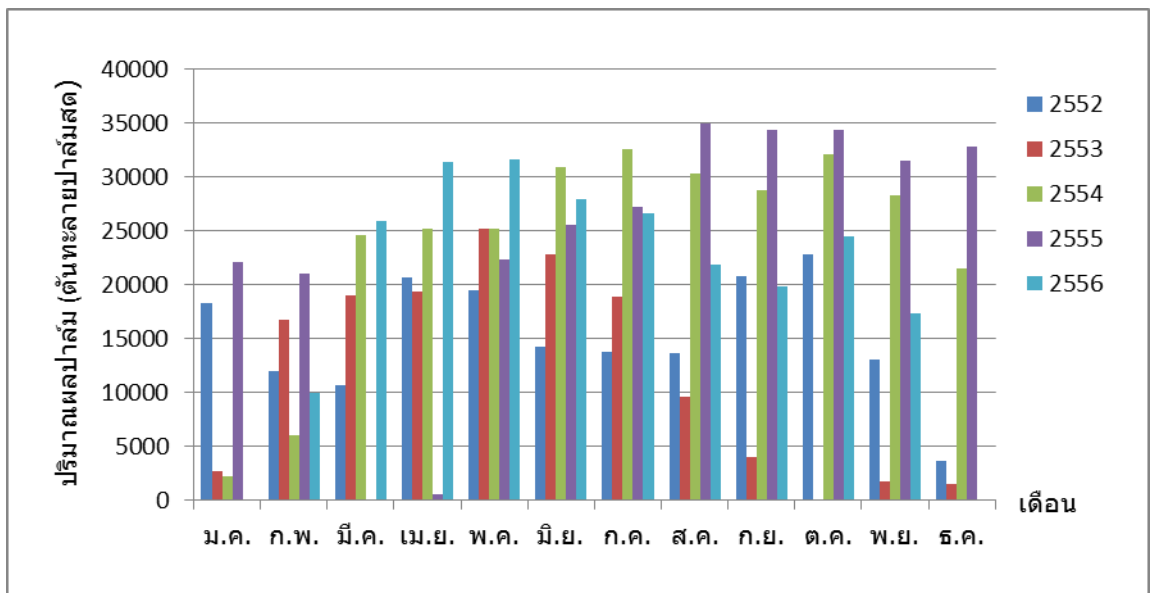


บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

งานวิจัยนี้ศึกษากรณีตัวอย่าง โดยเลือกทำการศึกษาบริษัท เอเชียขน้ำมันปาล์ม จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบขนาดใหญ่ในจังหวัดกระบี่ เริ่มดำเนินการผลิตน้ำมันปาล์มดิบตั้งแต่ พ.ศ. 2530 ซึ่งมีเนื้อที่ทั้งหมด 120 ไร่ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ บริเวณสำนักงาน, อาคารโรงงาน และบ่อบำบัดน้ำเสีย บริษัทนี้เป็นโรงงานหนึ่งผ่านการรับรองมาตรฐาน ISO 9001 จากกระทรวงอุตสาหกรรม โดยมีปริมาณผลปาล์มที่ผ่านกระบวนการผลิตรายเดือนของโรงงานในระยะ 5 ปีย้อนหลัง (ปี พ.ศ. 2552 – 2556) พบว่าในช่วงเดือนพ.ค. – ต.ค.ของทุกปี ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนของทางภาคใต้ ต้นปาล์มได้รับปริมาณน้ำฝนอย่างเต็มที่ มีความชื้นสูง เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นปาล์ม ทำให้มีผลผลิตออกมาปริมาณมาก จึงทำให้โรงงานมีวัตถุดิบที่จะป้อนเข้าสู่ระบบการผลิตในปริมาณมาก มีกำลังการผลิตน้ำมันปาล์มดิบสูง ในช่วงนี้โรงงานมีอัตราการป้อนผลปาล์มเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบประมาณ 23,187.5 ตันทะลายปาล์มสด/เดือน ดังรูปที่ 4.1



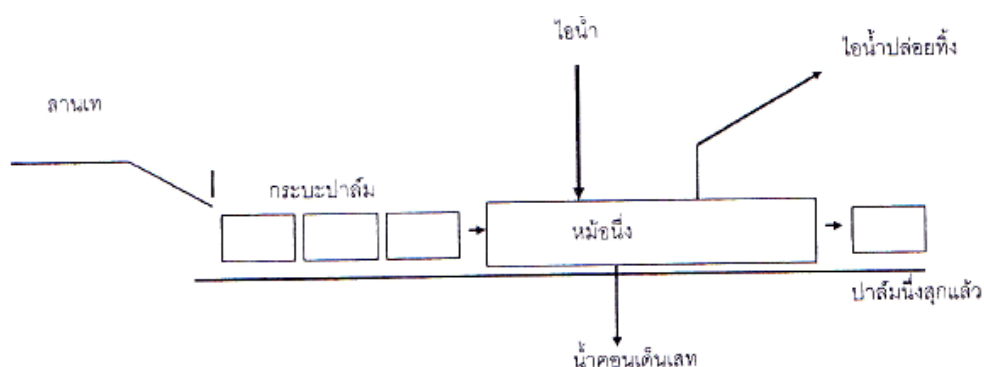
รูปที่ 4.1 ปริมาณผลปาล์มที่ผ่านกระบวนการผลิตปี พ.ศ. 2552 – 2556

เนื่องจากในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มนั้น ก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงที่มีความเป็นมลพิษทั้งทางน้ำและทางอากาศ สร้างความเดือดร้อนให้กับชุมชนในละแวกใกล้เคียง โรงงานจึงได้ร่วมมือกับมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2552 ทำการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยได้รับเงินสนับสนุนการลงทุนจากกองทุนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ให้เป็นโรงงานต้นแบบในการนำน้ำเสียจากกระบวนการผลิตมาบำบัดเป็นก๊าซชีวภาพ และนำก๊าซชีวภาพที่ได้มาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้ามาใช้ในโรงงาน เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและยังเหลือมากพอที่จะส่งจำหน่ายให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สามารถเพิ่มรายได้ให้กับโรงงานอีกทางหนึ่งด้วย

4.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

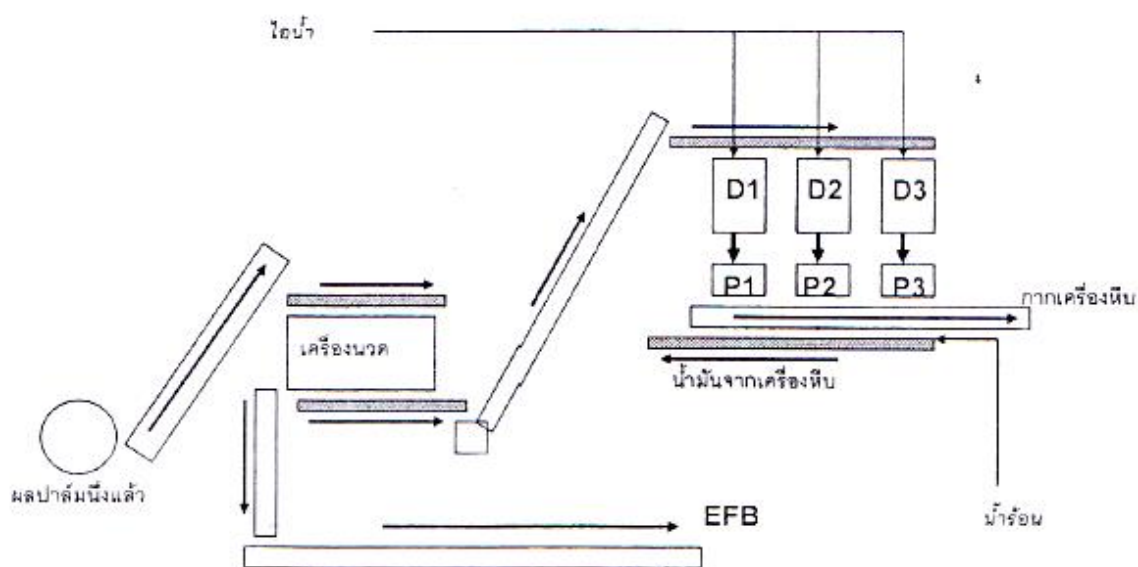
กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มของโรงงานตัวอย่าง เป็นระบบการผลิตแบบหีบเปียก เพื่อให้เกิดน้ำมันดิบออกมา ตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) การนึ่ง (Sterilization) การนึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเอนไซม์ ซึ่งจะหยุดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งหากมีปริมาณมากก็จะเป็นผลให้เกิดการสูญเสียของน้ำมันมาก นอกจากนี้ ยังทำให้ซั้วผลปาล์มนุ่มหลุดร่วงออกจากทะลายปาล์มได้ง่าย และทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มยุ่ย ง่ายต่อการหีบอัดน้ำมัน กระบวนการนึ่งจะประกอบด้วย การนำทะลายปาล์มสดมาตั้งกองบนลานเต แล้วขนใส่กระบะขนาดบรรจุทุก 2.5 ตัน จำนวน 9 กระบะ ลำเลียงไปบนรางเข้าไปยังหม้อนึ่ง โดยใช้ไอน้ำเป็นตัวสร้างอุณหภูมิให้สูงถึง 120 – 130 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 2 บาร์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เกิดน้ำเสียจากการที่ไอน้ำได้สัมผัสกับผลปาล์มแล้วควบแน่นกลับมาเป็นน้ำที่มีการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์รวมทั้งน้ำมันบางส่วนด้วย จากนั้นก็ถูกชะออกมา ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กระบวนการบรรจุกระบะและนึ่ง [39]

- 2) **การนวด (Bunch Stripping)** ทะลายปาล์มที่นึ่งแล้วจะถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการนวด ได้แก่ การใช้เครื่องตะแกรงเหวี่ยงทรงกระบอก (Rotary Drum Thresher) เพื่อแยกผลปาล์มออกจากทะลาย โดยทะลายเปล่าถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าใช้ภายในโรงงาน ส่วนที่เหลือจะนำไปกองนอกโรงงาน รอคนมารับซื้อหรือขนส่วนเกินเข้าไปใช้ในสวนปาล์มเพื่อเป็นปุ๋ยหรือถมที่ดิน
- 3) **การหีบ (Presser)** ผลปาล์มที่แยกออกจากทะลาย จะนำมาสกัดเอาน้ำมันด้วยเครื่องหีบเกลียวอัด จนสามารถแยกผลปาล์มออกมาเป็นน้ำมันดิบเพื่อจะนำไปทำให้บริสุทธิ์เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อส่งขาย ส่วนเมล็ดและเส้นใยปาล์ม ซึ่งเรียกว่า “กากเครื่องหีบ” จะนำไปผ่านกระบวนการต่อไป เพื่อจะนำไปทำผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อต้มไอน้ำในโรงงาน ดังรูปที่ 4.3

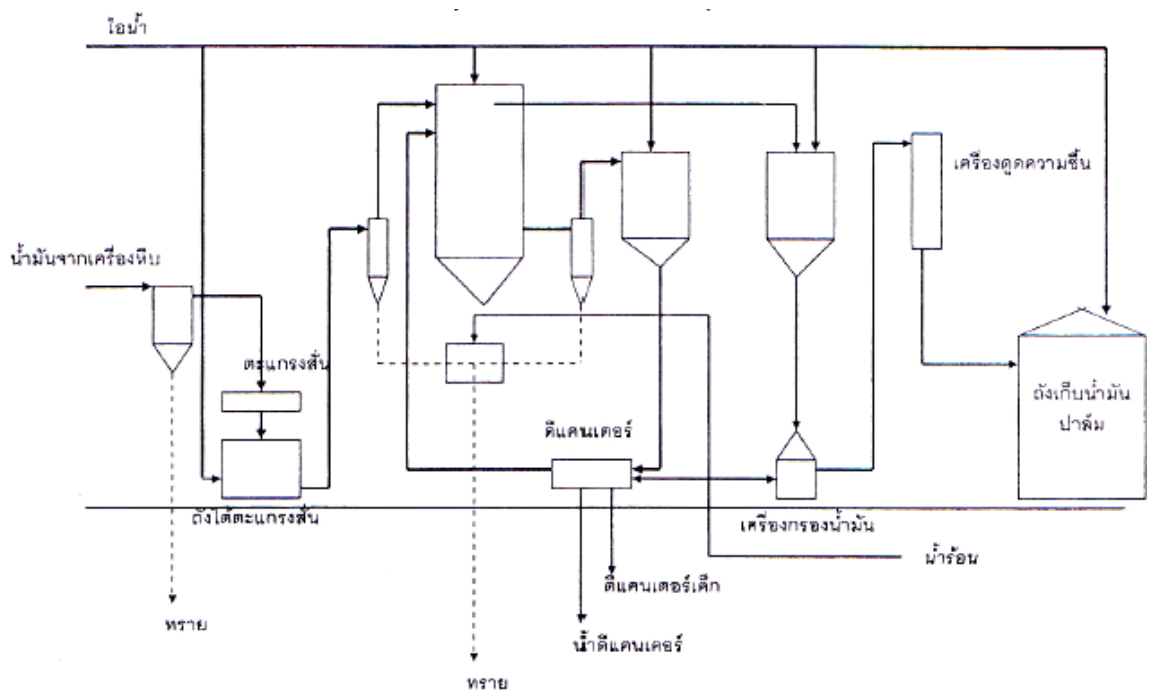


รูปที่ 4.3 กระบวนการนวด กวนและหีบ [39]

