

คู่มือมาตรฐานการตรวจวัด และพิสูจน์ผลประหยัด



M&V

Measurement and Verification; M&V



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน



สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม
สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

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

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

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

4.4.9 บันทึกการปรับปรุง

ครั้งที่	วันที่	รายละเอียด
0	5/11/2013	ฉบับที่ 1

4.4.10 กรณีศึกษาและวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด : มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

4.4.10.1 รายละเอียดมาตรการ

โรงงานแห่งหนึ่งเป็นโรงงานผลิตสารเคมี มีบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้งานปั้มน้ำ 24 ชั่วโมงต่อวัน และโรงงานนี้ทำงาน 365 วันต่อปี ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานนี้มีปั้มน้ำ 2 ชุด ปกติใช้งานปั้มน้ำ 1 ชุด ส่วนอีก 1 ชุดให้เป็นปั้มน้ำสำรอง การทำงานของปั้มน้ำนี้มีหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการของกระบวนการ โดยควบคุมปริมาณน้ำด้านขาออกด้วยวิธีการควบคุมแบบวงรอบปิด ตัวแปรควบคุมในกระบวนการผลิต (Process Control Variable) คือระดับน้ำในถังที่ 80% ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียทำงาน อุปกรณ์ควบคุมจะปรับหรือล๊อคไว้ที่ 42.1% ในเบื้องต้น บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ได้ทำสำรวจศักยภาพในการจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงพบว่า มอเตอร์ขับปั้มน้ำนี้มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 66.46 kW

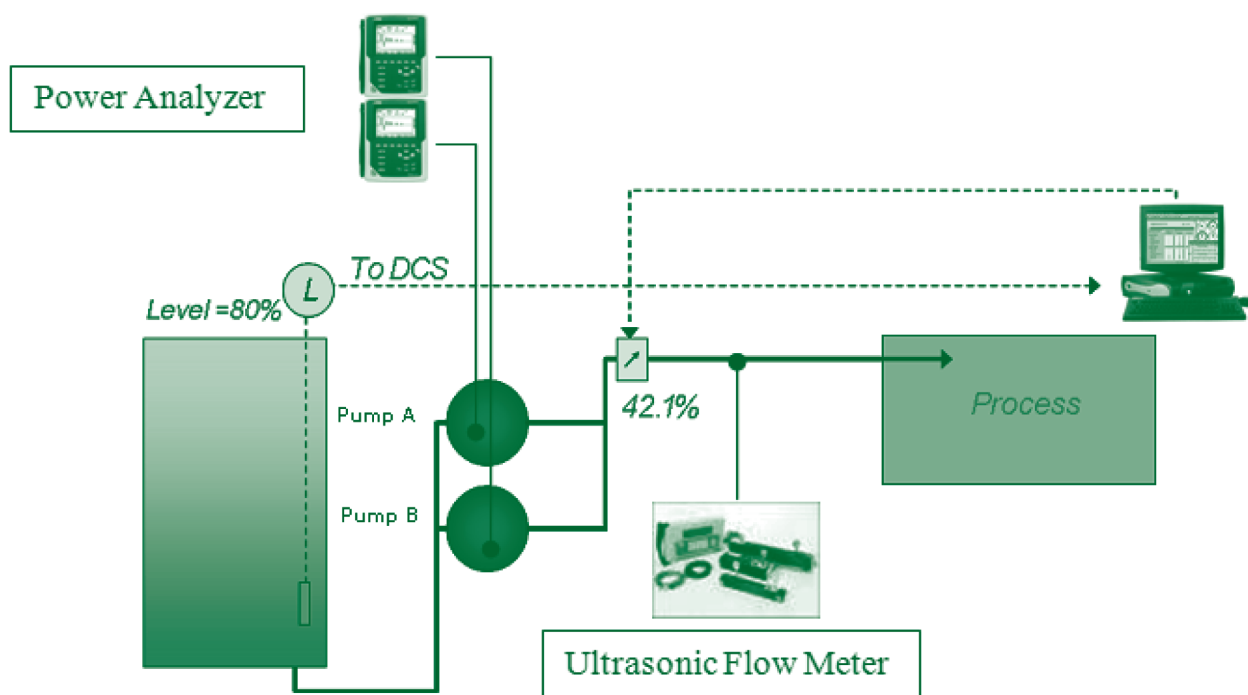
มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่นำมาใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานนี้ จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD) โดยควบคุมการทำงานเป็นระบบอัตโนมัติทดแทนการปรับหีร่วาล์ว และตั้งค่าป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับมอเตอร์โดยควบคุมระดับความถี่ไฟฟ้าไว้ไม่ต่ำกว่า 39 Hz ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมต้องควบคุมระดับน้ำในถังได้เท่าเดิมที่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

