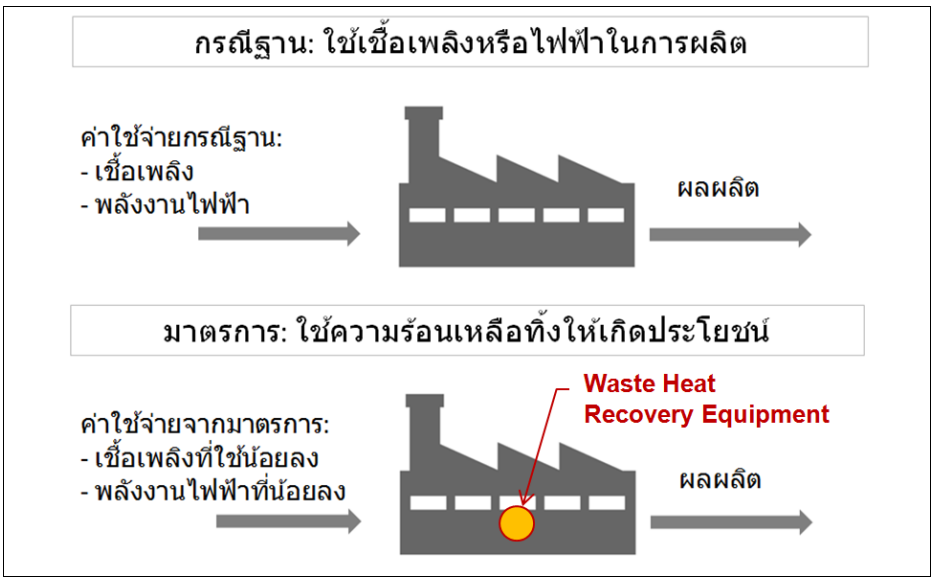
แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน: มาตรการระบบผลิตความร้อนจากความร้อนทิ้ง



4.4.1 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ

วิธีการนี้ใช้กับมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อผลิตลมร้อนสำหรับใช้งานในกระบวนการผลิต จากความร้อนที่เหลือทิ้งรูปแบบต่างๆ จากกระบวนการในโรงง าน เช่น น้ำร้อน ก๊าซร้อน เป็นต้นเพื่อทดแทนหรือเสริมกำลังการผลิตลมร้อนจากระบบเดิมของโรงงาน ที่ต้องใช้เชื้อเพลิงสำหรับผลิตลมร้อนโดยตรง

ขอบเขตของมาตรการประหยัดพลังงานนี้ ครอบคลุมการใช้พลังงานเชื้อเพลิง และ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เพื่อผลิตพลังงานความร้อน

4.4.2 รูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การเลือกรูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ของมาตรฐานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลนี้ อ้างอิงมาตรฐานของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมีให้เลือกใช้ได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ Dโดยวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ได้กำหนดขึ้นในเอกสารฉบับนี้ถือเป็นการตรวจวัดและพิสูจน์ผลอย่างน้อยที่สุดของมาตรการ ระบบผลิตความร้อนจากความร้อนทิ้ง (Waste Heat Utilization) ซึ่งได้เลือกแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผล *รูปแบบ B การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation)*

4.4.3 การจัดทำรายงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ดำเนินโครงการด้วยบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ให้จัดทำรายงานขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

1) ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของ ข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ต้องระบุถึงรายละเอียดของมาตรการโดยสังเขป รูปแบบการตรวจวัดและพิสูจน์ผล วิธีการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณผลประหยัด ตาราง (Log Sheet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และหนังสือรับรองข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน

2) รายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผล

เนื้อหาของรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลให้อธิบายวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยละเอียด โดยรายงานนี้จะต้องยึดถือและแสดงผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลตามหัวข้อที่แสดงไว้ใ นข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล (3.1) เป็นหลัก โดยรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลจะประกอบไปด้วยข้อมูลและตารางคำนวณ ได้แก่

2.1)การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนมีโครงการ (Waste Heat Utilization)

2.2)การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังมีโครงการ (Waste Heat Utilization)

2.3)การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

เมื่อคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลได้ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลและจัดทำรายงานแล้วเสร็จ ให้จัดทำหนังสือรับรองรายงานที่ได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการและบริษัทจัดการพลังงาน และให้ผู้บริหารทั้ง 2 ฝ่ายได้ลงนามในหนังสือรับรองรายงานนี้

4.4.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

พลังงานที่ใช้ก่อนการปรับปรุง ส่วนมากจะเป็นการนำเชื้อเพลิงมาผ่านกระบวนการเผาไหม้เพื่อสร้างความร้อนและลมร้อนโดยตรง เช่น ในกระบวนการอบปุ๋ย มีการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติมาป้อนให้กับหัว พ่นไฟแก๊ส (Gas Burner) เพื่อทำให้เกิดลมร้อนขึ้น โดยลมร้อนที่เกิดขึ้นนั้นจะถูกส่งไปใช้งานในกระบวนการผลิต เป็นต้น

ดังนั้น ข้อมูลการใช้พลังงานก่อนมีโครงการที่จำเป็นจะต้องทำการตรวจวัด สำหรับใช้เป็นข้อมูลกรณีฐาน คือ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับระบบผลิตคว ามร้อนและปริมาณของผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่สามารถผลิตได้จากความร้อนนั้น มาคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจำเพาะในกรณีฐาน (Baseline Fuel Consumption, SEC_{BL}) ดังนี้

