กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

คู่มือรูปแบบการตรวจวัด และพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน

โครงการพัฒนาระเบียบและกฎหมาย
เพื่อรองรับมาตรการ ESCO สำหรับหน่วยงานภาครัฐ

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

บทที่ 1 แนวคิดการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน 1
1.1 การวางแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 1
1.2 ขั้นตอนหลักของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 2
1.3 การดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 3
1.4 การวิเคราะห์การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 6
1.5 การจัดทำรายงาน 6

บทที่ 2 รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 9
2.1 รูปแบบ A การตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักแยกรายมาตรการ 9
2.2 รูปแบบ B การตรวจวัดทุกตัวแปรหลักแยกรายมาตรการ 10
2.3 รูปแบบ C การตรวจวัดจากพลังงานโดยรวมของโครงการ 11
2.4 รูปแบบ D การประเมินผลประหยัดจากแบบจำลองที่สอบเทียบแล้ว 13

บทที่ 3 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน **14**
บทที่ 4 หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง **31**
บทที่ 5 เครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง **37**
บทที่ 6 หม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน **48**

บทที่ 1

แนวคิดการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน

คำนวณหาผลประหยัดที่เกิดขึ้นของการดำเนินโครงการด้านอนุรักษ์พลังงาน ต้องมีการตรวจวัดและพิสูจน์ทราบผลประหยัดจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (Measurement and Verification; M&V) จะต้องมีการกำหนดให้ใช้กระบวนการตรวจวัดที่ได้รับการยอมรับ อาทิเช่น การกำหนดสิ่งที่ต้องดำเนินการในระหว่างการตรวจวัด การติดตั้งและใช้งานเครื่องมือวัดต่าง ๆ การสอบเทียบ การบำรุงรักษาเครื่องมือวัด การวิเคราะห์ข้อมูล การพัฒนาหาวิธีการคำนวณหาผลประหยัดที่เป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย การจัดทำรายงาน และการรับประกันคุณภาพ เป็นต้น

1.1 การวางแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (M&V Planning)

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดที่ดี ควรมีการจัดทำแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (M&V Planning) ประกอบไปด้วยข้อมูลหลัก ดังต่อไปนี้

1.1.1 วัตถุประสงค์ และรายละเอียดของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และผลประหยัดที่คาดว่าจะได้รับ

1.1.2 ขอบเขตของการตรวจวัด เพื่อใช้ตัดสินผลการประหยัด ซึ่งครอบคลุมทั้งในส่วนเฉพาะเจาะจง เช่น การไหลของน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ ปริมาณอากาศและจำนวนเชื้อเพลิงในเตาเผาและอื่น ๆ หรือครอบคลุมขอบเขตที่กว้าง เช่น พลังงานทั้งหมดที่ใช้ของหน่วยงาน โดยแยกเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน เป็นต้น

1.1.3 รายละเอียดที่มาของเงื่อนไขพื้นฐาน และข้อกำหนดต่างๆ สำหรับใช้อ้างอิงเป็นปีฐาน (Base Year) และประมาณการใช้พลังงานในปีฐานของหน่วยงาน ประกอบด้วย

1) ปริมาณการใช้พลังงาน และลักษณะความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า
2) ประเภทการใช้พื้นที่ และช่วงเวลาการใช้งาน
3) สภาวะอากาศ หรือผลผลิต สำหรับแต่ละฤดูกาล
4) ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในหน่วยงาน อาจจะแยกย่อยออกเป็นระบบต่าง ๆ ของภายในสถานประกอบการการปรับตั้งค่าการใช้งานของอุปกรณ์ (Set Point)

1.1.4 ระบุวิธีการหรือแผนการต่างๆ ที่จะใช้ในการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขที่ใช้อ้างอิง

1.1.5 กำหนดงบประมาณการลงทุน และช่วงระยะเวลาการคืนทุนของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

1.1.6 กำหนดเงื่อนไข ซึ่งจะใช้ในการปรับเปลี่ยนวิธีการตรวจวัด (Classification)

1.1.7 กำหนดกระบวนการจัดเก็บข้อมูลสมมุติฐาน และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างชัดเจน

1.1.8 กำหนดรายละเอียด ตำแหน่ง เวลา ที่จะทำการตรวจวัด ลักษณะคุณสมบัติของเครื่องวัด การเปรียบเทียบเครื่องวัด

1.1.9 การอ่านค่า และการเป็นพยาน (Witnessing Protocol) ในการอ่านค่าจากเครื่องวัด ขั้นตอนการส่งมอบเครื่องวัด การปรับเปลี่ยนเครื่องวัด และวิธีการแก้ไขเมื่อข้อมูลสูญหายหรือไม่สามารถตรวจวัดได้

1.1.10 กำหนดวิธีการประกันคุณภาพของโครงการ

1.1.11 กำหนดรูปแบบของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (Measurement and Verification; M&V) และการนำเสนอผลการประหยัดพลังงานในแต่ละปี

1.2 การออกแบบขั้นตอนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (M&V Design)

โครงการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการโดยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) จะมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ควรมีขั้นตอนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อช่วยลดข้อขัดแย้งในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด ระหว่างบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และหน่วยงานที่ใช้บริการ นอกจากนี้ยังเป็นการลดข้อพิพาทระหว่างบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ที่นำเสนอโครงการอนุรักษ์พลังงานที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกันด้วยกันเอง โดยมาตรฐานขั้นต่ำของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดควรดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) แต่งตั้งคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด หน่วยงานและบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) พิจารณาเลือกและแต่งตั้งคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (Measurement and Verification Unit: M&V Unit)

2) สำรวจพื้นที่ตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ตัวแทน M&V Unit สำรวจพื้นที่และเครื่องจักรที่จะทำการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเพื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดรวมถึงค่าใช้จ่ายในการจัดทำรายงาน

3) ตัวแทน M&V Unit จัดทำข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดส่งผ่านบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) เพื่อแนบท้ายสัญญาซื้อขายอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน

4) เตรียมพื้นที่และเครื่องมือสำหรับการตรวจวัดก่อนปรับปรุง หน่วยงานจัดเตรียมพื้นที่และนัดหมาย M&V Unit เข้าปฏิบัติการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

5) ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง M&V Unit เข้าปฏิบัติการ ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง เพื่อจัดทำพลังงานปีฐาน (Baseline) และส่งมอบรายงานให้กับคู่สัญญาพิจารณา

6) เตรียมพื้นที่และเครื่องจักรสำหรับการตรวจวัดหลังปรับปรุง บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ดำเนินการปรับปรุง/เปลี่ยน เครื่องจักร อุปกรณ์หรือกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพพลังงานสูงขึ้นพร้อมทำ

การปรับตั้งให้เกิดประสิทธิภาพพลังงานสูงที่สุดแล้วจึงนัดหมาย M&V Unit เข้าปฏิบัติการ ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

7) ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังปรับปรุงโดย M&V Unit

8) จัดทำรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด M&V Unit และจัดส่งรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดให้หน่วยงานลงนามในรายงานเบิกค่าใช้จ่าย

หมายเหตุ

1. กรณีที่ผลประหยัดไม่เป็นไปตามการรับประกันของ ESCO อันเนื่องมาจากการปรับตั้งอุปกรณ์พลังงานของ ESCO ยังไม่เป็นไปตามสภาวะใช้งานที่กำหนดของอุปกรณ์นั้นๆ หรืออาจเกิดจากการผิดพลาดของทีมวิศวกรรมของ ESCO ที่ประเมินโครงการผิดพลาด ให้ ESCO เป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดหากต้องการการตรวจวัดใหม่อีกครั้ง (กรณี M&V Unit ที่มาจากหน่วยงานภายนอก)

2. หาก M&V Unit มีการตรวจวัดผิดพลาดจนต้องทำการตรวจวัดใหม่ ให้ M&V Unit รับผิดชอบค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมที่เกิดขึ้นในส่วนนี้

3. หน่วยงานจะต้องเป็นผู้ดูแลรักษาเครื่องมือของ M&V Unit ขณะทำการตรวจวัด และหากเครื่องมือสูญหายหรือเสียหายจากกิจกรรมการทำงานของหน่วยงาน ให้หน่วยงานรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในส่วนนี้

4. หากมีการยกเลิกโครงการหลังจากที่ M&V Unit เริ่มดำเนินงานแล้ว ให้ ESCO เป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่เกิดขึ้นจริง

1.3 การดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (M&V Process)

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดมีความสำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้ ESCO ความถูกต้องในการวัด และการพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานจะส่งผลถึงระยะเวลาการคืนทุน

1.3.1 ขั้นตอนการดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดตามแนวทางมาตรฐานสากล IPMVP นั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1) เลือกรูปแบบการตรวจวัดพลังงาน (Option A, B, C, D) ให้เหมาะสมกับมาตรการอนุรักษ์พลังงาน พร้อมทั้งกำหนดค่าปรับแก้ หากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้พลังงาน

2) รวบรวมข้อมูลการปฏิบัติและพลังงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในปีฐาน (Base Year) และประกอบการประเมินผลการประหยัดที่จะเกิดขึ้น

3) กำหนดวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล และค่าใช้จ่าย เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่สลับซับซ้อนอาจจะมีค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งค่าใช้จ่ายจะแปรเปลี่ยนไปตามจำนวนข้อมูลที่ต้องการ ระยะเวลาความยากง่ายในการเก็บข้อมูล

4) จัดเตรียมแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (M&V Plan)

5) ออกแบบ ติดตั้ง และทดสอบอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ภายใต้แผน M&V ที่กำหนด

6) หลังจากดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดแล้ว และต้องทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ติดตั้ง พร้อมทั้งปรับปรุงวิธีการใช้งานอุปกรณ์ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลการประหยัดที่ได้รับสอดคล้องตามที่กำหนดไว้

7) รวบรวบข้อมูลการเดินเครื่อง และการใช้พลังงานของอุปกรณ์ หลังจากปรับปรุงตามมาตรการที่กำหนดแล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงก่อนปรับปรุง การเก็บข้อมูลนี้ควรรวมถึงการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์เป็นระยะ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอุปกรณ์สามารถใช้งานได้ตามแผนที่วางไว้

8) คำนวณและจัดทำรายงานผลประหยัดให้สอดคล้องกับแผนงาน (M&V Plan) ที่ได้วางไว้ ทั้งนี้การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดอาจจะกระทำโดยหน่วยงานกลาง เพื่อให้มั่นใจต่อผลการตรวจวัดที่เกิดขึ้น

1.3.2 ประเด็นที่ควรพิจารณาในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้บริษัทจัดการพลังงานนั้น มีหลายๆ ประเด็นที่หน่วยงานแต่ละแห่งควรให้ความสนใจ อาทิเช่น

1) ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลประหยัด (Factors Affecting the Energy Savings Performance) ปัจจัยดังกล่าวแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยที่สามารถทำนายล่วงหน้าได้ เช่น การเติบโตของหน่วยงาน และจำนวนชั่วโมงที่จะใช้งานในอนาคต และปัจจัยที่สามารถวัดได้ โดยหากเป็นปัจจัยที่สามารถทำนายล่วงหน้าได้และวัดได้ เราควรนำไปปรับค่าฐานการใช้พลังงานเป็นประจำ (Routine Adjustment) และหากเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถทำนายล่วงหน้าได้ แต่สามารถวัดได้ก็ควรนำไปปรับค่าฐานแบบเป็นครั้งคราว (Non-Routine Adjustment)

2) ความไม่แน่นอนในการประเมินผลประหยัด (Evaluating Saving Uncertainty) ที่อาจส่งผลต่อการคำนวณผลประหยัดที่เกิดขึ้น โดยความไม่แน่นอน อาจจะเกิดจากความคลาดเคลื่อนของกระบวนการดังต่อไปนี้

- ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด ดังนั้นควรทำการทดสอบเครื่องมือที่ใช้กับค่าเครื่องมือมาตรฐานอย่างน้อยปีละครั้ง
- ความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลอง
- ความคลาดเคลื่อนจากการเก็บตัวอย่าง ดังนั้นควรเก็บจำนวนตัวอย่างให้เพียงพอต่อการวิเคราะห์ข้อมูล
- ความคลาดเคลื่อนจากสมมติฐาน

การลดความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ โดยทั่วไปสามารถดำเนินการได้ 2 แนวทาง ดังนี้

1. ลดความโน้มเอียง (Bias) ของข้อมูล โดยอาจใช้ค่าจากการวัดจริงแทนค่าจากการประมาณ

2. ลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Errors) โดยการเพิ่มจำนวนการสุ่มวัด หรือเพิ่มความแม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัด

1.3.3 การทำงานขั้นต่ำของอุปกรณ์ (Minimum Operating Conditions)

ก่อนการดำเนินงาน ESCO และหน่วยงานควรปรึกษาหารือเพื่อทำบันทึกความเข้าใจ กำหนดเงื่อนไขการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่จะดำเนินการ เช่น การทำงานของ

เครื่องปรับอากาศ 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นต้น เพื่อให้มาตรการอนุรักษ์พลังงานมีความชัดเจน และสามารถบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้

1.3.4 ราคาพลังงาน (Energy Prices)

ค่าพลังงานที่สามารถประหยัดได้ คำนวณจากผลคูณของปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้กับราคาค่าพลังงานในขณะนั้น ซึ่งควรมีการกำหนดให้ชัดเจนว่าจะใช้ราคาเท่าไหร่ หรืออ้างอิงข้อมูลจากที่ใด