4.4.10.2 แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (Measurement & Verification)

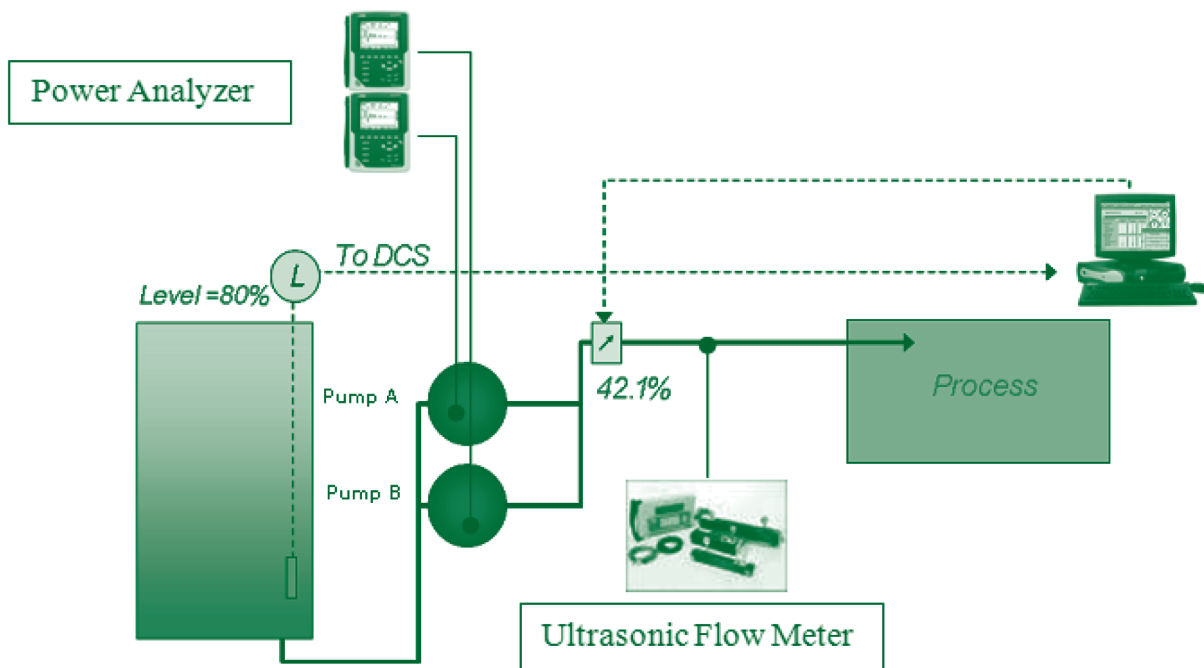
แนวทางในการตรวจวัดและพิสูจน์การใช้พลังงานสำหรับมาตรการในโครงการนี้ M&V Unit เลือกใช้แนวทาง การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation) หรือเรียกว่า Option B อ้างอิงตามข้อตกลงร่วมกันด้านการตรวจวัดและพิสูจน์ทราบระดับนานาชาติ หรือ International Performance Measurement and Verification Protocol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

1) วิธีการตรวจวัด

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



รูปที่ 1 แสดงการตรวจวัดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเสียก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 2 แสดงการตรวจวัดมอเตอร์ปั้มน้ำเสียที่ติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบหลังการปรับปรุง

สำหรับวิธีการบันทึกข้อมูล การควบคุมสถานะการทำงาน 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) ใช้ข้อมูลการทำงานของปั้มน้ำจากข้อมูลที่คุณควบคุมดูแลปั้มน้ำเก็บบันทึกในปีที่ ESCO ทำการประเมินโครงการและใช้ในการรับประกันผลประหยัด (ตาม EPC) โดยถือว่าเป็น “พื้นฐาน” 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	เครื่องวัดและบันทึกอัตราการไหลแบบใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Flow Meter)	สามารถวัดค่าความเร็วของเหลวในท่อ (m/s) หรือ วัดอัตราการไหลของของเหลวในท่อ (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 ได้กำหนดขั้นตอนการตรวจวัดสำหรับมาตรการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ปั้มน้ำเสียของสถานประกอบการไว้ ดังนี้