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

โดยที่

SFC_{BL} = อัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อสินค้าที่ผลิตได้ในกรณีฐาน (Unit/$Ton_{Product}$)

FC_{BL} = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในกรณีฐาน (Unit/y)

PD_{BL} = ปริมาณสินค้าที่ผลิตได้ในกรณีฐาน ($Ton_{Product}$ /y)

4.4.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

ในกระบวนการผลิตของโรงงานที่มีแหล่งความร้อนเหลือทิ้งออกสู่บรรยากาศภายนอกอยู่เสมอ เช่น ความร้อนเหลือทิ้งจากปล่องโรงงาน อุตสาหกรรม ไอน้ำเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต เป็นต้น โดยความร้อนเหลือทิ้งเหล่านี้จะมีอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก ซึ่งหากสามารถนำกลับเอามาใช้ใหม่ได้ก็จะช่วยลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงภายในโรงงานได้ซึ่งเป็นการลดต้นทุนให้กับโรงงานด้วยเช่นกัน

ในการปรับปรุงตามมาตรการนั้นจะนำเอาความร้อนเหลือทิ้งเช่น ไอร้อน , ไอน้ำหรือน้ำร้อนมาผ่านอุปกรณ์สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อผลิตน้ำร้อนหรือลมร้อน เอากลับไปใช้ทดแทนหรือเสริมความร้อนให้กับกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น นำน้ำร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต มาผ่ านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ ที่ใช้พัดลมดูดอากาศผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้ได้ลมร้อนสำหรับเข้าไปใช้งานในกระบวนการผลิต โดยลมร้อนเหล่านี้จะถูกส่งเข้าไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง หรือส่งไปผสมกับ ลมร้อนที่ได้จากเครื่องผลิตลมร้อนที่มีอยู่เดิมเพื่อเป็นการลดปริมาณการผลิตลมร้อนจากเชื้อเพลิงได้ เป็นต้น

เพราะฉะนั้น ในการตรวจวัดปริมาณพลังงานที่ใช้หลังการปรับปรุงจะใช้ข้อมูลเดียวกันกับการตรวจวัดปริมาณพลังงานก่อนการปรับปรุง โดยจะตรวจวัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง และไฟฟ้า หลัง ดำเนินมาตรการและปริมาณของผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่สามารถผลิตได้ จากมาตรการดังนี้

FC_{PJ} = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จากการดำเนินโครงการ (Unit/y)

EC_{PJ} = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จากการดำเนินโครงการ (kWh/y)

PD_{PJ} = ปริมาณสินค้าที่ผลิตได้จากมาตรการ ($Ton_{Product}$ /y)

ผลการประหยัดพลังงานจากมาตรการนี้ คำนวณจากพลังงานความร้อนที่ใช้ลดลงดังนี้

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

PD_{PJ} = ปริมาณสินค้าที่ผลิตได้ในช่วงที่วัดผลจากมาตรการ ($Ton_{product}$/y)

SFC_{BL} = อัตราการใช้เชื้อเพลิงในกรณีฐาน (Unit/$Ton_{product}$)

NCV_{BL} = ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงที่ใช้ในกรณีฐาน (MJ/Unit)

FC_{PJ} = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในมาตรการ (Unit/y)

NCV_{PJ} = ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงที่ใช้ในมาตรการ (MJ/Unit)

โดยที่

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

SFC_{BL} = อัตราการใช้เชื้อเพลิงในกรณีฐาน (Unit/$Ton_{product}$)

FC_{BL} = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในกรณีฐาน (Unit/y)

PD_{BL} = ปริมาณสินค้าที่ผลิตได้ในกรณีฐาน ($Ton_{product}$/y)

4.4.6 การวิเคราะห์ผลประหยัด

ผลประหยัดของโครงการคิดจากต้นทุนพลังงานในกรณีฐาน เทียบกับต้นทุนพลังงานจากการดำเนินโครงการดังนี้

1) ต้นทุนพลังงานในกรณีฐาน

$Cost_{BL} = P_{F,IGA} (PD_{PJ} \times SFC_{BL})$

โดยที่

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

$P_{F,IGA}$ = ราคาเชื้อเพลิงเดิมตามข้อตกลงใน IGA (Baht/Unit)

PD_{PJ} = ปริมาณสินค้าที่ผลิตได้ในช่วงที่วัดผลการดำเนินโครงการ ($Ton_{Product}$ /y)

SFC_{BL} = อัตราการใช้เชื้อเพลิงในกรณีฐาน (Unit/$Ton_{Product}$)

2) ต้นทุนพลังงานจากการดำเนินโครงการ

$Cost_{PJ} = (P_{F,PJ} \times FC_{PJ}) + (P_{E,PJ} \times EC_{PJ})$

โดยที่

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

$P_{F,PJ}$ = ราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการดำเนินโครงการ (Baht/Unit)

FC_{PJ} = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจากการดำเนินโครงการ (Unit/Y)

$P_{E,PJ}$ = ราคาไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินโครงการ (Baht/kWh)