1.3.5 การพิสูจน์ผลโดยบุคคลที่สาม (Verification by a Third Party)

เนื่องจากหน่วยงานมักไม่ชำนาญในด้านการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นจึงอาจทำการว่าจ้างบุคคลที่ 3 ช่วยตรวจสอบและวิเคราะห์ขั้นตอนการดำเนินงานตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานว่ามีโอกาสประสบสำเร็จตามที่ ESCO ได้เสนอไว้หรือไม่ รวมถึงการกำหนดค่ามาตรฐานและระเบียบวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด เพื่อให้ทั้งสองฝ่ายเห็นพ้องต้องกัน ทั้งนี้ บุคคลที่ 3 ควรเป็นหน่วยงานกลางที่มีประสบการณ์ด้านการอนุรักษ์พลังงาน

1.3.6 การปรับค่าฐานการใช้พลังงาน (Baseline Adjustments)

การปรับค่าฐานการใช้พลังงาน เป็นการปรับเพื่อให้การคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงานมีความแม่นยำมากขึ้น โดยการปรับค่าฐานอาจเกิดขึ้นจาก

1) การเปลี่ยนแปลงเครื่องปรับอากาศ หรือจำนวนชั่วโมงการใช้งาน

2) การเปลี่ยนแปลงจำนวนอุปกรณ์หลักๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

3) การเปลี่ยนแปลงสภาวะการใช้งานของอุปกรณ์ เช่น ความสว่างของพื้นที่ใช้งานอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

ในบางครั้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจไม่จำเป็นต้องปรับค่าฐาน หากว่า

1) สิ่งที่ปรับเปลี่ยนนั้นถูกรวมเข้าไปในแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณเรียบร้อยแล้ว

2) สิ่งที่ปรับเปลี่ยนนั้นถูกจัดการในขั้นตอนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด

3) สิ่งที่ปรับเปลี่ยนไม่อยู่ในขอบเขตของการพิจารณาผลการอนุรักษ์พลังงาน

1.3.7 ค่าใช้จ่าย (Cost)

ค่าใช้จ่ายในการคำนวณผลการประหยัดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น

1) รูปแบบในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด

2) จำนวนและความซับซ้อนของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

3) จำนวนและความซับซ้อนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

4) จำนวนบุคลากรที่ต้องใช้ในการดำเนินการ

5) จำนวนการสุ่มวัด ความละเอียดและความถูกต้องในการวัด

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายจึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสม และดุลยพินิจของหน่วยงาน

1.4 การวิเคราะห์การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

เป็นการคำนวณหาปริมาณพลังงานหรือพลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ สามารถหาได้จากการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานหรือพลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนและหลังการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งสรุปเป็นความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{พลังงานที่ประหยัดได้} = \text{พลังงานที่ใช้}_{(\text{ก่อนการปรับปรุง})} - \text{พลังงานที่ใช้}_{(\text{หลังการปรับปรุง})} \pm \text{ค่าปรับแก้}$$

ค่าปรับแก้ เป็นค่าที่ใช้ปรับค่าฐานของปริมาณการใช้พลังงานก่อนปรับปรุงให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขหรือสภาวะการทำงานเดียวกันกับภายหลังการปรับปรุง สภาวะดังกล่าว ได้แก่ สภาพอากาศ การใช้งานอาคาร ผลผลิต และการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น ทั้งนี้ค่าปรับแก้อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

การเปรียบเทียบผลประหยัดสามารถทำได้ 3 รูปแบบ คือ

1) Cost Avoidance เป็นการหาปริมาณการใช้พลังงานหรือค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในช่วงหลังการปรับปรุง ถ้าหากไม่มีการดำเนินมาตรการดังกล่าว ในรูปแบบนี้จะใช้สภาวะการทำงานในช่วงหลังการปรับปรุงเป็นตัวตั้ง รูปแบบนี้เป็นรูปแบบที่นิยมใช้มากที่สุด

2) Fraction of Prediction เป็นการหาปริมาณการใช้พลังงานโดยใช้ข้อมูลสภาวะการทำงานของ Base Year เป็นตัวตั้ง แล้วสมมติว่าถ้ามีการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในช่วง Base Year จะมีปริมาณการใช้พลังงานเท่าไร

3) Normalized Saving เป็นการหาปริมาณการใช้พลังงานโดยใช้สภาวะการทำงานที่กำหนดขึ้นมาสภาวะหนึ่ง ซึ่งถือว่าเป็นสภาวะการทำงานปกติ แล้วคิดว่าภายใต้สภาวะดังกล่าว ก่อนและหลังดำเนินมาตรการจะมีการใช้พลังงานแตกต่างกันอย่างไร

1.5 การจัดทำรายงาน (M&V Reporting)

การจัดทำรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดนั้น ควรมีการนำเสนอรายงานตามที่เสนอไว้ในแผนการทำ M&V ซึ่งการจัดทำรายงานควรมีรายละเอียดที่สำคัญ คือ

1.5.1 รูปแบบของข้อมูลที่ได้จากการบันทึก

ส่วนใหญ่การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานใน Base Year ซึ่งข้อมูลนี้จะใช้ในการวิเคราะห์หามาตรการอนุรักษ์พลังงานด้วย เช่น ปริมาณการใช้พลังงาน อาจจะหาได้จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำมัน หรือจากการติดตั้งมาตรวัดเฉพาะ ถ้าเป็นข้อมูลภูมิอากาศ อาจจะหาได้จากข้อมูลที่เก็บโดยองค์การของรัฐ ตารางการใช้งานเครื่องจักร จำนวนคนหรือผลิตภัณฑ์ หรือถ้าเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับการปฏิบัติงาน จำนวนชั่วโมงการทำงาน อาจจะได้จากตารางการทำงานประจำวันของช่างที่ดูแลเครื่อง เป็นต้น

1.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

สามารถหาได้จากการเปรียบเทียบปริมาณพลังงาน หรือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนและหลังการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจุดสำคัญของการวิเคราะห์ข้อมูลคือพยายามที่จะสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับตัวแปรต่างๆ โดยหลักการการวิเคราะห์นั้นสามารถรายละเอียดได้จากข้อ 3.4

1.5.3 ช่วงระยะเวลาการรายงานผล

ซึ่งในรายงานการตรวจวัดฯ ควรมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของการจัดทำ M&V และการวางแผน M&V โดยการจัดทำรายงานการตรวจวัดฯ นั้น ประกอบด้วย 3 รูปแบบ คือ

1.5.3.1 ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของ ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามมาตรฐานของ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัดตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากหน่วยงานแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลประหยัดตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยงานและบริษัทจัดการพลังงาน

1.5.3.2 รายงานการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง

หลังจากที่หน่วยงานได้เห็นชอบและอนุมัติแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (M&V) แล้ว สิ่งที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ต้องปฏิบัติต่อไป คือ

1) ดำเนินการติดตั้งเครื่องวัดเพื่อเก็บข้อมูลของสภาพการทำงานของอุปกรณ์ หรือระบบต่างๆ เป็นช่วงเวลาที่เพียงพอในการที่จะรู้ถึงลักษณะการทำงาน

2) จัดทำรายงานผลการตรวจวัด และวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่ได้ดำเนินการแล้วจัดส่งรายงานนี้ให้กับหน่วยงาน เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลและอนุมัติต่อไป

3) เมื่อหน่วยงานอนุมัติรายงาน และได้แจ้งให้บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ทราบแล้วนั้น ESCO ก็สามารถดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

4) บริษัทจัดการพลังงานทำการแจ้งให้หน่วยงานทราบว่า อุปกรณ์ทั้งหมดได้ทำการติดตั้งเสร็จเรียบร้อย

1.5.3.3 รายงานการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังปรับปรุง

เมื่อดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ในมาตรการอนุรักษ์พลังงานแล้วเสร็จ บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ต้องจัดส่งรายงานภายหลังการติดตั้งอุปกรณ์ให้หน่วยงาน รายงานควรประกอบด้วย ข้อมูลอุปกรณ์ หรือ ระบบที่ได้ทำการติดตั้ง การเริ่มเดินเครื่องอุปกรณ์ และการคำนวณผลการประหยัดที่ได้ประเมินไว้ เมื่อหน่วยงานได้ทำการ

ตรวจสอบรายงานภายหลังการติดตั้งอุปกรณ์ ตรวจสอบอุปกรณ์ที่ติดตั้ง และเครื่องวัดที่ใช้ในการตรวจวัด หน่วยงานก็จะดำเนินการ ดังนี้

1) อนุมัติรายงาน ถ้ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการสามารถยอมรับได้

2) ไม่อนุมัติรายงาน ถ้ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการยังไม่สมบูรณ์

1.5.3.4 รายงานความก้าวหน้าของโครงการ

บริษัทจัดการพลังงานจะดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน เป็นช่วงระยะเวลาตามที่ระบุไว้ในแผนการตรวจวัดฯ M&V (เช่น รายเดือน รายไตรมาส หรือรายปี เป็นต้น) ซึ่งบริษัทจัดการพลังงานควรจัดทำ M&V และส่งรายงานให้หน่วยงานเป็นรายเดือนหรือรายไตรมาส เพื่อให้หน่วยงานสามารถทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ที่ได้ติดตั้งไว้ และปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้อย่างต่อเนื่อง

บทที่ 2

รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การตรวจวัดและพิสูจน์ทราบผลประหยัดสำหรับโครงการด้านอนุรักษ์พลังงาน ได้อ้างอิงระเบียบวิธีการของ International Performance and Varication Protocol (IPMVP) เป็นระเบียบวิธีอ้างอิงสำหรับการตรวจวัด และพิสูจน์ผลประหยัดที่พัฒนาขึ้นโดย EVO (Efficiency Valuation Organization) เพื่อนำมาช่วยกระตุ้นการลงทุนในโครงการด้านการอนุรักษ์พลังงาน โดย IPMVP จะเป็นการให้คำจำกัดความและแนวคิดการ M&V ทางเลือก (Options) ในการทำ M&V รูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

2.1 รูปแบบ A การตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักแยกรายมาตรการ (Option A: Retrofit Isolation with Key Parameter Measurement)

2.1.1 การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดในรูปแบบ A เกี่ยวข้องกับการประเมินการอนุรักษ์พลังงานระดับอุปกรณ์หรือระบบ โดยมุ่งเน้นสำหรับระบบหรืออุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดได้ เช่น ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำความเย็น ชั่วโมงการเปิดไฟ ชั่วโมงการเปิดเครื่องทำความเย็น เป็นต้น โดยเป็นการสุ่มตรวจวัดหรือตรวจวัดเป็นระยะเวลาสั้นๆ ระหว่างช่วงเวลาการทำงานก่อนการปรับปรุงกับช่วงเวลาหลังการปรับปรุง สำหรับปัจจัยที่ไม่สามารถวัดได้อาจจะใช้ข้อมูลในอดีตหรือข้อมูลจากผู้ผลิต ซึ่งเป็นข้อมูลเฉลี่ยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์

2.1.2 ระยะเวลาการตรวจวัด

การตรวจวัดในรูปแบบ A อาจจะเป็นการตรวจวัดเป็นจุดในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ หรือบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ต้องการตรวจวัด ทั้งนี้สำหรับข้อมูลที่มีค่าค่อนข้างคงที่ควรจะทำการตรวจวัดแบบจุดหรือวัดเพียงช่วงสั้น ๆ แต่ถ้าเป็นข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ก็ควรทำการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง

2.1.3 การสุ่มตัวอย่าง

การตรวจวัดเพื่อหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้ของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ถ้าอุปกรณ์ในระบบมีจำนวนน้อย อาจจะทำการตรวจวัดอุปกรณ์ทุกตัว แต่ในกรณีที่อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องมีจำนวนมาก อาจจะต้องทำการสุ่มตัวอย่างของอุปกรณ์ที่จะทำการตรวจวัด โดยการจำแนกออกเป็นกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งแต่ละกลุ่มต้องมีลักษณะการทำงานหรือมีชั่วโมงการใช้งานที่คล้ายคลึงกัน แล้วจึงตรวจวัดกลุ่มตัวอย่างที่ได้จำแนกไว้ให้ครบถ้วน

2.1.4 ค่าใช้จ่ายในการทำ M&V รูปแบบ A

การหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้โดยรูปแบบ A สามารถใช้วิธีประมาณค่าได้โดยไม่ต้องทำการตรวจวัด ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ประกอบด้วยเครื่องวัดที่ติดตั้งอย่างถาวร

- การเริ่มเดินเครื่องและการบำรุงรักษา
- การวิเคราะห์ค่าที่จะทำการประมาณ
- ค่าใช้จ่ายในการอ่านและบันทึกข้อมูล

เพราะฉะนั้นค่าใช้จ่ายในการหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้ จะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของมาตรการอนุรักษ์พลังงานและจำนวนของข้อมูลที่ต้องทำการตรวจวัด

2.1.5 รูปแบบ A เหมาะสมกับมาตรการอนุรักษ์พลังงานมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ได้รับการปรับปรุง ดังนี้

- สามารถแยกระบบเฉพาะที่ทำการปรับปรุงออกจากระบบที่เกี่ยวข้อง
- ตัวแปรอิสระที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไม่ซับซ้อน หรือมีค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินไปในการตรวจวัด
- ตรวจวัดเพียงช่วงสั้น ๆ มีเครื่องวัดย่อยติดตั้งอยู่แล้ว ซึ่งแยกออกจากระบบที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง
- ค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดมีค่าประมาณ 1-3% ของผลประหยัด

