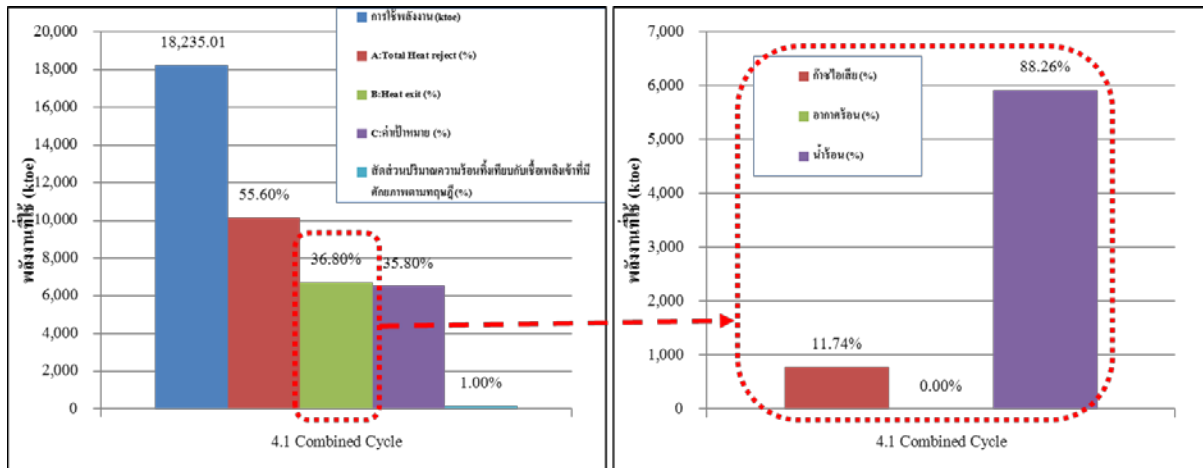


3.4 แบบผสม (คือมีการใช้เตามากกว่า 1 ประเภท)

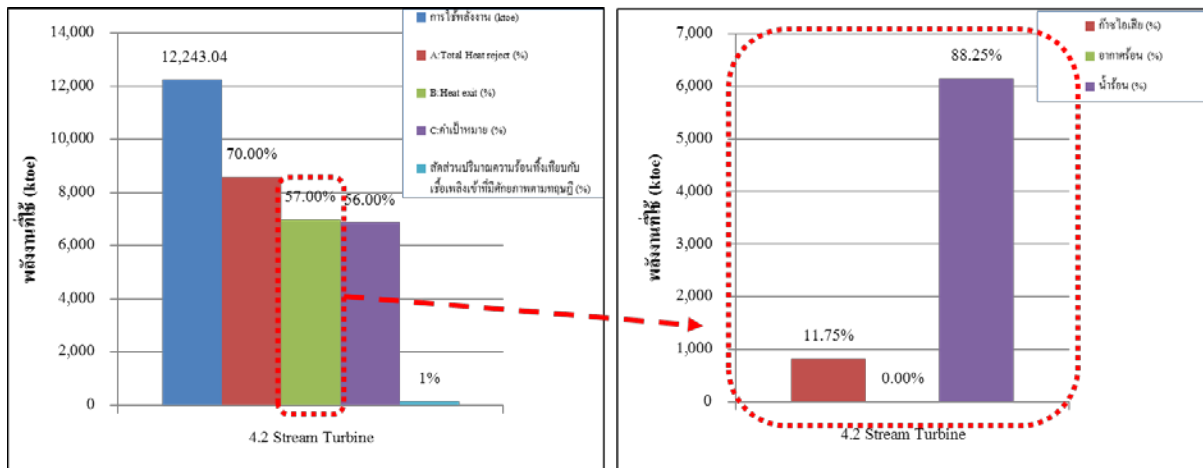


4. อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า

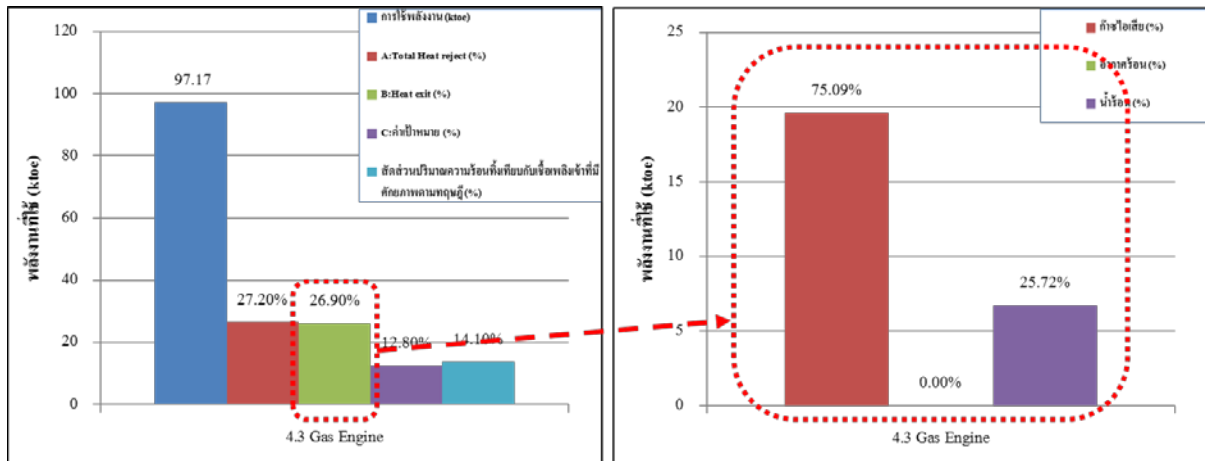
4.1 Combined Cycle



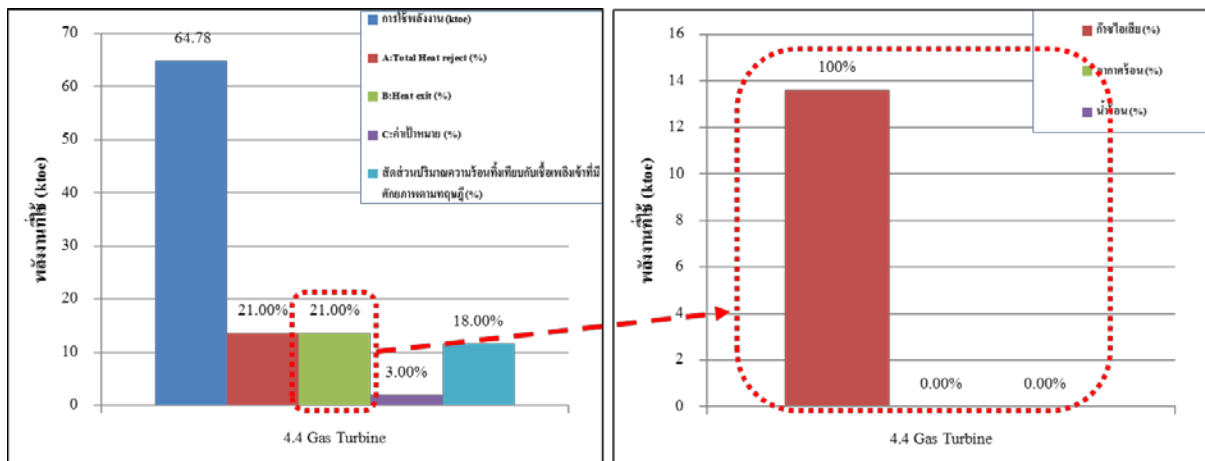
4.2 Steam Turbine



4.3 Gas Engine

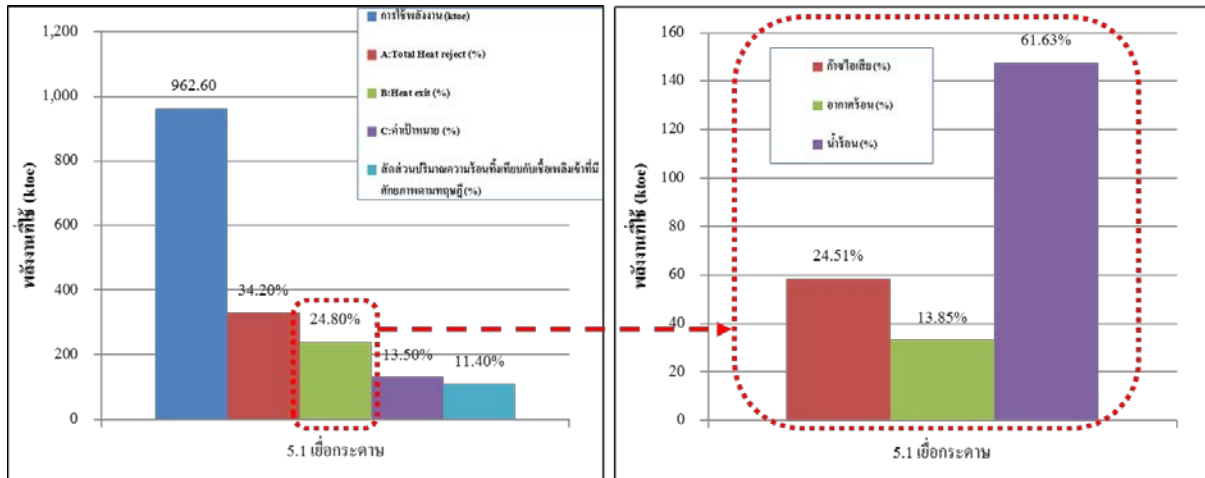


4.4 Gas Turbine

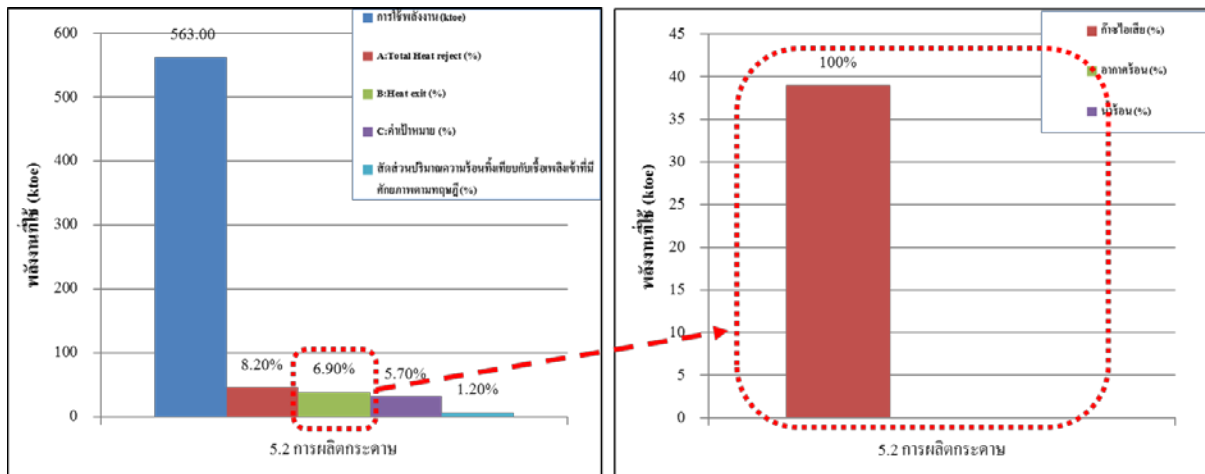


5. อุตสาหกรรมกระดาษ

5.1 เยื่อกระดาษ

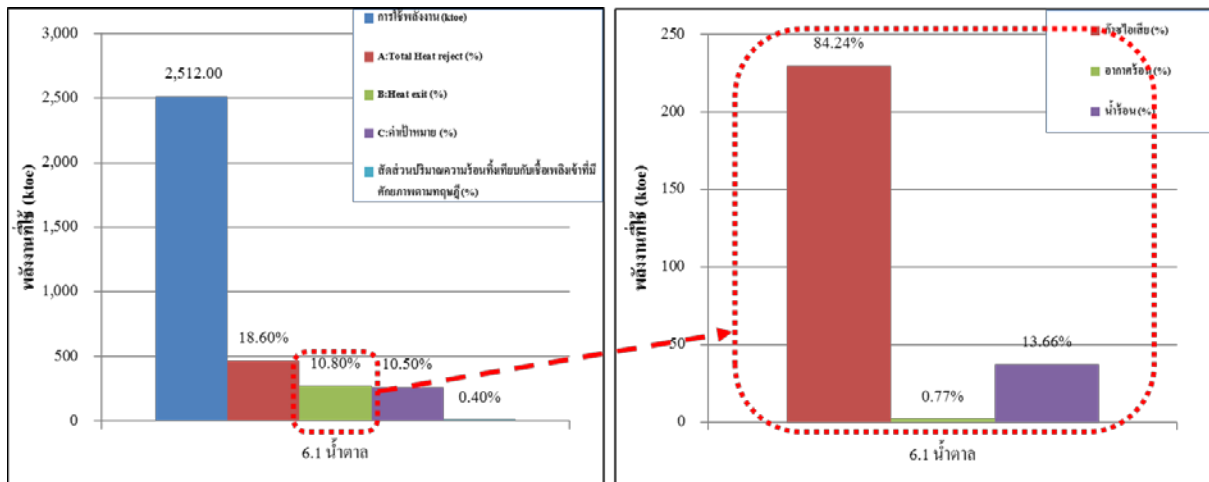


5.2 การผลิตกระดาษ

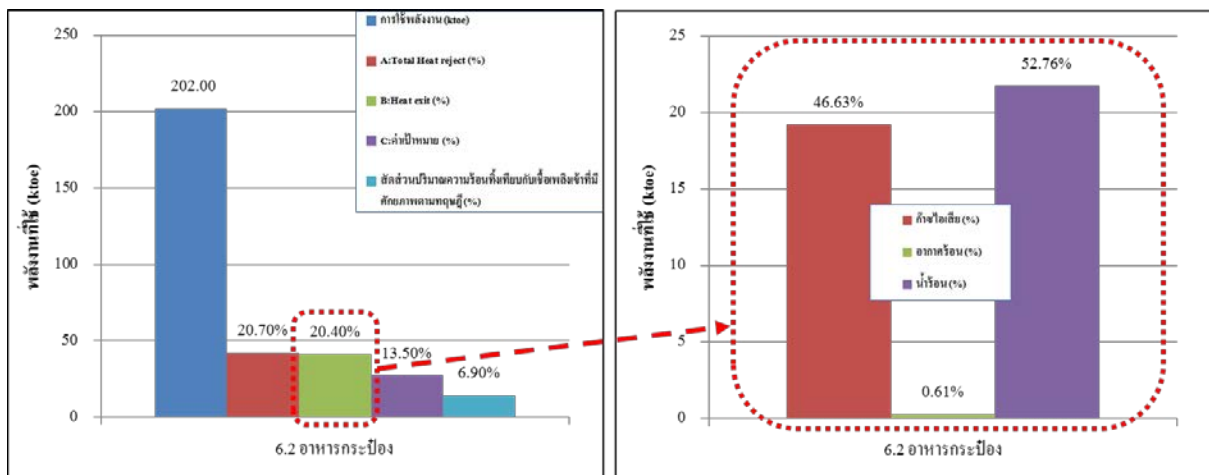


6. อุตสาหกรรมอาหาร

6.1 น้ำตาล

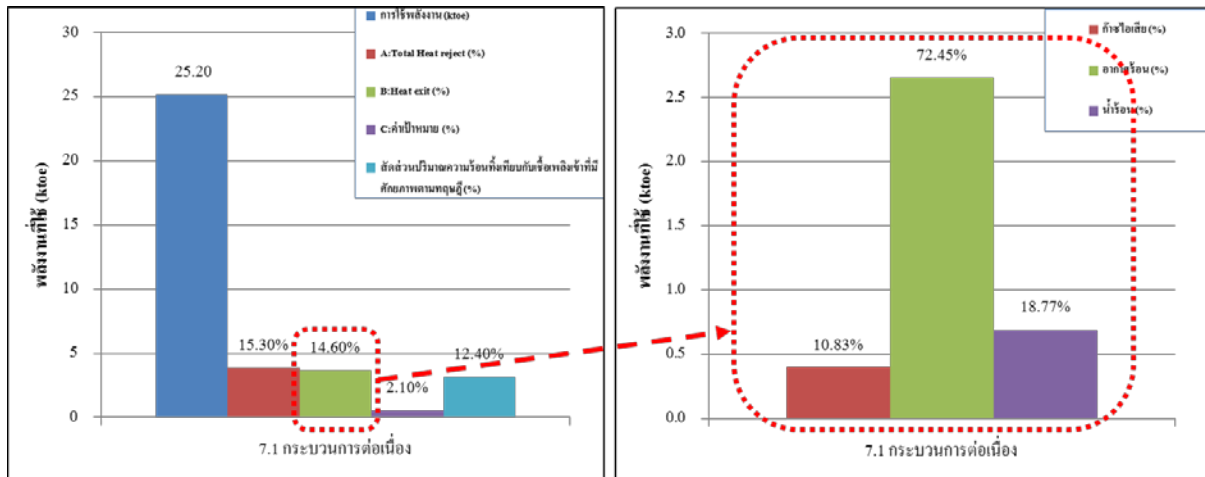


6.2 อาหารกระป๋อง

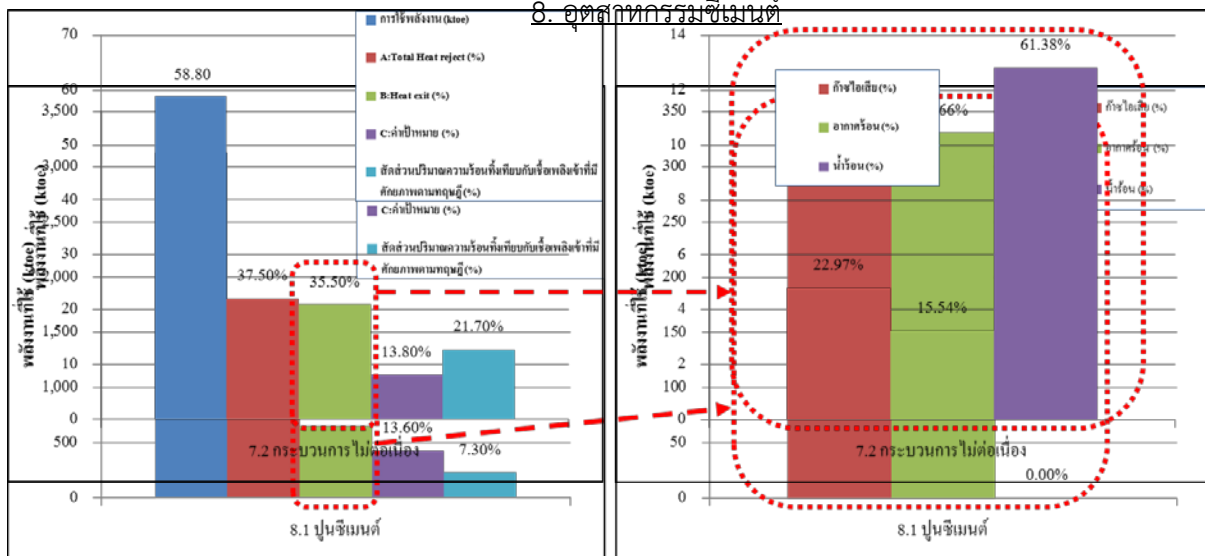


7. อุตสาหกรรมฟอกย้อม

7.1 กระบวนการต่อเนื่อง



7.2 กระบวนการไม่ต่อเนื่อง

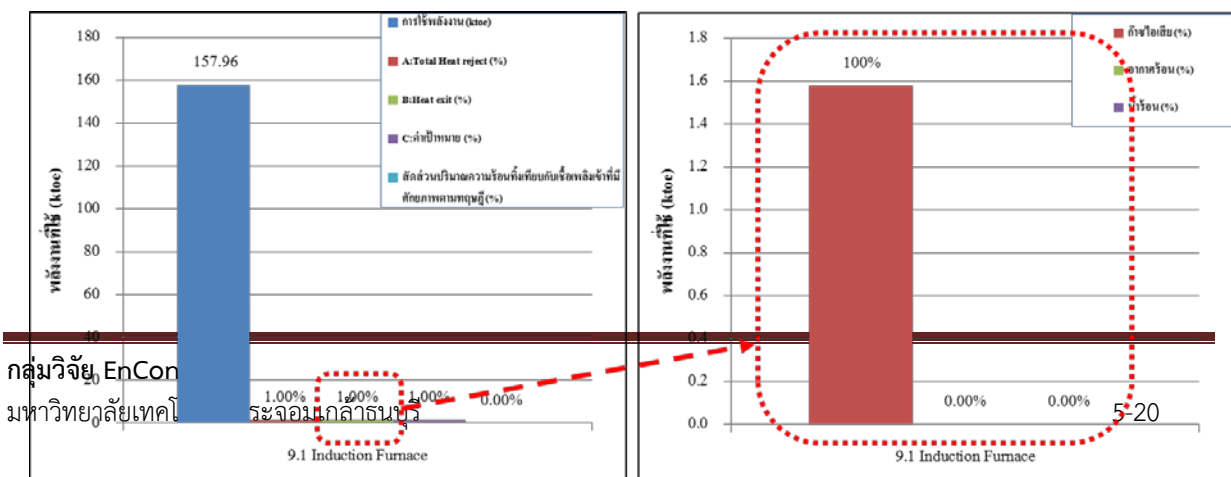


8.1 ปูนซีเมนต์

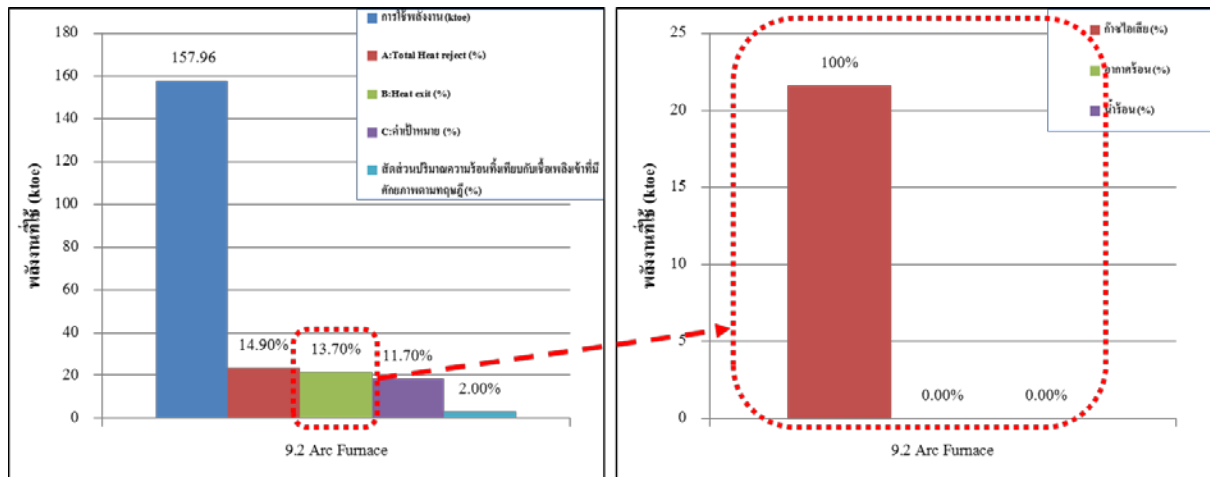
8. อุตสาหกรรมซีเมนต์

9. อุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะ

9.1 Induction Furnace

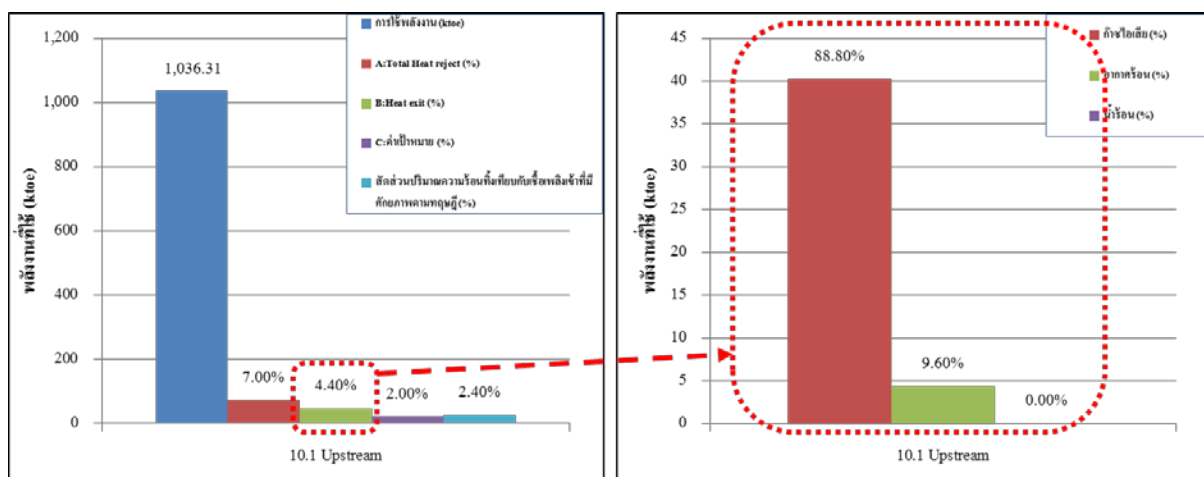


9.2 Arc Furnace

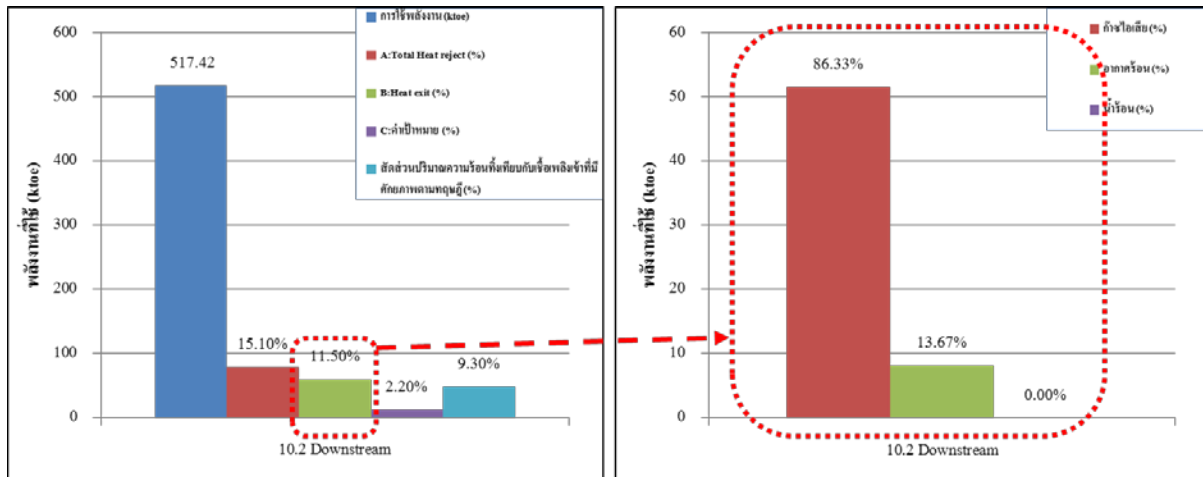


11. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี

10.1 Upstream



10.2 Downstream



5.1.2.2 การศึกษาปริมาณความร้อนทิ้งตามขนาดโรงงาน

หากมีการแยกโรงงานตามขนาดเป็น โรงงานขนาดเล็ก กับโรงงานขนาดใหญ่ ตามเกณฑ์ โรงงานควบคุม คือโรงงานขนาดใหญ่มีการใช้พลังงานรวมเกิน 20 ล้านเมกะจูลต่อปี จากการวิเคราะห์ ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5-4 การวิเคราะห์ศักยภาพในภาคอุตสาหกรรมตามขนาดโรงงาน

ประเภทอุตสาหกรรม/ เทคโนโลยี	การใช้พลังงาน (ktoe)	ก๊าซไอเสีย		อากาศร้อน		น้ำร้อน		A: Total Heat reject		B: Total Heat exit		C: ค่าเป้าหมาย		สัดส่วนปริมาณความร้อนที่ เทียบกับเชื้อเพลิงเข้าที่มี ศักยภาพตามทฤษฎี	
		(ktoe)	Heat Exit (%)	(ktoe)	Heat Exit (%)	(ktoe)	Heat Exit (%)	A (ktoe)	Total Heat Reject (%)	B (ktoe)	Total Heat Exit (%)	C (ktoe)	ค่าเป้าหมาย (%)	(%)	(ktoe)
1. อุตสาหกรรมเหล็ก															
1.1 เหล็กรีดร้อน															
-ขนาดใหญ่	507.90	77.37	15.2%	6.59	1.3%	115.52	22.7%	161.99	31.9%	199.49	39.3%	119.79	23.6%	15.7%	79.70
1.2 เหล็กรีดเย็น															
-ขนาดเล็ก	34.40	1.08	3.1%	-	0.0%	-	0.0%	1.08	3.1%	1.08	3.1%	1.08	3.1%	0.0%	-
-ขนาดใหญ่	34.40	2.33	6.8%	1.47	4.3%	3.82	11.1%	11.23	32.6%	7.62	22.1%	5.06	14.7%	7.4%	2.56
2. อุตสาหกรรมแก้วและกระจก															
-ขนาดเล็ก	205.16	-	0.0%	77.63	37.8%	0.12	0.1%	77.75	37.9%	77.75	37.9%	25.96	12.7%	25.2%	51.79
-ขนาดใหญ่	532.54	98.52	18.5%	3.95	0.7%	35.98	6.8%	350.73	65.9%	98.52	18.5%	14.87	2.8%	15.7%	83.65
3. อุตสาหกรรมเซรามิก															
-ขนาดเล็ก	205.44	55.32	26.9%	-	0.0%	-	0.0%	55.32	26.9%	55.32	26.9%	6.73	3.3%	23.7%	48.60
-ขนาดใหญ่	533.26	41.39	7.8%	1.50	0.3%	-	0.0%	65.18	12.2%	42.89	8.0%	29.71	5.6%	2.5%	13.17
4. อุตสาหกรรมกระดาษ															
-ขนาดเล็ก	397.04	26.58	6.7%	-	0.0%	-	0.0%	31.99	8.1%	26.58	6.7%	21.32	5.4%	1.3%	5.26
-ขนาดใหญ่	1,131.00	72.22	6.4%	25.27	2.2%	112.44	9.9%	283.86	25.1%	209.94	18.6%	121.74	10.8%	7.8%	88.20
5. อุตสาหกรรมอาหาร															
-ขนาดเล็ก	4,087.11	376.86	9.2%	-	0.0%	1.36	0.0%	378.22	9.3%	378.22	9.3%	260.46	6.4%	2.9%	117.76
-ขนาดใหญ่ (กระป๋อง+น้ำตาล)	4,376.89	494.01	11.3%	3.69	0.1%	69.55	1.6%	815.31	18.6%	494.01	11.3%	459.86	10.5%	0.8%	34.15
6. อุตสาหกรรมฟอกย้อม															
-ขนาดเล็ก	20.80	1.35	6.5%	1.25	6.0%	2.64	12.7%	5.84	28.1%	5.84	28.1%	3.00	14.4%	13.7%	2.84
-ขนาดใหญ่	63.20	3.71	5.9%	4.60	7.3%	9.62	15.2%	18.83	29.8%	17.86	28.3%	6.15	9.7%	18.5%	11.71
7. การผลิตไฟฟ้า															
-ขนาดใหญ่	30,639.99	1,641.27	5.4%	-	0.0%	12,087.70	39.5%	18754.30	61.2%	13,728.76	44.8%	13,398.62	43.7%	1.1%	330.14
8. อุตสาหกรรมซีเมนต์															
-ขนาดใหญ่	3,128.31	322.15	10.3%	330.74	10.6%	-	0.0%	1330.47	42.5%	652.88	20.9%	425.14	13.6%	7.3%	227.74
9. อุตสาหกรรมหลอมโลหะ															
-ขนาดเล็ก	190.08	15.68	8.2%	-	0.0%	-	0%	53.72	28.26%	15.68	8.3%	11.54	6.1%	2.2%	4.14
-ขนาดใหญ่	125.84	16.51	13.1%	-	0.0%	-	0%	16.51	13.1%	16.51	13.1%	14.69	11.7%	1.5%	1.82
10. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี															
-ขนาดใหญ่	1,553.80	140.13	9.0%	21.72	1.4%	-	0%	161.85	10.4%	162.06	10.4%	33.87	2.2%	8.3%	128.19

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ในบางอุตสาหกรรม ขนาดมีผลต่อปริมาณความร้อนทิ้ง บางอุตสาหกรรมไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งเมื่อตรวจสอบลงไปรายละเอียดพบว่า เทคโนโลยี และขนาดโรงงานมีความสัมพันธ์กัน เช่น โรงงานขนาดเล็ก กำลังการผลิตไม่สูง และไม่ทำงานต่อเนื่อง เตาหรือเทคโนโลยีการผลิตก็เป็นแบบหนึ่ง ซึ่งสูญเสียความร้อนมากกว่าเตาที่เดินต่อเนื่องในโรงงานขนาดใหญ่ และสามารถนำความร้อนกลับมาใช้ได้สูงกว่า เป็นต้น

5.1.2.3 การประเมินความร้อนทั้งความร้อนรวม และศักยภาพ ทุกกลุ่มอุตสาหกรรมในประเทศไทย

ภาพรวมทั้งกลุ่มอุตสาหกรรม สามารถประเมินศักยภาพได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5-5 ผลการวิเคราะห์รายกลุ่มอุตสาหกรรม

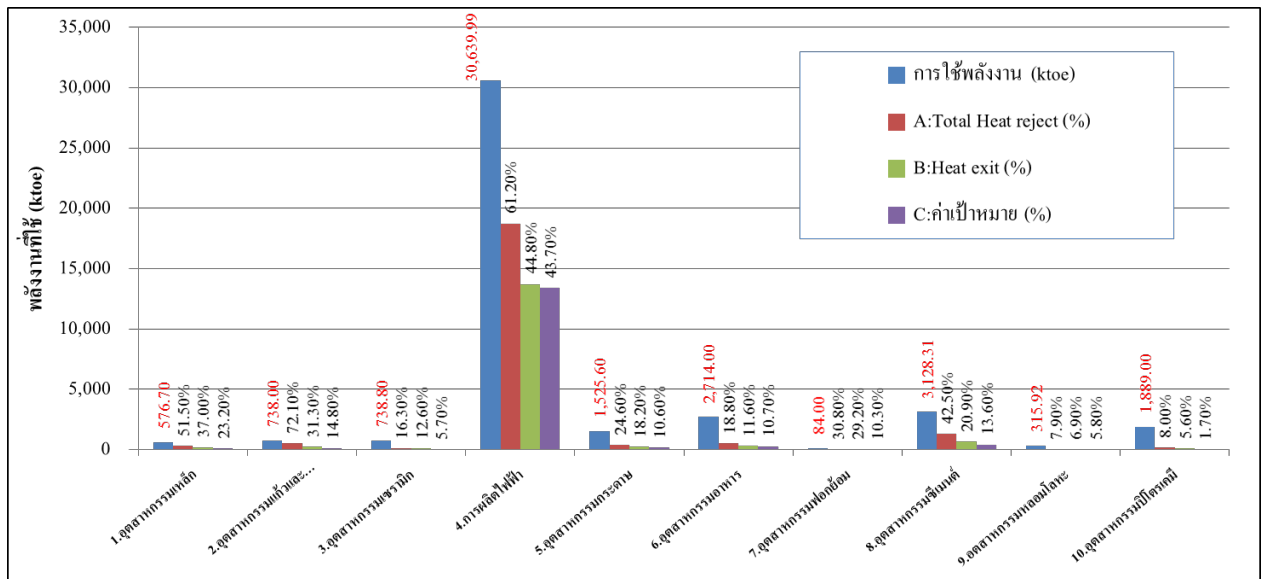
ประเภทอุตสาหกรรม/ เทคโนโลยี	การใช้พลังงาน (ktoe)	ก๊าซไอเสีย		อากาศร้อน		น้ำร้อน		A: Total Heat reject		B: Total Heat exit		C: ค่าเป้าหมาย		สัดส่วนปริมาณความร้อนที่เทียบกับเชื้อเพลิงเข้าที่มีศักยภาพตามทฤษฎี	
		(ktoe)	Heat Exit (%)	(ktoe)	Heat Exit (%)	(ktoe)	Heat Exit (%)	A (ktoe)	Total Heat Reject (%)	B (ktoe)	Total Heat Exit (%)	C (ktoe)	ค่าเป้าหมาย (%)	(%)	(ktoe)
1. อุตสาหกรรมเหล็ก	576.70	77.65	13.5%	12.49	2.2%	122.95	21.3%	296.71	51.5%	213.09	37.0%	133.90	23.2%	13.7%	79.19
2. อุตสาหกรรมแก้วและกระจก	738.00	140.24	19.0%	10.51	1.4%	80.50	10.9%	532.34	72.1%	231.25	31.3%	109.30	14.8%	16.5%	121.95
3. อุตสาหกรรมเซรามิก	738.80	91.57	12.4%	1.33	0.2%	-	0.0%	120.56	16.3%	92.90	12.6%	42.05	5.7%	6.9%	50.85
4. การผลิตไฟฟ้า	30,639.99	1,641.27	5.4%	-	0.0%	12,087.70	39.5%	18,754.30	61.2%	13,728.76	44.8%	13,398.62	43.7%	1.1%	330.14
5. อุตสาหกรรมกระดาษ	1,525.60	97.63	6.4%	33.12	2.2%	147.35	9.7%	375.55	24.6%	278.11	18.2%	161.99	10.6%	7.6%	116.12
6. อุตสาหกรรมอาหาร	2,714.00	248.77	9.2%	2.36	0.1%	58.95	2.2%	509.08	18.8%	313.68	11.6%	290.26	10.7%	0.9%	23.42
7. อุตสาหกรรมพอลิเอทิลีน	84.00	5.20	6.2%	5.90	7.0%	13.51	16.1%	25.88	30.8%	24.56	29.2%	8.67	10.3%	18.9%	15.89
8. อุตสาหกรรมซีเมนต์	3,128.31	322.15	10.3%	330.74	10.6%	-	0.0%	1,330.47	42.5%	652.88	20.9%	425.14	13.6%	7.3%	227.74
9. อุตสาหกรรมหลอมโลหะ	315.92	23.22	7.4%	-	0.0%	-	0.0%	25.10	7.9%	23.22	7.4%	20.01	6.3%	1.0%	3.21
10. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี	1,889.00	91.79	4.9%	12.51	0.7%	-	0.0%	150.93	8.0%	105.02	5.6%	31.60	1.7%	3.9%	73.42
รวม	42,350.32	2,739.49	6.5%	408.97	1.0%	12,510.96	29.5%	22,120.92	52.2%	15,663.47	37.0%	14,621.54	34.5%	2.5%	1,041.93

เมื่อทำการรวมเป็นภาพรวมทั้งกลุ่มอุตสาหกรรมจะเห็นว่า กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้ามีอัตราการใช้พลังงานคิดเป็น 3 ใน 4 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงแยกการกลุ่มอุตสาหกรรมออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การผลิตไฟฟ้า และอุตสาหกรรมการผลิตอื่น

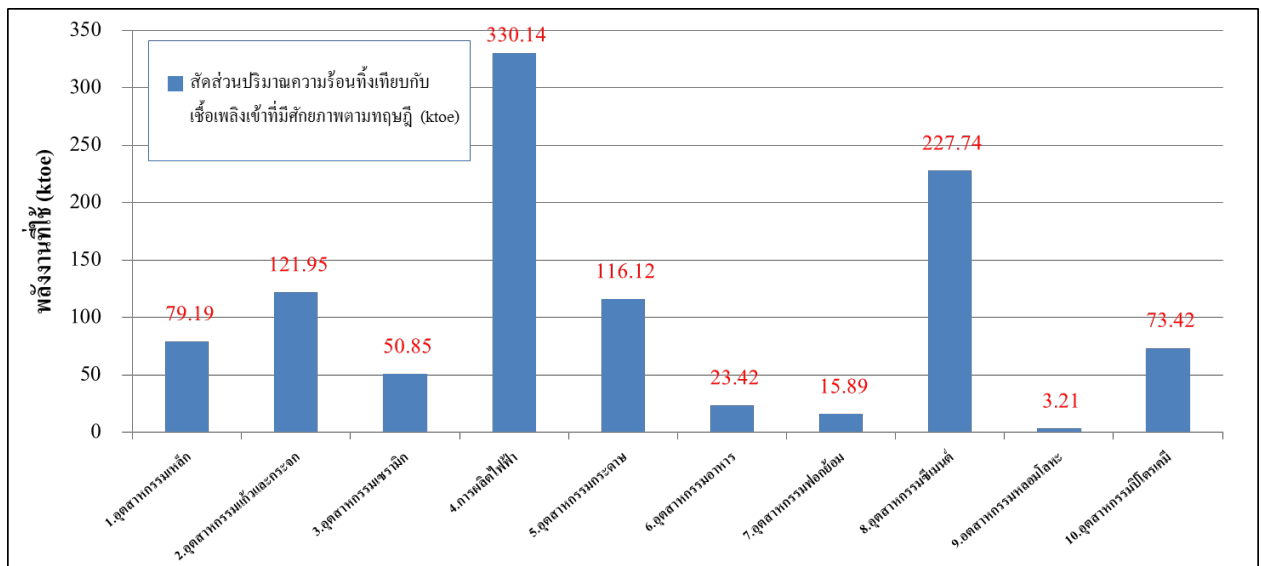
ตารางที่ 5-6 ผลการวิเคราะห์รวมทั้งอุตสาหกรรม