EC_{PJ} = ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการดำเนินโครงการ (kWh/Y)

ดังนั้นสามารถคำนวณหาผลประหยัดของโครงการได้ดังนี้

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

โดยที่

$Saving_{Net}$ = ผลประหยัดสุทธิ (Baht)

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

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

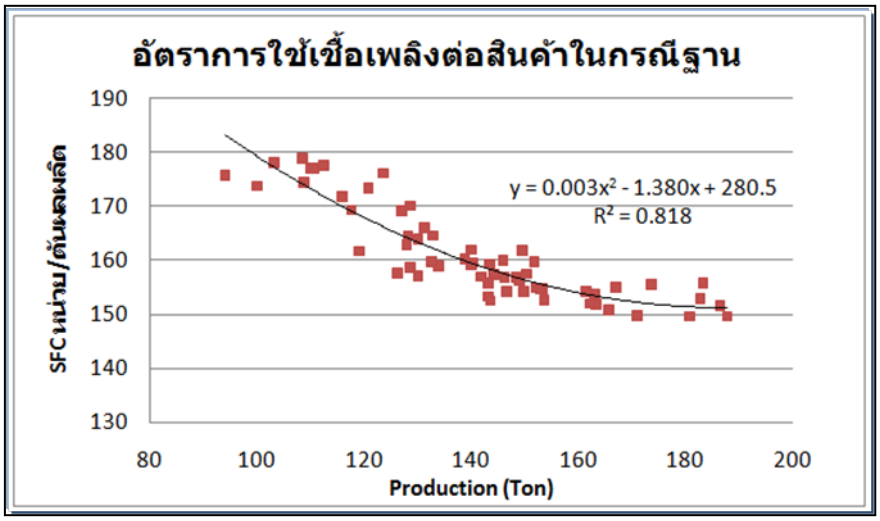
<u>หมายเหตุ</u>

ในการคำนวณต้นทุนพลังงานในกรณีฐาน ให้ใช้ราคาต่อหน่วยของเชื้อเพลิงและไฟฟ้าตามที่ระบุไว้ในรายงาน IGA ซึ่งอาจจะเป็นค่าคงที่ หรือเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามสูตรที่ ESCO และผู้ประกอบการเห็นชอบร่วมกัน และการคำนวณต้นทุนพลังงานจากการดำเนินโครงการ ให้ใช้ราคาต่อ

หน่วย ตามที่ระบุไว้ในรายงาน IGA ซึ่งอาจจะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ หรือใช้ราคาจริง โดยที่ราคาผันผวนที่ยอมรับได้ไม่เกิน +/- 10%

อัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อสินค้าในกรณีฐาน ซึ่งวัดจากกำลังการผลิตในปีฐาน สามารถกำหนดเป็นค่าคงที่ในกรณีที่อัตราการผลิตในปีที่ใช้มาตรการไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ในกรณีที่อัตราการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง จะทำให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อสินค้ามีความแตกต่างกัน ดังนั้นการกำหนดอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อสินค้าในกรณีฐาน ในกรณีเช่นนี้ สามารถใช้ เป็นสมการ ตามที่ ESCO และผู้ประกอบการเห็นชอบร่วมกัน

อัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อสินค้าในกรณีฐานและการสร้างสมการ ได้จากการพล็อตกราฟโดยใช้ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิง (SFC) ในแกน Y และปริมาณของผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่ผลิตได้ในแกน X แล้วสร้าง Trendline และสร้างสมการ ซึ่งค่า R Square ที่ยอมรับได้จะต้องมีค่าสูงกว่า 0.80 โดยที่สมการที่ได้อาจจะเป็นสมการเชิงเส้น หรือสมการ Polynomial หรือสมการอื่นๆ ตามลักษณะของข้อมูล ทั้งนี้ ค่า R Square ที่ได้ในบางกรณีอาจจะต่ำกว่า 0.80 ให้เป็นไปตามที่ ESCO ตกลงกับผู้ประกอบการ



4.4.7 วิธีการหาค่าตัวแปรหรือข้อมูล

การได้มาซึ่งค่าตัวแปรหรือข้อมูล และนำตัวแปรหรือข้อมูลนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ให้ระบุการได้มาซึ่งข้อมูลลงในข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผล โดยทั่วไปตัวแปรหรือข้อมูลได้มาจาก 6 วิธีการได้แก่

1) ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด

ข้อมูลที่ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด ด้านปริมาณ เช่นปริมาณไอน้ำ และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งจะต้องตรวจวัดในช่วงเวลาที่ดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด และข้อมูลด้านสภาวะ เช่น แรงดันของไอน้ำ อุณหภูมิของน้ำเติมระบบ เป็นต้น

2) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

กรณีใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถทำได้โดยทดสอบการทำงานของระบบที่สภาวะต่างๆ ครอบคลุมย่านที่ใช้งานสูงที่สุดและต่ำที่สุด เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่ต้องการได้แก่ ประสิทธิภาพ และภาระงาน จากนั้นนำข้อมูลมาสร้างสมการถดถอย (Regression) ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์หรือโป รแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ โดยข้อมูลทดสอบต้องมีช่วงครอบคลุมย่านการใช้งานทั้งหมด ส่วนค่าในช่วงที่ไม่มีข้อมูลทดสอบ สามารถประเมินได้โดยการประเมินข้างน้อย (Conservative Approximation)

