

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบการทำน้ำร้อนโดยใช้ หม้อต้มไอน้ำ เป็นระบบหนึ่งที่มีความสำคัญในการใช้งานสำหรับสถานประกอบการหลายประเภท เช่น โรงพยาบาล, โรงแรม, รีสอร์ท, สปปและโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท ซึ่งใช้พลังงานค่อนข้างสูงและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ซึ่งหากเปลี่ยนมาใช้ระบบทำความร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อนจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายค่าพลังงานน้อยกว่าการใช้เครื่องทำน้ำร้อนแบบขดลวดไฟฟ้าถึง 3-4 เท่า นอกจากนี้ในปั๊มความร้อนยังไม่มีมลภาวะทางอากาศ นอกจากนั้นแล้วพลังงานที่ปั๊มความร้อนใช้ เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนที่ต้องการจากเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำน้ำอุ่นแล้ว เป็นเพียง 1/3-1/6 เท่านั้น ปริมาณการใช้พลังงานจึงมีน้อยมากเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานด้วยวิธีอื่น [1, 2]

2.1 ชนิดและหลักการทำงานของหม้อไอน้ำ (Boiler) [3, 4]

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์หลักสำหรับผลิตไอน้ำ กระบวนการผลิตไอน้ำจะเริ่มจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ ทำให้น้ำในหม้อไอน้ำระเหยกลายเป็นไอ เนื่องจากการระเหยของน้ำถูกจำกัดอยู่ในพื้นที่ของหม้อน้ำ จึงทำให้เกิดความดันที่นำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตหรือการขับเคลื่อนเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยหม้อไอน้ำแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 ชนิด คือ

2.1.1 หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire Tube Boiler)

เป็นหม้อไอน้ำที่มีโครงสร้างง่าย ๆ โดยความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ จะถูกส่งไปในท่อเหล็กจำนวนมากที่ประกอบตามความยาวหม้อ ทำให้น้ำโดยรอบท่อเดือดและเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอน้ำ หม้อไอน้ำประเภทนี้มีขนาดเล็ก และมีความดันต่ำ เหมาะกับงานที่ใช้ความดันไม่เกิน 10 barg. อัตราการผลิตไอน้ำไม่เกิน 10 ตัน/ชั่วโมง เป็นส่วนใหญ่

2.1.2 หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water Tube Boiler)

หม้อไอน้ำชนิดนี้ทำงานเช่นเดียวกับหม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ แต่ภายในมีถังดรัม (Drum) และท่อน้ำเป็นจำนวนมากประกอบกับวงจรน้ำที่ผ่านเข้ามาจะหมุนเวียนตามการเคลื่อนที่ของน้ำในดรัม ส่วน

ภายนอกที่น้ำเหล่านี้จะได้รับความร้อนจากการเผาไหม้กลายเป็นไอ การหมุนเวียนของน้ำจะใช้หลักธรรมชาติ น้ำร้อนที่เป็นไอบาจะเคลื่อนตัวสู่ด้านบน น้ำที่เย็นกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่ หม้อไอน้ำนี้จะมีขนาดใหญ่มีความดันตั้งแต่ 150 lb/in² (10 barg.) ขึ้นไป สามารถผลิตไอน้ำปริมาณที่มาก และเป็นไอน้ำร้อนจัด หรือ ใคอง (Super Heat)

2.2 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ [4]

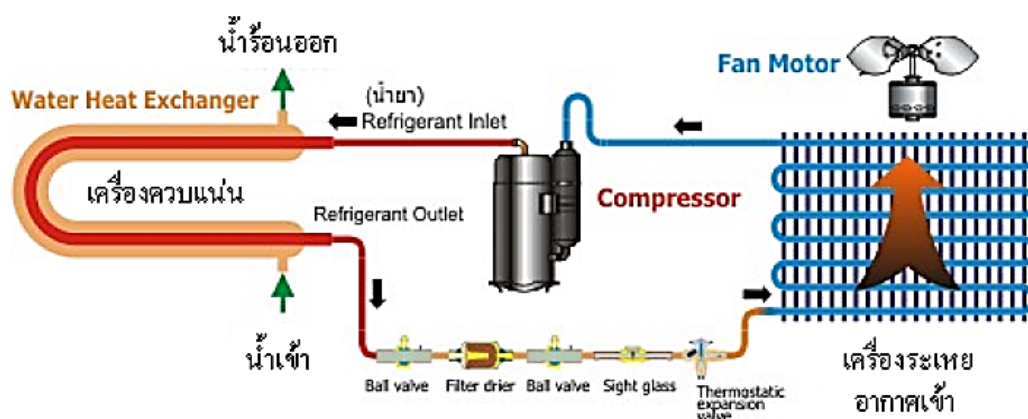
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ หรือ ประสิทธิภาพเชื้อเพลิงสู่ไอน้ำ (Fuel to Steam Efficiency) ในที่นี้หมายถึง ความสามารถของหม้อไอน้ำ ที่เปลี่ยนพลังงานจากเชื้อเพลิงมาเป็นพลังงานความร้อนของไอน้ำที่ส่งออกจากหม้อไอน้ำ เพื่อไปใช้งาน สิ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำได้แก่