ประเภทอุตสาหกรรม/ เทคโนโลยี	การใช้พลังงาน (ktoe)	ก๊าซไอเสีย		อากาศร้อน		น้ำร้อน		A: Total Heat reject		B: Total Heat exit		C: ค่าเป้าหมาย		สัดส่วนปริมาณความร้อนที่เทียบกับเชื้อเพลิงเข้าที่มีศักยภาพตามทฤษฎี	
		(ktoe)	Heat Exit (%)	(ktoe)	Heat Exit (%)	(ktoe)	Heat Exit (%)	A (ktoe)	Total Heat Reject (%)	B (ktoe)	Total Heat Exit (%)	C (ktoe)	ค่าเป้าหมาย (%)	(%)	(ktoe)
การผลิตไฟฟ้า	30,639.99	1,641.27	5.4%	-	0.0%	12,087.70	39.5%	18,754.30	61.2%	13,728.76	44.8%	13,398.62	43.7%	1.1%	330.14
ไม่รวมอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า	11,710.33	1,098.22	9.4%	408.97	3.5%	423.26	3.6%	3,366.62	28.7%	1,934.71	16.5%	1,222.92	10.4%	6.1%	711.79

และปริมาณความร้อนที่ปล่อยทิ้งจากอุตสาหกรรมของไทย สามารถแจกแจงเป็น ก๊าซไอเสีย อากาศร้อน และน้ำร้อน ดังกราฟต่อไปนี้



ภาพรวมการใช้พลังงานทุกกลุ่มอุตสาหกรรม



ภาพรวมศักยภาพตามทฤษฎีทุกกลุ่มอุตสาหกรรม

ผลการศึกษาพบว่าภาคอุตสาหกรรมมีปริมาณความร้อนทิ้งเทียบกับเชื้อเพลิงเข้าที่มีศักยภาพตามทฤษฎี ที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ 1,041.93 ktoe คิดเป็นร้อยละ 2.5 ของการใช้เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมเป้าหมาย

5.2 ศักยภาพในภาคอาคารธุรกิจ

กลุ่มอาคารธุรกิจ คณะผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาว่ามีการใช้พลังงานความร้อนและสามารถจะนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ได้มีทั้งหมด 4 ประเภทคือ

1. อาคารโรงพยาบาล
2. อาคารโรงแรม
3. อาคารศูนย์การค้า
4. อาคารสำนักงาน
5. สถานศึกษา

โดยมีวิธีการวิเคราะห์และผลการศึกษาดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.2.1 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนของประเภทอาคารธุรกิจแหล่งความร้อนหลักๆ จะมีด้วยกันอยู่ทั้งหมด 3 แหล่งที่สำคัญ คือ

1. ความร้อนทิ้งจากก๊าซไอเสีย ในอาคารที่มีการผลิตความร้อน จากหม้อไอน้ำ เช่น โรงแรม โรงพยาบาล
2. ความร้อนทิ้งจากคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ จากอาคารโรงแรม
3. ความร้อนทิ้งจากอากาศเย็นที่ระบายทิ้ง ในอาคารศูนย์การค้า โรงแรม และสำนักงาน

ในการวิเคราะห์ทางคณะผู้วิจัยประเมินศักยภาพเฉพาะอาคารที่มี ขนาดหม้อแปลง 1,000 kVA ขึ้นไป ซึ่งถือว่ามีความสามารถในการปรับปรุง และข้อมูลจากการวิเคราะห์ ใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดการใช้พลังงานของ อาคารธุรกิจ จำนวน 60 แห่ง ที่ทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีได้เคยดำเนินการตรวจวัด ร่วมกับข้อมูลการใช้พลังงานความร้อนของอาคารควบคุมจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารธุรกิจจากการไฟฟ้านครหลวง และ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

5.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการตรวจวัด ทางคณะทำงานได้นำการใช้พลังงานความร้อนและการใช้ พลังงานไฟฟ้า มาคิดเทียบกับเทคโนโลยีที่สามารถนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ได้ตามทฤษฎี ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5-7 การวิเคราะห์ศักยภาพในภาคอาคารธุรกิจ

ประเภทอาคาร	จำนวนอาคาร	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/ปี)	พลังงานความร้อนที่ใช้ (MJ/ปี)	1.การติดตั้งเครื่องสูบน้ำหม้อไอน้ำ		2.การใช้ปั๊มความร้อน		3.การนำความร้อนในคอนเดนเซอร์ มาผลิตน้ำร้อน		4.การลดอุณหภูมิอากาศเข้าจาก อากาศเย็นที่ระบายทิ้ง		รวมศักยภาพในภาคอาคาร	
				ศักยภาพ (MJ)	(%)	ศักยภาพ (MJ)	(%)	ศักยภาพ (kWhE)	(%)	ศักยภาพ (kWhE)	(%)	ด้านความร้อน (MJ)	ด้านไฟฟ้า (kWhE)
1. ศูนย์การค้า	588.00	4,099,248,021.00	-							24,330,934.00	0.6%	0.00	24,330,934.00
2. สำนักงาน													
2.1 ให้เช่า	1,112.00	1,819,545,226.00	-										
2.2 เจ้าของอยู่เอง	506.00	641,608,397.00	-							3,500,053.00	0.5%	0.00	3,500,054.00
3. โรงแรม	616.00	2,164,827,681.00	1,508,386,106.00	11,154,281.00	0.7%	650,666,397.00	43.1%	19,483,449.00	0.9%	18,435,236.00	0.9%	661,820,678.00	-13,721,505.00
4. โรงพยาบาล	331.00	1,480,400,494.00	736,628,528.00	4,403,274.00	0.6%	256,857,656.00	34.9%					261,260,930.00	-20,385,528.00
5. สถานศึกษา	577.00	1,210,709,320.00	-									0.00	0.00
รวม	5,342.00	11,416,339,139.00	2,245,014,634.00									923,081,608.00	-6,276,045.00

$$\text{ศักยภาพด้านความร้อนในภาคอาคาร} = \frac{923,081,608 \text{ MJ}}{41,868,000 \text{ MJ}} = 22 \text{ ktoe} ; 1 \text{ ktoe} = 41,868,000 \text{ MJ}$$

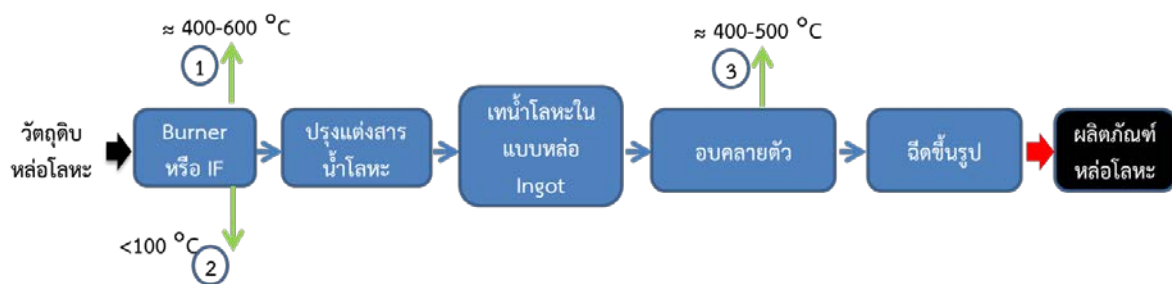
ผลการศึกษาพบว่าภาคอาคารธุรกิจมีปริมาณความร้อนทิ้งเทียบกับเชื้อเพลิงเข้าที่มีศักยภาพตามทฤษฎี ที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ 22 ktoe คิดเป็นร้อยละ 41 ของการใช้พลังงานความร้อนในภาคอาคารธุรกิจ โดยมาตรการที่มีผลสูง ได้แก่การผลิตความร้อนด้วยปั๊มความร้อน แต่จะมีการใช้ไฟฟ้าของอาคารกลุ่มนี้เพิ่มขึ้น 6.27 ล้าน หน่วยต่อปี หรือ 0.1%

บทที่ 6

การศึกษาแนวทางการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจของไทย

บทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษานำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจของไทย ประกอบด้วยกระบวนการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรม ลักษณะการใช้พลังงาน แหล่งความร้อนทิ้ง ตารางสรุปศักยภาพความร้อนทิ้งของแต่ละอุตสาหกรรม และ สรุปมาตรการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในภาพรวม

6.1 อุตสาหกรรมหล่อโลหะ



รูปที่ 6-1 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมหล่อโลหะ

ลักษณะการใช้พลังงาน

อุตสาหกรรมหล่อโลหะ ส่วนใหญ่จะเป็นประเภทการหลอมอลูมิเนียมซึ่งจะให้เตาหลอมประเภทหัวเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงเป็น NG หรือ LPG ซึ่งอุณหภูมิในเตาอยู่ที่ประมาณ 800-900°C ซึ่งส่วนใหญ่จะปล่อยทิ้งออกทางปล่องระบายความร้อน แต่มีบางแห่งมีการใช้หัวเผาไหม้แบบ Regenerative Burner แต่ยังไม่แพร่หลายเนื่องจากยังมีราคาสูงกว่าแบบปกติอยู่ประมาณ 3 เท่า

แหล่งความร้อนทิ้ง

ก๊าซไอเสียจากเตาหลอมอยู่ที่ประมาณ 400-600°C และกระบวนการที่มีความร้อนทิ้งอีกจุดหนึ่งคือ กระบวนการอบชิ้นงานก่อนเข้าเครื่องฉีดอลูมิเนียม (Extruder) ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้อยู่ที่ประมาณ 400-500°C ดังนั้นสำหรับอุตสาหกรรมหล่ออลูมิเนียมมีความร้อนทิ้งที่น่าสนใจอยู่ 2 จุดคือ ที่เตาหลอมและเตาอบก่อนเข้าเครื่องฉีดอลูมิเนียมซึ่งเทคโนโลยีที่น่าสนใจคือ เตาหลอมแบบ Regenerative Burner ในส่วนของอุตสาหกรรมหล่อโลหะที่เป็นหลักส่วนใหญ่จะใช้เตาหลอมไฟฟ้าเป็นแบบ IF (Induction Furnace) ซึ่งจะไม่มีความร้อนทิ้งจากการเผาไหม้ และมีจุดปล่อยความร้อนทิ้งอยู่ที่เตาปรับคุณภาพชิ้นงานซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 400 องศาเซลเซียสขึ้นไป ส่วนใหญ่ปล่อยทิ้งออกทางปล่องระบายความร้อน ดังนั้นจึงเป็นจุดที่มีความร้อนทิ้งที่น่าสนใจ และควรนำความร้อนทิ้งมาใช้ในการอุ่นวัตถุดิบต่อไป และในอุตสาหกรรมหล่อทองเหลืองจะใช้เตาหลอมไฟฟ้าเป็นแบบ IF (Induction Furnace) เช่นเดียวกันกับเหล็ก โดยความร้อนทิ้งที่น่าสนใจอยู่ที่การอบชิ้นงานก่อนฉีดให้เป็นเส้นเพื่อนำไปปั๊มขึ้นรูป

ตารางที่ 6-1 สรุปศักยภาพความร้อนทิ้งของอุตสาหกรรมหล่อโลหะ (แบบใช้ Burner)

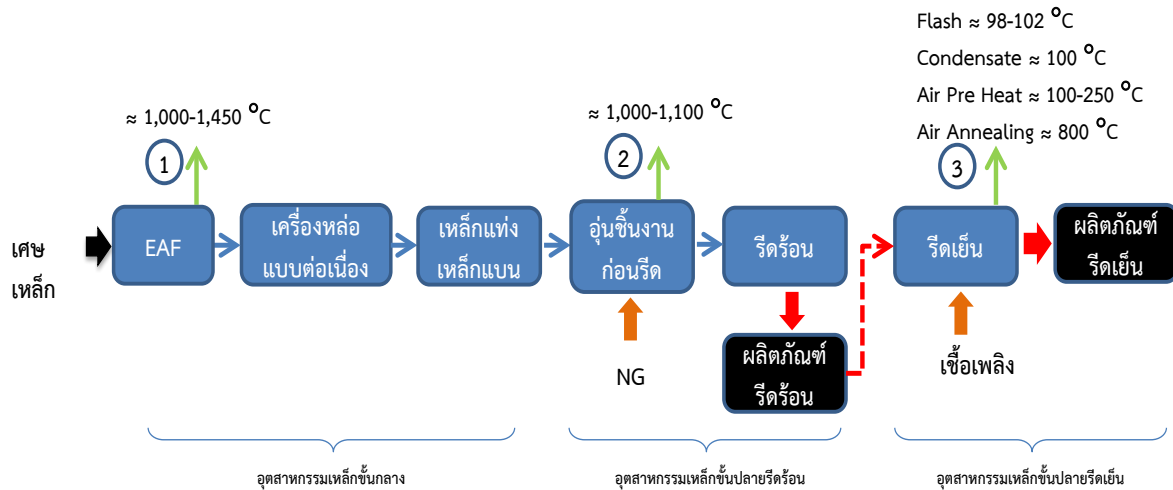
แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ $^{\circ}\text{C}$	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากเตาหลอม	กลาง	400-600	อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาไหม้	Regenerative Burner	2.0%
			อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาไหม้	Regenerator	
			อุ่น/อบ วัสดุดิบ	Direct Contact	

ตารางที่ 6-2 สรุปศักยภาพความร้อนทิ้งของอุตสาหกรรมหล่อโลหะ (แบบใช้ Electrical)

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ $^{\circ}\text{C}$	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากเตาหลอม	กลาง	400-600	อุ่น/อบ วัสดุดิบ	Direct Contact	0.0%

ก๊าซไอเสียจากเตาหลอมมีความร้อนทิ้งอุณหภูมิระดับกลาง ที่ $400-600^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเทคโนโลยีในการนำความร้อนทิ้งที่น่าสนใจ ได้แก่ การนำความร้อนทิ้งจากแหล่งดังกล่าวมาอุ่นวัตถุดิบโดยใช้ direct contact อุตสาหกรรมหล่อโลหะสัดส่วนปริมาณความร้อนทิ้งเทียบกับเชื้อเพลิงเข้าที่มีศักยภาพตามทฤษฎีแบบ Induction Furnace 0% และ แบบที่ใช้หัวเผา 2.0%

6.2 อุตสาหกรรมเหล็ก



รูปที่ 6-2 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก

ลักษณะการใช้พลังงาน

อุตสาหกรรมเหล็ก และเหล็กกล้าในประเทศไทยมีกระบวนการผลิตที่คล้ายคลึงกัน โดยแบ่งเป็นการหลอม การรีดร้อน รีดเย็น และการชุบ สำหรับการหลอมนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเหล็กแผ่นหรือเหล็กแท่ง โดยในประเทศไทยใช้เตาหลอมแบบ เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace) หรือเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction Furnace) วัตถุดิบหลักที่นำมาหลอมเป็นเศษเหล็กรีไซเคิล อุณหภูมิที่ใช้งานในเตาหลอมอยู่ที่ประมาณ 1,500-1,750°C

แหล่งความร้อนทิ้ง

มีไอเสียที่ปล่อยทิ้งจากการหลอมตรงจุดปล่อยที่อุณหภูมิสูงถึง 1000-1,450°C โดยโรงงานบางแห่งมีการก่อสร้างอิฐรังผึ้งไว้สะสมพลังงานความร้อนเพื่อแลกเปลี่ยนกับอากาศก่อนที่จะเข้าหั่วเผาไหม้ ซึ่งสามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าหั่วเผาไหม้ได้ประมาณ 300-400 °C หรือทำการปล่อยทิ้งโดยผ่านเครื่องดักจับฝุ่นก่อนจะปล่อยทิ้งโดยไม่ได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ ที่จุดปล่อยปล่องยังคงมีอุณหภูมิปล่อยทิ้งประมาณ 200-300°C ถือว่ายังมีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ อาจนำมาอุ่นน้ำเพื่อให้ได้น้ำร้อนใช้งานในกระบวนการผลิต

ในส่วน of โรงงานรีดร้อนความร้อนที่มีการปล่อยทิ้งมีอยู่ 2 จุดที่น่าสนใจ คือ เตาอุ่นขึ้นงาน (Reheating Furnace) โดยอุณหภูมิที่ปล่อยทิ้งจากเตาอุ่นขึ้นงานมีค่าระดับกลาง-สูง ถึง 700-1,100°C ซึ่งถือว่ามีความศักยภาพในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้มาก ถูกนำไปใช้โดยการอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาไหม้โดยใช้เทคโนโลยี Regenerative Burner Recuperator Regenerator และ Direct Contact นอกจากนี้สามารถอุ่นสารตัวกลางในการผลิตไฟฟ้าจาก Organic Rankine Cycle (ORC) ได้ ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวมของโรงงานรีดร้อนความร้อนอยู่ที่ 16.1% ดังตารางที่ 6-3

ตารางที่ 6-3 สรุปศักยภาพความร้อนทิ้งของอุตสาหกรรมเหล็กรีดร้อน

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ C°	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากเตาเผาอุ่น (Reheating Furnace)	กลาง-สูง	700-1000	อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาใหม่	Regenerative Burner	16.1%
			อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาใหม่	Recuperator	
			อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาใหม่	Regenerator	
			อุ่น/อบ วัสดุดิบ	Direct Contact	
			อุ่นสารตัวกลางในการผลิตไฟฟ้า	Organic Rankine Cycle (ORC)	
อากาศร้อนจากผลิตภัณฑ์	ต่ำ		อุ่น/อบ วัสดุดิบ	Direct Contact	

ในส่วน of โรงงานรีดเย็นความร้อนที่มีศักยภาพในการนำกลับมาใช้มี 3 จุด คือ จากหม้อไอน้ำจากบ่อชุบ และน้ำร้อนจากบ่อชุบ โดยก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิระดับต่ำ-กลาง $190-350^{\circ}C$ ใช้เทคโนโลยี Air Preheater และ Economizer อุ่นอากาศเข้าเตาเผาใหม่หม้อไอน้ำและอุ่นน้ำป้อน ก๊าซไอเสียจากบ่อชุบมีอุณหภูมิประมาณ $400^{\circ}C$ สามารถติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Recuperator อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาใหม่ น้ำทิ้งจากบ่อชุบที่มีอุณหภูมิต่ำสามารถนำความร้อนกลับมาใช้ได้โดยเทคโนโลยี Heat Pump และ Thermal Air-conditioner อุตสาหกรรมเหล็กรีดเย็นมีศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวมของอุตสาหกรรมรีดเย็นเท่ากับ 0% ล้างผิวรีดเย็นเท่ากับ 7.5% และชุบ 6.3% ดังตารางที่ 6-4

ตารางที่ 6-4 สรุปศักยภาพความร้อนทิ้งของอุตสาหกรรมเหล็กรีดเย็น

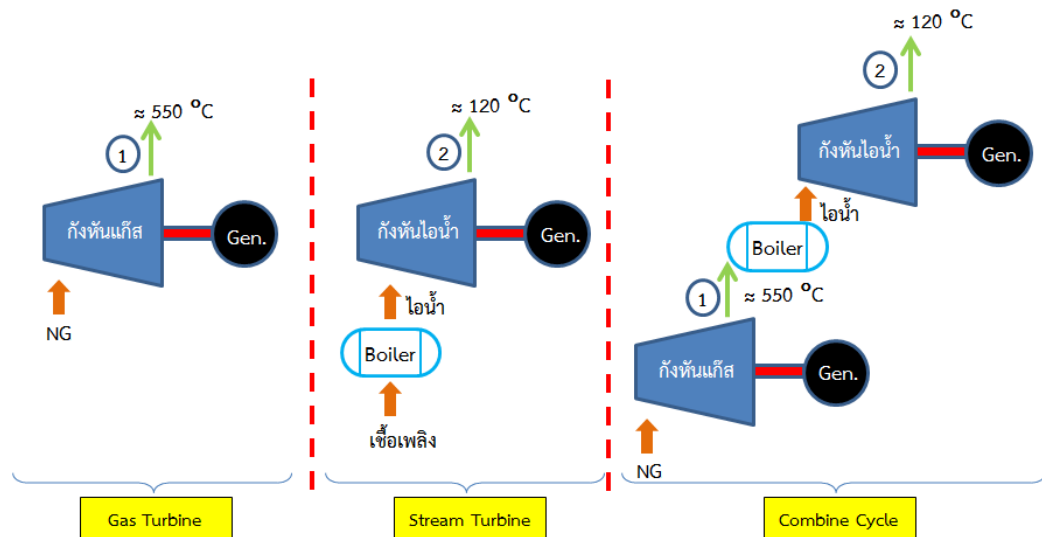
แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ °C	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ	ต่ำ-กลาง	190-350	อุ่นอากาศเข้าเผาไหม้หม้อไอน้ำ	Air Preheater	รีดเย็น 0% ล้างผิตรีดเย็น 7.5% ชุบ 6.3%
			อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Economizer	
ก๊าซไอเสียจากบ่อชุบ	ต่ำ	400	อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาไหม้	Recuperator	
น้ำทิ้งจากบ่อชุบ	ต่ำ		เครื่องทำน้ำร้อน	Heat Pump	
			เครื่องทำอากาศร้อน	Thermal Air conditioner	

นอกจากนี้อุตสาหกรรมเหล็กยังมีอีกกระบวนการคือโรงงานหลอมเหล็กมีความร้อนทิ้งสองจุดคือ ก๊าซไอเสียจากเตาหลอมเหล็กและอากาศร้อนจากได้จากการปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัว ความร้อนจากเตาหลอมมีอุณหภูมิระดับสูง อยู่ที่ 1000-1450 °C สามารถนำไปใช้อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาไหม้โดยเทคโนโลยี Oxy Burner Regenerative Burner และ Air Preheater ได้ หรือใช้อุ่นหรืออบวัตถุดิบก่อนเผา หรือนำความร้อนทิ้งไปอุ่นสารตัวกลางในการผลิตไฟฟ้าด้วย Organic Rankine Cycle (ORC) ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวมอยู่ที่ 11.2% ดังตารางที่ 6-5

ตารางที่ 6-5 สรุปศักยภาพความร้อนทิ้งของอุตสาหกรรมหลัก (หลอมเหล็ก)

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ C^0	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากเตาหลอม	กลาง	1000-1450	อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาไหม้	Oxy Burner	11.2%
				Regenerative Burner	
				Air Preheater	
			อุ่น/อบ วัตถุดิบ	Direct Contact	
			อุ่นสารตัวกลางในการผลิตไฟฟ้า	Organic Rankine Cycle (ORC)	
อากาศร้อนจากผลิตภัณฑ์	ต่ำ		อุ่น/อบ วัตถุดิบ	Direct Contact	

6.3 อุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 6-3 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า

ลักษณะการใช้พลังงาน

ในโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ จะใช้เชื้อเพลิงป้อนให้หม้อไอน้ำ เพื่อผลิตไอน้ำ ในกรณีกังหันก๊าซจะเข้าเผาไหม้ในห้องเผาไหม้

แหล่งความร้อนทิ้ง

อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า ความร้อนทิ้งที่ปล่อยออกมามีจำนวนน้อย เนื่องจากโรงไฟฟ้าได้ถูกออกแบบให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ รวมถึงการนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้งานอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าแบบ Combined Cycle จะมีก๊าซไอเสียจาก Gas Turbine ถูกนำกลับมาใช้งานต้มน้ำหม้อไอน้ำแบบ (Heat Recovery Steam Generator) จากอุณหภูมิ 40-100°C เป็น 470-570°C เพื่อนำไปผลิตไฟฟ้าแบบ Steam Turbine โดยก๊าซไอเสียหลังจากอุณหภูมิไอน้ำปล่อยทิ้งที่อุณหภูมิประมาณ 100-140°C ซึ่งก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งนี้ไม่สามารถจะนำกลับมาใช้งานในกระบวนการผลิตได้ เนื่องจากในกระบวนการผลิตต้องการอุณหภูมิที่สูงกว่าที่ก๊าซไอเสียปล่อยทิ้ง ส่วนน้ำคอนเดนเสทได้มีการนำกลับมาใช้งานในการอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำรวมถึงการนำความร้อนจากน้ำโบว์ลวาร์วกลับมาใช้งานด้วยเช่นกัน ดังนั้นศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวมของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าแบบ Combine Cycle และ Steam Turbine อยู่ที่ 1% แสดงในตารางที่ 6-6

อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าแบบ Gas Turbine และ Gas Engine ก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกมามีอุณหภูมิประมาณ 450-540°C สามารถนำกลับไปใช้กระบวนการอุ่นและให้ความร้อนด้วย Heat Exchanger/Process Heating ไปทำความเย็นด้วย Absorption Chiller หรืออาจใช้ Organic Rankine Cycle (ORC) ได้ โดยศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวมของ Gas Engine เท่ากับ 14.1% และ Gas Turbine เท่ากับ 18%

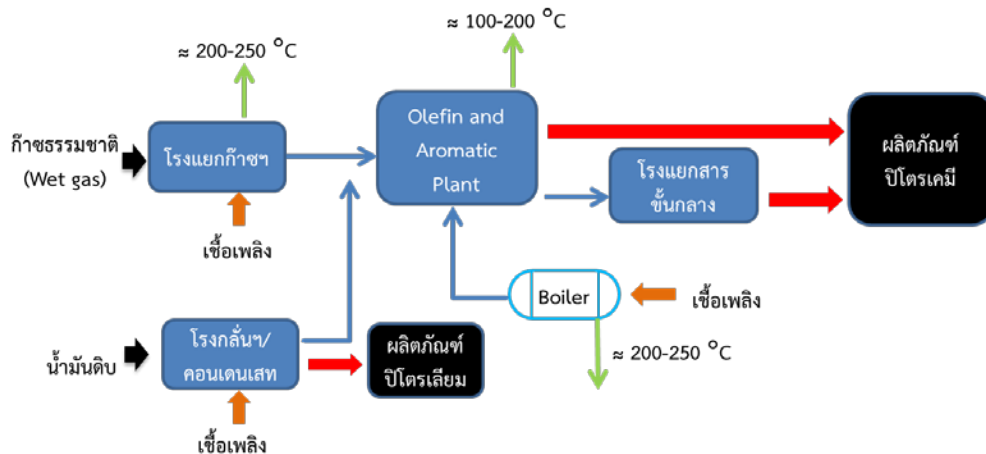
ตารางที่ 6-6 ความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า Steam Turbine/ Combined Cycle

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ °C	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ	กลาง	250-615	อุ่นอากาศเข้าเผาไหม้หม้อไอน้ำ	Air Preheater	Combine Cycle 1%
			อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Economizer	Steam Turbine 1%
ไอน้ำจาก Turbine			เครื่องทำความเย็น	Absorption Chiller	

ตารางที่ 6-7 ความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า Gas Turbine/Gas Engine

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ °C	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวมศักยภาพตามทฤษฎี
ก๊าซไอเสีย Gas turbine และ Gas engine	กลาง	450-540	อุ่นและให้ความร้อนกระบวนการ	Heat Exchanger/Process Heating	Gas Engine 14.1% Gas Turbine 18%
			เครื่องทำความเย็น	Absorption Chiller	
			อุ่นสารตัวกลางในการผลิตไฟฟ้า	Organic Rankine Cycle (ORC)	
			อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Steam Turbine	

6.4 อุตสาหกรรมปิโตรเคมี



รูปที่ 6-4 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

ลักษณะการใช้พลังงาน

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีจะมีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนมาก ทำให้ยากต่อการปรับปรุงระบบ และโรงงานปิโตรเคมีขนาดใหญ่จะมีการปรับปรุงทุกๆ 3-4 ปี โดยมีอุปกรณ์หลักในการผลิตคือ Heater เพื่อใช้เพิ่มอุณหภูมิ และหอกลั่น ใช้สำหรับแยกสารเคมีต่างๆ ซึ่งแหล่งความร้อนหลักเป็นไอน้ำ

แหล่งความร้อนทิ้ง

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีความร้อนทิ้งอุณหภูมิระดับต่ำ ที่ 100-250°C โดยมีจุดปล่อยความร้อนทิ้งที่น่าสนใจอยู่ 3 จุด ได้แก่

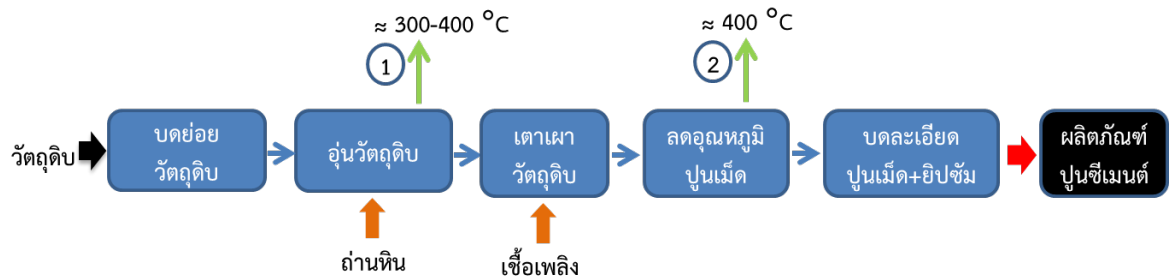
1. ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำเตาเผาปล่อยออกทางปล่องระบายความร้อน
2. ปล่อยออกทางช่องระบายความร้อนด้านบนของกระบวนการผลิต (Fin Fan)
3. ตัวผลิตภัณฑ์ เพราะผลิตภัณฑ์หรือสารเคมีที่เพิ่งออกจากกระบวนการผลิตจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 100°C ขึ้นไป

ซึ่งเทคโนโลยีในการนำความร้อนทิ้งที่น่าสนใจได้แก่ การนำความร้อนทิ้งจากแหล่งดังกล่าวมาอุ่นวัตถุดิบ การใช้ระบบ Air preheater แลกเปลี่ยนความร้อนให้อากาศที่จะเข้าเผาไหม้ การใช้ Waste Heat Boiler และการผลิตไฟฟ้า โดยสามารถสรุปได้ในตารางที่ 6-8

ตารางที่ 6-8 ศักยภาพความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ C°	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	200-250	อุ่นอากาศเข้าเผาไหม้หม้อไอน้ำ	Air Preheater	Upstream 2.4% Downstream 9.3%
			อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Economizer	
น้ำ Blow Down จากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	80-90	อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Direct Contact	
น้ำ Condensate จากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	80-90	อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Direct Contact	
ก๊าซไอเสียจากเตาเผา	ต่ำ	200-250	อุ่น/อบ วัตถุดิบ	Direct Contact	
ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	200-250	อุ่นสารตัวกลางในการผลิตไฟฟ้า	Organic Rankine Cycle (ORC)	
			เครื่องทำความเย็น	Absorption Chiller	
			เครื่องผลิตไอน้ำ	Condensing Boiler	
			อุ่นและให้ความร้อนกระบวนการ	Heat Exchanger/ Process Heating	
ความร้อนจากผลิตภัณฑ์	ต่ำ	200-250	อุ่นและให้ความร้อนกระบวนการ	Direct Contact	

6.5 อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์



รูปที่ 6-5 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

ลักษณะการใช้พลังงาน

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีกระบวนการผลิตคล้ายคลึงกัน มีการใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน บดละเอียด ป้อนเข้าไปที่เตาเผา และ Precaliner เพื่อเผาวัตถุดิบให้เกิดปฏิกิริยาเคมี และ แคลเซียมออกไซด์แตกตัว และคาร์บอนไดออกไซด์หลุดออกมา

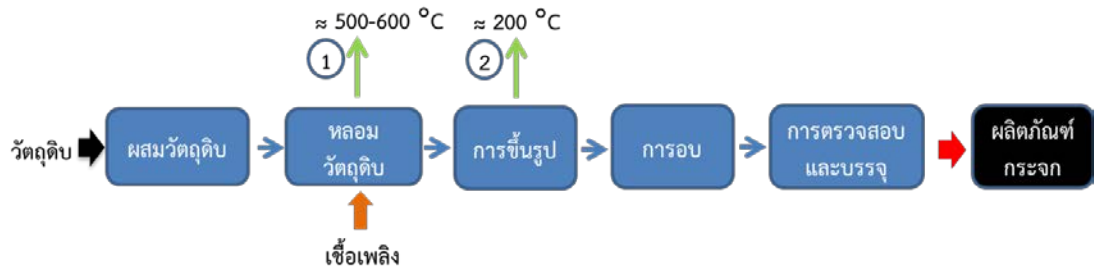
แหล่งความร้อนทิ้ง

ความร้อนทิ้งที่น่าสนใจมี 2 จุดได้แก่ ความร้อนทิ้งบริเวณปล่องความร้อนทิ้งหลังจากอุ่นวัตถุดิบแล้ว (Precaliner) โดยมีอุณหภูมิความร้อนทิ้งระดับกลาง ประมาณ 300-400°C และส่วนใหญ่จะนำความร้อนทิ้งจากจุดนี้ไปผลิตไฟฟ้าและก๊าซร้อนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าจะนำไปอุ่นวัตถุดิบกับถ่านหินได้อีก ส่วนความร้อนทิ้งอีกจุดที่น่าสนใจคือกระบวนการลดความร้อนของเม็ดปูน (Clinker Cooler) ซึ่งเป็นการลดอุณหภูมิของเม็ดปูนหลังจากผ่านเตาเผา (Rolling Kiln) แล้ว โดยใช้พัดลมขนาดใหญ่เป่าลมเข้าโดยตรง โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศร้อนที่ได้ประมาณ 400°C หลังจากนั้นนำอากาศร้อนที่ได้ไปเข้าอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ Waste Heat Boiler เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป โดยสามารถสรุปได้ในตารางที่ 6-9

ตารางที่ 6-9 ศักยภาพความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ °C	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจาก Precaliner และ Clinker Cooler	กลาง	300-400	อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Steam Turbine	7.30%
			อุ่นสารตัวกลางในการผลิตไฟฟ้า	Organic Rankine Cycle (ORC)	

6.6 อุตสาหกรรมแก้วและกระจก



รูปที่ 6-6 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมแก้วและกระจก

ลักษณะการใช้พลังงาน

แก้วและกระจก กระบวนการผลิตแก้วและกระจก มีความคล้ายคลึงกัน โดยเครื่องจักรอุปกรณ์หลักที่มีความร้อนทิ้งที่น่าสนใจได้แก่ เตาหลอม โดยจะใช้เชื้อเพลิงเป็นหลัก และมีอุณหภูมิทำงานภายในเตาประมาณ 1,500°C

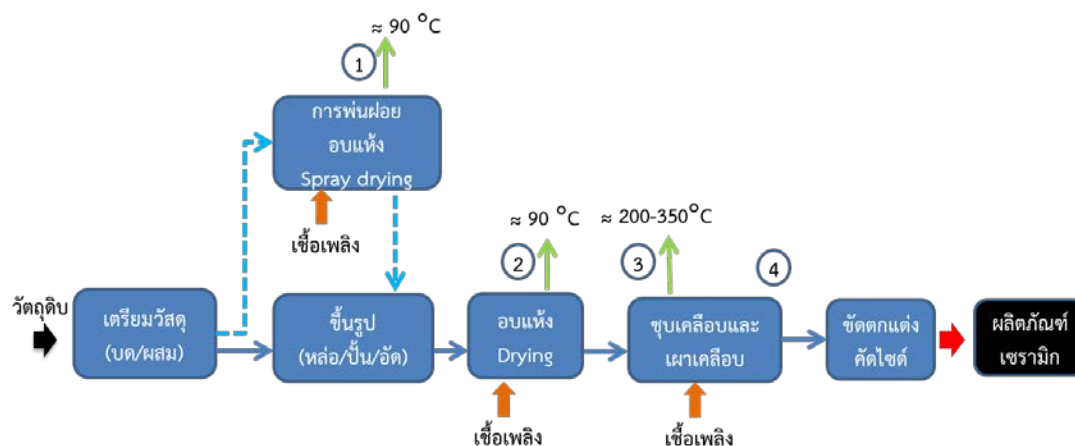
แหล่งความร้อนทิ้ง

โรงงานส่วนใหญ่จะใช้เตาหลอมประเภท Regenerative Burner และก๊าซเสียที่ได้จะปล่อยทิ้งทางปล่องระบายความร้อน โดยมีความร้อนทิ้งอุณหภูมิระดับกลางที่ประมาณ 500-600°C ความร้อนทิ้งส่วนใหญ่นำไปใช้เพื่ออุ่นและอบวัตถุดิบ น้ำและสารตัวกลางเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใน Steam Turbine ส่วนความร้อนทิ้งจากระบวนการขึ้นรูป โดยมีความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำประมาณ 200°C ความร้อนทิ้งส่วนใหญ่นำไปใช้เพื่ออุ่นและอบ วัตถุดิบ ดังสรุปในตารางที่ 6-10

ตารางที่ 6-10 ศักยภาพความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมแก้วและกระจก

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ C°	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากเตาหลอม	สูง	1300-1500	อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาใหม่	Oxy Burner	กระจก 16.8% ขวดแก้ว 17.6% ฉนวนใยแก้ว 7.5%
				Regenerative Burner	
				Air Preheater	
				Recuperator	
			อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาใหม่	Regenerator	

6.7 อุตสาหกรรมเซรามิก



รูปที่ 6-7 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก

ลักษณะการใช้พลังงาน

อุตสาหกรรมเซรามิก เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีความร้อนทิ้งที่น่าสนใจอยู่ที่การใช้เตาเผาชนิดต่างๆ ได้แก่ เตาเผาเคลือบ Shuttle kiln Roller Kiln และ Tunnel kiln อุณหภูมิในเตาประมาณ 1,200°C นอกจากนี้ยังมีเตาอบ และเตาพ่นฝอยอบแห้งอุณหภูมิในเตาประมาณ 570°C

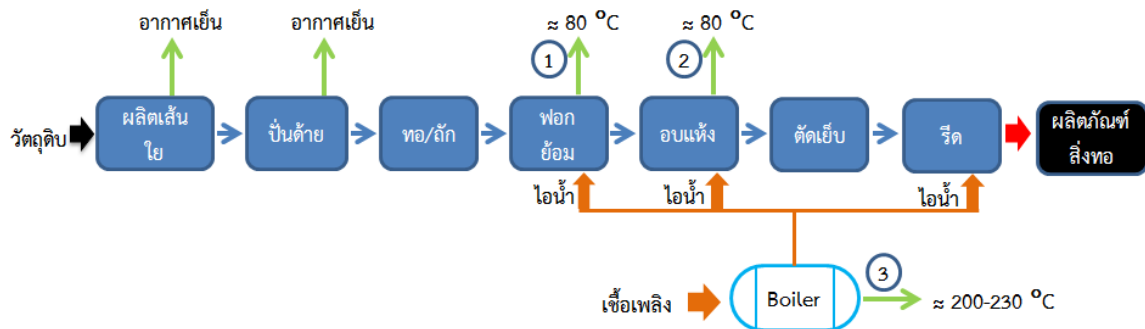
แหล่งความร้อนทิ้ง

แหล่งความร้อนทิ้งส่วนใหญ่อยู่ที่ก๊าซไอเสียจากเตาเผา ซึ่งมีความร้อนทิ้งอุณหภูมิระดับต่ำและกลาง ที่ 250-650 °C สามารถนำไปผ่านเทคโนโลยีต่างๆ กลับไปอุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาใหม่ นอกจากนี้มีการนำไปอุ่นวัตถุดิบซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นวัตถุดิบอยู่ที่ประมาณ 120°C ผ่านเทคโนโลยี heat exchanger และต่อท่อตรง ดังข้อมูลในตารางที่ 6-11 ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวมแบ่งตามชนิดของเตาเผาดังนี้ Shuttle kiln 20.4% Tunnel kiln 13.4% Roller kiln 0.5% และแบบผสม 6.0%