ในกรณีที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าตัวแปรให้ทำการทดสอบค่าที่ได้จากแบบจำล องและค่าที่ได้จากการตรวจวัดหรือบันทึกจากมิเตอร์แสดงผลของอุปกรณ์ แล้วใช้หลักการทางสถิติหาค่า 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

ตัวแปรหรือข้อมูลบางตัวสามารถหาได้จากสถาบันการตรวจวัดที่มีการตรวจวัดข้อมูลไว้ตลอดปีเช่น 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 หมายถึงตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมต่อการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และมีความจำเป็นต้องถูกควบคุมให้เกิดสภาวะควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตามมาตรการที่ ESCO เสนอขาย บางครั้งตัวแปรควบคุมไม่สามารถบังคับได้ เช่น อุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ และแรงดันไอน้ำที่จ่าย ซึ่งมีผลต่อการนำไปคำนวณหาค่าพลังงาน ให้คณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผลใช้วิธีเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นและเลือกข้อมูลที่มีสภาวะควบคุมใกล้เคียงกันมาใช้ โดยทั่วไปอนุโลมให้ตัวแปรควบคุมมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน 10%
3) คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	SFC_{BL}
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Specific Fuel Consumption - Baseline
หน่วย	$Unit/Ton_{Product}$
ความหมาย	อัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อสินค้าที่ผลิตได้ในกรณีฐาน
แหล่งข้อมูล	จากการวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงาน
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	FC_{BL}
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Fuel Consumption - Baseline
หน่วย	Unit/y
ความหมาย	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในกรณีฐาน
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัดการใช้พลังงานในโรงงาน
วิธีการตรวจวัด	จากมิเตอร์วัดปริมาณเชื้อเพลิงกาซธรรมชาติ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	PD_{BL}
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Production - Baseline
หน่วย	$Ton_{Product}$ /y
ความหมาย	ปริมาณสินค้าที่ผลิตได้ในกรณีฐาน
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลจากทางโรงงาน
วิธีการตรวจวัด	-
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	FC_{PJ}
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Fuel Consumption – Project
หน่วย	Unit/y
ความหมาย	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในมาตรการ
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัดการใช้พลังงานในโรงงาน
วิธีการตรวจวัด	จากมิเตอร์วัดปริมาณเชื้อเพลิงกาซธรรมชาติ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	EC_{PJ}
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Electric Consumption – Project
หน่วย	kWh/y
ความหมาย	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในมาตรการ
แหล่งข้อมูล	จากการตรวจวัดการใช้พลังงานในโรงงาน
วิธีการตรวจวัด	จากมิเตอร์วัดปริมาณไฟฟ้า
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	PD_{PJ}
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Production - Project
หน่วย	$Ton_{Product}$ /y
ความหมาย	ปริมาณสินค้าที่ผลิตได้จากมาตรการ
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลจากทางโรงงาน
วิธีการตรวจวัด	-
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$Saving_{Net}$
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Saving - Net
หน่วย	Baht/y
ความหมาย	ผลประหยัดของโครงการ
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลจากการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าจากมาตรการ
วิธีการตรวจวัด	ตรวจวัดผ่านมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า
ความถี่ในการบันทึกค่า	

ตัวแปร	$Cost_{BL}$
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Cost - Baseline
หน่วย	Baht/y
ความหมาย	ต้นทุนพลังงานในกรณีฐาน
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลจากการตรวจวัดการใช้พลังงานไอน้ำ
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$Cost_{PJ}$
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Cost - Project
หน่วย	Baht/y
ความหมาย	ต้นทุนพลังงานจากการดำเนินโครงการ
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลจากการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า
วิธีการตรวจวัด	จากการคำนวณ
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$P_{F,IGA}$
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Price - Fuel - IGA
หน่วย	Baht/Unit
ความหมาย	ราคาเชื้อเพลิงเดิมตามข้อตกลงใน IGA
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลจากใบแจ้งหนี้ของสถานประกอบการหรือของทางผู้ผลิต
วิธีการตรวจวัด	-
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$P_{F,PJ}$
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Price - Fuel - Project
หน่วย	Baht/Unit
ความหมาย	ราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการดำเนินโครงการ
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลจากใบแจ้งหนี้ของสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	-
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	$P_{E,PJ}$
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Price - Electric - Project
หน่วย	Baht/kWh
ความหมาย	ราคาไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินโครงการ
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลจากใบแจ้งหนี้ของสถานประกอบการ
วิธีการตรวจวัด	-
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

ตัวแปร	NCV_{BL}
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Net Calorific Value - Baseline
หน่วย	MJ/L
ความหมาย	ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงที่ใช้ในกรณีฐาน
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลจากการตรวจวัดการใช้พลังงานจากกรณีฐาน
วิธีการตรวจวัด	จากการส่งตรวจสอบผ่าน Lab
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