2.2 รูปแบบ B การตรวจวัดทุกตัวแปรหลักแยกรายมาตรการ (Option B: Retrofit Isolation with All Parameter Measurement)

รูปแบบ B เหมาะกับการตรวจวัดและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานที่มุ่งเน้นการหาประสิทธิภาพและปัจจัยการทำงานของอุปกรณ์ และระบบที่สามารถตรวจวัดได้โดยตรงโดยวิธีการตรวจวัดแบบจุด หรือตรวจวัดแบบต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของข้อมูลที่จะนำมาใช้รูปแบบ B จะมีลักษณะคล้าย รูปแบบ A แต่จะมีการตรวจวัดข้อมูลที่มากกว่าและเป็นแบบต่อเนื่อง เพื่อให้เข้าใจถึงผลประหยัดที่เกิดขึ้นจริง

รูปแบบ B เหมาะสมกับระบบต่างๆ ดังนี้

- สามารถแยกระบบเฉพาะที่ทำการปรับปรุงออกจากระบบที่เกี่ยวข้อง
- ตัวแปรอิสระที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไม่ซับซ้อน หรือมีค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินไปในการตรวจวัด
- ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง มีเครื่องวัดย่อยติดตั้งอยู่แล้วในการแยกมาตรการอนุรักษ์พลังงานออกจากระบบที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง
- ค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดมีค่าประมาณ 3-10% ของผลประหยัด

2.3 รูปแบบ C การตรวจวัดจากพลังงานโดยรวมของโครงการ (Option C: Whole Facility)

2.3.1 การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดรูปแบบ C เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องวัดของการไฟฟ้า หรือเครื่องวัดย่อยทั้งหมดของอาคาร การตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามรูปแบบนี้ จะไม่ใช้ในการประเมินผลการประหยัดแยกตามรายมาตรการ แต่จะประเมินผลการประหยัดโดยรวมสำหรับมาตรการทั้งหมด ซึ่งพลังงานที่ประหยัดได้จากรูปแบบ C นี้จะรวมถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานของอาคารด้วยรูปแบบนี้อาจจะนำมาใช้ในกรณีที่มีผลกระทบ ระหว่างมาตรการอนุรักษ์พลังงาน หรือระหว่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานกับส่วนของอาคารที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพ หรือการแยกรายมาตรการอาจจะทำได้ยากหรือมีค่าใช้จ่ายสูง

รูปแบบ C สามารถนำมาใช้กับโครงการซึ่งผลการประหยัดที่ได้คาดการณ์ไว้ มีค่ามากเพียงพอจนสามารถละเลยการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานที่ไม่สามารถอธิบายได้ โดยทั่วไปผลการประหยัดควรมีค่ามากกว่า10% ของการใช้พลังงานทั้งปีก่อนการดำเนินโครงการ นอกจากนั้นควรมีการตรวจสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ทั้งหมดและการใช้งานภายในอาคารเป็นช่วงๆ สม่ำเสมอภายหลังดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

2.3.2 ข้อมูลพลังงาน

การใช้พลังงานของอาคารอาจจะตรวจวัดแยกแต่ละอุปกรณ์การใช้งานหรือแหล่งของพลังงานเช่น เมื่อตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย จะตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคารแยกแต่ละอาคารเพื่อให้สามารถประเมินการประหยัดพลังงานได้เครื่องวัดหลายๆ เครื่องจะตรวจวัดการใช้พลังงานแต่ละชนิดของอาคารและขยายการวัดไปสู่การใช้พลังงานของทั้งระบบ เพื่อประเมินผลการประหยัดโดยรวม การคำนวณหาผลการประหยัดควรแยกตามแต่ละเครื่องมือวัด หรือรวมเป็นส่วนๆ ของอาคาร เมื่อเครื่องวัดสามารถตรวจวัดการใช้พลังงานส่วนย่อยมาได้แล้ว ก็จะรวมเป็นการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคารเพื่อหาผลประหยัด สำหรับการตรวจวัดพลังไฟฟ้า การประหยัดค่าความต้องการควรมีการใช้ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าในการประเมินผลการประหยัด เพื่อความถูกต้องในการหาผลการประหยัด ซึ่งอาจจะใช้ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าหลายเดือน ถ้าไม่ใช้ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าก็ควรมีอุปกรณ์วัดความต้องการพลังไฟฟ้าแยกต่างหาก

2.3.3 ใบแจ้งหนี้ค่าพลังงาน (Energy invoices)

เมื่อใช้ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเป็นแหล่งข้อมูลของการใช้พลังงาน ควรจะระลึกไว้ด้วยว่าการอ่านค่าจากเครื่องวัดของการไฟฟ้าอาจจะไม่มีความถูกต้องแม่นยำนัก ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าจะมีข้อมูลโดยประมาโดยเฉพาะสำหรับสถานประกอบการขนาดย่อม การอ่านเครื่องวัดโดยประมาณนั้นอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการประเมินผลประหยัดได้

2.3.4 ตัวแปรอิสระ

ในที่นี้ตัวแปรอิสระ หมายถึง ลักษณะเฉพาะหรือสภาวะแวดล้อมของการใช้สถานประกอบการที่มีผลต่อการใช้พลังงาน เช่น สภาวะอากาศและจำนวนผู้ใช้สถานประกอบการ เราควรทำการตรวจวัดและบันทึกค่าตัวแปรอิสระในช่วงเวลาเดียวกันกับที่เครื่องวัดพลังงานบันทึก เช่น การบันทึกปริมาณคนไข้ในเดือนเดียวกันกับใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า

2.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและแบบจำลอง

โดยทั่วไป รูปแบบ C จะใช้จำนวนข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังก่อนปรับปรุง 12, 24 หรือ 36 เดือน และข้อมูลต่อเนื่องในช่วงหลังปรับปรุง อย่างไรก็ตามเราสามารถใช้ข้อมูลย้อนหลังในช่วงเวลาที่มากหรือน้อยกว่านี้ (เช่น 13-15 หรือ 9- 11 เดือน) ตามความเหมาะสมสำหรับอาคารบางประเภท เช่น โรงเรียน ซึ่งมีค่าความแตกต่างที่สำคัญระหว่างการใช้พลังงานของอาคารในช่วงเปิดเทอมและปิดเทอม ควรจะมีการสร้างแบบจำลองถดถอยแยกกันสำหรับช่วงการใช้งานที่ต่างกัน

2.3.6 ค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายของวิธีในรูปแบบ C จะขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลพลังงานจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า หรือจากเครื่องวัดพิเศษอื่นใด ซึ่งในกรณีที่มีเครื่องวัดย่อยในสถานประกอบการอยู่แล้ว ก็จะไม่มีค่าใช้จ่ายพิเศษ ค่าใช้จ่ายหลักของรูปแบบ C ได้แก่ (1) การจัดการข้อมูลค่าไฟฟ้า และการดำเนินงานโปรแกรมด้วยข้อมูลค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนและ (2) การติดตามและปรับแก้สำหรับสภาพเงื่อนไขที่เปลี่ยนแปลงหลังจากการปรับปรุง

2.3.7 รูปแบบ C เหมาะสมกับระบบต่างๆ ดังนี้

- มีการประเมินการใช้พลังงานรวมของสถานประกอบการ
- มีมาตรการอนุรักษ์พลังงานหลายประเภทในหนึ่งสถานประกอบการ
- มีมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมที่ไม่สามารถแยกออกมาต่างหากจากส่วนอื่นได้โดยง่าย เช่น การเปลี่ยนผนังหรือหน้าต่างให้มีคุณภาพดีขึ้น
- การประหยัดมีค่ามากพอที่จะแยกออกมาจากค่าการใช้พลังงานส่วนย่อย ๆ ในข้อมูลของปีฐานในช่วงเวลาที่มีการตรวจวัด
- ผลกระทบระหว่างมาตรการอนุรักษ์พลังงาน หรือระหว่างมาตรการอนุรักษ์พลังงาน กับอุปกรณ์อื่นของสถานประกอบการมีค่ามาก ถ้าใช้รูปแบบ A และ B จะมีความซับซ้อนมากเกินไป
- ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลักๆ ในสถานประกอบการในอนาคตอันใกล้ เช่น ไม่มีการเปลี่ยนกระบวนการผลิตมากมายตลอดช่วงที่มีการหาค่าผลการประหยัด ตามปกติค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดรูปแบบ C มีค่าประมาณ 1-10% ของผลประหยัด

2.4 รูปแบบ D การประเมินผลประหยัดจากแบบจำลองที่สอบเทียบแล้ว (Option D: Calibrated Simulation)

รูปแบบ D เกี่ยวข้องกับการใช้ซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์จำลองการใช้พลังงานก่อนและหลังดำเนินมาตรการของสถานประกอบการ สามารถใช้ได้ทั้งแบบรายมาตรการหรือหลายมาตรการรวมกันแบบจำลองในการคำนวณจะต้องมีการปรับเทียบเพื่อที่ว่าจะได้สามารถทำนายการใช้พลังงานและความต้องการพลังไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความเป็นจริง ไม่ว่าจะเป็นช่วงก่อนหรือหลังการปรับปรุง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นปริมาณการใช้พลังงานหลังดำเนินมาตรการโดยปกติทางเลือกนี้จะใช้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลการใช้พลังงานของ Base Year

อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัตินั้น รูปแบบ D มีการนำมาใช้น้อยมาก เนื่องจากจำเป็นต้องมีผู้ชำนาญการใช้โปรแกรมอย่างแท้จริง นอกจากนั้นการยอมรับผลของสถานประกอบการต่อผลการคำนวณมักเป็นอุปสรรคที่สำคัญ บุคคลทั่วไปเข้าใจได้ยาก ทำให้ขาดความมั่นใจต่อผลที่ได้รับ ซึ่งปัจจุบันมีอยู่หลายโปรแกรม อาทิเช่น DOE-2, BLAST, Energy Plus เป็นต้น

นอกจากนี้รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (M&V) นั้น ค่าใช้จ่ายในการจัดทำ M&V ไม่สามารถที่จะระบุค่าใช้จ่ายได้ว่ารูปแบบใดจะมีค่าใช้จ่ายมากหรือน้อยกว่ากัน โดยปกติแล้วแต่ละรูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ทราบฯ ไม่ควรมีค่าใช้จ่ายเกิน 10% ของผลประหยัด

บทที่ 3

เครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว

แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน: มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว (Split Type Air Conditioner)

3.1 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

1) วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียวเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเป็นเครื่องปรับอากาศเดิมต้องเป็นระบบ Thermostat ในการควบคุมอุณหภูมิเท่านั้น ไม่รวมถึงเครื่องปรับอากาศที่ใช้ระบบ Inverter Control

2) วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียวให้มีประสิทธิภาพสูงเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ ติดตั้งร่วมด้วย เช่น มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า หรือมาตรการปรับปรุงพื้นที่ปรับอากาศ ได้แก่ การติดตั้งฉนวนความร้อน การปรับปรุงประตู-หน้าต่าง การติดม่านบังแสง หรือการปรับปรุงแก้ไขพื้นที่อื่นๆ

3) ขอบเขตของพื้นที่ปรับอากาศที่จะดำเนินการมาตรการนี้ต้องมีการระบุให้ชัดเจน และต้องควบคุมภาระการปรับอากาศ ได้แก่ สภาพพื้นที่ ลักษณะการใช้งานพื้นที่ จำนวนคนที่ใช้พื้นที่รวมทั้งอุณหภูมิ ความชื้นปรับอากาศของพื้นที่ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงให้ใกล้เคียงกัน โดยที่หลังปรับปรุงแล้วพื้นที่ปรับอากาศจะต้องสามารถควบคุมสภาพพื้นที่ให้เหมาะสมอยู่ในสภาวะที่สบายไม่น้อยกว่าสภาพก่อนปรับปรุง

4) วิธีการนี้แสดงแนวทางการคำนวณผลประหยัดและค่าใช้จ่ายเฉพาะด้านพลังงานเท่านั้น โดยมิได้พิจารณาผลประหยัดหรือค่าใช้จ่ายด้านอื่นๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายด้านการใช้งานและการบำรุงรักษา ซึ่งเกิดขึ้นจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ขอบเขตและวิธีการในการนำผลประหยัดและค่าใช้จ่ายอื่นๆ มาพิจารณาร่วมกับผลประหยัดพลังงานนั้น ให้อยู่ในการพิจารณาและจัดทำข้อตกลงร่วมกันระหว่างหน่วยงานและบริษัทจัดการพลังงาน

5) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามแนวทางนี้ถูกพัฒนาขึ้น โดยคำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และหน่วยงานเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานในกรณีที่ต้องการเพิ่มระดับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานให้สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่าย

3.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงนสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

การเลือกรูปแบบการตรวจวัดอ้างอิงระเบียบวิธีการ IPMVP โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียวนี้ เป็นตัวอย่างการนำหลักการและรูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน รูปแบบ A การตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักแยกรายมาตรการ (Option A: Retrofit Isolation with Key Parameter Measurement) มาประยุกต์ใช้กับมาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว โดยอนุโลมให้ใช้ค่าประสิทธิภาพตาม Specifications ของเครื่องปรับอากาศใหม่ในการประเมินการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงแทนการตรวจวัดได้ และใช้การสุ่มตัวอย่างในการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง โดยกำหนดให้จำนวนตัวอย่างที่ทำการตรวจวัดต้องเป็นไปตามขนาดการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Size) ที่กำหนดไว้ในระเบียบวิธีการ IPMVP โดยจำนวนสุมตัวอย่างขั้นต่ำจะต้องไม่น้อยกว่าจำนวนสุมตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่น (Confidence Level) 90% และความคลาดเคลื่อน (Precision) 10%

