คู่มือมาตรฐานการตรวจวัด และพิสูจน์ผลประหยัด

M&V

Measurement and Verification; M&V

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม
สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

คู่มือมาตรฐานการตรวจวัด และพิสูจน์ผลประหยัด

คำนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นตามการพัฒนาเศรษฐกิจในรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและการบริการ ทำให้อาคารและโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากต้องแบกรับภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นด้านเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า และค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ บริษัทจัดการพลังงานจึงเข้ามามีบทบาทและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับสถานประกอบการในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งที่ผ่านมามีสถานประกอบการหลายแห่งยังขาดความเชื่อมั่นในการให้บริการของบริษัทจัดการพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน จึงเกิดแนวคิดที่จะกำหนดมาตรฐานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการดำเนินธุรกิจบริษัทจัดการพลังงาน โดยการนำมาตรฐานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดที่ได้รับการยอมรับในสากลมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย ซึ่งได้มอบหมายให้สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ดำเนินการศึกษาและจัดทำมาตรฐานดังกล่าว เพื่อให้การดำเนินธุรกิจบริษัทจัดการพลังงานในประเทศไทยมีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน สร้างความน่าเชื่อถือให้กับสถานประกอบการและสถาบันการเงินหรือแหล่งเงินทุนในการปล่อยสินเชื่อให้กับธุรกิจบริษัทจัดการพลังงาน อันจะเป็นกลไกที่จะช่วยให้การดำเนินการอนุรักษ์พลังงานบรรลุเป้าหมายได้ดียิ่งขึ้น

มาตรฐานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดเล่มนี้ คณะผู้จัดทำได้ทำการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่สำคัญเกี่ยวกับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดเพื่อเป็นแนวทางให้กับบริษัทจัดการพลังงาน รวมถึงสถานประกอบการต่างๆ อาทิ นิยามของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ และตัวอย่างแนวทางของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ในมาตรการอุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าและมาตรการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟแสงสว่าง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงานที่ได้ให้การสนับสนุนในการดำเนินโครงการฯ สมาคมบริษัทจัดการพลังงานไทย คณะทำงานย่อยเพื่อดำเนินการจัดทำมาตรฐานการดำเนินงานบริษัทจัดการพลังงาน รวมถึงจัดทำมาตรฐานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (M&V) ตลอดจนหน่วยงานเอกชนที่ได้ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลและรายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง อันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำมาตรฐานเล่มนี้ และยินดีรับข้อคิดเห็นตลอดจนคำแนะนำต่างๆ เพื่อใช้ในการปรับปรุงมาตรฐานดังกล่าวให้ดียิ่งขึ้น โดยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ามาตรฐานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดในไทยจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องในธุรกิจ ESCO ทั้งผู้ให้บริการคือการเป็นที่ยอมรับและการยกระดับการให้บริการเทียบเคียงในระดับสากล และผู้รับบริการเกิดความเชื่อมั่นในการลงทุน สามารถพิจารณาเลือกใช้บริการบริษัท ESCO ที่มีคุณภาพได้ อันจะนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงาน และพัฒนาศักยภาพก้าวไกลสู่ระดับสากล

คณะผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำ

1.	นางอัมราพร อัชวังกูล	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)	ที่ปรึกษา
2.	นายสาร์รัฐ ประกอบชาติ	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)	ที่ปรึกษา
3.	นายสยาม มัชฌิมา	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)	ที่ปรึกษา
4.	ดร.พงศ์พันธุ์ วรสายันห์	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)	ที่ปรึกษา
5.	นายหิน นววงศ์	รองประธานคณะกรรมการบริหารสถาบันพลังงานฯ	ที่ปรึกษา
6.	นายณรงค์ บัณฑิตกมล	รองประธานคณะกรรมการบริหารสถาบันพลังงานฯ	ที่ปรึกษา
7.	นายไพรัตน์ ตังคเศรณี	กรรมการบริหารสถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม	ที่ปรึกษา
8.	นายรวิวัฒน์ พนาสันติภาพ	กรรมการบริหารสถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม	ประธาน
9.	นายพีรศุษม์ ธีระโกเมน	บริษัท โกลด์มาร์ก เทคนิคัล ซัพพลาย จำกัด	รองประธาน
10.	นายรุ่งเรือง สายพวรรณ์	ผู้อำนวยการสถาบันพลังงานฯ	คณะทำงาน
11.	นายพ้อง เหลืองแสงทอง	บริษัท บี.ที.เอ็ม.เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	คณะทำงาน
12.	นายกรัณย์ รักษ์เจริญ	บริษัท จัดการอากาศอัด จำกัด	คณะทำงาน
13.	นายอาทิตย์ เวชกิจ	บริษัท เอ็กซ์เซลเล้นท์ เอ็นเนอร์ยี่ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	คณะทำงาน
14.	นายชาญชัย กฤตพรตพิศุทธิ์	บริษัท เอ็นเนอร์ยี่ คอนเซอร์เวชั่นซีสเต็มส์ (ประเทศไทย) จำกัด	คณะทำงาน
15.	นายทรงเกียรติ หลิ่มศิริ	บริษัท การันตี เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	คณะทำงาน
16.	นายชนพันธ์ ถนัดช่าง	บริษัท ชไนเดอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด	คณะทำงาน
17.	นายรุจ บุญญฤทธิ์	บริษัท เครสโก้ คอปร์ปอเรชั่น จำกัด	คณะทำงาน
18.	นายภูษิต โชติสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี	ผู้เชี่ยวชาญ
19.	ดร.วัชรี จรจำรัส	มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม	ผู้เชี่ยวชาญ
20.	นางลักขณา ธิติธำรงชัย	เจ้าหน้าที่วิชาการ สถาบันพลังงานฯ	คณะทำงาน และเลขานุการ

สารบัญ

คำนำ
รายชื่อคณะผู้จัดทำ

บทที่ 1 นิยามการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 นิยามการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 2

บทที่ 2 รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 3

2.1 รูปแบบ A การตรวจวัดเพียงบางส่วนแยกตามมาตรการที่ปรับปรุง 3
2.2 รูปแบบ B การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง 4
2.3 รูปแบบ C พิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของสถานประกอบการ 4
2.4 รูปแบบ D การจำลองผล 6

บทที่ 3 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 7

3.1 การวางแผนตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด 7
3.2 ขั้นตอนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 8
3.3 การดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 9
3.4 การวิเคราะห์การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 11
3.5 การจัดทำรายงาน 12

บทที่ 4 แนวทางและกรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด 14

4.1 มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้า 14
4.2 มาตรการปรับเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง 34
4.3 มาตรการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟแสงสว่าง 65
4.4 มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ 96

เอกสารอ้างอิง 123

บทที่ 1

นิยามการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด

1. นิยามการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การตรวจวัดและพิสูจน์ทราบผลประหยัดจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (Measurement and Verification; M&V) นั้น ก่อนนำผลที่ได้มาหาคำนวณหาผลประหยัดที่แท้จริงของโครงการ จะมีการกำหนดให้ใช้กระบวนการตรวจวัดที่ได้รับการยอมรับในทำการตรวจวัดค่าการใช้พลังงาน อาทิ การกำหนดสิ่งที่ต้องดำเนินการในระหว่างการตรวจวัด การเข้าไปติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ การสอบเทียบ และการบำรุงรักษาเครื่องมือวัด การรวบรวม/กลั่นกรองข้อมูลที่ได้ การพัฒนาหาวิธีการคำนวณหาผลประหยัดที่เป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย การจัดทำรายงาน และการรับประกันคุณภาพเหล่านี้ เป็นต้น

ในที่นี้การตรวจวัดและพิสูจน์ทราบผลประหยัดในไทย ได้อ้างอิงระเบียบวิธีการของ IPMVP Volume I (International Performance and Verification Protocol) เป็นระเบียบวิธีอ้างอิงสำหรับการตรวจวัด และพิสูจน์ผลประหยัดที่พัฒนาขึ้นโดย EVO (Efficiency Valuation Organization) เพื่อนำมาช่วยกระตุ้นการลงทุนในโครงการด้านการอนุรักษ์พลังงาน โดย IPMVP Volume I จะเป็นการให้คำจำกัดความและแนวคิดการ M&V ทางเลือก (Options) ในการทำ M&V แบบต่างๆ วิธีการวางแผนและจัดทำรายงาน M&V เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อนำเสนอวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (M&V) เพื่อทำให้รายงานผลประหยัดที่ได้มีความน่าเชื่อถือ

2) เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ในไทยมีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดให้เป็นไปตามมาตรฐานสากลโดยอ้างอิงระเบียบวิธีการ IPMVP ซึ่งจะทำให้การดำเนินงานของบริษัทจัดการพลังงานมีความน่าเชื่อถือในระดับสากล

3) เพื่อให้การจัดทำรายงานวิเคราะห์ผลประหยัดมีความน่าเชื่อถือ ในด้านการลงทุนและผลประหยัดอย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 นิยามการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (M&V)

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (Measurement and Verification; M&V) คือ การตรวจสอบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการอยู่ยังคงทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน โดยคำนวณผลการประหยัดที่ได้รับจากการตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานก่อน และหลังการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานดังแสดงตามสมการ

ผลการประหยัด = (ระดับการใช้พลังงานปกติ)$_{ปรับแก้}$ - (ระดับการใช้พลังงานภายหลังดำเนินการ)

ในการตรวจสอบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานนั้นยังคงประหยัดพลังงานอยู่ จะต้องพิจารณาว่า วิธีการหาระดับการใช้พลังงานปกติที่ได้ มีความเที่ยงตรงและถูกต้อง นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาว่าระบบ หรือเครื่องจักร อุปกรณ์ที่ติดตั้งไปนั้นทำงานได้ตามที่ระบุในข้อกำหนดคุณสมบัติ (Specification) และทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (M&V) จะเป็นการตรวจวัดประสิทธิภาพของการประหยัดในโครงการอนุรักษ์พลังงาน เป็นกระบวนการที่สำคัญในการกำหนดและควบคุมความเสี่ยง (Performance Risk) ต่อการดำเนินธุรกิจของบริษัทจัดการพลังงาน ถึงแม้ว่าจะมีการออกแบบก่อสร้างที่ดีอย่างไรก็ตาม ถ้าไม่มีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดแล้ว อาจทำให้ผลการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นไม่เป็นไปตามที่ระบุไว้ในสัญญาพลังงานได้ ซึ่งการวัดและการตรวจสอบที่มีความน่าเชื่อถือ มีที่มาของข้อมูลที่สามารถตรวจสอบได้ จะทำให้บริษัทจัดการพลังงานและเจ้าของสถานประกอบการมั่นใจได้ว่าผลการประหยัดที่เกิดขึ้นจะเท่ากับที่ได้ จากคำนวณทางวิศวกรรมตลอดระยะเวลาของโครงการในสัญญาพลังงานจะมีการระบุระดับการใช้พลังงานปกติ (Baseline Energy Use) ของสถานประกอบการซึ่งระดับการใช้พลังงานปกตินี้จะต้องเป็นที่ยอมรับทั้งเจ้าของสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (M&V) เป็นขบวนการหรือขั้นตอนในการหาผลประหยัดที่เกิดจากมาตรการต่างๆ โดยเลือกจากแนวทางมาตรฐาน 4 แนวทางด้วยกัน ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป มีอยู่บ่อยที่ผู้ที่เกี่ยวข้องมักเกิดความสับสนระหว่างความหมายของคำว่า “การตรวจวัดผลประหยัด” (Measurement of Saving) และ “การดูแลตรวจสอบผลประหยัด” (Monitoring of Saving) ทำให้ประเด็นของการทำ M&V นั้นบิดเบือนไปและอาจจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงเกินความเป็นจริง โดยหลักการแล้ว “การตรวจวัดผลประหยัด” จะหมายถึงการวัดข้อมูลและวิเคราะห์หาจำนวนหรือปริมาณของผลประหยัดที่เกิดขึ้น ส่วน “การดูแลตรวจสอบผลประหยัด” จะหมายถึงการประเมินค่าผลประหยัดที่ได้และหรือแสดงการกระทำใดๆ เพื่อตอบสนองต่อผลประหยัดที่เกิดขึ้นซึ่งอาจจะหมายถึงการปรับเปลี่ยนวิธีการหรืออุปกรณ์ ดังนั้นเองการตรวจวัดผลประหยัดจึงไม่จำเป็นจะต้องทำแบบต่อเนื่องหรือต้องเก็บข้อมูลไว้ตลอดเวลา อาจจะทำเป็นบางครั้งบางคราวก็ได้ นอกจากนี้แล้ว การใช้คำว่า “การตรวจวัดผลประหยัด” อาจจะไม่ถูกต้องมากนัก เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วผลประหยัดไม่สามารถตรวจวัดได้ สิ่งที่สามารถวัดได้จริงคือปริมาณพลังงานที่ใช้ไป ผลประหยัดเกิดจากความแตกต่างของปริมาณพลังงานที่ใช้ก่อนและหลังการใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะต้องนำปริมาณพลังงานทั้งสองครั้งมาวิเคราะห์เพื่อหาผลประหยัดต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) ช่วยลดความเสี่ยง (Performance Risk) และการบริหารความเสี่ยงต่อการลงทุนในโครงการอนุรักษ์พลังงาน ทำให้เกิดความน่าเชื่อถือกับสถาบันการเงินหรือแหล่งเงินทุนในการปล่อยสินเชื่อให้กับธุรกิจบริษัทจัดการพลังงาน

2) ช่วยลดข้อขัดแย้งในการตรวจวัดผลประหยัดระหว่างบริษัทจัดการพลังงาน และสถานประกอบการในการลงทุนมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ ทำให้รายงานเป็นที่ยอมรับจากทุกๆ ฝ่าย รวมทั้งสถาบันการเงิน หรือผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ

3) ประเมินผลประหยัดได้ครบถ้วน และเกิดการประหยัดพลังงานอย่างต่อเนื่อง

4) ประหยัดเวลาในการจัดทำสัญญาพลังงาน ซึ่งการทำ M&V สามารถลดข้อขัดแย้งในการพิสูจน์หาผลประหยัด จึงช่วยประหยัดเวลาในการเจรจาจัดทำสัญญาพลังงานกับลูกค้า

5) ช่วยให้เกิดการขยายตลาดไปในต่างประเทศ เนื่องจากการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดตามระเบียบวิธีการตาม IPMVP เป็นระเบียบวิธีการที่รับความเชื่อถือและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในระดับสากล ซึ่งจะส่งผลให้บริษัทจัดการพลังงาน สามารถขยายตลาดไปยังต่างประเทศได้

บทที่ 2

รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

2. รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

2.1 รูปแบบ A การตรวจวัดเพียงบางส่วนแยกตามมาตรการที่ปรับปรุง (Partially Measured Retrofit Isolation)

2.1.1 การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

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

2.1.2 ระยะเวลาการตรวจวัด

การตรวจวัดในรูปแบบ A อาจจะเป็นการตรวจวัดเป็นจุดในช่วงระยะเวลาสั้นๆ หรือบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ต้องการตรวจวัด ทั้งนี้สำหรับข้อมูลที่มีค่าค่อนข้างคงที่ควรจะทำการตรวจวัดแบบจุดหรือวัดเพียงช่วงสั้นๆ แต่ถ้าเป็นข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ก็ควรทำการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง

2.1.3 การสุ่มตัวอย่าง

ในการตรวจวัดเพื่อหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้ของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ถ้าอุปกรณ์ในระบบมีจำนวนน้อย อาจจะทำการตรวจวัดอุปกรณ์ทุกตัว แต่ในกรณีที่อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องมีจำนวนมาก อาจจะต้องทำการสุ่มตัวอย่างของอุปกรณ์ที่จะทำการตรวจวัด โดยการจำแนกออกเป็นกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งแต่ละกลุ่มต้องมีลักษณะการทำงานหรือมีชั่วโมงการใช้งานที่คล้ายคลึงกัน แล้วจึงตรวจวัดกลุ่มตัวอย่างที่ได้จำแนกไว้ให้ครบถ้วน

2.1.4 ค่าใช้จ่ายในการทำ M&V รูปแบบ A

การหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้โดยรูปแบบ A สามารถใช้วิธีประมาณค่าได้โดยไม่ต้องทำการตรวจวัดค่าใช้จ่ายต่างๆ ประกอบด้วย

- เครื่องวัดที่ติดตั้งอย่างถาวร
- การเริ่มเดินเครื่องและการบำรุงรักษา
- การวิเคราะห์ค่าที่จะทำการประมาณ
- ค่าใช้จ่ายในการอ่านและบันทึกข้อมูล

เพราะฉะนั้นค่าใช้จ่ายในการหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้ จะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของมาตรการอนุรักษ์พลังงานและจำนวนของข้อมูลที่ต้องทำการตรวจวัด

2.1.5 รูปแบบ A เหมาะสมกับระบบต่างๆ ดังนี้

- มาตรการอนุรักษ์พลังงานมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ได้รับการปรับปรุงเท่านั้น
- สามารถแยกระบบเฉพาะที่ทำการปรับปรุงออกจากระบบที่เหลือทั้งหมด
- ตัวแปรอิสระซึ่งมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไม่ซับซ้อนมากนัก หรือมีค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินไปในการตรวจวัด
- มีเครื่องวัดย่อยติดตั้งอยู่แล้วในการแยกมาตรการอนุรักษ์พลังงานออกจากระบบที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง
- ปกติแล้วค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดรูปแบบ A มีค่าประมาณ 1-3% ของผลการประหยัด*

2.2 รูปแบบ B การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation)

รูปแบบ B เหมาะกับการตรวจวัดและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานที่มุ่งเน้นการหาประสิทธิภาพและปัจจัยการทำงานของอุปกรณ์ และระบบที่สามารถตรวจวัดได้โดยตรงโดยวิธีการตรวจวัดแบบจุด หรือตรวจวัดแบบต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของข้อมูลที่จะนำมาใช้

รูปแบบ B จะมีลักษณะคล้าย รูปแบบ A แต่จะมีการตรวจวัดข้อมูลที่มากกว่าและใช้ระยะเวลานานกว่าเพื่อให้เข้าใจถึงผลประหยัดที่เกิดขึ้นจริง ตามปกติจะทำการการตรวจวัดเพียงช่วงสั้นๆ ในกรณีที่มีตัวแปรหลายตัวเปลี่ยนแปลงหลังจากติดตั้งอุปกรณ์ อาจจะทำการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง

รูปแบบ B เหมาะสมกับระบบต่างๆ ดังนี้

- สำหรับโครงการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีผลการประหยัดน้อยกว่า 20% ของการใช้พลังงานรวมของระบบ
- เมื่อตัวแปรอิสระที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไม่ซับซ้อนมากนัก หรือมีค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินไปในการตรวจวัด
- มีเครื่องวัดย่อยติดตั้งอยู่แล้วในการแยกมาตรการอนุรักษ์พลังงานออกจากระบบที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง
- ปกติแล้วค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดรูปแบบ B มีค่าประมาณ 3-10% ของผลการประหยัด*

2.3 รูปแบบ C พิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของสถานประกอบการ (Whole facility)

2.3.1 การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดรูปแบบ C เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องวัดของการไฟฟ้า หรือเครื่องวัดย่อยทั้งหมดของอาคาร การตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามรูปแบบนี้ จะไม่ใช้ในการประเมินผลการประหยัดแยกตามรายมาตรการ แต่จะประเมินผลการประหยัดโดยรวมสำหรับมาตรการทั้งหมด ซึ่งพลังงานที่ประหยัดได้จากรูปแบบ C นี้จะรวมถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานของอาคารด้วย

รูปแบบนี้อาจจะนำมาใช้ในกรณีที่มีผลกระทบ ระหว่างมาตรการอนุรักษ์พลังงาน หรือระหว่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานกับส่วนของอาคารที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพ หรือการแยกรายมาตรการอาจจะทำได้ยากหรือมีค่าใช้จ่ายสูง

รูปแบบ C สามารถนำมาใช้กับโครงการซึ่งผลการประหยัดที่ได้คาดการณ์ไว้ มีค่ามากเพียงพอจนสามารถละเลยการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานที่ไม่สามารถอธิบายได้ โดยทั่วไปผลการประหยัดควรมีค่ามากกว่า 10% ของการใช้พลังงานทั้งปีก่อนการดำเนินโครงการ นอกจากนั้นควรมีการตรวจสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ทั้งหมดและการใช้งานภายในอาคารเป็นช่วงๆ สม่ำเสมอภายหลังดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

2.3.2 ข้อมูลพลังงาน

การใช้พลังงานของอาคารอาจจะตรวจวัดแยกแต่ละอุปกรณ์การใช้งานหรือแหล่งของพลังงาน เช่น เมื่อตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย จะตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคารแยกแต่ละอาคาร เพื่อให้สามารถประเมินการประหยัดพลังงานได้

เครื่องวัดหลายๆ เครื่องจะตรวจวัดการใช้พลังงานแต่ละชนิดของอาคาร และขยายการวัดไปสู่การใช้พลังงานของทั้งระบบ เพื่อประเมินผลการประหยัดโดยรวม การคำนวณหาผลการประหยัดควรแยกตามแต่ละเครื่องมือวัด หรือรวมเป็นส่วนๆ ของอาคาร เมื่อเครื่องวัดสามารถตรวจวัดการใช้พลังงานส่วนย่อยมาได้แล้ว ก็จะรวมเป็นการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคารเพื่อหาผลประหยัด สำหรับการตรวจวัดพลังไฟฟ้า การประหยัดค่าความต้องการควรมีการใช้ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าในการประเมินผลการประหยัด เพื่อความถูกต้องในการหาผลการประหยัด ซึ่งอาจจะใช้ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าหลายเดือน ถ้าไม่ใช้ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าก็ควรมีอุปกรณ์วัดความต้องการพลังไฟฟ้าแยกต่างหาก

2.3.3 ใบแจ้งหนี้ค่าพลังงาน (Energy invoices)

เมื่อใช้ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเป็นแหล่งข้อมูลของการใช้พลังงาน ควรจะระลึกไว้ด้วยว่าการอ่านค่าจากเครื่องวัดของการไฟฟ้าอาจจะไม่มีความถูกต้องแม่นยำนัก ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าจะมีข้อมูลโดยประมาณ โดยเฉพาะสำหรับสถานประกอบการขนาดย่อม การอ่านเครื่องวัดโดยประมาณนั้นอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการประเมินผลประหยัดได้

2.3.4 ตัวแปรอิสระ

ในที่นี้ตัวแปรอิสระ หมายถึง ลักษณะเฉพาะหรือสภาวะแวดล้อมของการใช้สถานประกอบการที่มีผลต่อการใช้พลังงาน เช่น สภาวะอากาศและจำนวนผู้ใช้สถานประกอบการ เราควรทำการตรวจวัดและบันทึกค่าตัวแปรอิสระในช่วงเวลาเดียวกันกับที่เครื่องวัดพลังงานบันทึก ปริมาณคนไข้ในเดือนเดียวกันกับใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า

2.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและแบบจำลอง

โดยทั่วไป รูปแบบ C จะใช้จำนวนข้อมูล 12, 24 หรือ 36 เดือน จากข้อมูลการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง และข้อมูลต่อเนื่องในช่วงหลังปรับปรุง อย่างไรก็ตามเราสามารถทราบข้อมูลประจำช่วงเวลาที่มากหรือน้อยกว่านี้ (เช่น 13, 14, 15 หรือ 9, 10, 11 เดือน)

สำหรับอาคารบางประเภท (เช่น โรงเรียน) ซึ่งมีค่าความแตกต่างที่สำคัญระหว่างการใช้พลังงานของอาคารในช่วงเปิดเทอมและปิดเทอม ควรจะมีการสร้างแบบจำลองถดถอยแยกกันสำหรับช่วงการใช้งานที่ต่างกันนี้

2.3.6 ค่าใช้จ่าย

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

2.3.7 **รูปแบบ C เหมาะสมกับระบบต่างๆ ดังนี้**

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

2.4 รูปแบบ D การจำลองผล (Calibrated Simulation)

รูปแบบ D เกี่ยวข้องกับการใช้ซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์จำลองการใช้พลังงานก่อนและหลังดำเนินมาตรการของสถานประกอบการ สามารถใช้ได้ทั้งแบบรายมาตรการหรือหลายมาตรการรวมกันแบบจำลองในการคำนวณจะต้องมีการปรับเทียบเพื่อที่ว่าจะได้สามารถทำนายการใช้พลังงานและความต้องการพลังไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความเป็นจริง ไม่ว่าจะเป็นช่วงก่อนหรือหลังการปรับปรุง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นปริมาณการใช้พลังงานหลังดำเนินมาตรการ โดยปกติทางเลือกนี้จะใช้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลการใช้พลังงานของ Base Year

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

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

บทที่ 3

แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

3. แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

3.1 การวางแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดที่ดี ควรมีการจัดทำแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (M&V) ควรประกอบไปด้วยข้อมูลหลัก ดังต่อไปนี้

3.1.1 วัตถุประสงค์ และรายละเอียดของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และผลประหยัดที่คาดว่าจะได้รับ

3.1.2 ขอบเขตของการตรวจวัด เพื่อใช้ตัดสินผลการประหยัด ซึ่งครอบคลุมทั้งในส่วนเฉพาะเจาะจง เช่น การไหลของน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ ปริมาณอากาศและจำนวนเชื้อเพลิงในเตาเผาและอื่นๆ หรือครอบคลุมขอบเขตที่กว้าง เช่น พลังงานทั้งหมดที่ใช้ของสถานประกอบการ โดยแยกเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน เป็นต้น

3.1.3 รายละเอียดที่มาของเงื่อนไขพื้นฐาน และข้อกำหนดต่างๆ สำหรับใช้อ้างอิงเป็นปีฐาน (Base Year) และประมาณการใช้พลังงานในปีฐานของสถานประกอบการ ประกอบด้วย

1) ปริมาณการใช้พลังงาน และลักษณะความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า
2) ประเภทการใช้พื้นที่ และช่วงเวลาการใช้งาน
3) สภาวะอากาศ หรือผลผลิต สำหรับแต่ละฤดูกาล
4) ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในสถานประกอบการ อาจจะแยกย่อยออกเป็นระบบๆ ของภายในสถานประกอบการ
5) การปรับตั้งค่าการใช้งานของอุปกรณ์ (Set Point)

3.1.4 ระบุวิธีการหรือแผนการต่างๆ ที่จะใช้ในการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขที่ใช้อ้างอิง

3.1.5 กำหนดงบประมาณการลงทุน และช่วงระยะเวลาการคืนทุนของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

3.1.6 กำหนดเงื่อนไข ซึ่งจะใช้ในการปรับเปลี่ยนวิธีการตรวจวัด

3.1.7 กำหนดกระบวนการจัดเก็บข้อมูลสมมุติฐาน และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างชัดเจน

3.1.8 กำหนดรายละเอียด ตำแหน่ง เวลา ที่จะทำการตรวจวัด ลักษณะคุณสมบัติของเครื่องวัด การเปรียบเทียบเครื่องวัด

3.1.9 การอ่านค่า และการเป็นพยาน (Witnessing Protocol) ในการอ่านค่าจากเครื่องวัด ขั้นตอนการส่งมอบเครื่องวัด การปรับเปลี่ยนเครื่องวัด และวิธีการแก้ไขเมื่อข้อมูลสูญหายหรือไม่สามารถตรวจวัดได้

3.1.10 กำหนดวิธีการประกันคุณภาพของโครงการ

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

3.2 ขั้นตอนหลักของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การที่โครงการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการโดยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) จะมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ควรมีขั้นตอนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อช่วยลดข้อขัดแย้งในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด ระหว่างบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการ นอกจากนี้ยังเป็นการลดข้อพิพาทระหว่างบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ด้วยกันเองที่นำเสนอโครงการอนุรักษ์พลังงานที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกัน โดยมาตรฐานขั้นต่ำของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดควรดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) **แต่งตั้งคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด**

สถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) พิจารณาเลือกและแต่งตั้งหน่วยงานที่จะมาทำงานเป็นคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (Measurement and Verification Unit: M&V Unit)

2) **สำรวจพื้นที่ตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน**

ตัวแทน M&V Unit สำรวจพื้นที่และเครื่องจักรที่จะทำการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเพื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดรวมถึงค่าใช้จ่ายในการจัดทำรายงาน

3) **จัดทำข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด**

M&V Unit จัดทำข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดส่งผ่านบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) เพื่อแนบท้ายสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract: EPC) ในภาคผนวก ค.

4) **เตรียมพื้นที่และเครื่องจักรสำหรับการตรวจวัดก่อนปรับปรุง**

สถานประกอบการจัดเตรียมพื้นที่และนัดหมาย M&V Unit เพื่อเข้าปฏิบัติการ ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

5) **ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง**

M&V Unit เข้าปฏิบัติการ ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง เพื่อจัดทำพลังงานปีฐาน (Baseline) และส่งมอบรายงานให้กับคู่สัญญาพิจารณา

6) **เตรียมพื้นที่และเครื่องจักรสำหรับการตรวจวัดหลังปรับปรุง**

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

7) **ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังปรับปรุง**

M&V Unit เข้าปฏิบัติการ ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

8) **จัดทำรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด**

M&V Unit จัดส่งรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดให้สถานประกอบการลงนามในรายงานและเบิกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดและรายงานจากผู้ว่าจ้าง (กรณี M&V Unit ที่มาจากหน่วยงานภายนอก)

หมายเหตุ

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

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

3. สถานประกอบการจะต้องเป็นผู้ดูแลรักษาเครื่องมือของ M&V Unit ขณะทำการตรวจวัด และหากเครื่องมือสูญหายหรือเสียหายจากกิจกรรมการทำงานของ สถานประกอบการ ให้สถานประกอบการรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในส่วนนี้

4. หากมีการยกเลิกโครงการหลังจากที่ M&V Unit เริ่มดำเนินงานแล้ว ให้ ESCO เป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่เกิดขึ้นจริง

3.3 การดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (M&V Process)

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดนั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้ ESCO ความถูกต้องในการวัด และการพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานจะส่งผลถึงระยะเวลาการคืนทุน

3.3.1 **ขั้นตอนการดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด**ตามแนวทางมาตรฐานสากล IPMVP นั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1) เลือกรูปแบบการตรวจวัดพลังงาน (Option A, B, C, D) ให้เหมาะสมกับมาตรการอนุรักษ์พลังงานพร้อมทั้งกำหนดค่าปรับแก้ หากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้พลังงาน
2) รวบรวมข้อมูลการปฏิบัติและพลังงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในปีฐาน (Base Year) และประกอบการประเมินผลการประหยัดที่จะเกิดขึ้น
3) กำหนดวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล และค่าใช้จ่าย เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่สลับซับซ้อนอาจจะมีค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งค่าใช้จ่ายจะแปรเปลี่ยนไปตามจำนวนข้อมูลที่ต้องการ ระยะเวลาความยากง่ายในการเก็บข้อมูล
4) จัดเตรียมแผนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (M&V Plan)
5) ออกแบบ ติดตั้ง และทดสอบอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ภายใต้แผน M&V ที่กำหนด
6) หลังจากดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดแล้ว และต้องทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ติดตั้ง พร้อมทั้งปรับปรุงวิธีการใช้งานอุปกรณ์ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลการประหยัดที่ได้รับสอดคล้องตามที่กำหนดไว้
7) รวบรวบข้อมูลการเดินเครื่อง และการใช้พลังงานของอุปกรณ์ หลังจากปรับปรุงตามมาตรการที่กำหนดแล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงก่อนปรับปรุง การเก็บข้อมูลนี้ ควรรวมถึงการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์เป็นระยะ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอุปกรณ์สามารถใช้งานได้ตามแผนที่วางไว้
8) คำนวณและจัดทำรายงานผลประหยัดให้สอดคล้องกับแผนงาน (M&V Plan) ที่ได้วางไว้ ทั้งนี้การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดอาจจะกระทำโดยหน่วยงานกลาง เพื่อให้มั่นใจต่อผลการตรวจวัดที่เกิดขึ้น

3.3.2 ประเด็นที่ควรพิจารณาในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

ในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้บริษัทจัดการพลังงานนั้น มีหลายๆ ประเด็นที่ผู้ประกอบการ และเจ้าของสถานประกอบการแต่ละแห่ง ควรให้ความสนใจในประเด็นหลักต่างๆ ดังนี้

3.3.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลประหยัด (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 ความไม่แน่นอนในการประเมินผลประหยัด (Evaluating Saving Uncertainty)

ประเด็นดังกล่าวอาจส่งผลต่อการคำนวณผลประหยัดที่เกิดขึ้น โดยความไม่แน่นอน อาจจะเกิดจาก ความคลาดเคลื่อนของกระบวนการดังต่อไปนี้

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

การลดความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ โดยทั่วไปสามารถดำเนินการได้ 2 แนวทาง ดังนี้

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

3.3.2.3 การทำงานขั้นต่ำของอุปกรณ์ (Minimum Operating Conditions)

ก่อนการดำเนินงาน ESCO และสถานประกอบการ ควรปรึกษาหารือ เพื่อทำบันทึกความเข้าใจ กำหนดเงื่อนไขการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่จะดำเนินการ เช่น การทำงานของเครื่องปรับอากาศ 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นต้น เพื่อให้มาตรการอนุรักษ์พลังงานมีความชัดเจน และสามารถบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้

3.3.2.4 ราคาพลังงาน (Energy Prices)

ค่าพลังงานที่สามารถประหยัดได้ คำนวณจากผลคูณของปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้กับราคาค่าพลังงานในขณะนั้น ซึ่งควรมีการกำหนดให้ชัดเจนว่าจะใช้ราคาเท่าไหร่ หรืออ้างอิงข้อมูลจากที่ใด

3.3.2.5 การพิสูจน์ผลโดยบุคคลที่สาม (Verification By A Third Party)

เนื่องจากสถานประกอบการมักไม่ชำนาญในด้านการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นจึงอาจทำการว่าจ้างบุคคลที่ 3 ช่วยตรวจสอบและวิเคราะห์ขั้นตอนการดำเนินงานตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานว่ามีโอกาสประสบสำเร็จตามที่ ESCO ได้เสนอไว้หรือไม่ รวมถึงการกำหนดค่ามาตรฐานและระเบียบวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์

ผลการประหยัด เพื่อให้ทั้งสองฝ่ายเห็นพ้องต้องกัน ทั้งนี้ บุคคลที่ 3 ควรเป็นหน่วยงานกลางที่มีประสบการณ์ด้านการอนุรักษ์พลังงานสูง

3.3.2.6 **การปรับค่าฐานการใช้พลังงาน** (Baseline Adjustments)

การปรับค่าฐานการใช้พลังงาน เป็นการปรับเพื่อให้การคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงานมีความแม่นยำมากขึ้น โดยการปรับค่าฐานอาจเกิดขึ้นจาก

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

ในบางครั้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจไม่จำเป็นต้องปรับค่าฐาน หาก

1) สิ่งที่ปรับเปลี่ยนนั้นถูกรวมเข้าไปในแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณเรียบร้อยแล้ว
2) สิ่งที่ปรับเปลี่ยนนั้นถูกจัดการในขั้นตอนการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด
3) สิ่งที่ปรับเปลี่ยนไม่อยู่ในขอบเขตของการพิจารณาผลการอนุรักษ์พลังงาน

3.3.2.7 **ค่าใช้จ่าย** (Cost)

ค่าใช้จ่ายในการคำนวณผลการประหยัดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น

1) รูปแบบในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด
2) จำนวนและความซับซ้อนของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน
3) จำนวนและความซับซ้อนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด
4) จำนวนบุคลากรที่ต้องใช้ในการดำเนินการ
5) จำนวนการสุ่มวัด ความละเอียดและความถูกต้องในการวัด

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายจึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสม และดุลยพินิจของสถานประกอบการ

3.4 การวิเคราะห์การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

เป็นการคำนวณหาปริมาณพลังงานหรือพลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ สามารถหาได้จากการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานหรือพลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนและหลังการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งสรุปเป็นความสัมพันธ์ดังนี้

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

ค่าปรับแก้ เป็นค่าที่ใช้ปรับค่าฐานของปริมาณการใช้พลังงานก่อนปรับปรุงให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขหรือสภาวะการทำงานเดียวกันกับภายหลังการปรับปรุง สภาวะดังกล่าว ได้แก่ สภาพอากาศ การใช้งานอาคาร ผลผลิต และการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น ทั้งนี้ค่าปรับแก้อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

การเปรียบเทียบผลประหยัดสามารถทำได้ 3 รูปแบบ คือ

1) Cost Avoidance เป็นการหาปริมาณการใช้พลังงานหรือค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในช่วงหลังการปรับปรุง ถ้าหากไม่มีการดำเนินมาตรการดังกล่าว ในรูปแบบนี้จะใช้สภาวะการทำงานในช่วงหลังการปรับปรุงเป็นตัวตั้ง รูปแบบนี้เป็นรูปแบบที่นิยมใช้มากที่สุด

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

3) Normalized Saving เป็นการหาปริมาณการใช้พลังงานโดยใช้สภาวะการทำงานที่กำหนดขึ้นมาสภาวะหนึ่ง ซึ่งถือว่าเป็นสภาวะการทำงานปกติ แล้วคิดว่าภายใต้สภาวะดังกล่าว ก่อนและหลังดำเนินมาตรการจะมีการใช้พลังงานแตกต่างกันอย่างไร

3.5 การจัดทำรายงาน (M&V Reporting)

การจัดทำรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดนั้น ควรมีการนำเสนอรายงานตามที่เสนอไว้ในแผนการทำ M&V ซึ่งการจัดทำรายงานควรมีรายละเอียดที่สำคัญ คือ

3.5.1 รูปแบบของข้อมูลที่ได้จากการบันทึก

ส่วนใหญ่การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานใน Baseyear ซึ่งข้อมูลนี้จะใช้ในการวิเคราะห์หามาตรการอนุรักษ์พลังงานด้วย เช่น ปริมาณการใช้พลังงาน อาจจะหาได้จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำมัน หรือจากการติดตั้งมาตรวัดเฉพาะ ถ้าเป็นข้อมูลภูมิอากาศ อาจจะหาได้จากข้อมูลที่เก็บโดยองค์การของรัฐ ตารางการใช้งานเครื่องจักร จำนวนคน/ผลิตภัณฑ์ หรือถ้าเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับการปฏิบัติงาน 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 รูปแบบ คือ

3.5.3.1 ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของ ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามมาตรฐานของ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากสถานประกอบการแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลประหยัดตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

3.5.3.2 รายงานการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง

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

1) ดำเนินการติดตั้งเครื่องวัดเพื่อเก็บข้อมูลของสภาพการทำงานของอุปกรณ์ หรือระบบต่างๆ เป็นช่วงเวลาที่เพียงพอในการที่จะรู้ถึงลักษณะการทำงาน

2) จัดทำรายงานผลการตรวจวัด และวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่ได้ดำเนินการแล้วจัดส่งรายงานนี้ให้กับสถานประกอบการ เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลและอนุมัติต่อไป

3) เมื่อสถานประกอบการอนุมัติรายงาน และได้แจ้งให้บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ทราบแล้วนั้น ESCO ก็สามารถดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

4) บริษัทจัดการพลังงานทำการแจ้งให้สถานประกอบการทราบว่า อุปกรณ์ทั้งหมดได้ทำการติดตั้งเสร็จเรียบร้อย