ตารางที่ 6-11 ศักยภาพความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมเซรามิก

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ $^{\circ}\text{C}$	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากเตาเผา	ต่ำ-กลาง	250-650	อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาใหม่	Oxy Burner	Shuttle kiln 20.4% Tunnel kiln 13.4% Roller kiln 0.5% แบบผสม 6.0%
				Regenerative Burner	
				High Efficiency Burner/Premix Burner	
				Air Preheater	
ก๊าซไอเสียจากเตาเผา	ต่ำ-กลาง	250-650	อุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผาใหม่	Recuperator	
			อุ่น/อบ วัตถุดิบ	Direct Contact	
อากาศร้อนจากผลิตภัณฑ์	ต่ำ	200	อุ่น/อบ วัตถุดิบ	Direct Contact	

6.8 อุตสาหกรรมสิ่งทอ



รูปที่ 6-8 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ลักษณะการใช้พลังงาน

อุตสาหกรรมสิ่งทอมีกระบวนการผลิตที่ใช้ไอน้ำจากหม้อไอน้ำเป็นหลัก ซึ่งมีบางแห่งมีการใช้หม้อน้ำมันร้อนควบคู่กันด้วย ไอน้ำที่ผลิตใช้ในการต้มน้ำย้อม ให้มีอุณหภูมิตามโปรแกรมการย้อม

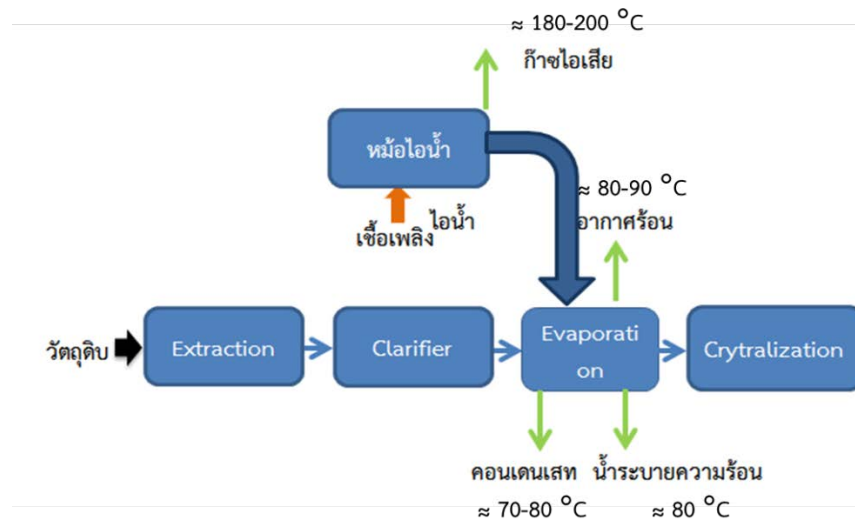
แหล่งความร้อนทิ้ง

เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีความร้อนทิ้งที่น่าสนใจได้แก่ หม้อไอน้ำ มีอุณหภูมิไอเสียระดับต่ำที่ปล่อยทิ้งที่ปล่อยไอเสียประมาณ 200-230°C สำหรับโรงงานที่ใช้หม้อน้ำมันร้อน จะมีอุณหภูมิไอเสียปล่อยทิ้งที่ปล่อยไอเสียประมาณ 300°C โดยความร้อนทั้งส่วนนี้สามารถนำกลับมาอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาไหม้ได้ เตาอบผ้า ซึ่งอุณหภูมิใช้งานภายในเตาประมาณ 120-140°C และอุณหภูมิก๊าซร้อนที่ปล่อยทิ้งประมาณ 70-80°C โดยประมาณ เครื่องย้อมผ้า อุณหภูมิน้ำย้อม ขณะใช้งานอยู่ที่ประมาณ 130-140°C และน้ำระบายความร้อน อุณหภูมิ 80°C ซึ่งอาจใช้ Heat Exchanger ในการแลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้งานต่อไปได้ ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวมของอุตสาหกรรมสิ่งทอขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตว่าเป็นแบบต่อเนื่องหรือไม่ ต่อเนื่องจากข้อมูลสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6-12

ตารางที่ 6-12 ศักยภาพความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ $^{\circ}\text{C}$	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากเครื่องอบ	ต่ำ	150-180	อุ่นอากาศก่อนเข้าเครื่องอบ	High Efficiency Burner/Premix Burner	กระบวนการต่อเนื่อง 12.4% กระบวนการไม่ต่อเนื่อง 20.9%
ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ	ต่ำ-กลาง	150-280	อุ่นอากาศเข้าเผาไหม้หม้อไอน้ำ	Air Preheater	
			อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Economizer	
อากาศร้อนจากกระบวนการ	ต่ำ		เครื่องผลิตไอน้ำ	Condensing Boiler	
			อุ่นและให้ความร้อนกระบวนการ	Heat Exchanger/Process Heating	
ก๊าซไอเสียจากจุดต่างๆ	ต่ำ		เครื่องทำความเย็น	Absorption Chiller	
น้ำ Blow Down จากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	80-90	อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Direct Contact	
Flash steam จากหม้อไอน้ำ	ต่ำ		อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Direct Contact	
น้ำ Condensate จากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	80-90	อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Direct Contact	

6.9 อุตสาหกรรมน้ำตาล



รูปที่ 6-9 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมน้ำตาล

ลักษณะการใช้พลังงาน

อุตสาหกรรมน้ำตาลมีกระบวนการผลิตที่ใช้ไอน้ำจากหม้อไอน้ำเป็นหลัก ใช้ไอน้ำในขั้นตอนการเคี้ยวและระเหย และมักมีการผลิตไฟฟ้าใช้ในโรงงาน หรือจ่ายเข้าระบบ เชื้อเพลิง คือ ชานอ้อย

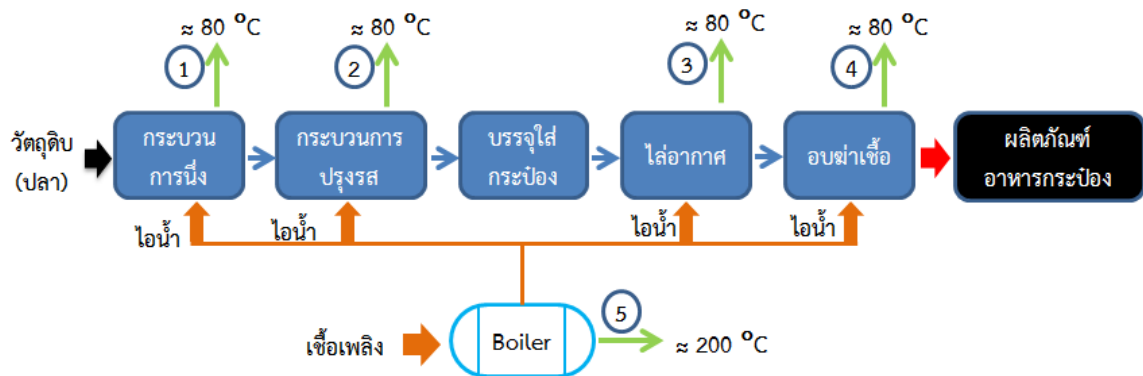
แหล่งความร้อนทิ้ง

ความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมน้ำตาลเกือบถือว่าไม่มี เนื่องจากมีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน และในแต่ละขั้นตอนมีการนำความร้อนทิ้งจากขั้นตอนก่อนหน้ามาใช้อย่างต่อเนื่องอยู่แล้ว โดยเครื่องจักรอุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นหม้อต้มและหม้อเคี้ยวที่มีอุณหภูมิไอเสียระดับต่ำ ระหว่าง $180-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยใช้ Heat Exchanger ในการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อนำมาใช้ในการอุ่นน้ำในกระบวนการต่างๆ และอุ่นสารตัวกลางในการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังข้อมูลสรุปในตารางที่ 6-13

ตารางที่ 6-13 ศักยภาพความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมน้ำตาล

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ C ^o	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	160-250	อุ่นอากาศเข้าเผาไหม้หม้อไอน้ำ	Air Preheater	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
			อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Economizer	
น้ำระบายความร้อน	ต่ำ	32-50	เครื่องทำน้ำร้อน	Heat Pump	
น้ำร้อนจากจุดต่างๆ	ต่ำ		อุ่นและให้ความร้อนกระบวนการ	Heat Exchanger/ Process Heating	
น้ำ Blow Down จากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	80-90	อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Direct Contact	
Flash steam จากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	150-180	อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Direct Contact	
น้ำ Condensate จากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	80-90	อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Direct Contact	

6.10 อุตสาหกรรมอาหาร



รูปที่ 6-10 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอาหาร

ลักษณะการใช้พลังงาน

อุตสาหกรรมอาหารมีกระบวนการผลิตที่ใช้ไอน้ำจากหม้อไอน้ำเป็นหลัก ที่สำคัญได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง และอาหารแช่แข็งที่มีการทำสุก เครื่องต้ม และไอศกรีม โรงงานที่เข้าสำรวจเป็นโรงงานอาหารกระป๋อง

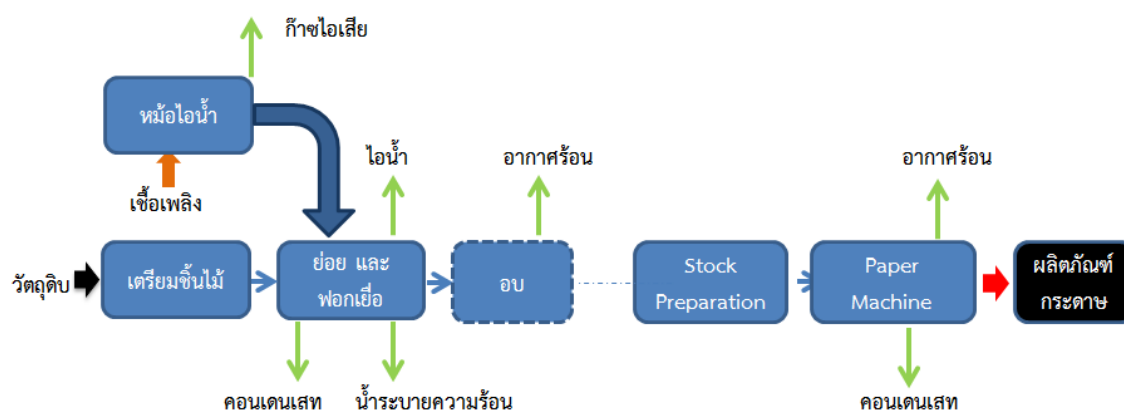
แหล่งความร้อนทิ้ง

เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีความร้อนทิ้งที่น่าสนใจได้แก่ หม้อไอน้ำ อุตสาหกรรมอาหารมีกระบวนการผลิตที่ใช้ไอน้ำจากหม้อไอน้ำเป็นหลัก เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีความร้อนทิ้งที่น่าสนใจได้แก่ หม้อไอน้ำ มีความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ ปLOYทิ้งที่ปล่อยไอเสียประมาณ 200°C โดยความร้อนทิ้งส่วนนี้สามารถนำกลับมาอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาไหม้ได้ รวมถึง หม้อนึ่ง เครื่องอบฆ่าเชื้อ ดังสรุปในตารางที่ 6-14 และมีไอร้อนทิ้งอุณหภูมิประมาณ 80-90°C กลับมาอุ่นวัตถุดิบได้

ตารางที่ 6-14 ศักยภาพความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมอาหาร

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ °C	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากเครื่องอบ	ต่ำ		ลดปริมาณก๊าซไอเสีย	High Efficiency Burner/Premix Burner	อาหารกระป๋อง 5.5%
ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	120-200	อุ่นอากาศเข้าเผาไหม้หม้อไอน้ำ	Air Preheater	
			อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Economizer	
น้ำระบายความร้อน	ต่ำ	35-90	เครื่องทำน้ำร้อน	Heat Pump	
ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำและเครื่องอบ	ต่ำ		ลดปริมาณก๊าซไอเสีย	Condensing Boiler	
			อุ่นและให้ความร้อนกระบวนการ	Heat Exchanger/Process Heating	
			เครื่องทำความเย็น	Absorption Chiller	
อากาศเย็นจากจุดต่างๆ	ต่ำ		ถ่ายเทความเย็นให้กระบวนการ	Enthalpy Recovery/Heat Wheel	
น้ำ Blow Down จากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	80-90	อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Direct Contact	

6. 11 อุตสาหกรรมกระดาษ



รูปที่ 6-11 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมกระดาษ

ลักษณะการใช้พลังงาน

อุตสาหกรรมกระดาษแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือการผลิตเยื่อกระดาษ และการผลิตกระดาษ มีกระบวนการผลิตที่ใช้ไอน้ำจากหม้อไอน้ำเป็นหลัก โรงเยื่อจะใช้ไอน้ำในขบวนการย่อย และสกัดเยื่อ ขณะที่โรงงานผลิตกระดาษจะใช้ไอน้ำในการอบแห้งน้ำเยื่อ และขึ้นรูปกระดาษ การให้ความร้อนผ่านลูกกลิ้งที่จ่ายไอน้ำ

แหล่งความร้อนทิ้ง

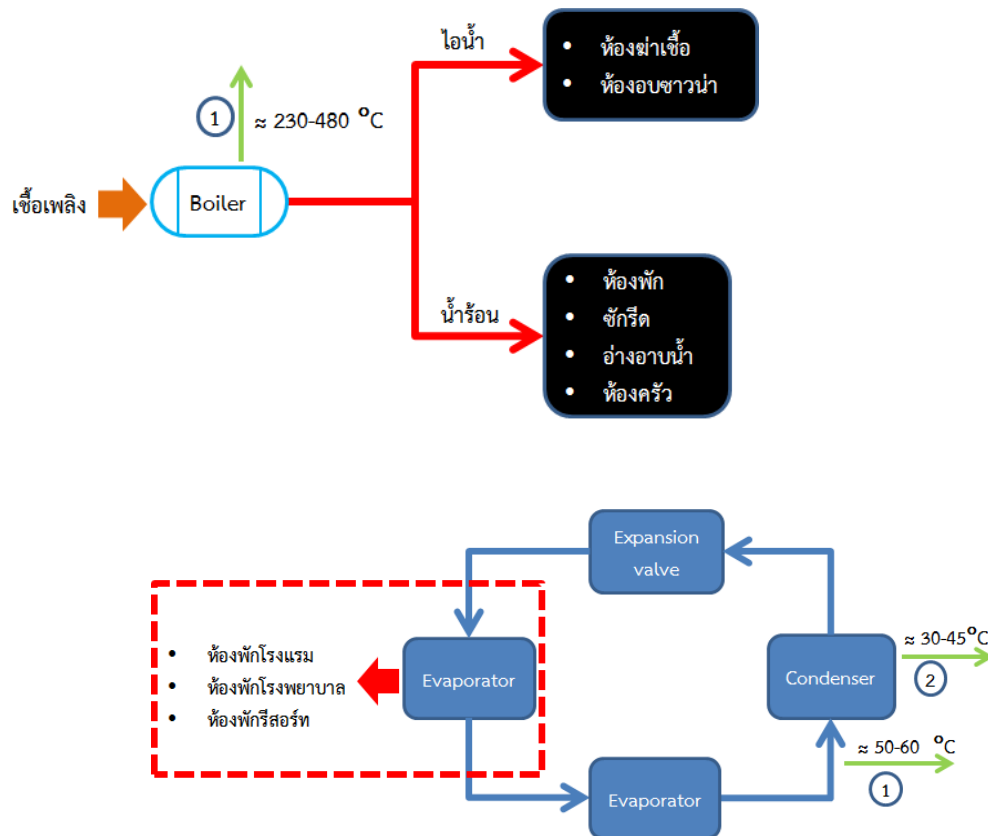
เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีความร้อนทิ้งที่น่าสนใจได้แก่ หม้อไอน้ำ มีความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำที่ปล่อยไอเสียประมาณ 200°C โดยความร้อนทิ้งส่วนนี้สามารถนำกลับมาอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาไหม้ได้ และส่วนใหญ่ระบบการผลิตได้ออกแบบให้มีการนำความร้อนทิ้งไปใช้ยังกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องอยู่แล้วทำให้ไม่มีการร้อนทิ้งจากไอน้ำไปที่จุดอื่น เช่นมีการติดตั้ง Economizer เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำป้อนหม้อไอน้ำ มีการนำความร้อนทิ้งจากน้ำ Blowdown กลับมาใช้ รวมถึงการผลิตไฟฟ้าจากไอน้ำด้วย ความร้อนทิ้งที่น่าสนใจอีกจุดคือน้ำระบายความร้อนซึ่งใช้ระบายความร้อนของเครื่องจักร โดยมีอุณหภูมิไประบายความร้อนยัง Cooling อยู่ที่ 60-65°C และ

อื่นๆ ดังสรุปในตารางที่ 6-15

ตารางที่ 6-15 ศักยภาพความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมกระดาษ

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ C ^o	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นในภาพรวม
ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	150-300	อุ่นอากาศเข้าเผาไหม้หม้อไอน้ำ	Air Preheater	เยื่อกระดาษ 0.2% การผลิตกระดาษ 11.4%
			อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Economizer	
น้ำระบายความร้อน	ต่ำ		เครื่องทำน้ำร้อน	Heat Pump	
อากาศร้อนจากกระบวนการ	ต่ำ		อุ่นและให้ความร้อนกระบวนการ	Heat Exchanger/ Process Heating	
น้ำ Blow Down จากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	80-90	อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Direct Contact	
Flash steam	ต่ำ	150-180	อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Heat Exchanger	
น้ำ Condensate จากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	80-90	อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	Heat Exchanger	
ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ	ต่ำ	150-300	อุ่นสารตัวกลางในการผลิตไฟฟ้า	Organic Rankine Cycle (ORC)	

6.12 อาคารธุรกิจ



รูปที่ 6-12 การใช้พลังงานความร้อนในอาคาร

ลักษณะการใช้พลังงาน

อาคารส่วนใหญ่ ไม่มีการใช้เชื้อเพลิง หรือใช้น้อยมาก เพื่อการหุงต้ม มีอาคารธุรกิจ ประเภท โรงแรม และ โรงพยาบาลเท่านั้นที่มีการใช้เชื้อเพลิง เพื่อผลิตไอน้ำ สำหรับการซักรีด และอบผ้า และการปรุงอาหาร ในโรงแรมยังมีการใช้ผลิตน้ำร้อนสำหรับห้องพักอีกด้วย อาคารตัวอย่าง ที่เก็บข้อมูล เป็นโรงพยาบาล ประจำจังหวัด ใช้เชื้อเพลิงกับหม้อไอน้ำ

แหล่งความร้อนทิ้ง

ความร้อนทิ้ง 2 จุดหลัก คือ ก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ โดยส่วนใหญ่เป็นความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำที่ 230-480 องศา คอนเดนเสทหลายจุดที่ยังไม่ได้นำกลับมา เช่น เครื่องอบผ้า ห้องนึ่ง โรงครัว และที่ห้องเกสซ์ ที่มีการกลั่น และความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำอีกจุด คือ อากาศระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ สรุป แหล่งความร้อนและแนะนำเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในตารางที่ 6-16

ตารางที่ 6-16 ศักยภาพความร้อนทิ้งในภาคอาคารธุรกิจ

แหล่งความร้อน	ระดับอุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ C ^o	แหล่งรับความร้อน	เทคโนโลยีที่ใช้	ศักยภาพในการนำ กลับมาใช้เพิ่มขึ้นใน ภาพรวม
อากาศร้อนที่ระบาย ความร้อน	ต่ำ	25 °C	ถ่ายเทความเย็นให้ กระบวนการ	Enthalpy Recovery/Heat Wheel	22 ktoe
			อากาศร้อนที่ ระบายความร้อน	Hot water from condenser	
พลังงานแสงอาทิตย์	ต่ำ	70 °C	เครื่องทำ อากาศร้อน	Thermal Air- conditioner	
น้ำ Blow Down จาก หม้อไอน้ำ	ต่ำ	140-150 °C	อุ่นน้ำป้อน หม้อไอน้ำ	Heat Exchanger	
น้ำ Condensate จาก หม้อไอน้ำ	ต่ำ	140-160 °C	อุ่นน้ำป้อน หม้อไอน้ำ	Heat Exchanger	

6.13 สรุปมาตรการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่มีความเหมาะสม

จากการศึกษาข้างต้นที่กล่าวมาสามารถสรุปมาตรการและเทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่เป็นไปได้และเหมาะสมในแต่ละอุตสาหกรรมดังตารางที่ 6-17 โดยเครื่องหมาย ✓ หมายถึง อุตสาหกรรมนั้นๆมีความเหมาะสมที่จะใช้เทคโนโลยีหรือมาตรการนั้น ส่วนที่มีเครื่องหมาย ✓ST หมายถึง เทคโนโลยีหรือมาตรการนั้นเป็นมาตรฐานการลดความร้อนทิ้งของอุตสาหกรรมนั้นๆ แล้วในปัจจุบัน

ตารางที่ 6-17 สรุปมาตรการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในแต่ละอุตสาหกรรม

มาตรการ	หล่อโลหะ (Burner)	หล่อโลหะ (Electrical)	ปิโตรเคมี	ปูนซีเมนต์	หลอมเหล็ก	เหล็กหล่อร้อน	เหล็กรีดเย็น/ชุบ	แก้วและกระจก	เซรามิก	สิ่งทอ	ผลิตไฟฟ้าST,CC	ผลิตไฟฟ้าGT,GE	กระดาษ	อาหาร	น้ำตาล	อาคาร/ธุรกิจ	อิเล็กทรอนิกส์
1. เทคโนโลยีที่ลดความร้อนทิ้ง (Waste heat Reduction)																	
1.1 การใช้หัวเผาไหม้แบบ Oxy-Burner					✓				✓								
1.2 การใช้หัวเผาไหม้แบบ Regenerative Burner	✓				✓	✓			✓								
1.3 การใช้หัวเผาไหม้แบบ High Efficiency Burner/Premix Burner									✓	✓				✓			
2. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)																	
2.1 การติดตั้ง Air Preheater			✓ _{ST}		✓		✓		✓	✓	✓ _{ST}		✓	✓	✓		
2.2 การติดตั้ง Economizer			✓ _{ST}				✓			✓	✓ _{ST}		✓	✓	✓		
2.3 การติดตั้ง Recuperator						✓ _{ST}	✓ _{ST}		✓								
2.4 การติดตั้ง Regenerator	✓					✓											
3. การอุ่นขึ้นงาน (Load Preheating)																	
3.1 อุ่น/อบ วัตถุดิบ	✓	✓	✓		✓	✓			✓								
4. การนำความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำกลับมาใช้ (Low temp waste heat)																	

มาตรการ	หม้อไอน้ำ (Burner)	หม้อไอน้ำ (Electrical)	ปั๊มความร้อน	ปั๊มความร้อน	หม้อไอน้ำหลัก	หม้อไอน้ำสำรอง	หม้อไอน้ำเย็น/ดูด	หม้อไอน้ำจก	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ ST,CC	หม้อไอน้ำ GT,GE	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ/ธุรกิจ	หม้อไอน้ำ
4.1 Heat Pump (Electric, Absorption)							✓	✓					✓	✓	✓		✓
4.2 Condensing Boiler			✓														
4.3 Heat Exchanger/ Process Heating			✓ ST							✓				✓			
5. การนำความร้อนทิ้งมาใช้ในการปรับอากาศ (Waste heat Recovery for Air Conditioning)										✓		✓	✓	✓	✓		
5.1 Absorption Chiller			✓				✓	✓									
5.2 Enthalpy Recovery/ Heat Wheel										✓	✓	✓		✓			✓
5.3 Hot water from Condenser																✓	
5.4 Thermal Air-conditioner เช่น Liquid desiccant							✓	✓								✓	✓
6. ระบบไอน้ำ (Steam)																	
6.1. การนำน้ำ Blow down กลับมาใช้			✓				✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓
6.2. การใช้ Flash steam recovery										✓			✓	✓	✓		
6.3. การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้			✓ ST				✓ ST	✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓
7. การผลิตไฟฟ้า (Power Generation)																	
7.1 การนำความร้อนทิ้งด้วยวัฏจักรออร์แกนิก (ORC,Organic Rankine Cycle)			✓	✓	✓	✓						✓	✓	✓			

มาตรการ	หม้อไอน้ำ (Burner)	ห่อโลหะ (Electrical)	ปั๊มไอน้ำ	ปั๊มไฮดรอลิก	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ	หม้อไอน้ำ
7.2 การนำความร้อนทิ้งมาผลิตไฟฟ้าด้วย Steam turbine			✓										✓				
8. การนำความร้อนจากผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ (Product Heat)			✓														

บทที่ 7

การศึกษาความคุ้มค่าของการดำเนินมาตรการและข้อมูลช่วยวิเคราะห์ใน การเลือกใช้เทคโนโลยี

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงข้อมูลอยู่สองส่วน ส่วนแรกคือความคุ้มค่าของการดำเนินมาตรการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของมาตรการต่างๆ ข้อมูลหลักประกอบด้วย ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Payback period) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) ของแต่ละมาตรการ และส่วนที่สองคือข้อมูลช่วยวิเคราะห์ในการเลือกใช้เทคโนโลยี ซึ่งประกอบด้วย ร้อยละผลประโยชน์ ระยะเวลาคืนทุน และเงินลงทุนของเทคโนโลยีแต่ละประเภท

7.1 การลงทุนดำเนินมาตรการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

จากภาพรวมของการดำเนินมาตรการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในโรงงานที่มีการดำเนินการแล้ว สามารถสรุป ขนาดเงินลงทุน ร้อยละของผลประโยชน์ และระยะเวลาคืนทุน ทั่วไปได้ดังนี้

ตารางที่ 7-1 แสดงร้อยละผลประโยชน์ ระยะเวลาคืนทุน และเงินลงทุนของเทคโนโลยีแต่ละประเภท

ลำดับ ที่	เทคโนโลยี	ร้อยละผล ประหยัด	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	เงินลงทุน
1	Economizer	10-20	1-2	100,000 บาท/ตันไอน้ำ
2	Heat Exchanger	20	1-2	30,000-40,000 บาท/ ตารางเมตร
3	absorption chiller	40-50	2-4	20,000-50,000 บาท/ตัน ความเย็น
4	heat pump	40-70	2-5	12,000-30,000 บาท/kW
5	heat pipe	30-40	1-2	750,000-1,500,000 บาท/system
6	Oxy-Fuel Burner	35	4	1,500,000 บาท/set
7	Recuperator	25	2-4	N/A
8	Self-Recuperative Burner	30	1.8	600,000 บาท/set
9	Regenerative Burner	50	2	3,300,000 บาท/set
10	การผลิตไฟฟ้าด้วย Organic Rankine Cycle	-	6-7	150,000-200,000 บาท/ กิโลวัตต์

7.2 การศึกษาความคุ้มค่ารายการมาตรการ

ในหัวข้อนี้ จะศึกษาผลตอบแทนการลงทุนในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้แต่ละมาตรการ ทั้งนี้เนื่องจากความคุ้มค่าจะขึ้นกับ ราคาเชื้อเพลิง เงินลงทุน ชั่วโมงการใช้งาน เพื่อความสะดวกได้แสดงการคำนวณ และแทนค่าตัวแปรข้างต้นในรูปแบบตาราง และกราฟ ซึ่งผู้ประกอบการจะมองเห็นความคุ้มค่าเบื้องต้น ซึ่งหากสนใจก็ควรศึกษาโดยละเอียดต่อไป ดังนั้นเครื่องมือในบทนี้จะเป็นเครื่องกรองมาตรการเบื้องต้นว่ามีความคุ้มค่าในการดำเนินการหรือไม่

เครื่องมือที่ใช้วัดความคุ้มค่าที่นิยมมี 2 เครื่องมือ คือ ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Payback period) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) ระยะเวลาคืนทุนจะดูเฉพาะจำนวนปีที่ผลตอบแทนสะสมเท่ากับเงินลงทุนเท่านั้น ส่วนอัตราผลตอบแทนภายในจะพิจารณาผลที่ได้ตลอดอายุโครงการเป็นเปอร์เซ็นต์ คล้ายกับอัตราดอกเบี้ยที่ได้จากเงินต้น (ซึ่งก็คือเงินที่ลงทุนไป) ถ้าอายุโครงการนานผลตอบแทนก็จะสูงด้วย เนื่องจากเสมือนได้ดอกเบี้ยยาวขึ้น ในที่นี่ใช้ระยะเวลาโครงการ 10 ปี

โดยทั่วไปเมื่อพิจารณาความคุ้มค่าระยะเวลาคืนทุนจะขึ้นกับดุลพินิจของผู้ประกอบการแต่โดยทั่วไปมักมองที่ระยะเวลาไม่เกิน 3 ปี ขณะที่ถ้ามอง IRR ก็จะพิจารณาโครงการที่มี IRR เกินกว่า 9% ขึ้นไป

มาตรการที่การศึกษาในหัวข้อนี้ ประกอบด้วย

1. มาตรการติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศด้วยก๊าซไอเสีย
2. มาตรการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (ECONOMIZER)
3. มาตรการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำร้อนกับน้ำเย็น
4. มาตรการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอากาศร้อนทิ้งให้กับน้ำ
5. มาตรการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอากาศร้อนทิ้งให้กับอากาศเข้ากระบวนการผลิต
6. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากน้ำระบายกลับมาใช้
7. มาตรการติดตั้งปั๊มความร้อน
8. มาตรการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ Organic Rankine Cycle
9. มาตรการติดตั้ง Heat Wheel
10. มาตรการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม

7.2.1 มาตรการติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศด้วยก๊าซไอเสีย

อุปกรณ์เป้าหมาย หม้อไอน้ำ หรือ เตาเผาที่มีก๊าซไอเสีย

การใช้งาน กรณีที่จะนำไอเสียจากหม้อไอน้ำ หรือเตาเผามาใช้อุ่นอากาศเข้าเผาไหม้

การวิเคราะห์

อุณหภูมิก๊าซไอเสีย

T °C

ราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

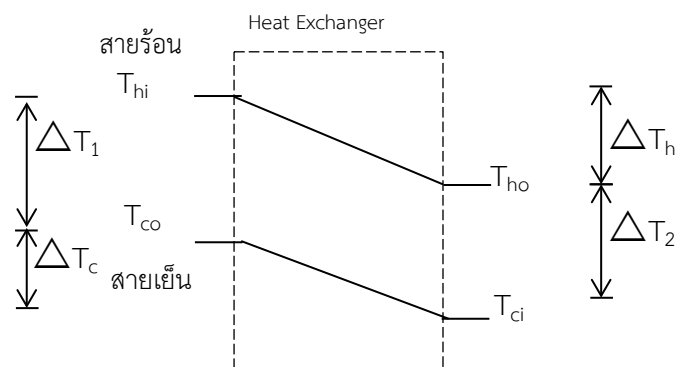
C_A บาท/ตรม.

พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน

A ตรม.

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

u $W/m^2/^\circ C$



อุณหภูมิแตกต่างลอกลิน $\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$ °C

ชั่วโมงการทำงานต่อปี

h ชม./ปี

ค่าความร้อนเชื้อเพลิง

LHV MJ/ปี

ราคาเชื้อเพลิง

C_F บาท/หน่วย

คิดเป็นราคาทุนการผลิตความร้อน

$O = LHV / C_F$ บาท/ปี

เงินลงทุน

$I = C_A A$ บาท

ปริมาณความร้อนที่นำกลับมาได้

$Q = U A \Delta T_{LM} h$ Wh/ปี

คิดเป็นปริมาณเชื้อเพลิง

$F = \frac{3.6 U A \Delta T_{LM} h}{1,000 \text{ LHV}}$ หน่วย/ปี

และผลประโยชน์

$S = \frac{3.6 U A \Delta T_{LM} h}{1,000 \text{ LHV}} C_F$ บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน

$PB = \frac{I}{S}$
 $= \frac{1,000 C_A}{3.6 U A \Delta T_{LM} h}$ ปี(7-1)

สมมุติฐานที่ใช้

ก๊าซไอเสียหลังจากนำความร้อนมาอุ่นอากาศแล้วอุณหภูมิ		
ถ้าเป็นเชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์	160°C	
ถ้าเป็นเชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์ต่ำ	100°C	
อากาศเข้าระบายความร้อน	30°C	
ค่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน u เท่ากับ	20	$W/m^2°C$
ค่าสัมประสิทธิ์ผลการแลกเปลี่ยนความร้อน (effectiveness) ไม่เกิน	0.5	
ชั่วโมงการทำงาน	7,200	ชั่วโมง/ปี
อัตราการไหลด้านก๊าซไอเสียต่อด้านอากาศ (m_{fl}/m_{air})	1.1	
ต้นทุนการผลิตความร้อน (0)		

ประเภทเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน (MJ/หน่วย)	ราคา (บาท)	ราคา/MJ
เชื้อเพลิงน้ำมัน	39.77 MJ/ลิตร	20.68 บาท/ลิตร	0.52
ก๊าซธรรมชาติ	1,055 J/Mbtu	316.5 บาท/Mbtu	0.30
ถ่านหิน	15 J/kg	1.65 บาท/kg	0.11

ผลการวิเคราะห์

โดยการคำนวณค่าอุณหภูมิลอกมีนจากอุณหภูมิเข้าออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากสมมุติฐานข้างต้น และในกรณีที่ค่าประสิทธิภาพสูงกว่า 0.5 ใช้ค่า 0.5 และเนื่องจากราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นกับวัสดุที่ใช้ และการออกแบบจึงไม่สามารถกำหนดได้ตายตัวในที่นี่ได้แปรค่าราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่อตารางเมตร จาก 20,000 ถึง 50,000 บาทต่อตารางเมตร ผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 7-2 มาตรการติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศ

เชื้อเพลิงน้ำมัน									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
160	124.93	0.59	181.21%	0.89	121.76%	1.19	87.27%	1.48	67.29%
180	124.63	0.60	180.92%	0.89	121.33%	1.19	87.08%	1.49	67.04%
200	124.33	0.60	180.63%	0.90	120.90%	1.19	86.88%	1.49	66.80%
250	123.57	0.60	179.90%	0.90	119.80%	1.20	86.39%	1.50	66.22%
300	137.02	0.54	191.69%	0.81	137.49%	1.08	94.32%	1.35	76.10%
350	162.39	0.46	-	0.69	162.90%	0.91	117.16%	1.14	90.33%
400	187.76	0.40	-	0.59	200.00%	0.79	200.00%	0.99	200.00%
450	213.13	0.35	-	0.52	200.00%	0.70	200.00%	0.87	200.00%
500	238.51	0.31	-	0.47	-	0.62	200.00%	0.78	200.00%
550	263.88	0.28	-	0.42	-	0.56	200.00%	0.70	200.00%
600	289.25	0.26	-	0.38	-	0.51	200.00%	0.64	200.00%
650	314.63	0.24	-	0.35	-	0.47	-	0.59	200.00%
700	340.00	0.22	-	0.33	-	0.44	-	0.55	200.00%
800	390.75	0.19	-	0.28	-	0.38	-	0.47	-

เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
160	67.88	1.89	52.70%	2.84	33.44%	3.79	23.20%	4.74	16.61%
180	78.33	1.64	61.38%	2.46	39.25%	3.28	28.02%	4.10	20.69%
200	88.77	1.45	69.71%	2.17	45.40%	2.90	32.62%	3.62	24.63%
250	114.88	1.12	91.86%	1.68	60.10%	2.24	44.00%	2.80	34.07%
300	140.99	0.91	117.49%	1.37	75.12%	1.82	55.11%	2.28	43.12%
350	167.10	0.77	146.02%	1.15	89.51%	1.54	64.91%	1.92	51.69%
400	193.21	0.67	200.00%	1.00	200.00%	1.33	99.90%	1.66	66.25%
450	219.31	0.59	200.00%	0.88	200.00%	1.17	99.90%	1.47	99.90%
500	245.42	0.52	200.00%	0.79	200.00%	1.05	99.90%	1.31	99.90%
550	271.53	0.47	-	0.71	200.00%	0.95	200.00%	1.18	99.90%
600	297.64	0.43	-	0.65	200.00%	0.86	200.00%	1.08	99.90%

เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
650	323.75	0.40	-	0.60	200.00%	0.79	200.00%	0.99	200.00%
700	349.86	0.37	-	0.55	200.00%	0.74	200.00%	0.92	200.00%
800	402.08	0.32	-	0.48	-	0.64	200.00%	0.80	200.00%

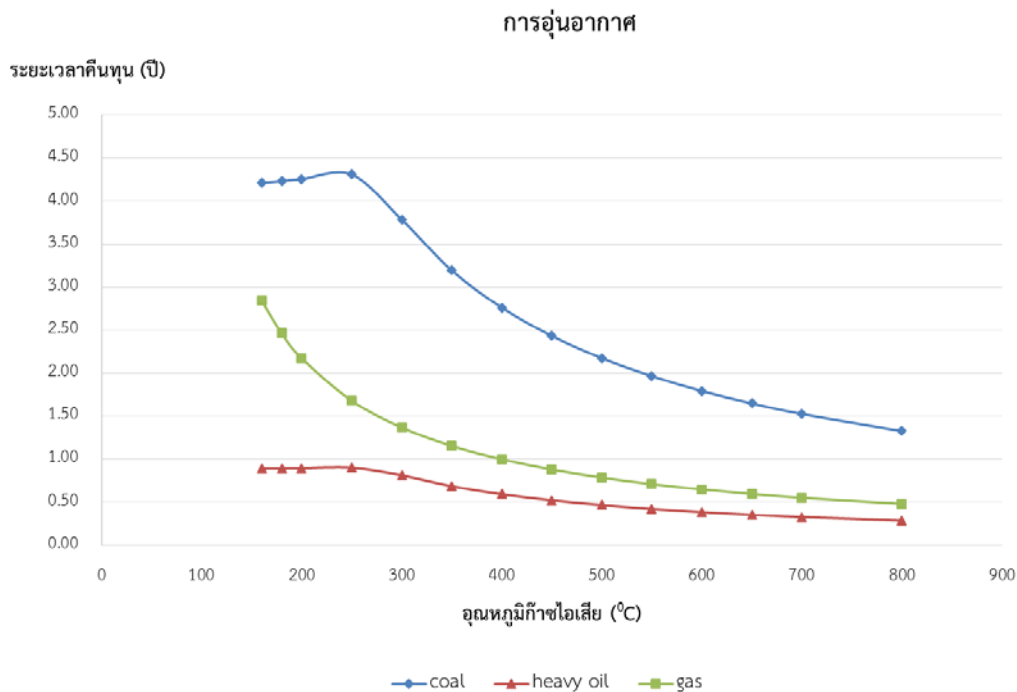
เชื้อเพลิงถ่านหิน									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
160	124.93	2.81	33.94%	4.21	19.95%	5.61	12.18%	7.02	7.02%
180	124.31	2.82	33.74%	4.23	19.81%	5.64	12.06%	7.05	6.92%
200	123.69	2.84	33.53%	4.25	19.66%	5.67	11.94%	7.09	6.81%
250	122.12	2.87	32.99%	4.31	19.28%	5.74	11.64%	7.18	6.54%
300	139.01	2.52	38.12%	3.78	23.24%	5.05	14.87%	6.31	9.42%
350	164.75	2.13	46.34%	3.19	29.01%	4.26	19.63%	5.32	13.53%
400	190.50	1.84	66.25%	2.76	38.45%	3.68	25.66%	4.60	17.96%
450	216.24	1.62	66.25%	2.43	49.08%	3.24	31.11%	4.05	21.41%
500	241.98	1.45	99.90%	2.17	49.08%	2.90	38.45%	3.62	25.66%
550	267.72	1.31	99.90%	1.97	66.25%	2.62	38.45%	3.28	31.11%
600	293.47	1.20	99.90%	1.79	66.25%	2.39	49.08%	2.99	38.45%
650	319.21	1.10	99.90%	1.65	66.25%	2.20	49.08%	2.75	38.45%
700	344.95	1.02	99.90%	1.53	66.25%	2.03	49.08%	2.54	38.45%
800	396.44	0.88	200.00%	1.33	99.90%	1.77	66.25%	2.21	49.08%

หมายเหตุ

การใช้ตารางข้างต้น

- 1) หากสามารถคำนวณค่า ΔT_{LM} ของการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ตามสมการในหน้าที่ 7-2 ให้ใช้ค่านั้นเปิดตารางดูค่าความคุ้มค่า แต่หากไม่มีข้อมูล ให้ใช้อุณหภูมิก๊าซไอเสียเปิดตารางดูค่าความคุ้มค่า
- 2) หากตัวแปรที่ใช้งานต่างจากสมมติฐานข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ชั่วโมงการใช้งาน ราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน u ให้ปรับแก้ผลการวิเคราะห์ ระยะเวลาคืนทุนด้วยสัดส่วนของตัวแปรนั้น

เทียบกับค่าที่ใช้ในสมมติฐาน ถ้าตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวตั้งในสมการ 7-1 ให้คูณผลลัพธ์ด้วยค่าสัดส่วน และหากเป็นตัวหารก็ให้หารผลลัพธ์ด้วยค่าสัดส่วน



รูปที่ 7-1 ระยะเวลาคืนทุนของมาตรการอุ่นอากาศ เงินลงทุนที่ 30,000 บาท/ตรม.