1) ตัวแปรหลัก

ตัวแปรหลัก คือ ข้อมูลการตรวจวัดหรือค่าพารามิเตอร์หลักต่างๆ ที่นำไปใช้ในการคำนวณผลประหยัด มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.19 ตัวแปรหลักสำหรับการวิเคราะห์ผล

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	ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง ทุก 15 นาที ไม่น้อยกว่า 7 วัน ต่อหนึ่งชุดอุปกรณ์	V (Volt), I (Amp), PF, P _e (kW)
2	ความเร็วน้ำที่ท่อทางออกของระบบน้ำเสีย (m/s) หรืออัตราการไหลของน้ำ (m ³ /s) โดยใช้เครื่องวัดและบันทึกอัตราการไหลแบบใช้คลื่นอัลตราโซนิก	ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง ทุก 15 นาที ไม่น้อยกว่า 7 วัน ต่อหนึ่งชุดอุปกรณ์	C _w (m/s), Q _w (m ³ /s)

2) ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุม (Controlled Conditions)

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

ตารางที่ 4.20 ตัวแปรควบคุมสำหรับการควบคุมภาระงาน

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าที่ควบคุม
1	ระดับน้ำในถัง Supply (%) เป็นการตั้งค่าอุปกรณ์ควบคุมให้คงสภาวะระดับน้ำในถัง Supply สัญญาณอยู่ในช่วง 0-100% โดยบันทึกสัญญาณเข้าสู่ Data Logger	Level: L (%) เป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าที่ส่งออกมาจากเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ (80%) การพิจารณาผลข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบกันได้ คือค่า L จากการตรวจวัด Baseline และค่า L จากการตรวจวัด 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 ไม่ให้ต่ำกว่า 39 Hz (ตามข้อมูลของผู้ผลิต) ป้องกันการเสียหายของมอเตอร์

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าที่ควบคุม
4	ภาระงานของระบบน้ำเสีย คือปริมาณน้ำ (m ³) ที่ถูกสูบผ่านระบบในการวิเคราะห์ข้อมูล ภาระงานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงควรเท่ากัน ดังนั้นเวลาในการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงอาจไม่เท่ากันโดยหลังการปรับปรุง M&V Unit ต้องเก็บข้อมูลจนกว่าปริมาณน้ำที่ผ่านระบบจะเท่ากับปริมาณน้ำก่อนการปรับปรุง	Waste Water Volume: V _w (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	$h/d = 24 \quad h/day$
2	จำนวนชั่วโมงการทำงานของโรงงานปืฐาน (365 วัน)	$H = 8,760 \quad h/y$

หมายเหตุ: ข้อมูลในตารางนามาจากชั่วโมงการทำงานของปั๊มน้ำและจำนวนวันเปิดทำการของสถานประกอบการ

4) การวิเคราะห์ผลประหยัด

วิธีการคำนวณการใช้พลังงานและผลประหยัด จะทำการคำนวณตามสมการ ดังนี้

1.1) การคำนวณพลังงานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง

ก. การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง คำนวณได้จากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยคูณชั่วโมงการทำงานในปีฐาน

ดังสมการ

$$\begin{aligned}
 E_{e,pre} &= P_{e,pre} \times H \\
 E_{e,pre} &= \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง (kWh/y)} \\
 P_{e,pre} &= \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง (kW)} \\
 H &= \text{ชั่วโมงการทำงานของเครื่องสูบน้ำปีฐาน (h/y)}
 \end{aligned}$$

ข. การคำนวณปริมาณน้ำเสีย

จากการกำหนดตัวแปรควบคุมเป็นภาระการใช้งาน (ปริมาณน้ำ) สามารถคำนวณหาค่าปริมาณการใช้น้ำได้ ดังสมการ

$$\begin{aligned}
 V_{w,pre} &= Q_{w,pre} \times h_{pre} \\
 V_{w,pre} &= \text{ปริมาณน้ำเสียที่ผ่านปั๊มน้ำสูบ (m³)} \\
 Q_{w,pre} &= \text{อัตราการไหลเฉลี่ยหลังการปรับปรุง (m³/h)} \\
 h_{pre} &= \text{ชั่วโมงการทำงานของเครื่องสูบน้ำ (h)}
 \end{aligned}$$

1.2) การคำนวณพลังงานที่ใช้หลังการปรับปรุง

ก. การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงคำนวณรูปแบบเดียวกันกับการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง ดังสมการ

$$\begin{aligned} E_{e,post} &= P_{e,post} \times H \\ E_{e,post} &= \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง (kWh/y)} \\ P_{e,post} &= \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหลังการปรับปรุง (kW)} \\ H &= \text{ชั่วโมงการทำงานของเครื่องสูบน้ำปีฐาน (h/y)} \end{aligned}$$