- ลักษณะของเชื้อเพลิงซึ่งจะมีผลต่อการเผาไหม้ ลักษณะเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยก็จะมีผลกับการเผาไหม้ และกระทบกับค่าความร้อนที่เชื้อเพลิงสามารถให้ได้ อุณหภูมิที่ปล่องควันซึ่งจะบอกปริมาณความร้อนสูญเสียที่ปล่องควัน
 - อากาศส่วนเกินซึ่งได้จากการวัดค่าออกซิเจนได้ที่ปล่องควันจะบอกถึงประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และการใช้อากาศในการเผาไหม้ว่ามากเกินไปหรือน้อยเกินไปหรือไม่
 - อุณหภูมิและความดันอากาศภายนอกมีผลต่อการเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ แตกต่างออกไป
 - การสูญเสียความร้อนจากการพาและการแผ่รังสีของตัวถังหม้อไอน้ำถึงแม้จะมีฉนวนความร้อน แต่ความร้อนสูญเสียนี้อาจมีผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำทั้งสิ้น ดังที่กล่าวถึงนี้จะต้องมีบุคลากรที่มีความรู้และความใส่ใจดูแลหม้อไอน้ำ จึงจะมีประสิทธิภาพที่ดีอยู่ได้ตลอดเวลา
- การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ สามารถคำนวณจากค่าจำกัดความโดยตรง และการคำนวณจากความร้อนสูญเสีย

2.3 หลักการทำงานของปั๊มความร้อน (Heat Pump) [5]

หลักการทำงานของปั๊มความร้อน คือการถ่ายเทความร้อน โดยการดึงความร้อนจากแหล่งความร้อน แล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อน วัฏจักรการทำงานมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกันกับระบบทำความเย็นต่างกันเพียงปั๊มความร้อนจะเลือกใช้ประโยชน์จากทางด้านความร้อนเป็นหลักและควบคุมอุณหภูมิด้านความร้อนแทนด้านความเย็น และได้ความเย็นเป็นผลพลอยได้ของระบบ ปั๊มความร้อนจะทำหน้าที่ส่งผ่านความร้อนจากแหล่งความร้อนไปยังด้านที่รับความร้อน ซึ่งส่งความร้อน

ไปเรื่อยๆ อีกฝั่งก็จะร้อนขึ้น และเมื่อสะสมมากๆ จะสามารถมีอุณหภูมิสูงขึ้น จนสูงกว่าอุณหภูมิของแหล่งความร้อน วัฏจักรการทำงานด้านความเย็นกับความร้อนนั้น จะเชื่อมโยงกันด้วยสารทำงาน (Working Substance – HCFC R22 หรือ HFC 134a) โดยเริ่มจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์ซึ่งสารทำงานจะถูกอัดเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและความดัน จากนั้นสารทำงานจะถูกนำมากลั่นในคอนเดนเซอร์ (สารทำงานคายความร้อนออกไปกับน้ำ ทำให้น้ำร้อน) จนได้ของเหลวความดันสูง หลังจากนั้น จะถูกลดความดันในอี็กซ์แพนชันวาล์ว จนสารทำงานบางส่วนกลายเป็นไอหรือฟรอมที่ระเหยเมื่อได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนในอีแวปเปอเรเตอร์ การทำงานของปั๊มความร้อนจะทำงานเป็นวัฏจักรแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนได้น้ำร้อนตามที่ต้องการ ซึ่งการทำงานของปั๊มความร้อนแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

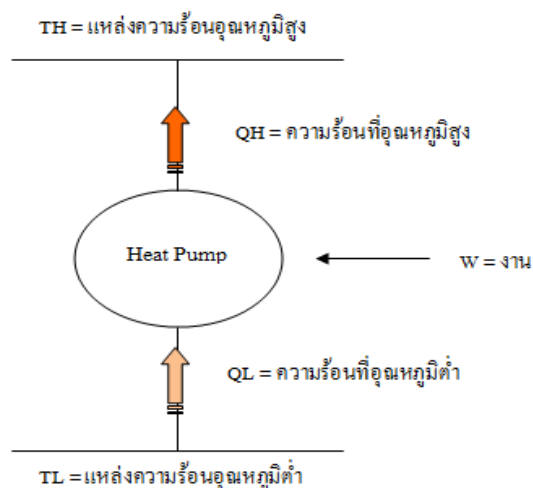


รูปที่ 2.1 วงจรการทำงานของระบบปั๊มความร้อนสำหรับทำน้ำร้อน [5]

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ระบบปั๊มความร้อนมีการใช้พลังงานเพื่อขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์และพัดลมที่บริเวณอีแวปเปอเรเตอร์หรือคอนเดนเซอร์ และอาจมีการใช้พลังงานที่ปั๊มน้ำสำหรับระบบที่ถึงน้ำ แยกเป็นคนละส่วนกับปั๊มความร้อนเท่านั้น ปั๊มความร้อนสามารถทำน้ำร้อนทดแทนการใช้แก๊สธรรมชาติในการผลิตน้ำร้อนได้ ปั๊มความร้อนเป็นระบบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การทำงาน (COP) สูง โดยทั่วไปมีค่ามากกว่า 3 (คิดเฉพาะการทำความร้อน) ทำให้ประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับการผลิตน้ำร้อนโดยใช้หม้อต้มน้ำที่ใช้แก๊สธรรมชาติซึ่งมีค่า COP ประมาณ 0.75 – 0.95 (ซึ่งหากนำลมเย็นที่ได้ไปใช้ประโยชน์ ค่า COP รวมทั้งการทำความร้อนและการทำความเย็นก็จะสูงขึ้นอีกเป็นเท่าตัว)

2.4 ส่วนประกอบของปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อน (Heat Pump) เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับพลังงานในรูปของงานหรือความร้อนและทำหน้าที่ดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ ไปจ่ายยังแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถแสดงหลักการทำงานดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โมเดลการทำงานของปั๊มความร้อน [5]

ระบบปั๊มความร้อนตามความหมายของ ARI (Air Condition and Refriegeation Institute) จะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังนี้

