



แนวทางการตรวจวัด และพิสูจน์ผล

การประหยัดพลังงาน 2559



สนับสนุนโดย



จัดทำโดย



สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม
สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย



แนวทางการตรวจวัด และพิสูจน์ผล การประหยัดพลังงาน 2559



สนับสนุนโดย



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

จัดทำโดย



สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม
สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย





นับตั้งแต่ปี 2555-2558 ที่ผ่านมา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ได้มอบหมายให้สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม ดำเนินการพัฒนาแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (Measurement and Verification; M&V) ที่เหมาะสมสำหรับโครงการที่ดำเนินการด้วยกลไกบริษัทจัดการพลังงาน ซึ่งได้จัดทำไปแล้วทั้งสิ้น 12 มาตรการ โดยพิจารณาเลือกมาตรการที่มีการดำเนินการแพร่หลาย มีศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานสูง และมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินโครงการ สำหรับกลุ่มผู้ประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) รวมทั้งบริษัทที่ปรึกษาด้านพลังงาน ให้มีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยอ้างอิงถึงระเบียบวิธีการของ IPMVP (International Performance and Verification Protocol) ซึ่งมีการนำไปใช้แล้วกว่า 40 ประเทศทั่วโลก

ทางสถาบันพลังงานฯ เห็นว่าการพัฒนาแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (Measurement and Verification; M&V) อย่างต่อเนื่องจะช่วยส่งเสริมและควบคุมให้บริษัทจัดการพลังงานดำเนินการพิสูจน์และรับประกันผลการประหยัดพลังงานในโครงการ ESCO ต่างๆ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โปร่งใสเป็นกลาง และเป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการ ในปี 2559 นี้ ทางสถาบันพลังงานฯ ได้จัดทำแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานเพิ่มเติมจากที่ทำได้เดิมขึ้นอีก 4 มาตรการใหม่ ซึ่งได้แก่ มาตรการเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม มาตรการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตความร้อน มาตรการใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตน้ำร้อน และ มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อใช้เป็นแนวทางอ้างอิงในการดำเนินโครงการอนุรักษ์พลังงานด้วยกลไกบริษัทจัดการพลังงาน

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงานที่ได้ให้การสนับสนุนในการดำเนินการโครงการ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องในธุรกิจ ESCO ทั้งในส่วนผู้ให้บริการและผู้รับบริการ อันจะเป็นกลไกที่จะช่วยให้การดำเนินการอนุรักษ์พลังงานบรรลุเป้าหมายได้ดียิ่งขึ้น

คณะผู้จัดทำ



คณะผู้จัดทำ

1. นายสารรัฐ ประกอบชาติ	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	ที่ปรึกษา
2. ดร. พงศ์พันธุ์ วรสายัณห์	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	ที่ปรึกษา
3. นายสยาม มัชฌิมา	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	ที่ปรึกษา
4. นายพินัท ประจักษ์วงศ์	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	ที่ปรึกษา
5. นายนรวัฒน์ วงศ์คำ	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	ที่ปรึกษา
6. นายวิศรุต เมธาสีธี	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	ที่ปรึกษา
7. นายหิน นววงศ์	สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม	ที่ปรึกษา
8. นายณรงค์ บัณฑิตกมล	สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม	ประธานฯ
9. นายวิวัฒน์ พนาสันติภาพ	สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม	รองประธานฯ
10. นายรุ่งเรือง สายพวรรณ	สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม	คณะทำงาน
11. นางลักขณา ธิติอำรงชัย	สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม	คณะทำงานและ เลขานุการ
12. นายภูษิต ไซติสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขตนนทบุรี	ผู้เชี่ยวชาญ



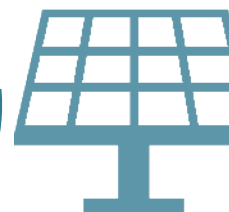


GREEN
ENERGY

+C°



สารบัญ



คำนำ	3
คณะผู้จัดทำ	4
บทที่ 1 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการ ประหยัดพลังงาน : มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น (TEM&V-013 : 2559)	8
บทที่ 2 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการ ประหยัดพลังงาน : มาตรการผลิตน้ำร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อน (TEM&V-014 : 2559)	25
บทที่ 3 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการ ประหยัดพลังงาน : มาตรการระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึม (TEM&V-015 : 2559)	43
บทที่ 4 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการ ประหยัดพลังงาน : มาตรการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตความร้อน (TEM&V-016 : 2559)	67



ภาคผนวก

83

ภาคผนวก ก. กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน
: มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น
(TEM&V-013 : 2559)

85

ภาคผนวก ข. กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน
: มาตรการการผลิตน้ำร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อนใน
(TEM&V-014 : 2559)

105

ภาคผนวก ค. กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน
: มาตรการระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึม
(TEM&V-015 : 2559)

123

ภาคผนวก ง. กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน
: มาตรการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตความร้อน
(TEM&V-016 : 2559)

149

เอกสารอ้างอิง

172





แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานมาตรการ เปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller Retrofit or Chiller Efficiency Improvement) รหัสมาตรการ TEM&V-013 : 2559

1. คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

- 1.1 วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
 - 1.1.1 กรณีที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเฉพาะเครื่องทำน้ำเย็น แต่ไม่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงปั๊มสูบน้ำที่ต่อร่วมในระบบให้ใช้ข้อความ “เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)” แทนอุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงตามมาตรการ
 - 1.1.2 กรณีที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงระบบทำน้ำเย็นทั้งระบบรวมทำการเปลี่ยนหรือปรับปรุงปั๊มสูบน้ำที่ต่อร่วมในระบบให้ใช้ข้อความ “ระบบทำน้ำเย็น (Chiller System)” แทนระบบที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงตามมาตรการ
- 1.2 วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ ติดตั้งร่วมด้วย เช่น มาตรการปรับแรงดันไฟฟ้า หรือมาตรการติดตั้งอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้า หรืออื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน
- 1.3 ระบบควบคุมไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นและปั๊มสูบน้ำที่ใช้ในมาตรการสามารถติดตั้งเครื่องมือเพื่อตรวจวัดแยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่นๆ ของสถานประกอบการได้
- 1.4 ภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็น ได้แก่ ความสามารถในการทำความเย็นให้ระบุในหน่วย ตันความเย็น (Ton_{ref}) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) หรือ กิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat})
- 1.5 วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานตามแนวทางที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ คำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความแม่นยำในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ให้สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการนี้

2. รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน

การเลือกรูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานของแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ นี้ อ้างอิงระเบียบวิธีการของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมีให้เลือกใช้ได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ที่แสดงในเอกสารฉบับนี้ เป็นการใช้นโยบายการตรวจวัดและพิสูจน์ผล รูปแบบ B การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation) มาประยุกต์ใช้กับมาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น

หลักการเบื้องต้นของการตรวจวัดด้วยวิธีนี้ คือการใช้การตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดร่วมกับข้อมูลที่บันทึกโดยสถานประกอบการ เช่น เวลาทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น จำนวนห้องพักที่ใช้งาน หรือการใช้งานอุปกรณ์ทำงานที่ทำให้เกิดการทำความเย็นตลอดปี ส่วนดัชนีที่ใช้ในการชี้วัดผลประหยัดจะพิจารณาจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็น (Specific Energy Consumption of Chiller) ในหน่วย กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น (kW/Ton_R)

3. การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

3.1 ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของ ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามระเบียบวิธีการของ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสถานะที่ต้องควบคุมในขณะทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากสถานประกอบการ แทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลประหยัด ตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ที่มาของข้อมูลต่างๆ และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

3.2 รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามหัวข้อที่แสดงไว้ในข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล (3.1) เป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักอย่างน้อย 3 บท ได้แก่

- 3.2.1 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง
- 3.2.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง
- 3.2.3 การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และจัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

4. การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

4.1 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงของเครื่องทำน้ำเย็น ประกอบไปด้วยตัวแปรหลัก ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงได้ ดังนี้

4.1.1 พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง

$$E_{Pre} = f(P_{CH}, LF, H)_{Pre}$$

$$E_{Pre} = P_{CH, Pre} \times LF_{Pre} \times H$$

โดยที่

$$E_{Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$P_{CH, Pre} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kW)}$$

$$LF_{Pre} = \text{สัดส่วนภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นพื้นฐาน (h/y)}$$

4.1.2 พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ก่อนการปรับปรุง

ในกรณีตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลแล้วพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นทำงานตลอดเวลาโดยไม่มีการตัดการทำงานให้กำหนดค่า $LF = 1$ ส่วนในกรณีที่เครื่องทำน้ำเย็นมีการตัด-ต่อ (ON-OFF) การทำงานให้หาค่า LF จากเวลาการทำงานดังนี้

$$LF_{Pre} = \frac{T_{ON, Pre}}{T_{ON, Pre} + T_{OFF, Pre}}$$

โดยที่

$$LF_{Pre} = \text{สัดส่วนภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง}$$

$$T_{ON, Pre} = \text{เวลาที่เครื่องทำน้ำเย็นทำงานก่อนปรับปรุง (min)}$$

$$T_{OFF, Pre} = \text{เวลาที่เครื่องทำน้ำเย็นตัดการทำงานก่อนปรับปรุง (min)}$$

4.2 การคำนวณภาระงาน

ภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็น หรือ ภาระทำความเย็น (Cooling Load, CL) คือ ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากการสภาวะการใช้งาน ได้แก่ พื้นที่ปรับอากาศ จำนวนผู้ใช้งาน สิ่งของ อุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และการสูญเสียอื่นเนื่องมาจากประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น แตกต่างกันไปตามสถานประกอบการ โดยทั่วไปเครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานมากหรือน้อยตามภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้น คณะตรวจวัดและพิสูจน์ผล (M&V Unit) สามารถตรวจวัดภาระทำความเย็น ดังกล่าวได้จากตัวแปรหลักที่เครื่องทำความเย็นได้แก่ อัตราการไหลของน้ำเย็น (Flow rate of chilled water) อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่าย (Chilled Water Supply) อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับ (Chilled Water Return) ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น (Specific heat of chilled water) และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม โดยสมการหาภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง สามารถใช้ความรู้ทางเทอร์โมไดนามิกส์มาประยุกต์ ได้ดังนี้

4.2.1 ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง

$$CL_{Pre} = f(F, T_{CHS}, T_{CHR}, T_{amb}, c_p)_{Pre}$$

$$CL_{Pre} = \dot{m}_{w, Pre} \times C_{p, Pre} \times (T_{CHR, Pre} - T_{CHS, Pre})$$

$$\dot{m}_{w, Pre} = \rho_{w, Pre} \times F_{Pre}$$

โดยที่

$$CL_{Pre} = \text{ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง (Ton}_R\text{), บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) หรือ กิโลวัตต์ความร้อน (kW}_{heat}\text{)}$$

$$F_{Pre} = \text{อัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (L/min, L/s, m}^3\text{/min, m}^3\text{/s, GPM ฯลฯ)}$$

$T_{CHS,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (°C, °F)
$T_{CHR,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (°C, °F)
$T_{amb,Pre}$	=	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน (°C, °F) $(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}, \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ C})$
$C_{p,Pre}$	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง
$\dot{m}_{w,Pre}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kg/s, lb/s)
$\rho_{w,Pre}$	=	ความหนาแน่นของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kg/m ³ , lb/ft ³)

ในบางครั้งสถานประกอบการต้องการทราบภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้น แต่ขาดวิศวกรที่มีความรู้ทางเทอร์โมไดนามิกส์สามารถสร้างสมการสำเร็จรูปเพื่อทดแทนสมการที่ 4.2.1 โดยเปลี่ยนรูปค่า ρ_w และ $\dot{m}_w$ ให้อยู่ในรูปของค่าคงที่ได้ดังนี้

4.2.2 สมการสำเร็จรูปเพื่อหาภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุงในหน่วย SI

$$CL_{Pre} = \left(\frac{F_{PRE} \times (T_{CHR,Pre} - T_{CHS,Pre})}{50.40} \right)$$

โดยที่

CL_{Pre}	=	ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง (Ton _R)
F_{Pre}	=	อัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (L/min)
$T_{CHS,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (°C)
$T_{CHR,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (°C)

4.2.3 สมการสำเร็จรูปเพื่อหาภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุงในหน่วยอังกฤษ

$$CL_{Pre} = \left(\frac{F_{PRE} \times (T_{CHR,Pre} - T_{CHS,Pre})}{23.97} \right)$$

โดยที่

CL_{Pre}	=	ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง (Ton _R)
F_{Pre}	=	อัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (GPM, Gallon/min)
$T_{CHS,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (°F)
$T_{CHR,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (°F)

5. การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังปรับปรุง

5.1 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุงของเครื่องทำน้ำเย็นให้ใช้รูปแบบเดียวกันกับก่อนปรับปรุงคือ คำนวณเฉพาะเครื่องทำน้ำเย็นที่มีการเปลี่ยนตามมาตรการ ไม่รวมปั๊มสูบน้ำและอุปกรณ์อื่นๆ มีสมการที่ใช้ดังนี้

5.1.1 พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง

$$E_{Post} = f(P_{CH}, LF, H)_{Post}$$

$$E_{Post} = P_{CH,Post} \times LF_{Post} \times H$$

โดยที่

$$E_{Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$P_{CH,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kW)}$$

$$LF_{Post} = \text{สัดส่วนภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นปีฐาน (h/y)}$$

5.1.2 สัดส่วนภาระงาน (Load Factor) ของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง

ในกรณีตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลแล้วพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นทำงานตลอดเวลาโดยไม่มีการตัดการทำงานให้กำหนดค่า $LF = 1$ ส่วนในกรณีที่เครื่องทำน้ำเย็นมีการตัด-ต่อ (ON-OFF) การทำงานให้หาค่า LF จากเวลาการทำงานดังนี้

$$LF_{Post} = \frac{T_{ON,Post}}{T_{ON,Post} + T_{OFF,Post}}$$

โดยที่

$$LF_{Post} = \text{สัดส่วนภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง}$$

$$T_{ON,Post} = \text{เวลาที่เครื่องทำน้ำเย็นทำงานหลังปรับปรุง (min)}$$

$$T_{OFF,Post} = \text{เวลาที่เครื่องทำน้ำเย็นตัดการทำงานหลังปรับปรุง (min)}$$

5.2 การคำนวณภาระงาน

ภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้งานหลังปรับปรุง สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

5.2.1 ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง

$$CL_{Post} = f(F, T_{CHS}, T_{CHR}, T_{amb}, c_p)_{Post}$$

$$CL_{Post} = \dot{m}_{w,post} \times C_{p,Post} \times (T_{CHR,Post} - T_{CHS,Post})$$

$$\dot{m}_{w,post} = \rho_{w,Post} \times F_{Post}$$

โดยที่

$$CL_{Post} = \text{ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton}_R\text{), บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) หรือ กิโลวัตต์ ความร้อน (kW}_{heat}\text{)}$$

$$F_{Post} = \text{อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (L/min, L/s, m}^3\text{/min, m}^3\text{/s, GPM ฯลฯ)}$$

$$T_{CHS, Post} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (}^{\circ}\text{C, }^{\circ}\text{F)}$$

$$T_{CHR,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (}^{\circ}\text{C, }^{\circ}\text{F)}$$

$$T_{amb,Post} = \text{อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันหลังปรับปรุง (}^{\circ}\text{C, }^{\circ}\text{F)}$$

$$C_{p,Post} = \text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็นหลังปรับปรุง} \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}, \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \right)$$

$$\dot{m}_{w,Post} = \text{อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kg/s, lb/s)}$$

$$\rho_{w,Post} = \text{ความหนาแน่นของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kg/m}^3, \text{lb/ft}^3)$$

เพื่อความสะดวกสามารถใช้สมการสำเร็จรูปเพื่อทดแทนสมการที่ 5.2.1 โดยเปลี่ยนรูปค่า ρ_w และ $\dot{m}_w$ ให้อยู่ในรูปของค่าคงที่ ได้ดังนี้

5.2.2 สมการสำเร็จรูปเพื่อหาภาระทำความเย็นหลังปรับปรุงในหน่วย SI

$$CL_{Post} = \frac{F_{Post} \times T_{CHR,Post} - T_{CHS,Post}}{50.40}$$

$$CL_{Post} = \text{ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton}_R\text{)}$$

$$F_{Post} = \text{อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (L/min)}$$

$$T_{CHS,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{CHR,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (}^\circ\text{C)}$$

5.2.3 สมการสำเร็จรูปเพื่อหาภาระทำความเย็นหลังปรับปรุงในหน่วยอังกฤษ

$$CL_{Post} = \frac{F_{Post} \times T_{CHR,Post} - T_{CHS,Post}}{23.97}$$

โดยที่

$$CL_{Post} = \text{ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton}_R\text{)}$$

$$F_{Post} = \text{อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (GPM, Gallon/min)}$$

$$T_{CHS,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (}^\circ\text{F)}$$

$$T_{CHR,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (}^\circ\text{F)}$$

หมายเหตุ : จำนวนตัวแปรอิสระหลังปรับปรุง ควรกำหนดให้เท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระก่อนปรับปรุง เว้นแต่มีกรณีพิเศษ เช่น การลดตัวแปรกรณีระบบหลังปรับปรุงสามารถทำงานได้คงเดิมโดยตัดอุปกรณ์บางชนิดออกไปได้ หรือการเพิ่มตัวแปรกรณีระบบหลังปรับปรุงประหยัดพลังงานที่ระบบทำน้ำเย็นแต่ส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานที่ตำแหน่งอื่นแทน

6.

การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

6.1 ผลประหยัดพลังงาน

ผลประหยัดพลังงานของมาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น ให้พิจารณาภาระทำความเย็นและพลังงานไฟฟ้า เป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณหาผลประหยัดพลังงานปีฐาน ในกรณีที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศแวดล้อมไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กระทรวงพลังงานกำหนดไว้ (32.2 °C) จะใช้ค่าตัวแปรควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมที่ถูกบันทึกไว้ระหว่างการตรวจวัดมาใช้ในการหาค่าปรับแก้

ส่วนการเขียนเป็นสมการหาพลังงานที่ประหยัดได้ สามารถเขียนได้ดังนี้

6.1.1 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

$$E_{\text{Save}} = E_{\text{Pre}} - E_{\text{Post,adj}}$$

โดยที่

$$E_{\text{Save}} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)}$$

$$E_{\text{Pre}} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{\text{Post,adj}} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงที่ปรับแก้ค่า โดยใช้สมมติฐานให้เครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงทำงานที่ภาระความเย็นเท่ากับสภาวะก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

6.1.2 พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุงที่ปรับแก้ค่า

$$E_{\text{Post,adj}} = \text{SEC}_{\text{Post}} \times \text{CL}_{\text{Pre}} \times H$$

โดยที่

$$\text{SEC}_{\text{Post}} = \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง} \left(\frac{\text{kW}_{\text{elec}}}{\text{Ton}_R} \right)$$

$$\text{CL}_{\text{Pre}} = \text{ภาระทำความเย็นก่อนการปรับปรุง (Ton}_R\text{)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นปีฐาน (h/y)}$$

6.1.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนการปรับปรุง

$$\text{SEC}_{\text{Pre}} = \frac{P_{\text{CH,Pre}}}{\text{CL}_{\text{Pre}}}$$

โดยที่

$$\text{SEC}_{\text{Pre}} = \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง (kW}_{\text{elec}}\text{/Ton}_R\text{)}$$

$$P_{\text{CH,Pre}} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนปรับปรุง (kW}_{\text{elec}}\text{)}$$

$$\text{CL}_{\text{Pre}} = \text{ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง (Ton}_R\text{)}$$

6.1.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังการปรับปรุง

$$\text{SEC}_{\text{Post}} = \frac{P_{\text{CH,Post}}}{\text{CL}_{\text{Post}}}$$

โดยที่

$$\text{SEC}_{\text{Post}} = \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง (kW}_{\text{elec}}\text{/Ton}_R\text{)}$$

$$P_{\text{CH,Post}} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหลังปรับปรุง (kW}_{\text{elec}}\text{)}$$

$$\text{CL}_{\text{Post}} = \text{ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton}_R\text{)}$$

6.1.5 เปอร์เซ็นผลประหยัดพลังงาน (Energy Saving Percent)

$$SP = \left[\frac{(SEC_{Pre} - SEC_{Post})}{SEC_{Pre}} \right] \times 100\%$$

โดยที่

SP = เปอร์เซ็นผลประหยัดพลังงาน หรือ ร้อยละของผลประหยัดพลังงาน (%)

6.2 ผลประหยัดทางการเงินปีฐาน

ผลประหยัดทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐานของเครื่องทำน้ำเย็น ให้เปรียบเทียบจากการทำงานที่สมมติฐานทั้งก่อนและหลังปรับปรุง “เครื่องทำความเย็นทำงานในสภาวะเดียวกันและภาระทำความเย็นเท่ากัน” กล่าวคือ สมการตามข้อ 6.1 คูณด้วยอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เขียนเป็นฟังก์ชันสมการได้ดังนี้

$$C_{Save} = E_{Save} \times C_E$$

โดยที่

E_{Save} = พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)

C_{Save} = จำนวนเงินที่ประหยัดได้ (Bath/y)

C_E = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญาพลังงาน หรือ EPC (Bath/kWh)

หมายเหตุ : อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานโดยมากจะกำหนดจากอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเฉลี่ย ณ ปีที่ทำสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract : EPC) ถ้าบริษัทจัดการพลังงาน สถานประกอบการและสถาบันการเงินเห็นพ้องต้องกันว่าควรใช้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอื่นเป็นฐานในการคำนวณ เช่น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ณ เดือนที่เซ็นสัญญา หรืออัตราค่าพลังงานแปรผันตามจริง หรือ อัตราค่าพลังงานหลังปรับปรุงให้ระบุลงใน EPC และข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7. วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล โดยทั่วไปตัวแปรหรือข้อมูลได้มาจาก 6 วิธีการได้แก่

7.1 ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

7.2 ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ข้อมูลที่ถูกบันทึกโดยพนักงานของสถานประกอบการ เช่น ข้อมูลชั่วโมงทำงานของระบบทำน้ำเย็น ข้อมูลห้องพัก หรือข้อมูลพื้นที่ใช้งานระบบปรับอากาศ สามารถนำมาใช้ได้แต่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลควรตรวจสอบถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งสถานประกอบการเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

7.3 ข้อมูลจากผู้ผลิต

บางครั้งผู้ผลิตเครื่องทำน้ำเย็น ได้ให้ข้อมูลการทดสอบอุปกรณ์ที่เสนอขายมาด้วย สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจวัดที่ใช้งาน

7.4 ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น

ตัวแปรหรือข้อมูลบางตัวสามารถหาได้จากสถาบันการตรวจวัดที่มีการตรวจวัดข้อมูลไว้ตลอดปี เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ หรือเว็บไซต์ต่างๆ ที่เชื่อถือได้ แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7.5 ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่

ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่ ส่วนมากไม่นิยมใช้ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล แต่ถ้ามีความจำเป็นสามารถนำมาใช้ได้ในส่วนที่ไม่สำคัญต่อการวิเคราะห์ผลประหยัด และต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7.6 ค่าแก้ไข หรือค่าปรับแก้

สำหรับงานด้านการทำความเย็นและปรับอากาศ ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ย อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่าย และอุณหภูมิน้ำระเหยความร้อนหรืออุณหภูมิอากาศระเหยความร้อน ไม่เป็นไปตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 ให้ใช้ค่าแก้ไขที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เป็นแหล่งอ้างอิงที่มาของ “ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้า” และ “ค่าแก้ไขภาระทำความเย็น”

8. รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลประหยัด มี 2 ชนิด ได้แก่ ตัวแปรหลักและตัวแปรควบคุม

8.1 ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อ การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง การใช้พลังงานหลังปรับปรุง ผลประหยัดพลังงาน ผลประหยัดทางการเงิน

8.2 ตัวแปรควบคุม หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการที่ ESCO เสนอขาย บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้น ทดสอบหลังปรับปรุงให้ยาวนานขึ้น และเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10%

8.3 คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	$P_{CH,Pre}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด หรือ 2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงาน แต่ไม่เกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	$P_{CH,Post}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด หรือ 2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับความถี่ในการบันทึกค่าก่อนปรับปรุง

ตัวแปร	$T_{ON,Pre}$
หน่วย	min
ความหมาย	เวลาการทำงานจริง (ON Time) ของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรม โดยทั่วไปให้บันทึกทุก 1 นาที

ตัวแปร	$T_{OFF,Pre}$
หน่วย	min
ความหมาย	เวลาหยุดทำงานจริง (OFF Time) ของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรม โดยทั่วไปให้บันทึกทุก 1 นาที

ตัวแปร	$T_{ON,Post}$
หน่วย	min
ความหมาย	เวลาการทำงานจริง (ON Time) ของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรม โดยทั่วไปให้บันทึกทุก 1 นาที

ตัวแปร	$T_{OFF,Post}$
หน่วย	min
ความหมาย	เวลาหยุดทำงานจริง (OFF Time) ของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรม โดยทั่วๆ ไปให้บันทึกทุก 1 นาที

ตัวแปร	LF_{Pre}
หน่วย	fraction
ความหมาย	สัดส่วนภาระงานเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง กรณีเครื่องทำน้ำเย็นทำงานตลอดเวลาโดยไม่มีการตัด-ต่อให้ค่า $LF = 1$
แหล่งข้อมูล	1. จากการการคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่องได้ข้อมูล T_{ON} และ T_{OFF} จากนั้นนำมาคำนวณหา LF
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรม โดยทั่วๆ ไปให้บันทึกทุก 1 นาที

ตัวแปร	LF_{Post}
หน่วย	fraction
ความหมาย	สัดส่วนภาระงานเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง กรณีเครื่องทำน้ำเย็นทำงานตลอดเวลาโดยไม่มีการตัด-ต่อให้ค่า $LF = 1$
แหล่งข้อมูล	1. จากการการคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่องได้ข้อมูล T_{ON} และ T_{OFF} จากนั้นนำมาคำนวณหา LF
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรม โดยทั่วๆ ไปให้บันทึกทุก 1 นาที

ตัวแปร	H
หน่วย	h/y
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานต่อปี (ชั่วโมงการทำงานปีฐาน)
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริงในรอบวัน หรือ รอบสัปดาห์ ร่วมกับการประมาณการ 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องบันทึกเวลาการทำงาน 2. สอบถามหรือตรวจสอบจากบันทึกการทำงานของเครื่องจักร ของสถานประกอบการ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงาน

ตัวแปร	F_{Pre}
หน่วย	L/min, L/s, m ³ /min, m ³ /s, GPM, ฯลฯ
ความหมาย	อัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ 2. มิเตอร์น้ำ 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตรและนาฬิกาจับเวลา 3. จดบันทึกตัวแปรต่างๆ จากปั๊มสูบน้ำเย็นเพื่อนำมาสร้างแบบจำลอง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	F_{Post}
หน่วย	L/min, L/s, m ³ /min, m ³ /s, GPM, ฯลฯ
ความหมาย	อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ 2. มิเตอร์น้ำ 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตรและนาฬิกาจับเวลา 3. จดบันทึกตัวแปรต่างๆ จากปั๊มสูบน้ำเย็นเพื่อนำมาสร้างแบบจำลอง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่ควรน้อยกว่า ทุก 1 นาที

ตัวแปร	T_{CHS}
หน่วย	$^{\circ}C, ^{\circ}F$
ความหมาย	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่าย
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	T_{CHR}
หน่วย	$^{\circ}C, ^{\circ}F$
ความหมาย	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับ
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	T_{amb}
หน่วย	$^{\circ}C, ^{\circ}F$
ความหมาย	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	RH_{amb}
หน่วย	%
ความหมาย	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ใช้สำหรับเลือกข้อมูลมาเปรียบเทียบสถานะการทำงาน ก่อนและหลังปรับปรุง โดยจะถือว่าถ้าความชื้นสัมพัทธ์เกิน 95% คือสถานะฝนตก
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	C_p
หน่วย	$\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$, $\frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F}$
ความหมาย	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น
แหล่งข้อมูล	1. จากตารางคุณสมบัติของน้ำทางเทอร์โมไดนามิกส์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิและนำข้อมูลไปเปิดตารางเทอร์โมไดนามิกส์
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	CL_{Pre}
หน่วย	Ton_R
ความหมาย	ภาระการทำความเย็นก่อนปรับปรุงในหน่วยตันความเย็น
แหล่งข้อมูล	1. จากการคำนวณ 2. จากโปรแกรมสำเร็จรูป
วิธีการตรวจวัด	-
ความถี่ในการแสดงผล	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	CL_{Post}
หน่วย	Ton_R
ความหมาย	ภาระการทำความเย็นหลังปรับปรุงในหน่วยตันความเย็น
แหล่งข้อมูล	1. จากการคำนวณ 2. จากโปรแกรมสำเร็จรูป
วิธีการตรวจวัด	-
ความถี่ในการแสดงผล	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	E_{Pre}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (Pre)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	E_{Post}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (Post)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	$E_{Post,adj}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุงที่ปรับแก้ค่าแล้ว (adjusting, adj)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	E_{Save}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานที่ประหยัดได้
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์พลังงานก่อนและหลังปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	SEC_{Pre}
หน่วย	kW_{elec}/Ton_R
ความหมาย	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	SEC_{Post}
หน่วย	kW_{elec}/Ton_R
ความหมาย	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	C_E
หน่วย	Bath/kWh
ความหมาย	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC
แหล่งข้อมูล	คำนวณจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าของสถานประกอบการ ระยะเวลา 12 เดือน
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 30 วัน
ตัวแปร	C_{Save}
หน่วย	Bath/y, บาท/ปี
ความหมาย	จำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลการวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	SP
หน่วย	% หรือ ร้อยละ
ความหมาย	เปอร์เซ็นต์ผลประหยัดพลังงาน (Energy Saving Percent)
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลการวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน (เฉพาะด้านพลังงานไม่คำนวณจากค่าใช้จ่ายทางการเงิน)
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวห้อยท้ายตัวแปร	Pre
ความหมาย	สถานะของตัวแปรก่อนปรับปรุง
ตัวห้อยท้ายตัวแปร	Post
ความหมาย	สถานะของตัวแปรหลังปรับปรุง

9. บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	30/09/2016	คู่มือ M&V ฉบับที่ 4
1	31/02/2016	แก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ



แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน : มาตรการผลิตน้ำร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อน (Heat Pump) TEM&V-014 : 2559

1. คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

- 1.1 วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนเดิมของสถานประกอบการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเปลี่ยนจากอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ใช้อยู่เดิมเป็นปั๊มความร้อน
- 1.2 วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการที่มีการเปลี่ยนมาใช้ปั๊มความร้อนมาตรการเดียว โดยไม่มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นติดตั้งร่วมด้วย เช่น มาตรการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ หรือมาตรการใช้ความร้อนทิ้งจากไอเสียหรืออื่นๆ
- 1.3 ระบบควบคุมไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนและปั๊มสูบน้ำที่ใช้ในมาตรการสามารถติดตั้งเครื่องมือเพื่อตรวจวัดแยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่นๆ ของสถานประกอบการได้
- 1.4 ภาระงานของระบบผลิตน้ำร้อน ได้แก่ความสามารถในการทำความร้อนให้ระบุในหน่วย กิโลวัตต์ ความร้อน (kW_{heat}) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)
- 1.5 วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานตามแนวทางที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ คำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความแม่นยำในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ให้สูงขึ้น อาจเป็นสาเหตุให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดพลังงานที่สูงขึ้น ให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการ

2. รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน

การเลือกรูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน ของแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯนี้ อ้างอิงระเบียบวิธีการของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมีให้เลือกใช้ได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ที่แสดงในเอกสารฉบับนี้ เป็นการใช้

แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผล **รูปแบบ B** การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation) มาประยุกต์ใช้กับมาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อนเป็นแหล่งจ่ายความร้อนหลัก

การตรวจวัดตามแนวทางนี้ จะเน้นตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด ร่วมกับใช้ข้อมูลจากสถานประกอบการบางส่วน ในการประมาณการด้านพฤติกรรมใช้งาน เช่น เวลาทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนตลอดปี การหาภาระความร้อนตลอดปี จะใช้ตัวแทนข้อมูลภาระความร้อนที่ได้จากการตรวจวัดจริง โดยดัชนีที่ใช้ในการชี้วัดผลประหยัดจะพิจารณาจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำร้อน (Specific Energy Consumption of Hot Water System) ในหน่วย กิโลวัตต์ไฟฟ้าต่อกิโลวัตต์ความร้อน ($\text{kW}_{\text{elec}}/\text{kW}_{\text{heat}}$) หรือ กิโลวัตต์ไฟฟ้าต่อบิตูต่อชั่วโมง ($\text{kW}_{\text{elec}}/\text{BTU/h}$)

3.

การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

3.1 ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของ ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามระเบียบวิธีการของ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะที่ทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักร ที่ขอจากสถานประกอบการแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลประหยัด ตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ที่มาของข้อมูลต่างๆ และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

3.2 รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามหัวข้อที่แสดงไว้ในข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล (3.1) เป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักอย่างน้อย 3 บท ได้แก่

- 3.2.1 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง
- 3.2.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง
- 3.2.3 การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และจัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

4.

การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

4.1 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงของระบบผลิตน้ำร้อน ประกอบไปด้วย การใช้พลังงานจากอุปกรณ์หลัก ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ขจัดลดความร้อน และพลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำร้อน โดยสามารถเขียนเป็นสมการหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุงได้ ดังนี้

4.1.1 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของระบบผลิตน้ำร้อนก่อนปรับปรุง

$$E_{Pre} = f(E_{Heater,Pre}, E_{HWP,Pre})$$

$$E_{Pre} = E_{Heater,Pre} + E_{HWP,Pre}$$

โดยที่

$$E_{Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของระบบผลิตน้ำร้อนก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{Heater,Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของขดลวดความร้อนก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{HWP,Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของปั๊มสูบน้ำร้อนก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

4.1.2 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของขดลวดความร้อนก่อนปรับปรุง

$$E_{Heater,Pre} = f(P_{Heater}, LF_{Heater}, H)_{Pre}$$

$$E_{Heater,Pre} = P_{Heater,Pre} \times LF_{Heater,Pre} \times H$$

โดยที่

$$E_{Heater,Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของขดลวดความร้อนก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$P_{Heater,Pre} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของขดลวดความร้อนก่อนปรับปรุง (kW)}$$

$$LF_{Heater,Pre} = \text{สัดส่วนภาระงานของขดลวดความร้อนก่อนปรับปรุง (fraction)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานพื้นฐานของระบบผลิตน้ำร้อน (h/y)}$$

4.1.3 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของปั๊มสูบน้ำร้อนก่อนปรับปรุง

$$E_{HWP,Pre} = f(P_{HWP}, LF_{HWP}, H)_{Pre}$$

$$E_{HWP,Pre} = P_{HWP,Pre} \times LF_{HWP,Pre} \times H$$

โดยที่

$$P_{HWP,Pre} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนก่อนการปรับปรุง (kW)}$$

$$LF_{HWP,Pre} = \text{สัดส่วนภาระงานของปั๊มสูบน้ำร้อน (fraction)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพื้นฐาน (h/y)}$$

4.1.4 สัดส่วนภาระงาน (Load Factor) ของอุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนก่อนปรับปรุง

ในกรณีตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลแล้วพบว่าอุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนก่อนปรับปรุงทำงานตลอดเวลาโดยไม่มีการตัดการทำงานให้กำหนดค่า $LF = 1$ ส่วนในกรณีที่มีการตัด-ต่อ (ON-OFF) การทำงานให้หาค่า LF จากเวลาการทำงานดังนี้

$$LF_{Pre} = \frac{T_{ON,Pre}}{T_{ON,Pre} + T_{OFF,Pre}}$$

โดยที่

$$LF_{Pre} = \text{สัดส่วนภาระงานของอุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนก่อนปรับปรุง}$$

$$T_{ON,Pre} = \text{เวลาที่อุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนทำงานก่อนปรับปรุง (min)}$$

$$T_{OFF,Pre} = \text{เวลาที่อุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนตัดการทำงานก่อนปรับปรุง (min)}$$

4.2 การคำนวณภาระงาน

ภาระงานของระบบผลิตน้ำร้อน คือ ภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจากความต้องการความร้อนเพื่อใช้งาน มีตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อภาระความร้อนได้แก่ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และการสูญเสียอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพของระบบผลิตความร้อน แตกต่างกันไปตามสถานประกอบการ โดยทั่วไปตัวแปรหลักที่ใช้ในการคำนวณหาภาระความร้อนได้แก่ อัตราการไหลของน้ำร้อน (Flow rate of hot water) อุณหภูมิน้ำร้อนด้านจ่าย (Hot water supply) อุณหภูมิน้ำร้อนด้านกลับ (Hot water return) และค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อน (Specific heat of hot water) โดยสมการหาภาระความร้อนก่อนปรับปรุง สามารถเขียนได้ดังนี้

$$HL_{Pre} = f(\dot{m}_w, T_{HWS}, T_{HWR}, C_{p,Pre})$$

$$HL_{Pre} = \dot{m}_{w,pre} \times C_{p,Pre} \times (T_{HWS,Pre} - T_{HWR,Pre})$$

โดยที่

$$HL_{Pre} = \text{ภาระทำความร้อนก่อนปรับปรุงในหน่วยกิโลวัตต์ความร้อน (kW}_{\text{heat}}) \text{ หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)}$$

$$F_{Pre} = \text{อัตราการไหลของน้ำร้อนก่อนปรับปรุง (L/min, L/s, m}^3\text{/min, m}^3\text{/s, GPM ฯลฯ)}$$

$$T_{HWS,Pre} = \text{อุณหภูมิน้ำร้อนด้านจ่ายของระบบผลิตน้ำร้อนก่อนปรับปรุง (}^{\circ}\text{C, }^{\circ}\text{F)}$$

$$T_{HWR,Pre} = \text{อุณหภูมิน้ำร้อนด้านกลับของระบบผลิตน้ำร้อนก่อนปรับปรุง (}^{\circ}\text{C, }^{\circ}\text{F)}$$

$$T_{amb,Pre} = \text{อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันก่อนปรับปรุง (}^{\circ}\text{C, }^{\circ}\text{F)}$$

$$C_{p,Pre} = \text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อนก่อนปรับปรุง (} \frac{kJ}{kg \cdot ^{\circ}C} , \frac{BTU}{lb \cdot ^{\circ}F} \text{)}$$

$$\dot{m}_{w,Pre} = \text{อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำร้อนก่อนปรับปรุง (kg/s, lb/s)}$$



5. การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

5.1 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานหลัก ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มความร้อน และพลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำร้อน โดยเขียนเป็นสมการหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงได้ ดังนี้

5.1.1 พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง

$$E_{Post} = f(E_{HP,Post}, E_{HWP,Post})$$

$$E_{Post} = E_{HP,Post} + E_{HWP,Post}$$

โดยที่

$$E_{Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{HP,Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{HWP,Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของปั๊มน้ำร้อนหลังปรับปรุง (kWh/y)}$$

5.1.2 พลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อนหลังการปรับปรุง

การหาค่าพลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อน หรือระบบผลิตน้ำร้อนหลังการปรับปรุง ให้ยึดรูปแบบการดำเนินการให้เป็นรูปแบบเดียวกันกับการปรับปรุง โดยการตรวจวัดอุปกรณ์ต่างๆ จะใช้เครื่องมือวัดเพื่อเก็บข้อมูล แล้วนำตัวแทนข้อมูลไปใช้ตามสมการ ดังนี้

$$E_{HP,Post} = f(P_{HP,LF}, H)_{Post}$$

$$E_{HP,Post} = P_{HP,Post} \times LF_{HP,Post} \times H$$

โดยที่

$$E_{HP,Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$P_{HP,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง (kW)}$$

$$LF_{HP,Post} = \text{สัดส่วนภาระงานของปั๊มความร้อนหลังการปรับปรุง (fraction)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนปีฐาน (h/y)}$$