ข. การคำนวณปริมาณน้ำเสียและชั่วโมงการทำงาน

จากการกำหนดตัวแปรควบคุมเป็นภาระการใช้งาน (ปริมาณน้ำ) สามารถคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำหลังการปรับปรุงได้ ดังสมการ

$$\begin{aligned} V_{w,post} &= Q_{w,post} \times h_{post} \\ V_{w,post} &= \text{ปริมาณน้ำเสียที่ผ่านปั๊มน้ำสูบ (m³)} \\ Q_{w,post} &= \text{อัตราการไหลเฉลี่ยหลังการปรับปรุง (m³/h)} \\ h_{post} &= \text{ชั่วโมงการทำงานของเครื่องสูบน้ำ (h)} \end{aligned}$$

ดังนั้น สามารถคำนวณเวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปตัดข้อมูลให้เป็นการเปรียบเทียบการทำงานที่ภาระงานเท่ากันดังสมการ

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

1.3) การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} E_{e,save} &= E_{e,pre} - E_{e,post} \\ E_{e,save} &= \text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)} \end{aligned}$$

1.4) การคำนวณจำนวนเงินที่ประหยัดได้

จำนวนเงินที่ประหยัดได้คำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} M_{save} &= E_{e,save} \times C_e \\ M_{save} &= \text{จำนวนเงินที่ประหยัดได้ (Bath/y)} \\ C_e &= \text{อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐานจาก EPC (Bath/kWh)} \end{aligned}$$

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

1.5) ตารางบันทึกข้อมูลกำลังไฟฟ้าและสถานะควบคุม

เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ M&V Unit จะทำการตรวจวัด และเป็นการคุมราคาค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดไม่ให้มากเกินไปจนความจำเป็น 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

ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงานนี้จะเป็นคณะทำงานในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ 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 ได้ทำการตรวจวัดตามแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผล 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 ดังนั้นตัวแปรควบคุมที่ถูกกำหนดใหม่สำหรับใช้ในมาตรานี้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง คือ ปริมาณน้ำที่ผ่านระบบรวม คือ 64,443.1 m³ และ ระดับน้ำในถัง Supply คือ 76.51%