- คอนเดนเซอร์ มีหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำงานไปสู่แหล่งระบายความร้อนอุณหภูมิสูง
- อีวเอปอเรเตอร์ ทำหน้าที่ดูดความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ
- คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่อัดไอของสารทำงาน (Working Substance) ให้มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิรอบคอนเดนเซอร์ เพื่อจะถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำงาน
- เอ็กซ์แพนชันวาล์ว หรืออาจเรียกว่าวาล์วขยายตัว ในกรณีที่ระบบมีขนาดเล็กจะใช้ท่อขนาดเล็ก (Capillary Tube) แทน มีหน้าที่ลดความดันของสารทำงาน
- อุปกรณ์เสริม ได้แก่ ถังน้ำหุ้มฉนวน มีหน้าที่สำคัญสองประการด้วยกันคือ กักเก็บน้ำเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของอาคาร และเพื่อแบ่งระดับอุณหภูมิในกรณีที่มียามากกว่าหนึ่งถัง นอกจากนั้นจะมีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ปั๊มน้ำ ชุดควบคุมและวัดความดัน ชุดควบคุมและวัดอุณหภูมิ ชุดควบคุมและตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า

2.5 ประเภทของปั๊มความร้อนและการประยุกต์ใช้

2.5.1 ประเภทของปั๊มความร้อน

- ประเภทใช้พลังงานทางกล แบบอัดไอ (Vapor Compression) เป็นวิธีการใช้ความสัมพัทธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิของไอ (สารสถานะก๊าซ) ในการทำความเย็น อากาศอบอุ่นและการทำน้ำอุ่น ปั๊มความร้อนที่กล่าวถึงโดยทั่วไปจะหมายถึงปั๊มความร้อนแบบอัดไอนี้
- ประเภทใช้พลังงานความร้อน แบบดูดซึม (Absorption) เป็นการนำคุณสมบัติที่เมื่อลดความดันบรรยากาศจนเข้าใกล้สภาวะสูญญากาศ จะทำให้จุดเดือดของน้ำลดต่ำลงจนถึงประมาณ 5 °C มาใช้ในการทำความเย็น
- ประเภทใช้พลังงานความร้อน แบบดูดซับ (Adsorption) เป็นการใช้สารดูดความชื้นกำจัดความชื้น (ปริมาณน้ำ) ในอากาศ ใช้ในการลดความชื้นเรียกว่าการปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้น (Desiccant)
- ประเภทใช้พลังงานไฟฟ้า แบบเทอร์มิออนิก (Thermionic) เป็นวิธีการทำความเย็นที่ใช้สารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนไปในทิศทางเดียว เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน
- ประเภทใช้พลังงานจลน์ แบบฉีดไอ (น้ำ) เป็นวิธีการทำความเย็นที่ใช้คุณสมบัติที่เมื่อฉีดไอหรือน้ำออกไปโดยแรงแล้ว ที่บริเวณปลายหัวฉีดจะมีความดันลดลง บางครั้งเรียกว่าแบบอีเจกเตอร์ (Ejector)
- ประเภทใช้พลังงานจากปฏิกิริยาทางเคมี แบบปฏิกิริยาเคมี เป็นวิธีการที่ใช้ปฏิกิริยาทางเคมีทั้งที่เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (Exothermic Reaction) และปฏิกิริยาแบบดูดกลืนความร้อน (Endothermic Reaction) [1, 6]

2.5.2 การประยุกต์ใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อนในกระบวนการผลิต

จากหลักการทำงานของปั๊มความร้อนจะเห็นได้ว่าปั๊มความร้อนสามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ความร้อนในอากาศหรือแหล่งความร้อนสูญเสีย ซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนตามปกติมาทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ได้ ในระบบปั๊มความร้อนทั่วไปซึ่งมีค่า COP (Heating) เท่ากับ 3 พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปที่คอมเพรสเซอร์เพียง 1 ส่วนสามารถสร้างความร้อนได้ถึง 3 ส่วน โดยพลังงานความร้อนอีก 2 ส่วนจะดึงมาจากอากาศภายนอกหรือความร้อนสูญเสียจากกระบวนการอื่นได้ ดังนั้นปั๊มความร้อนจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงสำหรับการทำความร้อน ได้แก่ การผลิตน้ำร้อนสำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในอาคาร รวมทั้งการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่างๆ [6]

เทคโนโลยีปั๊มความร้อนสามารถนำมาเปลี่ยนใช้แทนหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงหรือไฟฟ้า เพื่อที่จะผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 50-60 °C สำหรับกระบวนการผลิตหรือการใช้งานต่างๆ ในอาคาร และใช้ทดแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ไอน้ำ หรือไฟฟ้า ซึ่งเมื่อพิจารณาในแง่ประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การทำงาน (COP) แล้ว ปั๊มความร้อนโดยทั่วไปซึ่งมีค่า COP มากกว่า 3 จึงมีประสิทธิภาพมากกว่าการผลิตความร้อนโดยใช้ก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันที่มีค่า COP ประมาณ 0.75-0.95 มาก เทคโนโลยีปั๊มความร้อนเหมาะสำหรับการใช้ผลิตความร้อน ได้แก่ น้ำร้อน สำหรับโรงแรม โรงงานอุตสาหกรรมหรืออาคาร ที่มีการใช้งานความร้อนไม่เกิน 60 °C เนื่องจากเป็นช่วงการทำงานที่ปั๊มความร้อนมีประสิทธิภาพการทำงานสูง โดยหากใช้ในการผลิตความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้ปั๊มความร้อนมีประสิทธิภาพลดลง อีกทั้งมีข้อจำกัดของคอมเพรสเซอร์ที่ไม่สามารถทำงานได้ อุณหภูมิสูงกว่าช่วง 80 – 90 °C [7]

2.5.3 ศักยภาพการประหยัดพลังงาน [7]