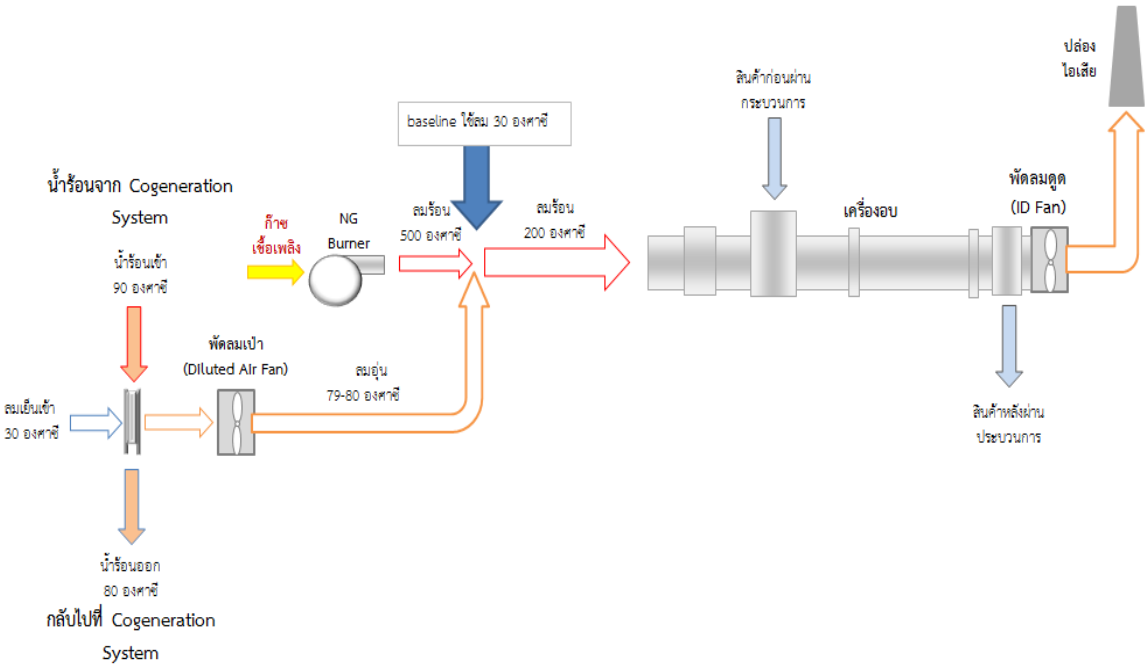
ตัวแปร	NCV_{PJ}
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ	Net Calorific Value - Project
หน่วย	MJ/L
ความหมาย	ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงที่ใช้ในมาตรการ
แหล่งข้อมูล	ข้อมูลจากการตรวจวัดการใช้พลังงานในมาตรการ
วิธีการตรวจวัด	จากการส่งตรวจสอบผ่าน Lab
ความถี่ในการบันทึกค่า	-

4.4.9 กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด: มาตรการระบบผลิตความร้อนจากความร้อนทิ้ง

1) รายละเอียดมาตรการ

สถานประกอบการ A ดำเนินธุรกิจผลิต อาหารสัตว์มีความร้อนที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ ใช้ไอน้ำและใช้ลมร้อน โดยจากเดิมทางโรงงานผลิตไอน้ำโดยใช้หม้อไอน้ำและผลิตลมร้อน โดยใช้หัวพ่นไฟแก๊ส (Gas Burner) ต่อมาทางโรงงานได้มีการป รับปรุงการใช้พลังงานในโรงงาน โดยได้ทำโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อนร่วม (Cogeneration Plant) เพื่อทดแทนการนำเข้าไฟฟ้าจากสายส่งและทดแทนการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำที่มีอยู่เดิม

โดยระบบ Cogeneration Plant นั้นมีการติดตั้งเครื่อง Gas Engine สำหรับผลิตไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่อง Gas Engine ทั้งหมด 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นความร้อนสูง ได้แก่ ไอร้อนเสียจากท่อไอเสียของเครื่อง Gas Engine ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังตัว HRSG (Heat recovery steam generator) เพื่อทำการผลิตไอน้ำป้อนให้กับกระบวนการผลิ ต และส่วนที่สอง ส่วนที่เป็นความร้อนต่ำ คือน้ำร้อนจากน้ำหล่อเย็นของเครื่อง Gas Engine ซึ่งเป็นส่วนที่เราจะดำเนินการปรับปรุงตามมาตรการนี้ โดยให้น้ำร้อนไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งจะมีพัดลมดูดอากาศผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้เป็นลมร้อน เพื่อเอาไป เสริมการผลิตลมร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเดิม ดังภาพ



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตลมร้อนจากน้ำร้อนเหลือทิ้งเสริมระบบเดิม

2) แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

การเลือกรูปแบบของการตรวจวัดและพิสูจน์ผล ของมาตรฐานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลนี้อ้างอิงมาตรฐานของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ซึ่งมีให้เลือกใช้ได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ A B C และ D โดยคณะทำงานตรวจวัดและพิสูจน์ผล (Measurement and Verification Unit, M&V Unit) ได้เลือกแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผล*รูปแบบ B การตรวจวัดตามมาตรการที่ ปรับปรุง(Retrofit Isolation)* เนื่องจากระบบผลิตความร้อนจากความร้อนเหลือทิ้ง สามารถตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานเฉพาะมาตรการที่ปรับปรุง แยกออกจากส่วนการผลิตส่วนอื่นๆ ของสถานประกอบการ