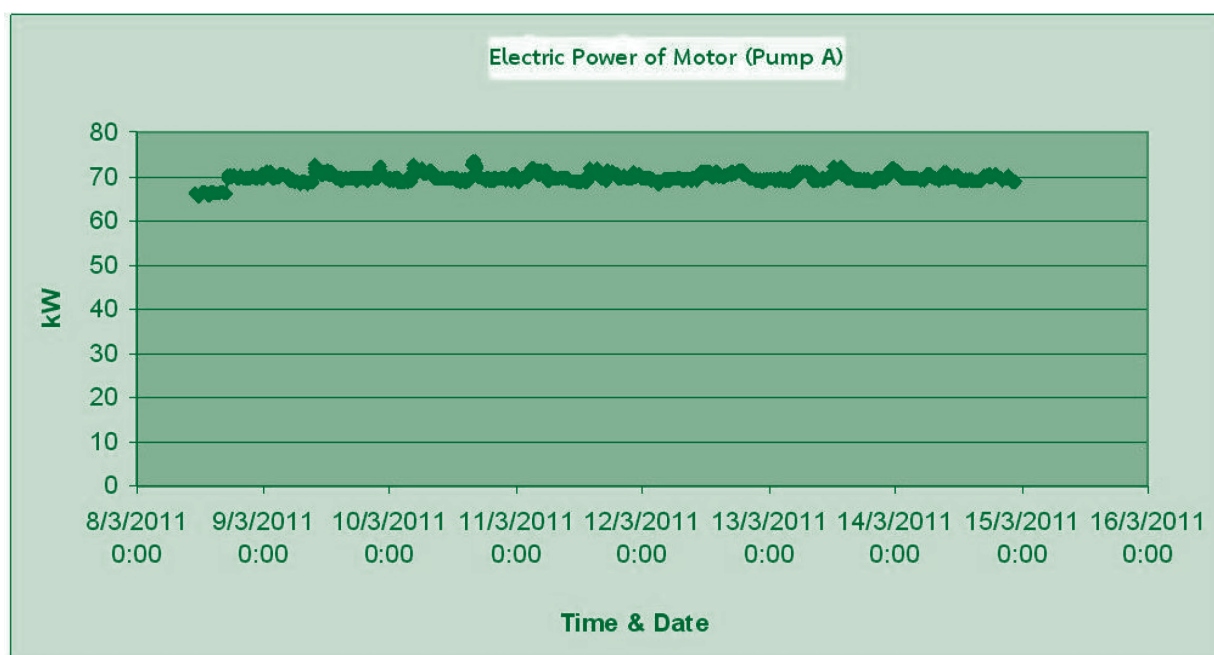
1.3) ตัวแปรหลักก่อนปรับปรุง

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

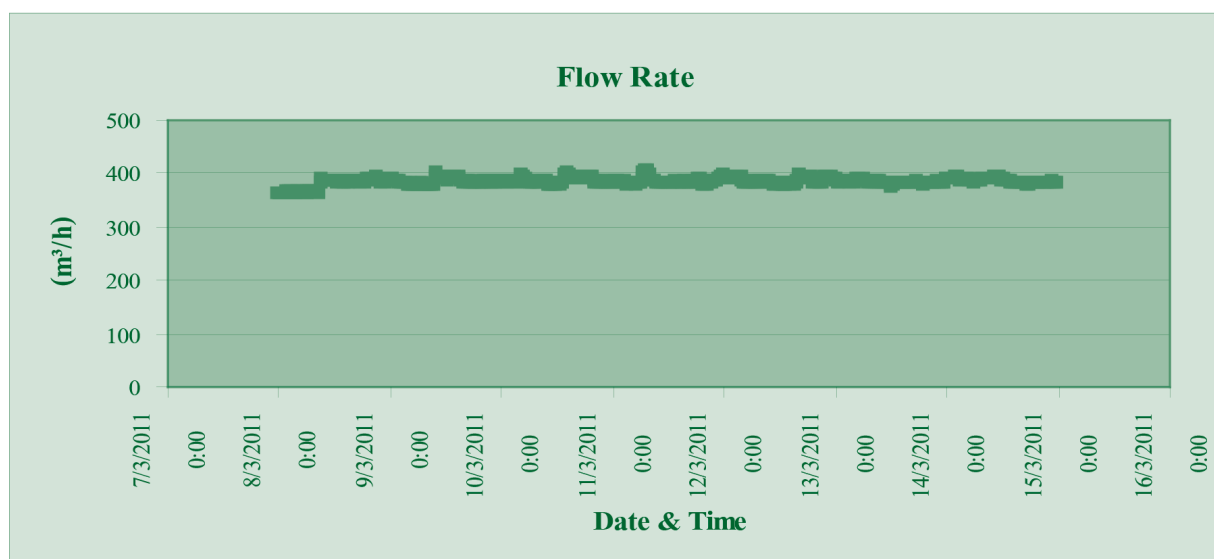
ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยสภาวะควบคุมและค่าตัวแปรหลักที่ได้จากการตรวจวัด

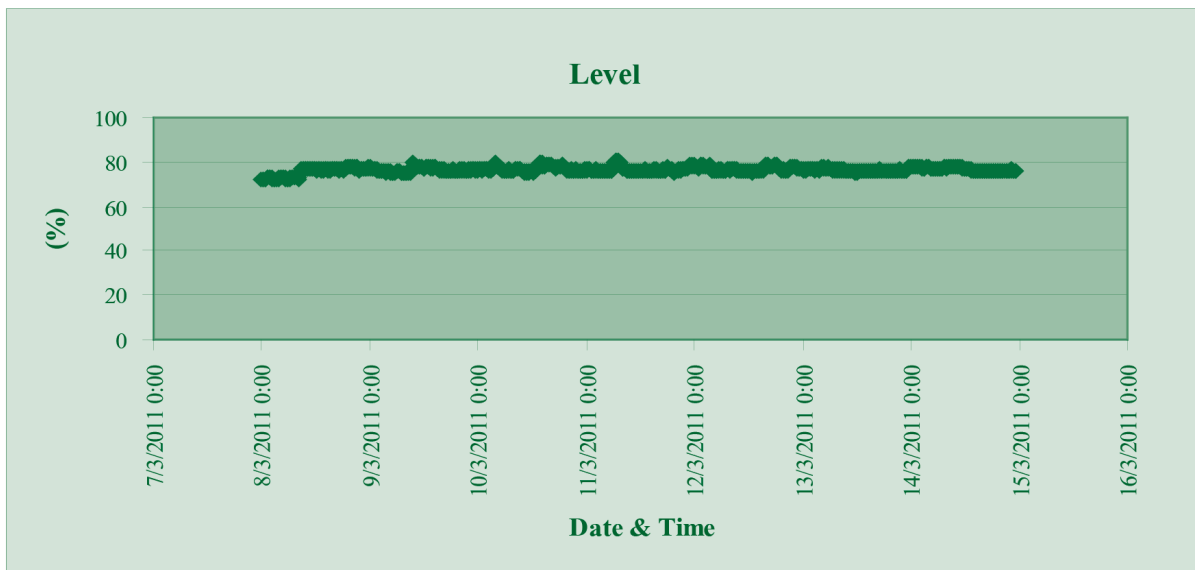
ลำดับ	สภาวะที่ต้องควบคุม	การควบคุมและค่าควบคุมที่กำหนด
1.	ปริมาณน้ำ (Water Volume, V _w)	(ค่าผลรวม, Sum) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 64,443.1 m ³
2.	ระดับน้ำ (Water Level L)	(ค่าเฉลี่ย, Average) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 76.51% (ค่ามากที่สุด, Maximum) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 80.56% (ค่าน้อยที่สุด, Minimum) 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	สถานะที่ต้องควบคุม	การควบคุมและค่าควบคุมที่กำหนด
		(ค่าเฉลี่ย, Average) ปั้มน้ำสำรอง Pump B = 69.70 kW
		(ค่ามากที่สุด, Maximum) ปั้มน้ำสำรอง Pump B = 70.11 kW
		(ค่าน้อยที่สุด, Minimum) ปั้มน้ำสำรอง 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

