กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คู่มือการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในภาคอุตสาหกรรม

กรณีศึกษา : อุตสาหกรรมผลิตเอทานอล

ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม

กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน
กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

คู่มือการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในภาคอุตสาหกรรม

กรณีศึกษา : อุตสาหกรรมผลิตเอทานอล

ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม

สารบัญ

บทที่ 2 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

2.3 กรณีศึกษาที่ 3 2-1

บทที่ 3 การตรวจวัดและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

3.3 กรณีศึกษาที่ 3 3-1

บทที่ 4 การตรวจวัดประสิทธิภาพจากการใช้ก๊าซชีวภาพและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพ

4.3 การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพด้านการนำความร้อนเหลือทิ้ง (Waste Heat) เหลือจาก Gas Engine Generator กลับมาใช้ประโยชน์ โดยการนำความร้อนจากน้ำระบายความร้อนของ Gas Engine มาใช้ต้มน้ำร้อนในหม้อต้มน้ำร้อนสำหรับกระบวนการ CIP 4-1

4.4 การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพด้านการนำความร้อนเหลือทิ้ง (Waste Heat) ที่เหลือจาก Gas Engine Generator กลับมาใช้ประโยชน์ โดยการนำความร้อนจากไอเสียของ Gas Engine มาใช้ผลิตไอน้ำทดแทนการผลิตไอน้ำจาก Boiler..... 4-7

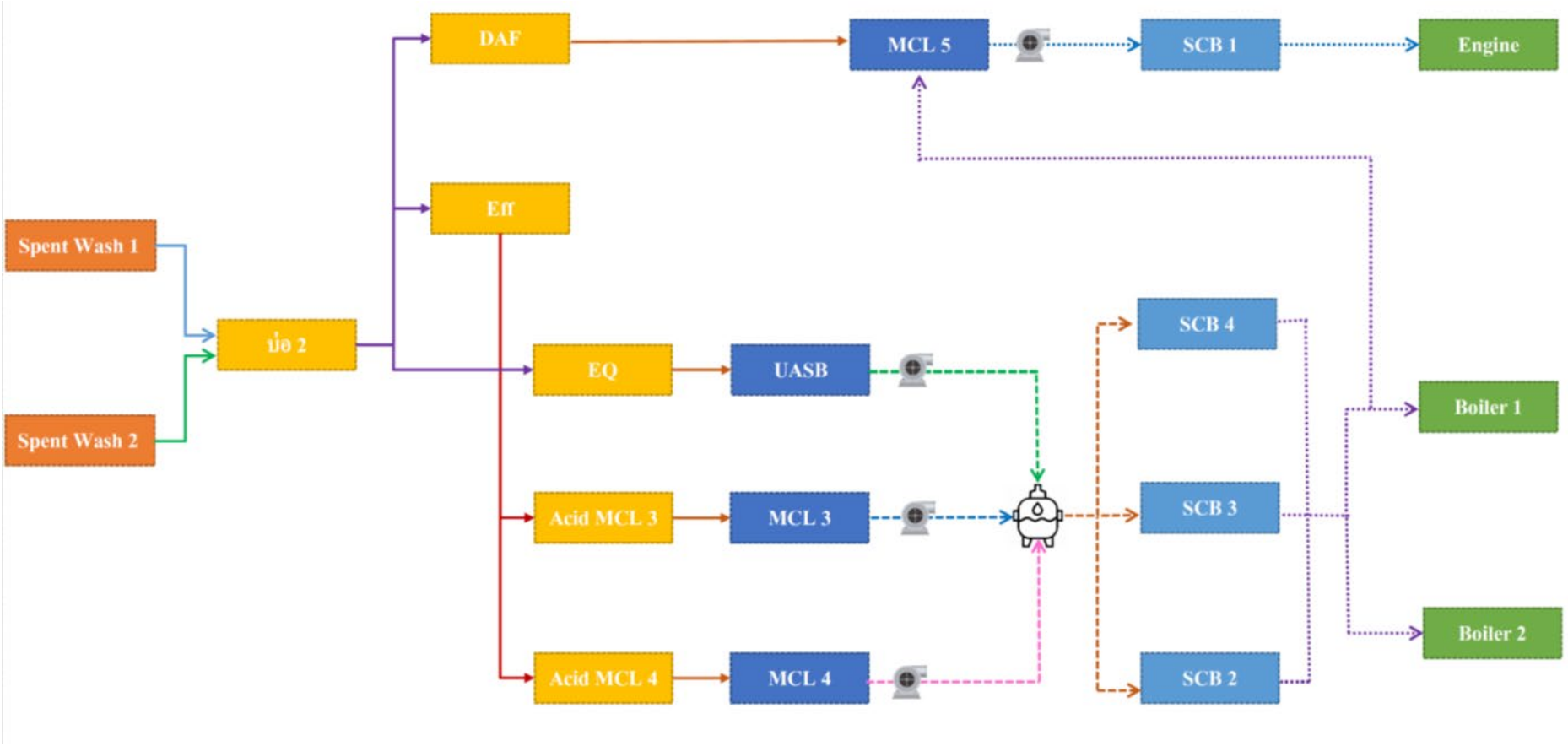
บทที่ 2

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
กรณีศึกษา : โรงงานเอทานอล

2.3 กรณีศึกษาที่ 3: กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของกรณีศึกษาที่ 3 โรงงานมีกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบกากน้ำตาล (Molasses) โดยน้ำเสียจะถูกรวบรวมไว้ที่บ่อกักเก็บน้ำเสีย หมายเลข 2 และจากนั้นจะส่งน้ำเสียสู่บ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ โดยโรงงานมีบ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Modified Covered Lagoon (MCL) จำนวน 3 บ่อ แบ่งเป็น ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ MCL หมายเลข 3 (MCL 3), MCL หมายเลข 4 (MCL 4) และ MCL หมายเลข 5 (MCL 5) และระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) โดยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Modified Covered Lagoon (MCL) เป็นระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศที่พัฒนามาจากระบบ Covered Lagoon แต่มีการดัดแปลงเพิ่มเติม เช่น มีการเพิ่มท่อกระจายน้ำเพื่อให้น้ำเสียและจุลินทรีย์สัมผัสกันอย่างทั่วถึง เพิ่มการสูบตะกอนเวียนย้อนกลับเพื่อเพิ่มเวลากวนผสม และระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง สามารถบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมได้หลายประเภท

จากกระบวนการผลิตเอทานอลของโรงงานใช้วัตถุดิบจากกากน้ำตาลและมันเส้น มีคุณสมบัติน้ำเสียที่แตกต่างกัน โดยน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลด้วยวัตถุดิบจากกากน้ำตาล (Spent Wash 1) จากการเก็บข้อมูลช่วงมกราคม - เมษายน พ.ศ. 2566 เพื่อคำนวณประสิทธิภาพของหน่วยผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า %COD Removal ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพของของระบบ MCL 3 มีประสิทธิภาพต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้และต่ำกว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพหน่วยอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ (กำหนดไว้ประมาณ 60% COD Removal) โดยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ MCL 3 มีค่า %COD Removal ประมาณ 46% ซึ่งพบปัญหาประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ลดลงบางหน่วย เนื่องจากเกิดปัญหาตะกอนสะสมในบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 2-1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานเอทานอล กรณีศึกษาที่ 3

ผังกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพของทุกหน่วยการผลิตก๊าซชีวภาพ แสดง Layout ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ดังรูปที่ 2-2

ค่าประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพในปัจจุบันของโรงงานของแต่ละหน่วยผลิตก๊าซชีวภาพ (ค่าช่วงมกราคม - เมษายน พ.ศ. 2566) แสดงได้ดังนี้

(1) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ MCL 5 มีค่า %COD Removal ประมาณ 68%
(2) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ MCL 4 มีค่า %COD Removal ประมาณ 59%
(3) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ UASB มีค่า %COD Removal ประมาณ 61%
(4) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ MCL 3 มีค่า %COD Removal ประมาณ 46%

