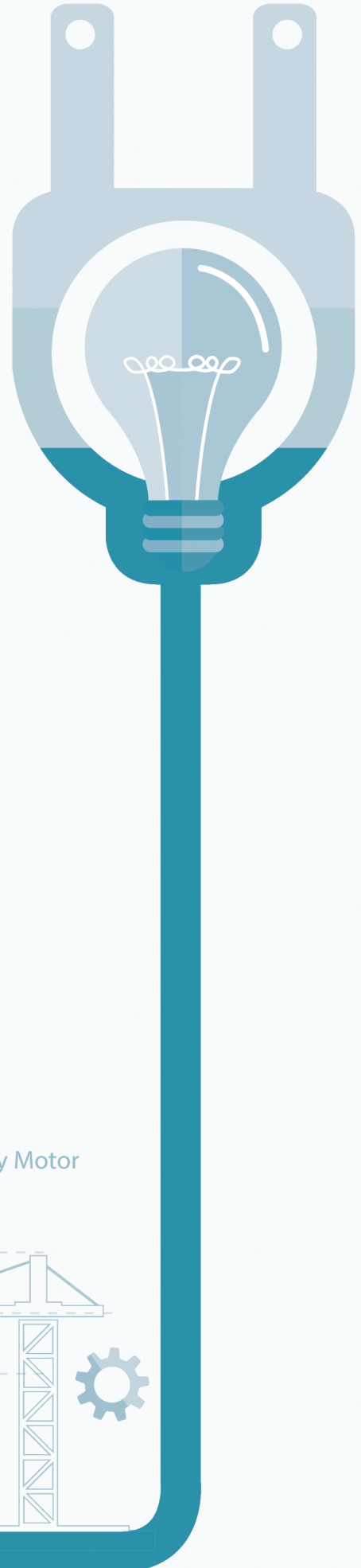


# แนวทางการตรวจวัด และพิสูจน์ผล การประหยัด พลังงาน (M&V)



สนับสนุนโดย



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน  
และอนุรักษ์พลังงาน  
กระทรวงพลังงาน



สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม  
สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

จัดทำโดย

Thai  
ESCO Association

สมาคมบริษัทจัดการพลังงานไทย



Ozone for Cooling Tower

Air Compressor

Split Type Air Conditioner

High Efficiency Motor





# คำนำ

ในปี 2555-2556 ที่ผ่านมาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ได้มอบหมายให้สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม ดำเนินการพัฒนาแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (Measurement and Verification; M&V) ที่เหมาะสมสำหรับโครงการที่ดำเนินการด้วยกลไกบริษัทจัดการพลังงาน ขึ้นมาจำนวน 4 มาตรการ คือ มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้า มาตรการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง มาตรการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟแสงสว่าง และมาตรการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินโครงการสำหรับกลุ่มผู้ประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) รวมทั้งบริษัทที่ปรึกษาด้านพลังงานให้มีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยอ้างอิงถึงระเบียบวิธีการของ IPMVP (International Performance and Verification Protocol) ซึ่งมีการนำไปใช้แล้วกว่า 40 ประเทศทั่วโลก

ทางสถาบันพลังงานฯ เห็นว่าการพัฒนาแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (Measurement and Verification; M&V) ช่วยส่งเสริมและควบคุมให้บริษัทจัดการพลังงานดำเนินการพิสูจน์และรับประกันผลการประหยัดพลังงานในโครงการ ESCO ต่างๆ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โปร่งใส เป็นกลาง และเป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการ ในปี 2557 นี้ทางสถาบันพลังงานฯ จึงร่วมกับสมาคมบริษัทจัดการพลังงานไทย จัดทำแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานเพิ่มเติมจากที่ทำได้เดิมอีก 4 มาตรการ คือ มาตรการติดตั้งระบบโอโซนที่หอผึ่งเย็นของระบบทำน้ำเย็น (Ozone for Cooling Tower) มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioner) มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) และมาตรการมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor) 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. นายศรินทร์ รุจาคม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน  
ที่ปรึกษา
5. นายพิทชา สุทธิกุล กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน  
ที่ปรึกษา
6. นายหิน นววงศ์ สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม  
ที่ปรึกษา
7. นายรุ่งเรือง สายพวรรณ สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม  
ที่ปรึกษา
8. นายอาทิตย์ เวชกิจ สมาคมบริษัทจัดการพลังงานไทย  
คณะทำงาน
9. นายรวิวัฒน์ พนาสันติภาพ สมาคมบริษัทจัดการพลังงานไทย  
คณะทำงาน
10. นายศรัณย์ ศรีพิพัฒน์ สมาคมบริษัทจัดการพลังงานไทย  
ผู้เชี่ยวชาญ
11. นายชนพันธ์ ถนัดช่าง สมาคมบริษัทจัดการพลังงานไทย  
ผู้เชี่ยวชาญ
12. นายปรีชา ปรีดาวิจิตร สมาคมบริษัทจัดการพลังงานไทย  
ผู้เชี่ยวชาญ





# สารบัญ

■ คำนำ	6
■ รายชื่อคณะผู้จัดทำ	
■ บทที่ 1 นิยามการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน	6
1.1 ที่มาและความสำคัญ	6
1.2 วัตถุประสงค์	6
1.3 นิยามการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน	7
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	8
■ บทที่ 2 รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน	10
2.1 รูปแบบ A การตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักแยกรายมาตรการ	10
2.2 รูปแบบ B การตรวจวัดตัวแปรทุกตัวแยกรายมาตรการ	11
2.3 รูปแบบ C การวิเคราะห์จากปริมาณการใช้พลังงานโดยรวม	12
2.4 รูปแบบ D การจำลองผลด้วยแบบจำลองซึ่งผ่านการสอบเทียบ	13
■ บทที่ 3 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน	18
3.1 การวางแผนตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน	18
3.2 ขั้นตอนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน	19
3.3 การดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน	21
3.4 การวิเคราะห์การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน	24
3.5 การจัดทำรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน	24
■ บทที่ 4 ตัวอย่างแนวทางและกรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน	26
4.1 มาตรการติดตั้งระบบโอโซนที่หอผึ่งเย็นของระบบทำน้ำเย็น (Ozone for Cooling Tower)	26
4.2 มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioner)	62
4.3 มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)	99
4.4 มาตรการมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor)	129
■ เอกสารอ้างอิง	143







# นียบามการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

## 1. นียบามการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (Measurement and Verification: M&V) นั้น ก่อนนำผลที่ได้มาคำนวณหาผลการประหยัดพลังงานที่แท้จริงของโครงการ จะต้องกระบวนการตรวจวัดค่าการใช้พลังงานที่ได้รับการยอมรับ อาทิ การกำหนดสิ่งที่จะต้องดำเนินการในระหว่างการตรวจวัด การเข้าไปติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ การสอบเทียบ และการบำรุงรักษาเครื่องมือวัด การรวบรวม/กลั่นกรองข้อมูลที่ได้ การพัฒนาวิธีการคำนวณหาผลการประหยัดพลังงานซึ่งเป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย การจัดทำรายงาน และการรับประกันคุณภาพเหล่านี้ เป็นต้น

สำหรับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานในประเทศไทยจะอ้างอิงระเบียบวิธีการของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย EVO (Efficiency Valuation Organization) โดย IPMVP ได้ให้คำจำกัดความและแนวคิดการทำ M&V ทางเลือก ในการทำ M&V รูปแบบต่างๆ รวมทั้งวิธีการวางแผนและการจัดทำรายงาน M&V สำหรับโครงการอนุรักษ์พลังงาน

### 1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อนำเสนอวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (M&V) สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ ซึ่งจะทำให้การตรวจวัดและการรายงานผลการประหยัดพลังงานมีความถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือ

2) เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ในประเทศไทยมีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยอ้างอิงระเบียบวิธีการ IPMVP ซึ่งจะช่วยยกระดับการดำเนินงานของบริษัทจัดการพลังงานไทยให้มีความน่าเชื่อถือในระดับสากล

3) เพื่อให้กระบวนการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานมีความถูกต้องแม่นยำ น่าเชื่อถือ เป็นธรรม สร้างความเชื่อมั่นให้เกิดการลงทุน และช่วยผลักดันให้เกิดการดำเนินการโครงการที่เป็นระบบ และเกิดผลประหยัดพลังงานตามเป้าหมาย



### 1.3 นโยบายการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (M&V)

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (Measurement and Verification: M&V) คือ การตรวจสอบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการอยู่ยังคงทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน โดยคำนวณผลการประหยัดพลังงานที่ได้รับจากการตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานก่อน และหลังการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานดังแสดงตามสมการ

$$(\text{ระดับการใช้พลังงานปกติ})_{\text{ปรับแก้}} - (\text{ระดับการใช้พลังงานหลังดำเนินการ}) = \text{ผลการประหยัดพลังงาน}$$

ในการตรวจสอบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานนั้นยังคงประหยัดพลังงานอยู่ จะต้องพิจารณาว่าวิธีการหาระดับการใช้พลังงานปกติมีความเที่ยงตรงและถูกต้อง นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาว่าระบบ หรือเครื่องจักร อุปกรณ์ที่ติดตั้งไปนั้นทำงานได้ตามที่ระบุในข้อกำหนดคุณสมบัติ (Specification) และทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (M&V) ถือเป็นกระบวนการที่สำคัญในการกำหนดและควบคุมความเสี่ยง (Performance Risk) ต่อการดำเนินธุรกิจของบริษัทจัดการพลังงาน ถึงแม้ว่าโครงการจะมีการออกแบบ หรือการก่อสร้างติดตั้งที่ดี แต่ถ้าไม่มีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานแล้วอาจทำให้ผลการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นไม่เป็นไปตามที่ระบุไว้ในสัญญาพลังงานได้ การตรวจวัดและพิสูจน์ผลซึ่งมีความน่าเชื่อถือโดยอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่สามารถตรวจสอบได้ จะทำให้บริษัทจัดการพลังงานและเจ้าของสถานประกอบการเกิดความมั่นใจได้ว่าผลการประหยัดพลังงานจะเป็นไปตามการคำนวณทางวิศวกรรมตลอดระยะเวลาของโครงการ ทั้งนี้ในสัญญาพลังงานจะต้องมีการกำหนดระดับการใช้พลังงานฐาน (Baseline Energy Use) ของสถานประกอบการซึ่งเป็นระดับการใช้พลังงานปกติซึ่งเป็นที่ยอมรับทั้งสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (M&V) เป็นกระบวนการหรือขั้นตอนในการหาผลการประหยัดพลังงานที่เกิดจากมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ โดยเลือกจากรูปแบบมาตรฐาน 4 รูปแบบด้วยกันซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป บ่อยครั้งที่มักเกิดความสับสนระหว่างความหมายของคำว่า “การตรวจวัดผลการประหยัดพลังงาน” (Measurement of Saving) และ “การตรวจติดตามผลการประหยัดพลังงาน” (Monitoring of Saving) ทำให้เกิดความเข้าใจผิดในการทำ M&V และอาจจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายสูงเกินความเป็นจริง โดยหลักการแล้ว “การตรวจวัดผลการประหยัดพลังงาน” จะหมายถึงการวัดข้อมูลและวิเคราะห์หาจำนวนหรือปริมาณของผลการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้น ส่วน “การตรวจติดตามผลการประหยัดพลังงาน” จะหมายถึงการประเมินค่าผลการประหยัดพลังงานที่ได้และ/หรือการกระทำใดๆ เพื่อตอบสนองต่อผลการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจจะหมายถึงการปรับเปลี่ยนวิธีการหรืออุปกรณ์ ดังนั้นการตรวจวัดผลการประหยัดพลังงานจึงไม่จำเป็นที่จะต้องทำแบบต่อเนื่องหรือต้องเก็บข้อมูลตลอดเวลา อาจจะเป็นครั้งคราวได้ นอกจากนี้แล้วการใช้คำว่า “การตรวจวัดผลการประหยัดพลังงาน” อาจจะไม่ถูกต้องมากนัก เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วผลการประหยัดพลังงาน



ไม่สามารถตรวจวัดได้ สิ่งที่สามารถวัดได้จริงคือปริมาณพลังงานที่ใช้ไป ผลการประหยัดพลังงานเกิดจากความแตกต่างของปริมาณพลังงานที่ใช้ก่อนและหลังการเข้ามาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะต้องนำปริมาณพลังงานทั้งสองครั้งมาวิเคราะห์เพื่อหาผลการประหยัดพลังงานต่อไป

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) ช่วยลดความเสี่ยง (Performance Risk) และการบริหารความเสี่ยงต่อการลงทุนในโครงการอนุรักษ์พลังงาน ทำให้เกิดความน่าเชื่อถือกับสถาบันการเงินหรือแหล่งเงินทุนในการปล่อยสินเชื่อให้กับธุรกิจบริษัทจัดการพลังงาน

2) ช่วยลดข้อขัดแย้งในการตรวจวัดผลการประหยัดพลังงานระหว่างบริษัทจัดการพลังงาน และสถานประกอบการในการลงทุนมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ ทำให้รายงานเป็นที่ยอมรับจากทุกๆ ฝ่าย รวมทั้งสถาบันการเงินหรือผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ

3) เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานที่มีการประเมินผลการประหยัดพลังงานได้ครบถ้วน

4) ประหยัดเวลาในการจัดทำสัญญาพลังงาน ซึ่งการทำ M&V สามารถลดข้อขัดแย้งในการพิสูจน์หาผลการประหยัดพลังงาน จึงช่วยประหยัดเวลาในการเจรจาจัดทำสัญญาพลังงานกับลูกค้า

5) ช่วยให้เกิดการขยายตลาดไปในต่างประเทศ เนื่องจากการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามระเบียบวิธีการตาม IPMVP ซึ่งได้รับความเชื่อถือและการยอมรับอย่างกว้างขวางในระดับสากล ซึ่งจะส่งผลให้บริษัทจัดการพลังงานไทยสามารถขยายตลาดไปยังต่างประเทศได้









## รูปแบบการตรวจวัดและ พิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

### 2. รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

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

##### 2.1.1 การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานรูปแบบ A ใช้การประเมินการอนุรักษ์พลังงานระดับอุปกรณ์หรือระบบ โดยตรวจวัดตัวแปรหลักของระบบหรืออุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดได้ เช่น ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำความเย็น ชั่วโมงทำงานของระบบแสงสว่าง ชั่วโมงการทำงานของเครื่องทำความเย็น เป็นต้น โดยเป็นการสุ่มตรวจวัดหรือตรวจวัดเป็นระยะเวลาดำเนินการ ระหว่างช่วงระยะเวลาการทำงานก่อนการปรับปรุงกับช่วงเวลาหลังการปรับปรุง สำหรับตัวแปรที่ไม่สามารถวัดได้อาจจะใช้ข้อมูลในอดีตหรือข้อมูลจากผู้ผลิต ซึ่งเป็นข้อมูลเฉลี่ยของอุปกรณ์

##### 2.1.2 ระยะเวลาการตรวจวัด

การตรวจวัดในรูปแบบ A อาจจะเป็นการตรวจวัดเป็นจุดในช่วงระยะเวลาดำเนินการ หรือบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับความผันผวนของข้อมูลที่ต้องการตรวจวัด ทั้งนี้สำหรับข้อมูลที่มีค่าค่อนข้างคงที่ อาจทำการตรวจวัดแบบจุดหรือตรวจวัดเพียงช่วงระยะเวลาดำเนินการ แต่ถ้าเป็นข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ก็ควรทำการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง

##### 2.1.3 การสุ่มตัวอย่าง

ในการตรวจวัดเพื่อหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้ของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ถ้าอุปกรณ์ในระบบมีจำนวนน้อยอาจจะทำการตรวจวัดอุปกรณ์ทุกตัว แต่ในกรณีที่อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องมีจำนวนมากอาจจะต้องทำการสุ่มตัวอย่างของอุปกรณ์ที่จะทำการตรวจวัด โดยการจำแนกออกเป็นกลุ่มตัวอย่างซึ่งมีลักษณะการทำงานหรือมีชั่วโมงการใช้งานที่คล้ายคลึงกัน แล้วจึงตรวจวัดกลุ่มตัวอย่างที่ได้จำแนกไว้ให้ครบถ้วน



### 2.1.4 ค่าใช้จ่ายในการทำ M&V รูปแบบ A

การหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้โดยรูปแบบ A สามารถใช้วิธีประมาณค่าได้โดยไม่ต้องทำการตรวจวัด ค่าใช้จ่ายต่างๆ ประกอบด้วย

- เครื่องมือวัดที่ติดตั้งอย่างถาวร
- การเริ่มเดินเครื่องและการบำรุงรักษา
- การวิเคราะห์ค่าที่จะทำการประมาณ
- ค่าใช้จ่ายในการอ่านและบันทึกข้อมูล

เพราะฉะนั้นค่าใช้จ่ายในการหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้ จะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และจำนวนของข้อมูลที่ต้องทำการตรวจวัด

### 2.1.5 รูปแบบ A เหมาะสมกับระบบต่างๆ ดังนี้

• มาตรการอนุรักษ์พลังงานมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ได้รับการปรับปรุงเท่านั้น

- สามารถแยกระบบเฉพาะที่ทำการปรับปรุงออกจากระบบที่เหลือทั้งหมด
- ตัวแปรอิสระซึ่งมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไม่ซับซ้อนมากนัก หรือมีค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินไปในการตรวจวัด

• มีเครื่องมือวัดย่อยติดตั้งอยู่แล้วในการแยกมาตรการอนุรักษ์พลังงานออกจากระบบที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง

ปกติแล้วค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานรูปแบบ A มีค่าประมาณ 1-3% ของผลการประหยัดพลังงาน\*

ปกติแล้วค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานรูปแบบ A มีค่าประมาณ 1-3% ของผลการประหยัดพลังงาน\*

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

รูปแบบ B เหมาะสำหรับการตรวจวัดและประเมินผลการประหยัดพลังงานที่มุ่งเน้นการหาประสิทธิภาพ และปัจจัยการทำงานของอุปกรณ์และระบบที่สามารถตรวจวัดได้โดยตรง โดยใช้วิธีการตรวจวัดช่วงสั้นๆ หรือตรวจวัดแบบต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของข้อมูลที่จะนำมาใช้

รูปแบบ B จะมีลักษณะคล้ายกับรูปแบบ A แต่จะมีการตรวจวัดข้อมูลที่มากกว่าและใช้ระยะเวลานานกว่า เพื่อให้เข้าใจถึงผลการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นจริง ตามปกติการตรวจวัดจะทำเพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ ยกเว้นในกรณีที่ตัวแปรหลายตัวมีการเปลี่ยนแปลงหลังจากติดตั้งอุปกรณ์ อาจจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง

### รูปแบบ B เหมาะสมกับระบบต่างๆ ดังนี้

• สำหรับโครงการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีผลการประหยัดพลังงานน้อยกว่า 20% ของการใช้พลังงานรวมของระบบ

• เมื่อตัวแปรอิสระที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไม่ซับซ้อนมากนัก หรือมีค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินไปในการตรวจวัด

• มีเครื่องมือวัดย่อยติดตั้งอยู่แล้วในการแยกมาตรการอนุรักษ์พลังงานออกจากระบบที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง

• ปกติแล้วค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานรูปแบบ B มีค่าประมาณ 3-10% ของผลการประหยัดพลังงาน\*



## 2.3 รูปแบบ C การวิเคราะห์จากปริมาณการใช้พลังงานโดยรวม (Option C: Whole Facility Measurement)

### 2.3.1 การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานรูปแบบ C ใช้มิเตอร์วัดการใช้ไฟฟ้ารวมของการไฟฟ้าหรือมิเตอร์วัดการใช้พลังงานรวมของผู้จำหน่ายพลังงาน หรือใช้มิเตอร์ย่อยทั้งหมดที่ติดตั้งในระบบหรืออาคารต่างๆ ของสถานประกอบการ การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามรูปแบบนี้จะไม่ประเมินผลการประหยัดพลังงานแยกตามมาตรการ แต่จะประเมินผลการประหยัดพลังงานโดยรวมสำหรับมาตรการทั้งหมด ซึ่งผลการประหยัดพลังงานที่ประเมินได้จากรูปแบบ C นี้จะรวมถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานของสถานประกอบการด้วย

รูปแบบนี้อาจจะนำมาใช้ในกรณีที่มีผลกระทบระหว่างมาตรการอนุรักษ์พลังงาน หรือระหว่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานกับส่วนของสถานประกอบการที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพ หรือในกรณีที่การแยกรายมาตรการอาจจะทำได้ยากหรือมีค่าใช้จ่ายสูง

รูปแบบ C สามารถนำมาใช้กับโครงการซึ่งผลการประหยัดพลังงานที่ได้คาดการณ์ไว้มีค่ามากเพียงพอจนไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลจากการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานที่ไม่สามารถอธิบายได้ โดยทั่วไปผลการประหยัดพลังงานควรมีค่ามากกว่า 10% ของการใช้พลังงานทั้งปีก่อนการดำเนินโครงการ นอกจากนี้ควรมีการตรวจสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ทั้งหมดและการใช้งานภายในอาคารเป็นช่วงๆ สม่ำเสมอภายหลังดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

### 2.3.2 ข้อมูลพลังงาน

การใช้พลังงานของสถานประกอบการอาจตรวจวัดแยกแต่ละอุปกรณ์ใช้งานหรือแยกตามประเภทของพลังงาน เช่น ในกรณีที่ตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย จะตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคารแยกแต่ละอาคาร เพื่อให้สามารถประเมินการประหยัดพลังงานได้

การประเมินผลการประหยัดพลังงานโดยรวมจะใช้การตรวจวัดการใช้พลังงานจากเครื่องมือวัดหลายๆ เครื่องตามประเภทพลังงานหรือตามส่วนย่อยๆ ของสถานประกอบการ เมื่อเครื่องมือวัดสามารถตรวจวัดการใช้พลังงานส่วนย่อยมาได้แล้ว ก็จะสามารถรวมเป็นการใช้พลังงานทั้งหมดของสถานประกอบการเพื่อหาผลการประหยัดพลังงาน สำหรับการตรวจวัดเพื่อหาผลการประหยัดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าควรมีการตรวจสอบกับใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าหลายๆ เดือน เพื่อยืนยันความถูกต้องของการหาผลการประหยัดพลังงาน ในกรณีที่มิใช่ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าก็ควรมีอุปกรณ์วัดความต้องการพลังไฟฟ้าติดตั้งแยกต่างหาก

### 2.3.3 ใบแจ้งหนี้ค่าพลังงาน (Energy invoices)

เมื่อใช้ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าสำหรับการประเมินการใช้พลังงาน ควรคำนึงด้วยว่าการอ่านค่าจากเครื่องมือวัดของการไฟฟ้าอาจจะไม่มีความถูกต้องแม่นยำนัก ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าจะให้ข้อมูลโดยประมาณโดยเฉพาะสำหรับสถานประกอบการขนาดย่อม การอ่านเครื่องมือวัดโดยประมาณนั้นอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการประเมินผลการประหยัดพลังงานได้

### 2.3.4 ตัวแปรอิสระ

ในที่นี้ตัวแปรอิสระ หมายถึง ลักษณะเฉพาะหรือสภาวะแวดล้อมของการใช้สถานประกอบการที่มีผลต่อการใช้พลังงาน เช่น สภาวะอากาศ และจำนวนผู้ใช้พื้นที่อาคาร โดยควรทำการตรวจวัด



และบันทึกค่าตัวแปรอิสระในช่วงเวลาเดียวกันกับที่เครื่องวัดพลังงานบันทึก เช่น ช่วงเวลาการเก็บข้อมูลปริมาณคนไข้ของโรงพยาบาลก็ควรจะเป็นช่วงเดือนเดียวกันกับใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า

### 2.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและแบบจำลอง

โดยทั่วไปรูปแบบ C จะใช้จำนวนข้อมูล 12, 24 หรือ 36 เดือน จากข้อมูลการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง และข้อมูลต่อเนื่องในช่วงหลังปรับปรุง อย่างไรก็ตามก็สามารถใช้ข้อมูลประจำช่วงเวลาที่ยาวหรือสั้นกว่านี้ (เช่น 13, 14, 15 หรือ 9, 10, 11 เดือน) ได้

สำหรับอาคารบางประเภท (เช่น โรงเรียน) ซึ่งมีความแตกต่างที่สำคัญระหว่างการใช้อำนาจพลังงานของอาคารในช่วงเวลาเปิดเทอมและปิดเทอม ควรจะมีการสร้างแบบจำลองถดถอย (Regression Analysis) แยกกันสำหรับช่วงเวลาการใช้งานที่ต่างกันนี้

### 2.3.6 ค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายของวิธีในรูปแบบ C จะขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลพลังงานจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าหรือจากเครื่องวัดพิเศษอื่นๆ ซึ่งในกรณีที่มิเตอร์วัดย่อยในสถานประกอบการอยู่แล้ว ก็จะไม่มีความจำเป็นต้องติดตั้งค่าใช้จ่ายหลักของรูปแบบ C ได้แก่ (1) การจัดการข้อมูลค่าไฟฟ้า และการดำเนินงานโปรแกรมด้วยข้อมูลค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน และ (2) การติดตามและปรับแก้ค่าให้สอดคล้องกับสภาพเงื่อนไขที่เปลี่ยนแปลงหลังจากการปรับปรุง

### 2.3.7 รูปแบบ C เหมาะสมกับระบบต่างๆ ดังนี้

- มีการประเมินการใช้พลังงานรวมของสถานประกอบการ
- มีมาตรการอนุรักษ์พลังงานหลายประเภทในสถานประกอบการ
- มีมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมที่ไม่สามารถแยกออกมาต่างหากจากส่วนอื่นได้โดยง่าย เช่น การเปลี่ยนผนังหรือหน้าต่างให้มีคุณภาพดีขึ้น
- การประหยัดมีค่ามากพอที่จะแยกออกมาจากค่าการใช้พลังงานส่วนย่อยๆ ในข้อมูลของปีฐานในช่วงเวลาที่มีการตรวจวัด
- ผลกระทบระหว่างมาตรการอนุรักษ์พลังงาน หรือระหว่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานกับอุปกรณ์อื่นของสถานประกอบการมีค่ามาก ถ้าใช้รูปแบบ A และ B จะมีความซับซ้อนมากเกินไป
- ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลักๆ ในสถานประกอบการในอนาคตอันใกล้ เช่น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตตลอดช่วงที่มีการหาค่าผลการประหยัดพลังงาน
- ตามปกติค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานรูปแบบ C มีค่าประมาณ 1-10% ของผลการประหยัดพลังงาน\*

## 2.4 รูปแบบ D การจำลองผลด้วยแบบจำลองซึ่งผ่านการสอบเทียบ (Calibrated Simulation)

รูปแบบ D ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการใช้พลังงานก่อนและหลังการดำเนินมาตรการของสถานประกอบการ สามารถใช้ได้ทั้งแบบรายมาตรการหรือหลายมาตรการรวมกัน แบบจำลองในการคำนวณจะต้องมีการสอบเทียบเพื่อที่จะสามารถทำนายการใช้พลังงานและความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้ใกล้เคียงความเป็นจริงไม่ว่าจะเป็นช่วงก่อนหรือหลังการปรับปรุง โดยปกติรูปแบบนี้จะใช้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลการใช้พลังงานของปีฐาน (Base Year)

อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติในรูปแบบ D มีการนำมาใช้น้อยมาก เนื่องจากจำเป็นต้องมีผู้ชำนาญการใช้โปรแกรมในการสร้างแบบจำลองอย่างแท้จริง และยากในการอธิบายผลการคำนวณที่ได้จากการจำลองการใช้พลังงานให้กับบุคคลทั่วไปเข้าใจ จึงเป็นอุปสรรคสำคัญในการยอมรับของสถานประกอบการ ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้สำหรับจำลองการใช้พลังงานที่นิยมใช้ในปัจจุบัน อาทิเช่น DOE-2, BLAST, Energy Plus เป็นต้น

จากรูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (M&V) ที่กล่าวมาทั้ง 4 รูปแบบนั้น อาจเป็นการยากที่จะกล่าวว่า M&V รูปแบบใดจะมีค่าใช้จ่ายมากหรือน้อยกว่ากัน อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วการดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานไม่ว่ารูปแบบใดก็ตามไม่ควรมีค่าใช้จ่ายเกิน 10% ของผลการประหยัดพลังงาน

## ตารางที่ 2-1 สรุปรูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามระเบียบวิธีการ IPMVP

หลักการ	การคำนวณผลประหยัด	ตัวอย่าง
<p><b>รูปแบบ A การตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักแยกראמצรการ (Option A: Retrofit Isolation with Key Parameter Measurement)</b></p> <p>คำนวณผลประหยัดพลังงานโดยการตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอุปกรณ์หรือระบบที่ดำเนินการมาตรการ การตรวจวัดอาจทำแบบชั่วขณะหรือต่อเนื่องขึ้นอยู่กับความผันผวนของค่าตัวแปรและรอบระยะเวลาการรายงานผล สำหรับตัวแปรรองซึ่งไม่ได้ตรวจวัดให้ใช้การประเมินค่าจากข้อมูลในอดีต หรือจากข้อมูลผู้ผลิตอุปกรณ์หรือจากการประมาณการทางวิศวกรรม โดยต้องแสดงเอกสารหลักฐานหรือหลักการที่ใช้ในการประเมินค่า ค่าผิดพลาดของการคำนวณผลประหยัดจากรูปแบบนี้มักมาจากการประเมินค่าตัวแปรมากกว่าค่าผิดพลาดจากการตรวจวัด</p>	<p>คำนวณปริมาณการใช้พลังงานฐานและปริมาณการใช้พลังงานหลังดำเนินการมาตรการจากการตรวจวัดตัวแปรหลักแบบชั่วขณะหรือต่อเนื่อง ร่วมกับการประเมินค่าตัวแปรรอง โดยอาจมีการปรับค่าเป็นประจำหรือการปรับค่าเป็นครั้งคราว (Routine and Non-routine Adjustments) ตามความจำเป็น</p>	<p>มาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่าง ซึ่ง 1) ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าซึ่งเป็นตัวแปรหลักเป็นระยะร่วมกับ 2) การประเมินชั่วโมงใช้งานตามชั่วโมงทำงานของอาคาร และพฤติกรรมการใช้พื้นที่ของผู้ใช้อาคาร</p>



หลักการ	การคำนวณผลประหยัด	ตัวอย่าง
<p><b>รูปแบบ B การตรวจวัดตัวแปรทุกตัวแยกตามมาตรการ (Option B: Retrofit Isolation with All Parameter Measurement)</b></p> <p>คำนวณผลประหยัดพลังงานโดยการตรวจวัดตัวแปรทุกตัวที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอุปกรณ์หรือระบบที่มีการดำเนินการมาตรการ การตรวจวัดอาจเป็นแบบชั่วขณะหรือต่อเนื่องขึ้นอยู่กับความผันผวนของค่าตัวแปรและรอบระยะเวลาการรายงานผล</p>	<p>คำนวณปริมาณการใช้พลังงานฐานและปริมาณการใช้พลังงานหลังดำเนินการมาตรการจากการตรวจวัดตัวแปรแบบชั่วขณะหรือต่อเนื่อง หรือใช้การคำนวณทางวิศวกรรมจากการวัดตัวแปรที่เป็นตัวแทนการใช้พลังงาน โดยอาจมีการปรับค่าเป็นประจำหรือการปรับค่าเป็นครั้งคราว (Routine and Non-routine Adjustments) ตามความจำเป็น</p>	<p>มาตรการปรับความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อควบคุมปริมาณการไหลของปั๊ม โดยติดตั้งมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์โดยอ่านค่าทุกนาที ในการวัดปริมาณการใช้พลังงานฐานจะติดตั้งมิเตอร์เป็นระยะเวลาหนึ่งสัปดาห์เพื่อตรวจสอบความคงที่ของภาระใช้งาน และติดตั้งมิเตอร์ตลอดช่วงรายงานผลเพื่อตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า</p>
<p><b>รูปแบบ C การพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของสถานประกอบการ (Option C: Whole Facility Measurement)</b></p> <p>คำนวณผลประหยัดพลังงานโดยการตรวจวัดการใช้พลังงานรวมของสถานประกอบการ หรือตรวจวัดในระดับอาคารหรือโรงงานย่อย การตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานรวมของสถานประกอบการจะดำเนินการอย่างต่อเนื่องตลอดรอบระยะเวลาการรายงานผล</p>	<p>คำนวณปริมาณการใช้พลังงานฐานและปริมาณการใช้พลังงานหลังดำเนินการมาตรการโดยใช้ข้อมูลจากมิเตอร์วัดปริมาณการใช้พลังงานรวม โดยอาจมีการปรับค่าเป็นประจำ (Routine Adjustments) โดยใช้เทคนิคต่างๆ เช่น การเปรียบเทียบหรือการวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis) หรือการปรับค่าเป็นครั้งคราว (Non-routine Adjustments) ตามความจำเป็น</p>	<p>การบริหารจัดการพลังงานที่มีการดำเนินการหลายมาตรการพร้อมกันในหลายระบบของสถานประกอบการ โดยใช้ข้อมูลจากมิเตอร์วัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและมิเตอร์วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวม เพื่อตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานฐานเป็นระยะเวลา 12 เดือน และเก็บข้อมูลต่อเนื่องตลอดช่วงรายงานผล</p>



หลักการ	การคำนวณผลประหยัด	ตัวอย่าง
<p><b>รูปแบบ D การจำลองผลโดยใช้แบบจำลองซึ่งผ่านการสอบเทียบ (Option D: Calibrated Simulation)</b></p> <p>คำนวณผลประหยัดพลังงานโดยใช้การจำลองผลการใช้พลังงานรวมของสถานประกอบการหรือจำลองผลในระดับอาคารหรือโรงงานย่อย อย่างไรก็ตามวิธีการจำลองผลจะต้องผ่านการสอบเทียบก่อนนำมาใช้ประเมินการใช้พลังงานจริง การใช้รูปแบบนี้ต้องการทักษะความเชี่ยวชาญสูงในการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงาน</p>	<p>คำนวณปริมาณการใช้พลังงานฐานและปริมาณการใช้พลังงานหลังดำเนินการมาตรการโดยใช้แบบจำลองการใช้พลังงานซึ่งผ่านการสอบเทียบกับข้อมูลจากมิเตอร์วัดปริมาณการใช้พลังงานรวมรายชั่วโมงหรือรายเดือน (โดยอาจใช้ข้อมูลจากมิเตอร์วัดปริมาณการใช้พลังงานในฝั่งผู้ใช้งานประกอบเพื่อช่วยในการปรับปรุงแบบจำลองให้แม่นยำขึ้น)</p>	<p>การบริหารจัดการพลังงานที่มีการดำเนินการหลายมาตรการพร้อมกันในหลายระบบของสถานประกอบการ ซึ่งไม่สามารถติดตั้งมิเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานฐานได้</p> <p>ข้อมูลจากมิเตอร์วัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและมิเตอร์วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมซึ่งติดตั้งภายหลังจะใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง</p> <p>การคำนวณผลประหยัดจะประเมินจากการจำลองปริมาณการใช้พลังงานฐานเปรียบเทียบกับการจำลองปริมาณการใช้พลังงานหลังดำเนินการมาตรการ</p>

ที่มา: EVO 10000-1:2014, International Performance Measurement & Verification Protocol, Core Concepts, June 2014





# บทที่ 3

## แนวทางการตรวจวัดและ พิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

### 3. แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

#### 3.1 การวางแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่ดี ควรมีการจัดทำแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (M&V Plan) ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลหลัก ดังต่อไปนี้

3.1.1 วัตถุประสงค์ รายละเอียดของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และผลการประหยัดพลังงานที่คาดว่าจะได้รับ

3.1.2 ขอบเขตของการตรวจวัด เพื่อใช้ตัดสินผลการประหยัดพลังงาน ซึ่งครอบคลุมทั้งในส่วนเฉพาะเจาะจง เช่น การไหลของน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ ปริมาณอากาศและจำนวนเชื้อเพลิงในเตาเผาและอื่นๆ หรือครอบคลุมขอบเขตที่กว้าง เช่น พลังงานทั้งหมดที่ใช้ของสถานประกอบการ โดยแยกเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน เป็นต้น

