

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

กระบวนการผลิตและแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญประเภทหนึ่งของประเทศ ควบคู่ไปกับการผลิตข้าวและน้ำตาล จากสถิติข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทยมีจำนวนโรงงานแป้งมันสำปะหลัง รวมทั้งสิ้น 92 โรงงาน ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคเหนือ จำนวน 42, 36, 13 และ 1 โรงงาน ตามลำดับ โดยมีกำลังการผลิตแป้งมันสำปะหลัง และแป้งดัดแปร รวมทั้งสิ้น 16,910 และ 4,350 ตันต่อวัน ตามลำดับ ทั้งนี้โรงงานจะเดินเครื่องจักรทำการผลิต ตลอด 24 ชั่วโมง และทำงานต่อเนื่องกันเป็นเวลา 8-9 เดือนต่อปี โดยจะดำเนินการผลิตในช่วงเดือนกันยายน ถึงเดือนพฤษภาคมของทุกปี

1. กระบวนการผลิต

หลักการสำคัญในการผลิตแป้งมันสำปะหลังคือ การสกัดแป้งออกจากเซลล์ (Cell) ของหัวมันสำปะหลัง โดยใช้น้ำเป็นตัวสกัดแล้วการใช้เครื่องแยกแป้งชนิดหมุนเหวี่ยง ที่มีอัตรารอบหมุนสูงๆ เพื่อแยกแป้งออกจากสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ โปรตีน เกลือแร่และสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกับแป้ง

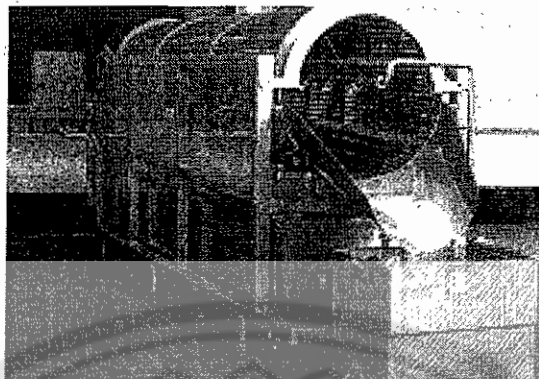
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมีขั้นตอนของกระบวนการผลิตคล้ายกันเป็นส่วนใหญ่ โดยจะมีความแตกต่างด้านเทคนิค และเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนบ้างเล็กน้อย

1.1 การรับและตรวจสอบคุณภาพหัวมันสำปะหลัง

หลังจากที่หัวมันสำปะหลังถูกส่งมาถึงโรงงานจะผ่านการชั่งน้ำหนัก รวมทั้งการสุ่มตัวอย่างทดสอบหาปริมาณแป้ง โดยอาศัยหลักของการลอยตัว (Buoyancy) ของวัตถุ (หัวมัน) ในของเหลว (น้ำ) เพื่อตีราคาในการซื้อขาย แล้วหัวมันสำปะหลังจะถูกนำมากองรวมกันไว้บนลานวัตถุดิบ เพื่อรอการนำเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป โดยทั่วไปควรนำไปผลิตภายใน 24 ชั่วโมง เพื่อป้องกันมิให้ปริมาณแป้งในหัวมันลดต่ำลง

1.2 การกำจัดเศษดินทราย

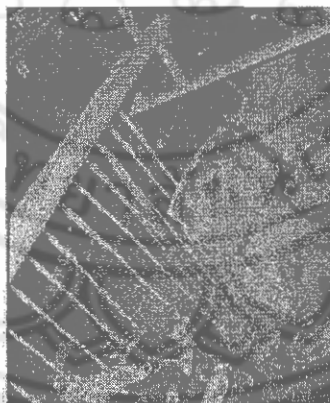
หัวมันสำปะหลังจะถูกรดตัก ตักหัวมันลงสู่ถังจ่ายหัวมัน (Hopper) แล้วถูกลำเลียงโดยใช้สายพานเข้าสู่เครื่องร่อนดินทราย (Sand removal drum) ดังภาพ 1 เพื่อกำจัดดินและทรายที่ติดมากับหัวมัน นอกจากนั้นยังทำให้เปลือกหัวมันสำปะหลังบางส่วนหลุดออก



ภาพ 1 เครื่องร่อนดินทราย [1]

1.3 การล้างหัวมันสำปะหลัง

หัวมันสำปะหลังที่ผ่านเครื่องร่อนทรายจะถูกส่งไปยังเครื่องล้างหัวมัน (Root washer) ดังภาพ 2 โดยวิธีฉีดน้ำพ่นฝอย เพื่อทำความสะอาด ซึ่งน้ำส่วนใหญ่จะมาจากน้ำเสียจากเครื่องแยกแป้งชุดแรก ซึ่งมีปริมาณแป้งน้อยและสิ่งเจือปนมาก น้ำล้างหัวมันสำปะหลังนี้จะส่งไปยังตะแกรงร่อนเปลือกมัน เพื่อแยกเปลือกมัน ส่งขายให้เกษตรกรนำไปเพาะเห็ด หรือใช้เป็นปุ๋ยในไร่ มันสำปะหลัง ส่วนน้ำเสียจะส่งไปยังบ่อบำบัด



ภาพ 2 เครื่องล้างหัวมัน [1]

1.4 การบดหัวมันสำปะหลัง

หัวมันสำปะหลังที่สะอาดจะส่งไปยังเครื่องสับหัวมัน (Root chopper) เพื่อสับหัวมันเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1-2 นิ้ว แล้วชิ้นมันจะตกเข้าสู่เครื่องโม้ (Raster) เพื่อบดหัวมันสำปะหลังที่ผ่านการสับแล้ว มีการเติมน้ำเพื่อให้สามารถโม้ได้ง่ายขึ้น ขั้นตอนนี้จะได้ของเหลวชั้นที่มีส่วนผสมของแป้ง น้ำ กากมัน และสิ่งเจือปนต่างๆ

1.5 การสกัดแป้ง

หลังจากที่โม้หัวมันแล้ว น้ำแป้งจะผ่านการเติมน้ำและนำเข้าสู่เครื่องสกัดแป้ง (Extractor) ดังภาพที่ 3 เพื่อแยกเส้นใยและกาก (Cellulose) ออกจากแป้ง ที่เรียกกันในโรงงานว่า เครื่องเทอร์โบ (Turbo) โดยทั่วไปจะมี 3 ถึง 4 ชุด ซึ่งชุดสกัดหยาบจะใช้ตะแกรงขนาด 60 – 80 และชุดสกัดละเอียดใช้ผ้ากรองขนาด 90 mesh

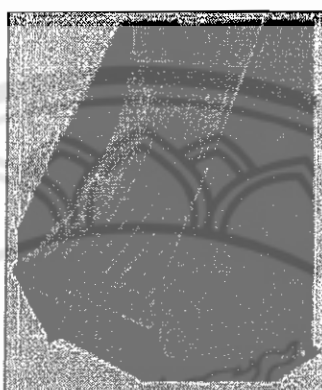
การทำงานของเครื่องเป็นเครื่องแยกแป้งแบบหมุนเหวี่ยงใช้หลักของแรงหนีศูนย์กลาง ในขณะที่เครื่องหมุน จะมีแป้งมันสำปะหลังส่งเข้ามาตลอดเวลา ในขณะที่เดียวกันก็จะมีน้ำและน้ำกำมะถันฉีดไปช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดแป้ง และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รวมทั้งช่วยฟอกสีแป้งให้ขาว และป้องกันการอุดตันของแผ่นผ้ากรอง



ภาพ 3 การสกัดแป้ง [1]

บางโรงงานจะมีการใช้เครื่อง DSM Screen ดังภาพที่ 4 แทนเครื่องสกัดละเอียด หลักการทำงานของเครื่องจะใช้หลักการปล่อยน้ำแป้งไหลผ่านผิวหน้าของแผ่นกรอง ซึ่งมีลักษณะโค้งติดตั้งในแนวตั้ง รูปนแผ่นกรองจะทำมุมรับกับน้ำแป้งที่ไหลผ่านลงมา ดังนั้นน้ำแป้งจึงสามารถไหลผ่านเข้าไปได้ คงเหลือแต่กากชั้นโต การไหลของน้ำแป้งจากบนลงสู่ด้านล่างยังทำให้แผ่นกรองไม่อุดตัน และใช้พลังงานในการแยกน้ำแป้งออกจากกากน้อยกว่าการแยกด้วยเครื่องสกัดแป้ง ของ

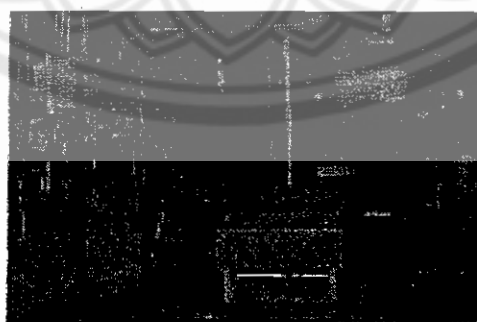
เหลือขึ้นโตจากกระบวนการนี้คือ กากมันที่ได้จากการสกัดแบ่ง ซึ่งจะนำเข้าไปสกัดในเครื่องสกัดแบ่งหยาบอีกครั้งหนึ่ง เพื่อทำการสกัดแบ่งที่เหลือทิ้งในกาก ก่อนส่งไปเข้าสู่เครื่องอัดกาก จากนั้นจึงนำกากมันที่ได้ไปตากแดดเพื่อนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ต่อไป



ภาพ 4 เครื่อง DSM Screen [1]

1.6 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแบ่ง

น้ำแบ่งที่ถูกสกัดออกจากกากมันสำปะหลังจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องแยกแบ่ง (Separator) ดังภาพ 5 ซึ่งอาจเป็นเครื่องแยกแบ่งชนิดหมุนเหวี่ยง (Centrifugal separator) หรือไฮโดร-ไซโคลอน H) โดยโรงงานส่วนใหญ่จะใช้เครื่องแยกแบ่งชนิดหมุนเหวี่ยง เพื่อแยกแบ่งที่อยู่ในรูปของสารละลายแขวนลอย (Colloid) ออกจากน้ำแบ่ง ทำให้น้ำแบ่งที่ได้มีความเข้มข้นสูงขึ้น และเพื่อให้แบ่งมีคุณภาพที่ดี จึงมักใช้เครื่องแยกแบ่งจำนวน 2 ชุด น้ำเสียจากกระบวนการนี้จะนำไปที่บ่อล้างหัวมันหรือย้อนกลับไปในกระบวนการสกัดแบ่งอีก



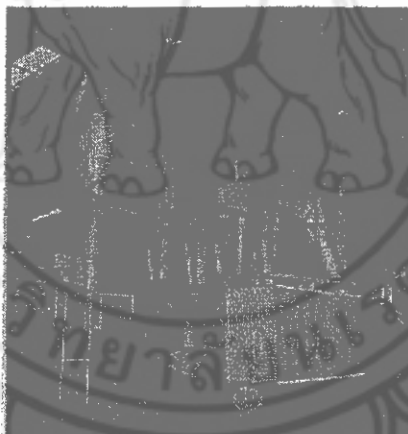
ภาพ 5 เครื่องแยกแบ่ง [1]

1.7 การสลัดแห้ง

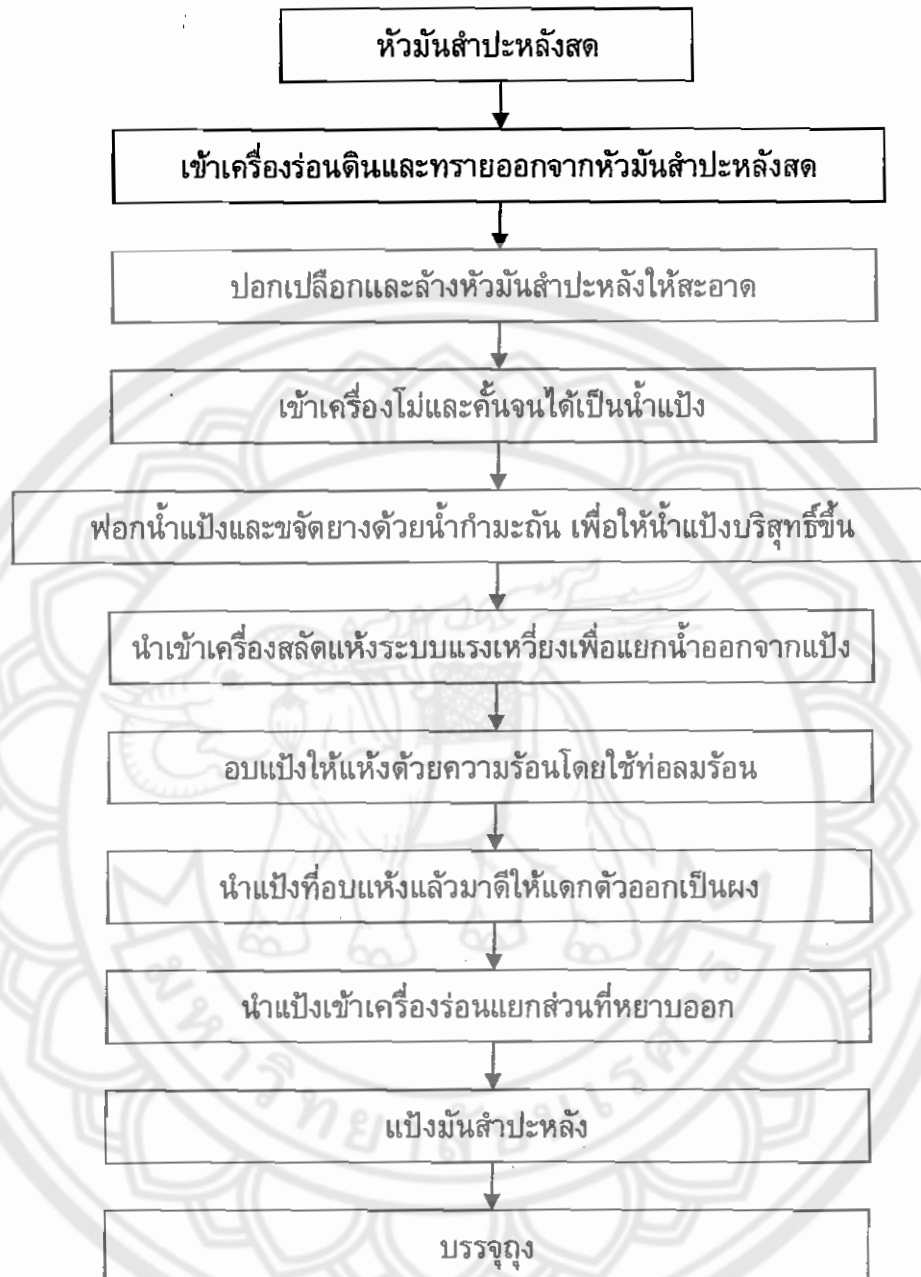
น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นสูงจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออกจากน้ำแป้งเข้มข้นอีก โดยใช้เครื่องสลัดแห้ง ซึ่งหมุนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์จนเกิดแรงเหวี่ยง ดันน้ำให้ซึมผ่านผ้ากรอง น้ำที่ปนอยู่ในน้ำแป้งเข้มข้นจะซึมผ่านผ้ากรองออกไปด้านล่างของเครื่องสลัดแห้ง น้ำส่วนนี้จะนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตอีก ส่วนเนื้อแป้งจะถูกกรองออก โดยเนื้อแป้งที่ได้นี้เรียกว่า แป้งหมัดที่มีความชื้นร้อยละ 32 – 28