ตารางที่ 1 ช่วงระยะเวลาการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว

ช่วงระยะเวลา (Period)	แนวทางดำเนินการ	ตัวแปร	วิธีการตรวจวัด/เก็บข้อมูล
ช่วงตรวจวัดการใช้พลังงานฐาน (Baseline Period) ก่อนการปรับปรุง	1. หาอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ของเครื่องปรับอากาศ จากการสุ่มตรวจวัดตามกลุ่มตัวอย่าง 2. คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ 3. ตรวจสอบสภาพอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ	• กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ • อัตราการไหลของลมเย็น • อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายและกลับเข้าคอยล์เย็น • อุณหภูมิอากาศเข้าคอยล์ร้อนเครื่องปรับอากาศ • อุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ • ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ	• ตรวจวัดแบบชั่วขณะ • ตรวจวัดแบบชั่วขณะ • ตรวจวัดแบบชั่วขณะ • ตรวจวัดแบบชั่วขณะ • ตรวจวัดแบบชั่วขณะ • ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ช่วงตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง	1. หาอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ของเครื่องปรับอากาศ 2. คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ 3. ตรวจสอบสภาพอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ	• อัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ • อุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ • ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ	• ใช้ข้อมูลจาก Specification • ตรวจวัดแบบชั่วขณะ • ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ช่วงการติดตามรายงานผลแต่ละเดือน (Reporting Period)	1. หาอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ของเครื่องปรับอากาศ 2. คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ 3. ตรวจสอบสภาพอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ	• อัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ • อุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ • ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ	• ใช้ข้อมูลจาก Specification • ตรวจวัดแบบชั่วขณะ • ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง

3.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

1) ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาของข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานรูปแบบ A และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะทำการตรวจวัดข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากหน่วยงานแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน ตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยงานและบริษัทจัดการพลังงาน

2) รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามหัวข้อที่แสดงไว้ในข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานเป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักอย่างน้อย 3 บท ได้แก่

2.1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

2.2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

2.3) การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานและจัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยงานและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

3.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

1) การหาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียวแสดงด้วยค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio: EER) ซึ่งหาได้จากขนาดหรือความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Btu/h) และกำลังไฟฟ้าป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ (W) ดังสมการต่อไปนี้

$$EER = \frac{CL}{P_{Comp}}$$

โดยที่

EER = อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Ratio) (Btu/h/W)

CL = ขนาดหรือความสามารถในการทำความเย็น (Btu/h)

P_{Comp} = กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (W)

โดยความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศหาได้จากสมการ

$$CL = 5.707 \times 10^{-3} \times (h_r - h_s) \times F_s \times 12{,}000$$

โดยที่

h_r = เอนทาลปีของอากาศลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (Return Air) ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง T_r และความชื้นสัมพัทธ์ RH_r หาได้จากแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) (kJ/kg)

h_s = เอนทาลปีของอากาศลมจ่ายจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (Supply Air) ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง T_s และความชื้นสัมพัทธ์ RH_s หาได้จากแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) (kJ/kg)

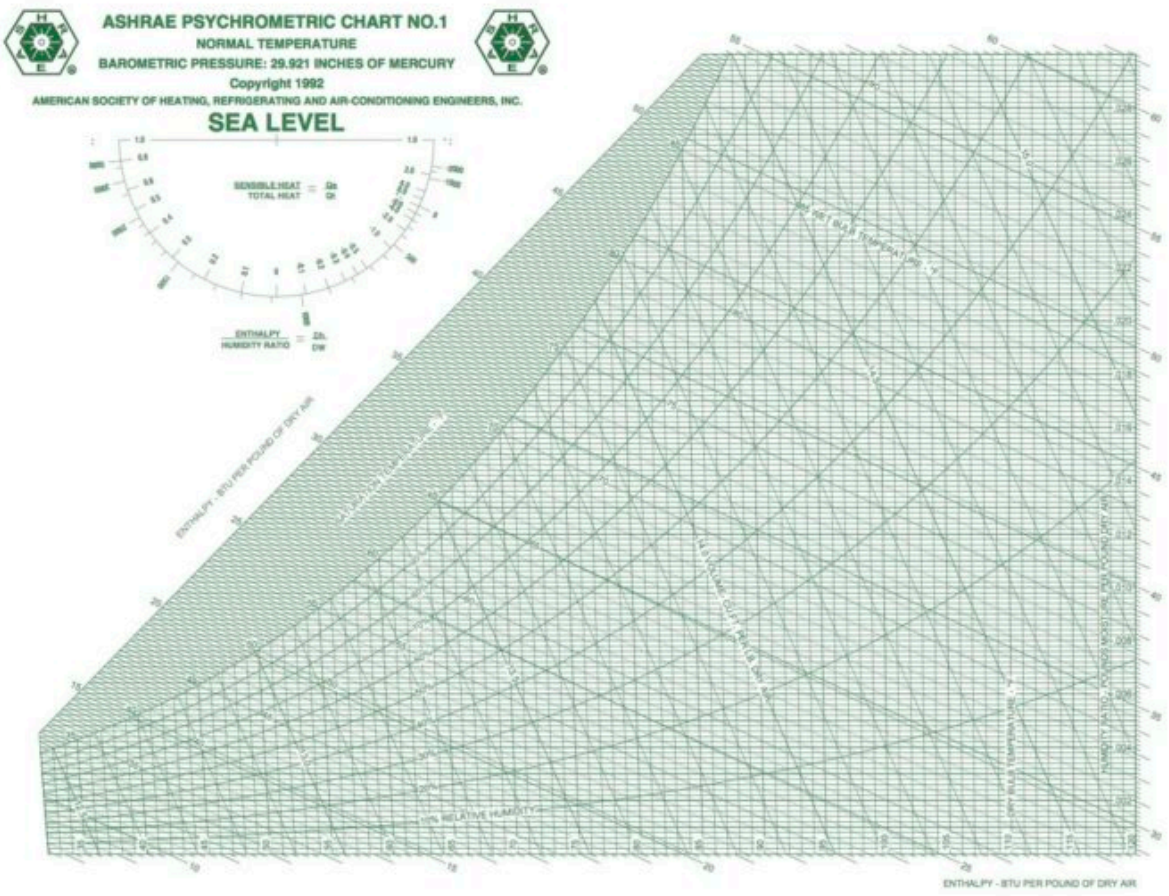
T_r = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (°C)

RH_r = ความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (%)

T_s = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (°C)

RH_s = ความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายออกจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (%)

F_s = อัตราการไหลของลมเย็นจ่ายออกจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (m^3/min)
พื้นที่หน้าตัดช่องจ่ายลม (m^2) x ความเร็วลมที่ออกจากช่องจ่าย (m/s)



รูปที่ 1 การใช้งานแผน Psychrometric Chart

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศต้องปรับค่า EER มาที่สภาวะมาตรฐาน คือที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน (Condenser) 35°C และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ 19.4°C โดยใช้ตารางที่ 2 ซึ่งแสดงค่าแก้ไขสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียวและแบบติดหน้าต่าง ที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจัดทำขึ้นดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าแก้ไขสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียวและแบบติดหน้าต่าง

อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศเข้าคอยล์เย็น (°C)	ค่าแก้ไข	
		ความสามารถในการทำความเย็น	กำลังไฟฟ้า
25	16	0.96	0.83
	18	1.03	0.85
	19	1.07	0.86
	19.4	1.08	0.87
	20	1.10	0.88
	22	1.18	0.90
30	16	0.92	0.89
	18	0.99	0.91
	19	1.02	0.93
	19.4	1.04	0.93
	20	1.06	0.94
	22	1.14	0.97
35	16	0.89	0.95
	18	0.95	0.98
	19	0.98	0.99
	19.4	1.00	1.00
	20	1.02	1.01
	22	1.09	1.04
40	16	0.85	1.01
	18	0.91	1.04
	19	0.94	1.06
	19.4	0.95	1.07
	20	0.97	1.08
	22	1.04	1.11
45	16	0.81	1.08
	18	0.86	1.11
	19	0.89	1.13
	19.4	0.91	1.14
	20	0.92	1.15
	22	0.98	1.18
50	16	0.76	1.15
	18	0.81	1.18
	19	0.84	1.2
	19.4	0.86	1.21
	20	0.87	1.22
	22	0.93	1.26

ค่า EER ที่สภาวะมาตรฐานสามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$EER_{STD} = \frac{EER \times CF_{CL}\,(T_{amb},T_{wbr})}{CF_{kW}\,(T_{amb},T_{wbr})}$$

โดยที่

EER_{STD} = อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Ratio) ที่สภาวะมาตรฐาน ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน (Condenser) 35 °C และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ 19.4 °C (Btu/h/W)

$CF_{CL}\,(T_{amb},T_{wbr})$ = ค่าแก้ไขความสามารถในการทำความเย็นที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจากตารางที่ 2 (กรณีค่าอุณหภูมิไม่ตรงให้ Interpolate จากค่าในตาราง)

$CF_{kW}\,(T_{amb},T_{wbr})$ = ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจากตารางที่ 2 (กรณีค่าอุณหภูมิไม่ตรงให้ Interpolate จากค่าในตาราง)

T_{amb} = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ (°C)

T_{wbr} = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (°C)

2) การวิเคราะห์และสุ่มตัวอย่างเครื่องปรับอากาศ

สำหรับการดำเนินการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศที่มีจำนวนเครื่องปรับอากาศเป็นจำนวนมาก การตรวจวัดการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศทุกตัวอาจทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูง และใช้เวลาดำเนินการนาน แนวทางหนึ่งที่สามารถทำได้ตามระเบียบวิธีการ PMVP คือ การจัดกลุ่มและสุ่มตัวอย่างเครื่องปรับอากาศตามประเภท ขนาด อายุ และลักษณะการใช้งาน และทำการสุ่มตัวอย่างตรวจวัดเครื่องปรับอากาศแต่ละกลุ่มเพื่อเป็นตัวแทนของจำนวนประชากรเครื่องปรับอากาศทั้งหมดขนาดการสุ่มตัวอย่างตาม IPMVP คำนวณได้โดยใช้สูตรดังนี้

ขนาดการสุ่มตัวอย่างคำนวณได้โดยใช้สูตรดังนี้

$n_0 = \frac{Z^2 \times CV^2}{e^2}$

โดยที่

n_0 = ขนาดการสุ่มตัวอย่างเบื้องต้นก่อนที่จะเริ่มสุ่มตัวอย่างจริง (Set)

CV = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variance) คิดจากการนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหารด้วยค่าเฉลี่ยของข้อมูล ในการคำนวณใช้ค่า 0.5 เป็นค่าเริ่มต้น จนกว่าจะสามารถหาประมาณการค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรสุ่มตัวอย่างจริง

e = ระดับความคลาดเคลื่อน (ใช้ค่า 10% หรือ 0.1)

Z = ค่าการแจกแจงแบบปกติสำหรับข้อมูลที่มีจำนวนจำกัด ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด (ใช้ค่า 1.64 สำหรับระดับความเชื่อมั่น 90%)

สำหรับการสุ่มตัวอย่างข้อมูลจากประชากรที่มีจำนวนน้อยกว่า 20 เท่าของขนาดการสุ่มตัวอย่างเบื้องต้น สามารถจะลดขนาดการสุ่มตัวอย่างลงได้ โดยใช้สมการคำนวณขนาดการสุ่มตัวอย่าง (n) ดังนี้

$n_1 = \frac{n_0 \times N}{n_0 + N}$

โดยที่

n_1 = ขนาดการสุ่มตัวอย่างที่ได้ปรับลดลง (Set)

N = จำนวนข้อมูลของประชากรที่จะสุ่มตัวอย่าง (Set)

3) การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศก่อนการปรับปรุงหาได้จากผลรวมของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศคูณด้วยชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละกลุ่มดังสมการ

$E_{Comp,Pre} = \sum_i^n \left(P_{i,Comp,Pre} \times N_i \times H_{i,Pre} \right)$

โดยที่

$E_{Comp,Pre}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

$P_{i,Comp,Pre}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i ก่อนการปรับปรุง (kW)

N_i = จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม i ที่ปรับปรุงตามมาตรการ

$H_{i,Pre}$ = ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i ก่อนการปรับปรุง (h/y)

i = เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i

n = จำนวนกลุ่มเครื่องปรับอากาศซึ่งแบ่งตามประเภท ขนาด อายุใช้งาน และลักษณะใช้งาน

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศแต่ละกลุ่มก่อนการปรับปรุงคำนวณจากค่า EER และขนาดหรือความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม ดังสมการ

$$P_{i,Comp,Pre} = \sum_{j}^{m} \left(\frac{CL_{STD,ij,Pre}}{EER_{STD,ij,Pre}} \right) /1000$$

โดยที่

$P_{i,Comp,Pre}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i ก่อนการปรับปรุง (kW)

$CL_{STD,ij,Pre}$ = ขนาดหรือความสามารถในการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i เครื่องที่ j ก่อนการปรับปรุง (Btu/h)