2.3.1 บ่อรับน้ำเสีย

บ่อรับน้ำเสียทำหน้าที่รวบรวมน้ำเสียที่ส่งมาจากกระบวนการผลิตเอทานอล โดยมีปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเฉลี่ยประมาณ 1,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลด้วยวัตถุดิบกากน้ำตาลจากสายการผลิต 1 (Spent Wash 1) และสายการผลิต 2 (Spent Wash 2) จะถูกรวบรวมน้ำเสียไว้ที่บ่อรับน้ำเสียหมายเลข 2 (บ่อ 2) จากนั้นน้ำเสียสู่บ่อผลิตก๊าซชีวภาพ โดยแบ่งการป้อนน้ำเสียบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ จำนวน 4 บ่อ ได้แก่ (1) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ MCL 5 (2) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ MCL 4 (3) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ UASB และ (4) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ MCL 3

2.3.2 บ่อรวบรวมน้ำเสีย หรือบ่อ 2

น้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบกากน้ำตาล หลังจากน้ำเสียเข้าสู่บ่อรับน้ำเสีย Spent Wash 1 และ Spent Wash 2 ด้วยอัตราน้ำเสียเข้าสู่บ่อ 1,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน น้ำเสียจะถูกส่งเข้าสู่บ่อรวบรวมน้ำเสียหรือบ่อ 2 เพื่อปรับอุณหภูมิและรองรับน้ำเสียก่อนเข้าสู่บ่อผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 4 บ่อ ได้แก่ บ่อ UASB บ่อ MCL3 บ่อ MCL4 และบ่อ MCL5

2.3.3 บ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

หน่วยผลิตก๊าซชีวภาพแบบ UASB เป็นระบบบำบัดน้ำเสียและระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ คลุมบ่อด้วยผ้าใบ HDPE ลักษณะการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ UASB แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายพร้อมด้วยระบบกระจายน้ำเสียในบริเวณด้านล่างของถัง การไหลของน้ำเสียเป็นการไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน แบคทีเรียในถัง UASB จะควบคุมให้มีความหนาแน่นและสะสมเป็นชั้นตะกอนในบริเวณด้านล่างของถัง เมื่อเริ่มเดินระบบ แบคทีเรียในชั้นตะกอนจะรวมกันเป็นเม็ด (Granule) โดยเม็ดตะกอนที่มีความหนาแน่นสูงจะจมตัวอยู่ด้านล่าง มีการจัดเรียงตัวจากขนาดใหญ่ขึ้นไปหาเล็ก (2) ส่วนกลุ่มที่มีความหนาแน่นและมีความเร็วในการจมตัวต่ำจะฟุ้งกระจายขึ้นมาเป็นชั้นตะกอนแขวนลอย ส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซบริเวณด้านบน เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมเซลล์แบคทีเรียที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง และทำหน้าที่รวมรวบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยบ่อผลิตก๊าซชีวภาพของ UASB

2.3.4 บ่อผลิตก๊าซชีวภาพ Modified Covered Lagoon (MCL)

น้ำเสียจากบ่อ 2 จะเข้าสู่บ่อผลิตก๊าซชีวภาพแต่ละบ่อ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพเป็นระบบที่ใช้เป็นเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Modified Covered Lagoon (MCL) จำนวน 3 บ่อ (MCL 3 MCL 4 และ MCL 5) โดยโครงสร้างของ MCL ก่อสร้างเป็นบ่อดินที่ปิดคลุมด้วยแผ่นพลาสติกทำด้วย HDPE และมี HDPE รองพื้น โดยมีท่อกระจายน้ำสำหรับป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบจากด้านข้างและด้านล่างของบ่อ การกวนผสมของระบบจะอาศัยการไหลวนของน้ำเสียตลอดเวลา ซึ่งการวางแนวท่อด้านล่างบ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบ MCL จะเกิดการกวนผสมเพื่อให้เกิดการสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียและจุลินทรีย์ที่อยู่ในบ่อหมัก จากนั้นน้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ถังหมักจะเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นกรดอินทรีย์โดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด ซึ่งกรดอินทรีย์ดังกล่าวเป็นสารตั้งต้นให้แบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนทำการย่อยสลายต่อและได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นก๊าซชีวภาพ

2.3.5 ระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียจะมีองค์ประกอบก๊าซ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ความชื้น เป็นต้น ดังนั้น ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ควรทำความสะอาดก๊าซชีวภาพเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน โดยเลือกใช้เทคโนโลยี Bio-Scrubber ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำเสีย Spent wash 1 รวมกับ Spent wash 2 มีปริมาณเฉลี่ยประมาณ 105,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยระบบ H_2S Bio-Scrubber เพื่อลดความเข้มข้นของ H_2S ให้อยู่ในช่วงไม่เกิน 200-500 ppm ด้วย H_2S Bio-Scrubber จำนวน 4 ชุด และก๊าซชีวภาพที่ผ่านการบำบัดจะนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตไอน้ำด้วยหม้อน้ำ (Boiler) และผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ Gas Engine Generator ขนาดกำลังการผลิตติดตั้งรวม 3.6 MW เพื่อนำไอน้ำและไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล

บทที่ 3
การตรวจวัดและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ
กรณีศึกษา : โรงงานเอทานอล

3.3 กรณีศึกษาที่ 3

3.3.1 การตรวจวัดระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การตรวจวัดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ควรดำเนินการตรวจวัดระบบผลิตก๊าซชีวภาพทางกายภาพและตรวจสอบคุณสมบัติน้ำเสียและคุณสมบัติก๊าซชีวภาพ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีแนวทางตรวจสอบคุณสมบัติน้ำเสีย คุณสมบัติก๊าซชีวภาพ รายละเอียดดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 แนวทางการตรวจสอบและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การตรวจสอบ	ประเด็นตรวจสอบ	เกณฑ์การตรวจสอบ
การตรวจสอบคุณสมบัติน้ำเสียและคุณสมบัติก๊าซชีวภาพ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	• ประสิทธิภาพการกำจัด COD (%COD Removal)	• ควรมีการประเมิน %COD Removal ควรมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำเสียทุกวัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ • น้ำเสียจากโรงงานเอทานอลวัตถุดิบกากน้ำตาล ควรมีค่า %COD Removal ไม่ต่ำกว่า 50-55% • น้ำเสียจากโรงงานเอทานอลวัตถุดิบมันสำปะหลัง ควรมีค่า %COD Removal ไม่ต่ำกว่า 65-70%
	• $\%CH_4$	• ควรมีการตรวจสอบคุณสมบัติก๊าซชีวภาพด้วยการติดตั้ง Gas Flow Meter เพื่อ Monitoring คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ เช่น $\%CH_4$ ไม่ควรต่ำกว่า 50% เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตไอน้ำด้วยหม้อน้ำ หรือผลิตไฟฟ้าได้
	• ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่าง (VFA/Alkalinity)	• ควรมีตรวจวัดคุณสมบัติน้ำเสีย ค่า VFA และค่า Alkalinity เพื่อตรวจสอบค่าอัตราส่วน VFA/Alkalinity ของน้ำเสียไม่ควรมากกว่า 0.60 - 0.70
	• pH	• ควรมีตรวจวัดคุณสมบัติน้ำเสีย pH เพื่อตรวจสอบค่า pH ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5-7.2
	• การตรวจระดับตะกอนสะสม	• ควรมีการตรวจวัดระดับตะกอนสะสมด้วยความถี่ประมาณ 1 ครั้ง/สัปดาห์และควรมีการนำตะกอนออกจากระบบหากพบว่าตะกอนสะสมในระบบสูงเกินไป

3.3.2 แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ผลการประเมินค่าศักยภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (ก่อนปรับปรุง)