1.8 การอบแป้ง

การอบแป้งจะใช้วิธีลำเลียงแป้งหมัดด้วยบีมเกลียวเข้าสู่ปล่องอบแห้ง แป้งหมัดจะเป่าด้วยลมร้อน 150 – 200 องศาเซลเซียส จากเตาเผา ความแรงของลมร้อนจะพัดเอาแป้งขึ้นไปตามท่ออบแห้งที่สร้างเป็นปล่องสูง แล้วตกลงสู่ไซโคลน (Cyclone) ดังภาพ 6 แป้งที่ได้ในไซโคลนจะยังร้อนอยู่ จึงต้องถูกทำให้เย็นลงด้วยการใช้ไซโคลนเย็น (Cooling cyclone) หลังจากนั้นจึงปล่อยเข้าสู่เครื่องร่อนแป้ง (Sifter) เพื่อคัดแยกแป้งหยาบและแป้งละเอียดเพื่อทำการบรรจุต่อไป



ภาพ 6 ไซโคลนร้อน [2]



ภาพ 7 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง [2]

แหล่งกำเนิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

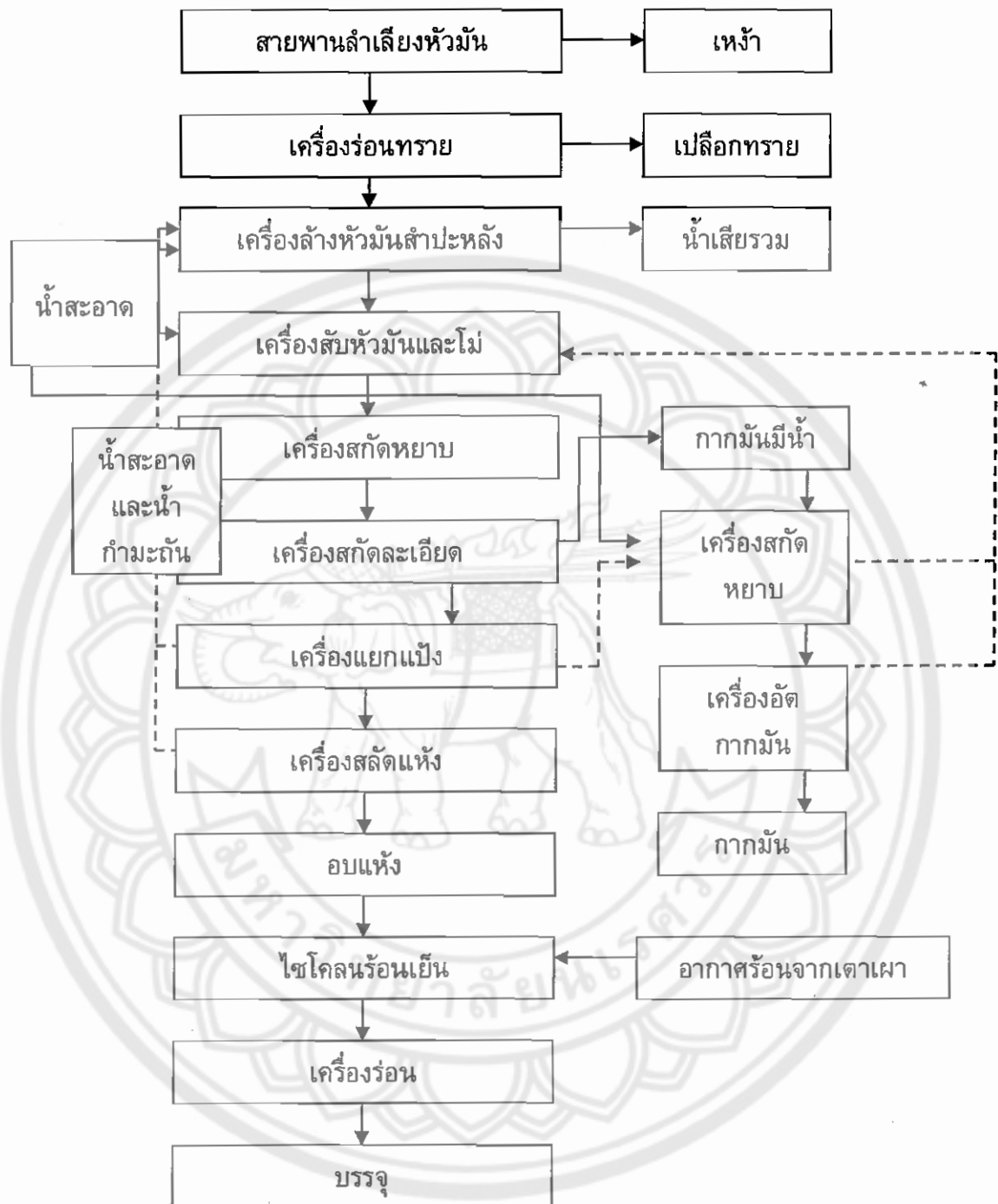
น้ำเสียจากการผลิตแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่มาจากการทิ้งน้ำจากกระบวนการผลิต 2 จุด ได้แก่ น้ำเสียจากเครื่องสกัดแป้งและน้ำเสียจากการล้างหัวมัน น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง มีค่าซีโอดีสูงประมาณ 12,000-35,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเหมาะสมต่อใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

น้ำเสียจากการสกัดแป้งจะนำมาหมุนเวียนใช้ล้างหัวมัน ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการล้างหัวมันจะปล่อยทิ้ง และน้ำเสียจากการแยกแป้งจะนำมาใช้ในการสกัดแป้ง อีกครั้งหนึ่ง โดยในการสกัดแป้งจะใช้น้ำหมุนเวียนจากขั้นตอนการแยกแป้งมาใช้ในการผลิต

ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแสดงดังตาราง 1 และรูปแสดงของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังดิบ แสดงดังภาพ 8

ตาราง 1 แสดงลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังดิบ [3]

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าเฉลี่ยที่วัดได้ประมาณ
ค่า พีเอช (pH)	-	3.8 – 4.6
ค่า บีโอดี (BOD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	12,000 - 13,000
ค่า ซีโอดี (COD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	13,000 - 14,000
ของแข็งแขวนลอย (SS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	6,000 - 12,000
ของแข็งละลายน้ำ (TDS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	12,400
ไซยาไนด์ (Cyanide)	มิลลิกรัมต่อลิตร	16-19



ภาพ 8 ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำหรับปะหลังดิบ [4]

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในสภาวะไร้อากาศ เช่น ก๊าซมีเทน (Methane, CH_4), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แอมโมเนีย (NH_3) และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นต้น สารอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายด้วยก๊าซชีวภาพได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และ ไขมัน จะนำมาใช้เป็นสารอาหารในการดำรงชีพของแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่ใช้อากาศ (Anaerobic bacteria) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทตามชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1. แบคทีเรียสร้างกรด โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ใน น้ำทิ้งไปเป็นกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น กรดอะซิติก
2. แบคทีเรียสร้างมีเทน ทำหน้าที่ย่อยสลายกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

สารอินทรีย์ที่พบอยู่ในน้ำเสียจะเป็นสารประกอบจำพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และ ไขมัน ทั้งที่อยู่ในรูปของของแข็งและสารละลาย กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ขั้นตอนนี้สารอินทรีย์ยังอยู่ในรูปโมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ซึ่งไม่สามารถจะย่อยสลายได้ทันที ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กเสียก่อน โดยมีแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด จะทำหน้าที่ปล่อยเอนไซม์มาช่วยเร่งการแตกตัวของโมเลกุล โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะได้รับสารอาหารบางชนิดจากสารอินทรีย์ผ่านการดูดซึมเข้าสู่เซลล์โดยตรง

ขั้นตอนที่ 2 อะซิโดจีเนซิส (Acidogenesis) การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะใช้สารที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนแรกเป็นสารตั้งต้นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของการย่อยในขั้นตอนแรกที่จะละลายได้แล้วเหล่านั้นจะถูกแบคทีเรียเข้าไปย่อยด้วยเอนไซม์ภายในเซลล์และขับออกมาภายนอกเป็นสารพวกกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids, VFAs) แอลกอฮอล์ กรดแลคติก (Lactic acid) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) แอมโมเนีย (NH_3) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ขั้นตอนที่ 3 อะซิโตจีเนซิส (Acetogenesis) เป็นกระบวนการสร้างกรดอะซิติก โดยแบคทีเรียสร้างกรด โดยกรดที่เกิดขึ้นจะมีกรดอะซิติกสูงสุดในปริมาณที่มากที่สุด และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย แบคทีเรียสร้างกรดจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน

ขั้นตอนที่ 4 เมทาโนจีนิซิส (Methanogenesis) เป็นกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน จากกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ที่ได้จากกระบวนการสร้างกรด โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane forming bacteria) การสร้างก๊าซมีเทนเกิดได้ 2 แบบ แบบแรกจะเกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทน โดยคิดเป็นร้อยละ 70 ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบ อีกแบบหนึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน

ขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่จำกัดควบคุมการหมักย่อยของทั้งระบบ ซึ่งสามารถผลิตขึ้นได้ทั้งจาก อะซิเตท และก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่ใช้ อะซิเตท (Acetotrophic bacteria) และไฮโดรเจนเป็นอาหาร (Hydrogenotrophic bacteria) แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนจากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เจริญเติบโตได้เก่งกว่าพวกที่ใช้อะซิเตท ดังนั้นการผลิตมีเทนจากอะซิเตทจึงอาจเป็นส่วนที่จำกัดการผลิตมีเทนในภาพรวมทั้งหมดด้วย

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

สารตั้งต้นของก๊าซชีวภาพ คือ สารอินทรีย์ที่เป็นซากสิ่งมีชีวิตหรือเป็นส่วนประกอบในน้ำเสียและของเสีย ซึ่งแบคทีเรียหลายประเภทร่วมกันทำการย่อยสลาย โดยประมาณร้อยละ 80-90 ของสารอินทรีย์จะเกิดการย่อยสลายและเปลี่ยนเป็น ก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิด ดังนี้

1. ก๊าซมีเทน (CH_4) ร้อยละ 50-70
2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 30-50
3. ก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไอน้ำ

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

การหมักย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องการอุณหภูมิของน้ำเสียที่ไม่ต่ำเกินไป อุณหภูมิที่ทำให้บ่อหมักชนิดที่ไม่ต้องให้ความร้อนเพิ่ม ทำงานได้ตั้งแต่อุณหภูมิเกิน 15 องศาเซลเซียสขึ้นไป และการผลิตก๊าซมีเทนซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าบ่อหมักทำงานได้ดีนั้นจะมีการผลิตเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของอากาศหรือของน้ำเสียที่สูงขึ้น

การเติมน้ำเสียที่มีความเข้มข้น (มีค่าของแข็งทั้งหมด ร้อยละ 5-10) และอัตราการเติมพอเหมาะจะไม่ทำให้ในบ่อหมักมีสภาพเป็นกรดมากเกินไป โดยการหมักย่อยที่แบคทีเรียทุกกลุ่มทำงานร่วมกันได้ดีต้องการค่าพีเอช หรือค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 6.8 - 7.5 การเป็นกรดมากเกินไป เกิดจากการเติมของเสียในอัตราสูงเกินไป เช่น เกินกว่า 1.5 กิโลกรัมของของแข็งระเหยได้ (VS) ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับกรณีบ่อหมักแบบโดมซึ่งจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนจะทนอยู่ไม่ได้ และการที่มีสภาพเป็นด่างมากเกินไปก็จะทำให้แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย

(NH₃) ได้มากขึ้น ซึ่งแอมโมเนียเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้มากกว่าที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน นอกจากนี้ น้ำเสียควรมีสารอินทรีย์ที่มีสัดส่วนของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ระหว่าง 9-25:1 การกวนตัวของน้ำเสียภายในส่วนหมักก็นับว่าเป็นเรื่องที่มีส่วนสนับสนุนให้การสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์กับแบคทีเรียเกิดได้ดี ตาราง 2 แสดงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ตาราง 2 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ [2]

ปัจจัย	สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมและผลกระทบ
อุณหภูมิ	อยู่ช่วงอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic) คือ 26-40 °C ช่วงที่เหมาะสมที่สุด อยู่ที่ 30-35 °C การหมักในช่วงอุณหภูมิสูง (Thermophilic) คือ 45-60 °C ก็สามารถทำได้ แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระทันหันอาจส่งผลเสียระบบผลิตก๊าซได้
ระยะเวลาหมัก	ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเสียขาเข้า ชนิดของของเสีย และอุณหภูมิ โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 1-30 วัน
อากาศ	ต้องไม่ให้มีอากาศผ่านเข้าระบบ เพราะเป็นพิษต่อระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน
ชนิดแบคทีเรีย	ขึ้นอยู่กับชนิดของของเสียและอุณหภูมิ แบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ชนิด Methanosarcina อาจให้ผลดีต่อระบบที่ต้องการอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูง
พีเอช (pH)	อยู่ในช่วง 6.0-8.0 ดีที่สุดเมื่อใกล้ 7.0
กรดไขมันระเหยง่าย (VFAs)	ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ควรมากกว่าค่ากรดไขมันระเหยง่าย
ปริมาณของแข็ง	ช่วงที่เหมาะสมของปริมาณของแข็งในน้ำเสียขาเข้าประมาณ 7-9% โดยน้ำหนัก
สารพิษ	หากมีปริมาณของไอออนประจุบวก (Cations) และโลหะหนักบางชนิดมากเกินไป จะเป็นพิษต่อระบบ โดยทั่วไปอินทรีย์ที่มีธาตุฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ (Halogenated organics) จะส่งผลเสียต่อระบบได้ง่าย