$EER_{STD,ij,Pre}$ = อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศที่สภาวะมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i เครื่องที่ j ก่อนการปรับปรุง (Btu/h/W)

i = เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i

ij = เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i เครื่องที่ j

m = จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม i

3.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

1) การหาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

การคำนวณประสิทธิภาพหรือค่า EER ของเครื่องปรับอากาศหลังการปรับปรุงสามารถใช้วิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง และใช้ตาราง 4.2-1 ในการคำนวณหาค่า EER ที่สภาวะมาตรฐาน ในกรณีที่มาตรการอนุรักษ์พลังงานเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศทดแทนเครื่องเดิมแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดรูปแบบ A อนุโลมให้ใช้ค่า EER จาก Specification ของเครื่องปรับอากาศที่ผ่านการรับรองจากหน่วยงานหรือสถาบันที่น่าเชื่อถือ เช่น ค่า EER จากฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยแทนการตรวจวัดประสิทธิภาพได้

2) การวิเคราะห์และสุ่มตัวอย่างเครื่องปรับอากาศ การจัดกลุ่มและสุ่มตัวอย่างเครื่องปรับอากาศตามประเภท ขนาด อายุ และลักษณะการใช้งาน และทำการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศ ให้ดำเนินการในลักษณะเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง

3) การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศหลังการปรับปรุงหาได้จากผลรวมของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศคูณด้วยชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละกลุ่มดังสมการ

$$E_{Comp,Post} = \sum_{j}^{n} \left(P_{i,Comp,Post} \times N_i \times H_{i,Post} \right)$$

โดยที่

$E_{Comp,Post}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศหลังการปรับปรุง (kWh/y)

$P_{i,Comp,Post}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i หลังการปรับปรุง (kW)

N_i = จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม i ที่ปรับปรุงตามมาตรการ (Set)

$H_{i,Post}$ = ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i หลังการปรับปรุง (h/y)

i = เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i

n = จำนวนกลุ่มเครื่องปรับอากาศซึ่งแบ่งตามประเภท ขนาด อายุใช้งาน และลักษณะใช้งาน

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศแต่ละกลุ่มหลังการปรับปรุงคำนวณจากค่า EER และขนาดหรือความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม ดังสมการ

$$P_{i,Comp,Post} = \sum_{j}^{m} \left(\frac{CL_{STD,ij,Post}}{EER_{STD,ij,Post}} \right)$$

โดยที่

$P_{i,Comp,Post}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i หลังการปรับปรุง (kW)

$CL_{STD,ij,Post}$ = ขนาดหรือความสามารถในการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i เครื่องที่ j หลังการปรับปรุง (Btu/h)

$EER_{STD,ij,Post}$ = อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศที่สภาวะมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i เครื่องที่ j หลังการปรับปรุง (Btu/h/W)

i = เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i

ij = เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i เครื่องที่ j

m = จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม i (Set)

4) การตรวจสอบสภาพพื้นที่ปรับอากาศ หลังการดำเนินการมาตรการควรมีการวัดค่าอุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศในตำแหน่งที่ตรวจวัดไว้ก่อนการปรับปรุงเพื่อเปรียบเทียบผลค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ ทั้งนี้อุณหภูมิของพื้นที่ ไม่ควรสูงกว่าอุณหภูมิก่อนการปรับปรุง ยกเว้นอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศก่อนปรับปรุงอยู่ในสภาพที่เย็นเกินไป จากการที่ไม่สามารถควบคุมเครื่องปรับอากาศได้อย่างเหมาะสมค่าอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศเฉลี่ยบริเวณติดตั้งเครื่องปรับอากาศสามารถหาได้จากสมการ

$$T_{k,Post} = \frac{\sum_j^n T_{k,Post}}{p}$$

โดยที่

$T_{k,Post}$ = อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอากาศ k หลังการปรับปรุง (°C)

$T_{kl,Post}$ = อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอากาศ k จุดตรวจวัด l หลังการปรับปรุง (°C)

k = พื้นที่ปรับอากาศ k ที่ทำการตรวจวัด

kl = พื้นที่ปรับอากาศ k จุดตรวจวัดอุณหภูมิที่ l

p = จำนวนจุดตรวจวัดอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศ k

3.6 การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

1) ผลประหยัดพลังงาน

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า สามารถหาได้จากผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยค่า EER ของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้นเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดผลประหยัดอย่างไรก็ตามหน่วยงานและบริษัทจัดการพลังงานจะต้องตกลงร่วมกันว่าจะใช้สภาพการใช้งานในช่วงใดเป็นกรณีฐานในการคิดผลประหยัดพลังงาน โดยสามารถแสดงสมการในแต่ละกรณีที่เป็นไปได้ดังนี้

1.1) กรณีที่ใช้สภาพก่อนการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศจากช่วงเวลาตรวจวัดก่อนการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน ดังสมการ

$E_{save} = E_{pre} - E_{post}$

$E_{Before} = \sum_i^n (P_{i,Comp,pre} \times N_i \times H_{i,pre})$

$E_{After} = \sum_i^n (P_{i,Comp,post} \times N_i \times H_{i,post})$

โดยที่

E_{save}	=	พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/y)
E_{Before}	=	พลังงานที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)
E_{After}	=	พลังงานที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)
$P_{i,Comp,Before}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i ก่อนการปรับปรุง (kW)
$P_{i,Comp,After}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i หลังการปรับปรุง (kW)
N_i	=	จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม i ที่ทำการปรับปรุงตามมาตรการ
$H_{i,Before}$	=	ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i ก่อนการปรับปรุง (h/y)
I	=	เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i
N	=	จำนวนกลุ่มเครื่องปรับอากาศ ซึ่งแบ่งตามประเภท ขนาด อายุใช้งาน และลักษณะใช้งาน

1.2) กรณีที่ใช้สภาพหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศจากช่วงเวลาตรวจวัดหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน ดังสมการ

E_{save}	=	$E_{pre} - E_{post}$
E_{Before}	=	$\sum_i^n (P_{i,Comp,pre} \times N_i \times H_{i,pre})$
E_{After}	=	$\sum_i^n (P_{i,Comp,post} \times N_i \times H_{i,post})$

โดยที่

E_{save}	=	พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/y)
E_{Before}	=	พลังงานที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)
E_{After}	=	พลังงานที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)
$P_{i,Comp,Before}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i ก่อนการปรับปรุง (kW)
$P_{i,Comp,After}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i หลังการปรับปรุง (kW)
N_i	=	จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม i ที่ทำการปรับปรุงตามมาตรการ
$H_{i,After}$	=	ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i หลังการปรับปรุง (h/y)
I	=	เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i
N	=	จำนวนกลุ่มเครื่องปรับอากาศ ซึ่งแบ่งตามประเภท ขนาด อายุใช้งาน และลักษณะใช้งาน

1.3) กรณีที่กำหนดสภาพการใช้งานปกติเป็นกรณีฐาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศอื่นซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติเป็นกรณีฐาน ดังสมการ

E_{save} = $E_{pre} - E_{post}$

E_{Before} = $\sum_i^n (P_{i,Comp,Pre} \times N_i \times H_{i,norm})$

E_{After} = $\sum_i^n (P_{i,Comp,Post} \times N_i \times H_{i,norm})$

โดยที่

E_{Save} = พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/y)

E_{Before} = พลังงานที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

E_{After} = พลังงานที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)

$P_{i,Comp,Before}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i ก่อนการปรับปรุง (kW)

$P_{i,Comp,After}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i หลังการปรับปรุง (kW)

N_i = จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม i ที่ปรับปรุงตามมาตรการ

$H_{i,Normal}$ = ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i ซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ (h/y)

i = เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i

n = จำนวนกลุ่มเครื่องปรับอากาศซึ่งแบ่งตามประเภท ขนาด อายุใช้งาน และลักษณะใช้งาน

2) ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน

ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานจากมาตรการสามารถคำนวณได้ดังนี้

%Save = $[(E_{pre} - E_{post}) / E_{pre}] \times 100\%$

โดยที่

%Save = เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน (%)

E_{pre} = พลังงานที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

E_{post} = พลังงานที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)

3) ผลการประหยัดพลังงานทางการเงิน

ผลการประหยัดพลังงานทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลัก ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ปีฐาน และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

โดยที่

C_{Save} = จำนวนเงินที่ประหยัดได้ (Baht/y)

E_{Save} = พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)

$C_{Electric}$ = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา (Baht/kWh)

หมายเหตุ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานโดยมากจะกำหนดจากอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเฉลี่ย ณ ปีที่ทำสัญญา ถ้าบริษัทจัดการพลังงานและหน่วยงาน เห็นพ้องต้องกันว่าควรใช้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอื่น เช่น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ณ เดือนที่เซ็นสัญญา หรืออัตราค่าพลังงานแปรผันตามจริง ให้ระบุลงในสัญญาและข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

3.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานสำหรับมาตรการนี้ตัวแปร หรือข้อมูลได้มาจากวิธีการต่างๆ ได้แก่

1) ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด มาตรการนี้ต้องทำการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียวก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้า ความสามารถในการทำความเย็น และชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยเป็นการตรวจวัดแบบชั่วขณะตามวิธีการดังนี้

1.1) การตรวจวัดประสิทธิภาพ (ค่า EER) ของเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว

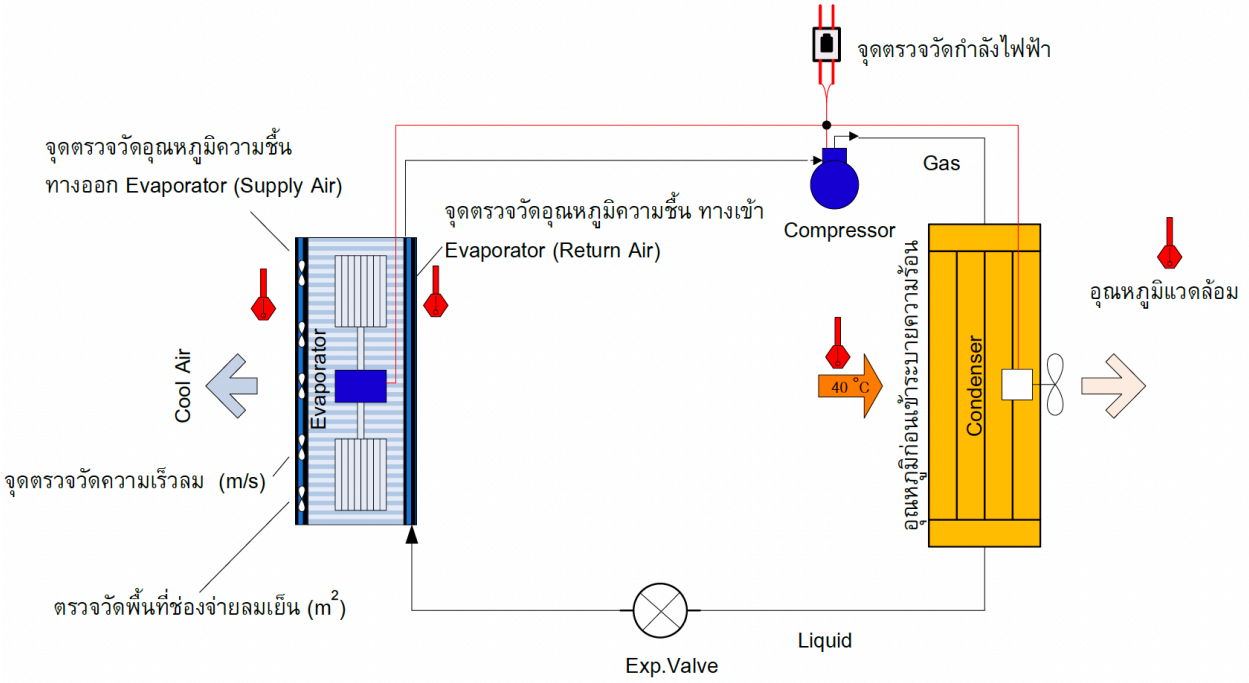
ขณะตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศต้องทำงานที่ภาระเต็มพิกัด หรือใกล้ภาระเต็มพิกัดมากที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยปรับตั้งอุณหภูมิให้ต่ำที่สุดขณะตรวจวัดเพื่อให้คอมเพรสเซอร์ ทำงานตลอดเวลา และปรับความเร็วของลมจ่ายให้สูงสุด ตรวจสอบไม่ให้มีการกีดขวางทางลม หากแผงกรอง อากาศอุดตันให้ถอดแผงกรองอากาศออก

วัดค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ กำลังไฟฟ้า (kW) แรงดันไฟฟ้า (V) และกระแสไฟฟ้า (A) รวมทั้งช่วงเวลาการตัดต่อของคอมเพรสเซอร์ เพื่อวัดการใช้พลังงานและตรวจสอบสภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์

วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของลมจ่ายและลมกลับเข้าคอยล์เย็น รวมทั้งอัตราการไหลของลมจ่ายเพื่อคำนวณความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศและวัดค่าอุณหภูมิของอากาศที่เข้าคอยล์ระบายความร้อนเพื่อใช้ปรับค่า EER ไปที่สภาวะมาตรฐาน

ตารางที่ 3 ตารางเครื่องมือตรวจวัด

เครื่องวัด	ยี่ห้อ	รุ่น	รูปเครื่องมือ
เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Digital Power Meter)	CHAUVIN ARNOUX	F205	
เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)	DIGICON	DA-41	
เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Thermo Hygrometer)	DIGICON	HT-776	



รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว (Split Type)