ตารางที่ 3-2 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และตารางที่ 3-3 แสดงคุณสมบัติน้ำเสียที่ตรวจวัดจากขาเข้าและออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ จะเห็นว่าน้ำเสียขาเข้าบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ MCL3 มีค่า COD อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง ประมาณ 144,368 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีอัตราการป้อนน้ำเสียประมาณ 685 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่า COD ของน้ำเสียขาออกจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ MCL3 ประมาณ 78,536 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ หรือ %COD Removal ประมาณ 46% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากสภาพปัญหาปัจจุบันบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่มีอายุการใช้งานนานที่สุด และมีการออกแบบรูปทรงของบ่อหมักที่ค่อนข้างสั้น ส่งผลให้มีโอกาสเกิดการลัดวงจรในการป้อนน้ำเสียเข้าและออก (Wastewater Short Circuit) ได้ง่าย อีกทั้งยังมีระบบท่อกวนผสมภายในบ่อที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัด COD (% COD Removal) มีค่าลดลงกว่าค่าการออกแบบ ผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่าค่าการออกแบบ ซึ่งจากการสำรวจและวิเคราะห์ตัวอย่าง พบว่า มีข้อสังเกตดังกล่าว ศักยภาพของประสิทธิภาพของการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบ โดยสามารถนำเสนอข้อสังเกต วิเคราะห์สภาพปัญหาและแนวทางการปรับปรุงได้ตามตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ผลการประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	MCL3		UASB	
	ค่าเป้าหมาย/ค่าออกแบบ	ค่าเมื่อใช้งาน	ค่าเป้าหมาย/ค่าออกแบบ	ค่าเมื่อใช้งาน
ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบ (m^3/day)	1,000	685	1,200	490
COD ที่เข้าระบบ (mg/l)	130,000 ถึง 150,000	130,000 ถึง 150,000	90,000 ถึง 120,000	90,000 ถึง 130,000
ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (%)	60-65%	45-50%	75-80%	65-70%
อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Loading, kgCOD/day)	150,000	98,824	108,000	62,034
ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวัน (Nm^3/day)	30,000	27,038		22,780
Biogas yield ($m^3/kgCOD_{Removed}$.day)	0.35	0.30	0.35	0.30
% CH_4	55%	50%	55%	50%
VFA/Alk ของน้ำเสียที่เข้าระบบ	0.4-0.5	2.7	0.4-0.5	1.1

หมายเหตุ: ค่าใช้งานเก็บข้อมูลในช่วงวันที่ 1 มกราคม - 26 เมษายน 2566

ตารางที่ 3-3 คุณสมบัติน้ำเสียที่ตรวจวัดจากขาเข้าและออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	Influent MCL3	Effluent MCL3	Influent UASB	Effluent UASB
pH	4.5 - 5	6 - 7	4.5 - 5	7.5
Total COD (mg/L)	120,000 – 160,000	50,000 – 100,000	140,000 – 150,000	50,000 – 60,000
VFA (mg/L as $CaCO_3$)	16,000 - 23,000	22,000 – 30,000	11,000 – 15,000	9,000 -10,000
Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	2,000 – 3,000	9,000 – 10,000	1,500 – 3,000	7,000 – 9,000
VFA/Alk	5.00-8.00	2.00-3.00	5.00-7.00	1.00-3.00

ตารางที่ 3-4 ประเด็นปัญหาและแนวทางปรับปรุงของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ข้อสังเกต	วิเคราะห์ปัญหา	แนวทางการปรับปรุง
1. ประสิทธิภาพการกำจัด COD หรือ %COD Removal ของบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ MCL3 ต่ำ	1.1 เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเข้าและออกจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ MCL3 พบว่าคุณสมบัติน้ำเสียขาออก ได้แก่ ค่า COD ขาออก ยังมีค่าสูง เมื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัด COD หรือ %COD Removal ของบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ MCL3 พบว่ามีประสิทธิภาพ 45% ต่ำกว่าค่าการออกแบบที่ 60-65% 1.2 เมื่อคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ หรือ Biogas yield ($m^3/kgCOD_{Removed}.day$) เท่ากับ 0.30 $m^3/kgCOD_{Removed}.day$ ที่ $\%CH_4$ 50% จากการคำนวณพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ประมาณ 27,038 Nm^3/day ต่ำกว่าค่าการออกแบบซึ่งควรผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 30,000 Nm^3/day	1.1 ปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ 2nd Stage Digester ด้วยการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเดินระบบน้ำเสียของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการนำน้ำเสียที่ออกจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ MCL 3 (1st Stage) ส่งต่อไปบำบัดขั้นที่สอง (2nd stage) ที่บ่อผลิตก๊าซชีวภาพ UASB ที่ยังสามารถรองรับน้ำเสียในอัตราน้ำเสียที่ออกจาก MCL3 ได้ ในรูปแบบ 2nd Stage Digester เพื่อเพิ่มระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ส่งผลให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพิ่มขึ้น
2. ปริมาณตะกอนสะสมจุลินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	2.1 ลักษณะของบ่อ MCL3 ที่มีขนาดเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู ไม่มีการกวนผสมของตะกอนก้นบ่อ ทำให้เกิดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบสูง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง และผลิตก๊าซชีวภาพได้ลดลง	2.1 ติดตั้งชุดกวนผสมเพื่อให้เกิดการฟุ้งของตะกอน ลดการสะสมของตะกอนก้นบ่อ

3.3.3 การประเมินศักยภาพการเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา สำหรับปัญหาประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ลดลงบางหน่วย ได้แก่ หน่วยผลิตก๊าซชีวภาพ MCL3 แนวทางการดำเนินมาตรการปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการปรับรูปแบบการป้อนน้ำเสียและเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ 2nd Stage Digester ด้วยการนำน้ำเสียที่ออกจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ MCL3 (1st Stage) ส่งต่อไปบำบัดขั้นที่สอง (2nd stage) ที่บ่อผลิตก๊าซชีวภาพ UASB ในรูปแบบ 2nd Stage Digester เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพรวม โดยมีแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ดังแผนผังที่ 3-1

เมื่อวิเคราะห์คำนวณโดยใช้ข้อมูลการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ยในปัจจุบัน กำหนดอัตราป้อนน้ำเสียเข้าสู่บ่อ MCL3 (1st Stage) ประมาณ 685 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณ COD ขาเข้าเฉลี่ย 144,367 มิลลิกรัมต่อลิตร COD ขาออกเฉลี่ย 78,536 มิลลิกรัมต่อลิตร คำนวณประสิทธิภาพ %COD Removal 46% ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่ $\%CH_4$ เท่ากับ 50% เท่ากับ 27,038 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และคำนวณการส่งน้ำเสียที่ออกจากบ่อ MCL 3 เข้าไปสู่บ่อผลิตก๊าซชีวภาพ UASB (2nd Stage) ด้วยอัตราน้ำเสียเข้าสู่บ่อ UASB ประมาณ 685 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน รวมกับอัตราน้ำเสียใหม่ (Influent) จากบ่อรองรับน้ำเสีย EQ ประมาณ 490 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน รวมเป็นปริมาณน้ำเสียรวมป้อนเข้าบ่อ UASB 1,174 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณ COD ขาเข้าเฉลี่ย 105,127 มิลลิกรัมต่อลิตร COD ขาออกเฉลี่ย 52,563 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ประสิทธิภาพ %COD removal เฉลี่ย 50% จะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 37,030 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน รายละเอียดดังรายการคำนวณด้านล่าง

บ่อผลิตก๊าซชีวภาพท MCL3 (1st Stage)