5.1.3 พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำร้อนหลังปรับปรุง

$$E_{HWP,Post} = f(P_{HWP}, LF, H)_{Post}$$

$$E_{HWP,Post} = P_{HWP,Post} \times LF_{HWP} \times H$$

โดยที่

$$P_{HWP,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนหลังปรับปรุง (kW)}$$

$$LF_{HWP,Post} = \text{สัดส่วนภาระงานของปั๊มสูบน้ำร้อนหลังการปรับปรุง (fraction)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนปีฐาน (h/y)}$$

5.2 การคำนวณภาระงาน

ภาระงานของระบบผลิตน้ำร้อนหลังปรับปรุง คือ ภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้งานหลังปรับปรุง สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$HL_{Post} = f(\dot{m}_w, T_{HWS}, T_{HWR}, C_p)_{Post}$$

$$HL_{Post} = f(\dot{m}_{wPost} \times C_{p,Post} \times (T_{HW,S,Post} - T_{HWR,Post}))$$

โดยที่

$$HL_{Post} = \text{ภาระความร้อนหลังปรับปรุงในหน่วยกิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat}) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง(BTU/h)}$$

$$F_{Post} = \text{อัตราการไหลของน้ำร้อนหลังปรับปรุง (L/min, L/s, m³/min, m³/s, GPM ฯลฯ)}$$

$$T_{HWS,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำร้อนด้านจ่ายของระบบผลิตน้ำร้อนหลังปรับปรุง (°C, °F)}$$

$$T_{HWR,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำร้อนด้านกลับของระบบผลิตน้ำร้อนหลังปรับปรุง (°C, °F)}$$

$$T_{amb,Post} = \text{อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันหลังปรับปรุง (°C, °F)}$$

$$C_{p,Post} = \text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อนหลังปรับปรุง} \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} , \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \right)$$

$$m_{w,Post} = \text{อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำร้อนหลังปรับปรุง (kg/s , lb/s)}$$

หมายเหตุ : จำนวนตัวแปรอิสระหลังปรับปรุง ควรกำหนดให้เท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระก่อนปรับปรุง เว้นแต่มีกรณีพิเศษ เช่น การลดตัวแปรกรณีระบบหลังปรับปรุงสามารถทำงานได้คงเดิมโดยตัดอุปกรณ์บางชนิดออกไปได้ หรือการเพิ่มตัวแปรกรณีระบบหลังปรับปรุงประหยัดพลังงานที่ระบบผลิตน้ำร้อนแต่ส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานที่ตำแหน่งอื่นแทน



6. การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

6.1 ผลประหยัดพลังงาน

ผลประหยัดพลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน จะพิจารณาจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) การคำนวณหาผลประหยัดพลังงานปีฐาน จะนำค่าภาระความร้อนที่เกิดขึ้น ณ สภาวะก่อนการปรับปรุงมาจำลองเหตุการณ์ โดยกำหนดให้การทำงานของปั๊มความร้อนหลังการปรับปรุงทำงานที่สภาวะภาระความร้อนเท่ากับก่อนปรับปรุง แล้วจึงคิดออกมาเป็นค่าพลังงานหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความยุติธรรมในการเปรียบเทียบ

6.1.1 พลังงานที่ประหยัดได้ สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$E_{Save} = f(E_{Pre}, E_{Post,adj})$$

$$E_{Save} = E_{Pre} - E_{Post,adj}$$

โดยที่

$$E_{Save} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)}$$

$$E_{Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าปีฐานของระบบผลิตน้ำร้อนก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{Post,adj} = \text{พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนหลังปรับปรุงที่ปรับค่าแล้ว (kWh/y)}$$

6.1.2 พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนหลังปรับปรุงที่ปรับค่าแล้ว

$$E_{Post,adj} = SEC_{Post} \times HL_{Pre} \times H$$

โดยที่

$$E_{Post,adj} = \text{พลังงานไฟฟ้าปีฐานของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนหลังปรับปรุงที่ปรับค่าแล้ว (kWh/y)}$$

$$SEC_{Post} = \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง} \left(\frac{kW_{elec}}{kW_{heat}} \right)$$

$$HL_{Pre} = \text{ภาระทำความร้อนก่อนปรับปรุงในหน่วยกิโวลต์ต์ความร้อน (kW_{heat}) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานปีฐานของระบบผลิตน้ำร้อน (h/y)}$$

6.1.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง

$$SEC_{Pre} = \frac{(P_{Heater,Pre} + P_{HWP,Pre})}{HL_{Pre}}$$

โดยที่

$$SEC_{Pre} = \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง} \left(\frac{kW_{elec}}{kW_{heat}} \right)$$

$$P_{Heater,Pre} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของขดลวดความร้อนก่อนปรับปรุง (kW)}$$

$$P_{HWP,Pre} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนก่อนการปรับปรุง (kW)}$$

$$HL_{Pre} = \text{ภาระทำความร้อนก่อนปรับปรุงในหน่วยกิโวลต์ความร้อน (kW_{heat}) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)}$$

6.1.4 เปอร์เซ็นต์ผลประหยัดพลังงาน

$$SP = \left[\frac{(SEC_{Pre} - SEC_{Post})}{SEC_{Pre}} \right] \times 100\%$$

โดยที่

$$\text{Saving Percent} = \text{เปอร์เซ็นต์ผลประหยัด หรือ ร้อยละของผลประหยัด (\%)}$$

$$SEC_{Pre} = \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง} \left(\frac{kW_{elec}}{kW_{heat}} \right)$$

$$SEC_{Post} = \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง} \left(\frac{kW_{elec}}{kW_{heat}} \right)$$

6.2 ผลประหยัดทางการเงินปีฐาน

ผลประหยัดทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐานของระบบผลิตน้ำร้อน ให้เปรียบเทียบจากการทำงานที่สมมติฐานทั้งก่อนและหลังปรับปรุงอาจกล่าวได้ว่า “ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนทำงานที่ภาระความร้อนเท่ากับระบบผลิตน้ำร้อนด้วยขดลวดความร้อน” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C_{Save} = f(E_{Save}, C_E)$$

$$C_{Save} = E_{Save} \times C_E$$

โดยที่

$$E_{Save} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)}$$

$$C_{Save} = \text{จำนวนเงินที่ประหยัดได้ (Bath/y)}$$

$$C_E = \text{อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญาพลังงาน หรือ EPC (Bath/kWh)}$$

หมายเหตุ : อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานโดยมากจะกำหนดจากอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเฉลี่ย ณ ปีที่ทำสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract : EPC) ถ้าบริษัทจัดการพลังงาน สถานประกอบการและสถาบันการเงินเห็นพ้องต้องกันว่าควรใช้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอื่น เช่นอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ณ เดือนที่เซ็นสัญญา หรืออัตราค่าพลังงานแปรผันตามจริง ให้ระบุลงใน EPC และข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7. วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล โดยทั่วไปตัวแปรหรือข้อมูลได้มาจาก 7 วิธีการได้แก่

7.1 ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดควรนำมาพิจารณาพิจารณาพร้อมกับความเป็นจริงโดยใช้ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในการตรวจวัด บางครั้งข้อมูลที่เก็บบันทึกโดยช่างเทคนิคที่ประสบการณ์น้อยผิดพลาดจากปัจจัยอื่นๆ ที่รบกวนการตรวจวัด

7.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

กรณีใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ควรมีการอธิบายให้สถานประกอบการเข้าใจเหตุผลในการใช้แบบจำลองก่อนเพื่อป้องกันข้อพิพาทหลังได้รับผลการตรวจวัด

7.3 ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ข้อมูลที่ถูกบันทึกโดยพนักงานของสถานประกอบการ เช่นข้อมูลชั่วโมงทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนสามารถนำมาใช้ได้ แต่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลควรตรวจสอบถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งสถานประกอบการเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

7.4 ข้อมูลจากผู้ผลิต

บางครั้งผู้ผลิตบ่มความร้อน ได้ให้ข้อมูลการทดสอบอุปกรณ์ที่เสนอขายมาด้วย สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังข้อ 7.2 ได้ แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7.5 ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น

ตัวแปรหรือข้อมูลบางตัวสามารถหาได้จากสถาบันการตรวจวัดที่มีการตรวจวัดข้อมูลไว้ตลอดปี เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ หรือเว็บไซต์ต่างๆ ที่เชื่อถือได้ แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7.6 ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่

ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่ ส่วนมากไม่นิยมใช้ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล แต่ถ้ามีความจำเป็นสามารถนำมาใช้ได้ในส่วนที่ไม่สำคัญต่อการวิเคราะห์ผลประหยัด และต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7.7 ค่าแก้ไข หรือค่าปรับแก้

ค่าปรับแก้ ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ย ไม่เป็นไปตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 สำหรับบ่มความร้อนยังไม่มีกรวิจัยเพื่อหา “ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้า” และ “ค่าแก้ไขภาระความร้อน” แต่ได้มีการจัดทำขึ้นเมื่อใด ผู้ใช้สามารถประยุกต์ใช้ค่าปรับแก้เช่นเดียวกันกับระบบทำน้ำเย็น

8. รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลประหยัด มี 2 ชนิด ได้แก่ ตัวแปรหลักและตัวแปรควบคุม

8.1 ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลประหยัดพลังงาน และผลประหยัดทางการเงิน

8.2 ตัวแปรควบคุม หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการที่ ESCO เสนอขาย บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้น ทดสอบหลังปรับปรุงให้ยาวนานขึ้น และคัดเลือกข้อมูลที่มีสถานะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10%

8.3 คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	$P_{\text{Heater,Pre}}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของขดลวดความร้อนก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$P_{\text{HP,Post}}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$P_{\text{HWP,Pre}}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มน้ำร้อนก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบให้ตรวจวัด ณ ตำแหน่ง ไฟฟ้าก่อนเข้าอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$P_{HWP,Post}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบให้ตรวจวัด ณ ตำแหน่ง ไฟฟ้าก่อนเข้าอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	LF_{Pre}
หน่วย	-
ความหมาย	ตัวประกอบภาระการทำงานของขดลวดความร้อนก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง, Counter
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	LF_{Post}
หน่วย	-
ความหมาย	ตัวประกอบภาระการทำงานของปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง, Counter
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับความถี่ในการบันทึกค่าก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	$T_{ON,Pre}$
หน่วย	-
ความหมาย	เวลาที่ขดลวดความร้อน หรือปั๊มน้ำทำงาน (ON Time) ก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด 2. การคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าที่ขดลวดความร้อนหรือปั๊มน้ำ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$T_{OFF,Pre}$
หน่วย	-
ความหมาย	เวลาที่เครื่องขดลวดความร้อนหรือปั้มน้ำตัดการทำงาน (OFF Time) ก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด 2. การคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าที่ขดลวดความร้อนหรือปั้มน้ำ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที
ตัวแปร	$T_{ON,Post}$
หน่วย	-
ความหมาย	เวลาที่ปั้มน้ำความร้อน หรือปั้มน้ำทำงาน (ON Time) หลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด 2. การคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าที่ปั้มน้ำความร้อนหรือปั้มน้ำ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที
ตัวแปร	$T_{OFF,Post}$
หน่วย	-
ความหมาย	เวลาที่เครื่องปั้มน้ำความร้อนหรือปั้มน้ำตัดการทำงาน (OFF Time) หลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด 2. การคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าที่ขดลวดความร้อนหรือปั้มน้ำ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	H
หน่วย	h/y
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานต่อปี (ชั่วโมงการทำงานปีฐาน)
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริงในรอบวัน หรือ รอบสัปดาห์รวมกับการประมาณการ 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องบันทึกเวลาการทำงาน 2. สอบถามหรือตรวจสอบจากบันทึกการทำงานของเครื่องจักรของสถานประกอบการ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงาน
ตัวแปร	F_{Pre}
หน่วย	L/min, L/s, m ³ /min, m ³ /s, GPM, ฯลฯ
ความหมาย	อัตราการไหลของน้ำร้อนก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำจ่าย 2. มิเตอร์น้ำ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตรและนาฬิกาจับเวลา
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่ควรน้อยกว่าทุก 1 นาที
ตัวแปร	F_{Post}
หน่วย	L/min, L/s, m ³ /min, m ³ /s, GPM, ฯลฯ
ความหมาย	อัตราการไหลของน้ำร้อนหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำจ่าย 2. มิเตอร์น้ำ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตรและนาฬิกาจับเวลา
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่ควรน้อยกว่าทุก 1 นาที

ตัวแปร	h_{Pre}
หน่วย	h
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานของขดลวดความร้อนขณะตรวจวัดก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้ข้อมูลเวลาจากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับการวัดกำลังไฟฟ้าขณะทำการตรวจวัดก่อนปรับปรุง
ตัวแปร	h_{Post}
หน่วย	h
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานของขดลวดความร้อนหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้ข้อมูลเวลาจากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าหลังการปรับปรุง
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับการวัดกำลังไฟฟ้าขณะทำการตรวจวัดหลังการปรับปรุง
ตัวห้อยท้ายตัวแปร	Pre
ความหมาย	สถานะของตัวแปรก่อนการปรับปรุง
ตัวห้อยท้ายตัวแปร	Post
ความหมาย	สถานะของตัวแปรหลังการปรับปรุง
ตัวแปร	T_{HWS}
หน่วย	°C, °F
ความหมาย	อุณหภูมิน้ำร้อนด้านจ่าย
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 5 นาที

ตัวแปร	T_{HWR}
หน่วย	$^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$
ความหมาย	อุณหภูมิน้ำร้อนด้านกลับ
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 5 นาที
ตัวแปร	T_{amb}
หน่วย	$^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$
ความหมาย	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที
ตัวแปร	RH_{amb}
หน่วย	%
ความหมาย	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ใช้สำหรับเลือกข้อมูลมาเปรียบเทียบสภาวะการทำงาน ก่อนและหลังปรับปรุง โดยจะถือว่าถ้าความชื้นสัมพัทธ์เกิน 95% คือสภาวะฝนตก
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที
ตัวแปร	R
หน่วย	ห้อง, Units, พื้นที่, ปริมาตรอากาศ, ฯลฯ
ความหมาย	ภาระการใช้งานระบบทำความร้อนของสถานประกอบการ
แหล่งข้อมูล	จากสถานประกอบการ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุกวัน ขณะทำการตรวจวัด

ตัวแปร	C_p
หน่วย	$(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}, \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F})$
ความหมาย	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อน
แหล่งข้อมูล	1. จากตารางคุณสมบัติของน้ำทางเทอร์โมไดนามิกส์ 2. จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3. ค่าคงที่
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที
ตัวแปร	HL
หน่วย	$kW_{heat}, BTU/h$
ความหมาย	ภาระความร้อนในหน่วยกิโลวัตต์ความร้อน, บีทียู/ชั่วโมง
แหล่งข้อมูล	จากการคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	-
ความถี่ในการแสดงผล	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที
ตัวแปร	$\dot{m}_{w,Pre}$
หน่วย	kg/s หรือ lb/s
ความหมาย	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำร้อนก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ 2. มิเตอร์น้ำ 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	1. คำนวณจากอัตราการไหลและความหนาแน่นของน้ำเย็น
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที
ตัวแปร	$\dot{m}_{w,Post}$
หน่วย	kg/s หรือ lb/s
ความหมาย	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำร้อนหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ 2. มิเตอร์น้ำ 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	1. คำนวณจากอัตราการไหลและความหนาแน่นของน้ำเย็น
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$E_{\text{Heater,Pre}}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของขดลวดความร้อน สภาวะก่อนการปรับปรุง (Pre)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	$E_{\text{HP,Post}}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของปั๊มความร้อนสภาวะหลังการปรับปรุง (Post)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	$E_{\text{HWP,Pre}}$ และ $E_{\text{HWP,Post}}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของปั๊มสูบน้ำร้อนสภาวะก่อนการปรับปรุง (Pre) และสภาวะหลังการปรับปรุง (Post)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	E_{Pre}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	E_{Post}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้หลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$E_{Post,adj}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้หลังการปรับปรุงจากการคำนวณ ให้รับภาระความร้อนเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลังการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	E_{Save}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ประหยัดได้
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	SEC_{Pre}
หน่วย	kW_{elec}/kW_{heat} , $kW_{elec}/BTU/h$
ความหมาย	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องระบบผลิตน้ำร้อนด้วยขดลวดความร้อนก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	SEC_{Post}
หน่วย	kW_{elec}/kW_{heat} , $kW_{elec}/BTU/h$
ความหมาย	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบทำความร้อนหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	C_E
หน่วย	Bath/kWh
ความหมาย	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC
แหล่งข้อมูล	คำนวณจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าของสถานประกอบการ ระยะเวลา 12 เดือน
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 30 วัน

ตัวแปร	C_{Save}
หน่วย	Bath/y, บาท/ปี
ความหมาย	จำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลการวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-



9. บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	30/09/2016	คู่มือ M&V ฉบับที่ 4



แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน :
มาตรการระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึม
(Absorption Chiller System)
TEM&V-015 : 2559

1. คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

- 1.1 วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนระบบทำน้ำเย็นที่ใช้พลังงานไฟฟ้าให้เป็นระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึม
 - 1.1.1 กรณีที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเฉพาะเครื่องทำน้ำเย็น แต่ไม่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงปั๊มสูบน้ำที่ต่อร่วมในระบบ ให้ใช้ข้อความ “เครื่องทำน้ำเย็น” แทนอุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงตามมาตรการ
 - 1.1.2 กรณีที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงระบบทำน้ำเย็นทั้งระบบ รวมทั้งการเปลี่ยนหรือปรับปรุงปั๊มสูบน้ำที่ต่อร่วมในระบบ ให้ใช้ข้อความ “ระบบทำน้ำเย็น” แทนระบบที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงตามมาตรการ
- 1.2 วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการที่มีการเปลี่ยนระบบทำน้ำเย็นที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ให้เป็นระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึมเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆติดตั้งร่วมด้วย เช่น มาตรการปรับแรงดันไฟฟ้า หรือมาตรการติดตั้งอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้า หรืออื่นๆ
- 1.3 ระบบควบคุมไฟฟ้าของระบบทำน้ำเย็นและปั๊มสูบน้ำที่ใช้ในมาตรการสามารถติดตั้งเครื่องมือเพื่อ ตรวจวัดแยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่นๆของสถานประกอบการได้
- 1.4 ภาระงานของระบบทำน้ำเย็น ได้แก่ความสามารถในการทำความเย็นให้ระบุในหน่วย ต้นความเย็น (Ton_{ref}) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) หรือ กิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat})
- 1.5 วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานตามแนวทางที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ คำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริหารจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความแม่นยำในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ให้สูงขึ้น อาจเป็นสาเหตุให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดพลังงานที่สูงขึ้น ให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการ

2.

รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน

การเลือกรูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน ของแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ นี้ อ้างอิงระเบียบวิธีการของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมีให้เลือกใช้ได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ที่แสดงในเอกสารฉบับนี้ เป็นการใช้นโยบายการตรวจวัดและพิสูจน์ผล รูปแบบ B การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation) มาประยุกต์ใช้กับมาตรการเปลี่ยนระบบทำน้ำเย็นที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ให้เป็นระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึม

กรรมวิธีการตรวจวัดจะตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดเป็นหลัก และใช้ข้อมูลจากสถานประกอบการมาประกอบการคำนวณ เช่น การประมาณการด้านพฤติกรรมใช้งาน เวลาทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นตลอดปี ส่วนการหาภาระทำความเย็นก็จะใช้วิธีการตรวจวัดข้อมูลจริง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลจากการตรวจวัดแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาภาระทำความเย็นตลอดปี โดยดัชนีที่ใช้ในการชี้วัดผลประหยัดจะพิจารณาจาก ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็น (Specific Energy Cost of Chiller System) ในหน่วย บาทต่อตันความเย็น (Baht/Ton_{yr})

3.

การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

3.1 ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของ ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามระเบียบวิธีการของ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุม หรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะที่ทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากสถานประกอบการแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลประหยัด ตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ที่มาของข้อมูลต่างๆ และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

3.2 รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามหัวข้อที่แสดงไว้ในข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล (3.1) เป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักอย่างน้อย 3 บท ได้แก่

3.2.1 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

3.2.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

3.2.3 การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และจัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้



4. การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

4.1 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุงของระบบทำน้ำเย็น ประกอบไปด้วยตัวแปรหลัก ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องทำน้ำเย็น พลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มสูบน้ำเย็น และพลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำระบายความร้อน โดยสามารถเขียนเป็นสมการหาค่าพลังงานสำหรับสภาวะก่อนปรับปรุงได้ ดังนี้

4.1.1 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง

$$E_{Pre} = f(E_{CH,Pre}, E_{CHP,Pre}, E_{CDP,Pre})$$

$$E_{Pre} = E_{CH,Pre} + E_{CHP,Pre} + E_{CDP,Pre}$$

โดยที่

$$E_{Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{CH,Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{CHP,Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของปั๊มสูบน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{CDP,Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของปั๊มน้ำระบายความร้อนก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

4.1.2 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง

วิธีการหาค่าพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง ที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย คือ การตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดแล้วนำข้อมูลมาคำนวณตามสมการ ดังนี้

$$E_{CH,Pre} = f(P_{CH}, H)_{Pre}$$

$$E_{CH,Pre} = P_{CH,Pre} \times LF_{Pre} \times H$$

โดยที่

$$E_{CH,Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$P_{CH,Pre} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kW)}$$

$$LF_{Pre} = \text{สัดส่วนภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นปีฐาน (h/y)}$$

4.1.3 สัดส่วนภาระงาน (Load Factor) ของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง

ในกรณีตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลแล้วพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นทำงานตลอดเวลาโดยไม่มีการตัดการทำงานให้กำหนดค่า $LF = 1$ ส่วนในกรณีที่เครื่องทำน้ำเย็นมีการตัด-ต่อ (ON-OFF) การทำงานให้หาค่า LF จากเวลาการทำงานที่บันทึกข้อมูลไว้ ดังนี้

$$LF_{Pre} = f(T_{ON}, T_{OFF})_{Pre}$$

$$LF_{Pre} = \frac{T_{ON,Pre}}{T_{ON,Pre} + T_{OFF,Pre}}$$

โดยที่

$$LF_{Pre} = \text{สัดส่วนภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง}$$

$$T_{ON,Pre} = \text{เวลาที่เครื่องทำน้ำเย็นทำงาน (ON Time) ก่อนปรับปรุง (min)}$$

$$T_{OFF,Pre} = \text{เวลาที่เครื่องทำน้ำเย็นตัดการทำงาน (OFF Time) ก่อนปรับปรุง (min)}$$

4.1.4 พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำเย็นก่อนปรับปรุง

$$E_{CHP,Pre} = f(P_{CHP}, H)_{Pre}$$

$$E_{CHP,Pre} = P_{CHP,Pre} \times H$$

โดยที่

$$P_{CHP,Pre} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kW)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของปั๊มสูบน้ำเย็นปีฐาน (h/y)}$$

4.1.5 พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนก่อนการปรับปรุง

$$E_{CDP,Pre} = f(P_{CDP}, H)_{Pre}$$

$$E_{CDP,Pre} = P_{CDP,Pre} \times H$$

โดยที่

$$P_{CDP,Pre} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนก่อนการปรับปรุง (kW)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนปีฐาน (h/y)}$$

หมายเหตุ : สมการตามหัวข้อ 4.1.4 และ 4.1.5 ไม่ใช่ค่า LF เพราะการควบคุมระบบทำน้ำเย็นจะให้ปั๊มสูบน้ำเย็นและปั๊มน้ำระบายความร้อนทำงานตลอดเวลาเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดจากอุปกรณ์ขาดน้ำเข้าไประบายความร้อน

4.2 การคำนวณภาระงาน

ภาระงานของระบบทำน้ำเย็น คือ ภาระทำความเย็น (Cooling Load) ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานจริง อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และการสูญเสียอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น แตกต่างกันไปตามสถานประกอบการ และคุณภาพของระบบทำน้ำเย็นที่เลือกใช้ โดยทั่วไปตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็น ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำเย็น (Flow rate of chilled water) อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่าย (Chilled water supply) อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับ (Chilled water return) ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น (Specific heat of chilled water) และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม โดยภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง สามารถใช้ความรู้ทางเทอร์โมไดนามิกส์เขียนสมการได้ดังนี้

4.2.1 ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง

$$CL_{Pre} = f(F, T_{CHS}, T_{CHR}, T_{amb}, c_p)_{Pre}$$

$$CL_{Pre} = \dot{m}_{w,Pre} \times C_{p,Pre} \times (T_{CHR,Pre} - T_{CHS,Pre})$$

$$\dot{m}_{w,Pre} = \rho_{w,Pre} \times F_{Pre}$$

โดยที่

$$CL_{Pre} = \text{ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง (Ton}_R\text{), บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) หรือ กิโลวัตต์ความร้อน (kW}_{heat}\text{)}$$

F_{Pre}	=	อัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (L/min, L/s, m ³ /min, m ³ /s, GPM , ฯลฯ)
$T_{CHS,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (°C, °F)
$T_{CHR,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (°C, °F)
$T_{amb,Pre}$	=	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน (°C, °F)
$C_{p,Pre}$	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง ($\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$, $\frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F}$)
$\dot{m}_{w,Pre}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kg/s ,lb/s)
$\rho_{w,Pre}$	=	ความหนาแน่นของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kg/m ³ ,lb/ft ³)

ในบางครั้งสถานการณ์ประกอบการต้องการทราบภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้น แต่ขาดวิศวกรที่มีความรู้ทางเทอร์โมไดนามิกส์สามารถสร้างสมการสำเร็จรูปเพื่อทดแทนสมการที่ 4.2.1 โดยเปลี่ยนรูปค่า ρ_w และ $\dot{m}_w$ ให้อยู่ในรูปของค่าคงที่ ได้ดังนี้

4.2.2 สมการสำเร็จรูปเพื่อหาภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุงในหน่วย SI

$$CL_{Pre} = \frac{F_{Pre} \times (T_{CHR,Pre} - T_{CHS,Pre})}{50.40}$$

โดยที่

CL_{Pre}	=	ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง (Ton _R)
F_{Pre}	=	อัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (L/min)
$T_{CHS,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (°C)
$T_{CHR,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (°C)

4.2.3 สมการสำเร็จรูปเพื่อหาภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุงในหน่วยอังกฤษ

$$CL_{Pre} = \frac{F_{Pre} \times (T_{CHR,Pre} - T_{CHS,Pre})}{23.97}$$

โดยที่

CL_{Pre}	=	ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง (Ton _R)
F_{Pre}	=	อัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (GPM, Gallon/min)
$T_{CHS,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (°F)
$T_{CHR,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (°F)

หมายเหตุ : ถ้าต้องการความแม่นยำในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงอาจกำหนดตัวแปรควบคุมเพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกข้อมูลไปใช้งานที่สำคัญ ได้แก่

R	=	จำนวนห้องหรือพื้นที่ปรับอากาศใช้งาน (ตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล)
-----	---	---

5.

การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

5.1 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

ระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึมหลังการปรับปรุง ยังคงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่บางส่วน ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มสารละลาย ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำระบายความร้อน และปั๊มสูบน้ำเย็นยังคงมีใช้เช่นเดียวกับระบบทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง โดยสามารถเขียนสมการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง ดังนี้

5.1.1 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของระบบทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง

$$E_{Post} = f(E_{SP,Post}, E_{CHP,Post}, E_{CDP,Post})$$

$$E_{Post} = E_{SP,Post} + E_{CHP,Post} + E_{CDP,Post}$$

โดยที่

$$E_{Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของระบบทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{SP,Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของปั๊มสารละลายหลังการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{CHP,Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของปั๊มสูบน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{CDP,Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของปั๊มน้ำระบายความร้อนหลังการปรับปรุง (kWh/y)}$$

5.1.2 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของปั๊มสารละลายหลังการปรับปรุง

การหาค่าพลังงานไฟฟ้าของปั๊มสารละลายหลังการปรับปรุง ให้ยึดรูปแบบการดำเนินการให้เป็นรูปแบบเดียวกันกับการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง คือ เน้นการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดแล้วนำข้อมูลมาคำนวณตามสมการ ดังนี้

พลังงานไฟฟ้าของปั๊มสารละลายหลังปรับปรุง โดยวิธีการตรวจวัด

$$E_{SP,Post} = f(P_{SP}, H)_{Post}$$

$$E_{SP,Post} = P_{SP,Post} \times H$$

โดยที่

$$E_{SP,Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของปั๊มสารละลายหลังปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$P_{SP,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสารละลายหลังปรับปรุง (kW)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นปีฐาน (h/y)}$$

5.1.3 พลังงานไฟฟ้าของปั๊มสูบน้ำเย็นหลังปรับปรุง

$$E_{CHP,Post} = f(P_{CHP}, H)_{Post}$$

$$E_{CHP,Post} = P_{CHP,Post} \times H$$

โดยที่

$$P_{CHP,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kW)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของปั๊มสูบน้ำเย็นปีฐาน (h/y)}$$

5.1.4 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนหลังการปรับปรุง

$$E_{CDP,Post} = f_3 (P_{CDP}, H)_{Post}$$

$$E_{CDP,Post} = P_{CDP,Post} \times H$$

โดยที่

$$P_{CDP,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนหลังปรับปรุง (kW)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนพื้นฐาน (h/y)}$$

หมายเหตุ : สมการตามหัวข้อ 5.1.2, 5.1.3 และ 5.1.4 ไม่ใช่ค่า LF เพราะการควบคุมระบบทำน้ำเย็นจะให้ปั๊มสูบน้ำเย็นและปั๊มน้ำระบายความร้อนทำงานตลอดเวลาเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดจากอุปกรณ์ขาดน้ำเข้าไประบายความร้อน และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึมก็ต้องมีการใช้ปั๊มสารละลายทำงานให้สารละลายไหลในระบบตลอดเวลาเช่นเดียวกัน

5.1.5 พลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม

$$Q_{in,Post} = \dot{m}_s (h_1 - h_2)$$

$$\dot{m}_s = \text{อัตราการไหลเชิงมวลของสารตัวกลางที่ใช้ให้ความร้อน (kg/s)}$$

$$h_1 = \text{เอนทาลปีของสารทำงานขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม (kJ/kg)}$$

$$h_2 = \text{เอนทาลปีของสารทำงานขาออกเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม (kJ/kg)}$$

5.2 การคำนวณภาระงาน

ภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้งานหลังปรับปรุง สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

5.2.1 ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง

$$CL_{Post} = f(F, T_{CHS}, T_{CHR}, T_{amb}, cp)_{Post}$$

$$CL_{Post} = \dot{m}_{w,Post} \times C_{p,Post} \times (T_{CHR,Post} - T_{CHS,Post})$$

$$\dot{m}_{w,Pre} = \rho_{w,Post} \times F_{Post}$$

โดยที่

$$CL_{Post} = \text{ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton}_R\text{), บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) หรือ กิโลวัตต์ความร้อน (kW}_{heat}\text{)}$$

$$F_{Post} = \text{อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (L/min, L/s, m}^3\text{/min, m}^3\text{/s, GPM ฯลฯ)}$$

$$T_{CHS,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (}^{\circ}\text{C, }^{\circ}\text{F)}$$

$$T_{CHR,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (}^{\circ}\text{C, }^{\circ}\text{F)}$$

$$T_{amb,Post} = \text{อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันหลังปรับปรุง (}^{\circ}\text{C, }^{\circ}\text{F)}$$

$$C_{p,Post} = \text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (} \frac{kJ}{kg \cdot ^{\circ}C} , \frac{BTU}{lb \cdot ^{\circ}F} \text{)}$$

$$\dot{m}_{w,Post} = \text{อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kg/s, lb/s)}$$

$$\rho_{w,Post} = \text{ความหนาแน่นของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kg/m}^3, \text{lb/ft}^3\text{)}$$

เพื่อความสะดวกสามารถใช้สมการสำเร็จรูปเพื่อทดแทนสมการที่ 5.2.1 โดยเปลี่ยนรูปค่า ρ_w และ ให้อยู่ในรูปของค่าคงที่ ได้ดังนี้

5.2.2 สมการสำเร็จรูปเพื่อหาภาระทำความเย็นหลังปรับปรุงในหน่วย SI

$$CL_{Post} = \frac{F_{Post} \times (T_{CHR,Post} - T_{CHS,Post})}{50.40}$$

$$CL_{Post} = \text{ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton}_R\text{)}$$

$$F_{Post} = \text{อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (L/min)}$$

$$T_{CHS,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (}^{\circ}\text{C)}$$

$$T_{CHR,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (}^{\circ}\text{C)}$$

5.2.3 สมการสำเร็จรูปเพื่อหาภาระทำความเย็นหลังปรับปรุงในหน่วยอังกฤษ

$$CL_{Post} = \frac{F_{Post} \times (T_{CHR,Post} - T_{CHS,Post})}{23.97}$$

$$CL_{Post} = \text{ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton}_R\text{)}$$

$$F_{Post} = \text{อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (GPM, Gallon/min)}$$

$$T_{CHS,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (}^{\circ}\text{F)}$$

$$T_{CHR,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (}^{\circ}\text{F)}$$

หมายเหตุ :

จากแบบจำลองเห็นได้ว่า จำนวนตัวแปรอิสระหลังปรับปรุง ไม่เท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระก่อนปรับปรุง โดยไม่มีตัวแปรพลังงานจากเครื่องทำน้ำเย็นหรือคอมเพรสเซอร์หลังปรับปรุง แต่กลับมีตัวแปรพลังงานที่ป้อนสารละลายเข้ามาแทน (พลังงานที่ใช้น้อยกว่าเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอมาก) และตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้ามาอีก 1 ตัวได้แก่พลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม ซึ่งการที่จะได้มาซึ่งผลประหยัดของมาตรการนี้จะขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการสร้างความร้อนนี้ โดยทั่วไปได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าในกรณีที่ความร้อนที่ใช้เป็นความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต

กรณีที่ค่าใช้จ่ายในการสร้างความร้อนหรือใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงที่มีต้นทุนพลังงานเข้ามาเสริมระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึมให้ทำงานได้สมบูรณ์ ให้นำค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นมาคำนวณผลประหยัดด้วย

6.

การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

6.1 ผลประหยัดพลังงาน

ผลประหยัดพลังงานของมาตรการนี้ให้พิจารณาแยกเป็น 2 ส่วนคือพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

6.1.1 ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า

$$E_{Save} = E_{Pre} - E_{Post,adj}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Save}} &= \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานที่ประหยัดได้ (kWh/y)} \\
 E_{\text{Pre}} &= \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานก่อนปรับปรุง (kWh/y)} \\
 E_{\text{Post,adj}} &= \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานหลังปรับปรุงที่ปรับแก้ค่า (kWh/y)}
 \end{aligned}$$

6.1.2 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานหลังปรับปรุงที่ปรับแก้ค่า

การปรับแก้ค่าพลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลประหยัดพลังงาน ให้ยึดตามสมมติฐานว่า ระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึมหลังปรับปรุงทำงานที่ภาระทำความเย็นเดียวกันกับระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง สามารถปรับแก้ค่าได้จากสมการดังนี้

$$E_{\text{Post,adj}} = SEC_{\text{Post,elec}} \times CL_{\text{Pre}} \times H$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 SEC_{\text{Post,elec}} &= \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง} \frac{\text{kW}_{\text{elec}}}{\text{Ton}_R} \\
 CL_{\text{Pre}} &= \text{ภาระทำความเย็นก่อนการปรับปรุง (Ton}_R\text{)} \\
 H &= \text{ชั่วโมงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นพื้นฐาน (h/y)}
 \end{aligned}$$

6.1.3 พลังงานความร้อน

พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ของมาตรการนี้ ส่วนมากจะเป็นความร้อนทิ้ง (Waste Heat) ที่สามารถนำกลับมาใช้ (Recovery) ดังนั้นถ้ามาตรการนี้ใช้พลังงานความร้อนทิ้งจากไอน้ำเหลือทิ้งที่มาจากกระบวนการอื่น ๆ คณะตรวจวัดและพิสูจน์ผลสามารถวัดอัตราการไหลของไอน้ำและแรงดันไอน้ำเพื่อนำไปคำนวณหาความร้อนทิ้งที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ดังนี้

$$Q_{\text{Save}} = \dot{m}_s (h_{g1} - h_{g2})$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Save}} &= \text{ความร้อนทิ้งที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ (kW}_{\text{heat}}\text{)} \\
 \dot{m}_s &= \text{อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำที่ผ่านเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม (kg/s)} \\
 h_{g1} &= \text{เอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัวขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม (kJ/kg)} \\
 h_{g2} &= \text{เอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัวขาออกเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม (kJ/kg)}
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : ค่าเอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัว (h_g) สามารถหาค่าได้จากตารางเทอร์โมไดนามิกส์

6.1.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง (พลังงานไฟฟ้า)

$$SEC_{\text{Pre}} = \left[\frac{(P_{\text{CH}} + P_{\text{CHP}} + P_{\text{CDP}})}{CL} \right]_{\text{Pre}}$$

โดยที่

$$SEC_{\text{Pre}} = \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง (kW}_{\text{elec}}\text{/Ton}_R\text{)}$$

$$\begin{aligned} P_{CH,Pre} &= \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kW}_{elec}) \\ P_{CHP,Pre} &= \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kW}_{elec}) \\ P_{CDP,Pre} &= \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนก่อนปรับปรุง (kW}_{elec}) \\ CL_{Pre} &= \text{ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง (Ton}_R) \end{aligned}$$

6.1.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุงแบ่งได้อีก 2 กรณี คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

6.1.5.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะหลังปรับปรุง

$$SEC_{Post,elec} = \left[\frac{(P_{SP} + P_{CHP} + P_{CDP})}{CL} \right]_{Post}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} SEC_{Post} &= \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะหลังปรับปรุง (kW}_{elec}/\text{Ton}_R) \\ P_{CH,Post} &= \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kW}_{elec}) \\ P_{CHP,Post} &= \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kW}_{elec}) \\ P_{CDP,Post} &= \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนหลังปรับปรุง (kW}_{elec}) \\ CL_{Post} &= \text{ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton}_R) \end{aligned}$$

6.1.5.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะหลังปรับปรุง

$$SEC_{Post,heat} = \left[\frac{Q_{save}}{CL} \right]_{Post}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} SEC_{Post} &= \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะหลังปรับปรุง} \\ &\quad \left(\frac{\text{kW}_{heat}}{\text{Ton}_R}, \frac{\text{kg}_{Steam}/\text{h}}{\text{Ton}_R} \right) \\ Q_{Save} &= \text{ความร้อนที่ถูกลำเลียงกลับมาใช้ประโยชน์ (kW}_{heat}) \\ CL_{Post} &= \text{ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton}_R) \end{aligned}$$

6.2 ผลประหยัดทางการเงินปีฐาน

ผลประหยัดทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐานของระบบทำน้ำเย็น ตามมาตรฐานนี้ให้เปรียบเทียบจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็น (Specific Energy Cost of Chiller System) ในหน่วย บาทต่อตันความเย็น (Baht/Ton_R) จากนั้นจึงนำค่าก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงมาเปรียบเทียบกัน

6.2.1 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง

$$SECC_{Pre} = (P_{Pre} \times h_{Pre} \times C_E) / CL_{Pre,adj}$$

โดยที่

- $SECC_{Pre}$ = ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็น (Specific Energy Cost of Chiller System) ก่อนปรับปรุง (Baht/Ton_R)
- P_{Pre} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของอุปกรณ์ทั้งระบบทำความเย็นก่อนการปรับปรุง (kW)
- h_{Pre} = ชั่วโมงที่ใช้ในการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง (h)
- C_E = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญาพลังงาน หรือ EPC (Baht/kWh)
- $CL_{Pre,adj}$ = ภาระความเย็นจากการตรวจวัดก่อนปรับปรุงที่ปรับแก้ค่าแล้ว (Ton_R)

6.2.2 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง

$$SECC_{Post} = [(P_{Post} \times h_{Post} \times C_E) + (m_s \times C_s)] / CL_{Post,adj}$$