สรุป

โดยสรุปจะเห็นว่า มาตรการนำก๊าซไอเสียมาอุ่นอากาศนั้นมีความคุ้มค่า เมื่ออุณหภูมิก๊าซไอเสียตั้งแต่ 160 °C ขึ้นไป และขึ้นกับราคาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่อตารางเมตร ซึ่งขึ้นกับวัสดุ สเปค โดยทั่วไปอาจพิจารณาในช่วง 30,000-40,000 บาทต่อตารางเมตร และเชื้อเพลิงน้ำมันจะมีความคุ้มค่าสูงขณะที่เชื้อเพลิงที่ราคาถูก ก๊าซไอเสียจะต้องมีอุณหภูมิสูงขึ้น

7.2.2 มาตรการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (ECONOMIZER)

อุปกรณ์เป้าหมาย หม้อไอน้ำ

การใช้งาน สำหรับการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่ออุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำด้วยก๊าซไอเสีย

การวิเคราะห์

สมการที่ใช้เช่นเดียวกับการอุ่นอากาศ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{1,000C_A}{3.6U\Delta T_{LM}ho}$$

สมมติฐาน

ไอเสียหลังจากการอุ่นน้ำ ถ้าเป็นเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ หรือ ซัลเฟอร์ต่ำ 100°C
ถ้าเป็นเชื้อเพลิงอื่น 160°C

อุณหภูมิน้ำเข้าความร้อน 30°C

ชั่วโมงการทำงาน 7,200 ชั่วโมง/ปี

อายุโครงการ 10 ปี

ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน (effectiveness) 0.6

ผลคูณอัตราการไหลและค่าความจุความร้อนผิวน้ำป้อนต่อผิวก๊าซไอเสีย ประมาณเท่ากับ 3
ต้นทุนการผลิตความร้อน (0)

ประเภทเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน (MJ/หน่วย)	ราคา (บาท)	ราคา/MJ
เชื้อเพลิงน้ำมัน	39.77 MJ/ลิตร	20.68 บาท/ลิตร	0.52
ก๊าซธรรมชาติ	1,055 MT/Mbtu	316.5 บาท/Mbtu	0.30
ถ่านหิน	15 MT/lg	1.65 บาท/kg	0.11

ค่า u ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบอากาศกับน้ำ ปกติมีค่า 15 ถึง 70 W/m²°C ในที่นี้
เลือก 40 W/m²°C

ผลการวิเคราะห์

ความคุ้มค่าของการติดตั้งอุปกรณ์นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ จะขึ้นกับเชื้อเพลิงที่ใช้ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย และราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่อตารางเมตร ในที่นี้ได้แปรค่าราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตั้งแต่ 20,000-50,000 บาทต่อตารางเมตร ผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 7-3 มาตรการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อน

เชื้อเพลิงน้ำมัน									
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
160	124.93	0.30	-	0.45	-	0.59	181.21%	0.74	151.49%
180	131.32	0.28	-	0.42	-	0.56	186.99%	0.71	158.71%
200	137.52	0.27	-	0.40	-	0.54	192.09%	0.67	165.09%
250	152.33	0.24	-	0.37	-	0.49	-	0.61	178.21%
300	176.19	0.21	-	0.32	-	0.42	-	0.53	194.72%
350	208.81	0.18	-	0.27	-	0.36	-	0.44	-
400	241.44	0.15	-	0.23	-	0.31	-	0.38	-
450	274.07	0.14	-	0.20	-	0.27	-	0.34	-
500	306.69	0.12	-	0.18	-	0.24	-	0.30	-
550	339.32	0.11	-	0.16	-	0.22	-	0.27	-
600	371.95	0.10	-	0.15	-	0.20	-	0.25	-
650	404.57	0.09	-	0.14	-	0.18	-	0.23	-
700	437.20	0.08	-	0.13	-	0.17	-	0.21	-
800	502.45	0.07	-	0.11	-	0.15	-	0.18	-

เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ									
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
160	88.50	0.73	154.64%	1.09	93.85%	1.45	69.41%	1.82	55.38%
180	97.88	0.66	168.58%	0.99	102.83%	1.31	78.78%	1.64	61.36%
200	97.88	0.66	168.58%	0.99	102.83%	1.31	78.78%	1.64	61.36%
250	143.56	0.45	-	0.67	165.59%	0.90	120.76%	1.12	91.84%
300	176.19	0.36	-	0.55	190.50%	0.73	153.97%	0.91	117.44%
350	208.81	0.31	-	0.46	-	0.62	176.80%	0.77	145.98%
400	241.44	0.27	-	0.40	-	0.53	200.00%	0.67	200.00%

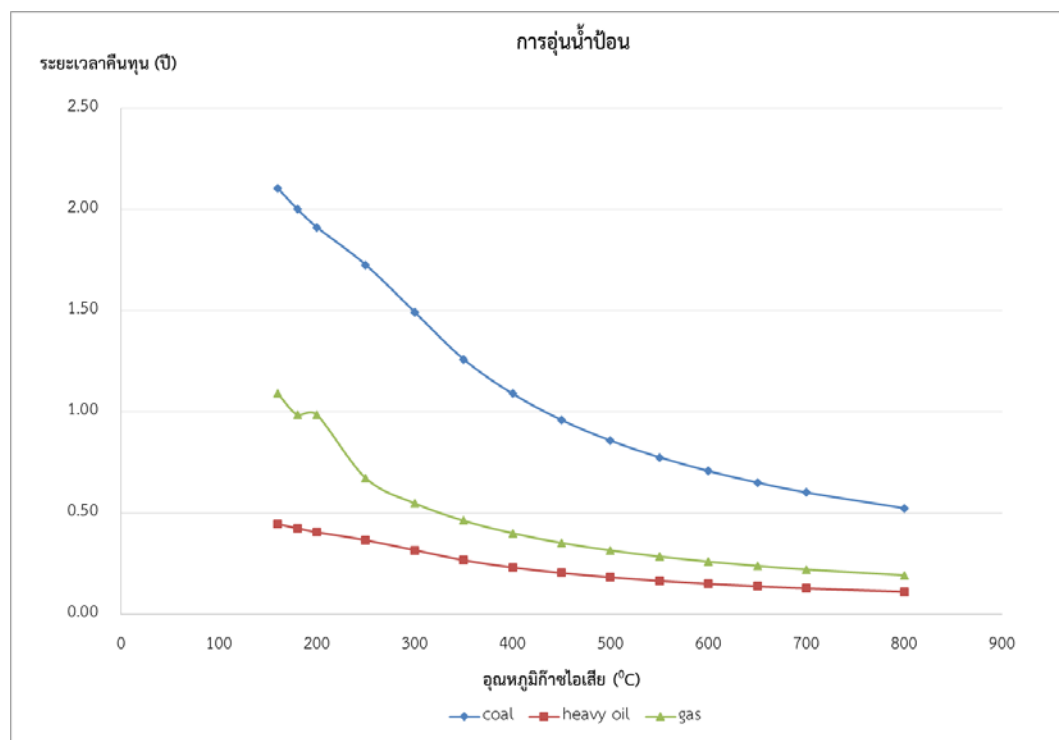
เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
450	274.07	0.23	-	0.35	-	0.47	-	0.59	200.00%
500	306.69	0.21	-	0.31	-	0.42	-	0.52	200.00%
550	339.32	0.19	-	0.28	-	0.38	-	0.47	-
600	371.95	0.17	-	0.26	-	0.35	-	0.43	-
650	404.57	0.16	-	0.24	-	0.32	-	0.40	-
700	437.20	0.15	-	0.22	-	0.29	-	0.37	-
800	502.45	0.13	-	0.19	-	0.26	-	0.32	-

เชื้อเพลิงถ่านหิน									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
160	124.93	1.40	72.74%	2.11	46.84%	2.81	33.94%	3.51	25.58%
180	131.32	1.34	77.33%	2.00	49.01%	2.67	35.95%	3.34	27.42%
200	137.52	1.28	81.38%	1.91	52.07%	2.55	37.71%	3.19	29.06%
250	152.33	1.15	89.72%	1.73	58.46%	2.30	42.65%	2.88	32.90%
300	176.19	1.00	100.83%	1.49	66.72%	1.99	49.40%	2.49	38.70%
350	208.81	0.84	131.97%	1.26	82.42%	1.68	60.08%	2.10	46.96%
400	241.44	0.73	200.00%	1.09	99.90%	1.45	99.90%	1.82	66.25%
450	274.07	0.64	200.00%	0.96	200.00%	1.28	99.90%	1.60	66.25%
500	306.69	0.57	200.00%	0.86	200.00%	1.14	99.90%	1.43	99.90%
550	339.32	0.52	200.00%	0.78	200.00%	1.03	99.90%	1.29	99.90%
600	371.95	0.47	-	0.71	200.00%	0.94	200.00%	1.18	99.90%
650	404.57	0.43	-	0.65	200.00%	0.87	200.00%	1.08	99.90%
700	437.20	0.40	-	0.60	200.00%	0.80	200.00%	1.00	99.90%
800	502.45	0.35	-	0.52	200.00%	0.70	200.00%	0.87	200.00%

หมายเหตุ

การใช้ตารางข้างต้น

- 1) หากสามารถคำนวณค่า ΔT_{LM} ของการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ตามสมการหน้า 7-2 ให้ใช้ค่า นั้นเปิดตารางดูค่าความคุ้มค่า แต่หากไม่มีข้อมูล ให้ใช้อุณหภูมิก๊าซไอเสีย เปิดตารางดูค่าความ คุ้มค่า
- 2) หากตัวแปรที่ใช้งานต่างจากสมมุติฐานข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ชั่วโมงการใช้งาน ราคาเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน u ให้ปรับแก้ผลการวิเคราะห์ ระยะเวลาคืนทุนด้วยสัดส่วนของตัวแปรนั้น เทียบกับค่าที่ใช้ในสมมุติฐาน ถ้าตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวตั้งในสมการ 7-1 ให้คูณผลลัพธ์ด้วยค่า สัดส่วน และหากเป็นตัวหารก็ให้หารผลลัพธ์ด้วยค่าสัดส่วน



รูปที่ 7-2 ระยะเวลาคืนทุนของมาตรการอุ่นน้ำร้อนที่เงินลงทุน 30,000 บาท/ตรม.

สรุป

โดยสรุปจะเห็นว่า มาตรการนำก๊าซไอเสียมาอุ่นน้ำป้อนมีความคุ้มค่าในทุกเงื่อนไข โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิงซัลเฟอร์ต่ำ ที่สามารถควบคุมให้อิเสียออกที่ 100 °C

7.2.3 มาตรการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำร้อนกับน้ำ

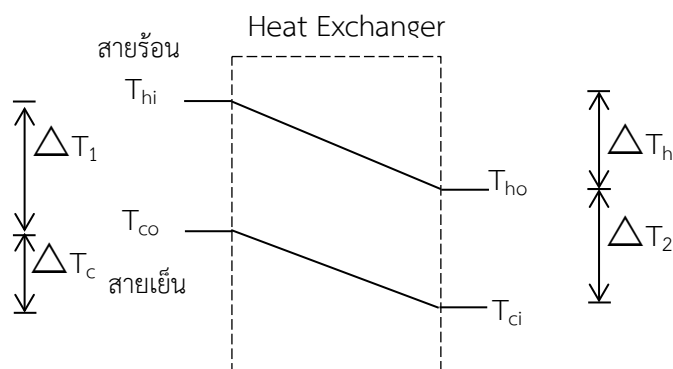
อุปกรณ์เป้าหมาย อุปกรณ์ให้ความร้อนที่มีน้ำร้อน หรือคอนเดนเสทที่ปล่อยทิ้ง

การใช้งาน ในกรณีที่โรงงานมีน้ำร้อนหรือคอนเดนเสทเหลือจากกระบวนการและต้องการนำมาใช้อุ่นน้ำปกติ 30°C เพื่อใช้ทดแทนการใช้ไอน้ำหรือแหล่งความร้อนอื่นผลิตน้ำร้อน

การวิเคราะห์

ระยะเวลาคืนทุนของการดำเนินมาตรการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{1,000C_A}{3.6U\Delta T_{LM}ho}$$



อุณหภูมิแตกต่างลอกลิ้น
$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad ^\circ\text{C}$$

ถ้าให้อัตราการไหลและค่าความจุความร้อนของทั้งสองกระแสมีอัตราส่วน

$$r = \frac{m_h C_{ph}}{m_c C_{pc}}$$

และค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ϵ อุณหภูมิความร้อนแตกต่างของแหล่งความร้อน T_{hi} และอุณหภูมิตัวรับ T_{ci} เป็น ΔT จะได้ว่า

ตารางที่ 7-4 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

กรณีที่ $r > 1$	กรณีที่ $r < 1$
$\varepsilon = \frac{\Delta T_c}{\Delta T}$	$\varepsilon = \frac{\Delta T_h}{\Delta T}$
$\Delta T_c = \varepsilon \Delta T$	$\Delta T_h = \varepsilon \Delta T$
$\Delta T_h = \varepsilon r \Delta T$	$\Delta T_c = \varepsilon r \Delta T$
$\Delta T_1 = (1 - \varepsilon) \Delta T$	$\Delta T_1 = (1 - \varepsilon r) \Delta T$
$\Delta T_2 = (2 - \varepsilon r) \Delta T$	$\Delta T_2 = (2 - \varepsilon) \Delta T$
$\Delta T_{LW} = \frac{(r - 1)\varepsilon \Delta T}{\ln\left(\frac{1 - \varepsilon}{1 - \varepsilon r}\right)}$	$\Delta T_{LW} = \frac{(1 - r)\varepsilon \Delta T}{\ln\left(\frac{1 - \varepsilon}{1 - \varepsilon r}\right)}$

จะเห็นว่าหากทราบค่า ε อุณหภูมิแตกต่างของ ns แลกเปลี่ยนความร้อน ΔT และอัตราส่วน r ก็จะหาความสัมพันธ์ของ ΔT และ ΔT_{LM} เพื่อนำไปคำนวณความคุ้มค่าในสมการที่ 7-1 ได้

สมมุติฐาน

เพื่อให้เห็นภาพของความคุ้มค่าในการปรับปรุงกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ε)	0.7
อัตราการใช้ของกระแสร้อนต่อกระแสเย็น (r)	1.2
อุณหภูมิตัวกลางสายเย็นที่รับความร้อน	30°C
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	2,000 W/m ² °C
ชั่วโมงการทำงาน	7,200 ชั่วโมง/ปี
ต้นทุนการผลิตความร้อน (0)	

ประเภทเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน (MJ/หน่วย)	ราคา (บาท)	ราคา/MJ
เชื้อเพลิงน้ำมัน	39.77 MJ/ลิตร	20.68 บาท/ลิตร	0.52
ก๊าซธรรมชาติ	1,055 MJ/Mbtu	316.5 บาท/Mbtu	0.30
ถ่านหิน	15 MJ/kg	1.65 บาท/kg	0.11

ผลการวิเคราะห์

เมื่อแปรราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 20,000 – 50,000 บาท/ตารางเมตร มีความคุ้มค่าของการดำเนินมาตรการแบ่งเป็น สองกรณี คือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเพลต และแบบ (เปลือกและท่อ) ดังนี้

ตารางที่ 7-5 มาตาการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนน้ำ-น้ำ แบบเพลต

เชื้อเพลิงน้ำมัน									
อุณหภูมิ น้ำร้อนทิ้ง (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
40	3.31	0.22	>100%	0.34	>100%	0.45	>100%	0.56	187.84%
50	6.62	0.11	>100%	0.17	>100%	0.22	>100%	0.28	>100%
60	9.92	0.07	>100%	0.11	>100%	0.15	>100%	0.19	>100%
70	13.23	0.06	>100%	0.08	>100%	0.11	>100%	0.14	>100%
80	16.54	0.04	>100%	0.07	>100%	0.09	>100%	0.11	>100%
90	19.85	0.04	>100%	0.06	>100%	0.07	>100%	0.09	>100%
100	23.16	0.03	>100%	0.05	>100%	0.06	>100%	0.08	>100%
110	26.46	0.03	>100%	0.04	>100%	0.06	>100%	0.07	>100%
120	29.77	0.02	>100%	0.04	>100%	0.05	>100%	0.06	>100%
130	33.08	0.02	>100%	0.03	>100%	0.04	>100%	0.06	>100%
140	36.39	0.02	>100%	0.03	>100%	0.04	>100%	0.05	>100%
150	39.70	0.02	>100%	0.03	>100%	0.04	>100%	0.05	>100%

เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ									
อุณหภูมิ น้ำร้อนทิ้ง (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
40	3.31	0.39	>100%	0.58	183.35%	0.78	144.44%	0.97	105.53%
50	6.62	0.19	>100%	0.29	>100%	0.39	>100%	0.49	>100%
60	9.92	0.13	>100%	0.19	>100%	0.26	>100%	0.32	>100%
70	13.23	0.10	>100%	0.15	>100%	0.19	>100%	0.24	>100%

80	16.54	0.08	>100%	0.12	>100%	0.16	>100%	0.19	>100%
90	19.85	0.06	>100%	0.10	>100%	0.13	>100%	0.16	>100%
100	23.16	0.06	>100%	0.08	>100%	0.11	>100%	0.14	>100%
110	26.46	0.05	>100%	0.07	>100%	0.10	>100%	0.12	>100%
120	29.77	0.04	>100%	0.06	>100%	0.09	>100%	0.11	>100%
130	33.08	0.04	>100%	0.06	>100%	0.08	>100%	0.10	>100%
140	36.39	0.04	>100%	0.05	>100%	0.07	>100%	0.09	>100%
150	39.70	0.03	>100%	0.05	>100%	0.06	>100%	0.08	>100%

เชื้อเพลิงถ่านหิน									
อุณหภูมิ น้ำร้อนทิ้ง (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
40	3.31	1.06	95.85%	1.59	63.15%	2.12	46.52%	2.65	36.24%
50	6.62	0.53	193.97%	0.80	140.90%	1.06	95.85%	1.33	78.01%
60	9.92	0.35	>100%	0.53	193.97%	0.71	158.59%	0.88	123.22%
70	13.23	0.27	>100%	0.40	>100%	0.53	193.97%	0.66	167.43%
80	16.54	0.21	>100%	0.32	>100%	0.42	>100%	0.53	193.97%
90	19.85	0.18	>100%	0.27	>100%	0.35	>100%	0.44	>100%
100	23.16	0.15	>100%	0.23	>100%	0.30	>100%	0.38	>100%
110	26.46	0.13	>100%	0.20	>100%	0.27	>100%	0.33	>100%
120	29.77	0.12	>100%	0.18	>100%	0.24	>100%	0.29	>100%
130	33.08	0.11	>100%	0.16	>100%	0.21	>100%	0.27	>100%
140	36.39	0.10	>100%	0.14	>100%	0.19	>100%	0.24	>100%
150	39.70	0.09	>100%	0.13	>100%	0.18	>100%	0.22	>100%

ตารางที่ 7-6 มาตรการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนน้ำ-น้ำ แบบ Shell & Tube

เชื้อเพลิงน้ำมัน									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	RR (%)
40	3.31	0.45	>100%	0.67	165.39%	0.90	120.49%	1.12	91.73%
50	6.62	0.22	>100%	0.34	>100%	0.45	>100%	0.56	187.84%
60	9.92	0.15	>100%	0.22	>100%	0.30	>100%	0.37	>100%

70	13.23	0.11	>100%	0.17	>100%	0.22	>100%	0.28	>100%
80	16.54	0.09	>100%	0.13	>100%	0.18	>100%	0.22	>100%
90	19.85	0.07	>100%	0.11	>100%	0.15	>100%	0.19	>100%
100	23.16	0.06	>100%	0.10	>100%	0.13	>100%	0.16	>100%
110	26.46	0.06	>100%	0.08	>100%	0.11	>100%	0.14	>100%
120	29.77	0.05	>100%	0.07	>100%	0.10	>100%	0.12	>100%
130	33.08	0.04	>100%	0.07	>100%	0.09	>100%	0.11	>100%
140	36.39	0.04	>100%	0.06	>100%	0.08	>100%	0.10	>100%
150	39.70	0.04	>100%	0.06	>100%	0.07	>100%	0.09	>100%

เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
40	3.31	0.78	144.44%	1.17	88.71%	1.56	64.36%	1.94	51.01%
50	6.62	0.39	>100%	0.58	183.35%	0.78	144.44%	0.97	105.53%
60	9.92	0.26	>100%	0.39	>100%	0.52	196.32%	0.65	170.38%
70	13.23	0.19	>100%	0.29	>100%	0.39	>100%	0.49	>100%
80	16.54	0.16	>100%	0.23	>100%	0.31	>100%	0.39	>100%
90	19.85	0.13	>100%	0.19	>100%	0.26	>100%	0.32	>100%
100	23.16	0.11	>100%	0.17	>100%	0.22	>100%	0.28	>100%
110	26.46	0.10	>100%	0.15	>100%	0.19	>100%	0.24	>100%
120	29.77	0.09	>100%	0.13	>100%	0.17	>100%	0.22	>100%
130	33.08	0.08	>100%	0.12	>100%	0.16	>100%	0.19	>100%
140	36.39	0.07	>100%	0.11	>100%	0.14	>100%	0.18	>100%
150	39.70	0.06	>100%	0.10	>100%	0.13	>100%	0.16	>100%

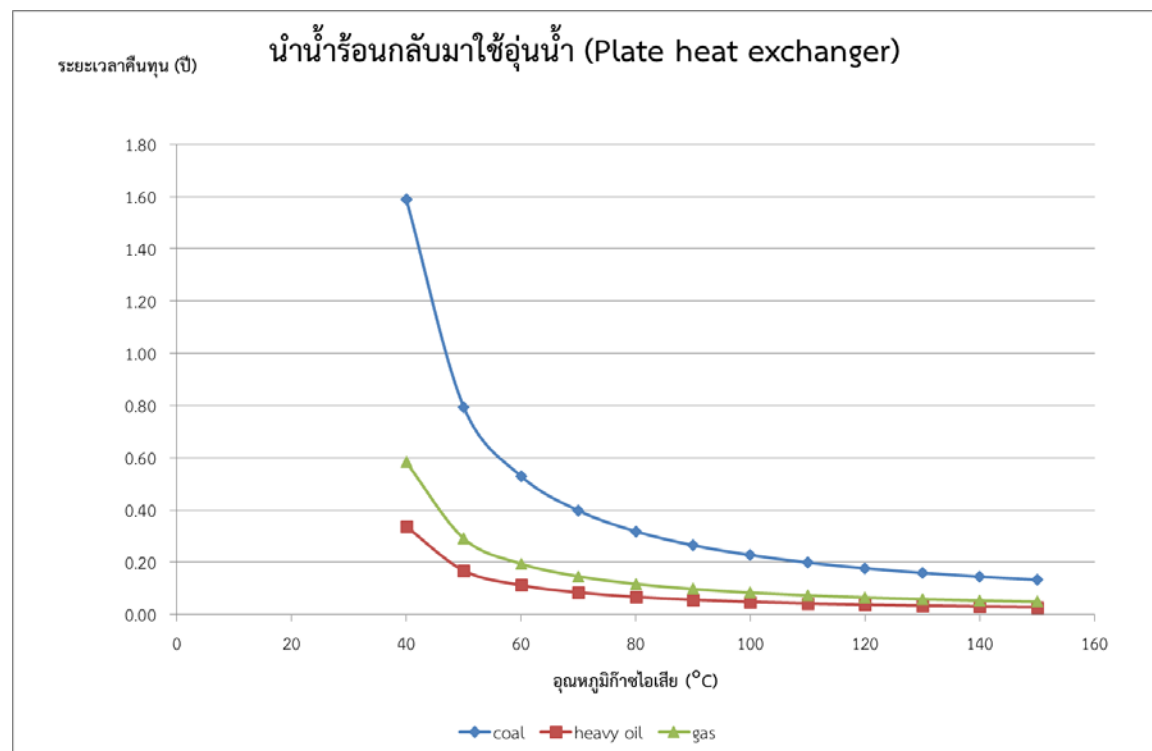
เชื้อเพลิงถ่านหิน									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
40	3.31	2.12	46.52%	3.18	29.14%	4.24	19.75%	5.30	13.63%
50	6.62	1.06	95.85%	1.59	63.15%	2.12	46.52%	2.65	36.24%
60	9.92	0.71	158.59%	1.06	95.85%	1.41	72.06%	1.77	57.08%
70	13.23	0.53	193.97%	0.80	140.90%	1.06	95.85%	1.33	78.01%

80	16.54	0.42	>100%	0.64	172.74%	0.85	130.29%	1.06	95.85%
90	19.85	0.35	>100%	0.53	193.97%	0.71	158.59%	0.88	123.22%
100	23.16	0.30	>100%	0.45	>100%	0.61	200.00%	0.76	200.00%
110	26.46	0.27	>100%	0.40	>100%	0.53	200.00%	0.66	200.00%
120	29.77	0.24	>100%	0.35	>100%	0.47	>100%	0.59	200.00%
130	33.08	0.21	>100%	0.32	>100%	0.42	>100%	0.53	200.00%
140	36.39	0.19	>100%	0.29	>100%	0.39	>100%	0.48	>100%
150	39.70	0.18	>100%	0.27	>100%	0.35	>100%	0.44	>100%

หมายเหตุ

การใช้ตารางข้างต้น

- 1) หากสามารถคำนวณค่า ΔT_{LM} ของการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ตามสมการหน้า 7-2 ให้ใช้ค่านั้นเปิดตารางดูค่าความคุ้มค่า แต่หากไม่มีข้อมูล ให้ใช้อุณหภูมิน้ำร้อน เปิดตารางดูค่าความคุ้มค่า
- 2) หากตัวแปรที่ใช้ต่างจากสมมติฐานข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ชั่วโมงการใช้งาน ราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน u ให้ปรับแก้ผลการวิเคราะห์ ระยะเวลาคืนทุนด้วยสัดส่วนของตัวแปรนั้นเทียบกับค่าที่ใช้ในสมมติฐาน ถ้าตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวตั้งในสมการ 7-1 ให้คูณผลลัพธ์ด้วยค่าสัดส่วน และหากเป็นตัวหารก็ให้หารผลลัพธ์ด้วยค่าสัดส่วน



รูปที่ 7-3 ระยะเวลาคืนทุนที่เงินลงทุน 30,000 บาท/ตรม.

สรุป

โดยสรุปจะเห็นว่า มาตรการนำความร้อนจากน้ำร้อนกลับมาใช้ มีความคุ้มค่าเกือบทุกกรณีที่น้ำร้อนอุณหภูมิสูงกว่า 40°C ขึ้นไปในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหินควมร้อนมีอุณหภูมิสูงกว่า 50°C

7.2.4 มาตรการการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอากาศร้อนทิ้งให้กับน้ำ

อุปกรณ์เป้าหมาย เตาอบ หรืออุปกรณ์ที่มีอากาศร้อนทิ้ง

การใช้งาน กรณีที่ม้อากาศร้อนที่ไม่ใช่ไอเสีย และต้องการนำมาผลิตน้ำร้อน

การวิเคราะห์

ระยะเวลาคืนทุนของการดำเนินมาตรการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{1,000C_A}{3.6u\Delta T_{LM}ho}$$

$$r = \frac{m_h C_{ph}}{m_c C_{pc}}$$

$$\text{และ } \Delta T_{LM} = \frac{(r-1)\varepsilon\Delta T}{\ln\left(\frac{1-\varepsilon}{1-\varepsilon r}\right)} \quad \text{กรณี } r > 1$$

$$= \frac{(1-r)\varepsilon\Delta T}{\ln\left(\frac{1-\varepsilon r}{1-\varepsilon}\right)} \quad \text{กรณี } r < 1$$

สมมุติฐาน

น้ำเข้ารับความร้อนอุณหภูมิ	30°C
ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน	0.6
ค่าสัมประสิทธิ์สภาพถ่ายเทความร้อน	40 W/m ² °C
ชั่วโมงการทำงาน	7,200 ชั่วโมง/ปี
ค่า r	0.125

ต้นทุนการผลิตความร้อน (0)

ประเภทเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน (MJ/หน่วย)	ราคา (บาท)	ราคา/MJ
เชื้อเพลิงน้ำมัน	39.77 MJ/ลิตร	20.68 บาท/ลิตร	0.52
ก๊าซธรรมชาติ	1,055 MT/Mbtu	316.5 บาท/Mbtu	0.30
ถ่านหิน	15 MT/lg	1.65 บาท/kg	0.11

ค่า u ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบอากาศกับน้ำ ปกติมีค่า 15 ถึง 70 $W/m^2\text{ }^{\circ}C$ ในที่นี้
เลือก 40 $W/m^2\text{ }^{\circ}C$

ผลการวิเคราะห์

เมื่อแปรค่าราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 20,000 – 50,000 บาท/ตารางเมตร มีความคุ้มค่า
ของการดำเนินมาตรการ ดังนี้

ตารางที่ 7-7 มาตรการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอากาศ-น้ำ

เชื้อเพลิงน้ำมัน									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย ($^{\circ}C$)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
40	6.26	5.92	10.88%	8.89	2.22%	11.85	0.00%	14.81	0.00%
50	12.52	2.96	31.67%	4.44	18.36%	5.92	10.88%	7.40	5.88%
60	18.79	1.97	49.95%	2.96	31.67%	3.95	21.84%	4.94	15.46%
70	25.05	1.48	67.54%	2.22	44.37%	2.96	31.67%	3.70	23.94%
80	31.31	1.18	87.47%	1.78	56.74%	2.37	41.23%	2.96	31.67%
90	37.57	0.99	102.45%	1.48	67.54%	1.97	49.95%	2.47	39.13%
100	43.84	0.85	200.00%	1.27	99.90%	1.69	66.25%	2.12	49.08%
110	50.10	0.74	200.00%	1.11	99.90%	1.48	99.90%	1.85	66.25%
120	56.36	0.66	200.00%	0.99	200.00%	1.32	99.90%	1.65	66.25%
130	62.62	0.59	200.00%	0.89	200.00%	1.18	99.90%	1.48	99.90%
140	68.89	0.54	200.00%	0.81	200.00%	1.08	99.90%	1.35	99.90%
150	75.15	0.49	-	0.74	200.00%	0.99	200.00%	1.23	99.90%
200	106.46	0.35	-	0.52	200.00%	0.70	200.00%	0.87	200.00%
250	137.77	0.27	-	0.40	-	0.54	200.00%	0.67	200.00%

300	169.09	0.22	-	0.33	-	0.44	-	0.55	200.00%
-----	--------	------	---	------	---	------	---	------	---------

เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
40	6.26	10.27	0.00%	15.40	0.00%	20.54	0.00%	25.67	0.00%
50	12.52	5.13	14.45%	7.70	5.07%	10.27	0.00%	12.83	0.00%
60	18.79	3.42	26.51%	5.13	14.45%	6.85	7.58%	8.56	2.94%
70	25.05	2.57	37.47%	3.85	22.68%	5.13	14.45%	6.42	9.02%
80	31.31	2.05	47.94%	3.08	30.24%	4.11	20.67%	5.13	14.45%
90	37.57	1.71	59.00%	2.57	37.47%	3.42	26.51%	4.28	19.49%
100	43.84	1.47	99.90%	2.20	49.08%	2.93	38.45%	3.67	25.66%
110	50.10	1.28	99.90%	1.93	66.25%	2.57	38.45%	3.21	31.11%
120	56.36	1.14	99.90%	1.71	66.25%	2.28	49.08%	2.85	38.45%
130	62.62	1.03	99.90%	1.54	66.25%	2.05	49.08%	2.57	38.45%
140	68.89	0.93	200.00%	1.40	99.90%	1.87	66.25%	2.33	49.08%
150	75.15	0.86	200.00%	1.28	99.90%	1.71	66.25%	2.14	49.08%
200	106.46	0.60	200.00%	0.91	200.00%	1.21	99.90%	1.51	66.25%
250	137.77	0.47	-	0.70	200.00%	0.93	200.00%	1.17	99.90%
300	169.09	0.38	-	0.57	200.00%	0.76	200.00%	0.95	200.00%

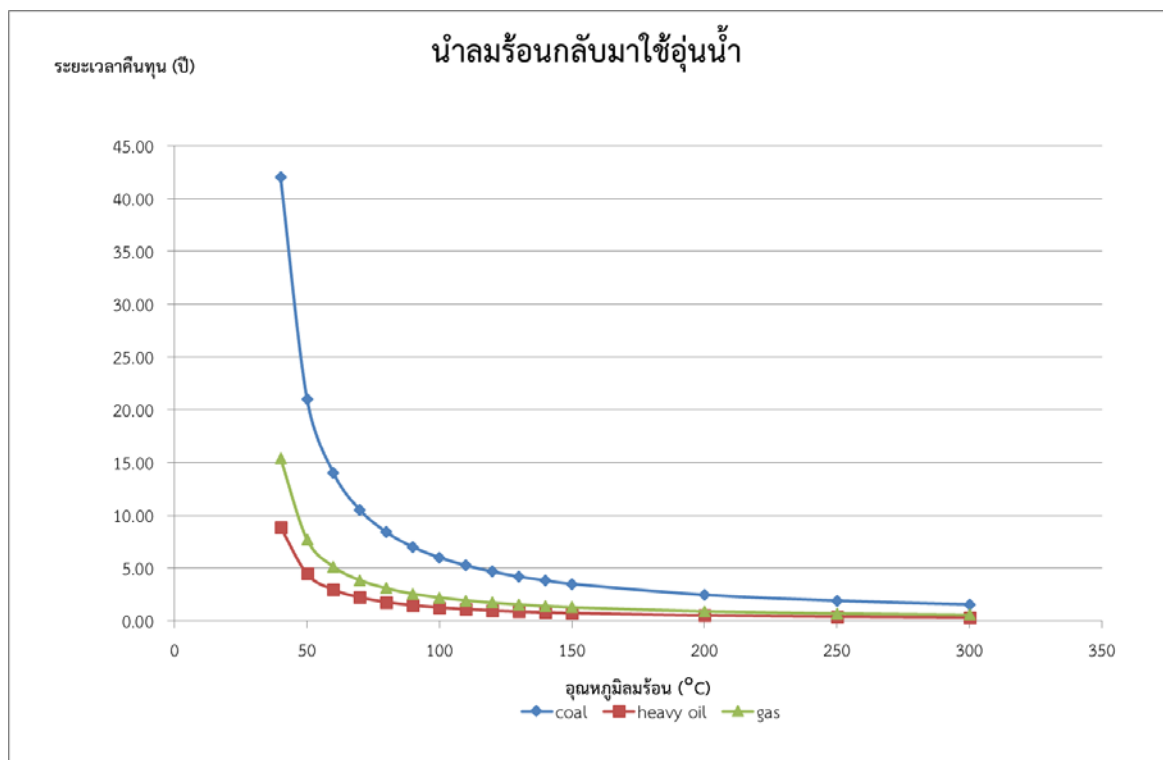
เชื้อเพลิงถ่านหิน									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
40	6.26	28.00	0.00%	42.00	0.00%	56.01	0.00%	70.01	0.00%
50	12.52	14.00	0.00%	21.00	0.00%	28.00	0.00%	35.00	0.00%
60	18.79	9.33	1.28%	14.00	0.00%	18.67	0.00%	23.34	0.00%
70	25.05	7.00	7.07%	10.50	0.00%	14.00	0.00%	17.50	0.00%
80	31.31	5.60	12.24%	8.40	3.31%	11.20	0.00%	14.00	0.00%
90	37.57	4.67	17.01%	7.00	7.07%	9.33	1.28%	11.67	0.00%
100	43.84	4.00	21.41%	6.00	10.56%	8.00	4.28%	10.00	0.00%
110	50.10	3.50	25.66%	5.25	15.10%	7.00	7.07%	8.75	3.07%
120	56.36	3.11	31.11%	4.67	17.96%	6.22	10.56%	7.78	5.60%

130	62.62	2.80	38.45%	4.20	21.41%	5.60	12.66%	7.00	7.07%
140	68.89	2.55	38.45%	3.82	25.66%	5.09	15.10%	6.36	10.56%
150	75.15	2.33	49.08%	3.50	25.66%	4.67	17.96%	5.83	12.66%
200	106.46	1.65	66.25%	2.47	49.08%	3.29	31.11%	4.12	21.41%
250	137.77	1.27	99.90%	1.91	66.25%	2.55	38.45%	3.18	31.11%
300	169.09	1.04	99.90%	1.56	66.25%	2.07	49.08%	2.59	38.45%

หมายเหตุ

การใช้ตารางข้างต้น

- 1) หากสามารถคำนวณค่า ΔT_{LM} ของการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ตามสมการในหน้า 7-2 ให้ใช้ค่านั้นเปิดตารางดูค่าความคุ้มค่า แต่หากไม่มีข้อมูล ให้ใช้อุณหภูมิอากาศร้อน เปิดตารางดูค่าความคุ้มค่า
- 2) หากตัวแปรที่ใช้งานต่างจากสมมุติฐานข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ชั่วโมงการใช้งาน ราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน u ให้ปรับแก้ผลการวิเคราะห์ ระยะเวลาคืนทุนด้วยสัดส่วนของตัวแปรนั้นเทียบกับค่าที่ใช้ในสมมุติฐาน ถ้าตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวตั้งในสมการ 7-1 ให้คูณผลลัพธ์ด้วยค่าสัดส่วน และหากเป็นตัวหารก็ให้หารผลลัพธ์ด้วยค่าสัดส่วน



รูปที่ 7-4 ระยะเวลาคืนทุนที่เงินลงทุน 30,000 บาท/ตรม.