3.1.3 รายละเอียดที่มาของเงื่อนไขพื้นฐาน และข้อกำหนดต่างๆ สำหรับใช้อ้างอิงเป็นปีฐาน (Base Year) และประมาณการใช้พลังงานในปีฐานของสถานประกอบการ ประกอบด้วย

- 1) ปริมาณการใช้พลังงาน และลักษณะความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า
- 2) ประเภทการใช้พื้นที่ และช่วงเวลาการใช้งาน
- 3) สภาพอากาศ หรือผลผลิตสำหรับแต่ละฤดูกาล
- 4) ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในสถานประกอบการ อาจจะแยกย่อยออกเป็นระบบๆ ภายในสถานประกอบการ
- 5) การปรับตั้งค่าการใช้งานของอุปกรณ์ (Set Point)

3.1.4 ระบุวิธีการหรือแผนการต่างๆ ที่จะใช้ในการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขที่ใช้อ้างอิง

3.1.5 กำหนดงบประมาณการลงทุน และระยะเวลาการคืนทุนของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

3.1.6 กำหนดเงื่อนไข ซึ่งจะใช้ในการปรับเปลี่ยนวิธีการตรวจวัด

3.1.7 กำหนดกระบวนการจัดเก็บข้อมูลสมมติฐาน และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างชัดเจน

3.1.8 กำหนดรายละเอียด ตำแหน่ง เวลา ที่จะทำการตรวจวัด ลักษณะคุณสมบัติของเครื่องวัดการเปรียบเทียบเครื่องมือวัด

3.1.9 การอ่านค่า และการเป็นพยาน (Witnessing Protocol) ในการอ่านค่าจากเครื่องมือวัด ขั้นตอนการส่งมอบเครื่องมือวัด การปรับเปลี่ยนเครื่องมือวัด และวิธีการแก้ไขเมื่อข้อมูลสูญหายหรือไม่สามารถตรวจวัดได้

3.1.10 กำหนดวิธีการประกันคุณภาพของโครงการ

3.1.11 กำหนดรูปแบบของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (M&V Report) และการนำเสนอผลการประหยัดพลังงานในแต่ละปี

### 3.2 ขั้นตอนหลักของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การที่โครงการอนุรักษ์พลังงานซึ่งดำเนินการโดยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) จะมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ควรมีขั้นตอนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่เป็นมาตรฐาน เพื่อลดความขัดแย้งในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานอันเกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างโครงการอนุรักษ์พลังงานที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกัน โดยมาตรฐานขั้นต่ำของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานควรดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

#### 1) แต่งตั้งคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

สถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) พิจารณาเลือกและแต่งตั้งหน่วยงานที่จะมาทำงานเป็นคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (M&V Unit)

#### 2) สำรองพื้นที่ตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

ตัวแทน M&V Unit สำรองพื้นที่และเครื่องจักรที่จะทำการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเพื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานรวมถึงค่าใช้จ่ายในการจัดทำรายงาน

#### 3) จัดทำข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

M&V Unit จัดทำข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานส่งผ่านบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) เพื่อแนบท้ายสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract: EPC)

#### 4) เตรียมพื้นที่และเครื่องจักรสำหรับการตรวจวัดก่อนปรับปรุง

สถานประกอบการจัดเตรียมพื้นที่และนัดหมาย M&V Unit เพื่อเข้าปฏิบัติการ ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

#### 5) ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง

M&V Unit เข้าปฏิบัติการ ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานพื้นฐาน (Baseline) และส่งมอบรายงานให้กับคู่สัญญาพิจารณา

#### 6) เตรียมพื้นที่และเครื่องจักรสำหรับการตรวจวัดหลังปรับปรุง

บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ดำเนินการปรับปรุง/เปลี่ยน เครื่องจักร อุปกรณ์หรือกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพพลังงานสูงขึ้นพร้อมทำการปรับตั้งให้เกิดประสิทธิภาพพลังงานสูงสุดแล้วจึงนัดหมาย M&V Unit เข้าปฏิบัติการ ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

#### 7) ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังปรับปรุง

M&V Unit เข้าปฏิบัติการ ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

#### 8) จัดทำรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

M&V Unit จัดส่งรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานให้สถานประกอบการ ลงนามในรายงานและเบิกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน และรายงานจากผู้ว่าจ้าง (กรณี M&V Unit ที่มาจกหน่วยงานภายนอก)





ช่วงวางแผนจัดทำข้อตกลง  
(Preparation Period)

แต่งตั้งคณะทำงาน



สำรวจพื้นที่



จัดทำข้อตกลงการตรวจวัด  
และพิสูจน์ผล

แผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผล  
(M&V Plan) แบบทำยัติโยญา

เตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด  
ก่อนปรับปรุง



ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้  
พลังงานก่อนปรับปรุง

การใช้พลังงานฐาน  
(Energy Baseline)

ช่วงดำเนินการมาตรการ  
(Implementation Period)

ดำเนินการมาตรการอนุรักษ์  
พลังงาน



เตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด  
หลังปรับปรุง



ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้  
พลังงานหลังปรับปรุง

การใช้พลังงาน  
หลังปรับปรุง

จัดทำรายงานตรวจวัดและ  
พิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล  
(M&V Report)



20

## หมายเหตุ

1. กรณีที่ผลการประหยัดพลังงานไม่เป็นไปตามการรับประกันของบริษัทจัดการพลังงาน อันเนื่องมาจากการปรับตั้งอุปกรณ์พลังงานของบริษัทจัดการพลังงาน ยังไม่เป็นไปตามสภาวะใช้งานที่กำหนดของอุปกรณ์นั้นๆ หรืออาจเกิดจากการผิดพลาดของทีมนักวิศวกรรมของบริษัทจัดการพลังงานที่ประเมินโครงการผิดพลาด ให้บริษัทจัดการพลังงานเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดหากต้องการการตรวจวัดใหม่อีกครั้ง (กรณี M&V Unit ที่มาจากหน่วยงานภายนอก)
2. หาก M&V Unit มีการตรวจวัดผิดพลาดจนต้องทำการตรวจวัดใหม่ ให้ M&V Unit รับผิดชอบค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมที่เกิดขึ้นในส่วนนี้
3. สถานประกอบการจะต้องเป็นผู้ดูแลรักษาเครื่องมือของ M&V Unit ขณะทำการตรวจวัดและหากเครื่องมือสูญหายหรือเสียหายจากกิจกรรมการทำงานของสถานประกอบการ ให้สถานประกอบการรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในส่วนนี้
4. หากมีการยกเลิกโครงการหลังจากที่ M&V Unit เริ่มดำเนินการแล้ว ให้บริษัทจัดการพลังงานเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่เกิดขึ้นจริง

## 3.3 การดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (M&V Process)

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานนั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้กลไก ESCO ความถูกต้องในการตรวจวัดและการพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานจะส่งผลถึงระยะเวลาคืนทุน

3.3.1 ขั้นตอนการดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ตามระเบียบวิธีการ IPMVP นั้น สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) เลือกรูปแบบการตรวจวัดพลังงาน (Option A, B, C, D) ให้เหมาะสมกับมาตรการอนุรักษ์พลังงานพร้อมทั้งกำหนดค่าปรับแก้ หากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้พลังงาน
- 2) รวบรวมข้อมูลการปฏิบัติและพลังงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในปีฐาน (Base Year) และประกอบการประเมินผลการประหยัดพลังงานที่จะเกิดขึ้น
- 3) กำหนดวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล และค่าใช้จ่าย เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่สลับซับซ้อนอาจจะมีค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งค่าใช้จ่ายจะแปรเปลี่ยนไปตามจำนวนข้อมูลที่ต้องการระยะเวลา ความยากง่ายในการเก็บข้อมูล
- 4) จัดเตรียมแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (M&V Plan)
- 5) ออกแบบ ติดตั้ง และทดสอบอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ภายใต้แผน M&V ที่กำหนด
- 6) หลังจากดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดแล้ว ต้องทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ติดตั้ง พร้อมทั้งปรับปรุงวิธีการใช้งานอุปกรณ์ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลการประหยัดพลังงานที่ได้รับสอดคล้องตามที่กำหนดไว้

- 7) รวบรวมข้อมูลการเดินเครื่อง และการใช้พลังงานของอุปกรณ์ หลังจากปรับปรุงตามมาตรการที่กำหนดแล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงก่อนปรับปรุง การเก็บข้อมูลนี้ควรรวมถึงการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์เป็นระยะ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอุปกรณ์สามารถใช้งานได้ตามแผนที่วางไว้
- 8) คำนวณและจัดทำรายงานผลการประหยัดพลังงานให้สอดคล้องกับแผนงาน (M&V Plan) ที่ได้วางไว้ ทั้งนี้ การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานอาจจะกระทำโดยหน่วยงานกลางเพื่อให้มั่นใจต่อผลการตรวจวัดที่เกิดขึ้น

### 3.3.2 ประเด็นที่ควรพิจารณาในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

ในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้บริษัทจัดการพลังงานนั้น มีหลายๆ ประเด็นที่ผู้ประกอบการ และเจ้าของสถานประกอบการแต่ละแห่ง ควรให้ความสนใจในประเด็นหลักต่างๆ ดังนี้

#### 3.3.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลการประหยัดพลังงาน (Factors Affecting the Energy Savings Performance)

ปัจจัยดังกล่าวแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยที่สามารถทำนายล่วงหน้าได้ เช่น การเติบโตของสถานประกอบการ และจำนวนชั่วโมงที่จะใช้งานในอนาคต และปัจจัยที่สามารถวัดได้ โดยหากเป็นปัจจัยที่สามารถทำนายล่วงหน้าได้และวัดได้ เราควรนำไปปรับค่าฐานการใช้พลังงานเป็นประจำ (Routine Adjustment) และหากเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถทำนายล่วงหน้าได้ แต่สามารถวัดได้ก็ควรนำไปปรับค่าฐานแบบเป็นครั้งคราว (Non-Routine Adjustment)

#### 3.3.2.2 ความไม่แน่นอนในการประเมินผลการประหยัดพลังงาน (Evaluating Saving Uncertainty)

ประเด็นดังกล่าวอาจส่งผลต่อการคำนวณผลการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้น โดยความไม่แน่นอนอาจจะเกิดจากความคลาดเคลื่อนของกระบวนการดังต่อไปนี้

- 1) ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด ดังนั้นควรทำการทดสอบเครื่องมือที่ใช้กับค่าเครื่องมือมาตรฐานอย่างน้อยปีละครั้ง
- 2) ความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลอง
- 3) ความคลาดเคลื่อนจากการเก็บตัวอย่าง ดังนั้นควรเก็บจำนวนตัวอย่างให้เพียงพอต่อการวิเคราะห์ข้อมูล
- 4) ความคลาดเคลื่อนจากสมมติฐาน

### การลดความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ โดยทั่วไปสามารถดำเนินการได้ 2 แนวทาง ดังนี้

1. ลดความเอนเอียง (Bias) ของข้อมูล โดยอาจใช้ค่าจากการวัดจริงแทนค่าจากการประมาณ
2. ลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Errors) โดยการเพิ่มจำนวนการจากสุ่มวัด หรือเพิ่มความแม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัด

#### 3.3.2.3 การทำงานขั้นต่ำของอุปกรณ์ (Minimum Operating Conditions)

ก่อนการดำเนินงานบริษัทจัดการพลังงานและสถานประกอบการ ควรปรึกษาหารือเพื่อทำบันทึกความเข้าใจ กำหนดเงื่อนไขการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรการอนุรักษ์

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

พลังงานที่จะดำเนินการ เช่น การทำงานของเครื่องปรับอากาศ 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นต้น เพื่อให้มาตรการอนุรักษ์พลังงานมีความชัดเจน และสามารถบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้

#### 3.3.2.4 ราคาพลังงาน (Energy Prices)

ค่าพลังงานที่สามารถประหยัดได้ คำนวณจากผลคูณของปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้กับราคาพลังงานในขณะนั้น ซึ่งควรมีการกำหนดให้ชัดเจนว่าจะใช้ราคาเท่าไร หรืออ้างอิงข้อมูลจากที่ใด

#### 3.3.2.5 การพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานโดยบุคคลที่สาม (Verification by A Third Party)

เนื่องจากสถานประกอบการมักไม่ชำนาญในด้านการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นจึงอาจทำการว่าจ้างบุคคลที่ 3 ช่วยตรวจสอบและวิเคราะห์ขั้นตอนการดำเนินงานตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ว่ามีโอกาสประสบความสำเร็จตามที่ ESCO ได้เสนอไว้หรือไม่ รวมถึงการกำหนดค่ามาตรฐานและระเบียบวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน เพื่อให้ทั้งสองฝ่ายเห็นพ้องต้องกัน ทั้งนี้บุคคลที่ 3 ควรเป็นหน่วยงานกลางที่มีประสบการณ์ด้านการอนุรักษ์พลังงานสูง

#### 3.3.2.6 การปรับค่าฐานการใช้พลังงาน (Baseline Adjustments)

การปรับค่าฐานการใช้พลังงาน เป็นการปรับเพื่อให้การคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงานมีความแม่นยำมากขึ้น โดยการปรับค่าฐานอาจเกิดขึ้นจาก

- 1) การเปลี่ยนแปลงเครื่องปรับอากาศ หรือจำนวนชั่วโมงการใช้งาน
- 2) การเปลี่ยนแปลงจำนวนอุปกรณ์หลักๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงาน
- 3) การเปลี่ยนแปลงสภาวะการใช้งานของอุปกรณ์ เช่น ความสว่างของพื้นที่ใช้งาน อุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

**ในบางกรณีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจไม่จำเป็นต้องปรับค่าฐาน หาก**

- 1) สิ่งที่ปรับเปลี่ยนนั้นถูกรวมเข้าไปในแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณเรียบร้อยแล้ว
- 2) สิ่งที่ปรับเปลี่ยนนั้นถูกจัดการในขั้นตอนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน
- 3) สิ่งที่ปรับเปลี่ยนไม่อยู่ในขอบเขตของการพิจารณาผลการอนุรักษ์พลังงาน

#### 3.3.2.7 ค่าใช้จ่าย (Cost)

ค่าใช้จ่ายในการคำนวณผลการประหยัดพลังงานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น

- 1) รูปแบบในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน
- 2) จำนวนและความซับซ้อนของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน
- 3) จำนวนและความซับซ้อนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด
- 4) จำนวนบุคลากรที่ต้องใช้ในการดำเนินการ
- 5) จำนวนการสุ่มวัด ความละเอียดและความถูกต้องในการวัด

ดังนั้นค่าใช้จ่ายจึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสม และดุลยพินิจของสถานประกอบการ

### 3.4 การวิเคราะห์การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

เป็นการคำนวณหาปริมาณพลังงานหรือกำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ สามารถหาได้จากการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานหรือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนและหลังการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งสรุปเป็นความสัมพันธ์ดังนี้

ค่าปรับแก้เป็นค่าที่ใช้ปรับค่าฐานของปริมาณการใช้พลังงานก่อนปรับปรุงให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขหรือสภาวะการทำงานเดียวกันกับภายหลังการปรับปรุง สภาวะดังกล่าว ได้แก่ สภาพอากาศ การใช้งานอาคาร ผลผลิต และการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น ทั้งนี้ค่าปรับแก้อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

#### การเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานสามารถทำได้ 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

### 3.5 การจัดทำรายงาน (M&V Reporting)

การจัดทำรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานนั้น ควรมีการนำเสนอรายงานตามที่เสนอไว้ในแผนการทำ M&V ซึ่งการจัดทำรายงานควรมีรายละเอียดที่สำคัญ คือ

#### 3.5.1 รูปแบบของข้อมูลที่ได้จากการบันทึก

ส่วนใหญ่การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในปีฐาน (Base Year) ซึ่งข้อมูลนี้จะใช้ในการวิเคราะห์หามาตรการอนุรักษ์พลังงานด้วย เช่น ปริมาณการใช้พลังงาน อาจจะหาได้จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำมัน หรือจากการติดตั้งมาตรวัดเฉพาะ ถ้าเป็นข้อมูลภูมิอากาศ อาจจะหาได้จากข้อมูลที่เก็บโดยองค์การของรัฐบาล รายงานการใช้งานเครื่องจักร จำนวนคน/ผลิตภัณฑ์ หรือถ้าเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงาน จำนวนชั่วโมงการทำงาน อาจจะได้จากตารางการทำงานประจำวันของช่างที่ดูแลเครื่อง เป็นต้น

#### 3.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

สามารถหาได้จากการเปรียบเทียบปริมาณพลังงาน หรือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนและหลังการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจุดสำคัญของการวิเคราะห์ข้อมูลคือพยายามที่จะสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับตัวแปรต่างๆ โดยหลักการการวิเคราะห์นั้นสามารถรายละเอียดได้จากข้อ 3.4

#### 3.5.3 ช่วงระยะเวลาการรายงานผล

ซึ่งในรายงานการตรวจวัดฯ ควรมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของการจัดทำ M&V และการวางแผน M&V โดยการจัดทำรายงานการตรวจวัดฯ นั้น ประกอบด้วย

##### 3.5.3.1 ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาของข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ต้องระบุ

ถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามระเบียบวิธีการ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากสถานประกอบการแทนการวัดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือ สมการที่ใช้ในการคำนวณผลการประหยัดพลังงานตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

### 3.5.3.2 รายงานการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง

หลังจากที่สถานประกอบการได้เห็นชอบและอนุมัติแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (M&V) แล้ว สิ่งของบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ต้องปฏิบัติต่อไป คือ

- 1) ดำเนินการติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อเก็บข้อมูลของสภาพการทำงานของอุปกรณ์หรือระบบต่างๆ เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการที่จะรู้ถึงลักษณะการทำงาน
- 2) จัดทำรายงานผลการตรวจวัด และวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่ได้ดำเนินการแล้ว จัดส่งรายงานนี้ให้กับสถานประกอบการ เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลและอนุมัติต่อไป
- 3) เมื่อสถานประกอบการอนุมัติรายงาน และได้แจ้งให้บริษัทจัดการพลังงานทราบแล้วนั้น บริษัทจัดการพลังงานก็สามารถดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่อไป
- 4) บริษัทจัดการพลังงานทำการแจ้งให้สถานประกอบการทราบว่า อุปกรณ์ทั้งหมดได้ทำการติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว

### 3.5.3.3 รายงานการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังปรับปรุง

เมื่อดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ในมาตรการอนุรักษ์พลังงานแล้วเสร็จ บริษัทจัดการพลังงานต้องจัดส่งรายงานภายหลังการติดตั้งอุปกรณ์ให้สถานประกอบการ รายงานควรประกอบด้วย ข้อมูลอุปกรณ์หรือระบบที่ได้ทำการติดตั้ง การทดสอบเริ่มเดินเครื่องอุปกรณ์ และการคำนวณผลการประหยัดพลังงานที่ได้ประเมินไว้ เมื่อสถานประกอบการได้ทำการตรวจสอบรายงานภายหลังการติดตั้งอุปกรณ์ ตรวจสอบอุปกรณ์ที่ติดตั้ง และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด สถานประกอบการก็จะดำเนินการ ดังนี้

- 1) อนุมัติรายงาน ถ้ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการสามารถยอมรับได้
- 2) ไม่อนุมัติรายงาน ถ้ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการยังไม่สมบูรณ์

### 3.5.3.4 รายงานความก้าวหน้าของโครงการ

บริษัทจัดการพลังงานจะดำเนินการการจัดทำการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน เป็นช่วงระยะเวลาตามที่ระบุไว้ในแผนการตรวจวัดฯ M&V (เช่น รายเดือน รายไตรมาส หรือรายปี เป็นต้น) ซึ่งบริษัทจัดการพลังงานควรจัดทำ M&V และส่งรายงานให้สถานประกอบการเป็นรายเดือนหรือรายไตรมาส เพื่อให้สถานประกอบการสามารถทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ที่ได้ติดตั้งไว้ และปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้อย่างต่อเนื่อง



## ตัวอย่างแนวทางการตรวจวัด และพิสูจน์ผลการประหยัด พลังงาน

### 4. ตัวอย่างแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

#### 4.1 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน: มาตรการติดตั้งระบบไอโซนที่หอผึ่งเย็นของระบบทำน้ำเย็น (Ozone for Cooling Tower)

##### 4.1.1 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

1) วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการติดตั้งระบบไอโซนกับหอผึ่งเย็น (Cooling Tower) ของระบบทำน้ำเย็น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นซึ่งระบายความร้อนด้วยน้ำให้สูงขึ้น โดยระบบไอโซนจะต้องรักษาคุณภาพน้ำระบายความร้อนเพื่อป้องกันการเกิดตะกอนในระบบน้ำระบายความร้อน

2) วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการที่มีการติดตั้งระบบไอโซนกับหอผึ่งเย็น (Cooling Tower) ของระบบทำน้ำเย็นเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ ติดตั้งร่วมด้วย เช่น มาตรการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง หรือมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ หรืออื่นๆ

3) ระบบควบคุมไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในมาตรการสามารถติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดแยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่นๆ ของสถานประกอบการได้

4) การใช้พลังงานไฟฟ้าและภาระการทำงานของระบบทำน้ำเย็น อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการใช้งานและสภาพแวดล้อม จึงต้องใช้การตรวจวัดและคำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption, SEC) ของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ก่อนนำมาคำนวณผลประหยัดจากการดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงานนี้ อย่างไรก็ตามควรที่จะต้องพยายามเลือกช่วงเวลาตรวจวัดในสภาพอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อลดผลกระทบของสภาพแวดล้อมต่อการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น

5) วิธีการนี้แสดงแนวทางการคำนวณผลประหยัดและค่าใช้จ่ายเฉพาะด้านพลังงานเท่านั้น โดยมิได้พิจารณาผลประหยัดหรือค่าใช้จ่ายด้านอื่นๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายด้านการใช้งานและการบำรุงรักษา ค่าสารเคมี ค่าน้ำ ซึ่งเกิดขึ้นจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ขอบเขตและวิธีการในการนำผลประหยัดและค่าใช้จ่ายอื่นๆ มาพิจารณาพร้อมกับผลประหยัดพลังงานนั้น ให้อยู่ในการพิจารณาและจัดทำข้อตกลงร่วมกันระหว่างสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน



6) วิธีการนี้ใช้ได้กับกรณีที่มีรูปแบบภาระการทำงานของระบบทำน้ำเย็น (Cooling Load Profile) ก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าใกล้เคียงกัน ในกรณีที่สถานประกอบการมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบภาระการทำงานหลังการปรับปรุงอาจจำเป็นต้องมีการตรวจวัดการใช้พลังงานเพื่อปรับปรุงปริมาณการใช้พลังงานฐานใหม่ให้สอดคล้องกับความเป็นจริง หรืออาจใช้วิธีการทางสถิติ หรือจัดทำข้อตกลงเพื่อกำหนดรูปแบบการใช้พลังงานฐานที่ในการคำนวณผลประหยัดพลังงาน

7) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามแนวทางนี้ถูกพัฒนาขึ้น โดยคำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานเป็นสิ่งสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ในกรณีที่ต้องการเพิ่มระดับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานให้สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการนี้

#### 4.1.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานนี้อ้างอิงระเบียบวิธีการ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมี 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่แสดงในเอกสารฉบับนี้ เป็นตัวอย่างของการนำหลักการและรูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน รูปแบบ B การตรวจวัดตัวแปรทุกตัวแยกตามมาตรการ (Option B: Retrofit Isolation with All Parameter Measurement) มาประยุกต์ใช้กับมาตรการติดตั้งระบบไอเซนที่ห้องเย็นของระบบทำน้ำเย็น

ช่วงระยะเวลา (Period)	แนวทางดำเนินการ	ตัวแปร	วิธีการตรวจวัด/เก็บข้อมูล
ช่วงตรวจวัดการใช้พลังงานฐาน (Baseline Period) ก่อนการปรับปรุง	<ol style="list-style-type: none"> <li>หาค่าดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานที่เย็นต่างๆ จากข้อมูลการตรวจวัด</li> <li>วิเคราะห์รูปแบบภาระการทำงานที่เย็นจากข้อมูลการตรวจวัด</li> <li>คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น</li> <li>อัตราการไหลของน้ำเย็น</li> <li>อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าและขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น</li> <li>อุณหภูมิน้ำระบาย ความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น</li> <li>ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>จากบันทึกการทำงาน ของเครื่องจักร</li> </ul>



ช่วงระยะเวลา (Period)	แนวทางดำเนินการ	ตัวแปร	วิธีการตรวจวัด/เก็บข้อมูล
ช่วงตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. หาระดับการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำความเย็นต่างๆ จากข้อมูลการตรวจวัด</li> <li>2. วิเคราะห์รูปแบบภาระการทำความเย็นจากข้อมูลการตรวจวัด</li> <li>3. หาระดับการใช้พลังงานของระบบไอโซน</li> <li>4. คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นและระบบไอโซน</li> <li>5. วัดค่าเริ่มต้นของ Condenser Approach Temperature เพื่อใช้ติดตามประสิทธิภาพการทำงานของระบบไอโซน</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น</li> <li>• อัตราการไหลของน้ำเย็น</li> <li>• อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าและขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น</li> <li>• อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น</li> <li>• กำลังไฟฟ้าของระบบไอโซน</li> <li>• ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น</li> <li>• Condenser Approach Temperature</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>• ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>• ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>• ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>• จากบันทึกการทำงาน of เครื่องจักร</li> <li>• จากบันทึกการอ่านค่าการทำงาน of เครื่องทำน้ำเย็น</li> </ul>
ช่วงการติดตามรายงานผลแต่ละเดือน (Reporting Period)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นและระบบไอโซน</li> <li>2. ตรวจติดตามประสิทธิภาพการทำงานของระบบไอโซนด้วยค่า Condenser Approach Temperature</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น</li> <li>• อัตราการไหลของน้ำเย็น</li> <li>• อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าและขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น</li> <li>• อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น</li> <li>• กำลังไฟฟ้าของระบบไอโซน</li> <li>• ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น</li> <li>• Condenser Approach Temperature</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ใช้ค่าจากการตรวจวัดหลังการปรับปรุง</li> <li>• ใช้ค่าจากการตรวจวัดหลังการปรับปรุง</li> <li>• ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>• ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>• จากบันทึกการทำงาน of เครื่องจักร</li> <li>• จากบันทึกการอ่านค่าการทำงาน of เครื่องทำน้ำเย็น</li> </ul>

#### 4.1.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

##### 1) ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาของข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามระเบียบวิธีการ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะที่ทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากสถานประกอบการแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน ตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

##### 2) รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามหัวข้อที่แสดงไว้ในแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานเป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักอย่างน้อย 3 บท ได้แก่

- 2.1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง
- 2.2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง
- 2.3) การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานและจัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

#### 4.1.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

##### 1) การหาดัชนีการใช้พลังงาน (SEC)

ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นหาได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นต่อภาระการทำความร้อนที่ทำได้ เขียนเป็นความสัมพันธ์ตามสมการได้ดังนี้

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

โดยที่

$$SEC = \text{ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น (kW/Ton}_R\text{)}$$

$$P_{Comp} = \text{กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (kW)}$$

$$CL = \text{ภาระการทำความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น (Ton}_R\text{)}$$

ทั้งนี้ในการเปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อใช้หาผลการประหยัดพลังงานต้องใช้ค่าดัชนีการใช้พลังงานที่สภาวะมาตรฐาน คือ ที่อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นเท่ากับ 32.2 °C และอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกเท่ากับ 7.2 °C โดยใช้ตารางที่ 4.1-1 ซึ่งแสดงค่าแก้ไขที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจัดทำไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.1-1 ค่าแก้ไขการทำความเย็นและกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่  
ระบบความร้อนด้วยน้ำ

อุณหภูมิน้ำระบาย ความร้อนขาเข้า เครื่องทำน้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นขา ออกจากเครื่องทำน้ำ เย็น(°C)	ค่าแก้ไข		
		การทำความเย็น	กำลังไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าต่อ การทำความเย็น
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	0.95
	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	1.08	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



ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะมาตรฐาน สามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$\text{SEC}_{\text{STD}} = \text{SEC} \times \text{CF}_{\text{KW}} (T_{\text{CWS}}, T_{\text{CHS}}) / \text{CF}_{\text{CL}} (T_{\text{CWS}}, T_{\text{CHS}})$$

โดยที่

$$\text{SEC}_{\text{STD}} = \text{ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะมาตรฐาน (kW/Ton}_R)$$

$$\text{SEC} = \text{ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น (kW/Ton}_R)$$

$$\text{CF}_{\text{KW}} (T_{\text{CWS}}, T_{\text{CHS}}) = \text{ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (T}_{\text{CWS}}) \text{ และอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (T}_{\text{CHS}}) \text{ จากตารางที่ 4.1-1 (กรณีค่าอุณหภูมิไม่ตรงให้ Interpolate จากค่าในตาราง)}$$

$$\text{CF}_{\text{CL}} (T_{\text{CWS}}, T_{\text{CHS}}) = \text{ค่าแก้ไขภาระการทำความเย็น ที่อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (T}_{\text{CWS}}) \text{ และอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (T}_{\text{CHS}}) \text{ จากตารางที่ 4.1-1 (กรณีค่าอุณหภูมิไม่ตรงให้ Interpolate จากค่าในตาราง)}$$

$$T_{\text{CWS}} = \text{อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (}^{\circ}\text{C)}$$

$$T_{\text{CHS}} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (}^{\circ}\text{C)}$$

## 2) การวิเคราะห์ภาระงาน

ภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นคือ ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และการสูญเสียอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งแตกต่างกันไปตามสถานประกอบการและคุณภาพของระบบทำน้ำเย็นที่เลือกใช้ โดยตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นคือ อัตราการไหลของน้ำเย็น (Flow Rate of Chilled Water) อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก (ด้านจ่าย) จากเครื่องทำน้ำเย็น (Chilled Water Supply) อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า (ด้านกลับ) เครื่องทำน้ำเย็น (Chilled Water Return) โดยเขียนสมการความสัมพันธ์ของภาระการทำความเย็นกับตัวแปรหลักได้ดังนี้

$$\text{CL} = \frac{F_{\text{CHS}} \times (T_{\text{CHS}} - T_{\text{CHR}})}{50.40}$$

โดยที่

$$\text{CL} = \text{ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น (Ton}_R)$$

$$F_{\text{CHS}} = \text{อัตราการไหลของน้ำเย็น (l/min)}$$

$$T_{\text{CHS}} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (}^{\circ}\text{C)}$$

$$T_{\text{CHR}} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (}^{\circ}\text{C)}$$

เช่นเดียวกันกับดัชนีการใช้พลังงานต้องคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะมาตรฐานคือ ที่อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นเท่ากับ 32.2 °C และอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกเท่ากับ 7.2 °C โดยใช้ตารางที่ 4.1-1 ดังนี้

$$\text{CL}_{\text{STD}} = \text{CL} \times \text{CF}_{\text{CL}} (T_{\text{CWS}}, T_{\text{CHS}})$$

โดยที่

$$\text{CL}_{\text{STD}} = \text{ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะมาตรฐาน (Ton}_R)$$

$$\text{CL} = \text{ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น (Ton}_R)$$

$$\text{CF}_{\text{CL}} (T_{\text{CWS}}, T_{\text{CHS}}) = \text{ค่าแก้ไขภาระการทำความเย็น ที่อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (T}_{\text{CWS}}) \text{ และอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (T}_{\text{CHS}}) \text{ จากตารางค่าแก้ไข (กรณีค่าอุณหภูมิไม่ตรงให้ Interpolate จากค่าในตาราง)}$$

$$T_{\text{CWS}} = \text{อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (}^{\circ}\text{C)}$$

$$T_{\text{CHS}} = \text{อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (}^{\circ}\text{C)}$$

### 3) การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุงหาได้จากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง โดยมีสมการดังนี้

$$E_{\text{Comp,Post}} = P_{\text{Comp,Post}} \times H_{\text{Post}}$$

โดยที่

$$E_{\text{Comp,Post}} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$P_{\text{Comp,Post}} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง (kW)}$$

$$H_{\text{Post}} = \text{ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง (h/y)}$$

การหาลำดับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุงจะต้องทำการตรวจวัด ลำดับกำลังไฟฟ้า ภาระการทำความเย็น และชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ในช่วงระยะเวลาซึ่งเป็นตัวแทนการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นตามปกติก่อนการปรับปรุง ซึ่งโดยทั่วไปจะตรวจวัดต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 7 วัน ข้อมูลจากการตรวจวัดจะนำมาใช้ในการหาลำดับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็น โดยคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของผลคูณระหว่างดัชนีการใช้พลังงาน ภาระการทำความเย็น และชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำความเย็นต่างๆ ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดการใช้พลังงาน โดยมีสมการความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและตัวแปรหลัก ดังนี้

$$P_{\text{Comp,Post}} = \sum_{i=1}^n (\text{SEC}_{i,\text{STD,Post}} \times \text{CL}_{i,\text{STD,Post}} \times \%H_{i,\text{Post}})$$

โดยที่

$$P_{\text{Comp,Post}} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง (kW)}$$

$$\text{SEC}_{i,\text{STD,Post}} = \text{ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i ที่สภาวะมาตรฐานก่อนการปรับปรุง (kW/Ton<sub>R</sub>)}$$

$$\text{CL}_{i,\text{STD,Post}} = \text{ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i ที่สภาวะมาตรฐาน ในช่วงระยะเวลาตรวจวัดก่อนการปรับปรุง (Ton<sub>R</sub>)}$$

$$\%H_{i,\text{Post}} = \text{เปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i เมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาตรวจวัดก่อนการปรับปรุง (\%)}$$

#### 4.1.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

##### 1) การหาดัชนีการใช้พลังงาน (SEC)

การคำนวณหาดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงสามารถใช้วิธีเดียวกันกับก่อนปรับปรุง และใช้ตารางที่ 4.1-1 ในการคำนวณหาดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน

##### 2) การวิเคราะห์ภาระงาน

การคำนวณหาภาระงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงใช้วิธีการเดียวกันกับก่อนปรับปรุง และใช้ตารางที่ 4.1-1 ในการคำนวณหาภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานเช่นเดียวกัน

##### 3) การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงหาได้จากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง โดยมีสมการดังนี้

$$E_{\text{Comp,Post}} = P_{\text{Comp,Post}} \times H_{\text{Post}}$$



โดยที่

$$\begin{aligned} E_{\text{Comp,Post}} &= \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (kWh/y)} \\ P_{\text{Comp,Post}} &= \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (kW)} \\ H_{\text{Post}} &= \text{ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (h/y)} \end{aligned}$$

การหาลำดับไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงจะต้องทำการตรวจวัด ลำดับไฟฟ้า ภาระการทำความเย็น และชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ในช่วงระยะเวลาซึ่งเป็นตัวแทนการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นตามปกติหลังการปรับปรุง ซึ่งโดยทั่วไปจะตรวจวัดต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 7 วัน ข้อมูลจากการตรวจวัดจะนำมาใช้ในการหาลำดับไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็น โดยคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของผลคูณระหว่างดัชนีการใช้พลังงาน ภาระการทำความเย็น และชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำความเย็นต่างๆ ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดการใช้พลังงาน โดยมีสมการความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและตัวแปรหลัก ดังนี้

$$P_{\text{Comp,Post}} = \sum_{i=1}^n (\text{SEC}_{i,\text{STD,Post}} \times \text{CL}_{i,\text{STD,Post}} \times \%H_{i,\text{Post}})$$