$$\begin{aligned} E_{e,pre, Pump A} &= P_{e,pre, Pump A} \times H \\ &= 62.18 \times 8,760 \\ &= 544,696.8 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

- 2) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของปั๊มน้ำสำรอง (Pump B) ก่อนการปรับปรุง คือ

$$\begin{aligned} E_{e,pre, Pump B} &= P_{e,pre, Pump B} \times H \\ &= 69.70 \times 8,760 \\ &= 610,572 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

- 3) พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง พิจารณาเลือกตัวแทนข้อมูลเป็น Pump A เนื่องจากจากใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า

$$\begin{aligned} E_{e,pre} &= E_{e,pre, Pump A} \\ E_{e,pre} &= 544,696.8 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

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 โดยระยะ เวลาเก็บข้อมูลให้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ	ปริมาณน้ำที่ผ่านระบบ 64,443.1 m ³
2.	ระดับน้ำ (Water Level)	76.51%

การตรวจวัดพลังงานหลังปรับปรุงเพื่อนำไปคำนวณเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง และนำผลที่ได้มาคำนวณหาผลประหยัคนั้น ควรอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน ดังนั้น M&V Unit จึงกำหนดค่าสภาวะที่ต้องควบคุม โดยนำค่าที่ตรวจวัดได้ก่อนการปรับปรุงมาใช้ ตัวแปรควบคุมสำหรับมาตรการณ์นี้ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ผ่านระบบรวม 64,443.1 m³ และ ระดับน้ำในถัง Supply 76.51%

2.3) ตัวแปรหลักหลังปรับปรุง

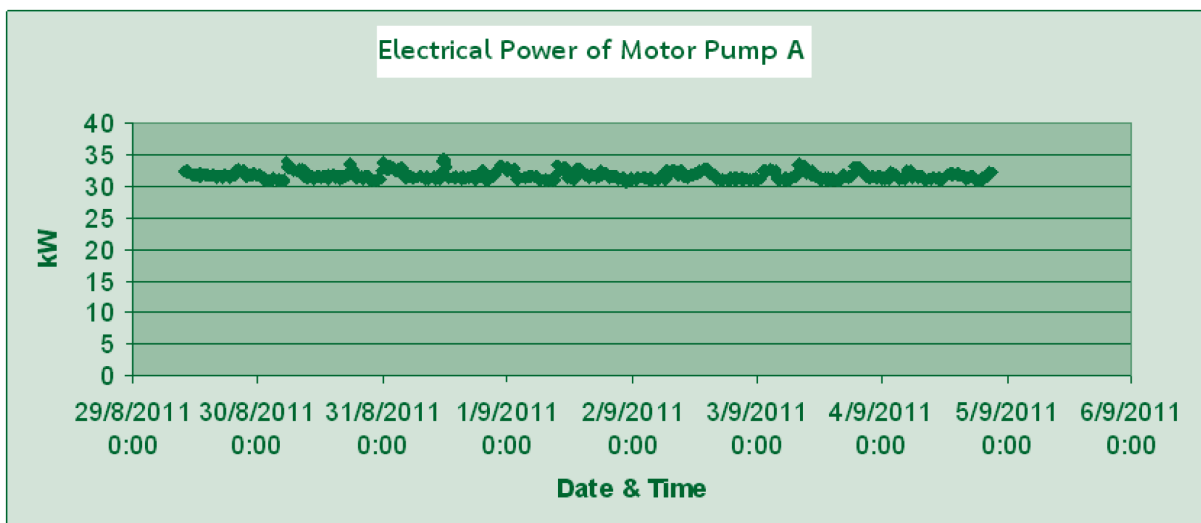
ผลการตรวจวัดตัวแปรควบคุม ตัวแปรหลัก และกราฟแสดงผล แสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยสภาวะควบคุมและค่าตัวแปรหลักที่ได้จากการตรวจวัด