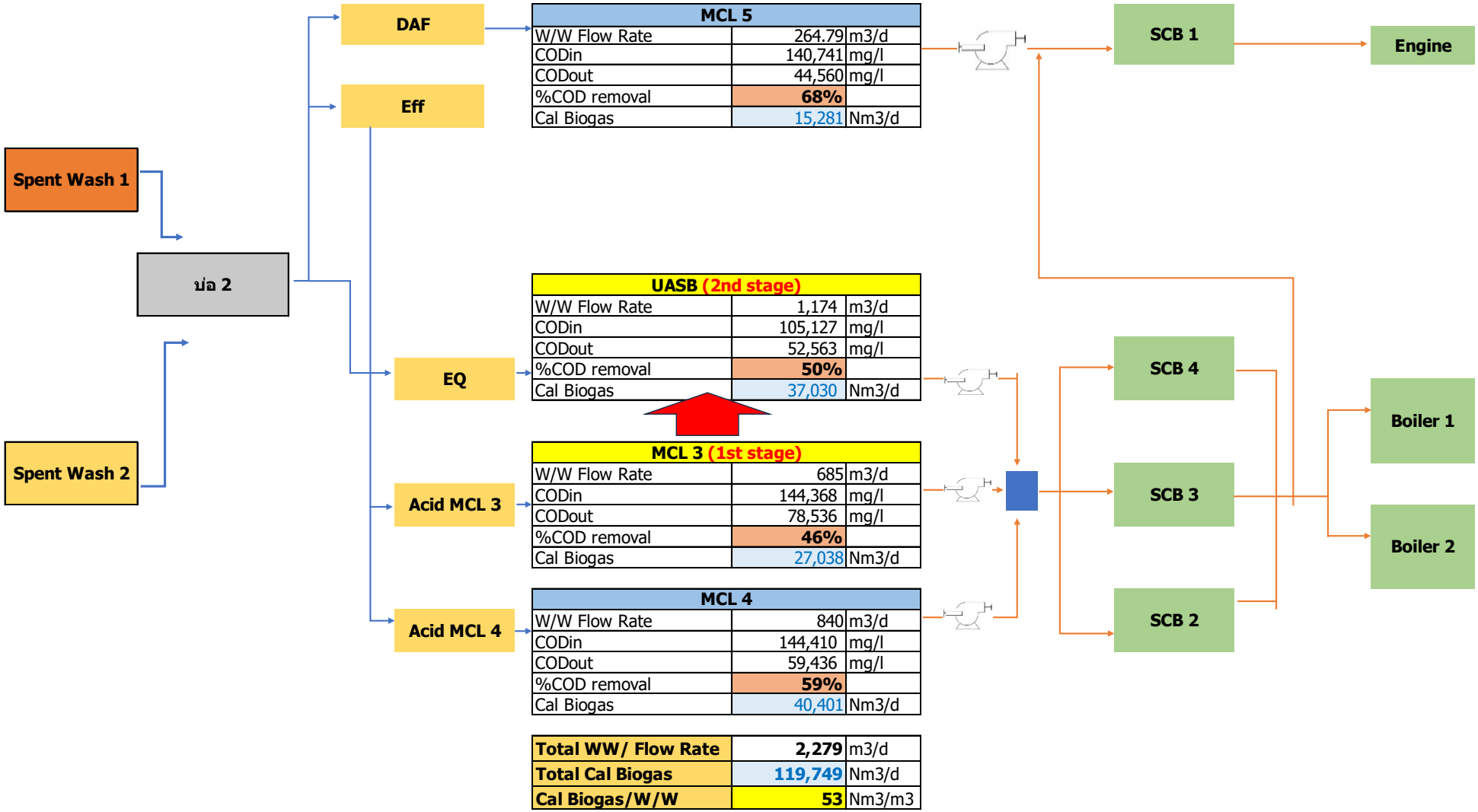
W/W Flow Rate	=	**684.53**	m^3/d
Wastewater Characteristic (average, estimation)			
CODin	=	144,367.57	mg/l
CODout	=	78,535.75	mg/l
%COD removal	=	**45.60%**	
COD loading	=	98,824.03	kgCODload/d
$\%CH_4$	=	50%	
CH4 Production	=	13,519.17	Nm^3-CH_4/d
Biogas Production	=	**27,038.34**	Nm^3/day

บ่อผลิตก๊าซชีวภาพ UASB (w/w from MCL3) (2nd Stage)

W/W Flow Rate	=	1,174.12	m^3/day
Total COD Load to UASB	=	123,432.12	kgCOD/d
CODin	=	105,127	mg/l
CODout	=	52,563	mg/l
%COD removal	=	**50.00%**	
$\%CH_4$	=	50%	
CH_4 Production	=	18,514.82	Nm^3-CH_4/d
Biogas Production	=	**37,029.63**	Nm^3/d

จากการคำนวณ พบว่า หากดำเนินมาตรการปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ 2nd Stage โดยการนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากบ่อ MCL3 เข้าสู่บ่อผลิตก๊าซชีวภาพบ่อ UASB ทำให้ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพรวมทั้งสิ้นจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ MCL5, UASB, MCL4 และ MCL3 เพิ่มขึ้นจาก 105,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เป็น 119,750 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน **คิดเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นประมาณ 14,249 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน** และเมื่อคำนวณเป็นปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้เพิ่มขึ้น โดยกำหนดค่าความร้อนเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพที่ 18.45 เมกะจูลต่อลูกบาศ์เมตร จะสามารถได้ผลประหยัดในรูปแบบปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้เพิ่มขึ้นของก๊าซชีวภาพประมาณ 78,868,245 เมกะจูลต่อปี หรือเทียบเท่าประมาณ 1,866 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (toe) ต่อปี โดยมีรายละเอียดดังนี้

ศักยภาพผลประหยัด		
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ (ก่อนปรับปรุง)	105,500.14	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ (หลังปรับปรุง)	119,749.14	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น	14,249.01	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ค่าความร้อนก๊าซชีวภาพ	18.45	เมกะจูลต่อลูกบาศ์เมตร
ค่าความร้อนที่ผลิตได้	262,894.15	เมกะจูลต่อวัน
วันเดินระบบ	300.00	วัน
	78,868,245.71	เมกะจูลต่อปี
เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ (การแปลงหน่วย: kJ/toe)	42,244.00	เมกะจูล
ศักยภาพผลประหยัด	**1,866.97**	ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อปี



แผนผังที่ 3-1 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 3-5 ผลการเพิ่มศักยภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	ค่าปัจจุบัน		[1]ผลการเพิ่มประสิทธิภาพระบบก๊าซชีวภาพ	
	MCL3	UASB	MCL3 (1st Stage)	UASB (2nd Stage)
ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบ (m^3/day)	685	490	685	1,174
COD ที่เข้าระบบ (mg/l)	144,368	142,306	144,368	105,127
COD ที่ออกระบบ (mg/l)	78,536	55,208	78,536	52,563
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ($kgCOD_{load}$/day)	98,824	69,672	98,892	123,419
ประสิทธิภาพการกำจัดค่า COD หรือ %COD removal (%)	45-50	60-70	45-50	55-60
ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ต่อวัน(Nm^3/day)	12,793	13,519	12,793	18,515
ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ต่อปี* (Nm^3/year)	4,055,751	3,837,810	4,055,751	5,554,445
ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวัน (Nm^3/day)	27,038	25,585	27,038	37,030
ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อปี* (Nm^3/year)	8,111,502	7,675,619	8,111,502	11,108,890

หมายเหตุ: *วันเดินระบบ 300 วันต่อปี
[1]ผลการเพิ่มประสิทธิภาพระบบก๊าซชีวภาพ

บทที่ 4
การตรวจวัดประสิทธิภาพจากการใช้ก๊าซชีวภาพและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพ
กรณีศึกษา : โรงงานเอทานอล

4.3 การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพด้านการนำความร้อนเหลือทิ้ง (Waste Heat) เหลือจาก Gas Engine Generator กลับมาใช้ประโยชน์ โดยการนำความร้อนจากน้ำระบายความร้อนของ Gas Engine มาใช้ต้มน้ำร้อนในหม้อต้มน้ำร้อนสำหรับกระบวนการ CIP

ในปัจจุบันโรงงานตัวอย่าง มีการใช้น้ำร้อนเพื่อใช้ชะล้างทำความสะอาดถังและอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการ CIP/SIP โดยกระบวนการผลิตน้ำร้อนนั้นจะใช้น้ำประปาที่ได้จากส่วนผลิตน้ำประปาของโรงงาน นำมาต้มในถังน้ำร้อนโดยใช้ไอน้ำมาต้มน้ำร้อนโดยตรง จากข้อมูลที่ได้จากทางโรงงานในส่วนของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงและต้องใช้น้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์ (Engine Jacket Water) ผ่านหม้อน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์ (Engine Radiator) ซึ่งน้ำระบายความร้อน จะมีอุณหภูมิหลังออกจากเครื่องยนต์ ประมาณ 90 – 95 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะนำความร้อนจากน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่จะใช้เป็นน้ำร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการ CIP/SIP รายละเอียดอธิบายในหัวข้อถัดไป