หมายเหตุ VFAs (Volatile Fatty Acids) เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนของคาร์บอนอะตอมอยู่ 6 หรือน้อยกว่า อาทิเช่น กรดอะซิติก โพรพานอิก และ บิวเทอริก เป็นต้น Halogenated organics เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยหมู่ฮาโลเจนหรือธาตุในหมู่ 7 ตามตารางธาตุ เช่น คลอรีน ซึ่งสารเหล่านี้จะมีความเป็นพิษสูง และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

โดยทั่วไปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ

1. ชนิดและขนาดของอินทรีย์วัตถุหรือวัตถุดิบที่ใช้
2. อุณหภูมิเป็นตัวช่วยเร่งให้เกิดก๊าซเร็วขึ้นถ้าอุณหภูมิต่ำจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตช้าหรือหยุดการเจริญเติบโตทำให้เกิดก๊าซน้อยหรือไม่เกิดก๊าซเลยดังนั้นบ่อก๊าซที่ดีจะต้องมีแสงแดดส่องถึงและมีอุณหภูมิที่พอเหมาะ
3. ความเป็นกรดเป็นด่างภายในบ่อก๊าซถ้าพีเอชต่ำเกินไปจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน ค่าของความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมคือ 6.6-7.6
4. สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) หมายถึง ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง ค่าสภาพความเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าประมาณ 1,000-5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)
5. สารอาหาร (Nutrients) สารอินทรีย์ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีรายงานการศึกษาพบว่า มีสารอาหารในสัดส่วน C:N และ C:P ในอัตรา 25:1 และ 20:1 ตามลำดับ
6. แบบและชนิดของบ่อก๊าซ เมื่อแบ่งตามแบบการเติมสารหมัก (อินทรีย์สาร กับ น้ำ) คือ
 - 6.1 แบบกะ (Batch operation) โดยการเติมอินทรีย์สารครั้งเดียวแล้วปล่อยให้อินทรีย์สารถูกย่อยสลายจนหมดแล้วจึงเอาออก และเติมสารอินทรีย์ลงใหม่ ข้อเสียของการเติมสารหมักประเภทนี้ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซต่ำ ประมาณก๊าซไม่คงที่
 - 6.2 แบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi - Continuous operation) โดยการเติมอินทรีย์สารอย่างกึ่งต่อเนื่อง คือ วันเว้นวัน หรือวันเว้นสองวัน ปริมาณการเติมขึ้นอยู่กับสภาพสารอินทรีย์ที่มีและขนาดของบ่อหมัก ผลที่ได้มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแรก ประมาณก๊าซที่ได้ค่อนข้างคงที่
 - 6.3 แบบต่อเนื่อง (Continuous operation) เป็นการเติมสารอินทรีย์เข้าและเอาสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วออกอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ด้วยอัตราการไหลเข้าและออกคงที่ ประสิทธิภาพของระบบนี้จะสูงสุด เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรม ประมาณก๊าซที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงที่อยู่ตลอดเวลา
7. สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Materials) เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย สามารถทำให้ขบวนการย่อยสลาย ในสภาพไม่ใช้ออกซิเจนหยุดชะงักได้ การรักษาน้ำอื่น ๆ ที่ทำให้ก๊าซเกิดขึ้นได้ดีก็มีผลช่วยให้การเคลื่อนตัวของตะกอนในการคลุกเคล้าเกิดขึ้นได้ดีด้วย ในปัจจุบันการออกแบบให้ถังหมักมีการป้อนน้ำเสียจากพื้นบ่อ และออกแบบให้ตะกอนของแบคทีเรียที่เพิ่มจำนวนสะสมอยู่ในบ่อหมักในจำนวนที่มากพอดี หรือ

ออกแบบให้แบคทีเรียมีที่พักอาศัยได้มาก เพื่อเพิ่มการสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์กับแบคทีเรียได้เต็มที่ ทำให้บ่อหมักมีความสามารถในการรับภาระของเสียในอัตราที่สูงขึ้น และใช้เวลาหมักย่อยได้สมบูรณ์ในเวลาอันสั้น

ศักยภาพในการให้พลังงานของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูง โดยสามารถให้พลังงานความร้อนได้สูงถึงประมาณ 9,000 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร (kcal/m³) หรือ 21,000 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร (kJ/m³) ดังนั้นจึงสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานได้ เช่นเผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพไม่สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ทั้งหมดให้เป็นก๊าซได้ จะยังคงมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากหลงเหลืออยู่โดยจะเหลืออยู่มากหรือน้อยขึ้นกับชนิดและแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ สำหรับศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอินทรีย์แต่ละประเภทได้แสดงไว้ในตาราง 3 โดยอาศัยการประเมินค่าจากเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และให้ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร มีส่วนประกอบของมีเทนร้อยละ 60-65

ตาราง 3 แสดงศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับปุ๋ยเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำเสียจากโรงงานประเภทอื่นๆ [5]

แหล่งของน้ำเสีย	ปริมาณน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตร)	ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตร)
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	1	15
โรงงานแป้งข้าวเจ้า	1	2.4
โรงงานแป้งมันสำปะหลัง	1	7
โรงฆ่าสัตว์	1	0.7
ฟาร์มสุกร	1	3.5

ในส่วนของอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสามารถคำนวณคร่าวๆ ทางทฤษฎีได้ โดยเริ่มจากการคำนวณหาสารอินทรีย์ที่ใช้ในการสร้างมีเทนก่อน ดังแสดงในสมการที่ 4

$$\text{สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างมีเทน} = \text{สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้} - \text{สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างเซลล์} \quad (4)$$

เมื่อได้ปริมาณสารอินทรีย์ในการสร้างมีเทนแล้ว จึงคำนวณหาอัตราการสร้างมีเทนโดยใช้สมการที่ 5

$$\text{อัตราการสร้างมีเทน (ลบ.ม./วัน)} = 0.36 \text{ (ลบ.ม./กก.)} \times \text{สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างมีเทน (กก./วัน)} \quad (5)$$

สารอินทรีย์ที่ถูกนำมาใช้ในการสร้างมีเทนสามารถคำนวณได้จากปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดไปลบด้วยปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้นใหม่ ในส่วนของก๊าซชีวภาพที่ได้ทั้งหมดโดยปกติแล้วก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วยมีเทนร้อยละ 60 ดังนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจะมีค่าเท่ากับ

$$\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./วัน)} = \text{ปริมาณก๊าซมีเทน (ลบ.ม./วัน)} / 0.6 \quad (6)$$

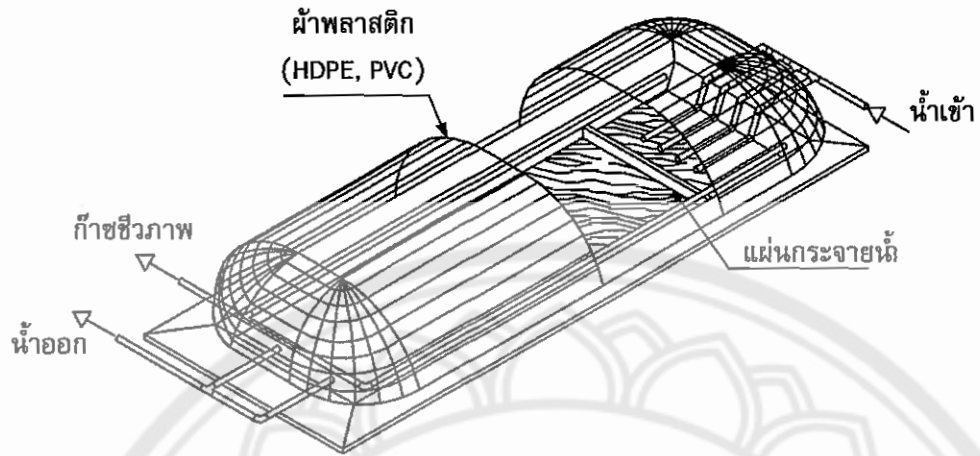
ดังนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปริมาณ 1 กิโลกรัมจะมีค่าประมาณ $0.36/0.6 = 0.6$ ลบ.ม./กก.

เทคโนโลยีที่เหมาะสมของระบบผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง

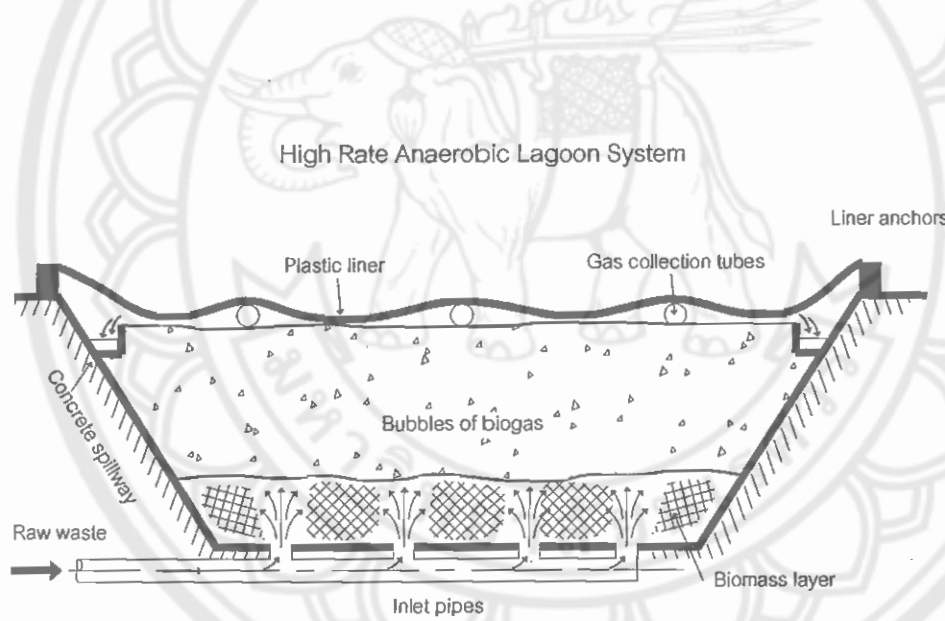
1. ระบบบ่อคลุมแบบดัดแปร (Modified Covered Lagoon, MCL)

1.1 หลักการของระบบบ่อคลุมแบบดัดแปร หรือ MCL

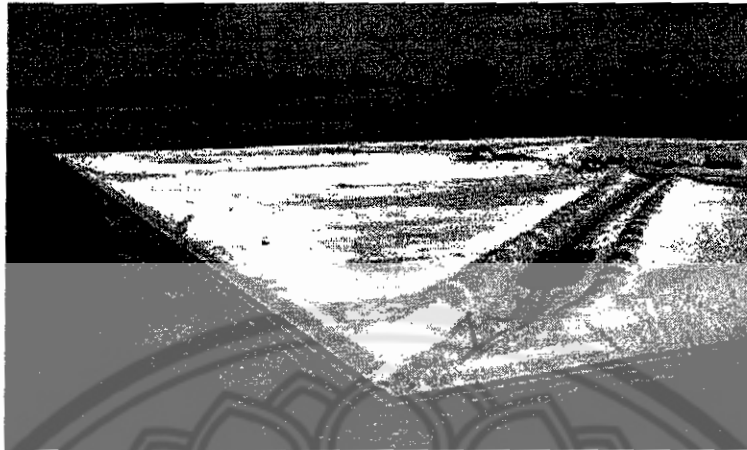
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อคลุมแบบดัดแปร (Modified Covered Lagoon, MCL) มีลักษณะเป็นสระหรือบึงรูปรางสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีการคลุมด้วยแผ่นพลาสติกจำพวกที่มีความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) หรือ แผ่นพีวีซี (PVC) เพื่อให้เกิดสภาพไม่ใช่อากาศและใช้เป็นตัวเก็บรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยอาจคลุมทั้งบ่อหรือคลุมเฉพาะในส่วนที่มีการสร้างมีเทนก็ได้ โดยที่มีการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของตะกอนแบคทีเรียกับน้ำเสียให้มากขึ้นซึ่งทำได้หลายวิธีเช่น ปรับปรุงให้มีการกระจายน้ำเข้าที่ดีขึ้น และพัฒนาระบบดักกักตะกอนภายในบ่อคลุม (Covered Lagoon) เพื่อลดการสะสมของตะกอนภายในบ่อ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้น เรียกว่า บ่อคลุมแบบดัดแปร หรือ MCL (Modified Covered Lagoon) แสดงได้ดังภาพ 9, 10 และ 11



ภาพ 9 การทำงานของระบบบ่อคลุมแบบดัดแปร (MCL) [5]



ภาพ 10 ลักษณะของท่อกระจายน้ำในบ่อคลุมแบบดัดแปร (MCL) [5]



ภาพ 11 ลักษณะของบ่อคลุมแบบดัดแปร (MCL) [6]

ระบบบ่อคลุมแบบดัดแปร (MCL) จะเป็นระบบที่ผลิตก๊าซชีวภาพ แบบเชื้อแขวนลอยใน น้ำเสียประเภทหนึ่ง ซึ่งในการออกแบบรายละเอียดและการเรียกชื่อระบบจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับบริษัทที่ออกแบบ และระบบการตลาด

ในการปรับปรุงและพัฒนาระบบ การออกแบบระบบบ่อคลุมแบบดัดแปร (MCL) สามารถกระทำได้หลายๆ วิธี เช่น

1. การหมุนเวียนน้ำผ่านการบำบัดกลับมาผสมกับน้ำเสียเพื่อเพิ่มค่าสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) แบบลดการสูญเสียเซลล์ของแบคทีเรีย
2. การให้ท่อจ่ายน้ำเข้าบ่อเป็นแบบไหลขึ้นด้านบน (Up flow) ทำให้น้ำไหลผ่านและสัมผัสชั้นแบคทีเรียมากขึ้น
3. การติดตั้งระบบกวนผสมแบบต่างๆ เช่น การใช้น้ำเสีย การใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นในบ่อ หรือการใช้เครื่องกวนผสม เป็นต้น
4. การเปรียบเทียบและบังคับทิศทางการไหลของน้ำเพื่อให้น้ำเสียสัมผัสกับชั้นตะกอนแบคทีเรียมากขึ้น เช่น การติดตั้งผนังกั้นในบ่อ เพื่อบังคับให้น้ำไหลขึ้นและลง เช่นเดียวกับระบบแผ่นกั้นไม่ใช้อากาศ หรือ เอบีอาร์ (Anaerobic Baffle Reactor, ABR) เป็นต้น

1.2 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบบ่อคลุมแบบดัดแปร หรือ MCL