1.2) การตรวจวัดชั่วโมงทำงาน

- ตั้ง Thermostat ที่อุณหภูมิปรับอากาศใช้งานปกติ เช่น 25 (°C)
- ชั่วโมงการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยการจับเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ (ตัด-ต่อ) เพื่อประเมินสัดส่วนการทำงานของคอมเพรสเซอร์

รูปที่ 3 การตั้ง Thermostat ที่อุณหภูมิปรับอากาศใช้งานปกติ

2) ข้อมูลจากหน่วยงานที่สำคัญสำหรับมาตรการนี้ คือ ข้อมูลชั่วโมงทำงานของพื้นที่ปรับอากาศ และข้อมูลลักษณะการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะต้องมีการเก็บบันทึกไว้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานควรตรวจความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งหน่วยงานเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

3) ข้อมูลจากผู้ผลิตสามารถใช้ข้อมูล Specification ได้แก่ ขนาดการทำความเย็นและค่า EER ของเครื่องปรับอากาศใหม่ที่ผ่านการรับรองจากหน่วยงานหรือสถาบันที่น่าเชื่อถือ

4) ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น สามารถใช้ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น เช่น กรมอุตุนิยมวิทยาหรือเว็บไซต์ที่น่าเชื่อถือเป็นข้อมูลประกอบในการตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน เครื่องปรับอากาศ โดยเฉพาะในกรณีที่มีเครื่องปรับอากาศจำนวนมาก หรือมีพื้นที่จำกัดไม่สามารถเข้าไปตรวจวัดบริเวณคอยล์ระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศได้

บทที่ 4

หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง

แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน : มาตรการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟแสงสว่าง

4.1 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

1) วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างเพียงมาตรการเดียว ไม่รวมถึงการใช้งานร่วมกับมาตรการประหยัดพลังงานโดยการจัดการใช้งาน หรือมาตรการที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดพลังงานอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า

3) การตรวจวัดค่าความส่องสว่างควรตรวจวัดในสถานที่ที่ผลกระทบของแสงสว่างจากภายนอกรบกวนการตรวจวัดน้อยที่สุด หรือควรทำการตรวจวัดในช่วงเวลากลางคืน วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดนี้ถูกพัฒนาขึ้น โดยคำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลในกรณีที่ต้องการเพิ่มระดับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลให้สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการนี้

4.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

การเลือกรูปแบบการตรวจวัดอ้างอิงระเบียบวิธีการ IPMVP โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียวนี้ เป็นตัวอย่างการนำหลักการและรูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน รูปแบบ A การตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักแยกรายมาตรการ (Option A: Retrofit Isolation with Key Parameter Measurement) มาประยุกต์ใช้กับมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง โดยการสุ่มตัวอย่างอุปกรณ์ตามมาตรการเพื่อทำการตรวจวัด สำหรับมาตรฐานนี้ กำหนดให้จำนวนตัวอย่างที่ทำการตรวจวัดต้องไม่น้อยกว่า 10% ของจำนวนหลอดไฟฟ้าที่ทำการปรับปรุงในแต่ละชนิด และต้องไม่น้อยกว่า 10 ชุด ทดสอบต่อชนิดหลอดไฟฟ้า ในกรณีที่หลอดไฟฟ้าชนิดที่ทำการเปลี่ยนมีจำนวนไม่ถึง 10 ชุด ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลทำการตรวจวัดทั้งหมด

4.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับได้แก่

1) ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของ ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามมาตรฐานของ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัดเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากสถานประกอบการแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลประหยัด ตาราง (Log Sheel) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

2) รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด ให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดตามหัวข้อที่แสดงไว้ในข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล (1) เป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักอย่างน้อย 3 บท ได้แก่

2.1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

2.2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

2.3) การวิเคราะห์ผลประหยัด

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดและจัดทำรายงานแล้วเสร็จให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

4.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

1) การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

กรณีเลือกรูปแบบการตรวจวัดเป็น รูปแบบ A คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลต้องทำการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบชั่วขณะเป็นรายหลอด (Individual) ไม่น้อยกว่า 10% ของจำนวนหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดประเภทที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้าปีฐานโดยมีฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและตัวแปรหลัก ดังนี้

E_{BL} = f (PE_{pre} , N , H)

E_{BL} = PE_{Pre} x N x H

โดยที่

E_{BL} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานของหลอดไฟฟ้าแต่ละประเภทก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

PE_{Pre} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดไฟฟ้าแต่ละประเภทก่อนการปรับปรุง (kW)

N = จำนวนหลอดไฟฟ้าที่ทำการปรับปรุงตามมาตรการแยกตามประเภท

H = ชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้าปีฐาน (h/y)

หมายเหตุ ในกรณีที่มาตรการนี้มีการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าหลายประเภท ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลทำการตรวจวัดหลอดไฟฟ้าให้ครบทุกชนิด แล้วนำค่าพลังงานไฟฟ้าปีฐานของหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดที่ได้มารวมกัน

2) ภาระงาน

ภาระงานของหลอดไฟฟ้า คือ ความส่องสว่าง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานของหลอดไฟฟ้าแตกต่างกันไปตามพื้นที่ใช้งานของสถานประกอบการ บางครั้งอาจพบว่าค่าความสว่างอาจไม่เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยของอาคารและโรงงานตามกฎกระทรวง เพราะหลอดไฟฟ้าอาจถูกติดตั้งขึ้นเพื่อความสวยงามของพื้นที่ สามารถอนุโลมได้เพราะโครงการนี้มุ่งเน้นผลประหยัดพลังงานและความคุ้มทุนทางธุรกิจ แต่อย่างไรก็ตามค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้าหลังการติดตั้งควรไม่น้อยกว่าค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง การหาค่าความส่องสว่างควรมีการวัดค่าหลาย ๆ ตำแหน่งตลอดความยาวหลอด หรือบริเวณจุดที่แสงส่องตรงแล้วนำค่ามาเฉลี่ยเป็นค่าความส่องสว่าง ตำแหน่งการตรวจวัด (n) ต้องไม่น้อยกว่า 3 ตำแหน่งต่อหลอดไฟฟ้าที่ได้รับการสุ่มตัวอย่างให้เป็นตัวแทนข้อมูล และต้องทำเครื่องหมายไว้ เพื่อภายหลังการปรับปรุงคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลต้องกลับมาตรวจวัดค่าความส่องสว่างอีกครั้ง ณ ตำแหน่งเดิมก่อนการปรับปรุง โดยสามารถเขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ดังนี้

L_{Pre} = f (LUX_{PRE} , n)

L_{Pre} = $\frac{\sum_{i=1}^{i=n} LUX_{Pre}}{n}$

โดยที่

L_{Pre} = ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลอดไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง (Lux)

$LUX_{Pre,i}$ = ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟฟ้าใดๆ ตำแหน่งที่ i (Lux)

n = ตำแหน่งหรือจุดที่ทำการตรวจวัดค่าความส่องสว่างของแต่ละหลอดไฟฟ้า

4.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

1) การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

ให้ทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าหลังการปรับปรุง โดยมีเงื่อนไข สถานที่ติดตั้งหลอดไฟฟ้าต้องเป็นตำแหน่งเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง จำนวนหลอดไฟฟ้าเท่ากัน และชั่วโมงการทำงานปีฐานเท่ากัน

E_{FN} = f (PE_{Post} , N , H)

E_{FN} = PE_{Post} x N x H

โดยที่

E_{FN} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานของหลอดไฟฟ้าแต่ละประเภทหลังการปรับปรุง (kWh/y)

PE_{Post} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดไฟฟ้าแต่ละประเภทหลังการปรับปรุง (kW)

N = จำนวนหลอดไฟฟ้าที่ทำการปรับปรุงตามมาตรการแยกตามประเภท (Set)

H = ชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้าปีฐาน (h/y)

หมายเหตุ ในกรณีที่มาตรการนี้มีการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าหลายประเภท ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผล ทำการตรวจวัดหลอดไฟฟ้าให้ครบทุกชนิด แล้วนำค่พลังงานไฟฟ้าปีฐานของหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดที่ได้มารวมกัน

2) ภาระงาน

ภาระงานของหลอดไฟฟ้า คือ ความส่องสว่างหลังการติดตั้งที่ตำแหน่งเดียวกันกับหลอดไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงไม่ควรน้อยกว่าค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง การหาค่าความส่องสว่างหลังการปรับปรุงให้ทำการตรวจวัดตามตำแหน่งที่เครื่องหมายไว้ก่อนปรับปรุง โดยสามารถเขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ดังนี้

L_{Post} = f (LUX_{Post} , n_{post})

$$L_{Post} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} LUX_{Post,i}}{n}$$

โดยที่

L_{Post} = ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลอดไฟฟ้าหลังการปรับปรุง (Lux)

$LUX_{Post,i}$ = ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟฟ้าใดๆ ตำแหน่งที่ i (Lux)

$LUX_{Post.n}$ = ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟฟ้าใดๆ ตำแหน่งที่ n (Lux)

n = ตำแหน่งหรือจุดที่ทำการตรวจวัดค่าความส่องสว่างของแต่ละหลอดไฟฟ้า

4.6 การวิเคราะห์ผลประหยัด

ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าการคำนวณหาผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าปีฐานสามารถหาได้จากการนำพลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง ลบด้วยพลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้หลังการปรับปรุง เขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ และสมการได้ดังนี้

$E_{save} = f(E_{BL}, E_{FN})$

$E_{save} = E_{BL} - E_{FN}$

โดยที่

E_{save} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ประหยัดได้ (kWh/y)

2) ผลประหยัดทางการเงินปีฐาน

ผลประหยัดทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลัก ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ประหยัดได้ และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) และสมการได้ดังนี้

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

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

โดยที่

C_{Save} = จำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน (Bath/y)

C_E = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC (Bath/kWh)

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

4.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

1) การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

- ข้อมูลหรือตัวแปรด้านพลังงานโดยทั่วไปของมาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงหลอดไฟฟ้านี้ ต้องทำการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัดที่มีค่าความถูกต้อง (Accuracy) ที่เหมาะสมเท่านั้น
- ข้อมูลจากหน่วยงานที่สำคัญของมาตรการนี้คือ ชั่วโมงการทำงานในแต่ละพื้นที่ที่มีการปรับปรุงหลอดไฟฟ้าตามมาตรการ ข้อมูลที่ถูกบันทึกและให้การโดยพนักงานของสถานประกอบการอาจก่อให้เกิดปัญหา

ในภายหลังดังนั้นคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลควรให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจของสถานประกอบการได้ลงนามรับรองข้อมูลชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ตามมาตรการด้วย

2) รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลประหยัดมี 2 ชนิดได้แก่ตัวแปรหลักและตัวแปรควบคุม

- ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลประหยัดพลังงาน และผลประหยัดทางการเงิน สำหรับตัวแปรหลักของมาตรการนี้ได้แก่

1) กำลังไฟฟ้า PE (kW), (W)

2) ชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้าปีฐานตามตำแหน่งติดตั้ง H (h/y)

- ตัวแปรควบคุม หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการที่ ESCO เสนอขาย บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ แสงรบกวนจากภายนอก ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นและเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10% สำหรับตัวแปรควบคุมตามมาตรการนี้ ได้แก่

1) ค่าความส่องสว่าง L (Lux)

2) ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าวงจรของหลอดไฟฟ้า V (Volt)

บทที่ 5

เครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง

แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น

5.1 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

1) วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2) วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ ติดตั้งร่วมด้วย เช่น มาตรการปรับแรงดันไฟฟ้า หรือมาตรการติดตั้งอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้า หรืออื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน

3) ระบบควบคุมไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นและปั๊มสูบน้ำที่ใช้ในมาตรการสามารถติดตั้งเครื่องมือเพื่อตรวจวัดแยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่นๆ ของหน่วยงานได้

4) ภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็น ได้แก่ ความสามารถในการทำความเย็นให้ระบุในหน่วย ตันความเย็น (TR) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) หรือ กิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat})

5) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานตามแนวทางที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ คำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และหน่วยงานเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความแม่นยำในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลผลประหยัดให้สูงขึ้นอาก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกคำใช้จ่ายในโครงการ

5.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน

การเลือกรูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานของแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น เป็นตัวอย่างการนำหลักการและรูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน รูปแบบ A การตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักแยกรายมาตรการ (Option A: Retrofit Isolation with Key Parameter Measurement) โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ที่แสดงในเอกสารฉบับนี้ คือการใช้การตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดร่วมกับข้อมูลที่บันทึกโดยหน่วยงาน เช่น เวลาทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น จำนวนห้องพักที่ใช้งาน หรือการใช้งานอุปกรณ์ทำงานที่ทำให้เกิดภาระการทำความเย็นตลอดปี

ส่วนดัชนีที่ใช้ในการชี้วัดผลประหยัดจะพิจารณาจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็น (Specific Energy Consumption of Chiller) ในหน่วย กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น (kW/TR)

5.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO)ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

5.3.1 ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของ ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามระเบียบวิธีการของ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัดเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากหน่วยงานแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลประหยัด ตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ที่มาของข้อมูลต่างๆ และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยงานและบริษัทจัดการพลังงาน

5.3.2 รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามหัวข้อที่แสดงไว้ในข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล (5.3.1) เป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักอย่างน้อย 3 บท ได้แก่

1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

3) การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลและจัดทำรายงานแล้วเสร็จให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยงานและบริษัทจัดการพลังงานและให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