โดยที่

$$\begin{aligned} P_{\text{Comp,Post}} &= \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (kW)} \\ \text{SEC}_{i,\text{STD,Post}} &= \text{ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i ที่สภาวะมาตรฐานหลังการปรับปรุง (kW/Ton<sub>R</sub>)} \\ \text{CL}_{i,\text{STD,Post}} &= \text{ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i ที่สภาวะมาตรฐาน ในช่วงระยะเวลาตรวจวัดหลังการปรับปรุง (Ton<sub>R</sub>)} \\ \%H_{i,\text{Post}} &= \text{เปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i เมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาตรวจวัดหลังการปรับปรุง (\%)} \end{aligned}$$

ในการหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงต้องตรวจวัด และคิดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบไอโซนด้วย โดยมีสมการดังนี้

$$E_{\text{Ozn}} = P_{\text{Ozn}} \times H_{\text{Post}}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} E_{\text{Ozn}} &= \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบไอโซน (kWh/y)} \\ P_{\text{Ozn}} &= \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบไอโซน (kW)} \\ H_{\text{Post}} &= \text{ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (h/y)} \end{aligned}$$

โดยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบไอโซนจะต้องตรวจวัดพร้อมกันกับเครื่องทำน้ำเย็น ในช่วงระยะเวลาซึ่งตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง

#### 4.1.6 การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

##### 1) ผลการประหยัดพลังงาน

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสามารถหาได้จากผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ค่าดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ลดลงเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดผลประหยัด อย่างไรก็ตามสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงานจะต้องตกลงร่วมกันว่าจะใช้สภาพการใช้พลังงานในช่วงใดเป็นกรณีฐานในการคิดผลประหยัดพลังงาน โดยสามารถแสดงสมการในแต่ละกรณีที่เป็นไปได้ดังนี้





1.1) กรณีที่ใช้สภาพก่อนการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน  
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้สภาพการทำงาน และชั่วโมงทำงาน  
ของเครื่องทำน้ำเย็นจากช่วงเวลาตรวจวัดก่อนการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน ดังสมการ

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

$$E_{BL} = \sum_{i=1}^n (SEC_{i,STD,Post} \times CL_{i,STD,Post} \times \%H_{i,Post}) \times H_{Post}$$

$$E_{FN} = \left[ \sum_{i=1}^n (SEC_{i,STD,Post} \times CL_{i,STD,Post} \times \%H_{i,Post}) + P_{Ozn} \right] \times H_{Post}$$

โดยที่

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

$E_{BL}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

$E_{FN}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)

$SEC_{i,STD,Post}$  = ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i ที่สภาวะมาตรฐานก่อนการปรับปรุง (kW/Ton<sub>R</sub>)

$SEC_{i,STD,Post}$  = ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i ที่สภาวะมาตรฐานหลังการปรับปรุง (kW/Ton<sub>R</sub>)

$CL_{i,STD,Post}$  = ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i ที่สภาวะมาตรฐาน ในช่วงระยะเวลาตรวจวัดก่อนการปรับปรุง (Ton<sub>R</sub>)

$\%H_{i,Post}$  = เปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i เมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาตรวจวัดก่อนการปรับปรุง (%)

$H_{Post}$  = ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง (h/y)

1.2) กรณีที่ใช้สภาพหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน  
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้สภาพการทำงาน และชั่วโมงทำงาน  
ของเครื่องทำน้ำเย็นจากช่วงเวลาตรวจวัดหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน ดังสมการ

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

$$E_{BL} = \sum_{i=1}^n (SEC_{i,STD,Post} \times CL_{i,STD,Post} \times \%H_{i,Post}) \times H_{Post}$$

$$E_{FN} = \left[ \sum_{i=1}^n (SEC_{i,STD,Post} \times CL_{i,STD,Post} \times \%H_{i,Post}) + P_{Ozn} \right] \times H_{Post}$$

โดยที่

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

$E_{BL}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

$E_{FN}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)

$SEC_{i,STD,Pre}$  = ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i ที่สภาวะมาตรฐานก่อนการปรับปรุง (kW/Ton<sub>R</sub>)

$SEC_{i,STD,Post}$  = ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i ที่สภาวะมาตรฐานหลังการปรับปรุง (kW/Ton<sub>R</sub>)

$CL_{i,STD,Post}$  = ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน i ที่สภาวะมาตรฐาน ในช่วงระยะเวลาตรวจวัดหลังการปรับปรุง (Ton<sub>R</sub>)

$\%H_{i,Post}$  = เปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน  $i$  เมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาตรวจวัดหลังการปรับปรุง (%)

$H_{Post}$  = ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (h/y)

### 1.3) กรณีที่กำหนดสภาพการใช้งานปกติเป็นกรณีฐาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยการกำหนดสภาพการทำงาน และชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นตามสภาพการใช้งานอื่นซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติเป็นกรณีฐานดังสมการ

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

$$E_{BL} = \sum_{i=1}^n (SEC_{i,STD,Post} \times CL_{i,STD,Post} \times \%H_{i,Post}) \times H_{Norm}$$

$$E_{FN} = [\sum_{i=1}^n (SEC_{i,STD,Post} \times CL_{i,STD,Post} \times \%H_{i,Post}) + P_{Ozn}] \times H_{Norm}$$

โดยที่

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

$E_{BL}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

$E_{FN}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)

$SEC_{i,STD,Pre}$  = ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน  $i$  ที่สภาวะมาตรฐานก่อนการปรับปรุง (kW/Ton<sub>R</sub>)

$SEC_{i,STD,Post}$  = ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน  $i$  ที่สภาวะมาตรฐานหลังการปรับปรุง (kW/Ton<sub>R</sub>)

$CL_{i,STD,Norm}$  = ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน  $i$  ที่สภาวะมาตรฐาน ในช่วงระยะเวลาซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ (Ton<sub>R</sub>)

$\%H_{i,Norm}$  = เปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับภาระการทำงาน  $i$  เมื่อเทียบกับในช่วงระยะเวลาซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ (%)

$H_{Norm}$  = ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ (h/y)

### 2) ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน

ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานจากมาตรการสามารถคำนวณได้ดังนี้

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

โดยที่

$\%Save$  = เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน (%)

$E_{BL}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

$E_{FN}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)

### 3) ผลการประหยัดพลังงานทางการเงิน

ผลการประหยัดพลังงานทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ปีฐาน และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

โดยที่



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

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

$$C_E = \text{อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา EPC (Baht/kWh)}$$

หมายเหตุ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานโดยมากจะกำหนดจากอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเฉลี่ย ณ ปีที่ทำสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract : EPC) ถ้าบริษัทจัดการพลังงาน สถานประกอบการ และสถาบันการเงินเห็นพ้องต้องกันว่าควรใช้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอื่น เช่น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ณ เดือนที่เซ็นสัญญา หรืออัตราค่าพลังงานแปรผันตามจริง ให้ระบุลงใน EPC และข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

#### 4.1.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผลให้ ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน สำหรับมาตรการนี้ตัวแปร หรือข้อมูลได้มาจาก 2 วิธีการ ได้แก่

##### 1) ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

มาตรการนี้ต้องทำการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง โดยทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้า ภาระทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น และกำลังไฟฟ้าของระบบบำบัดด้วยไอโซน (หลังการปรับปรุงเท่านั้น) ข้อมูลตรวจวัดจะถูกบันทึกไว้ทุก 15 นาที ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 7 วัน (ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์ และข้อตกลงตรวจวัดและ พิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่ทำขึ้นระหว่างสถานประกอบการและ ESCO)

##### 2) ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ข้อมูลจากสถานประกอบการที่สำคัญสำหรับมาตรการนี้คือ ข้อมูลชั่วโมงทำงานของ เครื่องทำน้ำเย็น และข้อมูลการใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็น เช่น การตั้งค่าอุณหภูมิ การตั้งภาระการใช้งานของ เครื่องทำน้ำเย็น Condenser Approach Temperature ซึ่งจะต้องมีการเก็บบันทึกไว้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานควรตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และใน กรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งสถานประกอบการเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความ ถูกต้อง

#### 4.1.8 รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน มี 2 ชนิด ได้แก่ ตัวแปรหลัก และตัวแปรควบคุม

1) ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อ การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลการประหยัดพลังงาน ผลการประหยัดทางการเงิน สำหรับตัวแปรหลักของ มาตรการนี้ได้แก่

- 1.1) กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำความเย็น (kW)
- 1.2) กำลังไฟฟ้าของระบบไอโซน (kW)
- 1.3) อัตราการไหลของน้ำเย็น (l/min)
- 1.4) อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)

- 1.5) อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (°C)
- 1.6) อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)
- 1.7) ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (h/y)

2) ตัวแปรควบคุม หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นและเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10% สำหรับตัวแปรควบคุมของมาตรการนี้ ได้แก่

2.1) สภาพภาระการทำความเย็น การตั้งค่าอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น การตั้งค่าอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงควรใกล้เคียงกัน เนื่องจากการเปลี่ยนระดับการใช้ภาระการทำความเย็นจะมีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น

2.2) สภาพการใช้งานและบำรุงรักษาของระบบการทำความเย็น อุปกรณ์ระบบทำความเย็น โดยเฉพาะ เครื่องทำน้ำเย็นและหอผึ่งเย็นต้องได้รับการตรวจสอบดูแลบำรุงรักษาเพื่อรักษาสภาพอุปกรณ์ให้ทำงานได้ปกติ

2.3) อุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอก การตรวจวัดการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุงควรเลือกให้มีช่วงระยะเวลาที่มีอุณหภูมิและความชื้นของอากาศใกล้เคียงกัน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากอุณหภูมิและความชื้นของอากาศต่ออุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น อาจใช้ประโยชน์จากสถิติข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยาในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงในการประกอบการเทียบเคียงผลการตรวจวัดก่อนและหลังการปรับปรุง

2.4) Condenser Approach Temperature

Condenser Approach Temperature คือค่าความแตกต่างอุณหภูมิของสารทำความเย็นเหลวในคอนเดนเซอร์และอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกจากคอนเดนเซอร์ เป็นตัวแปรที่ใช้ในการตรวจติดตามการทำงานของระบบไอโซน เพื่อยืนยันว่าระบบไอโซนยังสามารถคุณภาพน้ำระบายความร้อนและป้องกันการเกิดตะกอนในระบบน้ำระบายความร้อนได้ โดยทั่วไประบบไอโซนจะต้องสามารถรักษา Condenser Approach Temperature ไว้ไม่เกิน 2 °F หรือ 1.1 °C จากค่าเริ่มต้นที่วัดได้หลังจากการปรับปรุงและติดตั้งระบบไอโซน<sup>1</sup>



<sup>1</sup>ChillerMax Training และจากกรณีศึกษาในประเทศไทย

### 3) คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$P_{Comp}$	kW	กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาที
$P_{Comp,Pre}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของผลคูณระหว่างดัชนีการใช้พลังงาน การทำความเย็น และชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับการทำความเย็นต่างๆ ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง	บันทึกค่าทุก 15 นาที
$P_{Comp,Post}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของผลคูณระหว่างดัชนีการใช้พลังงาน การทำความเย็น และชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ระดับการทำความเย็นต่างๆ ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง	บันทึกค่าทุก 15 นาที

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$P_{Ozn}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบไอเซน	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	1. ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัดหลังการปรับปรุงหรือ 2. ใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างช่วงระยะเวลาการตรวจวัดหลังการปรับปรุง	กรณีที่ใช้เครื่องวัดแบบต่อเนื่องให้บันทึกค่าทุก 15 นาที สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
CL	$Ton_R$	ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดภาระการทำความเย็น	บันทึกค่าทุก 15 นาที สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
$CL_{STD}$	$Ton_R$	ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะมาตรฐาน ที่อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นเท่ากับ $32.2^{\circ}C$ และอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกเท่ากับ $7.2^{\circ}C$	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดภาระการทำความเย็นและตารางค่าแก้ไข	บันทึกค่าทุก 15 นาที สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น



ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$CL_{i,STD,Pre}$	$Ton_R$	ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงาน $i$ ที่สภาวะมาตรฐาน ในช่วงระยะเวลาตรวจวัดก่อนการปรับปรุง	จากการวิเคราะห์	วิเคราะห์ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐาน จากข้อมูลการตรวจวัดภาระการทำความเย็น ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง	บันทึกค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นตัวแทนภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐาน
$CL_{i,STD,Post}$	$Ton_R$	ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงาน $i$ ที่สภาวะมาตรฐาน ในช่วงระยะเวลาตรวจวัดหลังการปรับปรุง	จากการวิเคราะห์	วิเคราะห์ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐาน จากข้อมูลการตรวจวัดภาระการทำความเย็น ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง	บันทึกค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นตัวแทนภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐาน
$CL_{i,STD,Norm}$	$Ton_R$	ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงาน $i$ ที่สภาวะมาตรฐาน ในช่วงระยะเวลาซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ	จากการกำหนดค่าโดยอยู่บนพื้นฐานของข้อมูล	กำหนดภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐาน เพื่อเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ	กำหนดค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นตัวแทนภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐาน



ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$F_{\text{CHS}}$	l/min	อัตราการไหลของน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล หรือ 2. ติดตั้งมิเตอร์วัดอัตราการไหลของน้ำเย็น	บันทึกค่าทุก 15 นาทีสอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
$T_{\text{CHS}}$	$^{\circ}\text{C}$	อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาทีสอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
$T_{\text{CHR}}$	$^{\circ}\text{C}$	อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาทีสอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
$T_{\text{CWS}}$	$^{\circ}\text{C}$	อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาทีสอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
CAT	$^{\circ}\text{C}$	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิของสารทำความเย็นเหลวในคอนเดนเซอร์และอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกจากคอนเดนเซอร์	จากการบันทึกการอ่านค่าการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น	อ่านค่าจากระบบควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นและบันทึกค่า	บันทึกค่าทุก 1 วันหลังการปรับปรุงติดตั้งระบบไอโซน



ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$CF_{KW}$ ( $T_{CWS}, T_{CHS}$ )	-	ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{CWS}$ ) และอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{CHS}$ )	จากตารางค่าแก้ไข	-	-
$CF_{CL}$ ( $T_{CWS}, T_{CHS}$ )	-	ค่าแก้ไขภาระการทำความเย็นที่อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{CWS}$ ) และอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{CHS}$ )	จากตารางค่าแก้ไข	-	-
SEC	$kW/Ton_R$	ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและภาระการทำความเย็น	บันทึกค่าทุก 15 นาทีที่สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
$SEC_{STD}$	$kW/Ton_R$	ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะมาตรฐานที่อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นเท่ากับ $32.2\text{ }^{\circ}C$ และอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกเท่ากับ $7.2\text{ }^{\circ}C$	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและภาระการทำความเย็นและตารางค่าแก้ไข	บันทึกค่าทุก 15 นาทีที่สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$SEC_{i,STD,Pre}$	$kW/Ton_R$	ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงาน $i$ ที่สภาวะมาตรฐานก่อนการปรับปรุง	จากการวิเคราะห์	วิเคราะห์หัดดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐานจากข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและภาระการทำความเย็นระหว่างช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง	บันทึกค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นตัวแทนดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐาน
$SEC_{i,STD,Post}$	$kW/Ton_R$	ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงาน $i$ ที่สภาวะมาตรฐานหลังการปรับปรุง	จากการวิเคราะห์	วิเคราะห์หัดดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ จากข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและภาระการทำความเย็นระหว่างช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง	บันทึกค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นตัวแทนดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ
$H_{Pre}$	$h/y$	ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัด ชั่วโมงทำงานจริงในรอบสัปดาห์ และข้อมูลจากสถานประกอบการ	พิจารณาชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นร่วมกับบันทึกการทำงาน of เครื่องทำน้ำเย็นจากสถานประกอบการ	บันทึกผล 1 ครั้ง ก่อนการปรับปรุง





ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$H_{Post}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัด ชั่วโมงทำงานจริงในรอบสัปดาห์ และข้อมูลจากสถานประกอบการ	พิจารณาชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นร่วมกับบันทึกการทำงาน ของเครื่องทำน้ำเย็น จากสถานประกอบการ	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$H_{Norm}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ	จากการกำหนดค่าโดยอยู่บนพื้นฐานของข้อมูล	กำหนดชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ	กำหนดค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นตัวแทนชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาพการใช้งานปกติ
$\%H_{i,Pre}$	%	เปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงาน $i$ เมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาตรวจวัดก่อนการปรับปรุง	จากการวิเคราะห์	วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ จากข้อมูลการตรวจวัดภาระการทำงาน ความเย็น ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง	บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ
$\%H_{i,Post}$	%	เปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงาน $i$ เมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาตรวจวัดหลังการปรับปรุง	จากการวิเคราะห์	วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ จากข้อมูลการตรวจวัดภาระการทำงาน ความเย็น ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง	บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$\%H_{i, Norm}$	%	เปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงาน $i$ เมื่อเทียบกับในช่วงระยะเวลาซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ	จากการกำหนดค่าโดยอยู่บนพื้นฐานของข้อมูล	กำหนดเปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ เพื่อเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ	กำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ระดับภาระการทำงานต่างๆ
$E_{Comp, Pre}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง	บันทึกผล 1 ครั้งก่อนการปรับปรุง
$E_{Comp, Post}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$E_{Ozn}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบไอโซน	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบไอโซนหลังการปรับปรุง	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$E_{BL}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี





ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$E_{FN}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นและระบบไอโซนหลังการปรับปรุง	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$E_{Save}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
%Save	%	เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$C_{Save}$	Baht/y	จำนวนเงินที่ประหยัดได้	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา EPC	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$C_E$	Baht/kWh	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา EPC	จากการคำนวณ	คำนวณจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าของสถานประกอบการระยะเวลา 12 เดือน	ทุกเดือนตามรอบบิลของค่าไฟฟ้า

ตัวห้อยท้ายตัวแปร	ความหมาย
Pre	สถานะของตัวแปรก่อนการปรับปรุง
Post	สถานะของตัวแปรหลังการปรับปรุง
Comp	เครื่องทำน้ำเย็น (ส่วนคอมเพรสเซอร์)
CHS	น้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (Chilled Water Supply)
CHR	น้ำเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (Chilled Water Return)
CWS	น้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (Cooling Water Supply)
kW	กำลังไฟฟ้า
CL	ภาระการทำความเย็น
OZN	ระบบโอโซนที่ติดตั้งที่หอผึ่งเย็นเพื่อบำบัดน้ำระบายความร้อน (Ozone Water Treatment)
STD	สถานะมาตรฐานสำหรับการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น
i	ระดับภาระการทำงาน
Norm	สภาพที่กำหนดเป็นตัวแทนการใช้งาน
BL	กรณีฐานก่อนการปรับปรุง
FN	กรณีฐานหลังการปรับปรุง
SAVE	ผลการประหยัด
E	พลังงานไฟฟ้า

#### 4.1.9 บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	23/09/2557	ฉบับร่าง
1	13/10/2558	แก้ไขรายละเอียดสูตรการคำนวณและกรณีตัวอย่าง
2	22/11/2558	เพิ่มเติม Condenser Approach Temperature เป็นตัวแปรในการตรวจติดตามประสิทธิภาพการทำงานของระบบโอโซน





#### 4.1.10 กรณีศึกษาและวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน: มาตรการติดตั้งระบบโอโซนที่หอผึ่งเย็นของระบบทำน้ำเย็น (Ozone for Cooling Tower)

##### 4.1.10.1 รายละเอียดมาตรการ

โรงพยาบาล A เป็นโรงพยาบาลของรัฐที่ให้บริการแก่ประชาชนตลอด 24 ชั่วโมง อาคารของโรงพยาบาลแห่งนี้ติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำขนาด 500 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่องเพื่อผลิตความเย็นให้กับระบบปรับอากาศโดยเปิดทำงานตลอด 24 ชั่วโมง เนื่องจากเครื่องทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานสูง โรงพยาบาลจึงได้ดำเนินการมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นโดยการติดตั้งระบบโอโซนที่ระบบหอผึ่งเย็น เพื่อบำบัดน้ำระบายความร้อนให้น้ำสะอาดขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้มีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิที่ดีขึ้น และลดค่าอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นลง เนื่องจากระบบโอโซนจะทำลายเชื้อโรคในน้ำที่ผ่านหอผึ่งเย็น ขจัด Bio-film ที่สะสมเชื้อโรค ลดการเกิดตะกอนและการเกิดตะไคร่น้ำ และยังส่งผลในการลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่างๆ เช่น ค่าล้างท่อคอนเดนเซอร์ขจัดตะกอน ค่าเติมน้ำยาเคมีลดตะกอนและตะไคร่น้ำด้วย

##### 4.1.10.2 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานของมาตรการอนุรักษ์พลังงานนี้เลือกดำเนินการตามรูปแบบ B การตรวจวัดตัวแปรทุกตัวแยกรายมาตรการ (Option B: Retrofit Isolation with All Parameter Measurement) ตามระเบียบวิธีการ IPMVP โดยมีรายละเอียดดังนี้

###### 1) สภาพการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์

สภาพก่อนการปรับปรุง	สภาพหลังการปรับปรุง
<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำขนาด 500 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง</li> <li>ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น 24 ชั่วโมง 365 วัน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำขนาด 500 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง</li> <li>ติดตั้งระบบโอโซนที่หอผึ่งเย็นเพื่อบำบัดน้ำระบายความร้อน</li> <li>ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น 24 ชั่วโมง 365 วัน</li> </ul>

###### 2) วิธีการตรวจวัด

มาตรการนี้จะทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยเก็บบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 7 วัน ดังนี้

###### 2.1) การตรวจวัดก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
P <sub>Comp</sub>	kW	กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาที

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
F <sub>CHS</sub>	l/min	อัตราการไหลของน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล หรือ 2. ติดตั้งมิเตอร์วัดอัตราการไหลของน้ำเย็น	บันทึกค่าทุก 15 นาที สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
T <sub>CHS</sub>	°C	อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาที สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
T <sub>CHR</sub>	°C	อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาที สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
T <sub>CWS</sub>	°C	อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาที สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
H <sub>Pre</sub>	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริงในรอบสัปดาห์และข้อมูลจากสถานประกอบการ	พิจารณาชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นร่วมกับบันทึกการทำงาน of เครื่องทำน้ำเย็น จากสถานประกอบการ	บันทึกผล 1 ครั้งก่อนการปรับปรุง

## 2.2) การตรวจวัดหลังการปรับปรุง

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
P <sub>Comp</sub>	kW	กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาที



ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$F_{CHS}$	l/min	อัตราการไหลของน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล หรือ 2. ติดตั้งมิเตอร์วัดอัตราการไหลของน้ำเย็น	บันทึกค่าทุก 15 นาที สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
$T_{CHS}$	°C	อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาที สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
$T_{CHR}$	°C	อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาที สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
$T_{CWS}$	°C	อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาที สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
CAT	°C	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิของสารทำความเย็นเหลวในคอนเดนเซอร์และอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกจากคอนเดนเซอร์	จากการบันทึกการอ่านค่าการทำงาน of เครื่องทำน้ำเย็น	อ่านค่าจากระบบควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นและบันทึกค่า	บันทึกค่าทุก 1 วัน หลังการปรับปรุงติดตั้งระบบไอโซน

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$P_{Ozn}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบไอโซน	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	1. ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัดหลังการปรับปรุงหรือ 2. ใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างช่วงระยะเวลาการตรวจวัดหลังการปรับปรุง	กรณีที่ใช้เครื่องวัดแบบต่อเนื่องให้บันทึกค่าทุก 15 นาที สอดคล้องกับการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น
$H_{Post}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริงในรอบสัปดาห์และข้อมูลจากสถานประกอบการ	พิจารณาชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นร่วมกับบันทึกการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจากสถานประกอบการ	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี

### 3) ตัวแปรควบคุม

ตัวแปรควบคุม	สภาพการควบคุม
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น	ตั้งค่าอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกที่ 7 °C ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง
ภาระการทำงาน	ลักษณะการใช้งานพื้นที่ปรับอากาศของอาคาร และจำนวนผู้ใช้งานไม่เปลี่ยนแปลง
การบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็น	ดำเนินการบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็นตามแผนการบำรุงรักษาตามปกติเพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด ทั้งก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง
อุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอก	เลือกช่วงการตรวจวัดการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุงในช่วงเดือนเดียวกันที่ไม่ใช่ช่วงเปลี่ยนฤดูกาล
Condenser Approach Temperature	ไม่เกิน 2 °F หรือ 1.1 °C จากค่าเริ่มต้นหลังจากการปรับปรุง และติดตั้งระบบไอโซน



### 4.1.10.3 การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

#### 1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

ค่าการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้นำมาใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็น ค่า SEC ของเครื่องทำน้ำเย็น ทุกๆ 15 นาทีระหว่างช่วงเวลาตรวจวัดก่อนการปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 4.1.10-1

**ตารางที่ 4.1.10-1** ตัวอย่างบันทึกข้อมูลบางส่วนจากการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง

วัน/เวลา	กำลังไฟฟ้า ของเครื่อง ทำน้ำเย็น (kW) $P_{Comp}$	อัตราการ ไหลของน้ำ เย็น (l/min) $F_{CHS}$	อุณหภูมิน้ำ เย็นขาออก (°C) $T_{CHS}$	อุณหภูมิน้ำ เย็นขาเข้า (°C) $T_{CHR}$	ภาระการ ทำความเย็น (Ton <sub>R</sub> ) $CL$	ค่า SEC (kW/Ton <sub>R</sub> ) $SEC$
1 มี.ค.58, 13:00	265.0	3,627	7.0	11.5	323.8	0.818
1 มี.ค.58, 13:15	267.0	3,623	7.0	11.5	323.5	0.825
1 มี.ค.58, 13:30	268.0	3,633	7.1	11.6	324.4	0.826
1 มี.ค.58, 13:45	270.0	3,633	7.2	11.7	324.4	0.832
1 มี.ค.58, 14:00	271.0	3,620	7.2	11.7	323.2	0.838
<b>เฉลี่ย</b>	<b>268.2</b>	<b>3,627</b>	<b>7.1</b>	<b>11.6</b>	<b>323.9</b>	<b>0.828</b>

สูตรคำนวณที่ใช้

$$CL = \frac{F_{CHS} \times (T_{CHS} - T_{CHR})}{50.40}$$

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

จากข้อมูลตรวจวัดและตารางคำนวณข้างต้น ใช้ค่าตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น และอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อหาค่าแก้ไข และคำนวณภาระการทำความเย็นและ SEC ที่สภาวะมาตรฐานดังตารางที่ 4.1.10-2

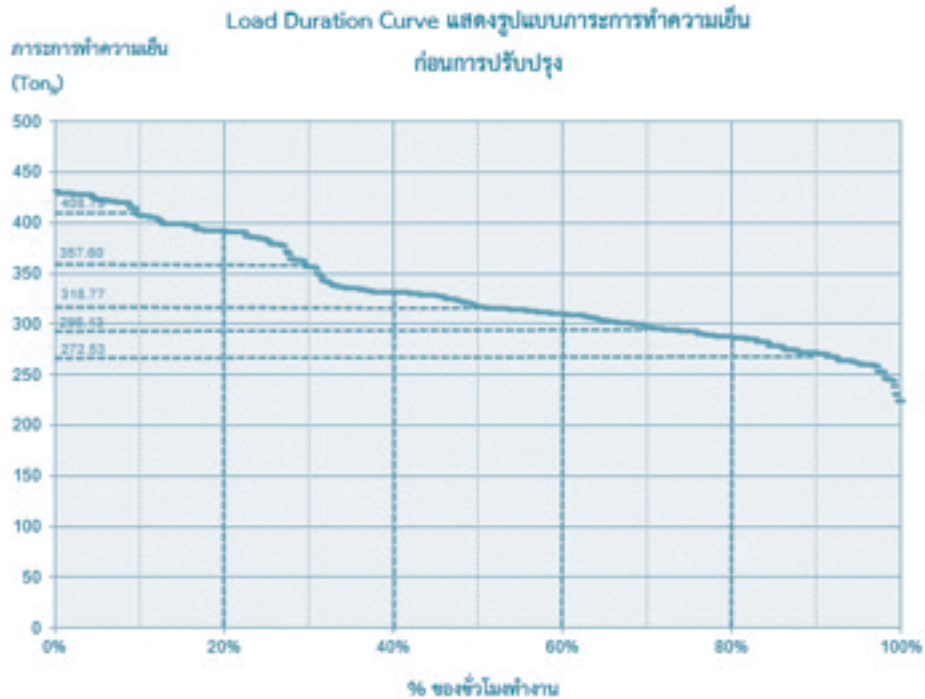
ตารางที่ 4.1.10-2 ตัวอย่างบันทึกข้อมูลภาระการทำความเย็นและ SEC ที่สภาวะมาตรฐาน ก่อนการปรับปรุง

วัน/เวลา	กำลังไฟฟ้า ของเครื่อง ทำน้ำเย็น (kW)  P <sub>Comp</sub>	อัตราการ ไหลของน้ำ เย็น (l/min)  F <sub>CHS</sub>	อุณหภูมิน้ำ เย็นขาออก (°C)  T <sub>CHS</sub>	อุณหภูมิน้ำ เย็นขาเข้า (°C)  T <sub>CHR</sub>	ภาระการ ทำความเย็น (Ton <sub>R</sub> )  CL	ค่า SEC (kW/Ton <sub>R</sub> )  SEC
1 มี.ค.58, 13:00	7.0	32.0	1.00	1.00	323.8	0.818
1 มี.ค.58, 13:15	7.0	32.1	1.00	1.00	323.5	0.825
1 มี.ค.58, 13:30	7.1	32.0	1.00	1.00	324.4	0.826
1 มี.ค.58, 13:45	7.2	32.2	1.00	1.00	324.4	0.832
1 มี.ค.58, 14:00	7.2	32.0	1.00	1.00	323.2	0.838
เฉลี่ย	7.1	32.1			323.9	0.828

สูตรคำนวณที่ใช้

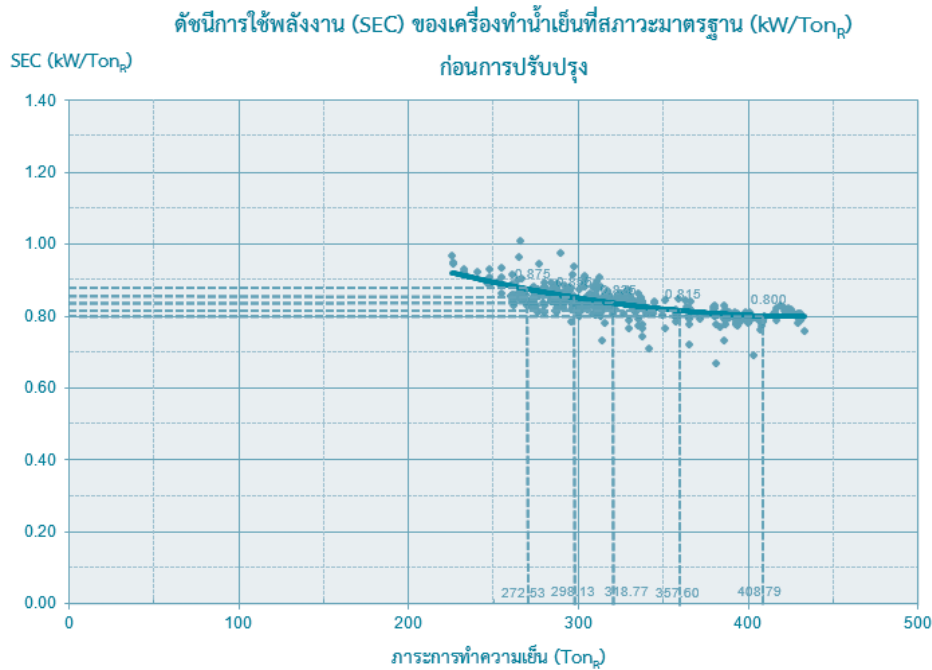
$$SEC_{STD} = SEC \times CF_{kW}(T_{CWS}, T_{CHS}) / CF_{CL}(T_{CWS}, T_{CHS})$$

ข้อมูลภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานที่เวลาต่างๆ ได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างกราฟ Load Duration Curve ระหว่างภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานกับเปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงาน ดังรูปที่ 4.1.10-1



รูปที่ 4.1.10-1 กราฟ Load Duration Curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระการทำความเย็นและเปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานก่อนการปรับปรุง

ข้อมูลภาระการทำความเย็นและ SEC ที่สภาวะมาตรฐานนำมาใช้ในการสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า SEC และภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.1.10-2 และค่าภาระการทำความเย็นเฉลี่ยของแต่ละช่วง % ชั่วโมงทำงานได้นำมาใช้ในการหาค่า SEC ของแต่ละช่วง % ชั่วโมงทำงาน



รูปที่ 4.1.10-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า SEC และภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานก่อนการปรับปรุง

จากกราฟในรูปที่ 4.1.10-1 และ 4.1.10-2 สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะมาตรฐานที่ช่วงเปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานต่างๆ ก่อนการปรับปรุง ดังตารางที่ 4.1.10-3

ตารางที่ 4.1.10-3 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะมาตรฐาน ที่ช่วงเปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานต่างๆ ก่อนการปรับปรุง

อุปกรณ์/ เครื่องจักร	ช่วงเปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงทำงาน (%)	เปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงทำงาน (%)	ค่า SEC เฉลี่ย ที่สภาวะ มาตรฐานก่อน การปรับปรุง (kW/Ton <sub>R</sub> )	ภาระการ ทำความเย็น เฉลี่ยที่สภาวะ มาตรฐานก่อน การปรับปรุง (Ton <sub>R</sub> )	กำลังไฟฟ้า เฉลี่ยที่สภาวะ มาตรฐานก่อน การปรับปรุง (kW)
		%H <sub>i,Pre</sub>	SEC <sub>i,STD,Pre</sub>	CL <sub>i,STD,Pre</sub>	P <sub>i,Comp,Pre</sub>
เครื่องทำน้ำ เย็นขนาด 500 ตันความเย็น แบบระบาย ความร้อนด้วย น้ำ	0-20%	20%	0.875	272.5	238.5
	20-40%	20%	0.855	298.1	254.9
	40-60%	20%	0.835	318.8	266.2
	60-80%	20%	0.815	357.6	291.4
	80-100%	20%	0.800	408.8	327.0
เฉลี่ย		100%	0.836	331.2	275.6

สูตรคำนวณที่ใช้

$$P_{i,Comp,Pre} = SEC_{i,STD,Post} \times CL_{i,STD,Pre} \times \%H_{i,Pre}$$

จากค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานในตารางที่ 4.1.10-3 สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุงได้จากสูตร

$$P_{Comp,Pre} = \sum_{i=1}^n (SEC_{i,STD,Post} \times CL_{i,STD,Pre} \times \%H_{i,Pre})$$

$$P_{Comp,Pre} = 275.6 \text{ kW}$$

จากข้อมูลของสถานประกอบการที่ยืนยันด้วยผลการตรวจวัดการใช้พลังงาน ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุงเท่ากับ

$$H_{Pre} = 365 \times 24 = 8,760 \text{ H/y}$$

2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

ค่าการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ได้นำมาใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็น ค่า SEC ของเครื่องทำน้ำเย็น ทุกๆ 15 นาทีระหว่างช่วงเวลาตรวจวัดหลังการปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 4.1.10-4





**ตารางที่ 4.1.10-4** ตัวอย่างบันทึกข้อมูลบางส่วนจากการตรวจวัดหลังการปรับปรุง

วัน/เวลา	กำลังไฟฟ้า ของเครื่อง ทำน้ำเย็น (kW)	อัตราการ ไหลของน้ำ เย็น (l/min)	อุณหภูมิน้ำ เย็นขาออก (°C)	อุณหภูมิน้ำ เย็นขาเข้า (°C)	ภาระการ ทำความเย็น (Ton <sub>R</sub> )	ค่า SEC (kW/Ton <sub>R</sub> )
	P <sub>Comp</sub>	F <sub>CHS</sub>	T <sub>CHS</sub>	T <sub>CHR</sub>	CL	SEC
15 มี.ค.58, 13:00	255.0	3,623	7.1	11.7	330.7	0.771
15 มี.ค.58, 13:15	257.0	3,630	7.0	11.6	331.3	0.776
15 มี.ค.58, 13:30	255.0	3,610	7.1	11.8	336.6	0.757
15 มี.ค.58, 13:45	254.0	3,627	7.1	11.8	338.2	0.751
15 มี.ค.58, 14:00	256.0	3,623	7.1	11.8	337.9	0.758
เฉลี่ย	255.4	3,623	7.1	11.7	334.9	0.763