ข้อดี

1. เป็นระบบที่มีตะกอนแบคทีเรีย แบบตะกอนแขวนลอยในน้ำ (MLVSS) และฟล็อก (Floc) ไม่อัดตัวกันแน่น เป็นระบบที่มีเวลาเก็บกักนาน แต่จะสามารถรับน้ำเสียได้ดีที่ภาระต่ำ (Load)

2. เป็นระบบที่มีเวลาเก็บกักมาก จึงมีตะกอนแบคทีเรียที่เกิดขึ้นใหม่ เกิดขึ้นได้ทันกับจำนวนที่ล้างออกจากระบบไป

3. ต้องการตะกอนหัวเชื้อเพื่อการเติมหัวเชื้อ (Seeding) เริ่มต้นไม่มาก
ข้อจำกัด

1. เมื่อระบบเกิดการล้มเหลว การฟื้นฟูระบบขึ้นมาใหม่จะใช้เวลานานและทำได้ยาก เนื่องจากระบบมีความจุมาก และการกวนผสมที่ไม่เพียงพอ

2. หากเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างระบบที่มีราคาสูง เช่น ใช้บ่อดินที่ไม่มีการคาดคองกรีดก่อนปูแผ่นพลาสติก จะมีผลให้อายุการใช้งานสั้น

3. ราคาค่าก่อสร้างสูงหากต้องการป้องกันการซึมของน้ำเสีย

4. ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูง(Operating cost) เมื่อต้องการกวนผสมที่สมบูรณ์

5. ไม่สามารถเพิ่มการวนกลับมาใช้ใหม่ในระบบได้มาก เนื่องจากมีการล้างตะกอนแบคทีเรียออกไป

6. การควบคุมปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ให้เพิ่มหรือลด กระทำได้ยากใช้เวลานาน

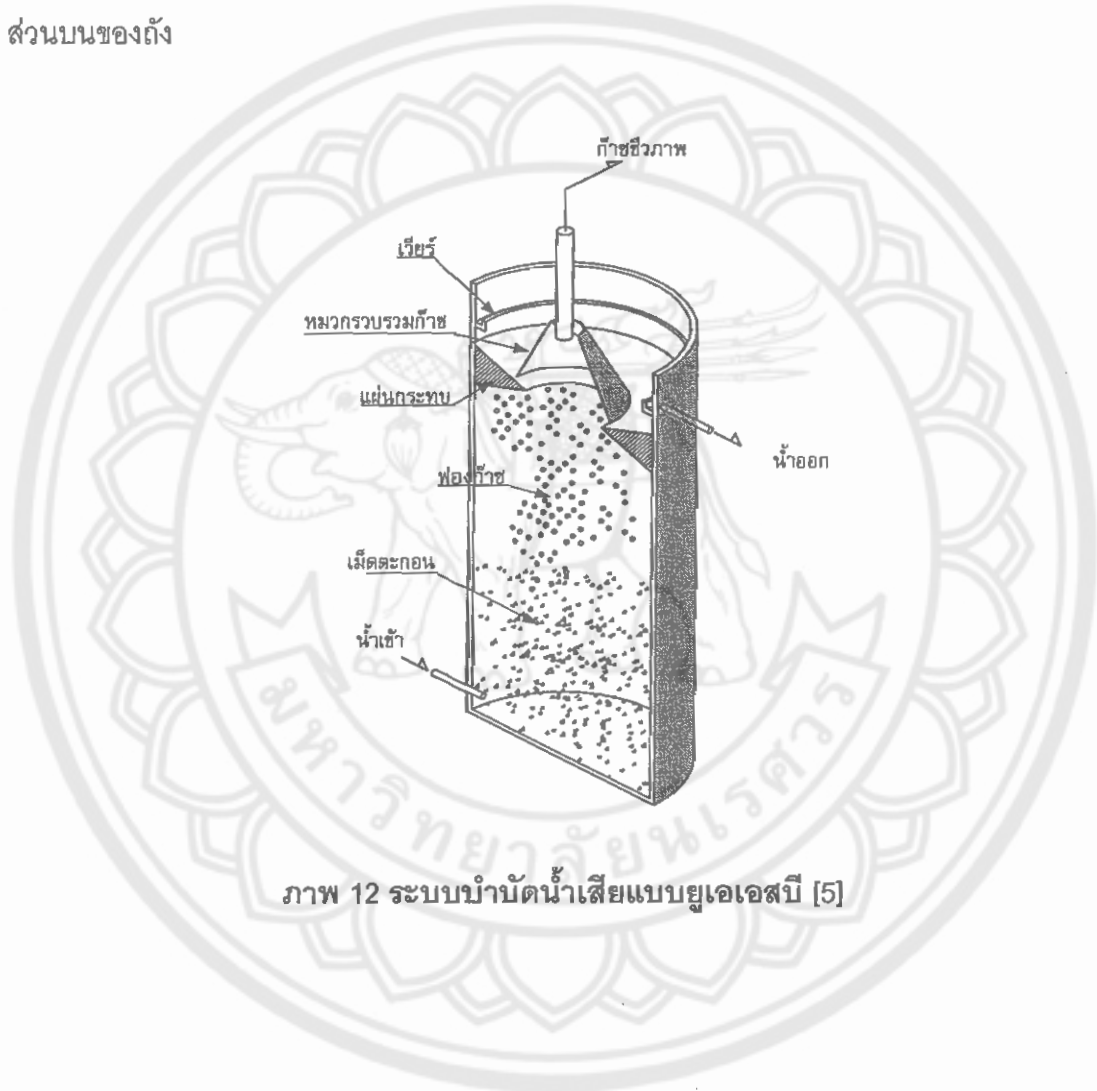
2. ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB)

2.1 หลักการของระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB)

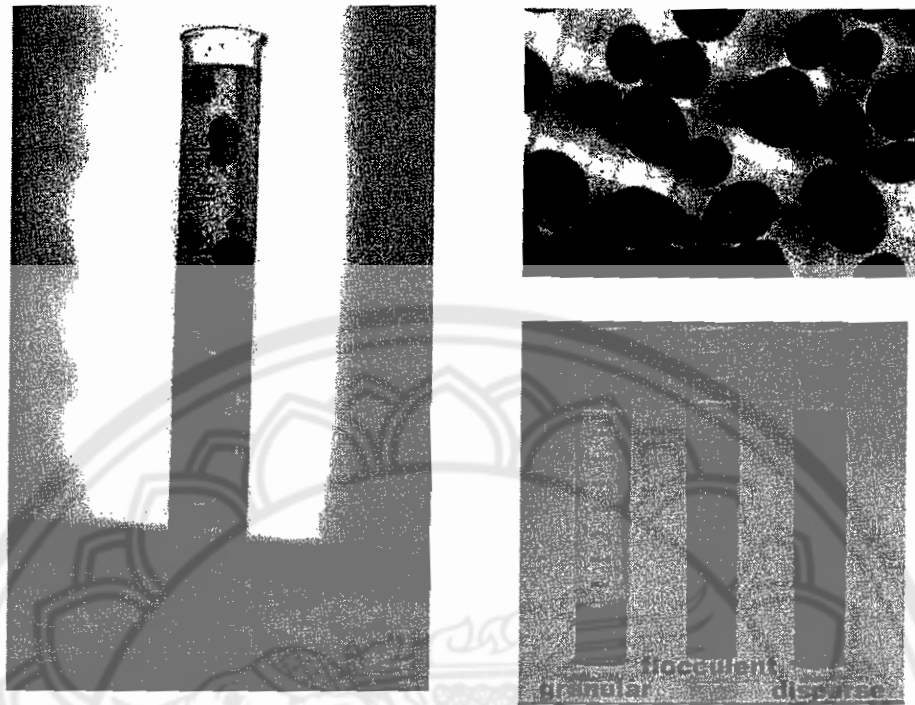
ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศชนิดหนึ่ง หลักการในการเดินระบบจะทำการเลี้ยงตะกอนแบคทีเรียให้สะสมอยู่ในถังปฏิกรณ์ และมีปริมาณตะกอนที่หลุดออกจากระบบน้อย โดยไม่ใช้ตัวกลางเพื่อให้ตะกอนเกาะติด ทั้งนี้ตะกอนแบคทีเรียที่อยู่ภายในระบบจะรวมตัวกันในรูปของเม็ดตะกอน (Granule) ที่มีน้ำหนักมากและตกตะกอนได้ดี ซึ่งเกิดเป็นลักษณะชั้นตะกอนในบริเวณด้านล่างของถัง ทั้งนี้ขนาดของเม็ดตะกอนจะขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียที่จ่ายเข้าสู่ระบบ

กลไกการทำงาน และลักษณะของตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบ แสดงได้ดังภาพ 12 และ ภาพ 13 ตามลำดับ ในระบบยูเอเอสบีจะมีตะกอนบางส่วนที่มีขนาดเล็กและตกตะกอนซึ่งไม่ได้ปะปนอยู่ในระบบ การที่จะรักษาตะกอนส่วนนี้ไว้ ต้องติดตั้งส่วนตกตะกอนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำเสีย ตะกอนแบคทีเรีย และก๊าซชีวภาพออกจากกันที่เรียกว่า หน่วยแยกก๊าซและของแข็งออกจากกัน หรือ GSS (Gas-Solid Separator) ไว้ตอนบนของถังหมัก เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนหลุดออกไปจากถัง และเป็นการเพิ่มเวลาเก็บกักตะกอนในถังปฏิกรณ์ให้นานขึ้น ซึ่งลักษณะของ GSS แสดงได้ ดังภาพที่ 14 ลักษณะของถังยูเอเอสบีที่นิยมสร้างจะมีทั้งรูปทรงสี่เหลี่ยมและรูปทรงกระบอก ดังภาพที่ 15 การพัฒนาระบบยูเอเอสบีให้เป็นระบบที่มีลักษณะการไหลแบบไหลขึ้น และสามารถรักษาตะกอนแบคทีเรียไว้ในระบบได้โดยไม่ต้องใช้ตัวกลาง ทำให้มีการเปลี่ยนระบบ

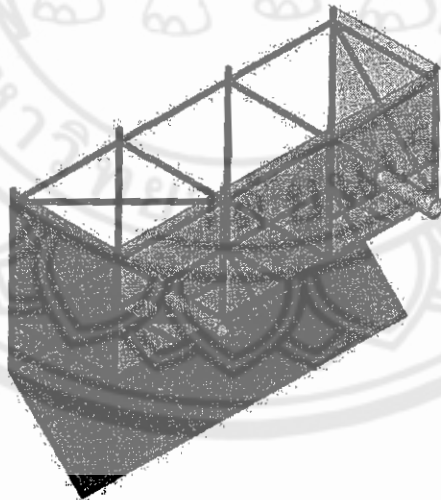
บำบัด จากการที่ให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางมาเป็นการให้น้ำเสียไหลผ่านชั้นตะกอนแบคทีเรียที่อยู่ในบริเวณกันถังแทน ดังนั้นแบคทีเรียในระบบยูเอเอสบีจะต้องเป็นแบคทีเรียที่มีขนาดใหญ่ ความหนาแน่นสูง และมีน้ำหนักมาก เพื่อให้สามารถรักษาระดับตะกอนให้อยู่ภายในถังได้ ปัญหาสำคัญของระบบยูเอเอสบีคือการทำให้ตะกอนมีลักษณะเป็นเม็ดและตกตะกอนได้ดีนั้นทำได้ยาก จึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนหลุดออกไปกับน้ำที่ออกจากถัง โดยจะติดตั้งในบริเวณส่วนบนของถัง



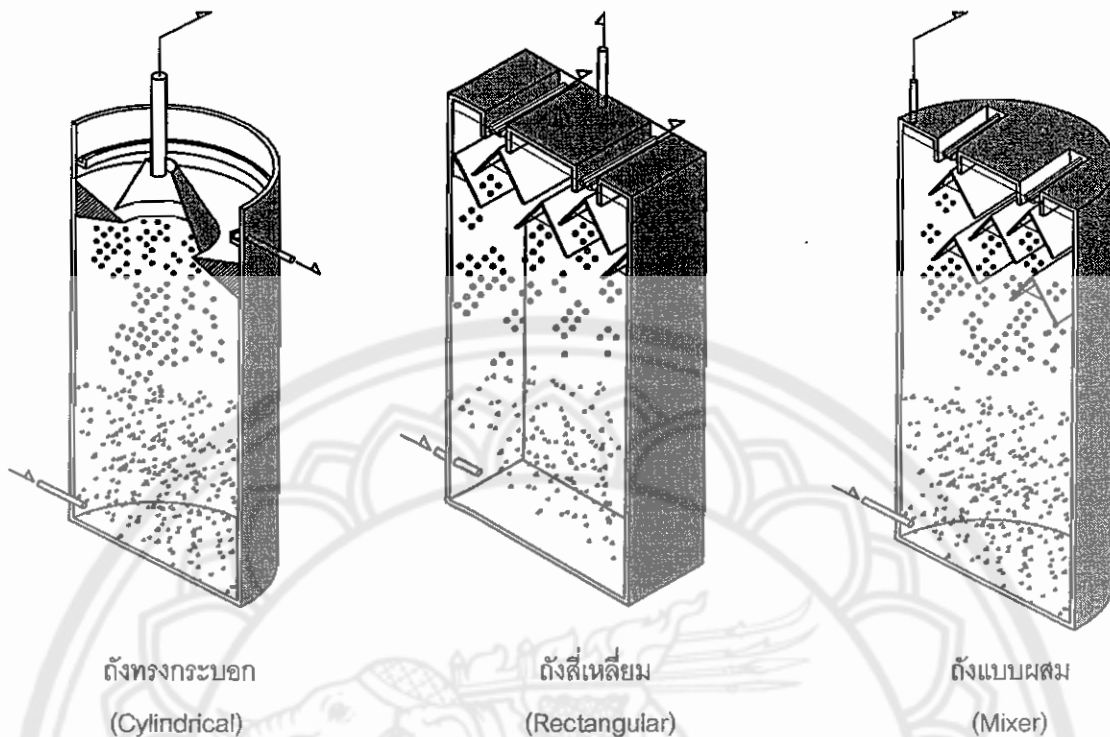
ภาพ 12 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี [5]



ภาพ 13 ภาพเม็ดตะกอนและการเปรียบเทียบลักษณะในการตกตะกอน [8]



ภาพ 14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำเสีย ตะกอนแบบคทีเรีย และก๊าซชีวภาพ (Gas-Solid Separator, GSS) ในถังยูเอเอสบี [5]



ถังทรงกระบอก
(Cylindrical)

ถังสี่เหลี่ยม
(Rectangular)

ถังแบบผสม
(Mixer)