3.5.3.3 รายงานการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังปรับปรุง

เมื่อดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ในมาตรการอนุรักษ์พลังงานแล้วเสร็จ บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ต้องจัดส่งรายงานภายหลังการติดตั้งอุปกรณ์ให้สถานประกอบการ รายงานควรประกอบด้วย ข้อมูลอุปกรณ์หรือ ระบบที่ได้ทำการติดตั้ง การเริ่มเดินเครื่องอุปกรณ์ และการคำนวณผลการประหยัดที่ได้ประเมินไว้ เมื่อสถานประกอบการได้ทำการตรวจสอบรายงานภายหลังการติดตั้งอุปกรณ์ ตรวจสอบอุปกรณ์ที่ติดตั้ง และเครื่องวัดที่ใช้ในการตรวจวัด สถานประกอบการก็จะดำเนินการ ดังนี้

1) อนุมัติรายงาน ถ้ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการสามารถยอมรับได้

2) ไม่อนุมัติรายงาน ถ้ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการยังไม่สมบูรณ์

บทที่ 4

ตัวอย่างแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด

4.1 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด : มาตรการอุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้า

4.1.1 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

1) วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้า หรือปรับปรุงอุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2) วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการติดตั้งหรือปรับปรุงอุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ ติดตั้งร่วมด้วย เช่น มาตรการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า หรือมาตรการติดตั้งอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้า

3) ระบบควบคุมไฟฟ้าหลังติดตั้งอุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้า ควรต่อวงจรแบบขนานโดยสามารถใช้งานระบบไฟฟ้าเดิมก่อนปรับปรุงได้ในกรณีอุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้ามีปัญหาหรือซ่อมบำรุง นอกจากนี้ระบบตู้จ่ายไฟฟ้าของสถานประกอบการต้องมีความสะดวกในการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด

4) ภาระงานของระบบไฟฟ้า ณ ตำแหน่งเบรกเกอร์หลักตามมาตรการ อาจมีความหลากหลายตามวัตถุประสงค์การใช้งานของระบบไฟฟ้า ต้องสามารถค้นหาวิธีการทางวิศวกรรมเพื่อตรวจวัดและประเมินผลด้วยการหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) หรือสามารถกำหนดภาระการใช้งานให้มีความใกล้เคียงกันระหว่างการตรวจวัดก่อนและหลังปรับปรุงได้

5) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดตามมาตรฐาน THAI ESCO FUND นี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยคำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ในกรณีที่ต้องการเพิ่มระดับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลให้สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการนี้

4.1.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

การเลือกรูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ของมาตรฐานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลนี้ อ้างอิงมาตรฐานของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมีให้เลือกใช้ได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ได้กำหนดขึ้นในเอกสารฉบับนี้ ถือเป็นการตรวจวัดและพิสูจน์ผลอย่างน้อยที่สุดของมาตรการติดตั้งหรือปรับปรุงอุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าที่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผล (Measurement and Verification Unit, M&V Unit) ได้เลือกแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผล รูปแบบ B การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation)

4.1.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

1) ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

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

2) รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

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

2.1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

2.2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

2.3) การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลและจัดทำรายงาน แล้วเสร็จให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

4.1.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

1) การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงสามารถเลือกได้จาก 2 วิธี ขึ้นอยู่กับความละเอียดและความแม่นยำที่สถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงานต้องการ โดยทั้ง 2 วิธี ใช้ตัวแปรหลักเดียวกัน ได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง และชั่วโมงการทำงานปีฐานของระบบไฟฟ้าตามมาตรการ โดยมีฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและตัวแปรหลัก ดังนี้

$$EBL = f(PE_{Pre}, H)$$

โดยที่

EBL = พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

PE_{Pre} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง (kW)

H = ชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ปีฐาน (h/y)

1.1) กรณีใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเป็นตัวแปรหลักจากฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$E_{BL} = PE_{Pre} \times H$

1.2) กรณีใช้ผลรวมการใช้พลังงานในรอบสัปดาห์เป็นตัวแปรหลักจากฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$E_{BL} = \left\{ \sum_{Mon}^{Sun} \left(\int_{0.25}^{24} PE_{Pre}\, dt \right) \right\} \times 52 \text{ Week}$$

Mon ⟶ Sun = วันแต่ละวันในรอบสัปดาห์ (วันจันทร์ ถึง วันอาทิตย์)

52 Week = จำนวนสัปดาห์ในรอบปี

2) การคำนวณภาระงาน

ภาระงาน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานของระบบไฟฟ้าที่ตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก (Main Distributor Board, MDB) ตามมาตรการ แตกต่างกันไปตามกระบวนการผลิตของสถานประกอบการ โดยทั่วไปอาจกำหนดเป็น อัตราการผลิตสินค้า ปริมาณการผลิตสินค้า พื้นที่ใช้งาน จำนวนห้องพัก ปริมาตรของไหล หรืออัตราการไหล เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

L_{Pre} = ภาระงาน (Load) ตามสภาพการใช้งานก่อนการปรับปรุง (m^3/h, Pcs/h, Pcs, m^2, Rooms, m^3, L/min, ฯลฯ)

3) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง สามารถคำนวณได้จาก 2 กรณี ดังนี้

3.1) กรณีภาระงานสามารถบันทึกเป็นอัตราการผลิตหรืออัตราการไหล

$SEC_{Pre} = f_1 (PE, L)_{Pre}$

โดยที่

SEC_{Pre} = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง (kWh/m^3, kWh/Pcs, kWh/L)

PE_{Pre} = กำลังไฟฟ้าจากการตรวจวัดก่อนปรับปรุง Electrical Power (kW)

L_{Pre} = ภาระงานก่อนปรับปรุงในหน่วยอัตรา (m^3/h, Pcs/h, L/h)

3.2) กรณีภาระงานบันทึกเป็นปริมาณการผลิต หรือปริมาตร

$SEC_{Pre} = f_2 (E, L)_{Pre}$

โดยที่

SEC_{Pre} = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนปรับปรุง (kWh/m^3, kWh/Pcs, kWh/L)

E_{Pre} = พลังงานไฟฟ้าจากการตรวจวัดก่อนปรับปรุง Electrical Energy (kWh)

L_{Pre} = ภาระงานก่อนปรับปรุงในหน่วยปริมาตรหรือปริมาณหรือพื้นที่ใช้งาน (m^3, Pcs, Rooms, m^2)

4.1.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

1) การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงสามารถเลือกได้จาก 2 วิธี ให้เลือกเป็นรูปแบบเดียวกันกับก่อนปรับปรุง สำหรับฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงและตัวแปรหลักมีดังนี้

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

โดยที่

E_{FN} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้หลังการปรับปรุง (kWh/y)

PE_{Post} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหลังการปรับปรุง (kW)

H = ชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ปีฐาน (h/y)

1.1) กรณีใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเป็นตัวแปรหลัก

จากฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

E_{FN} = PE_{Post} x H

1.2) กรณีใช้ผลรวมการใช้พลังงานในรอบสัปดาห์เป็นตัวแปรหลัก

จากฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$E_{FN} = \left\{ \sum_{Mon}^{Sun} \left(\int_{0.25}^{24} PE_{Post}\, dt \right) \right\} \text{ x 52 Week}$$

Mon ⟶ Sun = วันแต่ละวันในรอบสัปดาห์ (วันจันทร์ ถึง วันอาทิตย์)

52 Week = จำนวนสัปดาห์ในรอบปี

2) การคำนวณภาระงาน

ภาระงานหลังการปรับปรุงตามมาตรการ กำหนดให้เป็นภาระงานชนิดเดียวกันกับภาระงานก่อนการปรับปรุง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

L_{Post} = ภาระงาน (Load) ตามสภาพการใช้งานหลังการปรับปรุง (m^3/h, Pcs/h, Pcs, m^2, Rooms, m^3, L/min, ฯลฯ)

3) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง สามารถคำนวณได้จาก 2 กรณี ดังนี้

3.1) กรณีภาระงานสามารถบันทึกเป็นอัตราการผลิตหรืออัตราการไหล

SEC_{Post} = f_1 (PE, L)$_{Post}$

โดยที่

SEC_{Post} = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง (kWh/m^3, kWh/Pcs, kWh/L)

PE_{Post} = กำลังไฟฟ้าจากการตรวจวัดหลังปรับปรุง Electrical Power (kW)

L_{Post} = ภาระงานหลังปรับปรุงในหน่วยอัตรา (m^3/h, Pcs/h, L/h)

3.2) **กรณีภาระงานบันทึกเป็นปริมาณการผลิต หรือปริมาตร**

SEC_{Post} = $f_2 (E, L)_{Post}$

โดยที่

SEC_{Post} = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังปรับปรุง (kWh/m^3, kWh/Pcs, kWh/L)

E_{Post} = พลังงานไฟฟ้าจากการตรวจวัดหลังปรับปรุง Electrical Energy (kWh)

L_{Post} = ภาระงานหลังปรับปรุงในหน่วยปริมาตรหรือปริมาณหรือพื้นที่ใช้งาน (m^3, Pcs, Rooms, m^2)

4.1.6 การวิเคราะห์ผลประหยัด

1) ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า

1.1) **กรณีสามารถควบคุมภาระงานให้คงที่ระหว่างการตรวจวัด**

กรณีนี้เช่นภาระงานประเภทหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง หรือมอเตอร์ หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่สามารถควบคุมการเปิด-ปิด หรือปรับสภาวะการใช้งานให้ใกล้เคียงกันระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง โดยการคำนวณหาผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าปีฐานสามารถหาได้จากการนำพลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง ลบด้วยพลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้หลังการปรับปรุง เขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) และสมการได้ดังนี้

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

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

โดยที่

E_{Save} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ประหยัดได้ (kWh/y)

<u>หมายเหตุ</u> ในกรณีนี้ภาระงานก่อนและหลังการปรับปรุงถือเป็นสภาวะควบคุม มีความแตกต่างกันไม่เกิน 5%

1.2) **กรณีไม่สามารถควบคุมภาระงานได้ระหว่างการตรวจวัด**

กรณีนี้ สถานประกอบการมีการผลิตที่ไม่คงที่ยากต่อการควบคุม หรือสถานประกอบการเป็นโรงแรมที่มียอดการใช้ห้องพักไม่คงที่ ให้ใช้ค่า SEC เป็นดัชนีในการชี้วัดผลประหยัด เขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) และสมการได้ดังนี้

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

E_{BL} = $f_1(SEC_{Pre}, L_{YB, Pre})$ = $SEC_{Pre} \times L_{YB, Pre}$

E_{FN} = $f_2(SEC_{Post}, L_{YB, Post})$ = $SEC_{Post} \times L_{YB, Post}$

โดยที่

$L_{YB,Pre}$ = อัตราการผลิตรวมตลอดปีก่อนปรับปรุง (m^3/y, Pcs/y, L/y, Rooms/y,m^2/y, Units/y, ฯลฯ)

$L_{YB,Post}$ = อัตราการผลิตรวมตลอดปีหลังปรับปรุง (m^3/y, Pcs/y, L/y, Rooms/y,m^2/y, Units/y, ฯลฯ)

การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน (%Save) สามารถแสดงได้ดังนี้

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

โดยที่

SEC_{Pre} = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก่อนการปรับปรุง (kWh/Unit, kWh/m^3, kWh/Pcs, ฯลฯ)

SEC_{Post} = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหลังการปรับปรุง (kWh/Unit, kWh/m^3, kWh/Pcs, ฯลฯ)

2) ผลประหยัดทางการเงินปีฐาน

ผลประหยัดทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักได้แก่ พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ประหยัดได้ และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) และสมการได้ดังนี้

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

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

โดยที่

C_{Save} = จำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน (Bath/y)

C_E = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC (Bath/kWh)

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

4.1.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล โดยทั่วไปตัวแปรหรือข้อมูลได้มาจาก 6 วิธีการ ได้แก่

1) ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

2) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

กรณีใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถทำได้โดยทดสอบการทำงานของระบบไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ ครอบคลุมย่านที่ใช้งานสูงที่สุดและต่ำที่สุด เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่ต้องการได้แก่ กำลังไฟฟ้า และภาระงาน จากนั้นนำข้อมูลมาสร้างสมการถดถอย (Regression) ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์หรือโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ โดยข้อมูลทดสอบต้องมีช่วงครอบคลุมย่านการใช้งานทั้งหมด ส่วนค่าในช่วงที่ไม่มีข้อมูลทดสอบ สามารถประเมินได้โดยการประเมินข้างน้อย (conservative approximation)

หมายเหตุ ในกรณีที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าตัวแปรให้ทำการทดสอบค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการตรวจวัดหรือบันทึกจากมิเตอร์แสดงผลของอุปกรณ์ แล้วนำมาสร้างเป็นตาราง (look up table) จากนั้นให้ใช้หลักการทางสถิติหาค่า R^2 และให้พิจารณาจากค่า R^2 โดยต้องมีค่ามากกว่า 0.75 ขึ้นไป

3) ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ข้อมูลที่ถูกบันทึกโดยพนักงานของสถานประกอบการ เช่นข้อมูลชั่วโมงทำงานของเครื่องจักร ข้อมูลอัตราการผลิต หรือข้อมูลภาระงานของเครื่องจักร สามารถนำมาใช้ได้แต่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลควรตรวจความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งสถานประกอบการเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

4) ข้อมูลจากผู้ผลิต

บางครั้งผู้ผลิตได้ให้ข้อมูลการทดสอบอุปกรณ์ที่เสนอขายมาด้วย สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังข้อ 7.2 แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

5) ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น

ตัวแปรหรือข้อมูลบางตัวสามารถหาได้จากสถาบันการตรวจวัดที่มีการตรวจวัดข้อมูลไว้ตลอดปี เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ หรือเว็บไซต์ต่างๆ ที่เชื่อถือได้ แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

6) ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่

ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่ ส่วนมากไม่นิยมใช้ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล แต่ถ้ามีความจำเป็นสามารถนำมาใช้ได้ในส่วนที่ไม่สำคัญต่อการวิเคราะห์ผลประหยัด และต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

4.1.8 รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลประหยัด มี 2 ชนิดได้แก่ตัวแปรหลักและตัวแปรควบคุม

1) **ตัวแปรหลัก** หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลประหยัดพลังงาน ผลประหยัดทางการเงิน

2) **ตัวแปรควบคุม** หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการที่ ESCO เสนอขาย บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นและเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10%

3) **คำอธิบายตัวแปร**

ตัวแปร	PE_{Pre}
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด หรือ 2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่ควรเกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	PE_{Post}
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด หรือ 2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับความถี่ในการบันทึกค่าก่อนการปรับปรุง

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

ตัวแปร	L_{Pre}
หน่วย	m^3, Units, Pcs, m^3/h, Units/h, Pcs/h, ฯลฯ
ความหมาย	ภาระงานหรืออัตราการผลิตสินค้าก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ ท่ออากาศ สายพาน ถาดบรรจุชิ้นงาน 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตร 3. ใช้คนจดบันทึกปริมาณการผลิต
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงาน

ตัวแปร	L_{Post}
หน่วย	m^3, Units, Pcs, m^3/h, Units/h, Pcs/h, ฯลฯ
ความหมาย	ภาระงานหรืออัตราการผลิตสินค้าหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ ท่ออากาศ สายพาน ถาดบรรจุชิ้นงาน 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตร 3. ใช้คนจดบันทึกปริมาณการผลิต
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงาน และสามารถหยุดการบันทึกค่าได้เมื่อปริมาตรเท่ากับค่าที่วัดไว้ได้ก่อนการปรับปรุงความถี่ในการบันทึกค่า

ตัวแปร	$L_{YB,Pre}$
หน่วย	m^3/y, Units/y, Pcs/y, ฯลฯ
ความหมาย	ภาระงานหรืออัตราการผลิตสินค้ารวมตลอดปีก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ ท่ออากาศ สายพาน ถาดบรรจุชิ้นงาน 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตร 3. ใช้คนจดบันทึกปริมาณการผลิต
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงาน

ตัวแปร	$L_{YB,Post}$
หน่วย	m^3/y, Units/y, Pcs/y, ฯลฯ
ความหมาย	ภาระงานหรืออัตราการผลิตสินค้าหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ ท่ออากาศ สายพาน ถาดบรรจุชิ้นงาน 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	1. ท่อน้ำ ท่ออากาศ สายพาน ถาดบรรจุชิ้นงาน 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
ความถี่ในการบันทึกค่า	บันทึกค่าที่อัตราเดียวกันกับก่อนปรับปรุง

ตัวแปร	h_{Pre}
หน่วย	h
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานระบบไฟฟ้าขณะตรวจวัดก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องบันทึกเวลาการทำงาน 2. สอบถามหรือตรวจสอบจากบันทึกการทำงานของเครื่องจักรของสถานประกอบการ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ไม่มากกว่า 15 นาที

ตัวแปร	h_{Post}
หน่วย	h
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานระบบไฟฟ้าขณะตรวจวัดหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องบันทึกเวลาการทำงาน 2. สอบถามหรือตรวจสอบจากบันทึกการทำงานของเครื่องจักรของสถานประกอบการ
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับการวัดกำลังไฟฟ้าขณะทำการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	E_{BL}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

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

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

ตัวแปร	SEC_{Pre}
หน่วย	kWh/m^3, kWh/Units, kWh/m^2,ฯลฯ
ความหมาย	ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	SEC_{Post}
หน่วย	kWh/m^3, kWh/Units, kWh/m^2,ฯลฯ
ความหมาย	ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	%Save
หน่วย	%
ความหมาย	ร้อยละหรือเปอร์เซ็นผลประหยัด
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

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

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

4.1.9 บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	25/11/2013	ฉบับที่ 1

4.1.10 กรณีศึกษาและวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด : อุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้า (TEM&V-004-B: 2556)

4.1.10.1 รายละเอียดมาตรการ

โรงงาน A เป็นโรงงานผลิตเครื่องดื่มให้กำลังงาน ปัจจุบันทางโรงงานมีการติดตั้งใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบชนิด Oil Type รับแรงดันไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 22/33 kV โดยติดตั้งใช้งานที่โรงงาน 1 ขนาด 1,000 kVA จำนวน 1 ชุด และติดตั้งใช้งานที่โรงงาน 2 ขนาด 1,500 kVA จำนวน 1 ชุด จากการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานพบว่า ระดับแรงดันไฟฟ้าต้นทาง (ด้านทุติยภูมิ) ที่ตู้จ่ายไฟฟ้า (Main Distribution Board) ของทั้ง 2 โรงงาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 398.4 Volt ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่การไฟฟ้าฯ กำหนด โดยจะส่งผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้า/เครื่องจักรกินพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นและอายุการใช้งานสั้นลง

ดังนั้น ทางโรงงานจึงมีแนวความคิดที่จะติดติดตั้งอุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) เพื่อปรับลดแรงดันไฟฟ้าต้นทาง (ด้านทุติยภูมิ) ที่ตู้จ่ายไฟฟ้า (Main Distribution Board) ของทั้ง 2 โรงงาน ให้อยู่ในระดับ 380 Volt หรือใกล้เคียง และไม่มีผลกระทบต่อโหลดปลายทาง ซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้

4.1.10.2 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด

แนวทางการตรวจวัดเก็บข้อมูล จะยึดแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (Measurement & Verification) ตามทางเลือกของข้อตกลงร่วมกันด้านการตรวจวัดและพิสูจน์ทราบระดับนานาชาติ (International Performance Measurement and Verification Protocol; IPMVP) โดยเลือกแนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดทั้งหมด (Measured Factors)

1) วิธีการตรวจวัด

ซึ่งในมาตรการนี้จะทำการตรวจวัดเก็บข้อมูลเฉพาะในส่วนของตู้จ่ายไฟฟ้า (Main Distribution Board) จำนวน 2 ชุด ได้แก่ MDB (โรงงาน 1) และ MDB (โรงงาน 2) โดยทำการตรวจวัดแยกแต่ละชุด ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องจัดเก็บดังนี้

1.1) กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับชุดตู้ MDB จะใช้เครื่องมือวัดตรวจวัดที่เบรกเกอร์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าของชุดตู้ MDB โดยทำการตรวจวัดเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 7 วัน และทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที ซึ่งจะทำการตรวจวัดทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง

1.2) แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับชุดตู้ MDB จะใช้เครื่องมือวัดตรวจวัดที่เบรกเกอร์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าของชุดตู้ MDB โดยทำการตรวจวัดเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 7 วัน และทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที ซึ่งจะทำการตรวจวัดทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง

1.3) อัตราการผลิตผลิตภัณฑ์ จะใช้ค่าจากการบันทึกปริมาณการผลิตในช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดเก็บข้อมูล แล้วเฉลี่ยเป็นอัตราการผลิตต่อชั่วโมง ซึ่งจะทำการตรวจวัดทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง (จะต้องทำการควบคุมอัตราการผลิตผลิตภัณฑ์และจำนวนการเปิดใช้งานอุปกรณ์/เครื่องจักรทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงให้เหมือนหรือใกล้เคียงกัน)

1.4) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้ MDB ใน 1 ปี จะใช้ข้อมูลจากสถิติการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดตู้ MDB ของทางโรงงานย้อนหลัง 1 ปี

หมายเหตุ ระดับแรงดันไฟฟ้าหลังการปรับปรุงไม่ควรมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

4.1.10.3 การวิเคราะห์ผลประหยัด

ก่อนการวิเคราะห์ผลการประหยัด จะต้องทำการตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดเสียก่อนว่ามีความผิดปกติหรือไม่ ถ้าพบว่าข้อมูลส่วนไหนมีความผิดปกติหรือเป็นข้อมูลที่อาจส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ผลการประหยัด จะทำการพิจารณาตัดข้อมูลส่วนนั้นออก หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์หาระดับการใช้พลังงานทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง แล้วนำมาเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของการใช้พลังงานระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงภายใต้สภาวะการทำงานเดียวกัน โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

1) วัดค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับชุดตู้ MDB (kW) และวิเคราะห์หาค่าอัตราการผลิตผลิตภัณฑ์ในช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดเก็บข้อมูล (Unit/hr) โดยจะต้องทำการควบคุมอัตราการผลิตภัณฑ์ และจำนวนการเปิดใช้งานอุปกรณ์/เครื่องจักรทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงให้เหมือนหรือใกล้เคียงกัน

2) คำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption; SEC) ของทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง ดังนี้

$$SEC = P/Q$$

โดย P = ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับชุดตู้ MDB (kW)

Q = อัตราการผลิตผลิตภัณฑ์ (Unit/hr)

3) คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน (%Save) ดังนี้

%Save = $[(SEC_B - SEC_A) \times 100] / SEC_B$

โดย SEC_B = ค่าดัชนีการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง (kWh/Unit)

SEC_A = ค่าดัชนีการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง (kWh/Unit)

4) คำนวณหาค่าการใช้พลังงานทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง ดังนี้

การใช้พลังงาน (kWh/ปี) = $[1 - (\%Save/100)] \times E_{Base}$

โดย %Save = ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน (%)
(ก่อนการปรับปรุง %Save = 0)

E_{Base} = ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดตู้ MDB ใน 1 ปี (kWh/ปี)
โดยจะใช้เป็นค่าเดียวกันในการคำนวณทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง

5) คำนวณหาผลการประหยัด ดังนี้

ผลการประหยัด (kWh/ปี) = การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง - การใช้พลังงานหลังปรับปรุง

- **ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง**

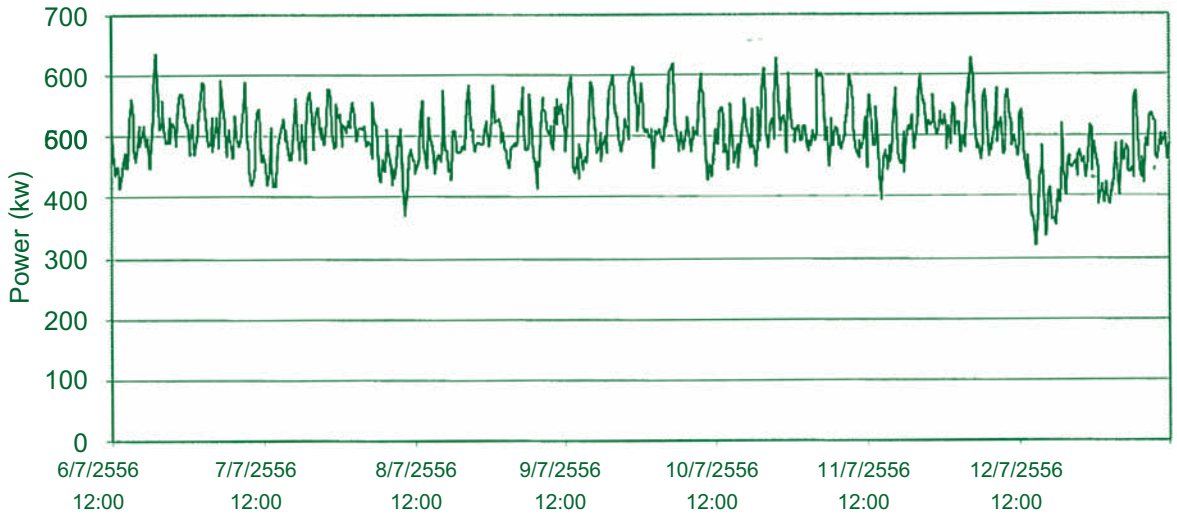
1) ผลการตรวจวัดชุดตู้ MDB

1.1) ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าชุดตู้ MDB

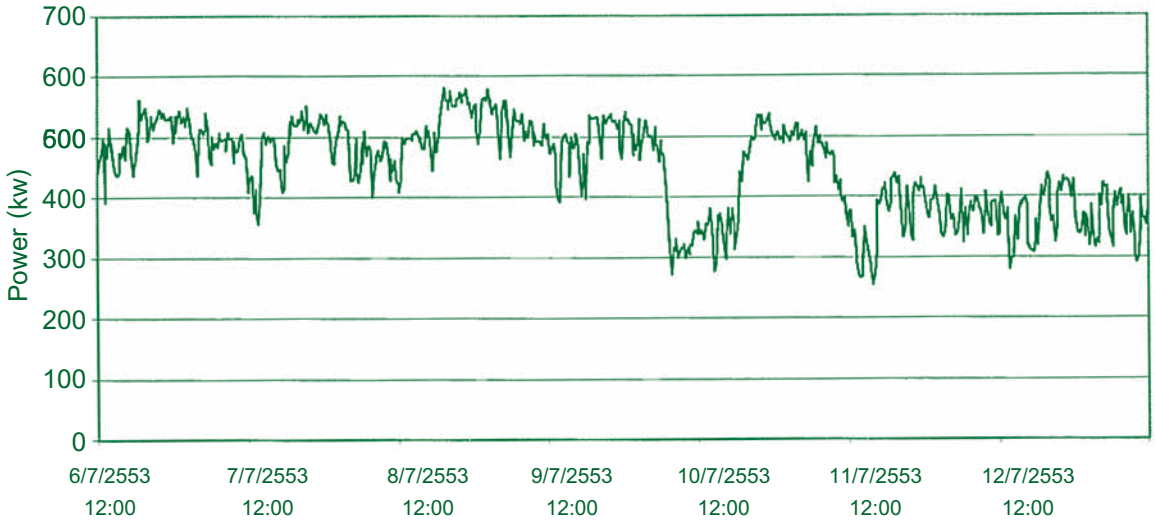
ชุดตู้ MDB	ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า (kVA)	แรงดันไฟฟ้า (Volt)			กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW)
		สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	
โรงงาน 1	1,000	404	391	398	497.95
โรงงาน 2	1,500	409	396	403	447.55
รวม	-	-	-	-	945.50

1.2) กราฟแสดงผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าชุดตู้ MDB

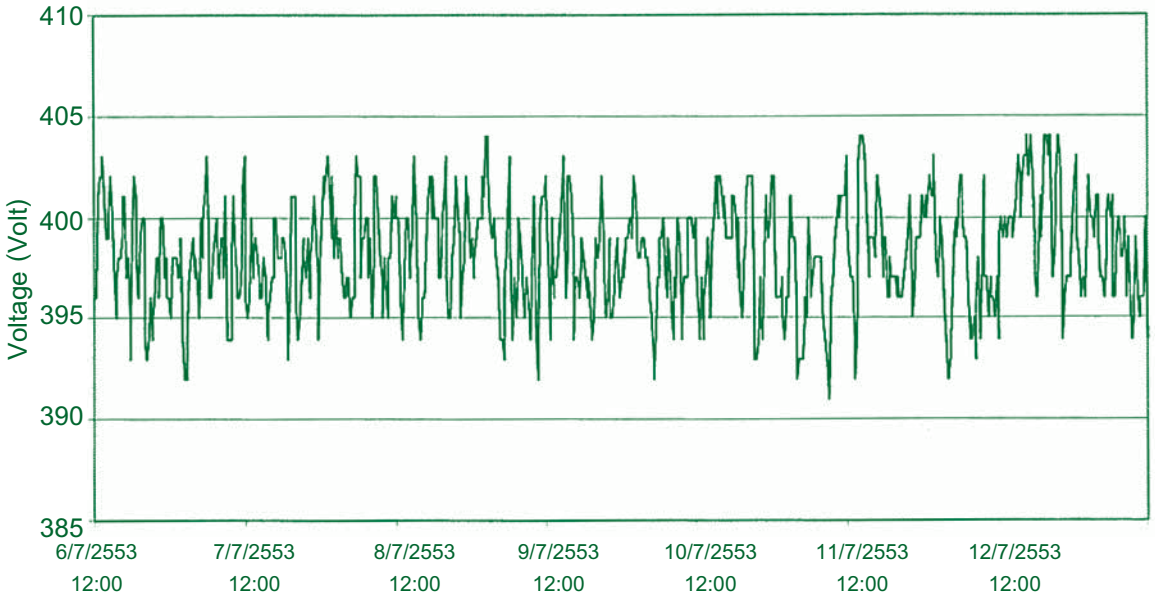
กราฟแสดงผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าชุดตู้ MDB (โรงงาน 1)



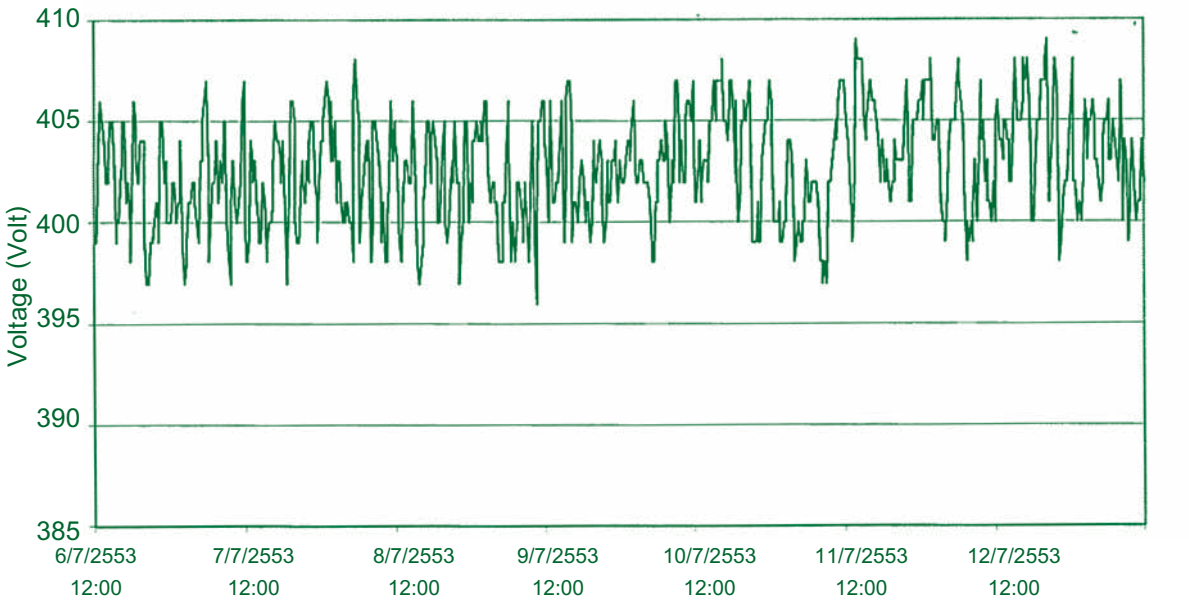
กราฟแสดงผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าชุดตู้ MDB (โรงงาน 2)



กราฟแสดงผลการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าชุดตู้ MDB (โรงงาน 1)



กราฟแสดงผลการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าชุดตู้ MDB (โรงงาน 2)



2) ผลการคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) ของชุดตู้ MDB

2.1) ผลการคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) ของชุดตู้ MDB รวมในแต่ละวัน

ชุดตู้ MDB	วันที่	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW)	อัตราการผลิตเฉลี่ย (m^3/hr)	ดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) (kWh/m^3)
โรงงาน 1 & 2	6/7/2553	1,010.39	20.38	49.58
	7/7/2553	986.07	21.70	45.44
	8/7/2553	995.46	20.98	47.45
	9/7/2553	1,015.08	22.52	45.07
	10/7/2553	929.30	17.54	52.98
	11/7/2553	897.28	17.07	52.56
	12/7/2553	822.45	14.06	58.50
	13/7/2553	856.35	17.18	49.85
เฉลี่ย	-	-	-	49.61

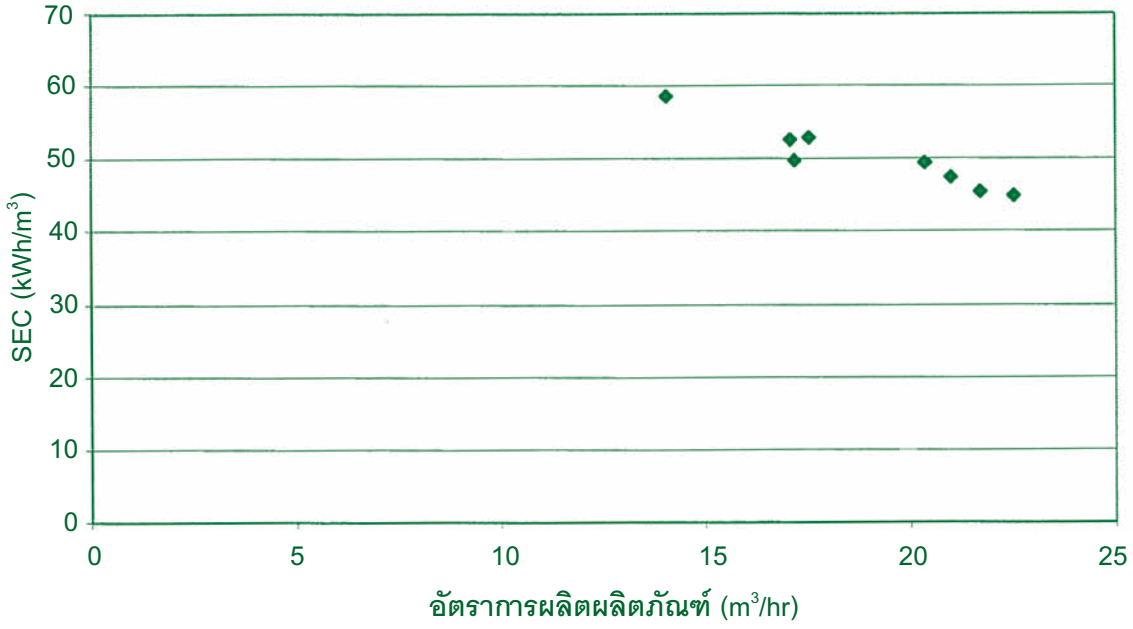
หมายเหตุ (1) ดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย / อัตราการผลิตเฉลี่ย

2.2) ผลการคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) ของชุดตู้ MDB รวมทั้งหมด

ชุดตู้ MDB	ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า (kVA)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW)	อัตราการผลิตเฉลี่ย (m^3/hr)	ดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) (kWh/m^3)
โรงงาน 1	1,000	497.95	19.06	49.61
โรงงาน 2	1,500	447.55		
เฉลี่ย	-	-	-	49.61

หมายเหตุ (1) ดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย / อัตราการผลิตเฉลี่ย

2.3) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) กับอัตราการผลิต



ชุดตู้ MDB	ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า (kVA)	ดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) (kWh/m^3)	การใช้พลังงาน (kWh/ปี)
โรงงาน 1	1,000	49.61	7,154,132.75
โรงงาน 2	1,500		
เฉลี่ย	-	-	7,154,132.75

- **ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง**

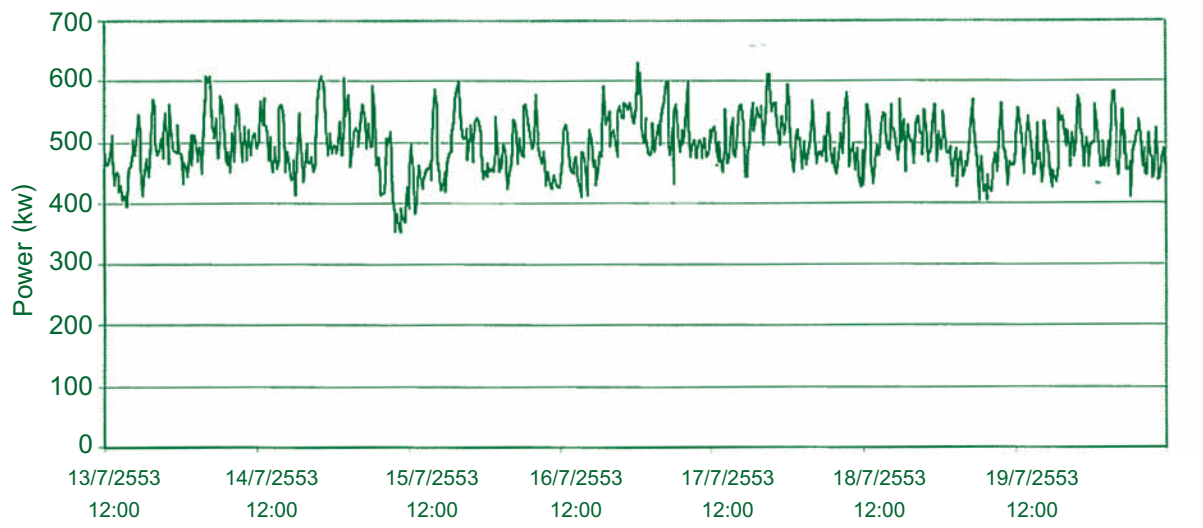
1) ผลการตรวจวัดชุดตู้ MDB

1.1) ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าชุดตู้ MDB

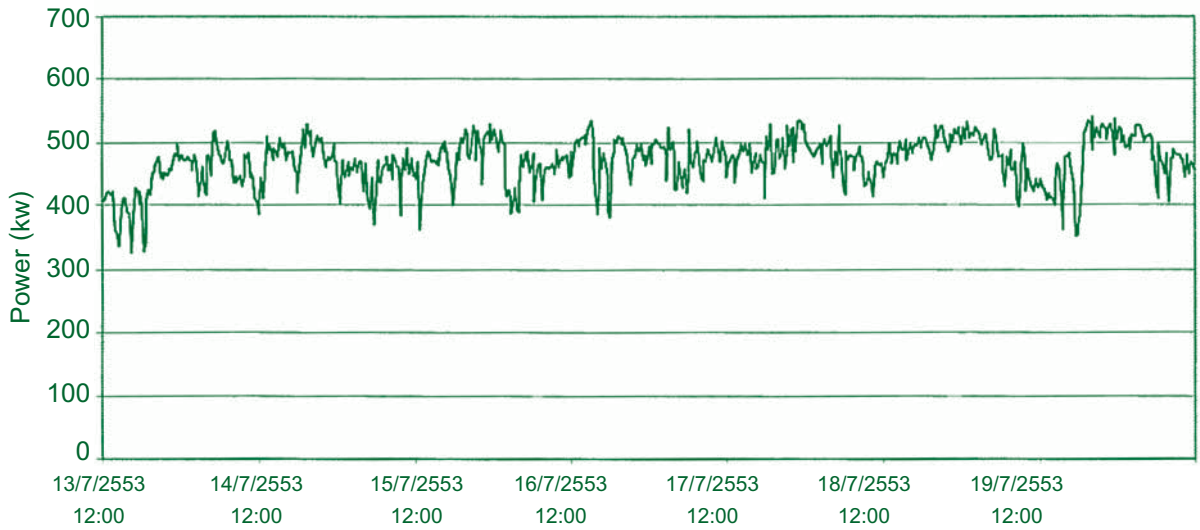
ชุดตู้ MDB	ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า (kVA)	แรงดันไฟฟ้า (Volt)			กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW)
		สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	
โรงงาน 1	1,000	388	374	383	494.89
โรงงาน 2	1,500	388	377	382	470.45
รวม	-	-	-	-	965.34