รูปที่ 4-1 หม้อต้มน้ำร้อนของโรงงาน

4.3.1 รายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

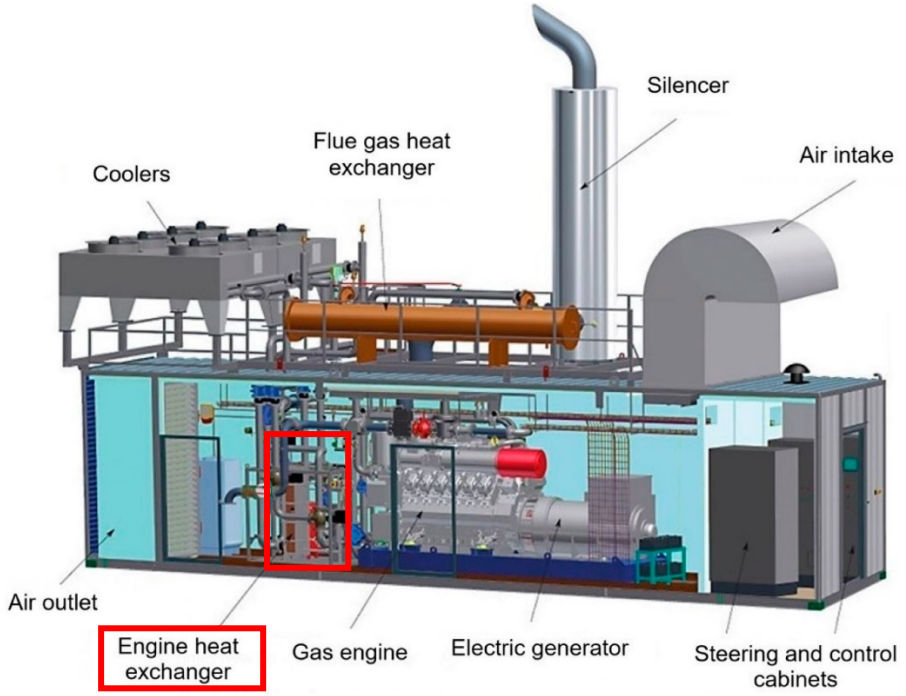
ในโรงงานตัวอย่างมีการใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพจำนวน 4 เครื่อง เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าใช้ในกระบวนการผลิตภายในโรงงาน โดยมีรายละเอียดเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 รายละเอียดเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

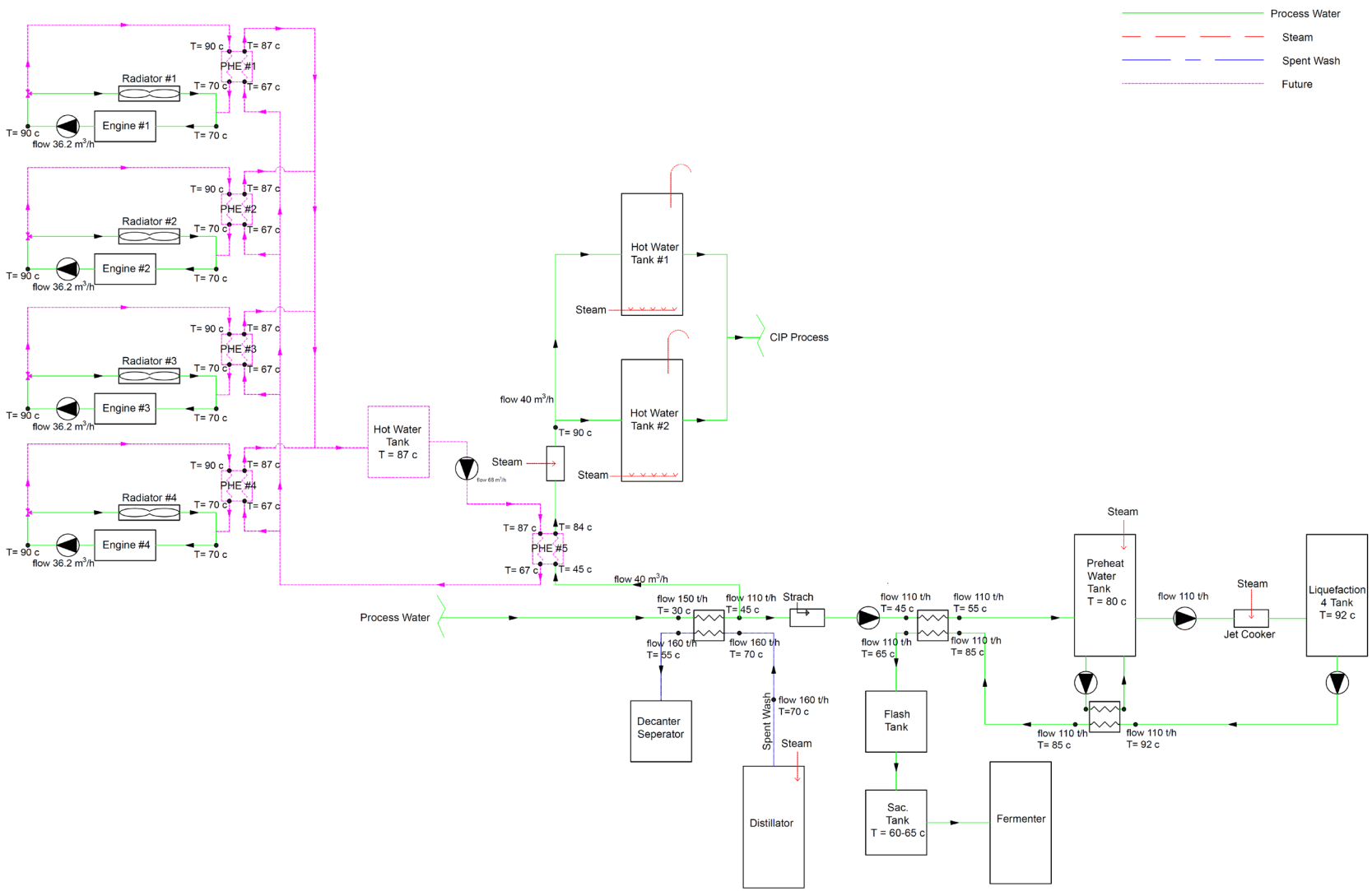
รายการ	เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ 1 - 4
ยี่ห้อ / รุ่น	JENBACHER / J 420 GS-B125
กำลังการผลิตไฟฟ้า	1,410 kW
อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้า/ออกเครื่องยนต์	70.0 °C / 90.0 °C
อัตราการไหลน้ำระบายเครื่องยนต์	36.2 m^3/h
อุณหภูมิไอเสียเครื่องยนต์	440 °C
อัตราการไหลไอเสียเครื่องยนต์	7,480 kg/h

4.3.2 แนวคิดและรายละเอียดการประเมินศักยภาพ

การนำน้ำระบายความร้อนของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (Biogas Engine) มาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่ต้องใช้ต้มเป็นน้ำร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการ CIP เป็นการนำความร้อนที่ต้องระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมกลับมาใช้ประโยชน์ (Waste Heat Recovery) ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้ไอน้ำ ลดต้นทุนที่ใช้ผลิตไอน้ำสำหรับต้มน้ำร้อน อีกส่วนหนึ่งยังช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับหม้อน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์ เพราะจะนำน้ำหล่อเย็นเครื่องยนต์ดังกล่าวมาแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่ออุ่นน้ำร้อนเพื่อใช้สำหรับกระบวนการ CIP เนื่องจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (Gas Engine Generator) มีการทำงานพร้อมกันหลายเครื่อง ทำให้ต้องมีการระบายความร้อนตลอดเวลา แต่การใช้น้ำร้อนสำหรับกระบวน CIP นั้นทำงานเป็นช่วงเวลา ตามแผนงานที่โรงงานวางไว้ จึงต้องมีถังพักน้ำร้อนที่หุ้มฉนวนและติดตั้งระบบเครื่องสูบน้ำร้อนและระบบส่งน้ำร้อนเพิ่มเติม เพื่อนำมาอุ่นน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เอาไปใช้ในกระบวนการ CIP โดยในช่วงเวลาที่ไม่มีความต้องการใช้น้ำร้อน น้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์จะถูก Bypass กลับไประบายความร้อนที่ชุดหม้อน้ำและพัดลมระบายความร้อนของเครื่องยนต์ (Engine’s Radiator) โดยทำงานอัตโนมัติผ่านวาล์วควบคุม เพื่อควบคุมให้น้ำหล่อเย็นและระบายความร้อนเครื่องยนต์มีอุณหภูมิเข้า-ออก ตามที่ผู้ผลิตเครื่องยนต์ได้กำหนดไว้



รูปที่ 4-2 ตัวอย่าง PHE, การติดตั้งระบบทำน้ำร้อนจากน้ำ Jacket Water ของ Gas Engine Generator
ที่มา: https://horus-energia.pl/gaz-biogaz/kogeneracja-poligeneracja/