ภาพ 15 ลักษณะรูปร่างถังยูเอเอสบีแบบต่างๆ [5]

จากคุณสมบัติและลักษณะการทำงานของระบบยูเอเอสบี ทำให้สามารถแบ่งส่วนประกอบภายในถังยูเอเอสบี ได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายพร้อมด้วยระบบกระจายน้ำเสียในบริเวณด้านล่างของถัง และส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซบริเวณด้านบน โดยกลไกและลักษณะการทำงานของส่วนต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

1. ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาจะอยู่ทางด้านล่างของถัง ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ การไหลของน้ำเสีย เป็นการไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน การกระจายน้ำเข้าถังจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดของถัง แบคทีเรียในถังยูเอเอสบีจะควบคุมให้มีความหนาแน่นและสะสมเป็นชั้นตะกอนในบริเวณด้านล่างของถัง เมื่อเริ่มเดินระบบ แบคทีเรียในชั้นตะกอนที่อยู่กันอย่างหนาแน่นจะเกิดการรวมกันเป็นเม็ด (Granule) โดยเม็ดตะกอนที่มีความหนาแน่นสูงจะจมตัวอยู่ด้านล่าง มีการจัดเรียงตัวจากขนาดใหญ่ขึ้นไปหาเล็ก สะสมเป็นชั้นตะกอนอยู่ในบริเวณด้านล่าง ของถัง ส่วนกลุ่มที่มีความหนาแน่นและมีความเร็วในการจมตัวต่ำจะฟุ้งกระจายขึ้นมาเป็นชั้นตะกอนแขวนลอย

2. ส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมเซลล์แบคทีเรียที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้งและทำหน้าที่รวบรวมก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป จึงมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกก๊าซ น้ำเสียและตะกอนแบคทีเรียไว้ด้านบนของถัง ซึ่งเรียกอุปกรณ์นี้ว่า GSS โดยการออกแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะและรูปร่างของถังปฏิกริยา โดยใช้หลักการออกแบบเดียวกันคือ

2.1 แยกน้ำกับก๊าซ โดยอาศัยหลักการที่ว่ากระแสสามารถไหลเลี้ยวไปมาได้ ในขณะที่ก๊าซมีการลอยตัวจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนเป็นเส้นตรงเท่านั้น ยกเว้นมีสิ่งกีดขวางหรือแผ่นปะทะใดๆ มาเปลี่ยนทิศทางการลอยตัวขึ้น เมื่อผ่านพื้นสิ่งกีดขวาง จึงลอยตัวเป็นเส้นตรงดังเดิม จึงมีการออกแบบและติดตั้งแผ่นปะทะเพื่อขวางทิศทางการไหล ทำให้น้ำและก๊าซมาปะทะ แล้วเบี่ยงเบนการไหลของน้ำและก๊าซออกจากกัน

2.2 แยกตะกอนออกจากน้ำ โดยทำให้เกิดการตกตะกอนของตะกอนแบคทีเรียที่ไหลขึ้นมา กับน้ำ การตกตะกอนจะเกิดในส่วนบนสุดของถัง ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีก๊าซ มีความปั่นป่วนของกระแสน้ำต่ำ ทำให้สามารถแยกน้ำและตะกอนได้โดยง่าย ดังนั้นหน่วยแยกก๊าซและของแข็ง หรือ GSS จึงต้องมีพื้นที่ส่วนที่เป็นน้ำนิ่งเพียงพอที่ตะกอนจะตกกลับมายังถังปฏิกริยาได้

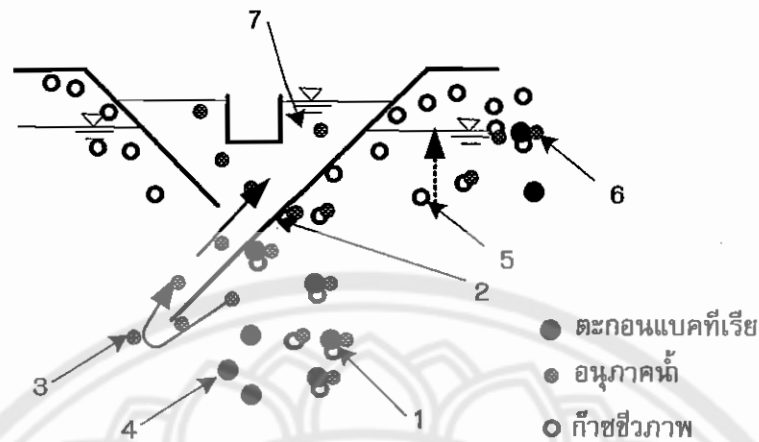
ลักษณะกลไกการทำงานของหน่วยแยกก๊าซและของแข็ง หรือ GSS การไหลของเม็ดตะกอน น้ำเสียและก๊าซชีวภาพแสดงได้ดังภาพ 16 โดยขั้นตอนในการทำงานและการแยกอนุภาคต่างๆ ออกจากกัน สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. ตะกอนแบคทีเรีย ก๊าซชีวภาพ และอนุภาคของน้ำ เกาะและไหลขึ้นมาพร้อมกัน
2. เมื่อกระทบกับแผ่น GSS ทำให้เกิดการแยกออกจากกัน
3. อนุภาคน้ำจะไหลไปตามแผ่น GSS ออกไปยังทางน้ำออกด้านบน
4. ตะกอนแบคทีเรียขนาดใหญ่ที่ไม่มีก๊าซสะสมอยู่จะตกกลับลงมา
5. ก๊าซชีวภาพซึ่งไม่สามารถไหลย้อนกลับได้เช่นเดียวกับน้ำ จะไหลขึ้นไปสะสมยัง

ส่วนรวบรวมก๊าซด้านบน

6. กรณีที่กลุ่มของตะกอนแบคทีเรีย ก๊าซชีวภาพ และอนุภาคของน้ำ ไม่ไปชนกับแผ่น GSS จะเกิดการแยกตัวเมื่อถึงผิวน้ำ

7. สำหรับตะกอนที่มีขนาดเบาที่สามารถไหลตามกระแสที่ออกมาได้ จะเกิดการตกตะกอนในส่วนบนของแผ่น GSS เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความเร็วการไหลของน้ำต่ำและน้ำค่อนข้างนิ่ง



ภาพ 16 หลักการทำงานของ หน่วยแยกก๊าซและของแข็ง (Gas-Solid Separator, GSS) [5]

2.2 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสีย

ข้อดี

1. เป็นระบบที่มีการเพาะเลี้ยงตะกอนแบคทีเรียให้เป็นเม็ดตะกอน ดังนั้นระบบจึงมีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำระเหยง่าย หรือ MLVSS สูงถึง 100,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลให้ถังปฏิกรณ์ (Reactor) มีขนาดเล็กและสามารถรับภาระ (Load) ได้สูง

2. ตะกอนสลัดจ์ที่มีลักษณะรวมกันเป็นเม็ด (Granular sludge) มีความหนาแน่นสูง จึงรับ อัตราการไหลย้อนขึ้นได้สูงถึง 1-2 เมตรต่อชั่วโมง เป็นผลให้

2.1 เกิดการกวนผสมกันภายในระบบ ดังนั้นทำให้ประสิทธิภาพของการกวนผสมสูง

2.2 สามารถหมุนเวียนสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ได้มากกว่า ซึ่งจะทำให้กำจัด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้มาก

2.3 เม็ดตะกอนสามารถตกตะกอนได้ดี เป็นผลให้มีการสูญเสียตะกอนแบคทีเรียจากระบบต่ำ ระบบจึงมีเสถียรภาพสูง และทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดี

3. ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อย

ข้อจำกัด

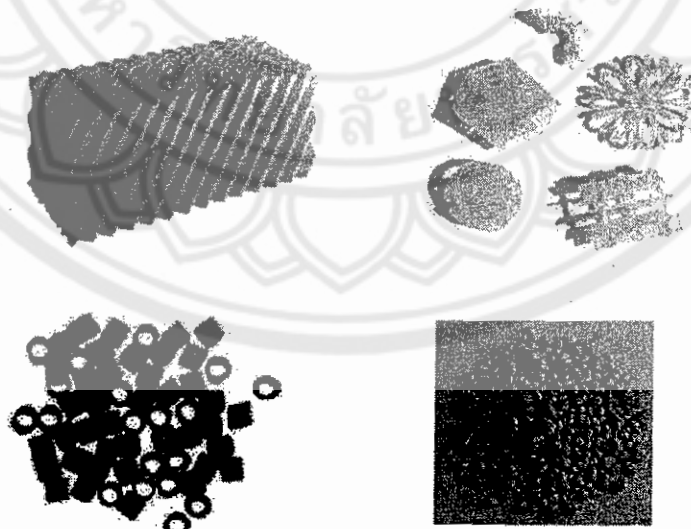
1. ใช้ระยะเวลาในการเพาะตะกอนแบคทีเรียแบบรวมกันเป็นเม็ด (Granular) และต้องการใช้ตะกอนหัวเชื้อเป็นจำนวนมาก

2. เวลาเก็บกักสั้น จึงไม่เหมาะกับน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอย (SS) และปริมาณไขมันและน้ำมัน (FOG) สูงมาก

3. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศแบบฟิล์มตรึง (Anaerobic Fixed Film, AFF)

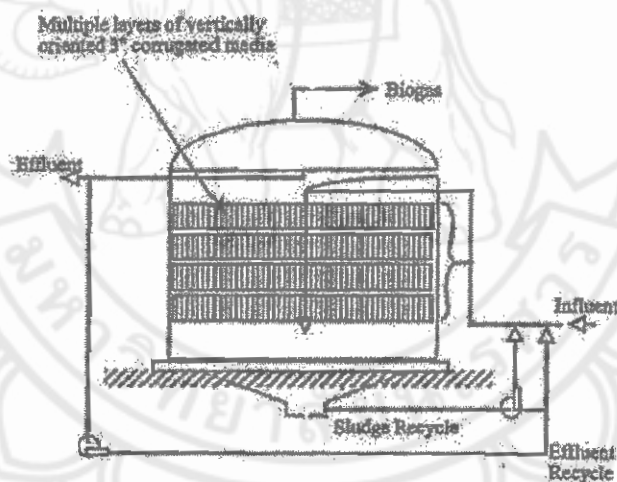
3.1 หลักการของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

หลักการการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ คือ ให้น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ไหลผ่านตัวกลางเพื่อให้เป็นที่อาศัยของแบคทีเรีย โดยเมื่อมีแบคทีเรียเกาะอยู่บนผิวของตัวกลาง จะเกิดเป็นฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ขึ้นมา โดยทิศทางจะเป็นการไหลขึ้นหรือไหลลง สำหรับตัวกลางใช้ได้หลากหลายแบบ วัสดุตัวกลางนี้อาจมีลักษณะเป็นท่อ หรือตาข่าย ที่มีความพรุน เช่น กรวด หิน โฟม พลาสติก เป็นต้น โดยตัวกลางที่ดีจะต้องมีพื้นที่ผิวสูงและความพรุนมาก เพราะทำให้มีพื้นที่ให้แบคทีเรียอาศัยได้มาก ปกติตัวกลางที่ใช้จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) อยู่ในช่วง 90-300 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร-ปริมาตรตัวกลาง ฟิล์มแบคทีเรียบนตัวกลางไม่ควรมีความหนาเกินไป เนื่องจากจะทำให้แบคทีเรียที่อยู่ชั้นในไม่มีโอกาสสัมผัสกับอาหาร (น้ำเสีย) จนเกิดการตายและย่อยสลายของแบคทีเรียชั้นใน ทำให้เซลล์แบคทีเรียหลุดออกจากผิวตัวกลาง ซึ่งอาจทำให้เกิดการอุดตันขึ้นในระบบ และทำให้เกิดการไหลลัดวงจรได้ ทั้งนี้รูปแบบและลักษณะของตัวกลางมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบลักษณะการไหลของน้ำเสียผ่านชั้นตัวกลางของผู้ผลิต ภาพ 17 แสดงตัวกลางแบบตามขวาง (Cross Flow) และแบบวงแหวน (Ring) ในส่วนของตะกอนแบคทีเรียในระบบกรองน้ำเสียแบบไร้อากาศ จะมีทั้งที่เกาะติดกับตัวกลางและรวมตัวกันเป็นตะกอนฟล็อกอยู่ตามช่องว่างของตัวกลาง ซึ่งตะกอนกลุ่มนี้จะมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาตามการเคลื่อนที่ของน้ำเสียและก๊าซที่เกิดขึ้น



ภาพ 17 ตัวกลางที่นิยมใช้ในถังกรองน้ำเสียแบบไร้อากาศ [7]

ส่วนประกอบของถังกรองไม่ใช้อากาศ ประกอบด้วยถังปฏิกริยา (Filter tank) ซึ่งรูปแบบที่ใช้มักเป็นถังกลมหรือถังสี่เหลี่ยม โดยมีความสูงของถังตั้งแต่ 0.45 เมตร จนถึง 6 เมตร ภายในจะบรรจุวัสดุตัวกลาง เมื่อน้ำเสียถูกปั๊มเข้าสู่ระบบ สารอินทรีย์จะเคลื่อนตัวไหลผ่านฟิล์มชีวภาพแต่ละชั้น ทำให้แบคทีเรียทำการย่อยสลายไปที่ละน้อย เหมือนผ่านการกรอง ผลพลอยได้จากการย่อยสลายคือก๊าซชีวภาพจะลอยสู่ด้านบน ระบบกระจายน้ำเสียที่ปั๊มเข้าสู่ถังกรองไม่ใช้อากาศ จะต้องออกแบบให้น้ำเสียไหลผ่านช่องว่างของตัวกลางได้ทั่วถึงกัน นอกจากนี้จะต้องมีระบบป้องกันการไหลลัดทางของน้ำเสีย ซึ่งมักจะเป็นการไหลไปตามผนังภายในถังกรองไม่ใช้อากาศ ซึ่งวิธีการแก้ไขจะใช้วิธีการติดตั้งแผ่นบัฟเฟอร์ (Buffer) กันไว้ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยต่ำ หากวัสดุตัวกลางถูกบรรจุไว้ในถังแบบสุ่ม จะเรียกระบบนี้ว่าถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) แต่ถ้าการจัดวางวัสดุเป็นไปอย่างเป็นระเบียบ จะเรียกระบบนี้ว่า ถังกรองไร้อากาศแบบฟิล์มตรึง (Anaerobic Fixed Film, AFF) ดังแสดงในภาพ 18



ภาพ 18 ถังปฏิกรณ์แบบฟิล์มตรึงบนผิววัสดุตัวกลาง [6]