- 4) **ถังตกจม** น้ำมันดิบจะถูกทำให้สะอาดขึ้น โดยการแยกสิ่งแปลกปลอม เช่น ทราย ของแข็งแขวนลอยอื่นๆ ที่ถูกสกัดติดปนออกมากับน้ำมันในช่วงของการหีบ ด้วยวิธีผ่านถังตกทราย ซึ่งเป็นการทำให้สิ่งแปลกปลอมที่มีน้ำหนักมากจมตัวออกจากถังน้ำมันดิบผ่านตะแกรงสั้น เพื่อกรองสิ่งแปลกปลอมขนาดใหญ่ แล้วผ่านไซโคลนตกทรายอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นน้ำมันดิบจะผ่านเข้าสู่ถังตกจม ซึ่งเป็นถังเก็บน้ำมันขนาดใหญ่ ตั้งทิ้งไว้เพื่อทำการแยกน้ำมันออกมา โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ได้แก่ การแยกน้ำปนเปื้อนและน้ำมันที่มีความถ่วงจำเพาะที่ต่างกันออกจากกัน โดยน้ำมันจะลอยสู่ชั้นบนของถังตกจม จึงสามารถแยก

ออกมาจากถังตกจม แล้วจึงนำมาทำให้บริสุทธิ์โดยผ่านเข้าเครื่องเหวี่ยงแยก เพื่อแยกน้ำ และของแข็งเจือปนออก ก่อนที่จะไปดูความชื้นเพื่อลดปริมาณน้ำในน้ำมัน จนได้น้ำมัน ที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันเป็นไปตามมาตรฐานและกักเก็บไว้ในถังเก็บน้ำมันเพื่อส่งขาย

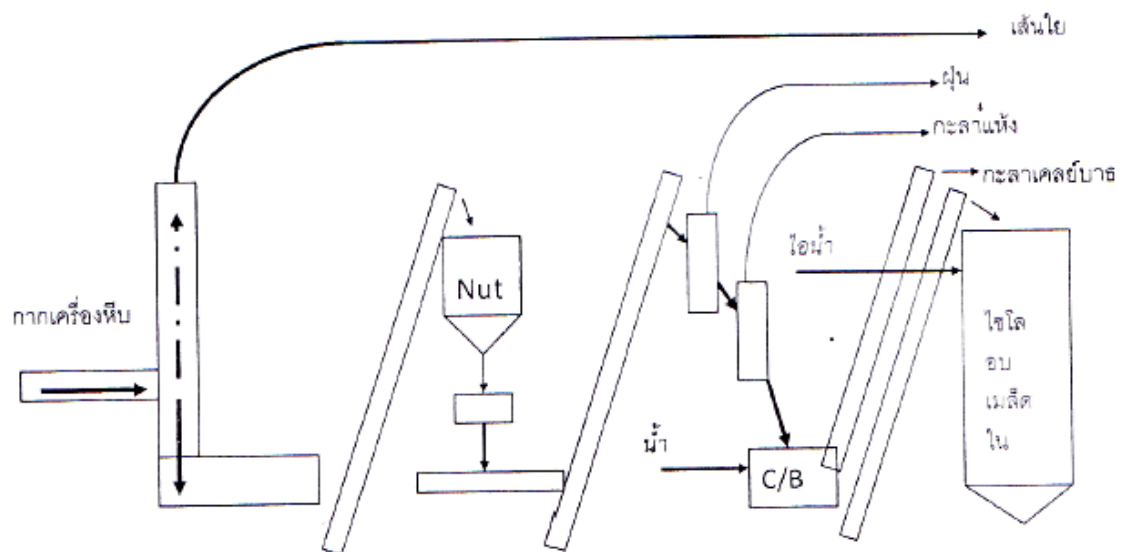
- 5) **ดีแคนเตอร์ (Decanter)** น้ำปนเปื้อนจากถังตกจมยังมีน้ำมันติดมาอีกจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องแยกเอาน้ำมันออกมา โดยเริ่มจากการแยกทรายออกจากน้ำปนเปื้อนอีกครั้งหนึ่ง ด้วยไซโคลนคัดทรายตัวที่ 2 แล้วจึงผ่านเข้าเครื่องดีแคนเตอร์ เพื่อแยกน้ำมัน น้ำปนเปื้อน และตะกอนออกจากกัน โดยน้ำมันจะนำกลับไปทำให้บริสุทธิ์โดยการผ่านกลับเข้าถังตกจม น้ำปนเปื้อนจะเป็นน้ำที่มีค่าสูงเกินมาตรฐาน จึงต้องนำไปบำบัดก่อนที่จะปล่อยทิ้งออกนอกโรงงาน ส่วนตะกอนหรือที่เรียกว่า ดีแคนเตอร์เค้ก จะถูกแยกเก็บไว้ในกระเบะเหล็ก เพื่อรอขนไปขายให้กับอุตสาหกรรมเครื่องสำอางหรือนำไปใช้ในการถมที่ดิน ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กระบวนการกรองแยกน้ำมัน [39]

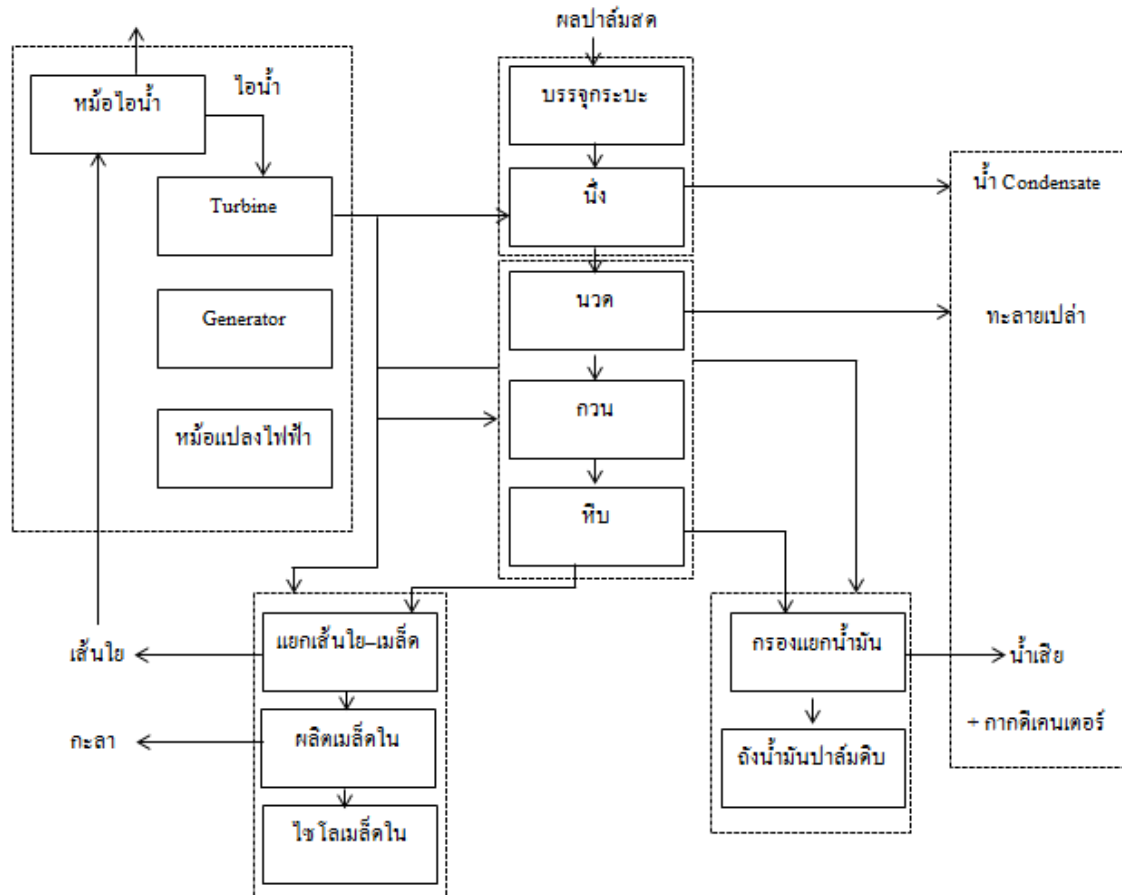
- 6) **กากเครื่องหีบ** ผลปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันจากเครื่องหีบ จะกลายเป็นกากที่ประกอบด้วยเมล็ดและเส้นใยปาล์ม ซึ่งยังเป็นสิ่งที่มีคุณค่าอยู่ จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการต่างๆ ตั้งแต่การแยกเมล็ดและใยออกจากกัน โดยการผ่านเข้าเครื่องเป่าลม เพื่อแยกเส้นใยที่มีน้ำหนักเบา รวมทั้งฝุ่นละออง ให้ลอยออกมากับลม เพื่อนำเส้นใยที่ได้กลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ เมล็ดปาล์มจะผ่านไปยังกระบวนการอบแห้ง

กะเทาะเมล็ดพร้อมขั้วสีให้ปราศจากเส้นใยด้วยเครื่องสี โดยใช้ลมแยกเอาฝุ่นผงและกะลาขนาดเล็กออก แล้วนำเอาส่วนฝุ่นผงส่งไปป้อนเป็นเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ ส่วนเมล็ดจากเครื่องสีจะผ่านเข้าเครื่องแยกน้ำ เพื่อแยกกะลาขนาดใหญ่และเมล็ดออกจากกัน โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงที่ทำให้กะลาและเมล็ดในที่มีความถ่วงจำเพาะที่ต่างกันแยกตัวออกไปกับน้ำ และกะลาขนาดใหญ่จะแยกออกไปขายรวมกับกะลาขนาดเล็ก ส่วนเมล็ดในจะผ่านเข้ากระบวนการอบแห้ง แล้วนำไปเก็บที่ไซโลเมล็ดในเพื่อรอการส่งไปขาย ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กระบวนการผลิตเมล็ดใน [39]

จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปเป็นแผนผังได้ดังรูป 4.6

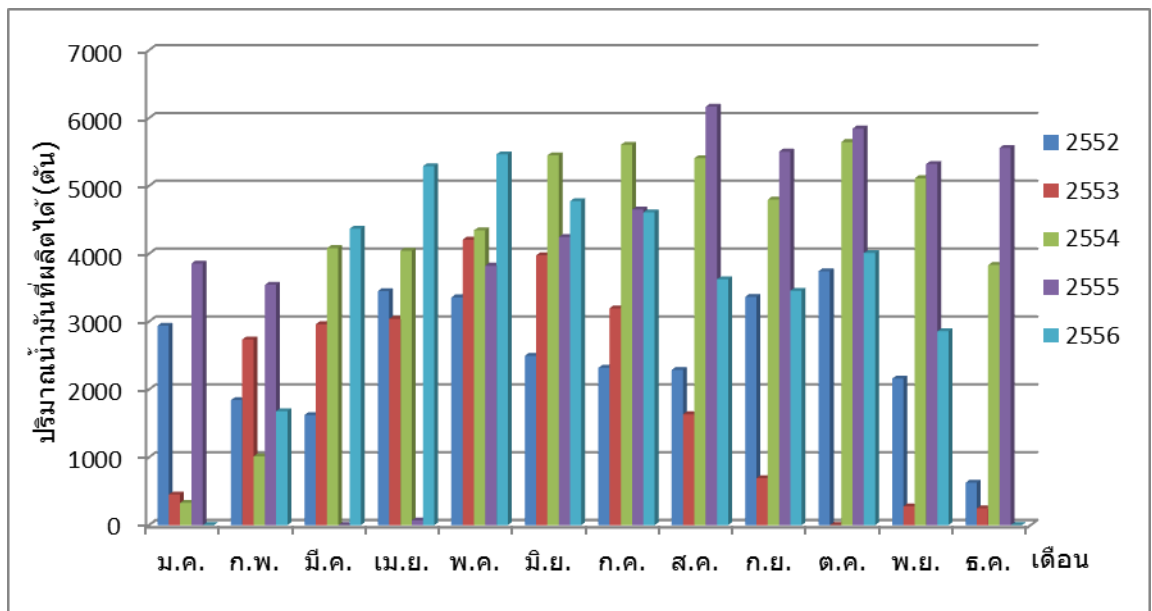


รูปที่ 4.6 แผนผังกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม [39]