สูตรคำนวณที่ใช้

$$CL = \frac{F_{CHS} \times (T_{CHS} - T_{CHR})}{50.40}$$

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

จากข้อมูลตรวจวัดและตารางคำนวณข้างต้น ใช้ค่าตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องทำน้ำเย็น และอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อหาค่าแก้ไข และคำนวณภาระการทำความเย็นและ SEC ที่สภาวะมาตรฐานดังตารางที่ 4.1.10-5

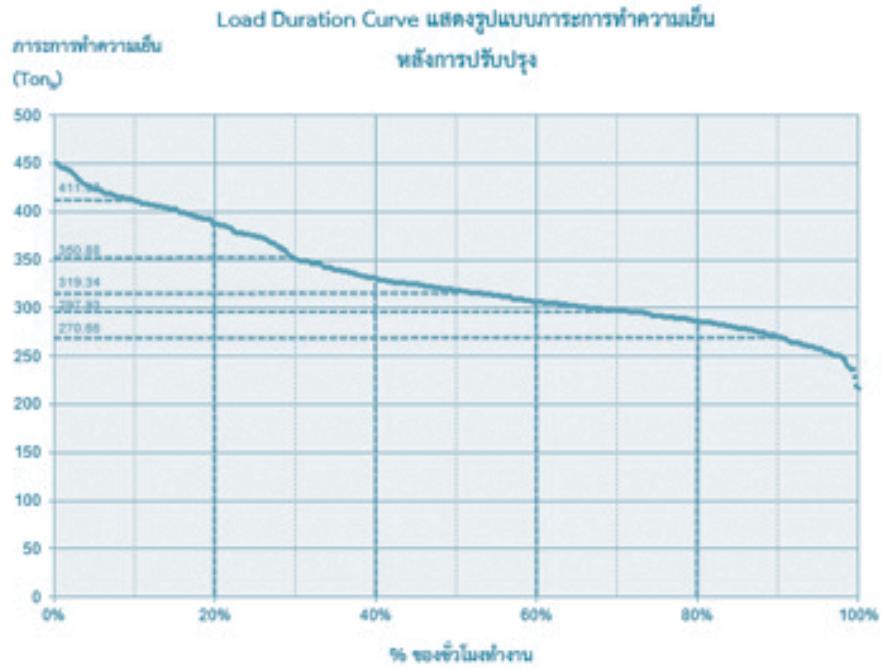
**ตารางที่ 4.1.10-5** ตัวอย่างบันทึกข้อมูลภาระการทำความเย็นและ SEC ที่สภาวะมาตรฐาน หลังการปรับปรุง

วัน/เวลา	อุณหภูมิน้ำ เย็นขาออก (°C)	อุณหภูมิน้ำ ระบายความ ร้อนขาเข้า (°C)	ค่าแก้ไข กำลังไฟฟ้า	ค่าแก้ไขการ ทำความ เย็น	ภาระการ ทำความ เย็นที่สภาวะ มาตรฐาน (Ton <sub>R</sub> )	ค่า SEC ที่สภาวะ มาตรฐาน (kW/Ton <sub>R</sub> )
	T <sub>CHS</sub>	T <sub>CWS</sub>	CF <sub>kW</sub>	CF <sub>CL</sub>	CL <sub>STD</sub>	SEC <sub>STD</sub>
15 มี.ค.58, 13:00	7.1	31.0	0.99	1.02	335.7	0.748
15 มี.ค.58, 13:15	7.0	31.1	0.99	1.02	336.3	0.753
15 มี.ค.58, 13:30	7.1	31.0	0.99	1.02	341.7	0.735
15 มี.ค.58, 13:45	7.1	31.2	0.99	1.02	343.3	0.729
15 มี.ค.58, 14:00	7.1	31.0	0.99	1.02	343.0	0.735
เฉลี่ย	7.1	31.1			340.0	0.740

สูตรคำนวณที่ใช้

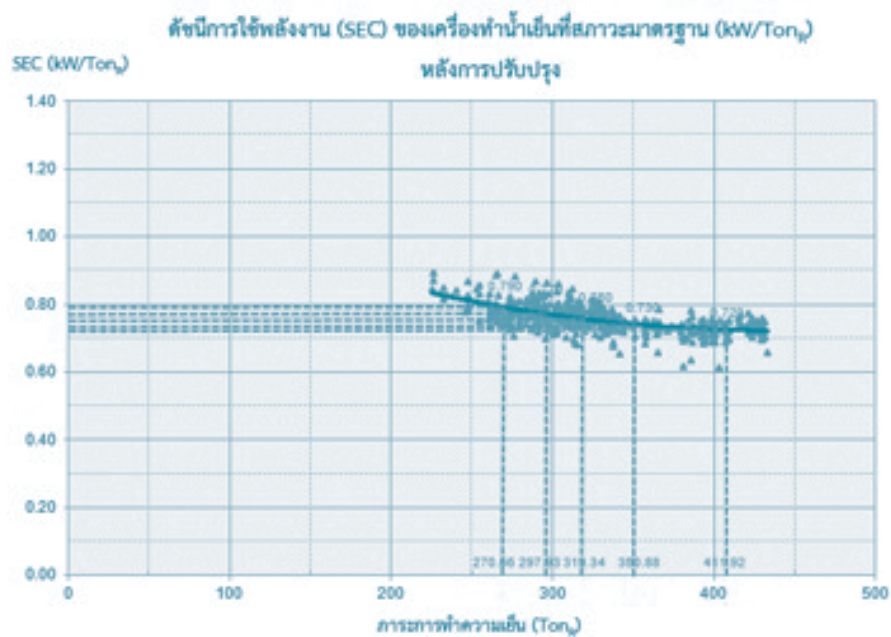
$$SEC_{STD} = SEC \times CF_{kW}(T_{CWS}, T_{CHS}) / CF_{CL}(T_{CWS}, T_{CHS})$$

ข้อมูลภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานที่เวลาต่างๆ นำมาใช้ในการสร้างกราฟ Load Duration Curve ระหว่างภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานกับเปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงาน ดังรูปที่ 4.1.10-3



รูปที่ 4.1.10-3 กราฟ Load Duration Curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระการทำความเย็นและเปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานหลังการปรับปรุง

ข้อมูลภาระการทำความเย็นและ SEC ที่สภาวะมาตรฐานนำมาใช้ในการสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า SEC และภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.1.10-4 และค่าภาระการทำความเย็นเฉลี่ยของแต่ละช่วง % ชั่วโมงทำงานได้นำมาใช้ในการหาค่า SEC ของแต่ละช่วง % ชั่วโมงทำงาน



รูปที่ 4.1.10-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า SEC และภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานหลังการปรับปรุง

จากกราฟในรูปที่ 4.1.10-3 และ 4.1.10-4 สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะมาตรฐานในช่วงเปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานต่างๆ หลังการปรับปรุง ดังตารางที่ 4.1.10-6

**ตารางที่ 4.1.10-6** กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะมาตรฐานที่ช่วงเปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานต่างๆ หลังการปรับปรุง

อุปกรณ์/ เครื่องจักร	ช่วงเปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงทำงาน (%)	เปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงทำงาน (%)	ค่า SEC เฉลี่ย ที่สภาวะ มาตรฐานก่อน การปรับปรุง (kW/Ton <sub>R</sub> )	การกระทำ ทำความเย็น เฉลี่ยที่สภาวะ มาตรฐานก่อน การปรับปรุง (Ton <sub>R</sub> )	กำลังไฟฟ้า เฉลี่ยที่สภาวะ มาตรฐานก่อน การปรับปรุง (kW)
		%H <sub>i,Pre</sub>	SEC <sub>i,STD,Pre</sub>	CL <sub>i,STD,Pre</sub>	P <sub>i,Comp,Pre</sub>
เครื่องทำน้ำ เย็นขนาด 500 ตันความเย็น แบบระบายความ ร้อนด้วยน้ำติดตั้ง ระบบไอโซนที่ Cooling Tower	0-20%	20%	0.790	270.7	213.8
	20-40%	20%	0.770	297.9	229.4
	40-60%	20%	0.750	319.3	239.5
	60-80%	20%	0.730	350.9	256.1
	80-100%	20%	0.720	411.9	296.6
เฉลี่ย		100%	0.752	330.1	247.1

สูตรคำนวณที่ใช้

$$P_{i,Comp,Post} = SEC_{i,STD,Post} \times CL_{i,STD,Post} \times \%H_{i,Post}$$

จากค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานในตารางที่ 4.1.10-6 สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงได้จากสูตร

$$P_{Comp,Post} = \sum_{i=1}^n (SEC_{i,STD,Post} \times CL_{i,STD,Post} \times \%H_{i,Post})$$

$$P_{Comp,Post} = 247.1 \text{ kW}$$

จากการตรวจวัดการใช้พลังงานพร้อมกับเครื่องทำน้ำเย็นในช่วงเวลาตรวจวัดหลังการปรับปรุง ได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบไอโซนเท่ากับ

$$P_{Ozn} = 3.9 \text{ kW}$$

จากข้อมูลของสถานประกอบการซึ่งยืนยันด้วยผลการตรวจวัดการใช้พลังงาน ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงเท่ากับ

$$H_{Post} = 365 \times 24 = 8,760 \text{ h/y}$$

### 3) การคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

#### 3.1) การกำหนดกรณีฐานสำหรับการคำนวณผลประหยัด

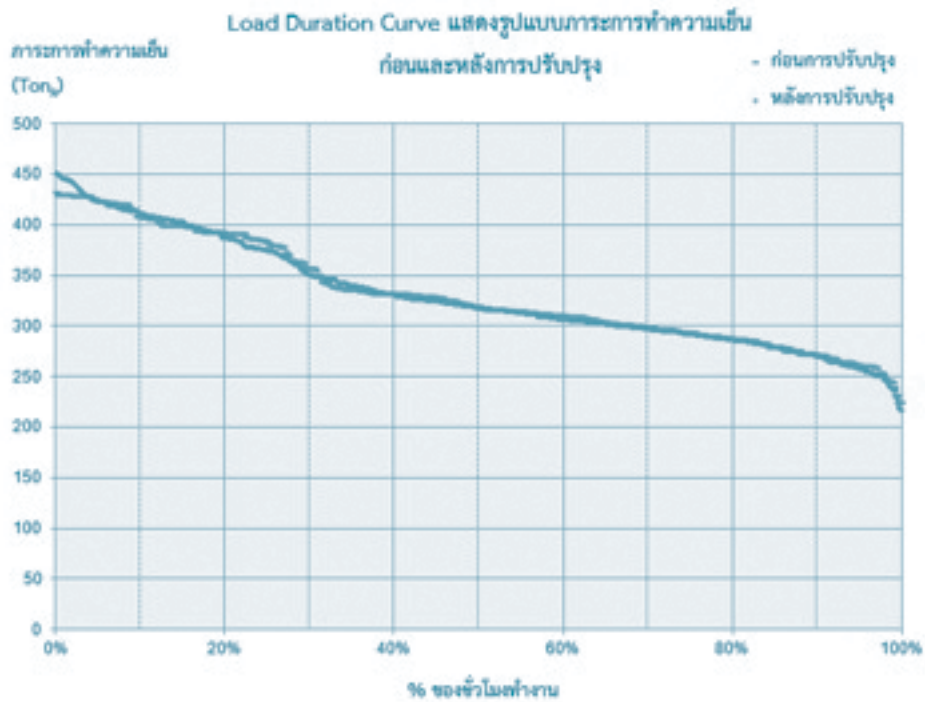
จากการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นระหว่างช่วงเวลาตรวจวัดก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยการพิจารณาจาก Load Duration Curve ในกรณีศึกษา พบว่ารูปแบบภาระการทำความเย็นก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.1.10-5



58

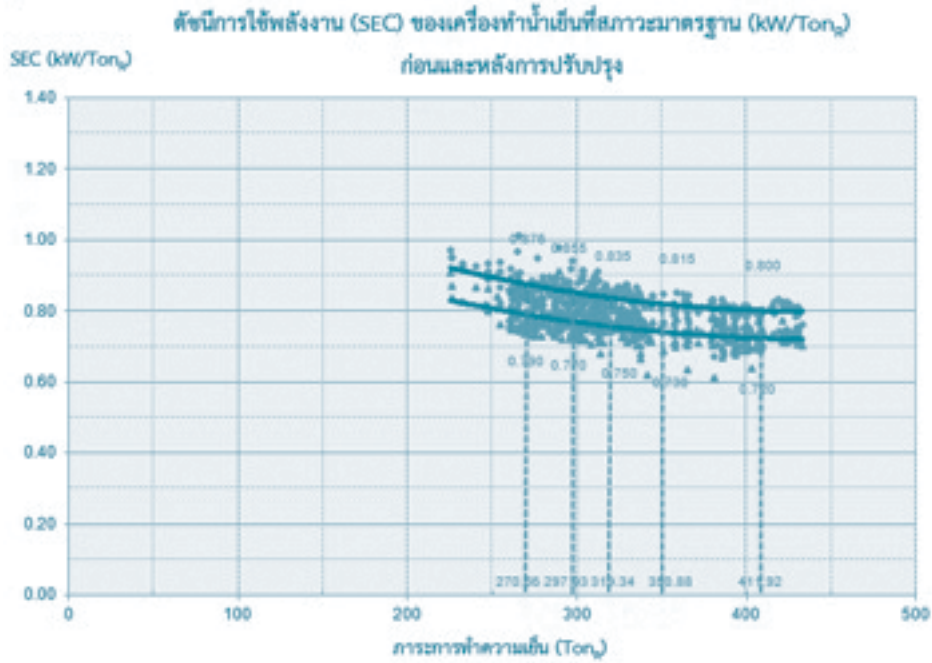
นอกจากนี้ชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงคือ 8,760 ชั่วโมง ดังนั้นจึงสามารถให้สภาพก่อนการปรับปรุงหรือหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐานในการคิดผลการประหยัดพลังงานได้โดยให้ผลประหยัดที่เหมือนกัน และไม่มีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดสภาพการใช้งานอื่นเป็นกรณีฐาน

สำหรับกรณีศึกษานี้ใช้สภาพหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน ซึ่งเปรียบเทียบผลของการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงจากมาตรการอนุรักษ์พลังงานกับกรณีฐาน ซึ่งก็คือค่าประมาณการการใช้พลังงานตามสภาพการใช้งานจริงกรณีที่ไม่มีมาตรการอนุรักษ์พลังงาน



รูปที่ 4.1.10-5 กราฟเปรียบเทียบรูปแบบภาระการทำความเย็นก่อนและหลังการปรับปรุง

3.2) การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานกรณีฐานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ใช้เส้นกราฟกราฟระหว่างค่า SEC และภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง และค่าภาระการทำความเย็นหลังการปรับปรุง เพื่อหาค่า SEC ที่เปอร์เซ็นต์ชั่วโมงทำงานต่างๆ ดังรูปที่ 4.10.1-6 และบันทึกค่า SEC ค่าภาระการทำความเย็น ในแต่ละ % ชั่วโมงทำงานลงในตารางที่ 4.1.10-7



รูปที่ 4.1.10-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า SEC และภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน ก่อนและหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 4.1.10-7 การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานกรณีฐานก่อนและหลังการปรับปรุง

อุปกรณ์/ เครื่องจักร	ช่วงเปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงทำงาน (%)	เปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงทำงาน (%)	ค่า SEC เฉลี่ย ที่สภาวะ มาตรฐานก่อน การปรับปรุง (kW/Ton <sub>R</sub> )	ค่า SEC เฉลี่ย ที่สภาวะ มาตรฐานหลัง การปรับปรุง (kW/Ton <sub>R</sub> )	ภาระการ ทำความเย็น เฉลี่ยที่สภาวะ มาตรฐานหลัง การปรับปรุง (Ton <sub>R</sub> )
		%H <sub>i,Pre</sub>	SEC <sub>i,STD,Pre</sub>	CL <sub>i,STD,Post</sub>	P <sub>i,Comp,Post</sub>
เครื่องทำน้ำ เย็นขนาด 500 ตันความเย็น แบบระบาย ความร้อนด้วย น้ำ ติดตั้ง ระบบไอโซนที่ Cooling Tower	0-20%	20%	0.875	0.790	270.7
	20-40%	20%	0.855	0.770	297.9
	40-60%	20%	0.835	0.750	319.3
	60-80%	20%	0.815	0.730	350.9
	80-100%	20%	0.800	0.720	411.9
<b>เฉลี่ย</b>		100%	0.836	0.752	330.1

### 3.3) ผลการประหยัดพลังงาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้ผลต่างของพลังงานที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ดังสมการ

$$E_{\text{Save}} = E_{\text{BL}} - E_{\text{FN}}$$

$$E_{\text{BL}} = \sum_{i=1}^n (\text{SEC}_{i,\text{STD,Pre}} \times \text{CL}_{i,\text{STDPost}} \times \%H_{i,\text{Post}}) \times H_{\text{Post}}$$

$$E_{\text{FN}} = \left[ \sum_{i=1}^n (\text{SEC}_{i,\text{STD,Pre}} \times \text{CL}_{i,\text{STDPost}} \times \%H_{i,\text{Post}}) + P_{\text{Ozn}} \right] \times H_{\text{Post}}$$

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุงเท่ากับ

$$E_{\text{BL}} = [(0.875 \times 270.7 \times 20\%) + (0.855 \times 297.9 \times 20\%) + (0.835 \times 319.3 \times 20\%) + (0.815 \times 350.9 \times 20\%) + (0.800 \times 411.9 \times 20\%)] \times 8,760$$

$$= 2,406,739 \text{ kWh/y}$$

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุงเท่ากับ

$$E_{\text{FN}} = [(0.790 \times 270.7 \times 20\%) + (0.770 \times 297.9 \times 20\%) + (0.750 \times 319.3 \times 20\%) + (0.730 \times 350.9 \times 20\%) + (0.720 \times 411.9 \times 20\%) + 3.9] \times 8,760$$

$$= 2,198,685 \text{ kWh/y}$$

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ

$$E_{\text{Save}} = 2,406,739 - 2,198,685$$

$$= 208,054 \text{ kWh/y}$$

ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานจากมาตรการสามารถคำนวณได้เท่ากับ

$$\% \text{Save} = [(E_{\text{BL}} - E_{\text{FN}}) / E_{\text{BL}}] \times 100\%$$

$$= [(2,406,739 - 2,198,685) / 2,406,739] \times 100\%$$

$$= 10.06\%$$

ผลการประหยัดพลังงานทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ คำนวณโดยใช้ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยจากข้อมูลของสถานประกอบการที่ 4 Baht/kWh เท่ากับ

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

$$= 208,054 \times 4$$

$$= 832,217 \text{ Baht/y}$$



## 4.2 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน: มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioner)

### 4.2.1 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

1) วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเป็นเครื่องปรับอากาศที่ใช้ระบบ Thermostat ในการควบคุมอุณหภูมิเท่านั้น ไม่รวมถึงเครื่องปรับอากาศที่ใช้ระบบ Inverter Control

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

3) ขอบเขตของพื้นที่ปรับอากาศที่จะดำเนินการมาตรการนี้ต้องมีภาระระบุให้ชัดเจน และต้องควบคุมภาระการปรับอากาศ ได้แก่ สภาพพื้นที่ ลักษณะการใช้งานพื้นที่ จำนวนคนที่ใช้พื้นที่ รวมทั้งอุณหภูมิ ความชื้นปรับอากาศของพื้นที่ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงให้ใกล้เคียงกัน โดยที่หลังปรับปรุงแล้วพื้นที่ปรับอากาศจะต้องสามารถควบคุมสภาพพื้นที่ให้เหมาะสมอยู่ในสภาวะที่น่าสบายไม่น้อยกว่าสภาพก่อนปรับปรุง

4) วิธีการนี้แสดงแนวทางการคำนวณผลประหยัดและค่าใช้จ่ายเฉพาะด้านพลังงานเท่านั้น โดยมีได้พิจารณาผลประหยัดหรือค่าใช้จ่ายด้านอื่นๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายด้านการใช้งานและการบำรุงรักษา ซึ่งเกิดขึ้นจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ขอบเขตและวิธีการในการนำผลประหยัดและค่าใช้จ่ายอื่นๆ มาพิจารณาพร้อมกับผลประหยัดพลังงานนั้น ให้อยู่ในการพิจารณาและจัดทำข้อตกลงร่วมกันระหว่างสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

5) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามแนวทางนี้ถูกพัฒนาขึ้น โดยคำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานเป็นสิ่งสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ในกรณีที่ต้องการเพิ่มระดับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานให้สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการนี้

### 4.2.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานนี้อ้างอิงระเบียบวิธีการ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมี 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่ได้แสดงในเอกสารฉบับนี้เป็นตัวอย่างการนำหลักการและรูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน รูปแบบ A การตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักแยกรายมาตรการ (Option A: Retrofit Isolation with Key Parameter Measurement) มาประยุกต์ใช้กับมาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioner) โดยอนุโลมให้ใช้ค่าประสิทธิภาพตาม Specification ของเครื่องปรับอากาศใหม่ในการประเมินการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงแทนการตรวจวัดได้ และใช้การสุ่มตัวอย่างในการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง โดยกำหนดให้จำนวนตัวอย่างที่ทำการตรวจวัดต้องเป็นไปตามขนาดการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Size) ที่กำหนดไว้ในระเบียบวิธีการ IPMVP โดยจำนวนสุ่มตัวอย่างขั้นต่ำจะต้องไม่น้อยกว่าจำนวนสุ่มตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่น (Confidence Level) 90% และความคลาดเคลื่อน (Precision) 10%



ช่วงระยะเวลา (Period)	แนวทางดำเนินการ	ตัวแปร	วิธีการตรวจวัด/เก็บข้อมูล
ช่วงตรวจวัดการใช้พลังงานฐาน (Baseline Period) ก่อนการปรับปรุง	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. หาค่าส่วนประสิทธิผลพลังงาน (EER) ของเครื่องปรับอากาศ จากการสุ่มตรวจวัดตามกลุ่มตัวอย่าง</li> <li>2. คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ</li> <li>3. ตรวจสอบสภาพอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ</li> <li>• อัตราการไหลของลมเย็น</li> <li>• อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายและกลับเข้าคอยล์เย็น</li> <li>• อุณหภูมิอากาศเข้าคอยล์ร้อนเครื่องปรับอากาศ</li> <li>• อุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ</li> <li>• ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ตรวจวัดแบบชั่วขณะ</li> <li>• ตรวจวัดแบบชั่วขณะ</li> <li>• ตรวจวัดแบบชั่วขณะ</li> <li>• ตรวจวัดแบบชั่วขณะ</li> <li>• ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> </ul>
ช่วงตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. หาค่าส่วนประสิทธิผลพลังงาน (EER) ของเครื่องปรับอากาศ</li> <li>2. คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ</li> <li>3. ตรวจสอบสภาพอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อัตราส่วนประสิทธิผลของเครื่องปรับอากาศ</li> <li>• อุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ</li> <li>• ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ใช้ข้อมูลจาก Specification</li> <li>• ตรวจวัดแบบชั่วขณะ</li> <li>• ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> </ul>
ช่วงการติดตามรายงานผลแต่ละเดือน (Reporting Period)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. หาค่าส่วนประสิทธิผลพลังงาน (EER) ของเครื่องปรับอากาศ</li> <li>2. คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ</li> <li>3. ตรวจสอบสภาพอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อัตราส่วนประสิทธิผลของเครื่องปรับอากาศ</li> <li>• อุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ</li> <li>• ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ใช้ข้อมูลจาก Specification</li> <li>• ตรวจวัดแบบชั่วขณะ</li> <li>• ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> </ul>





#### 4.2.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

1) ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาของข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามระเบียบวิธีการ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะที่ทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากสถานประกอบการแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน ตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

2) รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามหัวข้อที่แสดงไว้ในข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานเป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักอย่างน้อย 3 บท ได้แก่

2.1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

2.2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

2.3) การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานและจัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

#### 4.2.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

1) การหาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแสดงด้วยค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio: EER) ซึ่งหาได้จากขนาดหรือความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Btu/h) และกำลังไฟฟ้าป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ (W) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{EER} = \frac{\text{CL}}{\text{P}_{\text{Comp}}}$$

โดยที่

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

CL = ขนาดหรือความสามารถในการทำความเย็น (Btu/h)

$\text{P}_{\text{Comp}}$  = กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (W)

ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศหาได้จากสมการ

$$CL = 4.5 \times (h_r - h_s) \times F_s$$

โดยที่

$h_r$  = เอนทาลปีของอากาศลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (Return Air) ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง  $T_r$  และความชื้นสัมพัทธ์  $RH_r$  หาได้จาก แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) (Btu/lb)

$h_s$  = เอนทาลปีของอากาศลมจ่ายจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (Supply Air) ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง  $T_s$  และความชื้นสัมพัทธ์  $RH_s$  หาได้จาก แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) (Btu/lb)

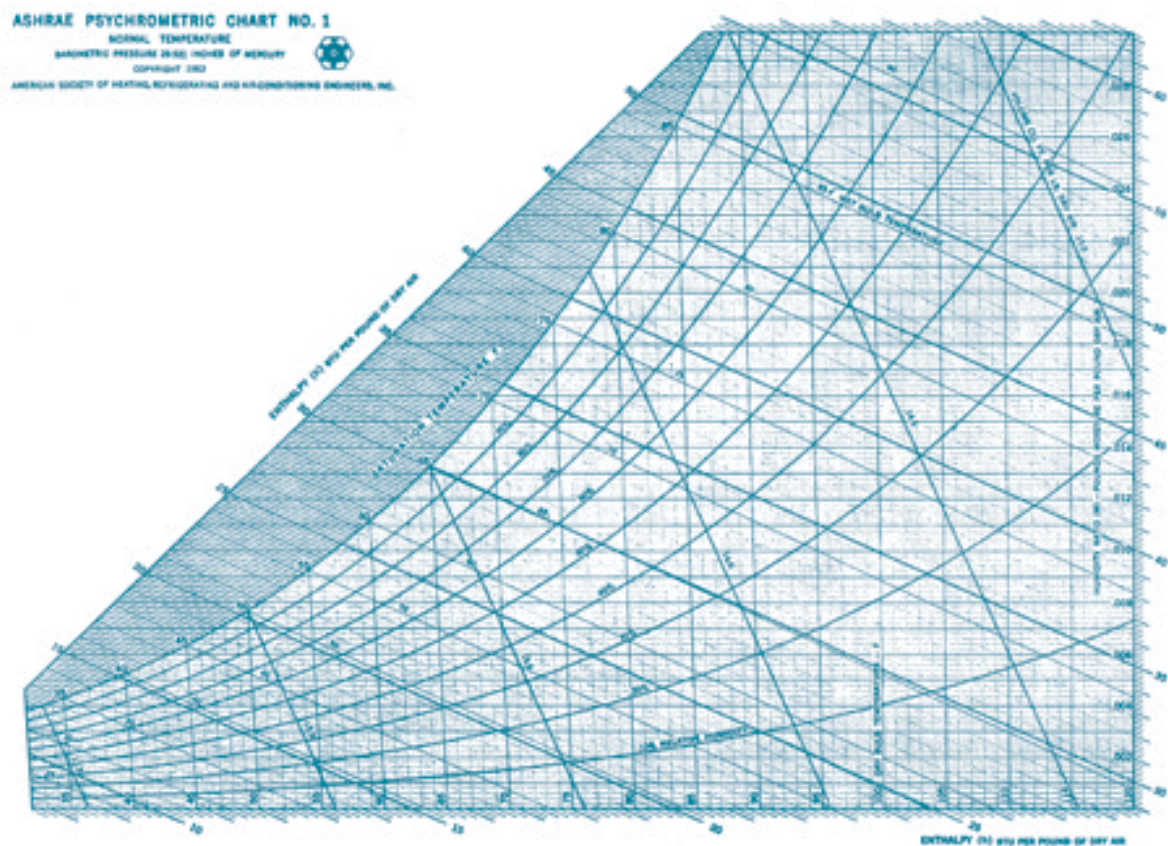
$F_s$  = อัตราการไหลของลมเย็นจ่ายออกจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (cfm)

$T_r$  = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ ( $^{\circ}F$ )

$RH_r$  = ความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (%)

$T_s$  = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมจ่ายออกจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ ( $^{\circ}F$ )

$RH_s$  = ความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายออกจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (%)



รูปที่ 4.2-1 แผนภูมิไซโครเมตริก (แหล่งข้อมูล: ASHRAE)

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศต้องปรับค่า EER มาที่สภาวะมาตรฐาน คือ ที่อุณหภูมิระเหิดแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน (Condenser) 35 °C และอุณหภูมิระเหิดเปียกของอากาศลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ 19.4 °C โดยใช้ตารางที่ 4.2-1 ซึ่งแสดงค่าแก้ไขสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและแบบติดตั้งต่างที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจัดทำขึ้นดังนี้

**ตารางที่ 4.2-1** ค่าแก้ไขความสามารถในการทำความเย็นและกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและแบบติดตั้งต่าง

อุณหภูมิระเหิดแห้ง อากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน (°C)	อุณหภูมิระเหิดเปียก อากาศเข้าคอยล์เย็น (°C)	ค่าแก้ไข	
		ความสามารถในการ ทำความเย็น	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

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

โดยที่

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

$CF_{CL}(T_{amb}, Twb_r)$  = ค่าแก้ไขความสามารถในการทำความเย็นที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจากตารางที่ 4.2-1 (กรณีค่าอุณหภูมิไม่ตรงให้ Interpolate จากค่าในตาราง)

$CF_{kW}(T_{amb}, Twb_r)$  = ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจากตารางที่ 4.2-1 (กรณีค่าอุณหภูมิไม่ตรงให้ Interpolate จากค่าในตาราง)

$T_{amb}$  = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ (°C)

$Twb_r$  = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (°C)

## 2) การวิเคราะห์และสุ่มตัวอย่างเครื่องปรับอากาศ

สำหรับการดำเนินการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศที่มีจำนวนเครื่องปรับอากาศเป็นจำนวนมาก การตรวจวัดการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศทุกตัวอาจทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูง และใช้เวลาดำเนินการนาน แนวทางหนึ่งที่สามารถทำได้ตามระเบียบวิธีการ IPMVP คือ การจัดกลุ่มและสุ่มตัวอย่างเครื่องปรับอากาศตามประเภท ขนาด อายุ และลักษณะการใช้งาน และทำการสุ่มตัวอย่างตรวจวัดเครื่องปรับอากาศแต่ละกลุ่มเพื่อเป็นตัวแทนของจำนวนประชากรเครื่องปรับอากาศทั้งหมด

ขนาดการสุ่มตัวอย่างตาม IPMVP คำนวณได้โดยใช้สูตรดังนี้

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

โดยที่

$n_0$  = ขนาดการสุ่มตัวอย่างเบื้องต้นก่อนที่จะเริ่มสุ่มตัวอย่างจริง (Set)

$cv$  = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variance) คัดจากการนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหารด้วยค่าเฉลี่ยของข้อมูล ในการคำนวณใช้ค่า 0.5 เป็นค่าเริ่มต้น จนกว่าจะสามารถหาประมาณการค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรจากการสุ่มตัวอย่างจริง



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

$$E_{\text{Comp,Pre}} = \sum_{i=1}^n (P_{i,\text{Comp,Pre}} \times N_i \times H_{i,\text{Pre}})$$

โดยที่

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

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

$N_i$  = จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม  $i$  ที่ปรับปรุงตามมาตรการ (Set)

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

$i$  = เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่  $i$

$n$  = จำนวนกลุ่มเครื่องปรับอากาศซึ่งแบ่งตามประเภท ขนาด อายุใช้งาน และลักษณะใช้งาน

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศแต่ละกลุ่มก่อนการปรับปรุงคำนวณจากค่า EER และขนาดหรือความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม ดังสมการ

$$P_{i,\text{Comp,Pre}} = \sum_{j=1}^m \left( \frac{CL_{\text{STD},ij,\text{Pre}}}{EER_{\text{STD},ij,\text{Pre}}} \right) / 1,000$$

โดยที่

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

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

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

$i$  = เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่  $i$

$ij$  = เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่  $i$  เครื่องที่  $j$

$m$  = จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม  $i$  (Set)

#### 4) การตรวจสอบสภาพพื้นที่ปรับอากาศ

ภาระการปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศ คือ ภาระการทำควมเย็นซึ่งสะท้อนออกมาที่อุณหภูมิตามขนาดพื้นที่ และจำนวนคนที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานของเครื่องปรับอากาศ ทั้งนี้สภาพของพื้นที่ปรับอากาศหลังการติดตั้งต้องเหมาะสมอยู่ในสภาวะน่าสบายไม่น้อยกว่าสภาพก่อนปรับปรุง โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอากาศสำหรับผู้ใช้อาคารทั่วไปควรอยู่ในช่วงสภาวะน่าสบายที่อุณหภูมิประมาณ 24-26 oC

ก่อนการดำเนินการมาตรการควมมีการวัดค่าอุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศหลายๆ จุดในบริเวณพื้นที่ที่ดำเนินการแล้วนำค่ามาเฉลี่ยเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ย และต้องทำเครื่องหมายตำแหน่งที่ตรวจวัดไว้เพื่อให้สามารถกลับมาตรวจวัดค่าและเปรียบเทียบผลได้ภายหลังการปรับปรุง

ค่าอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศเฉลี่ยบริเวณติดตั้งเครื่องปรับอากาศสามารถหาได้จากสมการ

$$T_{k,Pre} = \frac{\sum_{j=1}^m T_{k,Pre}}{p}$$

โดยที่

$T_{k,Pre}$  = อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอากาศ k ก่อนการปรับปรุง (°C)

$T_{kl,Pre}$  = อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอากาศ k จุดตรวจวัด l ก่อนการปรับปรุง (°C)

k = พื้นที่ปรับอากาศ k ที่ทำการตรวจวัด

kl = พื้นที่ปรับอากาศ k จุดตรวจวัดอุณหภูมิที่ l

p = จำนวนจุดตรวจวัดอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศ k

#### 4.2.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

##### 1) การหาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

การคำนวณประสิทธิภาพหรือค่า EER ของเครื่องปรับอากาศหลังการปรับปรุงสามารถใช้วิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์เช่นเดียวกับก่อนการปรับปรุง และใช้ตาราง 4.2-1 ในการคำนวณหาค่า EER ที่สภาวะมาตรฐาน ในกรณีที่มาตรการอนุรักษ์พลังงานเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศทดแทนเครื่องเดิม แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดรูปแบบ A อนุโลมให้ใช้ค่า EER จาก Specification ของเครื่องปรับอากาศ ที่ผ่านการรับรองจากหน่วยงานหรือสถาบันที่น่าเชื่อถือ เช่น ค่า EER จากฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย แทนการตรวจวัดประสิทธิภาพได้

##### 2) การวิเคราะห์และสุ่มตัวอย่างเครื่องปรับอากาศ

การจัดกลุ่มและสุ่มตัวอย่างเครื่องปรับอากาศตามประเภท ขนาด อายุ และลักษณะการใช้งาน และทำการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศ ให้ดำเนินการในลักษณะเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง

##### 3) การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศหลังการปรับปรุงหาได้จากผลรวมของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศคูณด้วยชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละกลุ่มดังสมการ

$$E_{Comp,Post} = \sum_{j=1}^n (P_{i,Comp,Post} \times N_i \times H_{i,Post})$$

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

$P_{i,Comp,Post}$ โดยที่	=	$\sum_{j=1}^m \left( \frac{CL_{STD,ij,Post}}{EER_{STD,ij,Post}} \right)$
$P_{i,Comp,Post}$	=	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