5.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

5.4.1 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงของเครื่องทำน้ำเย็นประกอบไปด้วยตัวแปรหลักได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงได้ดังนี้

1) พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง

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

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

โดยที่

E_{Pre} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kWh/y)

$P_{CH,Pre}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (KW)

LF_{Pre} = สัดส่วนภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง

H = ชั่วโมงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นปีฐาน (h/y)

2) พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ก่อนการปรับปรุง

ในกรณีตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลแล้วพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นทำงานตลอดเวลาโดยไม่มีการตัดการทำงาน ให้กำหนดค่า LF=1 ส่วนในกรณีที่เครื่องทำน้ำเย็นมีการตัด-ต่อ (ON-OFF) การทำงานให้หาค่า LF จากเวลาการทำงานดังนี้

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

โดยที่

LF_{pre} = สัดส่วนภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง

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

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

5.4.2 การคำนวณภาระงาน

ภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็น หรือ ภาระทำความเย็น (Cooling Load , CL) คือ ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากการสภาวะการใช้งาน ได้แก่พื้นที่ปรับอากาศ จำนวนผู้ใช้งาน สิ่งของ อุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและการสูญเสียอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นแตกต่างกันไปตามหน่วยงาน โดยทั่วไปเครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานมากหรือน้อยตามภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นคณะตรวจวัดและพิสูจน์ผล (M&V Unit) สามารถตรวจวัดภาระทำความเย็น ดังกล่าวได้จากตัวแปรหลักที่

เครื่องทำความเย็นได้แก่ อัตราการไหลของน้ำเย็น (Flow rate of chilled water) อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่าย (Chilled Water Supply) อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับ (Chilled Water Return) ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น (Specific heat of chilled water) และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม โดยสมการหาภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง สามารถใช้ความรู้ทางเทอร์โมไดนามิกส์มาประยุกต์ ได้ดังนี้

1) ภาระการทำความเย็นก่อนปรับปรุง

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

CL_{Pre} = $mw_{,Pre} \times Cp_{,Pre} \times (T_{CHR,Pre} - T_{CHS,Pre})$

$m_{w,Pre}$ = $\rho_{w,Pre} \times F_{Pre}$

โดยที่

CL_{Pre} = ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง (Ton_R), บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) หรือกิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat})

F_{Pre} = อัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (L/min, L/s, m3/min, m3/s,GPM ฯลฯ

$T_{CHS,Pre}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (^oC, ^oF)

$T_{CHR,Pre}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (^oC, ^oF)

$T_{amb,Pre}$ = อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน (^oC, ^oF)

$T_{,Pre}$ = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง

$m_{w,Pre}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kg/s, lb/s)

$\rho_{w,Pre}$ = ความหนาแน่นของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (kg/m3, lb/ft3)

ในบางครั้งหน่วยงานต้องการทราบภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้น แต่ขาดวิศวกรที่มีความรู้ทางเทอร์โมไดนามิกส์สามารถสร้างสมการสำเร็จรูปเพื่อทดแทนสมการที่ 4.2.1 โดยเปลี่ยนรูปค่า ρ_w และ m_w ให้อยู่ในรูปของค่าคงที่ได้ดังนี้

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 (^oC)

$T_{CHR,Pre}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (^oC)

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 (L/min)

$T_{CHS.Pre}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (^oF)

$T_{CHR,Pre}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุง (^oF)

5.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังปรับปรุง

5.5.1 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุงของเครื่องทำน้ำเย็นให้ใช้รูปแบบเดียวกันกับก่อนปรับปรุงคือคำนวณเฉพาะเครื่องทำน้ำเย็นที่มีการเปลี่ยนตามมาตรการ ไม่รวมปั๊มสูบน้ำและอุปกรณ์อื่นๆ มีสมการที่ใช้ดังนี้

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

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

โดยที่

E_{Post} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kWh/y)

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

LF_{Post} = สัดส่วนภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง

H = ชั่วโมงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นปีฐาน (h/y)

5.5.2 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} = สัดส่วนภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง

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

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

5.5.3 การคำนวณภาระงาน ภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้งานหลังปรับปรุง สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

1) ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง

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

CL_{Post} = $mw_{,Post} \times Cp_{,Post} \times (T_{CHR,Post} - T_{CHS,Post})$

$m_{w,Post}$ = $\rho_{w,Post} \times F_{Post}$

โดยที่

CL_{Post} = ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton_R), บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) หรือกิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat})

F_{Post} = อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (L/min, L/s, m3/min, m3/s,GPM ฯลฯ

$T_{CHS,Post}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (^oC, ^oF)

$T_{CHR,Post}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (^oC, ^oF)

$T_{amb,Post}$ = อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน (^oC, ^oF)

$T_{,Post}$ = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็นหลังปรับปรุง

$m_{w,Post}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kg/s, lb/s)

$\rho_{w,Post}$ = ความหนาแน่นของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (kg/m3, lb/ft3)

เพื่อความสะดวกสามารถใช้สมการสำเร็จรูปเพื่อทดแทนสมการที่ 5.2.1 โดยเปลี่ยนรูปค่า ρ_w และทำ m_W ให้อยู่ในรูปของค่าคงที่ ได้ดังนี้

2) สมการสำเร็จรูปเพื่อหาภาระทำความเย็นหลังปรับปรุงในหน่วย SI

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

โดยที่

CL_{Post} = ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton_R)

F_{Post} = อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (L/min)

$T_{CHS.Post}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (^oC)

$T_{CHR,Post}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (^oC)

3) สมการสำเร็จรูปเพื่อหาภาระทำความเย็นหลังปรับปรุงในหน่วยอังกฤษ

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

โดยที่

CL_{Post} = ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton_R)

F_{Post} = อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง (L/min)

$T_{CHS.Post}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (^oF)

$T_{CHR,Post}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง (^oF)

หมายเหตุ : จำนวนตัวแปรอิสระหลังปรับปรุง ควรกำหนดให้เท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระก่อนปรับปรุง เว้นแต่มีกรณีพิเศษ เช่น การลดตัวแปรกรณีระบบหลังปรับปรุงสามารถทำงานได้คงเดิมโดยตัดอุปกรณ์บางชนิดออกไปได้ หรือการเพิ่มตัวแปรกรณีระบบหลังปรับปรุงประหยัดพลังงานที่ระบบทำน้ำเย็นแต่ส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานที่ตำแหน่งอื่นแทน

5.6 การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

5.6.1 ผลประหยัดพลังงานการวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

ผลประหยัดพลังงานของมาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นให้พิจารณาภาระทำความเย็นและพลังงานไฟฟ้าเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณหาผลประหยัดพลังงานปีฐานในกรณีที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศแวดล้อมไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กระทรวงพลังงานกำหนดไว้ (32.2°C) จะใช้ค่าตัวแปรควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมที่ถูกบันทึกไว้ระหว่างการตรวจวัดมาใช้ในการหาค่าปรับแก้ส่วนการเขียนเป็นสมการหาพลังงานที่ประหยัดได้ สามารถเขียนได้ดังนี้

1) พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

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

โดยที่

E_{Save} = พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)

E_{Pre} = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง (kWh/y)

$E_{Post,adj}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงที่ปรับแก้ค่า โดยใช้สมมติฐานให้เครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงทำงานที่ภาระความเย็นเท่ากันกับสภาวะก่อนปรับปรุง (kWh/y)

2) พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุงที่ปรับแก้ค่า

$E_{post,adj}$ = SEC_{post} X CL_{pre} X H

โดยที่

SEC_{post} = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง (kW/TR)

CL_{pre} = ภาระทำความเย็นก่อนการปรับปรุง (TR)

H = ชั่วโมงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นปีฐาน (h/y)

3) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนการปรับปรุง

$$SEC_{Pre} = \frac{P_{CH,Pre}}{CL_{Pre}}$$

โดยที่

SEC_{Pre} = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง (kW/TR)

$P_{CH,Pre}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนปรับปรุง (kW)

CL_{Pre} = ภาระทำความเย็นก่อนปรับปรุง (TR)

4) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังการปรับปรุง

$$SEC_{Post} = \frac{P_{CH,Post}}{CL_{Post}}$$

โดยที่

SEC_{Post} = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง (kW/TR)

$P_{CH,Post}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหลังปรับปรุง (kW)

CL_{Post} = ภาระทำความเย็นหลังปรับปรุง (Ton_R)

5) เปอร์เซ็นผลประหยัดพลังงาน (Energy Saving Percent)

$$SP = \frac{SEC_{Pre} - SEC_{Post}}{SEC_{Pre}} \times 100\%$$

โดยที่

SP = เปอร์เซ็นผลประหยัดพลังงานหรือร้อยละของผลประหยัดพลังงาน (%)

5.6.2 ผลประหยัดทางการเงินปีฐาน

ผลประหยัดทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐานของเครื่องทำน้ำเย็น ให้เปรียบเทียบจากการทำงานที่สมมติฐานทั้งก่อนและหลังปรับปรุง เครื่องทำความเย็นทำงานในสภาวะเดียวกันและภาระทำความเย็นเท่ากัน เขียนเป็นฟังก์ชั่นสมการได้ดังนี้

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 ปีที่ทำสัญญา ถ้าบริษัทจัดการพลังงานและหน่วยงาน เห็นพ้องต้องกันว่าควรใช้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอื่น เช่น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ณ เดือนที่เซ็นสัญญา หรืออัตราค่าพลังงานแปรผันตามจริง ให้ระบุลงในสัญญาและข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

5.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

7.1 ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล โดยทั่วไปตัวแปรหรือข้อมูลได้มาจาก 5 วิธีการได้แก่

1) ข้อมูลจากหน่วยงาน

ข้อมูลที่ถูกบันทึกโดยพนักงานของหน่วยงาน เช่นข้อมูลชั่วโมงทำงานของระบบทำน้ำเย็น ข้อมูลห้องพัก หรือข้อมูลพื้นที่ใช้งานระบบปรับอากาศ สามารถนำมาใช้ได้แต่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลควรตรวจความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งหน่วยงานเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

2) ข้อมูลจากผู้ผลิต

บางครั้งผู้ผลิตเครื่องทำน้ำเย็น ได้ให้ข้อมูลการทดสอบอุปกรณ์ที่เสนอขายมาด้วย สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจวัดที่ไซต์งาน

3) ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น

ตัวแปรหรือข้อมูลบางตัวสามารถหาได้จากสถาบันการตรวจวัดที่มีการตรวจวัดข้อมูลไว้ตลอดปี เช่นกรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ หรือเว็บไซต์ต่างๆ ที่เชื่อถือได้ แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

4) ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่

ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่ ส่วนมากไม่นิยมใช้ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล แต่ถ้ามีความจำเป็นสามารถนำมาใช้ได้ในส่วนที่ไม่สำคัญต่อการวิเคราะห์ผลประหยัด และต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยงานและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

5) ค่าแก้ไข หรือค่าปรับแก้

สำหรับงานด้านการทำความเย็นและปรับอากาศ ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ย อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่าย และอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนหรืออุณหภูมิอากาศระบายความร้อนไม่เป็นไปตามประกาศกระทรวงพลังงานพ.ศ. 2552 ให้ใช้ค่าแก้ไขที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนเคยจัดทำไว้ เป็นแหล่งอ้างอิงที่มาของ "ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้า"และ "ค่าแก้ไขภาระทำความเย็น"

5.8 รายละเอียดตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลประหยัด มี 2 ชนิด ได้แก่ ตัวแปรหลักและตัวแปรควบคุม

1) ตัวแปรหลัก

หมายถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง การใช้พลังงานหลังปรับปรุงผลประหยัดพลังงาน ผลประหยัดทางการเงิน

2) ตัวแปรควบคุม

หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุงเพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการที่ ESCO เสนอบางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้น ทดสอบหลังปรับปรุงให้ยาวนานขึ้น และเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10%

บทที่ 6

หม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน

แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

6.1 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

1) วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อลดสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิง ครอบคลุมการใช้พลังงานทั้งหมดที่ใช้กับหม้อไอน้ำ ได้แก่ ปริมาณเชื้อเพลิงและ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ ในระบบป้อนเชื้อเพลิง และระบบหม้อไอน้ำ

2) วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเดิมเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ ติดตั้งร่วมด้วย เช่น มาตรการติดตั้งฉนวน มาตรการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ หรืออื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน

3) ภาระงานของหม้อไอน้ำ ได้แก่ ค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (Efficiency)

4) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานตามแนวทางที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ คำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และหน่วยงานเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความแม่นยำในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ให้สูงขึ้นอาก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการนี้

6.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การเลือกรูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานของแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานของหม้อไอน้ำนี้ เป็นตัวอย่างการนำหลักการและรูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน รูปแบบ A การตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักแยกรายมาตรการ (Option A: Retrofit Isolation with Key Parameter Measurement) โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ที่แสดงในเอกสารฉบับนี้ คือการใช้การตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดร่วมกับข้อมูลที่บันทึกโดยหน่วยงาน เช่น เวลาทำงานของเครื่องทำหม้อไอน้ำ ปริมาณน้ำป้อนที่ใช้ อัตราการสูญเสียต่าง ๆ เป็นดัชนีที่ใช้ในการชี้วัดผลประหยัดจะพิจารณาจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของหม้อไอน้ำในหน่วย ร้อยละของค่าประสิทธิภาพ (Efficiency)

6.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

1) ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลเนื้อหาของข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผล วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลประหยัดตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยงานและบริษัทจัดการพลังงาน

2) รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวม ถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามหัวข้อที่แสดงไว้ในข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลเป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลจะประกอบไปด้วยข้อมูลและตารางคำนวณ ได้แก่

2.1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

2.2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

2.3) การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลและได้จัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยงานและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

6.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

โดยเป็นการตรวจวัดอัตราการใช้พลังงานเดิมของหม้อไอน้ำ ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาและการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบกับปริมาณไอน้ำที่สามารถผลิตได้โดยในการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา สามารถคำนวณหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาที่ใช้ในกรณีฐานได้ดังนี้

$$SFC_{BL} = FC_{BL}/SG_{BL}$$

โดยที่

SFC_{BL} = อัตราการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาที่ใช้ในกรณีฐาน (L/Ton_{steam})

FC_{BL} = ปริมาณเชื้อเพลิงน้ำมันเตาที่ใช้ในกรณีฐาน (L/y)

SG_{BL} = ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ในกรณีฐาน (Ton_{steam}/y)

สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีฐานได้ดังนี้

SEC_{BL} = EC_{BL}/SG_{BL}

โดยที่

SEC_{BL} = อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีฐาน (kWh/Ton_{steam})

EC_{BL} = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกรณีฐาน (kWh/y)

SG_{BL} = ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ในกรณีฐาน (Ton_{steam}/y)

ปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการคำนวณ ใช้หน่วยเป็น Ton_{steam} ในกรณีปกติซึ่งมีการผลิตไอน้ำในสภาวะเดียวกัน คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำป้อน หรืออุณหภูมิของไอน้ำ ในช่วงก่อนและหลังดำเนินโครงการ แต่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าใดค่าหนึ่ง ให้คำนวณปริมาณไอน้ำเทียบเป็นสภาวะมาตรฐาน โดยใช้หน่วยเป็น Ton_{steam} F&A 100˚C

โดย Ton_{steam} F&A 100˚C เป็นหน่วยของปริมาณไอน้ำที่สภาวะมาตรฐานซึ่งได้จากน้ำป้อนอุณหภูมิ 100˚C มาเป็นไอน้ำที่ 100˚C (From and At 100˚C) อ้างอิงจากมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพเรื่องระบบหม้อไอน้ำ ของสภาวิศวกร ใช้สำหรับคำนวณเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไอน้ำก่อนและหลังดำเนินโครงการ ในกรณีที่การผลิตไอน้ำก่อนและหลังดำเนินโครงการใช้สภาวะแรงดัน หรืออุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยที่ไอน้ำ 1 ตัน ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน จะมีปริมาณพลังงานในหน่วย Ton FA 100˚C ดังตาราง

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบตันของไอน้ำเทียบเท่า Ton_{steam} F&A 100 ˚C ของแต่ละความดัน

Pressure (barg)	Temp Steam (˚C)	Energy (MJ/Ton_{steam})	Ton_{steam} F&A 100˚C
0	100.00	2,257.0170	1.0000
1	120.34	2,287.1836	1.0134
2	133.47	2,305.3003	1.0214
3	143.45	2,318.1452	1.0271
4	151.60	2,328.0194	1.0315
5	158.54	2,335.8854	1.0349
6	154.62	2,342.3706	1.0378
7	170.04	2,347.8516	1.0402
8	174.95	2,352.5377	1.0423
9	179.46	2,356.5543	1.0441
10	183.62	2,360.0689	1.0457
11	187.49	2,363.1232	1.0470
12	191.12	2,365.8428	1.0482
13	194.53	2,368.2277	1.0493
14	197.77	2,370.3197	1.0502
15	200.83	2,372.2025	1.0510
16	203.76	2,373.8342	1.0518

Pressure (barg)	Temp Steam (°C)	Energy (MJ/Ton$_{steam}$)	Ton$_{steam}$ F&A 100°C
17	206.55	2,375.2986	1.0524
18	209.22	2,376.5957	1.0530
19	211.79	2,377.7254	1.0535
20	214.26	2,378.7295	1.0539
21	216.64	2,379.6082	1.0543
22	218.93	2,380.3613	1.0546
23	221.16	2,380.9889	1.0549
24	223.31	2,381.5328	1.0552
25	225.39	2,381.9930	1.0554
26	227.42	2,382.3696	1.0555
27	229.39	2,382.6625	1.0557
28	231.30	2,382.8717	1.0558
29	233.17	2,382.9972	1.0558
30	234.99	2,383.0809	1.0559
31	236.76	2,383.0809	1.0559
32	238.49	2,383.0390	1.0558
33	240.18	2,382.9554	1.0558
34	241.84	2,382.7880	1.0557
35	243.45	2,382.5788	1.0556
36	245.04	2,382.3278	1.0555
37	246.59	2,382.0349	1.0554
38	248.11	2,381.7002	1.0552
39	249.60	2,381.3236	1.0551
40	251.07	2,380.8634	1.0549
41	252.50	2,380.4031	1.0547
42	253.91	2,379.9010	1.0544
43	255.30	2,379.3571	1.0542
44	256.66	2,378.8132	1.0540
45	258.00	2,378.1856	1.0537
46	259.31	2,377.5580	1.0534
47	260.61	2,376.8886	1.0531
48	261.88	2,376.1773	1.0528
49	263.14	2,375.4242	1.0525
50	264.37	2,374.6710	1.0521

6.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

หลังจากที่มีการปรับปรุงโดยการติดตั้งหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวลทดแทนของเดิมแล้ว จะเป็นการตรวจวัดปริมาณไอน้ำที่สามารถผลิตได้ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการ และปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ดังนี้

SG_{PJ} = ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้จากมาตรการ (Ton_{steam}/y)

FC_{PJ} = ปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในมาตรการ (Ton/y)

EC_{PJ} = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในมาตรการ (kWh/y)

ผลการประหยัดพลังงานจากมาตรการนี้ คำนวณจาก

Energy Saving = $(SG_{PJ} \times SFC_{BL} \times NCV_{BL}) - (FC_{PJ} \times NCV_{PJ})$

Energy Saving = พลังงานที่สามารถประหยัดได้ (MJ/y)

SG_{PJ} = ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้จากมาตรการ (Ton_{steam}/y)

SFC_{BL} = อัตราการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาในกรณีฐาน (L/Ton_{steam})

NCV_{BL} = ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงที่ใช้ในกรณีฐาน (MJ/L)

FC_{PJ} = ปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในมาตรการ (Ton/y)

NCV_{PJ} = ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงที่ใช้ในมาตรการ (MJ/Ton)

โดยที่

SFC_{BL} = FC_{BL}/SG_{BL}

SFC_{BL} = อัตราการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาที่ใช้ในกรณีฐาน (L/Ton_{steam})

FC_{BL} = ปริมาณเชื้อเพลิงน้ำมันเตาที่ใช้ในกรณีฐาน (L/y)

SG_{BL} = ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ในกรณีฐาน (Ton_{steam}/y)

6.6 การวิเคราะห์ผลประหยัด

การคิดผลประหยัดเป็นการเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนพลังงานในกรณีฐาน กับต้นทุนพลังงานจากโครงการ ดังนี้

1) ต้นทุนพลังงานในกรณีฐาน

โดยคำนวณจากต้นทุนค่าเชื้อเพลิงและต้นทุนค่าไฟฟ้าในกรณีฐาน ดังนี้

$Cost_{BL}$ = PF, IGA $(SG_{PJ} \times SFC_{BL})$ + PE, IGA $(SG_{PJ} \times SEC_{BL})$

โดยที่

$Cost_{BL}$ = ต้นทุนพลังงานในกรณีฐาน (B/y)

PF, IGA = ราคาเชื้อเพลิงเดิมตามข้อตกลงใน IGA (B/L)

SG_{PJ} = ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้จากมาตรการ (Ton_{steam}/y)

SFC_{BL} = อัตราการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาในกรณีฐาน (L/Ton_{steam})

PE, IGA = ราคาไฟฟ้าตามข้อตกลงใน IGA (B/kWh)

SEC_{BL} = อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีฐาน (kWh/Ton_{steam})

2) ต้นทุนพลังงานจากการดำเนินโครงการ

โดยคำนวณจากต้นทุนค่าเชื้อเพลิงชีวมวลและต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการ ดังนี้

$Cost_{PJ}$ = (PF, PJ x FC_{PJ}) + (PE, PJ x EC_{PJ})

โดยที่

$Cost_{PJ}$ = ต้นทุนพลังงานจากการดำเนินโครงการ (B/y)

PF, PJ = ราคาเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการดำเนินโครงการ (B/Ton)

FC_{PJ} = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจากการดำเนินโครงการ (Ton/Y)

PE, PJ = ราคาไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินโครงการ (B/kWh)

EC_{PJ} = ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการดำเนินโครงการ (kWh/Y)

3) การคำนวณผลประหยัด

ผลประหยัดรวมคิดจาก ต้นทุนพลังงานในกรณีฐาน เทียบกับ ต้นทุนพลังงานจากการดำเนินโครงการดังนี้

$Saving_{Net}$ = $Cost_{BL}$ – $Cost_{PJ}$

โดยที่

$Saving_{Net}$ = ผลประหยัดสุทธิ (Baht)

$Cost_{BL}$ = ต้นทุนพลังงานในกรณีฐาน (Baht/y)

$Cost_{PJ}$ = ต้นทุนพลังงานจากการดำเนินโครงการ (Baht/y)

หมายเหตุ: ในการคำนวณต้นทุนพลังงานในกรณีฐาน ให้ใช้ราคาต่อหน่วยของเชื้อเพลิงและไฟฟ้า ตามที่ระบุไว้ในรายงาน IGAซึ่งอาจจะเป็นค่าคงที่ หรือเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามสูตรที่ ESCO และผู้ประกอบการเห็นชอบร่วมกัน และการคำนวณต้นทุนพลังงานจากการดำเนินโครงการ ให้ใช้ราคาต่อหน่วย ตามที่ระบุไว้ในรายงาน IGA ซึ่งอาจจะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ หรือใช้ราคาจริง โดยที่ราคาผันผวนที่ยอมรับได้ไม่เกิน +/- 10%

6.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล โดยทั่วไปตัวแปรหรือข้อมูลได้มาจาก 6 วิธีการได้แก่

1) ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

ข้อมูลที่ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดด้านปริมาณ เช่น ปริมาณไอน้ำ และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งจะต้องตรวจวัดในช่วงเวลาที่ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด และข้อมูลด้านสภาวะ เช่น แรงดันของไอน้ำ อุณหภูมิของน้ำเติมระบบเป็นต้น

2) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

กรณีใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถทำได้โดยทดสอบการทำงานของระบบที่สภาวะต่างๆ ครอบคลุมย่านที่ใช้งานสูงที่สุดและต่ำที่สุด เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่ต้องการได้แก่ ประสิทธิภาพ และภาระงาน จากนั้นนำข้อมูลมาสร้างสมการถดถอย (Regression) ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์หรือโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ โดยข้อมูลทดสอบต้องมีช่วงครอบคลุมย่านการใช้งานทั้งหมด ส่วนค่าในช่วงที่ไม่มีข้อมูลทดสอบ สามารถประเมินได้โดยการประเมินข้างน้อย (Conservative Approximation) ในกรณีที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าตัวแปรให้ทำการทดสอบค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการตรวจวัดหรือบันทึกจากมิเตอร์แสดงผลของอุปกรณ์ แล้วใช้หลักการทางสถิติหาค่า r^2 และให้พิจารณาจากค่า r^2 โดยต้องมีค่ามากกว่า 0.75 ขึ้นไป

3) ข้อมูลจากหน่วยงาน

ข้อมูลที่ถูกบันทึกโดยพนักงานของหน่วยงาน เช่น ข้อมูลชั่วโมงทำงานของเครื่องจักร ข้อมูลอัตราการผลิต หรือข้อมูลภาระงานของเครื่องจักร สามารถนำมาใช้ได้แต่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลควรตรวจความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งหน่วยงานเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

4) ข้อมูลจากผู้ผลิต

บางครั้งผู้ผลิตได้ให้ข้อมูลการทดสอบอุปกรณ์ที่เสนอขายมาด้วย สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังข้อ 7.2 แต่ต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยงานและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

5) ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น

ตัวแปรหรือข้อมูลบางตัวสามารถหาได้จากสถาบันการตรวจวัดที่มีการตรวจวัดข้อมูลไว้ตลอดปี เช่น กรมอุตุนิยมวิทยากรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ หรือเวปไซต์ต่างๆ ที่เชื่อถือได้ แต่ต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยงานและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

6) ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่

ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่ ส่วนมากไม่นิยมใช้ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล แต่ถ้ามีความจำเป็นสามารถนำมาใช้ได้ในส่วนที่ไม่สำคัญต่อการวิเคราะห์ผลประหยัด และต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยงานและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

6.8 รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลประหยัด มี 2 ชนิดได้แก่ตัวแปรหลักและตัวแปรควบคุม

1) ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อ การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลประหยัดพลังงาน ผลประหยัดทางการเงิน

2) ตัวแปรควบคุม หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการที่ ESCO เสนอขาย บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น ปริมาณการใช้ไอน้ำ และแรงดันไอน้ำที่จ่าย ซึ่งมีผลต่อการคำนวณหาค่าพลังงานให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นและเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10% ถ้าต่างจากนี้ จะต้องปรับฐานจากการคำนวณในโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกรณีฐาน ตามที่ ESCO ได้ตกลงกับหน่วยงาน