1.2) กราฟแสดงผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าชุดตู้ MDB

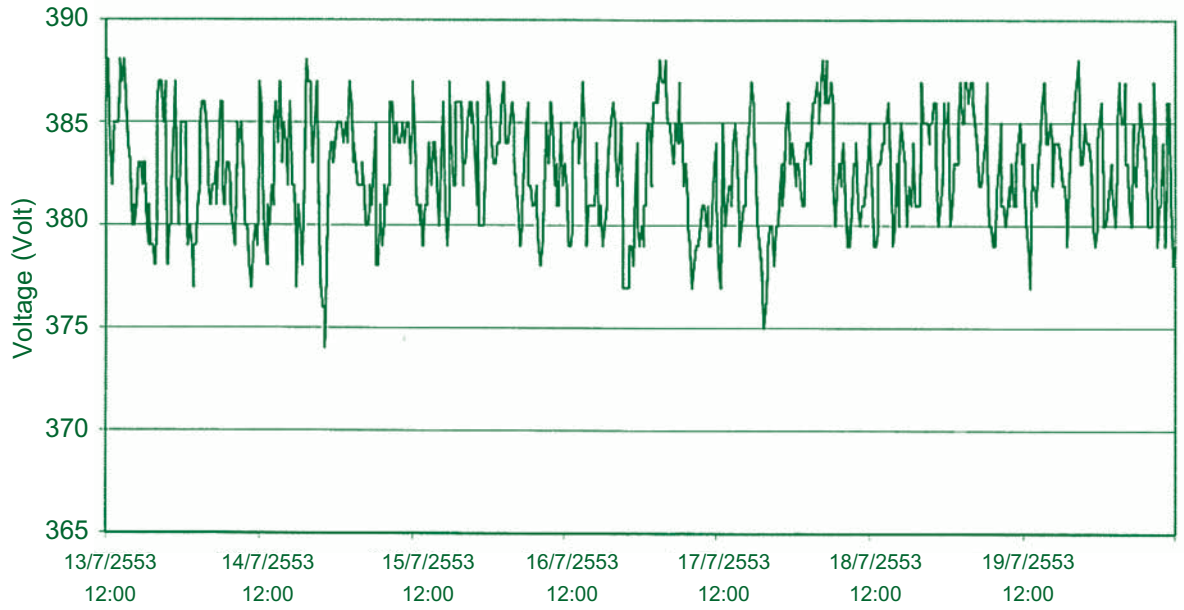
กราฟแสดงผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าชุดตู้ MDB (โรงงาน 1)



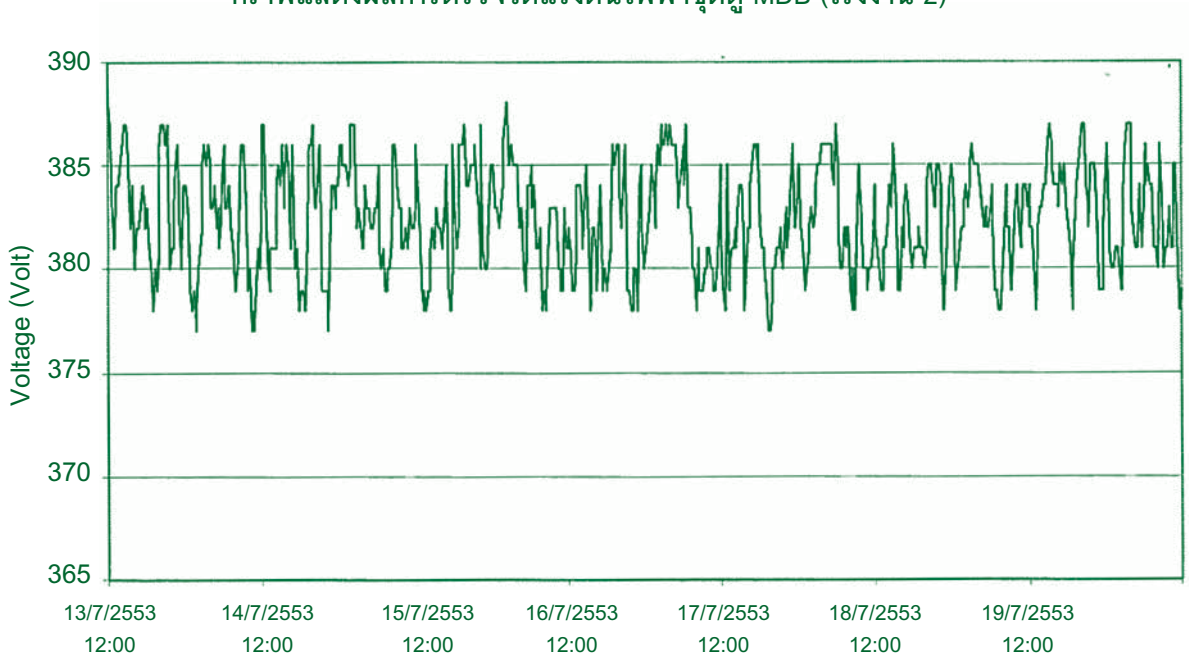
กราฟแสดงผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าชุดตู้ MDB (โรงงาน 2)



กราฟแสดงผลการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าชุดตู้ MDB (โรงงาน 1)



กราฟแสดงผลการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าชุดตู้ MDB (โรงงาน 2)



2) ผลการคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) ของชุดตู้ MDB

2.1) ผลการคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) ของชุดตู้ MDB รวมในแต่ละวัน

ชุดตู้ MDB	วันที่	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW)	อัตราการผลิตเฉลี่ย (m^3/hr)	ดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) (kWh/m^3)
โรงงาน 1 & 2	13/7/2553	923.57	19.81	46.62
	14/7/2553	971.72	20.32	47.82
	15/7/2553	939.08	16.49	56.95
	16/7/2553	973.84	20.33	47.90
	17/7/2553	998.65	23.27	42.92
	18/7/2553	985.59	23.32	42.26
	19/7/2553	959.59	21.42	44.80
	20/7/2553	945.88	20.25	46.71
เฉลี่ย	-	-	-	46.59

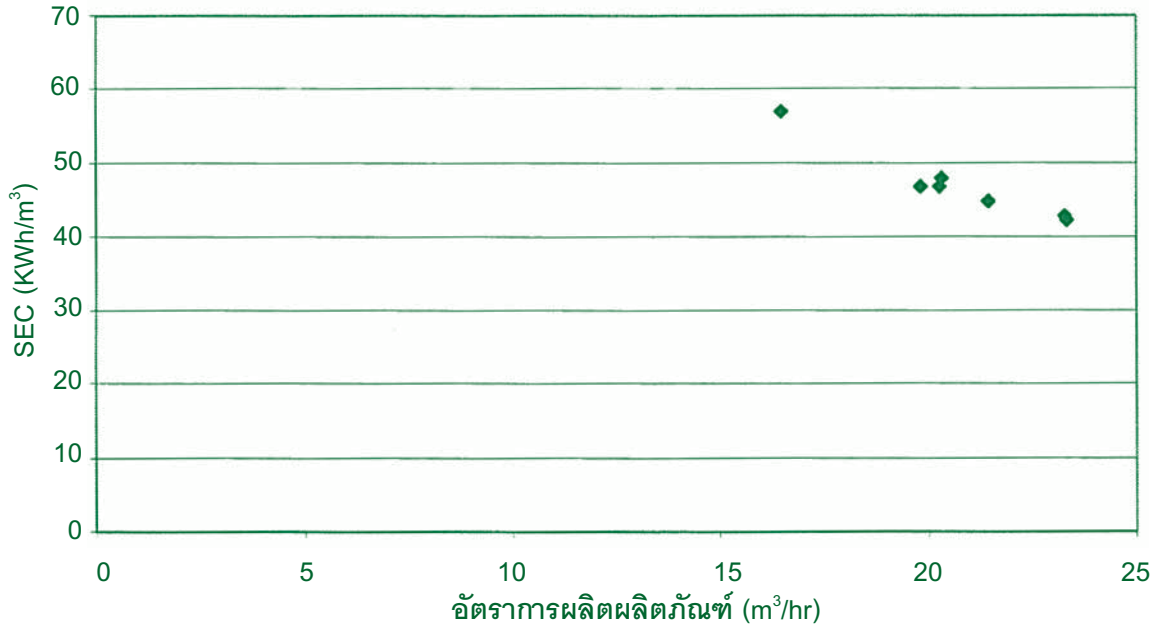
หมายเหตุ (1) ดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย / อัตราการผลิตเฉลี่ย

2.2) ผลการคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) ของชุดตู้ MDB รวมทั้งหมด

ชุดตู้ MDB	ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า (kVA)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW)	อัตราการผลิตเฉลี่ย (m^3/hr)	ดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) (kWh/m^3)
โรงงาน 1	1,000	494.89	20.72	46.59
โรงงาน 2	1,500	470.45		
เฉลี่ย	-	-	-	46.59

หมายเหตุ (1) ดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย / อัตราการผลิตเฉลี่ย

2.3) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) กับอัตราการผลิต



3) ผลการคำนวณการใช้พลังงานของชุดตู้ MDB

ชุดตู้ MDB	ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า (kVA)	ดัชนีการใช้พลังงาน (SEC)		%Save (%)	การใช้พลังงาน (kWh/ปี)	
		ก่อน (kWh/m^3)	หลัง (kWh/m^3)		ก่อน	หลัง
โรงงาน 1	1,000	49.61	46.59	6.09	7,154,132.75	6,718,446.07
โรงงาน 2	1,500					
เฉลี่ย	-	-	-	-	7,154,132.75	6,718,446.07

หมายเหตุ (1) $\%Save = [(SEC_{ก่อน} - SEC_{หลัง}) 100] / SEC_{ก่อน}$

(2) การใช้พลังงานหลังปรับปรุง = [1 - (%Save/100)] การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง

- **สรุปผลการประหยัดพลังงาน**

ชุดตู้ MDB	การใช้พลังงาน (kWh/ปี)		พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/ปี)
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
โรงงาน 1	7,154,132.75	6,718,446.07	435,686.68
โรงงาน 2			
รวม	7,154,132.75	6,718,446.07	435,686.68

4.2 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด : มาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพระบบทำน้ำเย็น

4.2.1 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

1) วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพระบบทำน้ำเย็นเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.1) กรณีที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเฉพาะเครื่องทำน้ำเย็น แต่ไม่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงปั๊มสูบน้ำที่ต่อร่วมในระบบ ให้ใช้ข้อความ “เครื่องทำน้ำเย็น” แทนอุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงตามมาตรการ

1.2) กรณีที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงระบบทำน้ำเย็นทั้งระบบ รวมทำการเปลี่ยนหรือปรับปรุงปั๊มสูบน้ำที่ต่อร่วมในระบบ ให้ใช้ข้อความ “ระบบทำน้ำเย็น” แทนระบบที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงตามมาตรการ

2) วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพระบบทำน้ำเย็นเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ ติดตั้งร่วมด้วย เช่น มาตรการปรับแรงดันไฟฟ้า หรือมาตรการติดตั้งอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้า หรืออื่นๆ

3) ระบบควบคุมไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นและปั๊มสูบน้ำที่ใช้ในมาตรการสามารถติดตั้งเครื่องมือเพื่อตรวจวัดแยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่นๆของสถานประกอบการได้

4) ภาระงานของระบบทำน้ำเย็น ได้แก่ความสามารถในการทำความเย็นให้ระบุในหน่วย ตันความเย็น (Ton_R) หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) หรือ กิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat})

5) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดตามมาตรฐาน THAI ESCO นี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยคำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ในกรณีที่ต้องการเพิ่มระดับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลให้สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการนี้

4.2.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การเลือกรูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด ของมาตรฐานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดนี้อ้างอิงมาตรฐานของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมีให้เลือกใช้ได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดที่ได้กำหนดขึ้นในเอกสารฉบับนี้ ถือเป็นการตรวจวัดและพิสูจน์ผลอย่างน้อยที่สุดของมาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพระบบทำน้ำเย็น ที่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (Measurement and Verification Unit, M&V Unit) ได้เลือกแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด รูปแบบ B การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation) โดยการตรวจวัดและพิสูจน์ผลรูปแบบ B ตามมาตรฐานนี้ ยังแบ่งออกเป็นชนิดย่อยได้อีก 2 วิธีดังนี้

รูปแบบ B1 เป็นการใช้การตรวจวัดด้วยเครื่องมือร่วมกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินผล โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะทำนายผลการใช้พลังงานของระบบทำน้ำเย็นจากตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงาน กำหนดรหัสเฉพาะของวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลด้วยอักษร “B1”

รูปแบบ B2 เป็นการใช้การตรวจวัดด้วยเครื่องมือร่วมกับข้อมูลจากสถานประกอบการและการประมาณการด้านพฤติกรรมใช้งาน เช่น เวลาทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นตลอดปี การหาภาระทำความเย็นตลอดปีจากตัวแทนข้อมูลภาระทำความเย็นที่ได้จากการตรวจวัด โดยดัชนีที่ใช้ในการชี้วัดผลประหยัดจะพิจารณาจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบทำน้ำเย็น (Specific Energy Consumption of Chiller System) ในหน่วย กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น (kW/Ton_R) กำหนดรหัสเฉพาะของวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลด้วยอักษร “B2”

หมายเหตุ ในเอกสารฉบับนี้เป็นการตรวจวัดและพิสูจน์ผลของระบบทำน้ำเย็นตาม รูปแบบ B1

4.2.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

1) ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

เนื้อหาของ ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดตามมาตรฐานของ IPMVP และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด การเตรียมพื้นที่สำหรับการตรวจวัด ขั้นตอนการตรวจวัด ตัวแปรหลัก ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุมในขณะทำการตรวจวัด ข้อมูลหรือชั่วโมงทำงานหรือสถิติการใช้งานเครื่องจักรที่ขอจากสถานประกอบการแทนการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลประหยัด ตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ที่มาของข้อมูลต่างๆ และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

2) รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดตามหัวข้อที่แสดงไว้ในข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล (3.1) เป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักอย่างน้อย 3 บท ได้แก่

2.1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

2.2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

2.3) การวิเคราะห์ผลประหยัด

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด และจัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

4.2.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

1) การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงของระบบทำน้ำเย็น ประกอบไปด้วยตัวแปรหลักได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องทำน้ำเย็นหรือคอมเพรสเซอร์ พลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มสูบน้ำเย็น และพลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำระบายความร้อน โดยมีฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและตัวแปรหลัก ดังนี้

1.1) พลังงานไฟฟ้าปีฐานของระบบทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง

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

$E_{BL} = E_{Comp,Pre} + E_{CHP,Pre} + E_{CDP,Pre}$

โดยที่

E_{BL} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานของระบบทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

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

$E_{CHP,Pre}$ = พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

$E_{CDP,Pre}$ = พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

1.2) พลังงานไฟฟ้าปีฐานของคอมเพรสเซอร์หรือเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง

การหาค่าพลังงานไฟฟ้าปีฐานของคอมเพรสเซอร์หรือเครื่องทำน้ำเย็น สามารถกระทำได้ 2 วิธี ขึ้นอยู่กับข้อตกลงของคู่สัญญา 2 ฝ่าย (สถานประกอบการและ ESCO) ส่วนคณะทำงานตรวจวัด (M&V Unit) ให้ดำเนินการตามข้อตกลงของคู่สัญญา 2 ฝ่ายเป็นสำคัญ โดยวิธีที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายคือ การตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดได้แก่ ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ $f_{1.1}$ (ข้อ 1.2.1) แต่ในกรณีที่ คู่สัญญา 2 ฝ่าย มีความประสงค์และเชื่อมั่นในการประเมินด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ สามารถใช้ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ $f_{1.2}$ ร่วมกับ $f_{1.3}$ (ข้อ 1.2.2) ดังนี้

1.2.1) พลังงานไฟฟ้าปีฐานของคอมเพรสเซอร์หรือเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง โดยวิธีการตรวจวัด

$E_{Comp,Pre} = f_{1.1}(P_{Comp,Pre}, H)_{Pre}$

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

โดยที่

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

$P_{Comp,Pre}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์ก่อนการปรับปรุง (kW)

H = ชั่วโมงการทำงานของคอมเพรสเซอร์หรือเครื่องทำน้ำเย็นปีฐาน (h/y)

1.2.2) พลังงานไฟฟ้าปีฐานของคอมเพรสเซอร์หรือเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น รูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกิดขึ้นอาจไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละเครื่อง แต่ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ $f_{1.2}$ สามารถหาได้จากตัวแปรที่มีอิทธิพล ดังนี้

$f_{1.2}$ (แบบจำลองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำเย็นต่อวัน)$_{ก่อนปรับปรุง}$

$CEPD_{Pre}$ = $f_{1.2}$ (CLD_{Pre}, $T_{CHR,Pre}$, $T_{CDS,Pre}$)

โดยที่

$CEPD_{Pre}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นหรือคอมเพรสเซอร์ในแต่ละวันก่อนปรับปรุง (Chiller energy per day) หน่วยกิโลวัตต์ - ชั่วโมง (kWh)

CLD_{Pre} = ภาระทำความเย็นในแต่ละวันก่อนปรับปรุง (Cooling load per day) หน่วย Ton_R

$T_{CHR,Pre}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นขากลับเฉลี่ยในแต่ละวันก่อนปรับปรุง (°C, °F)

$T_{CDS,Pre}$ = อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเฉลี่ยในแต่ละวันก่อนปรับปรุง (°C, °F)

หมายเหตุ กรณีเครื่องทำน้ำเย็นใช้อากาศระบายความร้อน ให้เปลี่ยนความหมายของตัวแปร T_{CDS} จากอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเฉลี่ย เป็น อุณหภูมิอากาศระบายความร้อนขาเข้าเฉลี่ย

$f_{1.3}$(แบบจำลองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำเย็นต่อปี) ก่อนปรับปรุง

$E_{Comp,\ Pre}$ = $f_{1.3}$($CEPD_1$,$CEPD_2$,.....,$CEPD_{365}$)$_{Pre}$

$$E_{Comp,Pre} = \sum_{i=1}^{i=365} CEPD_{i,Pre}$$

= $CEPD_{1,Pre}$+$CEPD_{2,Pre}$+.....+$CEPD_{365,Pre}$

โดยที่

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

$CEPD_{1,Pr\rightarrow 365,Pre}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นหรือคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นต่อวัน ตั้งแต่วันที่ 1 ของปี จนถึงวันสุดท้าย (365) ของปีก่อนปรับปรุงที่ทำนายโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น

1.3) พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง

$E_{CHP,\ Pre}$ = f_2($P_{CHP,Pre}$, H)$_{Pre}$

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

โดยที่

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

H = ชั่วโมงการทำงานของปั๊มสูบน้ำเย็นปีฐาน (h/y)

1.4) พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนก่อนการปรับปรุง

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

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

โดยที่

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

H = ชั่วโมงการทำงานของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนปีฐาน (h/y)

2) **การคำนวณภาระงาน**

ภาระงานของระบบทำน้ำเย็น คือ ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และการสูญเสียอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น แตกต่างกันไปตามสถานประกอบการและคุณภาพของระบบทำน้ำเย็นที่เลือกใช้ โดยทั่วไปตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็น ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำเย็น (Flow rate of chilled water) อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่าย (Chilled water supply) อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับ (Chilled

water return) ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น (Specific heat of chilled water) อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และจำนวนห้องที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศ ในกรณีใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อาจไม่นำตัวแปรที่มีอิทธิพลน้อยมาคำนวณ โดยฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ของภาระการทำความเย็นก่อนปรับปรุง $(g)_{Pre}$ สามารถเขียนได้ดังนี้

CL_{Pre} = $g(F, T_{CHS}, T_{CHR}, T_{amb}, R, C_p)_{Pre}$

โดยที่ ความหมายของตัวแปรในสภาวะก่อนปรับปรุง อธิบายดังนี้

CL_{Pre} = ภาระทำความเย็น (Ton_R), บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) หรือ กิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat})

F_{Pre} = อัตราการไหลของน้ำเย็น (L/min, L/s, m^3/min, m^3/s, GPM, ฯลฯ)

$T_{CHS, Pre}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็น (°C,°F)

$T_{CHR, Pre}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็น (°C,°F)

$T_{amb,Pre}$ = อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน (°C, °F)

R_{Pre} = จำนวนห้องพักรายวัน (ห้องต่อวัน) หรือ พื้นที่ใช้งานปรับอากาศ (m^2/day)

$C_{p,Pre}$ = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น ($\frac{kJ}{Kg.°C}$, $\frac{BTU}{lb.°F}$)

หมายเหตุ การตัดตัวแปรออกจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถกระทำได้ โดยแบบจำลองหลังตัดตัวแปรต้องยังคงให้ความถูกต้องทางวิศวกรรม ทั้งนี้ให้เกิดจากการประชุมร่วมกันของ สถานประกอบการ, บริษัทจัดการพลังงาน และ คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผล ส่วนแบบจำลองที่มีการยุบรูปตัวแปรให้เป็นค่าคงที่ต้องระบุหน่วยของตัวแปรที่ยังคงอยู่ในแบบจำลองทุกครั้ง ดังตัวอย่างการแสดงแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณภาระทำความเย็นนี้

แบบจำลองภาระทำความเย็นในหน่วย SI

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

CL = ภาระทำความเย็น (Ton_R)

F = อัตราการไหลของน้ำเย็น (L/min)

T_{CHS} = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็น (°C)

T_{CHR} = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็น (°C)

แบบจำลองภาระทำความเย็นในหน่วยอังกฤษ

$$CL = \frac{Fx(T_{CHR}-T_{CHS})}{23.97}$$

ภาระทำความเย็น (Ton_R)

CL = ภาระทำความเย็น (Ton_R)

F = อัตราการไหลของน้ำเย็น (GPM, Gallon/min)

T_{CHS} = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็น (°F)

T_{CHR} = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็น (°F)

4.2.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

1) การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงของระบบทำน้ำเย็น ประกอบไปด้วยตัวแปรหลัก ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องทำน้ำเย็นหรือคอมเพรสเซอร์ พลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มสูบน้ำเย็น และพลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำระบายความร้อน โดยมีฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงและตัวแปรหลัก ดังนี้

1.1) พลังงานไฟฟ้าปีฐานของระบบทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง

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

E_{FN} = $E_{Comp,Post} + E_{CHP,Post} + E_{CDP,Post}$

โดยที่

E_{FN} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานของระบบทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (kWh/y)

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

$E_{CHP,Post}$ = พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำเย็นหลังการปรับปรุง (kWh/y)

$E_{CDP,Post}$ = พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนหลังการปรับปรุง (kWh/y)

1.2) พลังงานไฟฟ้าปีฐานของคอมเพรสเซอร์หรือเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง

การหาค่าพลังงานไฟฟ้าปีฐานของคอมเพรสเซอร์หรือเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง ให้ยึดรูปแบบการดำเนินการให้เป็นรูปแบบเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง ได้แก่ การตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดจะเป็นไปตามฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ $f_{1.1}$ (ข้อ 1.2.1) ถ้าข้อตกลงระหว่างคู่สัญญาระบุจะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ให้ใช้ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ $f_{1.2}$ ร่วมกับ $f_{1.3}$ (ข้อ 1.2.2) ดังนี้

1.2.1) พลังงานไฟฟ้าปีฐานของคอมเพรสเซอร์หรือเครื่องทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง โดยวิธีการตรวจวัด

$E_{Comp,Post}$ = $f_{1.1}(P_{Comp,Post}, H)_{Post}$

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

โดยที่

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

$P_{Comp,Post}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์หลังปรับปรุง (kW)

H = ชั่วโมงการทำงานของคอมเพรสเซอร์หรือเครื่องทำน้ำเย็นปีฐาน (h/y)

1.2.2) พลังงานไฟฟ้าปีฐานของคอมเพรสเซอร์หรือเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุง โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น รูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกิดขึ้นอาจไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นเครื่องใหม่ แต่ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรตาม (ค่าตัวแปรที่ต้องการทราบ) กับตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม ให้คงตัวแปรเดียวกันกับ ฟังก์ชั่นของแบบจำลองก่อนการปรับปรุง โดยบ่งชี้ความแตกต่างของตัวแปรด้วยอักษรห้อย (Sub Script) ดังนี้

Sub Script “Pre” = สภาวะก่อนปรับปรุง

Sub Script “Post” = สภาวะหลังปรับปรุง

การหาฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ $f_{1.2}$ สามารถหาได้จากตัวแปรที่มีอิทธิพลดังนี้

$f_{1.2}$ (แบบจำลองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำเย็นต่อวัน)$_{หลังปรับปรุง}$

$CEPD_{Post}$ = $f_{1.2}(CLD_{Post}, T_{CHR,Post}, T_{CDS,Post})$

โดยที่

$CEPD_{Post}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นหรือคอมเพรสเซอร์ในแต่ละวันหลังปรับปรุง (Chiller energy per day) หน่วยกิโลวัตต์ - ชั่วโมง (kWh)

CLD_{Post} = ภาระทำความเย็นในแต่ละวันหลังปรับปรุง (Cooling load per day) หน่วย Ton_R

$T_{CHR,Post}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นขากลับเฉลี่ยในแต่ละวันหลังปรับปรุง (°C,°F)

$T_{CDS,Post}$ = อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเฉลี่ยในแต่ละวันหลังปรับปรุง (°C,°F)

หมายเหตุ กรณีเครื่องทำน้ำเย็นใช้อากาศระบายความร้อน ให้เปลี่ยนความหมายของตัวแปร T_{CDS} จากอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเฉลี่ย เป็น อุณหภูมิอากาศระบายความร้อนขาเข้าเฉลี่ย

$f_{1.3}$ (แบบจำลองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำเย็นต่อปี) $_{หลังปรับปรุง}$

$E_{Comp,Post}$ = $f_{1.3}(CEPD_1,CEPD_2,\ldots\ldots,CEPD_{365})_{Post}$

$$E_{Comp,Post} = \sum_{i=1}^{i=365} CEPD_{i,Post}$$

$$= CEPD_{1,Post}+CEPD_{2,Post}+\ldots\ldots+CEPD_{365,Post}$$

โดยที่

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

$CEPD_{1,Pre\rightarrow365,Pre}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นหรือคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นต่อวัน ตั้งแต่วันที่ 1 ของปี จนถึงวันสุดท้าย (365) ของปีหลังปรับปรุง ที่ทำนายโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น

1.3) พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำเย็นหลังปรับปรุง

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

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

โดยที่

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

H = ชั่วโมงการทำงานของปั๊มสูบน้ำเย็นปีฐาน (h/y)

1.4) พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนหลังการปรับปรุง

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

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

โดยที่

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

H = ชั่วโมงการทำงานของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนปีฐาน (h/y)

2) การคำนวณภาระงาน

ภาระงานของระบบทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง คือ ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้งานหลังปรับปรุง โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระงานของระบบทำน้ำเย็นหลังปรับปรุง ให้สร้างแบบจำลองด้วยตัวแปรรูปแบบเดิมที่เคยใช้คำนวณสภาวะก่อนปรับปรุง โดยฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ของภาระการทำความเย็นหลังปรับปรุง $(g)_{Post}$ สามารถเขียนได้ดังนี้

CL_{Post} = $g(F, T_{CHS}, T_{CHR}, T_{amb}, R, C_p)_{Post}$

โดยที่ ความหมายของตัวแปรในสภาวะหลังปรับปรุง อธิบายดังนี้

CL_{Post} = ภาระทำความเย็น (Ton_R),บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) หรือ กิโลวัตต์ความร้อน (kW_{heat})

F_{Post} = อัตราการไหลของน้ำเย็น (L/min, L/s, m^3/min, m^3/s, GPM, ฯลฯ)

$T_{CHS,Post}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายของเครื่องทำน้ำเย็น (°C,°F)

$T_{CHR,Post}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับของเครื่องทำน้ำเย็น (°C, °F)

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

R_{Post} = จำนวนห้องพักรายวัน (ห้องต่อวัน) หรือ พื้นที่ใช้งานปรับอากาศ (m^2/day)

$C_{p,Post}$ = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น ($\frac{kJ}{Kg.°C}$, $\frac{BTU}{lb.°F}$)

หมายเหตุ จำนวนตัวแปรอิสระหลังปรับปรุง ควรกำหนดให้เท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระก่อนปรับปรุง เว้นแต่มีกรณีพิเศษ เช่น การลดตัวแปรกรณีระบบหลังปรับปรุงสามารถทำงานได้คงเดิมโดยตัดอุปกรณ์บางชนิดออกไปได้ หรือ การเพิ่มตัวแปรกรณีระบบหลังปรับปรุงประหยัดพลังงานที่ระบบทำน้ำเย็นแต่ส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานที่ตำแหน่งอื่นแทน

4.2.6 การวิเคราะห์ผลประหยัด

1) ผลประหยัด

ผลประหยัดของระบบทำน้ำเย็น ต้องพิจารณา ภาระทำความเย็นประกอบด้วยทุกครั้ง การคำนวณหาผลประหยัดปีฐานของวิธีการตรวจวัดรหัส B1 นี้ จะนำค่าตัวแปรหลักบางตัวที่เกิดขึ้น ณ สภาวะก่อนการปรับปรุง เช่นสภาวะอากาศ ภาระทำความเย็น จำนวนห้องใช้งานของระบบปรับอากาศและจำนวนชั่วโมงทำงานปีฐาน มาจำลองสภาพในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจากพฤติกรรมการทำงานของระบบทำน้ำเย็นระบบใหม่หลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความยุติธรรมในการเปรียบเทียบ

ส่วนการเขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานที่ประหยัดได้ และฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (g) ของพลังงานหลังปรับปรุงปีฐานที่เกิดจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถเขียนได้ดังนี้

E_{Save} = $f(E_{BL}, E_{FN, SIM})$

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

โดยที่

E_{Save} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ประหยัดได้ (kWh/y)

$E_{FN,SIM}$ = พลังงานหลังปรับปรุงปีฐานที่เกิดจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (kWh/y)

$E_{FN,SIM}$ = $g(CLD_{Pre}, T_{amb,Pre}, R_{Pre}, CEPD_{Post}, E_{CHP,Post}, E_{CDP,Post})$

2) ผลประหยัดทางการเงินปีฐาน

ผลประหยัดทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐานของระบบทำน้ำเย็น ให้เปรียบเทียบจากการทำงานที่สมมติฐานทั้งก่อนและหลังปรับปรุง “ระบบทำความเย็นทำงานในสภาวะเดียวกันและภาระทำความเย็นเท่ากัน” กล่าวคือ ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ข้อ 6.1 คูณด้วยอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) และสมการได้ดังนี้

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

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

โดยที่

C_{Save} = จำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน (Bath/y)

C_E = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC (Bath/kWh)

หมายเหตุ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานโดยมากจะกำหนดจากอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเฉลี่ย ณ ปีที่ทำสัญญาพลังงาน (Energy Performance Contract, EPC) ถ้าบริษัทจัดการพลังงาน สถานประกอบการและสถาบันการเงินเห็นพ้องต้องกันว่าควรใช้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอื่น เช่น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ณ เดือนที่เซ็นสัญญา หรืออัตราค่าพลังงานแปรผันตามจริง ให้ระบุลงใน EPC และข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

4.2.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล โดยทั่วไปตัวแปรหรือข้อมูลได้มาจาก 7 วิธีการได้แก่

1) ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

2) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

กรณีใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถทำได้โดยทดสอบการทำงานของระบบทำน้ำเย็นเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่ต้องการเป็นตัวแปรตามเช่นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และภาระทำความเย็น จากนั้นบันทึกค่าตัวแปรอิสระที่มีผลให้เกิดค่าตัวแปรตามเช่น อัตราการไหล ความดัน อุณหภูมิ ฯลฯ แล้วนำข้อมูลมาสร้างสมการถดถอย (Regression) ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์หรือโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ โดยข้อมูลทดสอบต้องมีช่วงครอบคลุมย่านการใช้งานทั้งหมด ส่วนค่าในช่วงที่ไม่มีข้อมูลทดสอบ สามารถประเมินได้โดยการประเมินข้างน้อย (conservative approximation)

หมายเหตุ ในกรณีที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าตัวแปรให้ทำการทดสอบค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการตรวจวัดหรือบันทึกจากมิเตอร์แสดงผลของอุปกรณ์ แล้วนำมาสร้างเป็นตาราง (look up table) จากนั้นให้ใช้หลักการทางสถิติหาค่า R^2 และให้พิจารณาจากค่า R^2 โดยต้องมีค่ามากกว่า 0.75 ขึ้นไป

3) ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ข้อมูลที่ถูกบันทึกโดยพนักงานของสถานประกอบการ เช่นข้อมูลชั่วโมงทำงานของระบบทำน้ำเย็น ข้อมูลห้องพัก หรือข้อมูลพื้นที่ใช้งานระบบปรับอากาศ สามารถนำมาใช้ได้แต่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลควรตรวจความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งสถานประกอบการเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

4) ข้อมูลจากผู้ผลิต

บางครั้งผู้ผลิตเครื่องทำน้ำเย็น ได้ให้ข้อมูลการทดสอบอุปกรณ์ที่เสนอขายมาด้วย สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังข้อ 7.2 แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

5) ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น

ตัวแปรหรือข้อมูลบางตัวสามารถหาได้จากสถาบันการตรวจวัดที่มีการตรวจวัดข้อมูลไว้ตลอดปีเช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ หรือเวปไซต์ต่างๆ ที่เชื่อถือได้ แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

6) ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่

ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่ ส่วนมากไม่นิยมใช้ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล แต่ถ้ามีความจำเป็นสามารถนำมาใช้ได้ในส่วนที่ไม่สำคัญต่อการวิเคราะห์ผลประหยัด และต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

7) ค่าแก้ไข หรือค่าปรับแก้

สำหรับงานด้านการทำความเย็นและปรับอากาศ ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ย อุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่าย และอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนหรืออุณหภูมิอากาศระบายความร้อน ไม่เป็นไปตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 ให้ใช้ค่าแก้ไขที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนเคยจัดทำไว้ เป็นแหล่งอ้างอิงที่มาของ “ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้า” และ “ค่าแก้ไขภาระทำความเย็น”

4.2.8 รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลประหยัด มี 2 ชนิดได้แก่ตัวแปรหลักและตัวแปรควบคุม

1) ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อ การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลประหยัดพลังงาน ผลประหยัดทางการเงิน

2) ตัวแปรควบคุม หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการที่ ESCO เสนอขาย บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้น ทดสอบหลังปรับปรุงให้ยาวนานขึ้น และเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10%

3) คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	$P_{Comp,Pre}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์ก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด หรือ 2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	$P_{Comp,Post}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์หลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด หรือ 2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับความถี่ในการบันทึกค่าก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	$P_{CHP,Pre}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	$P_{CHP,Post}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำเย็นหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบให้ตรวจวัด ณ ตำแหน่งไฟฟ้าก่อนเข้าอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับความถี่ในการบันทึกค่าก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	$P_{CDP,Pre}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	$P_{CDP,Post}$
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อนหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบให้ตรวจวัด ณ ตำแหน่งไฟฟ้าก่อนเข้าอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับความถี่ในการบันทึกค่าก่อนการปรับปรุง

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

ตัวแปร	F_{Pre}
หน่วย	L/min, L/s, m^3/min, m^3/s,GPM, ฯลฯ
ความหมาย	อัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ 2. มิเตอร์น้ำ 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตรและนาฬิกาจับเวลา 3. จดบันทึกตัวแปรต่างๆ จากปั๊มสูบน้ำเย็นเพื่อนำมาสร้างแบบจำลอง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่ควรน้อยกว่า ทุก 15 นาที

ตัวแปร	F_{Post}
หน่วย	L/min, L/s, m^3/min, m^3/s, GPM, ฯลฯ
ความหมาย	อัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ 2. มิเตอร์น้ำ 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตรและนาฬิกาจับเวลา 3. จดบันทึกตัวแปรต่างๆ จากปั๊มสูบน้ำเย็นเพื่อนำมาสร้างแบบจำลอง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่ควรน้อยกว่า ทุก 15 นาที

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

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

ตัวห้อยท้ายตัวแปร	Pre
ความหมาย	สภาวะของตัวแปรก่อนการปรับปรุง

ตัวห้อยท้ายตัวแปร	Post
ความหมาย	สภาวะของตัวแปรหลังการปรับปรุง

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

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

ตัวแปร	T_{CDS}
หน่วย	°C, °F
ความหมาย	อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนด้านเข้าระบบ
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที

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

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

ตัวแปร	R
หน่วย	ห้อง, Units, พื้นที่, ปริมาตรอากาศ, ฯลฯ
ความหมาย	ภาระการใช้งานระบบทำความเย็นของสถานประกอบการ
แหล่งข้อมูล	1. จากสถานประกอบการ
ความถี่ในการบันทึกค่า	ทุกวัน ขณะทำการตรวจวัด

ตัวแปร	C_p
หน่วย	$\frac{kJ}{kg.°C}$, $\frac{BTU}{lb.°F}$
ความหมาย	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น
แหล่งข้อมูล	1. จากตารางคุณสมบัติของน้ำทางเทอร์โมไดนามิกส์ 2. จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	CL
หน่วย	Ton_R
ความหมาย	ภาระการทำความเย็นในหน่วยตันความเย็น
แหล่งข้อมูล	1. จากการคำนวณ 2. จากโปรแกรมสำเร็จรูป
วิธีการตรวจวัด	-
ความถี่ในการแสดงผล	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่เกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	CLD_{Pre}
หน่วย	Ton_R
ความหมาย	ภาระทำความเย็นในแต่ละวันก่อนปรับปรุง (Cooling load per day)
แหล่งข้อมูล	1. จากการคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	1. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ความถี่ในการแสดงผล	ทุกวัน

ตัวแปร	CLD_{Post}
หน่วย	Ton_R
ความหมาย	ภาระทำความเย็นในแต่ละวันหลังปรับปรุง (Cooling load per day)
แหล่งข้อมูล	1. จากการคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	1. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ความถี่ในการแสดงผล	ทุกวัน