หลังการดำเนินการมาตรการควมมีการวัดค่าอุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศในตำแหน่งที่ตรวจวัดไว้ก่อนการปรับปรุงเพื่อเปรียบเทียบผลค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ ทั้งนี้อุณหภูมิของพื้นที่หลังการปรับปรุงไม่ควรสูงกว่าอุณหภูมิก่อนการปรับปรุง ยกเว้นอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศก่อนปรับปรุงอยู่ในสภาพที่เย็นเกินไปจากการที่ไม่สามารถควบคุมเครื่องปรับอากาศได้อย่างเหมาะสม

ค่าอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศเฉลี่ยบริเวณติดตั้งเครื่องปรับอากาศสามารถหาได้จากสมการ

$T_{k,Post}$ โดยที่	=	$\frac{\sum_{j=1}^n T_{k,Post}}{p}$
$T_{k,Post}$	=	อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอากาศ $k$ หลังการปรับปรุง (°C)
$T_{kl,Post}$	=	อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอากาศ $k$ จุดตรวจวัด $l$ หลังการปรับปรุง (°C)
$k$	=	พื้นที่ปรับอากาศ $k$ ที่ทำการตรวจวัด
$kl$	=	พื้นที่ปรับอากาศ $k$ จุดตรวจวัดอุณหภูมิที่ $l$
$p$	=	จำนวนจุดตรวจวัดอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศ $k$

### 4.2.6 การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

#### 1) ผลการประหยัดพลังงาน

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสามารถหาได้จากผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยค่า EER ของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้นเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดผลประหยัด อย่างไรก็ตามสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงานจะต้องตกลงร่วมกันว่าจะใช้สภาพการใช้งานในช่วงใดเป็นกรณีฐานในการคิดผลประหยัดพลังงาน โดยสามารถแสดงสมการในแต่ละกรณีที่เป็นไปได้ดังนี้



70

1.1) กรณีที่ใช้สภาพก่อนการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน  
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศจากช่วงเวลาตรวจวัดก่อนการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน ดังสมการ

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

$$E_{BL} = \sum_{i=1}^n (P_{i,Comp,Pre} \times N_i \times H_{i,Pre})$$

$$E_{FN} = \sum_{i=1}^n (P_{i,Comp,Pre} \times N_i \times H_{i,Pre})$$

โดยที่

$E_{Save}$	=	พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/y)
$E_{BL}$	=	พลังงานที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)
$E_{FN}$	=	พลังงานที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)
$P_{i,Comp,Pre}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม $i$ ก่อนการปรับปรุง (kW)
$P_{i,Comp,Post}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม $i$ หลังการปรับปรุง (kW)
$N_i$	=	จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม $i$ ที่ทำการปรับปรุงตามมาตรฐาน (Set)
$H_{i,Pre}$	=	ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม $i$ ก่อนการปรับปรุง (h/y)
$i$	=	เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ $i$
$n$	=	จำนวนกลุ่มเครื่องปรับอากาศซึ่งแบ่งตามประเภท ขนาด อายุใช้งาน และลักษณะใช้งาน

1.2) กรณีที่ใช้สภาพหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน  
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศจากช่วงเวลาตรวจวัดหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน ดังสมการ

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

$$E_{BL} = \sum_{i=1}^n (P_{i,Comp,Pre} \times N_i \times H_{i,Pre})$$

$$E_{FN} = \sum_{i=1}^n (P_{i,Comp,Post} \times N_i \times H_{i,Pre})$$

โดยที่

$E_{Save}$	=	พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/y)
$E_{BL}$	=	พลังงานที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)
$E_{FN}$	=	พลังงานที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)
$P_{i,Comp,Pre}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม $i$ ก่อนการปรับปรุง (kW)
$P_{i,Comp,Post}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม $i$ หลังการปรับปรุง (kW)
$N_i$	=	จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม $i$ ที่ทำการปรับปรุงตามมาตรฐาน (Set)
$H_{i,Post}$	=	ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม $i$ หลังการปรับปรุง (h/y)
$i$	=	เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ $i$
$n$	=	จำนวนกลุ่มเครื่องปรับอากาศซึ่งแบ่งตามประเภท ขนาด อายุใช้งาน และลักษณะใช้งาน





1.3) กรณีที่กำหนดสภาพการใช้งานปกติเป็นกรณีฐาน  
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศอื่นซึ่งกำหนด

ให้เป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติเป็นกรณีฐาน ดังสมการ

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

$$E_{BL} = \sum_{i=1}^n (P_{i,Comp,Pre} \times N_i \times H_{i,Norm})$$

$$E_{FN} = \sum_{i=1}^n (P_{i,Comp,Post} \times N_i \times H_{i,Norm})$$

โดยที่

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

$E_{BL}$  = พลังงานที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

$E_{FN}$  = พลังงานที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)

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

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

$N_i$  = จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม i ที่ปรับปรุงตามมาตรการ (Set)

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

$i$  = เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i

$n$  = จำนวนกลุ่มเครื่องปรับอากาศซึ่งแบ่งตามประเภท ขนาด อายุใช้งาน และลักษณะใช้งาน

2) ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน

ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานจากมาตรการสามารถคำนวณได้ดังนี้

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

โดยที่

$\%Save$  = เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน (%)

$E_{BL}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

$E_{FN}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)

3) ผลการประหยัดพลังงานทางการเงิน

ผลการประหยัดพลังงานทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ปีฐาน และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

โดยที่

$C_{Save}$  = จำนวนเงินที่ประหยัดได้ (Baht/y)

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

$C_E$  = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา EPC (Baht/kWh)

**หมายเหตุ** อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานโดยมากจะกำหนดจากอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเฉลี่ย ณ ปีที่ทำสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract : EPC) ถ้าบริษัทจัดการพลังงาน สถานประกอบการ และสถาบันการเงินเห็นพ้องต้องกันว่าควรใช้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอื่น เช่น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ณ เดือนที่เซ็นสัญญา หรืออัตราค่าพลังงานแปรผันตามจริง ให้ระบุลงใน EPC และข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน



#### 4.2.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ใ้ ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน สำหรับมาตรการนี้ตัวแปร หรือข้อมูลได้มาจากวิธีการต่างๆ ได้แก่

##### 1) ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

มาตรการนี้ต้องทำการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้า ความสามารถในการทำความเย็น และ ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยเป็นการตรวจวัดแบบชั่วขณะตามวิธีการดังนี้

##### 1.1) การตรวจวัดประสิทธิภาพ (ค่า EER) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ขณะตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศต้องทำงานที่ภาระเต็มพิกัด หรือ ใกล้ภาระเต็มพิกัดมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยปรับตั้งอุณหภูมิให้ต่ำที่สุดขณะตรวจวัดเพื่อให้คอมเพรสเซอร์ ทำงานตลอดเวลา และปรับความเร็วของลมจ่ายให้สูงสุด ตรวจสอบไม่ให้เกิดการกีดขวางทางลม หากแผงกรอง อากาศอุดตันให้ถอดแผงกรองอากาศออก

วัดค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ กำลังไฟฟ้า (kW) แรงดันไฟฟ้า (V) และกระแสไฟฟ้า (A) รวมทั้งช่วงเวลาการตัดต่อของคอมเพรสเซอร์ เพื่อวัดการใช้พลังงานและตรวจสอบสภาพการทำงาน ของคอมเพรสเซอร์

วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของลมจ่ายและลม กลับเข้าคอยล์เย็น รวมทั้งอัตราการไหลของลมจ่ายเพื่อคำนวณความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ และวัดค่าอุณหภูมิของอากาศที่เข้าคอยล์ระบายความร้อนเพื่อใช้ปรับค่า EER ไปที่สภาวะมาตรฐาน



รูปที่ 4.2-1 แสดงการตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

##### 1.2) การตรวจวัดชั่วโมงทำงาน

- ตั้ง Thermostat ที่อุณหภูมิปรับอากาศใช้งานปกติ เช่น 25 °C
- ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง เพื่อเก็บรอบการตัดต่อของคอมเพรสเซอร์ สำหรับการคำนวณชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ หรือติดตั้งมิเตอร์นับชั่วโมงทำงานของคอมเพรสเซอร์เพื่อเก็บข้อมูลชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศในระยะยาว



รูปที่ 4.2-2 เครื่องนับชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ

2) ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ข้อมูลจากสถานประกอบการที่สำคัญสำหรับมาตรการนี้คือ ข้อมูลชั่วโมงทำงานของพื้นที่ปรับอากาศ และข้อมูลลักษณะการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะต้องมีการเก็บบันทึกไว้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานควรตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งสถานประกอบการเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

3) ข้อมูลจากผู้ผลิต

สามารถใช้ข้อมูล Specification ได้แก่ ขนาดการทำคามเย็น และค่า EER ของเครื่องปรับอากาศใหม่ที่ผ่านมาการรับรองจากหน่วยงานหรือสถาบันที่น่าเชื่อถือ

4) ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น

สามารถใช้ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา หรือเว็บไซต์ที่น่าเชื่อถือ เป็นข้อมูลประกอบในการตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ โดยเฉพาะในกรณีที่มีเครื่องปรับอากาศจำนวนมาก หรือมีพื้นที่จำกัดไม่สามารถเข้าไปตรวจวัดบริเวณคอยล์ระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศได้

#### 4.2.8 รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน มี 2 ชนิด ได้แก่ ตัวแปรหลัก และตัวแปรควบคุม

1) ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อ การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลการประหยัดพลังงาน ผลการประหยัดพลังงานทางการเงิน สำหรับตัวแปรหลักของมาตรการนี้ ได้แก่

- 1.1) กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (kW)
- 1.2) ขนาดหรือความสามารถในการทำคามเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)
- 1.3) อุณหภูมิอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ ( $^{\circ}\text{C}$ )
- 1.4) ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ (h/y)

2) ตัวแปรควบคุม หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรฐานอนุรักษ์พลังงาน บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นและเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10% สำหรับตัวแปรควบคุมของมาตรฐานนี้ ได้แก่

2.1) สภาพการปรับอากาศ การตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ ลักษณะการใช้งานของพื้นที่ปรับอากาศ ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงควรใกล้เคียงกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะสภาพการปรับอากาศจะมีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

2.2) สภาพการใช้งานและบำรุงรักษาของเครื่องปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศมีการเปิดใช้งาน และได้รับการตรวจสอบดูแลบำรุงรักษาเพื่อรักษาสภาพเครื่องให้ทำงานได้ปกติ

### 3) คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$P_{Comp}$	W, kW	กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า
$P_{i,Comp,Pre}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i ก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากค่า EER และความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าก่อนการปรับปรุง
$P_{i,Comp,Post}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i หลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากค่า EER และความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าหลังการปรับปรุง
CL	Btu/h	ขนาดหรือความสามารถในการทำความเย็น	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศ	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าสอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย



ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$CL_{STD,ij,Pre}$	Btu/h	ขนาดหรือความสามารถในการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i เครื่องที่ j ก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศและตารางค่าแก้ไข	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าสอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
$CL_{STD,ij,Post}$	Btu/h	ขนาดหรือความสามารถในการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i เครื่องที่ j หลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศและตารางค่าแก้ไข	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าสอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
EER	Btu/h/W	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Ratio)	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าสอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
$EER_{STD}$	Btu/h/W	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Ratio) ที่สภาวะมาตรฐานที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน (Condenser) 35 °C และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ 19.4 °C	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ และตารางค่าแก้ไข	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าสอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$EER_{STD,ij,Pre}$	Btu/h/W	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศที่สภาวะมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i เครื่องที่ j ก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ และตารางค่าแก้ไข	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าสอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
$EER_{STD,ij,Post}$	Btu/h/W	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศที่สภาวะมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i เครื่องที่ j หลังการปรับปรุง	จากการคำนวณหรือจากค่า EER ใน Specification ของเครื่องปรับอากาศ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ และตารางค่าแก้ไข	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าสอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
$h_r$	Btu/lb	เอนทาลปีของอากาศลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (Return Air) ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง $T_r$ และความชื้นสัมพัทธ์ $RH_r$	จากแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart)	-	-
$h_s$	Btu/lb	เอนทาลปีของอากาศลมจ่ายจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ (Supply Air) ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง $T_s$ และความชื้นสัมพัทธ์ $RH_s$	จากแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart)	-	-



ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$F_s$	cfm	อัตราการไหลของลมเย็นจ่ายออกจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	1. ใช้เครื่องวัดความเร็วลมตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย 2. ใช้ตลับเมตรวัดพื้นที่ช่องจ่ายลมเย็น 3. คำนวณอัตราการไหลจากค่าความเร็วลมและพื้นที่ช่องจ่ายลมเย็น	บันทึกค่า 1 ค่า สอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
$T_s$	°C, °F	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมจ่ายออกจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า สอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
$RH_s$	%	ความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายออกจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า สอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
$T_r$	°C, °F	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า สอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
$RH_r$	%	ความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า สอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$T_{i,Pre}$	$^{\circ}C$	อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอากาศ i ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 จุดและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า
$T_{kl,Pre}$	$^{\circ}C$	อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอากาศ k จุดตรวจวัดที่ l ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศตรวจวัด	บันทึกค่าตรวจวัด 1 ค่า
$T_{i,Post}$	$^{\circ}C$	อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอากาศ i หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 จุดและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า
$T_{kl,Post}$	$^{\circ}C$	อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอากาศ k จุดตรวจวัดที่ l หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศตรวจวัด	บันทึกค่าตรวจวัด 1 ค่า
$T_{amb}$	$^{\circ}C$	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าสอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
$T_{wb_r}$	$^{\circ}C$	อุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าสอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
$CF_{kW} (T_{amb}, T_{wb_r})$	-	ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ	จากตารางค่าแก้ไข	-	-







ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$CF_{CL}$ ( $T_{amb}, T_{wb_r}$ )	-	ค่าแก้ไขความสามารถในการทำความเย็นที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ	จากตารางค่าแก้ไข	-	-
$n_0$	Set	ขนาดการสู่มตัวอย่างเบื้องต้นก่อนที่จะเริ่มสู่มตัวอย่างจริง	จากการคำนวณ	-	-
CV	-	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variance)	คำนวณจากการนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหารด้วยค่าเฉลี่ยของข้อมูล ในการคำนวณใช้ค่า 0.5 เป็นค่าเริ่มต้น จนกว่าจะสามารถหาประมาณการค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรจากการสู่มตัวอย่างจริง	-	-
e	-	ระดับความคลาดเคลื่อน	กำหนดค่าที่ 10%	-	-

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
Z	-	ค่าการแจกแจงแบบปกติสำหรับข้อมูลที่มีจำนวนจำกัด ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด	ใช้ค่า 1.64 สำหรับระดับความเชื่อมั่น 90%	-	-
$n_1$	Set	ขนาดการสุ่มตัวอย่างที่ได้ปรับลดลง	จากการคำนวณ	-	-
N	Set	จำนวนข้อมูลของประชากรที่จะสุ่มตัวอย่าง	ข้อมูลจากการสำรวจและกำหนดขอบเขตการดำเนินงาน	-	-
$H_{i,Pre}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริง	1. ติดตั้งเครื่องนับชั่วโมงทำงานคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศที่เป็นตัวแทนสุ่มตัวอย่างจากเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม i ตลอดช่วงเวลาการตรวจวัด หรือ 2. ใช้เครื่องวัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อประเมิน % ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศร่วมกับข้อมูลชั่วโมงทำงานของพื้นที่ปรับอากาศจากสถานประกอบการ	บันทึกค่า 1 ครั้งก่อนการปรับปรุง



ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$H_{i,Post}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริง	1. ติดตั้งเครื่องนับชั่วโมงทำงานคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศที่เป็นตัวแทนสุ่มตัวอย่างจากเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม i ตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด หรือ 2. ใช้เครื่องวัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อประเมิน % ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศร่วมกับข้อมูลชั่วโมงทำงานของพื้นที่ปรับอากาศจากสถานประกอบการ	บันทึกข้อมูลอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้งและสรุปผลรายปี
$H_{i,Norm}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i ซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ	จากการกำหนดค่าโดยอยู่บนพื้นฐานของข้อมูล	กำหนดชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศเพื่อเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ	กำหนดค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นตัวแทนชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศที่สภาพการใช้งานปกติ
$E_{BL}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$E_{FN}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นและระบบไอซินหลังการปรับปรุง	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$E_{Save}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
%Save	%	เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$C_{Save}$	Baht/y	จำนวนเงินที่ประหยัดได้	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานและอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา EPC	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$C_E$	Baht/kWh	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา EPC	จากการคำนวณ	คำนวณจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าของสถานประกอบการระยะเวลา 12 เดือน	ทุกเดือนตามรอบบิลของค่าไฟฟ้า



ตัวห้อยท้ายตัวแปร	ความหมาย
Pre	สถานะของตัวแปรก่อนการปรับปรุง
Post	สถานะของตัวแปรหลังการปรับปรุง
Comp	เครื่องปรับอากาศ (ส่วนคอมเพรสเซอร์)
s	จ่ายออกจากเครื่องปรับอากาศ (Supply)
r	กลับเข้าเครื่องปรับอากาศ (Return)
kW	กำลังไฟฟ้า
CL	ความสามารถในการทำความเย็น
STD	สถานะมาตรฐานสำหรับการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
Norm	สภาพที่กำหนดเป็นตัวแทนการใช้งาน
i	เครื่องปรับอากาศกลุ่มที่ i
ij	เครื่องปรับอากาศกลุ่ม i เครื่องที่ j
k	พื้นที่ปรับอากาศ k ที่ทำการตรวจวัด
kl	พื้นที่ปรับอากาศ k จุดตรวจวัดอุณหภูมิที่ l
BL	กรณีฐานก่อนการปรับปรุง
FN	กรณีฐานหลังการปรับปรุง
SAVE	ผลการประหยัด
E	พลังงานไฟฟ้า

#### 4.2.9 บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	23/09/2557	ฉบับร่าง
1	13/10/2558	แก้ไขรายละเอียดสูตรการคำนวณและกรณีตัวอย่าง

#### 4.2.10 กรณีศึกษาและวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน: มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioner)

##### 4.2.10.1 รายละเอียดมาตรการ

อาคารที่ทำการบริษัท XYZ เปิดใช้งานมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 มีการติดตั้งใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split-Type Air Conditioner) เพื่อใช้งานในพื้นที่ต่างๆ ของอาคาร โดยมีเครื่องปรับอากาศตั้งแต่ขนาด 18,000 จนถึง 36,000 บีทียูต่อชั่วโมง ในจำนวนเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานในปัจจุบันมีจำนวนหนึ่งที่ติดตั้งใช้งานมาตั้งแต่เริ่มเปิดอาคาร จึงมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี และอีกจำนวนหนึ่งติดตั้งเพิ่มเติมภายหลัง จากอายุการใช้งานและสภาพของเครื่องปรับอากาศรุ่นเก่าที่ติดตั้งมาพร้อมอาคาร คณะผู้บริหารของบริษัทจึงมีความคิดที่จะเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศรุ่นเก่าที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี เป็นเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่รุ่นธรรมดา (ไม่ใช่ระบบ Inverter) ที่มีฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 เพื่อที่จะประหยัดค่าไฟฟ้าของอาคาร

#### 4.2.10.2 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานของมาตรการอนุรักษ์พลังงานนี้เลือกดำเนินการตามรูปแบบ A การตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักแยกรายมาตรการ (Option A: Retrofit Isolation with Key Parameter Measurement) ตามระเบียบวิธีการ IPMVP โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) สภาพการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์

สภาพการติดตั้งเครื่องปรับอากาศในปัจจุบันสามารถสรุปได้จากผลการสำรวจพื้นที่ดังตารางที่ 4.2.10-1

**ตารางที่ 4.2.10-1** รายการเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งในอาคารบริษัท XYZ

พื้นที่	ลักษณะการใช้พื้นที่	ประเภท	ขนาดการทำความเย็น(Btu/h)	จำนวน	ปีที่ติดตั้ง	อายุใช้งาน (ปี)
<b>อาคารชั้น 1</b>						
ผู้จัดการฝ่ายบัญชีและการเงิน	MN	Ceiling	18,000	1	2553	<5
ฝ่ายบัญชีและการเงิน	PS	Ceiling	36,000	7	2545	>10
ฝ่ายบริการลูกค้า	PS	Ceiling	36,000	5	2545	>10
โถงอาคาร	PS	Ceiling	36,000	4	2545	>10
<b>อาคารชั้น 2</b>						
รองกรรมการผู้จัดการ	MN	Ceiling	24,000	1	2545	>10
กรรมการผู้จัดการ	MN	Ceiling	24,000	1	2545	>10
ห้องประชุมใหญ่	MT	Ceiling	36,000	3	2550	5-10
ฝ่ายจัดซื้อ	GA	Ceiling	36,000	5	2545	>10
ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ	MN	Ceiling	24,000	1	2545	>10
ฝ่ายบุคคล	GA	Ceiling	36,000	4	2545	>10
ผู้จัดการฝ่ายบุคคล	MN	Ceiling	24,000	1	2545	>10
<b>อาคารชั้น 3</b>						
ผู้จัดการฝ่ายปฏิบัติการ	MN	Ceiling	24,000	1	2545	>10
ฝ่ายปฏิบัติการ	GA	Ceiling	36,000	10	2545	>10
ผู้จัดการฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์	MN	Ceiling	24,000	1	2545	>10
ฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์	GA	Ceiling	36,000	5	2553	<5
<b>รวมทั้งหมด</b>				<b>50</b>		

#### หมายเหตุ

GA: พื้นที่ทำงานทั่วไป (General Administration)

PS: พื้นที่บริการที่มีคนเข้าออกประจำ (Public Service)

MN: ห้องผู้บริหาร (Management Office)

MT: ห้องประชุมและพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้งานประจำ (Meeting & Non-regular Use)



จากรายการเครื่องปรับอากาศทั้งหมดได้กำหนดขอบเขตการดำเนินการของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ดังนี้

สภาพก่อนการปรับปรุง	สภาพหลังการปรับปรุง
<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งมีอายุใช้งานมากกว่า 10 ปี จำนวน 41 เครื่อง แบ่งเป็น ขนาด 24,000 Btu/h จำนวน 6 เครื่อง ขนาด 36,000 Btu/h จำนวน 35 เครื่อง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนรุ่นธรรมดา ซึ่งมีฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 จำนวน 41 เครื่อง ขนาด 24,000 Btu/h จำนวน 6 เครื่อง ขนาด 36,000 Btu/h จำนวน 35 เครื่อง</li> </ul>

## 2) วิธีการตรวจวัด

การตรวจวัดการใช้พลังงานใช้การสุ่มตัวอย่างจากจำนวนเครื่องปรับอากาศทั้งหมด โดยแบ่งกลุ่มการสุ่มตัวอย่างตามขนาด ยี่ห้อ และอายุใช้งาน และกำหนดขนาดการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Size) โดยใช้ค่าระดับความเชื่อมั่น (Confidence Level) 90% และค่าความคลาดเคลื่อน (Precision) 10%

ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างจะทำการสุ่มตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศก่อนปรับปรุงโดยการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า อุณหภูมิของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน (Condenser) และอุณหภูมิความชื้นของลมจ่ายและลมกลับเข้าคอยล์เย็น เพื่อหาค่าประสิทธิภาพ (EER) ของเครื่องปรับอากาศที่สภาวะมาตรฐาน หลังจากนั้นจะติดตั้งเครื่องนับชั่วโมงทำงาน (Run hour Meter) ก่อนและหลังการปรับปรุง โดยมีตัวแปรควบคุมคือ อุณหภูมิควบคุมของห้องปรับอากาศ ณ บริเวณที่ผู้ใช้อาคารปฏิบัติงาน ซึ่งตั้งไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส แตกต่างกันไม่เกิน  $\pm 1$  องศาเซลเซียส และภาระการปรับอากาศ (จำนวนคน เครื่องจักร ระบบแสงสว่าง) คงที่ก่อนและหลังปรับปรุง ทั้งนี้ในการคำนวณ M&V Unit จะนำค่า EER ที่สภาวะมาตรฐานก่อนและหลังการปรับปรุงมาเปรียบเทียบกัน เพื่อคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ที่ปริมาณภาระการปรับอากาศเท่าเดิม และใช้ชั่วโมงการทำงานคำนวณเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

### 2.1) การตรวจวัดก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$P_{Comp}$	W, kW	กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า
$F_s$	cfm	อัตราการไหลของลมเย็นจ่ายออกจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัดแบบชั่วขณะ	1. ใช้เครื่องวัดความเร็วลมตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย 2. ใช้ตลับเมตรวัดพื้นที่ช่องจ่ายลมเย็น 3. คำนวณอัตราการไหลจากค่าความเร็วลมและพื้นที่ช่องจ่ายลมเย็น	บันทึกค่า 1 ค่า สอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$T_s$	°C, °F	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง ของลมจ่ายออก จากคอยล์เย็น ของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัด แบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ อากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า สอดคล้องกับค่ากำลัง ไฟฟ้าเฉลี่ย
$RH_s$	%	ความชื้นสัมพัทธ์ ของลมจ่ายออก จากคอยล์เย็น ของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัด แบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ อากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า สอดคล้องกับค่ากำลัง ไฟฟ้าเฉลี่ย
$T_r$	°C, °F	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง ของลมกลับ เข้าคอยล์เย็น ของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัด แบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ อากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า สอดคล้องกับค่ากำลัง ไฟฟ้าเฉลี่ย
$RH_r$	%	ความชื้นสัมพัทธ์ ของลมกลับ เข้าคอยล์เย็น ของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัด แบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ อากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า สอดคล้องกับค่ากำลัง ไฟฟ้าเฉลี่ย
$T_{i,Pre}$	°C	อุณหภูมิเฉลี่ย ของพื้นที่ปรับอากาศ i ก่อน การปรับปรุง	จากการตรวจวัด แบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ อากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 จุดและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการ ตรวจวัด 1 ค่า
$T_{amb}$	°C	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง ของอากาศเข้า คอยล์ระบาย ความร้อนของ เครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัด แบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ อากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการ ตรวจวัด 1 ค่า สอดคล้องกับค่ากำลัง ไฟฟ้าเฉลี่ย



ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$T_{wb_r}$	$^{\circ}\text{C}$	อุณหภูมิ กระเปาะเปียก ของลมกลับ เข้าคอยล์เย็น ของเครื่องปรับอากาศ	จากการตรวจวัด แบบชั่วขณะ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ อากาศตรวจวัดอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจาก การตรวจวัด 1 ค่า สอดคล้องกับค่ากำลัง ไฟฟ้าเฉลี่ย
$H_{i,Pre}$	h/y	ชั่วโมงทำงาน ของเครื่อง ปรับอากาศ กลุ่ม i ก่อนการ ปรับปรุง	จากการตรวจ วัดชั่วโมงทำงาน จริง	ติดตั้งเครื่องนับชั่วโมง ทำงานคอมพิวเตอร์ เครื่องปรับอากาศ ที่เป็นตัวแทนสุ่ม ตัวอย่างจากเครื่อง ปรับอากาศในกลุ่ม i ตลอดช่วงเวลาการ ตรวจวัด	บันทึกค่า 1 ครั้งก่อน การปรับปรุง

## 2.2) การตรวจวัดหลังการปรับปรุง

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$EER_{STD,ij,Post}$	Btu/h/W	อัตราส่วน ประสิทธิภาพ พลังงานของ เครื่องปรับอากาศ ที่สภาวะ มาตรฐานของ เครื่องปรับอากาศ กลุ่มที่ i เครื่องที่ j หลัง การปรับปรุง	จากค่า EER ใน Specification ของเครื่องปรับอากาศ	-	บันทึกค่า 1 ค่า
$T_{i,Post}$	$^{\circ}\text{C}$	อุณหภูมิเฉลี่ย ของพื้นที่ปรับอากาศ i หลัง การปรับปรุง	จากการตรวจวัด แบบชั่ว ขณะ	ใช้เครื่องวัด อุณหภูมิอากาศ ตรวจวัดอย่างน้อย 5 จุดและหาค่า เฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ยจาก การตรวจวัด 1 ค่า

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$H_{i,Post}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศกลุ่ม i หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริง	ติดตั้งเครื่องนับชั่วโมงทำงานคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศที่เป็นตัวแทนสุ่มตัวอย่างจากเครื่องปรับอากาศในกลุ่ม i ตลอดช่วงเวลาการตรวจวัด	บันทึกข้อมูลอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง และสรุปผลรายปี

### 3) ตัวแปรควบคุม

ตัวแปรควบคุม	สภาพการควบคุม
อุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศ	ตั้งค่า Thermostat ของเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25 °C ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง
ภาระการทำความเย็น	ลักษณะการใช้งานพื้นที่ปรับอากาศของอาคาร และจำนวนผู้ใช้งานไม่เปลี่ยนแปลง
สภาพการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ	เครื่องปรับอากาศมีการเปิดใช้งาน และได้รับการตรวจสอบบำรุงรักษาซ่อมแซมตามแผนการบำรุงรักษา เพื่อให้ทำงานได้ปกติและมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด ทั้งก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

#### 4.2.10.3 การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

##### 1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

##### 1.1) การตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

จากตารางแสดงรายการเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งในอาคารนำมาจัดกลุ่มตามอายุการใช้งาน และขนาดการทำความเย็น และลักษณะการใช้พื้นที่ซึ่งมีต่อการใช้งาน ดังนี้



**ตารางที่ 4.2.10-2** การจัดกลุ่มเครื่องปรับอากาศตามอายุใช้งานและขนาดการทำความเย็น

อายุการใช้งาน (ปี)	ขนาดการทำความเย็น (Btu/h)			รวม
	18,000	24,000	36,000	
<5	1		5	6
5-10			3	3
>10		6	35	41
รวม	1	6	43	50

**ตารางที่ 4.2.10-3** การจัดกลุ่มตัวอย่างตามลักษณะการใช้พื้นที่

ลักษณะการใช้พื้นที่	รวม	อายุใช้งาน >10 ปี
GA: พื้นที่ทำงานทั่วไป (General Administration)	24	19
PS: พื้นที่บริการที่มีคนเข้าออกประจำ (Public Service)	16	16
MN: ห้องผู้บริหาร (Management Office)	7	6
MT: ห้องประชุมและพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้งานประจำ (Meeting & Non-regular Use)	3	0
รวม	50	41

ขอบเขตการดำเนินการมาตรการจะพิจารณาเปลี่ยนเฉพาะเครื่องปรับอากาศที่มีอายุใช้งานมากกว่า 10 ปี ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศขนาด 24,000 Btu/h จำนวน 6 เครื่อง และเครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 Btu/h จำนวน 35 เครื่อง จากจำนวนเครื่องปรับอากาศตามขอบเขตของมาตรการสามารถคำนวณขนาดการสุ่มตัวอย่างตามระเบียบวิธีการ IMPVP ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% และความคลาดเคลื่อน 10% ดังนี้

**ตารางที่ 4.2.10-4** ขนาดการสุ่มตัวอย่างสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด 24,000 และ 36,000 Btu/h ซึ่งมีอายุใช้งานมากกว่า 10 ปี

กลุ่มตัวอย่าง	$n_0 - \frac{z^2 \times cv^2}{e^2}$ ที่ CV = 0.5 z=1.64 e=0.1	N	$n_2 - \frac{n_2 N}{n_2 + N}$
24,000 Btu/h >10 ปี	67	6	6
36,000 Btu/h >10 ปี	67	35	23

จากตารางที่ 4.2.10-4 เมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของข้อมูล (CV) เท่ากับ 0.5 ได้ขนาดการสุ่มตัวอย่างเบื้องต้นสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด 24,000 และ 36,000 Btu/h เท่ากับ 6 และ 23 ตามลำดับ หลังจากนั้นได้ทำการตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศในเบื้องต้นก่อน 10 เครื่อง ได้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่สภาวะมาตรฐาน ( $EER_{STD}$ ) ของเครื่องปรับอากาศทั้ง 10 เครื่อง ดังตารางที่ 4.2.10-5

ตารางที่ 4.2.10-5 ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

No.	พื้นที่	ขนาด (Btu/h) CL <sub>STD</sub>	ลมกลับ		ลมจ่าย		อัตราการไหล (cfm) F <sub>s</sub>	กำลังไฟเพื่อขับเคลื่อนปรับอากาศ				อากาศเข้าคอยล์ร้อน (°C) T <sub>amb</sub>	ค่าพียง		ความหนาแน่นในร่มที่ความชื้น (Btu/h) CL	ค่า EER	
			(°C)	(%)	(°C)	(%)		แอมป์ (A)	กระแส (V)	PF	กำลังไฟเข้า (W) P <sub>Comp</sub>		ขนาด	กำลังไฟเข้า		(Btu/h) WW	(Btu/h) WW
			T <sub>r</sub>	RH <sub>r</sub>	T <sub>s</sub>	RH <sub>s</sub>											
1	ห้องกรรมการผู้จัดการ	24,000	22.5	63.0%	10.8	74.8%	386	220.0	11.9	0.98	2,566	34.0	0.9487	0.9618	18,303	76.3%	7.13
2	ฝ่ายบัญชีและการเงิน	36,000	25.0	56.6%	13.8	75.8%	737	221.0	22.0	0.93	4,522	33.6	0.9882	0.9719	30,413	84.5%	6.73
3	โถงอาคาร	36,000	28.0	51.4%	16.0	66.3%	685	216.0	19.0	0.90	3,694	33.7	1.0522	1.0008	32,307	89.7%	8.75
4	ฝ่ายบริการลูกค้า	36,000	24.1	55.0%	11.7	87.7%	711	219.0	20.8	0.87	3,963	33.5	0.9589	0.9577	27,816	77.3%	7.02
5	ฝ่ายบริการลูกค้า	36,000	22.8	60.7%	13.2	78.5%	711	222.0	18.0	0.99	3,956	33.5	0.9494	0.9536	24,733	68.7%	6.25
6	ฝ่ายจัดซื้อ	36,000	22.0	61.0%	11.7	87.7%	790	219.0	20.8	0.83	3,781	33.8	0.9284	0.9494	26,803	74.5%	7.09
7	ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ	24,000	22.5	64.0%	8.0	74.0%	343	218.0	11.0	1.00	2,398	32.9	0.9604	0.9480	20,537	86.6%	8.56
8	ห้องประชุมใหญ่	36,000	25.2	74.9%	16.5	84.9%	685	221.0	17.8	0.99	3,894	34.1	1.0918	1.0244	29,225	81.2%	7.50
9	ผู้จัดการฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์	24,000	22.9	67.7%	14.0	82.5%	386	215.0	10.8	0.97	2,252	32.8	0.9886	0.9593	13,840	57.7%	6.14
10	ฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์	36,000	20.6	74.5%	9.6	88.9%	685	212.0	18.0	0.96	3,663	33.4	0.9470	0.9509	31,650	87.9%	8.64

### สูตรคำนวณที่ใช้

1. หาค่าเอนทาลปีของลมกลับและลมจ่ายจาก Psychrometric Chart (h<sub>r</sub>, h<sub>s</sub>) โดยใช้ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ที่ช่องลมกลับ (T<sub>r</sub>, RH<sub>r</sub>) และช่องจ่ายลมเย็น (T<sub>s</sub>, RH<sub>s</sub>) ที่คอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

$$2. \text{คำนวณความสามารถในการทำความเย็นจากสูตร } CL = 4.5 \times (h_r - h_s) \times F_s$$

$$3. \text{คำนวณค่า EER ของเครื่องปรับอากาศจากสูตร } EER = \frac{CL}{P_{Comp}}$$

4. หาค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็น (T<sub>wbr</sub>) จาก Psychrometric Chart โดยใช้ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ที่ช่องลมกลับ (T<sub>r</sub>, RH<sub>r</sub>)

5. ใช้ค่าอุณหภูมิของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน (T<sub>amb</sub>) และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมกลับเข้าคอยล์เย็น (T<sub>wbr</sub>) หาค่าแก้ไข และคำนวณค่า EER ที่สภาวะมาตรฐาน (EER<sub>STD</sub>) จากสูตร