4.3 กำล้างการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ

4.3.1 ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้

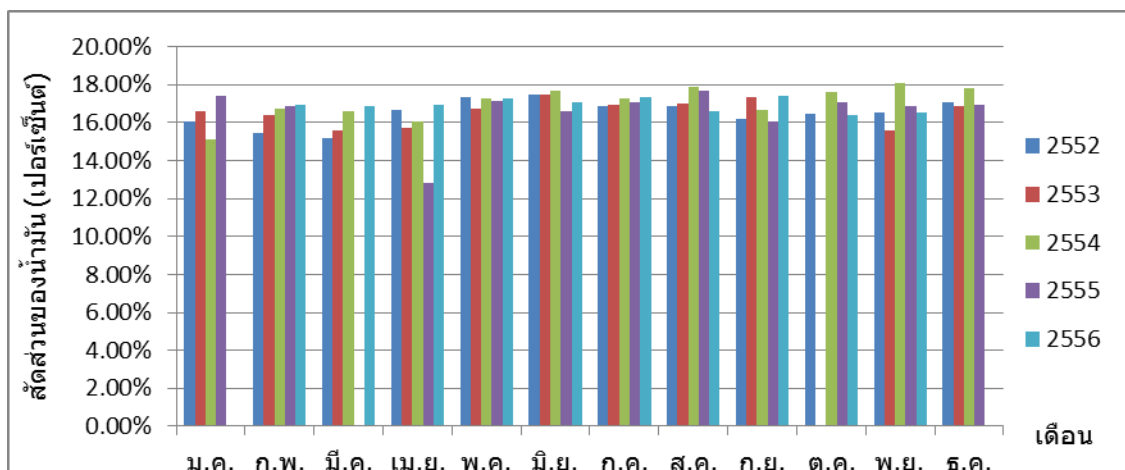
ในการสกัดน้ำมันปาล์มของแต่ละโรงงานนั้น โดยส่วนใหญ่จะมีกำลังการผลิตไม่เท่ากัน ซึ่งแปรผันไปตามเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต ความรู้ความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน และฤดูกาลของผลผลิต จากสวนปาล์มเป็นหลัก ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำเสียของโรงงานที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละวันด้วย ซึ่งในปัจจุบันโรงงานตัวอย่างมีกำลังการผลิตที่ประมาณ 30 ตันทะเลายปาล์มสด/ชั่วโมง จากการรวบรวมสถิติปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้รายเดือนของโรงงานในระยะ 5 ปีย้อนหลัง (ปี พ.ศ. 2552 – 2556) มีปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มดิบเฉลี่ย 128 ตัน/วัน ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้ปี พ.ศ. 2552 – 2556

4.3.2 ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันปาล์ม

ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันปาล์มของโรงงาน สามารถใช้ป็นสิ่งชี้วัดในการประเมินความสูญเสียต่างๆในกระบวนการผลิต เพื่อนำไปสู่การกำหนดมาตรการในการดูแลรักษาเครื่องจักรที่ใช้ในการทำงานให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น งานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์สัดส่วนของน้ำมันที่ผลิตได้รายเดือนของโรงงานในระยะ 5 ปีย้อนหลัง (ปี พ.ศ. 2552 – 2556) โดยวิเคราะห์จากสัดส่วนของปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้ต่อปริมาณผลปาล์มสดที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต พบว่าในแต่ละเดือน โรงงานมีสัดส่วนของผลผลิตในรูปน้ำมันปาล์มดิบเฉลี่ย ร้อยละ 16.73 ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 สัดส่วนของน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้ปี พ.ศ. 2552 – 2556

4.4 น้ำเสียของโรงงาน

จากกระบวนการการสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่กล่าวมาแล้ว เห็นได้ว่าการผลิตจำเป็นต้องมีการใช้น้ำเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดน้ำเสยวมถึงเศษวัสดุที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต เช่น เส้นใยจากเนื้อผลปาล์ม ทะลายเปล่า กะลาจากเมล็ดปาล์ม รวมถึงกากตะกอนอีกเป็นจำนวนมาก ในส่วนของวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นเส้นใยและกะลานั้น สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อไอน้ำในกระบวนการผลิตได้ แต่ในส่วนของน้ำเสยที่เกิดจากขั้นตอนของการนึ่งปาล์มและจากขั้นตอนของการแยกน้ำออกจากน้ำมันนั้น เป็นน้ำเสยที่มีสิ่งสกปรกในรูปของกากตะกอนและสารอินทรีย์ปนเปื้อนสูง



รูปที่ 4.9 น้ำเสยของโรงงาน

4.4.1 แหล่งน้ำเสย

น้ำเสยของโรงงานนั้นมีทั้งส่วนที่มาจากกระบวนการผลิตและจากการอุปโภคบริโภคภายในโรงงาน ซึ่งจะแยกส่วนออกจากกันชัดเจน แต่ในงานวิจัยนี้ศึกษาเพียงน้ำเสยในส่วนที่มาจากกระบวนการผลิตเท่านั้น จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของโรงงานที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าน้ำเสยจากกระบวนการผลิตของโรงงานนั้นมาจาก 2 ส่วนหลัก คือ

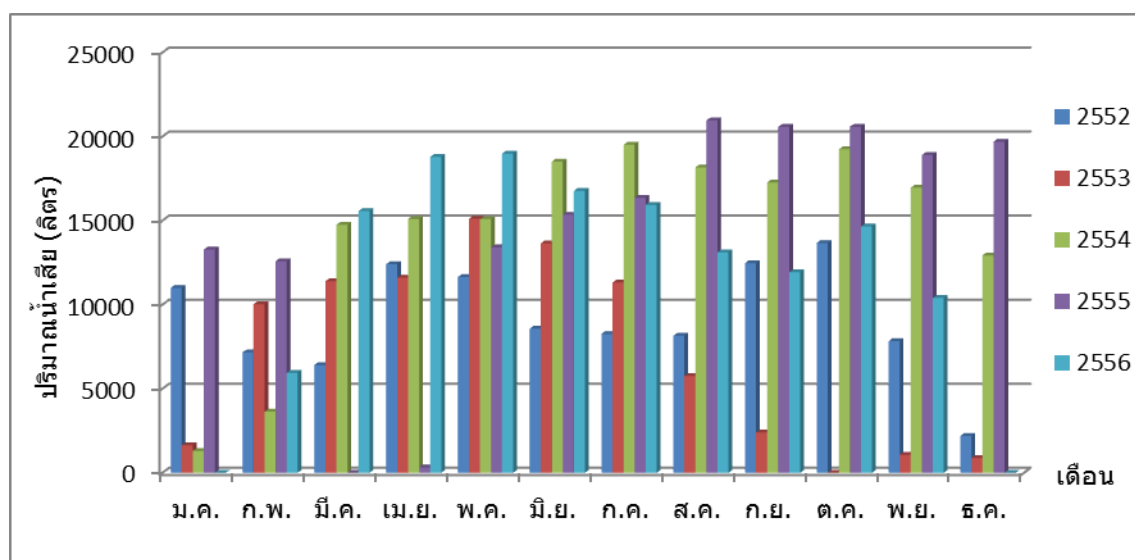
- 1) น้ำเสยจากหม้อนึ่ง น้ำเสยจากส่วนนี้จะถูกปล่อยออกจากหม้อนึ่ง หลังจากนึ่งผลปาล์มเสร็จแล้ว น้ำเสยที่เกิดจากหม้อนึ่งแต่ละหม้อจะถูกระบายลงสู่ถังพักน้ำเสย และจะถูกสูบต่อไปยังบ่อดักไขมันเพื่อดักไขมัน ก่อนจะถูกสูบไปยังบ่อบำบัดน้ำเสย

2) น้ำเสียจากการแยกน้ำมัน ได้แก่ น้ำเสียจากการใช้ล้างถังคักกรวดทรายและน้ำเสียจากเครื่องดีแคนเตอร์ น้ำเสียทั้งหมดเหล่านี้จะมารวมกันที่รางระบายน้ำ แล้วไหลไปสู่บ่อสูบ เพื่อสูบน้ำเสียไปยังถังรวบรวมน้ำเสีย รวมกับน้ำเสียจากหม้อหนึ่ง เพื่อนำไปสู่การบำบัด

น้ำเสียทั้งหมดจากโรงงานมีระบบการรวบรวมที่เป็นระบบแยกออกจากรางระบายน้ำฝน จึงไม่มีปริมาณน้ำฝนเข้ามาเจือปนกับน้ำเสีย

4.4.2 ปริมาณน้ำเสีย

ในการตรวจวัดปริมาณน้ำเสียที่มาจากระบวนการผลิตของโรงงาน ได้ดำเนินการระหว่างการเดินระบบการผลิต (เดิน 3 กะ/วัน) โดยวัดจากความสูงของน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นในบ่อของน้ำเสียที่ถูกสูบเข้ามาที่บ่อคักไขมัน ณ ช่วงเวลาที่กำหนดไว้ประมาณ 3 ครั้ง คือ เช้า บ่ายและเย็น น้ำเสียทั้งสองส่วนถูกสูบมาจากบ่อสูบที่แยกออกจากกัน เพื่อเก็บกักน้ำเสียแต่ละส่วน จากนั้นจึงสูบมารวมกันที่รางระบายน้ำลงสู่ถังรวบรวมน้ำเสียด้วยวิธีการไหลแบบต่อเนื่อง รวมวันละประมาณ 454 ลิตร ด้วยอัตราการไหลเฉลี่ยสูงสุด 125 ลิตร/ชั่วโมง ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ในงานวิจัยนี้จึงทำการรวบรวมสถิติปริมาณน้ำเสียรายเดือนของโรงงานตัวอย่างไว้ 5 ปีย้อนหลัง (ปี พ.ศ. 2552 – 2556) สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ปริมาณน้ำเสียจากระบวนการผลิตปี พ.ศ. 2552 – 2556

จากข้อมูลข้างต้น พบว่าในเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2555 โรงงานมีปริมาณน้ำเสียสูงสุดเท่ากับ 20,957 ลิตร นอกจากปริมาณน้ำเสียดังกล่าวจะเป็นตัวแปรที่สำคัญหนึ่งในการออกแบบระบบ

บำบัดน้ำเสีย ให้สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียได้สูงสุด ตลอดระยะเวลาดำเนินงานแล้ว ยังต้องทำการวิเคราะห์ลักษณะและคุณสมบัติน้ำเสียอีกด้วย เพื่อให้สามารถออกแบบและเลือกใช้เทคโนโลยีให้เหมาะสมกับน้ำเสียของโรงงาน

4.4.3 ลักษณะและสมบัติน้ำเสีย

การตรวจวัดลักษณะและวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่สำคัญที่จะนำไปใช้ในการออกแบบและพิจารณาระบบบำบัดน้ำเสียให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันและลดปัญหามลพิษจากการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ซึ่งลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำทิ้ง จากการสืบค้นข้อมูลการวิเคราะห์การตรวจวัดลักษณะและวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มตัวอย่างจากแหล่งน้ำเสียของโรงงานทั้ง 3 แหล่ง คือ จากหม้อต้ม จากเครื่องแยกน้ำมันและจากบ่อรวบรวมน้ำเสีย [40] ได้ผลสรุปดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ของโรงงาน [40]

ตัวแปร	วิธีการวิเคราะห์	น้ำเสียจากหม้อต้ม	น้ำเสียจากเครื่องแยกน้ำมัน	น้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสีย
Color***	Space Unit Method	Brown	Brown-blackish brown	Dark brown
pH***	pH Meter	4.84 – 5.35	4.61 – 4.89	4.05 – 4.62
BOD ₅	5 Day BOD Test	22,800 – 41,985	21,000 – 45,375	54,750 – 60,000
COD	Close Reflux	45,360 – 80,146	38,246 – 67,567	80,523 – 115,934
Volatile acid (as acetic acid)	Titration to End-point pH	998 – 7,125	1,838 – 2,273	3,128 – 5,870
Alkalinity (as CaCO ₃)	Titration to End-point pH	1,576 – 3,705	86.50 – 480	68 – 200
Oil & Grease	Soxhlet Extraction Method	20.90 – 1,103	4 – 70	16 – 2,449
Total solid (TS)	Gravimetric Method	26,367 – 76,733	25,634 – 47,242	49,453 – 88,508
Volatile solids (VS)	Gravimetric Method	24,415 – 67,635	23,056 – 39,617	42,063 – 81,872
Suspended solid (SS)	Gravimetric Method	2,600 – 6,100	2,900 – 20,300	18,500 – 52,000

หมายเหตุ * ทุกค่ามีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นสีและพีเอช

** ข้อมูลจากงานวิจัยของคุณบุษยามาศ เหมณี

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า น้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของโรงงานตัวอย่าง เป็นน้ำเสียที่มีความเป็นพิษสูง เกินค่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด สังเกตได้จากมี ปริมาณสารอินทรีย์ (COD และ BOD₅) สูง อีกทั้งยังมีอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อ ค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ เนื่องจากน้ำเสียของ โรงงานส่วนใหญ่มาจากกระบวนการนี้ในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์ม โดยเมื่อผลปาล์มได้รับความร้อนโดยตรงจากไอน้ำภายในหม้อนึ่ง ทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มยุ่ยลง เศษเนื้อเยื่อของผล ปาล์มนี้กลายเป็นตะกอนปะปนอยู่ในน้ำเสียปริมาณมาก ทำให้น้ำเสียมีสีน้ำตาลเข้ม ตะกอน เหล่านี้ประกอบด้วยสารที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญในการ ดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ เช่น COD BOD เป็นต้น และสารที่จุลินทรีย์ไม่สามารถ ย่อยสลายได้หรือย่อยสลายได้ยาก เช่น น้ำมันและไขมันต่างๆ รวมไปถึงตะกอนจำพวกของแข็งที่ ไม่ละลายน้ำด้วย นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบบำบัด น้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในแต่ละกลุ่มที่แตกต่างกัน ส่วน ค่าความเป็นด่างและกรดอินทรีย์ระเหยง่ายก็เป็นตัวที่บ่งบอกถึงความเสถียรภาพของระบบด้วย ซึ่งหากระบบมีสัดส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่างสูง ส่งผลให้ระบบเกิดความ ล้มเหลว