รูปที่ 4-3 รูปแสดงรายละเอียดอุปกรณ์ ท่อ และเครื่องมือวัดต่างๆ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินหาปริมาณการใช้ไอน้ำในการต้มน้ำร้อน ก่อนปรับปรุง โดยการใช้งานน้ำร้อน จะมีอัตราการป้อนน้ำร้อนใช้ในระบบ CIP ที่ประมาณ 15 ตันต่อชั่วโมง อุณหภูมิน้ำ Process Water ก่อนเข้าหม้อต้มน้ำร้อน (Hot Water Tank) ปัจจุบันมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 45 องศาเซลเซียส และใช้ไอน้ำจากหม้อต้มไอน้ำ มาต้มน้ำร้อนจนได้น้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส จะใช้ปริมาณไอน้ำเท่ากับ 3.3 ตันไอน้ำต่อชั่วโมง หลังปรับปรุง อุณหภูมิน้ำ Process Water ก่อนเข้าหม้อต้มน้ำร้อนที่ผ่านแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์มาแล้วจะมีค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 84 องศาเซลเซียส และใช้ไอน้ำจากหม้อต้มไอน้ำ มาต้มน้ำร้อนให้ได้อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส จะใช้ปริมาณไอน้ำเท่ากับ 0.45 ตันไอน้ำต่อชั่วโมง จะใช้ปริมาณไอน้ำที่ใช้ต้มน้ำร้อนลดลง 2.8 ตันไอน้ำต่อชั่วโมง คิดเป็น 86.27% ที่ลดลง วิธีการคำนวณแสดงในตารางที่ 4-2 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณไอน้ำที่ใช้ต้มน้ำร้อน ก่อนและหลังปรับปรุง

ตารางที่ 4-2 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณไอน้ำที่ใช้ต้มน้ำร้อน ก่อนและหลังปรับปรุง

ปริมาณไอน้ำที่ใช้ต้มน้ำร้อน <u>ก่อนปรับปรุง</u>

อัตราน้ำป้อนเข้าระบบ CIP	คุณสมบัติน้ำก่อนเข้าหม้อต้มน้ำ		คุณสมบัติน้ำออกจากหม้อต้มน้ำ		คุณสมบัติไอน้ำที่ใช้ต้มน้ำร้อน		ปริมาณไอน้ำที่ใช้ต้มน้ำร้อน
ตัน/ชั่วโมง	Temp.	Enthalpy	Temp.	Enthalpy	Temp.	Enthalpy	ตันไอน้ำ/ชั่วโมง
	°C	kJ/kg	°C	kJ/kg	°C	kJ/kg	
40	45	188.00	90	376.94	100.00	2675.99	3.3

ปริมาณไอน้ำที่ใช้ต้มน้ำร้อน <u>หลังปรับปรุง</u>

อัตราน้ำป้อนเข้าระบบ CIP	คุณสมบัติน้ำก่อนเข้าหม้อต้มน้ำ		คุณสมบัติน้ำออกจากหม้อต้มน้ำ		คุณสมบัติไอน้ำที่ใช้ต้มน้ำร้อน		ปริมาณไอน้ำที่ใช้ต้มน้ำร้อน
ตัน/ชั่วโมง	Temp.	Enthalpy	Temp.	Enthalpy	Temp.	Enthalpy	ตันไอน้ำ/ชั่วโมง
	°C	kJ/kg	°C	kJ/kg	°C	kJ/kg	
40	84	351.00	90	376.94	100.00	2675.99	0.45

4.3.3 ศักยภาพการประหยัดพลังงานและการประหยัดค่าใช้จ่าย

จากข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์สามารถหาผลประหยัดด้านการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ ในส่วนนี้จะประเมินโดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากมีต้นทุนสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่โรงงานใช้อยู่ จากการวิเคราะห์พบว่า สามารถประหยัดเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพลดลง 10,392,208 บาทต่อปี และทำให้พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ 69,432,501.18 เมกะจูลต่อปี คิดเป็น 1,643.61 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อปี รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 4-3 ตารางประเมินผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4-3 ตารางประเมินผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง

ปริมาณไอน้ำที่ใช้ต้มน้ำร้อน ที่ลดลง	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ ที่ลดลง	LHV for Biogas	ประสิทธิภาพหม้อน้ำ	ปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ ที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ		ต้นทุนก๊าซชีวภาพ	ผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงต่อปี
ตันไอน้ำ/ชั่วโมง	kWth	MJ/Nm^3	%	Nm^3/h	Nm^3/year	THB/Nm^3	THB/year
2.83	1,955.47	19.91	73%	484.35	3,487,318	2.98	10,392,208

ตารางที่ 4-4 ตารางประเมินพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้รวม

รายการ	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาข้อมูล
คิดเป็นปริมาณพลังงานความร้อนที่เชื้อเพลิงใช้ในการผลิตไอน้ำ	kWth	1,955.47	
ประสิทธิภาพของหม้อน้ำ	%	73%	
	kJ/hr	9,643,402.94	
	MJ/hr	9,643.40	
พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้รวม	**MJ/year**	69,432,501.18	
เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	MJ/toe	42,244.000	42,244,000 kJ/toe
พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้รวม	**toe/year**	1,643.61	

4.3.4 ประเมินเงินลงทุนและผลตอบแทนการลงทุน

ผลการคำนวณผลประหยัดและวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน จะมีการลงทุนติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น จำนวน 5 ชุด ถังเก็บน้ำร้อนพร้อมงานหุ้มฉนวน 1 ถัง ชุดปั๊มน้ำร้อน ระบบท่อส่งน้ำร้อนพร้อมหุ้มฉนวน วาล์วควบคุม เครื่องมือวัดต่างๆ รวมถึงระบบไฟฟ้า ระบบควบคุม มูลค่ารวมประมาณ 9,510,000 บาท เมื่อคำนวณผลประหยัดด้านการใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพประมาณ 10,392,208 บาทต่อปี จะสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 0.92 ปี รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ตารางแสดงการประเมินเงินลงทุนและระยะเวลาคืนทุน

รายละเอียดในการประเมินเงินลงทุน	เงินลงทุน (บาท)
- เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 5 ชุด - ถังน้ำร้อนพร้อมหุ้มฉนวน - ชุดปั๊มลำเลียง - ระบบท่อลำเลียง - วาล์วและเครื่องมือวัดต่างๆ - งานติดตั้ง - งานทดสอบระบบ	**9,510,000**
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	**0.92**

4.4 การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพด้านการนำความร้อนเหลือทิ้ง (Waste Heat) ที่เหลือจาก Gas Engine Generator กลับมาใช้ประโยชน์ โดยการนำความร้อนจากไอเสียของ Gas Engine มาใช้ผลิตไอน้ำทดแทนการผลิตไอน้ำจาก Boiler

การผลิตไอน้ำของโรงงานมีหม้อน้ำอยู่ 3 ชุด แบ่งเป็น หม้อน้ำเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass Boiler) จำนวน 1 ชุด หม้อน้ำเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ (Biogas Boiler) จำนวน 1 ชุด และ หม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงผสม (Biomass & Biogas Boiler) จำนวน 1 ชุด กำลังผลิตไอน้ำรวมอยู่ที่ประมาณ 35 ตันไอน้ำต่อชั่วโมง ความดันใช้งานอยู่ที่ 9.5 บาร์-เกจ โดยนำไอน้ำที่ผลิตได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การหมัก การกลั่น และต้มน้ำร้อนสำหรับกระบวนการ CIP เป็นต้น

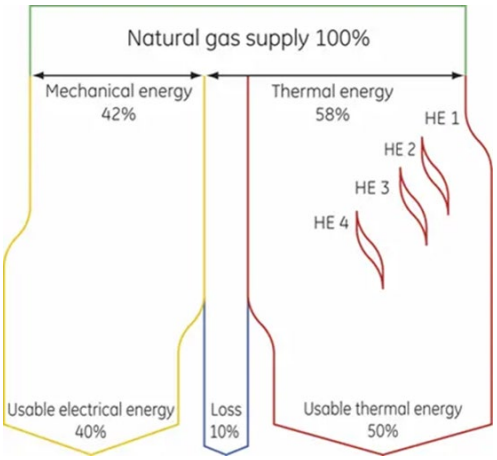
ในขณะเดียวกัน โรงงานมีการนำก๊าซชีวภาพส่วนหนึ่ง ไปใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Gas Engine Generator) โดยมีเครื่องยนต์ อยู่ 4 ชุด กำลังผลิตไฟฟ้ารวม 5.6 MW (4 x 1.4 MW) ซึ่งเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพนั้นปล่อยไอเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมอุณหภูมิสูงถึง 440-460 องศาเซลเซียส ซึ่งมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไอเสียนั้นมาผลิตไอน้ำด้วยหม้อน้ำที่ใช้พลังงานความร้อนของไอเสียเครื่องยนต์ (Exhaust Heat Recovery Boiler) เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงของโรงงานในปัจจุบันในการผลิตไอน้ำป้อนกระบวนการผลิตเอทานอล