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของการใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตความร้อน เปรียบเทียบกับการใช้หม้อต้มน้ำด้วยน้ำมันเตา LPG และไฟฟ้า ปั๊มความร้อนมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้มากกว่า 60% โดยสามารถประเมินเปรียบเทียบในกรณีการผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C จากน้ำดิบอุณหภูมิ 27 °C ปริมาณ 16,000 ลิตรต่อวัน (เทียบเท่าปริมาณการใช้น้ำร้อนสำหรับโรงแรมขนาด 100 ห้อง) ดังนี้

ตารางที่ 2.1 พลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C [7]

ประเภทหม้อต้มน้ำ	ประสิทธิภาพการให้ความร้อน	ปริมาณการใช้พลังงาน (kcal)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง
ด้วยน้ำมันเตา	60%	746,666	79 ลิตร/วัน
ด้วยก๊าซ LPG	70%	640,000	53 กก./วัน
ด้วยขดลวดไฟฟ้า	100%	448,000	12,480 กิโลวัตต์/วัน
ด้วยปั๊มความร้อน*	300%	149,333	4,152 กิโลวัตต์/วัน

หมายเหตุ : *ประสิทธิภาพการให้ความร้อนในที่นี้เกิดจากการถ่ายโอนความร้อน หรือ การแลกเปลี่ยนความร้อน

ตารางที่ 2.2 ศักยภาพการประหยัดพลังงานของปั๊มความร้อน [7]

กรณี	การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพ การให้ความร้อน	ปริมาณพลังงานที่ ประหยัดได้
เปลี่ยนจากน้ำมันเตาเป็นปั๊มความร้อน	จาก 60% เป็น 300%	80%
เปลี่ยนจาก LPG เป็นปั๊มความร้อน	จาก 70% เป็น 300%	76%
เปลี่ยนจากขดลวดไฟฟ้าเป็นปั๊มความร้อน	จาก 100% เป็น 300%	66%

หมายเหตุ : 300% หมายถึง ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า

นอกจากนี้จากข้อมูลการติดตั้งใช้งานปั๊มความร้อนในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมยังแสดงถึงปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้ซึ่งมากกว่า 30% ในหลายๆ กระบวนการ

2.6 ความต้องการและปริมาณการใช้น้ำร้อน

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตอบอุ่น ดังนั้นการใช้น้ำร้อนจึงมีอยู่ในอาคารบางประเภทเท่านั้น เช่น โรงพยาบาล โรงแรม และคอนโดมิเนียม เป็นต้น ในการประมาณการใช้น้ำร้อน อุณหภูมิ 60 °C ของอาคารตามที่ได้กล่าวมาแล้วตอนต้น ให้ใช้ค่าดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การประมาณการอัตราการใช้ความร้อนด้วยจำนวนคน [8]

ความต้องการน้ำร้อนต่อคนต่อวัน	75-150 ลิตร (20-40 แกลลอน)
ตัวประกอบความต้องการน้ำร้อนสูงสุดต่อชั่วโมง	0.15 (max. hourly demand factor)
ระยะเวลาความต้องการน้ำร้อนสูงสุดติดต่อกัน	1-31 ชั่วโมง
ตัวประกอบการเก็บน้ำร้อน (Storage factor)	0.10-0.20
กรณีของ โรงแรมประมาณการจำนวนผู้ที่พักต่อห้อง	1.5 คนต่อห้อง

อธิบายความหมายจากตารางที่ 2.3 ดังนี้

- ตัวประกอบความต้องการน้ำร้อนสูงสุดต่อชั่วโมง หมายถึง ตัวประกอบซึ่งคูณความต้องการน้ำร้อนต่อวัน แล้วจะใช้ค่าประมาณของอัตราความต้องการน้ำร้อนสูงสุดต่อชั่วโมง

- ตัวประกอบการเก็บน้ำร้อน หมายถึง ตัวประกอบซึ่งคุณความต้องของการใช้น้ำร้อนต่อวัน แล้วจะได้ความจุของถังเก็บน้ำร้อนที่ควรจะใช้
- ส่วนระยะเวลาซึ่งมีอัตราความต้องการน้ำร้อนสูงสุดติดต่อกันนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของอาคารผู้ออกแบบจะต้องเป็นผู้ตัดสินใจต่อไปหรือใช้ข้อมูลเชิงสถิติจากอัตราการใช้ของอาคารแต่ละแบบ

2.7 การวิเคราะห์ทางเทคนิคและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

2.7.1 การวิเคราะห์ทางเทคนิค

2.7.1.1 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำโดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 70-80 % ซึ่งหมายความว่าพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ 100 ส่วนจะสามารถให้ความร้อนกับน้ำที่ใช้ผลิตเป็นไอน้ำได้เพียง 70-80 ส่วนเท่านั้น ส่วนพลังงานที่เหลือจะสูญเสียไปกับก๊าซร้อนที่ปล่อยทิ้งทางปล่อง สูญเสียผ่านพื้นผิวของหม้อไอน้ำ และสูญเสียไปกับน้ำโคลด์วอเตอร์ โดยจะสามารถคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำได้ด้วยกันสองวิธีคือการหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีทางตรงและโดยวิธีทางอ้อม โดยในโครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาในส่วนขอประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำด้วยวิธีทางตรงเพียงวิธีเดียว

การคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง เป็นการคำนวณประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลของปริมาณพลังงานความร้อนของไอน้ำที่ผลิตขึ้นโดยหม้อไอน้ำและข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง การคำนวณโดยวิธีนี้ทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่ได้แสดงให้เห็นว่า การสูญเสียพลังงานหรือการลดลงของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเกิดจากสาเหตุใด สมการที่ แสดงการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีทางตรง [4]

$$\eta_B = \frac{m_s(h_s - h_w)}{m_F.HHV} \times 100\% \quad (2.1)$$

เมื่อ

η_B = ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

m_s = อัตราการไหลของไอน้ำ(kg/hr)

m_F = อัตราการใช้เชื้อเพลิง(kg/hr)

h_s = เอนทาลปี ของไอน้ำ(kJ/kg)

h_w = เอนทาลปี ของน้ำป้อน(kJ/kg)