สรุป

โดยสรุปจะเห็นว่า มาตรการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ มีความคุ้มค่าที่อุณหภูมิ 70-80 °C สำหรับเชื้อเพลิงราคาสูง แต่ถ้าเชื้อเพลิงราคาต่ำควรมีอุณหภูมิสูงเกิน 120 °C

7.2.5 มาตรการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอากาศร้อนทิ้งให้กับอากาศเข้ากระบวนการผลิต

อุปกรณ์เป้าหมาย อุปกรณ์ที่มีอากาศร้อนทิ้ง

การใช้งาน สำหรับกรณีที่มีอากาศร้อนและต้องการอุ่นอากาศอีกสาย เช่น เตาอบ

การวิเคราะห์

ระยะเวลาคืนทุนของการดำเนินมาตรการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{1,000C_A}{3.6u\Delta T_{LM}ho}$$

$$r = \frac{m_h C_{ph}}{m_c C_{pc}}$$

$$\text{และ } \Delta T_{LM} = \frac{(r-1)\varepsilon\Delta T}{\ln\left(\frac{1-\varepsilon}{1-\varepsilon r}\right)} \quad \text{กรณี } r > 1$$

$$= \frac{(1-r)\varepsilon\Delta T}{\ln\left(\frac{1-\varepsilon r}{1-\varepsilon}\right)} \quad \text{กรณี } r < 1$$

สมมติฐาน

น้ำเข้ารับความร้อนอุณหภูมิ	30°C	
ค่าประสิทธิภาพถ่ายเทความร้อน	0.5	
ค่าสัมประสิทธิ์ภาพถ่ายเทความร้อน	40	W/m ² °C
ชั่วโมงการทำงาน	7,200	ชั่วโมง/ปี
ค่า r	0.9	
ต้นทุนการผลิตความร้อน (0)		

ประเภทเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน (MJ/หน่วย)	ราคา (บาท)	ราคา/MJ
เชื้อเพลิงน้ำมัน	39.77 MJ/ลิตร	20.68 บาท/ลิตร	0.52
ก๊าซธรรมชาติ	1,055 MT/Mbtu	316.5 บาท/Mbtu	0.30
ถ่านหิน	15 MT/lg	1.65 บาท/kg	0.11

ค่า u ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบอากาศกับน้ำ ปกติมีค่า 15 ถึง 70 W/m²°C ในที่นี้
เลือก 40 W/m²°C

ผลการวิเคราะห์

เมื่อให้ราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 20,000 – 50,000 บาท/ตารางเมตร มีความคุ้มค่าของ
การดำเนินมาตรการ ดังนี้

ตารางที่ 7-8 มาตรการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอากาศ-อากาศ

เชื้อเพลิงน้ำมัน									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
40	5.25	9.43	1.09%	14.14	0.00%	18.86	0.00%	23.57	0.00%
50	10.49	4.71	16.74%	7.07	6.86%	9.43	1.09%	11.79	0.00%
60	15.74	3.14	29.56%	4.71	16.74%	6.29	9.50%	7.86	4.66%
70	20.98	2.36	41.49%	3.54	25.36%	4.71	16.74%	5.89	11.01%
80	26.23	1.89	53.00%	2.83	33.63%	3.77	23.35%	4.71	16.74%
90	31.48	1.57	63.80%	2.36	41.49%	3.14	29.56%	3.93	22.01%
100	36.72	1.35	99.90%	2.02	49.08%	2.69	38.45%	3.37	31.11%
110	41.97	1.18	99.90%	1.77	66.25%	2.36	49.08%	2.95	38.45%
120	47.21	1.05	99.90%	1.57	66.25%	2.10	49.08%	2.62	38.45%
130	52.46	0.94	200.00%	1.41	99.90%	1.89	66.25%	2.36	49.08%
140	57.71	0.86	200.00%	1.29	99.90%	1.71	66.25%	2.14	49.08%
150	62.95	0.79	200.00%	1.18	99.90%	1.57	66.25%	1.96	66.25%
200	89.18	0.55	200.00%	0.83	200.00%	1.11	99.90%	1.39	99.90%
250	115.41	0.43	-	0.64	200.00%	0.86	200.00%	1.07	99.90%
300	141.64	0.35	-	0.52	200.00%	0.70	200.00%	0.87	200.00%

เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
40	5.25	16.34	0.00%	24.51	0.00%	32.69	0.00%	40.86	0.00%
50	10.49	8.17	3.86%	12.26	0.00%	16.34	0.00%	20.43	0.00%
60	15.74	5.45	12.92%	8.17	3.86%	10.90	0.00%	13.62	0.00%
70	20.98	4.09	20.82%	6.13	10.08%	8.17	3.86%	10.21	0.00%
80	26.23	3.27	28.19%	4.90	15.66%	6.54	8.59%	8.17	3.86%
90	31.48	2.72	35.17%	4.09	20.82%	5.45	12.92%	6.81	7.70%
100	36.72	2.33	49.08%	3.50	25.66%	4.67	17.96%	5.84	12.66%
110	41.97	2.04	49.08%	3.06	31.11%	4.09	21.41%	5.11	15.10%
120	47.21	1.82	66.25%	2.72	38.45%	3.63	25.66%	4.54	17.96%
130	52.46	1.63	66.25%	2.45	49.08%	3.27	31.11%	4.09	21.41%
140	57.71	1.49	99.90%	2.23	49.08%	2.97	38.45%	3.71	25.66%
150	62.95	1.36	99.90%	2.04	49.08%	2.72	38.45%	3.40	31.11%
200	89.18	0.96	200.00%	1.44	99.90%	1.92	66.25%	2.40	49.08%
250	115.41	0.74	200.00%	1.11	99.90%	1.49	99.90%	1.86	66.25%
300	141.64	0.61	200.00%	0.91	200.00%	1.21	99.90%	1.51	66.25%

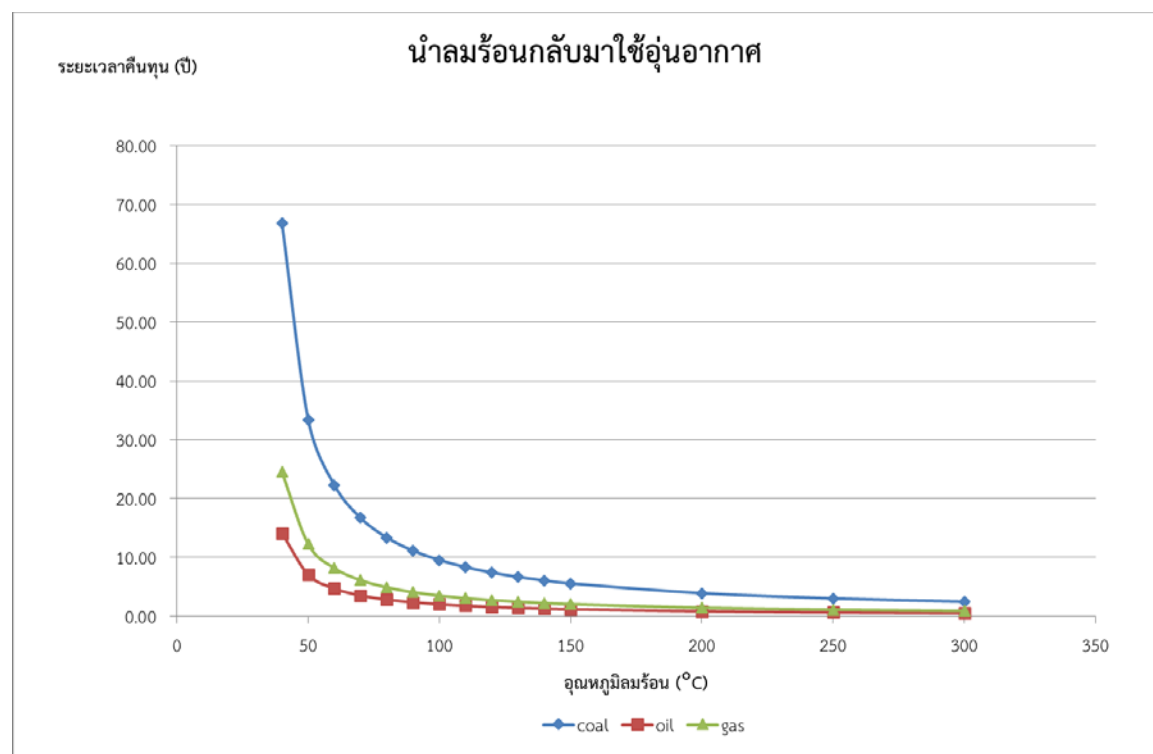
เชื้อเพลิงถ่านหิน									
อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	ΔT_{LM}	$C_A = 20,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 30,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 40,000$ (บาท/ตรม.)		$C_A = 50,000$ (บาท/ตรม.)	
		PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
40	5.25	44.57	0.00%	66.86	0.00%	89.14	0.00%	111.43	0.00%
50	10.49	22.29	0.00%	33.43	0.00%	44.57	0.00%	55.71	0.00%
60	15.74	14.86	0.00%	22.29	0.00%	29.71	0.00%	37.14	0.00%
70	20.98	11.14	0.00%	16.71	0.00%	22.29	0.00%	27.86	0.00%
80	26.23	8.91	2.15%	13.37	0.00%	17.83	0.00%	22.29	0.00%
90	31.48	7.43	5.81%	11.14	0.00%	14.86	0.00%	18.57	0.00%
100	36.72	6.37	10.56%	9.55	0.94%	12.73	0.00%	15.92	0.00%
110	41.97	5.57	12.66%	8.36	4.28%	11.14	0.00%	13.93	0.00%
120	47.21	4.95	17.96%	7.43	7.07%	9.90	0.94%	12.38	0.00%
130	52.46	4.46	21.41%	6.69	8.71%	8.91	3.07%	11.14	0.00%
140	57.71	4.05	21.41%	6.08	10.56%	8.10	4.28%	10.13	0.00%

150	62.95	3.71	25.66%	5.57	12.66%	7.43	7.07%	9.29	1.96%
200	89.18	2.62	38.45%	3.93	25.66%	5.24	15.10%	6.55	8.71%
250	115.41	2.03	49.08%	3.04	31.11%	4.05	21.41%	5.06	15.10%
300	141.64	1.65	66.25%	2.48	49.08%	3.30	31.11%	4.13	21.41%

หมายเหตุ

การใช้ตารางข้างต้น

- 1) หากสามารถคำนวณค่า ΔT_{LM} ของการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ตามสมการหน้า 7-2 ให้ใช้ค่า นั้นเปิดตารางดูค่าความคุ้มค่า แต่หากไม่มีข้อมูล ให้ใช้อุณหภูมิอากาศร้อน เปิดตารางดูค่าความ คุ้มค่า
- 2) หากตัวแปรที่ใช้งานต่างจากสมมุติฐานข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ชั่วโมงการใช้งาน ราคาเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน u ให้ปรับแก้ผลการวิเคราะห์ ระยะเวลาคืนทุนด้วยสัดส่วนของตัวแปรนั้น เทียบกับค่าที่ใช้ในสมมุติฐาน ถ้าตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวตั้งในสมการ 7-1 ให้คูณผลลัพธ์ด้วยค่า สัดส่วน และหากเป็นตัวหารก็หารผลลัพธ์ด้วยค่าสัดส่วน



รูปที่ 7-5 ระยะเวลาคืนทุนที่เงินลงทุน 30,000 บาท/ตรม.

สรุป

มาตรการนำความร้อนทิ้งจากอากาศร้อนมาใช้จะมีความคุ้มค่าขึ้นกับชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ ถ้าเป็นน้ำมันควรจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 70°C และก๊าซธรรมชาติควรมีอุณหภูมิ 120°C สำหรับเชื้อเพลิงถ่านหินที่ราคาต่ำสุดอากาศร้อนควรมีอุณหภูมิ 250°C ขึ้นไป

7.2.6 มาตรการนำความร้อนทิ้งจากน้ำระบายกลับมาใช้

อุปกรณ์เป้าหมาย หม้อไอน้ำ

การใช้งาน ติดตั้งถังเก็บน้ำระบายจากหม้อไอน้ำและเดินท่อน้ำป้อนผ่านเพื่ออุ่นน้ำ

การวิเคราะห์

อุณหภูมิน้ำในหม้อไอน้ำที่ความดัน P เท่ากับ	T°C	
อุณหภูมิน้ำป้อน	30°C	
ค่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน	ϵ	
อัตราการระบายน้ำ	%	BD
ขนาดพิกัดหม้อน้ำ	Ton	
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	Cp	
ชั่วโมงการใช้งานต่อปี	h	
ความร้อนที่นำกลับมาได้	$Q = \epsilon \%BD \times \text{Ton} \times C_p(T-30) \times h$	
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง	LHV	MJ/จี
ราคาเชื้อเพลิง	C _F	บาท/หน่วย
คิดเป็นเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	$F_{\text{save}} = \frac{\epsilon \%BD \times \text{Ton} \times C_p(T-30)h C_F}{LHV}$	
ถ้าเงินลงทุน/ตันหม้อไอน้ำ เท่ากับ	i	บาท/ตัน
	$PB = \frac{i LHV}{\epsilon \%BD \times C_p C_F h(T-30)}$	

สมมุติฐาน

ค่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ	0.4
อัตราการระบายน้ำ	3 %
ชั่วโมงการใช้งานต่อปี	7,200 ชั่วโมง/ปี
ต้นทุนการผลิตความร้อน (0)	

ประเภทเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน	ราคา	ราคา/MJ
------------------	-------------	------	---------

	(MJ/หน่วย)	(บาท)	
เชื้อเพลิงน้ำมัน	39.77 MJ/ลิตร	20.68 บาท/ลิตร	0.52
ก๊าซธรรมชาติ	1,055 MT/Mbtu	316.5 บาท/Mbtu	0.30
ถ่านหิน	15 MT/lg	1.65 บาท/kg	0.11

ผลการวิเคราะห์

เมื่อแปรค่า ราคาลงทุน 20,000 – 100,000 บาท/ตันหม้อไอน้ำ มีความคุ้มค่าของการดำเนินมาตรการ ดังนี้

ตารางที่ 7-9 มาตรการการนำความร้อนทิ้งจากน้ำระบายกลับมาใช้

เชื้อเพลิงน้ำมัน							
INVESTMENT/TON		20,000 บาท/ตัน		50,000 บาท/ตัน		100,000 บาท/ตัน	
Pressure (BARg)	temp	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
5	159.57	0.82	135.55%	2.05	47.91%	4.11	20.65%
6	165.79	0.78	143.08%	1.96	50.43%	3.92	22.07%
7	171.23	0.75	149.14%	1.89	53.02%	3.77	23.36%
8	176.10	0.73	154.16%	1.82	55.18%	3.64	24.43%
9	180.50	0.71	158.43%	1.77	57.01%	3.54	25.34%
10	184.53	0.69	162.13%	1.72	58.60%	3.45	26.25%
11	188.26	0.67	165.38%	1.68	59.99%	3.36	27.14%
12	191.72	0.66	168.26%	1.65	61.23%	3.29	27.92%
13	194.97	0.65	170.86%	1.61	62.34%	3.23	28.63%

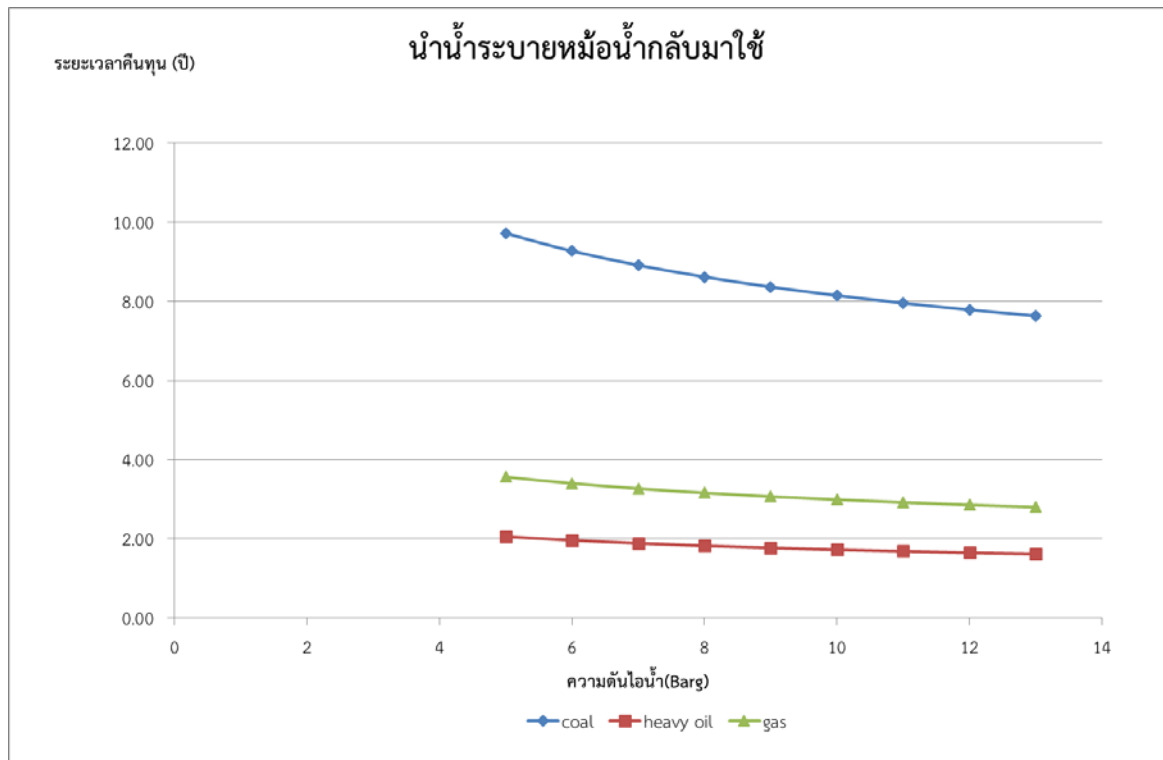
เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ							
INVESTMENT/TON		20,000 บาท/ตัน		50,000 บาท/ตัน		100,000 บาท/ตัน	
Pressure (BARg)	temp	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
5	159.57	1.36	75.73%	3.56	25.14%	7.12	6.71%
6	165.79	1.31	79.26%	3.40	26.77%	6.80	7.74%
7	171.23	1.26	82.18%	3.27	28.20%	6.53	8.60%
8	176.10	1.23	84.67%	3.16	29.39%	6.32	9.39%
9	180.50	1.19	86.82%	3.07	30.40%	6.13	10.07%
10	184.53	1.17	88.72%	2.99	31.32%	5.97	10.68%
11	188.26	1.14	90.40%	2.92	32.35%	5.83	11.27%
12	191.72	1.12	91.91%	2.85	33.27%	5.71	11.80%
13	194.97	0.00	-	2.80	34.10%	5.59	12.27%

เชื้อเพลิงถ่านหิน							
INVESTMENT/TON		20,000 บาท/ตัน		50,000 บาท/ตัน		100,000 บาท/ตัน	
Pressure (BARg)	temp	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
5	159.6	3.89	22.38%	9.71	0.54%	19.43	0.00%
6	165.8	3.71	23.89%	9.27	1.41%	18.54	0.00%
7	171.2	3.56	25.11%	8.91	2.16%	17.82	0.00%
8	176.1	3.45	26.25%	8.61	2.82%	17.23	0.00%
9	180.5	3.35	27.35%	8.36	3.40%	16.73	0.00%
10	184.5	3.26	28.30%	8.14	3.93%	16.29	0.00%
11	188.3	3.18	29.14%	7.95	4.40%	15.91	0.00%
12	191.7	3.11	29.88%	7.78	4.85%	15.56	0.00%
13	195.0	3.05	30.55%	7.63	5.26%	15.26	0.00%

หมายเหตุ

การใช้ตารางข้างต้น

- 3) หากสามารถคำนวณค่า ΔT_{LM} ของการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ตามสมการหน้า 7-2 ให้ใช้ค่านั้นเปิดตารางดูค่าความคุ้มค่า แต่หากไม่มีข้อมูล ให้ใช้อุณหภูมิอากาศร้อน เปิดตารางดูค่าความคุ้มค่า
- 4) หากตัวแปรที่ใช้ต่างจากสมมุติฐานข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ชั่วโมงการใช้งาน ราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน u ให้ปรับแก้ผลการวิเคราะห์ ระยะเวลาคืนทุนด้วยสัดส่วนของตัวแปรนั้นเทียบกับค่าที่ใช้ในสมมุติฐาน ถ้าตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวตั้งในสมการ 7-1 ให้คูณผลลัพธ์ด้วยค่าสัดส่วน และหากเป็นตัวหารก็ให้หารผลลัพธ์ด้วยค่าสัดส่วน



รูปที่ 7-6 ระยะเวลาคืนทุนที่เงินลงทุน 50,000 บาท/ตัน

สรุป

ความคุ้มค่าของมาตรการนํานํ้าระบายหม้อนํ้ากลับมาใช้ จะขึ้นกับราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและราคาเชื้อเพลิงเป็นหลัก

7.2.7 มาตรการติดตั้งปั๊มความร้อน

อุปกรณ์เป้าหมาย อุปกรณ์ที่มีความร้อนทิ้งในรูปน้ำ หรืออากาศร้อนอุณหภูมิต่ำ

การใช้งาน ความร้อนที่ต้องการมีอุณหภูมิสูงกว่าแหล่งความร้อนทิ้ง และใช้ปั๊มความร้อนเพิ่มอุณหภูมิ เพื่อให้นำมาใช้ได้

การวิเคราะห์

ระบบเดิมผลิตน้ำร้อนด้วยฮีตเตอร์ หรือหัวเผาอุณหภูมิ	T_2 °C
แหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิ	T_1 °C
ปริมาณความร้อนต้องการใช้	Q MJ/ปี
ประสิทธิภาพระบบผลิตความร้อนเดิม	η
ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงเดิม	$\frac{Q}{\eta_{LHV}} C_F$ บาท/ปี
ฮีตปั๊มมีสมรรถนะ (COP)	COP
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	$\frac{Q}{COP}$ MJ
	$\frac{Q}{3.6 COP}$ kWh
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_E
บาท/kWh	
ค่าไฟฟ้าที่ฮีตปั๊มใช้	$\frac{Q}{3.6 COP} C_E$ บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัด	$\frac{Q}{\eta_{LHV}} C_F - \frac{Q}{3.6 COP} C_E$ บาท/ปี
ชั่วโมงการใช้งานต่อปี	h
อัตราการระเหยต่อปี	r
ขนาดฮีตปั๊ม	$\frac{Q}{3.6 r h COP}$ kW
ราคากระบบ	i บาท/kW
เป็นเงินลงทุน	$\frac{Q i}{3.6 r h COP}$ บาท
ให้ค่า	$c = C_F / LHV$
ระยะเวลาคืนทุน	$\frac{\eta i}{r h (3.6 COP c - \eta C_E)}$ ปี

สมมุติฐาน

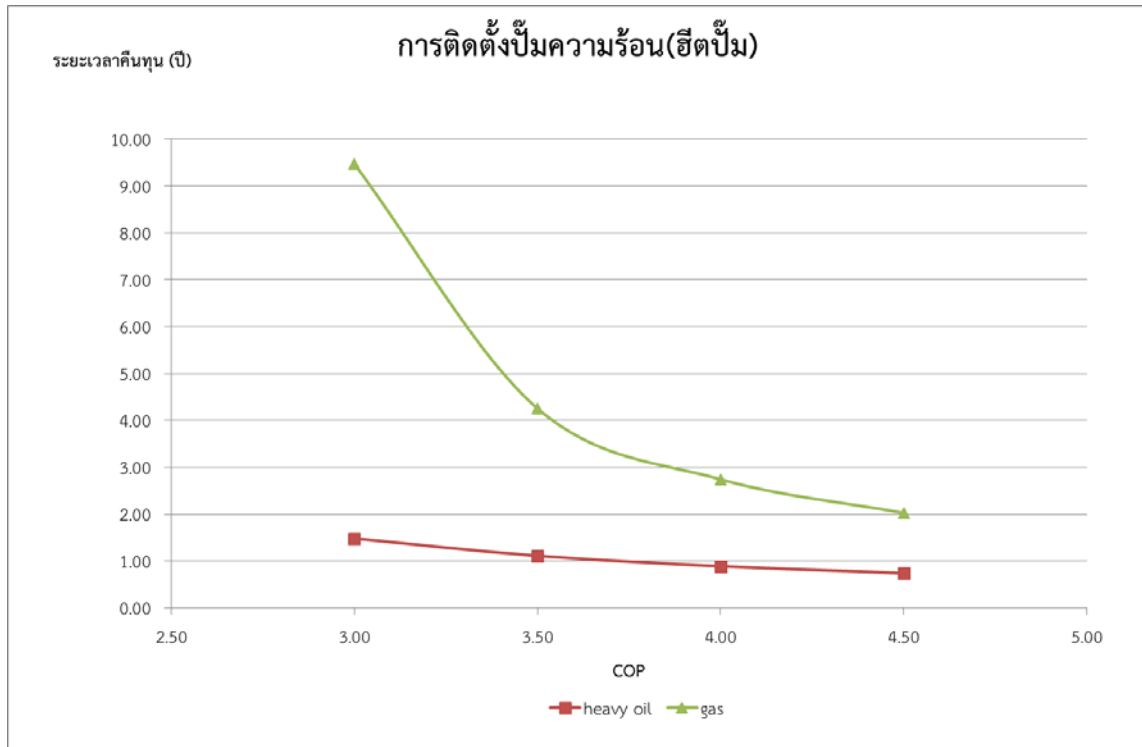
ค่าประสิทธิภาพระบบความร้อนเท่ากับ	0.8	
อัตราการระเหยใช้งานเฉลี่ยต่อปี (r)	0.8	
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (C _E)	3.5	บาท/kWh
ชั่วโมงการใช้งานต่อปี	7,200	ชั่วโมง/ต่อปี

ผลการวิเคราะห์

เมื่อแปรค่า สมรรถนะของฮีตปั๊มที่เลือก ซึ่งปกติมีค่า 3.5-4 และราคาฮีตปั๊มต่อกิโลวัตต์ โดยทั่วไป ประมาณ 30,000 บาทต่อกิโลวัตต์ จะมีความคุ้มค่าของการดำเนินมาตรการ ดังนี้

ตารางที่ 7-10 มาตรการติดตั้งปั๊มความร้อน

INVESTMENT/Kw		20,000 บาท/kW		25,000 บาท/kW		30,000 บาท/kW		35,000 บาท/kW	
เชื้อเพลิง	COP	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
ก๊าซธรรมชาติ	3.00	6.31	9.40%	7.89	4.57%	9.47	1.01%	11.05	0.00%
ก๊าซธรรมชาติ	3.50	2.83	33.54%	3.54	25.29%	4.25	19.67%	4.96	15.33%
ก๊าซธรรมชาติ	4.00	1.83	55.00%	2.28	43.04%	2.74	34.91%	3.20	28.95%
ก๊าซธรรมชาติ	4.50	1.35	76.45%	1.69	59.88%	2.02	48.60%	2.36	41.43%
น้ำมัน	3.00	0.99	102.62%	1.23	84.22%	1.48	67.62%	1.73	58.48%
น้ำมัน	3.50	0.74	151.88%	0.93	114.83%	1.11	92.46%	1.30	80.01%
น้ำมัน	4.00	0.59	181.47%	0.74	151.82%	0.89	122.16%	1.04	97.42%
น้ำมัน	4.50	0.49	-	0.62	176.50%	0.74	151.78%	0.86	127.06%
ถ่านหิน	3.00	-1.72	-	-2.15	-	-2.58	-	-3.02	-
ถ่านหิน	3.50	-1.96	-	-2.46	-	-2.95	-	-3.44	-
ถ่านหิน	4.00	-2.28	-	-2.86	-	-3.43	-	-4.00	-
ถ่านหิน	4.50	-2.73	-	-3.41	-	-4.09	-	-4.78	-



รูปที่ 7-7 ระยะเวลาคืนทุนที่เงินลงทุน 30,000 บาท/kW

สรุป

มาตรการติดตั้งปั๊มความร้อน ความคุ้มค่าส่วนใหญ่อยู่ที่ 1.5-3 ปี และ IRR สูงกว่า 30% โดยขึ้นกับสมรรถนะของฮีตปั๊มที่เลือก ซึ่งปกติมีค่า 3.5 – 4 และราคาฮีตปั๊มต่อกิโลวัตต์ประมาณ 30,000 บาทต่อกิโลวัตต์

7.2.8 มาตรการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งด้วยวัฏจักร

อุปกรณ์เป้าหมาย เตา หรือกระบวนการที่มีความร้อนทิ้งอุณหภูมิไม่เกิน 250°C

การใช้งาน ในกรณีที่มีความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำในช่วง 100-400 °C

การวิเคราะห์

ปริมาณความร้อนทิ้ง	Q	mJ/ปี
อุณหภูมิ	T °C	
อุณหภูมิรับความร้อนหรือระบายทิ้ง	T _o °C	
ประสิทธิภาพระบบโดยเอนโดเทอร์มิก $\eta = 1 - \sqrt{\frac{T}{T_o}}$		
ไฟฟ้าที่ผลิตได้	ηQ	MJ/ปี
	$\frac{\eta Q}{3.6}$	kWh/ปี
ค่าไฟฟ้าที่ขาย	C _E	บาท/kWh
ชั่วโมงการผลิตไฟฟ้าต่อปี	h	ชั่วโมง/ปี
อัตราการะการทำงานเฉลี่ยปีกั้ดระบบ	r	
รายรับจากการผลิตไฟฟ้า	$\frac{\eta Q}{3.6} C_E$	บาท
ขนาดระบบ	$\frac{\eta Q}{3.6hr}$	kW
ราคาระบบ ORC	i	บาท
คิดเป็นเงินร้อยละ	$\frac{\eta Qi}{3.6hr}$	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	$\frac{i}{hrC_E}$	บาท

สมมุติฐาน

อายุโครงการ	15 ปี
กรณีแหล่งความร้อนอุณหภูมิ เช่น ก๊าซท่อไอเสียใช้อุณหภูมิรับ (T _o)	140°C
กรณีแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำใช้อุณหภูมิรับ (T _o)	40°C
ชั่วโมงการผลิต	8,760 ชั่วโมง/ปี
อัตราการะการทำงานเฉลี่ยเทียบกับปีกั้ด (r)	0.8

ผลการวิเคราะห์

จะเป็นได้ว่าความคุ้มค่าขึ้นกับราคาระบบค่าไฟฟ้าและราคาไฟฟ้าที่ขายได้ การวิเคราะห์ได้แปรค่าเงินลงทุนของระบบ ซึ่งปกติประมาณ 200,000 – 250,000 บาท/kW และอัตราค่าไฟฟ้าที่จะขายได้ผลเป็นดังนี้

ก. แหล่งรับความร้อนเป็นก๊าซไอเสีย

ราคา ค่าไฟฟ้า	เงินลงทุน/kW					
	200,000 บาท	180,000 บาท	160,000 บาท	140,000 บาท	120,000 บาท	100,000 บาท
3.5	8.15 ปี (8.82%)	7.34 ปี (10.65%)	6.52 ปี (12.82%)	5.71 ปี (15.54%)	4.89 ปี (18.96%)	4.08 ปี (23.54%)
4	7.13 ปี (11.16%)	6.42 ปี (13.14%)	5.71 ปี (15.54%)	4.99 ปี (18.44%)	4.28 ปี (22.28%)	3.57 ปี (27.34%)
4.5	6.34 ปี (13.39%)	5.71 ปี (15.54%)	5.07 ปี (18.10%)	4.44 ปี (21.31%)	3.81 ปี (25.51%)	3.17 ปี (31.15%)
5	5.71 ปี (15.54%)	5.14 ปี (17.83%)	4.57 ปี (20.60%)	4.00 ปี (24.04%)	3.42 ปี (28.61%)	2.85 ปี (34.87%)
5.5	5.19 ปี (17.61%)	4.67 ปี (20.08%)	4.15 ปี (23.08%)	3.63 ปี (26.84%)	3.11 ปี (31.73%)	2.59 ปี (38.44%)
6	4.76 ปี (19.64%)	4.28 ปี (22.28%)	3.81 ปี (25.51%)	3.33 ปี (29.56%)	2.85 ปี (34.87%)	2.38 ปี (42.21%)

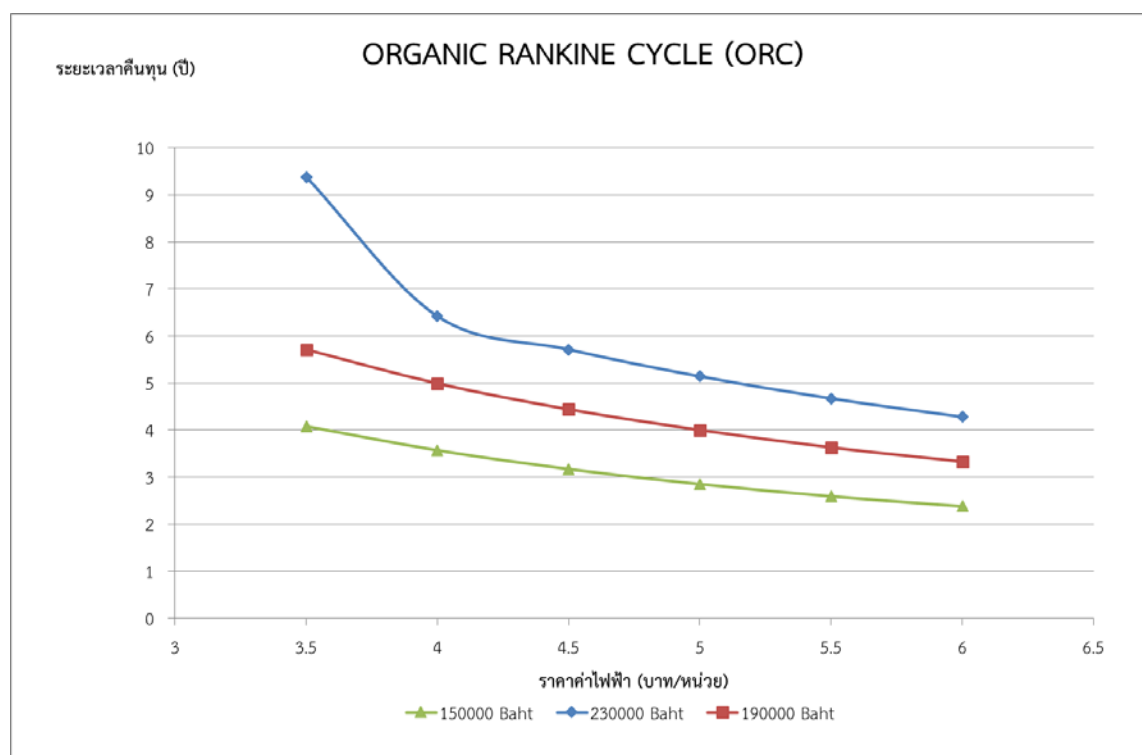
ข. แหล่งความร้อนอื่นๆ

ราคา ค่าไฟฟ้า	เงินลงทุน/kW					
	250,000 บาท	230,000 บาท	210,000 บาท	190,000 บาท	170,000 บาท	150,000 บาท
3.5	10.19 ปี (5.56%)	9.38 ปี (6.55%)	6.52 ปี (12.82%)	5.71 ปี (15.54%)	4.89 ปี (18.96%)	4.08 ปี (23.54%)
4	7.13 ปี (11.16%)	6.42 ปี (13.14%)	5.71 ปี (15.54%)	4.99 ปี (18.44%)	4.28 ปี (22.28%)	3.57 ปี (27.34%)
4.5	6.34 ปี (13.39%)	5.71 ปี (15.54%)	5.07 ปี (18.10%)	4.44 ปี (21.31%)	3.81 ปี (25.51%)	3.17 ปี (31.15%)
5	5.71 ปี (15.54%)	5.14 ปี (17.83%)	4.57 ปี (20.60%)	4.00 ปี (24.04%)	3.42 ปี (28.61%)	2.85 ปี (34.87%)
5.5	5.19 ปี (17.61%)	4.67 ปี (20.08%)	4.15 ปี (23.08%)	3.63 ปี (26.84%)	3.11 ปี (31.73%)	2.59 ปี (38.44%)
6	4.76 ปี (19.64%)	4.28 ปี (22.28%)	3.81 ปี (25.51%)	3.33 ปี (29.56%)	2.85 ปี (34.87%)	2.38 ปี (42.21%)

หมายเหตุ

การใช้ตารางข้างต้น

- 5) หากสามารถคำนวณค่า ΔT_{LM} ของการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ตามสมการหน้า 7-2 ให้ใช้ค่านั้นเปิดตารางดูค่าความคุ้มค่า แต่หากไม่มีข้อมูล ให้ใช้อุณหภูมิอากาศร้อน เปิดตารางดูค่าความคุ้มค่า
- 6) หากตัวแปรที่ใช้ต่างจากสมมติฐานข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ชั่วโมงการใช้งาน ราคาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน u ให้ปรับแก้ผลการวิเคราะห์ ระยะเวลาคืนทุนด้วยสัดส่วนของตัวแปรนั้นเทียบกับค่าที่ใช้ในสมมติฐาน ถ้าตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวตั้งในสมการ 7-1 ให้คูณผลลัพธ์ด้วยค่าสัดส่วน และหากเป็นตัวหารก็ให้หารผลลัพธ์ด้วยค่าสัดส่วน



รูปที่ 7-8 ระยะเวลาคืนทุนกรณีที่เป็นน้ำร้อน หรือแหล่งความร้อนอื่น

สรุป

การผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC จะมีความคุ้มค่าอยู่ที่ 6-7 ปี ค่า IRR ประมาณ 12-15% กรณีที่ไม่มีการขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้า แต่หากมีการสนับสนุนจะคืนทุนใน 3 ปี และค่า IRR สูงกว่า 25%

7.2.9 มาตรการติดตั้ง Heat Wheel

อุปกรณ์เป้าหมาย ระบบการระบายอากาศ

การใช้งาน นำความเย็นที่ปล่อยทิ้งแลกเปลี่ยนกับอากาศที่เติมเข้าอาคาร เพื่อลดภาระในการปรับอากาศ

การวิเคราะห์

ปริมาณอากาศที่ดูดทิ้ง	m	kg/h
อุณหภูมิของอากาศปล่อยทิ้ง	T_o	°C
อุณหภูมิของอากาศภายนอก	T_i	°C
ค่าประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อน	ϵ	
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	C_p	kJ/kg°C
สมรรถนะของระบบปรับอากาศ	COP	
ดังนั้น ความร้อนที่ถ่ายเทได้	$\epsilon m C_p (T_i - T_o)$	kJ/h
พลังงานที่เครื่องปรับอากาศต้องใช้	$\frac{\epsilon m C_p (T_i - T_o) h}{COP}$	kJ/h
ถ้าชั่วโมงการทำงาน	h	ชั่วโมง/ปี
จะคิดพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	$\frac{\epsilon m C_p (T_i - T_o) h}{3,600 COP}$	kWh/y
ในกรณีที่คิดว่ามอเตอร์ขับเคลื่อน Heat Wheel ใช้พลังงาน	10%	
พลังงานที่ประหยัดได้	$\frac{0.9 \epsilon m C_p (T_i - T_o) h}{3,600 COP}$	kWh/y
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_E	บาท/kWh
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	$\frac{0.9 \epsilon m C_p (T_i - T_o) h C_E}{3,600 COP}$	
ถ้าราคาระบบ	i	บาท/cfm
	$\frac{i}{1.699}$	บาท/m ³ /h
	$0.49i$	บาท/kg/h
เงินลงทุน	$0.49im$	บาท

ระยะเวลาคืนทุน	$\frac{1,916.93 \text{ i COP}}{\epsilon C_p (T_i - T_o) h C_E}$		ปี
<u>สมมุติฐาน</u>			
อากาศเข้าปรับอากาศอุณหภูมิ	30°C		
อากาศที่ระบายทิ้ง	22°C		
ค่าความจุความร้อน (C _p)	1	kJ/kg °C	
สมรรถนะระบบปรับอากาศ (COP)	3.2		
ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน	0.7		
ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	3.5	บาท/kWh	
ชั่วโมงการทำงาน (h)	กรณีสำนักงาน	2,000	ชั่วโมง/ปี
	กรณีโรงแรม/โรงพยาบาล	8,760	ชั่วโมง/ปี
	กรณีศูนย์การค้า	4,380	ชั่วโมง/ปี
อายุอุปกรณ์	10		ปี

ผลการวิเคราะห์

เมื่อทดลองแปรค่าราคาของ Heat Wheel ซึ่งปกติประมาณ 100 บาท/cfm ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าสำหรับอาคารประเภทต่างๆ เป็นดังนี้

ประเภทอาคาร	ราคา Heat Wheel (บาท/cfm)					
	100 บาท/cfm		100 บาท/cfm		100 บาท/cfm	
	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)	PB (ปี)	IRR (%)
สำนักงาน	14.9	0	22.4	0	29.9	0
โรงแรม/โรงพยาบาล	3.4	25	5.11	15	6.8	8.8
ศูนย์การค้า	6.8	7	10.23	0	13.6	0

สรุป

ในการวิเคราะห์ที่ใช้อุณหภูมิอากาศออก 22°C ซึ่งค่อนข้างต่ำและใช้ค่าสมรรถนะระบบปรับอากาศ (COP) 3.2 ซึ่งได้แก่ ระบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ แม้กระนั้นก็ตามความคุ้มค่ายัง ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นในการพิจารณาปรับปรุงควรพิจารณาชั่วโมงการใช้งานที่สูงมาก และมีอากาศที่ระบายทิ้งค่อนข้าง อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ ห้องเย็น ห้องแช่แข็ง หรือมีการติดตั้งชุดลดความชื้นอากาศภายนอกก่อนเข้าปรับ อากาศ (PRECOOL UNIT) Heat Wheel พร้อมสารดูดความชื้นจึงมีความน่าสนใจ

7.2.10 มาตรการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม

อุปกรณ์เป้าหมาย ระบบทำน้ำเย็น

การใช้งาน สถานประกอบการมีแหล่งความร้อนทิ้งเป็นก๊าซไอเสียอุณหภูมิสูงกว่า 160°C หรือน้ำร้อนอุณหภูมิ 90°C ขึ้นไป สามารถนำมาใช้ผลิตความเย็นได้ ทดแทนการผลิตน้ำเย็นด้วยไฟฟ้า