ตัวแปร	$CEPD_{i,Pre}$ และ $CEPD_{i,Post}$
หน่วย	kWh
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นหรือคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นต่อวัน ตั้งแต่วันที่ 1 ของปี จนถึงวันสุดท้าย (365) ของปีที่ทำนายโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น สภาวะระบุด้วย Sub Script
แหล่งข้อมูล	1. จากการคำนวณ
วิธีการตรวจวัด	1. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ความถี่ในการแสดงผล	ทุกวัน

ตัวแปร	$E_{Comp,Pre}$ และ $E_{Comp,Post}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานของเครื่องทำน้ำเย็น หรือคอมเพรสเซอร์สภาวะก่อนการปรับปรุง (Pre) และสภาวะหลังการปรับปรุง (Post)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$E_{CHP,Pre}$ และ $E_{CHP,Post}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำเย็นสภาวะก่อนการปรับปรุง(Pre) และสภาวะหลังการปรับปรุง (Post)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$E_{CDP, Pre}$ และ $E_{CDP,Post}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานของปั๊มสูบน้ำระบายความร้อน สภาวะก่อนการปรับปรุง (Pre) และสภาวะหลังการปรับปรุง (Post)
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	E_{BL}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

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

ตัวแปร	$E_{BL,SIM}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้ก่อนการปรับปรุงจากการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
แหล่งข้อมูล	จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ก่อนการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$E_{FN,SIM}$
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้หลังการปรับปรุงจากการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
แหล่งข้อมูล	จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลังการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

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

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

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

4.2.9 บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	25/11/2013	ฉบับที่ 1

4.2.10 กรณีศึกษาและวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด : มาตรการปรับปรุงการใช้พลังงานโดยการปรับเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (TEM&V-003-B1: 2556)

4.2.10.1 รายละเอียดมาตรการ

บริษัท A ดำเนินธุรกิจด้านโรงแรม ก่อนการปรับปรุงใช้เครื่องผลิตน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ จำนวน 3 เครื่อง ขนาด 145.6 ตันความเย็น ทำงานครั้งละ 2 เครื่อง หลังปรับปรุงเปลี่ยนมาใช้เครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงแบบระบายความร้อนด้วยน้ำขนาดเครื่องละ 280 ตันความเย็น ทำการติดตั้ง 2 เครื่อง การทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น จะทำงานครั้งละ 1 เครื่องสลับกัน โดยทำงานตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี นอกจากนั้นยังทำการติดตั้งอุปกรณ์ประกอบระบบอื่นๆ เพิ่มเติม อาทิเช่น เครื่องสูบน้ำเย็น เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น หอผึ่งน้ำ เป็นต้น รวมถึงระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) เพื่อใช้ในการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบฟื้นคืนความร้อน (Heat Recovery)

4.2.10.2 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด

การตรวจวัดการใช้พลังงาน จะเป็นการตรวจวัดแยกระบบผลิตน้ำเย็นและระบบผลิตน้ำร้อน (Heat Pump) การตรวจวัดในส่วนของระบบผลิตน้ำเย็นประกอบไปด้วยเครื่องผลิตน้ำเย็น เครื่องสูบน้ำเย็นหลัก เครื่องสูบน้ำเย็นรอง เครื่องสูบน้ำหล่อเย็นและหอผึ่งน้ำ ส่วนระบบผลิตน้ำร้อน ประกอบไปด้วย Heat Pump และเครื่องสูบน้ำไหลเวียน

1) วิธีการตรวจวัด

วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์การใช้พลังงานจะเป็นไปตามรายงานข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์การใช้พลังงาน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

เครื่อง/อุปกรณ์	มาตรการ	วิธีการ M&V*	สรุปแผน M&V
เครื่องผลิตน้ำเย็น	เปลี่ยนเครื่องผลิตน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำประสิทธิภาพสูง รวมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ประกอบระบบอื่นๆ เช่น เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น หอผึ่งน้ำ เป็นต้น	ทางเลือก B ร่วมกับการทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	ตรวจวัดพลังไฟฟ้าและภาระทำความเย็นที่ใช้ก่อนและหลังการปรับปรุงที่สภาวะต่างๆ โดยเป็นการวัดรวมทั้งระบบ

หมายเหตุ *ทางเลือกในการทำ M&V อ้างอิงจาก International Performance Measurement and Verification Protocol, Volume 1, 2007

โดยใช้แนวทางการตรวจวัดแบบ Option B ร่วมกับการทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยทำการตรวจวัดพลังไฟฟ้าและภาระทำความเย็นของระบบผลิตน้ำเย็น ข้อมูลที่จะทำการวัดได้แก่ พลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น และตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำเย็นโดยตรงเท่านั้น รวมถึงการตรวจวัดพลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ประกอบระบบ เช่น เครื่องสูบน้ำเย็น เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น หอผึ่งน้ำ เป็นต้น ข้อมูลจะถูกบันทึกไว้ทุก 15 นาที ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 7 วัน (ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์ และข้อตกลงตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ทำขึ้นระหว่างสถานประกอบการและ ESCO)

ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลนี้ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกนำไปใช้ในการจัดสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็นต่อวัน จากนั้นจะนำค่าดังกล่าวมาใช้ในการประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้ตลอดทั้งปี โดยก่อนและหลังการปรับปรุงจะใช้ภาระทำความเย็นเดียวกัน ส่วนการใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำร้อน จะใช้รูปการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดแบบเดียวกันกับระบบผลิตน้ำเย็น

2) การวิเคราะห์ผลการประหยัด

2.1) การวิเคราะห์การใช้พลังงาน

การประเมินปริมาณการใช้พลังงานของระบบ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ การประเมินภาระทำความเย็น การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบปั๊มความร้อน และการประเมินพลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียน และการประเมินปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมของระบบ

2.1.1) การประเมินภาระทำความเย็น

ภาระทำความเย็นที่ใช้ในการประเมินปริมาณการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง จะเป็นภาระทำความเย็นเดียวกันการประเมินการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง ซึ่งภาระทำความเย็นต่อวันดังกล่าวสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ton x hr/day} = a_1 + a_2x + a_3y + a_4xy \quad (1.1)$$

โดยที่ตัวแปรแต่ละตัวมีความหมายดังต่อไปนี้

x = อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน (F)

y = จำนวนห้องพักรายวัน (ห้องต่อวัน)

$a_1,\ldots, a_4$ = ค่าคงที่ ดังแสดงในตาราง 1.1

ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่สำหรับสมการ (1.1)

a_1	a_2	a_3	a_4
147460.8648	-1777.1073	-879.3995	10.8639

เมื่อนำค่าต่างๆ ของปีฐานแทนลงในสมการที่ 1.1 จะได้ภาระทำความเย็นรายวันของปีฐานแสดงดังรูปที่ 1

2.1.2) การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น

การประเมินพลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็นจะทำอยู่ในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน (kWh/day) ด้วยวิธีการเดียวกันกับการคำนวณหาค่าภาระทำความเย็นของระบบผลิตน้ำเย็น เนื่องจากข้อมูลจำนวนห้องพักเป็นข้อมูลรายวัน โดยนำค่าพลังไฟฟ้าคูณกับช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด แล้วนำมารวมกันจนครบ 1 วัน ตามสมการ (1.2) ซึ่งสามารถแสดงผลได้ตามตารางที่ 4.2

$$\text{kWh/day} = \sum_{t=1}^{24} kW_t \frac{\Delta t}{60} \quad (1.2)$$

จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าต่อวันจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาระทำความเย็นต่อวัน อุณหภูมิน้ำเย็น และอุณหภูมิอากาศ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าต่อวันกับตัวแปรที่มีผล ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลและการใช้สมการถดถอย พบว่าพลังงานไฟฟ้าต่อวันสามารถจำลองได้ด้วยสมการ

$$\text{kWh/day} = b_1 + b_2x + b_3y + b_4yz \quad (1.3)$$

โดยที่ตัวแปรแต่ละตัวมีความหมายดังต่อไปนี้

x = ภาระทำความเย็นต่อวัน (ton - hr/day)

y = อุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ยรายวัน (F)

z = อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเฉลี่ยรายวัน (F)

$b_1,\ldots, b_5$ = ค่าคงที่ ดังแสดงในตาราง 1.3

ตารางที่ 4.2 พลังงานไฟฟ้าต่อวัน

วันที่	ภาระทำความเย็น (ton - hr/day)	อุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ย (F)	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเฉลี่ย (F)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/day)
14/9/2011	3,507.4	51.5	82.4	3,918.2
15/9/2011	3,552.8	51.6	83.0	4,148.4
16/9/2011	3,491.9	51.8	83.0	4,098.7
17/9/2011	3,437.3	52.1	82.5	3,993.0
18/9/2011	3,386.8	51.9	82.8	4,007.2
19/9/2011	3,381.4	51.9	82.3	3,977.2
20/9/2011	3,092.8	52.0	81.4	3,834.0
ค่าเฉลี่ย	3,407.2	51.8	82.5	3,996.7

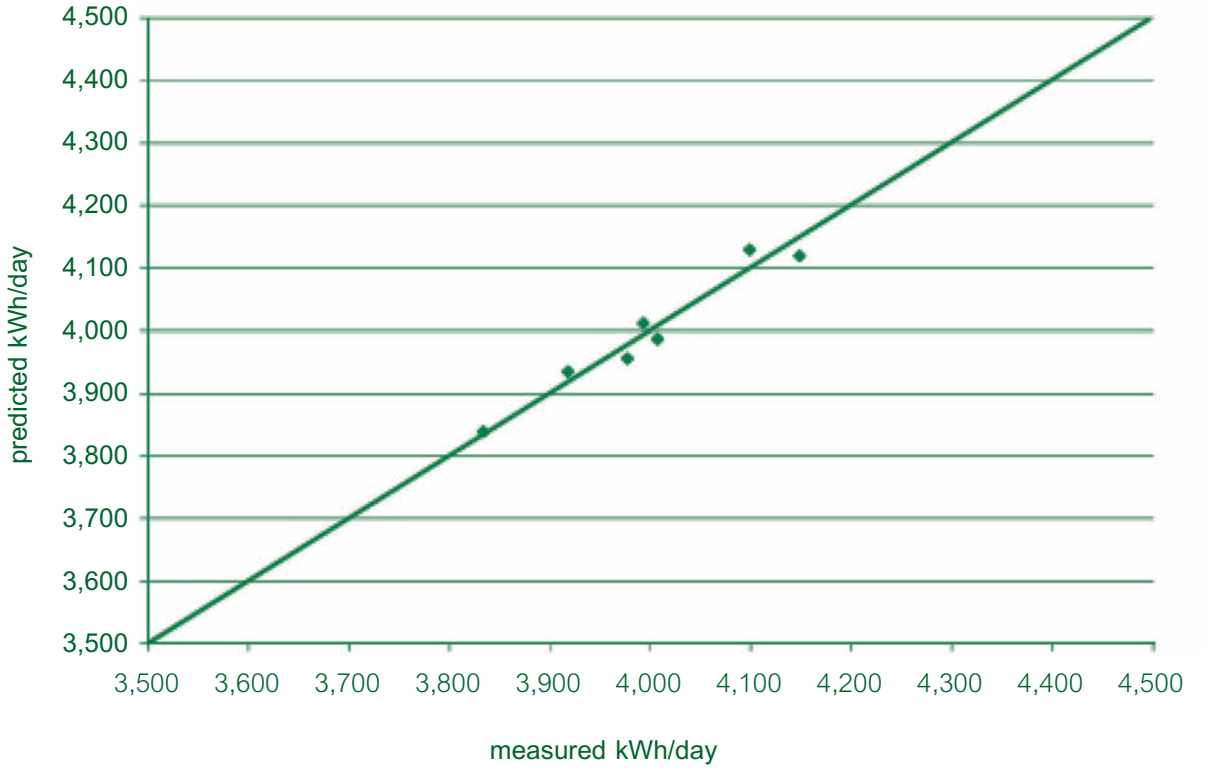
โปรแกรม SPSS 16.0 ถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าคงที่ $b_1,\ldots,b_5$ โดยค่าคงที่ของสมการแสดงไว้ในตารางที่ 1.3 มีค่า $R^2 = 0.951$ ซึ่งสูงกว่าขั้นต่ำที่ระบุไว้ในข้อตกลง ($R^2 > 0.75$) จึงสามารถนำมาใช้ในการประเมินพลังงานไฟฟ้าต่อวันของระบบได้ รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่สำหรับสมการ (1.3)

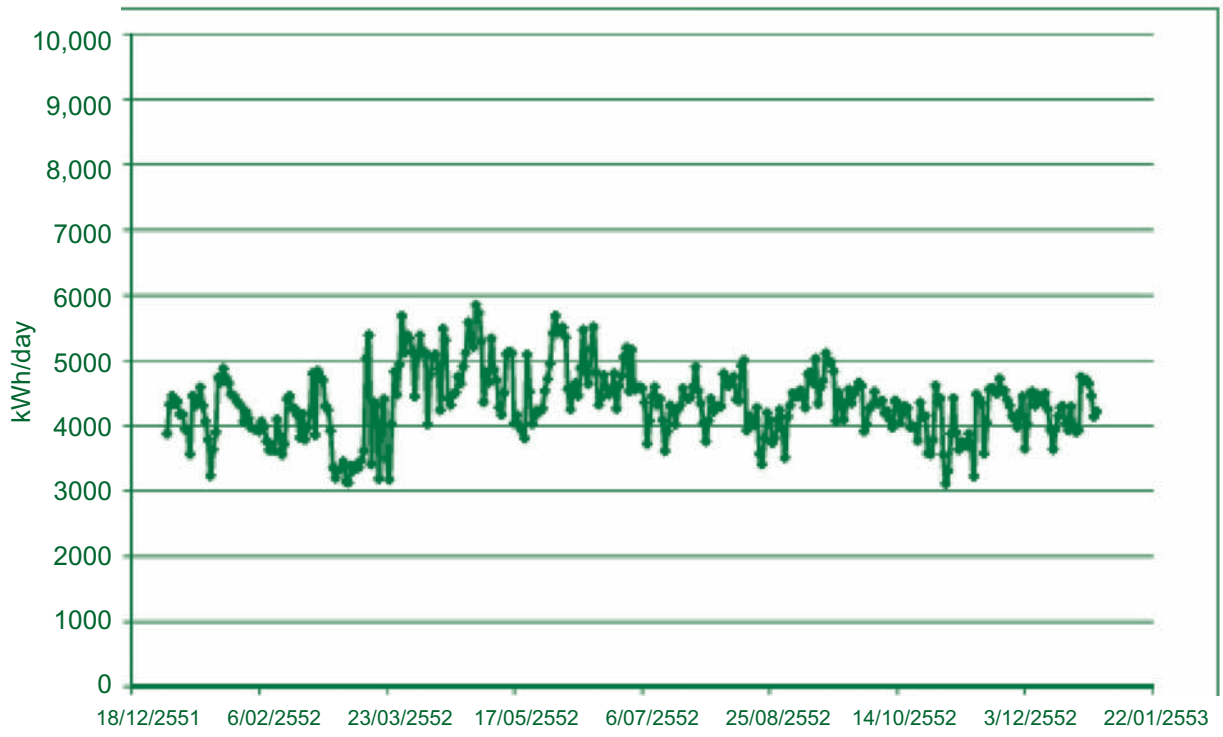
b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
-4824925.6693	0.4645	92886.9441	58480.7992	-1125.2811

ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้ารายวันตลอดทั้งปีหลังการปรับปรุงตามสมการ 1.3 จะคิดที่สภาวะการทำความเดียวกันกับการประเมินก่อนการปรับปรุง กล่าวคือ มีภาระทำความเย็นต่อวัน และอุณหภูมิน้ำเย็น เดียวกันกับก่อนการปรับปรุง ส่วนอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจะได้จากการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อย่างไรก็ดี เนื่องจากค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเฉลี่ยรายวันแต่ละค่าที่ตรวจวัดได้ แตกต่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกิน 10% ดังแสดงในตารางที่ 1.2 ซึ่งจะถือว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นมีค่าคงที่ตลอดทั้งปี ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยภายนอก และมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ตามระบุข้อตกลงฯ

เมื่อนำค่าต่างๆ แทนลงในสมการ (1.3) จะได้พลังงานไฟฟ้ารายวัน เช่น วันที่ 10 มกราคม 2552 มีภาระทำความเย็นต่อวัน 2,019.2 ton-hr/day อุณหภูมิน้ำเย็นที่ 59.6 F และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ 82.5 F จะได้พลังงานไฟฟ้าต่อวันเท่ากับ 3,562.7 kWh/day รูปที่ 1.2 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายวันของปีฐานสำหรับประเมินปริมาณการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง



รูปที่ 1.1 ผลการสร้างแบบจำลองด้วยสมการ (1.3) และค่าคงที่ตามตารางที่ 4..3



รูปที่ 1.2 พลังงานไฟฟ้ารายวันของปีฐาน

2.1.3) การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อน (Heat Pump)

การประเมินพลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนจะทำอยู่ในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน (kWh/day) เช่นเดียวกันกับระบบผลิตน้ำเย็น เนื่องจากข้อมูลจำนวนห้องพักเป็นข้อมูลรายวัน โดยนำค่าพลังไฟฟ้าคูณกับช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด แล้วนำมารวมกันจนครบ 1 วัน ตามสมการ (1.4) ซึ่งสามารถแสดงผลได้ตามตารางที่ 1.4

$$\text{kWh/day} = \sum_{t=1}^{24} kW_t \frac{\Delta t}{60} \qquad (1.4)$$

ตารางที่ 4.4 พลังงานไฟฟ้าต่อวันของระบบ Heat Pump

วันที่	พลังงานไฟฟ้า (kWh/day)	อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกเฉลี่ย (°C)	จำนวนห้องพัก (ห้อง/วัน)
14/9/2011	584.7	58.2	63.3	169
15/9/2011	538.8	58.4	63.8	165
16/9/2011	590.6	58.5	63.7	168
17/9/2011	590.7	58.5	63.8	174
18/9/2011	583.6	58.4	63.8	167
19/9/2011	630.7	58.4	63.6	170
20/9/2011	616.7	58.4	63.6	160
ค่าเฉลี่ย	590.8	58.4	63.6	168
ค่าเฉลี่ย -10%	531.7	64.2	70.0	151
ค่าเฉลี่ย +10%	649.9	64.2	70.0	184

จากข้อมูลพลังงานไฟฟ้าต่อวันของระบบ จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าต่อวันที่ระบบใช้มีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน อย่างไรก็ดี ค่าแต่ละค่าที่วัดได้แตกต่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกิน 10% ซึ่งตามข้อตกลงฯ ของการตรวจวัดครั้งนี้จะถือว่าพลังงานไฟฟ้าต่อวันมีค่าคงที่เท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ หรือเท่ากับ 590.8 kWh/day การประเมินปริมาณการใช้พลังงานของระบบ Heat Pump จะได้จากผลคูณของค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันกับวันทำงาน ดังสมการที่ 1.5

$$kWh_{hp} = kW_{avg} \times \text{hour/year} \qquad (1.5)$$
$$= 590.8 \text{ kWh/day} \times 365 \text{ day/year}$$
$$= 215{,}647 \text{ kWh/year}$$

2.1.4) การประเมินพลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียน

เครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียนถูกใช้ในระบบ Heat Pump สำหรับไหลเวียนน้ำร้อนภายในถังเก็บกับเครื่องผลิตน้ำร้อน ซึ่งจะทำการไหลเวียนตลอดเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี เครื่องสูบน้ำร้อนเป็นชนิดความเร็วรอบคงที่ และมีภาระการทำงานคงที่ ดังนั้น ปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องสูบน้ำร้อนจะคำนวณจากพลังไฟฟ้าเฉลี่ยคูณกับชั่วโมงการทำงาน ดังสมการที่ 1.6

$$kWhhw = k_{Wavg} \times hour/year \quad (1.6)$$

$$= 1.77 \times 24\ hr/day \times 365\ day/year$$

$$= 15{,}488\ kWh/year$$

2.1.5) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุง

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุง จะเท่ากับผลรวมของปริมาณการใช้พลังงานในระบบผลิตน้ำเย็น ระบบผลิตน้ำร้อนและพลังงานในเครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียน ดังสมการ

$$kWh_{retrofit} = kWh_{chiller} + kWh_{hp} + kWh_{hw} \quad (1.7)$$

โดย kWh_{hp} และ kWh_{hw} จะได้จากสมการ 1.5 และ 1.6 ตามลำดับ ส่วนปริมาณพลังงานที่ใช้ในระบบผลิตน้ำเย็น จะได้จากผลรวมของพลังงานไฟฟ้าต่อวันของแต่ละวันที่ได้จากสมการ 1.3 ดังสมการ

$$kWh_{retrofit} = \sum_{t=1}^{365} (kWh/day)_1 \quad (1.8)$$

ซึ่งสามารถแสดงเป็นรายเดือนได้ดังตารางที่ 1.5 เมื่อนำพลังงานทั้งสามมารวมกันจะได้

$$kWh_{retrofit} = kWh_{chiller} + kWh_{hp} + kWh_{hw}$$

$$= 1{,}585{,}680 + 215{,}647 + 15{,}488$$

$$= 1{,}816{,}815\ kWh/year$$

ดังนั้น ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงของมาตรการมีค่าเท่ากับ 1,816,815 kWh/year

ตารางที่ 4.5 ปริมาณการใช้พลังงานของมาตรการ

เดือน	จำนวนห้องพัก (ห้อง/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/month)
Jan 09	4,214	131,498
Feb 09	3,496	112,253
Mar 09	3,950	119,834
Apr 09	5,577	148,138
May 09	5,577	148,138
Jun 09	5,621	146,476
Jul 09	5,224	134,750
Aug 09	4,674	130,669
Sep 09	5,584	136,489
Oct 09	4,809	128,768
Nov 09	3,859	121,473
Dec 09	4,943	131,589
รวม พลังงานในระบบผลิตน้ำเย็น (kWh/year)		**1,585,680**
พลังงานในระบบ Heat Pump (kWh/year)		215,647
พลังงานในเครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียน (kWh/year)		15,488
รวมปริมาณการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง (kWh/year)		**1,816,815**

2.2) การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง

2.2.1) คุณสมบัติของเครื่องจักร/อุปกรณ์

เครื่องจักรที่ทำการดำเนินการตามมาตรการมีดังต่อไปนี้

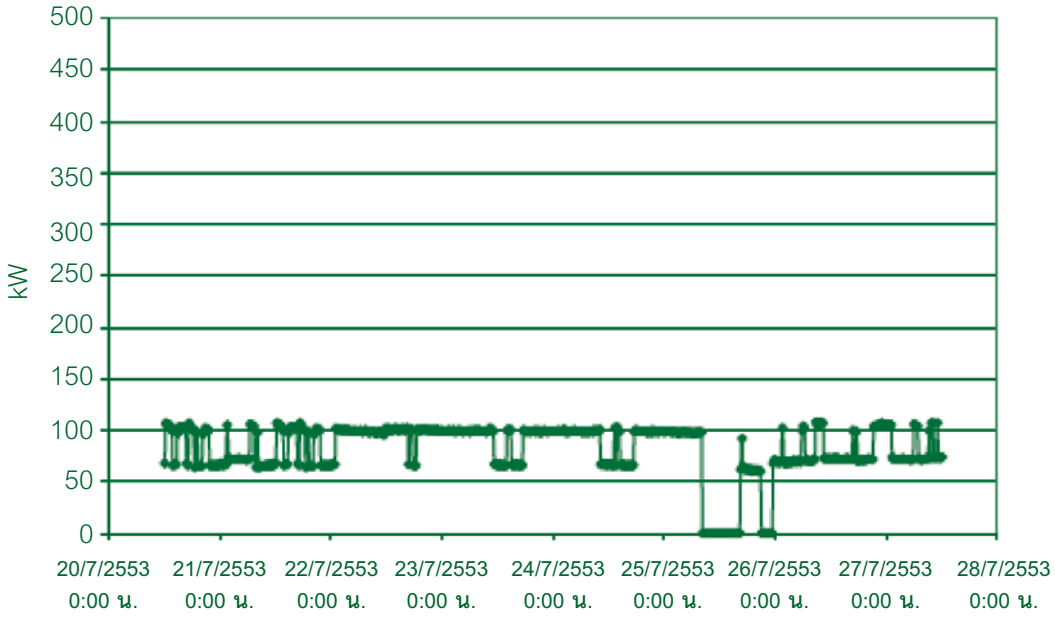
ตารางที่ 4.5 ปริมาณการใช้พลังงานของมาตรการ

เครื่องจักร	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
เครื่องผลิตน้ำเย็น	- แบบ Screw ระบายความร้อนด้วยอากาศจำนวน 3 เครื่อง 145.6 ตัน ทำงานครั้งละ 2 เครื่อง	- แบบ Screw ระบายความร้อนด้วยน้ำจำนวน 2 เครื่อง 280 ตัน ทำงานครั้งละ 1 เครื่อง
เครื่องสูบน้ำเย็น	- primary loop จำนวน 3 เครื่อง	- primary loop จำนวน 2 เครื่อง
	- secondary loop จำนวน 10 เครื่อง	- secondary loop จำนวน 10 เครื่อง
เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น	- ไม่มี	- ขนาด 11 kW จำนวน 2 เครื่อง
หอผึ่งน้ำ	- ไม่มี	- ขนาด 700 ตัน จำนวน 1 เครื่อง
ระบบผลิตน้ำร้อน	- Heat Recovery จากระบบผลิตน้ำเย็น	- Heat Pump 3 เครื่องขนาด 40 kW

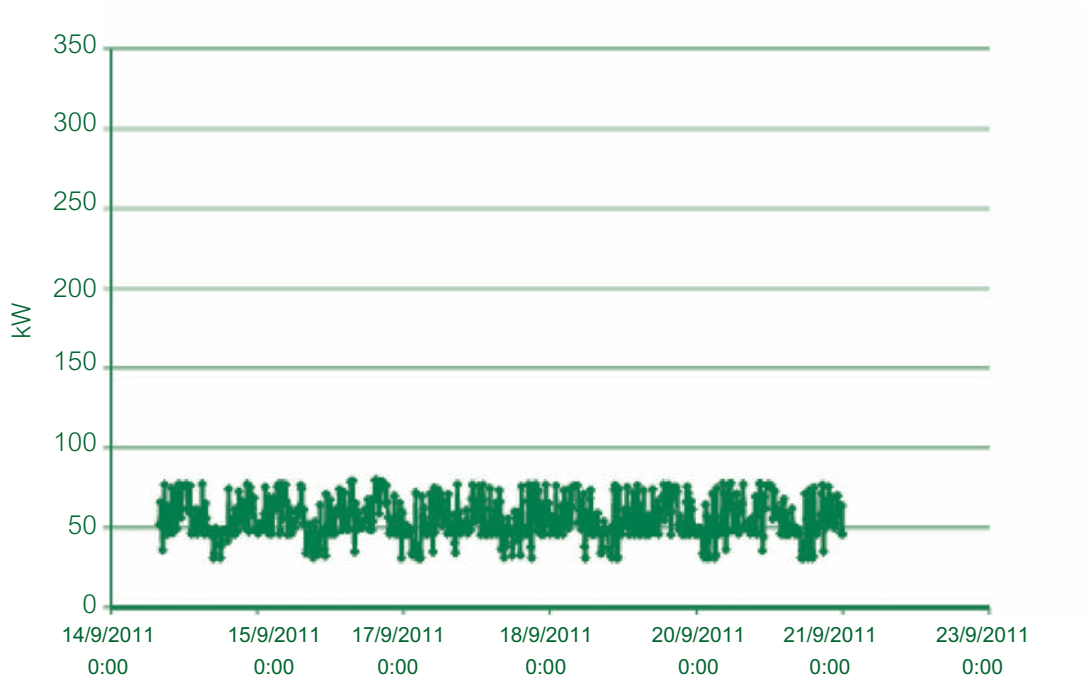
2.2.2) สภาวะควบคุม

ลำดับ	สภาวะที่ต้องควบคุม	ค่าที่ควบคุม/ค่าที่กำหนดไว้
1	ภาระทำความเย็น	ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนามาจากข้อมูลตรวจวัดก่อนการปรับปรุง
2	อุณหภูมิน้ำเย็น (set point)	ตั้งค่าการทำงานที่ 45 F
3	อุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก	อ้างอิงฐานข้อมูล TMY

2.2.3) ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น (เครื่องที่ 1)

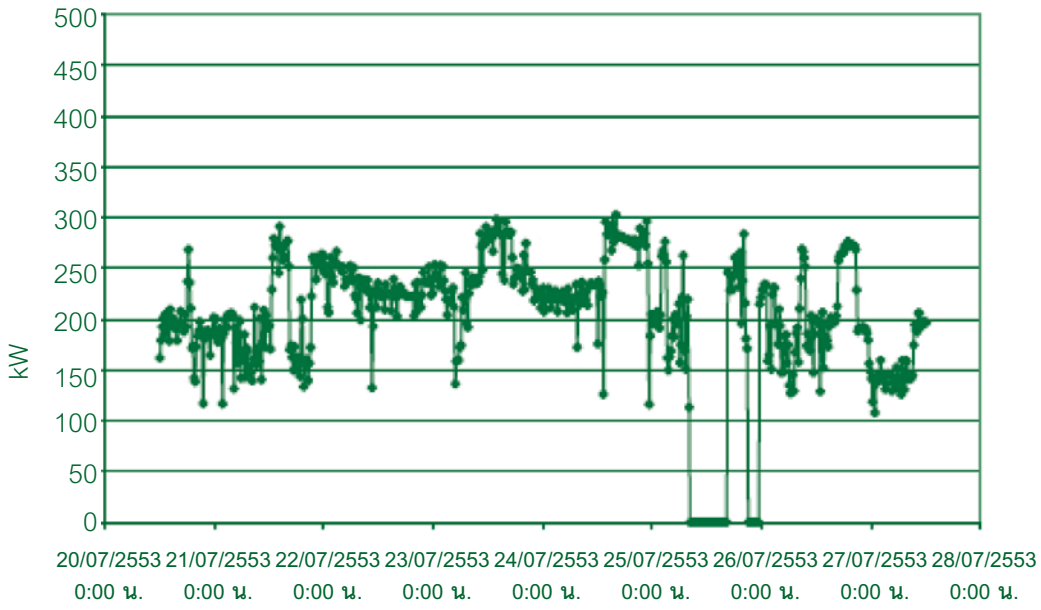


รูปที่ 2.1 พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง

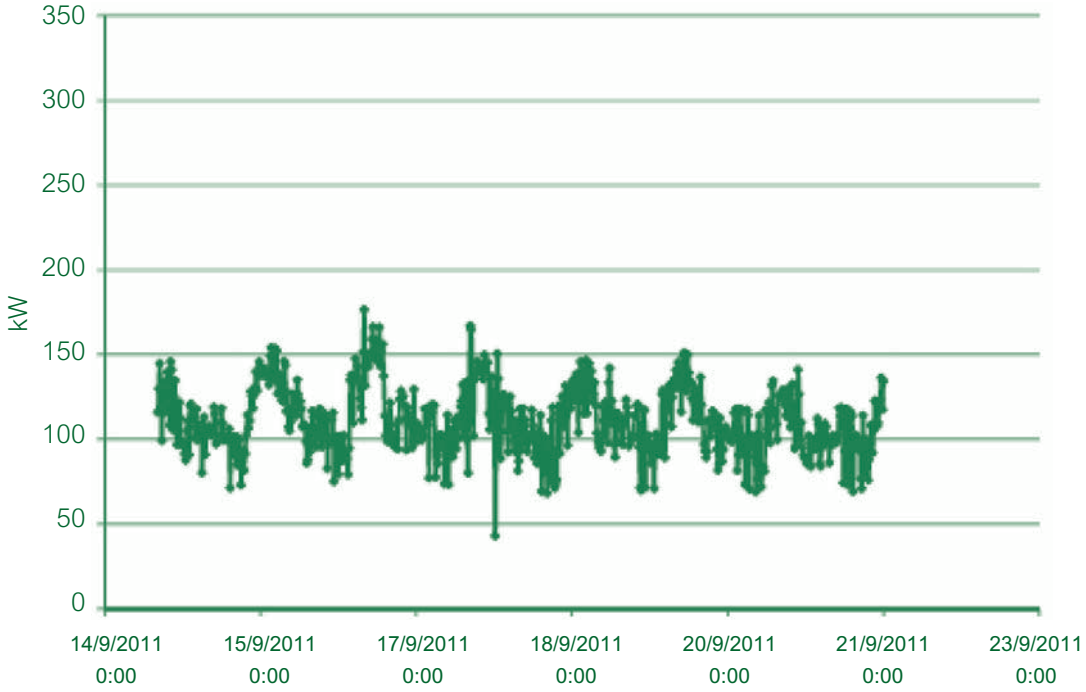


รูปที่ 2.2 พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง

2.2.4) ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น (เครื่องที่ 2)

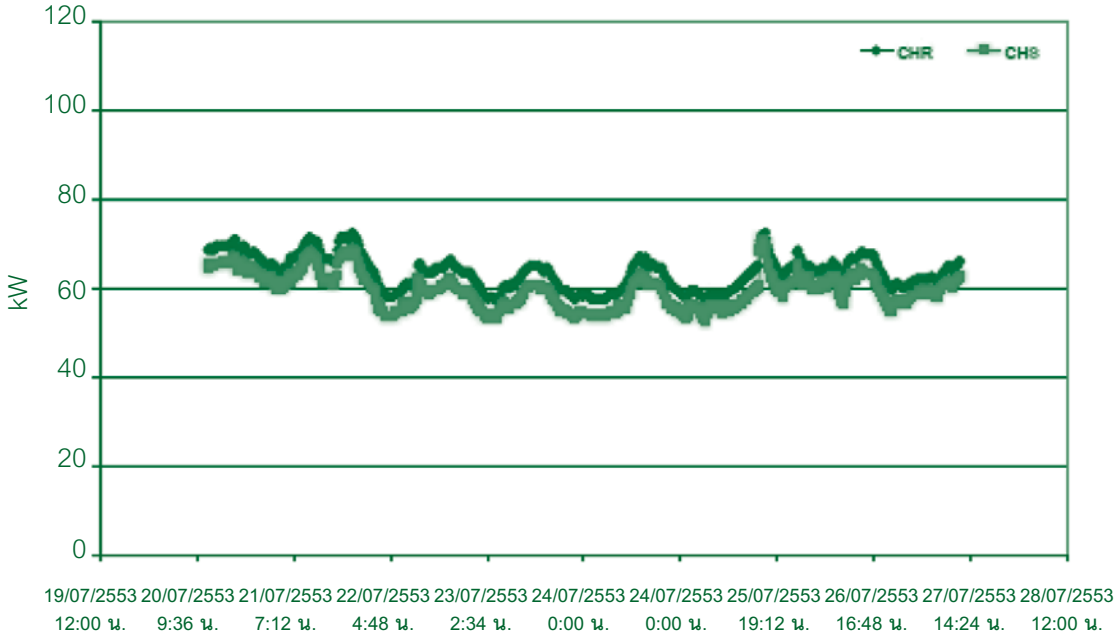


รูปที่ 2.3 พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง

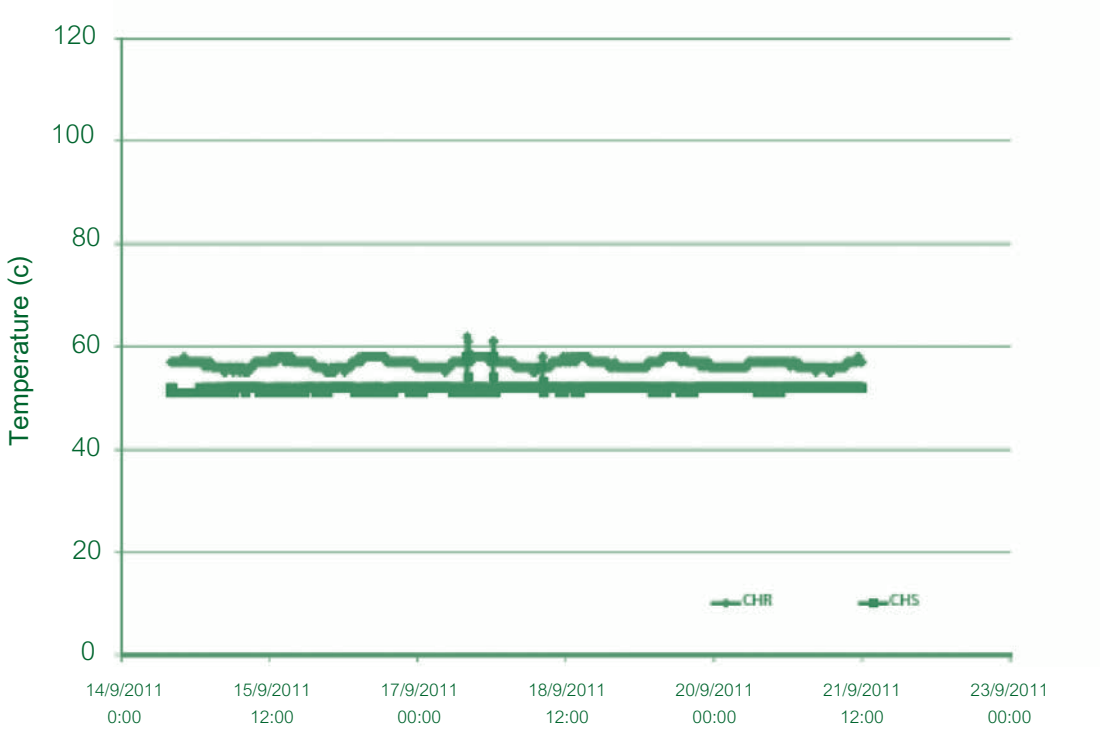


รูปที่ 2.4 พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง

2.2.5) อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าและขาออกจากระบบผลิตน้ำเย็น