ประสิทธิภาพของถังกรองไม่ใช้อากาศ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของฟิล์มชีวภาพ และปริมาณของแบคทีเรียบนวัสดุรองรับ ฟิล์มชีวภาพประกอบด้วยกลุ่มแบคทีเรีย และผลิตภัณฑ์ที่แบคทีเรียสร้างขึ้นและขับออกมาภายนอกเซลล์ แบคทีเรียที่ทำให้เกิดฟิล์มชีวภาพมีหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นสายยาว แบคทีเรียเหล่านี้จะสร้างสารที่เป็นโพลิเมอร์ออกมาหุ้มเซลล์ สารโพลิเมอร์เหล่านี้ทำให้แบคทีเรียสามารถเกาะติดอยู่กับผิววัสดุ และเจริญเติบโตต่อไปได้ ถังกรองไม่ใช้อากาศ สามารถบำบัดน้ำเสียทั้งที่มีบีโอดีและซีโอดีสูง จนถึงน้ำเสียชุมชนทั่วไปที่มีค่าบีโอดีและซี

โอดีดีต่ำ โดยอาศัยการเกาะติดของแบคทีเรียบนตัวกลาง ช่วยป้องกันการชะล้างแบคทีเรียออกจาก ระบบ ทำให้ระบบมีเวลาการกักเก็บตะกอนสูง (SRT) เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัด สารอินทรีย์ให้สูงขึ้น และลดเวลาเก็บกักน้ำให้น้อยลง (HRT) นอกจากนี้ ยังสามารถฟื้นตัวได้เร็ว อีกทั้งยังทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดีกว่าแบคทีเรียที่แขวนลอย ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 70-95 ที่อัตราการบรรทุกทุกสารอินทรีย์ (OLR) 2-10 กิโลกรัม-ซีโอดี ต่อ ลูกบาศก์เมตร-วัน

3.2 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบถังกรองไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสีย

ข้อดี

1. เป็นระบบที่มีตะกอนแบคทีเรีย ทั้งชนิดที่เป็นตะกอนแขวนลอยในน้ำ (MLVSS) แบบฟล็อก (Floc) และ แบบที่อยู่บนตัวกลาง ชนิดฟิล์มตรึง (Fixed film) ไม่อัดตัวกันแน่น จะสามารถรับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีได้ปานกลาง

2. ช่องว่างระหว่างตัวกลาง (Media) จะช่วยในการกักเก็บตะกอนแบคทีเรีย ช่วยลดการสูญเสียตะกอนแบคทีเรียออกไปจากระบบ

3. การหาตะกอนหัวเชื้อเพื่อการเติมหัวเชื้อเริ่มต้น ทำได้ไม่ยาก

ข้อจำกัด

1. การที่ต้องใช้ตัวกลาง (Media) ในระบบทำให้ค่าก่อสร้างระบบสูง

2. มีโอกาสเกิดการอุดตันที่ตัวกลาง เนื่องจาก ของแข็งแขวนลอย ตะกอนแบคทีเรีย และไขมัน ที่อยู่ในน้ำเสีย

3. ไม่สามารถรับน้ำเสียที่มี ของแข็งแขวนลอย (SS) และไขมันและน้ำมัน (FOG) ในปริมาณสูงได้

4. การเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชนิดฟิล์มตรึง (Fixed Film) สามารถทำได้ยาก เนื่องจากตะกอนแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นชนิด แขวนลอยอยู่ระหว่างตัวกลาง

5. รับอัตราการไหลย้อนขึ้น (Upflow velocity) จะสามารถทำได้ไม่เกิน 3 เมตร ต่อวัน มิฉะนั้นจะเกิดการล้างทิ้ง (Wash out) ซึ่งจะทำให้น้ำกลับมาใช้น้ำได้น้อย และทำการกวนผสมไม่ได้

สำหรับเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งสามแบบพบว่าต่างมีข้อดีและข้อเสีย ในแง่ของลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันไป โดยสรุปได้ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพแบบต่างๆ [9]

ข้อพิจารณา	UASB	MCL	AFF
ลักษณะของแบคทีเรียในระบบ	เป็นเม็ด	แขวนลอยในน้ำ	ยึดเกาะกับตัวกลาง
ความเข้มข้นของมวลแบคทีเรีย	สูงมาก	ต่ำ	สูง
อายุตะกอน (SRT)	สูงมาก	ต่ำ	สูง
บำบัดน้ำเสียที่มีอนุภาคของแข็ง	กำจัดได้บ้าง	เหมาะสม	กำจัดได้บ้าง
บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียต่อถัง โดยพิจารณาจากค่าซีโอดี	สูง	จำกัด	สูง
ความทนต่อสารพิษและการ เปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงาน	มีอายุตะกอนสูงจึง มีเสถียรภาพดี	มีอายุตะกอนสูง จึงมีเสถียรภาพดี	มีอายุตะกอนสูงจึง มีเสถียรภาพดี
สภาพทางจุลศาสตร์ในถังปฏิกรณ์	ใช้การหมุนเวียนน้ำ ออกเข้ามาผสมใน ถังปฏิกรณ์และมี การกวนจากก๊าซที่ เกิดในระบบ	ใช้การหมุนเวียน น้ำออกเข้ามา ผสมในถังปฏิกรณ์ และมี การกวน จากก๊าซที่เกิดใน ระบบ	ใช้การหมุนเวียนน้ำ ออกเข้ามาผสมใน ถังปฏิกรณ์และมี การกวนจากก๊าซที่ เกิดในระบบ
การใช้พลังงาน	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
ปริมาณซีโอดีที่รับได้ (COD loading Rate) (กก.ซีโอดี/ลบ.ม. ต่อวัน)	5-30	1-3	1-10
ปริมาณซีโอดีที่กำจัดได้ (%)	80-95	95	80
จุดแข็ง	ไม่ต้องมีตัวกลาง รับภาระได้สูง	ราคาถูกเนื่องจาก เป็นบ่อดิน	เก็บกักแบคทีเรียได้ ดีกว่า
จุดอ่อน	ใช้เวลาเริ่มเดิน ระบบนาน	ใช้พื้นที่มาก	ปัญหาการอุดตัน และต้องลงทุนค่า ตัวกลาง

การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรม

เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก จึงทำให้มีคุณสมบัติจุดติดไฟได้ดีและสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปต่างๆ ได้ เช่น ใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง เช่น ใช้กับหม้อน้ำ (Steam Boiler) ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลในการผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้กับระบบพลังงานร่วม

โดยก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปเทียบเท่ากับพลังงานในรูปแบบต่างๆ ได้ ดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 แสดงพลังงานทดแทนในแบบต่างๆ เมื่อคิดเทียบเท่ากับก๊าซชีวภาพที่มี ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร [10]

เชื้อเพลิง	ปริมาณ	หน่วย
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46	กิโลกรัม
น้ำมันเบนซิน	0.67	ลิตร
น้ำมันดีเซล	0.60	ลิตร
น้ำมันเตา	0.55	ลิตร
ฟืนไม้	1.50	กิโลกรัม
ไฟฟ้า	1.20	กิโลวัตต์ ชั่วโมง

1. การนำก๊าซชีวภาพมาใช้ในรูปของความร้อนโดยตรง

การใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง เป็นการนำก๊าซชีวภาพแบบง่ายที่สุดและไม่มี ความสลับซับซ้อนในการใช้งาน เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มไอน้ำ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการ อบแห้งใช้ในครัวเรือนต่างๆ ทางเลือกในการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ในรูปของการให้ความร้อนโดยตรง นั้นเหมาะสำหรับโรงงานที่มีรูปแบบการใช้พลังงานความร้อนอยู่แล้ว และปริมาณความต้องการ ก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงมีสูงพอ เมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ โดยส่วนใหญ่ จะทำการดัดแปลงอุปกรณ์ หรือหัวเผาที่มีอยู่เดิมซึ่งปกติใช้น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ หรือก๊าซหุงต้มเป็น เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ให้สามารถที่จะใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงได้ทันที ชนิดและคุณสมบัติของ เชื้อเพลิง และค่าพลังงานความร้อน (Heating value) ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ แสดงดังตาราง 6 และ ตาราง 7 การเปลี่ยนหัวเผาให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพได้ สามารถทำได้ทั้งการปรับปรุงของเดิมหรือ เปลี่ยนหัวเผาใหม่ สำหรับการปรับปรุงหัวเผาเดิม ทำได้โดยการขยายหัวฉีดน้ำมันให้มีขนาดที่ใหญ่

ขึ้นและทำการปรับสัดส่วนของอากาศที่เข้าไปผสมให้เหมาะสม ซึ่งวิธีการปรับปรุงขึ้นอยู่กับวิธีการ และเทคนิคของช่างผู้ดำเนินการ

ตาราง 6 แสดงชนิดและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ [11]

ชนิดของก๊าซและคุณสมบัติ	CH ₄	CO ₂	H ₂	H ₂ S	65% CH ₄ 34% CO ₂ 40% CO ₂ 1% อื่นๆ	
					60% CH ₄ 40% CO ₂	34% CO ₂ 1% อื่นๆ
ค่าความร้อน (เมกะจูล)	35.64	-	10.8	22.68	21.6	24.8
สัดส่วนติดไฟ (%ในอากาศ)	5-15	-	4-80	4-45	6-12	7.7-23
อุณหภูมิติดไฟ (°ซ)	650-750	-	585	-	650-750	650-750
ความดันเปลี่ยนสถานะ (บาร์)	47	75	13	89	75-89	75-89
อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ (°ซ)	-82.5	31.0	-240	100	-72.5	-72.5
ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	0.72	1.98	0.09	1.54	1.2	1.15
ความจุความร้อน (กิโลจูล/ม. ³ -°ซ)	1.6	1.6	1.3	1.4	1.6	1.6

ตาราง 7 ค่าพลังงานความร้อนแสดงในหน่วย Btu/ft³ ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างกัน [12]

พลังงานเชื้อเพลิง	25°C	80°C	150°C	200°C	650°C	1000°C
ก๊าซมีเทน	915.65	900.76	895.85	895.72	894.26	890.93
ก๊าซชีวภาพ (60% CH ₄)	549.39	540.46	537.51	537.43	536.55	534.56
ไฮโดรเจน (H ₂)	531.07	510.88	498.82	493.40	440.59	396.54

การเปลี่ยนขนาดของรูที่หัวฉีดจากเดิมซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติ หรือ ก๊าซหุงต้มมาเป็นก๊าซชีวภาพ ขึ้นอยู่กับปริมาณมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพ โดยสามารถสรุปได้ดังตาราง 7 นอกจากนี้ในปัจจุบันยังได้มีการออกแบบให้หัวเผาที่มีลักษณะแบบสองเชื้อเพลิง คือสามารถใช้กับเชื้อเพลิงทั้งที่เป็นน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติร่วมกัน หรือแยกกันในหัวเผาชุดเดียวกันได้อีกด้วย

ตาราง 8 แสดงตัวคูณเพื่อใช้สำหรับการขยายขนาดของหัวฉีดก๊าซ [7]

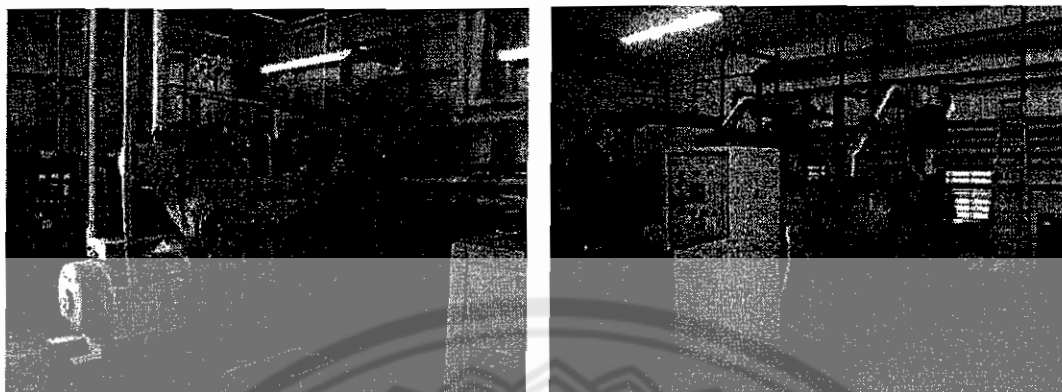
สัดส่วนของมีเทน ในก๊าซชีวภาพ (ร้อยละ)	เชื้อเพลิงชนิดเดิม	
	ก๊าซธรรมชาติ	ก๊าซไพโรเพน
70	1.32	1.63
65	1.39	1.72
60	1.46	1.81
55	1.54	1.92
50	1.64	2.04

อย่างไรก็ตาม ในการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีนี้ ควรคำนึงถึงวิธีการส่งก๊าซชีวภาพด้วย เนื่องจากอาจจะมีปัญหาการอุดตันหรือการถูกกัดกร่อนของอุปกรณ์จากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จะเกิดขึ้น

2. การนำก๊าซชีวภาพมาใช้เพื่อขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่างๆ

การปรับปรุงเครื่องยนต์จากใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง มาเป็นการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง สามารถทำได้กับเครื่องยนต์หลายประเภท ทั้งนี้ปัจจัยในการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการปรับปรุงเครื่องจักรให้ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ อาทิ เช่น ราคาในการติดตั้ง ความถี่ในการใช้งานของเครื่องจักร ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา รวมไปถึงความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

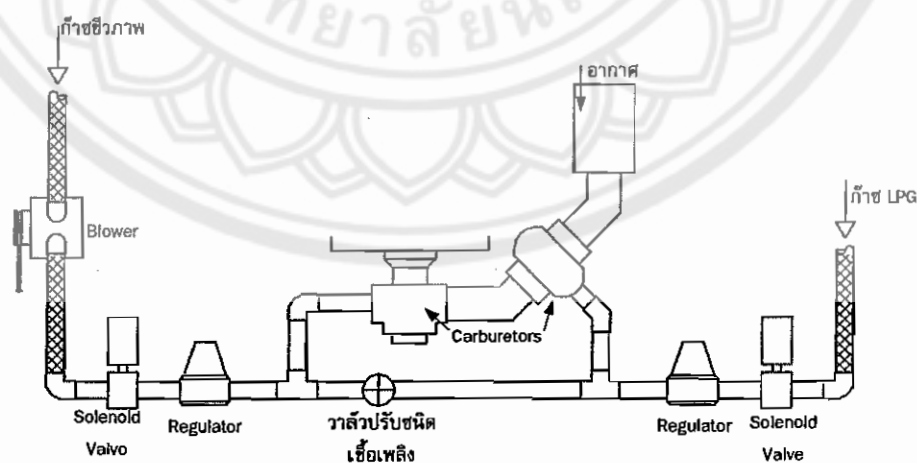
สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณที่สูง หากนำไปใช้ในรูปแบบของพลังงานความร้อนโดยตรง เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ซึ่งถ้ายังมีก๊าซเหลือทิ้งอาจจะนำก๊าซชีวภาพส่วนเกินไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อในสำนักงาน หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กเพื่อกิจกรรมอื่นๆ เช่น ใช้กับเครื่องยนต์สำหรับขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำ ดังแสดงในภาพ 19