การวิเคราะห์

ถ้าปริมาณแหล่งความร้อนมีอัตราการไหล	m	kg/s
อุณหภูมิแหล่งความร้อน	t	°C
อุณหภูมิที่รับความร้อน	t _o	°C
โดย t _o = 40°C กรณีน้ำร้อน และ 150 °C กรณีก๊าซไอเสีย		
ค่าความจุความร้อนของตัวกลางพาความร้อน	C _p	kJ/kg
เครื่องผลิตน้ำเย็นแบบดูดซึมมีประสิทธิภาพ	CoP _{ab}	
ปริมาณความร้อนที่นำมาใช้ได้	m C _p (t-t _o)	kW
ปริมาณความเย็นที่จะผลิตได้	m C _p (t-t _o) CoP _{ab}	kW _{RT}
หรือคิดเป็น	$\frac{mc_p}{3.51} (t - t_o) CoP_{ab}$	ton
หากเครื่องทำน้ำเย็นมีประสิทธิภาพ	$\left(\frac{kW}{ton}\right)_e$	kW/ton
พลังไฟฟ้าที่จะประหยัดได้	$\frac{mc_p}{3.51} (t - t_o) CoP_{ab} \left(\frac{kW}{ton}\right)_e$	kWh/ปี
เมื่อ h เป็นชั่วโมงการทำงานต่อปี และ C _E เป็นราคาไฟฟ้าต่อหน่วย		
ดังนั้น จะประหยัดค่าไฟฟ้า	$\frac{mc_p}{3.51} (t - t_o) CoP_{ab} \left(\frac{kW}{ton}\right)_e C_E$	บาท/ปี
และหากระบบดูดซึมมีเงินลงทุน	i	บาท/ตัน
จะใช้เงินลงทุน	$1.2 \times \frac{mc_p}{3.51} (t - t_o) CoP_{ab} i$	บาท
โดยเลือกระบบที่มีขนาดใหญ่กว่าภาระผลิตความร้อน 20% (คูณ 1.2)		
ระยะเวลาคืนทุน	$\frac{1.2 i}{C_E \left(\frac{kW}{ton}\right)_e} h$	ปี

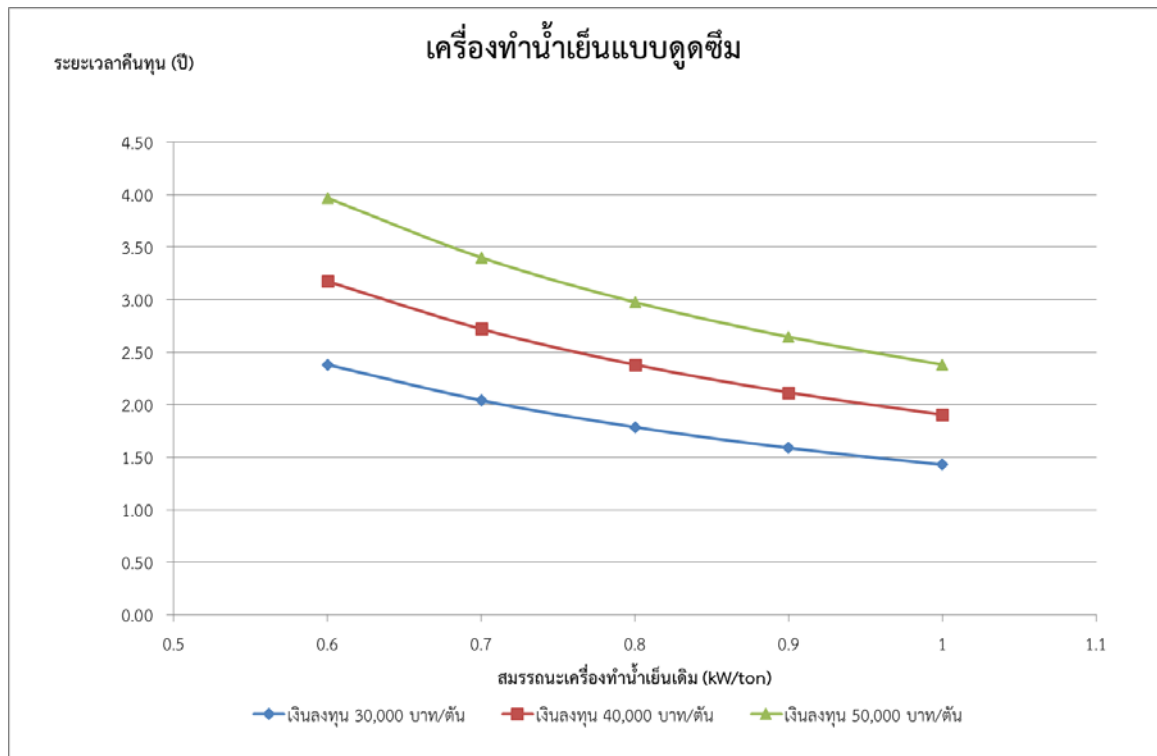
สมมุติฐาน

i ประมาณ	20,000 – 50,000	บาท/ตัน
C_E ประมาณ	3.5	บาท/หน่วย
$\left(\frac{kW}{ton}\right)_e$ โดยทั่วไป	0.6-1	kW/ton
h ชั่วโมงการทำงาน	7,200	ชั่วโมง/ปี

ผลการวิเคราะห์

เมื่อแปรราคากระบวนผลิตน้ำเย็นแบบดูดซึมในช่วง 20,000 – 50,000 บาทต่อตัน และค่าประสิทธิภาพของระบบที่ใช้ไฟฟ้าอยู่เดิม ได้ผลความคุ้มค่า ดังนี้

สมรรถนะ ระบบที่ใช้ไฟฟ้า (kW/ton) _e	ราคากระบวนดูดซึม (บาทต่อตันความเย็น) i							
	20,000 (บาท/ตัน)		30,000 (บาท/ตัน)		40,000 (บาท/ตัน)		50,000 (บาท/ตัน)	
	PB(ปี)	% IRR	PB(ปี)	% IRR	PB(ปี)	% IRR	PB(ปี)	% IRR
0.6	1.59	63%	2.38	41%	3.17	29%	3.97	22%
0.7	1.36	76%	2.04	48%	2.72	35%	3.4	27%
0.8	1.19	87%	1.79	56%	2.38	41%	2.98	31%
0.9	1.06	96%	1.59	63%	2.12	47%	2.65	36%
1	0.95	109%	1.43	71%	1.90	52%	2.38	41%



รูปที่ 7-9 ระยะเวลาคืนทุนมาตรการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม

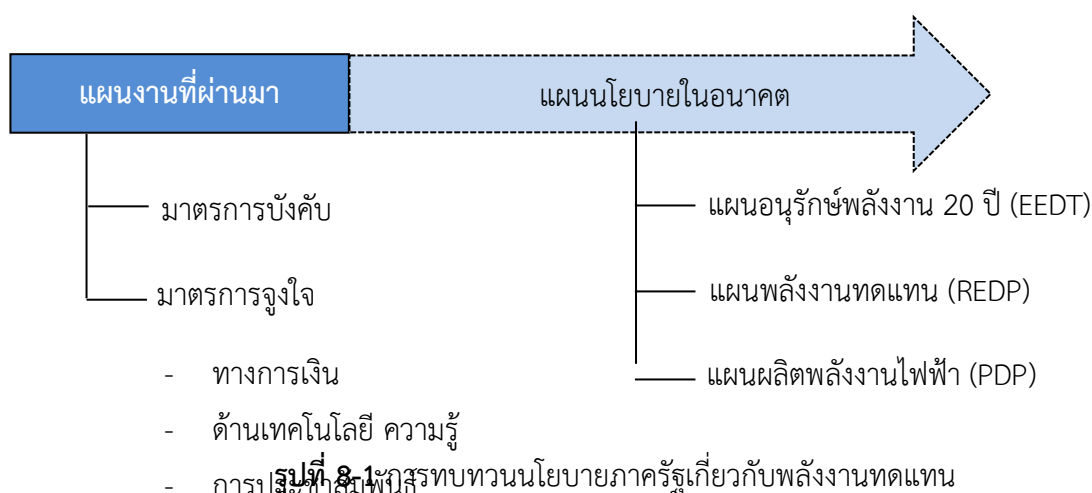
บทที่ 8

การศึกษานโยบายการส่งเสริมและความพร้อมของผู้ผลิตจัดจำหน่าย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงนโยบายการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในประเทศไทย และความพร้อมของผู้ผลิตและจัดจำหน่ายเทคโนโลยี โดยนโยบายการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในประเทศไทยจะกล่าวถึงแผนงานต่างๆที่ผ่านมาและแผนงานนโยบายในอนาคตด้านอนุรักษ์พลังงาน และในเรื่องความพร้อมของผู้ผลิตและจัดจำหน่ายเทคโนโลยี ประกอบด้วย ความพร้อมทางการตลาด ความคุ้มค่าในการลงทุน ความพร้อมในการผลิตและการติดตั้งในการใช้งาน กลุ่มลูกค้าที่มีศักยภาพในการลงทุน และปัญหาและอุปสรรค

8.1 นโยบายการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในประเทศไทย

ประเทศไทยมีการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานค่อนข้างแพร่หลาย และมีลักษณะบูรณาการร่วมกัน ไม่ปรากฏชัดในเรื่องความร้อนทิ้ง ที่ปรึกษาได้ทบทวนนโยบายและแผนงานที่ดำเนินการผ่านมา และนโยบายที่จะดำเนินการต่อไปตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี แผนพลังงานทดแทน แผนผลิตไฟฟ้า ดังนี้



8.1.1. แผนงานที่ผ่านมา

● มาตรการบังคับ

ในบางประเทศ เช่น ญี่ปุ่น มีมาตรฐานอุณหภูมิของก๊าซไอเสียของอุตสาหกรรมแต่ละประเภท และกำหนดค่าร้อยละการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ไม่พบว่ามีข้อกำหนดในกฎหมาย หรือระเบียบของไทย ประเทศไทยมีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมด้านการใช้พลังงาน เป็นประสิทธิภาพขั้นต่ำ แต่ปัจจุบันยังไม่มีกำหนดกับอุปกรณ์ผลิตความร้อน การกำหนดอุณหภูมิ และองค์ประกอบก๊าซไอเสียเป็นข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม

● มาตรการจูงใจ

วัตถุประสงค์เพื่อลดภาระของผู้ลงทุน และระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยีประหยัดพลังงานนั้นๆ เร็วขึ้น ผู้ประกอบการที่เล็งเห็นว่าลงทุนเพื่อการประหยัดพลังงาน โครงการต่างๆ ที่ผ่านมา ได้แก่

1. โครงการสาธิตเทคโนโลยีประหยัดพลังงาน



หน่วยงานที่ให้การสนับสนุน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

รูปแบบโครงการ พพ.ได้คัดเลือกเทคโนโลยีที่น่าสนใจ และยังไม่แพร่หลาย

เทคโนโลยี และให้การสนับสนุนโรงงาน อาคาร ที่สมัครเข้าร่วมโครงการให้ดำเนินการปรับปรุง โดยสนับสนุน เงินลงทุนร้อยละ 30 ของเงินลงทุน จากนั้นประชาสัมพันธ์และให้โรงงานนั้นๆ เป็นต้นแบบให้โรงงานอื่นๆ เทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่อยู่ในเกณฑ์ส่งเสริมได้แก่

- การใช้หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

กลุ่มเป้าหมาย โรงงานอุตสาหกรรม (ส่วนใหญ่เป็นประเภทที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีนั้นๆ)

การสนับสนุน ร้อยละ 30 ของเงินลงทุน แต่ไม่เกิน 15 ล้านบาท/ราย

2. โครงการ DSM BIDDING



หน่วยงานที่ให้การสนับสนุน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน

กลุ่มเป้าหมาย อาคารและโรงงานอุตสาหกรรม

รูปแบบโครงการ สนพ. จะเปิด รับข้อเสนอจากอาคารและโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมาตรการอนุรักษ์พลังงานเป็นรอบๆ โดยผู้ยื่นต้องเสนออัตราผลตอบแทนต่อหน่วยพลังงานที่ประหยัดได้ และเงินสนับสนุนจะจัดให้กับรายที่มีผลตอบแทนต่ำที่สุดก่อนที่ลจรายจนหมดเงินทุนในรอบนั้นๆ มาตรการที่นำเสนอจะแตกต่างกันไป โดยมาตรการส่วนหนึ่งมีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ด้วย การวัดผลประหยัดพลังงานเพื่อนำมาคำนวณเงินสนับสนุนจะตรวจวัดโดยทีม M&V Unit ที่ สนพ. แต่งตั้ง

การสนับสนุน พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 1 บาท/kWh

พลังงานความร้อนไม่เกิน 75 บาท/ล้านปีที่ยู

3. โครงการที่ให้สิทธิประโยชน์ทางภาษี



หน่วยงานที่สนับสนุน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กรมสรรพากร

กลุ่มเป้าหมาย อาคารและโรงงานอุตสาหกรรม

รูปแบบโครงการ การให้สิทธิประโยชน์ทางภาษีที่ผ่านมามีการดำเนินการ 3 โครงการ 2 ใน 3 โครงการ ซึ่งปัจจุบันหยุดไปแล้ว และกำลังเปิดอยู่ 1 โครงการ ได้แก่

- โครงการสิทธิประโยชน์ทางภาษีของ พพ. โดยนำผลประหยัดพลังงานที่ได้มาคำนวณภาษี และจ่ายเงินคืนให้กับสถานประกอบการ เทคโนโลยีที่นำเสนอได้ครอบคลุม ทุกเทคโนโลยีที่สามารถประหยัดพลังงานได้ การวัดผลโดยที่ปรึกษาของ พพ.ปัจจุบันปิดไปแล้ว
- โครงการสิทธิประโยชน์ของกรมสรรพากร จะให้ค่าลดหย่อนได้ 1.25 เท่าของราคาอุปกรณ์ มีผลให้ภาษีเงินได้ลดลง ทั้งนี้เทคโนโลยีจะต้องได้รับการรับรองและตรวจวัดผลโดย พพ.ปัจจุบันปิดไปแล้ว
- โครงการสิทธิประโยชน์ทางภาษีที่ยังดำเนินการอยู่จนถึงปี ค.ศ.2017 ได้แก่โครงการของ BOI ซึ่งต้องเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานเครื่องจักร การใช้พลังงานทดแทน โดยจะได้รับยกเว้นภาษีนำเข้า และ ยกเว้นภาษีรายได้นิติบุคคลเป็นเวลา 3 ปี ตามฐานรายได้ของโรงงานเดิม แต่ไม่เกินร้อยละ 50 ของเงินลงทุนโครงการ

การสนับสนุน โครงการของ พพ. จ่ายเงินสนับสนุนคืนผลประหยัดที่คำนวณตามฐานภาษีโครงการของกรมสรรพากร คิดค่าลดหย่อนเงินลงทุนให้ 125 % โครงการของ BOI ยกเว้นภาษีนำเข้าและภาษีเงินได้ไม่เกิน 50 % ของเงินลงทุน

4. โครงการ ESCO Fund



หน่วยงานที่ให้การสนับสนุน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

กลุ่มเป้าหมาย อาคารโรงงานอุตสาหกรรม

รูปแบบโครงการ เป็นรูปแบบที่รัฐร่วมลงทุนกับภาคเอกชนในหลายรูปแบบ เช่น เข้าไปร่วมถือหุ้นไม่เกิน 50 % ของส่วนลงทุนและขายคืนเมื่อครบเวลา หรือ เข้าไปซื้อหุ้นให้บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และที่สอดคล้องกับการใช้ความร้อนทิ้งคือ ให้เช่าซื้ออุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และรับเงินคืนพร้อมดอกเบี้ยจากสถานประกอบการ มีวงเงินไม่เกิน 10 ล้านบาท ระยะเวลาผ่อนชำระ 5-7 ปี และอัตราดอกเบี้ย 4 %

การสนับสนุน เงินกู้อัตราดอกเบี้ยต่ำ ในการลงทุนเพื่อการประหยัดพลังงาน

5. โครงการ 20 : 80



โครงการ DEDE SUBSIDY 80/20 คืบวิน

หน่วยงานที่ให้การสนับสนุน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

รูปแบบโครงการ สนับสนุนเงินลงทุนในการประหยัดพลังงานด้วยเทคโนโลยีที่กำหนดร้อยละ 20 และสถานประกอบการลงทุนร้อยละ 80 ปัจจุบันไม่มีมาตรการด้านการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

- มาตรการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานไฟฟ้า

ภาครัฐมีการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ชีวมวล ก๊าซชีวภาพจากของเสีย ขยะ โดยรับซื้อเข้าสู่ระบบในอัตรา 4.02-6.6 บาท ตามประเภทแหล่งพลังงาน แต่ปัจจุบันยังไม่ครอบคลุมถึงการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้ง

- มาตรการส่งเสริมด้านเทคโนโลยี

มีการส่งที่ปรึกษาเข้าไปช่วยสถานประกอบการในการอนุรักษ์พลังงาน ถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้ประกอบการ เช่น โครงการอนุรักษ์พลังงาน แบบมีส่วนร่วม ซึ่งการนำความร้อนทิ้งกลับไปใช้อาจเป็นส่วนหนึ่งในคำแนะนำ และมีหน่วยให้คำปรึกษากลางของ พพ. (ONE STOP SERVICE) ให้คำแนะนำเบื้องต้นในหัวข้อทั่วไป

- มาตรการด้านฝึกอบรม และประชาสัมพันธ์

การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการอบรม ผู้รับผิดชอบพลังงาน แต่ไม่มีหลักสูตรเฉพาะการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ในด้านสื่อประชาสัมพันธ์ มีการจัดทำเอกสารเผยแพร่เกี่ยวกับความร้อนทิ้งบ้างแล้ว

8.1.2. แผนงานตามนโยบาย

แผนงานของประเทศที่สำคัญ มี 3 แผนงาน คือ

- แผนงานอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี
- แผนพลังงานทดแทน 20 ปี
- แผนผลิตพลังงานไฟฟ้า

แต่ละแผนมีความเกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ดังนี้

1 แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี

แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี มีเป้าหมายที่จะลดการใช้พลังงานจากกรณีฐานลงร้อยละ 25 ในปี 2030 มีมาตรการที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ได้แก่

1. มาตรการเกณฑ์ประสิทธิภาพขั้นต่ำ (Minimum Energy Performance) ซึ่งครอบคลุมอุปกรณ์ผลิตความร้อน เช่น หม้อไอน้ำ เตาอุตสาหกรรม
2. มาตรการอุดหนุนทางการเงิน เช่น Standard Offer Program, DSM Bidding, สิทธิประโยชน์ทางภาษี เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ (Soft Loan)
3. มาตรการสนับสนุนธุรกิจจัดการพลังงาน
4. มาตรการสาธิตเทคโนโลยีประสิทธิภาพพลังงาน
5. มาตรการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต

2 แผนพลังงานทดแทน

แผนพลังงานทดแทน มุ่งส่งเสริมให้มีการนำพลังงานทดแทนมาใช้ร้อยละ 25 ในปี 2021 มีเป้าหมายเกี่ยวกับพลังงานทดแทนจากของเสีย แต่ไม่มีกล่าวถึงความร้อนทิ้งเป็นการเฉพาะ แต่มีเป้าหมายที่จะเพิ่มการผลิตไฟฟ้าจากขยะ

3 แผนผลิตพลังงานไฟฟ้า (Power Development Plant) ฉบับปัจจุบัน ใช้สำหรับปี ค.ศ. 2010-2030 มีการกำหนดเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากขยะ และจะเพิ่มการรับซื้อไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภทพลังงานร่วม (Cogeneration) ซึ่งความร้อนทิ้งควรได้รับการพิจารณาส่งเสริมด้วย เช่นกัน

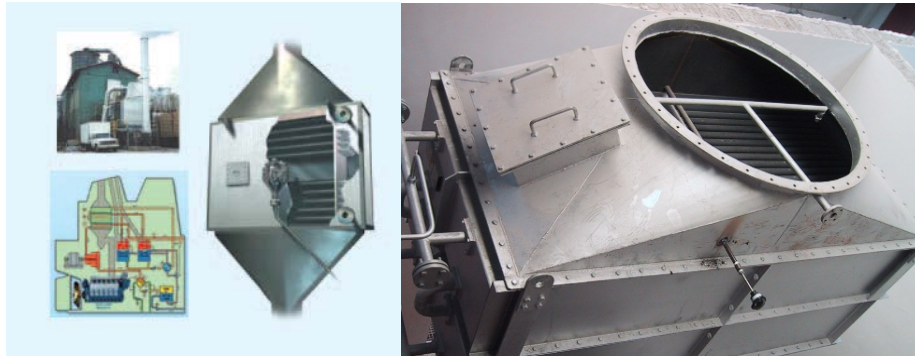
8.2 ความพร้อมของผู้ผลิตจัดจำหน่าย

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความพร้อมของผู้ผลิตและจำหน่ายเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ โดยการเข้าสัมภาษณ์ผู้ผลิตและจำหน่ายเทคโนโลยี และศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมจากแหล่งต่างๆ โดยแบ่งตามเทคโนโลยีดังนี้

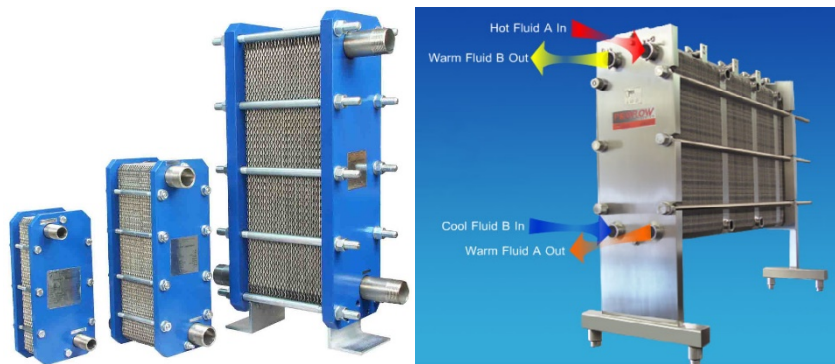
1. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)
2. Heat Pump
3. Organic Rankine Cycle (ORC)
4. ระบบหัวเผาไหม้ (Burner)

ในการศึกษาแบ่งออกเป็นเรื่อง การตลาด ความคุ้มค่าในการลงทุน ความพร้อมในการผลิตและการติดตั้งในการใช้งาน กลุ่มลูกค้าที่มีศักยภาพในการลงทุน และปัญหาและอุปสรรค

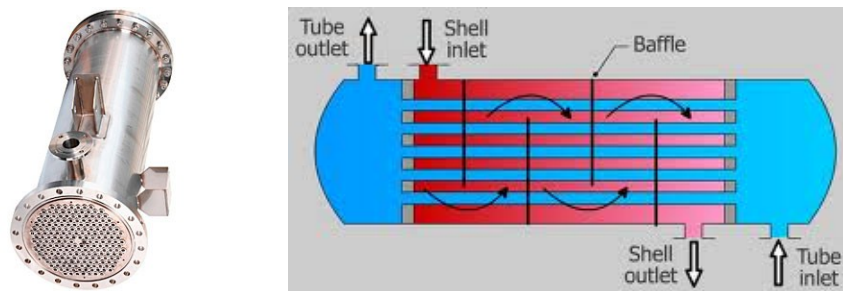
8.2.1 Heat Exchanger



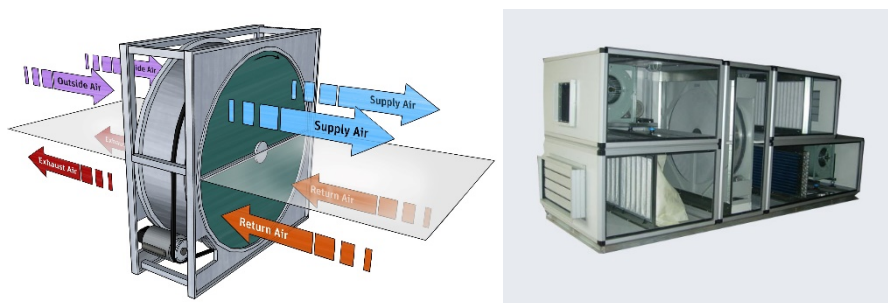
รูปที่ 8-2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิด Economizer



รูปที่ 8-3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิด Plate Heat Exchanger



รูปที่ 8-4 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิด Shell and Tube



รูปที่ 8-5 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิด Heat Wheel

การตลาด เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย รวมถึงมีความหลากหลายของประเภทและวัสดุที่ใช้ ซึ่งผู้ผลิตเทคโนโลยีนี้ที่มีคุณภาพและมาตรฐานสูง มีอยู่ประมาณ 5 แห่ง เป็นผู้ผลิตจากทางฝั่งทวีปยุโรป และมีผู้ผลิตคุณภาพระดับกลางอยู่ในท้องตลาดประมาณ 40 แห่ง ซึ่งผู้ผลิตระดับกลางนี้ส่วนใหญ่เป็นประเทศจีน ลูกค้าส่วนใหญ่เป็นทางบริษัทที่ต้องการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในการซื้อจะทำการติดต่อทางผู้ขายโดยตรง และมีบางส่วนที่เป็นพ่อค้าคนกลาง (ผู้รับเหมา) ซื้อไปให้ทางบริษัทที่ต้องการติดตั้งอีกทางหนึ่ง

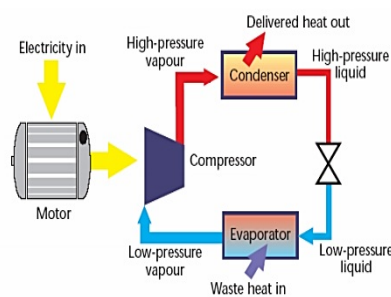
ความคุ้มค่าในการลงทุน ไม่สามารถระบุความคุ้มค่าในการลงทุนหรือระยะเวลาในการคืนทุนที่แน่ชัดได้ เนื่องจากความหลากหลายของประเภท Heat Exchanger และประเภทของวัสดุที่ใช้ รวมถึงความหลากหลายของค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น การติดตั้งตัวเครื่อง การติดตั้งระบบท่อส่ง เป็นต้น ในเบื้องต้นบอกได้เพียงคร่าวๆ ว่าราคาของโครงการโดยเฉลี่ยอยู่ที่หลักล้านขึ้นไป ซึ่งระยะเวลาที่เร็วสุดคือประมาณ 1 ปี

ความพร้อมในการผลิตและการติดตั้งในการใช้งาน ในประเทศไทยเริ่มมีการผลิตประเภท Plate Heat Exchanger แต่ส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด สาเหตุหนึ่งที่ Heat Exchanger ยังไม่มีการผลิตเองอย่างแพร่หลาย เนื่องจากบริษัทที่มีฐานการผลิตในต่างประเทศป้องกันเรื่องข้อมูลและความรู้ที่อาจมีการรั่วไหลทำให้เกิดการลอกเลียนแบบได้

กลุ่มลูกค้าที่มีศักยภาพในการลงทุน กลุ่มลูกค้าส่วนใหญ่จะเป็นผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยา อาหาร นม เครื่องสำอาง เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีความร้อนทิ้งที่เป็นของไหลเป็นจำนวนมาก รวมถึงช่วงอุณหภูมิของความร้อนทิ้งของอุตสาหกรรมดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับ Heat Exchanger (ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม ตั้งแต่ 40-400°C และต่ำกว่า 20°C)

ปัญหาและอุปสรรค ประเด็นหลักคือเรื่องความรู้ และเงินลงทุน ลูกค้าที่เป็นบริษัทใหญ่มักจะมีความพร้อมในการลงทุน เนื่องจากมีนโยบายจากบริษัทแม่อยู่แล้ว ถ้าศึกษาแล้วมีความคุ้มค่าก็พร้อมที่จะลงทุนทันที แต่ลูกค้าที่เป็นบริษัทขนาดเล็กยังไม่มีข้อมูลหรือความรู้เพียงพอ ไม่สามารถประเมินจุดคุ้มทุนหรือความคุ้มค่าได้ รวมถึงไม่มีเงินลงทุนที่มากพอ

8.3.2 Heat Pump



รูปที่ 8-6 อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน Heat Pump

การตลาด ฮีตปั๊มค่อนข้างแพร่หลายแล้วในประเทศไทย เนื่องจากเทคโนโลยีไม่ซับซ้อน ปัจจุบันมีผู้จำหน่ายประมาณ 20 ราย เป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่เป็นการผลิตภัณฑจากต่างประเทศ 10-15 ราย และผู้ผลิตในประเทศประมาณ 5 ราย ปัจจุบันมีการจำหน่ายเพื่อใช้สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนในอาคาร ประเภท โรงแรม โรงพยาบาล เป็นส่วนใหญ่ และโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนหนึ่ง มียอดขายประมาณ

ตลาดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของการจัดซื้อ ดังนี้ คือ

ตลาดงานก่อสร้างใหม่ ผู้ขายในตลาดนี้ส่วนใหญ่เป็นผู้ผลิตฮีตปั๊มรายใหญ่ที่เป็น
ผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศ

ตลาดงานปรับปรุงระบบเดิม ที่ใช้ผลิตความร้อนด้วยเทคโนโลยีอื่น เป็นการจำหน่ายเพื่อ
ทดแทนระบบเดิม ส่วนใหญ่ตลาดเป็นของผู้ผลิตในประเทศ ซึ่งมีราคาต่ำกว่า

ช่องทางการจัดจำหน่าย ผู้ผลิต จำหน่าย ติดต่อกับอาคารที่มีศักยภาพโดยตรง และบริษัทที่
ออกแบบ

ความคุ้มค่าในการลงทุน ฮีตปั๊มที่มีจำหน่ายในตลาดมีค่า COP ประมาณ 4 และทำอุณหภูมิ
ร้อนได้สูงสุดประมาณ 70 °C ราคาฮีตปั๊มประมาณ 30,00 – 35,000 บาทต่อกิโลวัตต์ ความร้อนที่ผลิตได้
ระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงประมาณ 3 ปี

ความพร้อมในการผลิตและการติดตั้งในการใช้งาน เทคโนโลยีฮีตปั๊มมีชิ้นส่วนใกล้เคียงกับระบบ
ปรับอากาศทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ อยู่ในตลาดแล้ว และผู้ขายไม่สามารถทำระบบที่สำเร็จรูปเหมือน
เครื่องปรับอากาศ จำเป็นต้องมีการออกแบบตามการใช้งานแต่ละโครงการ จึงเป็นจุดแข็งที่ทำให้ผู้ผลิต
ในประเทศสามารถอยู่ในตลาดได้ และมีสัดส่วนพอสมควร มีวิศวกร และช่างเทคนิคที่มีความรู้ใน
ตลาดแล้ว

กลุ่มลูกค้าที่มีศักยภาพในการลงทุน ตลาดฮีตปั๊มแบ่งออกเป็น

- การผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในอาคาร เช่นโรงแรม โรงพยาบาล
- การทำความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการควบคุมความชื้น
- การผลิตความร้อนในอุตสาหกรรม

ตลาดฮีตปั๊มที่ใช้ความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำอย่างน้อยมาก

ปัญหาและอุปสรรค

- ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3-4 ปี ยังทำให้ผู้ประกอบการยังไม่ลงทุน
- ระบบเดิมที่ไม่มีพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบใหม่
- บางอาคารหรือโรงงาน มีการใช้ไอน้ำ หรือน้ำร้อนอุณหภูมิสูงกว่า 70°C ทำให้ยังต้องใช้หม้อไอน้ำในการผลิตน้ำร้อนจึงไม่ต้องการลงทุน

8.3.3 Organic Rankine Cycle (ORC)



รูปที่ 8-7 เครื่อง Organic Rankine Cycle

การตลาด เป็นเทคโนโลยีที่ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย ทั้งๆที่เป็นเทคโนโลยีที่เข้ามาในประเทศไทยครั้งแรกเมื่อ 30 ปีที่แล้ว โดยเทคโนโลยี ORC เครื่องแรกถูกติดตั้งอยู่ที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นแบบ ความร้อนใต้พิภพ (Geothermal) ขนาดประมาณ 300 kW ซึ่งเป็นต้นแบบหรือตัวอย่างในการศึกษา โดยผู้ผลิตและใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นทางยุโรปที่ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีอยู่อย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

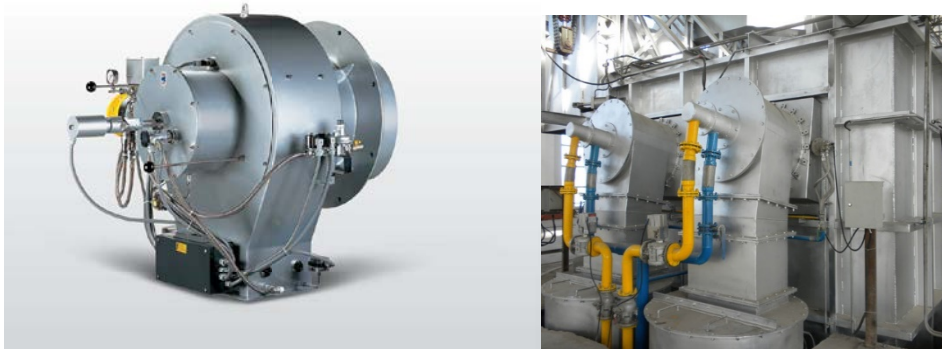
ความคุ้มค่าในการลงทุน เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีอื่น ORC ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีจุดคุ้มทุน หรือระยะเวลาในการคืนทุนที่ค่อนข้างนาน ประมาณ 5-7 ปี ขึ้นอยู่กับรายละเอียดหรือลักษณะเฉพาะของผู้ผลิตเทคโนโลยี รวมถึงวัสดุ อุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น แต่อายุการใช้งานของตัวเทคโนโลยีอยู่ที่ประมาณ 20 ปี โดยที่ประสิทธิภาพของเทคโนโลยี ORC อยู่ที่ประมาณ 10-15%

ความพร้อมในการผลิตและการติดตั้งในการใช้งาน เนื่องจาก ORC เป็นเทคโนโลยีที่ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย รวมถึงความเชี่ยวชาญหรือชำนาญในเทคโนโลยียังมีไม่มาก ดังนั้นจึงยังไม่มีการผลิตเองในประเทศ

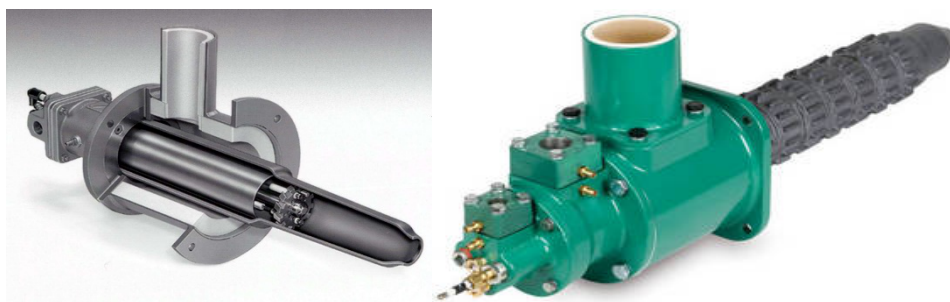
กลุ่มลูกค้าที่มีศักยภาพในการลงทุน เนื่องจากปัจจุบันเท่าที่ทราบยังไม่มีผู้ใช้งานหรือติดตั้ง ORC ในสถานประกอบการ แต่คาดว่าจะมีการติดตั้งและใช้งานจริงในเร็วนี้ประมาณ 3-4 แห่ง ซึ่งกลุ่มลูกค้าเป็นบริษัทขนาดใหญ่ที่มีความพร้อมด้านเงินลงทุน มีการใช้งานในทวีปยุโรปในกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็ก, ผลิตไฟฟ้า, ซีเมนต์ และไบโอแมส กลุ่มที่มีความร้อนทิ้งประเภท Low Heat (ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีแต่ละผู้ผลิต มีตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิที่สามารถนำมาใช้ได้ 120-150°C หรือไม่ต่ำกว่า 350 °C)

ปัญหาและอุปสรรค ระบบ ORC ยังมีต้นทุนหรือจุดคุ้มทุนที่สูงอยู่เนื่องจากการผลิตที่ต่างประเทศทั้งหมด เช่น ระบบขนาด 1 MW ราคาเฉพาะตัวเครื่องอยู่ที่ประมาณ 85 ล้านบาท ถ้าวรวมทั้งระบบราคาอยู่ที่ประมาณ 100 ล้านบาท และการจำหน่ายไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้กับภาครัฐยังมีข้อจำกัดอยู่ เช่น ถ้าจะจำหน่ายให้รัฐต้องมีระบบสำรองในการผลิตไฟฟ้ากรณีฉุกเฉินด้วยทำให้มีต้นทุนเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงข้อมูลของแหล่งความร้อนต่างๆยังมีน้อยอยู่ เช่น ถ้าต้องการผลิตไฟฟ้าจาก ความร้อนใต้พิภพ (Geo Thermal) ยังมีข้อมูลของแหล่งความร้อนไม่เพียงพอว่าสามารถขุดเจาะได้บริเวณใดบ้าง

8.3.4 ระบบหัวเผาไหม้ (Burner)



รูปที่ 8-8 หัวเผาไหม้แบบ Regenerative Burner



รูปที่ 8-9 หัวเผาไหม้แบบ Self-Recuperative Burner

การตลาด ในประเทศไทยมีผู้นำเข้าหัวเผาไหม้แบบ Heat recovery มาจำหน่าย อยู่ประมาณ 3-4 ยี่ห้อ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผู้ผลิตจากทวีปยุโรป เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง ทำให้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศไทย ดังนั้นส่วนใหญ่สถานประกอบการหรือโรงงานจะใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงหรือการปรับปรุงหัวเผาเดิมเป็นส่วนใหญ่ ก่อนที่จะคิดเปลี่ยนหัวเผาเป็นแบบ Heat recovery

ความคุ้มค่าในการลงทุน ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและชั่วโมงการใช้งานของแต่ละโรงงาน แต่โดยรวมแล้วสามารถที่จะประหยัดเชื้อเพลิงได้ประมาณ 3-5 %

ความพร้อมในการผลิตและการติดตั้งในการใช้งาน ในประเทศไทยยังไม่มีผู้ผลิตเป็นยี่ห้อของตนเอง เป็นการนำเข้ามาจากต่างประเทศ แต่หลายบริษัทที่จำหน่ายสินค้า ก็รับออกแบบและติดตั้งระบบให้ โดยมีทั้งทีมงานต่างประเทศ และทีมงานประเทศไทย

กลุ่มลูกค้าที่มีศักยภาพในการลงทุน กลุ่มลูกค้าส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็ก แก้วและกระจก รวมถึงโรงงานที่มีการใช้หัวเผาไหม้ เนื่องจากจะต้องใช้ความร้อนในการหลอมหรืออุ่นชิ้นงานในช่วงอุณหภูมิสูง รวมถึงการใช้งานที่ต้องเดินเครื่องเป็นเวลานานติดต่อกัน

ปัญหาและอุปสรรค ประเด็นหลักคือเรื่องของเงินลงทุน เนื่องจากเทคโนโลยีหัวเผาไหม้แบบ Heat recovery ราคาเริ่มต้นประมาณ 2 ล้านบาทต่อหัวเผาไหม้ ซึ่งในโรงงานมีการใช้หัวเผาไหม้จำนวนมากจะต้องใช้งบประมาณในการลงทุนสูง

ตารางที่ 8-1 ตารางสรุปความพร้อมในการใช้เทคโนโลยี

เทคโนโลยี	จำนวนผู้จำหน่ายในประเทศไทย	ความพร้อมของเทคโนโลยี	ความแพร่หลายของเทคโนโลยี
Heat Exchanger	มาก	สูง	สูง
Heat Pump	มาก	สูง	สูง
ORC	น้อย	ต่ำ	ต่ำ
Burner	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง

บทที่ 9

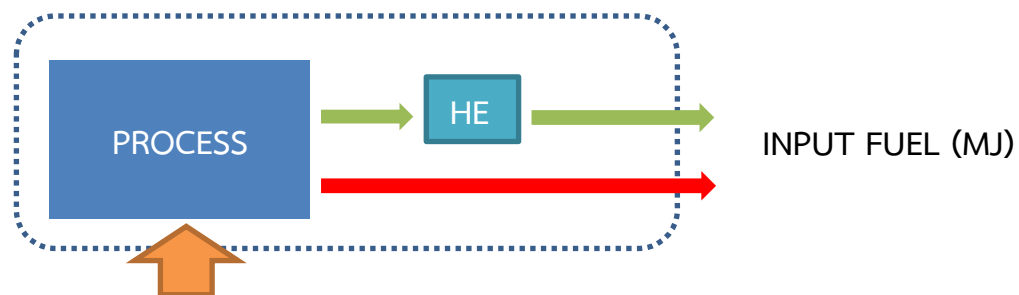
การจัดทำเกณฑ์ชี้วัดการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการประเมินการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ของตนว่าเหมาะสมหรือไม่ คณะผู้วิจัยจึงได้จัดทำเกณฑ์แนะนำขึ้น โดยกำหนดตัวชี้วัด 2 ตัว คือ

1. ร้อยละปริมาณความร้อนทิ้งเทียบกับการใช้เชื้อเพลิง และ
2. อุณหภูมิที่ปล่อยทิ้งของอุตสาหกรรมต่างๆ

9.1 ร้อยละปริมาณความร้อนทิ้งเทียบกับการใช้เชื้อเพลิง

เป็นการประเมินความร้อนทิ้งที่โรงงานปล่อยทิ้งทุกแหล่งกำเนิดเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในหน่วย MJ และค่าที่ได้เป็นร้อยละ ดังนี้



$$\%Waste\ heat = \frac{\sum waste\ heat\ (MJ)}{Input\ fuel\ (MJ)} \times 100$$

ในการศึกษาได้ประเมินค่าร้อยละปริมาณความร้อนทิ้งเป็นรายโรงงานในอุตสาหกรรมเดียวกัน และกำหนดค่าที่ดีที่สุดร้อยละ 20 แรก เป็นค่าเกณฑ์แนะนำ

9.2 อุณหภูมิที่ปล่อยทิ้ง

อีกตัวแปรที่แสดงถึงความเหมาะสมในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งก็คือระดับอุณหภูมิของตัวกลางที่นำความร้อนทิ้ง เช่น ก๊าซไอเสีย น้ำร้อน อากาศร้อน คณะผู้วิจัยได้พิจารณาค่าต่ำสุดในแต่ละอุตสาหกรรมที่เป็นค่าเป้าหมาย

9.3 ค่าเกณฑ์ที่เสนอ

ผลการประเมินสามารถกำหนดเกณฑ์การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ได้ดังนี้

9.3.1 เกณฑ์แนะนำการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมหลัก รีดร้อน

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
------------------	--	------------------------	--------------------------------

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
Electric Arc Furnace	32.66	800-1,000	
1. อากาศร้อนเตาหลอม			
2. อุณหภูมิไอเสียเตาอุ่นขึ้นงาน			
-หลังนำกลับมาใช้ (NG, น้ำมันเตา)		300	150
3. น้ำร้อนระบายความร้อนเตา		35	40
Reheating Furnace	31.14		
1. อุณหภูมิไอเสียเตาอุ่นขึ้นงาน			
-หลังนำกลับมาใช้ (NG, น้ำมันเตา, LPG)		200	160
2. น้ำร้อนระบายความร้อน		38	40

9.3.2 เกณฑ์แนะนำการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมหลัก รีตเย็น

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
รีตเย็น	3.14		
1. อุณหภูมิไอเสียเตาอบสี			
-หลังนำกลับมาใช้ (LPG)		110	100
รีตเย็น-ล้างผิว	5.00		
1. อุณหภูมิไอเสียหม้อไอน้ำ			
-หลังนำกลับมาใช้ (NG)		120	100
2. อุณหภูมิไอเสียเตาอบอ่อน			
-หลังนำกลับมาใช้ (NG)		130	100
3. อากาศร้อน		80	40
ชุบผิว	19.04		
1. อุณหภูมิไอเสียหม้อไอน้ำ			
-หลังนำกลับมาใช้ (LPG)		130	100
2. อุณหภูมิไอเสียเตาชุบ			
-หลังนำกลับมาใช้ (NG)		400	100
3. น้ำร้อน		40	40

9.3.3 เกณฑ์แนะนำการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมแก้วและกระจก

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
กระจก	34.82		
1. อุณหภูมิไอเสียเตา -หลังนำกลับมาใช้ (NG)		400	100
2. อากาศร้อนระบายขึ้นงาน		60	40
3. น้ำระบายความร้อน		70	40
เครื่องแก้ว-ขวดแก้ว	23.93		
1. อุณหภูมิไอเสียเตาหลอม -หลังนำกลับมาใช้ (น้ำมันเตา, ดีเซล)		385	160
-หลังนำกลับมาใช้ (NG, LPG)		300	100
2. อากาศระบายความร้อนอบอ่อน (LPG)		200	100
3. น้ำระบายความร้อน		40	40

9.3.4 เกณฑ์แนะนำการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
Shuttle kiln	23.29		
1. อุณหภูมิไอเสียเตาเผา -หลังนำกลับมาใช้ (LPG)		400	100
		60	60
2. อุณหภูมิไอเสียเตาอบแห้ง (LPG)		200	40
3. อากาศระบายความร้อน			
Tunnel kiln	13.90		
1. อุณหภูมิไอเสียเตาเผา (NG, LPG)		250	100
2. อุณหภูมิไอเสียเตาอบแห้ง		60	60
3. อากาศระบายความร้อน		250	40
Roller Kiln	3.70		
1. อุณหภูมิไอเสียเตาเผา (NG)		80	80
2. อุณหภูมิไอเสียเตาอบแห้ง (NG)		60	60
3. อากาศระบายความร้อน		70	40

9.3.5 เกณฑ์แนะนำการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
Combined Cycle	32.20		

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
1. อุณหภูมิไอเสียหม้อไอน้ำ -หลังนำกลับมาใช้ (NG)	44.41	110	120
2. น้ำร้อนระบายความร้อน Steam Turbine		36	40
1. อุณหภูมิไอเสียหม้อไอน้ำ -หลังนำกลับมาใช้ (ถ่านหิน, ชีวมวล)	17.83	140	160
2. น้ำร้อนระบายความร้อน Gas Engine		35	40
1. อุณหภูมิไอ -หลังนำกลับมาใช้ เสีย (NG, ก๊าซชีวภาพ)	20.80	180	120
2. น้ำร้อนระบายความร้อน Gas Turbine		80	40
1. อุณหภูมิไอเสีย (NG)		500	120

9.3.6 เกณฑ์แนะนำการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมกระดาษ

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
เยื่อกระดาษ	24.84		
1. อุณหภูมิไอเสียหม้อไอน้ำ -หลังนำกลับมาใช้ (ถ่านหิน, น้ำมันเตา)	7.70	135	150
2. อากาศร้อน		45	40
3. น้ำร้อน		60	40
กระดาษ	7.70		
1. อุณหภูมิไอเสียหม้อไอน้ำ -หลังนำกลับมาใช้ (น้ำมันเตา, ถ่านหิน)		200	150
-หลังนำกลับมาใช้ (ชีวมวล)		150	150
2. อากาศร้อน		70	40

9.3.7 เกณฑ์แนะนำการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
น้ำตาล	9.25		
1. อุณหภูมิไอเสียหม้อไอน้ำ -หลังนำกลับมาใช้ (ชีวมวล)		150	130
2. น้ำระบายความร้อน		40	40
อาหารกระป๋อง	12.64		
1. อุณหภูมิไอเสียหม้อไอน้ำ -หลังนำกลับมาใช้ (ถ่านหิน, น้ำมันเตา)		150	150
-หลังนำกลับมาใช้ (ชีวมวล, LPG)		120	100
2. น้ำระบายความร้อน		42	40

9.3.8 เกณฑ์แนะนำการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
กระบวนการต่อเนื่อง	14.56		
1. อุณหภูมิไอเสียหม้อไอน้ำ -หลังนำกลับมาใช้ (NG)		140	100
2. อุณหภูมิไอเสียเครื่องอบ (NG) -หลังนำกลับมาใช้ (NG)		150	100
3. น้ำร้อน		70	40
กระบวนการไม่ต่อเนื่อง	28.60		
1. อุณหภูมิไอเสียหม้อไอน้ำ -หลังนำกลับมาใช้ (ถ่านหิน, น้ำมันเตา)		120	150
2. อุณหภูมิไอเสียหม้อน้ำมันร้อน -หลังนำกลับมาใช้ (ถ่านหิน)		200	150
-หลังนำกลับมาใช้ (NG, LPG, ชีวมวล)		150	100
3. อุณหภูมิไอเสียเครื่องอบ		150	150
4. น้ำร้อน		65	40

9.3.9 เกณฑ์แนะนำการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมซีเมนต์

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
อุตสาหกรรมซีเมนต์	13.59		
1. อุณหภูมิไอเสียเตาเผา -หลังนำกลับมาใช้ (ถ่านหิน, น้ำมันเตา)		150	150
2. อากาศร้อนระบายความร้อน		80	80

9.3.10 เกณฑ์แนะนำการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะ

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
Electric Furnace	0.48		
1. อุณหภูมิไอเสียจากการขึ้นรูป -หลังนำกลับมาใช้ (NG, LPG)		150	150
Fuel Furnace	11.67		
1. อุณหภูมิไอเสียเตาหลอม (NG)		350	150
2. อุณหภูมิไอเสียเตาอบ (น้ำมันเตา)		400	150
3. อุณหภูมิไอเสียจากการขึ้นรูป		150	150

9.3.11 เกณฑ์แนะนำการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

ประเภทอุตสาหกรรม	เกณฑ์ในการปลดปล่อยความร้อนทิ้งปลายทาง (ร้อยละ)	อุณหภูมิปล่อยทิ้ง (°C)	อุณหภูมิปล่อยทิ้งตามเกณฑ์ (°C)
Upstream	1.95		
1. อุณหภูมิไอเสียเตาเผา (NG)		150	150
2. อุณหภูมิไอเสียหม้อไอน้ำ (น้ำมันเตา)		150	150
Downstream	10.75		
1. อุณหภูมิไอเสียเตาเผา (NG, LPG)		170	150
2. อุณหภูมิไอเสียหม้อไอน้ำ (NG, LPG)		150	150
3. อากาศร้อน		60	60

บทที่ 10

ปัญหาและอุปสรรคของการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

ในหัวข้อนี้ได้กล่าวถึงการศึกษาปัญหาและอุปสรรคในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ซึ่งจากการศึกษาศักยภาพในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ พบว่าในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมยังมีศักยภาพในการนำมาใช้อีกส่วนหนึ่ง ซึ่งการที่ยังไม่สามารถนำความร้อนทิ้งมาใช้อย่างเต็มศักยภาพ อาจมีสาเหตุจากเกิดจากปัญหาและอุปสรรคหรือข้อจำกัดบางประการ ทั้งนี้เพื่อให้มีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้เพิ่มมากขึ้นและเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการส่งเสริม ทางผู้วิจัยได้ศึกษาถึงปัญหา อุปสรรค และข้อจำกัด โดยมีแหล่งข้อมูลสองส่วน ส่วนแรกจากการส่งแบบสอบถามไปยังโรงงานในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมและ ส่วนที่สองจากความคิดเห็นจากการจัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการ และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นแยกตามกลุ่มอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจ รวมถึงภาพรวมของประเทศ ดังต่อไปนี้

10.1 ปัญหาอุปสรรคจากโรงงานที่ตอบแบบสอบถาม

10.1.1 เกณฑ์การประเมินจากแบบสอบถามในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม ทางผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์เพื่อแสดงระดับความสำคัญของปัญหาอุปสรรคในด้านต่างๆ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

เกณฑ์ในการกำหนดค่าน้ำหนักของการประเมินเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ระดับความสำคัญ	ค่าน้ำหนักของตัวเลือกตอบ
ไม่มีปัญหา	กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0
น้อย	กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1
ปานกลาง	กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2
มาก	กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3
มากที่สุด	กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 4

การแปลผลคะแนน กำหนดเป็นช่วง ดังต่อไปนี้

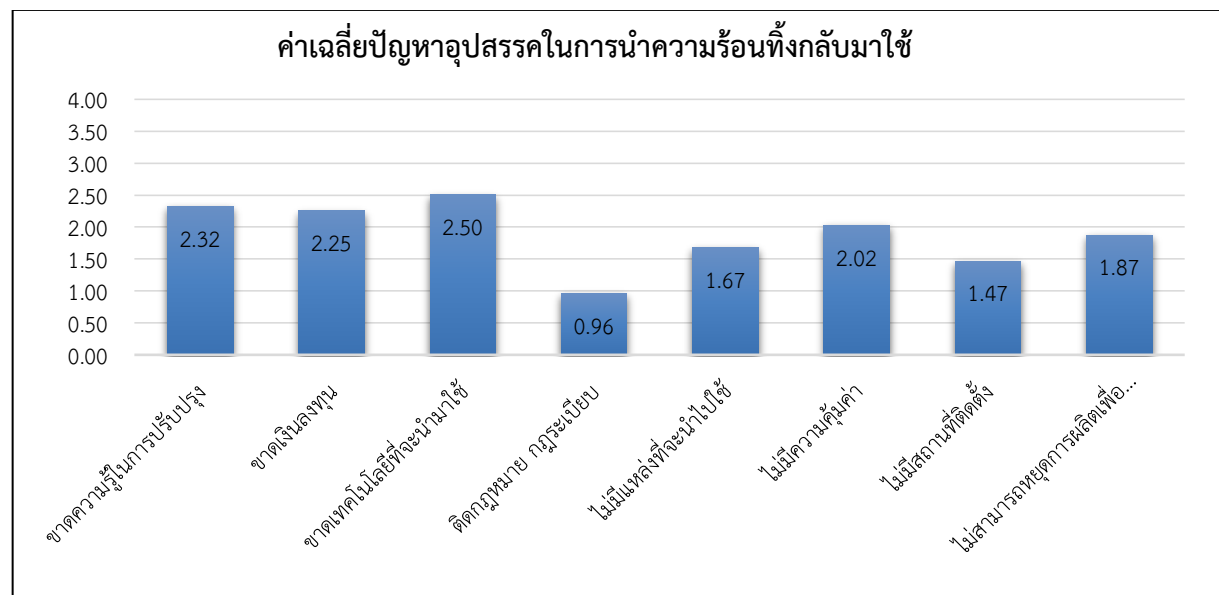
ค่าเฉลี่ย	0.00 – 0.49	ไม่มีปัญหาเลย
ค่าเฉลี่ย	0.50 – 1.49	มีปัญหาน้อย
ค่าเฉลี่ย	1.50 – 2.49	มีปัญหามานกลาง
ค่าเฉลี่ย	2.50 – 3.49	มีปัญหามาก
ค่าเฉลี่ย	3.50 – 4.00	มีปัญหามากที่สุด

10.1.2 ผลการศึกษาปัญหาและอุปสรรค

จากการเก็บข้อมูลแบบสอบถามด้านปัญหาและอุปสรรคจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆทั้งหมด 117 โรงงาน แสดงออกมาเป็นร้อยละและค่าเฉลี่ยของระดับความสำคัญของปัญหาอุปสรรคในตารางที่ 10-1 และในกราฟรูปที่ 10-1

ตารางที่ 10-1 ร้อยละและค่าเฉลี่ยของระดับความสำคัญของปัญหาอุปสรรคในด้านต่างๆ ในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

รายการหัวข้อปัญหาอุปสรรค	ระดับความคิดเห็น (ร้อยละ)					ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	แปลผล
	4	3	2	1	0		
• ขาดความรู้ในการปรับปรุง	13.0	30.1	40.4	8.9	7.5	2.32	ปานกลาง
• ขาดเงินทุน	17.3	28.0	28.1	15.8	10.8	2.25	ปานกลาง
• ขาดเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้	19.3	34.5	29.7	10.3	6.2	2.50	มาก
• ติดกฎหมาย กวระเบียบ	3.1	11.3	12.4	24.7	48.5	0.96	น้อย
• ไม่มีแหล่งที่จะนำไปใช้	8.0	13.0	35.5	25.4	18.1	1.67	ปานกลาง
• ไม่มีความคุ้มค่า	11.9	22.2	34.0	20.0	11.9	2.02	ปานกลาง
• ไม่มีสถานที่ติดตั้ง	3.0	15.5	28.9	30.4	22.2	1.47	น้อย
• ไม่สามารถหยุดการผลิตเพื่อปรับปรุงได้	13.5	17.3	30.8	19.6	18.8	1.87	ปานกลาง



รูปที่ 10-1 ค่าเฉลี่ยปัญหาอุปสรรคในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้โดยรวมทุกกลุ่มอุตสาหกรรม

จากตารางที่ 10.1 และรูปที่ 10.1 พบว่าในภาพรวมของทุกอุตสาหกรรม ปัญหาอุปสรรคหลักในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ได้แก่ การขาดเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดที่ 2.50 รองลงมาคือการขาดความรู้ในการปรับปรุง และอันดับที่สามคือขาดเงินทุน ค่าเฉลี่ย 2.35 และ 2.25 ตามลำดับ

ผลการศึกษาปัญหาและอุปสรรคแยกตามกลุ่มอุตสาหกรรม แสดงในตารางที่ 10-2

ตารางที่ 10-2 ค่าเฉลี่ยของระดับความสำคัญของปัญหาอุปสรรคในด้านต่างๆ ของการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

กลุ่มอุตสาหกรรม	รายการหัวข้อปัญหาอุปสรรค							
	ขาดความรู้ในการปรับปรุง	ขาดเงินทุน	ขาดเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้	ติดกฎหมาย ภาวะเปียบ	ไม่มีแหล่งที่จะนำไปใช้	ไม่มีความคุ้มค่า	ไม่มีสถานที่ติดตั้ง	ไม่สามารถหยุดการผลิตเพื่อปรับปรุงได้
เหล็ก (หลอม+รีดร้อน)	2.36	2.91	2.55	0.64	2.27	1.82	1.27	2.09
เหล็ก (รีดเย็น+ชุบสังกะสี)	3.20	1.40	2.80	0.25	1.20	1.75	1.00	1.40
ปิโตรเคมี	1.73	1.73	2.00	0.29	1.47	2.27	1.27	1.47
ผลิตไฟฟ้า	2.00	1.92	2.04	1.00	1.46	2.12	1.23	1.81
หล่อโลหะ	2.60	1.33	2.53	0.13	1.60	1.67	1.13	1.00
กระดาษ	2.73	2.47	2.73	0.13	1.67	1.93	1.73	2.13
ฟอกย้อม (สิ่งทอ)	1.92	2.17	2.58	0.92	1.33	1.08	1.00	1.00
โรงงานน้ำตาล	2.10	2.10	2.55	0.65	1.05	1.35	1.30	1.50
อาหารกระป๋อง	1.89	2.22	2.11	0.56	1.22	1.67	1.11	1.56
กระจกและแก้ว	2.54	2.38	2.54	0.69	1.85	1.92	1.54	2.31
ประกอบรถยนต์	2.00	1.00	1.33	1.50	2.67	2.67	1.67	2.00
เซรามิก	2.67	2.50	3.33	0.33	1.17	1.67	1.17	1.50
ปูนซีเมนต์	0.67	1.33	0.33	2.67	1.33	1.67	1.67	0.67

จากตารางที่ 10-2 จะเห็นว่าในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมนั้นมีปัญหาและอุปสรรคหลักของแต่ละกลุ่มที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีปัญหาเรื่องขาดความรู้ในการปรับปรุงเป็นหลัก ได้แก่ อุตสาหกรรมเหล็ก (รีดเย็น+ชุบสังกะสี) หล่อโลหะ กระดาษ และอุตสาหกรรมกระจกและแก้ว ส่วนอุตสาหกรรมที่มีปัญหาอุปสรรคด้านการขาดเงินทุนเป็นหลัก ได้แก่ อุตสาหกรรมเหล็ก (หลอม+รีดร้อน) และอาหารกระป๋อง อุตสาหกรรมที่มีปัญหาขาดเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้เป็นหลัก ได้แก่ ผลิตไฟฟ้า กระดาษ ฟอกย้อม (สิ่งทอ) โรงงานน้ำตาล กระจกและแก้ว และเซรามิก ส่วนอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีปัญหาอุปสรรคสำคัญ คือ ติดกฎหมาย ภาวะเปียบ ซึ่งเป็นแม้เป็นเพียงอุตสาหกรรมเดียวแต่เป็นอุตสาหกรรมที่มีความร้อนเหลือทิ้งในปริมาณมากจึงมีความน่าสนใจ อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ปัญหาสำคัญคือ ไม่มีแหล่งที่จะนำไปใช้ และการขาดความรู้เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

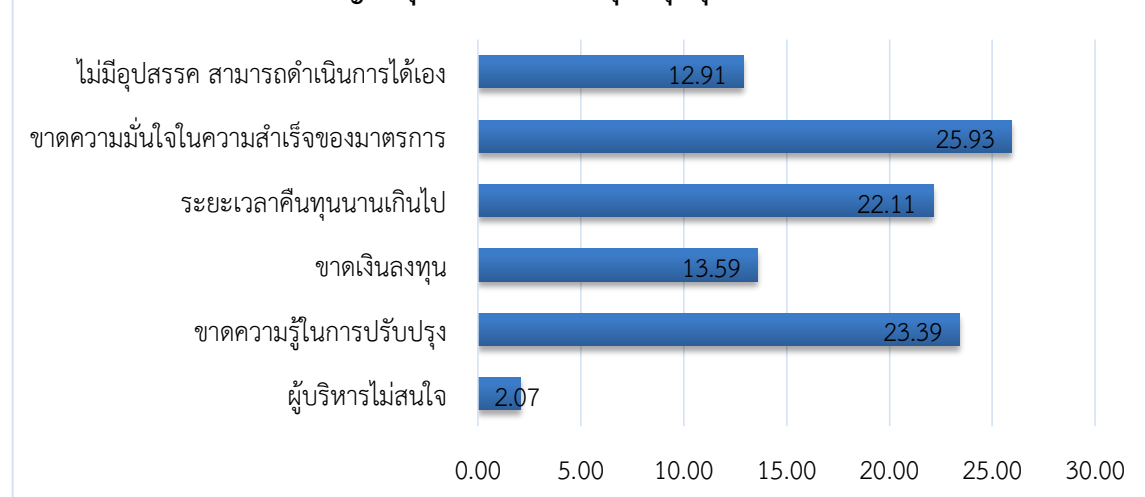
10.2 ปัญหาอุปสรรคจากการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ

ทางผู้วิจัยได้จัดทำงานสัมมนาเชิงปฏิบัติการขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เข้าร่วมสัมมนาประกอบด้วย โรงงานในอุตสาหกรรมต่างๆ ผู้ผลิตเทคโนโลยี รวมถึง ตัวแทนจากสมาคมต่างๆ ทราบถึงเทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ การศึกษาศักยภาพของความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมของไทย ที่สำคัญคือ มีกิจกรรมแสดงความคิดเห็น โดยเฉพาะในส่วนของปัญหาอุปสรรคและข้อจำกัดของการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ผลสรุปจากการทำกิจกรรมด้านปัญหาอุปสรรคมื่อดังต่อไปนี้

ตารางที่ 10-3 ระดับความสำคัญของปัญหาอุปสรรคในด้านต่างๆ ของการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

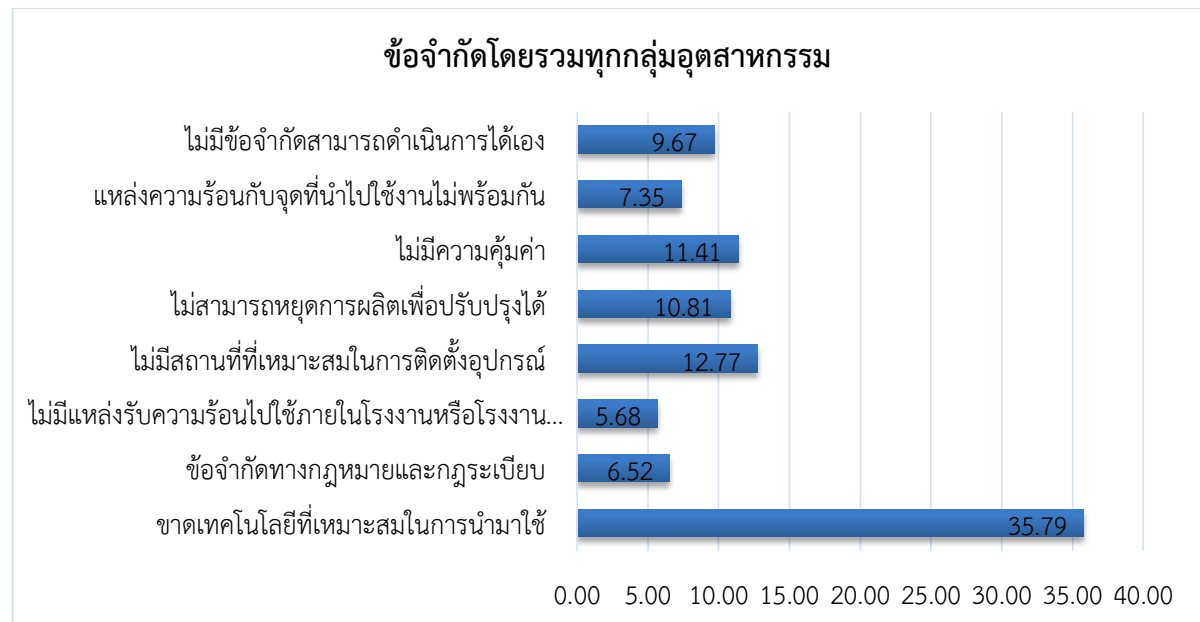
กลุ่มอุตสาหกรรม	รายการหัวข้อปัญหาอุปสรรค					
	ผู้บริหารไม่สนใจ	ขาดความรู้ในการปรับปรุง	ขาดเงินลงทุน	ระยะเวลาดำเนินการนานเกินไป	ขาดความมั่นใจในความกล้าเสี่ยง	ไม่มีอุปสรรค สามารถดำเนินการได้เอง
เหล็ก (หลอม+รีดร้อน)	7.69	46.15	0.00	0.00	46.15	0.00
เหล็ก (รีดเย็น+ชุบสังกะสี)	5.26	47.37	0.00	26.32	21.05	0.00
ปิโตรเคมี	2.56	17.95	15.38	10.26	17.95	35.90
ผลิตไฟฟ้า	0.00	0.00	0.00	38.89	22.22	38.89
หล่อโลหะ	0.00	25.00	25.00	25.00	25.00	0.00
ฟอกย้อม (สิ่งทอ)	4.00	16.00	56.00	16.00	8.00	0.00
โรงงานน้ำตาล	0.00	20.00	50.00	10.00	10.00	10.00
อาหารกระป๋อง	2.78	27.78	2.78	22.22	36.11	8.33
กระจกและแก้ว	0.00	24.14	6.90	27.59	41.38	0.00
เซรามิก	0.00	29.17	4.17	37.50	29.17	0.00
ปูนซีเมนต์	0.00	0.00	0.00	20.00	30.00	50.00
อาคาร	0.00	28.57	7.14	28.57	21.43	14.29
ตัวแทน+สมาคม	11.54	15.38	3.85	34.62	34.62	0.00

ปัญหาอุปสรรคโดยรวมทุกกลุ่มอุตสาหกรรม



รูปที่ 10-2 ค่าเฉลี่ยปัญหาอุปสรรคในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้โดยรวมทุกกลุ่มอุตสาหกรรม

จากรูปที่ 10-2 จะเห็นว่าปัญหาและอุปสรรคที่มีนัยสำคัญ 3 อันดับแรก คือ ขาดความมั่นใจในความสำเร็จของมาตรการ ขาดความรู้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนนานเกินไป ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความคิดเห็นของแต่ละอุตสาหกรรมจากรายที่ 10-3 พบว่าแต่ละกลุ่มให้ความสำคัญของปัญหาและอุปสรรคแตกต่างกันเล็กน้อย เช่น อุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอและโรงน้ำตาลให้ความสำคัญกับปัญหาการขาดเงินลงทุนเป็นอันดับแรก อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าและปูนซีเมนต์มองว่าไม่มีอุปสรรคสามารถดำเนินการได้เอง และตัวแทนสมาคมมองว่าปัญหาสำคัญคือ ขาดความมั่นใจในความสำเร็จของมาตรการและระยะเวลาคืนทุนนานเกินไป



รูปที่ 10-3 ค่าเฉลี่ยของข้อจำกัดในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้โดยรวมทุกกลุ่มอุตสาหกรรม

เมื่อพิจารณาข้อจำกัดที่เป็นภาพรวมของทุกกลุ่มอุตสาหกรรม จากรูปที่ 10-3 จะเห็นว่าข้อจำกัดสำคัญที่สุดในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้จากความเห็นโดยรวมของผู้ร่วมสัมมนา คือ ขาดเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการนำมาใช้ รองลงมาคือ ไม่มีสถานที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์ และไม่มีความคุ้มค่าตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปัญหาและอุปสรรคในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมพบว่า ปัญหาและอุปสรรคจากแบบสอบถามและการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ มีหัวข้อของปัญหาอุปสรรคที่สอดคล้องกันอยู่ และทางที่ปรึกษาจะได้นำหัวข้อปัญหาอุปสรรคเหล่านี้มาวิเคราะห์เพื่อหาแผนและแนวทางส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ต่อไป โดยหัวข้อปัญหาอุปสรรคดังกล่าวประกอบด้วย 6 หัวข้อดังต่อไปนี้

ขาดความมั่นใจในความสำเร็จของมาตรการ

1. ขาดความรู้ในการปรับปรุง
2. ระยะเวลาคืนทุนนานเกินไป
3. ขาดเงินลงทุน

4. ขาดเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้
5. ติดกฎหมาย ภาระเบี้ยบ

บทที่ 11

แผนการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

จากการศึกษาปัญหาและอุปสรรคของผู้ประกอบการในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ทั้ง 6 หัวข้อ ในบทที่ 10 ทางคณะผู้วิจัยได้จัดทำแผนการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วย วิสัยทัศน์ พันธกิจ เป้าประสงค์ แผนยุทธศาสตร์ด้านต่างๆพร้อมระยะเวลาดำเนินการ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิสัยทัศน์ (Vision)

การใช้พลังงานในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมของประเทศไทย ให้มีการพัฒนาการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อย่างเป็นรูปธรรมในทุกกลุ่ม โดยประมาณศักยภาพทางเทคนิคของความร้อนทิ้งที่นำกลับมาใช้ได้ที่ ร้อยละ 50 หรือคิดเป็น 500 ktoe ในปี พ.ศ. 2563 เมื่อเทียบกับปีฐาน พ.ศ. 2556

พันธกิจ (Mission)

1. สร้างความเชื่อมั่นและสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้
2. พัฒนาสร้างองค์ความรู้ และส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม
3. กำหนดแผนการส่งเสริมและการกำกับที่มีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล
4. ให้การสนับสนุนส่งเสริมและเผยแพร่ข้อมูลด้านการลงทุน
5. ติดตามผลการดำเนินงานรวมถึงประสิทธิภาพด้านความร้อนทิ้งอย่างต่อเนื่อง

เป้าประสงค์ (Objective)

1. สร้างความมั่นใจและความร่วมมือจากผู้ประกอบการทั้งภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้
2. พัฒนาศักยภาพทางการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้โดยรวมของประเทศโดยสนับสนุนการนำกลับมาใช้ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 50% ของประสิทธิภาพเฉลี่ยเดิมของประเทศหรือลดการปล่อยความร้อนทิ้ง 50% จากเดิม แยกตามกลุ่มอุตสาหกรรมได้ดังนี้

		ประเภทอุตสาหกรรม/เทคโนโลยี	ศักยภาพการนำความร้อนทิ้ง (ktoe)
1.		อุตสาหกรรมเหล็ก	
	1.1	เหล็กรีดร้อน	
	1.1.1	Electric Arc Furnace	8.17
	1.1.2	Reheating Furnace	30.04
	1.2	เหล็กรีดเย็น	
	1.2.1	รีดเย็น	-
	1.2.2	ล้างผิวรีดเย็น	0.71
	1.2.3	ชุบ	0.69
2.		อุตสาหกรรมแก้วและกระจก	

	2.1	กระจก	40.26
	2.2	ขวดแก้ว	18.98
	2.3	ฉนวนใยแก้ว	1.74
3.		อุตสาหกรรมเซรามิก	
	3.1	Shuttle kiln	7.49
	3.2	Tunnel kiln	12.54
	3.3	Roller kiln	0.75
	3.4	แบบผสม	4.65
4.		การผลิตไฟฟ้า	
	4.1	Combined Cycle	91.18
	4.2	Stream Turbine	61.22
	4.3	Gas Engine	6.85
	4.4	Gas Turbine	5.83
5.		อุตสาหกรรมกระดาษ	
	5.1	เยื่อกระดาษ	54.67
	5.2	การผลิตกระดาษ	3.39
6.		อุตสาหกรรมอาหาร	
	6.1	น้ำตาล	4.74
	6.2	อาหารกระป๋อง	6.98
7.		อุตสาหกรรมฟอกย้อม	
	7.1	กระบวนการต่อเนื่อง	1.57
	7.2	กระบวนการไม่ต่อเนื่อง	6.38
8.		อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์	
	8.1	ปูนซีเมนต์	113.87
9.		อุตสาหกรรมหลอมโลหะ	
	9.1	Induction Furnace	-
	9.2	Arc Furnace	1.61
10.		อุตสาหกรรมปิโตรเคมี	
	10.1	Upstream	12.61
	10.2	Downstream	24.11

3. พัฒนาน้องค์ความรู้และเครื่องมือที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ศักยภาพความร้อนทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมพร้อมทั้งคัดเลือกมาตรการและเทคโนโลยีที่เหมาะสมและคุ้มค่าที่สุดสำหรับภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมในการปรับปรุงประสิทธิภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

4. มีการดำเนินมาตรการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพมากขึ้นเรื่อยๆ สามารถกำหนดแผนยุทธศาสตร์ได้จำนวน 5 ข้อได้แก่

1. สร้างความเชื่อมั่นในมาตรการให้กับผู้ประกอบการและผู้ที่เกี่ยวข้อง
2. พัฒนาและเผยแพร่ความรู้และเทคโนโลยี
3. กำหนดมาตรฐานและปรับปรุงกฎระเบียบให้เอื้อต่อการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้
4. สนับสนุนและส่งเสริมด้านเงินทุน
5. ติดตามผลการดำเนินงานและประเมินประสิทธิภาพ

โดยมีรายละเอียดในแต่ละยุทธศาสตร์ ดังต่อไปนี้

แผนยุทธศาสตร์ที่ 1. สร้างความเชื่อมั่นในมาตรการให้กับผู้ประกอบการและผู้ที่เกี่ยวข้อง

เป้าประสงค์เชิงนโยบาย

- สร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้ประกอบการในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมให้มีความมั่นใจในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้มากขึ้น

กลยุทธ์หลัก

1. จัดตั้งโครงการนำร่องมาตรการ การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในโรงงานในกลุ่มที่มีศักยภาพ เช่น มาตรการนำความร้อนทิ้งไปอุ่นสารตัวกลางในการผลิตไฟฟ้า (ORC) และ Absorption Heat pump
2. จัดสัมมนาและเข้าเยี่ยมชมนสถานประกอบการตัวอย่าง ที่มีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเน้นกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนความร้อนทิ้งที่สูง เช่น การผลิตไฟฟ้า, แก้วและกระจก, เหล็ก
3. ส่งเสริมให้บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) เข้าไปดำเนินการจัดการพลังงานยังสถานประกอบการที่สนใจ โดยเน้นกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนความร้อนทิ้งที่สูงก่อน เช่น การผลิตไฟฟ้า, แก้วและกระจก, เหล็ก และเทคโนโลยีที่ค่อนข้างซับซ้อนหรือยังไม่แพร่หลาย เช่น การนำความร้อนทิ้งไปอุ่นสารตัวกลางในการผลิตไฟฟ้า (ORC)

แผนยุทธศาสตร์ที่ 2. พัฒนาและเผยแพร่ความรู้และเทคโนโลยี

เป้าประสงค์เชิงนโยบาย

ลดและแก้ปัญหาขาดความรู้ในการปรับปรุงของโรงงานอุตสาหกรรม

กลยุทธ์หลัก

1. จัดทำเครื่องมือการวิเคราะห์การคำนวณความร้อนทิ้งของโรงงานและข้อมูลสนับสนุนด้านเทคโนโลยี โดยเน้นกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนความร้อนทิ้งที่สูง และเทคโนโลยีที่แพร่หลายก่อน เช่น โปรแกรมคำนวณความ

ร้อนทั้งสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า, ปูนซีเมนต์, แก้วและกระจก, เหล็ก และ เทคโนโลยี Heat Exchanger , Air Preheater, Economizer, หัวเผาไหม้ประสิทธิภาพสูง, Recuperator

2. จัดทำสื่อ เว็บไซต์ และเอกสารเผยแพร่เพื่อพัฒนาแหล่งเรียนรู้ สร้างความเข้าใจและแนวโน้มของเทคโนโลยีด้านความร้อนทั้งรวมถึงข่าวสารด้านเงินลงทุน ในกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะการรวบรวมข้อมูลจากกรณีตัวอย่างของโรงงานอุตสาหกรรมที่ประสบความสำเร็จ และสร้างทำเนียบผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานต่างๆ และผู้ผลิตและจำหน่ายเทคโนโลยี เพื่อเป็นที่ปรึกษา รวมถึงบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และกระจายข้อมูลผ่านช่องทางที่มีอยู่แล้ว เช่น อุตสาหกรรมจังหวัด สมาอุตสาหกรรม ฯลฯ

3. จัดฝึกอบรมและสัมมนาให้แก่ผู้ประกอบการ ที่ปรึกษา ผู้ออกแบบ ผู้ผลิตเทคโนโลยี ESCO และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยเน้นกลุ่มผู้ประกอบการอุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนความร้อนสูง

4. สร้างเครือข่ายความร่วมมือกับสมาคมผู้ประกอบการต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นสื่อกลางให้ข้อมูลผู้ประกอบการและผู้สนใจ เช่น สมาคมอุตสาหกรรม, สมาคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

5. ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยด้านเทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ โดยเน้นการพัฒนาหรือประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพและแพร่หลายมากขึ้น เช่น เพิ่มศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ของเตาเผาแบบ Shuttle ,Heat Exchanger , Air Preheater, Economizer, หัวเผาไหม้ประสิทธิภาพสูง, Recuperator, ORC, Organic Rankine Cycle, Absorption Heat Pump

แผนยุทธศาสตร์ที่ 3. กำหนดมาตรฐานและปรับปรุงกฎระเบียบให้เอื้อต่อการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้
เป้าประสงค์เชิงนโยบาย

- เพื่อสร้างมาตรฐานการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารภาคธุรกิจ
- ลดและแก้ปัญหาการติดขัดกำหนดกฎหมาย

กลยุทธ์หลัก

1. กำหนดมาตรฐานการออกแบบสร้างโรงงานใหม่ ให้มีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อย่างเหมาะสม เช่น กำหนดให้โรงงานใหม่ที่ติดตั้งอุปกรณ์นำความร้อนทิ้งมาตรฐาน
2. กำหนดมาตรฐานแนะนำ การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในโรงงานที่ดำเนินกิจการอยู่แล้ว ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. ปรับปรุงแก้ไขกฎระเบียบด้านการผลิตไฟฟ้าให้เอื้อต่อการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้มากขึ้น เช่น การรับซื้อไฟฟ้าจากความร้อนทิ้ง
4. จัดทำมาตรฐาน/ฉลากประสิทธิภาพพลังงานสำหรับ อุปกรณ์/เทคโนโลยีที่ได้มาตรฐาน เช่น การกำหนดฉลากมาตรฐานสำหรับ Heat Pump , Burner หม้อไอน้ำ

แผนยุทธศาสตร์ที่ 4. สนับสนุนและส่งเสริมด้านเงินลงทุน
เป้าประสงค์เชิงนโยบาย

- เพื่อให้กลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆทั้งขนาดใหญ่และ โดยเฉพาะขนาดเล็กและภาคธุรกิจเข้าถึงข้อมูลด้านเงินลงทุนและแหล่งเงินลงทุนได้มากขึ้น
- เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมด้านเงินลงทุนแก่ผู้ประกอบการและผู้เกี่ยวข้องในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