เนื่องจากลักษณะและคุณสมบัติของน้ำเสีย เป็นข้อมูลสำคัญในการบริหารจัดการน้ำเสีย เพื่อ นำไปใช้ในการออกแบบและเลือกใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสียของ โรงงานให้มีความเหมาะสม จึงจำเป็นต้องปรับระบบให้อยู่ในสภาวะสมดุลก่อนที่จะเดินระบบ ต่อไป เช่น ควรทำการบำบัดน้ำมันและตะกอนในน้ำเสียขั้นต้นก่อนบำบัดขั้นตอนอื่น เพื่อให้ น้ำทิ้งจากโรงงานที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว เป็นไปตามมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งของกรม โรงงานอุตสาหกรรม เป็นการลดมลพิษทางน้ำและอากาศให้กับชุมชนในละแวกใกล้เคียงอีกทาง หนึ่งด้วย

4.5 การผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

น้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เป็นน้ำเสียที่มีความเป็นพิษสูง เกินค่ามาตรฐานที่ กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด จึงจำเป็นต้องบำบัดก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อ ปรับปรุงคุณภาพน้ำและลดมลพิษที่จะเกิดขึ้น ในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศของน้ำเสียที่มี สารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ ทำให้เกิดผลพลอยได้ที่มีคุณค่า คือ ก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็น

องค์ประกอบหลักที่สำคัญ สามารถนำก๊าซชีวภาพดังกล่าวไปผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้ภายในโรงงาน และขายให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งถือว่าเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับทางบริษัท

4.5.1 ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสียของโรงงาน เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งจากการสำรวจพบว่า มีขั้นตอนในการผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสียทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 น้ำเสียจากกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบด้วยน้ำเสียจาก 2 ส่วน ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ น้ำเสียจากกระบวนการนึ่งผลปาล์มจากหม้อนึ่งแต่ละหม้อและน้ำเสียจากการกรองแยกน้ำมัน ซึ่งได้แก่ น้ำเสียจากการใช้ล้างถังกรวดทราย น้ำเสียจากเครื่องดีเคนเตอร์ เป็นต้น ซึ่งถ้ารวบรวม น้ำเสีย มีลักษณะเป็นถังเหล็กทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 550 ลิตร จำนวน 2 ใบ จากการตรวจวัดพบว่า อุณหภูมิของน้ำเสียดังกล่าว 90 °C จากนั้นจะถูกสูบต่อไปยังบ่อพักน้ำเสีย ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากทีรวบรวมน้ำเสียในขั้นตอนที่ 1 แล้ว น้ำเสียทั้งหมดจะถูกสูบไปยังบ่อพักน้ำเสียด้วยปั๊มหอยโข่ง ด้วยอัตราการไหล 125 ลิตร/ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 3.5 ชั่วโมง ซึ่งบ่อพักน้ำเสียมีลักษณะเป็นบ่อดินขนาด 1,500 ลูกบาศก์เมตร จากการสำรวจพบว่า บริเวณก้นบ่อ เกิดการตกตะกอนของกากกะลา ทะลายปาล์ม และดีเคนเตอร์เล็ก ปริมาณมาก ส่วนน้ำเสียและสารแขวนลอยอื่นๆ จะถูกระบายสู่บ่อดักน้ำมันผ่านทางช่องน้ำล้นต่อไป อุณหภูมิของน้ำเสียภายในบ่อนี้มีค่า 55°C

ขั้นตอนที่ 3 บ่อดักน้ำมัน น้ำเสียจากบ่อพักน้ำเสียจะถูกลำเลียงผ่านระบบน้ำล้นเข้าสู่บ่อดักน้ำมัน ซึ่งเป็นบ่อดินขนาด 1,500 ลูกบาศก์เมตร เพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้มีอุณหภูมิลดลงเหลือ 45°C น้ำมันที่ลอยขึ้นสู่บนผิวน้ำจะถูกตัดออกไปขายให้กับธุรกิจเครื่องสำอาง จากนั้นน้ำเสียจะถูกระบายสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพผ่านระบบท่อน้ำล้นต่อไป

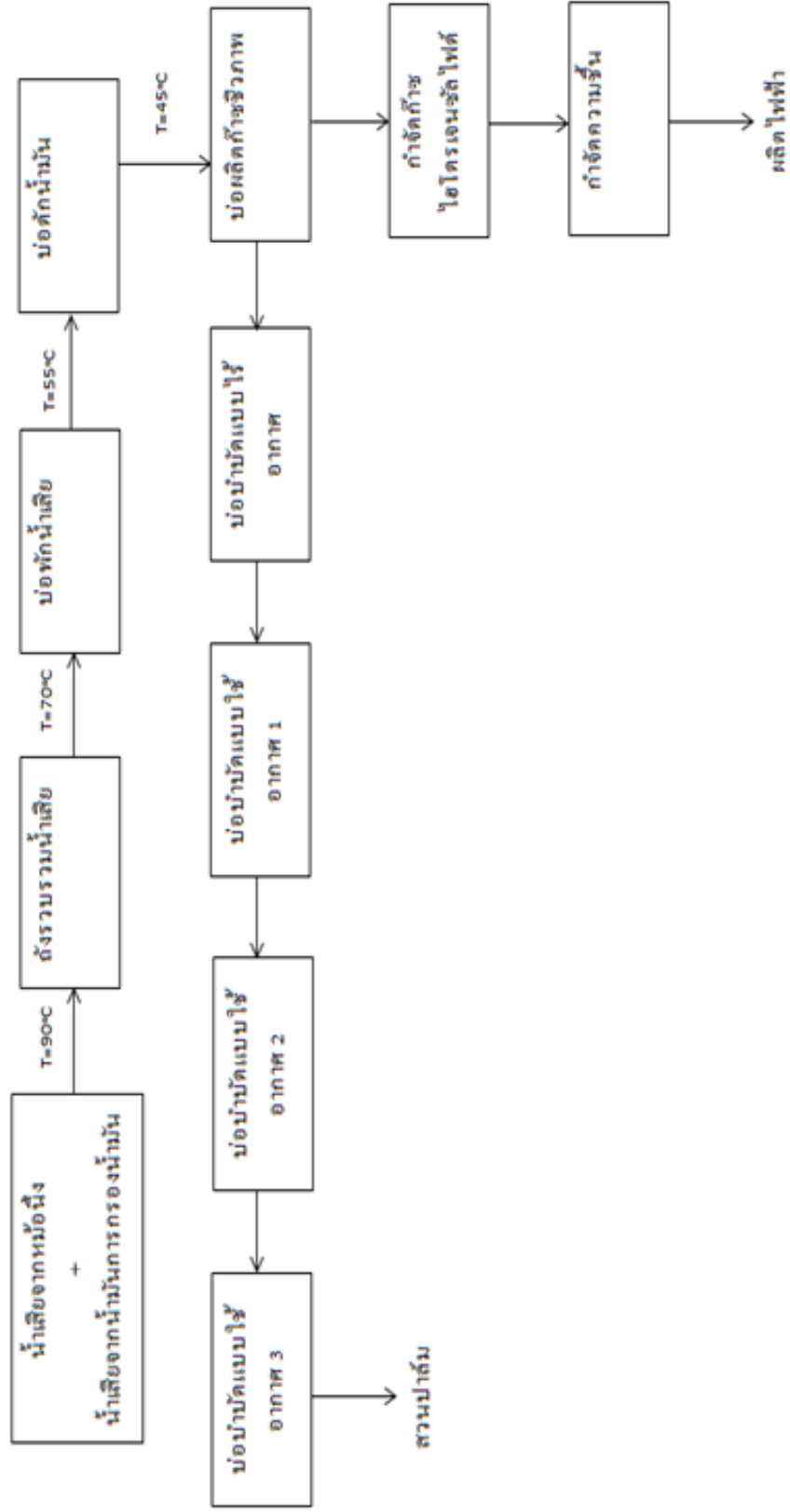
ขั้นตอนที่ 4 น้ำเสียจากบ่อดักน้ำมันจะไหลเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพผ่านระบบน้ำล้น ด้วยอัตราการไหล 627.78 ลูกบาศก์เมตร/วัน บ่อผลิตก๊าซชีวภาพ มีลักษณะเป็นบ่อดินที่ปิดคลุมด้วยหลังคาพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน(PE) ขนาด 7,250 ลูกบาศก์เมตร แบ่งเป็นห้องทำปฏิกิริยาขนาด 5,500 ลูกบาศก์เมตร และห้องแยกตะกอนขนาด 1,750 ลูกบาศก์เมตร โดยมีเครื่องหมุนเวียนน้ำเสียซึ่งจะ

มีใบพัดกวาดตะกอนเพื่อให้เกิดการผสมกันระหว่างน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ และถูกกักไว้ภายใต้หลังคา ปริมาตร 3,150 ลูกบาศก์เมตร

ขั้นตอนที่ 5 หลังจากที่น้ำเสียผ่านกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว ผลผลิตที่ได้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- ก๊าซชีวภาพ จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพด้วยอัตราการไหล 11,200 ลูกบาศก์เมตร/วัน ระบบข้างต้นจะกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ด้วย Biofilter ซึ่งภายในบรรจุไว้ด้วยวัสดุตัวกลาง ทำด้วยพลาสติก มีลักษณะเป็นรูพรุน สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ ทำหน้าที่กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพื่อเป็นการลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ จากนั้นก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้ว จะเข้าสู่ Chiller เพื่อลดความชื้นในก๊าซชีวภาพ ก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า ด้วยเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพชนิดเครื่องยนต์สันดาปภายใน
- น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแล้วจะระบายเข้าสู่การบำบัดแบบบ่อผิ ซึ่งประกอบไปด้วยบ่อบำบัดแบบไร้อากาศจำนวน 1 บ่อ และบ่อบำบัดแบบใช้อากาศจำนวน 3 บ่อต่อเนื่องกัน ขั้นตอนนี้จะไม่ก่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว จะถูกสูบไปรดน้ำให้กับสวนป่าส้มของโรงงาน

สามารถสรุปขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสียของโรงงานตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสีย

4.5.2 การผลิตก๊าซชีวภาพ [41]

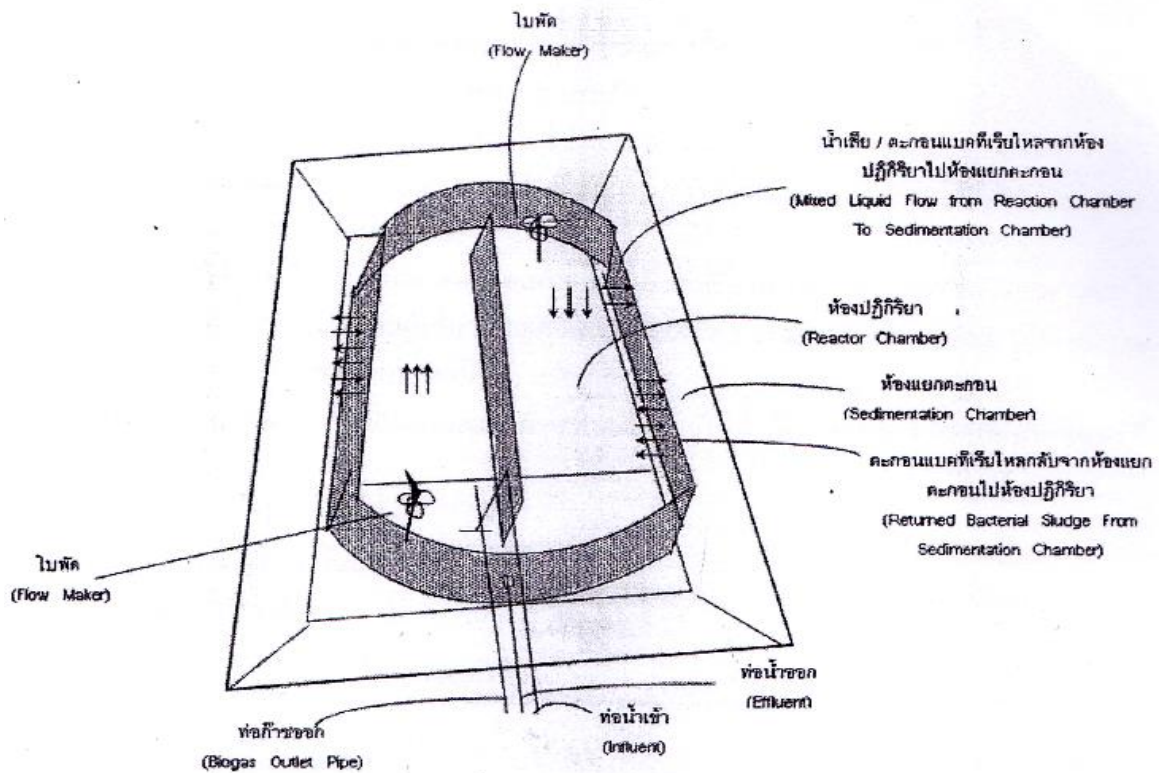
ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยก๊าซชีวภาพดังกล่าวมีองค์ประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในการให้ความร้อนและเดินเครื่องยนต์ เพื่อนำไปผลิตไฟฟ้าได้ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานตัวอย่าง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากการสำรวจพบว่า ในปัจจุบันระบบการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานใช้ระบบผลิตแบบบ่อกวนสมบูรณ (Continuously Stirred Lagoon Reactor, CSLR) ซึ่งเป็นการประยุกต์การใช้งานมาจากถังย่อยสลดัด ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากมีการกวนผสมไม่ดี การย่อยสลายสารอินทรีย์จึงต้องใช้เวลาานาน โดยการนำมาติดตั้งใบกวนผสม เพื่อช่วยในการกวนผสมของจุลินทรีย์และสารอาหารในบ่อปฏิกรณ์ ทำให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียดีขึ้น