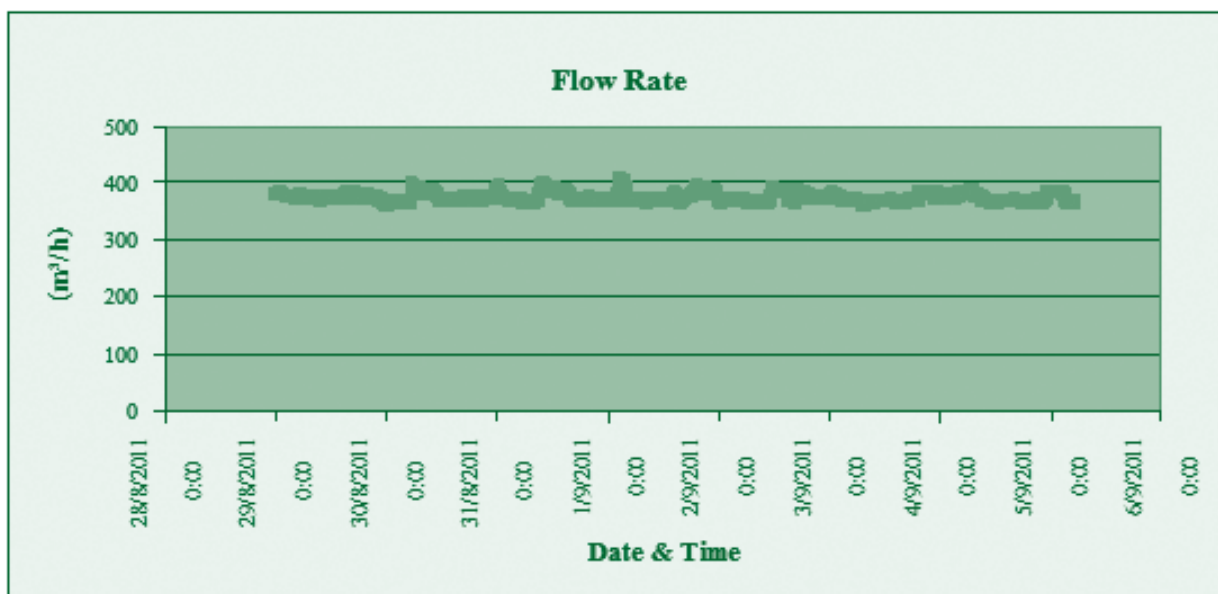
ลำดับ	สภาวะที่ต้องควบคุม	การควบคุมและค่าควบคุมที่กำหนด
1.	ปริมาณน้ำ (Water Volume, V _w)	(ค่าผลรวม, Sum) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 64,487.77 m ³ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง = 0.06%
2.	ระดับน้ำ (Water Level, L)	(ค่าเฉลี่ย, Average) ค่าควบคุมที่ตรวจวัดได้ = 74.94% เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง = 2.05% (ค่ามากที่สุด,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