โดยที่

- $SECC_{Post}$ = ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็น (Specific Energy Cost of Chiller System) หลังปรับปรุง (Baht/Ton_R)
- h_{Post} = ชั่วโมงที่ใช้ในการตรวจวัดหลังการปรับปรุง (h)
- C_E = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC (Baht/kWh)
- m_s = มวลไอน้ำรวมที่ใช้ระหว่างตรวจวัดหลังปรับปรุง (kg_{Steam})
- C_s = ค่าใช้จ่ายในการผลิตไอน้ำหลังปรับปรุง (Baht/kg_{Steam})
- $CL_{Post,adj}$ = ภาระความเย็นจากการตรวจวัดหลังปรับปรุงที่ปรับแก้ค่าแล้ว (Ton_R)

6.2.3 เปอร์เซ็นต์ผลประหยัดทางการเงิน

$$SP = (SECC_{Pre} - SECC_{Post}) \times 100\% / SECC_{Pre}$$

โดยที่

- SP = เปอร์เซ็นต์ผลประหยัดทางการเงิน (%)
- $SECC_{Pre}$ = ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็น (Specific Energy Cost of Chiller System) ก่อนปรับปรุง (Baht/Ton_R)
- $SECC_{Post}$ = ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็น (Specific Energy Cost of Chiller System) หลังปรับปรุง (Baht/Ton_R)

6.2.4 ผลประหยัดทางการเงินปีฐาน (กรณีมีค่าใช้จ่ายในการผลิตความร้อน)

กรณีที่มาตรการนี้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตความร้อนมาใส่ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมให้หาคำตอบจากสมการตามหัวข้อ 6.2.1, 6.2.2 และ 6.2.3 ตามลำดับก่อนแล้วจึงนำค่า SP มาใช้ในสมการดังนี้

$$SP = \left[1 - \frac{SP}{100} \right] \times \left[\frac{CL_{Pre,adj}}{h_{Pre}} \right] \times SECC_{Pre} \times H$$

C_{Save}	=	จำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน (Bath/y)
S_p	=	เปอร์เซ็นต์ผลประหยัดทางการเงิน (%)
$C_{LPre,adj}$	=	ภาระความเย็นจากการตรวจวัดก่อนปรับปรุงที่ปรับแก้ค่าแล้ว (Ton_R)
h_{Pre}	=	ชั่วโมงที่ใช้ในการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง (h)
$SECC_{Pre}$	=	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็น (Specific Energy Cost of Chiller System) ก่อนปรับปรุง (Baht/ Ton_R)
H	=	ชั่วโมงการทำงานของระบบทำน้ำเย็นปีฐาน (h/y)

6.2.5 ผลประหยัดทางการเงินปีฐาน (กรณีไม่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตความร้อน)

กรณีความร้อนที่ใช้ในการขับเคลื่อนระบบทำความเย็นแบบดูดซึมเป็นความร้อนทั้ง 100% ความหมายคือถ้าไม่นำความร้อนทั้งมาใช้ สถานประกอบการต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านความร้อนนี้โดยเปล่าประโยชน์อยู่แล้ว ให้นำค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานความร้อนมาคำนวณรวมเป็นผลประหยัดทางการเงินได้ ดังนี้

$$C_{Save} = (E_{Save} \times C_E) + \left[\left(\frac{m_s}{h_{Post}} \right) \times C_s \times H \right]$$

โดยที่

C_{Save}	=	จำนวนเงินที่ประหยัดได้ (Bath/y)
E_{Save}	=	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)
C_E	=	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC (Baht/kWh)
m_s	=	มวลไอน้ำรวมที่ใช้ระหว่างตรวจวัดหลังปรับปรุง (kg_{Steam})
h_{Post}	=	ชั่วโมงที่ใช้ในการตรวจวัดหลังการปรับปรุง (h)
C_s	=	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไอน้ำหลังปรับปรุง (Baht/ kg_{Steam})
H	=	ชั่วโมงการทำงานของระบบทำน้ำเย็นปีฐาน (h/y)

หมายเหตุ : อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานโดยมากจะกำหนดจากอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเฉลี่ย ณ ปีที่ทำสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract : EPC) ถ้าบริษัทจัดการพลังงาน สถานประกอบการ และสถาบันการเงินเห็นพ้องต้องกันว่าควรใช้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอื่นเป็นฐานในการคำนวณ เช่น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ณ เดือนที่เซ็นสัญญา หรืออัตราค่าพลังงานแปรผันตามจริง หรือ อัตราค่าพลังงานหลังปรับปรุงให้ระบุลงใน EPC และข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7. วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล โดยทั่วไปตัวแปรหรือข้อมูลได้มาจาก 6 วิธีการได้แก่

7.1 ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

7.2 ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ข้อมูลที่ถูกบันทึกโดยพนักงานของสถานประกอบการ เช่นข้อมูลชั่วโมงทำงานของระบบทำน้ำเย็น ข้อมูลห้องพัก หรือข้อมูลพื้นที่ใช้งานระบบปรับอากาศ สามารถนำมาใช้ได้แต่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลควรตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งสถานประกอบการเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

7.3 ข้อมูลจากผู้ผลิต

บางครั้งผู้ผลิตเครื่องทำน้ำเย็น ได้ให้ข้อมูลการทดสอบอุปกรณ์ที่เสนอขายมาด้วย สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจวัดที่ใช้ตั้งาน

7.4 ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น

ตัวแปรหรือข้อมูลบางตัวสามารถหาได้จากสถาบันการตรวจวัดที่มีการตรวจวัดข้อมูลไว้ตลอดปี เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ หรือเว็บไซต์ต่างๆ ที่เชื่อถือได้ แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7.5 ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่

ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่ ส่วนมากไม่นิยมใช้ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล แต่ถ้ามีความจำเป็นสามารถนำมาใช้ได้ในส่วนที่สำคัญต่อการวิเคราะห์ผลประหยัด และต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7.6 ค่าแก้ไข หรือค่าปรับแก้

สำหรับ “ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้า” และ “ค่าแก้ไขภาระทำความเย็น” สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม ยังไม่ได้มีการวิจัยไว้ จึงให้ใช้วิธีการเลือกข้อมูลในช่วงที่มีสภาวะอากาศแวดล้อมใกล้เคียงกันระหว่างก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุงเป็นสำคัญ

8. รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลประหยัด มี 2 ชนิด ได้แก่ ตัวแปรหลักและตัวแปรควบคุม

8.1 ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลประหยัดพลังงาน ผลประหยัดทางการเงิน

8.2 ตัวแปรควบคุม หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการที่ ESCO เสนอขาย บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้น ทดสอบหลังปรับปรุงให้ยาวนานขึ้น และเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10%

8.3 คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	$P_{CH,Pre}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด หรือ 2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที
ตัวแปร	$P_{SP,Post}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสารละลายหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด หรือ 2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที
ตัวแปร	$P_{CHP,Pre}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที
ตัวแปร	$P_{CHP,Post}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำเย็นหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบให้ตรวจวัด ณ ตำแหน่ง ไฟฟ้าก่อนเข้าอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$P_{CDP,Pre}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$P_{CDP,Post}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบให้ตรวจวัด ณ ตำแหน่ง ไฟฟ้าก่อนเข้าอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	LF_{Pre}
หน่วย	-
ความหมาย	สัดส่วนภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด 2. การคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าที่เครื่องทำน้ำเย็น
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$T_{ON,Pre}$
หน่วย	-
ความหมาย	เวลาที่เครื่องทำน้ำเย็นทำงาน (ON Time) ก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด 2. การคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าที่เครื่องทำน้ำเย็น
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$T_{OFF,Pre}$
หน่วย	-
ความหมาย	เวลาที่เครื่องทำน้ำเย็นตัดการทำงาน (OFF Time) ก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด 2. การคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าที่เครื่องทำน้ำเย็น
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที
ตัวแปร	CL_{Pre}
หน่วย	Ton_R , BTU/h หรือ kW_{heat}
ความหมาย	ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. การคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกอัตราการไหลและอุณหภูมิน้ำเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที
ตัวแปร	CL_{Post}
หน่วย	Ton_R , BTU/h หรือ kW_{heat}
ความหมาย	ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. การคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกอัตราการไหลและอุณหภูมิน้ำเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม)
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที
ตัวแปร	F_{Pre}
หน่วย	L/min, L/s, m^3/min , m^3/s , GPM, ฯลฯ
ความหมาย	อัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ 2. มิเตอร์น้ำ 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตรและนาฬิกาจับเวลา 3. จดบันทึกตัวแปรต่างๆ จากปั๊มสูบน้ำเย็นเพื่อนำมาสร้างแบบจำลอง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	F_{Post}
หน่วย	L/min, L/s, m ³ /min, m ³ /s, GPM, ฯลฯ
ความหมาย	อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ 2. มิเตอร์น้ำ 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จัดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตรและนาฬิกาจับเวลา 3. จัดบันทึกตัวแปรต่างๆ จากปั๊มสูบน้ำเย็นเพื่อนำมาสร้างแบบจำลอง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$\dot{m}_{W,Pre}$
หน่วย	kg/s หรือ lb/s
ความหมาย	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ 2. มิเตอร์น้ำ 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	1. คำนวณจากอัตราการไหลและความหนาแน่นของน้ำเย็น
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$\dot{m}_{W,Post}$
หน่วย	kg/s หรือ lb/s
ความหมาย	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ 2. มิเตอร์น้ำ 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	1. คำนวณจากอัตราการไหลและความหนาแน่นของน้ำเย็น
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$Q_{in,Post}$, Q_{Save}
หน่วย	กิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat}) , ตันไอน้ำ (Ton_s), BTU/h
ความหมาย	พลังงานความร้อนป้อนเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง หรือพลังงานความร้อนทิ้งที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์หลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด 2. การคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลของสารทำงาน หรือ Steam Flow Meter
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	h_1, h_2
หน่วย	kJ/kg
ความหมาย	เอนทาลปีของไอน้ำ
แหล่งข้อมูล	1. ท่อไอน้ำเข้า(1) และออก(2) ของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม
วิธีการตรวจวัด	1. ตรวจวัดความดันไอน้ำ 2. ตรวจวัดอุณหภูมิไอน้ำ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	$\dot{m}_s$
หน่วย	kg/s หรือ lb/s
ความหมาย	อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อไอน้ำเข้าเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม
วิธีการตรวจวัด	1. ติดตั้ง Steam Flow Meter ที่ท่อไอน้ำเข้าเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม 2. ติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	h_{Pre}
หน่วย	h
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นขณะตรวจวัดก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้ข้อมูลเวลาจากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	h_{Post}
หน่วย	h
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นขณะตรวจวัดหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้ข้อมูลเวลาจากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าหลังการปรับปรุง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	T_{CHS}
หน่วย	$^{\circ}C, ^{\circ}F$
ความหมาย	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่าย
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	T_{CHR}
หน่วย	$^{\circ}C, ^{\circ}F$
ความหมาย	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับ
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	T_{CDS}
หน่วย	$^{\circ}C, ^{\circ}F$
ความหมาย	อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนด้านเข้าระบบ
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	T_{amb}
หน่วย	$^{\circ}C, ^{\circ}F$
ความหมาย	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที

ตัวแปร	RH_{amb}
หน่วย	%
ความหมาย	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ใช้สำหรับเลือกข้อมูลมาเปรียบเทียบสภาวะการทำงาน ก่อนและหลังปรับปรุง โดยจะถือว่าถ้าความชื้นสัมพัทธ์เกิน 95% คือสภาวะฝนตก
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 1 นาที
ตัวแปร	C_p
หน่วย	$\left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} , \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \right)$
ความหมาย	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น
แหล่งข้อมูล	1. จากตารางคุณสมบัติของน้ำทางเทอร์โมไดนามิกส์ 2. จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที
ตัวแปร	E_{Pre}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	E_{Post}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$E_{Post,adj}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงที่ปรับแก้ค่าแล้ว
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	SEC_{Pre}
หน่วย	kW/Ton _R
ความหมาย	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (พลังงานไฟฟ้า)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	$SEC_{Post,elec}$
หน่วย	kW/Ton _R
ความหมาย	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (พลังงานไฟฟ้า)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	$SEC_{Post,heat}$
หน่วย	$kW_{heat}/Ton_R, kg_{Steam}/h/Ton_R$
ความหมาย	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (พลังงานความร้อน)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$SECC_{Pre}$
หน่วย	Baht/Ton _R
ความหมาย	ความใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (ราคาพลังงานไฟฟ้า/ตันความเย็นที่ใช้งานจริง)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	$SECC_{Post}$
หน่วย	Baht/Ton _R
ความหมาย	ความใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (ราคาพลังงานไฟฟ้ารวมกับพลังงานความร้อน/ตันความเย็นที่ใช้งานจริง)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	E_{Save}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	C_E
หน่วย	Baht/kWh
ความหมาย	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC
แหล่งข้อมูล	คำนวณจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าของสถานประกอบการ ระยะเวลา 12 เดือน
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 30 วัน

ตัวแปร	C_s
หน่วย	Bath/kg _{Steam}
ความหมาย	อัตราค่าผลิตไอน้ำหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัดที่มิเตอร์ไอน้ำ และบันทึกข้อมูลค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไอน้ำ
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 30 วัน
ตัวแปร	C_{Save}
หน่วย	Bath/y, บาท/ปี
ความหมาย	จำนวนเงินที่ประหยัดได้
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลการวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	SP
หน่วย	% หรือ ร้อยละ
ความหมาย	เปอร์เซ็นต์ผลประหยัด
แหล่งข้อมูล	จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิตความเย็นจำเพาะก่อนและหลังการปรับปรุงในหน่วย Baht/Ton _R
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-
ตัวแปร	R
หน่วย	ห้อง, Units, พื้นที่, ปริมาตรอากาศ, ฯลฯ
ความหมาย	ภาระการใช้งานระบบทำความเย็นของสถานประกอบการ
แหล่งข้อมูล	1. จากสถานประกอบการ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุกวัน ขณะทำการตรวจวัด

ตัวห้อยท้ายตัวแปร	Pre
ความหมาย	สถานะของตัวแปรก่อนการปรับปรุง
ตัวห้อยท้ายตัวแปร	Post
ความหมาย	สถานะของตัวแปรหลังการปรับปรุง

9. บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	30/09/2016	คู่มือ M&V ฉบับที่ 4
1	10/04/2017	แก้ไขตามคำแนะนำผู้ทรงคุณวุฒิ



แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน : มาตรการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตความร้อน (Solar Thermal Energy) รหัสมาตรการ TEM&V-016 : 2559

1. คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

- 1.1 วิธีการนี้ใช้กับมาตรการด้านพลังงานทดแทนที่มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตความร้อนเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิตของสถานประกอบการ หรือปรับปรุงประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนเดิมของสถานประกอบการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
- 1.2 วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพระบบผลิตความร้อนเดิมที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลัก แล้วปรับเปลี่ยนวิธีการมาใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่ยังคงมีการใช้พลังงานไฟฟ้า แต่มีวัตถุประสงค์จะใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยลงในการผลิตความร้อน
- 1.3 ระบบควบคุมไฟฟ้าของวิธีการผลิตความร้อนเดิม และระบบผลิตน้ำร้อนและปั๊มสูบน้ำที่ใช้ในมาตรการสามารถติดตั้งเครื่องมือเพื่อตรวจวัดแยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่นๆ ของสถานประกอบการได้
- 1.4 ภาระงานของระบบผลิตความร้อน ได้แก่ความสามารถในการทำความร้อนให้ระบุในหน่วย กิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat}) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)
- 1.5 วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานตามแนวทางที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ คำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความแม่นยำในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลให้สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการ

2. รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน

การเลือกรูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานของแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ นี้ อ้างอิงระเบียบวิธีการของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมีให้เลือกใช้ได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ที่แสดงในเอกสารฉบับนี้ เป็นการใช้นโยบายการตรวจวัดและพิสูจน์ผล รูปแบบ B การตรวจวัดตาม มาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation) มาประยุกต์ใช้กับมาตรการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตความร้อน

กรรมวิธีการตรวจวัดตามแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลนี้ จะเน้นการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดร่วมกับข้อมูลจากสถานประกอบการและการประมาณการด้านพฤติกรรมใช้งาน เช่น เวลาทำงานของระบบผลิตความร้อนตลอดปี การหาภาระความร้อนตลอดปีจากตัวแทนข้อมูลภาระความร้อนที่ได้จากการตรวจวัด โดยดัชนีที่ใช้ในการชี้วัดผลประหยัดจะพิจารณาจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบผลิตความร้อน (Specific Energy Consumption) ในหน่วย กิโลวัตต์ไฟฟ้าต่อกิโลวัตต์ความร้อน ($\text{kW}_{\text{elec}}/\text{kW}_{\text{heat}}$) หรือ กิโลวัตต์ไฟฟ้าต่อบิตูต่อชั่วโมง ($\text{kW}_{\text{elec}}/\text{BTU/h}$)

3. การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

3.1 ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของ ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามระเบียบวิธีการของ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากสถานประกอบการแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลประหยัด ตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ที่มาของข้อมูลต่างๆ และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

3.2 รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามหัวข้อที่แสดงไว้ในข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล (3.1) เป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักอย่างน้อย 3 บท ได้แก่

3.2.1 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

3.2.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

3.2.3 การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และจัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

4. การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

4.1 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงของระบบผลิตความร้อน ประกอบไปด้วยตัวแปรหลัก ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ขจัดความร้อน (Heater) ตัวแปรควบคุมที่สำคัญคืออุณหภูมิใช้งาน โดยมีฟังก์ชันความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและตัวแปรหลัก ดังนี้

4.1.1 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของระบบผลิตความร้อนก่อนการปรับปรุง

$$E_{Pre} = f(E_{Heater,Pre})$$

$$E_{Pre} = E_{Heater,Pre}$$

โดยที่

$$E_{Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของระบบผลิตความร้อนก่อนการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{Heater,Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$TC_{Pre} = \text{อุณหภูมิใช้งานควบคุมก่อนการปรับปรุง (°C)}$$

4.1.2 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของระบบผลิตความร้อนก่อนการปรับปรุง

การหาค่าพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของระบบผลิตความร้อนที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายคือการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดได้แก่ ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (f_1)_{Pre} ดังนี้

พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง

$$E_{Heater,Pre} = f_1(P_{Heater}, LF_{Heater}, H)_{Pre}$$

$$E_{Heater,Pre} = P_{Heater,Pre} \times LF_{Heater,Pre} \times H$$

โดยที่

$$E_{Heater,Pre} = \text{พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$P_{Heater,Pre} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง (kW)}$$

$$LF_{Heater,Pre} = \text{สัดส่วนภาระงานของขดลวดความร้อนที่ใช้ผลิตความร้อน (fraction)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตความร้อนพื้นฐาน (h/y)}$$

4.2 การคำนวณภาระงาน

ภาระงานของระบบผลิตความร้อน คือ ภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน โดยทั่วไปตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อภาระความร้อนได้แก่ อุณหภูมิควบคุมใช้งาน และอุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่ระบบ โดยมากเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิเท่ากับสภาวะแวดล้อม ปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบได้แก่การสูญเสียอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพของระบบผลิตความร้อนแตกต่างกันไปตามสถานการณ์ประกอบการ โดยฟังก์ชันความสัมพันธ์ของภาระความร้อนก่อนปรับปรุง (g)_{Pre} สามารถเขียนได้ดังนี้

$$HL_{Pre} = g(\dot{m}, T_{in}, T_{out}, C_p)_{Pre}$$

$$HL_{Pre} = \dot{m}_{Pre} \times C_p \times (T_{out} - T_{in,Pre})$$

$$\dot{m}_{Pre} = \rho_o \times \dot{V}_o$$

โดยที่ ความหมายของตัวแปรในสภาวะก่อนปรับปรุง อธิบายดังนี้

$$HL_{Pre} = \text{ภาระทำความร้อนก่อนปรับปรุง กิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat}) หรือบีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)}$$

$$\dot{V}_o = \text{อัตราการไหลของสารตัวกลางในกรณีนี้คืออากาศ (m³/s, ft³/s)}$$

$$T_{in,Pre} = \text{อุณหภูมิสารตัวกลางขาเข้าระบบผลิตความร้อน (°C, °F)}$$

$T_{out,Pre}$	=	อุณหภูมิสารตัวกลางด้านจ่ายของระบบผลิตความร้อน ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$)
$T_{amb,Pre}$	=	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$)
$C_{p,Pre}$	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารตัวกลาง ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, $\frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^{\circ}\text{F}}$)
$\dot{m}_{pre}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของสารตัวกลาง (kg/s , lb/s)
ρ_a	=	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3 , lb/ft^3)

5. การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

5.1 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบไปด้วยตัวแปรหลักได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มสูบน้ำร้อน และพลังงานไฟฟ้าของระบบสำรองความร้อนอาจใช้ปั๊มความร้อนหรือขดลวดความร้อนก็ได้ โดยระบบสำรองความร้อนควรควบคุมการทำงานอัตโนมัติเมื่อเงื่อนไขการทำงานเฉพาะกรณีที่แสงแดดไม่เพียงพอ สำหรับฟังก์ชันความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงและตัวแปรหลักสามารถเขียนได้ ดังนี้

5.1.1 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์หลังการปรับปรุง

$$E_{Post} = f(E_{HP,Post}, E_{HWP,Post})$$

$$E_{Post} = E_{HP,Post} + E_{HWP,Post}$$

โดยที่

$$E_{Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนหลังการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{HP,Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อนหลังการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{HWP,Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของปั๊มสูบน้ำร้อนหลังการปรับปรุง (kWh/y)}$$

ในกรณีที่ใช้ขดลวดความร้อนเป็นพลังงานสำรองขณะที่แสงแดดไม่เพียงพอ ตัวแปร $E_{HP,Post}$ ควรเปลี่ยนเป็น $E_{Heater,Post}$ เพื่อความถูกต้องและเหมาะสม

5.1.2 พลังงานไฟฟ้าของปั๊มสูบน้ำร้อนหลังปรับปรุง

$$E_{HWP,Post} = f_1(P_{HWP}, LF, H)_{Post}$$

$$E_{HWP,Post} = P_{HWP,Post} \times LF_{HWP} \times H$$

โดยที่

$$P_{HWP,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนหลังปรับปรุง (kW)}$$

$$LF_{HWP,Post} = \text{สัดส่วนภาระงานของปั๊มสูบน้ำร้อนหลังปรับปรุง (fraction)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพื้นฐาน (h/y)}$$

5.1.3 พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของระบบสำรองความร้อนหลังการปรับปรุง (ปั๊มความร้อน หรือขดลวดความร้อนสำหรับให้ความร้อนในถังน้ำ)

การหาค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบสำรองความร้อนหลังการปรับปรุง อาจใช้ปั๊มความร้อน (HP) หรือขดลวดความร้อน (Heater) สำหรับให้ความร้อนในถังน้ำก็ได้ การเขียนสมการเป็นไปตามฟังก์ชันความสัมพันธ์ f_2 ดังนี้

พลังงานไฟฟ้าของระบบสำรองความร้อน (ปั๊มความร้อน) หลังการปรับปรุง โดยวิธีการตรวจวัด

$$E_{HP,Post} = f_2(P_{HP}, LF, H)_{Post}$$

$$E_{HP,Post} = P_{HP,Post} \times L_{FHP,Post} \times H$$

โดยที่

$$E_{HP,Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$P_{HP,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง (kW)}$$

$$LF_{HP,Post} = \text{สัดส่วนภาระงานของปั๊มความร้อนหลังการปรับปรุง (fraction)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนปีฐาน (h/y)}$$

ในกรณีที่ใช้ขดลวดความร้อนเป็นพลังงานสำรอง Sub Script HP ควรเปลี่ยนเป็น Heater เพื่อความถูกต้องและเหมาะสม

5.2 การคำนวณภาระงาน

ภาระงานของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์หลังปรับปรุง คือ ภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้งานหลังปรับปรุง สามารถสร้างสมการด้วยตัวแปรรูปแบบเดิมที่เคยใช้คำนวณสภาวะก่อนปรับปรุงโดยเปลี่ยนสารตัวกลางจากอากาศเป็นน้ำ สำหรับฟังก์ชันความสัมพันธ์ของภาระความร้อนหลังปรับปรุง (g_{Post}) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$HL_{Post} = g(\dot{m}, T_{HWS}, T_{HWR}, C_p)_{Post}$$

$$HL_{Post} = \dot{m}_{Post} \times C_p \times (T_{HWS} - T_{HWR,Post})$$

$$\dot{m}_{Post} = \rho_w \times \dot{V}_w$$

โดยที่ ความหมายของตัวแปรในสภาวะหลังปรับปรุง อธิบายดังนี้

$$HL_{Post} = \text{ภาระความร้อนหลังปรับปรุง กิโลวัตต์ความร้อน (kW}_{heat}) \text{ หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)}$$

$$T_{HWS,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำร้อนด้านจ่ายของระบบผลิตน้ำร้อน (°C, °F)}$$

$$T_{HWR,Post} = \text{อุณหภูมิน้ำร้อนด้านกลับของระบบผลิตน้ำร้อน (°C, °F)}$$

$$T_{amb,Post} = \text{อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน (°C, °F)}$$

$$C_{p,Post} = \text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อน } \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}, \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\dot{m}_{Post} = \text{อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำร้อน (kg/s, lb/s)}$$

$$\dot{V}_w = \text{อัตราการไหลของน้ำร้อน (m}^3/\text{s, ft}^3/\text{s, ฯลฯ)}$$

$$\rho_w = \text{ความหนาแน่นของน้ำร้อน (kg/m}^3, \text{lb/ft}^3)$$

หมายเหตุ : จำนวนตัวแปรอิสระหลังปรับปรุง สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ ถือเป็นกรณีพิเศษที่มีความจำเป็นในการตรวจวัดไม่สามารถตัดออกจากการคำนวณได้ เพราะการใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์ต้องมีระบบสำรองความร้อนซึ่งแตกต่างกันไปตามผู้ออกแบบระบบ

6.

การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

6.1 ผลประหยัดพลังงาน

ผลประหยัดพลังงานของระบบผลิตความร้อนทั้งก่อนปรับปรุง (ขดลวดความร้อน) และหลังปรับปรุง (พลังงานแสงอาทิตย์) จะพิจารณาจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) การคำนวณหาผลประหยัดพลังงานปีฐานจะใช้การปรับแก้ (adjustment) โดยนำค่าภาระความร้อนที่เกิดขึ้น ณ สภาวะก่อนการปรับปรุง มาสร้างสมมติฐานว่าหลังปรับปรุงที่ภาระความร้อนเท่ากันกับก่อนปรับปรุงจะใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าไร จากนั้นจึงคิดออกมาเป็นค่าพลังงานปีฐานหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความยุติธรรมในการเปรียบเทียบ

6.1.1 สมการการหาผลประหยัดพลังงาน

$$E_{\text{Save}} = E_{\text{Pre}} - E_{\text{Post,adj}}$$

โดยที่

$$E_{\text{Save}} = \text{พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/y)}$$

$$E_{\text{Pre}} = \text{พลังงานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{\text{Post}} = \text{พลังงานที่ใช้หลังปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{\text{Post,adj}} = \text{พลังงานที่ใช้หลังการปรับปรุงที่ปรับแก้ค่าแล้ว (kWh/y)}$$

6.1.2 สมการหาพลังงานหลังปรับปรุงปีฐานที่ปรับแก้ค่าเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

$$E_{\text{Post,adj}} = \text{SEC}_{\text{Post}} \times \text{HL}_{\text{Pre}} \times H$$

โดยที่

$$E_{\text{Post,adj}} = \text{พลังงานปีฐานที่ใช้หลังการปรับปรุงที่ปรับแก้ค่าตามสมมติฐานว่าระบบผลิตความร้อนเทียบเท่าสภาวะก่อนปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$\text{SEC}_{\text{Post}} = \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง} \left(\frac{\text{kW}_{\text{elec}}}{\text{kW}_{\text{heat}}} \right)$$

$$\text{HL}_{\text{Pre}} = \text{ภาระทำความร้อน กิโลวัตต์ความร้อน (kW}_{\text{heat}}) \text{ หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)}$$

$$H = \text{ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตความร้อนปีฐาน (h/y)}$$

6.1.3 สมการหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

6.1.3.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง

$$\text{SEC}_{\text{Pre}} = \left[\frac{P_{\text{Heater}}}{\text{HL}} \right]_{\text{Pre}}$$

โดยที่

$$\text{SEC}_{\text{Pre}} = \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง} \left(\frac{\text{kW}_{\text{elec}}}{\text{kW}_{\text{heat}}} \right)$$

$$P_{\text{Heater,Pre}} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง (kW}_{\text{elec}})$$

$$\text{HL}_{\text{Pre}} = \text{ภาระความร้อนก่อนปรับปรุง กิโลวัตต์ความร้อน (kW}_{\text{heat}}) \text{ หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)}$$

6.1.3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง

$$SEC_{Post} = \left[\frac{P_{HP} + P_{HWP}}{HL} \right]_{Post}$$

โดยที่

$$SEC_{Post} = \text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง} \left(\frac{kW_{elec}}{kW_{heat}} \right)$$

$$P_{HP,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง} (kW_{elec})$$

$$P_{HWP,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มน้ำร้อนหลังปรับปรุง} (kW_{elec})$$

$$HL_{Post} = \text{ภาระความร้อนหลังปรับปรุง กิโลวัตต์ความร้อน} (kW_{heat}) \text{ หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)}$$

6.1.4 เปอร์เซ็นผลประหยัดพลังงาน

$$SP = \left[\frac{(SEC_{Pre} - SEC_{Post})}{SEC_{Pre}} \right] \times 100\%$$

$$SP = \text{เปอร์เซ็นผลประหยัดพลังงาน (Energy Saving Percent) หรือ ร้อยละของผลประหยัด (\%)}$$

6.2 ผลประหยัดทางการเงิน

ผลประหยัดทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ของระบบผลิตความร้อน ให้เปรียบเทียบกับการทำงานที่สมมติฐานทั้งก่อนและหลังปรับปรุงอาจกล่าวได้ว่า “ระบบผลิตความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานที่ภาระความร้อนเท่ากับระบบผลิตความร้อนด้วยขดลวดความร้อน” กล่าวคือ สมการตามข้อ 6.1.1 นำมาคูณด้วยอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C_{Save} = E_{Save} \times C_E$$

โดยที่

$$C_{Save} = \text{จำนวนเงินที่ประหยัดได้ (Bath/y)}$$

$$E_{Save} = \text{พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/y)}$$

$$C_E = \text{อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญาพลังงาน หรือ EPC (Bath/kWh)}$$

หมายเหตุ : อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานโดยมากจะกำหนดจากอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเฉลี่ย ณ ปีที่ทำสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract : EPC) ถ้าบริษัทจัดการพลังงาน สถานประกอบการ และสถาบันการเงินเห็นพ้องต้องกันว่าควรใช้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอื่นเป็นฐานในการคำนวณ เช่น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ณ เดือนที่เซ็นสัญญา หรืออัตราค่าพลังงานแปรผันตามจริง หรือ อัตราค่าพลังงานหลังปรับปรุงให้ระบุลงใน EPC และข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล



7. วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล โดยทั่วไปตัวแปรหรือข้อมูลได้มาจาก 7 วิธีการได้แก่

7.1 ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดควรนำมาพิจารณาพร้อมกับความเป็นจริงโดยใช้ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในการตรวจวัด บางครั้งข้อมูลที่เก็บบันทึกโดยช่างเทคนิคที่ประสบการณ์น้อยผิดพลาดจากปัจจัยอื่นๆ ที่รบกวนการตรวจวัด

7.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

กรณีใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ควรมีการอธิบายให้สถานประกอบการเข้าใจเหตุผลในการใช้แบบจำลองก่อนเพื่อป้องกันข้อพิพาทหลังได้รับผลการตรวจวัด

7.3 ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ข้อมูลที่ถูกบันทึกโดยพนักงานของสถานประกอบการ เช่นข้อมูลชั่วโมงทำงานของระบบผลิตความร้อนสามารถนำมาใช้ได้ แต่ขณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลควรตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อผิดพลาดผิดปกติให้แจ้งสถานประกอบการเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

7.4 ข้อมูลจากผู้ผลิต

บางครั้งผู้จำหน่ายระบบผลิตความร้อนจากแสงอาทิตย์ ได้ให้ข้อมูลการทดสอบอุปกรณ์ที่เสนอขายมาด้วยสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังข้อ 7.2 ได้ แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7.5 ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น

ตัวแปรหรือข้อมูลบางตัวสามารถหาได้จากสถาบันการตรวจวัดที่มีการตรวจวัดข้อมูลไว้ตลอดปี เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ หรือเว็บไซต์ต่างๆ ที่เชื่อถือได้ แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7.6 ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่

ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่ ส่วนมากไม่นิยมใช้ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล แต่ถ้ามีความจำเป็นสามารถนำมาใช้ได้ในส่วนที่ไม่สำคัญต่อการวิเคราะห์ผลประหยัด และต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7.7 ค่าแก้ไข หรือค่าปรับแก้

ค่าปรับแก้ ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ย ไม่เป็นไปตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 สำหรับงานด้านความร้อนเช่น ป้อนความร้อนหรือขดลวดความร้อนยังไม่มีกรวิจัยเพื่อหา “ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้า” และ “ค่าแก้ไขภาระความร้อน” แต่ถ้ามีการจัดทำขึ้นเมื่อใด ผู้ใช้สามารถประยุกต์ใช้ค่าปรับแก้เช่นเดียวกันกับระบบทำน้ำเย็น

8. รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลประหยัด มี 2 ชนิด ได้แก่ ตัวแปรหลักและตัวแปรควบคุม

8.1 ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลประหยัดพลังงาน และผลประหยัดทางการเงิน

8.2 ตัวแปรควบคุม หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการที่ ESCO เสนอขาย บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้น ทดสอบหลังปรับปรุงให้ยาวนานขึ้น และคัดเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10%

8.3 คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	$P_{\text{Heater,Pre}}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 5 นาที

ตัวแปร	$P_{\text{HP,Post}}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มความร้อนหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับความถี่ในการบันทึกค่าก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	$P_{\text{Heater,Post}}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของขดลวดความร้อนหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับความถี่ในการบันทึกค่าก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	$P_{HWP,Post}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบให้ตรวจวัด ณ ตำแหน่ง ไฟฟ้าก่อนเข้าอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 5 นาที

ตัวแปร	$LF_{Pre (Heater)}$
หน่วย	-
ความหมาย	ตัวประกอบภาระการทำงานของขดลวดความร้อนก่อนปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง, Counter
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 1 นาที

ตัวแปร	$LF_{Post} (Heat Pump or Auxiliary Heater)$
หน่วย	-
ความหมาย	ตัวประกอบภาระการทำงานของปั๊มความร้อนหรือขดลวดความร้อนหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง, Counter
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับความถี่ในการบันทึกค่าก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	H
หน่วย	h/y
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานต่อปี (ชั่วโมงการทำงานปีฐาน)
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริงในรอบวัน หรือ รอบสัปดาห์ ร่วมกับการประมาณการ 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องบันทึกเวลาการทำงาน 2. สอบถามหรือตรวจสอบจากบันทึกการทำงานของเครื่องจักรของสถานประกอบการ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงาน

ตัวแปร	$\dot{V}_a$
หน่วย	L/min, L/s, m ³ /min, m ³ /s, GPM, ฯลฯ
ความหมาย	อัตราการไหลของสารตัวกลางก่อนการปรับปรุง (ในกรณีนี้คืออากาศ)
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ / ท่ออากาศ 2. มิเตอร์น้ำ / Anemometer
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จัดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตรและนาฬิกาจับเวลา
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่ควรน้อยกว่าทุก 1 นาที

ตัวแปร	$\dot{V}_w$
หน่วย	L/min, L/s, m ³ /min, m ³ /s, GPM, ฯลฯ
ความหมาย	อัตราการไหลของน้ำร้อนหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำจ่าย 2. มิเตอร์น้ำ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จัดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตรและนาฬิกาจับเวลา
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่ควรน้อยกว่าทุก 1 นาที

ตัวแปร	h_{Pre}
หน่วย	h
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานของขดลวดความร้อนขณะตรวจวัดก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้ข้อมูลเวลาจากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับการวัดกำลังไฟฟ้าขณะทำการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	h_{Post}
หน่วย	h
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานของปั๊มความร้อน หรือขดลวดความร้อนขณะตรวจวัดหลังปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้ข้อมูลเวลาจากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าหลังการปรับปรุง
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับการวัดกำลังไฟฟ้าขณะทำการตรวจวัดหลังการปรับปรุง

ตัวห้อยท้ายตัวแปร	Pre
ความหมาย	สภาวะของตัวแปรก่อนการปรับปรุง
ตัวห้อยท้ายตัวแปร	Post
ความหมาย	สภาวะของตัวแปรหลังการปรับปรุง
ตัวแปร	T_{HWS}
หน่วย	°C, °F
ความหมาย	อุณหภูมิน้ำร้อนด้านจ่าย
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 5 นาที
ตัวแปร	THWR
หน่วย	°C, °F
ความหมาย	อุณหภูมิน้ำร้อนด้านกลับ
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 5 นาที
ตัวแปร	Tamb
หน่วย	°C, °F
ความหมาย	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	RH_{amb}
หน่วย	%
ความหมาย	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ใช้สำหรับเลือกข้อมูลมาเปรียบเทียบ
	สภาวะการทำงาน ก่อนและหลังปรับปรุง โดยจะถือว่าถ้าความชื้นสัมพัทธ์เกิน 95% คือสภาวะฝนตก
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ตัวแปร	C_p
หน่วย	$(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} , \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F})$
ความหมาย	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อน
แหล่งข้อมูล	1. จากตารางคุณสมบัติของสารตัวกลางทางเทอร์โมไดนามิกส์ 2. จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3. ค่าคงที่
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที
ตัวแปร	HL
หน่วย	$kW_{heat}, BTU/h$
ความหมาย	ภาระความร้อนในหน่วยกิโลวัตต์ความร้อน
แหล่งข้อมูล	จากการคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	-
ความถี่ในการแสดงผล	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	$E_{\text{Heater,Pre}}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง (Pre)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$E_{\text{HP,Post}}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของปั๊มความร้อนสภาวะหลังการปรับปรุง (Post)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$E_{\text{HWP,Pre}}$ และ $E_{\text{HWP,Post}}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของปั๊มสูบน้ำร้อนสภาวะก่อนการปรับปรุง (Pre) และสภาวะหลังการปรับปรุง (Post)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	E_{Pre}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	E_{Post}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานที่ใช้หลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$E_{Post,adj}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานที่ใช้หลังการปรับปรุงที่ปรับแก้ค่าแล้ว ตามสมมติฐานระบบทำงานที่ภาระความร้อนเดียวกันกับการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลังการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	E_{Save}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานที่ประหยัดได้
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

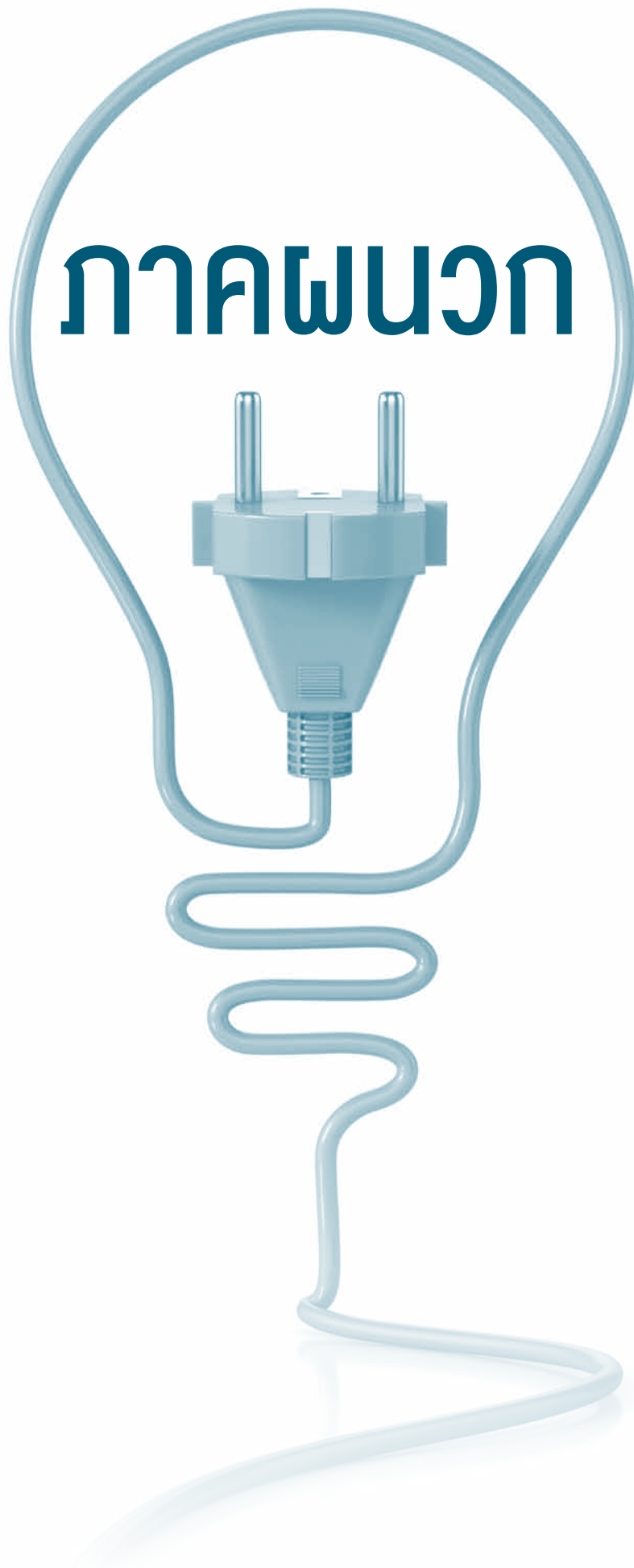
ตัวแปร	C_E
หน่วย	Bath/kWh
ความหมาย	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC
แหล่งข้อมูล	คำนวณจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าของสถานประกอบการ ระยะเวลา 12 เดือน
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุก 30 วัน

ตัวแปร	C_{Save}
หน่วย	Bath/y, บาท/ปี
ความหมาย	จำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลการวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-



9. บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	30/09/2016	คู่มือ M&V ฉบับที่ 4
1	31/01/2017	แก้ไขตามคำแนะนำของ ผู้ทรงคุณวุฒิ



ภาคผนวก





ภาคผนวก ก.

กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน :
มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น
(Chiller Retrofit or Chiller Efficiency Improvement)
รหัสมาตรการ TEM&V-013 : 2559

1. รายละเอียดมาตรการ

สถานประกอบการ A มีการใช้งานระบบปรับอากาศโดยใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ขนาด 450 Ton_R จำนวน 1 เครื่อง โดยเครื่องทำน้ำเย็นนี้เป็นอุปกรณ์หลักในระบบปรับอากาศของสถานประกอบการมาเป็นเวลานานมากกว่า 15 ปี ดังนั้นสถานประกอบการจึงต้องการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทดแทนของเดิม โดยไม่ได้ทำการเปลี่ยนปั๊มน้ำหรืออุปกรณ์อื่นๆ ในระบบทำน้ำเย็นนี้

การใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นเครื่องนี้เปิดใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ในระบบท่อน้ำสำหรับงานปรับอากาศ จากสถานะการใช้งานจริงที่ตรวจพบนี้ M&V Unit จะทำการตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นโดยวิเคราะห์จาก ค่าอุณหภูมิน้ำเย็นเข้าและออกของเครื่องทำน้ำเย็น, ค่าอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้าและออกคอนเดนเซอร์, ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม, ค่าความชื้นอากาศแวดล้อม, อัตราการไหลของน้ำเย็น, กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น เก็บข้อมูลต่อเนื่องโดยบันทึกค่าทุก 1 นาที เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลใช้ในการคำนวณหาผลประหยัด

2. แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด ใช้แนวทางการตรวจวัดอ้างอิงระเบียบวิธีการ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) รูปแบบ B (Option B) เป็นการตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation) โดยใช้พารามิเตอร์หลายตัวแปรในการวิเคราะห์ผล สำหรับเกณฑ์ในการพิจารณาสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น จะพิจารณาจากความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็น (Specific Energy Consumption of Chiller) ในหน่วยกิโลวัตต์ต่อตันความเย็น (kW/Ton_R)

3. การตรวจวัดและพิสูจน์ผลก่อนการปรับปรุง (Pre Measurement and Verification)

ความสามารถในการทำความเย็นก่อนปรับปรุง คำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$TR_{PRE} = [(\dot{m}_{wPre} \times c_p \times (T_{in} - T_{out})) \times 0.284345] / c_R$$

เมื่อ

TR_{PRE} คือ ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง (Ton_R)

$\dot{m}_{wPRE}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ยของน้ำเย็น (kg/s)

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)

T_{in} คือ อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ($^\circ C$)

T_{out} คือ อุณหภูมิน้ำเย็นออกเครื่องทำน้ำเย็น ($^\circ C$)

C_R คือ ค่าแก้ไขขนาดการทำความเย็น

กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง

$$P_{CH,PRE} = (P_{PRE} / C_E)$$

เมื่อ

$P_{CH,PRE}$ คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่ปรับแก้ค่าแล้ว (kw)

P_{PRE} คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุงที่ตรวจวัดได้ (kw)

C_E คือ ค่าแก้ไขพลังงานไฟฟ้า

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง

$$Ch_{PCH,PRE} = P_{Total\ PRE} / TR_{PRE}$$

เมื่อ

$Ch_{PCH,PRE}$ คือ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kw/Ton_R)

ระดับพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น ก่อนการปรับปรุง

$$E_{PRE} = ChP_{PRE} \times TR_{PRE} \times H_{year}$$

เมื่อ

E_{PRE} คือ ระดับพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kWh/y)

H_{year} คือ ชั่วโมงการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็น (ชั่วโมง/ปี)

3.1 วัน เวลา และคณะผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผล

วันและเวลาในการเข้าตรวจวัด สามารถแสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

วัน-เวลา	ผู้เข้าตรวจวัด	รายละเอียด
ทำการตรวจวัดตั้งแต่ 26 ตุลาคม 2559 เวลา 00:00 น. ถึง 27 ตุลาคม 2559 เวลา 00:00 น.	1. หัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญ พลังงาน 2. วิศวกรโครงการ 3. ช่างเทคนิค 1 4. ช่างเทคนิค 2	เข้าตรวจวัด Chiller ก่อนการปรับปรุง โดยทำการตรวจวัด เครื่องทำน้ำเย็น 1 บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที จำนวนบันทึก 1,441 ข้อมูล ช่วงเวลาในการบันทึก 24 ชั่วโมง

3.2 ข้อมูลที่ตรวจวัด

เพื่อคำนวณระดับพลังงานก่อนการปรับปรุง จึงทำการเก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ และ
ตัวแปรต่างๆ ที่เป็นสภาวะควบคุม ดังนี้

ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นก่อน การปรับปรุง $P_{CH\ PRE}$ (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
ความเร็วของน้ำเย็น V_w (m/s)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบ Ultrasonic
อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องทำน้ำเย็น T_{in} (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิน้ำออกเครื่องทำน้ำเย็น T_{out} (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ $T_{cond\ in}$ (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิน้ำออกคอนเดนเซอร์ $T_{cond\ out}$ (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม T_{air} (°C)	ตัวแปรควบคุม	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
ค่าความชื้นอากาศแวดล้อม RH_{air} (%)	ตัวแปรควบคุม	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าความชื้น อากาศ (Humidity Data Logger)
จำนวนชั่วโมงในการทำงาน H_{year} (hour/year)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด (ค่าจากการประเมิน)	8,760 ชั่วโมงต่อปี (ข้อมูลจากสถานประกอบการ)

3.3 ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด

เครื่องทำน้ำเย็นของสถานประกอบการ ก่อนปรับปรุงใช้คอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller Compressor) จำนวน 1 ชุด ในการตรวจวัดนี้ใช้ชื่อตัวแปร CH1 โดย M&V Unit ทำการตรวจวัดและพิสูจน์ผลเฉพาะส่วนที่ใช้งานจริงตามมาตรการ โดยตรวจวัด CH1 เป็นหลัก

อุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด	เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)
พิกัดทางไฟฟ้า	380 V 50 Hz
การใช้งาน	ระบบปรับอากาศภายในอาคาร



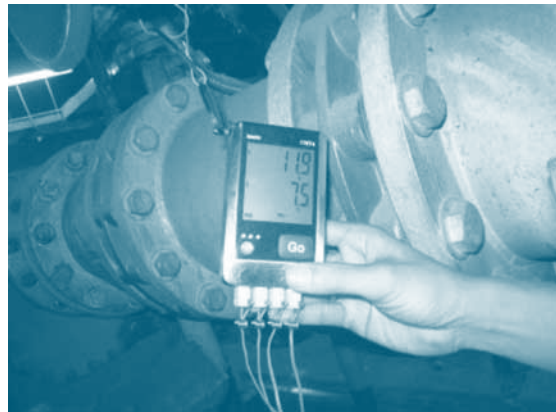
เครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง



การตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นด้วย Ultrasonic Flow Data Logger



การตรวจวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ



การตรวจวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ



การตรวจวัดและเก็บบันทึกข้อมูลกำลังไฟฟ้า

3.4 ผลการตรวจวัดก่อนปรับปรุง

ผลการตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง ของสถานประกอบการ แสดงดังตารางต่อไปนี้

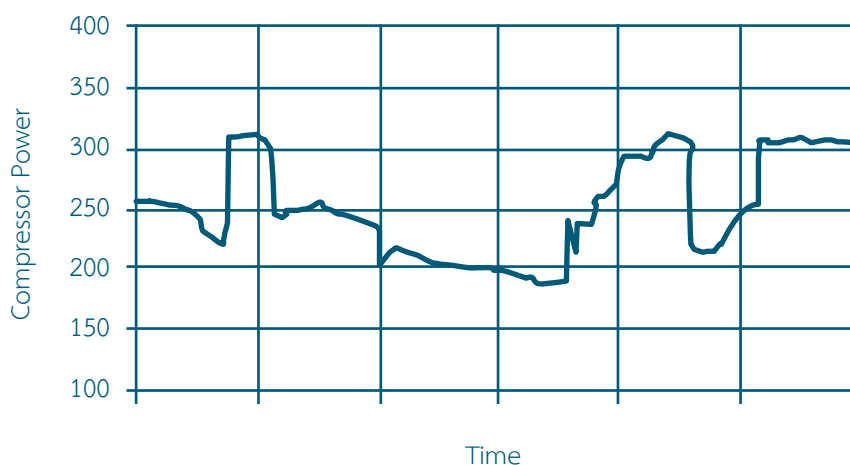
ตาราง 3.1 แสดงข้อมูลการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำความเย็น CH1 ก่อนปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้า CH1	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Average	226.47	421.68	83.127	227.44	428.80	84.634	227.23	417.15	81.727	249.488	0.87
Min	220.80	323.50	62.740	221.60	332.80	64.217	221.30	318.90	60.807	187.763	0.83
Max	231.30	527.10	103.869	232.50	529.00	104.667	231.90	518.50	102.454	310.957	0.88

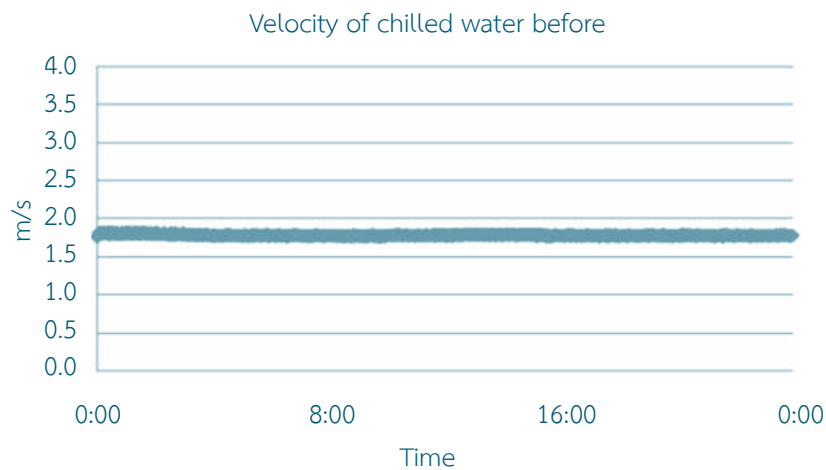
ตาราง 3.2 แสดงข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของน้ำที่เครื่องทำน้ำเย็น CH1 และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ก่อนปรับปรุง

อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำ เครื่องทำน้ำเย็น CH1	Ambience		Water temperature				Velocity of chilled
	Temp.	RH.	Inlet chilled	outlet chilled	Inlet cond	outlet cond	
	°C	%	°C	°C	°C	°C	
Average	30.85	53.55	11.15	7.63	26.63	29.68	1.79
Min	27.00	42.70	10.60	7.40	26.30	29.10	1.76
Max	33.00	67.40	11.60	7.90	26.90	29.90	1.82

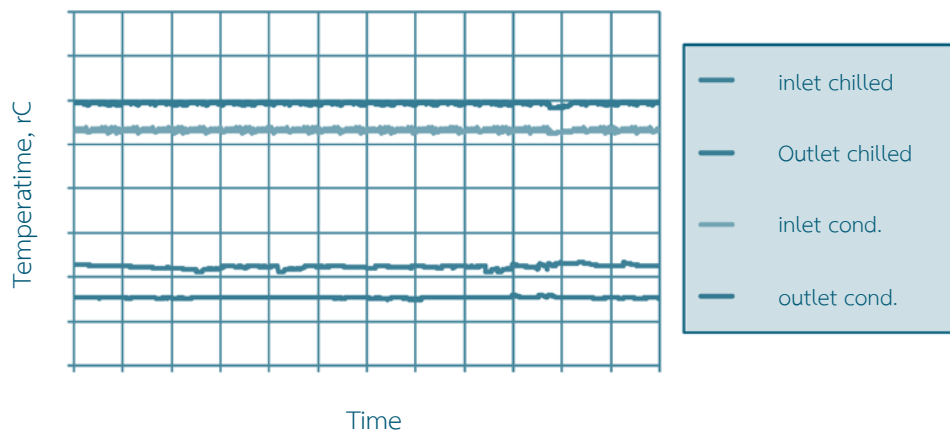
3.5 การวิเคราะห์ตัวแปรหลักในการคำนวณและตัวแปรควบคุม ก่อนการปรับปรุง



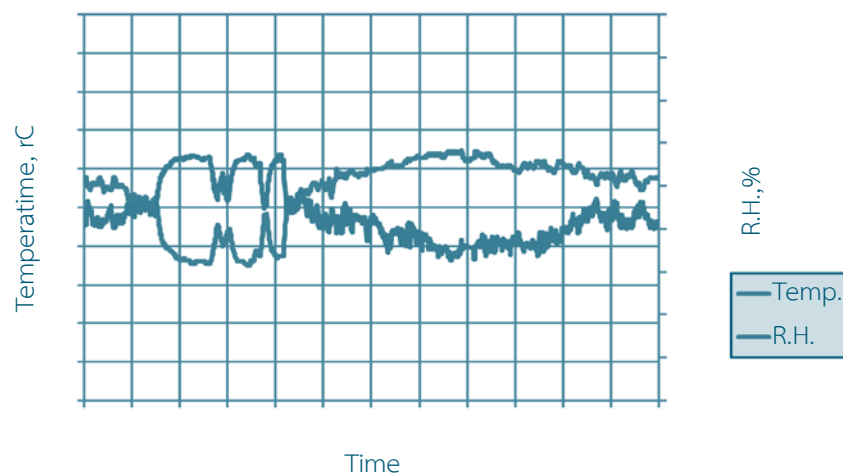
กราฟที่ 1 แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น บันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที ระหว่างวันที่ 26 ตุลาคม 2559 00:00 น. ถึง 27 ตุลาคม 2559 00:00 น.



กราฟที่ 2 แสดงข้อมูลความเร็วน้ำเย็นที่ไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็น บันทึกรายข้อมูลทุกๆ 1 นาที ระหว่างวันที่ 26 ตุลาคม 2559 00:00 น. ถึง 27 ตุลาคม 2559 00:00 น.



กราฟที่ 3 แสดงข้อมูลอุณหภูมิของเครื่องทำน้ำเย็นบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที ระหว่างวันที่ 26 ตุลาคม 2559 00:00 น. ถึง 27 ตุลาคม 2559 00:00 น.



กราฟที่ 4 แสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นอากาศของสภาวะแวดล้อม บันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที ระหว่างวันที่ 26 ตุลาคม 2559 00:00 น. ถึง 27 ตุลาคม 2559 00:00 น.

4. ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

รายการ	สัญลักษณ์ / สูตร	ค่า	หน่วย
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์ก่อนปรับปรุง	P_{PRE}	249.488	kW
อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นขาเข้า	T_{in}	11.15	°C
อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นขาออก	T_{out}	7.63	°C
อุณหภูมิเฉลี่ยภายใน Evaporator Unit	T_{Eavt}	9.389	°C
ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเฉลี่ย	density of water	998.127	kg/m ³
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำเย็น	V_{wvnt}	1.79	m/s
อัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ยของน้ำเย็น**	m_w	75.429	kg/s
ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	C_p	4.194	kJ/kg-°C
ค่าแก้ไขพลังงานไฟฟ้า*	C_E	0.970	-
ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็น*	C_R	1.044	-
จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานใน 1 ปี (365 วัน)***	H	8,760	h/y
ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง	$TR_{PRE} = (m_w \times C_p \times (T_{in} - T_{out})) \times 0.284345$	316.980	TR
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$P^*_{PRE} = (P_{PRE} / C_E)$	257.247	kW
ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$TR^*_{PRE} = TR_{PRE} / C_R$	303.549	TR
กิโลวัตต์ต่อตันทำความเย็นก่อนปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$ChP_{PRE} = P^*_{PRE} / TR^*_{PRE}$	0.847	kW/TR
ระดับการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง	$E_{PRE} = ChP_{PRE} \times TR^*_{PRE} \times H$	2,353,187.259	kWh/y
ค่าไฟเฉลี่ยต่อหน่วย	ECR	3.59	Baht/kWh
คิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อปี	EC_{BASE_PRE}	8,447,942.26	Baht/y
ค่าใช้จ่ายที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นต่อเดือน	MC	703,995.19	Baht/Month

หมายเหตุ :

* ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทน

** ที่มา ผลการคำนวณจากข้อมูลการตรวจวัด

*** ที่มา ข้อมูลจากสถานประกอบการ

5. รายละเอียดการตรวจวัดหลังปรับปรุง

เครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง ที่ทำการเปลี่ยนใหม่เป็นเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (High efficiency Chiller) ขนาด 500 Ton_R จำนวน 1 เครื่อง โดย M&V unit ได้ทำการตรวจวัดค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง จากข้อมูลต่อไปนี้ได้แก่ อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าและออกเครื่องทำน้ำเย็น, อุณหภูมิน้ำเข้าและออกคอนเดนเซอร์, อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, ค่าความชื้นอากาศแวดล้อม, อัตราการไหลของน้ำเย็น, กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น ข้อมูลทั้งหมดใช้เครื่องบันทึกข้อมูลต่อเนื่องโดยบันทึกค่าทุก 1 นาที นาน 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับคำนวณผลประหยัด

6. การตรวจวัดและพิสูจน์ผลหลังการปรับปรุง (Post Measurement and Verification)

ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง

$$TR_{POST} = [\dot{m}_{wPOST} \times C_p \times (T_{in} - T_{out})] \times 0.284345 / C_R$$

เมื่อ

TR_{POST}	คือ	ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (Ton _R)
$\dot{m}_{wPOST}$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ยของน้ำเย็น (kg/s)
C_p	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg°C)
T_{in}	คือ	อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)
T_{out}	คือ	อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น
C_R	คือ	ค่าแก้ไขขนาดการทำความเย็น

กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น

$$P_{CH POST} = (P_{POST} / C_E)$$

เมื่อ

$P_{CH POST}$	คือ	กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ค่าปรับแก้ (kW)
P_{POST}	คือ	กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่ตรวจวัดได้ (kW)
C_E	คือ	ค่าแก้ไขพลังงานไฟฟ้า

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง

$$Ch_{PCH POST} = P_{Total POST} / TR_{POST}$$

เมื่อ

$Ch_{PCH POST}$	คือ	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง
-----------------	-----	--

ระดับการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง

$$E_{POST} = Ch_{PCH,POST} \times TR_{POST} \times H_{year}$$

เมื่อ

E_{POST} คือ ระดับพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง

H_{year} คือ ชั่วโมงการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นต่อปี (ชั่วโมง/ปี)

6.1 วัน เวลา และคณะผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

วัน-เวลา	ผู้เข้าตรวจวัด	รายละเอียด
28 ธันวาคม 2559 เวลา 00:00 น. ถึง 29 ธันวาคม 2559 เวลา 00:00 น.	1. หัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญพลังงาน 2. วิศวกรโครงการ 3. ช่างเทคนิค 1 4. ช่างเทคนิค 2	เข้าตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง โดยทำการตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงที่เปลี่ยนใหม่ ขนาด 500 Ton _R บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที จำนวนบันทึก 1,441 ข้อมูล ช่วงเวลาในการบันทึก 24 ชั่วโมง

6.2 ข้อมูลที่ตรวจวัด เพื่อคำนวณระดับพลังงานหลังการปรับปรุง M&V Unit ทำการเก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ และตัวแปรต่างๆ ที่เป็นสถานะควบคุม ดังนี้

ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง $P_{CH,POST}$ (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
ความเร็วของน้ำเย็น V_w (m/s)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบ Ultrasonic
อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องทำน้ำเย็น T_{in} (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิน้ำออกเครื่องทำน้ำเย็น T_{out} (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิน้ำเข้าชุดคอนเดนเซอร์ $T_{cond in}$ (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)

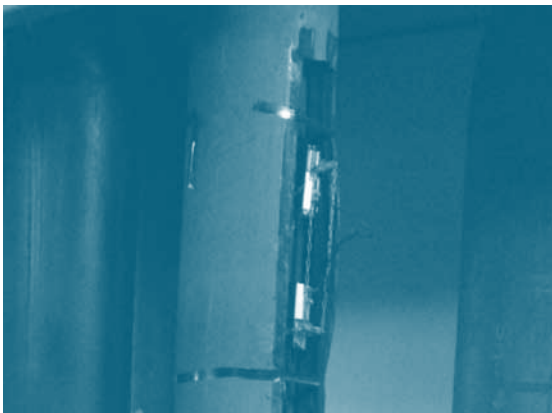
ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
อุณหภูมิน้ำออกชุดคอนเดนเซอร์ $T_{cond out} (^{\circ}C)$	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม $T_{air} (^{\circ}C)$	ตัวแปรควบคุม	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
ค่าความชื้นอากาศแวดล้อม $RH_{air} (%)$	ตัวแปรควบคุม	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าความชื้น อากาศ (Humidity Data Logger)
จำนวนชั่วโมงในการทำงาน $H_{year} (hour/year)$	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล (ค่าจากการประเมิน)	8,760 ชั่วโมงต่อปี (ข้อมูลจากสถานประกอบการ)

6.3 ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด เครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงหลังปรับปรุง ประกอบไปด้วยชุดคอมเพรสเซอร์จำนวน 1 ชุดในที่นี้ใช้ชื่อตัวแปรคือ CH1 โดย M&V Unit ทำการตรวจวัดและพิสูจน์ผลเฉพาะส่วนที่ใช้งานจริงตามมาตรการ ประกอบไปด้วย ชุดคอมเพรสเซอร์ (CH1) เป็นหลัก

อุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด	เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)
พิกัดทางไฟฟ้า	380 V 50 Hz
การใช้งาน	ระบบปรับอากาศภายในอาคาร



เครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงหลังปรับปรุง



การใช้เครื่องมือในการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นแบบ Ultrasonic



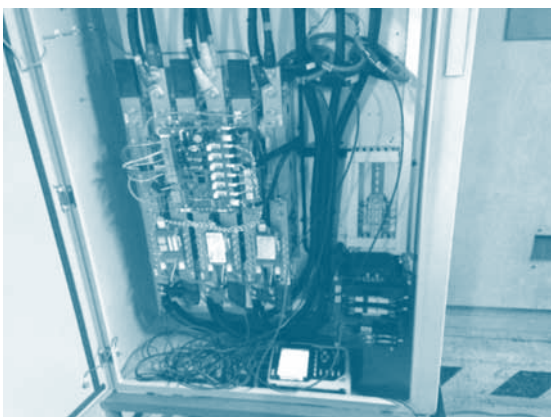
การติดตั้งเครื่องมือในการตรวจวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ



การติดตั้งเครื่องมือในการตรวจวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ



เครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิของน้ำเย็นและน้ำระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์



เครื่องมือในการตรวจวัดและเก็บบันทึกข้อมูลกำลังไฟฟ้า

6.4 ผลการตรวจวัด

ผลการตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง ของสถานประกอบการ แสดงดังตารางต่อไปนี้

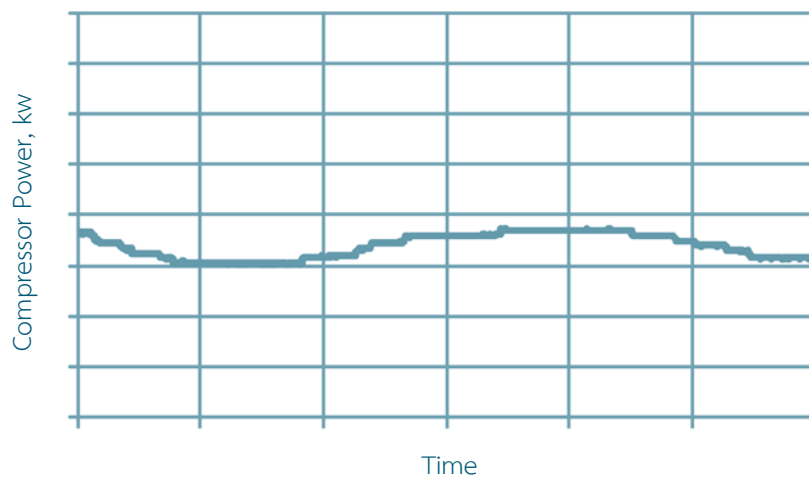
ตาราง 6.1 แสดงข้อมูลการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำความเย็น CH1 หลังปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้า CH1	L1			L2			L3			Total kW	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW		
Average	226.98	303.05	57.682	228.18	320.12	58.780	227.47	298.17	53.500	169.962	0.79
Min	223.50	279.50	52.062	224.70	295.60	52.096	223.90	270.40	46.916	152.337	0.75
Max	229.50	324.40	63.122	230.70	343.80	64.912	230.40	325.00	59.982	186.495	0.82

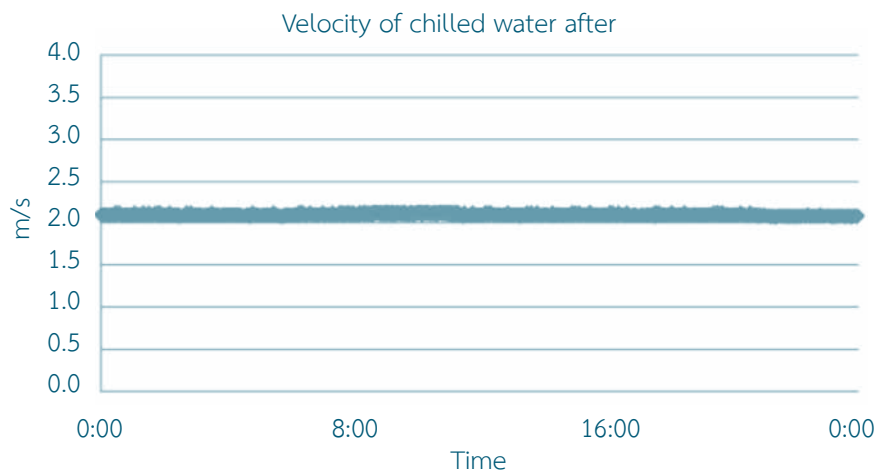
ตาราง 6.2 แสดงข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำที่เครื่องทำน้ำเย็น CH1 หลังปรับปรุง

อุณหภูมิและอัตราการไหลเวียนของน้ำเครื่องทำน้ำเย็น CH1	Ambieece		Water temperature				Velocity of chilled water
	Temp.	RH.	Intel chilled.	outlet chilled.	Inlet cond.	outlet cond.	
	°C	%	°C	°C	°C	°C	
Average	24.72	53.45	10.59	7.51	23.53	25.81	2.10
Min	20.10	33.00	9.50	7.30	18.50	20.70	2.08
Max	30.90	70.30	11.60	7.80	27.60	30.60	2.12

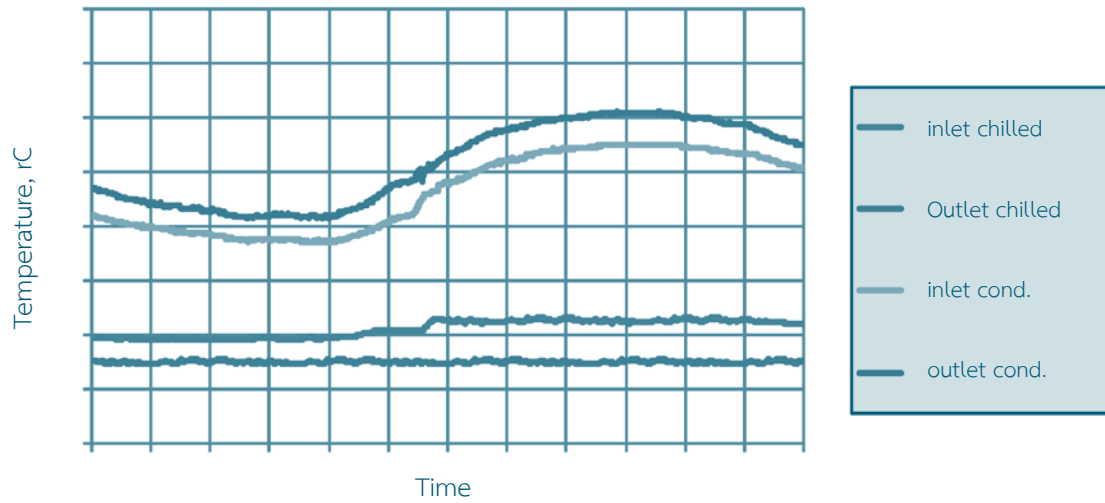
6.5 การวิเคราะห์ตัวแปรหลักในการคำนวณและตัวแปรควบคุม หลังการปรับปรุง



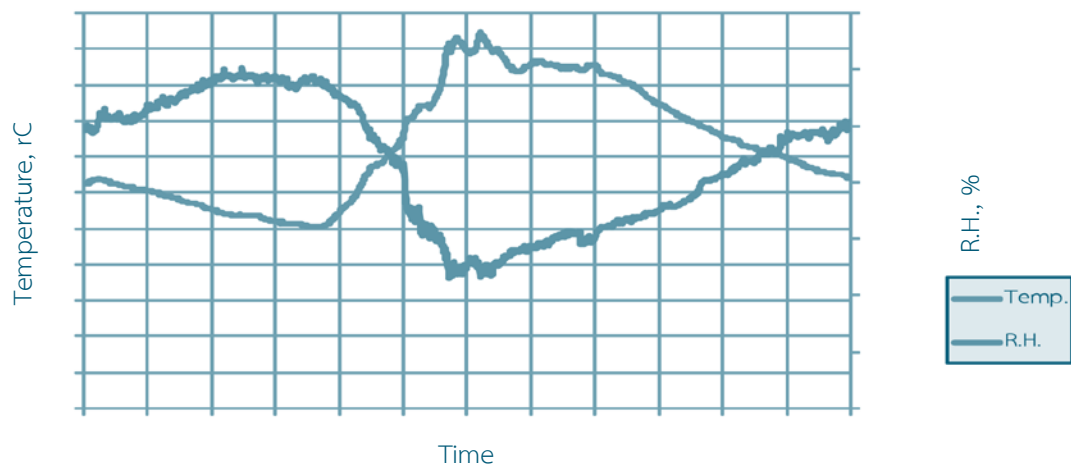
กราฟที่ 5 แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น CH บันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที ระหว่างวันที่ 28 ธันวาคม 2559 00:00 น. ถึง 29 ธันวาคม 2559 00:00 น.



กราฟที่ 6 แสดงข้อมูลความเร็วของน้ำเย็นไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็น CH1 บันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที ระหว่างวันที่ 28 ธันวาคม 2559 00:00 น. ถึง 29 ธันวาคม 2559 00:00 น.



กราฟที่ 7 แสดงข้อมูลอุณหภูมิน้ำของเครื่องทำน้ำเย็น CH1 บันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที ระหว่างวันที่ 28 ธันวาคม 2559 00:00 น. ถึง 29 ธันวาคม 2559 00:00 น.



กราฟที่ 8 แสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นอากาศของสภาวะแวดล้อม บันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที ระหว่างวันที่ 28 ธันวาคม 2559 00:00 น. ถึง 29 ธันวาคม 2559 00:00 น.

7. ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงาน หลังการปรับปรุง

รายการ	สัญลักษณ์ / สูตร	ค่า	หน่วย
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์หลังการปรับปรุง	P_{Post}	169.962	kw
อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นขาเข้า	T_{in}	10.59	°C
อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นขาออก	T_{out}	7.51	°C
อุณหภูมิเฉลี่ยภายใน Evaporator Unit	T_{E2vt}	9.05	°C
ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเฉลี่ย	Density of Water	998.086	kg/m ³
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำเย็น	V_{w2vt}	2.104	m/s
อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำเย็น**	m_w	88.737	kg/s
ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	C_R	4.194	kJ/kg-°C
ค่าแก้ไขพลังไฟฟ้า*	C_E	0.907	-
ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็น*	C_R	1.083	-
จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานใน 1 ปี (365 วัน) ***	H	8,760	h/y
ความสามารถในการทำความเย็นสภาวะมาตรฐานก่อนปรับปรุง	TR_{PRE}^{**}	316.980	Ton _R
ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงขณะตรวจวัด	$TR_{POST} = (m_w \times C_p \times (T_{in} - T_{out})) \times 0.284345$	325.687	Ton _R
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหลังการปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$P_{POST}^* = (P_{POST} / C_R)$	187.407	kW
ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$PR_{POST}^{**} = TR_{POST} / C_R$	300.756	Ton _R
กิโลวัตต์ต่อตันทำความเย็นหลังการปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$ChP_{POST} = P_{SUM} / TR_{POST}^*$	0.623	kW/TR
ระดับการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง	$ChP_{POST} = P_{SUM} / TR_{POST}^{**} \times H$	1,641,685.902	kWh/y
ระดับการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงที่สภาวะใช้งานเดียวกันกับ Baseline	$E_{POST_BASE} = ChP_{POST} \times TR_{PRE}^{**} \times H$	1,730,244.738	kWh/y
ระดับการใช้พลังงานที่ลดลงต่อปี	E_{seve}	622,942.522	kWh/y
ค่าไฟเฉลี่ยต่อหน่วย	ECR	3.59	Baht/kWh
คิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อปี หลังการปรับปรุง	Energy Cost Charge by HF Chiller	6,211,578.61	Baht/y
ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ต้องเสียเมื่อใช้เครื่องทำน้ำเย็นเครื่องเก่า (ก่อนปรับปรุง)	Energy Cost Charge by Old Chiller	8,447,942.26	Baht/y
ค่าใช้จ่ายที่ลดลงต่อปี	$Saving_{BASE}$	2,236,363.65	Baht/y
ค่าใช้จ่ายที่ลดลงต่อเดือน	MC	186,363.64	Baht/Month
Saving Percent	SP	26.47	%

8. การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น

ระดับพลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุง

$$E_{POST_BASE} = ChP_{CH\ POST} \times TR_{PRE} \times H_{year}$$

เมื่อ

E_{POST_BASE}

คือ ระดับพลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุง กรณีที่ใช้ภาระทำความเย็นเทียบเท่าสภาวะก่อนปรับปรุง (kWh/y)

- $ChP_{CH,POST}$ คือ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็น (kW/Ton_R)
- TR_{PRE} คือ ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง (Ton_R)
- H_{year} คือ ชั่วโมงการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นต่อปี (ชั่วโมง/ปี)
- พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณได้จากสมการ

$$E_{Save} = E_{PRE} - E_{POST_BASE}$$

เมื่อ

E_{Save} คือ ระดับพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)

E_{PRE} คือ ระดับพลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

$$\%_{SAVE} = \frac{E_{PRE} - E_{POST_BASE}}{E_{PRE}} \times 100\%$$

เปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้คำนวณได้จากสมการ

เมื่อ

$\%_{SAVE}$ คือ เปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้

จำนวนเงินที่ประหยัดได้คำนวณได้จากสมการ

$$M_{Save} = E_{Save} \times C_e$$

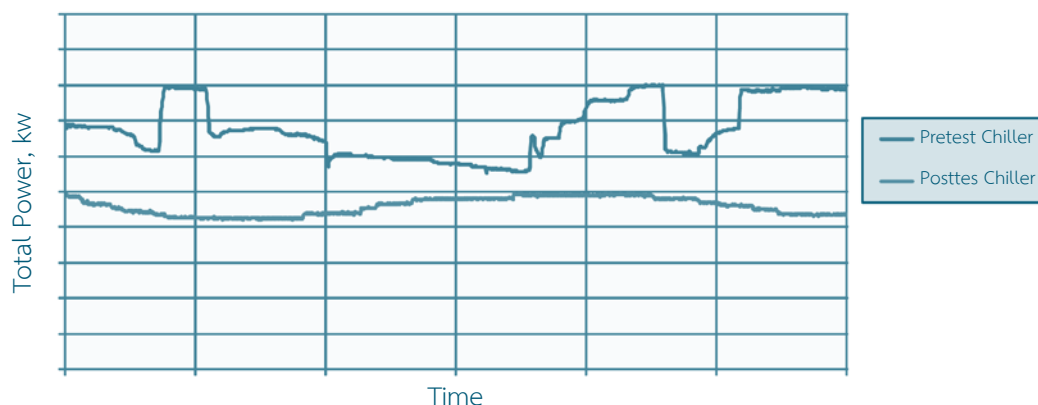
เมื่อ

M_{Save} คือ จำนวนเงินที่ประหยัดได้ (Baht/y)

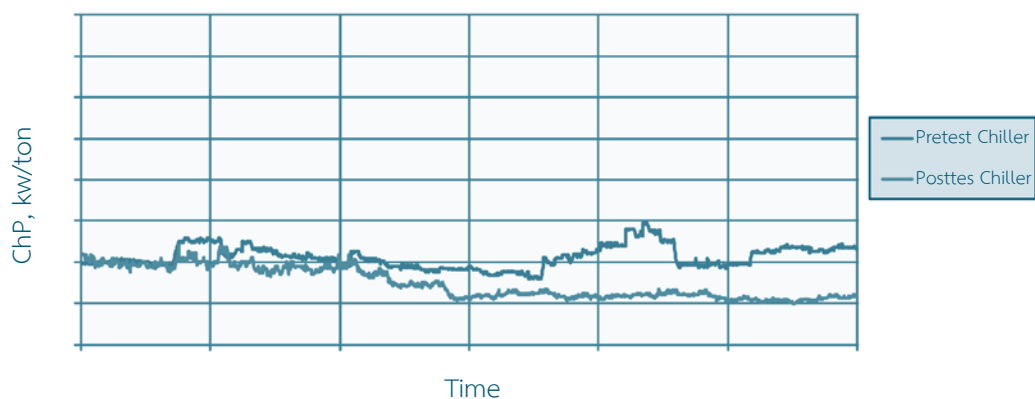
E_{Save} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)

C_e คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน (Baht/kWh)

8.1 การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานด้วยกราฟจากการตรวจวัดและการคำนวณ



กราฟที่ 9 เปรียบเทียบข้อมูลกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนและหลังการปรับปรุง



กราฟที่ 10 เปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็น (kW/Ton_R) ก่อนและหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 8.1 ผลประหยัดพลังงานจากมาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น

ลำดับ	ความหมาย	ตัวแปร/สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย	ปริมาณ
1.	พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง	E_{PRE}	kWh/y	2,353,187.259
2.	พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุง*	E_{POST_BASE}	kWh/y	1,730,244.738
3.	พลังงานไฟฟ้าที่ 1,730,244.738	$E_{Save} = E_{PRE} - E_{POST_BASE}$	kWh/y	622,942.522
4.	เปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้	$\%_{Save} = \frac{E_{PRE} - E_{POST_BASE}}{E_{PRE}} \times 100\%$	%	26.47
5.	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน**	C_e	Baht/kWh	3.59
6.	จำนวนเงินที่ประหยัดได้	$M_{Save} = E_{Save} \times C_e$	Baht/y	2,236,363.65

หมายเหตุ :

* คำนวณจากภาระการทำความเย็นก่อนการปรับปรุงที่ 303.549 Ton_R

** อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานอ้างอิงจากค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย ย้อนหลัง 1 ปี

ตารางที่ 8.2 ค่าแก้ไขขนาดการทำความเย็นและกำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

อุณหภูมิน้ำระบายความร้อน Cooling tower (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำเย็น ด้านออก (องศาเซลเซียส)	ค่าแก้ไข		
		ขนาดการทำความเย็น (C_R)	กำลังไฟฟ้า (C_E)	พลังงานไฟฟ้าต่อตัน ความเย็น
25	5	1.02	0.88	0.86
	6	1.05	0.88	0.84
	7	1.08	0.89	0.83
	7.2	1.08	0.89	0.83
	8	1.11	0.90	0.82
	9	1.13	0.91	0.81
	10	1.15	0.92	0.80
30	5	0.72	0.95	1.31
	6	0.99	0.96	0.96
	7	1.02	0.97	0.95
	7.2	1.03	0.97	0.94
	8	1.05	0.98	0.93
	9	1.08	0.99	0.92
	10	1.11	1.00	0.90
32.2	5	0.80	0.98	1.22
	6	0.97	0.99	1.02
	7	1.00	1.00	1.00
	7.2	1.00	1.00	1.00
	8	1.02	1.01	0.98
	9	1.05	1.02	0.97
	10	1.06	1.03	0.95
35	5	0.90	1.01	1.13
	6	0.94	1.03	1.09
	7	0.97	1.04	1.07
	7.2	0.97	1.04	1.07
	8	0.99	1.05	1.06
	9	1.02	1.06	1.04
	10	1.05	1.07	1.02
40	5	0.86	0.96	1.11
	6	0.89	1.09	1.23
	7	0.91	1.08	1.19
	7.2	0.91	1.09	1.19
	8	0.93	1.12	1.20
	9	0.96	1.13	1.18
	10	0.99	1.14	1.15
45	5	0.81	1.14	1.41
	6	0.83	1.16	1.39
	7	0.86	1.17	1.37
	7.2	0.86	1.17	1.36
	8	0.88	1.19	1.35
	9	0.91	1.20	1.32
	10	0.93	1.22	1.30

หมายเหตุ : ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)





ภาคผนวก v.

กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน :
มาตรการผลิตน้ำร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อน (Heat Pump)
รหัสมาตรการ TEM&V-014 : 2559

1. รายละเอียดมาตรการ

โรงแรมแห่งหนึ่งใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยขดลวดความร้อน เพื่อทำน้ำอุ่นใช้งานสำหรับห้องพักภายในอาคาร B มีจำนวนห้องพัก 60 ห้อง อาคารนี้มีเครื่องทำน้ำร้อนด้วยขดลวดความร้อนจำนวน 3 ชุด ขนาดโดยรวม 12 กิโลวัตต์ (ไฟฟ้า) ใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนภายในระบบ จำนวน 1 ตัว และปั๊มน้ำหมุนเวียนภายในอาคาร จำนวน 1 ตัว การเปิดใช้งานระบบน้ำร้อนช่วงประจำอาคารตั้งอุณหภูมิน้ำร้อนไว้ที่ 60-62 องศาเซลเซียส จากสภาวะการใช้งานจริงที่ตรวจพบนี้ คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผล (M&V Unit) จะทำการตรวจวัดอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานของระบบทำน้ำร้อนนี้ โดยตรวจวัด กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยขดลวดความร้อน กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำ อุณหภูมิน้ำร้อนที่จ่าย และอุณหภูมิน้ำร้อนกลับระบบ จากนั้นเก็บข้อมูลต่อเนื่องโดยบันทึกค่าทุก 1 นาที เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลในการคำนวณหาผลประหยัด

2. แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด ใช้แนวทางการตรวจวัดอ้างอิงระเบียบวิธีการ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) รูปแบบ B (Option B) เป็นการตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation) โดยใช้พารามิเตอร์หลายตัวแปรในการวิเคราะห์ผล สำหรับเกณฑ์ในการชี้วัดผลประหยัดพลังงานของระบบปั๊มความร้อนนี้จะพิจารณาจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำร้อน (Specific Energy Consumption of Hot Water System) ในหน่วย กิโลวัตต์ไฟฟ้าต่อกิโลวัตต์ความร้อน ($\text{kW}_{\text{elec}}/\text{kW}_{\text{heat}}$) เป็นดัชนีในการชี้วัดผลประหยัด

3. การตรวจวัดและพิสูจน์ผลก่อนการปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง

$$E_{\text{Heater,Pre}} = P_{\text{Heater,Pre}} \times LF_{\text{Heater,Pre}} \times H$$

โดยที่

$E_{\text{Heater,Pre}}$ = พลังงานไฟฟ้าของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

$P_{Heater,Pre}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง (kW_{elec})
$LF_{Heater,Pre}$	=	ตัวประกอบภาระงานของขดลวดความร้อน (fraction)
H	=	ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อน (h/y)

พลังงานไฟฟ้าของปั๊มสูบน้ำร้อนก่อนการปรับปรุง

$$E_{HWP,Pre} = [(P_{HWP1,Pre} \times LF_{HWP1,Pre}) + (P_{HWP2,Pre} \times LF_{HWP2,Pre})] \times H$$

โดยที่

$PH_{WP,Pre}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนก่อนการปรับปรุง (kW_{elec})
$LF_{HWP,Pre}$	=	ตัวประกอบภาระงานของปั๊มสูบน้ำร้อน (fraction)
H	=	ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อน (h/y)

หมายเหตุ Subscript 1,2,...,n แทนจำนวนของปั๊มสูบน้ำในระบบกรณีมีปั๊มสูบน้ำหลายชุด

พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนก่อนการปรับปรุง

$$E_{Pre} = E_{Heater,Pre} + E_{HWP1,Pre} + E_{HWP2,Pre}$$

โดยที่

E_{Pre}	=	พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนก่อนการปรับปรุง (kWh/y)
$E_{Heater,Pre}$	=	พลังงานไฟฟ้าของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง (kWh/y)
$E_{HWP,Pre}$	=	พลังงานไฟฟ้าของปั๊มสูบน้ำร้อนก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

ภาระความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนก่อนการปรับปรุง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$HL_{Pre} = \dot{m}_{pre} \times C_p \times (T_{HWS} - T_{HWP,Pre})$$

โดยที่

HL_{Pre}	=	ภาระความร้อนมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat}) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)
F_{Pre}	=	อัตราการไหลของน้ำร้อน (L/min, L/s, m ³ /min, m ³ /s, GPM, ฯลฯ)
$T_{HWS,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำร้อนด้านจ่ายของระบบผลิตน้ำร้อน (°C, °F)
$T_{HWP,Pre}$	=	อุณหภูมิน้ำร้อนด้านกลับของระบบผลิตน้ำร้อน (°C, °F)
$T_{amb,Pre}$	=	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน (°C, °F)
$C_{p,Pre}$	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อน ($\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$, $\frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F}$)
M_{Pre}	=	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำร้อน (kg/s, lb/s)

3.1 วัน เวลา และคณะผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผล

วันและเวลาในการเข้าตรวจวัด สามารถแสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

วัน-เวลา	ผู้เข้าตรวจวัด	รายละเอียด
3 กรกฎาคม 2559 ถึง 5 กรกฎาคม 2559	1. หัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญพลังงาน 2. วิศวกรโครงการ 3. ช่างเทคนิค 1 4. ช่างเทคนิค 2	เข้าตรวจวัดระบบก่อนการปรับปรุงโดยทำการตรวจวัด 1. กำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อนแต่ละชุด 2. อุณหภูมิน้ำจ่ายเข้าอาคาร 3. อุณหภูมิน้ำกลับจากอาคาร 4. อัตราการไหลของน้ำจ่ายเข้าอาคาร บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที จำนวนบันทึก 4,320 ข้อมูล ช่วงเวลาในการบันทึก 72 ชั่วโมง

3.2 ข้อมูลที่ตรวจวัด

เพื่อคำนวณระดับพลังงานก่อนการปรับปรุง จึงทำการเก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ และตัวแปรต่างๆ ที่เป็นสภาวะควบคุม ดังนี้

ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
กำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อน (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	บริเวณ Main Power โดยใช้เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำหมุนเวียนในระบบ (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	บริเวณ Circuit Braker ของปั๊มน้ำหมุนเวียนในระบบโดยใช้เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำหมุนเวียนในอาคาร (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	บริเวณ Circuit Braker ของปั๊มน้ำหมุนเวียนในอาคารโดยใช้เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
อุณหภูมิน้ำจ่ายเข้าอาคาร (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิน้ำออกจากอาคาร (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)

ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
อัตราการไหลของน้ำจ่ายเข้าอาคาร (LPM)	ตัวแปรความคุม	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอัตราการไหลของน้ำ (Ultrasonic Flow Meter)
จำนวนชั่วโมงในการทำงาน (h/y)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	ข้อมูลจากสถานประกอบการ

3.3 ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด

3.3.1 การตรวจวัดภาระความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อน

ระบบผลิตน้ำร้อนเดิมของอาคาร B จะใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนในอาคาร B ($P_{HWP1,Pre}$) จ่ายน้ำร้อนไปยังห้องพักต่างๆ โดยระบบควบคุมจะสั่งให้ปั๊มน้ำทำงานอัตโนมัติเมื่อมีการใช้งานน้ำร้อนของลูกค้าโรงแรมภายในอาคาร B ตำแหน่งนี้ถือเป็นตำแหน่งตรวจวัดหลักของภาระความร้อนใช้งาน โดยจะวัดทั้งอัตราการไหลของน้ำร้อน อุณหภูมิ น้ำที่จ่าย และอุณหภูมิน้ำที่ไหลกลับระบบ และกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำหมุนเวียนในอาคาร โดยก่อนและหลังการปรับปรุง จะตรวจวัดที่ตำแหน่งเดียวกัน ในกรณีตัวอย่างนี้โรงแรมมีปั๊มน้ำอีก 1 ชุด เพื่อใช้สูบน้ำร้อนให้ไหลเวียนในระบบผลิตน้ำร้อนจึงต้องถูกตรวจวัดและบันทึกข้อมูลในลักษณะเดียวกัน



การตรวจวัดอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำร้อนอาคาร B ก่อนการปรับปรุง

3.3.2 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อน

การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของระบบนี้ต้องทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจากขดลวดความร้อน กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำหมุนเวียนในอาคาร B และกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำหมุนเวียนในระบบผลิตน้ำร้อน (ระบบสำรองน้ำร้อนจะใช้ปั๊มน้ำเพื่อหมุนเวียนน้ำในระบบผลิตน้ำร้อนโดยมีถังสแตนเลสหุ้มฉนวนจำนวน 4 ถังต่อกันเพื่อสำรองน้ำร้อน กรณีระดับน้ำในระบบลดลงเซ็นเซอร์วัดระดับจะเป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณให้ปั๊มน้ำหมุนเวียนในระบบผลิตน้ำร้อนทำงานอัตโนมัติ หรือกรณีที่ปั๊มน้ำหมุนเวียนในอาคาร B ทำงานระบบควบคุมก็จะสั่งงานให้ปั๊มน้ำหมุนเวียนในระบบผลิตน้ำร้อนทำงานควบคู่ไปด้วย)



การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนอาคาร B ก่อนการปรับปรุง

3.4 ผลการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง

จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดและบันทึกผล นำข้อมูลที่ได้มาสรุปลงตารางเพื่อนำไปใช้ในการหาผลประหยัดดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 3.1 ข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของชุดหลอดเพื่อผลิตน้ำร้อนก่อนการปรับปรุง

P _{Heater,Pre}	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Min	227.57	0.00	0.000	230.67	0.00	0.000	230.80	0.00	0.000	0.000	1.00
Max	236.06	16.82	3.951	238.26	31.99	7.332	238.21	32.64	7.523	18.786	1.00
Average	232.10	10.61	2.458	234.02	20.19	4.556	234.42	20.60	4.685	11.699	1.00

ตาราง 3.2 ข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำหมุนเวียนของอาคาร B ก่อนการปรับปรุง

P _{HWP1,Pre}	Volt	Amp	kW	PF.
Min	231.11	0.00	0.000	-0.94
Max	238.15	1.88	0.413	1.00
Average	234.01	1.42	0.302	-0.57

ตาราง 3.3 ข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำหมุนเวียนในระบบผลิตน้ำร้อนก่อนการปรับปรุง

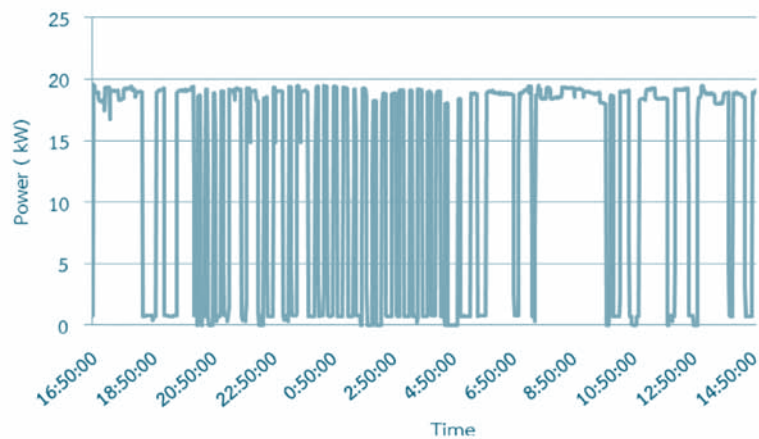
P _{HWP2,Pre}	Volt	Amp	kW	PF.
Min	229.35	0.00	0.000	0.83
Max	235.73	1.94	0.378	1.00
Average	232.23	1.48	0.293	0.88

ตาราง 3.4 ข้อมูลการตรวจวัดอัตราการไหล และอุณหภูมิน้ำจ่าย/น้ำกลับ ของอาคาร B ก่อนการปรับปรุง

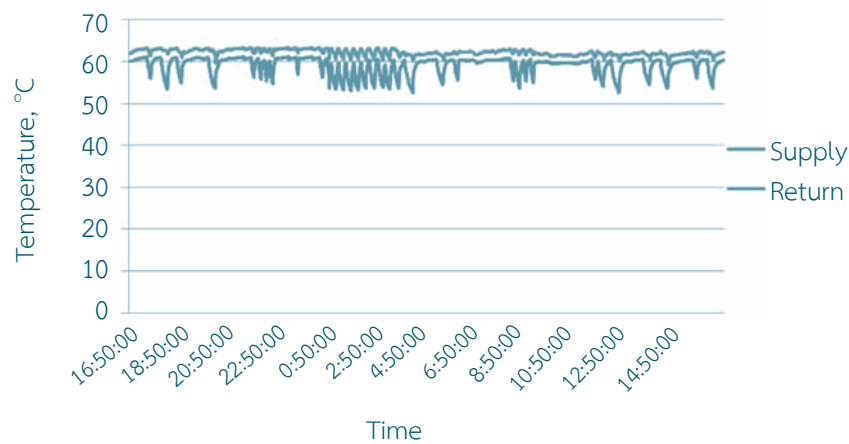
อาคาร B	Water Temp. (°C)		Flow Rate
	Supply	Return	LPM
Min	59.30	52.60	0.000
Max	63.40	61.10	75.792
Average	62.21	58.98	53.973

3.5 การวิเคราะห์ตัวแปรหลักในการคำนวณและตัวแปรควบคุมก่อนการปรับปรุง

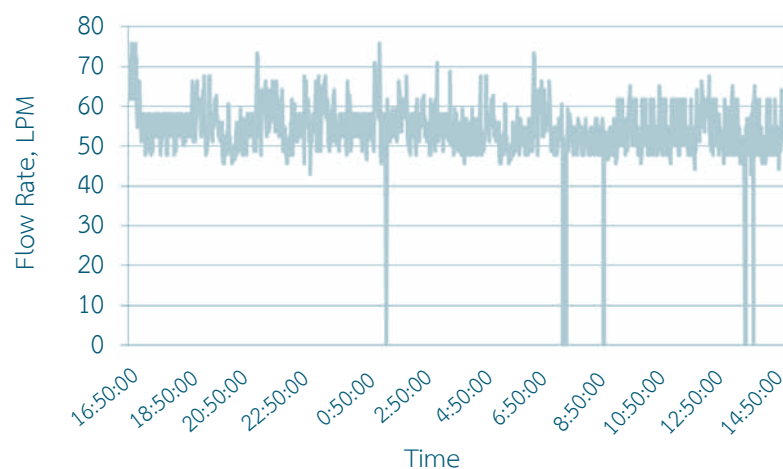
ผลการวิเคราะห์ตัวแปรหลักในการคำนวณและตัวแปรควบคุมของระบบผลิตน้ำร้อนก่อนการปรับปรุงสามารถแสดงได้ด้วยกราฟดังนี้



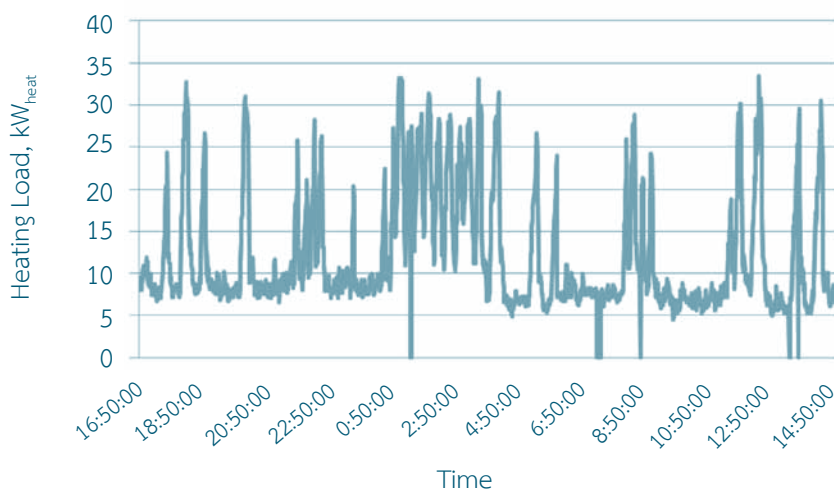
กราฟที่ 1 กำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อนเพื่อผลิตน้ำร้อนก่อนการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 3 กรกฎาคม 2559 ถึง วันที่ 5 กรกฎาคม 2559



กราฟที่ 2 อุณหภูมิน้ำจ่าย (Supply) และน้ำกลับ (Return) ของอาคาร B ก่อนการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 3 กรกฎาคม 2559 ถึง วันที่ 5 กรกฎาคม 2559



กราฟที่ 3 อัตราการไหลของน้ำร้อนจ่ายเข้าอาคาร B ก่อนการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 3 กรกฎาคม 2559 ถึง วันที่ 5 กรกฎาคม 2559



กราฟที่ 4 ความร้อนที่ระบบผลิตน้ำร้อนผลิตได้ก่อนการปรับปรุงคำนวณจากข้อมูลตรวจวัด ทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 3 กรกฎาคม 2559 ถึง วันที่ 5 กรกฎาคม 2559

4. ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 4.1 วิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยขดลวดความร้อนของโรงแรม (อาคาร B)

รายการ	สูตร/ตัวแปร	ค่า	หน่วย
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มน้ำหมุนเวียนก่อนปรับปรุง	$P_{HWP1,Pre}$	0.369	kW
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มน้ำหมุนเวียนในระบบผลิตน้ำร้อนก่อนปรับปรุง	$P_{HWP2,Pre}$	0.358	kW
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของขดลวดความร้อน	$P_{Heater,Pre}$	17.695	kW
เปอร์เซ็นต์การทำงานของปั๊มน้ำหมุนเวียนในอาคาร B	$LF_{HWP1,Pre}$	81.94	%
เปอร์เซ็นต์การทำงานของปั๊มน้ำหมุนเวียนในระบบผลิตน้ำร้อน	$LF_{HWP2,Pre}$	81.94	%
เปอร์เซ็นต์การทำงานของขดลวดความร้อน	$LF_{Heater,Pre}$	66.11	%
อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่จ่ายให้อาคาร B	$T_{HWS,Pre}$	62.21	°C
อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่กลับจากอาคาร B	$T_{HWR,Pre}$	58.98	°C
อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำที่จ่ายให้อาคาร B	F_{Pre}	53.973	LPM
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	$C_{p,Pre}$	4.1854	kJ/kg°C
ค่าความหนาแน่นของน้ำ	ρ_{Pre}	982.851	kg/m ³
จำนวนวันทำงาน **	D	365	d/y

ตารางที่ 4.1 วิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยขดลวดความร้อนของโรงแรม (อาคาร B)

รายการ	สูตร/ตัวแปร	ค่า	หน่วย
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย **	ECR	3.76	Baht/kWh
การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนก่อนปรับปรุง*	E_{Pre}	107,694.286	(kWh/y) _{elec}
พลังงานความร้อนที่ผลิตได้ก่อนการปรับปรุง*	Q_{Pre}	85,793.137	(kWh/y) _{heat}
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำร้อนก่อนปรับปรุง*	SEC_{Pre}	1.255	kW _{elec} /kW _{heat}
ค่าพลังงานก่อนการปรับปรุง*	Energy Cost by Heater (Year Base)	404,930.52	Baht/y

หมายเหตุ:

* ที่มา ผลการคำนวณจากข้อมูลการตรวจวัด

** ที่มา จากสถานประกอบการ

5. รายละเอียดการตรวจวัดหลังการปรับปรุง

โรงแรมได้ทำการเปลี่ยนระบบผลิตน้ำร้อนด้วยขดลวดความร้อนเป็น ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน เพื่อทำน้ำอุ่นใช้งานสำหรับห้องพักภายในอาคาร B มีจำนวนห้องพัก 60 ห้อง โดยที่อาคาร B ติดตั้งปั๊มความร้อนขนาด 15 กิโลวัตต์ (ความร้อน) จำนวน 2 ชุดต่ออาคาร ปั๊มน้ำหมุนเวียนภายในอาคาร จำนวน 1 ตัว ส่วนปั๊มน้ำหมุนเวียนในระบบผลิตน้ำร้อนยกเลิกการใช้เนื่องจากระบบปั๊มความร้อนมีปั๊มน้ำติดตั้งอยู่ภายในเครื่อง การเปิดใช้งานตั้งอุณหภูมิ น้ำร้อน ไว้ที่ 62 องศาเซลเซียส จากสถานะการใช้งานจริงที่ตรวจพบนี้ M&V Unit จะทำการตรวจวัดความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบปั๊มความร้อน โดยวิเคราะห์จากค่า กำลังไฟฟ้าของระบบปั๊มความร้อน กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำหมุนเวียนในอาคาร B อัตราการไหลและอุณหภูมิน้ำจ่ายและน้ำกลับของอาคาร B โดยเก็บข้อมูลต่อเนื่องบันทึกค่าทุก 1 นาที เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมง เพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลใช้ในการคำนวณหาผลประหยัด

6. การตรวจวัดและพิสูจน์ผลหลังการปรับปรุง (Post Measurement and Verification)

พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุงของระบบผลิตน้ำร้อนโดยเปลี่ยนมาใช้ปั๊มความร้อน

$$E_{FN} = E_{HP,Post} + E_{HWP,Post}$$

โดยที่

E_{FN} = พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนหลังการปรับปรุง (kWh/y)

$E_{HP,Post}$ = พลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อนหลังการปรับปรุง (kWh/y)

$E_{HWP,Post}$ = พลังงานไฟฟ้าของปั๊มน้ำร้อนหลังการปรับปรุง (kWh/y)

พลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อน หรือระบบผลิตน้ำร้อนหลังการปรับปรุง

$$E_{HP,Post} = P_{HP,Post} \times LF_{HP,Post} \times H$$

โดยที่

$E_{HP,Post}$	=	พลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง (kWh/y)
$P_{HP,Post}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง (kW)
$LF_{HP,Post}$	=	สัดส่วนภาระงานของปั๊มความร้อนหลังการปรับปรุง (fraction)
H	=	ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อน (h/y)

พลังงานไฟฟ้าของปั๊มสูบน้ำร้อนหลังปรับปรุง

$$E_{HWP,Post} = P_{HWP,Post} \times LF_{HWP} \times H$$

โดยที่

$P_{HWP,Post}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนหลังปรับปรุง (kW)
$LF_{HWP,Post}$	=	สัดส่วนภาระงานของปั๊มสูบน้ำร้อนหลังการปรับปรุง (fraction)
H	=	ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อน (h/y)

การคำนวณภาระงาน

$$HL_{Post} = \dot{m}_{Post} \times C_p \times (T_{HWS} - T_{HWR,Post})$$

โดยที่

HL_{Post}	=	ภาระความร้อน กิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat}) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)
F_{Post}	=	อัตราการไหลของน้ำร้อน (L/min, L/s, m ³ /min, m ³ /s, GPM , ฯลฯ)
$T_{HWS,Post}$	=	อุณหภูมิน้ำร้อนด้านจ่ายของระบบผลิตน้ำร้อน (°C, °F)
$T_{HWR,Post}$	=	อุณหภูมิน้ำร้อนด้านกลับของระบบผลิตน้ำร้อน (°C, °F)
$T_{amb,Post}$	=	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน (°C, °F)
$C_{p,Post}$	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อน ($\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$, $\frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F}$)
$\dot{m}_{Post}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำร้อน (kg/s, lb/s)

6.1 วัน เวลา และคณะผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผล

วัน-เวลา	ผู้เข้าตรวจวัด	รายละเอียด
23 ธันวาคม 2559 ถึง 25 ธันวาคม 2559	1. หัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญพลังงาน 2. วิศวกรโครงการ 3. ช่างเทคนิค 1 4. ช่างเทคนิค 2	เข้าตรวจวัดระบบ หลังการปรับปรุงโดยทำการตรวจวัด 1. กำลังไฟฟ้าที่ Circuit Breaker ของระบบปั๊มความร้อน 2. อุณหภูมิน้ำจ่ายเข้าอาคาร 3. อุณหภูมิน้ำกลับจากอาคาร 4. อัตราการไหลของน้ำจ่ายเข้าอาคาร บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที จำนวนบันทึก 4,320 ข้อมูล ช่วงเวลาในการบันทึก 72 ชั่วโมง

6.2 ข้อมูลที่ตรวจวัด

เพื่อคำนวณระดับพลังงานหลังการปรับปรุง จึงทำการเก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ และตัวแปรต่างๆ ที่เป็นสภาวะควบคุม ดังนี้

ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
กำลังไฟฟ้าของระบบปั๊มความร้อน (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำหมุนเวียนในอาคาร (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
อุณหภูมิน้ำจ่ายเข้าอาคาร (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิน้ำกลับจากอาคาร (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิอาคาร (Temperature Data Logger)
ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
อัตราการไหลของน้ำจ่ายเข้าอาคาร (LPM)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอัตราการไหลของน้ำ (Ultra Sonic Flow Meter)
จำนวนชั่วโมงในการทำงาน (h/y)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	ข้อมูลจากสถานประกอบการ

6.3 ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด

โรงแรมเปลี่ยนมาใช้ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน เพื่อทำน้ำร้อนใช้งานสำหรับอาคาร B ทดแทนระบบผลิตน้ำร้อนด้วยขดลวดความร้อนดั้งเดิม โดย M&V Unit ทำการตรวจวัดตามตำแหน่งต่างๆ ดังนี้



การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนหลังการปรับปรุง



การตรวจวัดอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำร้อนหลังการปรับปรุง

6.4 ผลการตรวจวัด

ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง ประกอบไปด้วยกำลังไฟฟ้าที่ระบบปั๊มความร้อน และกำลังไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำหมุนเวียนในอาคารแสดงดังตารางที่ 6.1 และ 6.2 (ในระบบปั๊มความร้อนชุดนี้ใช้ปั๊มน้ำในตัวปั๊มความร้อนแทนปั๊มน้ำหมุนเวียนในระบบผลิตความร้อน) ส่วนผลการตรวจวัดอัตราการไหล และอุณหภูมิน้ำจ่าย/น้ำกลับของสถานประกอบการ แสดงดังตารางที่ 6.3

ตาราง 6.1 ข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนหลังการปรับปรุง

PHP,Post	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Min	230.92	0.00	0.000	229.23	0.00	0.000	230.94	0.00	0.000	0.000	0.62
Max	238.31	9.06	1.576	236.52	8.98	1.450	237.62	8.57	1.531	4.558	1.00
Average	234.50	6.03	0.954	232.65	5.88	0.863	234.27	5.73	0.956	2.773	0.76

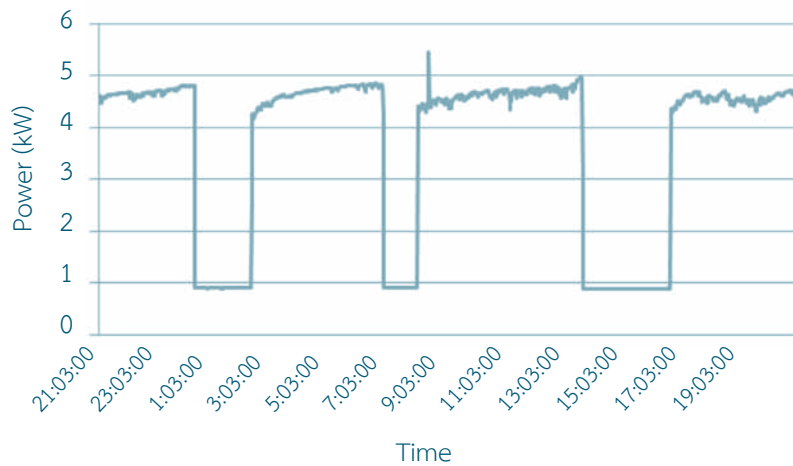
ตาราง 6.2 ข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำหมุนเวียนหลังการปรับปรุง

P _{PWP,Post}	Volt	Amp	kW	PF.
Min	227.27	1.69	0.339	0.84
Max	235.57	1.87	0.369	0.90
Average	232.03	1.78	0.355	0.87

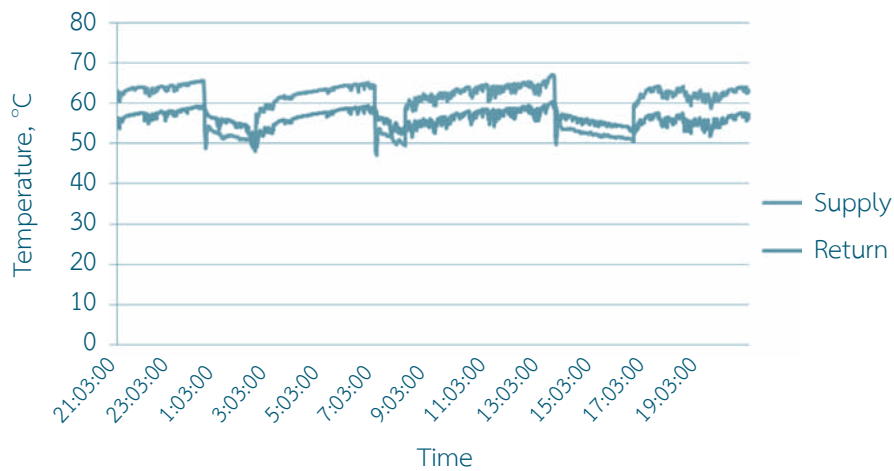
ตาราง 6.3 แสดงข้อมูลการตรวจวัดอัตราการไหลและอุณหภูมิน้ำจ่าย/น้ำกลับหลังการปรับปรุง

อาคาร B	Water Temp. (°C)		Flow Rate
	Supply	Return	LPM
Min	47.20	49.30	30.000
Max	67.10	60.30	53.000
Average	60.06	56.24	34.646

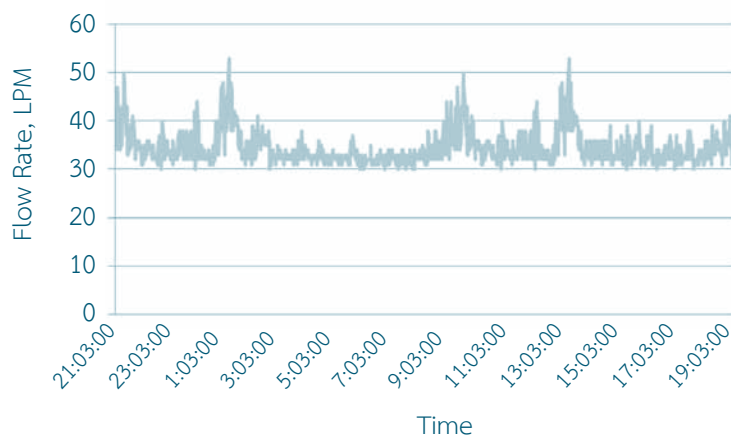
6.5 การวิเคราะห์ตัวแปรหลักในการคำนวณและตัวแปรควบคุม หลังการปรับปรุง



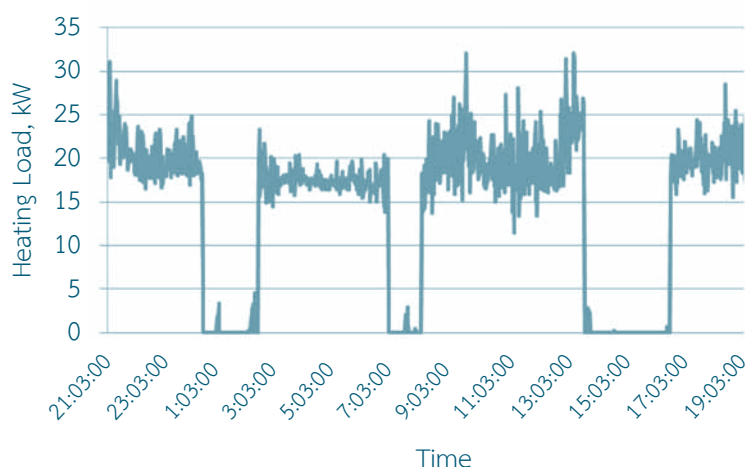
กราฟที่ 5 กำลังไฟฟ้าของระบบทำความร้อนหลังการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 23 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 25 มีนาคม 2559



กราฟที่ 6 อุณหภูมิน้ำ Supply และ Return ของอาคาร B หลังการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 23 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 25 ธันวาคม 2559



กราฟที่ 7 แสดงอัตราการไหลของน้ำจ่ายเข้าอาคาร B หลังการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 23 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 25 ธันวาคม 2559



กราฟที่ 8 ความร้อนที่ผลิตได้หลังการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 23 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 25 ธันวาคม 2559

7. ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

ตารางคำนวณค่าสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปั๊มความร้อนของโรงแรม

รายการ	สูตร/ตัวแปร	ค่า	หน่วย
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง	$P_{HP,Post}$	2.773	kW
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มน้ำหมุนเวียนหลังปรับปรุง	$P_{HWP,Post}$	0.355	kW
ร้อยละการทำงานของระบบปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง	$LF_{HT,B}$	74.58	%
ร้อยละการทำงานของปั๊มน้ำหมุนเวียนหลังปรับปรุง	$LF_{P1,B}$	82.36	%
อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่จ่ายให้อาคาร B	$T_{S,B}$	60.06	°C
อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่กลับจากอาคาร B	$T_{R,B}$	56.24	°C
อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำที่จ่ายให้อาคาร B	F_{Post}	34.646	LPM
จำนวนวันทำงาน *	D	365	d/y
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย *	ECR	3.76	Baht/kWh
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำหลังปรับปรุง	$C_{P,Post}$	4.1813	kJ/kg°C

รายการ	สูตร/ตัวแปร	ค่า	หน่วย
ค่าความหนาแน่นของน้ำหลังปรับปรุง	ρ_B	988.378	kg/m ³
คิดเป็นระดับการใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนหลังปรับปรุง	E_{Post}	20,677.817	(kWh/y) _{elec}
คิดเป็นพลังงานความร้อนใช้งานหลังปรับปรุง	Q_{Post}	65,768.821	(kWh/y) _{heat}
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง	SEC_{Post}	0.314	kW _{elec} /kW _{heat}

รายการ	สูตร/ตัวแปร	ค่า	หน่วย
ความร้อนใช้งานก่อนการปรับปรุง	$Q_{Pre,Base}$	85,793.137	(kWh/y) _{heat}
พลังงานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง	$E_{Pre,Base}$	107,694.276	(kWh/y) _{elec}
พลังงานที่ใช้หลังการปรับปรุง กรณีภาระความร้อนใช้งานเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง	$E_{Post,Base}$	26,973.49	kWh/y
ค่าพลังงานก่อนการปรับปรุง	Energy Cost Charge By Heater	404,930.48	Baht/y
ค่าพลังงานหลังการปรับปรุง	Energy Cost Charge By Heat Pump	101,420.33	Baht/y
พลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี	E_{Save}	80,720.78	kWh/y
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี	M_{Save}	303,510.15	Baht/y

หมายเหตุ : * ที่มา ผลการคำนวณจากข้อมูลการตรวจวัด

8. การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน มาตรการบีบความร้อน

พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุง (กรณีภาระความร้อนเทียบเท่าภาระความร้อนก่อนการปรับปรุง)

$$E_{Post_Base} = Q_{Pre_Base} \times SEC_{Post}$$

เมื่อ

E_{Post_Base} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง กรณีภาระความร้อนเทียบเท่าภาระความร้อนก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

Q_{Pre_Base} คือ ความร้อนใช้งานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

SEC_{Post} คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังการปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

$$E_{Save} = E_{Pre_Base} - E_{Post_Base}$$

เมื่อ

E_{Save} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)

E_{Pre} คือ พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

เปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้

$$\% \text{ Save} = [(SEC_{\text{Post}} - SEC_{\text{Pre}})/SEC_{\text{Pre}}] \times 100\%$$

เมื่อ

% Save คือ เปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้ (%)

จำนวนเงินที่ประหยัดได้

$$M_{\text{Save}} = E_{\text{Save}} \times ECR$$

เมื่อ

M_{Save} คือ จำนวนเงินที่ประหยัดได้ (Baht/y)

E_{Save} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)

ECR คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน (Baht/kWh)

ตารางที่ 8.1 ผลประหยัดพลังงานจากมาตรการเพิ่มความร้อน

ลำดับ	ความหมาย	ตัวแปร/สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย	ปริมาณ
1.	พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง	$E_{\text{Pre, Base}}$	kWh/y	107,694.276
2.	พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุง*	$E_{\text{Post, Base}}$	kWh/y	26,973.49
3.	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	$E_{\text{Save}} = E_{\text{Pre, Base}} - E_{\text{Post, Base}}$	kWh/y	80,720.78
4.	เปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้	$\% \text{ Save} = (SEC_{\text{Post}} \div SEC_{\text{Pre}}) / SEC_{\text{Pre}} \times 100\%$	%	74.95
5.	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน**	ECR	Baht/kWh	3.76
6.	จำนวนเงินที่ประหยัดได้	$M_{\text{Save}} = E_{\text{Save}} \times ECR$	Baht/y	303,510.15

หมายเหตุ: * คำนวณจากความร้อนก่อนการปรับปรุงที่ 85,793.137 kWh/y

** อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานอ้างอิงจากเอกสาร EPC





ภาคผนวก ค.

กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด : มาตรการระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึม (Absorption Chiller System) รหัสมาตรการ TEM&V-015 : 2559

1. รายละเอียดมาตรการ

สถานประกอบการ C มีการใช้งานระบบปรับอากาศโดยใช้ระบบทำน้ำเย็น (Chiller System) ขนาด 105 Ton_R จำนวน 1 เครื่อง และสถานประกอบการนี้มีการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำในกระบวนการผลิตไฟฟ้าใช้เอง โดยไอน้ำที่เหลือทิ้งออกจากโรงไฟฟ้าก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิตของสถานประกอบการยังคงมีอุณหภูมิสูงและต้องใช้เครื่องควบแน่นช่วยในการเปลี่ยนสถานะของไอน้ำให้กลายเป็นน้ำร้อนอุณหภูมิ 90-95 °C ก่อนนำไปใช้งาน ดังนั้น สถานประกอบการจึงต้องการติดตั้งระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึมเพื่อนำความร้อนทิ้งมาทำให้เกิดประโยชน์และลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศของสถานประกอบการแห่งนี้ โดยสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract) ระหว่างสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ตกลงใช้ค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้า 3.78 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยของพลังงานความร้อน 0.58 บาทต่อกิโลกรัมไอน้ำ

ระบบทำน้ำเย็นของสถานประกอบการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ในระบบทำน้ำสำหรับงานปรับอากาศ จากสภาวะการทำงานของระบบทำน้ำเย็นนี้ คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (M&V Unit) จะทำการตรวจวัด อุณหภูมิ น้ำเย็นเข้าและออกของเครื่องทำน้ำเย็น, อุณหภูมิ น้ำระบายความร้อนเข้าและออก คอนเดนเซอร์, อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, ความชื้นอากาศแวดล้อม, อัตราการไหลของน้ำเย็น, กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น, กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็นและกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำคอนเดนเซอร์โดยบันทึกข้อมูลต่อเนื่องทุก 1 นาที เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลในการคำนวณหาผลประหยัด

2. แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด ใช้แนวทางการตรวจวัดอ้างอิงระเบียบวิธีการ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) รูปแบบ B (Option B) เป็นการตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation) โดยใช้ฟารามิเตอร์หลายตัวแปรในการวิเคราะห์ผล สำหรับเกณฑ์ในการพิจารณาผลประหยัดจะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็น (Specific Energy Cost of Chiller System) ในหน่วยบาทต่อตันความเย็น (Baht/Ton_R)

หมายเหตุ : การคำนวณผลประหยัดของโครงการนี้จะคำนวณจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเท่านั้น โดยไม่นำค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการบำรุงรักษา (Maintenance Cost) และค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้งาน (Operating Cost) ของระบบทำน้ำเย็นมาใช้ในการหาผลประหยัด

3.

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลก่อนการปรับปรุง (Pre Measurement and Verification)

ความสามารถในการทำความเย็นก่อนปรับปรุง คำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$CL_{Pre} = [(\dot{m}_{w,Pre} \times C_p \times (T_{CHR} - T_{CHS})) \times 0.284345] / C_R$$

เมื่อ

CL_{Pre}	คือ	ภาระความเย็นของระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (Ton_R)
$\dot{m}_{w,Pre}$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นเฉลี่ยก่อนปรับปรุง (kg/s)
C_p	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง ($kJ/kg \text{ } ^\circ C$)
T_{CHR}	คือ	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับเฉลี่ยก่อนปรับปรุง ($^\circ C$)
T_{CHS}	คือ	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายเฉลี่ยก่อนปรับปรุง ($^\circ C$)
C_R	คือ	ค่าแก้ไขขนาดการทำความเย็น

กำลังไฟฟ้าของระบบทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง คำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$P_{Pre} = (P_{CH,Pre} / C_E) + P_{CHP,Pre} + P_{CDP,Pre}$$

เมื่อ

P_{Pre}	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kW)
$P_{CH,Pre}$	คือ	กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่ปรับแก้ค่าแล้วก่อนปรับปรุง (kW)
$P_{CHP,Pre}$	คือ	กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kW)
$P_{CDP,Pre}$	คือ	กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำคอนเดนเซอร์ก่อนปรับปรุง (kW)
C_E	คือ	ค่าแก้ไขกำลังงานไฟฟ้า

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง คำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$SEC_{Pre} = P_{Pre} / CL_{Pre}$$

เมื่อ

SEC_{Pre}	คือ	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kW/Ton_R)
-------------	-----	--

พลังงานไฟฟ้าของระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง

$$E_{Pre} = SEC_{Pre} \times CL_{Pre} \times H$$

เมื่อ

 E_{Pre} คือ พลังงานไฟฟ้าของระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kWh/y) H คือ ชั่วโมงการใช้งานของระบบทำน้ำเย็น (h/y)

พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นต่อวันก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวัดขั้นต่ำที่ระบุไว้ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง (1 วัน) สามารถใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดตลอดทั้งวันมาหาค่าเฉลี่ยแล้วใช้ค่านั้นเป็นตัวแทนข้อมูลในการหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นต่อวันได้ดังนี้

$$ED_{CH,Pre} = (P_{CH,Pre}) \times WT / C_E$$

เมื่อ

 $ED_{CH,Pre}$ คือ พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นต่อวันก่อนปรับปรุง (kWh) WT คือ เวลาทำงานจากการตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็นตลอดวัน (h)

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของปั๊มน้ำเย็นต่อวันก่อนปรับปรุง

$$ED_{CHP,Pre} = P_{CHP,Pre} \times WT$$

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของปั๊มน้ำคอนเดนเซอร์ต่อวันก่อนปรับปรุง

$$ED_{CDP,Pre} = P_{CDP,Pre} \times WT$$

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบทำน้ำเย็นต่อวันก่อนปรับปรุง

$$ED_{Pre} = ED_{CH,Pre} + ED_{CHP,Pre} + ED_{CDP,Pre}$$

 ED_{Pre} พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบทำน้ำเย็นต่อวันก่อนปรับปรุง

ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง ในหน่วยบาทต่อตันความเย็น

$$SC_{Pre} = ED_{Pre} \times ECR \times C_R / CL_{Pre}$$

เมื่อ

 SC_{Pre} คือ ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (Baht/Ton_R) ED_{Pre} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบทำน้ำเย็นต่อวันก่อนปรับปรุง (kWh) CL_{Pre} คือ ภาระความเย็นที่ใช้ต่อวันจากการตรวจวัดก่อนปรับปรุงก่อนปรับปรุง (Ton_R) ECR คือ อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานประกอบการตาม EPC (Baht/kWh)

3.1 วัน เวลา และคณะผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผล

วันและเวลาในการเข้าตรวจวัด สามารถแสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

วัน-เวลา	ผู้เข้าตรวจวัด	รายละเอียด
ทำการตรวจวัดตั้งแต่ 26 ตุลาคม 2559 เวลา 15:00 น. ถึง 27 ตุลาคม 2559 เวลา 15:00 น.	1. หัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญ พลังงาน 2. วิศวกรโครงการ 3. ช่างเทคนิค 1 4. ช่างเทคนิค 2	เข้าตรวจวัด Chiller ก่อนการปรับปรุง โดยทำการตรวจวัด เครื่องทำน้ำเย็น 1 (CH1) ปั๊มน้ำเย็น 1 (CHP1) และ ปั๊มน้ำคอนเดนเซอร์ 1 (CDP1) บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที จำนวนบันทึก 1,440 ข้อมูล ช่วงเวลาในการบันทึก 24 ชั่วโมง

3.2 ข้อมูลที่ตรวจวัด

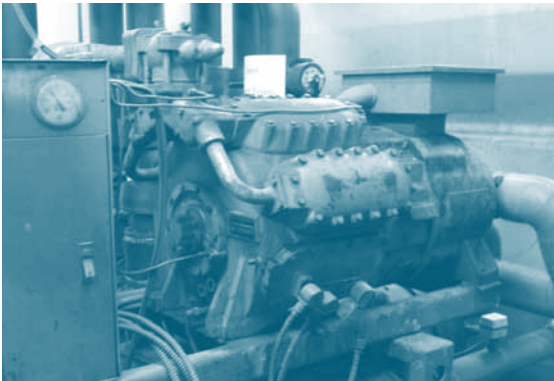
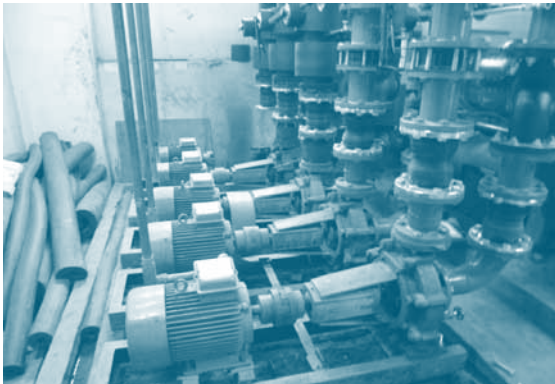
เพื่อคำนวณระดับพลังงานก่อนปรับปรุง จึงทำการเก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ และตัวแปรต่างๆ ที่เป็นสภาวะควบคุม ดังนี้

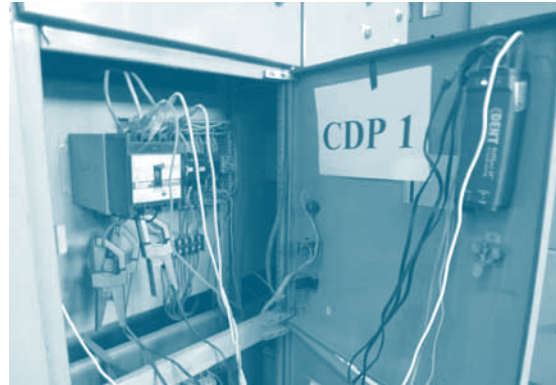
ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นก่อน การปรับปรุง $P_{CH,Pre}$ (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็นก่อนการ ปรับปรุง $P_{CHP,Pre}$ (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำคอนเดนเซอร์ ก่อนการปรับปรุง $P_{CDP,Pre}$ (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
อัตราการไหลของน้ำเย็น $V_{w,Pre}$ (m ³ /s)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบ Ultrasonic
อุณหภูมิน้ำกลับเครื่องทำน้ำเย็น $T_{CHR,Pre}$ (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิน้ำจ่ายออกจากเครื่องทำ น้ำเย็น $T_{CHS,Pre}$ (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผล ประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้า คอนเดนเซอร์ $T_{CDS,Pre}$ (°C)	ตัวแปรควบคุมการทำงานของ ระบบทำน้ำเย็น	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนออก จากคอนเดนเซอร์ $T_{CDR,Pre}$ (°C)	ตัวแปรหลักสำหรับหาค่าปรับแก้	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)

ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม $T_{amb,Pre}$ (°C)	ตัวแปรควบคุม	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
ค่าความชื้นอากาศแวดล้อม $RH_{amb,Pre}$ (%)	ตัวแปรควบคุม	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าความชื้นอากาศ (Humidity Data Logger)
จำนวนชั่วโมงในการทำงาน H (h/y)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประโยชน์	ข้อมูลจากสถานประกอบการ (4,380 ชั่วโมงต่อปี)

3.3 ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด

ระบบทำน้ำเย็นของสถานประกอบการก่อนปรับปรุงใช้คอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller Compressor, CH1) จำนวน 1 ชุด ระบบน้ำเย็นใช้ปั๊มน้ำเย็น (CHP1) 1 ชุด และระบบระบายความร้อนใช้ปั๊มน้ำคอนเดนเซอร์ (CDP1) 1 ชุด โดย M&V Unit ทำการตรวจวัดและพิสูจน์ผลเฉพาะส่วนที่ใช้งานจริงตามมาตรการ โดยตรวจวัดตามตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

อุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด	เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)
	
เครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง	
	
ปั๊มน้ำเย็นก่อนปรับปรุง	



การตรวจวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ



การตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิของน้ำเย็น



การตรวจวัดและเก็บบันทึกข้อมูลอุณหภูมิน้ำระบายความร้อน อุณหภูมิและความชื้นอากาศแวดล้อม



ตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำแบบ Ultrasonic

3.4 ผลการตรวจวัดก่อนปรับปรุง

ผลการตรวจวัดระบบทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุงของสถานประกอบการ แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4.1 แสดงข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำความเย็น CH1 ก่อนปรับปรุง

CH1 Power	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Average	228.64	88.47	14.689	229.11	93.15	15.437	228.40	92.84	15.413	45.540	0.73
Min	223.83	82.23	13.432	223.92	89.62	14.633	223.33	88.76	14.579	43.312	0.68
Max	234.44	114.61	20.941	235.07	118.08	21.722	234.47	117.79	21.269	63.833	0.81

ตารางที่ 3.4.2 แสดงข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็น CHP1 ก่อนปรับปรุง

CHP1 Power	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Average	227.96	13.21	1.860	228.29	13.17	1.833	227.77	13.23	1.849	5.542	0.61
Min	224.40	12.34	1.776	223.60	12.00	1.726	223.90	12.12	1.741	5.277	0.58
Max	233.40	14.61	2.159	233.40	14.30	2.113	232.70	14.36	2.094	6.366	0.65

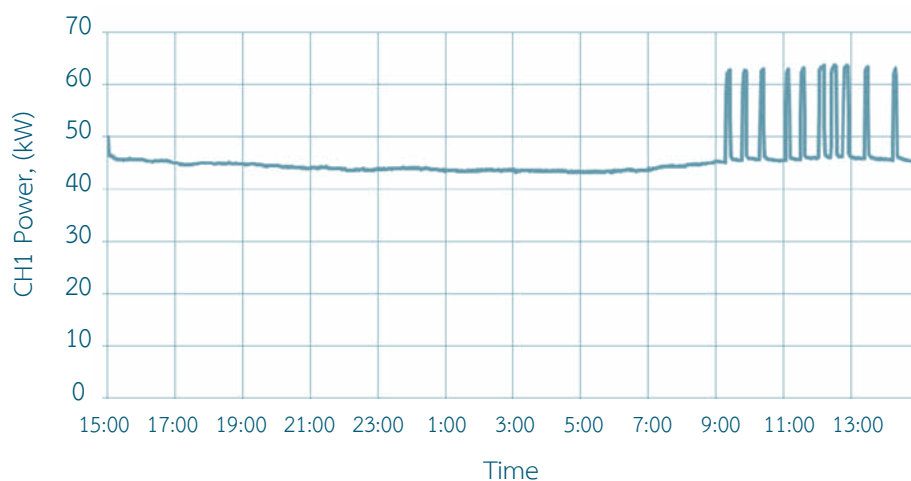
ตารางที่ 3.4.3 แสดงข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำระบายความร้อน CDP1 ก่อนปรับปรุง

CHP1 Power	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Average	227.68	15.30	2.622	228.14	14.97	2.566	227.59	15.37	2.633	7.821	0.75
Min	224.30	14.95	2.528	223.60	14.54	2.446	223.80	14.95	2.501	7.475	0.73
Max	233.20	16.09	2.717	233.40	15.49	2.634	232.70	15.94	2.685	8.036	0.77

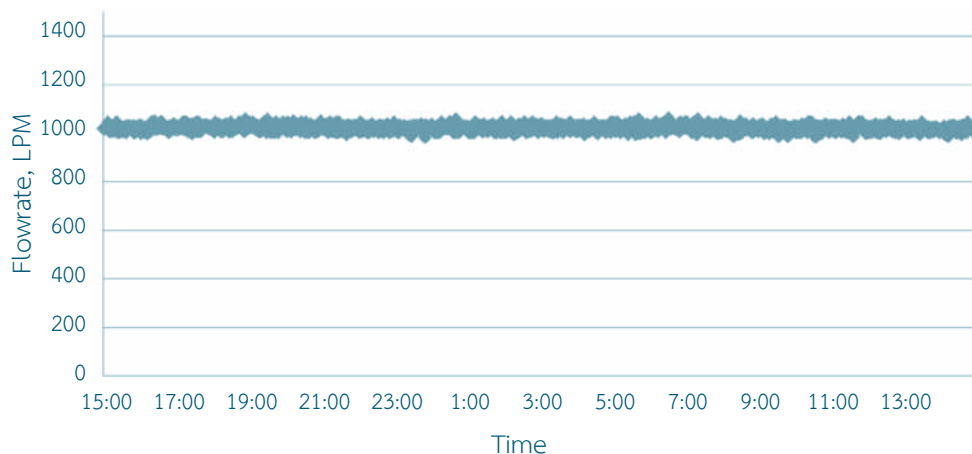
ตารางที่ 3.4.4 แสดงข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเย็น น้ำระบายความร้อน และอัตราการไหลที่ระบบทำน้ำเย็น รวมถึงอุณหภูมิและความชื้นของอากาศแวดล้อมก่อนปรับปรุง

Electrical Chiller 105 Ton _R	Ambient		Water temperature				Flow rate of chilled water
	Temp.	RH.	CHR	CHS	CDR	CDS	
	°C	%	°C	°C	°C	°C	
Average	26.30	82.55	10.65	8.82	30.72	28.76	1024.93
Min	24.80	62.50	7.71	6.50	29.60	27.80	985.45
Max	29.60	90.90	13.46	11.00	33.60	30.90	1065.20

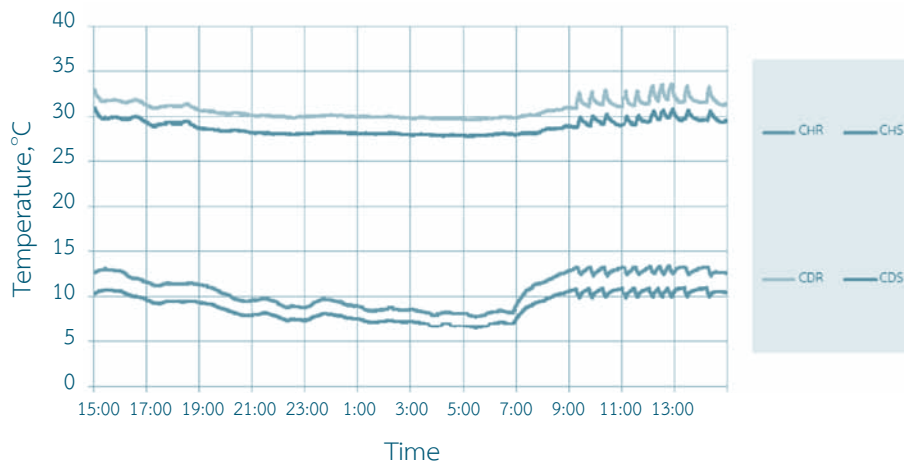
3.5 การวิเคราะห์ตัวแปรหลักในการคำนวณและตัวแปรควบคุม ก่อนการปรับปรุง



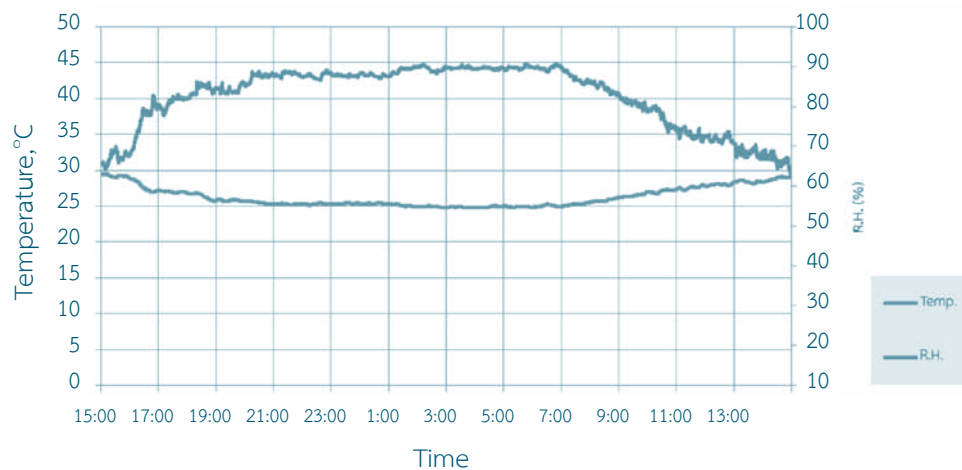
รูปที่ 3.5.1 กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 26 ตุลาคม 2559 15:00 น. ถึง 27 ตุลาคม 2559 15:00 น.



รูปที่ 3.5.2 อัตราการไหลน้ำเย็นก่อนปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 26 ตุลาคม 2559 15:00 น. ถึง 27 ตุลาคม 2559 15:00 น.



รูปที่ 3.5.3 อุณหภูมิน้ำของระบบทำน้ำเย็นบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 26 ตุลาคม 2559 15:00 น. ถึง 27 ตุลาคม 2559 15:00 น.



รูปที่ 3.5.4 อุณหภูมิและความชื้นอากาศแวดล้อม บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 26 ตุลาคม 2559 15:00 น. ถึง 27 ตุลาคม 2559 15:00 น.

4. ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

รายการ	สัญลักษณ์ / สูตร	ค่า	หน่วย
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็น	$P_{CH,Pre}$	45.540	kW
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มน้ำเย็น	$P_{CHP,Pre}$	5.578	kW
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มน้ำคอนเดนเซอร์	$P_{CDP,Pre}$	7.849	kW
อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นขากลับ	T_{CHR}	10.65	°C
อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นด้านจ่าย	T_{CHS}	8.82	°C

รายการ	สัญลักษณ์ / สูตร	ค่า	หน่วย
อัตราการไหลเชิงปริมาตรเฉลี่ยของน้ำเย็น	$F_{w,Pre}$	1,024.930	LPM
ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	C_p	4.194	kJ/kg-°C
จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานใน 1 ปี (365 วัน) ***	H	4,380	h/y
ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น	$CL_{Pre} = (m_w \times C_p \times (T_{CHR} - T_{CHS})) \times 0.284345$	37.207	TR
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$P_{CH,Pre}^* = (P_{CH,Pre} / C_E)$	47.052	kW
กำลังไฟฟารวมทั้งระบบเครื่องทำน้ำเย็น	$P_{Pre} = P_{CH,Pre}^* + P_{CHP,Pre} + P_{CDP,Pre}$	60.479	kW
ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$CL_{Pre}^* = CL_{Pre} / C_R$	34.215	Ton _R
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนการปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$SEC_{Pre} = P_{Pre} / CL_{Pre}$	1.768	kW/Ton _R
ระดับการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง	$E_{Pre} = SEC_{Pre} \times CL_{Pre}^* \times H$	288,064.392	kWh/y
ความเย็นที่ผลิตได้ต่อปี	$CL_{Pre,BL}$	1,798,340,400	BTU
ค่าไฟเฉลี่ยต่อหน่วย	ECR	3.78	Baht/kWh
คิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อปี	EC_{Pre}	1,088,883.40	Baht/y
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบทำน้ำเย็นต่อวัน (24h)***	$ED_{CH,Pre}$	1,451.496	kWh
ค่าใช้จ่ายในการทำน้ำเย็นต่อวัน (24h)***	ECD_{Pre}	5,486.65	Baht
ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็น***	SC_{Pre}	160.35	Baht/Ton _R

หมายเหตุ :

* ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทน

** ที่มา ผลการคำนวณจากข้อมูลการตรวจวัด

*** ที่มา ข้อมูลจากสถานประกอบการ

5. รายละเอียดการตรวจวัดหลังปรับปรุง

หลังปรับปรุงสถานประกอบการเปลี่ยนมาใช้ระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึม (Absorption Chiller) ขนาด 90 Ton_R จำนวน 1 เครื่อง โดย M&V unit ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็นดังกล่าว โดยตรวจวัดทั้งความร้อนและไฟฟ้าจากข้อมูลต่อไปนี้ได้แก่ กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็น กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำคอนเดนเซอร์ อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำที่เข้าเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม อุณหภูมิน้ำเย็นขากลับและด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็น, อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้าและออกคอนเดนเซอร์, อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, ค่าความชื้นอากาศแวดล้อม, อัตราการไหลของน้ำเย็น, ข้อมูลทั้งหมดใช้เครื่องบันทึกข้อมูลต่อเนื่องโดยบันทึกค่าทุก 1 นาที นาน 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลสำหรับคำนวณผลประหยัด

6. การตรวจวัดและพิสูจน์ผลหลังการปรับปรุง (Post Measurement and Verification)

ความสามารถในการทำความเย็นหลังปรับปรุง คำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$CL_{Post} = [(\dot{m}_{w,Post} \times C_p \times (T_{CHR} - T_{CHS})) \times 0.284345] / C_R$$

เมื่อ

CL_{Post}	คือ	ภาระความร้อนของระบบทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (Ton _R)
$\dot{m}_{w,Post}$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นเฉลี่ยหลังปรับปรุง (kg/s)
C_p	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kJ/kg °C)
T_{CHR}	คือ	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับเฉลี่ยหลังปรับปรุง (°C)
T_{CHS}	คือ	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายเฉลี่ยหลังปรับปรุง (°C)
C_R	คือ	ค่าแก้ไขขนาดการทำความเย็น

กำลังไฟฟ้าของระบบทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง คำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$P_{Post} = (P_{CH,Post} / C_E) + P_{CHP,Post} + P_{CTP,Post}$$

เมื่อ

P_{Post}	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kW)
$P_{CH,Post}$	คือ	กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่ปรับแก้ค่าแล้วหลังปรับปรุง (kW)
$P_{CHP,Post}$	คือ	กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kW)
$P_{CTP,Post}$	คือ	กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำระบายความร้อนหลังปรับปรุง (kW)
C_E	คือ	ค่าแก้ไขกำลังงานไฟฟ้า

ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของระบบทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง คำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$SEC_{Post} = P_{Post} / CL_{Post}$$

เมื่อ

SEC_{Post} คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของระบบทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kW/Ton_R)

พลังงานไฟฟ้าของระบบทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง

$$E_{Post} = SEC_{Post} \times CL_{Post} \times H$$

เมื่อ

E_{Post} คือ พลังงานไฟฟ้าของระบบทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kWh/y)

H คือ ชั่วโมงการใช้งานของระบบทำน้ำเย็น (h/y)

พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นต่อวันหลังปรับปรุง

จากการตรวจวัดขั้นต่ำที่ระบุไว้ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง (1 วัน) สามารถใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดตลอดทั้งวันมาหาค่าเฉลี่ยแล้วใช้ค่านั้นเป็นตัวแทนข้อมูลในการหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นต่อวันได้ดังนี้

$$ED_{CH,Post} = (P_{CH,Post} \times WT) / C_E$$

เมื่อ

$ED_{CH,Post}$ คือ พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นต่อวันหลังปรับปรุง (kWh)

W_T คือ เวลาทำงานจากการตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็นตลอดวัน (h)

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของปั๊มน้ำเย็นต่อวันหลังปรับปรุง

$$ED_{CHP,Post} = PC_{HP,Post} \times WT$$

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของปั๊มน้ำระบายความร้อนต่อวันหลังปรับปรุง

$$ED_{CTP,Post} = P_{CTP,Post} \times WT$$

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบทำน้ำเย็นต่อวันหลังปรับปรุง

$$ED_{Post} = ED_{CH,Post} + ED_{CHP,Post} + ED_{CTP,Post}$$

ED_{Post} พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบทำน้ำเย็นต่อวันหลังปรับปรุง

ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็น ในหน่วยบาทต่อตันความเย็นหลังปรับปรุง

$$SC_{Post} = (ED_{Post} \times ECR \times C_R / CL_{Post})$$

เมื่อ

SC_{Post} คือ ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (Baht/Ton_h)

ED_{Post} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบทำน้ำเย็นต่อวันหลังปรับปรุง (kWh)

CL_{Post} คือ ภาระความเย็นที่ใช้ต่อวันจากการตรวจวัดหลังปรับปรุง (Ton_h)

ECR คือ อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานประกอบการตาม EPC (Baht/kWh)

พลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม

$$Q_{in,Post} = \dot{m}_s(h_1 - h_2)$$

$\dot{m}_s$ = อัตราการไหลเชิงมวลของสารตัวกลางที่ใช้ให้ความร้อน (kg/s)

h_1 = เอนทาลปีของสารทำงานขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม (kJ/kg)

h_2 = เอนทาลปีของสารทำงานขาออกเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม (kJ/kg)

หมายเหตุ : ค่าเอนทาลปี (h) ของสารทำงานสามารถหาได้จากตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารตามแต่ชนิดสารทำงานที่ใช้ โดยในกรณีศึกษาที่สารทำงานเป็นอินทรีย์ตัวจึงหาค่าคุณสมบัติต่างๆ จากตารางอินทรีย์ตัว

ค่าพลังงานความร้อนทั้งที่นำกลับมาใช้

$$TEC_{Post} = \dot{m}_{s,Post} \times WT \times SCR$$

เมื่อ

TEC_{Post} คือ ค่าพลังงานความร้อนทั้งที่นำกลับใช้หลังปรับปรุง (Baht)

SCR_{Post} คือ อัตราค่าใช้จ่ายในการผลิตอินทรีย์ตัวหลังปรับปรุง (Baht/kg_s)

$\dot{m}_{s,Post}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอินทรีย์ตัวที่เข้าเครื่องทำความเย็นหลังปรับปรุง (kg_s/h)

WT คือ เวลาทำงานจากการตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็นตลอดวัน (h)

ค่าใช้จ่ายในการทำน้ำเย็นด้วยพลังงานความร้อนจำเพาะ

$$STEC_{Post} = TEC_{Post} / CL_{Post}$$

เมื่อ

$STEC_{Post}$ คือ ค่าใช้จ่ายในการทำน้ำเย็นด้วยพลังงานความร้อนจำเพาะ (Baht/Ton_R)

6.1 วัน เวลา และคณะผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

วัน-เวลา	ผู้เข้าตรวจวัด	รายละเอียด
20 กุมภาพันธ์ 2560 เวลา 00:00 น. ถึง 21 กุมภาพันธ์ 2560 เวลา 00:00 น.	1. หัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญพลังงาน 2. วิศวกรโครงการ 3. ช่างเทคนิค 1 4. ช่างเทคนิค 2	เข้าตรวจวัดระบบทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง โดยทำการตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็นแบบ ดูดซึมที่เปลี่ยนใหม่ ขนาด 90 Ton _R บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที จำนวนบันทึก 1,440 ข้อมูล ช่วงเวลาในการบันทึก 24 ชั่วโมง

6.2 ข้อมูลที่ตรวจวัด

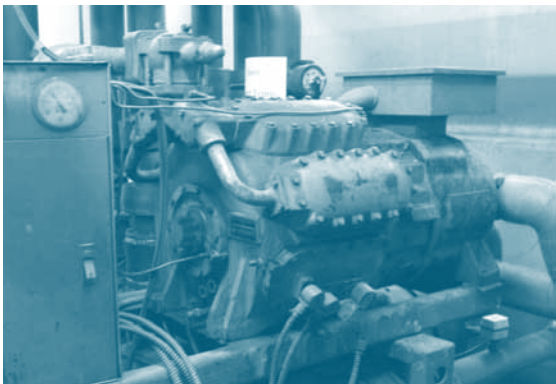
เพื่อคำนวณหาการใช้พลังงานหลังปรับปรุง M&V Unit ทำการเก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณและตัวแปรต่างๆ ที่เป็นสถานะควบคุม ดังนี้

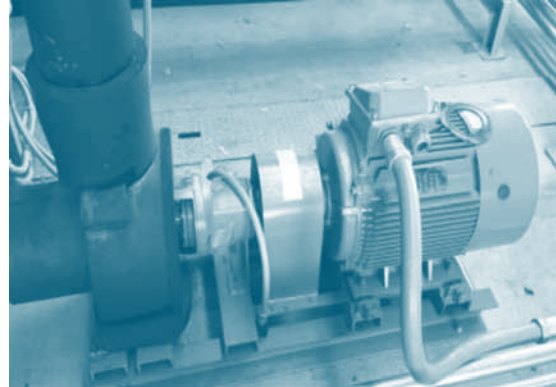
ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง $P_{CH,Post}$ (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็นหลังปรับปรุง $P_{CHP,Post}$ (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำระบายความร้อนหลังปรับปรุง $P_{CDP,Post}$ (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
อัตราการไหลของไอน้ำหลังปรับปรุง $V_{S,Post}$ (m ³ /s)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดอัตราการไหลของไอน้ำแบบ Vortex
อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง $V_{W,Post}$ (m ³ /s)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบ Ultrasonic
อุณหภูมิน้ำกลับเครื่องทำน้ำเย็น $T_{CHR,Post}$ (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)

ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
อุณหภูมิน้ำจ่ายออกจากเครื่องทำน้ำเย็น $T_{CHS,Post} (^{\circ}C)$	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม $T_{CTS,Post} (^{\circ}C)$	ตัวแปรควบคุมการทำงานของระบบทำน้ำเย็น	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนออกจากเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม $T_{CTR,Post} (^{\circ}C)$	ตัวแปรหลักสำหรับหาค่าปรับแก้	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม $T_{amb,Post} (^{\circ}C)$	ตัวแปรควบคุม	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
ค่าความชื้นอากาศแวดล้อม $RH_{amb,Post} (\%)$	ตัวแปรควบคุม	เครื่องมือวัดและบันทึกค่าความชื้นอากาศ (Humidity Data Logger)
จำนวนชั่วโมงในการทำงาน $H (h/y)$	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	ข้อมูลจากสถานประกอบการ (4,380 ชั่วโมงต่อปี)

6.3 ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด

ระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึมหลังปรับปรุง ประกอบไปด้วยเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม จำนวน 1 ชุด ในที่นี้ใช้ชื่อตัวแปรคือ CH2 โดย M&V Unit ทำการตรวจวัดและพิสูจน์ผลเฉพาะส่วนที่ใช้งานจริงตามมาตรการ ประกอบไปด้วย เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม (CH2) เป็นหลัก อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบน้ำเย็นถูกติดตั้งใหม่จากระบบทำน้ำเย็นเดิมจึงต้องทำการตรวจวัด ป้อนน้ำเย็น ป้อนน้ำระบายความร้อนที่ส่งน้ำไปหอผึ่งเย็น (Cooling Tower) รวมถึงอัตราการไหลและความดันของไอน้ำที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึมด้วย

อุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด	เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม (Absorption Chiller)
	
เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึมหลังปรับปรุงและการตรวจวัดอัตราการไหลของไอน้ำ	



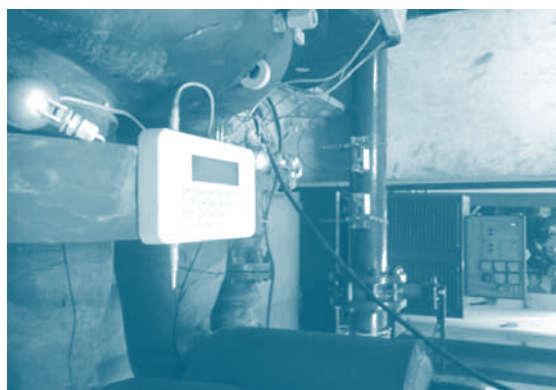
ปั๊มน้ำเย็น (CHP2) และปั๊มน้ำระบายความร้อน (CTP2) ที่ตรวจวัดกำลังไฟฟ้า



ตำแหน่งตรวจวัดความดันไอน้ำเข้าเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึมและอุณหภูมิน้ำคอนเดนเสทขาออก



ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่าย(CHS) และด้านกลับ (CHR)



ระบบท่อน้ำระบายความร้อนให้เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึมและการวัดอัตราการไหลของน้ำเย็น



การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิตามตำแหน่งต่างๆ หลังปรับปรุง

6.4 ผลการตรวจวัด

ผลการตรวจวัดระบบทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงของสถานประกอบการ แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6.4.1 ข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม (CH2) หลังปรับปรุง

Absorption Chiller Power	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Average	228.30	3.85	0.651	228.60	3.79	0.641	228.09	3.75	0.633	1.925	0.74
Min	224.54	3.54	0.553	225.19	3.22	0.508	220.10	3.21	0.495	1.556	0.70
Max	233.34	4.01	0.751	233.56	3.99	0.746	232.96	3.95	0.736	2.232	0.80

ตารางที่ 6.4.2 ข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็นของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (CHP2) หลังปรับปรุง

Chilled Water Pump	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Average	228.58	9.10	1.827	228.41	9.62	1.915	228.91	9.78	1.957	5.700	0.88
Min	223.31	9.00	1.731	223.59	9.52	1.770	224.61	9.69	1.868	5.428	0.83
Max	234.03	9.18	1.964	233.49	9.70	2.074	233.75	9.87	2.068	6.090	0.93

ตารางที่ 6.4.3 ข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำระบายความร้อนของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (CTP2) หลังปรับปรุง

Cooling Tower Pump	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Average	228.20	7.89	1.674	227.75	7.97	1.680	228.24	7.85	1.652	5.006	0.93
Min	221.42	7.79	1.583	221.29	7.84	1.582	221.95	7.75	1.580	4.828	0.88
Max	233.72	7.99	1.751	233.10	8.08	1.774	233.51	7.95	1.733	5.242	0.98

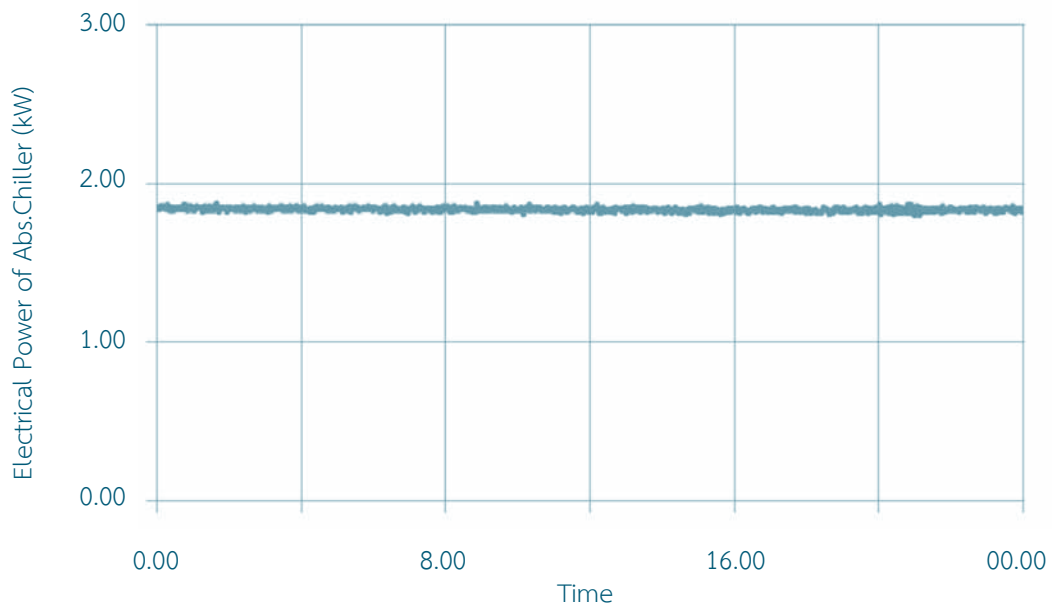
ตารางที่ 6.4.4 ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศแวดล้อม อัตราการไหลน้ำเย็นและอุณหภูมิของน้ำที่ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมหลังปรับปรุง

Absorption Chiller State	Ambient		Water temperature				Flow rate of chilled water
	Temp.	RH.	CHR	CHS	CDR	CDS	
	°C	%	°C	°C	°C	°C	LPM
Average	26.01	82.65	12.59	9.51	30.28	28.07	1,144.71
Min	24.80	70.40	11.50	9.30	25.00	25.00	1,131.89
Max	28.60	91.00	13.60	9.80	32.00	30.20	1,153.66

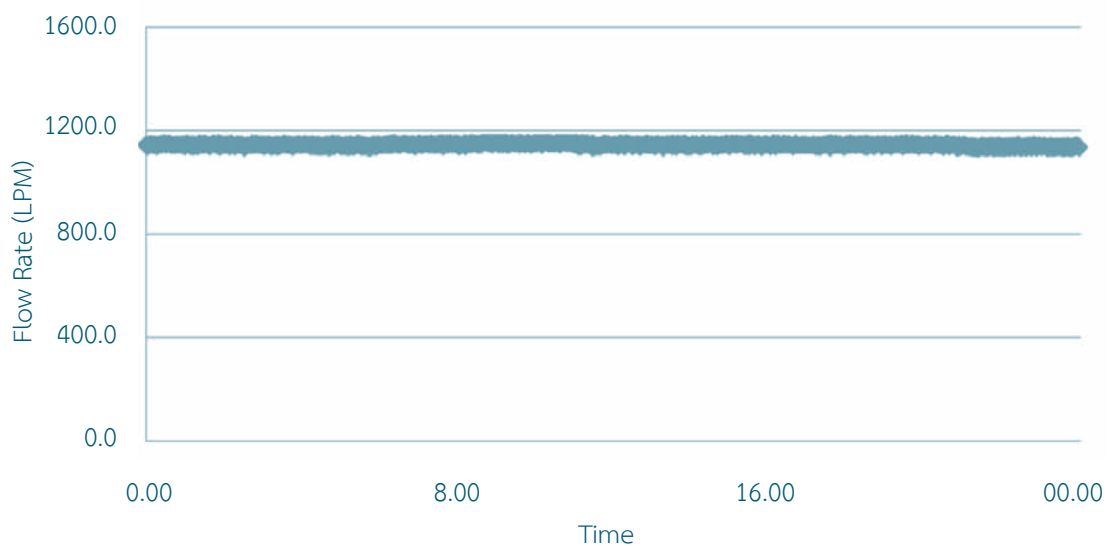
ตารางที่ 6.4.5 ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมหลังปรับปรุง

Steam Consumption Measurement	Steam (Sat.)		Steam Inlet Meter (Working Time 24 h)				Condensate
	Pressure	Temp	Average	Min	Max	Total (Meter)	
	bar (abs)	°C	kgS/h	kgS/h	kgS/h	kgS	°C
Average	6.32	161.8	197.29	0.39	515.94	4,738.31	90.0

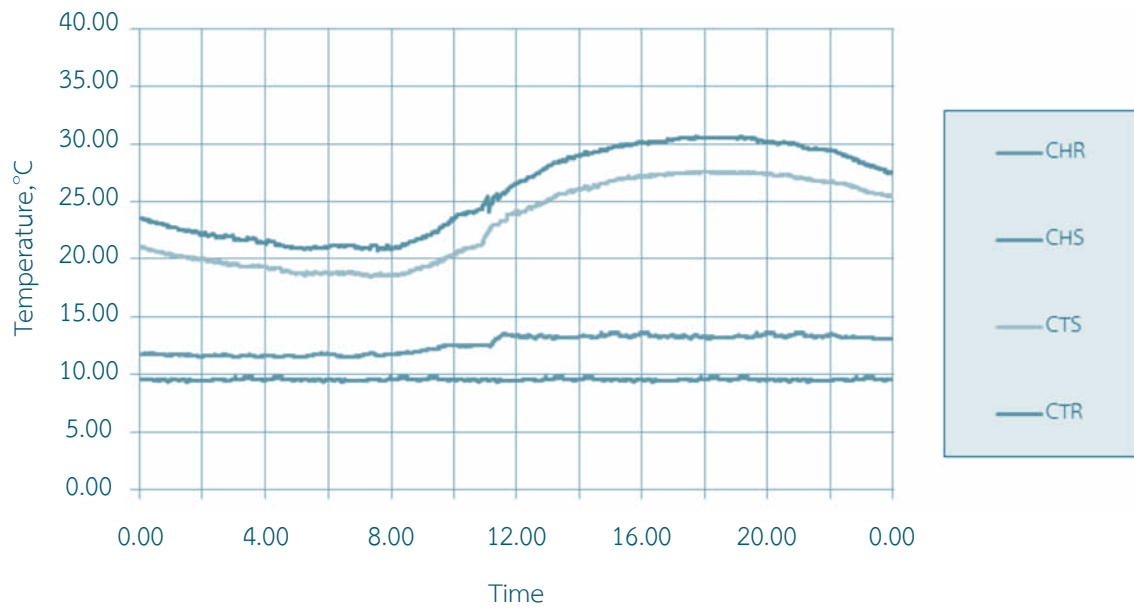
6.5 การวิเคราะห์ตัวแปรหลักในการคำนวณและตัวแปรควบคุม หลังการปรับปรุง



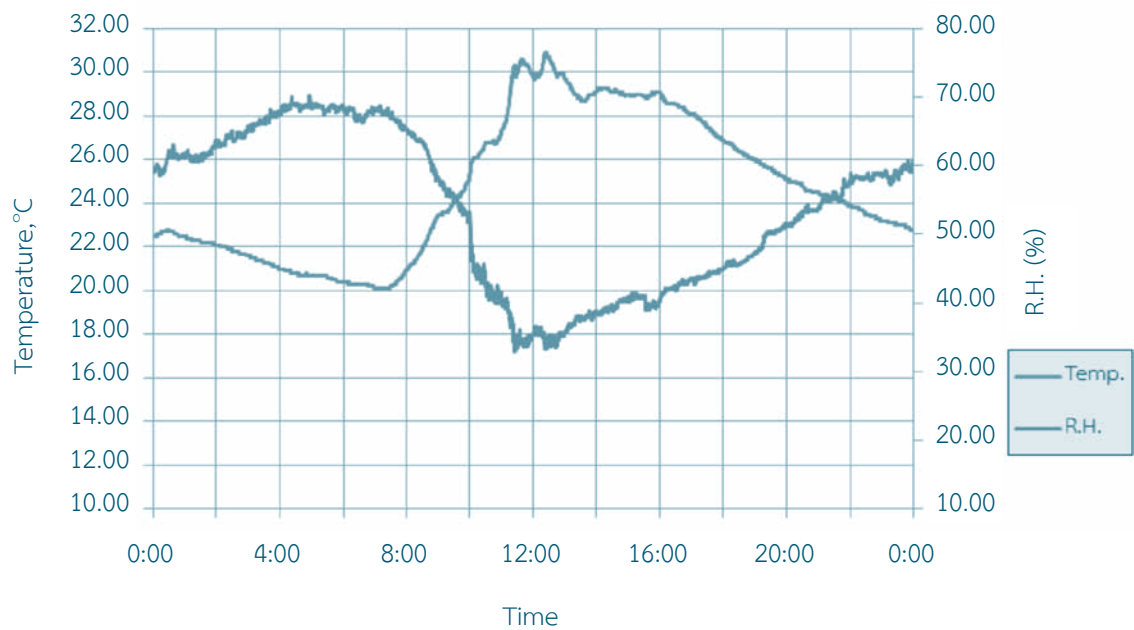
รูปที่ 6.5.1 กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึมหลังปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2560 00:00 น. ถึง 21 กุมภาพันธ์ 2560 00:00 น.