2) ลักษณะของบ่อปฏิกรณ์

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ เป็นบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กลักษณะ แคน ยาว ตื้น ที่มีการแบ่งภายในออกเป็น 2 ห้อง โดยห้องแรกเป็นห้องที่เกิดปฏิกิริยาการบำบัดจนเกิดก๊าซชีวภาพ (ห้องปฏิกริยา) ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ด้านใน และห้องที่สองเป็นห้องล้อยู่ด้านนอกห้องปฏิกริยา โดยรอบ น้ำเสียจากบ่อปรับสภาพจะมีการสูบน้ำเสียเข้าสู่ห้องปฏิกริยาทางท่อน้ำเข้า เพื่อทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ภายในบ่อ หลังจากนั้นน้ำเสียจากห้องปฏิกริยาจะไหลออกจากบ่อทางท่อน้ำออกทางข้างห้องแยกตะกอน ตะกอนแบคทีเรียจะไหลสวนกลับเข้ามาจากห้องแยกตะกอนกลับไปสู่ห้องปฏิกริยา ห้องปฏิกริยาประกอบด้วยผนังด้านความยาวของบ่อ 2 ผนัง มีผนังรูปครึ่งวงกลมอยู่ด้านหัวและด้านท้ายของห้อง และมีผนังที่แบ่งซีกตามความยาวของห้องเป็นสองซีกเท่ากัน โดยผนังดังกล่าวมีความยาวเท่ากับผนังด้านตรงของห้อง จึงมีช่องว่างให้น้ำเสียในห้องไหลเวียนจากซีกหนึ่งไปยังอีกซีกหนึ่งได้ ส่วนล่างของผนังด้านล่างของห้องเป็นช่องเปิดตลอดแนว เพื่อให้น้ำเสียจากห้องแยกปฏิกริยาไปสู่ห้องแยกตะกอน และให้ตะกอนที่จมอยู่ด้านล่างของห้องแยกตะกอน ไหลกลับมาห้องปฏิกริยาด้วยแรงไหลเวียนของน้ำเสียโดยเครื่องใบพัดมอเตอร์ได้นำที่ติดตั้งโดยมีเสาเป็นที่ยึด ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 บ่อปฏิกรณ์แบบบ่อกวนสมบูรณ์ [41]

3) การทำงานของบ่อปฏิกรณ์

บ่อปฏิกรณ์แบบบ่อกวนสมบูรณ์ เป็นบ่อหมักแบบไร้ออกซิเจนที่ใช้สำหรับหมักย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่อยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอยและสารละลาย โดยอาศัยแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่ต้องการออกซิเจน การย่อยสลายสารอินทรีย์เริ่มจากการที่สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะถูกย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลเล็กลง ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนในการย่อยสลายนี้ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ โดยแบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรด และกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดขึ้นจะถูกแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนนำไปใช้ในการผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ

4.5.3 การบำบัดน้ำเสีย

เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ยังมีค่าความเป็นพิษสูงเกินกว่ามาตรฐานการปล่อยทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงต้องนำไปบำบัดต่อในระบบบ่อที่ประกอบด้วย บ่อบำบัดแบบไร้อากาศจำนวน 1 บ่อ และบ่อบำบัดแบบใช้อากาศจำนวน 3 บ่อต่อเนื่องกัน โดยที่บ่อแรกเป็นบ่อหมักไร้อากาศ ทำหน้าที่เป็นบ่อปรับเสถียร จากนั้นจะถูกสูบไปบำบัดต่อในบ่อบำบัดแบบบ่อฝิ่ง ในขั้นตอนนี้จะไม่เกิดก๊าซชีวภาพขึ้นและทำให้น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดดังกล่าวจะมี

ลักษณะและคุณภาพตามมาตรฐานของกรมโรงงาน เกิดก๊าซในปริมาณที่น้อยมาก จากนั้นจึงระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกนอกโรงงาน เพื่อเป็นการลดปัญหาที่จะเกิดต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมต่อไป

4.6 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นการประเมินผลการดำเนินงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยพิจารณาจากตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ เช่น ปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ประสิทธิภาพการกำจัด COD ปริมาณและสัดส่วนของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ เป็นต้น จากการสำรวจโรงงานตัวอย่าง สามารถสรุปผลการดำเนินงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงาน

ตัวแปร		ผลการทำงาน
ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย (ลิตร/วัน)		454
น้ำเข้า (ค่าเฉลี่ย)	BOD ₅ (มิลลิกรัม/ลิตร)	32,800
	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	59,478
น้ำออก (ค่าเฉลี่ย)	BOD ₅ (มิลลิกรัม/ลิตร)	1,146
	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	8,333
ปริมาตรระบบก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตร)		9,000
ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย: HRT (วัน)		11.59
COD loading (กิโลกรัม COD/วัน)		27,003
COD loading rate (กิโลกรัม COD/ลูกบาศก์เมตรของถังบำบัด-วัน)		3.73
ประสิทธิภาพการกำจัด COD (เปอร์เซ็นต์)		86
ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้เฉลี่ย (ลูกบาศก์เมตร/วัน)**		5,286

หมายเหตุ * การคำนวณแสดงในภาคผนวก ข.

** ก๊าซชีวภาพของโรงงานที่ผลิตได้ ประกอบด้วย สัดส่วนของก๊าซมีเทน 66.41%, สัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 29.96% และก๊าซอื่นๆ 3.63%

4.7 การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

ภายหลังจากที่โรงงานได้ทำการผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว ได้มีการนำก๊าซชีวภาพที่ได้มาผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ จำนวน 2 เครื่อง เพื่อใช้ภายในโรงงานและส่งขายให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับโรงงาน



รูปที่ 4.13 เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพของโรงงาน (Biogas Engine Generator)

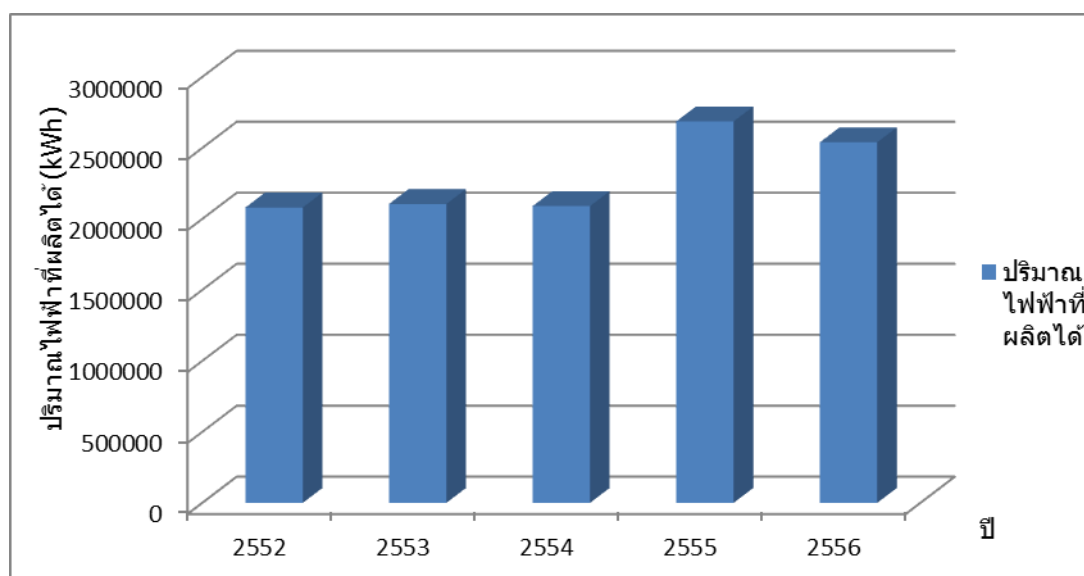
4.7.1 การผลิตพลังงานไฟฟ้าและการนำความร้อนจากท่อไอเสียไปใช้

จากการสอบถามเจ้าหน้าที่ประจำหน่วยผลิตไฟฟ้าประจำโรงงาน พบว่าเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของโรงงาน เป็นเครื่องยนต์ที่ผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยการทำงานของเครื่องยนต์จะเหมือนกับเครื่องยนต์ของรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน ซึ่งต้องมีการจุดระเบิดโดยใช้หัวเทียน โดยก๊าซที่เผาไหม้ในกระบอกสูบของเครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูงถึง $1,400^{\circ}\text{C}$ ทำให้มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานในก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 35% ปล่อยทิ้งทางท่อไอเสีย 30% ปล่อยทิ้งทางน้ำหล่อเย็น 25% และส่วนที่เหลือ 10% เป็นความร้อนที่กระจายอยู่ตามเครื่องยนต์ ทางโรงงานจึงได้มีการนำความร้อนจากไอเสียมาใช้เป็นพลังงาน ทำให้น้ำร้อน นำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ใช้เป็นน้ำร้อนป้อนเข้าสู่หม้อน้ำ หรือเป็นระบบปรับ

อากาศ (ทำความอบอุ่น) ในฤดูหนาว และทำน้ำเย็น ใช้เป็นระบบปรับอากาศ (ทำความเย็น) ในฤดูร้อน

4.7.2 ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้

ไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพของ โรงงานที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความดัน อุณหภูมิ ชนิดและ การทำงานของเครื่องยนต์ รวมไปถึงความชื้นและสัดส่วนของก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็น หลัก จากการรวบรวมข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของ โรงงานในระยะ 5 ปีที่ผ่านมา (ปี พ.ศ. 2552 – 2556) พบว่า โรงงานสามารถผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ยปีละ 2,300,275 kWh ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากก๊าซชีวภาพของ โรงงานในปี พ.ศ. 2552 – 2556

4.8 การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตจากก๊าซชีวภาพ สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและ ประสิทธิภาพของผู้ควบคุมระบบ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการปรับปรุงระบบการผลิต ก๊าซชีวภาพ และการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.8.1 การปรับปรุงระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ

1) ถังรวบรวมน้ำเสีย

ผลการสำรวจ น้ำเสียภายในถังรวบรวมน้ำเสียมีอุณหภูมิสูง (90°C) สีน้ำตาลขุ่น อันเนื่องมาจากมีเศษกะลาปาล์ม ทะลายปาล์มและดีเคนเตอร์เคঁกผสมอยู่ปริมาณมาก

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพ

มาตรการที่ 1 : การปรับปรุงถังรวบรวมน้ำเสียให้กลายเป็นถังตกตะกอน

การดำเนินการ : ทำการติดตั้งใบกวนชนิด Seba Paddles หรือเรียกว่า Seba Beams ลงในถังรวบรวมน้ำเสีย ใบกวนชนิดนี้เป็นใบกวนประเภท Tangential Flow มีลักษณะใบด้านในคล้ายกับใบกวนชนิด Trapezoid Beams ซึ่งโดยปกติจะดันของเหลวลงด้านล่าง ในขณะที่ใบด้านนอกจะดันของเหลวขึ้นและหมุนในแนวเส้นรอบวงในเวลาเดียวกัน รวมทั้งมีตัวปิดรอบถัง เพื่อช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำเสียภายในถังรวบรวมน้ำเสียให้ดียิ่งขึ้น บริเวณปลายใบพัดมีส่วนที่ลู่เล็กกว่าที่โคนใบ มีผลให้ลดอัตราเฉือน (Shear Rate) ที่ใบกวนกระทำกับน้ำเสียในถัง [42] หลักจากที่ติดตั้งใบกวนชนิดดังกล่าวแล้ว คาดว่าจะทำให้อุณหภูมิของน้ำเสียภายในถังรวบรวมน้ำเสียลดลง สารแขวนลอยบางส่วนเกิดการตกตะกอนอยู่บริเวณก้นถัง ทำให้ถังรวบรวมน้ำเสียทำหน้าที่เป็นถังตกตะกอน เป็นการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นต่อนต่อไป ลักษณะของใบกวนชนิด Seba Paddles หรือ Seba Beams ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ใบกวนชนิด Seba Paddles หรือ Seba Beams [42]