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

จากผลการตรวจวัดในตารางที่ 4.2.10-5 นำมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของค่า EER<sub>STD</sub> ซึ่งทำให้ได้ค่า CV จริงของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง พบว่ามีค่าต่ำกว่าค่าเบื้องต้น 0.5 จึงนำค่า CV จริงไปแทนค่าหาขนาดการสุ่มตัวอย่าง (n1) สำหรับแต่ละกลุ่มอีกครั้ง พบว่าขนาดการสุ่มตัวอย่างสำหรับแต่ละกลุ่มตัวอย่างเหลือเพียง 3 เครื่อง สำหรับ 24,000 Btu/h และ 5 เครื่อง สำหรับ 36,000 Btu/h เนื่องจากค่า CV จริงต่ำ จึงสรุปว่าการตรวจวัดประสิทธิภาพเบื้องต้น 10 เครื่องสามารถใช้เป็นตัวแทนของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในขอบเขตการดำเนินการของมาตรการได้

ตารางที่ 4.2.10-6 ผลการตรวจสอบขนาดการสุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนตรวจวัด	ค่าเฉลี่ยของ EER <sub>STD</sub>	ค่า SD ของ EER <sub>STD</sub>	ค่า CV = SD/ค่าเฉลี่ย	ขนาดการสุ่มตัวอย่างเบื้องต้น $n_0 - \frac{z^2 \times cv^2}{e^2}$	ขนาดการสุ่มตัวอย่าง $n_2 - \frac{n_2 N}{n_2 + N}$
24,000 Btu/h >10 ปี	3	7.35	1.2027	0.16	7.20	3
36,000 Btu/h >10 ปี	7	7.55	1.0753	0.14	5.46	5



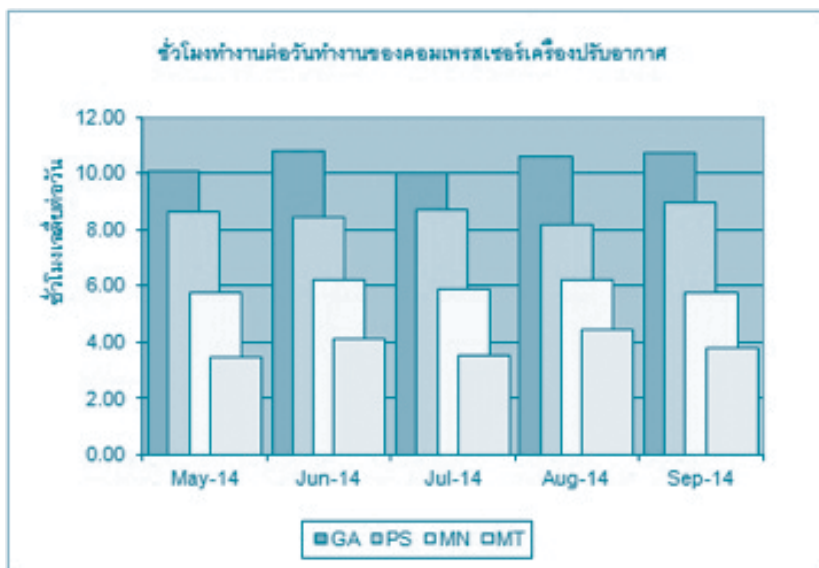
1.2) การตรวจวัดชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ

การตรวจวัดชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศสามารถใช้แนวทางการสุ่มตัวอย่างตาม IPMVP ได้ แต่เนื่องจากการติดตั้งเครื่องปรับอากาศไม่ยุ่งยากซับซ้อน และราคาไม่แพง รวมทั้งจำนวนเครื่องปรับอากาศที่ไม่มากนัก จึงติดตั้งเครื่องปรับอากาศสำหรับตรวจติดตามการใช้งานเครื่องปรับอากาศทุกตัว โดยจะวัดทั้งในส่วนชั่วโมงทำงานของคอมเพรสเซอร์ และชั่วโมงทำงานของคอยล์พัคดลม เพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องด้วย โดยชั่วโมงทำงานของคอมเพรสเซอร์จะใช้ในการคำนวณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

การติดตั้งเครื่องปรับอากาศจะเริ่มตั้งแต่ช่วง 1 เดือนก่อนการปรับปรุง คือ เดือนพฤษภาคม 2557 เพื่อเก็บข้อมูลชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศก่อนการปรับปรุง และเก็บข้อมูลต่อเนื่องต่อไปหลังการปรับปรุงเพื่อใช้ในการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

**ตารางที่ 4.2.10-7** ชั่วโมงทำงานเฉลี่ยต่อวันของคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ใช้งาน

เดือน	ชั่วโมงทำงานเฉลี่ยต่อวันทำงาน			
	GA	PS	MN	MT
ก่อนการปรับปรุง				
พฤษภาคม 2557	10.12	8.64	5.77	3.45
หลังการปรับปรุง				
มิถุนายน 2557	10.80	8.47	6.22	4.12
กรกฎาคม 2557	10.03	8.73	5.88	3.55
สิงหาคม 2557	10.61	8.16	6.22	4.46
กันยายน 2557	10.75	8.95	5.78	3.78



**รูปที่ 4.2.10-1** ชั่วโมงทำงานเฉลี่ยต่อวันของคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ใช้งาน

1.3) การวิเคราะห์การใช้พลังงาน

ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพและชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศก่อนการปรับปรุงในเดือน พฤษภาคม 2557 ได้นำมาใช้ในการประเมินการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง ดังนี้

**ตารางที่ 4.2.10-8** การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงของเครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ใช้งาน

พื้นที่	ลักษณะการใช้พื้นที่	ประเภท	ขนาดการทำความเย็น (Btu/h) $C_{LSTD,i}$	จำนวน (Set) $n_i$	อายุใช้งาน (ปี) (ปี)	ค่า EER เฉลี่ย $EER_{STD,i}$	กำลังไฟฟ้า (kW) $P_{i,Comp,Pre}$
<b>อาคารชั้น 1</b>							
ฝ่ายบัญชีและการเงิน	PS	Ceiling	36,000	7	>10	7.55	33.4
ฝ่ายบริการลูกค้า	PS	Ceiling	36,000	5	>10	7.55	23.9
โถงอาคาร	PS	Ceiling	36,000	4	>10	7.55	19.1
<b>อาคารชั้น 2</b>							
รองกรรมการผู้จัดการ	MN	Ceiling	24,000	1	>10	7.35	3.3
กรรมการผู้จัดการ	MN	Ceiling	24,000	1	>10	7.35	3.3
ฝ่ายจัดซื้อ	GA	Ceiling	36,000	5	>10	7.55	23.9
ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ	MN	Ceiling	24,000	1	>10	7.35	3.3
ฝ่ายบุคคล	GA	Ceiling	36,000	4	>10	7.55	19.1
ผู้จัดการฝ่ายบุคคล	MN	Ceiling	24,000	1	>10	7.35	3.3
<b>อาคารชั้น 3</b>							
ผู้จัดการฝ่ายปฏิบัติการ	MN	Ceiling	24,000	1	>10	7.35	3.3
ฝ่ายปฏิบัติการ	GA	Ceiling	36,000	10	>10	7.55	47.7
ผู้จัดการฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์	MN	Ceiling	24,000	1	>10	7.35	3.3
<b>รวมทั้งหมด</b>				<b>41</b>			<b>186.6</b>

**สูตรคำนวณที่ใช้**

$$P_{i,Comp,Pre} = (C_{LSTD,i} / EER_{STD,i}) \times n_i / 1,000$$

จากค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศแต่ละพื้นที่ในตารางที่ 4.2.10-8 สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศก่อนการปรับปรุงทั้งหมดที่อยู่ในขอบเขตของมาตรการเท่ากับ 186.6 kW

$$P_{Comp,Pre} = 186.6 \text{ kW}$$



1.4) การตรวจสอบสภาพพื้นที่ปรับอากาศ

ผลการตรวจสอบสภาพอุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศแต่ละพื้นที่ โดยการตรวจวัดพื้นที่ละ 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.2.10-8

**ตารางที่ 4.2.10-9** สภาพอุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศก่อนการปรับปรุง

พื้นที่	การใช้พื้นที่	อุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ (°C)					อุณหภูมิเฉลี่ยก่อนปรับปรุง (°C)
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	
		T <sub>k,Pre</sub>	T <sub>k,Pre</sub>	T <sub>k,Pre</sub>	T <sub>k,Pre</sub>	T <sub>k,Pre</sub>	T <sub>k,Pre</sub>
<b>อาคารชั้น 1</b>							
ฝ่ายบัญชีและการเงิน	PS	24.3	25.1	24.7	25.0	24.9	24.8
ฝ่ายบริการลูกค้า	PS	25.8	27.0	26.1	26.5	26.0	26.3
โถงอาคาร	PS	27.0	26.5	27.0	26.5	26.8	26.8
<b>อาคารชั้น 2</b>							
รองกรรมการผู้จัดการ	MN	24.5	24.2	24.6	25.2	24.8	24.7
กรรมการผู้จัดการ	MN	23.3	23.8	24.0	24.0	23.6	23.7
ฝ่ายจัดซื้อ	GA	24.6	25.1	25.0	25.2	24.9	25.0
ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ	MN	24.5	24.4	24.7	25.3	25.2	24.8
ฝ่ายบุคคล	GA	24.9	25.4	25.2	25.1	24.3	25.0
ผู้จัดการฝ่ายบุคคล	MN	23.4	23.8	23.9	24.5	24.8	24.1
<b>อาคารชั้น 3</b>							
ผู้จัดการฝ่ายปฏิบัติการ	MN	23.2	24.5	25.5	25.2	25.0	24.7
ฝ่ายปฏิบัติการ	GA	24.5	25.4	25.3	26.0	25.2	25.3
ผู้จัดการฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์	MN	25.5	25.0	24.5	25.1	24.7	25.0

**สูตรคำนวณที่ใช้**

$$T_{k,Pre} = \frac{\sum_{i=1}^p T_{k,Pre}}{p}$$

2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

2.1) การตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

มาตรการอนุรักษ์พลังงานนี้เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศทดแทนเครื่องเดิมจึงสามารถใช้ค่า EER ที่สภาวะมาตรฐาน (EER<sub>STD</sub>) จากฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 ซึ่งแสดงใน Specification แทนการตรวจวัดประสิทธิภาพได้ สำหรับกรณีศึกษานี้ใช้ค่า EER<sub>STD</sub> เท่ากับ 11.70 สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด 24,000 Btu/h และ 10.60 สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 Btu/h

อย่างไรก็ตามหลังจากที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศใหม่ไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่น 2 ปี ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศอาจเปลี่ยนแปลงไปตามอายุการใช้งาน ก็อาจจำเป็นต้องตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศใหม่ในลักษณะเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง และใช้ค่า EER<sub>STD</sub> ที่ตรวจวัดได้แทนการใช้ค่าจาก Specification

2.2) การตรวจวัดชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศ  
ใช้เครื่องนับชั่วโมงทำงานซึ่งติดตั้งไว้ในการตรวจติดตามและบันทึกค่าชั่วโมงทำงานหลังการปรับปรุงของเครื่องปรับอากาศดังตารางที่ 4.2.10-7

2.3) การวิเคราะห์การใช้พลังงาน  
ค่า EER<sub>STD</sub> และบันทึกชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศหลังการปรับปรุงตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2557 เป็นต้นไป ได้นำมาใช้ในการประเมินการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ดังนี้

ตารางที่ 4.2.10-10 การใช้พลังงานหลังการปรับปรุงของเครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ใช้งาน

พื้นที่	ลักษณะการใช้พื้นที่	ประเภท	ขนาดการทำความเย็น (Btu/h) C <sub>LSTD,i</sub>	จำนวน (Set) ni	อายุใช้งาน (ปี)	ค่า EER เฉลี่ย EER <sub>STD,i</sub>	กำลังไฟฟ้า (kW) P <sub>i,Comp,Post</sub>
<b>อาคารชั้น 1</b>							
ฝ่ายบัญชีและการเงิน	PS	Ceiling	36,000	7	>10	10.60	23.8
ฝ่ายบริการลูกค้า	PS	Ceiling	36,000	5	>10	10.60	17.0
โถงอาคาร	PS	Ceiling	36,000	4	>10	10.60	13.6
<b>อาคารชั้น 2</b>							
รองกรรมการผู้จัดการ	MN	Ceiling	24,000	1	>10	11.70	2.1
กรรมการผู้จัดการ	MN	Ceiling	24,000	1	>10	11.70	2.1
ฝ่ายจัดซื้อ	GA	Ceiling	36,000	5	>10	10.60	17.0
ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ	MN	Ceiling	24,000	1	>10	11.70	2.1
ฝ่ายบุคคล	GA	Ceiling	36,000	4	>10	10.60	13.6
ผู้จัดการฝ่ายบุคคล	MN	Ceiling	24,000	1	>10	11.70	2.1
<b>อาคารชั้น 3</b>							
ผู้จัดการฝ่ายปฏิบัติการ	MN	Ceiling	24,000	1	>10	11.70	2.1
ฝ่ายปฏิบัติการ	GA	Ceiling	36,000	10	>10	10.60	34.0
ผู้จัดการฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์	MN	Ceiling	24,000	1	>10	11.70	2.1
รวมทั้งหมด				41			131.2





### สูตรคำนวณที่ใช้

$$P_{i,Comp,Post} = (CL_{STD,i} / EER_{STD,i}) \times n_i / 1,000$$

จากค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศแต่ละพื้นที่ในตารางที่ 4.2.10-8 สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศก่อนการปรับปรุงทั้งหมดที่อยู่ในขอบเขตของมาตรการเท่ากับ 131.2 kW

$$P_{Comp,Pre} = 131.2 \text{ kW}$$

#### 2.4) การตรวจสอบสภาพพื้นที่ปรับอากาศ

ผลการตรวจสอบสภาพอุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศแต่ละพื้นที่ โดยการตรวจวัดพื้นที่ละ 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.2.10-11

**ตารางที่ 4.2.10-11** สภาพอุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศหลังการปรับปรุง

พื้นที่	การใช้พื้นที่	อุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ (°C)					อุณหภูมิเฉลี่ยก่อนปรับปรุง (°C)
		จุดที่ 1 T <sub>k1,Post</sub>	จุดที่ 2 T <sub>k2,Post</sub>	จุดที่ 3 T <sub>k3,Post</sub>	จุดที่ 4 T <sub>k4,Post</sub>	จุดที่ 5 T <sub>k5,Post</sub>	
<b>อาคารชั้น 1</b>							
ฝ่ายบัญชีและการเงิน	PS	24.8	25.0	25.6	24.6	25.2	25.0
ฝ่ายบริการลูกค้า	PS	25.6	24.3	23.7	24.3	25.1	24.6
โถงอาคาร	PS	25.5	25.7	25.5	25.3	25.2	25.4
<b>อาคารชั้น 2</b>							
รองกรรมการผู้จัดการ	MN	24.5	25.2	25.4	25.2	24.3	24.9
กรรมการผู้จัดการ	MN	24.5	23.8	24.9	24.2	24.8	24.4
ฝ่ายจัดซื้อ	GA	25.4	25.1	24.9	25.2	25.7	25.3
ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ	MN	25.6	25.3	25.1	24.7	24.8	25.1
ฝ่ายบุคคล	GA	25.5	25.4	25.2	25.1	24.9	25.2
ผู้จัดการฝ่ายบุคคล	MN	24.3	24.3	25.1	25.3	24.7	24.7
<b>อาคารชั้น 3</b>							
ผู้จัดการฝ่ายปฏิบัติการ	MN	24.0	25.4	25.0	25.2	24.2	24.8
ฝ่ายปฏิบัติการ	GA	25.0	25.4	25.9	26.0	25.1	25.5
ผู้จัดการฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์	MN	25.5	25.3	24.5	26.1	25.0	25.3

### สูตรคำนวณที่ใช้

$$T_{k,Post} = \frac{\sum_{i=1}^p T_{k,Post}}{p}$$

ผลการตรวจสอบสภาพอุณหภูมิพบว่าทุกๆ พื้นที่มีสภาพอุณหภูมิปรับอากาศอยู่ในช่วง 24-26 °C ซึ่งอยู่ในสภาวะน่าสบายเหมาะสมกับผู้ใช้อาคาร

3) การคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

3.1) การกำหนดกรณีฐานสำหรับการคำนวณผลประหยัด

สำหรับการดำเนินการมาตรการในกรณีตัวอย่างนี้ใช้สภาพหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน โดยคิดผลการประหยัดพลังงานตามชั่วโมงทำงานที่เกิดขึ้นจริงหลังการปรับปรุง ซึ่งเป็นแนวทางที่นิยมใช้และทำความเข้าใจได้ง่าย

3.2) ผลการประหยัดพลังงาน

กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้หาได้จากผลต่างของกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศก่อนและหลังปรับปรุงดังตารางที่ 4.2.10-12

**ตารางที่ 4.2.10-12** การคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

พื้นที่	ลักษณะการใช้พื้นที่	ประเภท	ขนาดการทำความเย็น (Btu/h) CL <sub>STD,i</sub>	จำนวน (Set) n <sub>i</sub>	อายุใช้งาน (ปี)	กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง (kW) P <sub>i,Comp,Pre</sub>	กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง (kW) P <sub>i,Comp,Post</sub>	กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kW)
<b>อาคารชั้น 1</b>								
ฝ่ายบัญชีและการเงิน	PS	Ceiling	36,000	7	>10	10.60	23.8	9.6
ฝ่ายบริการลูกค้า	PS	Ceiling	36,000	5	>10	10.60	17.0	6.9
โถงอาคาร	PS	Ceiling	36,000	4	>10	10.60	13.6	5.5
<b>อาคารชั้น 2</b>								
รองกรรมการผู้จัดการ	MN	Ceiling	24,000	1	>10	11.70	2.1	1.2
กรรมการผู้จัดการ	MN	Ceiling	24,000	1	>10	11.70	2.1	1.2
ฝ่ายจัดซื้อ	GA	Ceiling	36,000	5	>10	10.60	17.0	6.9
ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ	MN	Ceiling	24,000	1	>10	11.70	2.1	1.2
ฝ่ายบุคคล	GA	Ceiling	36,000	4	>10	10.60	13.6	5.5
ผู้จัดการฝ่ายบุคคล	MN	Ceiling	24,000	1	>10	11.70	2.1	1.2
<b>อาคารชั้น 3</b>								
ผู้จัดการฝ่ายปฏิบัติการ	MN	Ceiling	24,000	1	>10	11.70	2.1	1.2
ฝ่ายปฏิบัติการ	GA	Ceiling	36,000	10	>10	10.60	34.0	13.7
ผู้จัดการฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์	MN	Ceiling	24,000	1	>10	11.70	2.1	1.2
<b>รวมทั้งหมด</b>				<b>41</b>		<b>186.6</b>	<b>131.2</b>	<b>55.4</b>



### สูตรคำนวณที่ใช้

$$\text{กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kW)} = P_{i,Comp,Post} - P_{i,Comp,Pre}$$

จากนั้นนำกำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้มาคูณกับชั่วโมงทำงานจริงของเครื่องปรับอากาศที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละเดือนจากตารางที่ 4.2.10-7 และจำนวนวันทำงานเพื่อคำนวณหาผลการประหยัดพลังงาน ดังตัวอย่างการคิดผลการประหยัดพลังงานของเดือนมิถุนายน 2557 ในตารางที่ 4.2.10-13

**ตารางที่ 4.2.10-13** ตัวอย่างการคิดผลการประหยัดพลังงานในเดือนมิถุนายน 2557

พื้นที่	ลักษณะการใช้พื้นที่	ขนาดการทำความเย็น (Btu/h) CL <sub>STD,i</sub>	จำนวน (Set) n <sub>i</sub>	กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kW)	ชั่วโมงทำงานเฉลี่ยต่อวัน	จำนวนวันทำงานต่อเดือน	ผลการประหยัดพลังงาน (kWh)
อาคารชั้น 1							
ฝ่ายบัญชีและการเงิน	PS	36,000	7	9.6	8.47	22	1,792
ฝ่ายบริการลูกค้า	PS	36,000	5	6.9	8.47	22	1,280
โถงอาคาร	PS	36,000	4	5.5	8.47	22	1,024
อาคารชั้น 2							
รองกรรมการผู้จัดการ	MN	24,000	1	1.2	6.22	22	166
กรรมการผู้จัดการ	MN	24,000	1	1.2	6.22	22	166
ฝ่ายจัดซื้อ	GA	36,000	5	6.9	10.80	22	1,633
ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ	MN	24,000	1	1.2	6.22	22	166
ฝ่ายบุคคล	GA	36,000	4	5.5	10.80	22	1,306
ผู้จัดการฝ่ายบุคคล	MN	24,000	1	1.2	6.22	22	166
อาคารชั้น 3							
ผู้จัดการฝ่ายปฏิบัติการ	MN	24,000	1	1.2	6.22	22	166
ฝ่ายปฏิบัติการ	GA	36,000	10	13.7	10.80	22	3,265
ผู้จัดการฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์	MN	24,000	1	1.2	6.22	22	166
<b>รวมทั้งหมด</b>			<b>41</b>	<b>55.4</b>			<b>11,297</b>

### สูตรคำนวณที่ใช้

$$\text{ผลการประหยัดพลังงาน (kWh)} = \text{กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้} \times \text{ช.ม.ทำงานเฉลี่ยต่อวัน} \times \text{จำนวนวันทำงานต่อเดือน}$$

จากตารางที่ 4.2.10-13 สามารถคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานได้ในเดือนมิถุนายน 2557 เท่ากับ

$$E_{\text{Save}} = 11,297 \text{ kWh}$$

ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานจากมาตรการสามารถคำนวณได้เท่ากับ

$$\% \text{Save} = [(E_{BL} - E_{FN}) / E_{BL}] \times 100\%$$

แต่เนื่องจากการคิดปริมาณการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงใช้จำนวนเครื่องปรับอากาศและชั่วโมงทำงานเดียวกัน จึงสามารถคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานได้จากค่ากำลังไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงจากตารางที่ 4.2.10-12

$$\begin{aligned} \% \text{Save} &= [(186.6 - 131.2) / 186.6] \times 100\% \\ &= 29.7\% \end{aligned}$$

ผลการประหยัดพลังงานทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ในเดือนมิถุนายน 2557 คำนวณโดยใช้ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยจากข้อมูลของสถานประกอบการที่ 4 Baht/kWh เท่ากับ

$$\begin{aligned} C_{\text{Save}} &= E_{\text{Save}} \times C_E \\ &= 11,297 \times 4 \\ &= 45,188 \text{ Baht} \end{aligned}$$

การคำนวณผลการประหยัดพลังงานในแต่ละปีสามารถทำได้โดยการหาผลรวมของพลังงานที่ประหยัดได้ในแต่ละเดือนเป็นค่าพลังงานที่ประหยัดได้  $E_{\text{save}}$  (kWh/y) และจำนวนเงินที่ประหยัดได้  $C_{\text{save}}$  (Baht/y)

### 4.3 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน: มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

#### 4.3.1 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

1) วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเป็นเครื่องอัดอากาศที่ใช้ระบบการควบคุมแบบ Load/Unload/Off Load ไม่รวมถึงเครื่องอัดอากาศที่ใช้ระบบการควบคุมแบบ Modulating หรือ Variable Speed

2) วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ ติดตั้งร่วมด้วย เช่น มาตรการปรับแรงดันไฟฟ้าหรือมาตรการด้านการจัดการภาระงานของเครื่องอัดอากาศ ได้แก่ การติดตั้งระบบบริหารภาระงานของระบบอากาศอัด การลดระดับแรงดันอากาศอัด หรือการลดการรั่วไหลของระบบท่ออากาศอัด หรืออื่นๆ

3) ระบบควบคุมไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศที่ใช้ในมาตรการสามารถติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดแยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่นๆ ของสถานประกอบการได้

4) ภาระงานของเครื่องอัดอากาศ ได้แก่ ความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่ระดับความดันใช้งาน อาจมีความหลากหลายตามวัตถุประสงค์การใช้งาน จึงต้องใช้การตรวจวัดและคำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption, SEC) หรือกำหนดภาระการใช้งานให้มีความใกล้เคียงกันระหว่างการตรวจวัดก่อนและหลังปรับปรุง

5) วิธีการนี้แสดงแนวทางการคำนวณผลประหยัดและค่าใช้จ่ายเฉพาะด้านพลังงานเท่านั้น โดยมีได้พิจารณาผลประหยัดหรือค่าใช้จ่ายด้านอื่นๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายด้านการใช้งานและการบำรุงรักษาซึ่งเกิดขึ้นจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ขอบเขตและวิธีการในการนำผลประหยัดและค่าใช้จ่ายอื่นๆ มาพิจารณาร่วมกับผลประหยัดพลังงานนั้น ให้อยู่ในการพิจารณาและจัดทำข้อตกลงร่วมกันระหว่างสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน



6) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามแนวทางนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยคำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ในกรณีที่ต้องการเพิ่มระดับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานให้สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการนี้

#### 4.3.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานนี้อ้างอิงระเบียบวิธีการ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมี 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่ได้แสดงในเอกสารฉบับนี้ เป็นตัวอย่างการนำหลักการและรูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน รูปแบบ A การตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักแยกขนาดมาตรการ (Option A: Retrofit Isolation with Key Parameter Measurement) มาประยุกต์ใช้กับมาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) โดยใช้การประเมินประสิทธิภาพการทำงานและการตรวจวัดรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศในการประเมินอัตราการผลิตอากาศอัดแทนการตรวจวัดอัตราการไหลจริง

ช่วงระยะเวลา (Period)	แนวทางดำเนินการ	ตัวแปร	วิธีการตรวจวัด/เก็บข้อมูล
ช่วงตรวจวัดการใช้พลังงานฐาน (Baseline Period) ก่อนการปรับปรุง	<ol style="list-style-type: none"> <li>หาอัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยจากการทดสอบความสามารถในการผลิตอากาศและตรวจวัดรอบการทำงาน</li> <li>หากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอากาศอัด</li> <li>หาดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ</li> <li>คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ</li> <li>รอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ</li> <li>อัตราการผลิตอากาศอัด</li> <li>ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>ทดสอบและประเมินค่าจากรอบการทำงาน</li> <li>จากบันทึกการทำงาน of เครื่องจักร</li> </ul>
ช่วงตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง	<ol style="list-style-type: none"> <li>หาอัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยจากการทดสอบความสามารถในการผลิตอากาศและตรวจวัดรอบการทำงาน</li> <li>หากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอากาศอัด</li> <li>หาดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ</li> <li>คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ</li> <li>รอบการทำงาน of เครื่องอัดอากาศ</li> <li>อัตราการผลิตอากาศอัด</li> <li>ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>ทดสอบและประเมินค่าจากรอบการทำงาน</li> <li>จากบันทึกการทำงาน of เครื่องจักร</li> </ul>



100

ช่วงระยะเวลา (Period)	แนวทางดำเนินการ	ตัวแปร	วิธีการตรวจวัด/เก็บข้อมูล
ช่วงการติดตามรายงานผลแต่ละเดือน (Reporting Period)	1. หาอัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยจากการทดสอบความสามารถในการผลิตอากาศและตรวจวัดรอบการทำงาน 2. หากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอากาศอัด 3. หาดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ 4. คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ	- กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ - รอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ - อัตราการผลิตอากาศอัด - ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศ	- ใช้ค่าจากการตรวจวัดหลังการปรับปรุง - ตรวจวัดแบบชั่วคราว - ทดสอบและประเมินค่าจากรอบการทำงาน - จากบันทึกการทำงาน of เครื่องจักร

#### 4.3.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

##### 1) ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาของข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามมาตรฐานของ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะที่ทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากสถานประกอบการแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน ตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

##### 2) รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามหัวข้อที่แสดงไว้ในข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานเป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักอย่างน้อย 3 บท ได้แก่

2.1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

2.2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

2.3) การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานและจัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้



#### 4.3.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

##### 1) การหาความสามารถในการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศ

ความสามารถในการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศสามารถหาได้จาก Specification ของเครื่อง โดยแสดงเป็นค่าอัตราการผลิตอากาศอัดขาออกจากเครื่องอัดอากาศ (l/s) ซึ่งแปลงมาที่สภาวะบรรยากาศอ้างอิงตาม ISO 1217 (1 bar A 20 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 0%) ที่ระดับพิกัดความดันการผลิตอากาศอัด (barg)

สำหรับเครื่องอัดอากาศที่มีอายุการใช้งานนาน ความสามารถในการผลิตอากาศอัดอาจเปลี่ยนแปลงลดลงจากค่าตาม Specification พอสมควร การทดสอบหาพิกัดความสามารถในการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศตามสภาพใช้งานจริงของเครื่องสามารถทำได้โดยใช้ถังเก็บอากาศอัดที่รู้ค่าปริมาตรแน่นอน และจับเวลาที่เครื่องอัดอากาศใช้ในการสร้างความดันในถังเก็บจากระดับความดันบรรยากาศจนถึงระดับพิกัดความดันของเครื่อง และนำค่ามาคำนวณโดยใช้สมการ

$$F_{FL} = \frac{v}{t} \times \frac{(p_{FL} + 1.013)}{1.013} \times \frac{(273.15 + 20)}{T + 273.15}$$

โดยที่

$$F_{FL} = \text{ความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่ระดับพิกัดความดัน (l/s)}$$

$$V = \text{ปริมาตรของถังเก็บอากาศอัดรวมปริมาตรท่อจากเครื่องอัดอากาศ (l)}$$

$$t = \text{เวลาที่ใช้ในการสร้างความดันจนถึงพิกัดความดัน (s)}$$

$$p_{FL} = \text{ระดับความดันทดสอบตามพิกัดความดันของเครื่องอัดอากาศ (barg)}$$

$$T = \text{อุณหภูมิของอากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศ (°C) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 45 °C หรือใช้ค่าจริงที่ตรวจวัดได้}$$

อย่างไรก็ตามระดับความดันใช้งานจริงมักน้อยกว่าพิกัดความดันของเครื่อง ดังนั้นค่าความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่ความดันใช้งานจริงจึงมากกว่าค่าความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่ระดับพิกัดความดันเครื่องเสมอ ซึ่งสามารถประมาณค่าได้โดยใช้สมการ

$$F_{OP} = F_{FL} \times \frac{(p_{FL} + 1.013)}{(p_{op} + 1.013)}$$

โดยที่

$$F_{OP} = \text{ความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่ระดับความดันใช้งาน (l/s)}$$

$$F_{FL} = \text{ความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่ระดับพิกัดความดัน (l/s)}$$

$$p_{FL} = \text{ระดับความดันทดสอบตามพิกัดความดันของเครื่องอัดอากาศ (barg)}$$

$$p_{OP} = \text{ระดับความดันอากาศอัดเฉลี่ยที่ใช้งาน (barg)}$$

##### 2) การวิเคราะห์ภาระงาน

ภาระงานของเครื่องอัดอากาศ คือ อัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศที่จ่ายเข้าระบบอากาศอัด สามารถประเมินได้จากความสามารถในการผลิตอากาศอัด และการตรวจวัดรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ซึ่งประกอบด้วยช่วง Load Unload และ Offload เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F_{Avg} = \frac{F_{OP} \times t_i}{t_i + t_{ui} + t_{of}}$$

โดยที่

$$F_{Avg} = \text{อัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ย (l/s)}$$



102

- $F_{OP}$  = ความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่ระดับความดันใช้งาน (l/s)
- $t_l$  = ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Load (s)
- $t_{ul}$  = ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Unload (s)
- $t_{of}$  = ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Offload (s)

3) การหาดัชนีการใช้พลังงาน (SEC)

ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุงสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่ออัตราการผลิตอากาศอัดก่อนการปรับปรุง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$SEC_{Pre} = \frac{P_{Comp,Pre}}{F_{Avg,Pre}}$$

โดยที่

- $SEC_{Pre}$  = ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง (kW/l/s)
- $P_{Comp,Pre}$  = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง (kW)
- $F_{Avg,Pre}$  = อัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง (l/s)

4) การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุงหาได้จากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง โดยมีสมการดังนี้

$$E_{Comp,Pre} = P_{Comp,Pre} \times H_{Pre}$$

โดยที่

- $E_{Comp,Pre}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง (kWh/y)
- $P_{Comp,Pre}$  = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง (kW)
- $H_{Comp,Pre}$  = ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง (h/y)

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุงหาได้จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้า และรอบการทำงานการทำงานของเครื่องอัดอากาศในช่วงระยะเวลาซึ่งเป็นตัวแทนการใช้งานเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง โดยตรวจวัดและบันทึกข้อมูลด้วยความถี่สูงระดับวินาทีอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ความถี่ในการบันทึกและช่วงเวลาตรวจวัดอาจปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมกับสภาพการทำงานจริงของเครื่องอัดอากาศ

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุงหาได้จากสมการ

$$P_{Comp,Pre} = \frac{(P_{l,Pre} \times t_{l,Pre}) + (P_{ul,Pre} \times t_{ul,Pre})}{t_{l,Pre} + t_{ul,Pre} + t_{of,Pre}}$$

โดยที่

- $P_{Comp,Pre}$  = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง (kW)
- $P_{l,Pre}$  = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศในช่วง Load ก่อนการปรับปรุง (kW)
- $P_{ul,Pre}$  = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศในช่วง Unload ก่อนการปรับปรุง (kW)
- $t_{l,Pre}$  = ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Load ก่อนการปรับปรุง (s)
- $t_{ul,Pre}$  = ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Unload ก่อนการปรับปรุง (s)
- $t_{of,Pre}$  = ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Offload ก่อนการปรับปรุง (s)





#### 4.3.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

- 1) การหาความสามารถในการผลิตอากาศอัด  
การคำนวณหาความสามารถในการผลิตอากาศอัดหลังการปรับปรุง ถ้าเป็นเครื่องอัดอากาศใหม่สามารถใช้ข้อมูลจาก Specification หรือใช้วิธีทดสอบวิธีเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง
- 2) การวิเคราะห์ภาระงาน  
อัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง สามารถประเมินได้จากความสามารถในการผลิตอากาศอัด และการตรวจวัดรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง โดยใช้วิธีเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง
- 3) การหาดัชนีการใช้พลังงาน (SEC)  
ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุงสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่ออัตราการผลิตอากาศอัดหลังการปรับปรุง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$SEC_{Post} = \frac{P_{Comp,Post}}{F_{Avg,Post}}$$

โดยที่

$$SEC_{Post} = \text{ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง (kW//s)}$$

$$P_{Comp,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง (kW)}$$

$$F_{Avg,Post} = \text{อัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยหลังการปรับปรุง (l/s)}$$

#### 4) การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุงหาได้จากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง โดยมีสมการดังนี้

$$E_{Comp,Post} = P_{Comp,Post} \times H_{Post}$$

โดยที่

$$E_{Comp,Post} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$P_{Comp,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง (kW)}$$

$$H_{Comp,Post} = \text{ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง (h/y)}$$

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุงหาได้จากสมการ

$$P_{Comp,Post} = \frac{(P_{l,Pre} \times t_{l,Post}) + (P_{ul,Pre} \times t_{ul,Post})}{t_{l,Post} + t_{ul,Post} + t_{of,Post}}$$

โดยที่

$$P_{Comp,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง (kW)}$$

$$P_{l,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศในช่วง Load หลังการปรับปรุง (kW)}$$

$$P_{ul,Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศในช่วง Unload หลังการปรับปรุง (kW)}$$

$$t_{l,Post} = \text{ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Load หลังการปรับปรุง (s)}$$

$$t_{ul,Post} = \text{ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Unload หลังการปรับปรุง (s)}$$

$$t_{of,Post} = \text{ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Offload หลังการปรับปรุง (s)}$$