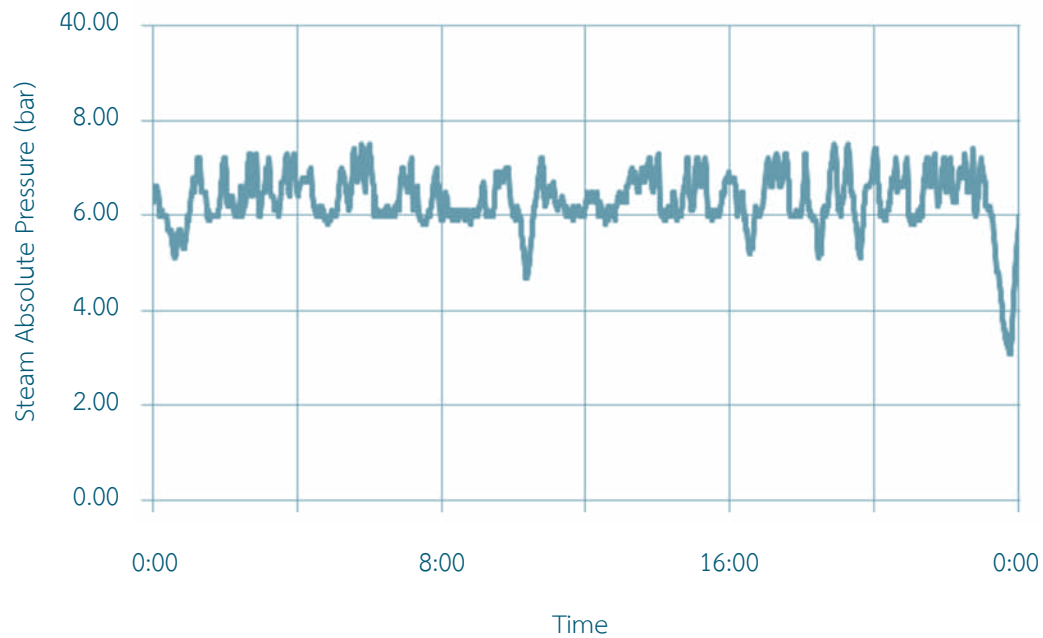
รูปที่ 6.5.2 อัตราการไหลของน้ำเย็นไหลหลังปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2560 00:00 น. ถึง 21 กุมภาพันธ์ 2560 00:00 น.



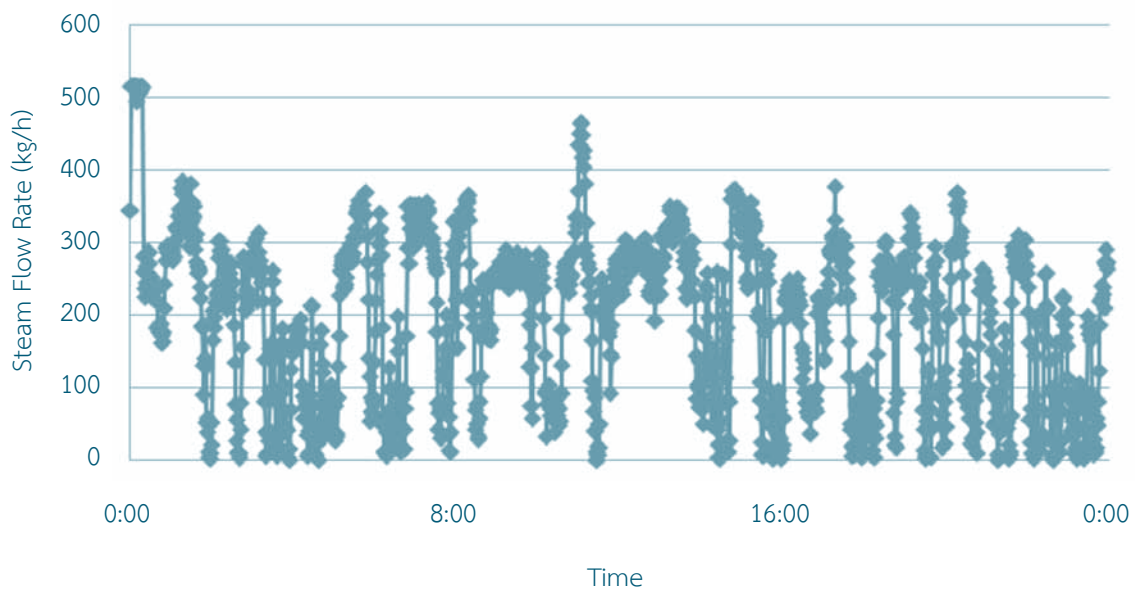
รูปที่ 6.5.3 อุณหภูมิน้ำของระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึมหลังปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2560 00:00 น. ถึง 21 กุมภาพันธ์ 2560 00:00 น.



รูปที่ 6.5.4 อุณหภูมิและความชื้นอากาศแวดล้อม บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2560 00:00 น. ถึง 21 กุมภาพันธ์ 2560 00:00 น.



รูปที่ 6.5.5 ความดันสัมบูรณ์ของไอน้ำ บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที
ระหว่างวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2560 00:00 น. ถึง 21 กุมภาพันธ์ 2560 00:00 น.



รูปที่ 6.5.6 อัตราการไหลของไอน้ำเข้าระบบทำความเย็นแบบดูดซึมหลังปรับปรุงบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2560 00:00 น. ถึง 21 กุมภาพันธ์ 2560 00:00 น.

7. ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงาน หลังการปรับปรุง

รายการ	สัญลักษณ์ / สูตร	ค่า	หน่วย
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม	$P_{CH,Pre}$	1.925	kW
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มน้ำเย็น	$P_{CHP,Pre}$	5.700	kW
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มน้ำระบายความร้อน	$P_{CDP,Pre}$	5.006	kW
อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นขากลับ	T_{CHR}	12.59	°C
อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นด้านจ่าย	T_{CHS}	9.51	°C
อัตราการไหลเชิงปริมาตรเฉลี่ยของน้ำเย็น	$F_{w,Post}$	1,144.71	LPM
ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	C_p	4.192	kJ/kg-°C
จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานใน 1 ปี (365 วัน) ***	H	4,380	h/y
ภาระทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง	$CL_{Post} = (m_w \times C_p \times (T_{CHR} - T_{CHS})) \times 0.284345$	70.02	Ton _R
กำลังไฟฟารวมทั้งระบบเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง	$P_{Post} = P_{CH,Post} + P_{CHP,Post} + P_{CTP,Post}$	12.631	kW
ภาระทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุงที่สถานะมาตรฐาน ($C_R=1.089$)	$CL_{Post}^* = CL_{Post} / C_R$	64.29	Ton _R
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุงที่สถานะมาตรฐาน	$SEC_{Post} = P_{Post} / CL_{Post}$	0.196	kW/Ton _R
พลังงานที่ใช้หลังปรับปรุงกรณีใช้ภาระความเย็นเท่ากับหลังปรับปรุงเป็นฐาน	$E_{Post} = SEC_{Post} \times CL_{Post}^* \times H$	55,191.679	kWh/y
ภาระทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง	CL_{Pre}^*	34.215	Ton _R
พลังงานที่ใช้หลังปรับปรุงกรณีใช้ภาระความเย็นเท่ากับก่อนปรับปรุงเป็นฐาน	$E_{Post} = SEC_{Post} \times CL_{Pre}^* \times H$	29,372.89	kWh/y
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี	ES_{Elec}	258,691.50	kWh/y
ค่าไฟเฉลี่ยต่อหน่วย	ECR	3.78	Baht/kWh
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี	ECS	977,853.87	Baht/y
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบทำน้ำเย็นต่อวัน (24h)***	$ED_{CH,Post}$	303.144	kWh
ค่าไฟฟ้าในการทำน้ำเย็นต่อวัน (24h)***	ECD_{Post}	1,145.88	Baht
ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของระบบทำน้ำเย็น***	SC_{Post}	17.82	Baht/Ton _R
อัตราส่วนไอน้ำต่อภาระความเย็น	SRR	73.70	kgS/Ton _R
อัตราค่าใช้จ่ายในการผลิตไอน้ำของสถานประกอบการ	SPC	0.58	Baht/kg _S
มูลค่าความร้อนทิ้งจากไอน้ำนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ต่อวัน	WSC	2,748.21	Baht

8. การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดน้ำเย็น

พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุง

$$E_{\text{Post,Base}} = \text{SEC}_{\text{Post}} \times \text{CL}_{\text{Pre}} \times H$$

เมื่อ

$E_{\text{Post,Base}}$ คือ พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุง กรณีที่ใช้ภาระความเย็นเทียบเท่าสภาวะก่อนปรับปรุง (kWh/y)

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ คำนวณได้จากสมการ

$$E_{\text{Save}} = E_{\text{Pre}} - E_{\text{Post,Base}}$$

เมื่อ

E_{Save} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)

เปอร์เซ็นต์ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า คำนวณได้จากสมการ

$$\text{SP} = \frac{E_{\text{Pre}} - E_{\text{Post,Base}}}{E_{\text{Pre}}} \times 100\%$$

เมื่อ

SP คือ เปอร์เซ็นต์ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า (%)

จำนวนเงินที่ประหยัด คำนวณได้จากสมการ

$$\text{CS} = (\text{ECR} \times E_{\text{Save}}) + (\text{CL}_{\text{Pre,Base}} \times \text{SRR} \times \text{SPC})$$

เมื่อ

CS คือ จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปี (Baht/y)

$\text{CL}_{\text{Pre,Base}}$ คือ ภาระความเย็นตลอดทั้งปีจาก Baseline (Ton_R)

SRR คือ อัตราส่วนไอน้ำต่อภาระความเย็นของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (kg_S/Ton_R)

SPC คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตไอน้ำเฉลี่ยของสถานประกอบการ (Baht/kg_S)

ตารางที่ 8.1 ผลประหยัดพลังงานจากมาตรการระบบทำน้ำเย็นแบบดูดซึม

ลำดับ	ความหมาย	ตัวแปร/สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย	ปริมาณ
1	พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	E _{Pre}	kWh/y	288,064.392
2	พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง	E _{Post,Base}	kWh/y	29,372.89
3	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	E _{Save}	kWh/y	258,691.50
4	เปอร์เซ็นต์ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า	$SP = \frac{E_{Pre} - E_{Post,Base}}{E_{Pre}} \times 100\%$		89.8
5	จำนวนเงินจากพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	ECS	Baht/y	977,853.87
6	จำนวนเงินที่ประหยัดจากการนำไอน้ำทิ้งกลับมาใช้	$WSC_{Base} = (WSC \times H) / 24$	Baht/y	501,548.32
7	จำนวนเงินที่ประหยัดได้ตลอดปี	CS	Baht/y	1,479,402.19

ตารางแสดงข้อมูลการค่าแก้ไขขนาดการทำความเย็นและพลังงานไฟฟ้า สำหรับเครื่องทำน้ำเย็น

อุณหภูมิน้ำระบายความร้อน Cooling tower (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำเย็น ด้านออก (องศาเซลเซียส)	ค่าแก้ไข		
		ขนาดการทำความเย็น (C _R)	กำลังไฟฟ้า (C _E)	พลังงานไฟฟ้าต่อตัน ความเย็น
25	5	1.02	0.88	0.86
	6	1.05	0.88	0.84
	7	1.08	0.89	0.83
	7.2	1.08	0.89	0.83
	8	1.11	0.90	0.82
	9	1.13	0.91	0.81
	10	1.15	0.92	0.80
30	5	0.72	0.95	1.31
	6	0.99	0.96	0.96
	7	1.02	0.97	0.95
	7.2	1.03	0.97	0.94
	8	1.05	0.98	0.93
	9	1.08	0.99	0.92
	10	1.11	1.00	0.90
32.2	5	0.80	0.98	1.22
	6	0.97	0.99	1.02
	7	1.00	1.00	1.00
	7.2	1.00	1.00	1.00
	8	1.02	1.01	0.98
	9	1.05	1.02	0.97
	10	1.06	1.03	0.95

อุณหภูมิระบายความร้อน Cooling tower (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำเย็น ด้านออก (องศาเซลเซียส)	ค่าแก้ไข		
		ขนาดการทำความเย็น (C_R)	กำลังไฟฟ้า (C_E)	พลังงานไฟฟ้าต่อตัน ความเย็น
35	5	0.90	1.01	1.13
	6	0.94	1.03	1.09
	7	0.97	1.04	1.07
	7.2	0.97	1.04	1.07
	8	0.99	1.05	1.06
	9	1.02	1.06	1.04
	10	1.05	1.07	1.02
40	5	0.86	0.96	1.11
	6	0.89	1.09	1.23
	7	0.91	1.08	1.19
	7.2	0.93	1.09	1.19
	8	0.96	1.12	1.20
	9	0.96	1.13	1.18
	10	0.99	1.14	1.15
45	5	0.81	1.14	1.41
	6	0.83	1.16	1.39
	7	0.86	1.17	1.37
	7.2	0.86	1.17	1.36
	8	0.88	1.19	1.35
	9	0.91	1.20	1.32
	10	0.93	1.22	1.30

หมายเหตุ : ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)





ภาคผนวก ง.

กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน :
มาตรการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตความร้อน
(Solar Thermal Energy)

รหัสมาตรการ TEM&V - 016 : 2559

1. รายละเอียดมาตรการ

ระบบให้ความร้อนที่ใช้ในฟาร์มปศุสัตว์ของสถานประกอบการ A ก่อนการปรับปรุง ใช้ขดลวดความร้อนขนาด 100 W จำนวน 150 ชุด ในการให้ความร้อนจำนวน 1 ฟาร์ม ได้แก่ฟาร์ม F4R โดยขดลวดความร้อน 1 ชุดใช้ในเล้าสัตว์ 1 เล้า เปิดใช้งานตามภาระงานจริงขึ้นอยู่กับจำนวนสัตว์ในเล้าจากสภาวะการใช้งานจริงที่สำรวจนี้ M&V Unit จะทำการตรวจวัดอัตราความเปลี่ยนแปลงพลังงานของระบบผลิตความร้อนนี้โดยวิเคราะห์จาก ค่ากำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อน อุณหภูมิอากาศในโรงเรือน อุณหภูมิอากาศภายในเล้า อุณหภูมิและความชื้นของสภาวะแวดล้อม โดยเก็บข้อมูลต่อเนื่องบันทึกค่าทุก 1 นาที เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลใช้ในการคำนวณหาผลประหยัด

2. แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

จากแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (Measurement and Verification; M&V) อ้างอิงระเบียบวิธีการของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งเป็นแนวทางสากล M&V Unit เลือกวิเคราะห์หาผลประหยัดจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ตามความเหมาะสมและข้อจำกัดของโครงการโดยเลือกเป็น **รูปแบบ B** การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation) และใช้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption) เป็นเกณฑ์ในการชี้วัดผลประหยัดของโครงการ

แนวทางการวิเคราะห์ผลประหยัดจะพิจารณาจากการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) ก่อนการปรับปรุงของขดลวดความร้อน และใช้ตัวแปรควบคุมคือค่าอุณหภูมิภายในเล้า โดยมีเงื่อนไขการทำงานคือก่อนที่ ESCO จะให้ M&V Unit เข้าตรวจวัดหลังปรับปรุง ESCO จะต้องดำเนินการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์สำคัญได้แก่ การรักษาอุณหภูมิภายในเล้าให้อยู่ในระดับที่สัตว์ต้องการด้วยระบบผลิตความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์หลังปรับปรุง โดยค่าอุณหภูมิภายในเล้านี้จะต้องใกล้เคียงกันกับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในเล้าของระบบผลิตความร้อนด้วยขดลวดความร้อนก่อนปรับปรุง โดยอนุโลมให้แตกต่างกันได้ไม่เกิน 10%

3. การตรวจวัดและพิสูจน์ผลก่อนการปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง

เมื่อสถานประกอบการและ ESCO ได้ตกลงค่าตัวแปรควบคุมที่จะใช้เป็นเป้าหมายในการทำงานของระบบผลิตความร้อนทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง โดยกำหนดค่า $TC_{Pre} = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากนั้นให้ระบบควบคุมอุณหภูมิของขดลวดความร้อน

ร้อนทำงานโดยอัตโนมัติ จึงเริ่มตรวจวัดและบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงของระบบผลิตความร้อน หาได้ดังนี้

$$E_{\text{Heater,Pre}} = P_{\text{Heater,Pre}} \times LF_{\text{Heater,Pre}} \times H$$

โดยที่

$E_{\text{Heater,Pre}}$	=	พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง (kWh/y)
$P_{\text{Heater,Pre}}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง (kW_{elec})
$LF_{\text{Heater,Pre}}$	=	ตัวประกอบภาระงานของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง (fraction)
H	=	ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตความร้อนพื้นฐาน (h/y)
TC_{Pre}	=	อุณหภูมิควบคุมภายในเล้าสัตว์ก่อนการปรับปรุง ($^{\circ}\text{C}$)

ภาระความร้อน (Heating Load)

การหาภาระความร้อนจากสารตัวกลาง (อากาศ) ที่เคลื่อนที่ผ่านชุดขดลวดความร้อนสามารถหาได้จากอัตราไหลเชิงปริมาตรของสารตัวกลาง ด้วยสมการดังนี้

$$HL_{\text{Pre}} = \dot{m}_{\text{Pre}} \times C_p \times (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})_{\text{Pre}}$$

โดยที่

HL_{Pre}	=	ภาระทำความร้อน กิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat}) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)
$\dot{V}_a$	=	อัตราการไหลของสารตัวกลาง (L/min, L/s, m^3/min , m^3/s , GPM, ฯลฯ)
$T_{\text{in,Pre}}$	=	อุณหภูมิสารตัวกลางขาเข้าระบบผลิตความร้อน ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$)
$T_{\text{out,Pre}}$	=	อุณหภูมิสารตัวกลางด้านจ่ายของระบบผลิตความร้อน ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$)
$T_{\text{amb,Pre}}$	=	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$)
$C_{p,\text{Pre}}$	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารตัวกลาง ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, $\frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^{\circ}\text{F}}$)
$\dot{m}_{\text{Pre}}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของสารตัวกลาง (kg/s, lb/s)

อัตราการไหลเชิงมวลของสารตัวกลาง(อากาศ) หาได้จากสมการดังนี้

$$\dot{m}_{\text{Pre}} = \rho_a \times \dot{V}_a$$

โดยที่

ρ_a	=	ความหนาแน่นของอากาศ kg/m^3
$\dot{V}_a$	=	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ m^3/s

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนการปรับปรุง

$$SEC_{Pre} = \left[\frac{P_{Heater}}{HL} \right]_{Pre}$$

โดยที่

SEC_{Pre} = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง $\frac{W_{elec}}{(BTU/h)}$

$P_{Heater,Pre}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของขดลวดความร้อนก่อนการปรับปรุง (kW_{elec})

HL_{Pre} = ภาระทำความร้อน กิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat}) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)

3.1 วัน เวลา และคณะผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผล

วัน-เวลา	ผู้เข้าตรวจวัด	รายละเอียด
19 พฤษภาคม 2559 ถึง 20 พฤษภาคม 2559	1. หัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญพลังงาน 2. วิศวกร 3. ช่างเทคนิคเครื่องกล 4. ช่างเทคนิคไฟฟ้า	เข้าตรวจวัดระบบผลิตความร้อนก่อนการปรับปรุงโดยทำการตรวจวัด 1. กำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อนแต่ละฟาร์ม 2. อุณหภูมิภายในโรงเรือน 3. อุณหภูมิภายในเล้าสัตว์ 4. อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม 5. ความชื้นของสภาวะแวดล้อม บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที จำนวนบันทึก 1,440 ข้อมูล ช่วงเวลาในการบันทึก 24 ชั่วโมง

3.2 ข้อมูลที่ตรวจวัด

เพื่อคำนวณระดับพลังงานก่อนการปรับปรุง จึงทำการเก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ และตัวแปรต่างๆ ที่เป็นสภาวะควบคุม ดังนี้

ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
กำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อน (kW)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	ติดตั้งเครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder) ที่เบรกเกอร์ของขดลวดความร้อนฟาร์ม F4R
อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	ตัวแปรควบคุม	ติดตั้งเครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger) บริเวณกลางโรงเรือนฟาร์ม F4R

ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
อุณหภูมิไส้ส้ว (°C)	ตัวแปรควบคุม	ติดตั้งเครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger) บริเวณกลางไส้ส้ว
อุณหภูมิสถานะแวดล้อม (°C)	ตัวแปรควบคุม	ติดตั้งเครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger) บริเวณภายนอกโรงเรือน
ความชื้นสถานะแวดล้อม (%RH)	ตัวแปรควบคุม	ติดตั้งเครื่องมือวัดและบันทึกค่าความชื้นอากาศ (Humidity Data Logger) บริเวณภายนอกโรงเรือน
จำนวนชั่วโมงในการทำงาน (h/y)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประหยัด	ข้อมูลจากสถานประกอบการ

3.3 ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด

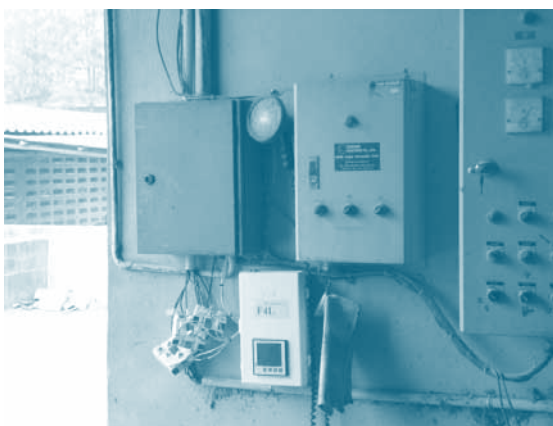
3.3.1 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตความร้อน

สถานประกอบการใช้ขดลวดความร้อนเพื่อผลิตความร้อนให้แก่ลูกสัตว์ภายในเล้าของฟาร์ม F4R โดยระบบไฟฟ้าของขดลวดความร้อนนี้มีเบรกเกอร์แยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่นๆ ของสถานประกอบการ M&V Unit จึงทำการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดไฟฟ้าที่เบรกเกอร์นี้ดังแสดงในรูป

3.3.2 การตรวจวัดอุณหภูมิ อัตราการไหลของอากาศ และตัวแปรควบคุม

มาตรการนี้ตัวแปรควบคุมมีผลกระทบอย่างยิ่งในการผลิตของสถานประกอบการ ดังนั้นการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ จึงต้องได้รับการยอมรับของผู้ควบคุมฟาร์ม และเจ้าของสถานประกอบการรวมถึง ESCO จากนั้นเมื่อกำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งเซ็นเซอร์ได้แล้ว M&V Unit จึงติดตั้งเครื่องมือเพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในการนำไปคำนวณผลประหยัดโดยมีตัวแทนของทุกฝ่ายร่วมตรวจสอบในวันดำเนินการ

อุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด	ขดลวดความร้อน อุณหภูมิ ความชื้น และอัตราการไหลอากาศ
------------------------	---





ลักษณะภายในโรงเรียนและเล้าสัตว์ของฟาร์ม F4R ก่อนการปรับปรุง

3.4 ผลการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง

ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตความร้อนของสถานประกอบการ แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4.1 แสดงข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อนฟาร์ม F4R ก่อนการปรับปรุง

F4R	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Average	217.97	12.47	2.680	222.05	24.86	5.442	217.75	24.64	5.291	13.414	0.99
Min	211.30	11.04	2.331	215.50	24.40	5.210	213.20	24.40	5.133	12.804	0.98
Max	224.00	13.18	2.930	227.90	25.26	5.664	223.60	25.02	5.557	14.152	0.99

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ของเล้าสัตว์ โรงเรียนและอากาศแวดล้อมของฟาร์ม F4R แสดงดังตารางต่อไปนี้

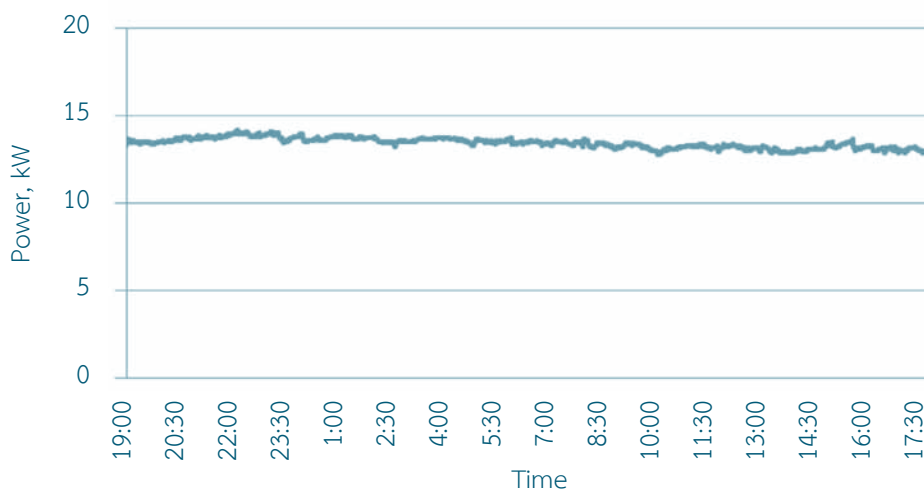
ตาราง 3.4.2 แสดงข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ของฟาร์ม F4R ก่อนการปรับปรุง

F4R	Temp. (°C)		Amb.	
	โรงเรือน	เล้าสัตว์	Temp. (°C)	%RH
Average	25.5	33.0	26.7	81.2
Min	23.7	23.9	23.6	57.7
Max	28.9	34.2	34.0	94.2

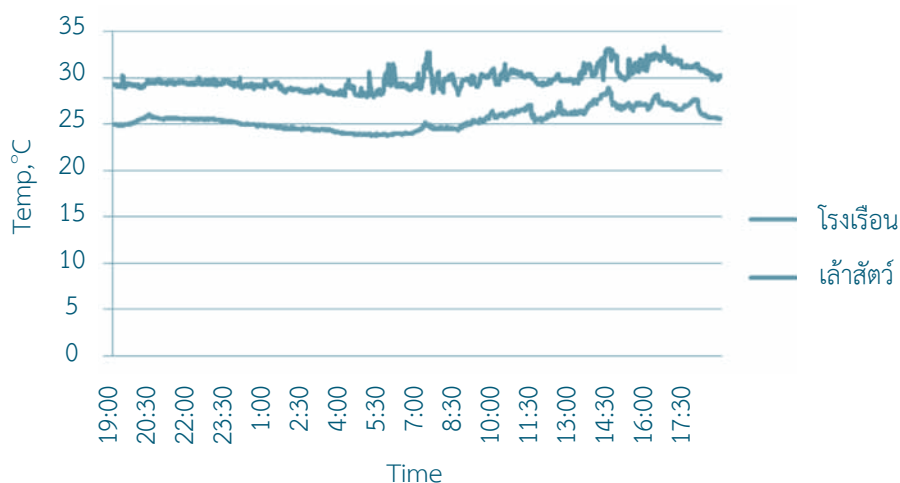
ตาราง 3.4.3 แสดงข้อมูลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ ณ จุดต่างๆ จากเล้าสัตว์ในฟาร์ม F4R ก่อนการปรับปรุง

F4R	อัตราการไหลของอากาศในเล้าสัตว์ (m ³ /s)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4
Average	0.96	1.12	0.96	0.96
Min	0.64	0.80	0.48	0.64
Max	1.44	1.60	1.44	1.44
ค่าเฉลี่ยความอัตราการไหลอากาศ		1.00 m ³ /s		

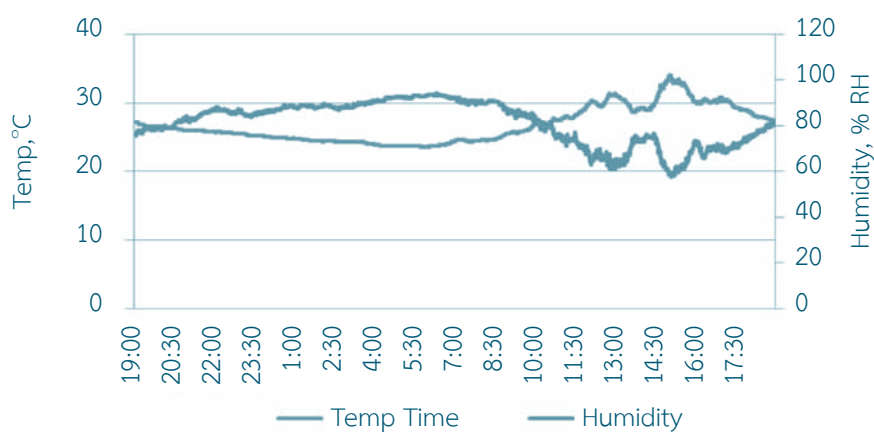
3.5 การวิเคราะห์ตัวแปรหลักในการคำนวณและตัวแปรควบคุม ก่อนการปรับปรุง



กราฟที่ 3.5.1 แสดงกำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อนฟาร์ม F4R ก่อนการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 19 พฤษภาคม 2559 ถึง วันที่ 20 พฤษภาคม 2559



กราฟที่ 3.5.2 แสดงอุณหภูมิโรงเรือนและเล้าสัตว์ก่อนการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 19 พฤษภาคม 2559 ถึง วันที่ 20 พฤษภาคม 2559



กราฟที่ 3.5.3 แสดงอุณหภูมิและความชื้นอากาศแวดล้อมของฟาร์ม F4R ก่อนการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 19 พฤษภาคม 2559 ถึง วันที่ 20 พฤษภาคม 2559

4. ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

ตาราง 4.1 การคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบผลิตความร้อนด้วยขดลวดความร้อน

รายการ	สูตร/ตัวแปร	หน่วย	ค่า
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของขดลวดความร้อนรวม 150 ชุด	$P_{\text{Heater,Pre}}$	kW_{elec}	13.414
ตัวประกอบภาระงานของขดลวดความร้อน ก่อนการปรับปรุง	$LF_{\text{Pre}} = \text{Time ON} / (\text{Time ON} + \text{OFF})$	-	1
ความร้อนจากการตรวจวัดลมร้อนผ่านที่เล้าสัตว์โดยรวม	$HL_{\text{Pre}} = \dot{m}_{\text{Pre}} \times C_p \times (T_{\text{out}} - T_{\text{in,Pre}})$	kW_{heat}	8.6793

ตาราง 4.1 การคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบผลิตความร้อนด้วยขดลวดความร้อน (ต่อ)

รายการ	สูตร/ตัวแปร	หน่วย	ค่า
ความร้อนจากการตรวจวัดลมร้อนผ่านที่เล่าสัตว์โดยรวม	ค่าคงที่ในการแปลง หน่วย $12,000 \text{ BTU/h} = 3.513 \text{ kW}_{\text{heat}}$	BTU/h	29,641.36
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของหลอดไฟ F4R	$\text{SEC}_{\text{Pre}} = \left[\frac{P_{\text{Heater}}}{HL} \right]_{\text{Pre}}$	$\text{W}_{\text{elec}}/(\text{BTU/h})$	0.4525
ชั่วโมงการทำงานปีฐาน	H	h/y	8,760
อัตราค่าไฟฟ้าฐาน	ECR	Baht/kWh	3.78
ความร้อนที่ใช้ภายในรอบ 1 วัน	$HL_{\text{Pre,day}} = 24 \times HL_{\text{Pre}}$	BTU/day	711,392.64
ค่าความร้อนที่ใช้ภายในรอบ 1 ปี*	$HL_{\text{Pre,year}} = HL_{\text{Pre}} \times H$	BTU/y	259,658,313.6
ระดับการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงปีฐาน	$P_{\text{Heater,Pre}} \times LF_{\text{Heater,Pre}} \times H$	kWh/y	117,506.64
คิดเป็นค่าใช้จ่ายก่อนการปรับปรุงปีฐาน	EC_{Pre}	Baht/y	444,175.09

หมายเหตุ ค่า $LF_{\text{Pre}} = 1$ เพราะจากการตรวจวัดระบบผลิตความร้อนทำงานตลอดเวลาที่เปิดใช้งาน

5. รายละเอียดการตรวจวัดหลังการปรับปรุง

ระบบให้ความร้อนแก่ฟาร์มปศุสัตว์ F4R ของสถานประกอบการ หลังการปรับปรุงเปลี่ยนมาใช้ระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยระบบนี้เมื่อความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่กักเก็บไว้ไม่เพียงพอในเวลากลางคืนหรือต้องการใช้งานความร้อนในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ผู้ออกแบบจึงได้ติดตั้งระบบทำความร้อนสำรอง (Back Up Heater) ไว้โดยใช้ไฟฟ้าในการผลิตน้ำร้อน โดยระบบทำความร้อนสำรองนี้จะทำงานเปิดและปิดระบบโดยอัตโนมัติในกรณีที่ความร้อนไม่เพียงพอต่อการใช้งานเท่านั้น ถ้าความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอระบบทำความร้อนสำรองจะไม่ทำงาน

จากสภาวะการใช้งานจริงที่ตรวจพบ M&V Unit จะทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ของระบบได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากปั๊มน้ำ กำลังไฟฟ้าจากระบบทำความร้อนสำรอง ส่วนภาระความร้อนใช้งานจะตรวจวัดจากความร้อนของน้ำร้อนที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในเล่าสัตว์ จากนั้นนำมาคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบผลิตความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับเงื่อนไขการทำงานของระบบที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศภายในเล่าสัตว์ต้องไม่น้อยกว่า 33°C ส่วนอุณหภูมิโรงเรือน อุณหภูมิและความชื้นของสภาวะแวดล้อมเป็นตัวแปรควบคุม การนำข้อมูลมาใช้คำนวณผลประหยัต้องอยู่ในช่วงเดียวกันกับสภาวะก่อนการปรับปรุง อนุโลมให้แตกต่างกันกับสภาวะก่อนปรับปรุงไม่เกิน 10% การเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องโดยบันทึกค่าทุก 1 นาที เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลใช้ในการคำนวณหาผลประหยั

6. การตรวจวัดและพิสูจน์ผลหลังการปรับปรุง (Post Measurement and Verification)

ระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์โดยทั่วไป จะใช้ปั้มน้ำเพื่อสูบน้ำร้อนสร้างอัตราการไหลของน้ำร้อนใน 2 วงรอบ (Loop) ได้แก่ วงรอบการทำงานของน้ำร้อนที่ไหลเวียนในแผง Solar Collector และ วงรอบการทำงานของน้ำร้อนสำหรับไหลเวียนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน นอกจากนี้ระบบผลิตความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีระบบสำรองความร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้งานกรณีไม่มีแสงอาทิตย์ ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์หลังการปรับปรุง หาได้จากสมการดังนี้

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวมของระบบผลิตความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

$$P_{Total} = [(P_{HWP1} \times LF_{HWP1}) + (P_{HWP2} \times LF_{HWP2}) + (P_{BHS} \times LF_{BHS})]_{Post}$$