ลำดับ	สถานะที่ต้องควบคุม	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

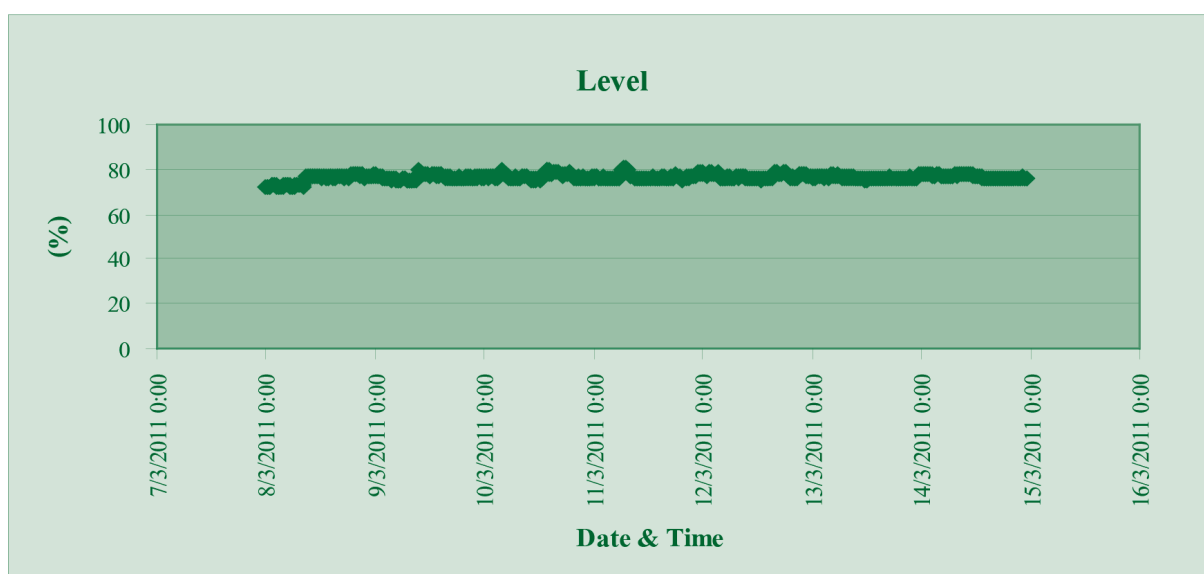
จากการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า, อัตราการไหล ของเครื่องสูบน้ำ และระดับน้ำในถัง Supply แสดงผลได้ดังกราฟ รูปที่ 6 รูปที่ 7 และ รูปที่ 8 ตามลำดับ



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

$$\begin{aligned} E_{e,post,Pump A} &= P_{e,post,Pump A} \times H \\ &= 31.70 \times 8,760 \\ &= 277,692 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

(2) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของปั๊มน้ำสำรอง (Pump B) หลังปรับปรุง คือ

$$\begin{aligned} E_{e,post,Pump B} &= P_{e,post,Pump B} \times H \\ &= 45.41 \times 8,760 \\ &= 397,791.6 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

(3) พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง พิจารณาเลือกตัวแทนข้อมูลเป็น Pump A เนื่องจากใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า

$$\begin{aligned} E_{e,post} &= E_{e,post,Pump A} \\ E_{e,post} &= 277,692 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

หมายเหตุ โรงงานใช้เครื่องสูบน้ำหลักเพียง 1 ชุด ส่วนอีกหนึ่งชุดใช้เป็นปั๊มน้ำสำรอง การคำนวณผลประหยัดจึงเลือกใช้เพียง 1 ชุด โดยเลือกจากอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานน้อยกว่า

4.4.10.6 การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} E_{e,save} &= E_{e,pre} - E_{e,post} \\ &= 544,696.8 - 277,692 \\ &= 267,004.8 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

จำนวนเงินที่ประหยัดได้คำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} M_{save} &= E_{e,save} \times C_e \\ &= 267,004.8 \times 2.50 \\ &= 667,512 \text{ Bath/y} \end{aligned}$$

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 ติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์พบว่า 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 เป็นไปตามข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่น่าเสนอ

ลงชื่อ

(.....)

ตำแหน่ง หัวหน้าคณะตรวจวัดฯ/ผู้เชี่ยวชาญพลังงาน

วันที่

สถานประกอบการ

ข้าพเจ้า ในฐานะผู้ได้รับมอบหมายให้มีอำนาจลงนามของ
..... ขอรับรองรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานว่าคณะทำงานตรวจวัด
และพิสูจน์ผลฯ ได้ดำเนินการตามหลักเกณฑ์และพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานตามข้อตกลงที่นำเสนอมา

ลงชื่อ
(.....)

ตำแหน่ง ตัวแทนสถานประกอบการ

วันที่

บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO)

ข้าพเจ้า ในฐานะผู้มีอำนาจลงนามของ ESCO คือ
บริษัท ยอมรับผลประหยัดที่เกิดขึ้นตามรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด
พลังงาน ที่คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลฯ ตามแนวทางการตรวจวัดและ
พิสูจน์ผลฯ ที่ได้นำเสนอมา

ลงชื่อ
(.....)

ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ

วันที่