HHV = ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง(kJ/kg)

2.8 แนวคิดพื้นฐานทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์มีการพัฒนามากขึ้น ทำให้ผลงานทางด้านวิศวกรรมได้ถูกนำมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมาย และเช่นเดียวกับการออกแบบทางด้านวิศวกรรม ที่จะต้องมีการลงทุน เพื่อดำเนินโครงการในการก่อสร้างต่อไป แต่เนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่ในโลกเราในปัจจุบันมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นผลงานทางด้านวิศวกรรมจึงต้องพิจารณาปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์มากขึ้น เพื่อให้ต้นทุนในการใช้ทรัพยากรในการผลิตต่ำที่สุดและงานมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

2.8.1 หลักการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ผู้ศึกษาควรเข้าใจถึงหลักการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมที่สำคัญดังนี้

1. ค่าเงินมีความสัมพันธ์กับเวลา เงินจำนวนเท่ากันที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างกัน ค่าของเงินนั้นจะมีค่าไม่เท่ากัน
2. การเปลี่ยนแปลงในอนาคตมีไม่มากนัก ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นการวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจและเพื่อเป็นการวางแผนการในอนาคต ดังนั้นจึงต้องมีการคาดการณ์ในอนาคตภายใต้สมมติฐานว่าในอนาคตที่เราคาดการณ์ไว้มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

2.8.2 โครงการลงทุนทางอุตสาหกรรมและวิศวกรรม

โครงการลงทุนโดยทั่วไปนั้นอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ โครงการลงทุนในทรัพย์สินจริงที่ให้ผลผลิต เช่น เครื่องจักร โรงงานและอุปกรณ์ ฯลฯ

โครงการลงทุนทางอุตสาหกรรมและวิศวกรรมจะเป็นโครงการที่เกี่ยวกับทรัพย์สินจริงที่ให้ผลผลิต โดยทรัพย์สินจริงจะมีลักษณะที่ต่างไปจากทรัพย์สินทางการเงินดังนี้

1. เมื่อเลือกลงทุนแล้วมักเปลี่ยนใจได้ยาก ดังนั้นจึงอาจทำให้องค์กรขาดความคล่องตัวในอนาคตได้ เมื่อมีโครงการใหม่ที่ดีกว่ามาให้พิจารณา
2. แบ่งย่อยโครงการได้ยาก โครงการลงทุนประเภททรัพย์สินจริงนี้มักจะต้องทำทั้งโครงการและไม่สามารถทำเพียงส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงการ
3. โครงการมักมีอายุยืนยาวและแต่ละโครงการมักจะมีอายุของโครงการแตกต่างกันไป
4. จำนวนโครงการที่ให้พิจารณามักมีไม่มาก เมื่อเทียบกับโครงการลงทุนในทรัพย์สินทางการเงิน และโครงการทางอุตสาหกรรมและวิศวกรรมโดยปกติจะต้องใช้เงินลงทุนสูง

ลักษณะเหล่านี้ แยกโครงการลงทุนในทรัพย์สินจริงออกจากโครงการลงทุนในทรัพย์สินทางการเงิน ซึ่งชี้ให้เห็นถึงผลกระทบอันยาวนานเมื่อได้ตัดสินใจไปแล้ว ดังนั้นในการวิเคราะห์การตัดสินใจทาง

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมจะช่วยให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง เพื่อช่วยลดความเสี่ยงและเพิ่มความเชื่อมั่นในการตัดสินใจต่อไป [9]

2.8.3 การวิเคราะห์ต้นทุน

ต้นทุน (cost) และค่าใช้จ่าย (expense) มีความใกล้เคียงกันมาก แต่พอจะจำแนกได้ว่าต้นทุนหมายถึงผลรวมของเงินที่ใช้ไปทั้งหมดในการผลิต ส่วนเงินที่ใช้ไปในทางอื่นๆ ของการผลิตหรือเรื่องทั่วไปในกิจการมักเรียกว่าค่าใช้จ่าย

ต้นทุนมีอยู่หลายชนิด ต้นทุนแต่ละชนิดมีความหมายแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เช่น วัตถุประสงค์เพื่อใช้วางแผนควบคุมต้นทุน ใช้แสดงในงบการเงิน ใช้วางแผนกลยุทธ์ ใช้ประเมินผลต่างๆ เป็นต้น

ในการวิเคราะห์ต้นทุนนั้นจำเป็นต้องทราบว่าต้นทุนหรือกลุ่มต้นทุนมีความสัมพันธ์กับอะไร ในลักษณะไหน ความสัมพันธ์ดังกล่าวยิ่งมากเท่าใด ความถูกต้องในข้อมูลต้นทุนยิ่งมีมากขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามต้นทุนรวมมักจะประกอบไปด้วยต้นทุนย่อยมากมาย การจำแนกแต่ละต้นทุนย่อยทำให้ความถูกต้องมีมากขึ้นแต่ทำให้ต้นทุนการจำแนกเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นจะต้องพิจารณาจากความเหมาะสม เช่น ความสัมพันธ์ของต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ ปริมาณการผลิต

2.8.4 การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทน (Cost-Benefit Analysis)

การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทน (Cost-Benefit Analysis) ในการตัดสินใจการลงทุน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดผลตอบแทนและต้นทุนของโครงการ (Benefit and Cost Identification)