ภาพ 19 การนำก๊าซไปใช้กับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า [7]

การใช้ก๊าซชีวภาพแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ ต้องทำการปรับปรุงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ เพื่อให้มีพลังงานความร้อนเข้าไปเพียงพอกับที่เครื่องยนต์ต้องการ เนื่องจากพลังงานความร้อนของน้ำมันและก๊าซชีวภาพไม่เท่ากัน โดยอุปกรณ์ที่ต้องทำการปรับปรุง ได้แก่

1. คาร์บูเรเตอร์ (Carburator) เป็นส่วนแรกที่จะต้องทำการปรับปรุง เพื่อให้ปริมาณของก๊าซที่เข้าและปริมาณอากาศสัมพันธ์กับความต้องการของเครื่องยนต์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยปริมาณความร้อนที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องยนต์ อัตราการกำลัง ความเร็วรอบ อัตราส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิง นอกจากนี้ ยังต้องมีการเตรียมความพร้อมให้กับระบบในกรณีก๊าซชีวภาพไม่เพียงพอ ซึ่งระบบพลังงานสำรองแสดงได้ ดังภาพ 20



ภาพ 20 ระบบเชื้อเพลิงสำรอง [2]

2. การควบคุมลิ้นบังคับน้ำมัน (Throttle Control) การตั้งลิ้นบังคับน้ำมันอาจจะใช้การบังคับตามความดันของก๊าซ แต่ในปัจจุบันมีการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติโดยคอมพิวเตอร์

3. อัตราส่วนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง สัดส่วนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงสำหรับก๊าซชีวภาพอยู่ที่ประมาณ 6.03 เมื่อมีมีเทนอยู่ร้อยละ 60 นอกจากนี้เครื่องยนต์จะไม่สามารถจุดได้ หากมีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่ามีเทน 3 เท่า

4. Equivalence Ratio หมายถึงปริมาณของออกซิเจนที่ให้ เมื่อเทียบกับความต้องการจากการคำนวณ ทั้งนี้โดยปกติควรมีค่าระหว่าง 0.8-0.9

5. หัวเทียน (Spark Plug) หัวเทียนสำหรับการจุดก๊าซชีวภาพควรเป็นแบบร้อน และมีช่องว่างบริเวณหัวเทียนประมาณ 0.4-0.75 มิลลิเมตร

6. อัตราส่วนการอัดของลูกสูบ (Compression Ratio) ในการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงควรมีอัตราการอัดลูกสูบอยู่ที่ประมาณ 11-16 เท่า ส่วนในกรณีของก๊าซธรรมชาติจะให้ อัตราส่วนการอัด 7-10 เท่า

7. จังหวะของเครื่องยนต์ (Engine Timing) เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีความเร็วของเปลวต่ำกว่าน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นจังหวะของการทำงานต้องมีการหน่วง เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานเรียบ โดยการปรับองศาของชุดลูกสูบ

นอกจากเครื่องยนต์เบนซินและก๊าซธรรมชาติ ยังสามารถปรับปรุงเครื่องยนต์ดีเซล ให้ใช้ก๊าซชีวภาพได้อีกด้วย โดยส่วนของเครื่องยนต์ที่ต้องทำการปรับปรุงระบบจุดระเบิด เนื่องจากระบบดีเซลไม่ได้ใช้ระบบหัวเทียน แต่จะมีการจุดระเบิดโดยการอัดอากาศร้อนเข้าไปในกระบอกสูบ เพื่อให้เกิดการสันดาปของเชื้อเพลิง จึงไม่ก่อให้เกิดประกายไฟที่จะทำให้ก๊าซชีวภาพเกิดการลุกไหม้ ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนให้เป็นระบบที่มีการใช้หัวเทียน ซึ่งต้องทำการเปลี่ยนมาใช้คาร์บูเรเตอร์ เพื่อผสมก๊าซกับอากาศแทนการใช้ปั๊มหัวฉีด (Injector Pump) และการใช้ระบบหัวเทียนแทนระบบหัวฉีดรวมไปถึงการปรับจังหวะของเครื่องยนต์

3. การใช้ในระบบพลังงานร่วม (Cogeneration)

การผลิตพลังงานร่วมหมายถึงการผลิตพลังงานกล ไฟฟ้า และความร้อนร่วมกัน ซึ่งถือเป็นระบบการใช้พลังงานชนิดหนึ่งให้สามารถผลิต หรือเปลี่ยนให้กลายเป็นพลังงานชนิดอื่นๆ ได้มากกว่าสองชนิดเพื่อให้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า และเป็นระบบที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือความร้อนเพียงอย่างเดียว โดยปกติจะใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ผลิตพลังงานกลหรือไฟฟ้า ใช้ในหม้อต้มไอน้ำเพียงอย่างเดียวใดอย่างหนึ่ง ซึ่งปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ต่ำ แต่การลงทุนเกี่ยวกับระบบนี้ก็จะมีความคุ้มค่าสูง รวมทั้งการใช้พลังงานที่ผลิตออกมาได้ต้องคุ้มค่าต่อการลงทุน ตัวอย่างขั้นตอนการใช้พลังงานร่วมและระบบพลังงานร่วม แสดงดังภาพ 21 และ ภาพ 22



ภาพ 21 แผนผังแสดงระบบพลังงานร่วมของการผลิตก๊าซชีวภาพ [2]



ภาพ 22. โรงไฟฟ้าพลังงานร่วมจากก๊าซชีวภาพ [2]

ในกรณีของระบบพลังงานร่วม นอกจากจะได้พลังงานไฟฟ้า ยังได้พลังงานความร้อนจากระบบน้ำหล่อเย็น ไอเสีย รวมไปถึงน้ำมันหล่อลื่น โดยความร้อนที่ได้กลับมามีค่าสูงถึงประมาณร้อยละ 80 ของพลังความร้อนจากเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ให้ แต่ในการนำเอาพลังงานความร้อนกลับคืนมา ต้องปรับความสมดุลย์ระหว่างพลังงานความร้อนที่ได้ กับอุณหภูมิของเครื่องยนต์ โดยเฉพาะการนำความร้อนออกจากน้ำมันหล่อลื่น เพราะจะทำให้ความสามารถในการ

ทำงานของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนไปได้ ส่วนการนำพลังงานความร้อนออกจากไอเสียต้องคำนึงถึงการควมแน่นของไอเสียในท่อไอเสีย สำหรับการนำพลังงานความร้อนออกจากระบบท่อน้ำหล่อเย็นเป็นรูปแบบที่สะดวกที่สุด เนื่องจากไม่มีข้อควรระวังในการดึงความร้อนออกมา

การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลตอบแทนจากการลงทุนที่ให้ผลตอบแทนที่จูงใจต่อการลงทุนโครงการทั้งในส่วนของผู้ลงทุนและสังคม โดยได้ทำการวิเคราะห์หาผลตอบแทนด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่เกิดจากการใช้ก๊าซชีวภาพ เปรียบเทียบกับต้นทุนของเงินทุนที่นำไปใช้ในการก่อสร้างระบบนี้

1. การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ด้านการเงินของโครงการ มีหลักเกณฑ์และขั้นตอนดังนี้

1.1 การพิจารณาแหล่งเงินทุนที่เป็นไปได้สำหรับนำมาใช้ลงทุนในโครงการ

1.2 การพิจารณารายได้และค่าใช้จ่ายของโครงการ เพื่อใช้พิจารณากระแสเงินสดหมุนเวียน (Cash Flow Stream) ตลอดอายุโครงการ

1.3 การพิจารณากำหนดค่าดัชนีด้านการเงินที่เหมาะสม เพื่อใช้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์สำหรับแนวทางการลงทุน

1.4 ข้อกำหนดด้านการเงิน ที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์

1.5 การวิเคราะห์ด้านการเงิน โดยอาศัยแบบจำลองด้านการเงินที่เหมาะสม เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาหาผลตอบแทนจากการลงทุน

1.6 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวด้านการเงิน เนื่องจากสภาวะความไม่แน่นอนของปัจจัยด้านการเงินประเภทต่างๆ

การพิจารณาแหล่งเงินทุน

การพิจารณาแหล่งเงินทุนของโครงการ มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาถึงแนวทางการลงทุนที่มีความเป็นไปได้ของโครงการ โดยทั่วไปสามารถพิจารณาแหล่งเงินทุนได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. เงินทุน

การลงทุนโครงการโดยใช้เงินทุน หมายถึง เงินทุนของผู้ลงทุนโครงการ โดยมีได้มีการกู้ยืมจากแหล่งเงินทุนอื่นให้เสียดอกเบี้ย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มภาระด้านการลงทุนของโครงการ การลงทุนโครงการด้วยเงินสดอาจลงทุนเป็นบางส่วนหรือทั้งหมด ซึ่งในทางปฏิบัติโดยทั่วไปมักจะเป็นการลงทุนด้วยเงินสดเป็นบางส่วนของมูลค่าของโครงการทั้งหมด ตัวอย่างเช่น การลงทุนโดย

บริษัทเอกชนผู้รับสัมปทานโครงการ จะมีการระดมทุนจากผู้ถือหุ้นเพื่อนำเงินที่ได้มาลงทุนโครงการบางส่วน นอกเหนือ จากการขอการสนับสนุนจากแหล่งเงินทุนประเภทต่างๆ

สำหรับกรณีการลงทุนด้วยเงินสดทั้งหมด เป็นการศึกษาเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อนำผลไปใช้ในการประเมินค่าอัตราผลตอบแทนด้านการเงินของโครงการโดยไม่มีภาระด้านการเงินเพิ่มเติมจากการกู้ยืมจากแหล่งเงินทุนอื่น

2. เงินกู้ยืมมีดอกเบี้ย

โดยทั่วไป วิธีการลงทุนโครงการโดยใช้เงินกู้ยืมบางส่วน เป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติมาก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการลงทุนในโครงการขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้เงินลงทุนสูงมาก ผู้ลงทุนส่วนใหญ่จึงไม่มีเงินทุนเพียงพอสำหรับดำเนินโครงการดังกล่าวเพียงลำพัง จำเป็นต้องอาศัยเงินกู้จากแหล่งเงินทุนประเภทต่างๆ เพื่อให้สามารถดำเนินโครงการได้ โดยยอมเสียดอกเบี้ยให้แก่เจ้าของแหล่งเงินทุน ซึ่งจะเพิ่มภาระด้านการเงินแก่โครงการเพิ่มขึ้น ประเภทของเงินกู้ยืมมีดอกเบี้ยที่ใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านการเงิน เช่น เงินกู้เงินออมทรัพย์ เงินกู้ธนาคารพาณิชย์ การออกพันธบัตรรัฐบาล เป็นต้น

ความเสี่ยงทางการเงินในการดำเนินโครงการ

1. ความเสี่ยงด้านอัตราดอกเบี้ย

ความเสี่ยงด้านอัตราดอกเบี้ยจะมีผลต่อการดำเนินโครงการมาก เมื่อโครงการนั้นมีสัดส่วนเงินกู้มาก และใช้อัตราดอกเบี้ยแบบลอยตัว เนื่องจากอัตราดอกเบี้ยลอยตัวอาจสูงขึ้นตามภาวะตลาด ซึ่งจะทำให้ต้นทุนโครงการสูงขึ้น การแก้ปัญหานี้กระทำได้โดยพยายามหาแหล่งเงินกู้ที่ใช้อัตราดอกเบี้ยแบบคงที่ให้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม บางครั้งการผสมผสานกันระหว่างการใช้อัตราดอกเบี้ยแบบคงที่และแบบคงที่อาจจะเป็นแนวทางที่ดีที่สุดก็ได้ สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ ที่ปรึกษาได้สมมุติการใช้อัตราดอกเบี้ยคงที่ในทุกกรณีศึกษา

2. ความเสี่ยงด้านอัตราส่วนเงินกู้ต่อทุน

โครงการที่ใช้เงินกู้มาก จะมีความเสี่ยงด้านการเงินของโครงการมากขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากภาระการชำระคืนเงินกู้และดอกเบี้ยเงินกู้ โดยปกติแล้วสัดส่วนเงินกู้ต่อทุนที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินโครงการสาธารณูปโภคขนาดใหญ่ จะอยู่ในช่วงประมาณ 50:50 ถึง 70:30

ข้อกำหนดที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อกำหนดที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านการเงิน ประกอบด้วย

1. ช่วงเวลาการวิเคราะห์โครงการ
2. อัตราคิดลด
3. อัตราเงินเฟ้อ

4. ปีเริ่มการวิเคราะห์ และปีที่เปิดดำเนินการ
5. แผนการกู้เงินและการชำระหนี้
6. ค่าเสื่อมราคา
7. ภาษีเงินได้นิติบุคคล

การประเมินความเหมาะสมทางการเงิน

ในการวิเคราะห์ด้านการเงิน ได้คำนวณหาดัชนีความเหมาะสมของโครงการด้านการเงิน ดังต่อไปนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) คือ ดัชนีที่แสดงถึงผลต่างของมูลค่าปัจจุบันของรายได้ หรือผลประโยชน์ของโครงการ และมูลค่าปัจจุบันของค่าลงทุนโครงการ ณ อัตราคิดลดที่กำหนด การลงทุนที่ให้ค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมากกว่าศูนย์จะเป็นการลงทุนที่มีความเป็นไปได้ทางการเงิน

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+k)^1} + \frac{CF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+k)^n} \quad (7)$$

CF_n = กระแสเงินสด ณ ปีที่ n
 n = 0, 1, 2, ... n
 k = ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน (Marginal Cost of Capital)

2. อัตราผลตอบแทนด้านการเงิน (IRR) คือ ดัชนีที่แสดงถึงอัตราผลตอบแทนเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของรายได้หรือผลประโยชน์ของโครงการ มีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าลงทุนโครงการ โดยอัตราผลตอบแทนทางการเงินที่มีค่ามากกว่าอัตราเงินกู้หรืออัตราคิดลดของโครงการ จะแสดงถึงการลงทุนที่มีความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการ

$$NPV = 0 = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} \quad (8)$$

3. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าลงทุน (Benefit-Cost Ratio : B/C Ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์กับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนตลอดอายุของโครงการ ณ อัตราคิดลดที่กำหนด ซึ่งถ้าหากโครงการใดมีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าให้จ่ายมากกว่า 1 หรือ