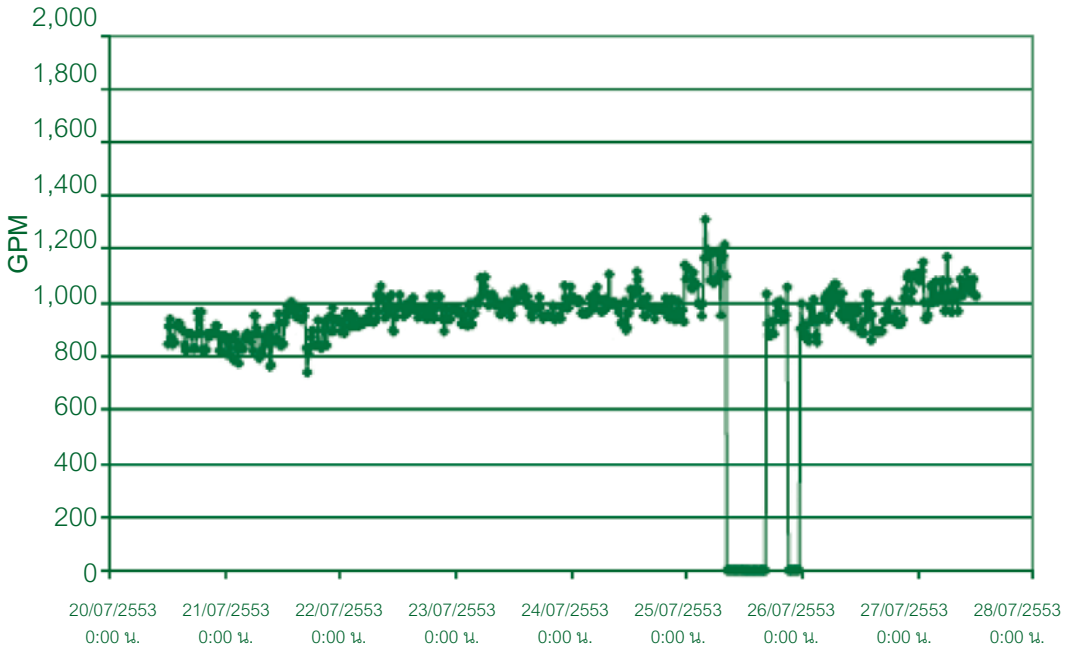


รูปที่ 2.5 อุณหภูมิน้ำ Supply และ Return ก่อนปรับปรุง

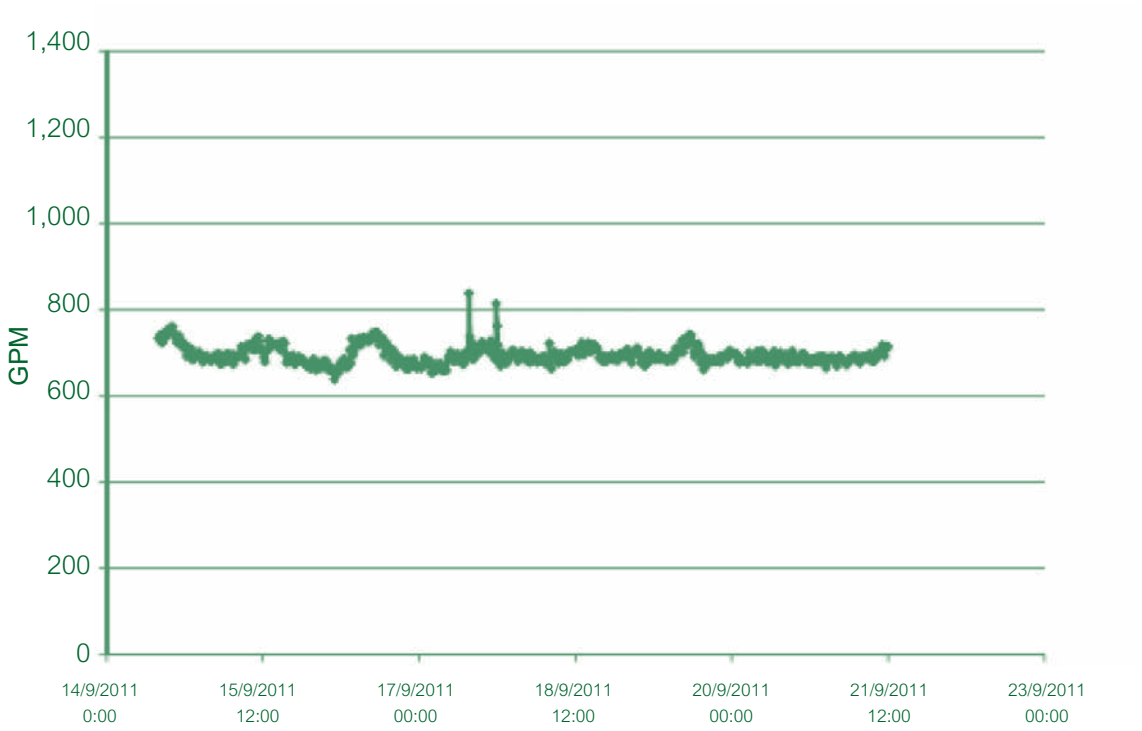


รูปที่ 2.6 อุณหภูมิน้ำ Supply และ Return หลังปรับปรุง

2.2.6) อัตราการไหลของน้ำเย็น

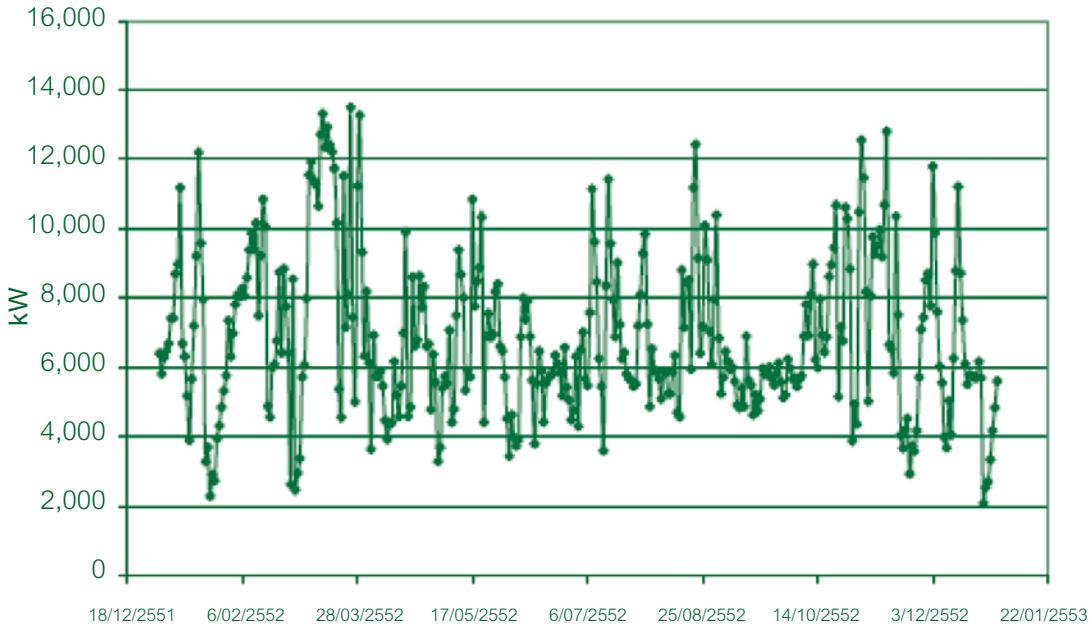


รูปที่ 2.7 อัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนปรับปรุง

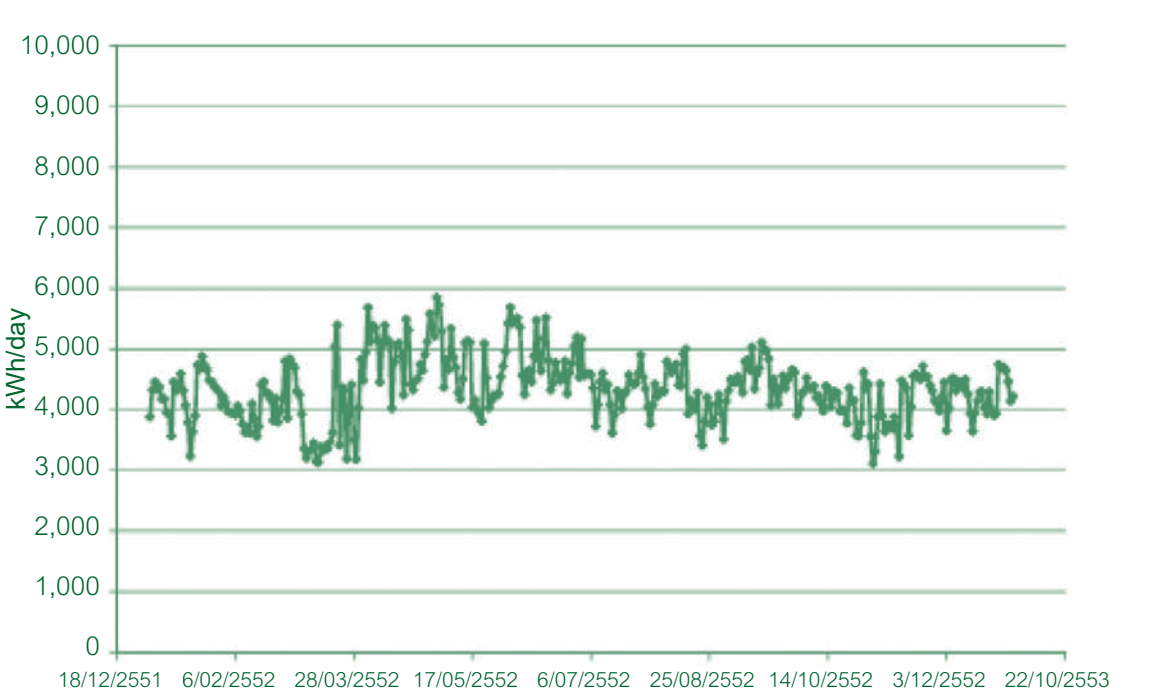


รูปที่ 2.8 อัตราการไหลของน้ำเย็นหลังปรับปรุง

2.2.7) พลังงานไฟฟ้ารายวันของปีฐาน

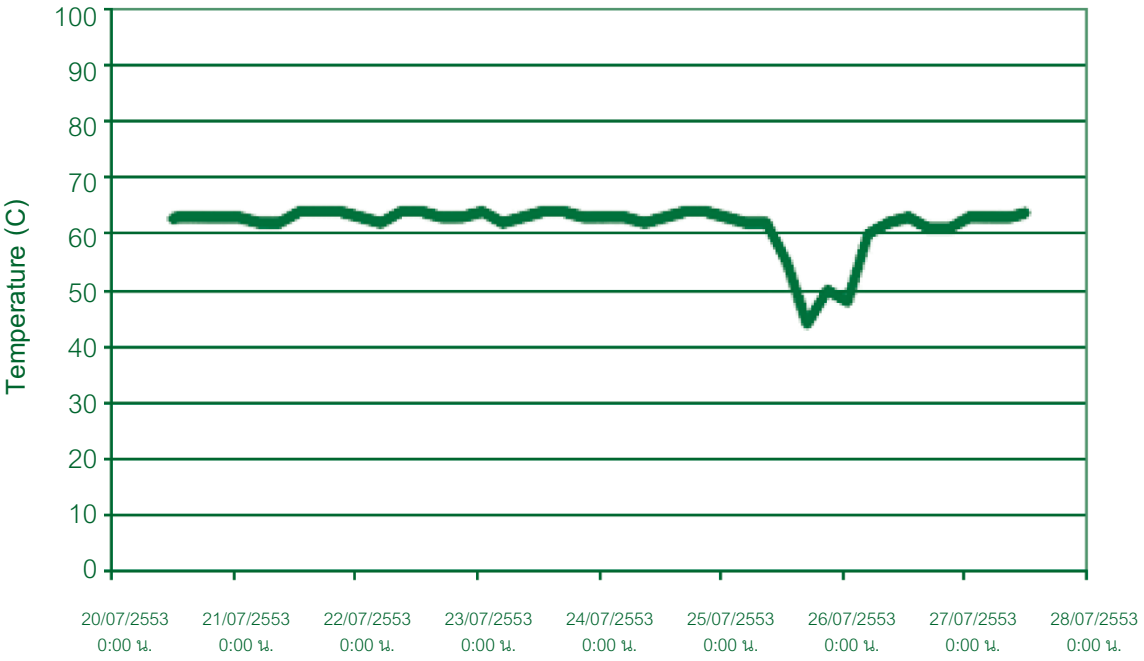


รูปที่ 2.9 ก่อนปรับปรุง

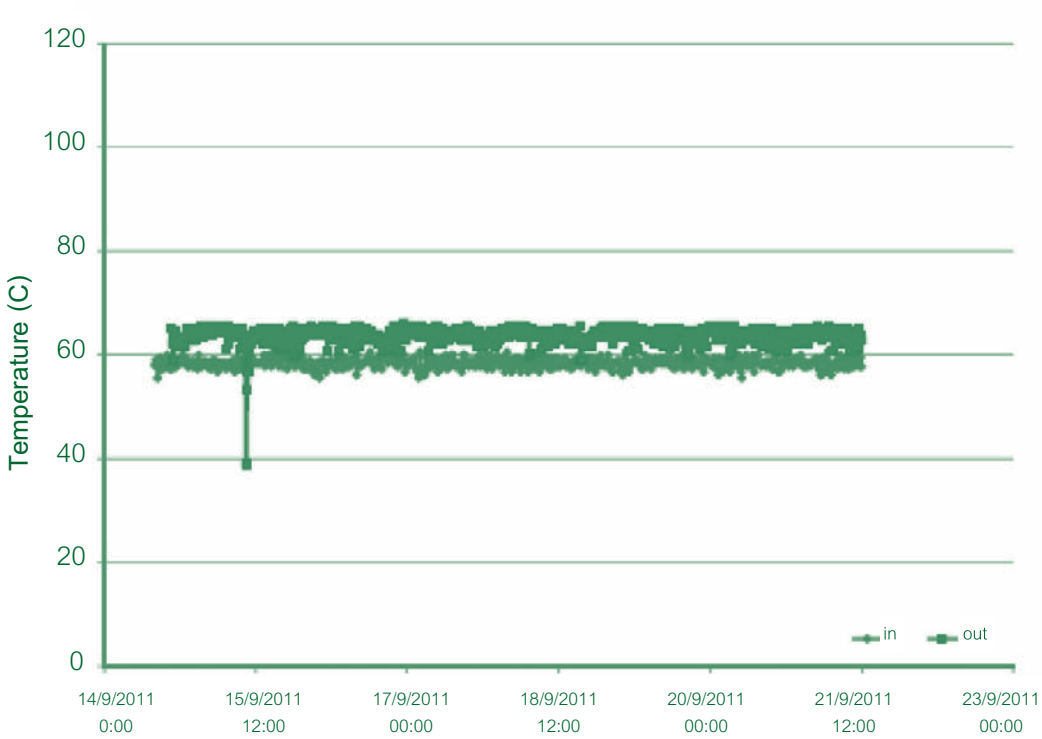


รูปที่ 2.10 หลังปรับปรุง

2.2.8) อุณหภูมิน้ำร้อน

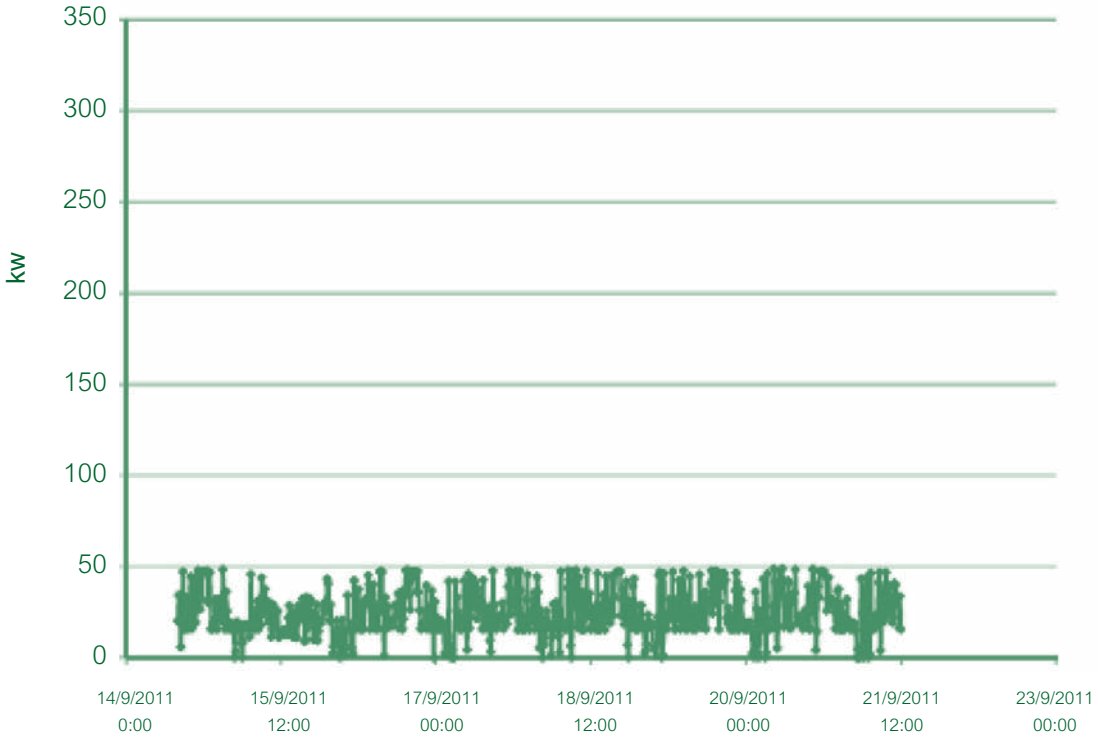


รูปที่ 2.11 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตใช้งานก่อนปรับปรุง



รูปที่ 2.12 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตใช้งานด้วยปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง

2.2.9) ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบ Heat Pump (หลังปรับปรุง)



รูปที่ 2.13 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับระบบปั๊มความร้อนหลังปรับปรุง

2.2.10) **ปริมาณการใช้พลังงาน**

เดือน	จำนวนห้องพัก (ห้อง/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/month)	
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
Jan 09	4,214	196,180	131,498
Feb 09	3,496	216,611	112,253
Mar 09	3,950	286,267	119,834
Apr 09	5,577	184,197	148,138
May 09	5,577	210,816	143,744
Jun 09	5,621	166,148	146,476
Jul 09	5,224	223,421	134,750
Aug 09	4,674	221,167	130,669
Sep 09	5,584	168,757	136,489
Oct 09	4,809	219,734	128,768
Nov 09	3,859	223,858	121,473
Dec 09	4,943	188,604	131,589
พลังงานในระบบผลิตน้ำเย็น (kWh/year)		**2,505,762**	**1,585,680**
พลังงานในระบบ Heat Pump (kWh/year)		-	215,647
พลังงานในเครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียน (kWh/year)		14,874	15,488
รวมปริมาณการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง (kWh/year)		**2,520,636**	**1,816,815**

2.3) **การวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้**

2.3.1) จากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์สามารถสรุปผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ เครื่องทำน้ำเย็น 920,082 kWh/year หรือคิดเป็นผลประหยัด 36.71%

2.3.2) จากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์สามารถสรุปผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าทั้งระบบที่ทำการปรับปรุงได้ 703,821 kWh/year หรือคิดเป็นผลประหยัด 27.92%

ตารางที่ 4.6 ผลประหยัดพลังงาน

อุปกรณ์/เครื่องจักร	พลังงานไฟฟ้า (kWh/year)		ผลประหยัด
	ก่อนปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	
ระบบผลิตน้ำเย็น	2,505,762	1,585,680	920,082
ระบบ Heat Pump	-	215,647	-215,647
เครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียน	14,874	15,488	-614
รวมปริมาณพลังงาน	2,520,636	1,816,815	703,821

4.3 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด : มาตรการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟแสงสว่าง

4.3.1. คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

1) วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างเพียงมาตรการเดียว ไม่รวมถึงการใช้งานร่วมกับมาตรการประหยัดพลังงานโดยการจัดการใช้งาน หรือมาตรการที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดพลังงานอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า

3) การตรวจวัดค่าความส่องสว่างควรตรวจวัดในสถานที่ที่ผลกระทบของแสงสว่างจากภายนอกรบกวนการตรวจวัดน้อยที่สุด หรือควรทำการตรวจวัดในช่วงเวลากลางคืน

4) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดตามมาตรฐาน THAI ESCO นี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยคำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ในกรณีที่ต้องการเพิ่มระดับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลให้สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการนี้

4.3.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

การเลือกรูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผล อ้างอิงมาตรฐานของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมีให้เลือกใช้ได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ได้กำหนดขึ้นในเอกสารฉบับนี้ ถือเป็นการตรวจวัดและพิสูจน์ผลอย่างน้อยที่สุดของมาตรการที่มีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ที่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผล (Measurement and Verification Unit) ได้เลือกแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลรูปแบบ A การตรวจวัดเพียงบางส่วนแยกตามมาตรการที่ปรับปรุง (Partially Measured Retrofit Isolation)

“การตรวจวัดเพียงบางส่วน” หมายถึงการสุ่มตัวอย่างอุปกรณ์ตามมาตรการเพื่อทำการตรวจวัด สำหรับมาตรฐานนี้ กำหนดให้จำนวนตัวอย่างที่ทำการตรวจวัดต้องไม่น้อยกว่า 10% ของจำนวนหลอดไฟฟ้าที่ทำการปรับปรุงในแต่ละชนิด และต้องไม่น้อยกว่า 10 ชุดทดสอบต่อชนิดหลอดไฟฟ้า ในกรณีที่หลอดไฟฟ้าชนิดที่ทำการเปลี่ยนมีจำนวนไม่ถึง 10 ชุด ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลทำการตรวจวัดทั้งหมด

4.3.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

1) ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

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

2) รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

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

2.1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

2.2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

2.3) การวิเคราะห์ผลประหยัด

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดและจัดทำรายงานแล้วเสร็จให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

4.3.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

1) การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

กรณีเลือกรูปแบบการตรวจวัดเป็น รูปแบบ A คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลต้องทำการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบชั่วขณะเป็นรายหลอด (Individual) ไม่น้อยกว่า 10% ของจำนวนหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิด/ประเภทที่เปลี่ยน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง และชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้าปีฐานโดยมีฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและตัวแปรหลัก ดังนี้

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

E_{BL} = $PE_{Pre} \times N \times H$

โดยที่

E_{BL} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานของหลอดไฟฟ้าแต่ละประเภทก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

PE_{Pre} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดไฟฟ้าแต่ละประเภทก่อนการปรับปรุง (kW)

N = จำนวนหลอดไฟฟ้าที่ทำการปรับปรุงตามมาตรการแยกตามประเภท (Set)

H = ชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้าปีฐาน (h/y)

หมายเหตุ ในกรณีที่มาตรการนี้มีการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าหลายประเภท ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผล ทำการตรวจวัดหลอดไฟฟ้าให้ครบทุกชนิด แล้วนำค่าพลังงานไฟฟ้าปีฐานของหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดที่ได้มารวมกัน

2) ภาระงาน

ภาระงานของหลอดไฟฟ้า คือ ความส่องสว่าง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานของหลอดไฟฟ้าแตกต่างกันไปตามพื้นที่ใช้งานของสถานประกอบการ บางครั้งอาจพบว่าค่าความสว่างอาจไม่เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยของอาคารและโรงงานตามกฎกระทรวง เพราะหลอดไฟฟ้าอาจถูกติดตั้งขึ้นเพื่อความสวยงามของพื้นที่ สามารถอนุโลมได้เพราะโครงการนี้มุ่งเน้นผลประหยัดพลังงานและความคุ้มทุนทางธุรกิจ แต่อย่างไรก็ตามค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้าหลังการติดตั้งควรไม่น้อยกว่าค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง

การหาค่าความส่องสว่างควรมีการวัดค่าหลายๆ ตำแหน่งตลอดความยาวหลอด หรือบริเวณจุดที่ที่แสงส่องตรง แล้วนำค่ามาเฉลี่ยเป็นค่าความส่องสว่าง ตำแหน่งการตรวจวัด (n) ต้องไม่น้อยกว่า 3 ตำแหน่งต่อหลอดไฟฟ้าที่ได้รับการสุ่มตัวอย่างให้เป็นตัวแทนข้อมูล และต้องทำเครื่องหมายไว้ เพื่อภายหลังการปรับปรุงคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลต้องกลับมาตรวจวัดค่าความส่องสว่างอีกครั้ง ณ ตำแหน่งเดิมก่อนการปรับปรุง โดยสามารถเขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ดังนี้

$L_{Pre} = f(LUX_{Pre}, n_{Pre})$

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

โดยที่

L_{Pre} = ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลอดไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง (Lux)

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

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

n = ตำแหน่งหรือจุดที่ทำการตรวจวัดค่าความส่องสว่างของแต่ละหลอดไฟฟ้า(1,2,….,n)

4.3.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

1) การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

ให้ทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าหลังการปรับปรุง โดยมีเงื่อนไข สถานที่ติดตั้งหลอดไฟฟ้าต้องเป็นตำแหน่งเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง จำนวนหลอดไฟฟ้าเท่ากัน และชั่วโมงการทำงานปีฐานเท่ากัน

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

$E_{FN} = PE_{Post} \times N \times H$

โดยที่

E_{FN} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานของหลอดไฟฟ้าแต่ละประเภทหลังการปรับปรุง (kWh/y)

PE_{Post} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดไฟฟ้าแต่ละประเภทหลังการปรับปรุง (kW)

N = จำนวนหลอดไฟฟ้าที่ทำการปรับปรุงตามมาตรการแยกตามประเภท (Set)

H = ชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้าปีฐาน (h/y)

หมายเหตุ ในกรณีที่มาตรการนี้มีการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าหลายประเภท ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผล ทำการตรวจวัดหลอดไฟฟ้าให้ครบทุกชนิด แล้วนำค่าพลังงานไฟฟ้าปีฐานของหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดที่ได้มารวมกัน

2) ภาระงาน

ภาระงานของหลอดไฟฟ้า คือ ความส่องสว่างหลังการติดตั้งที่ตำแหน่งเดียวกันกับหลอดไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง ไม่ควรน้อยกว่าค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง การหาค่าความส่องสว่างหลังการปรับปรุงให้ทำการตรวจวัดตามตำแหน่งที่เครื่องหมายไว้ก่อนปรับปรุง โดยสามารถเขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ดังนี้

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

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

โดยที่

L_{Post} = ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลอดไฟฟ้าหลังการปรับปรุง (Lux)

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

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

n = จำนวนตำแหน่งหรือจุดที่ทำการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง (1, 2, …., n)

4.3.6 การวิเคราะห์ผลประหยัด

1) ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า

การคำนวณหาผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าปีฐานสามารถหาได้จากการนำ พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง ลบด้วยพลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้หลังการปรับปรุง เขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์(f) และสมการได้ดังนี้

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

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

โดยที่

E_{Save} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ประหยัดได้ (kWh/y)

2) ผลประหยัดทางการเงินปีฐาน

ผลประหยัดทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลัก ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ประหยัดได้ และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) และสมการได้ดังนี้

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

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

โดยที่

C_{Save} = จำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน (Bath/y)

C_E = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC (Bath/kWh)

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

4.3.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

1) ข้อมูลหรือตัวแปรด้านพลังงาน

โดยทั่วไปของมาตรการเปลี่ยนหรือปรับปรุงหลอดไฟฟ้านี้ ต้องทำการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัดที่มีค่าความถูกต้อง (Accuracy) ที่เหมาะสมเท่านั้น

2) ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ข้อมูลจากสถานประกอบการที่สำคัญของมาตรการนี้คือ ชั่วโมงการทำงานในแต่ละพื้นที่ที่มีการปรับปรุงหลอดไฟฟ้าตามมาตรการ ข้อมูลที่ถูกบันทึกและให้การโดยพนักงานของสถานประกอบการอาจก่อให้เกิดปัญหาในภายหลัง ดังนั้นคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลควรให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจของสถานประกอบการได้ลงนามรับรองข้อมูลชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ตามมาตรการด้วย

4.3.8 รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลประหยัด มี 2 ชนิดได้แก่ตัวแปรหลักและตัวแปรควบคุม

1) ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อ การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลประหยัดพลังงาน ผลประหยัดทางการเงิน สำหรับตัวแปรหลักของมาตรการนี้ได้แก่

1.1) กำลังไฟฟ้า PE (kW), (W)

1.2) ชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้าปีฐานตามตำแหน่งติดตั้ง H (h/y)

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

2.1) ค่าความส่องสว่าง L (Lux)

2.2) ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าวงจรของหลอดไฟฟ้า V (Volt)

3) คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	PE_{Pre}
หน่วย	kW, W
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแต่ละประเภทก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าแบบละเอียดในการตรวจวัด
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตรวจวัดแบบชั่วขณะไม่น้อยกว่า 5 ซ้ำ

ตัวแปร	PE_{Post}
หน่วย	kW ,W
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแต่ละประเภทหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอด
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าแบบละเอียดในการตรวจวัด
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตรวจวัดแบบชั่วขณะไม่น้อยกว่า 5 ซ้ำ

ตัวแปร	H
หน่วย	h/y
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้าปีฐาน
แหล่งข้อมูล	เอกสารสรุปและการสำรวจ
วิธีการตรวจวัด	สอบถามและสังเกตุพฤติกรรมการใช้งาน
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	N
หน่วย	หลอด
ความหมาย	จำนวนหลอดไฟฟ้าที่มีก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	EPC, เอกสารสัญญาซื้อขาย, การตรวจนับ
วิธีการตรวจวัด	สำรวจพื้นที่เป้าหมายและนับจำนวน
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	L_{Pre}
หน่วย	Lux
ความหมาย	ความส่องสว่างเฉลี่ยของหลอดแต่ละประเภทก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ตรวจวัดตามพื้นที่ตัวอย่าง แต่ละพื้นที่ตรวจวัดไม่น้อยกว่า 3 ตำแหน่งต่อหลอด
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตรวจวัดแบบชั่วขณะไม่น้อยกว่า 5 ซ้ำ

ตัวแปร	L_{Post}
หน่วย	Lux
ความหมาย	ความส่องสว่างเฉลี่ยของหลอดแต่ละประเภทหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ตรวจวัดตามพื้นที่ตัวอย่าง แต่ละพื้นที่ตรวจวัดไม่น้อยกว่า 3 ตำแหน่งต่อหลอด
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตรวจวัดแบบชั่วขณะไม่น้อยกว่า 5 ซ้ำ

ตัวแปร	LUX_{Pre}
หน่วย	Lux
ความหมาย	ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง ตำแหน่งที่ i ถึงตำแหน่งที่ n
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ตรวจวัดใต้หลอดไฟฟ้า ทำเครื่องหมายตำแหน่งตรวจวัด แต่ละพื้นที่ตรวจวัด n ไม่น้อยกว่า 3 ตำแหน่งต่อหลอด
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตรวจวัดแบบชั่วขณะไม่น้อยกว่า 3 ซ้ำ

ตัวแปร	LUX_{Post}
หน่วย	Lux
ความหมาย	ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟฟ้าหลังการปรับปรุง ตำแหน่งที่ i ถึงตำแหน่งที่ n
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัด
วิธีการตรวจวัด	ตรวจวัดใต้หลอดไฟฟ้า ทำเครื่องหมายตำแหน่งตรวจวัด แต่ละพื้นที่ตรวจวัด n ไม่น้อยกว่า 3 ตำแหน่งต่อหลอด
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตรวจวัดแบบชั่วขณะไม่น้อยกว่า 3 ซ้ำ

ตัวแปร	n
หน่วย	ตำแหน่ง
ความหมาย	ตำแหน่งตรวจวัดค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้าแต่ละหลอดโดยทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงกำหนดให้เป็นตำแหน่งเดียวกัน
แหล่งข้อมูล	พื้นที่ที่หลอดตามมาตรการติดตั้งอยู่จริง
วิธีการตรวจวัด	ย้ายตำแหน่งตลอดความยาวหลอดอย่างน้อย 3 ตำแหน่ง กรณีที่เป็นหลอดกลมให้ย้ายตำแหน่งห่างกันประมาณ 120^{O} หรือระยะห่างของแต่ละตำแหน่งเท่าๆกัน
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตรวจวัดแบบชั่วขณะไม่น้อยกว่า 3 ซ้ำ

ตัวแปร	E_{BL}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	ค่าพลังงานไฟฟ้าปีฐานของหลอดไฟฟ้าแต่ละประเภทก่อนการปรับปรุงกรณีที่มีหลอดหลายประเภทในมาตรการเดียวกันให้นำค่ามารวมกันทุกประเภท
แหล่งข้อมูล	1. การตรวจวัดกำลังไฟฟ้ารวมที่อุปกรณ์ทั้งหมดก่อนปรับปรุง หรือ 2. จากการสุ่มตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์ในแต่ละกลุ่มใช้เพียงพอต้องเป็นไปตามหลักสถิติ ที่ความเชื่อมั่น 90% ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 % และหาค่าเฉลี่ย
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	E_{FN}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	ค่าพลังงานไฟฟ้าปีฐานของหลอดไฟฟ้าแต่ละประเภทหลังการปรับปรุง กรณีที่มีหลอดหลายประเภทในมาตรการเดียวกันให้นำค่ามารวมกันทุกประเภท
แหล่งข้อมูล	1. การตรวจวัดกำลังไฟฟ้ารวมที่อุปกรณ์ทั้งหมดก่อนปรับปรุง หรือ 2. จากการสุ่มตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์ในแต่ละกลุ่มใช้เพียงพอต้องเป็นไปตามหลักสถิติ ที่ความเชื่อมั่น 90% ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 % และหาค่าเฉลี่ย
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

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

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

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

4.3.9 บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	5/11/2013	ฉบับที่ 1

4.3.10 กรณีศึกษาและวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล : มาตรการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟแสงสว่าง (TEM&V-001-A1: 2556)

4.3.10.1 **รายละเอียดมาตรการ**

สถานประกอบการ A เป็นอาคารนอกข่ายอาคารควบคุม ประเภทธุรกิจโรงแรม มีขนาดหม้อแปลง 1,000 kVA ระบบไฟฟ้าแสงสว่างส่วนใหญ่ยังเป็นระบบดั้งเดิมตั้งแต่สร้างโรงแรม ส่งผลให้ผู้ประกอบการรับภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานค่อนข้างสูง ดังนั้นผู้บริหารจึงมีแนวคิดในการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟแสงสว่างมาใช้หลอดแอลอีดีเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่โรงแรมใช้อยู่ สามารถแบ่งกลุ่มตามชั่วโมงการใช้งานได้ 3 กลุ่ม ได้แก่

1) หลอดที่มีจำนวนใช้งาน 7 ชั่วโมงต่อวัน ประกอบด้วย หลอดฮาโลเจน ขนาด 35 วัตต์ จำนวน 759 ชุด หลอดฮาโลเจน ขนาด 50 วัตต์ จำนวน 759 ชุด หลอดหลอดเออาร์111 จำนวน 20 ชุด หลอดหลอดเออาร์ 70 จำนวน 20 ชุด หลอดพาร์ 38 จำนวน 25 ชุด หลอดพาร์ 20 จำนวน 32 ชุด หลอดคอมแพค 2 พิน ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 21 ชุด หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 36 ชุด หลอดอินแคนเดสเซนต์ อี 27 จำนวน 20 ชุด และหลอดคอมแพค อี 27 จำนวน 12 ชุด รวม 1,704 ชุด

2) หลอดที่มีจำนวนใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ประกอบด้วย หลอดฮาโลเจน ขนาด 50 วัตต์ จำนวน 210 ชุด และหลอดคอมแพค อี 27 จำนวน 300 ชุด รวม 510 ชุด

3) หลอดที่มีจำนวนใช้งาน 20 ชั่วโมงต่อวัน ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 70 ชุด และหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด18วัตต์ จำนวน10ชุด รวม 80 ชุด รวมเป็นจำนวนหลอดทั้งสิ้น 2,294 ชุด รวมเป็นจำนวนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างที่โรงแรมประสงค์จะเปลี่ยนทั้งสิ้น 2,294 ชุด การปรับปรุงเป็นการนำมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างมาใช้ โดยชนิดของหลอดไฟฟ้าที่เลือก คือ หลอดแอลอีดี ชนิด/ประเภท และขนาดจะพิจารณาจากหลอดเดิมที่ใช้งานอยู่ ซึ่งจะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้และจากข้อมูลผู้ผลิตความสว่างที่ได้จากหลอดประหยัดเหล่านี้ยังคงเดิมหรือไม่น้อยกว่าเดิม

4.3.10.2 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (Measurement & Verification)

จากมาตรฐานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการอนุรักษ์พลังงาน (Measurement and Verification; M&V) อ้างอิงจากมาตรฐานของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากล โดยมาตรฐานนี้ได้แบ่งวิธีการในการวิเคราะห์หาผลประหยัดจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ออกได้เป็น 4 รูปแบบ ตามความเหมาะสมและข้อจำกัดของการดำเนินการแต่ละมาตรการ ดังนี้

รูปแบบ A การตรวจวัดเพียงบางส่วนแยกตามมาตรการที่ปรับปรุง (Partially Measured Retrofit Isolation)

รูปแบบ B การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation)

รูปแบบ C พิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของสถานประกอบการ (Whole facility)

รูปแบบ D การจำลองผล (Calibrated Simulation)

ซึ่งมาตรการนี้ M&V Unit **เลือกใช้ รูปแบบ A** เป็นแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

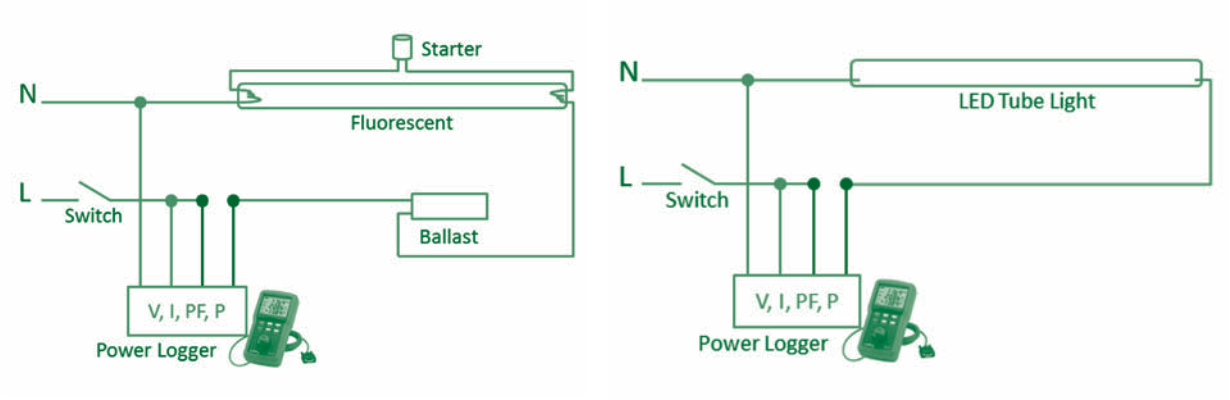
แนวทางการวิเคราะห์ผลประหยัดจะพิจารณาจากการสุ่มตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) ก่อนและหลังการปรับปรุงของหลอดไฟฟ้าแต่ละหลอดและชนิด โดยมีตัวแปรควบคุมคือ แรงดันไฟฟ้า (Volt) และค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้าเดิมและหลอดแอลอีดีที่นำมาใช้แทนที่ โดยมีเกณฑ์การพิจารณาคือค่าความสว่างต้องใกล้เคียงกัน แตกต่างกันไม่เกิน 10% (พิจารณาในส่วนของค่าความสว่างในพื้นที่ปฏิบัติงานเป็นสำคัญ ในส่วนของการประดับตกแต่งเพื่อความสวยงามจะไม่ถูกนำค่าความสว่างมาพิจารณาประกอบ เนื่องจากความสว่างไม่ใช่ปัจจัยหลักในการใช้งานในพื้นที่ดังกล่าว สำหรับสถานประกอบการนี้)

ทั้งนี้ในการคำนวณ M&V Unit จะนำค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อน และหลังการปรับปรุงมาเปรียบเทียบกัน โดยพลังงานไฟฟ้าปีฐานจะ คำนวณจากจำนวนหลอดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และชั่วโมงการทำงานต่อปี (สมมติฐานให้ชั่วโมงการทำงานต่อปีเท่ากันทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง)