มาตรการที่ 2 : ติดตั้งท่อลำเลียงน้ำเสีย

การดำเนินงาน : ดำเนินการสร้างท่อลำเลียงน้ำเสียด้วยท่อขนาดใหญ่ ซึ่งทำจากเหล็ก เพื่อระบายน้ำเสียจากถังรวบรวมน้ำเสียเข้าสู่บ่อพักน้ำเสีย ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำเสียกับผนังท่อ น้ำเสียที่ผ่านท่อลำเลียงน้ำเสียนี้จะมีอุณหภูมิต่ำลง และอาจทำการติดตั้งตะแกรงสำหรับกรองตะกอนบริเวณปากท่อดังกล่าว เพื่อกรองตะกอนบางส่วนในน้ำเสียก่อนระบายเข้าสู่บ่อพักน้ำเสียด้วย ลักษณะการดำเนินการติดตั้งท่อลำเลียงน้ำเสีย ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การติดตั้งท่อลำเลียงน้ำเสีย [43]

2) บ่อพักน้ำเสีย

ผลการสำรวจ น้ำเสียภายในบ่อพักน้ำเสียมีอุณหภูมิ 55°C ลักษณะเหมือนคอลลอยด์สีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากมีตะกอนและสารแขวนลอยเจือปนอยู่มาก ตะกอนดังกล่าวประกอบด้วย กากปาล์ม ทะลายปาล์มและดีเคนเตอร์เค้ก ซึ่งเป็นจำพวกสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนสารแขวนลอยส่วนใหญ่เป็นน้ำมันที่สูญเสียจากการกรองแยกน้ำมันในกระบวนการผลิตของโรงงาน ทำให้น้ำเสียภายในบ่อพักน้ำเสียมีสมบัติเป็นกรด ($\text{pH} < 7$) ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเพื่อใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ จึงควรทำการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียเหล่านี้และปรับสภาพน้ำเสียในบ่อพักน้ำเสีย ก่อนระบายเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นต่อไป

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพ

มาตรการที่ 1 : การสร้างและการรวมตะกอน

การดำเนินงาน : กระบวนการสร้างและรวมตะกอน เป็นกระบวนการที่เติมสารเคมีให้อนุภาคของคอลลอยด์มีขนาดใหญ่ ง่ายต่อการตกตะกอน การเติมสารเคมีในการสร้างตะกอนลงไปใต้น้ำ เพื่อเพิ่มประจุบวกในน้ำ ทำให้เกิดการลดแรงผลักรวมของอนุภาคที่มีประจุลบ ขณะที่สารเคมีเข้ามาสัมผัสกับอนุภาค ส่งผลให้อนุภาคเคลื่อนตัวเข้าหากันและอนุภาคเข้ามาเกาะกันมากขึ้น หากมีการกระจายกระจายตัวของสารเคมีได้ดี ก็จะทำให้อนุภาคต่างๆเข้าทำปฏิกิริยากันได้มากขึ้น ทำให้อนุภาคที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ หลังจากนั้นจะเกิดการสูญเสียการคงตัว โดยการลดแรงผลักรวมของประจุเกิด Destabilized บนผิวของอนุภาค ทำให้เกิดกลุ่มฟล็อก (floc) กลไกการเกิดของกลุ่มฟล็อก (floc) นั้นเกิดจากการกวนผสมเบาๆและใช้เวลานานเพื่อที่จะเปลี่ยนอนุภาคจากขนาดเล็กให้เป็นอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถมองเห็นได้และเกิดการตกตะกอนอย่างรวดเร็วโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก การสร้างและรวมตะกอน เป็นการกำจัดสารอินทรีย์บางส่วนที่เป็นพิษออกจากรน้ำเสีย [44] ส่งผลให้มลพิษของน้ำเสียให้ต่ำลง ทำให้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีคุณภาพดีขึ้น เช่น ช่วยลดปริมาณซัลไฟด์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย เป็นต้น

มาตรการที่ 2 : ปรับสภาพน้ำเสีย

การดำเนินงาน : เนื่องจากน้ำเสียในบ่อบำบัดน้ำเสียมีสภาวะความเป็นกรด ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในการผลิตก๊าซชีวภาพ จึงควรทำการเตรียมน้ำเสียภายในบ่อบำบัดน้ำเสีย โดยการปรับสภาพน้ำเสีย ด้วยการเติมปูนขาว (CaO) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่าง ทำให้น้ำเสียหลังการปรับสภาพมีฤทธิ์เป็นกลาง (pH = 7) เหมาะแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

มาตรการที่ 3 : ปรับปรุงบ่อบำบัดน้ำเสียให้กลายเป็นบ่อกัดพันธุ์แบบแอนแอโรบิก

การดำเนินงาน : บ่อกัดพันธุ์แบบแอนแอโรบิก เป็นบ่อที่มีการสูบลูกตะกอนที่ถูกกำจัดออกไปกลับมาผสมรวมกับน้ำเสียภายในบ่อ เหมาะสำหรับบ่อบำบัดที่มีระยะเวลาการเก็บกักสั้นมีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการรวมตัวของฟล็อก (Floc) ทำการควบคุมค่าบีโอดี (BOD) เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยใช้พลังงานจากโพลีฟอสเฟตภายในเซลล์ เพื่อให้ฟอสเฟตออกมา จะไม่มีไนเตรดและออกซิเจนละลายในบ่อกัดพันธุ์ นอกจากนี้ภายในบ่อกัดพันธุ์แบบนี้ยังเกิดกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อีกด้วย [45]



รูปที่ 4.17 บ่อคัดพันธุ์ [46]

3) บ่อดักน้ำมัน

ผลการสำรวจ น้ำเสียภายในบ่อดักน้ำมันประกอบด้วยน้ำมันปริมาณมาก แสดงให้เห็นว่าโรงงานมีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันต่ำ และนอกจากนั้นแล้วยังสื่อถึงมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตอีกด้วย การลดปริมาณน้ำมันในบ่อดักน้ำมัน สามารถทำได้โดยการปรับปรุงขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบภายในโรงงาน และหมั่นตรวจสอบเพื่อซ่อมบำรุงเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพคืออยู่เสมอ

เนื่องจากน้ำมันในบ่อดักน้ำมันเหล่านี้เป็นสารแขวนลอยที่ไม่เกิดการตกตะกอนในบ่อดักน้ำเสียซึ่งมีส่วนทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพต่ำ จึงจำเป็นต้องกำจัดน้ำมันออกจากน้ำเสียก่อนที่จะนำน้ำเสียไปเข้าสู่ระบบบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพในขั้นตอนต่อไป

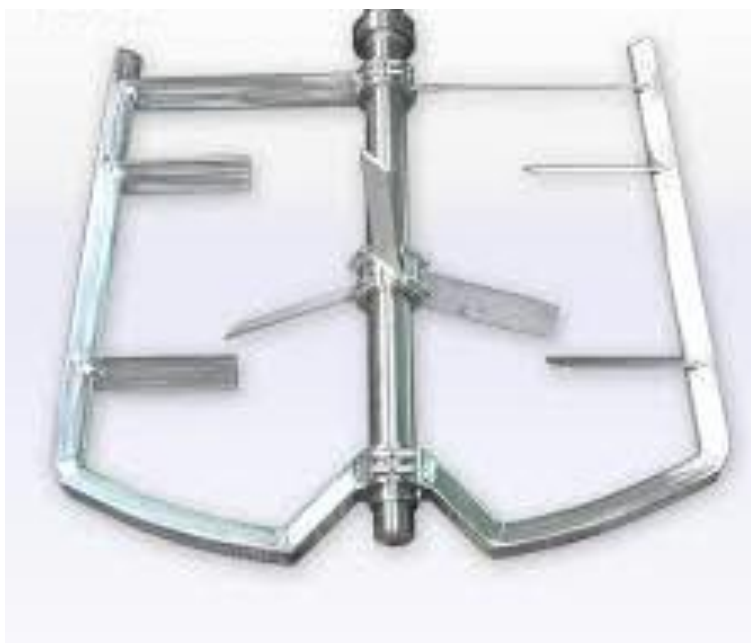
การกำจัดน้ำมันในบ่อดักน้ำมันนั้น นอกจากจะสามารถทำได้โดยการตัดตะกอนน้ำมันบริเวณผิวหน้าของน้ำเสียในบ่อที่เป็นวิธีดั้งเดิมของโรงงาน ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำแล้ว งานวิจัยนี้จึงขอเสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันในบ่อดักน้ำมันไว้ 2 มาตรการ ดังนี้

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพ

มาตรการที่ 1 : การติดตั้งใบกวาดน้ำมัน

การดำเนินงาน : ทำการติดตั้งใบกวาดชนิด Anchor

ใบกวาดชนิด Anchor เป็นใบกวาดประเภท Tangential flow เช่นเดียวกับใบกวาดชนิด Seba paddler หรือ Seba beams ใบกวาดชนิดนี้ถูกปรับปรุงร่างจนมีลักษณะคล้ายกับสมอเรือหรือเกือกม้า ทำหน้าที่ในการกวาดน้ำมันออกจากบ่อดักน้ำมัน มีลักษณะเด่นที่สามารถติดตั้งใบปาด (Scraper) ได้ทั้งด้านข้างและด้านล่าง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนของน้ำเสียได้ทั่วทั้งบ่อ นอกจากนี้ ยังช่วยกวาดสิ่งสกปรกอื่นๆ ที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น ตะกอนลอย [42] ลักษณะของใบกวาดชนิด Anchor ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ใบกวาดชนิด Anchor [42]

มาตรการที่ 2 : ติดตั้งตะแกรงดักน้ำมัน เพื่อกรองน้ำมันและสารแขวนลอยขนาดเล็กอื่น ๆ ก่อนปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การดำเนินงาน : ทำการติดตั้งตะแกรงชนิดละเอียดมากแบบกึ่งล้อมนกรอง ซึ่งเป็นตะแกรงที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม สามารถทนการกัดกร่อนได้ดี มีขนาดความกว้างของแผ่นตะแกรงให้เลือกตั้งแต่ 20 เซนติเมตร – 3 เมตร รูตะแกรงมีขนาด 0.50 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการดักตะกอนขนาดเล็กและไขมัน รวมไปถึงสารแขวนลอยอื่นๆ ที่ไม่ละลายน้ำที่ปะปนอยู่ในน้ำเสียได้ ตะแกรงแบบนี้ถูกออกแบบให้สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียที่ผันผวนได้มาก รองรับอัตราการ

ไหลของน้ำได้ตั้งแต่ 8 – 1,700 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ทำการติดตั้งและบำรุงรักษาได้ง่าย แต่เนื่องจากขนาดของรูตะแกรงมีขนาดเล็กมาก อาจทำให้มี BOD และ COD บางส่วน ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียจำพวกแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนถูกกักไว้ ไม่สามารถระบายไปยังบ่อผลิตก๊าซชีวภาพได้ ดังรูปที่ 4.19 [47]



รูปที่ 4.19 ตะแกรงชนิดละเอียดมากแบบกงล้อหมุน [47]

4.8.2 การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

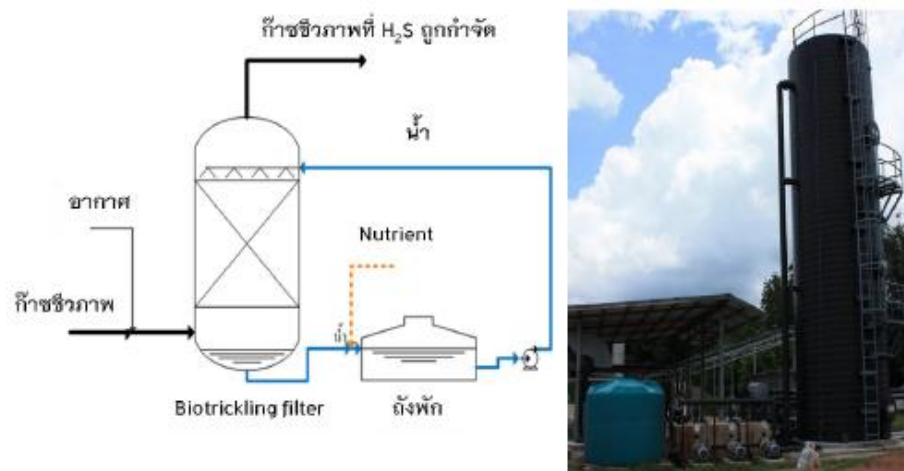
ในการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพนั้น คุณภาพของก๊าซชีวภาพที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์จัดได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะส่งผลต่อปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละครั้ง นอกจากนี้ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพ การทำงานและรวมไปถึงการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์อีกด้วย จึงทำการศึกษาแนวทางการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานในการนำไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนี้

1) การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อรวมตัวกับน้ำหรือความชื้น จะเกิดเป็นกรดซัลฟูริก ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรงต่อวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่สัมผัสกับก๊าซชีวภาพ ทำให้เครื่องยนต์สึกกร่อนได้