โดยที่

$P_{HWP1,Post}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั้มน้ำร้อนของแผง Solar Collector หลังปรับปรุง (W_{elec} , kW)
$LF_{HWP1,Post}$	=	สัดส่วนภาระงานของปั้มน้ำร้อนของแผง Solar Collector หลังการปรับปรุง (fraction)
$P_{HWP2,Post}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั้มน้ำร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเล้าสัตว์หลังการปรับปรุง (W_{elec} , kW)
$LF_{HWP2,Post}$	=	สัดส่วนภาระงานของปั้มน้ำร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเล้าสัตว์หลังการปรับปรุง (fraction)
$P_{BHS,Post}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบความร้อนสำรองหลังการปรับปรุง (W_{elec} , kW)
$LF_{BHS,Post}$	=	สัดส่วนภาระงานของระบบความร้อนสำรองหลังการปรับปรุง (fraction)

พลังงานที่ใช้หลังการปรับปรุงปีฐาน

$$E_{FN} = E_{HWP1,Post} + E_{HWP2,Post} + E_{BHS,Post}$$

โดยที่

E_{FN}	=	พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนหลังการปรับปรุง (kWh/y)
$E_{HWP1,Post}$	=	พลังงานไฟฟ้าของปั้มน้ำร้อนแผง Solar Collector หลังการปรับปรุง (kWh/y)
$E_{HWP2,Post}$	=	พลังงานไฟฟ้าของปั้มน้ำร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเล้าสัตว์หลังการปรับปรุง (kWh/y)
$E_{BHS,Post}$	=	พลังงานไฟฟ้าของระบบความร้อนสำรองหลังการปรับปรุง (kWh/y)

พลังงานไฟฟ้าของปั้มน้ำร้อนแผง Solar Collector หลังปรับปรุง

$$E_{HWP1,Post} = P_{HWP1,Post} \times LF_{HWP1} \times H$$

โดยที่

- $P_{HWP1,Post}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนของแผง Solar Collector หลังปรับปรุง (kW)
 $LF_{HWP1,Post}$ = สัดส่วนภาระงานของปั๊มสูบน้ำร้อนของแผง Solar Collector หลังการปรับปรุง (fraction)
 H = ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนปีฐาน (h/y)

พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำร้อนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเล้าสัตว์หลังการปรับปรุง

$$E_{HWP2,Post} = P_{HWP2,Post} \times LF_{HWP2} \times H$$

โดยที่

- $PH_{WP2,Post}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเล้าสัตว์หลังการปรับปรุง (kW)
 $LF_{HWP2,Post}$ = สัดส่วนภาระงานของปั๊มสูบน้ำร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเล้าสัตว์หลังการปรับปรุง (fraction)
 H = ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนปีฐาน (h/y)

พลังงานไฟฟ้าปีฐานของระบบความร้อนสำรองหลังการปรับปรุง (kWh/y)

$$E_{BHS,Post} = P_{BHS,Post} \times LF_{BHS,Post} \times H$$

โดยที่

- $E_{BHS,Post}$ = พลังงานไฟฟ้าของระบบความร้อนสำรองหลังการปรับปรุง (kWh/y)
 $P_{BHS,Post}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบความร้อนสำรองหลังการปรับปรุง (kW)
 $LF_{BHS,Post}$ = สัดส่วนภาระงานของระบบความร้อนสำรองหลังการปรับปรุง (fraction)
 H = ชั่วโมงการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนปีฐาน (h/y)

การคำนวณภาระงาน

$$HL_{Post} = \dot{m}_{Post} \times C_p \times (T_{HWS} - T_{HWR})_{Post}$$

โดยที่

- HL_{Post} = ภาระความร้อนในหน่วยกิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat}) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)
 $\dot{V}_w$ = อัตราการไหลของน้ำร้อน (L/min, L/s, m^3/min , m^3/s , GPM, ฯลฯ)
 $T_{HWS,Post}$ = อุณหภูมิน้ำร้อนด้านจ่ายของระบบผลิตน้ำร้อน ($^{\circ}C$, $^{\circ}F$)
 $T_{HWR,Post}$ = อุณหภูมิน้ำร้อนด้านกลับของระบบผลิตน้ำร้อน ($^{\circ}C$, $^{\circ}F$)

$T_{amb,Post}$	=	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน ($^{\circ}C$, $^{\circ}F$)
C_{pw}	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อน ($\frac{kJ}{kg \cdot ^{\circ}C}$, $\frac{BTU}{lb \cdot ^{\circ}F}$)
$\dot{m}_{Post}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำร้อน (kg/s, lb/s)

อัตราการไหลเชิงมวลของสารตัวกลาง (น้ำ) หาได้จากสมการดังนี้

$$\dot{m}_{Post} = \rho_w \times \dot{V}_w$$

โดยที่

ρ_w	=	ความหนาแน่นของน้ำร้อน kg/m^3
$\dot{V}_w$	=	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำ m^3/s

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังการปรับปรุง

$$SEC_{Post} = \left[\frac{P_{HWP1} \times LF_{HWP1} + (P_{HWP2} \times LF_{HWP2}) + (P_{BHS} \times LF_{BHS})}{HL} \right]_{Post}$$

โดยที่

SEC_{Post}	=	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง $\frac{W_{elec}}{(BTU/h)}$
$P_{HWP1,Post}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนของแผง Solar Collector หลังปรับปรุง (W_{elec})
$P_{HWP2,Post}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเล้าสัตว์หลังการปรับปรุง (W_{elec})
$P_{BHS,Post}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบความร้อนสำรองหลังการปรับปรุง (W_{elec})
HL_{Post}	=	ภาระทำความร้อนในหน่วยบีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h)
$LF_{HWP1,Post}$	=	สัดส่วนภาระงานของปั๊มสูบน้ำร้อนของแผง Solar Collector หลังการปรับปรุง (fraction)
$LF_{HWP2,Post}$	=	สัดส่วนภาระงานของปั๊มสูบน้ำร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเล้าสัตว์หลังการปรับปรุง (fraction)
$LF_{BHS,Post}$	=	สัดส่วนภาระงานของระบบความร้อนสำรองหลังการปรับปรุง (fraction)

6.1 วัน เวลา และคณะผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผล

วัน-เวลา	ผู้เข้าตรวจวัด	รายละเอียด
4 ธันวาคม 2557 ถึง 6 ธันวาคม 2557	1. หัวหน้าโครงการ/ผู้เชี่ยวชาญพลังงาน 2. วิศวกรโครงการ 3. ช่างเทคนิคไฟฟ้า 4. ช่างเทคนิคเครื่องกล เข้าตรวจวัดระบบ หลังการ-ปรับปรุงโดยทำการตรวจวัด	1. กำลังไฟฟ้าที่ Circuit Breaker ของ ปั๊มน้ำในระบบผลิตความร้อนด้วย พลังงานแสงอาทิตย์หลังปรับปรุง 2. กำลังไฟฟ้าที่ Circuit Breaker ของ ระบบความร้อนสำรองหลังปรับปรุง 3. อัตราการไหลของน้ำร้อน ด้านจ่ายเข้า ฟาร์ม F4R 4. อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้า 5. อุณหภูมิน้ำร้อนขาออก 6. อุณหภูมิโรงเรือน 7. อุณหภูมิเล้าสัตว์ 8. อุณหภูมิสภาวะแวดล้อม 9. ความชื้นสภาวะแวดล้อม บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที จำนวนบันทึก 1,440 ข้อมูล 24 ชั่วโมง

6.2 ข้อมูลที่ตรวจวัด

เพื่อคำนวณระดับพลังงานหลังการปรับปรุง ทำการเก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ และตัวแปร
ต่างๆ ที่เป็นสภาวะควบคุม ดังนี้

ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำในระบบผลิตความร้อน ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์หลังปรับปรุง (kW)	ตัวแปรหลักในการ คำนวณผลประหยัด	Circuit Breaker ของปั๊มน้ำระบบผลิตความ ร้อนด้วยแสงอาทิตย์ฟาร์ม F4R ด้วยเครื่อง บันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power Recorder)
กำลังไฟฟ้าของระบบความร้อนสำรองหลัง ปรับปรุง (kW)	ตัวแปรหลักในการ คำนวณผลประหยัด	Circuit Breaker ของระบบความร้อนสำรอง ของฟาร์ม F4R ด้วยเครื่องบันทึกค่ากำลัง ไฟฟ้า (Power Recorder)
อัตราการไหลของน้ำร้อนก่อนเข้า (m ³ /s)	ตัวแปรหลักในการ คำนวณหาภาระ ความร้อน	ท่อหลักที่จ่ายน้ำร้อนเข้าฟาร์ม F4R ด้วย เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอัตราการไหลแบบ Ultrasonic
อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าฟาร์ม F4R (°C)	ตัวแปรหลักในการ คำนวณหาภาระ ความร้อน	ท่อร่วมด้านจ่ายน้ำร้อนเข้าฟาร์ม F4R ด้วย เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)

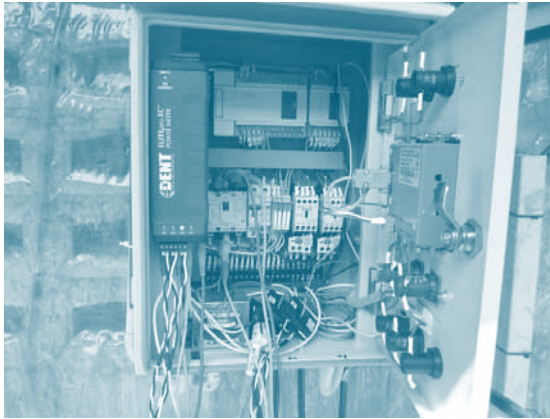
ตัวแปร/ค่าที่ตรวจวัด	สถานะ	การเก็บข้อมูล
อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากฟาร์ม F4R (°C)	ตัวแปรหลักในการคำนวณหาภาระความร้อน	ท่อร่วมด้านกลับถึงของน้ำร้อนเข้าฟาร์ม F4R ด้วยเครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิอากาศในโรงเรือน F4R (°C)	ตัวแปรควบคุม	กลางโรงเรือนด้วยเครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิอากาศเล้าสัตว์ F4R (°C)	ตัวแปรควบคุม	ภายในเล้าสัตว์ด้วยเครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)
อุณหภูมิสถานะแวดล้อม (°C) และความชื้นสถานะแวดล้อม (%RH)	ตัวแปรควบคุม	วัดค่าอากาศภายนอกโรงเรือนด้วยเครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นอากาศ (Temperature and Humidity Data Logger)
จำนวนชั่วโมงในการทำงาน (h/y)	ตัวแปรหลักในการคำนวณผลประโยชน์	ข้อมูลจากสถานประกอบการ

6.3 ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด

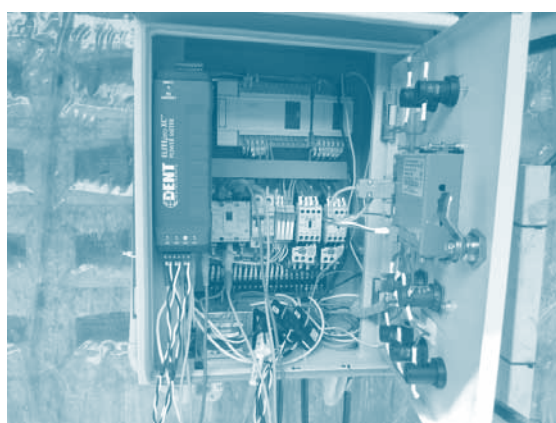
สถานประกอบการเปลี่ยนมาใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการให้ความร้อนแก่เล้าสัตว์ ณ ฟาร์ม F4R โดย M&V Unit ทำการตรวจวัดและพิสูจน์ผลแยกเฉพาะส่วนตามมาตรการ โดยมีตำแหน่งต่างๆ ที่ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดดังนี้



แผง Solar Collector ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และการวัดอุณหภูมิภายในเล้าสัตว์หลังปรับปรุง



ตำแหน่งตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั้มน้ำ อัตราการไหล อุณหภูมิน้ำขาเข้าฟาร์ม และน้ำขาออกจากฟาร์ม
ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หลังการปรับปรุง



ตำแหน่งตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิของระบบผลิตน้ำร้อนสำรอง

6.4 ผลการตรวจวัด

ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำในระบบผลิตความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์หลังปรับปรุงของสถานประกอบการ ประกอบไปด้วยปั๊มน้ำ 2 ชุด คือ ชุดปั๊มน้ำที่ใช้สร้างอัตราการไหลให้กับแผง Solar Collector และชุดปั๊มน้ำที่ใช้ในการสร้างอัตราการไหลให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเล้าสัตว์ แสดงดังตาราง 6.4.1 และ 6.4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.4.1 แสดงข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำแผง Solar Collector ฟาร์ม F4R หลังการปรับปรุง

PHWP1	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Average	217.02	2.44	0.484	217.36	2.52	0.499	220.33	2.57	0.513	1.496	0.91
Min	204.98	2.26	0.414	204.61	2.30	0.413	204.32	2.36	0.425	1.252	0.87
Max	230.79	2.59	0.559	230.26	2.68	0.557	236.16	2.74	0.599	1.654	0.92

ตารางที่ 6.4.2 แสดงข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำสำหรับสร้างอัตราการไหลให้แก่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเล้าสัตว์ฟาร์ม F4R หลังการปรับปรุง

PHWP2	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Average	222.02	1.20	0.225	219.29	1.13	0.209	221.59	1.17	0.218	0.653	0.84
Min	205.71	1.13	0.185	203.46	1.05	0.178	200.51	1.08	0.174	0.554	0.79
Max	237.99	1.26	0.258	233.32	1.22	0.244	240.00	1.28	0.256	0.730	0.88

ระบบสำรองความร้อนมีการทำงานในกรณีความร้อนไม่เพียงพอ ข้อมูลที่ถูกตรวจวัดและบันทึกแสดงดังตารางที่ 6.4.3

ตารางที่ 6.4.3 แสดงข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตความร้อนสำรองของฟาร์ม F4R หลังการปรับปรุง

PBHS	L1			L2			L3			Total	PF.
	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	
Average	218.05	18.16	2.957	220.76	19.23	3.384	221.95	17.01	2.879	9.219	0.79
Min	208.03	16.80	2.520	210.25	17.64	3.054	213.88	15.73	2.483	8.368	0.75
Max	222.74	20.06	3.484	229.91	20.34	3.793	229.87	18.21	3.248	10.263	0.84

ตารางที่ 6.4.4 แสดงข้อมูลการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเข้าฟาร์ม F4R หลังการปรับปรุง จากการสุ่มตัวอย่าง 4 ตำแหน่ง

Flow rate	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Average	0.0006	0.0008	0.0006	0.0008
Min	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003
Max	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009
ค่าอัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำร้อนเข้าเล้าสัตว์ฟาร์ม F4R			(0.0006 + 0.0008 + 0.0006 + 0.0008) / 4 = 0.0007 m ³ /s	

ตารางที่ 6.4.5 แสดงข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเข้าและออกของฟาร์ม F4R หลังการปรับปรุง

Hot Water for Heat Exchanger	Temp. (°C)	
	THWS (Supply)	THWR(Return)
Average	39.9	34.8
Min	35.3	31.9
Max	47.0	39.0

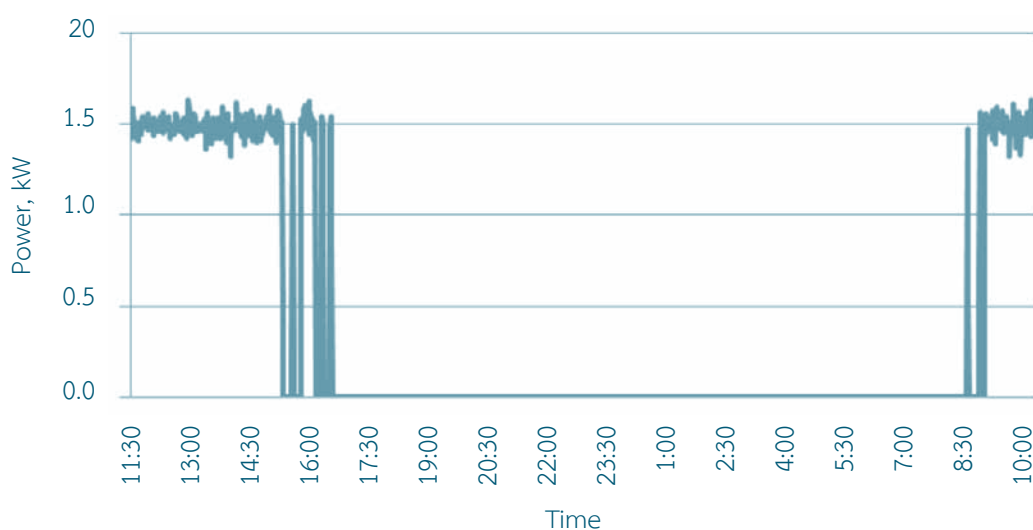
ตารางที่ 6.4.6 แสดงข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ของฟาร์ม F4R หลังการปรับปรุง

Indoor and Outdoor Air Temperature	Temp. (°C)		Ambient	
	โรงเรือน	เล้าสัตว์	Temp. (°C)	%RH
Average	24.0	31.3	25.6	80.6
Min	21.4	28.7	21.6	45.2
Max	28.3	35.6	34.0	98.1

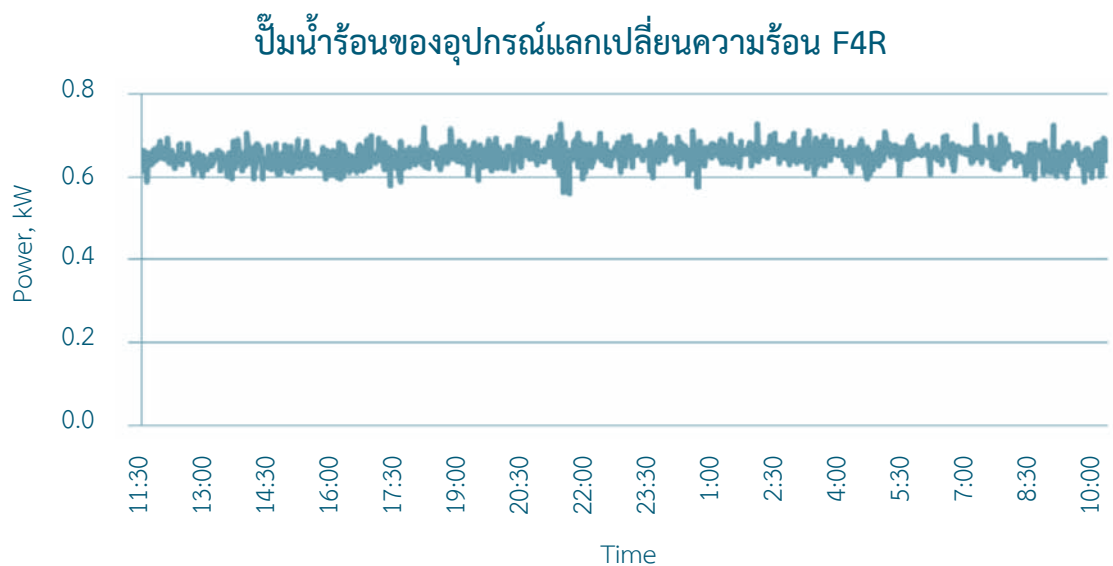
6.5 การวิเคราะห์ตัวแปรหลักในการคำนวณและตัวแปรควบคุม หลังการปรับปรุง

การวิเคราะห์พฤติกรรมและสังเกตการทำงานของระบบผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถทำได้โดยนำข้อมูลที่ตรวจวัดและบันทึกไว้มาสร้างเป็นกราฟเพื่อวิเคราะห์ผลการทำงานของอุปกรณ์หลังการปรับปรุง ดังนี้

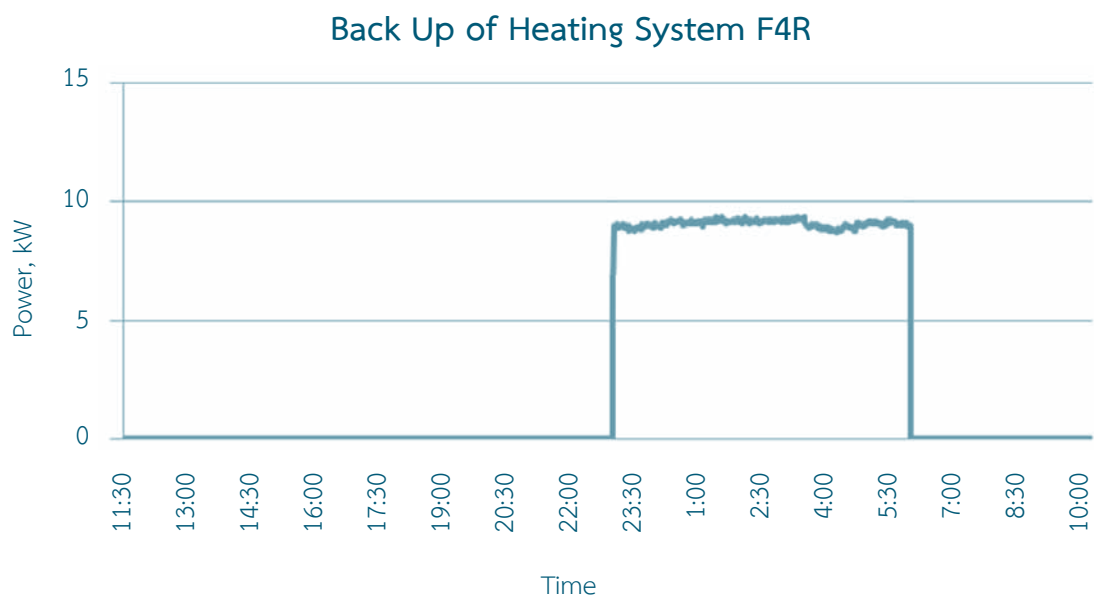
Pump Solar F4R



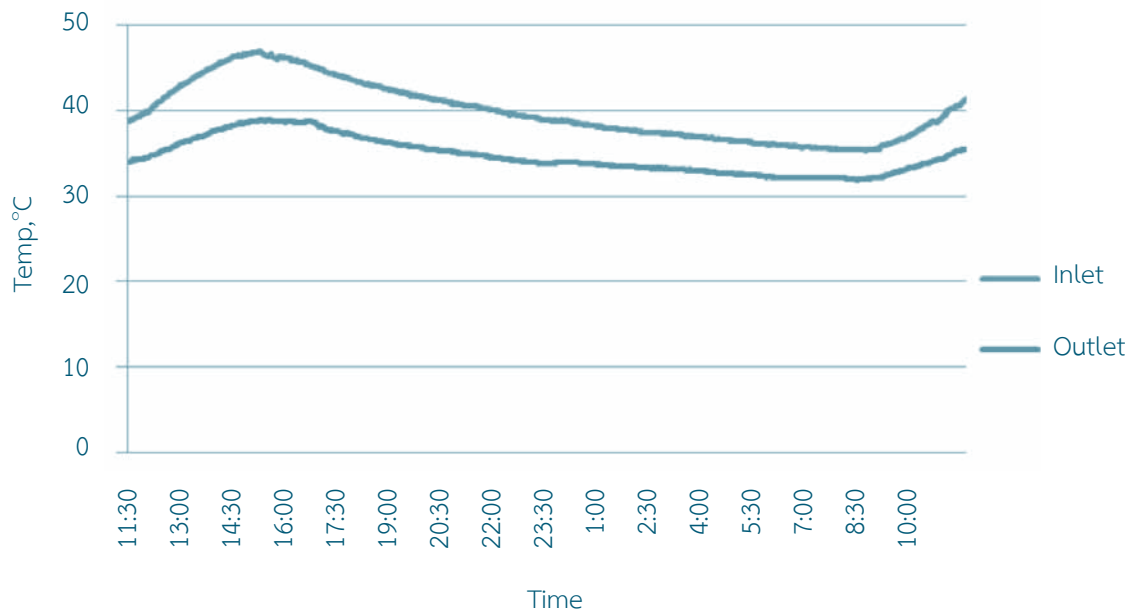
กราฟที่ 6.5.1 แสดงกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำร้อนแผง Solar Collector ฟาร์ม F4R หลังการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 5 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 6 ธันวาคม 2559



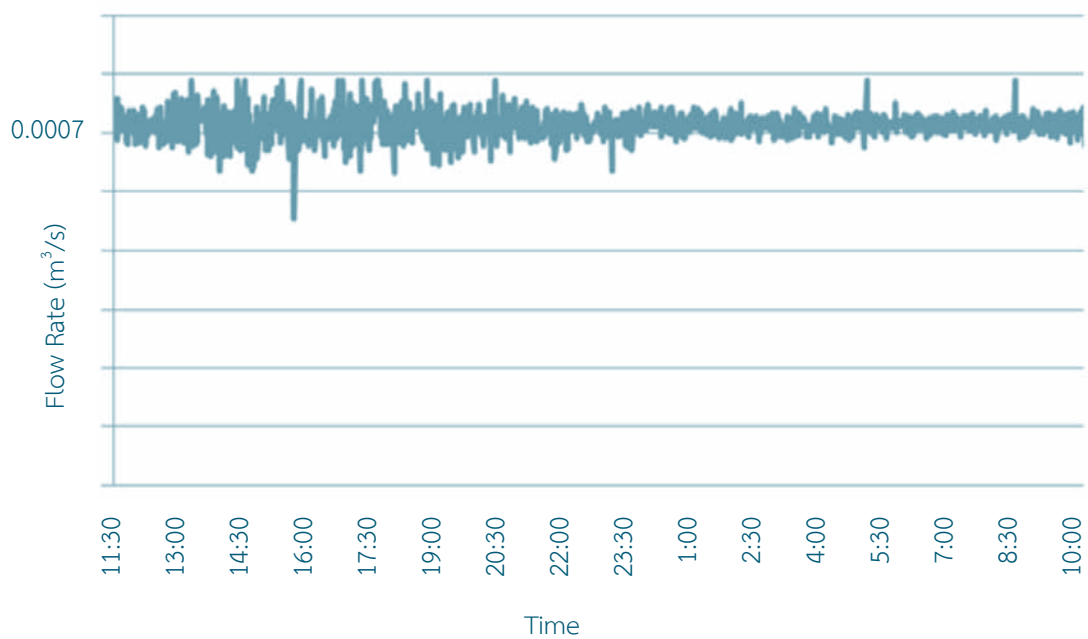
กราฟที่ 6.5.2 แสดงกำลังไฟฟ้าของปั้มน้ำร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนฟาร์ม F4R หลังการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 5 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 6 ธันวาคม 2559



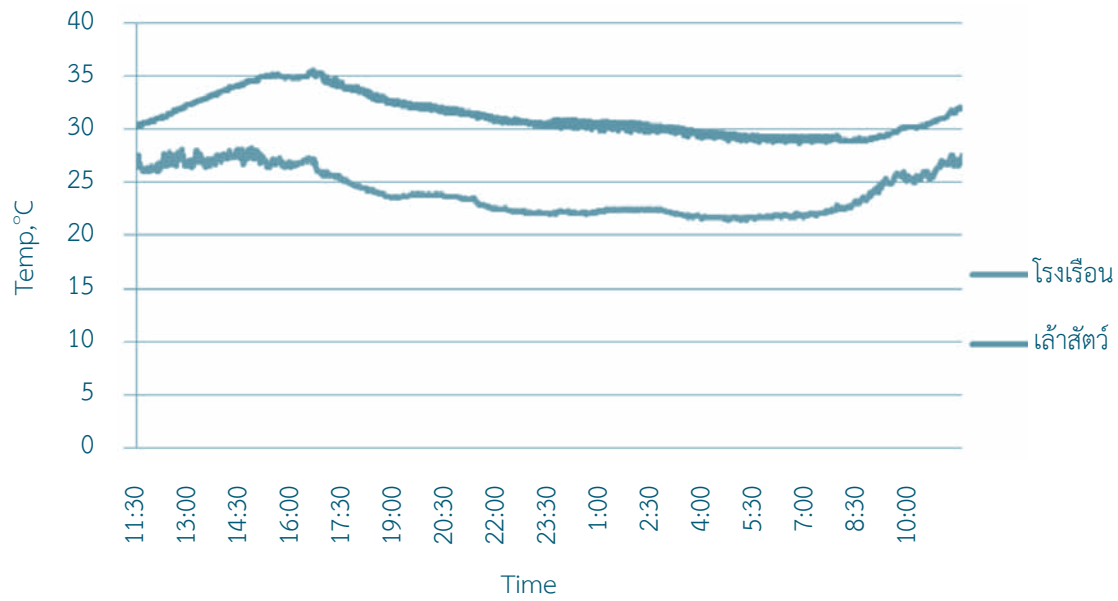
กราฟที่ 6.5.3 แสดงกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนสำรองฟาร์ม F4R หลังการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 5 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 6 ธันวาคม 2559



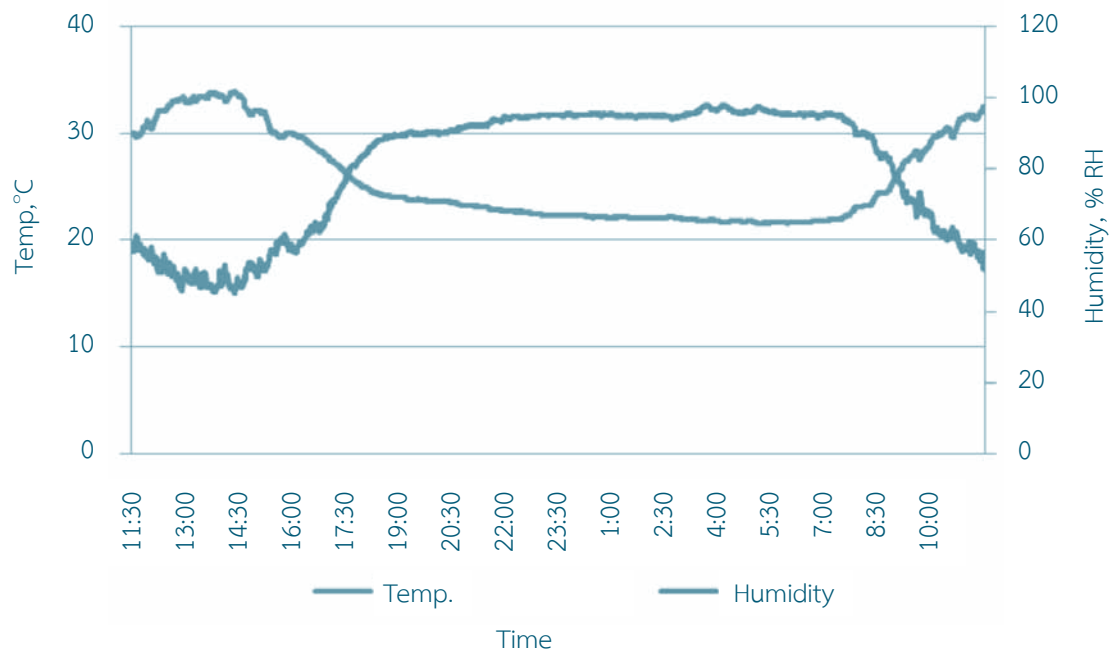
กราฟที่ 6.5.4 แสดงอุณหภูมิน้ำเข้าและออกของฟาร์ม F4R หลังการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 5 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 6 ธันวาคม 2559



กราฟที่ 6.5.5 อัตราการไหลของน้ำร้อนจ่ายเข้าฟาร์ม F4R หลังการปรับปรุง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 5 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 6 ธันวาคม 2559



กราฟที่ 6.5.6 แสดงอุณหภูมิ โรงเรือนฟาร์ม F4R และภายในเล้าสัตว์หลังการปรับปรุง
บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 5 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 6 ธันวาคม 2559



กราฟที่ 6.5.7 แสดงอุณหภูมิและความชื้นสถานะแวดล้อมของฟาร์ม F4R หลังการปรับปรุง
บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ระหว่างวันที่ 5 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 6 ธันวาคม 2559

7. ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 7.1 การวิเคราะห์ค่าความร้อนใช้งาน และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังการปรับปรุง

รายการ	สูตร/ตัวแปร	หน่วย	ค่า
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวมของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์หลังปรับปรุง	$P_{HWP1,Post}$	W_{elec}	1.496
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเล้าสัตว์หลังการปรับปรุง (W_{elec})	$P_{HWP2,Post}$	W_{elec}	0.653
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบความร้อนสำรองหลังการปรับปรุง	$P_{BHS,Post}$	W_{elec}	9.219
สัดส่วนภาระงานของปั๊มสูบน้ำร้อนของแผง Solar Collector หลังการปรับปรุง	$LF_{HWP1,Post}$	-	0.29
สัดส่วนภาระงานของปั๊มสูบน้ำร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเล้าสัตว์หลังการปรับปรุง	$LF_{HWP2,Post}$	-	1.00
สัดส่วนภาระงานของระบบความร้อนสำรองหลังการปรับปรุง	$LF_{BHS,Post}$	-	0.28
อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าฟาร์ม F4R	$T_{HWS,Post}$	°C	39.94
อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากฟาร์ม F4R	$T_{HWR,Post}$	°C	34.78
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำร้อน	$\dot{V}_w$	m ³ /s	0.0007
ความหนาแน่นของน้ำในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของฟาร์ม F4R	ρ_w	kg/m ³	993.31
ความจุความร้อนของน้ำในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของฟาร์ม F4R	C_{pw}	kJ/kg K	4.1786
อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ฟาร์ม F4R	$\dot{m}_{Post}$	kg/s	0.6953
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวมของระบบผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์	$P_{Total} = [(P_{HWP1} \times LF_{HWP1}) + (P_{HWP2} \times LF_{HWP2}) + P_{BHS} \times LF_{BHS}]_{Post}$	W_{elec}	3,668.16
ความร้อนที่ผลิตได้หลังปรับปรุง	$HL_{Post} = \dot{m}_{Post} \times C_p \times (T_{HWS} - T_{HWR})_{Post}$	kW _{heat}	14.81
ความร้อนที่ผลิตได้หลังปรับปรุง	SI Unit to British Thermal Unit	BTU/h	50,578.8
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง	$SEC_{Post} = \left[\frac{(P_{HWP1} \times LF_{HWP1}) + (P_{HWP2} \times LF_{HWP2}) + P_{BHS} \times LF_{BHS}}{HL} \right]$	$W_{elec}/(BTU/h)$	0.072

ตารางที่ 7.1 การวิเคราะห์ค่าความร้อนใช้งาน และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังการปรับปรุง (ต่อ)

รายการ	สูตร/ตัวแปร	หน่วย	ค่า
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุงปีฐาน	$E_{Post} = P_{Total} \times H$	kWh/y	32,133.08
อัตราค่าไฟฟ้าฐาน	ECR	Baht/kWh	3.78
คิดเป็นค่าใช้จ่ายหลังการปรับปรุง	EC	Baht/y	121,463.04

8. การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน มาตรการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตความร้อน เปอร์เซ็นต์ผลประหยัดพลังงาน

ผลประหยัดพลังงานในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์สำหรับระบบผลิตความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์หลังปรับปรุง จะพิจารณาจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ดังนี้

$$\text{Saving Percent} = \left[\frac{(SEC_{Pre} - SEC_{Post})}{SEC_{Pre}} \right] \times 100\%$$

โดยที่

Saving Percent = เปอร์เซ็นต์ผลประหยัด หรือ ร้อยละของผลประหยัด (%)

SEC_{Pre} = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง $\frac{W_{elec}}{(BTU/h)}$

SEC_{Post} = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง $\frac{W_{elec}}{(BTU/h)}$

พลังงานที่ใช้หลังปรับปรุงปีฐานที่ปรับแก้ค่าแล้ว

การที่จะเปรียบเทียบผลประหยัดพลังงานปีฐานจะต้องทำการปรับแก้ค่าการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงดังนี้

$$E_{Post,adj} = SEC_{Post} \times HL_{Pre}$$

โดยที่

$E_{Post,adj}$ = พลังงานที่ใช้หลังปรับปรุงปีฐานที่ปรับแก้ค่าแล้ว (kWh/y) โดยมีสมมติฐานให้ระบบผลิตความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานที่ภาระงานเดียวกันกับก่อนปรับปรุง

พลังงานที่ประหยัดได้ปีฐาน

ผลประหยัดพลังงานสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E_{Save} = E_{Heater,Pre} - E_{Post,adj}$$

โดยที่

$$E_{\text{Save}} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ปีฐาน (kWh/y)}$$

ผลประหยัดทางการเงินปีฐาน

ผลประหยัดทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐานของระบบผลิตความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$SC_{\text{Year}} = E_{\text{Save}} \times \text{ECR}$$

โดยที่

$$SC_{\text{Year}} = \text{จำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน (Baht/y)}$$

$$\text{ECR} = \text{อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC (Baht/kWh)}$$

หมายเหตุ : อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานยึดถือตามสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract, EPC)

ตารางที่ 8.1 สรุปผลประหยัดพลังงานมาตรการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตความร้อน

ลำดับ	ความหมาย	ตัวแปร/สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย	ปริมาณ
1.	พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงปีฐาน	$E_{\text{Heater, Pre}}$	kWh/y	117,506.64
2.	พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุงปีฐาน*	$E_{\text{Post, adj}}$	kWh/y	18,695.39
3.	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ปีฐาน	$E_{\text{Save}} = E_{\text{Heater, Pre}} - E_{\text{Post, adj}}$	kWh/y	98,811.25
4.	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อเดือน	$E_{\text{Save, Month}}$	kWh/Month	8,234.27
5.	เปอร์เซ็นต์ผลประหยัด	$\text{Saving Percent} = \left[\frac{SEC_{\text{Pre}} - SEC_{\text{Post}}}{SEC_{\text{Pre}}} \right] \times 100\%$	%	84.08
6.	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า**	ECR	Baht/kWh	3.78
7.	จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปี	$SC_{\text{Year}} = E_{\text{Save}} \times \text{ECR}$	Baht/y	373,506.52
8.	จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน	SC_{Month}	Baht/Month	31,125.54

* คำนวณจากการใช้ความร้อนเทียบเท่าสภาวะก่อนการปรับปรุงที่ 259,658.313.6 BTU/y

** อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานอ้างอิงจากเอกสาร EPC

เอกสารอ้างอิง

- [1] International Performance Measurement & Verification Protocol, Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings, Volume 1, Revised March 2002, DOE/GO-102002-1554
- [2] International Performance Measurement & Verification Protocol, Concepts and Practices for Improved Indoor Environmental Quality, Volume 2, Revised March 2002, DOE/GO-102002-1517
- [3] International Performance Measurement & Verification Protocol, December 1997, DOE/EE-0157
- [4] U.S. Federal Energy Management Program (FEMP) M&V Guidelines : Measurement and Verification for Federal Energy Projects, Version 2.2, DOE/GO - 102000 - 0960, September 2000
- [5] American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers Guideline
- [6] A Best Practice Guide to Energy Performance Contracts, The Australasian Energy Performance Contracting Association (AEPAC), 2000
- [7] ผศ.ดร.เกรียงไกร อัครมาศบันลือ, พื้นฐานการตรวจวัดและพิสูจน์ทราบผลประหยัดจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

Related Website

- {1} International Performance Measurement and Verification Protocol, IPMVP
<http://www.ipmvp.org>
- {2} Federal Energy Management Program, FEMP
<http://www.eren.doe.gov/femp/>
- {3} American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE
<http://www.ashrae.org>
- {4} Australasian Energy Performance Contracting Association, AEPAC
<http://www.aepac.asn.au/>
- {5} National Program for Electricity Conservation, PROCEL
<http://www.eletrobras.gov.br/procel/>
- {6} International Institute for Energy Efficiency, INEE
<http://www.inee.org.br/>
- {7} Korea Energy Management Corporation, KEMCO
<http://www.kemco.or.kr/index.asp>



สอบถามข้อมูลได้ที่

ESCO  **Information Center**

สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ โซน D ชั้น 3
60 ถนนรัชดาภิเษกตัดใหม่ แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110
โทรศัพท์ : 0-2345-1250-1 โทรสาร : 0-2345-1258
e-mail : admin@thaiesco.org
website : www.thaiesco.org

Thai ESCO Association
สมาคมบริษัทจัดการพลังงานไทย

สำนักงานสมาคม เลขที่ 475
ชั้นที่ 12 อาคารสิริกิติ์ ถนนศรีอยุธยา
แขวงพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ : 0-201-3466-7
e-mail : association@thaiesco.org