ผลประโยชน์ทางการเงินที่จะได้กลับคืนมามากกว่า 1 เมื่อลงทุนไป 1 แสดงว่าโครงการนี้มีความเหมาะสมต่อการลงทุน

$$\text{อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน(B/C)} = \frac{\text{ผลประโยชน์}}{\text{เงินลงทุน}} \quad (9)$$

4. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ ดัชนีที่แสดงถึงระยะเวลาที่รายได้หรือผลประโยชน์ของโครงการสะสม มีค่าเท่ากับค่าการลงทุนโครงการสะสม

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดลงทุนเริ่มต้น}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิ}} \quad (10)$$

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการทางการเงิน

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวเป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบว่า เมื่อตัวแปรทางด้านต้นทุนและผลประโยชน์ มีการเปลี่ยนแปลงไปจากที่ประมาณการเอาไว้จะทำให้โครงการมีความเหมาะสม อยู่เช่นเดิมหรือไม่

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการได้กำหนดการวิเคราะห์เป็น 3 กรณี คือ

1. ต้นทุนของโครงการเพิ่มขึ้นร้อยละ 10

$$\text{ต้นทุนของโครงการเพิ่มขึ้นร้อยละ 10} = \text{ผลประโยชน์รวม} - \text{ต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10} \quad (11)$$

2. ผลตอบแทนของโครงการลดลงร้อยละ 10

$$\text{ผลตอบแทนของโครงการเพิ่มขึ้นร้อยละ 10} = \text{ผลประโยชน์ลดลงร้อยละ 10} - \text{ต้นทุนรวม} \quad (12)$$

3. ค่าลงทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และผลประโยชน์ลดลงร้อยละ 10

$$\text{ค่าลงทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10} = \text{ผลประโยชน์ลดลงร้อยละ 10} - \text{ต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10} \quad (13)$$

และผลประโยชน์ลดลงร้อยละ 10

การประเมินทางคาร์บอนเครดิต

1. การคำนวณปริมาณการลดก๊าซเรือนกระจก

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้สามารถคำนวณหาได้จาก ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีที่ไม่มีโครงการเทียบกับกรณีมีการดำเนินโครงการ ดังแสดงในสมการที่ 14

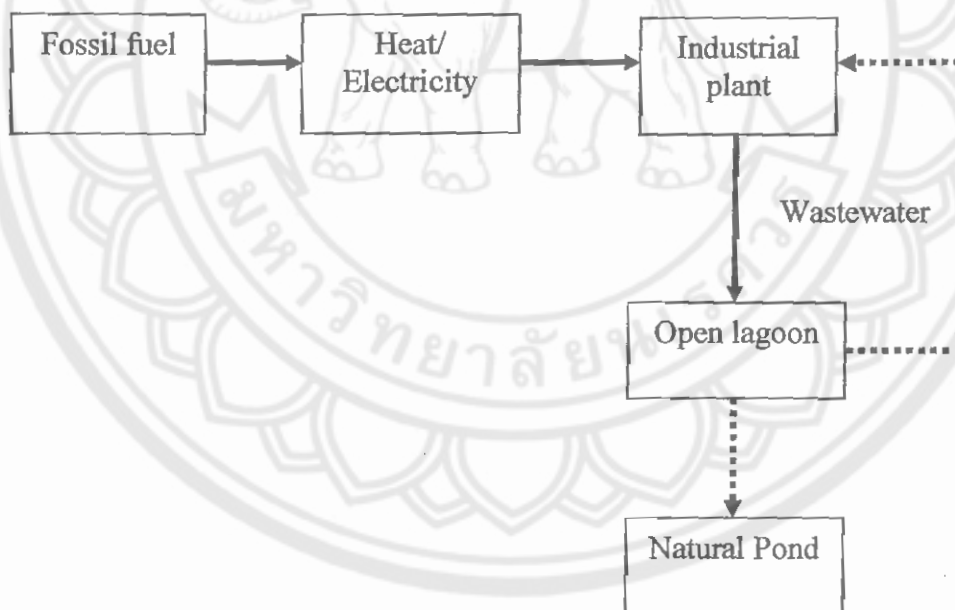
$$\text{ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้} = \text{Total Baseline emission} - \text{Total Project emission} \quad (14)$$

(Emission reduction)

โดย Total Baseline emission = การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานปกติ
Total Project emission = การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการ

1.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานปกติ (Baseline emission)

การดำเนินงานปกติในกรณีที่ไม่มีโครงการ โรงงานอุตสาหกรรมจะปล่อยน้ำเสียเข้าสู่บ่อบำบัดแบบเปิดสามารถแสดงดังภาพ 23



ภาพ 23 แผนผังการดำเนินงานปกติในกรณีที่ไม่มีโครงการ

ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานปกติ
แหล่งที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะมีด้วยกัน 2 แหล่งคือ

1. การปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) จากบ่อน้ำบำบัดแบบเปิด

ในการคำนวณการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) จากบ่อน้ำบำบัดแบบเปิด สามารถ
คำนวณได้ดังสมการที่ 15

$$\text{CH}_4 \text{ emission} = \text{Total COD} \times B_0 \times \text{MCF} \quad (15)$$

(kg CH_4 /yr) (kg COD/yr) (kg CH_4 /kg COD)

เมื่อ

COD = ค่า COD ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Chemical Oxygen Demand)

B_0 = Maximum CH_4 producing capacity

(อ้างอิงจาก IPCC กำหนดให้ $B_0 = 0.21 \text{ kg } \text{CH}_4/\text{kg COD}$)

MCF = Methane Conversion factor เป็นสัดส่วนของน้ำเสียที่สามารถถูกย่อย
สลายเปลี่ยนเป็นมีเทนด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน

(AM0013 version 2 กำหนดให้ MCF = 0.738)

เมื่อคำนวณได้ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนแล้วจะต้องเปลี่ยนให้เป็น
ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าโดยคุณด้วยค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนของมีเทนดัง
สมการที่ 16

$$\text{CH}_4 \text{ emission from the lagoons} = \text{CH}_4 \text{ emission from the lagoons} \times \text{GWP} \div 1000 \quad (16)$$

(t $\text{CO}_2 \text{ e/yr}$) (kg CH_4 /yr) (kg/t)

โดย GWP = ค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential)

(อ้างอิงจาก IPCC 1995 ค่า GWP ของ $\text{CH}_4 = 21$)

2. การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้เชื้อเพลิง

ในการคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้เชื้อเพลิงจะคิดจากการทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงาน โดยคำนวณจากสมการที่ 17

$$\text{Baseline emissions conversion from the portion of fossil fuel displaced by biogas used in heating equipment (t CO}_2\text{ e/yr)} = \text{Volume of biogas combusted in the heating equipment (Nm}^3\text{)} \times \text{Energy content of biogas (TJ/Nm}^3\text{)} \times \text{Carbon content of the fossil fuel (t C/TJ)} \times \text{Mass factor (tCO}_2\text{/tC)} \quad (17)$$

จากสมการที่ 17 จะต้องทราบถึงปริมาณของก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 18 และ 19

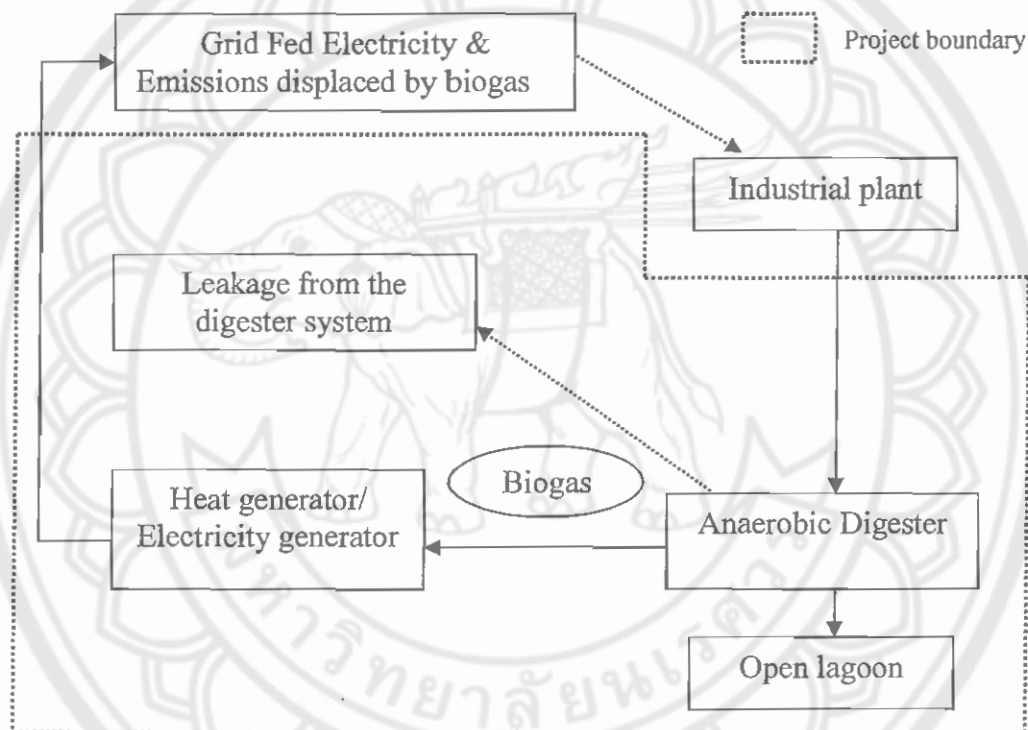
$$\text{COD converted in digester (kg)} = \text{Volume of wastewater to digester (m}^3\text{)} \times \text{Digester inlet wastewater COD concentration (kg/m}^3\text{)} \times \text{COD removal efficiency \%} \quad (18)$$

$$\text{Total biogas produced and combusted in heating equipment (Nm}^3\text{/yr)} = \text{COD converted to biogas (kg COD)} \times \text{Biogas generation rate (Nm}^3\text{ biogas/ kg COD)} \quad (19)$$

เมื่อ	Energy content of biogas	=	2.3955 x 10 ⁻⁵ TJ/Nm ³
	Carbon content of furnace oil	=	21.1 t C/TJ (อ้างอิงจาก IPCC, 1996)
	Mass factor	=	44/12 หรือ 3.67 tCO ₂ /tC

1.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการ (Project emission)

การดำเนินโครงการจะทำการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบปิดซึ่งเป็นสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic digester) เพื่อให้เกิดก๊าซมีเทนและนำก๊าซที่ได้ไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนการใช้เชื้อเพลิงของโรงงานหรือผลิตพลังงานความร้อน น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบแล้วจะมีคุณภาพที่ดี ก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดแบบเปิดต่อไป ซึ่งสามารถแสดงดังภาพ 24



ภาพ 24 แผนผังการดำเนินงานโครงการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบปิด ซึ่งเป็นสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic digester)

ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการ แหล่งที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีด้วยกัน 3 แหล่งคือ

1. การปล่อยก๊าซมีเทน (CH₄) จากบ่อบำบัดแบบเปิด

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดแบบปิด (Anaerobic digester) แล้วจะไหลเข้าสู่บ่อบำบัดแบบเปิด (Open lagoon) ซึ่งจะยังคงมีการปล่อยก๊าซมีเทน โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 20

$$\text{CH}_4 \text{ emission in open lagoon (kg CH}_4\text{/yr)} = \text{COD at digester outlet (kg COD/yr)} \times B_0 \text{ (kg CH}_4\text{/kg COD)} \times \text{MCF} \quad (20)$$

เมื่อดำเนินการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนแล้วจะต้องเปลี่ยนให้เป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าโดยคูณด้วยค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนของมีเทนดังสมการที่ 21

$$\text{CH}_4 \text{ emission from the lagoons (t CO}_2\text{ e/yr)} = \text{CH}_4 \text{ emission from the lagoons (kg CH}_4\text{/yr)} \times \text{GWP} \div 1000 \quad (21)$$

1. การปล่อยก๊าซมีเทน (CH₄) จากการรั่วไหลจากระบบบำบัดแบบปิด

จาก Methodology AM0013 คิดปริมาณการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดแบบปิดเป็นร้อยละ 15 ของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

2. การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ไฟฟ้าในการเดินระบบ (CO₂ emissions associated with the digester auxiliary equipment)

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ไฟฟ้าในการเดินระบบ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 22

$$\text{CO}_2 \text{ emission (t CO}_2\text{/yr)} = \text{Electricity consumption (MWh/yr)} \times \text{Grid emission factor (t CO}_2\text{/MWh)} \quad (22)$$

เมื่อ Grid emission factor = 0.624 t CO₂/MWh (พพ., 2549)

2. การคำนวณรายได้จากคาร์บอนเครดิต

ในการคำนวณรายได้จากคาร์บอนเครดิตโรงงานจะพิจารณาช่วงเวลาในการคิดเครดิตเหมือนกัน คือ 10 ปี ซึ่งได้กำหนดสมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

1. สมมติฐานด้านรายรับ

1.1 ราคา CERs คงที่ คือ 7 US\$/tCO₂e (อัตราแลกเปลี่ยน 1 US\$ = 32 บาท)

2. สมมติฐานด้านรายจ่าย

2.1 ค่าใช้จ่ายในการเตรียม PDD 1,500,000 บาท (รวมค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม)

2.2 ค่าใช้จ่ายในการขออนุมัติโครงการจากภาครัฐ 15,000 บาท ตามที่สม.ได้กำหนดไว้

2.3 ค่าใช้จ่ายในการจ้างหน่วยงานกลางมาตรวจเอกสารประกอบโครงการ 300,000 บาท

2.4 ค่าใช้จ่ายในการขึ้นทะเบียนโครงการ 0.1-0.2 US \$/CERs (ปริมาณ CERs 15,000 tCO₂e/ปี แรก คิด 0.1 US\$ ปริมาณ CERs ที่ > 15,000 tCO₂e/ปี คิด 0.2 US\$) ตามที่ UNFCCC ได้กำหนดไว้

2.5 ค่าใช้จ่ายในการตรวจติดตามก๊าซเรือนกระจก 80,000 บาท/ปี (คงที่)

2.6 ค่าใช้จ่ายในการจ้างหน่วยงานกลางยืนยันก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จริง 300,000 บาท/ปี (คงที่)

2.7 ค่าใช้จ่ายในการออกใบรับรองปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ 2% ของ CERs ตามที่ UNFCCC ได้กำหนดไว้