การกำหนดต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการ จำเป็นต้องมีการแจงรายละเอียดที่มาของผลตอบแทนของโครงการว่ามาได้อย่างไร และมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด ส่วนรายละเอียดด้านต้นทุน ประกอบด้วยต้นทุนการดำเนินงานโครงการ (Explicit Cost) ต้องมีการประเมินค่าใช้จ่ายและการตีมูลค่าของต้นทุนและผลตอบแทนในทางเศรษฐศาสตร์มาคิดด้วย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการประเมินโครงการ [10]

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์การเงิน (Financial cost-Benefit analysis)

การวิเคราะห์ทางการเงิน (Financial cost-Benefit analysis) เป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของโครงการ หรือเงินลงทุน และผลตอบแทนของโครงการ หรือผลกำไรทางการเงินสำหรับโครงการเอกชน วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ทางการเงิน เพื่อวิเคราะห์ว่าโครงการที่จัดทำขึ้นมีความคุ้มค่าหรือไม่ กล่าวคือ ผลตอบแทนที่ได้รับควรจะสูงกว่าเงินที่ลงทุนไป โดยคำนึงค่าเสียโอกาสซึ่งอยู่ในรูปของอัตรา ส่วนลด (Discount Rate) การวิเคราะห์การเงินของโครงการจะวิเคราะห์ด้านต่างๆ ดังนี้คือ

1. การวิเคราะห์ทางการเงิน (Financial Analysis)

- มูลค่าปัจจุบันของโครงการ (Net present value : NPV)
- อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)
- ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

2.8.4.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present value : NPV)

คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุน พลังงาน จากมาตรการ ในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงิน ที่จ่ายออกไป ภายใต้โครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราลดค่า (discount rate) หรือค่าของทุน (cost of capital) ที่กำหนดจาก คำนายกข้างต้น การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะต้องทราบข้อมูลดังนี้

- กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ
- กระแสเงินสดรับสุทธิต่ออายุโครงการ
- ระยะเวลาของโครงการ
- อัตราลดค่าหรือค่าของทุนของธุรกิจ

จากสมการ

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (2.2)$$

ในที่นี้

n = อายุของโครงการ (ปี)

ES_t = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (total investment)

i = อัตราลดค่า (discount rate)

ค่าของทุนที่ใช้เป็นอัตราลดค่า (discount rate) จะมีค่าเดียวกันตลอดอายุโครงการและขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ยของตลาดที่ผู้ลงทุนเผชิญอยู่ ซึ่งค่าที่เป็น base case อย่างน้อยควรมีค่าของทุนเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำที่ผู้ลงทุนได้รับ

ในการเลือกโครงการ ค่า NPV จะแสดงให้เห็นว่าโครงการที่กำลังพิจารณาามีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเป็นมูลค่าเท่าไรเมื่อสิ้นสุดโครงการ ถ้าค่า NPV มีค่าเป็นบวกแสดงว่าโครงการดังกล่าวสมควรที่จะลงทุนและเลือกโครงการที่ให้ค่า NPV เป็นบวกสูงที่สุด แต่การใช้ NPV เพียงอย่างเดียวอาจทำให้มีข้อจำกัดในการตัดสินใจเลือกโครงการได้ ในกรณีที่โครงการมีขนาดต่างกันแต่ให้ค่า NPV เป็นบวกเท่ากัน ดังนั้นการตัดสินใจให้การสนับสนุน ควรจะต้องนำเครื่องมืออื่นมาประกอบการพิจารณาควบคู่ไปกับการใช้ค่า NPV ด้วย [9]

2.8.4.2 อัตราผลตอบแทนในโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)

คือ อัตราลดค่า (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการประหยัดพลังงานตลอดอายุโครงการ จากคำนิยามข้างต้น การคำนวณหา อัตราผลตอบแทนลดค่า จะต้องทราบข้อมูลดังนี้

- กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ
- กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีตลอดอายุโครงการ
- ระยะเวลาของโครงการ

จากสมการภายใต้ข้อสมมติว่าไม่มีมูลค่าซากและเงินลงทุนสุทธิเท่ากับต้นทุนทางบัญชีสมการ

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1 + IRR)^t} = 0 \quad (2.3)$$

ในที่นี้

n = อายุของโครงการ (ปี)

ES_t = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (total investment)

IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return)

การคำนวณหาค่า IRR ก็คือการหาค่า discount rate ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์นั่นเอง ถ้าค่า IRR มากกว่าหรือเท่ากับค่าของทุน discount rate (i) ที่ผู้ลงทุนเลือกใช้เป็นจุดตัดสินใจ ก็ถือได้ว่าโครงการดังกล่าวเป็นโครงการที่น่าลงทุน โดยทั่วไปแล้วทั้งวิธีในการประเมินโครงการจากค่า IRR และ NPV จะให้ผลการตัดสินใจรับโครงการหรือปฏิเสธโครงการเป็นไปในทำนองเดียวกันแต่ในบางกรณีที่ใช้ข้อสมมติ เช่น การนำเงินที่ได้ในแต่ละปีไปลงทุนใหม่ (Reinvestment) หรือการใช้วิธีหักค่าเสื่อมราคาแบบ Double-declining Balance Method แทนแบบ Straight Line Method ก็อาจทำให้คำตอบที่ได้จากทั้ง 2 วิธีขัดแย้งกันได้ ดังนั้น การพิจารณาประเมินโครงการลงทุน จากทั้ง 2 วิธีจึงต้องคำนึงถึงข้อสมมติที่ใช้ในการคำนวณด้วยเช่นกัน [9]

2.8.4.3 ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period)