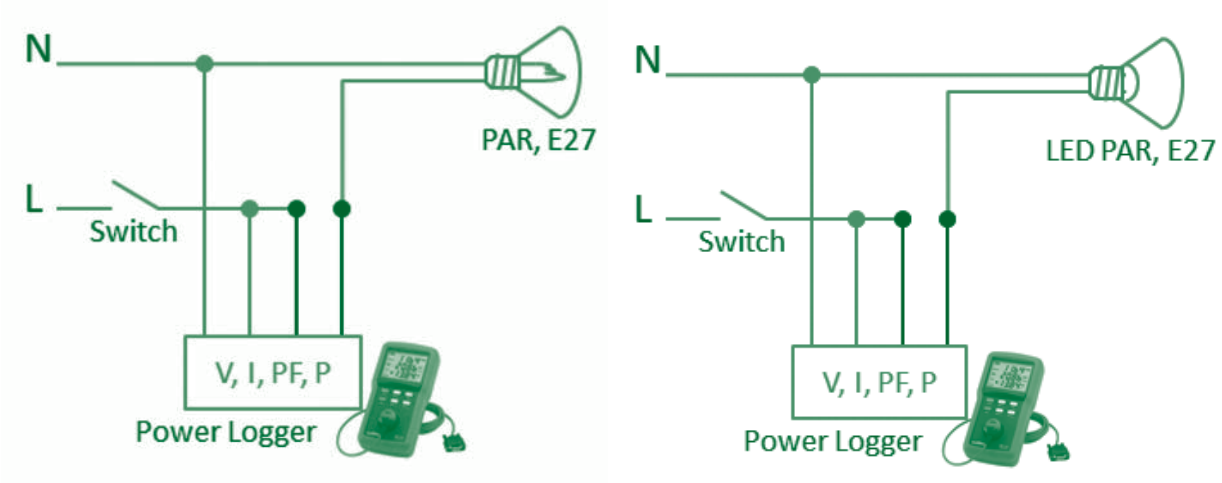
1) วิธีการตรวจวัด

1.1) สำหรับค่าความส่องสว่าง M&V Unit จะสุ่มตรวจความส่องสว่างแบบชั่วขณะในแต่ละพื้นที่ตามวิธีการตรวจวัดที่ได้มาตรฐาน ตำแหน่งการตรวจวัดจะทำการวัดในพื้นที่ตัวอย่างที่ทำการเปลี่ยนหลอดไว้ โดยก่อนและหลังการปรับปรุงถูกตรวจวัดในตำแหน่งเดียวกัน เนื่องจากสถานประกอบกอบการเป็นสถานที่พักตากอากาศ ต้องคำนึงถึงความสะดวก และความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้บริการเป็นสำคัญ

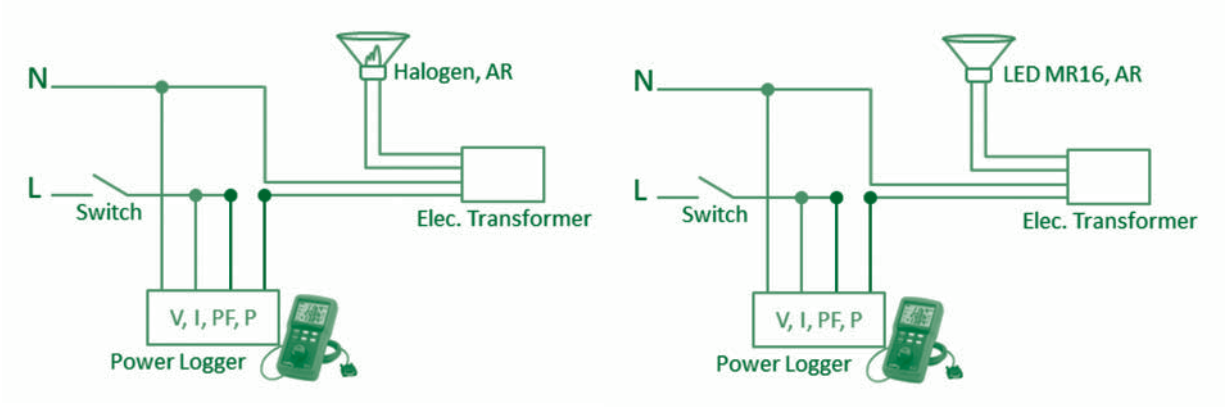
1.2) ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบชั่วขณะเป็นรายหลอด (Individual) ไม่น้อยกว่า 10% ของจำนวนหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิด/ประเภทที่เปลี่ยนและการสุ่มตรวจขั้นต่ำต้องไม่น้อยกว่า 10 ชุด ตัวอย่างเช่น หลอดไฟฟ้าประเภทที่เปลี่ยนมีจำนวนน้อยกว่า 10 ชุด ให้ทำการตรวจวัด 100% หรือในกรณีจำนวนหลอดไฟฟ้า 10% ของจำนวนหลอดที่เปลี่ยนมีจำนวนน้อยกว่า 10 ชุด ให้ยึดถือข้อกำหนดขั้นต่ำของการสุ่มตรวจไม่น้อยกว่า 10 ชุดเป็นเกณฑ์ ส่วนแผนภาพแสดงตำแหน่งตรวจวัดหลอดไฟฟ้าประเภทต่างๆ แสดงดังรูปที่ 1 ถึง รูปที่ 4 และแสดงตำแหน่งการตรวจวัดค่าความส่องสว่างไว้ในรูปที่ 5



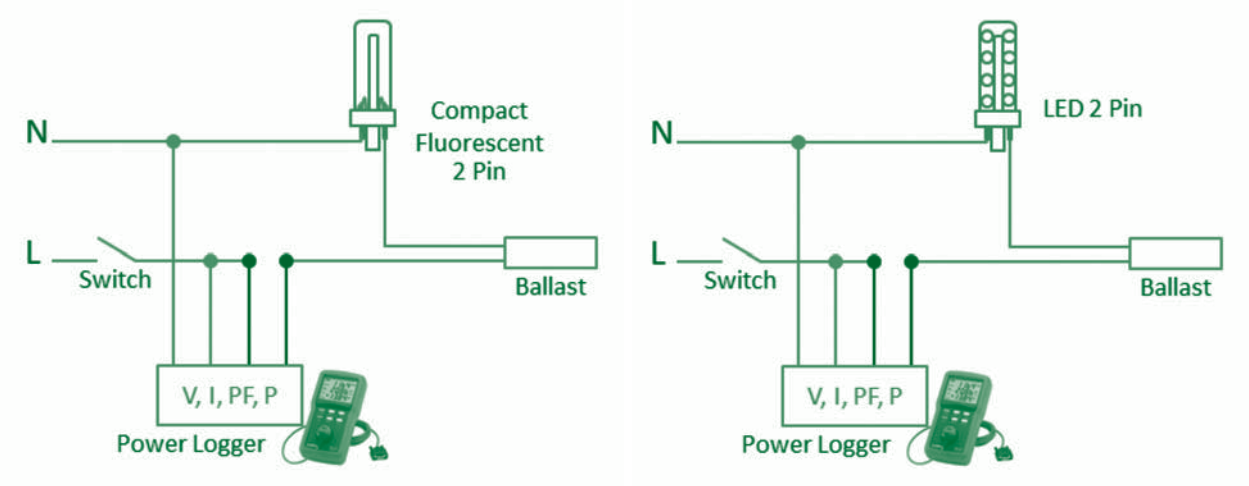
รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 18W และ 36W ก่อนการปรับปรุง (รูปซ้าย) และหลอดแอลอีดีหลังการปรับปรุงขนาดและกำลังตามรายละเอียดใน EPC (รูปขวา)



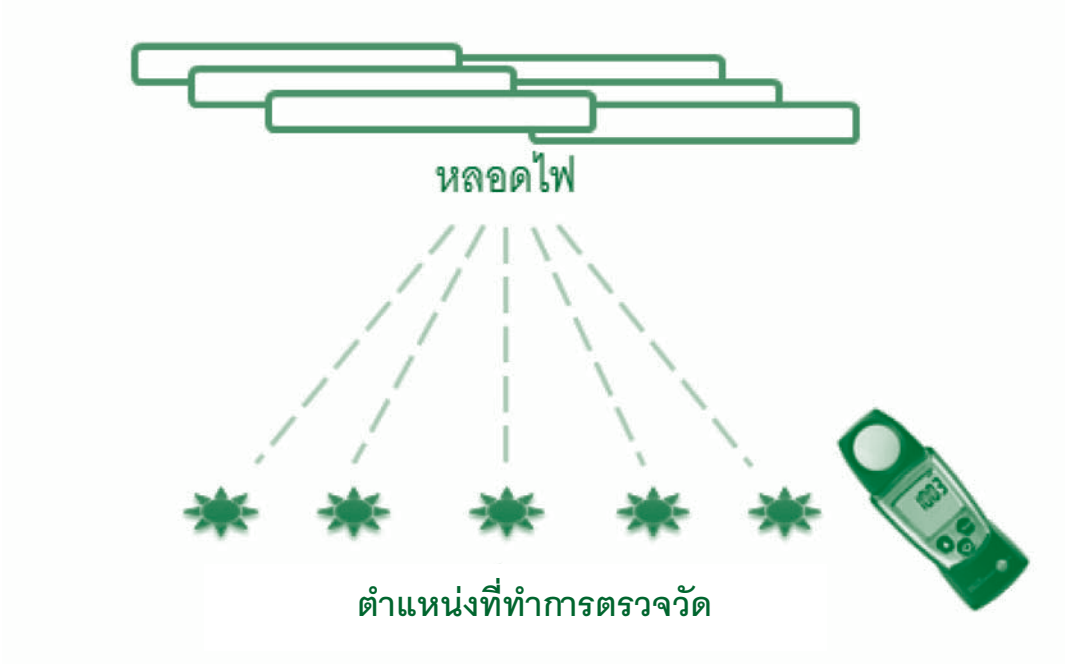
รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดหลอดพาร์ 20, พาร์ 38, คอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ อี 27, อินแคนเดสเซนต์ อี 27 ก่อนการปรับปรุง (รูปซ้าย) และหลอดแอลอีดีหลังการปรับปรุง ขนาดและกำลังตามรายละเอียดใน EPC (รูปขวา)



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดหลอดฮาโลเจน ขนาด 35W, 50W, เออาร์70, เออาร์111 ก่อนการปรับปรุง (รูปซ้าย) และหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 และเออาร์ หลังการปรับปรุง ขนาดและกำลังตามรายละเอียดใน EPC (รูปขวา)



รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดหลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ 2 พินก่อนการปรับปรุง (รูปซ้าย) และหลอดแอลอีดี 2 พินหลังการปรับปรุง ขนาดและกำลังตามรายละเอียดใน EPC (รูปขวา)



รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดความสว่าง (LUX) ของหลอดไฟ ณ บริเวณ จุดตรวจวัดเดิม ทั้งก่อนและหลัง

2) **เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด**

ตารางที่ 4.7 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดและคุณลักษณะขั้นต่ำของเครื่องมือ

ลำดับ	ชื่อเครื่องมือ	ลักษณะที่ต้องมี
1	เครื่องวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้า (Power Quality Analyzer)	สามารถตรวจวัดค่าความถี่ (Hz), แรงดันไฟฟ้า (V), กระแสไฟฟ้า (A), ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF), กำลังไฟฟ้า(kW) แบบต่อเนื่องได้
2	เครื่องวัดค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้า (Lux Meter)	สามารถวัดค่าความสว่าง (Lux) ได้

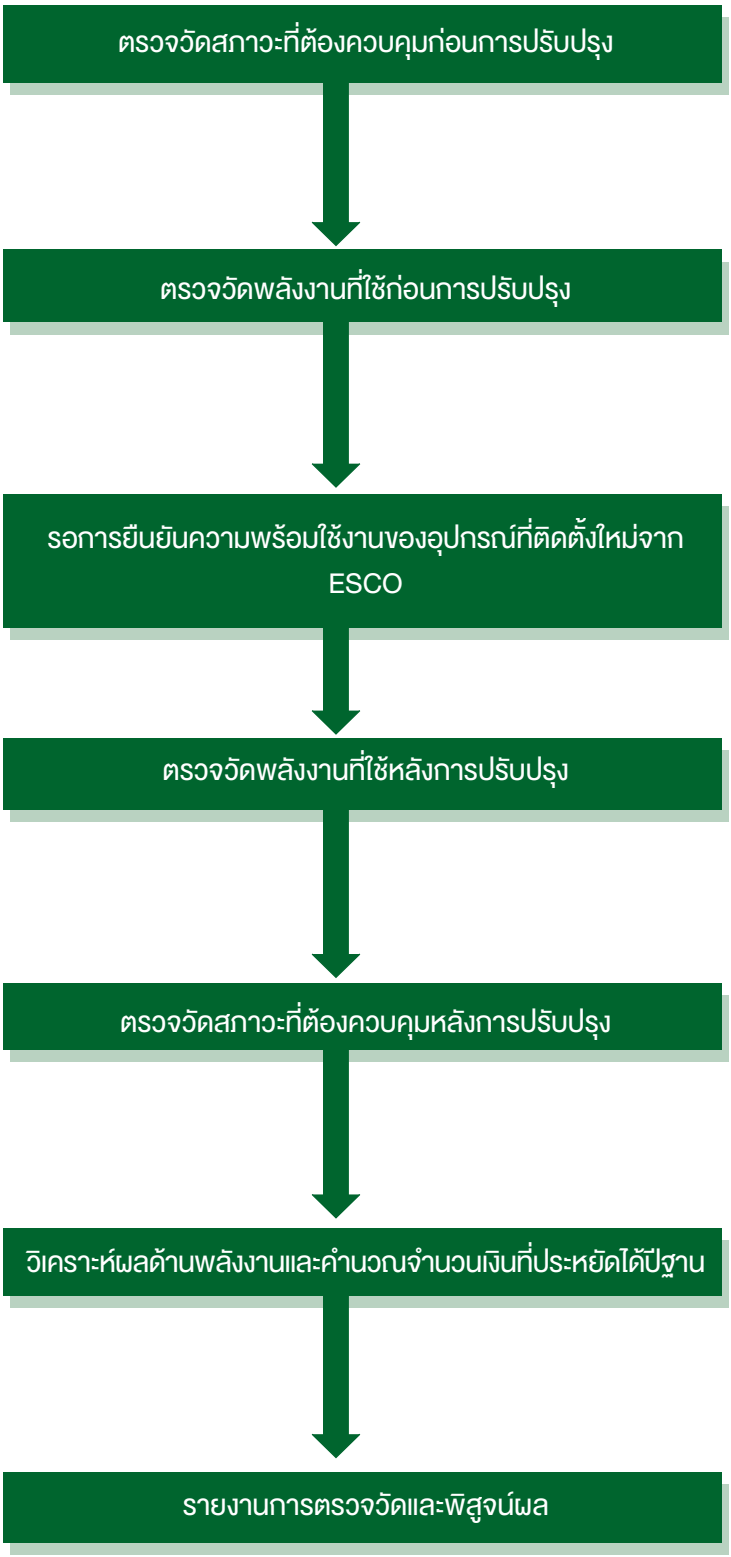
3) **การเตรียมพื้นที่ก่อนการตรวจวัด**

ตารางที่ 4.8 การเตรียมพื้นที่ตรวจวัดโดยสถานประกอบการ

ลำดับ	รายการพื้นที่	สภาพพื้นที่ที่ต้องการ
1	แหล่งพลังงานไฟฟ้าเพื่อป้อนเครื่องมือตรวจวัด	มีแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 V
2	สถานที่ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าความสว่าง	โรงแรมอำนวยความสะดวกโดยจัดเตรียมสถานที่ ตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าตามมาตรการโดยห้องที่เตรียมนี้ สามารถให้ M&V เข้าตรวจวัดค่าความสว่างได้โดยสะดวก

4.3.10.3 ขั้นตอนและข้อมูลการตรวจวัด

สำหรับขั้นตอนในการตรวจวัด M&V Unit ได้กำหนดขั้นตอนการตรวจวัดสำหรับมาตรการติดตั้งหลอดไฟฟ้าประหยัดพลังงาน LED ของ สถานประกอบการ ไว้ดังนี้



1) ตัวแปรหลัก

ตัวแปรหลัก คือ ข้อมูลการตรวจวัดหรือค่าพารามิเตอร์หลักต่างๆ ที่นำไปใช้ในการคำนวณผลประหยัด มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.9 ตัวแปรหลักสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ผล

ลำดับที่	รายละเอียด	ระยะเวลาการบันทึกข้อมูล	Assigned Variable
1	แรงดันไฟฟ้า (V), กระแสไฟฟ้า (A), ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF), กำลังไฟฟ้า (kW) โดยติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง(Power Quality Analyzer) ที่ชุดตรวจวัดหลอดฟลูออเรสเซนต์	ตรวจวัดแบบชั่วขณะ ไม่น้อยกว่า 10 ตัวอย่างต่อหนึ่งชนิดหลอดหรือ 100%	V (Volt), I (Amp), PF, P (kW)
2	ความสว่าง (L) ตามจุดที่มีการปรับปรุงตามมาตรการ โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้า (Lux Meter) ตรวจวัดตามพื้นที่ตัวอย่าง แต่ละพื้นที่ตรวจวัดไม่น้อยกว่า 5 จุดตรวจวัด	ระยะห่างจากผนัง 1.5 เมตร และตรวจวัดทุกๆ 3 เมตร	L (Lux)

2) ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุม (Controlled Conditions)

ตัวควบคุม คือพารามิเตอร์ในการใช้งานหรือ พฤติกรรมการใช้งานอุปกรณ์ เครื่องจักรที่มีอิทธิพลต่อค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน หรืออาจเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตหรือมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้งานของแต่ละอุปกรณ์ ดังนี้

ตารางที่ 4.10 ตัวแปรควบคุมสำหรับใช้ในการควบคุมภาระงาน

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าที่ควบคุม
1	แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (Volt)	ค่าที่นำมาเปรียบเทียบกันได้ คือค่าจากการตรวจวัด Baseline และการตรวจวัด Final ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดตรวจวัดเดียวกันต้องต่างกันไม่เกิน 5 %* * ระบบการปรับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ (Voltage Stabilization System) มีค่าที่ยอมรับได้ที่ 5%
2	ค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้า (Lux)	ค่าที่นำมาเปรียบเทียบกันได้ คือค่าจากการตรวจวัด Baseline และการตรวจวัด Final ค่าความสว่างที่จุดตรวจวัดเดียวกันต้องใกล้เคียงกันต่างกันไม่เกิน 10% หรือมีค่าไม่น้อยกว่าความสว่างเดิม

หมายเหตุ: ถ้าค่าความสว่างในช่วงระหว่างการตรวจวัด Baseline และ Final ต่างกันเกิน 10 % แล้วสถานประกอบการยอมรับในค่าความสว่างที่เกิดขึ้น การคำนวณผลประหยัดจะยึดผลต่างค่ากำลังไฟฟ้าที่น้อยกว่าเป็นหลัก

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลที่ได้จากสถานประกอบการ

ลำดับ	ตัวแปร	ค่าสมมติฐาน
1	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม A	h_A/d = 7 ชม./วัน
2	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม A ปีฐาน	H_A = 2,555 ชม./ปี
3	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม B	h_B/d = 9 ชม./วัน
4	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม B ปีฐาน	H_B = 3,285 ชม./ปี
5	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม C	h_C/d = 20 ชม./วัน
6	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม C ปีฐาน	H_C = 7,300 ชม./ปี

หมายเหตุ: ข้อมูลในตารางนำมาจากชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้า ตามการใช้งานจริงของสถานประกอบการ

4) การคำนวณระดับการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง

การคำนวณระดับการใช้พลังงานจะใช้สัญลักษณ์แทนตัวแปรต่างๆ และคำนวณตามสมการดังตารางนี้

4.1) คำนวณระดับการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย
1.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดฮาโลเจน ขนาด 35 W รวมวงจร	P_{H35}	kW
2.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดฮาโลเจน ขนาด 50 W รวมวงจร	P_{H50}	kW
3.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดเออาร์ 70 รวมวงจร	P_{AR70}	kW
4.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดเออาร์ 111 รวมวงจร	P_{AR111}	kW
5.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดพาร์ 20	P_{Par20}	kW
6.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดพาร์ 38	P_{Par38}	kW
7.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดคอมแพค 2 พิน รวมวงจร	P_{C2Pin}	kW
8.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดอินแคนเดสเซนต์ อี 27	P_{IE27}	kW
9.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดอินคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ อี 27	P_{CE27}	kW
10.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดอินคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ อี 27 ขนาด 5 W	P_{CE5}	kW
11.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 W รวมวงจร	P_{FL18}	kW
12.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W รวมวงจร	P_{FL36}	kW
13.	จำนวนหลอดฮาโลเจน ขนาด 35 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{H35\text{-}A}$	หลอด

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย
14.	จำนวนหลอดฮาโลเจน ขนาด 50 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{H50\text{-}A}$	หลอด
15.	จำนวนหลอดเออาร์ 70 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{AR70\text{-}A}$	หลอด
16.	จำนวนหลอดเออาร์ 111 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{AR111\text{-}A}$	หลอด
17.	จำนวนหลอดพาร์ 20 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{Par20\text{-}A}$	หลอด
18.	จำนวนหลอดพาร์ 38 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{Par38\text{-}A}$	หลอด
19.	จำนวนหลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ 2 พิน กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{C2Pin\text{-}A}$	หลอด
20.	จำนวนหลอดแคนเดสเซนต์ อี 27 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{IE27\text{-}A}$	หลอด
21.	จำนวนหลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ อี 27 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{CE27\text{-}A}$	หลอด
22.	จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{FL36\text{-}A}$	หลอด
23.	จำนวนหลอดฮาโลเจน ขนาด 50 W กลุ่ม B (9 ชม./วัน)	$N_{H50\text{-}B}$	หลอด
24.	จำนวนหลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ กลุ่ม B (9 ชม./วัน)	$N_{CE27\text{-}B}$	หลอด
25.	จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 W กลุ่ม C (20 ชม./วัน)	$N_{FL18\text{-}C}$	หลอด
26.	จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W กลุ่ม C (20 ชม./วัน)	$N_{FL36\text{-}C}$	หลอด
27.	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม A (7 ชม./วัน) ปีฐาน	H_A	h/y
28.	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม B (9 ชม./วัน) ปีฐาน	H_B	h/y
29.	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม C (20 ชม./วัน) ปีฐาน	H_C	h/y
30.	ระดับการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างก่อนการปรับปรุง	$E_{PRE} = [(P_{H35} \times N_{H35\text{-}A} \times H_A) + (P_{H50} \times N_{H50\text{-}A} \times H_A) + (P_{AR70} \times N_{AR70\text{-}A} \times H_A) + (P_{AR111} \times N_{AR111\text{-}A} \times H_A) + (P_{Par20} \times N_{Par20\text{-}A} \times H_A) + (P_{Par38} \times N_{Par38\text{-}A} \times H_A) + (P_{C2Pin} \times N_{C2Pin\text{-}A} \times H_A)$	$\frac{kWh}{y}$

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย
		$+(P_{IE27} \times N_{IE27\text{-}A} \times H_A)$ $+(P_{CE27} \times N_{CE27\text{-}A} \times H_A)$ $+(P_{FL36} \times N_{FL36\text{-}A} \times H_A)]$ $+[(P_{H50} \times N_{H50\text{-}B} \times H_B)$ $+(P_{CE5} \times N_{CE27\text{-}B} \times H_B)]$ $+[(P_{FL18} \times N_{FL18\text{-}C} \times H_C)$ $+(P_{FL36} \times N_{FL36\text{-}C} \times H_C)]$	

4.2) **การคำนวณระดับการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง**

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย
1.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 3 W รวมวงจร	P_{LMR3}	kW
2.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 4 Wรวมวงจร	P_{LMR4}	kW
3.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี เออาร์ 70 ขนาด 5 W รวมวงจร	P_{LMR70}	kW
4.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี เออาร์ 111 ขนาด 7 W รวมวงจร	P_{LMR111}	kW
5.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี พาร์ 20 ขนาด 4 W	P_{LPar20}	kW
6.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี พาร์ 38 ขนาด 15 W	P_{LPar38}	kW
7.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี คอมแพค 2 พิน รวมวงจร	P_{L2Pin}	kW
8.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี บัลบ์ อี 27 ขนาด 5 W	P_{LB5}	kW
9.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี บัลบ์ อี 27 ขนาด 7 W	P_{LB7}	kW
10.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี บัลบ์ อี 27 ขนาด 9 W	P_{LB9}	kW
11.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี ขนาด 9 W รวมวงจร	P_{L9}	kW
12.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี ขนาด 18 W รวมวงจร	P_{L18}	kW

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย
13.	จำนวนหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 3 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LMR3\text{-}A}$	หลอด
14.	จำนวนหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 4 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LMR4\text{-}A}$	หลอด
15.	จำนวนหลอดแอลอีดี เออาร์ 70 ขนาด 5 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LMR70\text{-}A}$	หลอด
16.	จำนวนหลอดแอลอีดี เออาร์ 111 ขนาด 7 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LMR111\text{-}A}$	หลอด
17.	จำนวนหลอดแอลอีดี พาร์ 20 ขนาด 4 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LPar20\text{-}A}$	หลอด
18.	จำนวนหลอดแอลอีดี พาร์ 38 ขนาด 15 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LPar38\text{-}A}$	หลอด
19.	จำนวนหลอดแอลอีดี คอมแพค 2 พิน กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{L2Pin\text{-}A}$	หลอด
20.	จำนวนหลอดแอลอีดี บัลบ์ ขนาด 7 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LR7\text{-}A}$	หลอด
21.	จำนวนหลอดแอลอีดี บัลบ์ ขนาด 9 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LB5\text{-}A}$	หลอด
22.	จำนวนหลอดแอลอีดีขนาด 18 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{L18\text{-}A}$	หลอด
23.	จำนวนหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 4 W กลุ่ม B (9 ชม./วัน)	$N_{LMR4\text{-}B}$	หลอด
24.	จำนวนหลอดแอลอีดี บัลบ์ ขนาด 5 W กลุ่ม B (9 ชม./วัน)	$N_{LBS\text{-}5}$	หลอด
25.	จำนวนหลอดแอลอีดีขนาด 9 W กลุ่ม C (20 ชม./วัน)	$N_{L9\text{-}C}$	หลอด
26.	จำนวนหลอดแอลอีดีขนาด 18 W กลุ่ม C (20 ชม./วัน)	$N_{L18\text{-}C}$	หลอด
27.	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม A (7 ชม./วัน) ปีฐาน	H_A	h/y
28.	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม B (9 ชม./วัน) ปีฐาน	H_S	h/y
29.	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม C (20 ชม./วัน) ปีฐาน	H_C	h/y

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย
30.	ระดับการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างหลังการปรับปรุง	$E_{PORT}=[(P_{LMR3}\times N_{LMR3\text{-}A}\times H_A)+(P_{LMR4}\times N_{LMR4\text{-}A}\times H_A)+(P_{LAR70}\times N_{LAR70\text{-}A}\times H_A)+(P_{LAR111}\times N_{LAR111\text{-}A}\times H_A)+(P_{LPar20}\times N_{LPar20\text{-}A}\times H_A)+(P_{LPar38}\times N_{LPar38\text{-}A}\times H_A)+(P_{L2Pin}\times N_{L2Pin\text{-}A}\times H_A)+(P_{LB7}\times N_{LB7\text{-}A}\times H_A)+(P_{LB9}\times N_{LB9\text{-}A}\times H_A)+(P_{L18}\times N_{L18\text{-}A}\times H_A)+[(P_{LMR4}\times N_{LMR4\text{-}B}\times H_B]+[(P_{L9}\times N_{L9\text{-}C}\times H_C)+(P_{L18}\times N_{L18\text{-}C}\times H_C)$	$\frac{kWh}{y}$

4.3) **การคำนวณพลังงานที่ประหยัดได้** (Energy Saving Calculation)

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ที่มาของข้อมูล
1	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ “ก่อน” ปรับปรุง E_{PRE}	$\frac{kWh}{y}$	$E_{PRE}=[(P_{H35}\times N_{H35\text{-}A}\times H_A+(P_{H50}\times N_{H50\text{-}A}\times H_A)+(P_{AR70}\times N_{AR70\text{-}A}\times H_A)+(P_{AR111}\times N_{AR111\text{-}A}\times H_A)+(P_{Par20}\times N_{Par20\text{-}A}\times H_A)+(P_{Par38}\times N_{Par38\text{-}A}\times H_A)+(P_{C2Pin}\times N_{C2Pin\text{-}A}\times H_A)+(P_{IE27}\times N_{IE27\text{-}A}\times H_A)+(P_{CE27}\times N_{CE27\text{-}A}\times H_A)+(P_{FL36}\times N_{FL36\text{-}A}\times H_A)]+[(P_{H50}\times N_{H50\text{-}B}\times H_B)]+[(P_{CE5}\times N_{CE27\text{-}B}\times H_B)]+(P_{FL18}\times N_{FL18\text{-}C}\times H_C)]+[(P_{FL36}\times N_{FL36\text{-}C}\times H_C)]$
2	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ “หลัง” ปรับปรุง E_{POST}	$\frac{kWh}{y}$	$E_{POST}=[(P_{LMR3}\times N_{LMR3\text{-}A}\times H_A)+(P_{LM4}\times N_{LM4\text{-}A}\times H_A)+(P_{LAR70}\times N_{LAR70\text{-}A}\times H_A)+(P_{LAR111}\times N_{LAR111\text{-}A}\times H_A)+(P_{LPar20}\times N_{LPar20\text{-}A}\times H_A)+(P_{LPar38}\times N_{LPar38\text{-}A}\times H_A)+(P_{L2Pin}\times N_{L2Pin\text{-}A}\times H_A)+(P_{LB7}\times N_{LB7\text{-}A}\times H_A)+(P_{LB9}\times N_{LB9\text{-}A}\times H_A)+(P_{L18}\times N_{L18\text{-}A}\times H_A)]+[(P_{LMR4}\times N_{LMR4\text{-}B}\times H_B)+(P_{LB5}\times N_{LB5\text{-}B}\times H_B)]+[(P_{L9}\times N_{L9\text{-}C}\times H_C)+(P_{L18}\times N_{L18\text{-}C}\times H_C)]$

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ที่มาของข้อมูล
3	พลังงานที่ประหยัดได้ E_{saving}	$\frac{kWh}{y}$	$E_{saving} = E_{PRE} - E_{POST}$
4	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานประหยัดได้ $E_{save\ Cost}$	$\frac{Bath}{y}$	$E_{save\ Cost} = E_{saving} \times C_E$

หมายเหตุ C_E คือ อัตราราคาพลังงาน ณ วันที่เซ็นสัญญา ซึ่งถูกระบุไว้ใน EPC

4.4) ตารางบันทึกข้อมูลกำลังไฟฟ้าและสภาวะควบคุม

เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ M&V Unit จะทำการตรวจวัด และเป็นการคุมราคาค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดไม่ให้มากเกินความจำเป็น M&V Unit ได้กำหนดตารางบันทึกผลการตรวจวัดเพื่อนำเสนอสถานประกอบการและ ESCO ดังนี้

1) ตารางบันทึกกำลังไฟฟ้าใช้มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าตรวจวัดต่อหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิด

หลอดฮาโลเจน ขนาด 35 W รวมวงจร					หลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 3 Wรวมวงจร				
ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
ลำดับที่	V	I	Power	PF	ลำดับที่	V	I	Power	PF
	Volt	Amp	kW			Volt	Amp	kW	

หลอดฮาโลเจน ขนาด 50 W รวมวงจร					หลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 4 W รวมวงจร				
ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
ลำดับที่	V	I	Power	PF	ลำดับที่	V	I	Power	PF
	Volt	Amp	kW			Volt	Amp	kW	

หลอดเออาร์ 70 รวมวงจร					หลอดแอลอีดี เออาร์ 70 ขนาด 5 W รวมวงจร				
ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
ลำดับที่	V	I	Power	PF	ลำดับที่	V	I	Power	PF
	Volt	Amp	kW			Volt	Amp	kW	

หลอดเออาร์ 111 รวมวงจร					หลอดแอลอีดี เออาร์ 111 ขนาด 7 W รวมวงจร				
ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
ลำดับที่	V	I	Power	PF	ลำดับที่	V	I	Power	PF
	Volt	Amp	kW			Volt	Amp	kW	

หลอดพาร์ 20					หลอดแอลอีดี พาร์ 20 ขนาด 4 W				
ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
ลำดับที่	V	I	Power	PF	ลำดับที่	V	I	Power	PF
	Volt	Amp	kW			Volt	Amp	kW	

หลอดพาร์ 38					หลอดแอลอีดี พาร์ 38 ขนาด 15 W				
ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
ลำดับที่	V	I	Power	PF	ลำดับที่	V	I	Power	PF
	Volt	Amp	kW			Volt	Amp	kW	

หลอดคอมแพค 2 พิน รวมวงจร					หลอดแอลอีดี คอมแพค 2 พิน รวมวงจร				
ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
ลำดับที่	V	I	Power	PF	ลำดับที่	V	I	Power	PF
	Volt	Amp	kW			Volt	Amp	kW	

หลอดอินแคนเดสเซนต์ อี 27					หลอดแอลอีดี บัลบ์ อี 27 ขนาด 7 W				
ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
ลำดับที่	V	I	Power	PF	ลำดับที่	V	I	Power	PF
	Volt	Amp	kW			Volt	Amp	kW	

หลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ อี 27					หลอดแอลอีดี บัลบ์ อี 27 ขนาด 9 W				
ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
ลำดับที่	V	I	Power	PF	ลำดับที่	V	I	Power	PF
	Volt	Amp	kW			Volt	Amp	kW	

หลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ อี 27 ขนาด 5 W					หลอดแอลอีดี บัลบ์ อี 27 ขนาด 5 W				
ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
ลำดับที่	V	I	Power	PF	ลำดับที่	V	I	Power	PF
	Volt	Amp	kW			Volt	Amp	kW	

หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 W รวมวงจร					หลอดแอลอีดี ขนาด 9 W รวมวงจร				
ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
ลำดับที่	V	I	Power	PF	ลำดับที่	V	I	Power	PF
	Volt	Amp	kW			Volt	Amp	kW	

หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W รวมวงจร					หลอดแอลอีดี ขนาด 18 W รวมวงจร				
ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
ลำดับที่	V	I	Power	PF	ลำดับที่	V	I	Power	PF
	Volt	Amp	kW			Volt	Amp	kW	

2) ตารางบันทึกสภาวะควบคุม

ใช้ลักซ์มิเตอร์วัดค่าความส่องสว่างโดยตรวจวัดต่อหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดที่ระยะเดียวกันในแต่ละพื้นที่ตัวอย่างที่ติดตั้งหลอดไฟฟ้า

หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W รวมวงจร								
ก่อนการปรับปรุง								
ลำดับที่	ชนิด/ประเภทหลอด	จำนวน	ความส่องสว่าง (LUX)					
			1	2	3	4	5	เฉลี่ย

*** อ้างอิงตำแหน่งตามผังการตรวจวัดความส่องสว่าง ข้อจำกัดตามระบุตามวิธีการตรวจวัด

หลอดแอลอีดี								
หลังการปรับปรุง								
สถานที่	ชนิด/ประเภทหลอด	จำนวน	ความส่องสว่าง (LUX)					
			1	2	3	4	5	เฉลี่ย

*** อ้างอิงตำแหน่งตามผังการตรวจวัดความส่องสว่าง ข้อจำกัดตามระบุตามวิธีการตรวจวัด

4.3.10.4 การรับรองแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน

ผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน

ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงานนี้ .....จะเป็นคณะทำงานในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ โดย ..... เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานและเป็นผู้กำหนดข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน ในฐานะผู้ได้รับมอบหมายให้ดำเนินการในนามของ .... ขอรับรองว่า จะทำการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ตามแนวทางที่ได้กำหนดไว้

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง หัวหน้าคณะตรวจวัดฯ/ผู้เชี่ยวชาญพลังงาน

วันที่.....

สถานประกอบการ

บริษัท ..... เป็นผู้ได้รับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน ยอมรับในแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และยินดีให้ผู้ตรวจวัดเข้ามาดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์การใช้พลังงานตามแนวทางที่ผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน นำเสนอทุกประการ พร้อมกันนี้ยินดีให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานในโครงการ

ลงชื่อ .....

(.....)

ตำแหน่ง ตัวแทนสถานประกอบการ

วันที่ .....

บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO)

ข้าพเจ้า ..... ในฐานะผู้มีอำนาจลงนามของ ESCO คือ บริษัท ..... มีความเห็นสอดคล้องกับแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และจะยอมรับผลการตรวจวัดและพิสูจน์ที่ผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน ได้ทำการตรวจวัดตามแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ที่กำหนดขึ้น

ลงชื่อ .....

(.....)

ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ

วันที่ .....