2.1) วิธีการตรวจวัด

โดยการปรับปรุงตามมาตรการนั้น จะทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลจาก เครื่องวัดเดิมที่ใช้สำหรับวัดปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติและปริมาณสินค้าที่สามารถผลิตได้

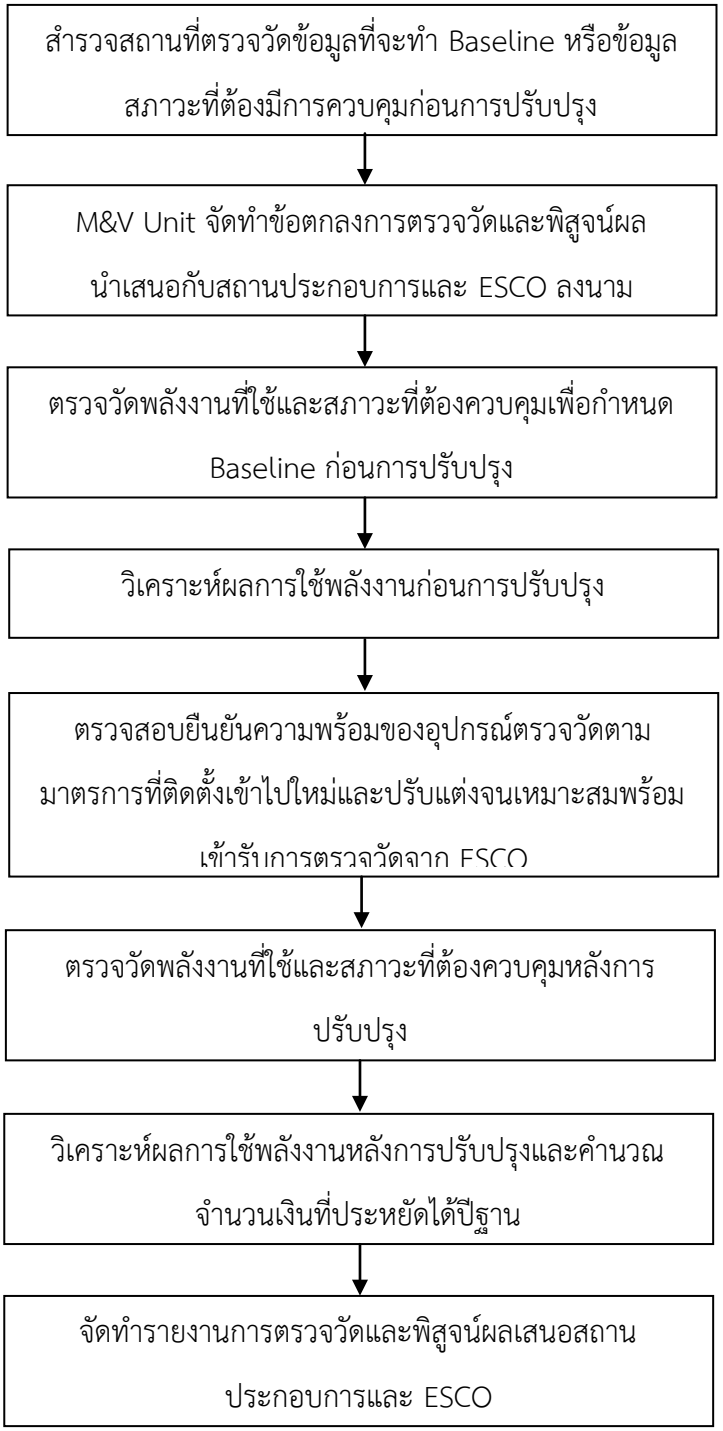
2.2) เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด

จะมีการเก็บข้อมูลจากมิเตอร์ตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติตัวเดียวกันทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง โดยจะมี การบันทึกข้อมูลจากเครื่องมือวั ดลงในบันทึกการปฏิบัติงาน

(Log Sheet) เป็นประจำทุกกะ เพื่อให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในกรณีที่มีความจำเป็น

3) ขั้นตอนและข้อมูลการตรวจวัด

สำหรับขั้นตอนในการตรวจวัด M&Vได้กำหนดขั้นตอนการตรวจวัดสำหรับมาตรการโดยการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติและสินค้าที่ผลิตได้



3.1) ตัวแปรหลัก

ตัวแปรหลัก คือ ข้อมูลการตรวจวัดหรือค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีการนำเอาไปใช้ ในการคำนวณผลประหยัดหลังจากดำเนินการปรับปรุงตามมาตรการดังตาราง

ลำดับที่	ตัวแปรหลัก	หน่วย
1	ปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ	m^3
2	ปริมาณสินค้าที่ผลิตได้จากมาตรการ	$Ton_{Product}$

3.2) ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุม

คือการควบคุมสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ ที่จะทำการปรับปรุงตามมาตรการโดยปัจจัยพิจารณา ได้แก่ ภาระทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงควรควบคุมให้เหมือนการทำงานในสภาวะการใช้งานปกติ ของสถานประกอบการที่สุด นอกจากนี้ยังพิจารณาค่าตัวแปรที่ส่งผลรบกวนต่อการตรวจวัด ทั้งตัวแปรบางตัวไม่สามารถควบคุมได้ อาจไม่นำมาพิจารณาขึ้นอยู่กับการตัดสินใจร่วมกันระหว่าง M&V Unit, ESCO และสถานประกอบการ