- **Biotrickling Filter Technology [26]**

Biotrickling Filter Technology เป็นเทคโนโลยีที่ใช้การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยการเติมอากาศเข้าที่ก๊าซชีวภาพ แล้วผ่านหอดูดซึมด้วยน้ำที่เป็นด่างบนตัวกลางพลาสติก และย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย โดยอาศัยหลักการความสามารถในการละลายน้ำของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ค่า pH สูง เทคโนโลยีนี้ประกอบไปด้วยหอดูดซึม (Absorption column) ซึ่งมีลักษณะเป็น Column ที่มีชั้นของตัวกลาง ได้แก่ Plastic packing การไหลของก๊าซจะเป็นการไหลขึ้นและการไหลแบบ Cross flow โดยที่ตัวกลางใน Column จะมีแบคทีเรียประเภท Sulphide Oxidizing Bacteria เกาะคิดและเจริญเติบโตอยู่บนผิวของตัวกลาง เทคโนโลยีนี้จะมีการเติมอากาศในปริมาณไม่มากในท่อก๊าซชีวภาพก่อนเข้าถึงปฏิกรณ์กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยมีการควบคุมปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าจากความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในก๊าซชีวภาพ ไม่ควรเกิน 3% โดยปริมาตร เมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายลงในน้ำก็จะถูกแบคทีเรียเปลี่ยนให้เป็นกำมะถัน ติดอยู่บนตัวกลาง จะมีการหมุนวนน้ำตลอดเวลา เพื่อให้มีการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เต็มที่ ลักษณะของถังกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบ Biotrickling filter แสดงดังรูปที่ 4.20



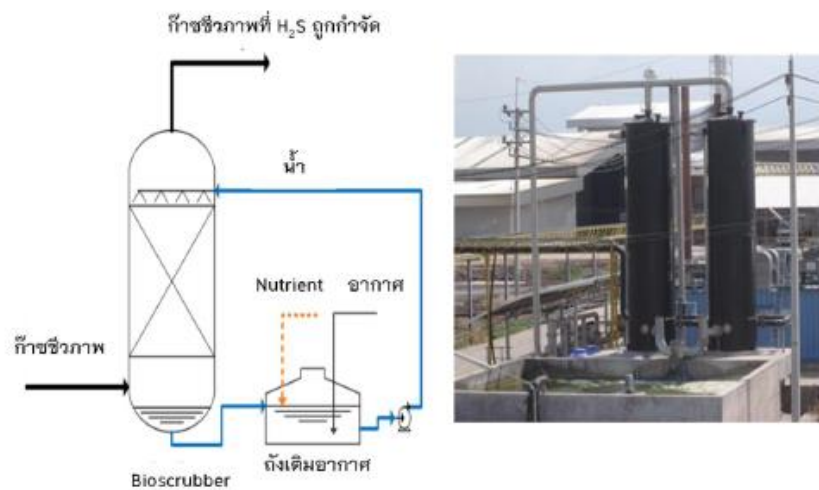
รูปที่ 4.20 ลักษณะของถังกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบ Biotrickling filter [27]

- ข้อดีของเทคโนโลยี
- ประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง
 - ก่อสร้างง่าย
 - ขนาดของระบบเล็ก สามารถสร้างเป็นหอสูงได้

- ข้อจำกัดของเทคโนโลยี** - เงินลงทุนสูง
- เสี่ยงต่อการมีก๊าซออกซิเจนเกินในท่อก๊าซชีวภาพ
 - ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจน เพื่อป้องกันการเติมอากาศมากเกินไป
 - วาล์วและท่อกระจายน้ำ อาจเกิดการอุดตันจากเมือกและคราบกำมะถันได้ง่าย
 - ต้องการการควบคุมดูแลรักษาและสม่ำเสมอ ในการเพิ่มปริมาณและควบคุมแบคทีเรียในหอ
 - ละอองน้ำและความชื้นที่หลุดไปในระบบท่อก๊าซชีวภาพ มักจะเป็นเมือก และตะกอนกำมะถันปนอยู่ สร้างปัญหาการกัดกร่อนและการอุดตันกับอุปกรณ์ความปลอดภัยในระบบการใช้งาน ถ้าไม่มีการดักจับน้ำและความชื้นที่ดี

● **Bioscrubber Technology [26]**

Bioscrubber Technology เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้ น้ำที่เป็นด่างไหลผ่านหอดูดซึมที่มีตัวกลางพลาสติกเพื่อดูดจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใน ก๊าซชีวภาพและไหลเข้าบ่อเติมอากาศเพื่อย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย อาศัยหลักการเรื่อง ความสามารถในการละลายของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ค่า pH สูง เทคโนโลยีนี้ ประกอบไปด้วยหอดูดซึม (Absorption column) ซึ่งมีลักษณะเป็น Column ที่มีชั้นของ ตัวกลาง ได้แก่ plastic packing การไหลของก๊าซจะเป็นการไหลขึ้น โดยที่หอดูดซึมที่มี ตัวกลางอยู่ด้านบนจะทำหน้าที่หลักในการจับไฮโดรเจนซัลไฟด์และมีบ่อเติมอากาศที่ เลี้ยงแบคทีเรียประเภท Sulphide Oxidizing Bacteria อยู่ในบ่อเติมอากาศนี้ แบคทีเรียจะ ทำการเปลี่ยนไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้เป็นกำมะถัน น้ำที่ใช้กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น กำมะถันแล้วจะวนกลับไปหอดูดซึมอย่างต่อเนื่อง การควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ ให้มีค่าระหว่าง 0 – 1 มิลลิกรัม/ลิตร ตลอดเวลา ลักษณะของถังกำจัดก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบ Bioscrubber ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ลักษณะของถังกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบ Bioscrubber [26]

- ข้อดีของเทคโนโลยี**
- สร้างง่าย ไม่ต้องการสร้างบ่อปฏิกรณ์เพิ่มเติม
 - เงินลงทุนต่ำ
 - ควบคุมการทำงานง่าย
- ข้อจำกัดของเทคโนโลยี**
- ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในระบบก๊าซชีวภาพต่ำลง
 - เสี่ยงต่อการระเบิด เนื่องจากมีก๊าซออกซิเจนปนในก๊าซชีวภาพสูง
 - ประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำ ขึ้นอยู่กับการทำงานและเจริญเติบโตของแบคทีเรียประเภท Sulphide Oxidizing Bacteria ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
 - มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการเติมอากาศ

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบการลงทุนและวิเคราะห์ผลตอบแทนการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานด้วยการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบต่างๆ

เทคโนโลยี	เงินลงทุน (ปอนด์/ปี)	ค่าซ่อมบำรุง (ปอนด์/ปี)	%CH ₄ ก่อน กำจัด H ₂ S*	%CH ₄ หลัง กำจัด H ₂ S	ค่าความร้อน (kJ/NM ³) ที่กำจัด H ₂ S	ค่าความร้อน (kJ/NM ³) หลังกำจัด H ₂ S	ค่าความร้อนที่ เพิ่มขึ้น (kJ/NM ³)	ประสิทธิภาพการ ผลิตพลังงาน เพิ่มขึ้น
Biotrickling Filter	92,000	12,000	68.14%	71.402%	24,394.12	25,562.05	1,167.93	4.796%
Bioscrubber	245,000	21,000	68.14%	71.407%	24,394.12	25,563.71	1,169.59	4.803%

หมายเหตุ * ข้อมูลจากคุณเจษฎา โชควัฒน์ศักดิ์ ผู้จัดการโรงงาน เอเชียน้ำมันปาล์ม

** การคำนวณค่าความร้อนและประสิทธิภาพการผลิตพลังงานแสดงในภาคผนวก ข.

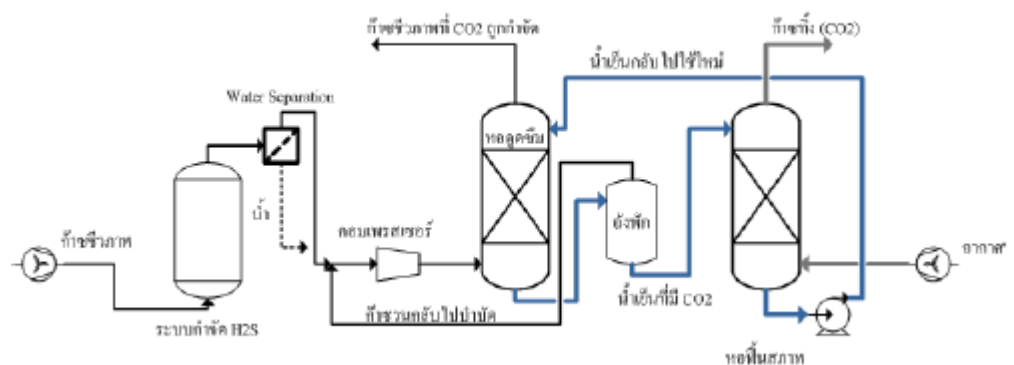
2) การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่รับความร้อนจากการเผาไหม้และพาความร้อนไปทิ้งทางปล่องไอเสีย เมื่อรวมตัวกับน้ำหรือความชื้นจะเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่สัมผัสกับก๊าซชีวภาพ

● Water Scrubber Technology [26]

Water Scrubber Technology เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการอัดก๊าซชีวภาพผ่านหอดูดซึมด้วยน้ำที่ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำในการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้หลักการด้านความสามารถในการละลายที่ดีของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำที่ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำนั้น ระบบมีองค์ประกอบของหอดูดซึม และหอ Stripper ภายในหอนี้ตัวกลางพลาสติก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว ช่วยในการถ่ายเทมวล

หลังจากที่ก๊าซชีวภาพผ่านระบบกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้ว เมื่อแยกละอองน้ำออกจะถูกอัดด้วยคอมเพรสเซอร์ให้มีความดันสูง ประมาณ 13 บาร์เกจ (เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลาย) ก๊าซที่ความดันสูงจะเข้าสู่หอดูดซึมทางด้านล่างและไหลสวนทางกับน้ำ ก๊าซที่ถูกกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์และมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงออกจากระบบด้านบน ส่วนที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ จะไหลออกทางด้านล่างและเข้าสู่ถังพัก เพื่อลดความดัน ก๊าซบางส่วนที่ออกมาจากน้ำจะวนกลับไปทางคูดของคอมเพรสเซอร์ใหม่ ส่วนน้ำก็จะเข้าสู่หอฟื้นฟูสภาพที่ใช้อากาศในการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำออก โดยก๊าซที่ออกทางด้านบนจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก น้ำที่ผ่านการผสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปแล้ว จะวนกลับไปหอดูดซึมอีก เพื่อละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Water Scrubber Technology ดังรูปที่ 4.22



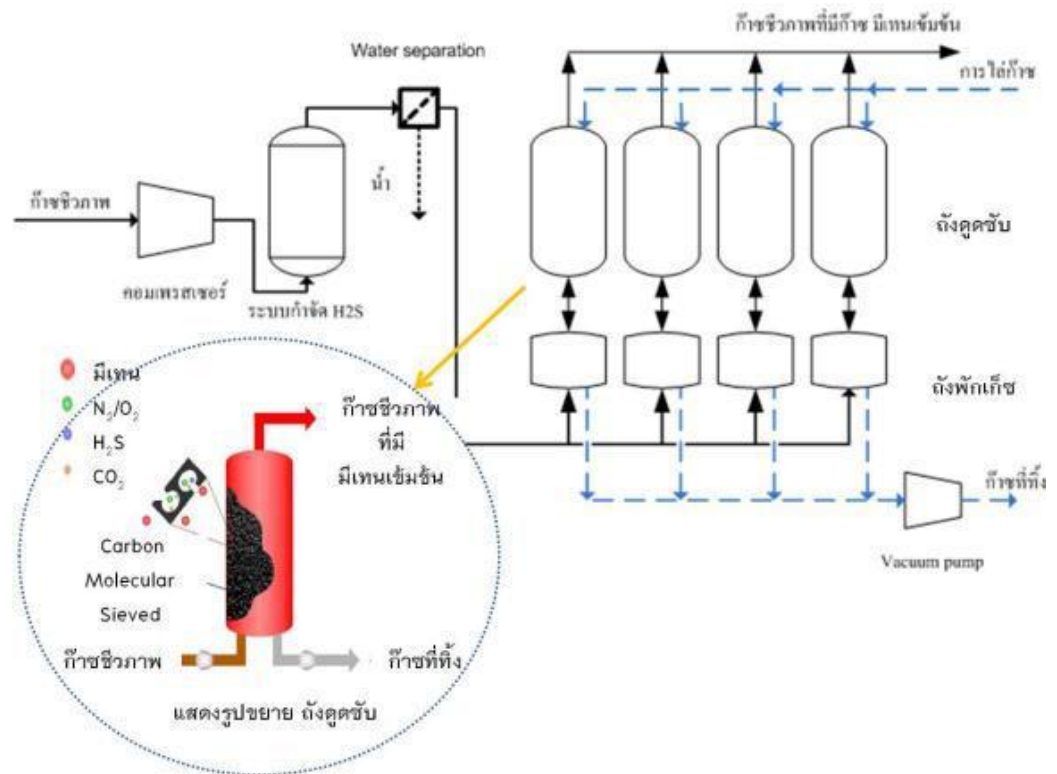
รูปที่ 4.22 เทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Water Scrubber Technology [26]

- ข้อดีของเทคโนโลยี**
- เทคนิคไม่ซับซ้อน
 - ไม่ต้องใช้สารเคมี
 - ได้ก๊าซที่มีความบริสุทธิ์สูงและผลผลิตสูง
 - ไม่เกิดสารกัดกร่อนในท่อ
 - ไม่ต้องใช้ความร้อน