4.3.10.5 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุง

1) ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

1.1) ตัวแปรหลัก ก่อนการปรับปรุง

จากตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบชั่วขณะเป็นรายหลอด (Individual) ไม่น้อยกว่า 10% ของจำนวนหลอดทั้งหมดที่เปลี่ยน และไม่น้อยกว่า 10 ตัวอย่าง ในกรณีที่หลอดบางประเภทมีจำนวนน้อยกว่า 10 ชุด ให้ทำการตรวจวัด 100% เฉพาะประเภทหลอดที่มีจำนวนน้อยกว่า 10 ชุด

ตารางที่ 4.12 ผลการตรวจวัดก่อนปรับปรุง

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย	ตรวจวัดทีละหลอดเฉลี่ย
1.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดฮาโลเจน ขนาด 35 W รวมวงจร	P_{H35}	kW	0.0448
2.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดฮาโลเจน ขนาด 50 W รวมวงจร	P_{H50}	kW	0.0584
3.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดเออาร์ 70 รวมวงจร	P_{AR70}	kW	0.0321
4.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดเออาร์ 111 รวมวงจร	P_{AR111}	kW	0.0511
5.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดพาร์ 20	P_{Par20}	kW	0.0638
6.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดพาร์ 38	P_{Par38}	kW	0.0234
7.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดคอมแพค 2 พิน รวมวงจร	P_{C2Pin}	kW	0.0235
8.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดอินแคนเดสเซนต์ อี 27	P_{IE27}	kW	0.0497
9.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ อี 27	P_{CE27}	kW	0.0133
10.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ อี 27 ขนาด 5 W	P_{CE5}	kW	0.0073
11.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 W รวมวงจร	P_{FL18}	kW	0.0307
12.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W รวมวงจร	P_{FL36}	kW	0.0529
13.	จำนวนหลอดฮาโลเจน ขนาด 35 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{H35\text{-}A}$	หลอด	759
14.	จำนวนหลอดฮาโลเจน ขนาด 50 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{H50\text{-}A}$	หลอด	759
15.	จำนวนหลอดเออาร์ 70 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{AR70\text{-}A}$	หลอด	20
16.	จำนวนหลอดเออาร์ 111 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{AR111\text{-}A}$	หลอด	20
17.	จำนวนหลอดพาร์ 20 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{Par20\text{-}A}$	หลอด	32

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย	ตรวจวัดทีละหลอดเฉลี่ย
18.	จำนวนหลอดพาร์ 38 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{Par38\text{-}A}$	หลอด	25
19.	จำนวนหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ 2 พิน กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{C2Pin\text{-}A}$	หลอด	21
20.	จำนวนหลอดอินแคนเดสเซนต์ อี 27 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{IE27\text{-}A}$	หลอด	20
21.	จำนวนหลอดอินคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ อี27 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{CE27\text{-}A}$	หลอด	12
22.	จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{FL36\text{-}A}$	หลอด	36
23.	จำนวนหลอดฮาโลเจน ขนาด 50 W กลุ่ม B (9 ชม./วัน)	$N_{H50\text{-}B}$	หลอด	210
24.	จำนวนหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ กลุ่ม B (9 ชม./วัน)	$N_{CE27\text{-}B}$	หลอด	300
25.	จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 18 W กลุ่ม C (20 ชม./วัน)	$N_{FL18\text{-}C}$	หลอด	10
26.	จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 W กลุ่ม C (20 ชม./วัน)	$N_{FL36\text{-}C}$	หลอด	70
27.	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้า กลุ่ม A (7 ชม./วัน) ปีฐาน	H_A	h/y	2,555
28.	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้า กลุ่ม B (9 ชม./วัน) ปีฐาน	H_B	h/y	3,285
29.	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้า กลุ่ม C (20 ชม./วัน) ปีฐาน	H_C	h/y	7,300
30.	ระดับการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างก่อนการปรับปรุง	$E_{PRE} = [(P_{H35} \times N_{H35\text{-}A} \times H_A) + (P_{H50} \times N_{H50\text{-}A} \times H_A) + (P_{AR70} \times N_{AR70\text{-}A} \times H_A) + (P_{AR111} \times N_{AR111\text{-}A} \times H_A) + (P_{Par20} \times N_{Par20\text{-}A} \times H_A) + (P_{Par38} \times N_{Par38\text{-}A} \times H_A)$	$\frac{kWh}{y}$	

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย	ตรวจวัดทีละหลอดเฉลี่ย
		$+(P_{C2Pin} \times N_{C2Pin\text{-}A} \times H_A)$ $+(P_{IE27} \times N_{IE27\text{-}A} \times H_A)$ $+(P_{CE27} \times N_{CE27\text{-}A} \times H_A)$ $+(P_{FL36} \times N_{FL36\text{-}A} \times H_A)]$ $+[(P_{H50} \times N_{H50\text{-}B} \times H_B)$ $+(P_{CE5} \times N_{CE27\text{-}B} \times H_B)]$ $+[(P_{FL18} \times N_{FL18\text{-}C} \times H_C)$ $+(P_{FL36} \times N_{FL36\text{-}C} \times H_C)]$		
		**รวมระดับการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง	$\frac{kWh}{y}$	296,921.0395

หมายเหตุ ** ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าต่อปี (296,921.0395 kWh/y) นี้เป็นข้อมูลจากการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่หลอดตัวอย่าง แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาระดับการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

1.2) ตัวแปรควบคุม ก่อนการปรับปรุง

ผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่างแบบชั่วขณะในแต่ละพื้นที่ตามวิธีการตรวจวัดที่ได้มาตรฐาน โดยตรวจวัดทุกพื้นที่ตัวอย่างที่ทำการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้า

ตารางที่ 4.13 ผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่างหลอดไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง

ลำดับ	สถานที่		จำนวนหลอด	หน่วย	ลำดับ		
					ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
1.	บ้านพัก	Halogen 35 W	50	LUX	45	47	45.8
		Halogen 50 W	50	LUX	59	63	60.8
2.	ห้องครัว	Fluorescent 36 W	70	LUX	653	669	661.2
		Fluorescent 18 W	10	LUX	86	95	89.8
3.	ห้องออกกำลังกาย	Fluorescent 36 W	36	LUX	577	592	582.0
4.	ร้านอาหาร	Par 38	25	LUX	55	77	65.8
		Par 20	30	LUX	153	167	158.6
		Incandescent 50 W	20	LUX	73	88	80.2

*** อ้างอิงตำแหน่งตามผังการตรวจวัดความส่องสว่าง ข้อจำกัดตามระบุตามวิธีการตรวจวัด

2) **ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง**

2.1) **ตัวแปรหลัก หลังการปรับปรุง**

จากตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบชั่วขณะเป็นรายหลอด (Individual) หลังการปรับปรุงจำนวนตัวอย่างไม่น้อยกว่า 10% ของจำนวนหลอดทั้งหมดที่เปลี่ยน และไม่น้อยกว่า 10 ตัวอย่าง ในกรณีที่หลอดบางประเภทมีจำนวนน้อยกว่า 10 ชุด ให้ทำการตรวจวัด 100% เฉพาะประเภทหลอดที่มีจำนวนน้อยกว่า 10 ชุด

ตารางที่ 4.14 ผลการตรวจวัดหลังการปรับปรุง

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย	ตรวจวัดทีละหลอดเฉลี่ย
1.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 3 W รวมวงจร	P_{LMR3}	kW	0.0112
2.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 4 W รวมวงจร	P_{LMR4}	kW	0.0131
3.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี เออาร์ 70 ขนาด 5 W รวมวงจร	P_{LAR70}	kW	0.0133
4.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี เออาร์ 111 ขนาด 7 W รวมวงจร	P_{LAR111}	kW	0.0156
5.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี พาร์ 20 ขนาด 4 W	P_{LPar20}	kW	0.0052
6.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี พาร์ 38 ขนาด 15 W	P_{LPar38}	kW	0.0150
7.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี คอมแพค 2 พิน รวมวงจร	P_{L2Pim}	kW	0.0079
8.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี บัลบ์ อี 27 ขนาด 5 W	P_{LB5}	kW	0.0057
9.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี บัลบ์ อี 27 ขนาด 7 W	P_{LB7}	kW	0.0073
10.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี บัลบ์ อี 27 ขนาด 9 W	P_{LB9}	kW	0.0090
11.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี ขนาด 9 W รวมวงจร	P_{L9}	kW	0.0095
12.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี ขนาด 18 W รวมวงจร	P_{L18}	kW	0.0189
13.	จำนวนหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 3 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LMR3\text{-}A}$	หลอด	759
14.	จำนวนหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 4 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LMR4\text{-}A}$	หลอด	759
15.	จำนวนหลอดแอลอีดี เอ อาร์ 70 ขนาด 5 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LMR70\text{-}A}$	หลอด	20

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย	ตรวจวัดทีละหลอดเฉลี่ย
16.	จำนวนหลอดแอลอีดี เออาร์ 111 ขนาด 7 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LAR111\text{-}A}$	หลอด	20
17.	จำนวนหลอดแอลอีดี พาร์ 20 ขนาด 4 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LPar20\text{-}A}$	หลอด	32
18.	จำนวนหลอดแอลอีดี พาร์ 38 ขนาด 15 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LPar38\text{-}A}$	หลอด	25
19.	จำนวนหลอดแอลอีดี คอมแพค 2 พิน กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{L2Pin\text{-}A}$	หลอด	21
20.	จำนวนหลอดแอลอีดี บัลบ์ ขนาด 7 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LB7\text{-}A}$	หลอด	20
21.	จำนวนหลอดแอลอีดี บัลบ์ ขนาด 9 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{LB9\text{-}A}$	หลอด	12
22.	จำนวนหลอดแอลอีดีขนาด 18 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)	$N_{L18\text{-}A}$	หลอด	36
23.	จำนวนหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 4 W กลุ่ม B (9 ชม./วัน)	$N_{LMR4\text{-}B}$	หลอด	210
24.	จำนวนหลอดแอลอีดี บัลบ์ ขนาด 5 W กลุ่ม B (9 ชม./วัน)	$N_{LB5\text{-}B}$	หลอด	300
25.	จำนวนหลอดแอลอีดีขนาด 9 W กลุ่ม C (20 ชม./วัน)	$N_{L9\text{-}C}$	หลอด	10
26.	จำนวนหลอดแอลอีดีขนาด 18 W กลุ่ม C (20 ชม./วัน)	$N_{L18\text{-}C}$	หลอด	70
27.	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม A (7 ชม./วัน) ปีฐาน	H_A	h/y	2,555
28.	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม B (9 ชม./วัน) ปีฐาน	H_B	h/y	3,285
29.	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม C (20 ชม./วัน) ปีฐาน	H_C	h/y	7,300
30.	ระดับการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างหลังการปรับปรุง		$\frac{kWh}{y}$	

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย	ตรวจวัดทีละหลอดเฉลี่ย
		$E_{POST} = [(P_{LMR3} \times N_{LMR3\text{-}A} \times H_A) + (P_{LMR4} \times N_{LMR4\text{-}A} \times H_A) + (P_{LMR70} \times N_{LMR70\text{-}A} \times H_A) + (P_{LAR111} \times N_{LAR111\text{-}A} \times H_A) + (P_{LPar20} \times N_{LPar20\text{-}A} \times H_A) + (P_{Par38} \times N_{Par38\text{-}A} \times H_A) + (P_{L2Pin} \times N_{L2Pin\text{-}A} \times H_A) + (P_{L57} \times N_{L57\text{-}A} \times H_A) + (P_{LB9} \times N_{LB9\text{-}A} \times H_A) + (P_{L18} \times N_{L18\text{-}A} \times H_A)] + [(P_{LMR4} \times N_{LMR4\text{-}B} \times H_B) + (P_{LB5} \times N_{LB5\text{-}B} \times H_B)] + [(P_{L9} \times N_{L9\text{-}C} \times H_C) + (P_{L18} \times N_{L18\text{-}C} \times H_C)]$		
	**รวมระดับการใช้พลังงานหลังปรับปรุง	$\frac{kWh}{y}$		77800.7720

หมายเหตุ ** ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าต่อปี (77,800.7720 kWh/y) นี้เป็นข้อมูลจากการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าจากหลอดตัวอย่าง แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาระดับการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

2.2) ตัวแปรควบคุม หลังการปรับปรุง

ผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่างแบบชั่วขณะในแต่ละพื้นที่ตามวิธีการตรวจวัดที่ได้มาตรฐาน โดยตรวจวัดทุกพื้นที่ตัวอย่างที่ทำการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าหลังการปรับปรุงได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 4.15 ผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่างหลอดไฟฟ้าหลังการปรับปรุง (แอลอีดี)

ลำดับ	สถานที่		จำนวนหลอด	หน่วย	ค่าของข้อมูล		
					ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
1.	บ้านพัก	LED MR16 3 W	50	LUX	44	68	55.6
		LED MR16 4 W	50	LUX	56	68	61.0
2.	ห้องครัว	LED Tube 18 W	70	LUX	681	693	687.0
		LED Tube 9 W	10	LUX	101	112	106.8
3.	ห้องออกกำลังกาย	LED Tube 18 W	36	LUX	615	630	620.2
4.	ร้านอาหาร	LED Par 38	25	LUX	65	76	70.4
		LED Par 20	30	LUX	153	166	160.4
		LED Bulb 7 W	20	LUX	77	89	81.8

*** อ้างอิงตำแหน่งตามผังการตรวจวัดความส่องสว่าง ข้อจำกัดตามระบุตามวิธีการตรวจวัด

4.3.10.6 การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

ตารางที่ 4.16 ผลวิเคราะห์การประหยัดพลังงาน

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ผลจากการตรวจวัดและคำนวณผลลัพธ์ทางพลังงาน
1	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ “ก่อน” ปรับปรุง E_{PRE}	$\frac{kWh}{y}$	$E_{PRE} = 296,921.0395$
2	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ “หลัง” ปรับปรุง E_{POST}	$\frac{kWh}{y}$	$E_{POST} = 77,800.7720$
3	พลังงานที่ประหยัดได้ E_{saving}	$\frac{kWh}{y}$	$E_{saving} = E_{PRE} - E_{PORT} = 219,120.2675$
4	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานประหยัดได้ $E_{save\ Cost}$	$\frac{Bath}{y}$	$E_{save\ Cost} = E_{saving} \times C_E = 832,657$

หมายเหตุ อัตราค่าไฟฟ้า ณ วันเซ็นสัญญา 3.8 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง (ตาม EPC)

สรุป

จากผลจากการตรวจวัดและคำนวณผลการประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดแอลอีดี แทนหลอดเดิม ซึ่งได้แก่ หลอดฮาโลเจน 35 W หลอดฮาโลเจน 50 W หลอดเออาร์ 70 หลอดเออาร์ 111 หลอดพาร์ 20 หลอดพาร์ 38 หลอดคอมแพค 2 พิน หลอดอินแคนเดสเซนต์ อี 27 หลอดคอมแพค อี 27 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W และหลอดฟลูออเรส-เซนต์ 36 W รวมทั้งสิ้น 2,294 ชุด มีผลรวมระดับการใช้พลังงานก่อนปรับปรุงเท่ากับ 296,921.0395 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี และเมื่อ ESCO ได้เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าชนิด LED ตรงตามรายละเอียดที่ระบุไว้ใน EPC ระดับการใช้พลังงานหลังปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 77,800.7720 กิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อปี ดังนั้นเมื่อใช้งานตามชั่วโมงการทำงานที่ระบุไว้ใน EPC จะสามารถประหยัดได้ 219,120.2675 กิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นผลการประหยัด 73.80% โดยมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยใกล้เคียงและดีกว่าก่อนปรับปรุง

4.3.10.7 การรับรองรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน

ผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน

ข้าพเจ้า ..... ในฐานะผู้ได้รับมอบหมายให้ดำเนินการในนามของ .... ซึ่งเป็นผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงานของ .....ขอรับรองว่าผลตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานในรายงานฉบับนี้ เป็นไปตามข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ที่นำเสนอ

ลงชื่อ .....

(.....)

ตำแหน่ง หัวหน้าคณะตรวจวัดฯ/ผู้เชี่ยวชาญพลังงาน

วันที่ .....

สถานประกอบการ

บริษัท ..... เป็นผู้ได้รับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน ยอมรับในแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และยินดีให้ผู้ตรวจวัดเข้ามาดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์การใช้พลังงานตามแนวทางที่ผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน นำเสนอทุกประการ พร้อมกันนี้ยินดีให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานในโครงการ

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง ตัวแทนสถานประกอบการ

วันที่.....

บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO)

ข้าพเจ้า ..... ในฐานะผู้มีอำนาจลงนามของ ESCO คือ บริษัท .... ยอมรับผลประหยัดที่เกิดขึ้นตามรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานที่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลฯ ตามแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ที่ได้นำเสนอมา

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ

วันที่ .....

4.4 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด : อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

4.4.1 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

1) วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ หรือปรับปรุงอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์เดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2) วิธีการนี้ใช้เฉพาะมาตรการติดตั้งหรือปรับปรุงเกี่ยวกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ ติดตั้งร่วมด้วยเช่น มาตรการปรับแรงดันไฟฟ้า หรือมาตรการติดตั้งอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้า

3) ระบบควบคุมไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ใช้ในมาตรการสามารถติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดแยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่นๆของสถานประกอบการได้

4) ภาระงานของมอเตอร์ที่มีความหลากหลายตามวัตถุประสงค์การใช้งานของมอเตอร์ สามารถค้นหาวิธีการทางวิศวกรรมเพื่อตรวจวัดและประเมินผลได้

5) วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดตามมาตรฐาน THAI ESCO FUND นี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยคำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการตรวจวัดพิสูจน์ผลเป็นสำคัญ จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงการที่บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) และสถานประกอบการเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ในกรณีที่ต้องการเพิ่มระดับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลให้สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดที่สูงขึ้นให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกค่าใช้จ่ายในโครงการนี้

4.4.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การเลือกรูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด อ้างอิงมาตรฐานของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมีให้เลือกใช้ได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ได้กำหนดขึ้นในเอกสารฉบับนี้ ถือเป็นการตรวจวัดและพิสูจน์ผลอย่างน้อยที่สุดของมาตรการติดตั้งหรือปรับปรุงอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ที่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผล (Measurement and Verification Unit) ได้เลือกแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลรูปแบบ B การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation)

4.4.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

1) ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

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

2) รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

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

2.1) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

2.2) การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

2.3) การวิเคราะห์ผลประหยัด

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดและจัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

4.4.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

1) การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง และชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ปีฐานโดยมีฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงและตัวแปรหลักดังนี้

$$E_{BL} = f(PE_{Pre}, H)$$

$$E_{BL} = PE_{Pre} \times H$$

โดยที่

E_{BL} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

PE_{Pre} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง (kW)

H = ชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ปีฐาน (h/y)

2) การคำนวณภาระงาน

ภาระงาน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานของมอเตอร์แตกต่างกันไปตามกระบวนการผลิตของสถานประกอบการ โดยทั่วไปอาจกำหนดเป็น ปริมาตรของไหล หรืออัตราการไหล หรืออัตราการผลิตสินค้าโดยมีฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ดังนี้

กรณีใช้ปริมาตรของไหลเป็นภาระงาน

V_{Pre} = $f (Q_{Pre}, h_{Pre})$

V_{Pre} = $Q_{Pre} \times h_{Pre}$

กรณีใช้อัตราการไหลหรืออัตราการผลิตเป็นภาระงาน

Q_{Pre} = $f (V_{Pre}, h_{Pre})$

$$Q_{Pre} = \frac{V_{Pre}}{h_{Pre}}$$

โดยที่

V_{Pre} = ปริมาตรของไหลหรือปริมาณผลผลิต ที่ผลิตได้โดยผลการขับเคลื่อนของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง (m^3), (kg), (Unit)

Q_{Pre} = อัตราการไหลหรืออัตราการผลิตเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง (m^3/h), (kg/h), (Unit/h)

h_{Pre} = ชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ขณะตรวจวัดก่อนการปรับปรุง (h)

4.4.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

1) การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง และชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ปีฐานโดยมีฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงและตัวแปรหลัก ดังนี้

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

E_{FN} = $PE_{Post} \times H$

โดยที่

E_{FN} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้หลังการปรับปรุง (kWh/y)

PE_{Post} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหลังการปรับปรุง (kW)

H = ชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ปีฐาน (h/y)

2) การคำนวณภาระงาน

ภาระงานหลังการปรับปรุง ต้องกำหนดให้เป็นชนิดเดียวกันกับภาระงานก่อนการปรับปรุง เช่น ปริมาตรของไหล หรืออัตราการไหล หรืออัตราการผลิตสินค้าโดยมีฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) ดังนี้

กรณีใช้ปริมาตรของไหลเป็นภาระงาน

V_{Post} = $f(Q_{Post}, h_{Post})$

V_{Post} = $Q_{Post} \times h_{Post}$

กรณีใช้อัตราการไหลหรืออัตราการผลิตเป็นภาระงาน

Q_{Post} = $f(V_{Post}, h_{Post})$

Q_{Post} = $\frac{V_{Post}}{h_{Post}}$

โดยที่

V_{Post} = ปริมาตรของไหลหรือปริมาณผลผลิต ที่ผลิตได้โดยผลการขับเคลื่อนของมอเตอร์หลังการปรับปรุง (m^3), (kg), (Unit)

Q_{Post} = อัตราการไหลหรืออัตราการผลิตเฉลี่ยหลังการปรับปรุง (m^3/h), (kg/h), (Unit/h)

h_{Post} = ชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ขณะตรวจวัดหลังการปรับปรุง (h)

V_{Post} = $Q_{Post} \times h_{Post}$

4.4.6 การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

1) ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า

การคำนวณหาผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าปีฐานสามารถหาได้จากการนำ พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง ลบด้วยพลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้หลังการปรับปรุง เขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) และสมการได้ดังนี้

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

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

โดยที่

E_{Save} = พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ประหยัดได้ (kWh/y)

2) ผลประหยัดทางการเงินปีฐาน

ผลประหยัดทางการเงินหรือจำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักได้แก่ พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ประหยัดได้ และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เขียนเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (f) และสมการได้ดังนี้

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

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

โดยที่

C_{Save} = จำนวนเงินที่ประหยัดได้ปีฐาน (Bath/y)

C_E = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC (Bath/kWh)

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

4.4.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล โดยทั่วไปตัวแปรหรือข้อมูลได้มาจาก 6 วิธีการ ได้แก่

1) ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

2) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

กรณีใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถทำได้โดยทดสอบการทำงานของมอเตอร์เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่ต้องการเป็นตัวแปรตามเช่นกำลังไฟฟ้า จากนั้นบันทึกค่าตัวแปรอิสระที่มีผลให้เกิดค่าตัวแปรตามเช่น อัตราการไหล ความดัน อุณหภูมิ ฯลฯ แล้วนำข้อมูลมาสร้างสมการถดถอย (Regression) ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์หรือโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ โดยข้อมูลทดสอบต้องมีช่วงครอบคลุมย่านการใช้งานทั้งหมด ส่วนค่าในช่วงที่ไม่มีข้อมูลทดสอบสามารถประเมินได้โดยการประเมินข้างน้อย (conservative approximation)

หมายเหตุ ในกรณีที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าตัวแปรให้ทำการทดสอบค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการตรวจวัดหรือบันทึกจากมิเตอร์แสดงผลของอุปกรณ์ แล้วนำมาสร้างเป็นตาราง (look up table) จากนั้นให้ใช้หลักการทางสถิติหาค่า R^2 และให้พิจารณาจากค่า R^2 โดยต้องมีค่ามากกว่า 0.75 ขึ้นไป

3) ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ข้อมูลที่ถูกบันทึกโดยพนักงานของสถานประกอบการ เช่น ข้อมูลชั่วโมงทำงานของเครื่องจักร ข้อมูลอัตราการผลิต หรือข้อมูลภาระงานของเครื่องจักร สามารถนำมาใช้ได้แต่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลควรตรวจความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำไปใช้ และในกรณีที่พบข้อมูลผิดปกติให้แจ้งสถานประกอบการเพื่อหาวิธีการในการปรับแก้หรือตรวจวัดข้อมูลใหม่ให้เกิดความถูกต้อง

4) ข้อมูลจากผู้ผลิต

บางครั้งผู้ผลิตได้ให้ข้อมูลการทดสอบอุปกรณ์ที่เสนอขายมาด้วย สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังข้อ 7.2 แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

5) ข้อมูลจากสถาบันการตรวจวัดหรือแหล่งข้อมูลอื่น

ตัวแปรหรือข้อมูลบางตัวสามารถหาได้จากสถาบันการตรวจวัดที่มีการตรวจวัดข้อมูลไว้ตลอดปี เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ หรือเวปไซต์ต่างๆ ที่เชื่อถือได้ แต่ต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

6) ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่

ค่าสมมติฐานหรือค่าคงที่ ส่วนมากไม่นิยมใช้ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผล แต่ถ้ามีความจำเป็นสามารถนำมาใช้ได้ในส่วนที่ไม่สำคัญต่อการวิเคราะห์ผลประหยัด และต้องได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและถูกระบุลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

4.4.8 รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลประหยัด มี 2 ชนิดได้แก่ตัวแปรหลักและตัวแปรควบคุม

1) ตัวแปรหลัก หมายถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อ การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ผลประหยัดพลังงาน ผลประหยัดทางการเงิน

2) ตัวแปรควบคุม หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการที่ ESCO เสนอขาย บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นและเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10%

3) คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	PE_{Pre}
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด หรือ
	2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่ควรเกินทุก 15 นาที

ตัวแปร	PE_{Post}
หน่วย	kW
ความหมาย	กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์หลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัด หรือ
	2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
วิธีการตรวจวัด	ใช้เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้า ที่ติดตั้งครอบคลุมอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบตรวจวัดแบบต่อเนื่อง
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับความถี่ในการบันทึกค่าก่อนการปรับปรุง

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

ตัวแปร	V_{Pre}
หน่วย	m^3, Unit
ความหมาย	ปริมาตรของไหลหรือปริมาณผลผลิต ที่ผลิตได้โดยผลการขับเคลื่อนของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ ท่ออากาศ สายพาน ถาดบรรจุชิ้นงาน
	2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ

วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตร 3. ใช้คนจดบันทึกปริมาณการผลิต
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงาน

ตัวแปร	V_{Post}
หน่วย	m^3, Unit/h
ความหมาย	ปริมาตรของไหลหรือปริมาณผลผลิต ที่ผลิตได้โดยผลการขับเคลื่อนของมอเตอร์หลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ ท่ออากาศ สายพาน ถาดบรรจุชิ้นงาน 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตร 3. ใช้คนจดบันทึกปริมาณการผลิต
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงาน และสามารถหยุดการบันทึกค่าได้เมื่อปริมาตรเท่ากับค่าที่วัดไว้ได้ก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	Q_{Pre}
หน่วย	m^3/h, kg/ h, Unit/h
ความหมาย	อัตราการไหลของไหลที่เป็นผลจากการขับเคลื่อนของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ ท่ออากาศ สายพาน ถาดบรรจุชิ้นงาน 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตรและนาฬิกาจับเวลา 3. จดบันทึกปริมาณการผลิตและนาฬิกาจับเวลา
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่ควรน้อยกว่าทุก 15 นาที

ตัวแปร	Q_{Post}
หน่วย	m^3/h, kg/ h, Unit/h
ความหมาย	อัตราการไหลของไหลที่เป็นผลจากการขับเคลื่อนของมอเตอร์หลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. ท่อน้ำ ท่ออากาศ สายพาน ถาดบรรจุชิ้นงาน 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราการไหล 2. จดบันทึกการทำงานจากมิเตอร์วัดปริมาตรและนาฬิกาจับเวลา 3. จดบันทึกปริมาณการผลิตและนาฬิกาจับเวลา
ความถี่ในการบันทึกค่า	ตามความเหมาะสมพิจารณาจากพฤติกรรมการทำงานแต่ไม่ควรน้อยกว่า ทุก 15 นาที

ตัวแปร	h_{Pre}
หน่วย	h
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ขณะตรวจวัดก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานของมอเตอร์ 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องบันทึกเวลาการทำงาน 2. สอบถามหรือตรวจสอบจากบันทึกการทำงานของเครื่องจักรของสถานประกอบการ
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับการวัดกำลังไฟฟ้าขณะทำการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง

ตัวแปร	h_{Post}
หน่วย	h
ความหมาย	ชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ขณะตรวจวัดหลังการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	1. จากการตรวจวัดชั่วโมงทำงานของมอเตอร์ 2. ข้อมูลจากสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	1. ใช้เครื่องบันทึกเวลาการทำงาน 2. สอบถามหรือตรวจสอบจากบันทึกการทำงานของเครื่องจักรของสถานประกอบการ
ความถี่ในการบันทึกค่า	เท่ากับการวัดกำลังไฟฟ้าขณะทำการตรวจวัดหลังการปรับปรุง

ตัวแปร	E_{BL}
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	พลังงานไฟฟ้าปีฐานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง
แหล่งข้อมูล	จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง
วิธีการตรวจวัด	การคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

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

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

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

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

4.4.9 บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	5/11/2013	ฉบับที่ 1

4.4.10 กรณีศึกษาและวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด : มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

4.4.10.1 รายละเอียดมาตรการ

โรงงานแห่งหนึ่งเป็นโรงงานผลิตสารเคมี มีบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้งานปั๊มน้ำ 24 ชั่วโมงต่อวัน และโรงงานนี้ทำงาน 365 วันต่อปี ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานนี้ของมีปั๊มน้ำ 2 ชุด ปกติใช้งานปั๊มน้ำ 1 ชุด ส่วนอีก 1 ชุดให้เป็นปั๊มสำรอง การทำงานของปั๊มน้ำนี้มีหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการของกระบวนการ โดยควบคุมปริมาณน้ำด้านขาออกด้วยวิธีการควบคุมแบบวงรอบปิด ตัวแปรควบคุมในกระบวนการผลิต (Process Control Variable) คือระดับน้ำในถังที่ 80% ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียทำงาน อุปกรณ์ควบคุมจะปรับหรี่วาล์วไว้ที่ 42.1% ในเบื้องต้น บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ได้ทำสำรวจศักยภาพในการจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงพบว่า มอเตอร์ขับปั๊มน้ำนี้มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 66.46 kW

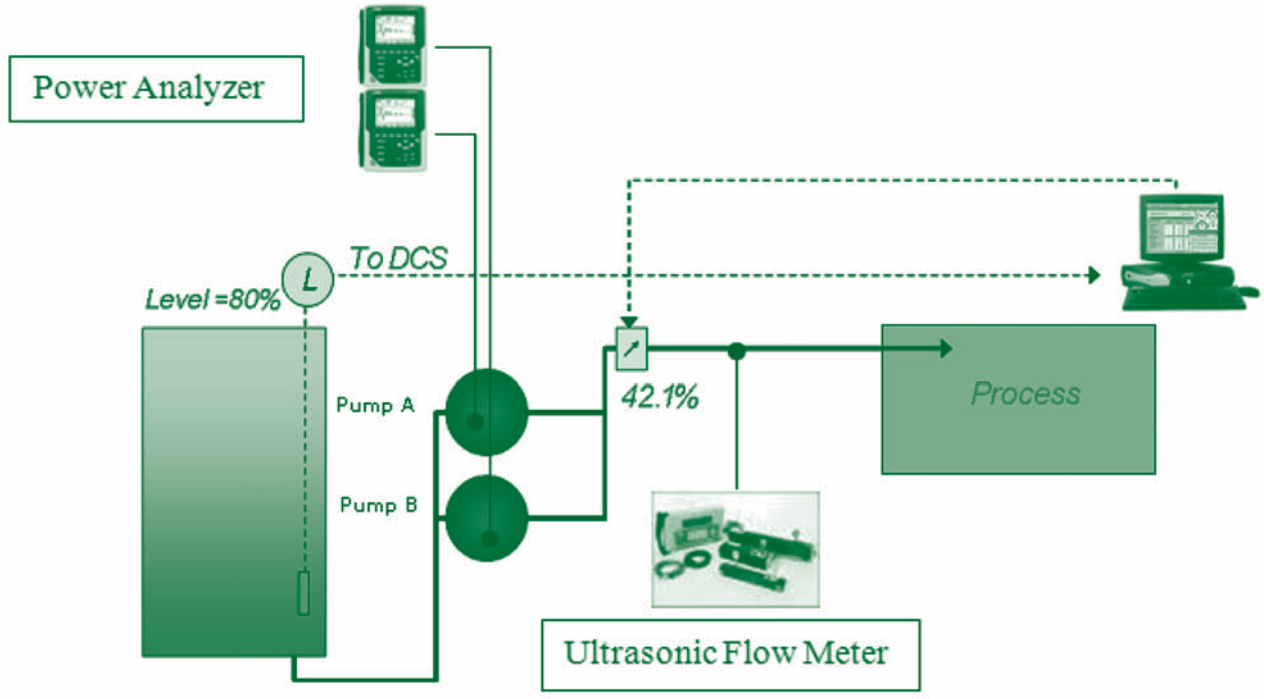
มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่นำมาใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานนี้ จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD) โดยควบคุมการทำงานเป็นระบบอัตโนมัติทดแทนการปรับหรี่วาล์ว และตั้งค่าป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับมอเตอร์โดยควบคุมระดับความถี่ไฟฟ้าไว้ไม่ต่ำกว่า 39 Hz ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมต้องควบคุมระดับน้ำในถังได้เท่าเดิมที่ 80% ในการนี้บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ได้ประกันผลประหยัดไว้ที่ 49.65% และผลจากโปรแกรมคำนวณของบริษัทผู้ผลิตได้ทำนายกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มน้ำหลังการปรับปรุงไว้ที่ 35.59 kW

4.4.10.2 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (Measurement & Verification)

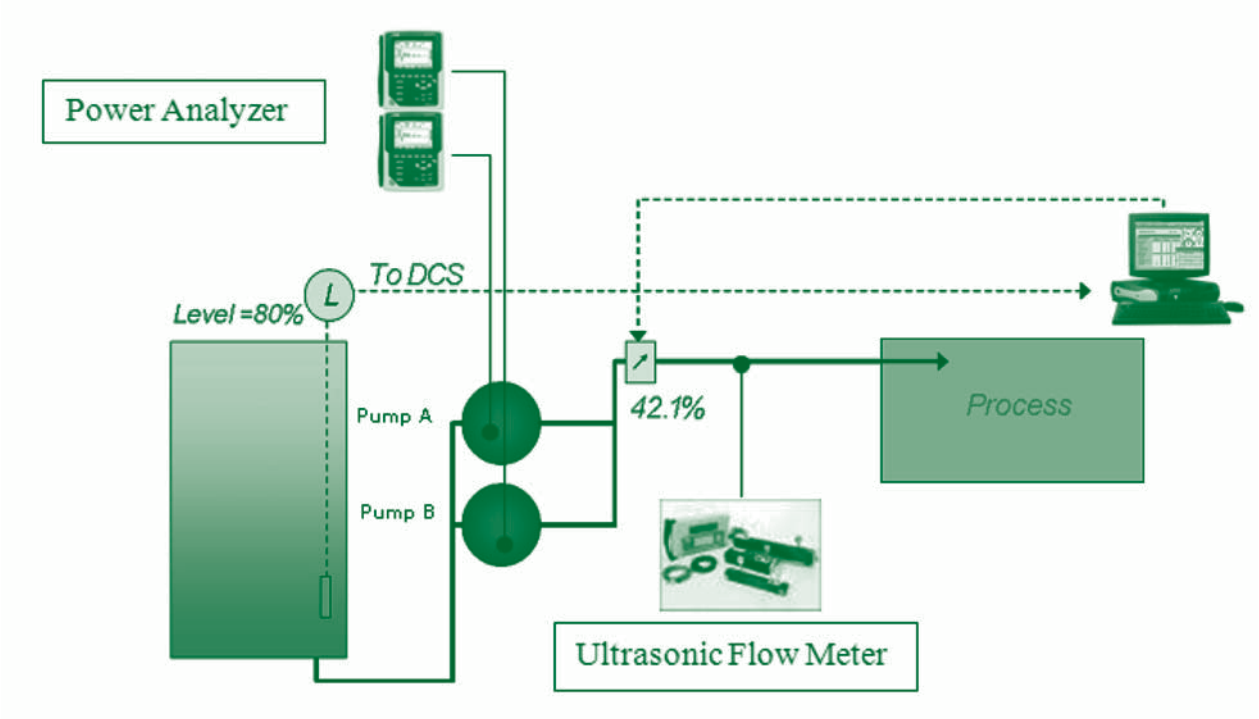
แนวทางในการตรวจวัดและพิสูจน์การใช้พลังงานสำหรับมาตรการในโครงการนี้ M&V Unit เลือกใช้แนวทาง การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation) หรือเรียกว่า Option B อ้างอิงตามข้อตกลงร่วมกันด้านการตรวจวัดและพิสูจน์ทราบระดับนานาชาติ หรือ International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) 2007 โดยสาเหตุที่ M&V Unit ตัดสินใจเลือกแนวทาง Option B เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานนี้ สามารถตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานเฉพาะมาตรการที่ปรับปรุง แยกออกจากการผลิตส่วนอื่นของสถานประกอบการได้ โดยตัวแปรที่ทำการตรวจวัดต้องทำการตรวจวัดแบบต่อเนื่องเพราะเป็นการควบคุมอัตโนมัติที่อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบทำงานแบบไม่คงที่

1) วิธีการตรวจวัด

มาตรการนี้จะทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลจากตู้จ่ายไฟฟ้า (Main Distribution Board) จำนวน 2 ชุด ได้แก่ MDB-Pump A และ MDB-Pump B โดยทำการตรวจวัดแยกแต่ละชุด ส่วนอัตราการไหลของน้ำเสียจะทำการตรวจวัดที่ท่อทางออกของระบบน้ำเสีย ส่วนผลการตรวจวัดที่จะนำมาใช้ในการคำนวณนั้น M&V Unit จะพิจารณาจากข้อมูลกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเลือกจากปั๊มน้ำเสีย 2 ชุด จากนั้นเลือกชุดที่ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยน้อยที่สุดมาเป็นตัวแทนข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียดการตรวจวัดทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงตามรูปแสดงการตรวจวัดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเสียก่อนและหลังการปรับปรุงดังนี้



รูปที่ 1 แสดงการตรวจวัดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเสียก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 2 แสดงการตรวจวัดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเสียที่ติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบหลังการปรับปรุง

สำหรับวิธีการบันทึกข้อมูล การควบคุมสภาวะการทำงาน การพิจารณาผลข้างเคียงที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดจากการตรวจวัดและข้อมูลจากโรงงานที่ต้องใช้ สามารถอธิบายได้ดังนี้

(1) ความถี่ในการเก็บข้อมูลตัวแปรหลัก เก็บข้อมูลทุก 15 นาที และระยะเวลาในการเก็บข้อมูลอย่างน้อย 7 วัน เพื่อใช้ในการประเมินการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง และผลประหยัดพลังงาน

(2) เพื่อให้การเปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องสูบน้ำ A และ B อยู่บนฐานเดียวกัน จะต้องควบคุมภาระงานของระบบคือระดับของน้ำเสียในถังพักก่อนและหลังการปรับปรุง ต้องเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันที่สุด ถ้าแตกต่างไม่ควรเกิน 10 %

(3) การตรวจวัดและพิสูจน์การใช้พลังงานจะประเมินเฉพาะพลังงานที่ใช้ที่เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับมาตรการโดยตรงเท่านั้น ไม่รวมถึงเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ข้างเคียง หรือผลประหยัดหรือพลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้นที่เป็นผลโดยอ้อมจากมาตรการนี้

(4) ใช้ข้อมูลการทำงานของปั๊มน้ำจากข้อมูลที่ผู้ควบคุมดูแลปั๊มน้ำเก็บบันทึกในปีที่ ESCO ทำการประเมินโครงการและใช้ในการรับประกันผลประหยัด (ตาม EPC) โดยถือว่าเป็น “ปีฐาน” ในการประเมินชั่วโมงการทำงานต่อปีของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับมาตรการ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานและผลประหยัด

2) **เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด**

ตารางที่ 4.17 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดและคุณลักษณะขั้นต่ำของเครื่องมือ

ลำดับ	ชื่อเครื่องมือ	ลักษณะที่ต้องมี
1	เครื่องวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้า (Power Quality Analyzer)	สามารถตรวจวัดค่าความถี่ (Hz), แรงดันไฟฟ้า (V), กระแสไฟฟ้า (A), ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF), กำลังไฟฟ้า(kW) แบบต่อเนื่องได้
2	เครื่องวัดและบันทึกอัตราการไหลแบบใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic Flow Meter)	สามารถวัดค่าความเร็วของเหลวในท่อ (m/s) หรือวัดอัตราการไหลของของเหลวในท่อ (m^3/s) โดยไม่ต้องตัดต่อท่อได้

3) **การเตรียมพื้นที่ก่อนการตรวจวัด**

ตารางที่ 4.18 การเตรียมพื้นที่ตรวจวัดโดยสถานประกอบการ

ลำดับ	รายการพื้นที่	สภาพพื้นที่ที่ต้องการ
1	บริเวณท่อทางออกของระบบน้ำเสียสำหรับติดตั้ง Ultrasonic Flow Meter	สถานประกอบการต้องจัดเตรียมแหล่งจ่ายไฟฟ้า Single Phase 220 V และที่เก็บเครื่องมือไม่ให้โดนน้ำ แสงแดด และความชื้น ไว้บริเวณที่ทำการตรวจวัดและตู้จ่ายไฟฟ้า
2	ตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก MDB-Pump A และ MDB-Pump B	สถานประกอบการต้องจัดเตรียมแหล่งจ่ายไฟฟ้า Single Phase 220 V โดยมีสายทั้ง L และ N สำหรับต่อเข้าเครื่องมือ และที่เก็บเครื่องมือไม่ให้โดนน้ำ แสงแดด และความชื้น ไว้บริเวณตู้จ่ายไฟฟ้า

4.4.10.3 ขั้นตอนและข้อมูลการตรวจวัด

สำหรับขั้นตอนในการตรวจวัด M&V Unit ได้กำหนดขั้นตอนการตรวจวัดสำหรับมาตรการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเสียของสถานประกอบการไว้ ดังนี้

1) ตัวแปรหลัก

ตัวแปรหลัก คือ ข้อมูลการตรวจวัดหรือค่าพารามิเตอร์หลักต่างๆ ที่นำไปใช้ในการคำนวณผลประหยัด มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.19 ตัวแปรหลักสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ผล