3.3) ข้อมูลของสถานประกอบการ

ข้อมูลทั่วไปที่ M&V Unitจะต้องใช้ในการวิเคราะห์ผลที่ ESCO ยอมรับและต้องขอข้อมูลจากสถานประกอบการนี้โดยไม่ต้องตรวจวัด เช่น ราคาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ราคาค่าไฟฟ้าที่ใช้จากบิลชำระหนี้ค่าไฟฟ้า เป็นต้น

4) แนวทางการรับรองการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน

เพื่อป้องกันการเกิดข้อโต้แย้งหลังการตรวจวั ดและพิสูจน์ผล จึงควรมีการประชุมร่วมกันและอธิบายให้ทุกฝ่ายได้เข้าใจถึงแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลที่ M&V Unit จัดทำขึ้นโดยใช้ทฤษฎีทางวิศวกรรมประยุกต์เข้ากับเครื่องจักรหรือระบบที่จะทำการปรับปรุงของสถานประกอบการ และเมื่อทุกฝ่ายเข้าใจในข้อตกลงการตรวจวัดและพิ สูจน์ผลที่ M&V Unit จัดทำขึ้นแล้ว ควรให้มีการลงนามไว้เพื่อเป็นหลักฐานด้วย ตามสมควร

5) การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

5.1) ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง ทางโรงงานมีกระบวนการใช้ลมร้อนสำหรับอบอาหารสัตว์ โดยมีการใ ช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติป้อนให้กับ หัวพ่นไฟแก๊ส (Gas Burner)เพื่อสร้างเปลวไฟผ่านท่อที่มีการติดตั้งระบบพัดลมดูดอากาศ ทำให้เกิดลมร้อนขึ้น โดยลมร้อนที่เกิดขึ้นนั้นจะถูกส่งไปตามท่อเพื่อส่งเข้ากระบวนการอบต่อไป ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลของปริมาณก๊าซ

ธรรมชาติที่ใช้และปริมาณสินค้าที่สามารถผลิตได้ เพื่อทำการคำนวณหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อสินค้าที่ผลิตได้ในกรณีฐานในหนึ่งเดือนตามสมการ

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

โดยที่

SFC_{BL} = อัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติต่อสินค้าที่ผลิตได้

FC_{BL} = ปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (NG) ที่ใช้

PD_{BL} = ปริมาณสินค้าที่ผลิตได้

จากนั้นเก็บข้อมูลในตาราง ซึ่งจากตัวอย่างเป็นข้อมูลเป็นการใช้พลังงานเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในการอบอาหารสัตว์ของเดือนกันยายนก่อนที่จะมีการปรับปรุงตามมาตรการ

Date	NG	Product	Baseline SFC:
	m3	Ton	m3 of NG/Ton
1-Sep-12	2,758	574	4.81
2-Sep-12	2,775	554	5.01
3-Sep-12	2,882	538	5.36
4-Sep-12	2,944	530	5.55
5-Sep-12	3,154	599	5.27
6-Sep-12	3,115	576	5.41
7-Sep-12	3,064	531	5.77
8-Sep-12	2,443	463	5.27
9-Sep-12	3,578	1,051	3.40
10-Sep-12	3,679	1,083	3.40
11-Sep-12	3,106	864	3.60
12-Sep-12	3,167	875	3.62
13-Sep-12	3,270	866	3.78
14-Sep-12	2,415	804	3.00
15-Sep-12	3,106	791	3.93
16-Sep-12	3,460	783	4.42
17-Sep-12	3,292	759	4.34
18-Sep-12	3,188	707	4.51
19-Sep-12	3,453	773	4.46
20-Sep-12	3,306	880	3.76
21-Sep-12	3,081	764	4.03
22-Sep-12	3,415	903	3.78
23-Sep-12	3,808	918	4.15
24-Sep-12	3,369	886	3.80
25-Sep-12	3,260	812	4.01
26-Sep-12	2,848	622	4.58
27-Sep-12	2,912	1,029	2.83
28-Sep-12	2,836	1,024	2.77
29-Sep-12	2,650	959	2.76
30-Sep-12	2,626	638	4.12
Sum	92,960	23,157	4.01

รูปที่ 2ตารางการคำนวณหา SFC_{BL} ในกรณีฐาน

5.2) ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

หลังการปรับปรุงตามมาตรการ ได้เอาน้ำร้อนซึ่งเป็นน้ำหล่อเย็นของเครื่อง Gas Engine ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้ได้ลมร้อนเพื่อเอาไปเสริมการผลิตลมร้อนจากระบบผลิตลมร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเดิม โดยมีการใช้ปั๊มส่งน้ำร้อนซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสำหรับมาตรการนี้ แต่เนื่องจากค่าพลังงานไฟฟ้านี้เป็นส่วนที่ผู้ประกอบการได้ตกลงกับ ESCO ให้ไม่นำมาคิด

สามารถเก็บข้อมูลของปริมาณก๊าซธรรมชาติที่ใช้และปริมาณสินค้าที่สามารถผลิตได้หลังการปรับปรุง ได้ดังนี้