กลยุทธ์หลัก

1. สนับสนุนด้านเงินลงทุนแก่ผู้ประกอบการในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ เช่น สนับสนุนตามเงินลงทุน หรือ ผลประโยชน์ที่ได้ เป็นการเฉพาะโดยกำหนดทั้งเทคโนโลยี และภาคอุตสาหกรรมที่จะส่งเสริม โดยเน้นที่มีศักยภาพสูง เพื่อให้เกิดผลประโยชน์ตามเป้าหมาย เช่น การนำความร้อนทิ้งกลับมาอุ่นผลิตภัณฑ์ใน อุตสาหกรรมกระจก เหล็ก การผลิตไฟฟ้า

แผนยุทธศาสตร์ที่ 5. ติดตามผลการดำเนินงานและประเมินประสิทธิภาพ

เป้าประสงค์เชิงนโยบาย

- เพื่อให้มาตรการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

กลยุทธ์หลัก

- จัดตั้งผู้รับผิดชอบมาตรการ เพื่อดำเนินการและประสานงานอย่างต่อเนื่อง เช่น จัดตั้ง พพ.หรือ สนพ. เป็นผู้รับผิดชอบ
- กำหนดกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายหลัก และดำเนินการส่งเสริม และติดตามผลเป็นรายๆ
- บูรณาการการรายงานข้อมูลความร้อนทิ้งกับระบบที่มีการส่งข้อมูลที่ได้ดำเนินการอยู่แล้ว เช่น ต้อง รายงานข้อมูลด้านความร้อนทิ้งให้กับ พพ. หรือ กรมโรงงานอุตสาหกรรม
- ประเมินประสิทธิภาพของการดำเนินงานที่ทำไปแล้ว เพื่อปรับปรุงแก้ไข เช่น มีการประเมินแนวโน้ม ปริมาณความร้อนทิ้งที่ลดลงในแต่ละอุตสาหกรรมและภาพรวมทั้งประเทศทุกๆปี ,ประเมินระดับปัญหาและ อุปสรรคของผู้ประกอบการ/ผู้ผลิตเทคโนโลยีทุกๆปี

เพื่อให้แผนยุทธศาสตร์ในแต่ละหัวข้อสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องมีการกำหนด ระยะเวลาในการดำเนินการที่ชัดเจนของแต่ละแผนยุทธศาสตร์ ซึ่งสามารถแบ่งระยะเวลาออกเป็นช่วงต่างๆ ได้ 3 ระยะคือ

- | | |
|----------|------------------------------------|
| ระยะสั้น | ใช้เวลาโดยประมาณปีที่ 0 ถึงปีที่ 2 |
| ระยะกลาง | ใช้เวลาโดยประมาณปีที่ 2 ถึงปีที่ 4 |
| ระยะยาว | ใช้เวลาโดยประมาณปีที่ 4 ถึงปีที่ 5 |

โดยมีระยะเวลาการดำเนินงานของแต่ละยุทธศาสตร์ดังตารางต่อไปนี้

ยุทธศาสตร์และกลยุทธ์หลัก	ระยะสั้น ปีที่ 0-2	ระยะกลาง ปีที่ 2-4	ระยะยาว ปีที่ 4-5
ยุทธศาสตร์ที่ 1. สร้างความเชื่อมั่นในมาตรการ ให้กับผู้ประกอบการและผู้สนใจ			
รวบรวมข้อมูลจากกรณีตัวอย่างของโรงงาน อุตสาหกรรมที่ประสบความสำเร็จในการนำ ความร้อนทิ้งกลับมาใช้และจัดทำเป็น			

หนังสือหรือสื่อต่างๆ			
จัดตั้งโครงการนำร่องมาตรการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพ เช่น มาตรการนำความร้อนทิ้งไปอุ่นสารตัวกลางในการผลิตไฟฟ้า (ORC, Organic Rankine Cycle)			
จัดสัมมนาและเข้าเยี่ยมชมสถานประกอบการตัวอย่าง ที่มีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ			
ส่งเสริมให้บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) เข้าไปดำเนินการจัดการพลังงานยังสถานประกอบการที่สนใจ			
จัดโครงการประกวดและมอบรางวัลสำหรับสถานประกอบการสามารถนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด เช่น Waste Heat Recovery Award			

ยุทธศาสตร์และกลยุทธ์หลัก	ระยะสั้น ปีที่ 0-2	ระยะกลาง ปีที่ 2-4	ระยะยาว ปีที่ 4-5
แผนยุทธศาสตร์ที่ 2. พัฒนาและเผยแพร่องค์ความรู้ เทคโนโลยี และแหล่งเงินทุน			
จัดทำเครื่องมือการวิเคราะห์การคำนวณความร้อนทั้งของโรงงานและข้อมูลสนับสนุนด้านเทคโนโลยี			
จัดทำสื่อ เช่น เว็บไซต์ และเอกสารเผยแพร่เพื่อพัฒนาแหล่งเรียนรู้ สร้างความเข้าใจและแนวโน้มของเทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งมาใช้ ในกลุ่มอุตสาหกรรม			
จัดฝึกอบรมและสัมมนาให้แก่ผู้ประกอบการ ที่ปรึกษา ผู้ออกแบบ ผู้ผลิตเทคโนโลยี ESCO และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง			
สร้างเครือข่ายข้อมูลระหว่างหน่วยงานและสมาคมต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อขอช่วยกระจายข้อมูลไปยังผู้ประกอบการและผู้สนใจ			
สร้างทำเนียบผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานต่างๆ และผู้ผลิตและจำหน่ายเทคโนโลยีเพื่อเป็นที่ปรึกษา			
เป็นศูนย์กลางข้อมูลข่าวสารด้านเงินลงทุน โดยรวบรวมจากหน่วยงานต่างๆ และทำเผยแพร่ไปยังผู้ที่เกี่ยวข้อง			
ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยด้านเทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ โดยเน้นที่การพัฒนาหรือประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพและแพร่หลายมากขึ้น			

ยุทธศาสตร์และกลยุทธ์หลัก	ระยะสั้น ปีที่ 0-2	ระยะกลาง ปีที่ 2-4	ระยะยาว ปีที่ 4-5
แผนยุทธศาสตร์ที่ 3. กำหนดมาตรฐาน และปรับปรุงกฎระเบียบให้เอื้อต่อการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้			
กำหนดมาตรฐานการออกแบบสร้างโรงงานใหม่ ให้มีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อย่างเหมาะสม			
กำหนดมาตรฐานการปรับปรุง การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในโรงงานที่ดำเนินการอยู่แล้ว ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น			
ปรับปรุงแก้ไขกฎระเบียบด้านการผลิตไฟฟ้าให้เอื้อต่อการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้มากขึ้น			
จัดทำมาตรฐาน/ฉลากประสิทธิภาพพลังงานสำหรับ อุปกรณ์/เทคโนโลยีที่ได้มาตรฐาน			
บูรณาการการรายงานข้อมูลความร้อนทิ้งกับระบบที่มีการส่งข้อมูลที่ได้ดำเนินการอยู่แล้ว			

ยุทธศาสตร์และกลยุทธ์หลัก	ระยะสั้น ปีที่ 0-2	ระยะกลาง ปีที่ 2-4	ระยะยาว ปีที่ 4-5
แผนยุทธศาสตร์ที่ 4. การสนับสนุนส่งเสริมด้าน เงินทุน			
สร้างความร่วมมือระหว่างองค์กรและแหล่งทุนต่างๆ เช่น ธนาคาร ผู้ผลิต เทคโนโลยี เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมด้านเงินทุนแก่ผู้ประกอบการและผู้เกี่ยวข้องในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้			
มีงบประมาณส่งเสริมผลักดันให้ผู้ประกอบการดำเนินมาตรการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้เพิ่มมากขึ้น			
แผนยุทธศาสตร์ที่ 5. ติดตามผลการดำเนินงาน และประเมินประสิทธิภาพ			
จัดตั้งผู้รับผิดชอบมาตรการ เพื่อดำเนินการและประสานงานอย่างต่อเนื่อง			
ดำเนินการตรวจสอบผลการดำเนินงานเป็นระยะ ประกอบด้วย การสำรวจภาคสนาม และการสำรวจระบบข้อมูล			
ประเมินประสิทธิภาพของการดำเนินงานที่ทำไปแล้ว เพื่อปรับปรุงแก้ไข			

จากแผนยุทธศาสตร์ทั้ง 5 กลุ่ม มีการดำเนินการส่งเสริมในแต่ละอุตสาหกรรม ดังนี้

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

บทที่ 12

แผนการส่งเสริมการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้ได้กล่าวถึงแผนส่งเสริมการวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดแนวทางของการวิจัยด้านการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ให้อยู่ในทิศทางที่ถูกต้องเหมาะสมและเป็นประโยชน์กับภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมในประเทศไทย ซึ่งแนวทางดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุน ยุทธศาสตร์แผนส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ทั้ง 5 ด้าน ในบทที่ 11 โดยยุทธศาสตร์แผนการส่งเสริมการวิจัยที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียด ดังนี้

ยุทธศาสตร์ของงานวิจัย ประกอบด้วย

1. การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีที่มีศักยภาพให้แพร่หลาย เนื่องจากงานวิจัยระดับสูงหรืองานวิจัยเชิงลึก เช่น การลดปริมาณสารซัลเฟอร์ในก๊าซไอเสีย หรือ การใช้ Transport Membrane Condenser เพื่อดึงทั้งความร้อนและน้ำออกจากก๊าซไอเสีย เป็นเทคโนโลยีที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง ใช้เวลาดำเนินการนาน จึงไม่สอดคล้องกับระยะเวลาตามแผนยุทธศาสตร์ที่ตั้งไว้ ดังนั้นจึงควรให้การส่งเสริมงานวิจัยเทคโนโลยีที่แพร่หลายอยู่แล้ว โดยเน้นการประยุกต์เทคโนโลยีดังกล่าวให้มีศักยภาพเพิ่มสูงขึ้น เช่น การวิจัยหัวเผาประสิทธิภาพสูง

2. การเพิ่มศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพหรือเพิ่มขอบเขตในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ จึงควรทำการศึกษาวิจัยเทคโนโลยีด้านความร้อนทิ้งในรูปแบบหรือแนวทางใหม่ เช่น การศึกษาการนำความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำกลับมาใช้ เพื่อเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่อไป

3. การจัดทำเครื่องมือสนับสนุนการวิเคราะห์ เนื่องจากปัจจุบันเครื่องมือสนับสนุนการวิเคราะห์ด้านความร้อนทิ้งยังไม่มีที่แพร่หลาย และมีราคาแพง รวมถึงการใช้งานค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้นเพื่อเพิ่มศักยภาพในการวิเคราะห์ด้านความร้อนทิ้ง จึงควรจัดทำเครื่องมือสนับสนุนการวิเคราะห์ดังกล่าว เช่น การพัฒนาซอฟต์แวร์ หรือโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ความร้อนทิ้งให้ใช้งานได้ง่ายและแพร่หลาย

4. การจัดทำมาตรฐาน , COP (Code of practice) ปัจจุบันยังไม่กำหนดหรือจัดทำมาตรฐานด้านความร้อนทิ้งอย่างเป็นรูปธรรม ดังนั้นเพื่อให้มีแนวทางการปฏิบัติในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ง่ายต่อการควบคุมดูแล และตรวจสอบประเมินผล จึงควรจัดทำมาตรฐานหรือแนวทางการปฏิบัติขึ้นมา เช่น การจัดทำมาตรฐานความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท

ยุทธศาสตร์งานวิจัย	ตัวอย่างหัวข้อวิจัยที่น่าสนใจ
1. การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีที่มีศักยภาพ	● การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้ง ในอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพ ● การศึกษาการผลิตความร้อนด้วย ฮีตปั๊ม ● การศึกษาการใช้ฮีตไปป์ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ● การเปลี่ยนไปใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง ● การติดตั้ง REGENERATOR ● การศึกษาออกแบบระบบ LOAD PREHEATER ● การศึกษาออกแบบระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใน ● อุตสาหกรรมที่มีศักยภาพ เช่น อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เครื่องยนต์ก๊าซ ฯลฯ
2. การเพิ่มศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้	● การศึกษาเทคโนโลยีเพื่อการลดอุณหภูมิก๊าซไอเสีย ● การศึกษาการนำความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำกลับมาใช้
3. การจัดทำเครื่องมือสนับสนุนการวิเคราะห์	● การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ แบบจำลอง ของอุปกรณ์ใช้ความร้อน ที่ใช้งานได้ง่าย
4. การจัดทำมาตรฐาน , COP (Code of practice)	● การจัดทำมาตรฐานความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรม

บทที่ 13

การจัดประชุมและสัมมนา

13.1 การจัดประชุมคณะกรรมการวิชาการ

ในการดำเนินงานโครงการศึกษาศักยภาพและแนวทางการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมในประเทศไทย (Waste Heat Recovery potential and promotion scheme for building and industry) เพื่อให้โครงการฯ มีการครอบคลุม ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีได้จัดตั้งคณะกรรมการวิชาการขึ้นเพื่อให้ข้อเสนอแนะ และกลั่นกรองผลการศึกษา คณะกรรมการดังกล่าวประกอบด้วยผู้เกี่ยวข้องจากภาครัฐ และภาคอุตสาหกรรมรวม 12 ท่าน ดังนี้

ตารางที่ 13-1 รายชื่อคณะกรรมการวิชาการและกลั่นกรองการศึกษา

ลำดับ	หน่วยงาน	รายชื่อ
1	นักวิชาการอาวุโส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ศ.ดร.จุลละพงษ์ จุลละโพธิ์
2	ผู้แทน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)	นายณัฐพล รุ่งประแสง
3	ผู้แทน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน	นายเสกสันต์ พันธุ์บุญมี นายธวัชชัย พัฒชนะ (สำรอง)
4	ผู้แทน สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์	นายมานิตย์ กุศลพัฒน์
5	ผู้แทน กรมโรงงานอุตสาหกรรม	นายศุภกิจ บุญศิริ
6	ผู้แทน กลุ่มอุตสาหกรรมเหล็ก สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	นายหิน นววงศ์ นายธีรยุทธ เลิศศิริรังสรรค์ (สำรอง)
7	ผู้แทน กลุ่มอุตสาหกรรมแก้วและกระจก สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	นายมนตรี ธนาเสริมสวย
8	ผู้แทน กลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	นายประทีป เลี้ยวไรรัตน์ นายกิตติศักดิ์ วิชาลาพาณิชย์ (สำรอง)
9	ผู้แทน กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมี สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	นายพรคพงษ์ วัชรตันโสภณ
10	รศ.ดร.อภิชาติ เทอดโยธิน (ที่ปรึกษาโครงการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	เลขานุการคณะทำงาน

ที่ปรึกษาฯ ได้ดำเนินการจัดประชุมวิชาการเพื่อขอความเห็นชอบจากคณะกรรมการวิชาการและกลั่นกรองผลการศึกษา ดังนี้

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	สถานที่	ประเด็นการพิจารณา
1	14 สิงหาคม 2557	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี	- พิจารณาผลการศึกษาทบทวนการ

		พระจอมเกล้าธนบุรี	นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ของ ต่างประเทศ - พิจารณากลุ่มอุตสาหกรรมที่ ดำเนินการศึกษา
2	2 กรกฎาคม 2558	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี	- พิจารณาผลประโยชน์ศักยภาพการนำ ความร้อนทิ้งกลับมาใช้ของ อุตสาหกรรม และอาคารธุรกิจ - ข้อเสนอแนะแผนงานส่งเสริม
3	13 สิงหาคม 2558	กรมพัฒนาพลังงาน ทดแทนและอนุรักษ์ พลังงาน	- พิจารณาแผนการส่งเสริมและการ วิจัยการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

การประชุมวิชาการครั้งที่ 1 วันพฤหัสบดีที่ 14 สิงหาคม 2557



รูป ก



รูป ข

การประชุมวิชาการครั้งที่ 1 วันพฤหัสบดีที่ 14 สิงหาคม 2557



รูป ค



รูป ง

รูปที่ 13-1 การประชุมคณะกรรมการวิชาการ ครั้งที่ 1

การประชุมวิชาการครั้งที่ 2 วันพฤหัสบดีที่ 3 กรกฎาคม 2558



รูป จ



รูป ฉ

รูปที่ 13-2 การประชุมคณะกรรมการวิชาการ ครั้งที่ 2

การประชุมวิชาการครั้งที่ 3 วันพฤหัสบดีที่ 13 สิงหาคม 2558



รูป ช



รูป ช

รูปที่ 13-3 การประชุมคณะกรรมการวิชาการ ครั้งที่ 3

13.2 การจัดสัมมนารับฟังความคิดเห็นผู้ประกอบการ

คณะผู้วิจัยได้จัดสัมมนารับฟังความคิดเห็นผู้เกี่ยวข้อง จากสถานประกอบการ หน่วยงานนโยบายภาครัฐ 2 ครั้ง ดังนี้

ครั้งที่ 1

สัมมนากลุ่มย่อย

“ศักยภาพและแนวทางการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมในประเทศไทย”

วันที่ 23 เมษายน 2558

สถานที่ โรงแรมเดอะทวินทาวเวอร์ กรุงเทพฯ

ผู้เข้าร่วม ผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรม ส่วนราชการ ที่ปรึกษา ร่วม 70 ท่าน

กำหนดการสัมมนา

เทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

- นิยาม
- ปัญหาอุปสรรค และข้อจำกัด
- เทคโนโลยีความร้อนทิ้ง

การศึกษาศักยภาพของความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมของไทย

- แนวทางการศึกษา
- ศักยภาพที่พบรายอุตสาหกรรม
- การศึกษาความคุ้มค่าของการดำเนินมาตรการ
- ตัวอย่างการดำเนินมาตรการ

การแสดงความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ

กิจกรรมเสนอแนะแนวทางการส่งเสริมฯ

- เทคโนโลยี
- มาตรการส่งเสริม

สรุปการสัมมนา

ประธานเปิดการสัมมนา รศ.ดร.ศุภชาติ จงไขบุลย์พัฒนะ ผู้แทน สกว. กล่าวเปิดงาน

1.การศึกษาศักยภาพของความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมของไทย

นำเสนอโดย โดย รศ.ดร.อภิชาติ เทอดโยธิน และ คุณดำรงค์ บัวยอม

2. เทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

นำเสนอโดย โดย คุณดำรงค์ บัวยอม และ คุณจิตตพร หนองคำ

3. กิจกรรมเสนอแนะแนวทางการส่งเสริมฯ

เป็นกิจกรรมที่ดำเนินการเพื่อต้องการสอบถามผู้ประกอบการ เกี่ยวกับอุปสรรคในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ และ สอบถามข้อเสนอแนะความคิดเห็นต่างๆ โดยการแจกสติกเกอร์ให้กับผู้เข้าร่วมสัมมนาทุกท่านนำไปติดที่บอร์ด โดยมีการแบ่งแยกเป็นตามประเภทอุตสาหกรรม และให้นำสติกเกอร์นั้นไปติดยังบอร์ดที่สรุปหัวข้อที่ได้มาจากแบบสอบถามที่ได้ดำเนินการก่อนนี้ ซึ่งมีหัวข้อ ดังนี้

อุปสรรคในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

1. ผู้บริหารไม่สนใจ
2. ขาดความรู้ในการปรับปรุง
3. ขาดเงินลงทุน
4. ระยะเวลาในการคืนทุนนานเกินไป
5. ขาดความมั่นใจในความสำเร็จของมาตรการ

ข้อจำกัดในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

1. ขาดเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการนำมาใช้
2. ข้อจำกัดทางกฎหมายและกฎระเบียบ
3. ไม่มีแหล่งความร้อนรับไปใช้ภายในโรงงาน หรือโรงงานใกล้เคียง
4. ไม่มีสถานที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์
5. ไม่สามารถหยุดการผลิตเพื่อปรับปรุงได้
6. ไม่มีความคุ้มค่า
7. แหล่งความร้อนกับจุดที่นำไปใช้ทำงานไม่พร้อมกัน

4. การแสดงความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ

มีผู้ให้ความคิดเห็นต่าง ดังต่อไปนี้

สมาคมอุตสาหกรรมฟอกย้อมพิมพ์และตกแต่งสิ่งทอไทย คุณปรีชา กล่าวว่า อุตสาหกรรมสิ่งทอประกอบด้วยกระบวนการหลัก 3 ส่วน คือการปั่น การทอ และฟอกย้อม ทางคณะทำงานยกตัวอย่างเกี่ยวกับมาตรการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ของอุตสาหกรรมสิ่งทอฟอกย้อมได้ถูกต้องแล้ว แต่ถ้าดูโดยละเอียดจะพบว่ามีจุดต่างๆที่สามารถนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ได้อีกพอสมควร ซึ่งกระบวนการมีทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ซึ่งมีความแตกต่างกัน และความร้อนทั้งบางจุดสามารถนำกลับมาใช้ได้ทันที เช่น น้ำล้างในกระบวนการทอ ซึ่งมีความสะอาดเพียงพอ และหม้อไอน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่ยังไม่มีเมื่อนำน้ำร้อนจากกระบวนการกลับมาอุ่นน้ำป้อนก่อนเข้าหม้อไอน้ำ

บริษัท อุตสาหกรรมทำเครื่องแก้วไทย จำกัด (มหาชน) คุณมนตรี ธนาเสริมสวย คณะกรรมการโครงการ กล่าวว่าจากสรุปปัญหาและอุปสรรคที่มีประเด็นหลักเป็นเรื่องขาดเทคโนโลยี และความรู้ความเข้าใจนั้น จึงอยากให้การสนับสนุนจากภาครัฐโดยให้ภาครัฐเป็นตัวกลางในการเชิญผู้ผลิตเทคโนโลยีประเภทต่างๆ มาทำการสัมมนาเพื่อชี้แจงและให้ความรู้แก่โรงงานหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีนั้นๆ

บริษัท ข้าว ซี.พี จำกัด คุณดำรงศักดิ์ แพทย์นาดี กล่าวว่า ในอุตสาหกรรมสีข้าวส่วนใหญ่โรงงานไม่มีเทคโนโลยีขั้นสูง ส่วนของ ซี.พี. มีอุปกรณ์ใช้ความร้อนที่น่าสนใจเช่น มีหม้อไอน้ำ ที่ใช้ในกระบวนการนี้ ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีการนำความร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำกลับมาใช้ และกระบวนการอบเพื่อลดความชื้นข้าวเปลือกจากประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ให้เหลือประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์เพื่อให้ข้าวเปลือกอยู่ได้นาน โดยใช้เตาเผาโดยใช้เชื้อเพลิงแกลบ มีทั้งแบบ Direct และ Indirect ซึ่งแบบ Direct ถ้าการเผาไหม้ไม่ดี จะมีปัญหาเรื่องข้าวจะมีกลิ่นที่เกิดจากควัน ส่วนแบบ Indirect อุณหภูมิเผาไหม้ประมาณ 500-600 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนแล้วอุณหภูมิเหลือเพียง 60-80 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพต่ำ และผู้เกี่ยวข้องควรเข้าไปศึกษากระบวนการโดยละเอียดว่ามีกระบวนการใดสามารถปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ได้บ้าง

บริษัท ไทยยูเนี่ยน โฟรเซ่น โปรดักส์ จำกัด (มหาชน) คุณณรงค์ อาศนะสุวรรณ กล่าวว่า อุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง อาหารทะเลแช่แข็ง ปัจจุบันมีหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงถ่านหิน ขนาด 10 ตัน 3 ตัว และ หม้อไอน้ำเชื้อเพลิงน้ำมันเตา เกือบ 10 ตัว ปัจจุบันโรงงานสนใจที่จะติดตั้ง Economizer ซึ่งทางผู้บริหารระดับสูงให้ความสนใจเป็นอย่างดี โดยประเด็นหลักที่สนใจไม่ใช่เงินลงทุน แต่สนใจเรื่องสิ่งแวดล้อมมากกว่า

มหาวิทยาลัยรังสิต อาจารย์วีรรัตน์ ลายทอง กล่าวว่า บางโรงงานต้องการผลิตไฟฟ้าใช้เองในโรงงานและได้ศึกษาข้อมูลมา 3 ปี ปัจจุบันติดปัญหาด้านกฎหมายสิ่งแวดล้อมจึงยังไม่สามารถสร้างโรงไฟฟ้าเองได้ จึงอยากฝากให้ภาครัฐผลักดันด้านกฎหมาย ให้เหมาะสมยิ่งขึ้นในอนาคต

การจัดสัมมนากลุ่มย่อย วันพฤหัสบดีที่ 23 เมษายน 2558



รูป ณ



รูป ณ

การจัดสัมมนากลุ่มย่อย วันพฤหัสบดีที่ 23 เมษายน 2558



รูป ๓



รูป ๓

รูปที่ 13- 3 การสัมมนากลุ่มย่อย

ครั้งที่ 2

สัมมนารับฟังความคิดเห็น “ศักยภาพและแนวทางการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ในประเทศไทย”

วันที่ 29 กรกฎาคม 2558

สถานที่ โรงแรมเดอะทวินทาวเวอร์ กรุงเทพฯ

ผู้เข้าร่วม ผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรม ส่วนราชการ ที่ปรึกษา ร่วม 45 ท่าน

กำหนดการสัมมนา

การศึกษาศักยภาพของความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมของไทย

- เทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้
- แนวทางการศึกษา
- ศักยภาพที่พบรายอุตสาหกรรม
- การศึกษาความคุ้มค่าของการดำเนินมาตรการ
- ตัวอย่างการดำเนินมาตรการ

แผนและแนวทางการส่งเสริมการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

กิจกรรมเสนอแนะและรับฟังความคิดเห็น

สรุปการสัมมนา

ในการสัมมนาครั้งที่ 2 นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อขอความคิดเห็นจากผู้ประกอบการต่อแผนการส่งเสริมที่จัดทำขึ้นซึ่งส่วนใหญ่ที่ประชุมเห็นด้วยและมีประเด็นที่ขอให้เพิ่มเติม เช่น การดำเนินการโครงการนำร่อง ควรพิจารณา เทคโนโลยี Organic Rankin Cycle ซึ่งน่าสนใจ แต่ยังไม่เห็นผู้ประกอบการดำเนินการปรับปรุง อยากให้มีการส่งเสริมปั๊มความร้อน

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

- คุณมนตรี ธนาเสริมสวย จากอุตสาหกรรมแก้วและกระจก เสนอแนะว่า ควรจัดตั้งเขตอุตสาหกรรมพิเศษขึ้น เช่น โรงงานที่มีน้ำร้อนหรือไอน้ำเหลือเป็นความร้อนทิ้งแต่ไม่มีจุดที่จะนำไปใช้งานในโรงงานของตนเองและสามารถนำไปให้โรงงานใกล้เคียงใช้ประโยชน์ต่อ โรงงานที่เป็นเจ้าของแหล่งความร้อนดังกล่าวจะได้รับเงินสนับสนุนเพิ่มเติม ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาโรงงานที่มีความร้อนทิ้งแต่ไม่มีจุดที่จะนำไปใช้งานได้
- คุณหิน นววงศ์ จากอุตสาหกรรมเหล็ก สอบถามว่า ระบบ Organic Rankine Cycle มีโรงงานอุตสาหกรรมใดติดตั้งเพื่อใช้งานจริงแล้วหรือไม่ ถ้ายังไม่มีอาจเสนอเพื่อขอทุนจาก พพ. ในการศึกษาในรูปแบบมาตรการเชิงลึกต่อไป
- คุณปรีชา นิลถาวรกุล จากสมาคมอุตสาหกรรมฟอกย้อมพิมพ์และตกแต่งสิ่งทอไทย เสนอแนะว่า ยังมีโรงงานจำนวนมากที่ยังไม่ได้นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีน้ำร้อนปล่อยทิ้งเป็นปริมาณมาก ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่เกิดจาก ผู้ประกอบการไม่สนใจ ไม่

แน่ใจในระยะเวลาคุ้มทุนของมาตรการ ดังนั้นควรจัดให้มีโครงการศึกษาที่เจาะลึกลงไปในรายอุตสาหกรรมเพื่อการแก้ปัญหาที่ตรงจุด และมีประสิทธิภาพ

- คุณศุภชัย จากตัวแทนผู้ผลิตจำหน่ายเทคโนโลยี มีข้อเสนอแนะว่า จากความเห็นคิดว่าปัญหาอุปสรรคสำคัญที่สุดในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้เป็นเรื่อง ความรู้ จึงควรประสานงานกับหน่วยงานที่มีความรู้เฉพาะด้าน เช่น สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศ ซึ่งมีบุคลากรที่มีความรู้และประสบการณ์สูงเป็นจำนวนมาก และเห็นด้วยกับคุณมนตรีเรื่อง ควรจัดตั้งเขตอุตสาหกรรมพิเศษ เนื่องจากเคยเข้าสำรวจโรงงานหลอมอลูมิเนียมซึ่งเป็นโรงงานขนาดใหญ่ และมีความร้อนทิ้งจากเตาหลอมเป็นปริมาณมาก ซึ่งได้นำความร้อนทิ้งมาใช้กับ Absorption Chiller แล้วยังมีความร้อนทิ้งเหลืออีกเป็นจำนวนมาก และไม่มีจุดที่จะนำไปใช้งานในโรงงานตนเองแล้ว ในส่วนของเทคโนโลยี ปัจจุบันมีเทคโนโลยีใหม่โดยนำความร้อนทิ้งมาผลิตเป็นอากาศอุ่นแห้ง โดยเน้นการใช้ประโยชน์จากอากาศแห้งเป็นหลัก และสำหรับโรงไฟฟ้าที่เป็นระบบ Gas Turbine ปัจจุบันมีโรงงานที่ติดตั้ง Evaporator สำหรับ Gas Turbine โดยเน้นที่การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

การสัมมนารับฟังความคิดเห็น วันพฤหัสบดีที่ 23 กรกฎาคม 2558



รูป ฐ



รูป ๓

การสัมมนารับฟังความคิดเห็น วันพฤหัสบดีที่ 23 กรกฎาคม 2558



รูป ฅ



รูป ฅ

รูปที่ 13-4 การสัมมนารับฟังความคิดเห็น

บทที่ 14

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

14.1 สรุปผลการศึกษา

คณะผู้วิจัยได้สำรวจโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ของไทยรวม 48 แห่งและเก็บข้อมูลความร้อนทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 117 แห่ง โดยใช้แบบสอบถามและได้ประเมินความร้อนทิ้งที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก พบว่ามีศักยภาพรวม(primary energy) 1042 ktoe คิดเป็นร้อยละ 2.5 ของการใช้เชื้อเพลิงของภาคอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพ และเมื่อแบ่งออกเป็นภาคการผลิตไฟฟ้าจะมีศักยภาพ 330.14 ktoe หรือร้อยละ 1.1 และกลุ่มอุตสาหกรรมอื่น 711.79 ktoe หรือร้อยละ 6.1 โดยกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้สูง ได้แก่ การผลิตไฟฟ้า อุตสาหกรรมซีเมนต์ แก้ว และกระจก กระดาษ เหล็ก และปิโตรเคมี ตามลำดับ

สำหรับเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อาจแบ่งได้ 6 เทคโนโลยี หรือวิธีการ ได้แก่

1. การลดปริมาณความร้อนทิ้ง เช่นการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้
2. การใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
3. การนำความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำกลับมาใช้ เช่น การใช้ฮีตปั้ม
4. การใช้ความร้อนทิ้งในอากาศ เช่น ระบบปรับอากาศแบบดูดซึม
5. การผลิตไฟฟ้า เช่น การใช้วัฏจักร ORC
6. การอุ่นวัตถุดิบ (Load Preheating)

การลงทุนและระยะเวลาคืนทุนโดยทั่วไปของแต่ละเทคโนโลยีสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 14-1 เงินลงทุน และผลประโยชน์ของมาตรการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

ลำดับที่	เทคโนโลยี	ร้อยละผลประโยชน์	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	เงินลงทุน
1	Economizer	10-20	1-2	100,000 บาท/ตันไอน้ำ
2	Heat Exchanger	20	1-2	30,000-40,000 บาท/ตารางเมตร
3	absorption chiller	40-50	2-4	20,000-50,000 บาท/ตันความเย็น
4	heat pump	40-70	2-5	12,000-30,000 บาท/kW
5	heat pipe	30-40	1-2	750,000-1,500,000 บาท

ลำดับที่	เทคโนโลยี	ร้อยละผล ประหยัด	ระยะเวลาดำเนิน ทุน (ปี)	เงินลงทุน
6	Oxy-Fuel Burner	35	4	1,500,000 บาท/ชุด
7	Recuperator	25	2-4	N/A
8	Self-Recuperative Burner	30	1.8	600,000 บาท/ชุด
9	Regenerative Burner	50	2	3,300,000 บาท/ชุด
10	การผลิตไฟฟ้าด้วย Organic Rankine Cycle	-	6-7	150,000-200,000 บาท/กิโลวัตต์
11	Load-Preheating	10-15	3-5	N/A

ปัญหาและอุปสรรค

ในการศึกษา ได้สอบถามผู้ประกอบการถึงปัญหาอุปสรรคในการปรับปรุงการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ พบว่า มีปัญหาอุปสรรคสรุปได้ดังนี้

- ผู้ประกอบการขาดความเชื่อมั่นในการปรับปรุง
- ผู้ประกอบการขาดความรู้และเทคโนโลยีในการปรับปรุง
- ผลตอบแทนการลงทุนไม่คุ้มค่า
- ผู้ประกอบการขาดเงินลงทุน
- กฎระเบียบไม่คุ้มค่าให้เกิดการลงทุน

นอกจากนี้บางสถานประกอบการก็มีข้อจำกัดเฉพาะ อาทิ

- ไม่มีสถานที่ติดตั้ง
- ไม่สามารถหยุดปรับปรุงได้
- ไม่มีจุดใช้พลังงานความร้อน
- การใช้ความร้อน และการเกิดความร้อนทิ้งไม่พร้อมกัน

ฯลฯ

แผนการส่งเสริม

เพื่อส่งเสริมให้เกิดการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อย่างแพร่หลายยิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยเสนอให้มีแผนส่งเสริม ระยะเวลา 5 ปี เพื่อส่งเสริมให้เกิดการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้มากขึ้น ร้อยละ 50 ของปัจจุบัน โดยมียุทธศาสตร์ 5 ด้าน ดังนี้

1. สร้างความเชื่อมั่นในมาตรการ
2. พัฒนาและเผยแพร่ความรู้
3. กำหนดมาตรฐานและปรับปรุงกฎระเบียบ
4. สนับสนุนส่งเสริมเงินลงทุน
5. ติดตามและประเมินผล

14.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในการศึกษานี้เป็นการประเมินภาพรวมของกลุ่มอุตสาหกรรม และเน้นศักยภาพทางทฤษฎี ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยขั้นต่อไป คือ การศึกษาในรายละเอียดถึง มาตรการและข้อจำกัดในแต่ละอุตสาหกรรม โดยเลือก อุตสาหกรรมที่มีศักยภาพสูงดำเนินการก่อน และการศึกษาพัฒนา มาตรฐานการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้เป็นการเฉพาะ

นอกจากนี้ ควรศึกษาแนวทางในการนำความร้อนทิ้งจากโรงงานหนึ่งไปใช้ในโรงงานข้างเคียง เพื่อให้เกิดความคุ้มค่า ตลอดจนการกำหนดโซน เพื่อให้อุตสาหกรรมที่พึ่งพากันได้ และได้ประโยชน์สูงสุด

เอกสารอ้างอิง

1. Sarah Brueckner, Laia Miró, Luisa F. Cabeza, Martin Pehnt, Eberhard Laevemann,, “Methods to estimate the industrial waste heat potential of regions – A categorization and literature review”., Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, June 2014
2. DOE-ITP, EnergyUse loss and Opportunities in US Manufacturing & Mining, 2004
3. U.S. Department of Energy., “Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry”., United States, 2008
4. Department of Energy & Climate Change., “The potential for recovering and using surplus heat from industry Final Report”., London, 2014
5. Combined heat and power partnership, “Waste heat to power systems”
6. IDC Energy Insights: Renewable Energy Strategies, “Perspective: Waste Heat to Power- Still Waiting for a Breakthrough”., July 2011
7. U.S. Department of Energy Clean Energy Application Centers., “Promoting CHP, District Energy, & Waste Heat Recovery”., United States, 2010
8. Heat Recovery in Energy Intensive Industries., “EU PAPER: ORC WASTE HEAT RECOVERY IN EUROPEAN ENERGY INTENSIVE INDUSTRIES”
9. Dr. Martin Pehnt & Jan Bodeker, Marlene Arens and Prof. Dr. Eberhard Jochem & Farikha Idrissova, “Industrial waste heat – tapping in to a neglected efficiency potential”., 2011
10. MDG ACHIEVEMENT FUND IN CHINAS, “Promotion of Small-Scale and Medium Temperature Waste Heat Recovery Power Generation – A case Study in Chinese Coal-Gangue Brick-Making Sector”., October 2010
11. International Finance Corporation., “Waste Heat Recovery for the Cement Sector: Market and Supplier analysis”., June 2014
12. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ฐานข้อมูลโรงงานควบคุม, พ.ศ. 2556
13. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, รายงานอนุรักษ์พลังงาน, พ.ศ. 2556
14. http://en.wikipedia.org/wiki/Oxy-fuel_combustion_process, [accessed 10.11.14]
15. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “โครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึก เพื่อการอนุรักษ์พลังงานระยะที่ 2”, 2012
16. http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_looping_combustion, [accessed 10.11.14]
18. M. Hatami, D.D. Genji, M. Gorji-Bandpy., “A reveiw of different heat exchangers designs for increasing the diesel exhaust waste heat recovery”., Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, May 2014
19. Parinya Pongsoi , Santi Pikulkajorn , Somchai Wongwises., “Heat transfer and flow characteristics of spiral fin-and-tube heat exchangers: A review”., Journal of International Journal of Heat and Mass Transfer, August 2014

20. W. Srimuang, P. Amatachaya., "A review of the applications of heat pipe heat exchangers for heat recovery"., Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, May 2012
21. C.W. Chan, J. Ling-Chin, A.P. Roskilly., "A review of chemical heat pumps, thermodynamic cycles and thermal energy storage technologies for low grade heat utilisation"., Journal of Applied Thermal Engineering, July 2012
22. KiyaniParham, MehrdadKhamooshi, DanielBorisKenfackTematio, MortazaYari and Uğur Atikol., "Absorption heat transformers – A comprehensive review"., Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, March 2014
23. California Energy Commission., "Energy and water recovery with transport membrane condenser"., Public interest Energy Research (PIER) Program Final project report., January 2013
24. Xing-Qi Cao, Wei-Wei Yang, Fu Zhou and Ya-Ling He., "Performance analysis of different high-temperature heat pump systems for low-grade waste heat recovery."., Journal of Applied Thermal Engineering, July 2014
25. Arif Hepbasli, Emrah Biyik, Orhan Ekren, Huseyin Gunerhan and Mustafa Araz., "A key review of wastewater source heat pump (WWSHP) systems."., Journal of Energy Conversion and Management, August 2014
26. Cynthia Haddad, Christelle Périlhona, Amélie Danlosa, Maurice-Xavier Françoisb and Georges Descombesa., "Some efficient solutions to recover low and medium waste heat: competitiveness of the thermoacoustic technology"., Energy Procedia, 2014
27. KTH Industrial Engineering and Management, "Solar-Driven Refrigeration Systems with Focus on the Ejector Cycle"., October 2006
28. Douglas T. Crane and Gregory S. Jackson, "Optimization of cross flow heat exchangers for thermoelectric waste heat recovery"., Journal of Energy conversion & Management, 2004
29. D. Vuarnoz, A. Kitanovski, C. Gonin, Y. Borgeaud, M. Delessert, M. Meinen and P.W. Egolf, "Quantitative feasibility study of magnetocaloric energy conversion utilizing industrial waste heat"., Journal of Applied Energy, July 2012
30. D. La, Y.J. Dai *, Y. Li, R.Z. Wang and T.S. Ge, "Technical development of rotary desiccant dehumidification and air conditioning: A review"., Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, July 2009
31. U.S. Department of Energy., "Load Preheating Using Flue Gases from a Fuel-Fired Heating System"., Energy Tips – Process Heating Tip Sheet#9, 2006
32. California Energy Commission (CEC)., "Preheat Loads Using Heat from Exhaust Gases for Industrial Heating Equipment"., May 2012

33. Xiangjie Chen n, SiddigOmer,MarkWorall and SaffaRiffat, “Recent developments in ejector refrigeration technologies”., Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, December 2012