### 4.3.6 การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

#### 1) ผลการประหยัดพลังงาน

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสามารถหาได้จากการผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศที่ลดลงเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดผลประหยัด โดยใช้สมการ

$$E_{\text{Save}} = E_{\text{BL}} - E_{\text{FN}}$$

$$E_{\text{BL}} = \sum_{i=1}^m (\text{SEC}_{i,\text{Pre}} \times F_{i,\text{Avg,Pre}} \times H_{i,\text{Pre}})$$

$$E_{\text{FN}} = \sum_{i=1}^n (\text{SEC}_{i,\text{Post}} \times F_{i,\text{Avg,Post}} \times H_{i,\text{Post}})$$

โดยที่

$E_{\text{Save}}$	=	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)
$E_{\text{BL}}$	=	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)
$E_{\text{FN}}$	=	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)
$\text{SEC}_{i,\text{Pre}}$	=	ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ $i$ ก่อนการปรับปรุง (kW/l/s)
$\text{SEC}_{i,\text{Post}}$	=	ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ $i$ หลังการปรับปรุง (kW/l/s)
$F_{i,\text{Avg,Pre}}$	=	อัตราการผลิตอากาศอัดของเครื่องที่ $i$ เฉลี่ยก่อนการปรับปรุง (l/s)
$F_{i,\text{Avg,Post}}$	=	อัตราการผลิตอากาศอัดของเครื่องที่ $i$ เฉลี่ยหลังการปรับปรุง (l/s)
$H_{i,\text{Pre}}$	=	ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ $i$ ก่อนการปรับปรุง (h/y)
$H_{i,\text{Post}}$	=	ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ $i$ หลังการปรับปรุง (h/y)
$i$	=	เครื่องปรับอากาศเครื่องที่ $i$
$m$	=	จำนวนเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานก่อนการปรับปรุงที่อยู่ในขอบเขตมาตรการ
$n$	=	จำนวนเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานหลังการปรับปรุงที่อยู่ในขอบเขตมาตรการ

อย่างไรก็ตามสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงานจะต้องตกลงร่วมกันว่าจะใช้สภาพการใช้งานในช่วงใดเป็นกรณีฐานในการคิดผลประหยัดพลังงาน โดยสามารถแสดงสมการในแต่ละกรณีที่เป็นไปได้ดังนี้

#### 1.1) กรณีที่ใช้สภาพก่อนการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน

ใช้ปริมาณอากาศอัดที่ผลิตก่อนการปรับปรุงเป็นเกณฑ์ในการคิดผลการประหยัดพลังงาน โดยต้องปรับค่าอัตราการผลิตอากาศอัดและชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องตามสัดส่วนเพื่อให้ค่าผลรวมของผลคูณอัตราการผลิตอากาศอัดและชั่วโมงทำงานหลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากับก่อนการปรับปรุง

$$\sum_{i=1}^n [b_i \times (F_{i,\text{Avg,Post}} \times H_{i,\text{Post}})] = \sum_{i=1}^m (F_{i,\text{Avg,Pre}} \times H_{i,\text{Pre}})$$

โดยที่

$$b_i = \text{ค่าปรับแก้สำหรับเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ } i \text{ และ } \sum_{i=1}^n b_i = 1$$

#### 1.2) กรณีที่ใช้สภาพหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน

ใช้ปริมาณอากาศอัดที่ผลิตหลังการปรับปรุงเป็นเกณฑ์ในการคิดผลการประหยัดพลังงาน โดยต้องปรับค่าอัตราการผลิตอากาศอัดและชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องตามสัดส่วนเพื่อให้ค่าผลรวมของผลคูณอัตราการผลิตอากาศอัดและชั่วโมงทำงานก่อนการปรับปรุงมีค่าเท่ากับหลังการปรับปรุง



$$\sum_{i=1}^m [a_i \times (F_{i,Avg,Pre} \times H_{i,Pre})] = \sum_{i=1}^n (F_{i,Avg,Post} \times H_{i,Post})$$

โดยที่

$$a_i = \text{ค่าปรับแก้สำหรับเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ } i \text{ และ } \sum_{i=1}^n a_i = 1$$

1.3) กรณีที่กำหนดสภาพการใช้งานปกติเป็นกรณีฐาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยการปรับค่าปริมาณอากาศอัดทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงเป็นค่ากลางซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ ดังสมการ

$$\sum_{i=1}^m [c_i \times (F_{i,Avg,Pre} \times H_{i,Pre})] = \sum_{i=1}^n [d_i \times (F_{i,Avg,Post} \times H_{i,Post})] = \sum_{i=1}^n (F_{i,Avg,Norm} \times H_{i,Norm})$$

โดยที่

$$c_i, d_i = \text{ค่าปรับแก้สำหรับเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ } i \quad \sum_{i=1}^m c_i = 1 \text{ และ } \sum_{i=1}^n d_i = 1$$

$$F_{i,Avg,Norm} = \text{อัตราการผลิอากาศอัดของเครื่องที่ } i \text{ เฉลี่ยซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ (l/s)}$$

$$H_{i,Norm} = \text{ชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ } i \text{ ซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ (h/y)}$$

2) ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน

ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานจากมาตรการสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\% \text{Save} = [(E_{BL} - E_{FN}) / E_{BL}] \times 100\%$$

โดยที่

$$\% \text{Save} = \text{เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน (\%)}$$

$$E_{BL} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{FN} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)}$$

3) ผลการประหยัดพลังงานทางการเงิน

ผลการประหยัดพลังงานทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ปีฐาน และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

โดยที่

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

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

$$C_E = \text{อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา EPC (Baht/kWh)}$$

**หมายเหตุ** อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานโดยมากจะกำหนดจากอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเฉลี่ย ณ ปีที่ทำสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract : EPC) ถ้าบริษัทจัดการพลังงาน สถานประกอบการ และสถาบันการเงินเห็นพ้องต้องกันว่าควรใช้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอื่น เช่น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ณ เดือนที่เห็นสัญญา หรืออัตราค่าพลังงานแปรผันตามจริง ให้ระบุลงใน EPC และข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

#### 4.3.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผลให้ระบบการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน สำหรับมาตรการนี้ตัวแปรหรือข้อมูลได้มาจากวิธีการต่างๆ ได้แก่

##### 1) ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

มาตรการนี้ต้องทำการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยทำการตรวจวัดเพื่อหาความสามารถในการผลิตอากาศอัด รอบการทำงาน และชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศ ด้วยวิธีการดังนี้

##### 1.1) การทดสอบเพื่อหาความสามารถในการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศ

- ตรวจสอบบำรุงรักษาให้เครื่องอัดอากาศสามารถทำงานผลิตอากาศอัดได้ตามปกติ การทดสอบแบบนี้ไม่สามารถใช้กับเครื่องอัดอากาศที่ชำรุดหรือไม่สามารถสร้างความดันของอากาศอัดไปใกล้เคียงกับความดันที่พิกัดได้
- คำนวณหาปริมาตรถึงเก็บอากาศและท่อระหว่างเครื่องอัดอากาศและถึงเก็บอากาศ
- ปรับตั้งความดันที่จะทำการทดสอบให้ตรงตามพิกัดของเครื่องอัดอากาศ
- เปิดวาล์วปล่อยอากาศออกจากถังเก็บอากาศอัดให้หมด แล้วปิดให้สนิท
- ปิดวาล์วด้านจ่ายให้สนิท แล้วเริ่มเดินเครื่องอัดอากาศพร้อมบันทึกเวลาจนกระทั่งเครื่องอัดอากาศตัดการทำงานที่ความดันที่ตั้งไว้
- ทำการทดสอบซ้ำๆ อย่างน้อย 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

##### 1.2) การตรวจวัดการใช้พลังงานและรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

ติดตั้งเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ โดยเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องรวมกันอย่างน้อย 6 ชั่วโมงจากช่วงเวลาต่างๆ ที่เลือกเป็นตัวแทนการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ตั้งค่าความถี่ของการเก็บบันทึกข้อมูลที่ระดับ 1 วินาที เพื่อให้สามารถตรวจจับรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศได้อย่างละเอียด ทั้งนี้ความถี่ในการบันทึกและช่วงเวลาตรวจวัดอาจปรับเปลี่ยนให้สูงขึ้นได้ตามความเหมาะสมถ้ารอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศยาวออกไป

##### 2) ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ข้อมูลจากสถานประกอบการที่สำคัญสำหรับมาตรการนี้คือ ข้อมูลชั่วโมงการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ซึ่งต้องมีการเก็บบันทึกไว้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งขณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานควรตรวจความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งสถานประกอบการเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

##### 3) ข้อมูลจากผู้ผลิต

ข้อมูลจากผู้ผลิตที่นำมาใช้ในมาตรการนี้คือ ข้อมูลพิกัดความสามารถในการผลิตอากาศอัด พิกัดความดันของอากาศอัด และพิกัดกำลังไฟฟ้า ซึ่งระบุใน Specification เพื่อใช้ในการสอบทานกับผลการตรวจวัด



#### 4.3.8 รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน มี 2 ชนิด ได้แก่ ตัวแปรหลักและตัวแปรควบคุม

1) ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อ การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลการประหยัดพลังงาน ผลการประหยัดพลังงานทางการเงิน สำหรับตัวแปรหลักของมาตรการนี้ ได้แก่

- 1.1) กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ (kW)
- 1.2) รอบเวลาการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ประกอบด้วย ช่วงเวลา Load ช่วงเวลา Unload และช่วงเวลา Offload (s)
- 1.3) ระดับความดันใช้งานของเครื่องอัดอากาศ (barg)
- 1.4) ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศ (h/y)

2) ตัวแปรควบคุม หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นและเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10% สำหรับตัวแปรควบคุมของมาตรการนี้ ได้แก่

2.1) ระดับความดันใช้งานของอากาศอัด การตั้งค่าความดันของอากาศอัดก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงควรใกล้เคียงกัน เนื่องจากการเปลี่ยนระดับความดันใช้งานของอากาศอัดจะมีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ

2.2) สภาพการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ เครื่องอัดอากาศจะต้องได้รับการตรวจสอบดูแลบำรุงรักษาเพื่อรักษาสภาพเครื่องให้ทำงานได้ปกติ

2.3) สภาพห้องเครื่องอัดอากาศ สภาพของห้องเครื่องอัดอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิและการระบายอากาศในห้องเครื่องจะต้องใกล้เคียงกันก่อนและหลังการปรับปรุง ยกเว้นกรณีที่มีการจัดทำข้อตกลงให้ขอบเขตการดำเนินการของมาตรการครอบคลุมถึงการปรับปรุงสภาพการติดตั้งเครื่องอัดอากาศด้วย

#### 3) คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$F_{FL}$	l/s	ความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่ระดับพิกัดความดัน	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดซึ่งได้จากการทดสอบหาความสามารถในการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศ	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่า

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$F_{OP}$	l/s	ความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่ระดับความดันใช้งาน	จากการคำนวณ	คำนวณความสามารถในการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศและปรับแก้ค่ามาที่ระดับความดันใช้งาน	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่า
$F_{Avg}$	l/s	อัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ย	จากการคำนวณ	คำนวณจากความสามารถในการผลิตอากาศอัด และรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่า
$F_{Avg,Pre}$	l/s	อัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากความสามารถในการผลิตอากาศอัด และรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าก่อนการปรับปรุง
$F_{Avg,Post}$	l/s	อัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยหลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากความสามารถในการผลิตอากาศอัด และรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าหลังการปรับปรุง
$F_{i,Avg,Pre}$	l/s	อัตราการผลิตอากาศอัดของเครื่องที่ i เฉลี่ยก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากความสามารถในการผลิตอากาศอัด และรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าก่อนการปรับปรุง
$F_{i,Avg,Post}$	l/s	อัตราการผลิตอากาศอัดของเครื่องที่ i เฉลี่ยหลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากความสามารถในการผลิตอากาศอัด และรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าหลังการปรับปรุง



ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$F_{i,Avg, Norm}$	l/s	อัตราการผลิตอากาศอัดของเครื่องที่ i เฉลี่ย ซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ	จากการคำนวณ	คำนวณจากความสามารถในการผลิตอากาศอัด และรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่า ซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ
V	l	ปริมาตรของถังเก็บอากาศอัดรวมปริมาตรท่อจากเครื่องอัดอากาศ	จากการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดระยะขนาดปริมาตรของถังเก็บอากาศอัดและท่อจากเครื่องอัดอากาศและคำนวณปริมาตร	บันทึกค่า 1 ค่า
t	s	เวลาที่ใช้ในการสร้างความดันจนถึงพิกัดความดัน	จากการตรวจวัด	ใช้นาฬิกาจับเวลาอย่างน้อย 5 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ย 1 ค่า
$p_{FL}$	barg	ระดับความดันทดสอบตามพิกัดความดันของเครื่องอัดอากาศ	กำหนดจาก Specification หรือจากการตรวจวัด	กำหนดจากพิกัดความดันของเครื่องตาม Specification หรืออ่านค่าความดันที่เครื่องทำได้สูงสุดจากเกจวัดความดันที่ติดตั้งที่ถังเก็บอากาศอัด	บันทึกค่า 1 ค่า
$p_{OP}$	barg	ระดับความดันอากาศอัดเฉลี่ยที่ใช้งาน	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดความดันและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า
T	°C	อุณหภูมิของอากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศ	กำหนดค่าคงที่หรือจากการตรวจวัด	กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 45 °C หรือใช้ค่าจริงที่ตรวจวัดได้	บันทึกค่า 1 ค่า

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$P_{Comp}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศ	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า
$P_{Comp,Pre}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าก่อนการปรับปรุง
$P_{Comp,Post}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ	บันทึกค่าคำนวณ 1 ค่าหลังการปรับปรุง
$P_{I,Pre}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศ.ในช่วง Load ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยในช่วง Load	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าก่อนการปรับปรุง
$P_{ul,Pre}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศ.ในช่วง Unload ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยในช่วง Unload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าก่อนการปรับปรุง
$P_{I,Post}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศ.ในช่วง Load หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยในช่วง Load	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าหลังการปรับปรุง





ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$P_{ul,Post}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศในช่วง Unload หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยในช่วง Unload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า หลังการปรับปรุง
$t_l$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Load	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Load	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า ก่อนการปรับปรุง
$t_{ul}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Unload	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Unload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า
$t_{of}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Offload	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Offload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า
$t_{l,Pre}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Load ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Load	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า ก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$t_{ul,Pre}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Unload ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Unload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า ก่อนการปรับปรุง
$t_{of,Pre}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Offload ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Offload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า ก่อนการปรับปรุง
$t_{l,Post}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Load หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Load	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า หลังการปรับปรุง
$t_{ul,Post}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Unload หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Unload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า หลังการปรับปรุง
$t_{of,Post}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Offload หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Offload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า หลังการปรับปรุง



ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$SEC_{Pre}$	kW//s	ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและอัตราการผลิตอากาศอัดของเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง	บันทึกค่า 1 ครั้งก่อนการปรับปรุง
$SEC_{Post}$	kW//s	ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและอัตราการผลิตอากาศอัดของเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง	บันทึกค่า 1 ครั้งหลังการปรับปรุง
$SEC_{i,Pre}$		ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ i ก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและอัตราการผลิตอากาศอัดของเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง	บันทึกค่า 1 ครั้งก่อนการปรับปรุง
$SEC_{i,Post}$		ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ i หลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและอัตราการผลิตอากาศอัดของเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง	บันทึกค่า 1 ครั้งหลังการปรับปรุง
$H_{i,Pre}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ i ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริง	ใช้เครื่องวัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อประเมิน % ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศร่วมกับข้อมูลชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศจากสถานประกอบการ	บันทึกค่า 1 ครั้งก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$H_{i,Post}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ $i$ หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริง	ใช้เครื่องวัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อประเมิน % ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศร่วมกับข้อมูลชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศจากสถานประกอบการ	บันทึกข้อมูลอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง และสรุปผลรายปี
$H_{i,Norm}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ $i$ ซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการปฏิบัติงานปกติ	จากการกำหนดค่าโดยอยู่บนพื้นฐานของข้อมูล	กำหนดชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศเพื่อเป็นตัวแทนสภาพการปฏิบัติงานปกติ	กำหนดค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นตัวแทนชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศที่สภาพการปฏิบัติงานปกติ
$m$	Set	จำนวนเครื่องอัดอากาศที่ใช้ก่อนการปรับปรุงที่อยู่ในขอบเขตมาตรการ	ข้อมูลจากการสำรวจและกำหนดขอบเขตการดำเนินงาน	-	-
$n$	Set	จำนวนเครื่องอัดอากาศที่ใช้งานหลังการปรับปรุงที่อยู่ในขอบเขตมาตรการ	ข้อมูลจากการกำหนดขอบเขตการดำเนินงาน	-	-
$a_i, b_i, c_i, d_i$		ค่าปรับแก้สำหรับเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ $i$	-	-	-
$E_{Comp,Pre}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง	บันทึกผล 1 ครั้งก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$E_{Comp,Post}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$E_{BL}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$E_{FN}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$E_{Save}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
%Save	%	เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$C_{Save}$	Baht/y	จำนวนเงินที่ประหยัดได้	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา EPC	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$C_E$	Baht/kWh	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา EPC	จากการคำนวณ	คำนวณจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าของสถานประกอบการระยะเวลา 12 เดือน	ทุกเดือนตามรอบบิลของค่าไฟฟ้า

ตัวห้อยท้ายตัวแปล	ความหมาย
Pre	สภาวะของตัวแปรก่อนการปรับปรุง
Post	สภาวะของตัวแปรหลังการปรับปรุง
Comp	เครื่องอัดอากาศ
Norm	สภาพที่กำหนดเป็นตัวแทนการใช้งาน
FL	ที่ระดับพิกัดความดัน
OP	ที่ระดับความดันใช้งาน
Avg	ค่าเฉลี่ย
i	เครื่องอัดอากาศเครื่องที่ i
l	ช่วงทำงานแบบ Load
ul	ช่วงทำงานแบบ Unload
of	ช่วง Offload
BL	กรณีฐานก่อนการปรับปรุง
FN	กรณีฐานหลังการปรับปรุง
SAVE	ผลการประหยัด
E	พลังงานไฟฟ้า

#### 4.3.9 บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	23/09/2557	ฉบับร่าง
1	13/10/2558	แก้ไขรายละเอียดสูตรการคำนวณและกรณีตัวอย่าง

#### 4.3.10 กรณีศึกษาและวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน: มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

##### 4.3.10.1 รายละเอียดมาตรการ

โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กแห่งหนึ่งมีการติดตั้งใช้งานเครื่องอัดอากาศสำหรับกระบวนการผลิต จากการตรวจสอบของช่างซ่อมบำรุงพบว่าเครื่องอัดอากาศที่ใช้งานอยู่เดิมเป็นแบบลูกสูบ (Reciprocating Type) มีประสิทธิภาพการทำงานต่ำ และมีอายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี ผู้บริหารจึงตัดสินใจที่จะดำเนินการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศเดิมทั้งหมด เป็นเครื่องอัดอากาศแบบสกรู (Screw Type) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า



#### 4.3.10.2 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานของมาตรการอนุรักษ์พลังงานนี้เลือกดำเนินการตามรูปแบบ A การตรวจวัดเฉพาะตัวแปรหลักแยกจากมาตรการ (Option A: Retrofit Isolation with Key Parameter Measurement) ตามระเบียบวิธีการ IPMVP โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 1) สภาพการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์

ตารางที่ 4.3.10-1 แสดงรายการเครื่องอัดอากาศซึ่งติดตั้งใช้งานในปัจจุบัน ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นเครื่องอัดอากาศใหม่ดังตารางที่ 4.3.10-2

**ตารางที่ 4.3-10-1** รายการเครื่องอัดอากาศที่ติดตั้งใช้งานปัจจุบันก่อนการปรับปรุง

รหัสเครื่อง	ชนิด	พิกัดกำลัง (kW)	พิกัดความดันอากาศอัด (barg)	ความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่พิกัดตาม Spec. (l/s FAD)	อายุการใช้งาน (ปี)
O1	ลูกสูบ (Reciprocating)	22	10.0	47.90	19
O2	ลูกสูบ (Reciprocating)	22	10.0	47.90	19
O3	ลูกสูบ (Reciprocating)	22	10.0	47.90	19
O4	ลูกสูบ (Reciprocating)	37	10.0	81.32	15

**ตารางที่ 4.3-10-2** รายการเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง

รหัสเครื่อง	ชนิด	พิกัดกำลัง (kW)	พิกัดความดันอากาศอัด (barg)	ความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่พิกัดตาม Spec. (l/s FAD)	อายุการใช้งาน (ปี)
N1	(Air-cooled Oil-injected Screw)	45	10.3	113.00	-
			8.6	133.0	
			6.9	162.00	

สรุปสภาพการใช้งานตามกำหนดขอบเขตของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

สภาพก่อนการปรับปรุง	สภาพหลังการปรับปรุง
<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ซึ่งมีอายุใช้งานมากกว่า 15 ปี จำนวน 4 เครื่อง แบ่งเป็น ขนาด 22 kW จำนวน 3 เครื่อง ขนาด 37 kW จำนวน 1 เครื่อง</li> <li>ระดับความดันอากาศอัดที่ผลิตใช้งานเฉลี่ย 7 barg</li> <li>ชั่วโมงที่เปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศ 6,000 ชั่วโมงต่อปี</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 45 kW จำนวน 1 เครื่อง</li> <li>ระดับความดันอากาศอัดที่ผลิตใช้งานเฉลี่ย 7 barg</li> <li>ชั่วโมงที่เปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศ 6,200 ชั่วโมงต่อปี</li> </ul>

## 2) วิธีการตรวจวัด

การตรวจวัดการใช้พลังงานเริ่มจากการทดสอบความสามารถในการผลิตอากาศอัด และตรวจวัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศแบบต่อเนื่องด้วยความถี่สูงระดับ 1 วินาที เพื่อตรวจสอบรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ผลการตรวจวัดจะนำมาใช้ในการคำนวณดัชนีการใช้พลังงาน และใช้ประกอบกับข้อมูลชั่วโมงทำงาน เพื่อคำนวณปริมาณการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง และผลการประหยัดพลังงาน

### 2.1) การตรวจวัดก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
V	I	ปริมาณของถึงเก็บอากาศอัดรวมปริมาตรท่อจากเครื่องอัดอากาศ	จากการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดระยะขนาดปริมาตรของถึงเก็บอากาศอัดและท่อจากเครื่องอัดอากาศและคำนวณปริมาตร	บันทึกค่า 1 ค่า
t	s	เวลาที่ใช้ในการสร้างความดันจนถึงพิกัดความดัน	จากการตรวจวัด	ใช้นาฬิกาจับเวลาอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ย 1 ค่า
$p_{FL}$	barg	ระดับความดันทดสอบตามพิกัดความดันของเครื่องอัดอากาศ	กำหนดจาก Specification	กำหนดจากพิกัดความดันของเครื่องตาม Specification	บันทึกค่า 1 ค่า
$p_{OP}$	barg	ระดับความดันอากาศอัดเฉลี่ยที่ใช้งาน	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดความดันและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า
T	°C	อุณหภูมิของอากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศ	กำหนดค่าคงที่หรือจากการตรวจวัด	กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 45 °C หรือใช้ค่าจริงที่ตรวจวัดได้	บันทึกค่า 1 ค่า
$P_{Comp}$	KW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศ	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า





ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$P_{l,Pre}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศ. ในช่วง Load ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยในช่วง Load	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าก่อนการปรับปรุง
$P_{ul,Pre}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศ. ในช่วง Unload ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยในช่วง Unload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าก่อนการปรับปรุง
$t_{l,Pre}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Load ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Load	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าก่อนการปรับปรุง
$t_{ul,Pre}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Unload ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Unload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าก่อนการปรับปรุง
$t_{of,Pre}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Offload ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Offload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าก่อนการปรับปรุง
$H_{i,Pre}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศ เครื่องที่ i ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริง	ใช้เครื่องวัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อประเมิน % ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศร่วมกับข้อมูลชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศจากสถานีประกอบการ	บันทึกค่า 1 ครั้งก่อนการปรับปรุง

## 2.2) การตรวจวัดหลังการปรับปรุง

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
V	l	ปริมาตรของถังเก็บอากาศอัดรวมปริมาตรท่อจากเครื่องอัดอากาศ	จากการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดระยะขนาดปริมาตรของถังเก็บอากาศอัดและท่อจากเครื่องอัดอากาศและคำนวณปริมาตร	บันทึกค่า 1 ค่า
t	s	เวลาที่ใช้ในการสร้างความดันจนถึงพิกัดความดัน	จากการตรวจวัด	ใช้นาฬิกาจับเวลาอย่างน้อย 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย	บันทึกค่าเฉลี่ย 1 ค่า
$p_{FL}$	barg	ระดับความดันทดสอบตามพิกัดความดันของเครื่องอัดอากาศ	กำหนดจาก Specification หรือจากการตรวจวัด	กำหนดจากพิกัดความดันของเครื่องตาม Specification หรืออ่านค่าความดันที่เครื่องทำได้สูงสุดจากเกจวัดความดันที่ติดตั้งที่ถังเก็บอากาศอัด	บันทึกค่า 1 ค่า
$p_{OP}$	barg	ระดับความดันอากาศอัดเฉลี่ยที่ใช้งาน	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดความดันและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า
T	°C	อุณหภูมิของอากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศ	กำหนดค่าคงที่หรือจากการตรวจวัด	กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 45 °C หรือใช้ค่าจริงที่ตรวจวัดได้	บันทึกค่า 1 ค่า
$P_{Comp}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศ	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่า



ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$P_{l,Post}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศในช่วง Load หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยในช่วง Load	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าหลังการปรับปรุง
$P_{ul,Post}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศในช่วง Unload หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยในช่วง Unload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าหลังการปรับปรุง
$t_{l,Post}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Load หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Load	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าหลังการปรับปรุง
$t_{ul,Post}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Unload หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Unload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าหลังการปรับปรุง
$t_{of,Post}$	s	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง Offload หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง	ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง และหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เครื่องทำงานในช่วง Offload	บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 1 ค่าหลังการปรับปรุง
$H_{i,Post}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ i หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริง	ใช้เครื่องวัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อประเมิน % ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศร่วมกับข้อมูลชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศจากสถานประกอบการ	บันทึกข้อมูลอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้งและสรุปผลรายปี

### 3) ตัวแปรควบคุม

ตัวแปรควบคุม	สภาพการควบคุม
ระดับความดันใช้งานของอากาศอัด	ตั้งค่าระดับความดันใช้งานที่ถังเก็บอากาศอัดก่อนจ่ายเข้าระบบที่ 7 barg ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง
สภาพการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ	เครื่องปรับอากาศมีการใช้งาน และได้รับการตรวจสอบบำรุงรักษาซ่อมแซมตามแผนการบำรุงรักษา เพื่อให้ทำงานได้ปกติและมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด ทั้งก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง
สภาพห้องเครื่องอัดอากาศ	ห้องเครื่องอัดอากาศอยู่ในอาคาร ที่มีการระบายอากาศที่ดี และท่อระบายความร้อนของตัวเครื่องออกสู่ภายนอกห้อง โดยมีอุณหภูมิของห้องเฉลี่ยประมาณ 32 °C ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง

#### 4.2.10.3 การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

##### 1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

ผลการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดแต่ละเครื่องก่อนการปรับปรุงแสดงได้ดังตารางที่ 4.3.10-3

**ตารางที่ 4.3.10-3 ผลการทดสอบความสามารถในการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง**

รหัสเครื่อง	ปริมาตรถังเก็บอากาศรวมต่อ (l)	ระดับความดันทดสอบที่พิกัด (barg)	ระยะเวลาคำนวณในการผลิตความดันถึงระดับทดสอบ (s)	ระยะเวลาจริงเฉลี่ยที่ใช้ผลิตความดันถึงระดับพิกัด (s)	ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศเทียบกับพิกัด (%)	ความสามารถในการผลิตอากาศอัด (l/s)
	V	p <sub>FL</sub>	(s)	t		F <sub>FL</sub>
O1	660	10.0	138	285	48.43%	23.20
O2	660	10.0	138	290	47.60%	22.80
O3	660	10.0	138	323	42.73%	20.47
O4	660	10.0	81	164	49.57%	40.31

#### สูตรคำนวณที่ใช้

$$F_{FL} = \frac{V}{t} \times \frac{(p_{FL} + 1.013)}{1.013} \times \frac{(273.15 + 20)}{(T + 273.15)}$$

จากการใช้เครื่องมือวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่อง ทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าและรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุงดังตารางที่ 4.3.10-4



**ตารางที่ 4.3.10-4 ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและรอบการทำงานขอ  
เครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง**

รหัส เครื่อง	กำลัง ไฟฟ้าเฉลี่ย ช่วง Load (kW) $P_{l,Pre}$	กำลังไฟฟ้า เฉลี่ยช่วง Unload (kW) $P_{ul,Pre}$	ระยะเวลา เฉลี่ยช่วง Load (s) $t_{l,Pre}$	ระยะเวลา เฉลี่ยช่วง Unload (s) $t_{ul,Pre}$	ระยะเวลา เฉลี่ยช่วง Offload (s) $t_{of,Pre}$	% Load	% Unload	% Offload	กำลังไฟฟ้า เฉลี่ย (kW)  $P_{Comp,Pre}$
O1	15.0	7.7	51	10	0	83.61%	16.39%	0%	13.8
O2	16.0	7.8	48	15	0	76.19%	23.81%	0%	14.0
O3	16.5	7.5	55	9	0	85.94%	14.06%	0%	15.2
O4	35.3	14.8	34	12	0	73.91%	26.09%	0%	30.0
<b>รวม</b>									<b>73.0</b>

**สูตรคำนวณที่ใช้**

$$P_{Comp,Pre} = \frac{(P_{l,Pre} \times t_{l,Pre}) + (P_{ul,Pre} \times t_{ul,Pre})}{t_{l,Pre} + t_{ul,Pre} + t_{of,Pre}}$$

จากข้อมูลรอบการทำงานขอเครื่องอัดอากาศจากตารางที่ 4.3.10-4 และการตรวจวัดความดันใช้งานเครื่องอัดอากาศ สามารถหาอัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศที่จ่ายเข้าระบบอากาศอัด ได้ดังตารางที่ 4.3-10.5

**ตารางที่ 4.3.10-5 ผลการตรวจวัดความดันอากาศอัดและรอบการทำงานขอ  
เครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง**

รหัสเครื่อง	ความสามารถ ในการผลิต อากาศอัดที่ ระดับพิกัดพิกัด ความดัน (l/s) $F_{FL}$	พิกัดความ ดันอากาศอัด (barg) $p_{FL}$	ความดันใช้ งานอากาศอัด (barg) $p_{OP}$	ความสามารถ ในการผลิต อากาศอัดที่ ระดับความดัน ใช้งาน (l/s) $F_{OP}$	อัตราการผลิต อากาศอัดเฉลี่ย (l/s) $F_{Avg}$
O1	23.20	10.0	7.0	31.88	26.66
O2	22.80	10.0	7.0	31.33	23.87
O3	20.47	10.0	7.0	28.13	24.18
O4	40.31	10.0	7.0	55.41	40.95
<b>รวม</b>				<b>146.8</b>	<b>115.7</b>

สูตรคำนวณที่ใช้

$$F_{OP} = F_{FL} \times \frac{(p_{FL} + 1.013)}{(p_{op} + 1.013)}$$

$$F_{Avg} = \frac{F_{OP} \times t_i}{t_i + t_{ul} + t_{of}}$$

ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุงสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่ออัตราการผลิตอากาศอัดก่อนการปรับปรุง ดังตารางที่ 4.3.10-6

**ตารางที่ 4.3.10-6** ผลการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง

รหัสเครื่อง	อัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ย (l/s) $F_{Avg,Pre}$	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) $P_{Comp,Pre}$	ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ (kW/l/s) $SEC_{Pre}$
O1	26.66	13.8	0.52
O2	23.87	14.0	0.59
O3	24.18	15.2	0.63
O4	40.95	30.0	0.73
<b>รวม</b>	<b>115.7</b>	<b>73.0</b>	<b>0.63</b>

สูตรคำนวณที่ใช้

$$SEC_{Pre} = \frac{P_{Comp,Pre}}{F_{Avg,Pre}}$$

จากตารางที่ 4.3.10-6 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวมของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 73.0 kW โดยมีอัตราการผลิตอากาศอัดรวมเท่ากับ 115.7 l/s และดัชนีการใช้พลังงานรวมเท่ากับ 0.63 kW/l/s ที่ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศ 6,000 ชั่วโมงต่อปี ปริมาณการใช้พลังงานรวมของเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุงเท่ากับ

$$\begin{aligned} E_{Comp,Pre} &= P_{Comp,Pre} \times H_{Pre} \\ &= 73.0 \times 6,000 \text{ kWh/y} \\ &= 438,000 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

ผลการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่องหลังการปรับปรุงแสดงได้ดังตารางที่ 4.3.10-7



**ตารางที่ 4.3.10-7 ผลการทดสอบความสามารถในการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง**

รหัสเครื่อง	ปริมาตรถังเก็บอากาศรวมทอ (l)	ระดับความดันทดสอบที่พิกัด (barg)	ระยะเวลาคำนวณในการผลิตความดันถึงระดับทดสอบ (s)	ระยะเวลาจริงเฉลี่ยที่ใช้ผลิตความดันถึงระดับพิกัด (s)	ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศเทียบกับพิกัด (%)	ความสามารถในการผลิตอากาศอัด (l/s)
	V	p <sub>FL</sub>	(s)	t		F <sub>FL</sub>
N1	660	10.3	59	61	95.92%	108.38

**สูตรคำนวณที่ใช้**

$$F_{FL} = \frac{V}{t} \times \frac{(p_{FL} + 1.013)}{1.013} \times \frac{(273.15 + 20)}{(T + 273.15)}$$

จากการใช้เครื่องมือวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศได้ค่ากำลังไฟฟ้าและรอบการทำงาน ของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุงดังตารางที่ 4.3.10-8

**ตารางที่ 4.3.10-8 ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและรอบการทำงานขอเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง**

รหัสเครื่อง	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยช่วง Load (kW)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยช่วง Unload (kW)	ระยะเวลาเฉลี่ยช่วง Load (s)	ระยะเวลาเฉลี่ยช่วง Unload (s)	ระยะเวลาเฉลี่ยช่วง Offload (s)	% Load	% Unload	% Offload	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW)
	P <sub>l,Post</sub>	P <sub>ul,Post</sub>	t <sub>l,Post</sub>	t <sub>ul,Post</sub>	t <sub>of,Post</sub>				P <sub>Comp,Post</sub>
N1	52.4	15.6	52	8	0	86.67%	13.33%	0%	47.5

**สูตรคำนวณที่ใช้**

$$P_{Comp,Post} = \frac{(P_{l,Pre} \times t_{l,Post}) + (P_{ul,Pre} \times t_{ul,Post})}{t_{l,Post} + t_{ul,Post} + t_{of,Post}}$$

จากข้อมูลรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศจากตารางที่ 4.3.10-8 และการตรวจวัดความดันใช้งาน เครื่องอัดอากาศ สามารถหาอัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศที่จ่ายเข้าระบบอากาศอัด ได้ดัง ตารางที่ 4.3.10.9

**ตารางที่ 4.3.10-9 ผลการตรวจวัดความดันอากาศอัดและรอบการทำงานขอเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง**

รหัสเครื่อง	ความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่ระดับพิกัดความดัน (l/s)	พิกัดความดันอากาศอัด (barg)	ความดันใช้งานอากาศอัด (barg)	ความสามารถในการผลิตอากาศอัดที่ระดับความดันใช้งาน (l/s)	อัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ย (l/s)
	F <sub>FL</sub>	p <sub>FL</sub>	p <sub>OP</sub>	F <sub>OP</sub>	F <sub>Avg</sub>
N1	108.38	10.3	7.0	153.02	132.62