ตารางที่ 4-6 ข้อมูลเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

รายการ	เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ 1 - 4
ยี่ห้อ / รุ่น	JENBACHER / J 420 GS-B125
กำลังการผลิตไฟฟ้า	1,410 kW
อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้า/ออกเครื่องยนต์	70.0 °C / 90.0 °C
อัตราการไหลน้ำระบายเครื่องยนต์	36.2 m^3/h
อุณหภูมิไอเสียเครื่องยนต์	440 °C
อัตราการไหลไอเสียเครื่องยนต์	7,480 kg/h

4.4.1 แนวคิดและรายละเอียดการประเมินศักยภาพ

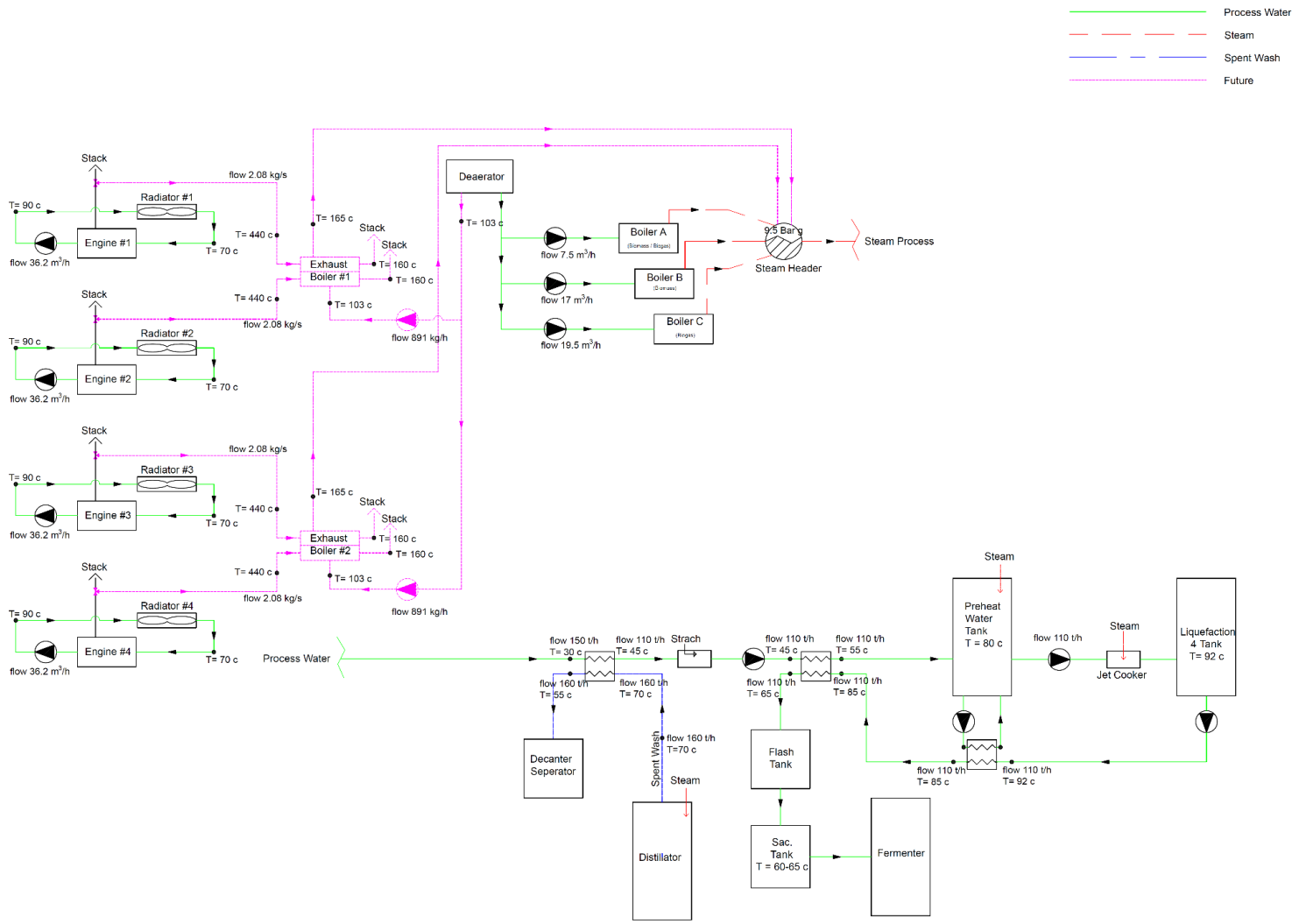
เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพนั้นมีสัดส่วนพลังงานความร้อนที่มีศักยภาพสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากถึง 58% เมื่อเทียบกับพลังงานกลที่นำไปใช้ผลิตไฟฟ้ามีสัดส่วนอยู่ที่ 42% โดยศักยภาพสูงสุดของการนำความร้อนมาผลิตพลังงานไฟฟ้าความร้อนร่วม (Cogeneration) เมื่อหักการสูญเสียประมาณ10% จะคิดเป็นประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมได้ถึง 90% รูปที่ 4-4 รูปแสดงสัดส่วนพลังงานทั้งหมดที่ป้อนเข้าและนำไปใช้ประโยชน์ (Usable) ได้จากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 4-4 รูปแสดงสัดส่วนพลังงานทั้งหมดที่ได้จากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

จากการประเมินศักยภาพของการนำพลังงานความร้อนทิ้งของเครื่องยนต์ มาประเมินความเป็นไปได้การนำพลังงานความร้อนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ อาทิเช่น การนำความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์นำไปใช้ผลิตไอน้ำ โดยนำข้อมูล Data Sheet ของอัตราการไหลของไอเสียและอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์มาคำนวณพลังงานความร้อนเพื่อประเมินอัตราการผลิตไอน้ำพบว่าเมื่อป้อนน้ำร้อนจากถังพักน้ำร้อน (Deaerator) เข้าสู่หม้อน้ำด้วยไอเสียผลิตไอน้ำป้อนกลับสู่ท่อไอน้ำหลักของโรงงาน เครื่องยนต์ก๊าซขนาดกำลังการผลิต 1.4 MW จะสามารถผลิตไอน้ำได้ประมาณ 0.89 ตันต่อชั่วโมง ความดันใช้งาน 9.5 บาร์-เกจ (รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 4-3) โดยที่ปัจจุบันโรงงานมีการติดตั้งเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ จำนวน 4 เครื่อง จึงได้ออกแบบติดตั้งหม้อน้ำด้วยไอเสียเครื่องยนต์จำนวน 2 ชุด (หม้อน้ำจากไอเสีย 1 ชุด รองรับการใช้งานร่วมกับไอเสียเครื่องยนต์ได้ 2 เครื่อง) และในปัจจุบันโรงงานได้เดินการผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์โดยเฉลี่ยจำนวน 2 เครื่องตลอดเวลา (2 เครื่องจากจำนวนทั้งหมด 4 เครื่อง) ดังนั้นจึงมีศักยภาพการผลิตไอน้ำรวมประมาณ 1.78 ตันไอน้ำต่อชั่วโมง รูปที่ 4-5 รูปหม้อต้มไอน้ำด้วยไอเสียเครื่องยนต์ (Engine’s Exhaust Gas Steam Boiler) โดยสามารถอธิบายแผนผังการทำงานโดยสังเขปได้จากรูปที่ 4-6 รูปแสดงรายละเอียดอุปกรณ์ท่อ และเครื่องมือวัดต่างๆ

รูปที่ 4-5 รูปหม้อต้มน้ำด้วยไอเสียเครื่องยนต์ (Engine’s Exhaust Gas Steam Boiler)