FC_{PJ} = ปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในมาตรการ

PD_{PJ} = ปริมาณสินค้าที่ผลิตได้จากมาตรการ

Date	NG	Product	Project SEC:
	m3	Ton	m3 of NG/Ton
1-Oct-12	2,012	1,029	1.96
2-Oct-12	1,836	1,024	1.79
3-Oct-12	1,700	959	1.77
4-Oct-12	1,733	818	2.12
5-Oct-12	1,684	733	2.30
6-Oct-12	1,802	906	1.99
7-Oct-12	877	238	3.68
8-Oct-12	2,118	1,015	2.09
9-Oct-12	1,951	1,095	1.78
10-Oct-12	1,783	803	2.22
11-Oct-12	2,004	1,005	1.99
12-Oct-12	1,871	900	2.08
13-Oct-12	1,970	960	2.05
14-Oct-12	1,812	552	3.28
15-Oct-12	2,070	576	3.60
16-Oct-12	1,779	765	2.33
17-Oct-12	1,910	430	4.45
18-Oct-12	1,890	491	3.85
19-Oct-12	2,354	710	3.32
20-Oct-12	1,883	576	3.27
21-Oct-12	1,611	692	2.33
22-Oct-12	1,611	693	2.32
23-Oct-12	1,700	637	2.67
24-Oct-12	1,458	512	2.85
25-Oct-12	1,251	455	2.75
26-Oct-12	1,375	473	2.91
27-Oct-12	1,541	804	1.92
28-Oct-12	1,510	769	1.96
29-Oct-12	1,859	869	2.14
30-Oct-12	1,857	847	2.19
Sum	52,812	22,335	2.36

รูปที่ 3 ตารางการปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติและปริมาณสินค้าที่ผลิตได้จากมาตรการ

5.3) การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงาน

1) ต้นทุนพลังงานในกรณีฐาน

$Cost_{BL}$ = $P_{F,IGA}$ (PD_{PJ} x SFC_{BL})

- ราคาเชื้อเพลิงเดิมตามข้อตกลงใน IGA ($P_{F,IGA}$) = 320 Baht/m^3

- ปริมาณสินค้าที่ผลิตได้ในช่วงที่วัดผลการดำเนินโครงการ (PD_{PJ}) = 22,335$Ton_{Product}$

- อัตราการใช้เชื้อเพลิงในกรณีฐาน (SFC_{BL}) = 4.01 m^3/$Ton_{Product}$

$Cost_{BL}$ = 320 (22,335 x 4.01)

$Cost_{BL}$ = 28,660,272 Baht

2) ต้นทุนพลังงานจากการดำเนินโครงการ

$Cost_{PJ}$ = $P_{F,PJ}$ x FC_{PJ}

- ราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการดำเนินโครงการ ($P_{F,PJ}$) = 320 Baht/m^3

- ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจากการดำเนินโครงการ (FC_{PJ}) = 52,812 m^3

$Cost_{PJ}$ = 320 x 52,812

$Cost_{PJ}$ =16,899,840 Baht

ดังนั้นสามารถคิดผลประหยัดของโครงการได้ดังนี้

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

$Saving_{Net}$ = 28,660,272 - 16,899,840

$Saving_{Net}$ = 11,760,432 Baht

<u>สรุป</u>

จากการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงานตามมาตรการ ระบบผลิตความร้อนจากความร้อนทิ้ง ได้ผลประหยัด ถึง 11,760,432 บาท ภายในเดือนตุลาคมเที ยบกับเดือนกันยายนที่เป็นกรณีฐาน

5.4) การรับรองรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน

จะแบ่งเป็นการรับรองโดย ทางผู้ตรวจวัด สถานประกอบการ และบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) โดยจะมีรูปแบบการร่างเอกสารรับรองดังนี้

<u>ผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน</u>

ข้าพเจ้า .....ในฐานะผู้ได้รับมอบหมายให้ดำเนินการในนามของ .....ซึ่งเป็นผู้ตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานของ ..... ขอรับรองว่าผลการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานในรายงานฉบับนี้ เป็นไปตามข้อตกลงการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ที่นำเสนอ

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง หัวหน้าคณะผู้ตรวจวัดฯ / ผู้เชี่ยวชาญพลังงาน

วันที่.....

<u>สถานประกอบการ</u>

บริษัท.....เป็นผู้ได้รับการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการใช้พลังงาน ยอมรับในแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผล และยินดีที่ให้ผู้ตรวจวัดเข้ามาดำเนินการตรวจวัดและพิสูจน์การใช้พลังงานตามแนวทางที่ผู้ตรวจวัดและพิสูจน์การใช้พลังงาน นำเสนอทุกประการ พร้อมกันนี้ยินดีให้ข้อมูลที่เป็นประโ ยชน์ต่อการดำเนินงานในโครงการ

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง ตัวแทนสถานประกอบการ

วันที่.....

<u>บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO)</u>

บริษัท.....ในฐานะผู้มีอำนาจลงนามของ ESCO คือ บริษัท.....ยอมรับผลประหยัดที่เกิดขึ้นตามรายงานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานที่คณะทำงานและพิสูจน์ผลฯ ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลฯ ตามแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลฯ ที่ได้เสนอมา

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ

วันที่.....