ลำดับ	รายละเอียด	ระยะเวลาการบันทึกข้อมูล	Assigned Variable
1	แรงดันไฟฟ้า (Volt), กระแสไฟฟ้า (Amp), ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF), กำลังไฟฟ้า (kW) ตรวจวัดโดยติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (Power Quality Analyzer) ที่ตู้จ่ายไฟฟ้า MDB- Pump A และ MDB-Pump B	ตรวจวัดแบบต่อเนื่องทุก15 นาทีไม่น้อยกว่า 7 วัน ต่อหนึ่งชุดอุปกรณ์	V (Volt), I (Amp), PF, P_e (kW)
2	ความเร็วน้ำที่ท่อทางออกของระบบน้ำเสีย (m/s) หรืออัตราการไหลของน้ำ(m^3/s) โดยใช้เครื่องวัดและบันทึกอัตราการไหลแบบใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค	ตรวจวัดแบบต่อเนื่องทุก15 นาทีไม่น้อยกว่า 7 วัน ต่อหนึ่งชุดอุปกรณ์	C_w (m/s), Q_w(m^3/s)

2) ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุม (Controlled Conditions)

คือ การควบคุมสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ที่จะทำการปรับปรุงตามมาตรการโดยปัจจัยพิจารณา ได้แก่ ภาระงานทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงควรควบคุมให้เหมือนการทำงานที่สภาวะใช้งานปกติของสถานประกอบการที่สุด นอกจากนี้ยังพิจารณาค่าตัวแปรที่ส่งผลรบกวนต่อการตรวจวัด ทั้งนี้ตัวแปรบางตัวไม่สามารถควบคุมได้ อาจไม่นำมาพิจารณาขึ้นอยู่กับการตัดสินใจร่วมกันระหว่าง M&V Unit, ESCO และ สถานประกอบการ

ตารางที่ 4.20 ตัวแปรควบคุมสำหรับใช้ในการควบคุมภาระงาน

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าที่ควบคุม
1	ระดับน้ำในถัง Supply (%) เป็นการตั้งค่าอุปกรณ์ควบคุมให้คงสภาวะระดับน้ำในถัง Supply สัญญาณอยู่ในช่วง 0-100% โดยบันทึกสัญญาณเข้าสู่ Data Logger	Level: L (%) เป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าที่ส่งออกมาจากเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ (80%) การพิจารณาผลข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบกันได้ คือค่า L จากการตรวจวัด Baseline และค่า Lจากการตรวจวัด Final ต้องใกล้เคียงกันต่างกันไม่เกิน 10%
2	ค่าสัดส่วนการเปิดวาล์ว (%) การเปิดวาล์วน้ำก่อนการปรับปรุง มีผลต่อการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าอันเนื่องมาจาก แรงดันตกคร่อม	Opening Valve Percent : OVP (%) เป็นค่าเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วที่สถานประกอบการใช้งานประจำ ระหว่างการตรวจวัดก่อนการปรับปรุงให้ควบคุมให้คงที่ 42.1% และหลังการปรับปรุงระบบสามารถปรับอัตราการไหลของน้ำได้อัตโนมัติโดยไม่ต้องใช้วาล์วควบคุม จึงเปิดวาล์ว 100% เพื่อลดแรงดันตกคร่อม
3	ค่าความถี่ต่ำสุด (Minimum Frequency, Hz) ใช้สำหรับการตรวจวัดหลังการปรับปรุง	Frequency: f (Hz) ภายหลังการปรับปรุงต้องทำการตั้งค่าความถี่ของ VSD ไม่ให้ต่ำเกิน 39 Hz (ตามข้อมูลของผู้ผลิต)ป้องกันการเสียหายของมอเตอร์

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าที่ควบคุม
4	ภาระงานของระบบน้ำเสีย คือปริมาณน้ำ (m^3) ที่ถูกสูบผ่านระบบในการวิเคราะห์ข้อมูล ภาระงานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงควรเท่ากัน ดังนั้นเวลาในการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงอาจไม่เท่ากันโดยหลังการปรับปรุง M&V Unit ต้องเก็บข้อมูลจนกว่าปริมาณน้ำที่ผ่านระบบจะเท่ากับปริมาณน้ำก่อนการปรับปรุง	Waste Water Volume: Vw(m^3) การเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง เก็บข้อมูลทุก 15 นาที เป็นระยะเวลา 7 วัน แล้วจึงกำหนดค่าดังกล่าวเป็นตัวแปรควบคุม ส่วนหลังการปรับปรุงเก็บข้อมูลไปจนกว่าจะได้ค่าตัวแปรควบคุมนี้ โดยไม่จำกัดเวลาที่ใช้

3) ข้อมูลจากสถานประกอบการที่ใช้ในการคำนวณ

ข้อมูลทั่วไปที่ M&V Unit จะต้องใช้ในการวิเคราะห์ผลที่ ESCO ยอมรับและต้องขอข้อมูลจากสถานประกอบการนี้ โดยไม่ต้องตรวจวัด ได้แก่

ตารางที่ 4.21 ข้อมูลจากสถานประกอบการ

ลำดับ		ค่าจากสถานประกอบการ
1	จำนวนชั่วโมงการทำงานของปั๊มน้ำเสียในรอบวัน	h/d = 24 h/day
2	จำนวนชั่วโมงการทำงานของโรงงานปีฐาน (365 วัน)	H = 8,760 h/y

หมายเหตุ: ข้อมูลในตารางนำมาจากชั่วโมงการทำงานของปั๊มน้ำและจำนวนวันเปิดทำการของสถานประกอบการ

4) การวิเคราะห์ผลประหยัด

วิธีการคำนวณการใช้พลังงานและผลประหยัด จะทำการคำนวณตามสมการ ดังนี้

1.1) การคำนวณพลังงานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง

ก. การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง คำนวณได้จากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยคูณชั่วโมงการทำงานในปีฐาน ดังสมการ

$E_{e,pre} = P_{e,pre} \times H$

$E_{e,pre}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง (kWh/y)

$P_{e,pre}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง (kW)

H = ชั่วโมงการทำงานของเครื่องสูบน้ำปีฐาน (h/y)

ข. การคำนวณปริมาณน้ำเสีย

จากการกำหนดตัวแปรควบคุมเป็นภาระการใช้งาน (ปริมาณน้ำ) สามารถคำนวณหาค่าปริมาณการใช้น้ำได้ ดังสมการ

$V_{w,pre} = Q_{w,pre} \times h_{pre}$

$V_{w,pre}$ = ปริมาณน้ำเสียที่ผ่านปั๊มน้ำสูบ (m^3)

$Q_{w,pre}$ = อัตราการไหลเฉลี่ยหลังการปรับปรุง (m^3/h)

h_{pre} = ชั่วโมงการทำงานของเครื่องสูบน้ำ (h)

1.2) การคำนวณพลังงานที่ใช้หลังการปรับปรุง

ก. การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงคำนวณรูปแบบเดียวกันกับการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง ดังสมการ

$E_{e,post}$ = $P_{e,post}$ x H

$E_{e,post}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง (kWh/y)

$P_{e,post}$ = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหลังการปรับปรุง (kW)

H = ชั่วโมงการทำงานของเครื่องสูบน้ำปีฐาน (h/y)

ข. การคำนวณปริมาณน้ำเสียและชั่วโมงการทำงาน

จากการกำหนดตัวแปรควบคุมเป็นภาระการใช้งาน (ปริมาณน้ำ) สามารถคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำหลังการปรับปรุงได้ ดังสมการ

$V_{w,post}$ = $Q_{w,post}$ x h_{post}

$V_{w,post}$ = ปริมาณน้ำเสียที่ผ่านปั๊มน้ำสูบ (m^3)

$Q_{w,post}$ = อัตราการไหลเฉลี่ยหลังการปรับปรุง (m^3/h)

h_{post} = ชั่วโมงการทำงานของเครื่องสูบน้ำ (h)

ดังนั้น สามารถคำนวณเวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปตัดข้อมูลให้เป็นการเปรียบเทียบการทำงานที่ภาระงานเท่ากันดังสมการ

$$h_{post} = \frac{V_{w,\,pre}}{Q_{w,\,pre}}$$

1.3) การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณได้จากสมการ

$E_{e,save}$ = $E_{e,pre}$ – $E_{e,post}$

$E_{e,save}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)

1.4) การคำนวณจำนวนเงินที่ประหยัดได้

จำนวนเงินที่ประหยัดได้คำนวณได้จากสมการ

M_{save} = $E_{e,save}$ x C_e

M_{save} = จำนวนเงินที่ประหยัดได้ (Bath/y)

C_e = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC (Bath/kWh)

หมายเหตุ มาตรการนี้โรงงานใช้งานเครื่องสูบน้ำสลับกันทุกเดือน ระหว่าง Pump A และ Pump B แต่ใน 1 วัน เครื่องสูบน้ำทำงานเพียง 1 ชุด 24 ชั่วโมง การวิเคราะห์ผลประหยัดจึงนำผลประหยัดมาคำนวณเพียง 1 ชุด

1.5) ตารางบันทึกข้อมูลกำลังไฟฟ้าและสภาวะควบคุม

เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ M&V Unit จะทำการตรวจวัด และเป็นการคุมราคาค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดไม่ให้มากเกินความจำเป็น M&V Unit ได้กำหนดตารางบันทึกผลการตรวจวัดเพื่อนำเสนอสถานประกอบการและ ESCO ดังนี้

(1) ตารางบันทึกกำลังไฟฟ้าใช้เครื่องวัดกำลังและบันทึกกำลังไฟฟ้าตรวจวัดที่ตู้ควบคุมไฟฟ้าปั๊มน้ำ

No.	Date	Time	L1			L2			L3			Total	PF.
			Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	Volt	Amp	kW	kW	

(2) ตารางบันทึกค่าอัตราการไหลและปริมาตรสะสมของน้ำเสีย

No.	Date	Time	Water Temperature	Velocity of Water	Flow Rate	Volume	Level
			°C	m/s	m^3/s	m^3	%

4.4.10.4 การรับรองแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน

เพื่อป้องกันการเกิดข้อโต้แย้งหลังการตรวจวัดและพิสูจน์ผล จึงควรมีการประชุมร่วมกันและอธิบายให้ทุกฝ่ายได้เข้าใจถึงแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ M&V Unit จัดทำขึ้นโดยใช้ทฤษฎีทางวิศวกรรมประยุกต์เข้ากับเครื่องจักรหรือระบบที่จะทำการปรับปรุงของสถานประกอบการ และเมื่อทุกฝ่ายเข้าใจในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ M&V Unit จัดทำขึ้นแล้ว ควรจัดให้มีการลงนามเพื่อเป็นหลักฐาน ดังนี้

ผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน

ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงานนี้ .....จะเป็นคณะทำงานในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ โดย ..... เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานและเป็นผู้กำหนดข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน ในฐานะผู้ได้รับมอบหมายให้ดำเนินการในนามของ .... ขอรับรองว่า จะทำการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ตามแนวทางที่ได้กำหนดไว้

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง หัวหน้าคณะตรวจวัดฯ/ผู้เชี่ยวชาญพลังงาน

วันที่.....

สถานประกอบการ

บริษัท ..... เป็นผู้ได้รับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน ยอมรับในแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และยินดีให้ผู้ตรวจวัดเข้ามาดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์การใช้พลังงานตามแนวทางที่ ผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน นำเสนอทุกประการ พร้อมกันนี้ยินดีให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานในโครงการ

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง ตัวแทนสถานประกอบการ

วันที่.....

บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO)

ข้าพเจ้า ..... ในฐานะผู้มีอำนาจลงนามของ ESCO คือ บริษัท .... มีความเห็นสอดคล้องกับแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และจะยอมรับผลการตรวจวัดและพิสูจน์ที่ผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน ได้ทำการตรวจวัดตามแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ที่กำหนดขึ้น

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ

วันที่.....

4.4.10.5 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง

1) ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง

1.1) วันและเวลาในการเข้าตรวจวัดก่อนปรับปรุง

ตารางที่ 4.22 วันและเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องจักร/อุปกรณ์	วัน - เวลา
เครื่องสูบน้ำหลัก (Pump A)	8 มี.ค. 2554 (00.00 น.) ถึง 14 มี.ค. 2554 (00.00 น.)
เครื่องสูบน้ำสำรอง (Pump B)	15 มี.ค. 2554 (00.00 น.) ถึง 21 มี.ค. 2554 (00.00 น.)

1.2) ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุม

ผลการตรวจวัดตัวแปรควบคุมก่อนปรับปรุง แสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.23 สภาวะที่ต้องควบคุม

ลำดับ	สภาวะที่ต้องควบคุม	การควบคุมและค่าควบคุมที่กำหนด
1.	ปริมาณน้ำก่อนปรับปรุง ใช้ระยะเวลาเก็บข้อมูล 7 วัน	ปริมาณน้ำที่ผ่านระบบรวม 64,443.1 m^3 ดังนั้น ค่าควบคุมที่กำหนด คือ 64,443.1 m^3
2.	ระดับน้ำ (Water Level)	ค่า Set Point อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำในถัง Supply ตั้งค่าไว้ที่ 80%

ในเบื้องต้นก่อนปรับปรุงให้ยึดถือสภาวะที่ต้องควบคุมจากการสำรวจสภาวะการทำงานซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินของ ESCO ดังเอกสารแนบท้าย EPC จากนั้นให้โรงงานควบคุมสภาวะการใช้งานให้ได้ใกล้เคียงกับสภาวะการใช้งานขณะจัดทำข้อเสนอโครงการที่สุด โดยปรับตั้งการทำงานของระบบให้เป็นไปตามค่าดังตารางที่ 7 ส่วนผลการตรวจวัดแสดงใน ตารางที่ 8 ดังนั้นตัวแปรควบคุมที่ถูกกำหนดใหม่สำหรับใช้ในมาตรการนี้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง คือ ปริมาณน้ำที่ผ่านระบบรวม คือ 64,443.1 m^3 และ ระดับน้ำในถัง Supply คือ 76.51%

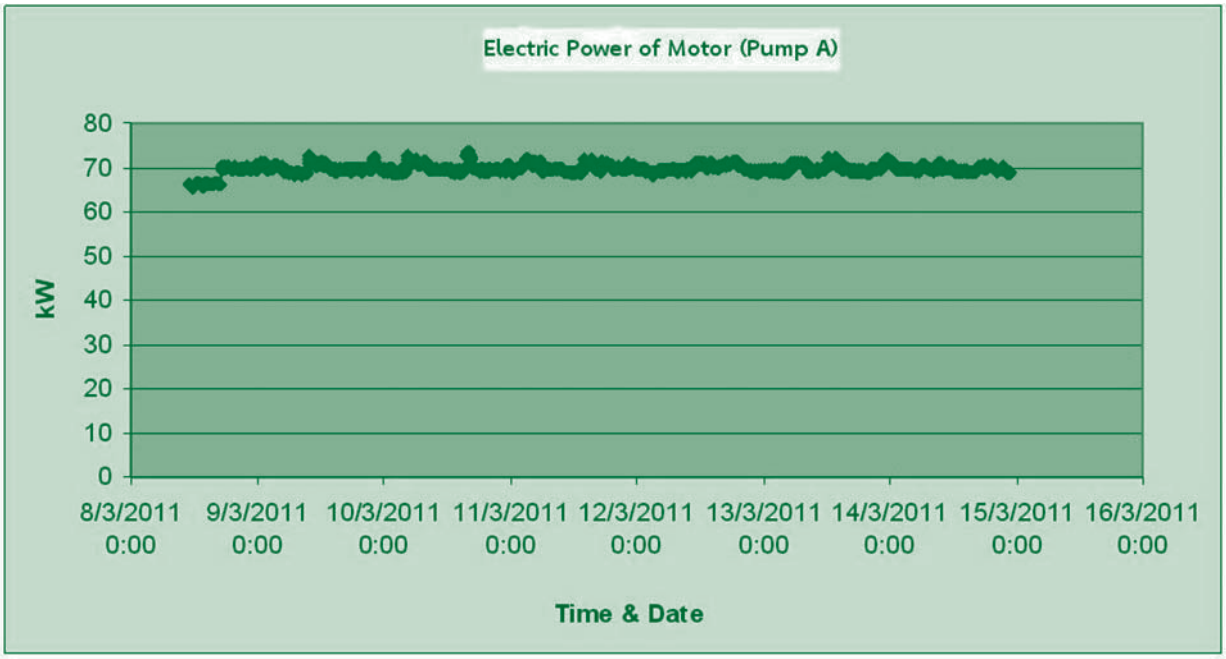
1.3) ตัวแปรหลักก่อนปรับปรุง

มาตรการนี้ตัวแปรควบคุมมีอิทธิพลอย่างมากต่อความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องพยายามเดินเครื่องจักร-อุปกรณ์ให้ได้ค่าใกล้เคียงกันก่อนและหลังการปรับปรุงมากที่สุด แล้วจึงบันทึกค่าตัวแปรหลักดังตารางที่ 8 จากนั้นแสดงผลด้วยกราฟดังรูปที่ 3, 4 และ 5

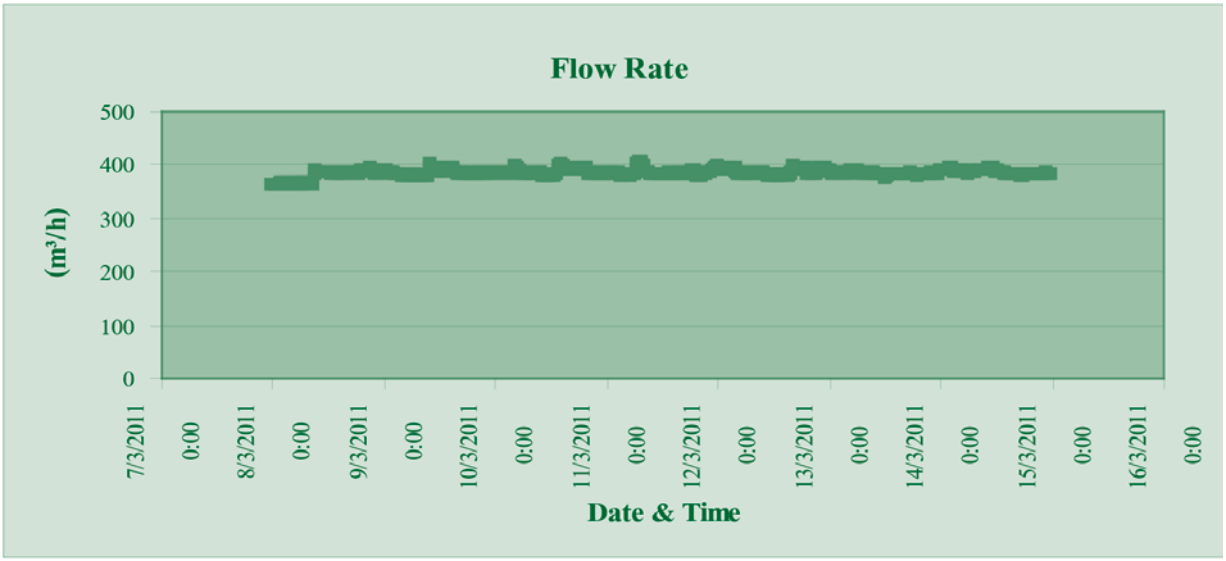
ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยสภาวะควบคุมและค่าตัวแปรหลักที่ได้จากการตรวจวัด

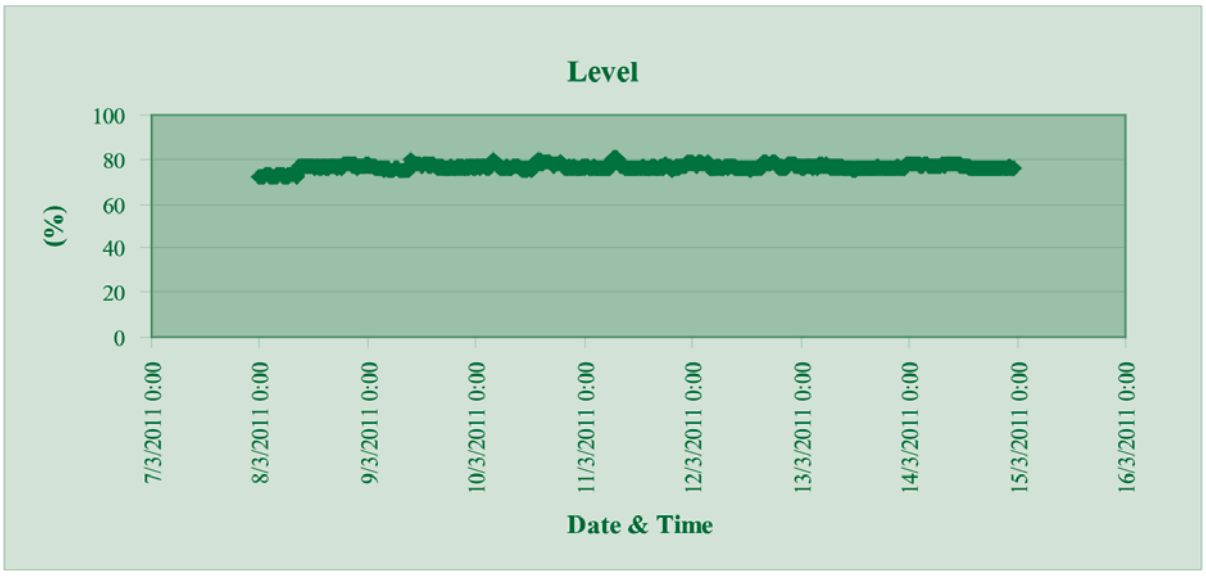
ลำดับ	สภาวะที่ต้องควบคุม	การควบคุมและค่าควบคุมที่กำหนด
1.	ปริมาณน้ำ (Water Volume, V_w)	(ค่าผลรวม, Sum) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 64,443.1 m^3
2.	ระดับน้ำ (Water Level L)	(ค่าเฉลี่ย, Average) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 76.51% (ค่ามากที่สุด, Maximum) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 80.56% (ค่าน้อยที่สุด, Minimum) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 71.93%
3	กำลังไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง ($P_{e,pre}$)	(ค่าเฉลี่ย, Average) ปั๊มน้ำหลัก Pump A = 62.18 kW (ค่ามากที่สุด, Maximum) ปั๊มน้ำหลัก Pump A = 64.16 kW (ค่าน้อยที่สุด, Minimum) ปั๊มน้ำหลัก Pump A = 60.93 kW

ลำดับ	สภาวะที่ต้องควบคุม	การควบคุมและค่าควบคุมที่กำหนด
		(ค่าเฉลี่ย, Average) ปั๊มน้ำสำรอง Pump B = 69.70 kW (ค่ามากที่สุด, Maximum) ปั๊มน้ำสำรอง Pump B = 70.11 kW (ค่าน้อยที่สุด, Minimum) ปั๊มน้ำสำรอง Pump B = 68.66 kW



รูปที่ 3 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำหลัก (Pump A) 8 มี.ค. 2554 ถึง 14 มี.ค. 2554





รูปที่ 5 กราฟแสดงระดับน้ำในถัง Supply วันที่ 8 มี.ค. 2554 ถึง 14 มี.ค. 2554

1.4) การวิเคราะห์การใช้พลังงาน ก่อนการปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง คำนวณได้จากสมการ

$E_{e,pre} = P_{e,pre} \times H$

1) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของปั๊มน้ำหลัก (Pump A) ก่อนการปรับปรุง คือ

$E_{e,pre,\ Pump\ A} = P_{e,pre,Pump\ A} \times H$

$= 62.18 \times 8,760$

$= 544,696.8$ kWh/y

2) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของปั๊มน้ำสำรอง (Pump B) ก่อนการปรับปรุง คือ

$E_{e,pre,Pump\ B} = P_{e\ pre,Pump\ B} \times H$

$= 69.70 \times 8,760$

$= 610,572$ kWh/y

3) พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง พิจารณาเลือกตัวแทนข้อมูลเป็น Pump A เนื่องจากจากใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า

$E_{e_pre} = E_{e,pre,Pump\ A}$

$E_{e_pre} = 544,696.8$ kWh/y

หมายเหตุ โรงงานใช้เครื่องสูบน้ำหลักเพียง 1 ชุด ส่วนอีกหนึ่งชุดใช้เป็นปั๊มน้ำสำรอง การคำนวณผลประหยัดจึงเลือกใช้เพียง 1 ชุด โดยเลือกจากอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานน้อยกว่า

2) ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังปรับปรุง

2.1) วันและเวลาในการตรวจวัดหลังปรับปรุง

ตารางที่ 4.25 วันและเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องจักร/อุปกรณ์	วัน - เวลา
เครื่องสูบน้ำหลัก (Pump A)	29 ส.ค. 2554 (00.00 น.) ถึง 4 ก.ย. 2554 (00.00 น.)
เครื่องสูบน้ำสำรอง (Pump B)	5 ก.ย. 2554 (00.00 น.) ถึง 11 ก.ย. 2554 (00.00 น.)

2.2) ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุม

ผลการตรวจวัดตัวแปรควบคุมหลังการปรับปรุง แสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.26 สภาวะที่ต้องควบคุม

ลำดับ	สภาวะที่ต้องควบคุม	การควบคุมและค่าควบคุมที่กำหนด
1.	ปริมาณน้ำหลังปรับปรุง โดยระยะเวลาเก็บข้อมูลให้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ	ปริมาณน้ำที่ผ่านระบบ 64,443.1 m^3
2.	ระดับน้ำ (Water Level)	76.51%

การตรวจวัดพลังงานหลังปรับปรุงเพื่อนำไปคำนวณเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง และนำผลที่ได้มาคำนวณหาผลประหยัดนั้น ควรอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน ดังนั้น M&V Unit จึงกำหนดค่าสภาวะที่ต้องควบคุม โดยนำค่าที่ตรวจวัดได้ก่อนการปรับปรุงมาใช้ ตัวแปรควบคุมสำหรับมาตรการนี้ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ผ่านระบบรวม 64,443.1 m^3 และ ระดับน้ำในถัง Supply 76.51%

2.3) ตัวแปรหลักหลังปรับปรุง

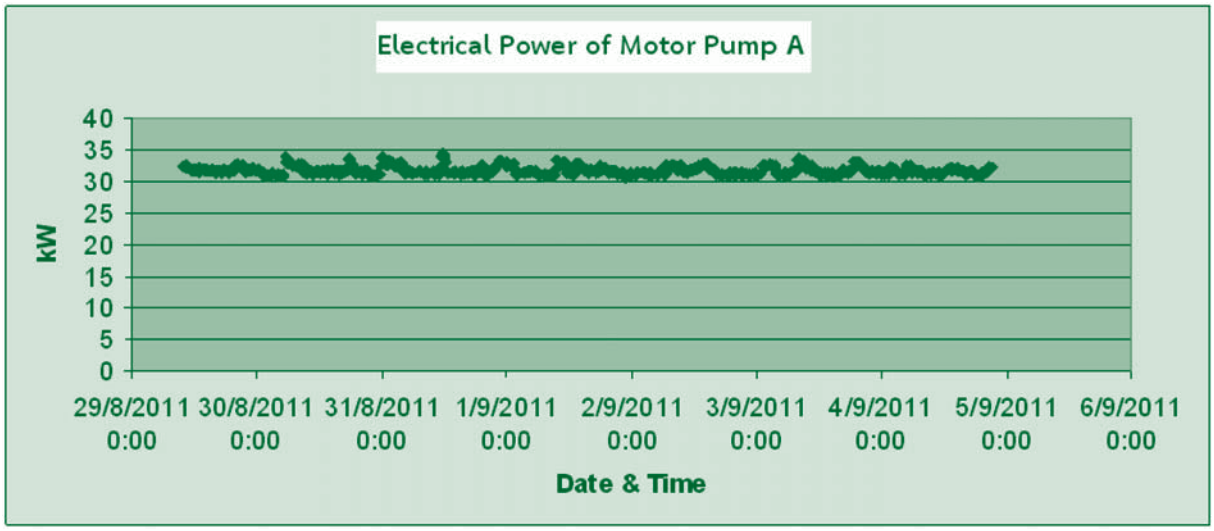
ผลการตรวจวัดตัวแปรควบคุม ตัวแปรหลัก และกราฟแสดงผล แสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยสภาวะควบคุมและค่าตัวแปรหลักที่ได้จากการตรวจวัด

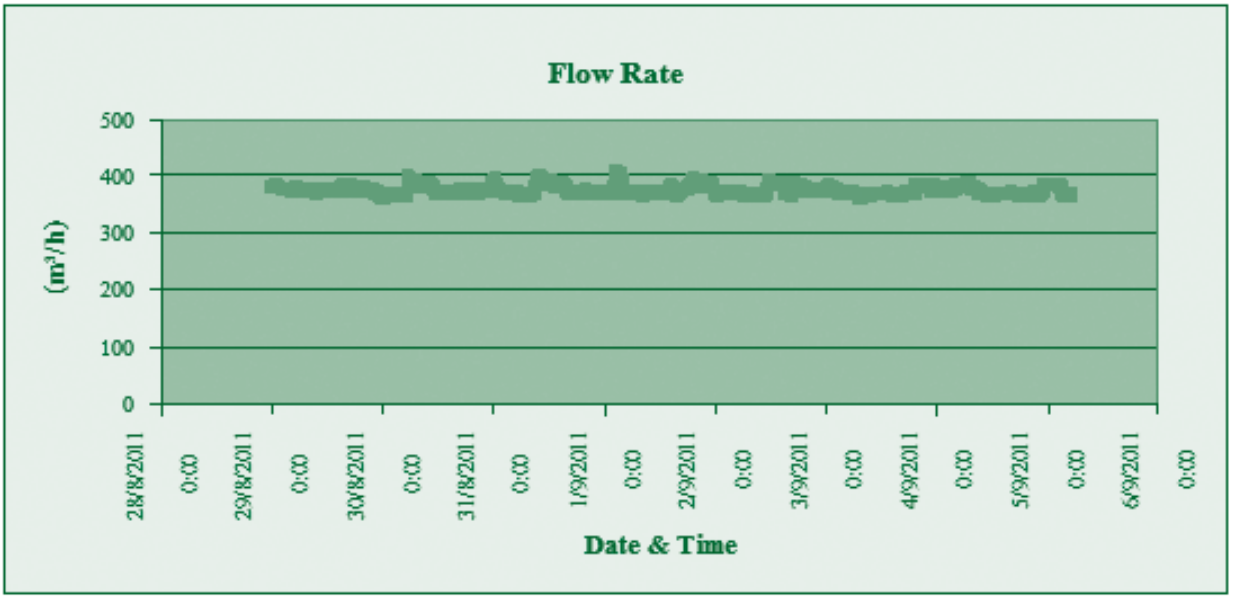
ลำดับ	สภาวะที่ต้องควบคุม	การควบคุมและค่าควบคุมที่กำหนด
1.	ปริมาณน้ำ (Water Volume,V_w)	(ค่าผลรวม, Sum) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 64,487.77 m^3 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง = 0.06%
2.	ระดับน้ำ (Water Level, L)	(ค่าเฉลี่ย, Average) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 74.94% เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง = 2.05% (ค่ามากที่สุด, Maximum) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 79.38% (ค่าน้อยที่สุด, Minimum) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 72.0%
3.	กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง ($P_{e,post}$)	(ค่าเฉลี่ย, Average) ปั๊มน้ำหลัก Pump A = 31.70 kW

ลำดับ	สภาวะที่ต้องควบคุม	การควบคุมและค่าควบคุมที่กำหนด
		(ค่ามากที่สุด, Maximum) ปั๊มน้ำหลัก Pump A = 34.46 kW (ค่าน้อยที่สุด, Minimum) ปั๊มน้ำหลัก Pump A = 30.05 kW (ค่าเฉลี่ย, Average) ปั๊มน้ำสำรอง Pump B = 45.41 kW (ค่ามากที่สุด, Maximum) ปั๊มน้ำสำรอง Pump B = 47.11 kW (ค่าน้อยที่สุด , Minimum) ปั๊มน้ำสำรอง Pump B = 43.24 kW

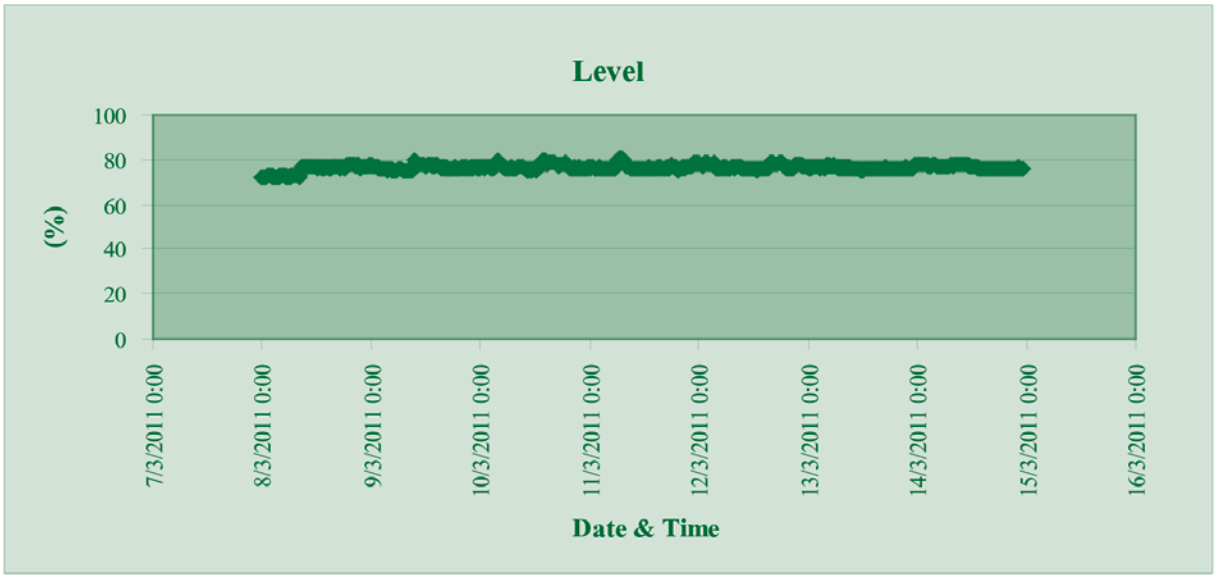
จากการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า, อัตราการไหล ของเครื่องสูบน้ำ และระดับน้ำในถัง Supply แสดงผลได้ดังกราฟ รูปที่ 6 รูปที่ 7 และ รูปที่ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 6 กราฟข้อมูลกำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำหลัก (Pump A) วันที่ 29 ส.ค. 2554 ถึง 4 ก.ย. 2554



รูปที่ 7 กราฟข้อมูลปริมาณน้ำต่อชั่วโมง วันที่ 29 ส.ค. 2554 ถึง 4 ก.ย. 2554



รูปที่ 8 กราฟข้อมูลระดับน้ำในถัง Supply วันที่ 29 ส.ค. 2554 ถึง 4 ก.ย. 2554

2.4) **การวิเคราะห์การใช้พลังงาน หลังปรับปรุง**

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง คำนวณได้จากสมการ

$E_{e,post} = P_{e,post} \times H$

(1) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของปั๊มน้ำหลัก (Pump A) หลังปรับปรุง คือ

$E_{e,post,Pump\ A} = P_{e,post,Pump\ A} \times H$

$= 31.70 \times 8,760$

$= 277,692$ kWh/y

(2) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของปั๊มน้ำสำรอง (Pump B) หลังปรับปรุง คือ

$E_{e,post,Pump\ B} = P_{e\ post,Pump\ B} \times H$

$= 45.41 \times 8,760$

$= 397,791.6$ kWh/y

(3) พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง พิจารณาเลือกตัวแทนข้อมูลเป็น Pump A เนื่องจากใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า

$E_{e,post} = E_{e,post,,Pump\ A}$

$E_{e,post} = 277,692$ kWh/y

หมายเหตุ โรงงานใช้เครื่องสูบน้ำหลักเพียง 1 ชุด ส่วนอีกหนึ่งชุดใช้เป็นปั๊มน้ำสำรอง การคำนวณผลประหยัดจึงเลือกใช้เพียง 1 ชุด โดยเลือกจากอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานน้อยกว่า

4.4.10.6 การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณได้จากสมการ

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

$= 544,696.8 - 277,692$

$= 267,004.8$ kWh/y

จำนวนเงินที่ประหยัดได้คำนวณได้จากสมการ

$M_{save} = E_{e,save} \times C_e$

$= 267,004.8 \times 2.50$

$= 667,512$ Bath/y

ตารางที่ 4.28 สรุปการวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

ชื่อมาตรการ	เป้าหมายการประหยัดพลังงาน			ผลวิเคราะห์การใช้พลังงาน (kWh/y)		ผลวิเคราะห์พลังงานที่ประหยัดได้		
	kWh/y	%	บาท/ปี	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	kWh/y	%	บาท/ปี
1. ติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์	270,421.2	49.65	676,053	544,696.8	277,692	267,004.8	49.02	667,512
รวม	270,421.2	49.65	676,053	544,696.8	277,692	267,004.8	49.02	667,512

สรุป

จากการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานของมาตรการ ติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ พบว่า ก่อนปรับปรุงระบบมีระดับการใช้พลังงานเท่ากับ 544,696.8 kWh/y เมื่อ ESCO ทำการปรับปรุงและปรับตั้งค่าอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์แล้วเสร็จ หลังปรับปรุงระบบมีระดับการใช้พลังงานเท่ากับ 277,692 kWh/y ส่งผลให้ประหยัดพลังงานได้ 267,004.8 kWh/y คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดพลังงานได้ 49.02% แต่ยังคงน้อยกว่าผลประหยัดพลังงานที่ ESCO รับรองไว้ 3,416.4 kWh/y หรือ 0.63%

4.4.10.7 การรับรองรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน

ผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน

ข้าพเจ้า ..... ในฐานะผู้ได้รับมอบหมายให้ดำเนินการในนามของ.....
.....ซึ่งเป็นผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงานของ.....
.....ขอรับรองว่าผลตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานในรายงานฉบับนี้ เป็นไปตามข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯที่นำเสนอ

ลงชื่อ .....

(.....)

ตำแหน่ง หัวหน้าคณะตรวจวัดฯ/ผู้เชี่ยวชาญพลังงาน

วันที่ .....

สถานประกอบการ

ข้าพเจ้า ..... ในฐานะผู้ได้รับมอบหมายให้มีอำนาจลงนามของ .... ขอรับรองรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานว่าคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ได้ดำเนินการตามหลักเกณฑ์และพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานตามข้อตกลงที่นำเสนอมา

ลงชื่อ .....

(.....)

ตำแหน่ง ตัวแทนสถานประกอบการ

วันที่ .....

บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO)

ข้าพเจ้า .....ในฐานะผู้มีอำนาจลงนามของ ESCO คือ บริษัท ..... ยอมรับผลประหยัดที่เกิดขึ้นตามรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน ที่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลฯ ตามแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ที่ได้นำเสนอมา

ลงชื่อ .....

(.....)

ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ

วันที่ .....

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 (AEPCA), 2000

[7] ผศ.ดร.เกรียงไกร อัศวมาศบันลือ, 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, AEPCA
http://www.aepca.asn.au/

{5} National Program for Electricity Conservation, PROCEL
http://www.eletrobras.gov.br/procel/

{6} International Institute for Energy Efficiency, INEE
http://www.inee.org.br/

{7} Korea Energy Management Corporation, KEMCO
http://www.kemco.or.kr/index.asp

ออกแบบรูปเล่มและจัดพิมพ์ : บริษัท ซีโน พับลิชชิ่ง แอนด์ แพคเกจจิ้ง จำกัด
โทรศัพท์ : 0 2938 3306-8 โทรสาร 0 2938 0188

Thai ESCO

ปรึกษาการลงทุนด้านพลังงาน

ติดต่อ ESCO Information Center

สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
โทรศัพท์ : 0-2345-1250-51 โทรสาร : 0-2345-1258
e-mail : admin@thaiesco.org