รูปที่ 4-6 รูปแสดงรายละเอียดอุปกรณ์ ท่อ และเครื่องมือวัดต่างๆ

จากข้อมูลการผลิตไอน้ำของโรงงาน พบว่า มีอัตราการผลิตไอน้ำจากหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพอยู่ที่ 13.18 ตันต่อชั่วโมง โดยใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 2,255.66 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ประเมินการผลิตไอน้ำจากหม้อต้มไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพเป็นหลักเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น) และจากข้อมูลของเครื่องยนต์ที่โรงงานใช้อยู่พิจารณาการเดินเครื่องยนต์ จำนวน 2 เครื่อง นำไอเสียเข้าหม้อน้ำระบายความร้อน 1 ชุด สามารถผลิตไอน้ำได้ 1.78 ตันต่อชั่วโมง รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-7 ผลการวิเคราะห์การนำความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์นำกลับมาผลิตไอน้ำ

ตารางที่ 4-7 ผลการวิเคราะห์การนำความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์นำกลับมาผลิตไอน้ำ

Gas Engine Generator	MW	No.1 Model	No.2 Model
		GE-Jenbacher	GE-Jenbacher
		1.4	**1.4**
Exhaust Gas mass flow	kg/h	7,480	7,480
	kg/s	2.08	2.08
Exhaust Gas Temp. inlet	°C	440	440
Exhaust Gas Temp. outlet	°C	160	160
Cp	kJ/kg.K	1.166	1.166
Exhaust Thermal Recovery	**kJ/h**	**2,442,699**	**2,442,699**
(Exhaust Heat Recovery)	**kWth**	**679**	**679**
Steam Boiler Capacity (Estimation)			
Feed water temp (from Deaerator)	°C	103	103
Feed water pressure	bar(g)	6.0	6.0
Feed water enthalpy	kJ/kg	432.2	432.2
Steam Generation Capacity Potential	**kg/h**	891.2	891.2
Steam pressure	bar(g)	9.5	9.5
Steam temp (saturated steam)	°C	165.0	165.0
Steam enthalpy	kJ/kg	2,762.06	2,762.06
Boiler heat loss (surface heat transfer, radiation, cooling, etc.)	%	15%	15%

ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อต้มที่ใช้ก๊าซชีวภาพ	**ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้จาก Exhaust Boiler**
(Ton/h)	(Ton/h)
13.18	1.78

4.4.2 ศักยภาพการประหยัดพลังงานและการประหยัดค่าใช้จ่าย

จากข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์สามารถหาผลประหยัดด้านการใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพในการผลิตไอน้ำ พบว่า สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 2,196,418 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ประหยัดเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 6,545,324 บาทต่อปี (คำนวณที่ราคาก๊าซชีวภาพ 2.98 บาทต่อลูกบาศก์เมตร) และทำให้พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ 43,730,673.77 เมกะจูลต่อปี คิดเป็น 1,035.19 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อปีรายละเอียดแสดงตามตารางที่ 4-8 และตารางที่ 4-9 ตารางประเมินผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4-8 ตารางประเมินผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง

คุณสมบัติไอน้ำและหม้อน้ำ		
LHV of Biogas	19.91	MJ/Nm^3
Enthalpy ของน้ำ ก่อนเข้าหม้อต้ม ที่ 45 ℃	188.35	kJ/kg
Enthalpy ของไอน้ำ ที่เข้าหม้อต้ม	2,675.99	kJ/kg
ประสิทธิภาพหม้อน้ำ (Boiler Efficiency)	73%	
การประเมินหาปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ		
ปริมาณไอน้ำที่ผลิต ก่อนปรับปรุง	13.18	Ton_s/h
ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ ก่อนปรับปรุง	9,106.77	kW
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ก่อนปรับปรุง	2,255.66	Nm^3/h
ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้จาก Exhaust Boiler	1.78	Ton_s/h
ปริมาณไอน้ำที่ต้องผลิต หลังปรับปรุง	11.40	Ton_s/h
ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ หลังปรับปรุง	7,875.16	kW
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ หลังปรับปรุง	1,950.60	Nm^3/h
ปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ ที่ลดลง	305.06	Nm^3/h
	13.52%	
การประเมินผลประหยัดด้านเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ		
ปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพที่ใช้ลดลง	305.06	Nm^3/h
	2,196,418	$Nm^3/year$
ราคาต้นทุนก๊าซชีวภาพ	2.98	THB/Nm^3
ผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงต่อปี	**6,545,324**	THB

ตารางที่ 4-9 ตารางประเมินพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้รวม

รายการ	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาข้อมูล
ปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพที่ประหยัดได้	Nm^3/year	2,196,417.57	
ปริมาณพลังงานความร้อนจากก๊าซชีวภาพที่ประหยัดได้	MJ/year	43,730,673.77	
เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	MJ/toe	42,244	42,244,000 kJ/toe
พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้รวม	**toe/year**	**1,035.19**	

4.4.3 ประเมินเงินลงทุนและผลตอบแทนการลงทุน

ผลการคำนวณผลประหยัดและวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน จะมีการติดตั้งหม้อน้ำด้วยไอเสีย 2 ชุด พร้อมด้วยระบบปั๊มป้อนน้ำ ระบบท่อส่งไอน้ำ ระบบไฟฟ้า ระบบควบคุม พร้อมงานติดตั้งและทดสอบระบบ มูลค่าประมาณ 20,000,000 บาท เมื่อคำนวณผลประหยัดด้านการใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพเท่ากับ 6,545,324 บาทต่อปี จะสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 3.06 ปี รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 4-10 ตารางแสดงการประเมินเงินลงทุนและระยะเวลาคืนทุน

ตารางที่ 4-10 ตารางแสดงการประเมินเงินลงทุนและระยะเวลาคืนทุน

รายละเอียดในการประเมินเงินลงทุน	เงินลงทุน (บาท)
- หม้อต้มน้ำด้วยไอเสีย 2 ชุด - ระบบปั๊มน้ำลำเลียง - ท่อส่งไอน้ำพร้อมหุ้มฉนวน - วาล์วและเครื่องมือวัดต่างๆ - งานระบบไฟฟ้า - งานระบบควบคุม - งานติดตั้งและทดสอบ	**20,000,000**
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	**3.06**

คณะผู้จัดทำ

คู่มือการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในภาคอุตสาหกรรม ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม กรณีศึกษา : อุตสาหกรรมผลิตเอทานอล

คณะกรรมการประสานและรับมอบงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม)

คุณวิศิษย์ศักดิ์ กฤษณพันธ์	วิศวกรชำนาญการพิเศษ รักษาการในตำแหน่งวิศวกรเชี่ยวชาญ	ประธานกรรมการ
คุณสโรชา จิตอารีรัตน์	วิศวกรชำนาญการพิเศษ	กรรมการ
คุณชยาภิวัฒน์ มานะศึก	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ	กรรมการ
คุณสุธี อุประวรรณา	วิศวกรชำนาญการพิเศษ	กรรมการ
คุณอัญญาณี อ้นวงษ์	วิศวกรเครื่องกลปฏิบัติการ	กรรมการ

ที่ปรึกษาโครงการ (บริษัท กรีน เอ็นเนอร์ยี่ เน็ทเวอร์ค จำกัด)

นายไชยวัฒน์ ผลลาภ	ผู้จัดการโครงการ
นายเกียรติศักดิ์ กอบกาญจนากร	ผู้ช่วยผู้จัดการโครงการ
นายศุภวัฒน์ ธาดาจารุมงคล	ผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องกล
นายวิษณุ ปั้นพันธุ์	ผู้เชี่ยวชาญด้านจุลชีววิทยา
นายนัฐวี ตีรณานนท์	ผู้เชี่ยวชาญด้านจุลชีววิทยา
นายภานุมาศ อินทรโสตถิ	ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม
นายนวพล กิจจาธนากร	วิศวกรเครื่องกล
นายรัฐกร มากหวาน	วิศวกรเครื่องกล
นายธนชิต พานิชกิจ	วิศวกรเครื่องกล
นายพงศ์พลิน ไชยภัฐ	วิศวกรไฟฟ้า
นางสาวชนิกานต์ ขำประไพ	เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม
นางสาวพริมา แก้วพา	วิศวกรสิ่งแวดล้อม