- ข้อจำกัดของเทคโนโลยี**
- ต้องใช้น้ำมากและอุณหภูมิต่ำ
 - ถ้ากำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ดี จะมีการปนเปื้อนหรือการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบนตัวกลาง
 - การลงทุนสูง
 - เสียค่าพลังงานในการเพิ่มความดันก๊าซชีวภาพและต้องเสียค่าพลังงานในการทำน้ำเย็น

- **Pressure Swing Adsorption (PSA) Technology [26]**

Pressure Swing Adsorption (PSA) Technology เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องแยกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกก่อน หลักการทำงานใช้การเปลี่ยนแปลงความดันก๊าซแบบกลับไปกลับมา และสมบัติในการดูดซับของวัสดุต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ โดยความสามารถในการดูดซับของวัสดุแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล ระบบประกอบด้วย ถัง Adsorption 4 ถังด้วยกัน ภายในบรรจุด้วยตัวดูดซับ เช่น ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หรือ Zeolite การทำงานจะเป็นรอบ ตามวงจรของการดูดซับ ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 เทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Pressure Swing Adsorption [26]

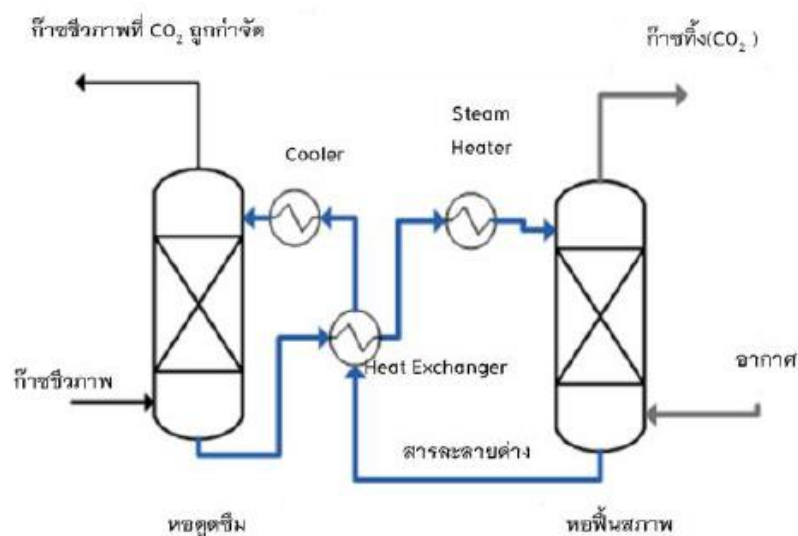
ในสภาวะการทำงานปกติ แต่ละถังจะมีสถานะการทำงานต่างกัน คือ ขั้นตอนการดูดซับ ขั้นตอนการฟื้นฟู และขั้นตอนการสร้างความดัน (ในช่วง 10-25 บาร์เกจ ขึ้นอยู่กับผู้ขายเทคโนโลยี) ในขั้นตอนการดูดซับ ก๊าซชีวภาพจะเข้าทางด้านล่างของถัง Adsorption ในขั้นตอนนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไนโตรเจน จะถูกดูดซับบนตัวดูดซับ ก๊าซที่ออกจากถังจะมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูง นอกจากนี้ไฮโดรคาร์บอน Volatile Organic Compounds (VOCs) และน้ำก็จะถูกดักจับไปด้วย ก่อนที่ถังจะจับถึงเจ็บบนจนอิ่มตัว ขั้นตอนการดูดซับก็จะหยุดลง ถังที่ได้รับการฟื้นฟูแล้วก็จะทำหน้าที่เป็นถังดูดซับแทน ส่วนถังที่อิ่มตัวก็จะเข้าสู่สถานะการฟื้นฟูสภาพ โดยปรับลดความดันลง จนถึงความดันบรรยากาศ ก๊าซที่ออกมาจากถังในช่วงการลดความดันก็อาจจะมีก๊าซมีเทนปนมาบ้าง ซึ่งจะมีการวนกลับไปดูดซับใหม่ หลังจากดึงก๊าซอื่นออกจากตัวดูดซับแล้ว (สิ้นสุดขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพ) ก็จะมีการอัดความดันเพื่อเตรียมการเข้าสู่ขั้นตอนการดูดซับอีกครั้งหนึ่ง เวลาต่อหนึ่งรอบของกระบวนการดูดซับจะอยู่ในช่วง 3-5 นาที ในกระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเป็นกระบวนการที่ย้อนกลับไม่ได้ (ต้องใช้ความร้อน) ดังนั้นถ้าไม่มีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกก่อน ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง

- ข้อดีของเทคโนโลยี**
- ได้ก๊าซที่มีความบริสุทธิ์สูง
 - ความต้องการในการใช้พลังงานต่ำ และไม่ใช้ความร้อน
 - การสูญเสียก๊าซมีเทนต่ำ
 - กำจัดก๊าซออกซิเจนในก๊าซชีวภาพได้
 - กำจัดสิ่งเจือปนอื่นๆได้

- ข้อจำกัดของเทคโนโลยี**
- มีขั้นตอนมาก
 - ทำงานที่ความดันสูง
 - เสียค่าพลังงานในการเพิ่มและลดความดันก๊าซชีวภาพ

● **Chemical Absorption Technology [26]**

เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในสารละลายต่าง Amine อาศัยความแตกต่างด้านความสามารถในการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน ในสารละลายต่าง Amine เช่น Monoethanolamine (MEA, R-NH₂) หรือ Diethanolamine (DEA) เป็นต้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับต่างเอมีน ระหว่างการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ องค์ประกอบของระบบจะมีหอดูดซึม และหอ Stripper (ในกรณีที่มีการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากสารละลาย และวนสารละลายกลับไปใช้ใหม่) ภายในหอมีตัวกลางพลาสติกเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทมวล ดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 เทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Chemical Absorption technology [26]

ก๊าซชีวภาพจะเข้าหอดูดซึมทางด้านล่างและจะไหลสวนทางกับสารละลาย ก๊าซชีวภาพที่กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วและความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงจะออกจากระบบทางด้านบน ส่วนสารละลายทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลออกทางด้านล่างผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อน 2 ชุด เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ โดยชุดแรกทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารละลายที่ออกมาจากหอฟื้นฟูสภาพและชุดที่สองทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำตามลำดับ แล้วเข้าสู่หอฟื้นฟูสภาพ เมื่อเข้าสู่หอก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลายที่อุณหภูมิสูงจะถูกไล่ออกจากสารละลาย ก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะถูกปล่อยทิ้ง ส่วนสารละลายจะถูกวนกลับไปใช้ใหม่ที่หอดูดซึม แต่ก่อนที่จะเข้าหอดูดซึมจะมีการลดอุณหภูมิของสารละลายก่อน เพื่อช่วยให้สามารถละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีขึ้น

ข้อดีของเทคโนโลยี

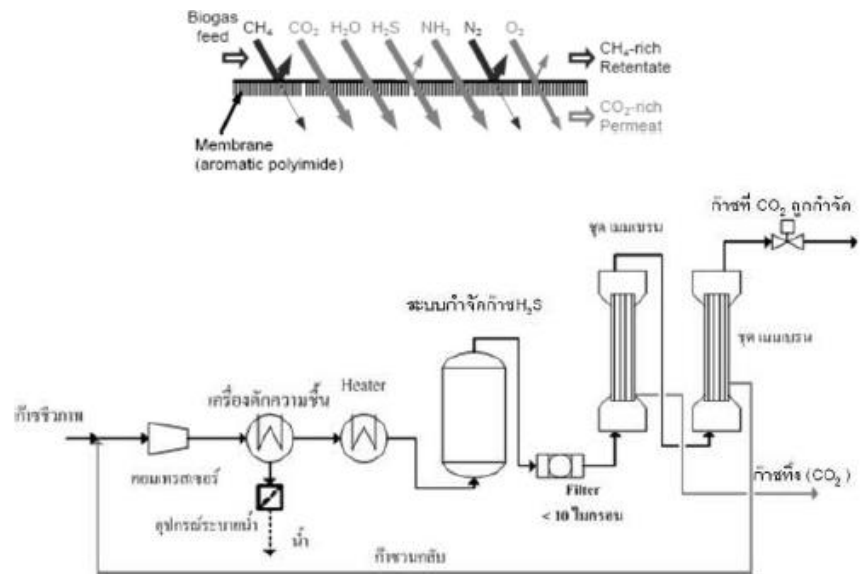
- กำจัดสิ่งปนเปื้อนในก๊าซ ได้โดยเฉพาะเจาะจง
- เทคนิคไม่ซับซ้อน
- ระบบมีขนาดเล็ก
- ไม่จำเป็นต้องทำงานที่ความดันสูง
- มีการสูญเสียก๊าซมีเทนน้อย สัดส่วนมวลของก๊าซมีเทนที่ผ่านกระบวนการกำจัดต่อมวลก๊าซมีเทนของก๊าซที่เข้าหน่วยจำกัดสูง
- ได้ก๊าซที่มีความบริสุทธิ์สูง

ข้อจำกัดของเทคโนโลยี

- มีค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีสูง
- ใช้พลังงานความร้อนสูง ในการฟื้นฟูสภาพสารละลายต่าง
- ต้องมีหลายหอดูดซึมในการกำจัดสิ่งเจือปนแต่ละชนิด

● Membrane Separation Technology [26]

Membrane Separation Technology เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการเลือกซึมผ่านและแพร่ผ่านเมมเบรนที่ใช้เยื่อแผ่นทำจาก Dense polyimide membrane ในการแยกสารใช้หลักการความแตกต่างของขนาดโมเลกุลหรือความจำเพาะต่อโมเลกุลของก๊าซแต่ละชนิดในการดึงดูดกัน (Affinity) ทำงานภายใต้ความดัน ประมาณ 6 -10 บาร์ เกจ ประสิทธิภาพของการแยกขึ้นอยู่กับชนิดของเมมเบรน หลักการโดยทั่วไปของเทคนิคการแยก คือ การเลือกซึมผ่าน (Selective Permeation) ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 เทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Membrane Technology [26]

ในกระบวนการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้น ก๊าซชีวภาพจะถูกเพิ่มความดันและกำจัดสิ่งเจือปนอื่น เช่น น้ำ ความชื้น และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกก่อน และป้อนเข้าสู่ชุดเมมเบรน (ส่วนใหญ่เป็นชนิด Hollow fiber) โดยก๊าซชีวภาพที่ความดันสูงจะอยู่ด้านในของ Hollow fiber ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะสามารถแพร่ผ่านแผ่นเมมเบรนได้ดีกว่า ก๊าซมีเทน ไนโตรเจน และ ออกซิเจน ดังนั้น ด้านใน Hollow fiber จะมีก๊าซมีเทนที่เข้มข้นขึ้น ขณะที่ทางด้านนอกของ Hollow fiber ซึ่งอยู่ในฝั่งความดันต่ำ (เกือบความดันบรรยากาศ) จะมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า และจะเป็นก๊าซที่ปล่อยทิ้งไป

- ข้อดีของเทคโนโลยี**
- ใช้พื้นที่น้อย
 - ไม่มีส่วน Moving parts
 - ไม่มีการเติมสารเคมี
 - มีอายุการใช้งาน 10 – 15 ปี
 - ประหยัดพลังงาน

- ข้อจำกัดของเทคโนโลยี**
- ราคาแพง
 - ระบบมีความละเอียดอ่อน ต้องการควบคุมและบำรุงรักษาอย่างดี
 - ถ้ามีผงหรือของแข็งปนเข้าไป จะทำให้เมมเบรนเสียหายได้
 - ได้สัดส่วนของก๊าซมีเทนต่ำ อาจจะมีก๊าซออกซิเจนเจือปน

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบการลงทุนและวิเคราะห์ผลของการเพิ่มประสิทธิภาพการลดความร้อนด้วยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบต่างๆ

เทคโนโลยี	เป็นลงทุน (บาท/ลบ.ม.ก๊าช)	ค่าซ่อมบำรุง (บาท/ลบ.ม. ก๊าช)	%CH ₄ ก่อน กำจัด CO ₂ *	%CH ₄ หลัง กำจัด CO ₂	ค่าความร้อน ก่อนกำจัด CO ₂ (kJ/NM ³)	ค่าความร้อน หลังกำจัด CO ₂ (kJ/NM ³)	ค่าความร้อน ที่เพิ่มขึ้น (kJ/NM ³)	ประสิทธิภาพการ ผลิตพลังงาน เพิ่มขึ้น
Water Scrubber Technology	0.88	3.64	68.14%	94%	24,394.12	33,652	9,257.88	37.951%
Pressure Swing Adsorption(PSA)	2.38	6.38	68.14%	91%	24,394.12	32,578	8,183.88	33.549%
Chemical Adsorption Technology	1.24	4.48	68.14%	90%	24,394.12	32,220	7,825.88	32.081%
Membrane Separation Technology	0.92	3.28	68.14%	78%	24,394.12	27,924	3,529.88	14.470%

หมายเหตุ * ข้อมูลจากคุณเจษฎา โชติวัฒน์ศักดิ์ ผู้จัดการโรงงาน เอเชียนน้ำมันปาล์ม

** การคำนวณค่าความร้อนและประสิทธิภาพการลดพลังงานแสดง ในภาคผนวก ข.