คือ ระยะเวลา (เป็นจำนวนปี / เดือน หรือวัน) ที่กระแสเงินสด รับจากโครงการ สามารถชดเชยกระแสเงินสดจ่าย ลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี เนื่องจากโครงการที่ขอรับการสนับสนุน จะมีลักษณะการลงทุน เพียงครั้งเดียว ในปีแรก และให้ผลตอบแทน ที่เท่ากันทุกปี ในการเลือก โครงการ ค่า PBP จะแสดงให้เห็นว่า ต้องใช้เวลานาน เพียงใดในการได้ทุนคืน ถ้าสามารถได้ทุนคืนเร็ว โครงการ ก็จะน่าสนใจ วิธีดังกล่าว จะมีข้อเสีย ในการเลือกโครงการ คือ วิธีนี้จะไม่ให้ความสนใจถึงเงินเข้าสู่สุทธิในส่วนที่ได้หลังจากช่วงเวลา คืนทุนแล้ว ซึ่งอาจจะมีผลตอบแทนภายหลังมากกว่าโครงการที่มี PBP เร็วกว่าได้ แต่ PBP สำหรับการประเมินโครงการ ของกองทุนฯ สามารถนำมาใช้พิจารณาได้เนื่องจาก ลักษณะโครงการที่ขอการสนับสนุน จะให้ผลการประหยัดพลังงาน ที่เท่ากันตลอดอายุ ของโครงการ

$$\text{ระยะคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนทั้งหมด}}{\text{มูลค่าการประหยัด}} \quad (2.4)$$

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจในการลงทุน (Investment decision)

การตัดสินใจในการลงทุน หมายถึง การตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือกโครงการ ลงทุนว่าควรลงทุนโครงการใด จึงจะให้ผลตอบแทนตามต้องการ โดยใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจ ทางการลงทุนที่คำนึงค่าเสียโอกาส (opportunity cost) ได้แก่ การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) ดังรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้ว

หลักเกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการตัดสินใจทางการลงทุน ดังที่กล่าวมาแล้วจะทำให้ผู้วิเคราะห์โครงการลงทุนตัดสินใจได้ว่า ควรลงทุนในโครงการนั้นๆ หรือไม่ โดยปกติโครงการที่มีค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ถือว่าเป็นโครงการที่น่าลงทุน ได้แก่

ก. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่ามากกว่าศูนย์

ข. อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) มีค่าสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำหรือสูงกว่าต้นทุนของเงินทุน เช่น อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ปัจจุบัน [9]

การหาค่ามูลค่าการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษานั้น ในระยะเริ่มแรกของการดำเนิน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงดูแลรักษาจะมีน้อย แต่เมื่อระดับการผลิตเพิ่มสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายส่วนนี้ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการประมาณค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จึงมักนิยมประมาณเป็นรายการค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะมีความสอดคล้องกับปริมาณการผลิตและการดำเนินงาน ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา อาจได้มาจากการสอบถามข้อมูลของตัวแทนจำหน่ายหรือฝ่ายขายเพื่อความรอบคอบก็ได้

$$\text{ค่าดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาระบบ} = (\text{มูลค่าของเงินลงทุน}) \times 0.005 \quad (2.5)$$

จากการสอบถามข้อมูลของตัวแทนจำหน่าย ระบุว่ามูลค่าการบำรุงรักษาในปีถัดไปจะเพิ่มขึ้นประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์

จากการสำรวจค่าประกันระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละบริษัทผู้ผลิต พบว่าอัตราค่าประกันระบบคิดร้อยละของการติดตั้งระบบส่วนใหญ่จะคิดที่ร้อยละ 0-10 ของค่าติดตั้งระบบ ระยะการรับประกันอยู่ในช่วง 1-5 ปี ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของบริษัทผู้ผลิตและรายการในการรับประกัน ในงานศึกษานี้จะใช้ค่าประกันระบบที่ 1 เปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุน เนื่องจากเป็นค่าประกันขั้นต่ำสุด

$$\text{ค่าประกัน} = (\text{มูลค่าของเงินลงทุน}) \times 0.01 \quad (2.6)$$

การคำนวณมูลค่าซากจะเป็นการคิดมูลค่าของระบบ เมื่อระยะเวลาผ่านไป ซึ่งจะนำมาหักล้างออกจากมูลค่าของเงินลงทุนของระบบ สำหรับการศึกษานี้จะคิดมูลค่าซากของระบบทำน้ำร้อนแต่ละประเภทที่ร้อยละ 10 ของเงินลงทุน [9]

$$\text{มูลค่าซาก} = (\text{มูลค่าของเงินลงทุน}) \times 0.1 \quad (2.7)$$

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปราโมทย์ สายประดิษฐ์ [12] ศึกษาการจำลองระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนแบบอัดไอ ขนาด 1.1 kW และเครื่องระเหยมีขนาด 2.6 kW พบว่าสามารถทำน้ำร้อนได้ 12,000 Btu/h (3.5 kW) ได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงสุดประมาณ 4 ถึง 4.2 ณ อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 25 °C สามารถทำอุณหภูมิน้ำได้สูงสุด 41.7 °C และอัตราการไหลของน้ำ 3 ลิตร/นาที่ เมื่อทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าการลงทุนระบบการทำความร้อนด้วยปั๊มความร้อนแบบอัดไอ จะมีช่วงระยะเวลาของการคืนทุนอยู่ที่ช่วงเวลาประมาณ 5-8 ปี แต่มีเงื่อนไขคือต้องเปิดใช้งานในการทำความร้อนไม่ต่ำกว่าวันละ 2 ชั่วโมง