### สูตรคำนวณที่ใช้

$$F_{OP} = F_{FL} \times \frac{(p_{FL} + 1.013)}{(p_{op} + 1.013)}$$

$$F_{Avg} = \frac{F_{OP} \times t_i}{t_i + t_{ut} + t_{of}}$$

ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุงสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่ออัตราการผลิตอากาศอัดหลังการปรับปรุง ดังตารางที่ 4.3.10-10

**ตารางที่ 4.3.10-10 ผลการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุง**

รหัสเครื่อง	อัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ย (l/s) $F_{Avg,Post}$	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) $P_{Comp,Post}$	ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ (kW/l/s) $SEC_{Post}$
N1	132.62	47.5	0.36

### สูตรคำนวณที่ใช้

$$SEC_{Post} = \frac{P_{Comp,Post}}{F_{Avg,Post}}$$

จากตารางที่ 4.3.10-10 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวมของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุงเท่ากับ 47.5 kW โดยมีอัตราการผลิตอากาศอัดรวมเท่ากับ 132.62 l/s และดัชนีการใช้พลังงานรวมเท่ากับ 0.36 kW/l/s ที่ชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศ 6,200 ชั่วโมงต่อปี ปริมาณการใช้พลังงานรวมของเครื่องอัดอากาศหลังการปรับปรุงเท่ากับ

$$\begin{aligned} E_{Comp,Post} &= P_{Comp,Post} \times H_{Post} \\ &= 47.5 \times 6,200 \text{ kWh/y} \\ &= 294,500 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

### 3) การคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

#### 3.1) การกำหนดกรณีฐานสำหรับการคำนวณผลประหยัด

สำหรับการดำเนินการมาตรการในกรณีตัวอย่างนี้ใช้สภาพหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน โดยคิดผลการประหยัดพลังงานตามชั่วโมงทำงานที่เกิดขึ้นจริงหลังการปรับปรุง ซึ่งเป็นแนวทางที่นิยมใช้และทำความเข้าใจได้ง่าย

#### 3.2) การคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

ใช้ปริมาณอากาศอัดที่ผลิตหลังการปรับปรุงเป็นเกณฑ์ในการคิดผลการประหยัดพลังงาน โดยต้องปรับค่าอัตราการผลิตอากาศอัดและชั่วโมงทำงานของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่องตามสัดส่วนเพื่อให้ค่าผลรวมของผลคูณอัตราการผลิตอากาศอัดและชั่วโมงทำงานก่อนการปรับปรุงมีค่าเท่ากับหลังการปรับปรุง

$$\sum_{i=1}^m [a_i \times (F_{i,Avg,Pre} \times H_{i,Pre})] = \sum_{i=1}^n (F_{i,Avg,Post} \times H_{i,Post})$$

โดยที่

$$a_i = \text{ค่าปรับแก้สำหรับเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ } i \text{ และ } \sum_{i=1}^n a_i = 1$$

ในกรณีตัวอย่างนี้เครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุงทั้ง 4 เครื่องทำงานพร้อมกันโดยมีชั่วโมงทำงาน 6,000 h/y และเครื่องอัดอากาศที่เปลี่ยนใหม่หลังการปรับปรุงจำนวน 1 เครื่องมีชั่วโมงทำงาน 6,200 h/y เนื่องจากเครื่อง





อัดอากาศทั้ง 4 เครื่องก่อนการปรับปรุงมีขนาดและชั่วโมงทำงานเท่ากันจึงใช้ค่าปรับแก้ค่าเดียวกันเฉลี่ยไปยังเครื่องอัดอากาศทุกเครื่อง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum_{i=1}^m [c_i \times (F_{i,Avg,Pre} \times H_{i,Pre})] = \sum_{i=1}^n [d_i \times (F_{i,Avg,Post} \times H_{i,Post})]$$

$$\sum_{i=1}^4 [a \times (F_{i,Avg,Pre} \times 6,000)] = \sum_{i=1}^1 (F_{i,Avg,Post} \times 6,200)$$

$$a \times 6,000 \times (26.66 + 23.87 + 24.18 + 40.95) = 132.62 \times 6,200$$

$$\text{ได้ค่าปรับแก้ } a = 1.18$$

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้ผลต่างของพลังงานที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ดังสมการ

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

$$E_{BL} = \sum_{i=1}^m (SEC_{i,Post} \times F_{i,Avg,Post} \times H_{i,Post})$$

$$E_{FN} = \sum_{i=1}^n (SEC_{i,Pre} \times F_{i,Avg,Pre} \times H_{i,Pre})$$

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุงเท่ากับ

$$\begin{aligned} E_{BL} &= 1.18 \times [(0.52 \times 26.66) + (0.59 \times 23.87) + (0.63 \times 24.18) \\ &\quad + (0.73 \times 40.95)] \times 6,000 \\ &= 517,105 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุงเท่ากับ

$$\begin{aligned} E_{FN} &= (0.36 \times 132.62) \times 6,200 \\ &= 294,459 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} E_{SAVE} &= 517,105 - 294,459 \\ &= 222,646 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานจากมาตรการสามารถคำนวณได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} \%Save &= [(E_{BL} - E_{FN}) / E_{BL}] \times 100\% \\ &= [(517,105 - 222,646) / 517,105] \times 100\% \\ &= 43.06\% \end{aligned}$$

ผลการประหยัดพลังงานทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ คำนวณโดยใช้ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยจากข้อมูลของสถานประกอบการที่ 4 Baht/kWh เท่ากับ

$$\begin{aligned} C_{Save} &= E_{Save} \times C_E \\ &= 222,646 \times 4 \\ &= 890,586 \text{ Baht/y} \end{aligned}$$



## 4.4 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน: มาตรการมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor)

### 4.4.1 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

1) วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงมอเตอร์เดิมนำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2) วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ ติดตั้งร่วมด้วย เช่น มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ หรือมาตรการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมภาระการทำงานของมอเตอร์

3) ระบบควบคุมไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ใช้ในมาตรการสามารถติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดแยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่นๆ ของสถานประกอบการได้

4) ภาระงานของมอเตอร์อาจมีความหลากหลายตามวัตถุประสงค์การใช้งาน จึงต้องใช้การตรวจวัดและการตรวจวัดและคำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption, SEC) หรือกำหนดภาระการใช้งานให้มีความใกล้เคียงกันระหว่างการตรวจวัดก่อนและหลังปรับปรุง

5) วิธีการนี้แสดงแนวทางการคำนวณผลประหยัดและค่าใช้จ่ายเฉพาะด้านพลังงานเท่านั้น โดยมิได้พิจารณาผลประหยัดหรือค่าใช้จ่ายด้านอื่นๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายด้านการใช้งานและการบำรุงรักษา ซึ่งเกิดขึ้นจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ขอบเขตและวิธีการในการนำผลประหยัดและค่าใช้จ่ายอื่นๆ มาพิจารณาร่วมกับผลประหยัดพลังงานนั้น ให้อยู่ในการพิจารณาและจัดทำข้อตกลงร่วมกันระหว่างสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

6) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามแนวทางนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยคำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานเป็นสิ่งสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ในกรณีที่ต้องการเพิ่มระดับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานให้สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการนี้

### 4.4.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานนี้อ้างอิงระเบียบวิธีการ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมี 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่ได้แสดงในเอกสารฉบับนี้ เป็นตัวอย่างการนำหลักการและรูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน รูปแบบ B การตรวจวัดตัวแปรทุกตัวแปรแยกรายมาตรการ (Option B: Retrofit Isolation with All Parameter Measurement) มาประยุกต์ใช้กับมาตรการมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

ช่วงระยะเวลา (Period)	แนวทางดำเนินการ	ตัวแปร	วิธีการตรวจวัด/เก็บข้อมูล
ช่วงตรวจวัดการใช้พลังงานฐาน (Baseline Period) ก่อนการปรับปรุง	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. หากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์</li> <li>2. ภาระงานของมอเตอร์</li> <li>3. หาดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์</li> <li>4. คำนวณการใช้พลังงานของมอเตอร์</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์</li> <li>- ภาระงานของมอเตอร์</li> <li>- ชั่วโมงทำงานของมอเตอร์</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>- ตรวจวัดแบบต่อเนื่องหรือเก็บข้อมูลจากกระบวนการ</li> <li>- จากบันทึกการทำงานของเครื่องจักร</li> </ul>
ช่วงตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. หากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์</li> <li>2. ภาระงานของมอเตอร์</li> <li>3. หาดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์</li> <li>4. คำนวณการใช้พลังงานของมอเตอร์</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์</li> <li>- ภาระงานของมอเตอร์</li> <li>- ชั่วโมงทำงานของมอเตอร์</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>- ตรวจวัดแบบต่อเนื่องหรือเก็บข้อมูลจากกระบวนการ</li> <li>- จากบันทึกการทำงานของเครื่องจักร</li> </ul>
ช่วงการติดตามรายงานผลแต่ละเดือน (Reporting Period)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. หากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์</li> <li>2. ภาระงานของมอเตอร์</li> <li>3. หาดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์</li> <li>4. คำนวณการใช้พลังงานของมอเตอร์</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์</li> <li>- ภาระงานของมอเตอร์</li> <li>- ชั่วโมงทำงานของมอเตอร์</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</li> <li>- ตรวจวัดแบบต่อเนื่องหรือเก็บข้อมูลจากกระบวนการ</li> <li>- จากบันทึกการทำงานของเครื่องจักร</li> </ul>

#### 4.4.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

1) ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาของข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามระเบียบวิธีการ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากสถานประกอบการแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน ตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

2) รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน ให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามหัวข้อที่แสดงไว้ในข้อตกลงวิธีการตรวจวัด

วัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานเป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักอย่างน้อย 3 บท ได้แก่

- 2.1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง
- 2.2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง
- 2.3) การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานและจัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

#### 4.4.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

##### 1) การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุงหาได้จากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและชั่วโมงทำงานของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง โดยมีสมการดังนี้

$$E_{Pre} = P_{Pre} \times H_{Pre}$$

โดยที่

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

$$P_{Pre} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง (kW)}$$

$$H_{Pre} = \text{ชั่วโมงทำงานของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง (h/y)}$$

การหาลำดับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุงจะต้องทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาซึ่งเป็นตัวแทนการใช้งานของมอเตอร์ตามปกติก่อนการปรับปรุง หรือในกรณีที่ภาระงานของมอเตอร์ค่อนข้างคงที่ก็สามารถติดตั้งมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าเพื่อหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าหรือกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้

##### 2) การวิเคราะห์ปริมาณงานหรือภาระงาน

ปริมาณงานของมอเตอร์จะแตกต่างกันตามการใช้งานของมอเตอร์ในกระบวนการผลิตของสถานประกอบการ โดยทั่วไปกำหนดเป็นปริมาณงานที่ทำได้ เช่น ปริมาณการผลิตสินค้า (Pcs) ปริมาตรของน้ำที่สูบ (m<sup>3</sup>) เป็นต้น หรืออาจพิจารณาเป็นภาระงาน (Load) คือ อัตราปริมาณงานที่ทำต่อช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่น อัตราการผลิตสินค้า (Pcs/h) อัตราการไหล (m<sup>3</sup>/h, l/s)

##### 3) การหาดัชนีการใช้พลังงาน (SEC)

ดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์หาได้จากอัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ต่อปริมาณงานที่ทำได้ ซึ่งก็คืออัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อภาระงานของมอเตอร์ ดังสมการ

$$SEC_{Pre} = \frac{P_{Pre}}{L_{Pre}}$$

โดยที่

$$SEC_{Pre} = \text{ดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง (kWh/m<sup>3</sup>, kWh/l, kWh/Pcs)}$$

$$P_{Pre} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง (kW)}$$

$$L_{Pre} = \text{ภาระงานเฉลี่ยของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง (m<sup>3</sup>/h, l/s, Pcs/h)}$$



#### 4.4.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

##### 1) การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของมอเตอร์หลังการปรับปรุงหาได้จากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและชั่วโมงทำงานของมอเตอร์หลังการปรับปรุง โดยมีสมการดังนี้

$$E_{Post} = P_{Post} \times H_{Post}$$

โดยที่

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

$$P_{Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์หลังการปรับปรุง (kW)}$$

$$H_{Post} = \text{ชั่วโมงทำงานของมอเตอร์หลังการปรับปรุง (h/y)}$$

##### 2) การวิเคราะห์ปริมาณงานหรือภาระงาน

ปริมาณงานและภาระงานหลังการปรับปรุงให้กำหนดเช่นเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง

##### 3) การหาดัชนีการใช้พลังงาน (SEC)

ดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์หาได้จากอัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อภาระงานของมอเตอร์หลังการปรับปรุง ดังสมการ

$$SEC_{Post} = \frac{P_{Pre}}{L_{Pre}}$$

โดยที่

$$SEC_{Post} = \text{ดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์หลังการปรับปรุง (kWh/m<sup>3</sup>, kWh/l, kWh/Pcs)}$$

$$P_{Post} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์หลังการปรับปรุง (kW)}$$

$$L_{Post} = \text{ภาระงานเฉลี่ยของมอเตอร์หลังการปรับปรุง (m<sup>3</sup>/h, l/s, Pcs/h)}$$

#### 4.4.6 การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

##### 1) ผลการประหยัดพลังงาน

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสามารถหาได้จากผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ค่าดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์ที่ลดลงเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดผลประหยัด อย่างไรก็ตามสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงานจะต้องตกลงร่วมกันว่าจะใช้สภาพการใช้งานในช่วงใดเป็นกรณีฐานในการคิดผลประหยัดพลังงาน โดยสามารถแสดงสมการในแต่ละกรณีที่เป็นไปได้ดังนี้

##### 1.1) กรณีที่ใช้สภาพก่อนการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้สภาพการทำงาน และชั่วโมงทำงานของมอเตอร์จากช่วงเวลาตรวจวัดก่อนการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน ดังสมการ

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

$$E_{BL} = SEC_{Pre} \times L_{Pre} \times H_{Pre}$$

$$E_{FN} = SEC_{Post} \times L_{Pre} \times H_{Pre}$$

โดยที่

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

$$E_{BL} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)}$$



$E_{FN}$	=	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)
$SEC_{Pre}$	=	ดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> , kWh/Pcs)
$SEC_{Post}$	=	ดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์หลังการปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> , kWh/Pcs)
$L_{Pre}$	=	ภาระงานเฉลี่ยของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง (m <sup>3</sup> /h, Pcs/h)
$H_{Pre}$	=	ชั่วโมงทำงานของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง (h/y)

### 1.2) กรณีที่ใช้สภาพหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้สภาพการทำงาน และชั่วโมงทำงานของมอเตอร์จากช่วงเวลาตรวจวัดหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน ดังสมการ

$E_{Save}$	=	$E_{BL} - E_{FN}$
$E_{BL}$	=	$SEC_{Pre} \times L_{Post} \times H_{Post}$
$E_{FN}$	=	$SEC_{Post} \times L_{Post} \times H_{Post}$

โดยที่

$E_{Save}$	=	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)
$E_{BL}$	=	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)
$E_{FN}$	=	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)
$SEC_{Pre}$	=	ดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> , kWh/Pcs)
$SEC_{Post}$	=	ดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์หลังการปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> , kWh/Pcs)
$L_{Post}$	=	ภาระงานเฉลี่ยของมอเตอร์หลังการปรับปรุง (m <sup>3</sup> /h, Pcs/h)
$H_{Post}$	=	ชั่วโมงทำงานของมอเตอร์หลังการปรับปรุง (h/y)

### 1.3) กรณีที่กำหนดสภาพการใช้งานปกติเป็นกรณีฐาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยการกำหนดสภาพการทำงาน และชั่วโมงทำงานของมอเตอร์ตามสภาพการใช้งานอื่นซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติเป็นกรณีฐาน ดังสมการ

$E_{Save}$	=	$E_{BL} - E_{FN}$
$E_{BL}$	=	$SEC_{Pre} \times L_{Norm} \times H_{Norm}$
$E_{FN}$	=	$SEC_{Post} \times L_{Norm} \times H_{Norm}$

โดยที่

$E_{Save}$	=	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)
$E_{BL}$	=	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)
$E_{FN}$	=	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)
$SEC_{Pre}$	=	ดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> , kWh/Pcs)
$SEC_{Post}$	=	ดัชนีการใช้พลังงานของมอเตอร์หลังการปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> , kWh/Pcs)
$L_{Norm}$	=	ภาระงานเฉลี่ยของมอเตอร์ซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ (m <sup>3</sup> /h, Pcs/h)
$H_{Norm}$	=	ชั่วโมงทำงานของมอเตอร์ซึ่งเป็นตัวแทนสภาพการใช้งานปกติ (h/y)



## 2) ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน

ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานจากมาตรการสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\% \text{Save} = [(E_{BL} - E_{FN}) / E_{BL}] \times 100\%$$

โดยที่

$$\% \text{Save} = \text{เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน (\%)}$$

$$E_{BL} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง (kWh/y)}$$

$$E_{FN} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง (kWh/y)}$$

## 3) ผลการประหยัดพลังงานทางการเงิน

ผลการประหยัดพลังงานทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ปีฐาน และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

โดยที่

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

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

$$C_E = \text{อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา EPC (Baht/kWh)}$$

หมายเหตุ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานโดยมากจะกำหนดจากอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเฉลี่ย ณ ปีที่ทำสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract : EPC) ถ้าบริษัทจัดการพลังงาน สถานประกอบการ และสถาบันการเงินเห็นพ้องต้องกันว่าควรใช้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอื่น เช่น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ณ เดือนที่เซ็นสัญญา หรืออัตราค่าพลังงานแปรผันตามจริง ให้ระบุลงใน EPC และข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

### 4.4.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน สำหรับมาตรการนี้ตัวแปรหรือข้อมูลได้มาจาก 2 วิธีการ ได้แก่

#### 1) ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

มาตรการนี้ต้องทำการตรวจวัดการใช้พลังงานของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้า ร่วมกับการตรวจวัดหรือประเมินภาระงานของมอเตอร์ ข้อมูลตรวจวัดจะถูกบันทึกไว้ทุก 15 นาที ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 7 วัน (ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์ และข้อตกลงตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานที่ทำขึ้นระหว่างสถานประกอบการและ ESCO)

#### 2) ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ข้อมูลจากสถานประกอบการที่สำคัญสำหรับมาตรการนี้ คือ ข้อมูลชั่วโมงทำงานของมอเตอร์ และข้อมูลอัตราการผลิต ข้อมูลการใช้งานของมอเตอร์ ซึ่งจะต้องมีการเก็บบันทึกไว้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานควรตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งสถานประกอบการเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

#### 4.4.8 รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน มี 2 ชนิด ได้แก่ ตัวแปรหลัก และตัวแปรควบคุม

1) ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อ การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลการประหยัดพลังงาน ผลการประหยัดทางการเงิน สำหรับตัวแปรหลักของมาตรการนี้ได้แก่

- 1.1) กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ (kW)
- 1.2) ภาระงานของมอเตอร์ ( $m^3/h$ , l/s, Pcs/h)
- 1.3) ชั่วโมงทำงานของมอเตอร์ (h/y)

2) ตัวแปรควบคุม หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นและเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10%

3) คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$P_{Pre}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดและคำนวณค่าเฉลี่ย	1. ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด หรือ 2. ใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาที และหาค่าเฉลี่ย 1 ค่า
$P_{Post}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดและคำนวณค่าเฉลี่ย	1. ใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและบันทึกค่าตรวจวัดแบบต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจวัด หรือ 2. ใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาที และหาค่าเฉลี่ย 1 ค่า
$L_{Pre}$	$m^3/h$ , l/s, Pcs/h, etc.	ภาระงานเฉลี่ยของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดหรือเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิต	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตร 3. ใช้คนจดบันทึกปริมาณการผลิต	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงาน





ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$L_{Post}$	$m^3/h,$ $l/s,$ $Pcs/h,$ etc.	ภาระงานเฉลี่ย ของมอเตอร์ หลังการ ปรับปรุง	จากการตรวจ วัดหรือเก็บ ข้อมูลจาก กระบวนการ ผลิต	1. ใช้เครื่องมือวัดและ บันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจาก มิเตอร์วัดปริมาตร 3. ใช้คนจดบันทึกปริมาณ การผลิต	ตามความเหมาะสม พิจารณาจาก พฤติกรรมการทำงาน
$L_{Norm}$	$m^3/h,$ $l/s,$ $Pcs/h,$ etc.	ภาระงานเฉลี่ย ของมอเตอร์ซึ่ง เป็นตัวแทน สภาพการใ้ งานปกติ	จากการ กำหนดค่าโดย อยู่บนพื้นฐาน ของข้อมูล	กำหนดภาระงานของ มอเตอร์เพื่อเป็นตัวแทน สภาพการใ้ใช้งานปกติ	กำหนดค่าเฉลี่ยซึ่ง เป็นตัวแทนสภาพ การใ้ใช้งานปกติ
$H_{Pre}$	h/y	ชั่วโมงทำงาน ของมอเตอร์ ก่อนการ ปรับปรุง	จากการตรวจ วัดชั่วโมง ทำงานจริงใน รอบสัปดาห์ และข้อมูลจาก สถานประกอบ การ	พิจารณาชั่วโมงทำงาน ของมอเตอร์ร่วมกับบันทึก การทำงานจากสถาน ประกอบการ	บันทึกผล 1 ครั้งก่อน การปรับปรุง
$H_{Post}$	h/y	ชั่วโมงทำงาน ของมอเตอร์ หลังการ ปรับปรุง	จากการตรวจ วัดชั่วโมง ทำงานจริงใน รอบสัปดาห์ และข้อมูลจาก สถานประกอบ การ	พิจารณาชั่วโมงทำงาน ของมอเตอร์ร่วมกับบันทึก การทำงานจากสถาน ประกอบการ	บันทึกค่ารายเดือน และสรุปผลรายปี
$H_{Norm}$	h/y	ชั่วโมงทำงาน ของมอเตอร์ซึ่ง เป็นตัวแทน สภาพการใ้ งานปกติ	จากการ กำหนดค่าโดย อยู่บนพื้นฐาน ของข้อมูล	กำหนดชั่วโมงทำงานของ มอเตอร์เพื่อเป็นตัวแทน สภาพการใ้ใช้งานปกติ	กำหนดค่าซึ่งเป็น ตัวแทนชั่วโมงทำงาน ของมอเตอร์ที่สภาพ การใ้ใช้งานปกติ
$E_{Pre}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ ใช้ของมอเตอร์ ก่อนการ ปรับปรุง	จากการ คำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจ วัดและวิเคราะห์การใ้ พลังงานของมอเตอร์ก่อน การปรับปรุง	บันทึกผล 1 ครั้งก่อน การปรับปรุง

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$E_{Post}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของมอเตอร์หลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของมอเตอร์หลังการปรับปรุง	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$E_{BL}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$E_{FN}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังการปรับปรุง	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นและระบบไอโชนหลังการปรับปรุง	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$E_{Save}$	kWh/y	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
%Save	%	เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$C_{Save}$	Baht/y	จำนวนเงินที่ประหยัดได้	จากการคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา EPC	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี
$C_E$	Baht/kWh	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจากสัญญา EPC	จากการคำนวณ	คำนวณจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าของสถานประกอบการ ระยะเวลา 12 เดือน	ทุกเดือนตามรอบบิลของค่าไฟฟ้า

ตัวห้อยท้ายตัวแปร	ความหมาย
Pre	สถานะของตัวแปรก่อนการปรับปรุง
Post	สถานะของตัวแปรหลังการปรับปรุง
Norm	สภาพที่กำหนดเป็นตัวแทนการใช้งาน
BL	กรณีฐานก่อนการปรับปรุง
FN	กรณีฐานหลังการปรับปรุง
SAVE	ผลการประหยัด
E	พลังงานไฟฟ้า



#### 4.4.9 บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	23/09/2557	ฉบับร่าง
1	13/10/2558	แก้ไขรายละเอียดสูตรการคำนวณและกรณีตัวอย่าง

#### 4.4.10 กรณีศึกษาและวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน: มาตรการมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor)

##### 4.4.10.1 รายละเอียดมาตรการ

โรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งติดตั้งเครื่องสูบน้ำซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 15 แรงม้า (11 kW) สำหรับสูบน้ำให้กับกระบวนการผลิตโดยมีการทำงานอย่างต่อเนื่องเกือบตลอดเวลา ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานของโรงงานแห่งนี้เห็นว่ามอเตอร์เครื่องสูบน้ำตัวนี้มีอายุใช้งาน 10 ปี จึงได้พิจารณาที่ดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงานเพื่อเปลี่ยนมอเตอร์ตัวนี้เป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเพื่อลดค่าไฟฟ้าให้กับโรงงาน

##### 4.4.10.2 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานของมาตรการอนุรักษ์พลังงานนี้เลือกดำเนินการตามรูปแบบ A การตรวจวัดตัวแปรทุกตัวแยกตามมาตรการ (Option B: Retrofit Isolation with All Parameter Measurement) ตามระเบียบวิธีการ IPMVP โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 1) สภาพการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์

สรุปสภาพการใช้งานตามกำหนดขอบเขตของมาตรการอนุรักษ์พลังงานดังตาราง

สภาพก่อนการปรับปรุง	สภาพหลังการปรับปรุง
<ul style="list-style-type: none"><li>มอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำ อายุใช้งาน 10 ปี ขนาด 11 kW จำนวน 1 ชุด</li><li>ชั่วโมงทำงาน 24 ชั่วโมงไม่น้อยกว่า 330 วันต่อปี</li><li>เปิดวาล์วจ่ายน้ำเต็มที 100% ตลอดเวลา</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ขนาด 11 kW จำนวน 1 ชุด ติดตั้งเข้ากับเครื่องสูบน้ำเดิม</li><li>ชั่วโมงทำงาน 24 ชั่วโมงไม่น้อยกว่า 330 วันต่อปี</li><li>ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้งาน</li></ul>

##### 2) วิธีการตรวจวัด

การตรวจวัดการใช้พลังงานใช้การติดตั้งมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ และบันทึกปริมาณการใช้ไฟฟ้าของมอเตอร์ทุก 15 นาที ผลการตรวจวัดจะนำมาใช้ในการคำนวณดัชนีการใช้พลังงาน และใช้ประกอบกับข้อมูลชั่วโมงทำงาน เพื่อคำนวณปริมาณการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง และผลการประหยัดพลังงาน

### 2.1) การตรวจวัดก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$P_{Pre}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดและคำนวณค่าเฉลี่ย	ใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาทีและหาค่าเฉลี่ย 1 ค่า
$L_{Pre}$	m <sup>3</sup> /h	ภาระงานเฉลี่ยของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดหรือเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิต	ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหลและปริมาตรการไหล	บันทึกค่าทุก 15 นาทีและหาค่าเฉลี่ย 1 ค่า
$H_{Pre}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง	จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริงในรอบสัปดาห์และข้อมูลจากสถานประกอบการ	พิจารณาชั่วโมงทำงานของมอเตอร์ร่วมกับบันทึกการทำงานจากสถานประกอบการ	บันทึกผล 1 ครั้งก่อนการปรับปรุง

### 2.2) การตรวจวัดหลังการปรับปรุง

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	แหล่งข้อมูล	วิธีการตรวจวัด	ความถี่ในการบันทึกค่า
$P_{Post}$	kW	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดและคำนวณค่าเฉลี่ย	ใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างช่วงระยะเวลาการตรวจวัด	บันทึกค่าทุก 15 นาทีและหาค่าเฉลี่ย 1 ค่า
$L_{Post}$	m <sup>3</sup> /h	ภาระงานเฉลี่ยของมอเตอร์หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดหรือเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิต	ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหลและปริมาตรการไหล	บันทึกค่าทุก 15 นาทีและหาค่าเฉลี่ย 1 ค่า
$H_{Post}$	h/y	ชั่วโมงทำงานของมอเตอร์หลังการปรับปรุง	จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานจริงในรอบสัปดาห์และข้อมูลจากสถานประกอบการ	พิจารณาชั่วโมงทำงานของมอเตอร์ร่วมกับบันทึกการทำงานจากสถานประกอบการ	บันทึกค่ารายเดือนและสรุปผลรายปี



### 3) ตัวแปรควบคุม

ตัวแปรควบคุม	สภาพการควบคุม
การเปิดวาล์วขาออกจากเครื่องสูบน้ำ	เปิดวาล์วเต็มที่ 100% ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง
สภาพการทำงาน of เครื่องสูบน้ำ	เครื่องสูบน้ำทำงานที่ Differential Head 33 m และ อัตราการไหลที่ 60 m <sup>3</sup> /h ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง
การบำรุงรักษามอเตอร์	ดำเนินการบำรุงรักษามอเตอร์ตามแผนการบำรุงรักษาตามปกติเพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด ทั้งก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

#### 4.4.10.3 การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

##### 1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

ผลการตรวจวัดการใช้พลังงานและภาระงานของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำก่อนการปรับปรุงเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (168 ชั่วโมง)

มอเตอร์	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง (kWh) $E_{Pre}$	ระยะเวลาที่ตรวจวัดการใช้งาน (hr) $H_{Pre}$	ปริมาณน้ำที่สูบก่อนปรับปรุง (m <sup>3</sup> ) $(L_{Pre} \times H_{Pre})$	ดัชนีการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> ) $SEC_{Pre}$
มอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำขนาด 11 kW	1,447	168.0	5,292	0.2734

##### สูตรคำนวณที่ใช้

$$SEC_{Pre} = \frac{P_{Pre}}{L_{Pre}} = \frac{E_{Pre}}{L_{Pre} \times H_{Pre}}$$

##### 2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

หลังการเปลี่ยนมอเตอร์เครื่องสูบน้ำเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงได้มีการติดตั้งมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า และมิเตอร์วัดปริมาณการไหลของน้ำขาออกจากเครื่องสูบน้ำอย่างถาวร โดยมีการจดบันทึกค่าเป็นรายเดือนตลอดปีดังตาราง

เดือน	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง (kWh) $E_{Post}$	ปริมาณน้ำที่สูบหลังปรับปรุง (m <sup>3</sup> ) $(L_{Post} \times H_{Post})$	ดัชนีการใช้พลังงานหลังปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> ) $SEC_{Post}$
มกราคม	5,742	23,436	0.2450
กุมภาพันธ์	5,447	21,773	0.2502
มีนาคม	6,102	25,110	0.2430
เมษายน	4,146	16,200	0.2559

เดือน	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง (kWh) $E_{Post}$	ปริมาณน้ำที่สูบหลังปรับปรุง (m <sup>3</sup> ) ( $L_{Post} \times H_{Post}$ )	ดัชนีการใช้พลังงานหลังปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> ) $SEC_{Post}$
พฤษภาคม	5,647	23,101	0.2444
มิถุนายน	6,299	25,920	0.2430
กรกฎาคม	6,242	25,780	0.2421
สิงหาคม	6,078	24,775	0.2453
กันยายน	6,551	26,244	0.2496
ตุลาคม	6,308	26,114	0.2416
พฤศจิกายน	5,947	24,300	0.2447
ธันวาคม	6,632	27,454	0.2416
รวม	71,142	290,207	0.2451

### สูตรคำนวณที่ใช้

$$SEC_{Post} = \frac{P_{Post}}{L_{Post}} = \frac{E_{Post}}{L_{Post} \times H_{Post}}$$

### 3) การคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

#### 3.1) การกำหนดกรณีฐานสำหรับการคำนวณผลประหยัด

การดำเนินการตามมาตรการในกรณีตัวอย่างนี้ใช้สภาพหลังการปรับปรุงเป็นกรณีฐาน โดยคิดผลการประหยัดพลังงานตามปริมาณน้ำที่สูบจริง

#### 3.2) ผลการประหยัดพลังงาน

จากบันทึกผลการตรวจวัดการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง สามารถคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนและหลังการปรับปรุง และพลังงานที่ประหยัดได้ดังนี้

เดือน	ปริมาณน้ำที่สูบหลังปรับปรุง (m <sup>3</sup> ) ( $L_{Post} \times H_{Post}$ )	ดัชนีการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> ) $SEC_{Pre}$	ดัชนีการใช้พลังงานหลังปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> ) $SEC_{Post}$	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานก่อนปรับปรุง (kWh) $E_{BL}$	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐานหลังปรับปรุง (kWh) $E_{FN}$	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh) $E_{SAVE}$	เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน %Save
มกราคม	23,436	0.2734	0.2450	6,407	5,742	665	10.4%
กุมภาพันธ์	21,773	0.2734	0.2502	5,953	5,447	505	8.5%
มีนาคม	25,110	0.2734	0.2430	6,865	6,102	763	11.1%
เมษายน	16,200	0.2734	0.2559	4,429	4,146	283	6.4%



เดือน	ปริมาณน้ำ ที่สูบหลัง ปรับปรุง (m <sup>3</sup> )  (L <sub>Post</sub> × H <sub>Post</sub> )	ดัชนีการใช้ พลังงาน ก่อน ปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> ) SEC <sub>Pre</sub>	ดัชนีการใช้ พลังงาน หลัง ปรับปรุง (kWh/m <sup>3</sup> ) SEC <sub>Post</sub>	พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ กรณีฐาน ก่อน ปรับปรุง (kWh) E <sub>BL</sub>	พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ กรณีฐาน หลัง ปรับปรุง (kWh) E <sub>FN</sub>	พลังงาน ไฟฟ้าที่ ประหยัดได้ (kWh) E <sub>SAVE</sub>	เปอร์เซ็นต์ การ ประหยัด พลังงาน %Save
พฤษภาคม	23,101	0.2734	0.2444	6,316	5,647	669	10.6%
มิถุนายน	25,920	0.2734	0.2430	7,086	6,299	788	11.1%
กรกฎาคม	25,780	0.2734	0.2421	7,048	6,242	806	11.4%
สิงหาคม	24,775	0.2734	0.2453	6,773	6,078	696	10.3%
กันยายน	26,244	0.2734	0.2496	7,175	6,551	624	8.7%
ตุลาคม	26,114	0.2734	0.2416	7,139	6,308	831	11.6%
พฤศจิกายน	24,300	0.2734	0.2447	6,643	5,947	696	10.5%
ธันวาคม	27,454	0.2734	0.2416	7,506	6,632	874	11.6%
รวม	290,207	0.2734	0.2451	79,340	71,142	8,198	10.3%

#### สูตรคำนวณที่ใช้

$$E_{\text{Save}} = E_{\text{BL}} - E_{\text{FN}}$$

$$E_{\text{BL}} = \text{SEC}_{\text{Pre}} \times L_{\text{Post}} \times H_{\text{Post}}$$

$$E_{\text{FN}} = \text{SEC}_{\text{Post}} \times L_{\text{Post}} \times H_{\text{Post}}$$

$$\% \text{Save} = [(E_{\text{BL}} - E_{\text{FN}}) / E_{\text{BL}}] \times 100\%$$

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้ผลต่างของพลังงานที่ใช้กรณีฐานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงตลอดปี เท่ากับ

$$E_{\text{Save}} = E_{\text{BL}} - E_{\text{FN}}$$

$$= 79,340 - 71,142$$

$$= 8,198 \text{ kWh/y}$$

ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานเฉลี่ยตลอดปีจากมาตรการสามารถคำนวณได้เท่ากับ

$$\% \text{Save} = [(E_{\text{BL}} - E_{\text{FN}}) / E_{\text{BL}}] \times 100\%$$

$$= [(79,340 - 71,142) / 79,340] \times 100\%$$

$$= 10.33\%$$

ผลการประหยัดพลังงานทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ คำนวณโดยใช้ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยจากข้อมูลของสถานประกอบการที่ 4 Baht/kWh เท่ากับ

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

$$= 8,198 \times 4$$

$$= 32,792 \text{ Baht/y}$$

# 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 , DOEIGO – 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 (AEPICA) , 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, AEPICA

<http://www.aepca.asn.au/>

{5} National Program for Electricity Conservation, PROCEL

<http://www.eletrabras.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>





ออกแบบรูปเล่มและจัดพิมพ์ : บริษัท พิทูเอสเมคเกอร์ จำกัด

email: ptwosmaker@gmail.com