อาทิตย์ ไชยอรนนท์ [13] ได้ศึกษาการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน เพื่อการออกแบบสร้างและประเมินสมรรถนะพร้อมทั้งวิเคราะห์ต้นทุนเครื่องต้นแบบสำหรับการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน โดยการออกแบบและสร้างเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน คือ ใช้เครื่องอัดไอแบบลูกสูบ ขนาด กำลังไฟฟ้า 1.39 kW สารทำงานที่ใช้ คือ R-22 เครื่องทำระเหย ขนาด 3.15 kW เครื่องควบแน่น ขนาด 4.46 kW มีลักษณะเป็นท่อทองแดงขดอยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อน ถังเก็บน้ำร้อนสแตนเลส ความจุ 100 ลิตร โดยแยกการทดลองออกเป็น 3 แบบดังนี้ การทดลองที่ 1 เป็นการทำน้ำร้อนโดยปรับตัวควบคุมอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนไว้ที่ 44, 46, 47, 48, 50 และ 54 °C ผลที่ได้ คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและเวลาทำน้ำร้อนแปรตามระดับอุณหภูมิในถัง การทดลองที่ 2 เป็นการทำน้ำร้อนโดยปรับตัวควบคุมอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนไว้ที่ 50 °C แล้วเปิดวาล์วปล่อยน้ำร้อนออก จากถังเก็บน้ำร้อนที่อัตราการไหล 2, 3, 4, 5, และ 6 ลิตร/วินาที ผลที่ได้ คือ เมื่อมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องที่ค่าอัตราการไหลของน้ำร้อนต่างกัน จะเห็นได้ว่าน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงจะลดต่ำลงมาเรื่อยๆ จนกระทั่งอุณหภูมิเริ่มคงที่ที่ค่าหนึ่ง การทดลองที่ 3 เป็นการทำน้ำร้อนโดยทดสอบเหมือนกับการใช้งานจริง แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา ช่วงละ 150 ลิตร ตอนเวลา 7:00 น. และ 16:00 น. อัตราการไหลของน้ำร้อน 2.5 ลิตร/นาที่ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ปล่อยออกมาเท่ากับ 50.5 °C จากการทดลองที่ 3 จะแสดงให้เห็นว่าเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากกว่าเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าประมาณ 2 เท่า แต่ราคาของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนจะสูงกว่าเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้ามาก จากการประเมินค่าใช้จ่ายพบว่า ต้นทุนรวมของน้ำร้อนต่อหน่วยความร้อนที่ผลิตได้ 4.46 บาท/kW โดยแบ่งออกเป็น ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง 55% ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 33% และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา 12%

Chua, K.J., Chou, S.K. and Yang, W.M. [14] เสนอทางเลือกหนึ่ง คือ การใช้ปั๊มความร้อนในการนำความร้อนจากแหล่งความร้อนที่แตกต่างกันมาใช้ประโยชน์ด้านงานอุตสาหกรรม, พาณิชยกรรมและ

ที่อยู่อาศัยต่างๆ โดยเน้นใช้พลังงานความร้อนจากธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานโดยทั่วไปลดลง เช่น พลังงานไฟฟ้า เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและเกิดการปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวม ทำให้ระบบปั๊มความร้อนกลายเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการแลกเปลี่ยนระบบพลังงานความร้อนจากธรรมชาติที่มีศักยภาพที่ดีเพื่อการประหยัดพลังงาน และได้ทำการพัฒนาออกแบบปั๊มความร้อนขึ้นสูง โดยการพัฒนาเทคโนโลยีการสูบน้ำอัดให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นรวมถึงสามารถลดการใช้พลังงานของระบบปั๊มความร้อนได้ถึง 80 % โดยการนำระบบ Hybrid มาใช้งานในระบบปั๊มความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน โดยมีค่า COP = 6

Yokoyama, R., Wakui, T., Kamakari, J. and Takemura, K. [15] ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานความต้องการในการใช้น้ำร้อนจากการผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน โดยทำการวิเคราะห์จากแบบจำลองเชิงตัวเลข ดูจากลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในถังที่ใช้น้ำร้อนและประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของระบบ (COP) และปริมาณของน้ำร้อนที่ไม่ได้ใช้ในการจัดเก็บด้วยการผลิตความร้อนที่ 4.5 kW และถังเก็บน้ำร้อนมีปริมาตรความจุ 370 ลิตร การศึกษาสรุปได้ว่า

1. พฤติกรรมการใช้น้ำร้อนที่แตกต่างกัน ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความต้องการน้ำร้อนรายวันของสมรรถนะและประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานความร้อนของระบบปั๊มความร้อน
2. พฤติกรรมความต้องการน้ำร้อนที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้น้ำร้อน เพราะน้ำร้อนที่ผลิตมาจากปั๊มความร้อนหากไม่มีการใช้น้ำร้อนระบบก็จะเก็บสะสมไว้ในถังเก็บน้ำร้อนแทน

Agyenim, F. and Hewitt, N. [16] ศึกษาขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงระบบจัดเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายจากการใช้ปั๊มความร้อนเพื่อการพัฒนาพลังงานและเพื่อประเมินความเหมาะสมในการใช้งานปั๊มความร้อน โดยมีถังเก็บน้ำร้อนปริมาตรความจุ 100% ผลิตความร้อนทุกวัน ปั๊มความร้อนทำงานสูงสุด 7 ชั่วโมงต่อวัน สามารถผลิตน้ำร้อนได้ 1,116 ลิตร ปั๊มความร้อนใช้พลังงานสูงสุด คือ 52%

จากงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ปั๊มความร้อนสามารถช่วยให้เกิดการประหยัดและช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ เนื่องจากปั๊มความร้อนสามารถผลิตความร้อนเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับของเหลวก็คือ น้ำ ถูกกักเก็บภายในถังน้ำร้อน สามารถกักเก็บและสะสมความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงส่งผลให้การทำงานของปั๊มความร้อนลดน้อยลง เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้เกิดการลดต้นทุนของการผลิตน้ำร้อนและการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำลงอีกด้วย