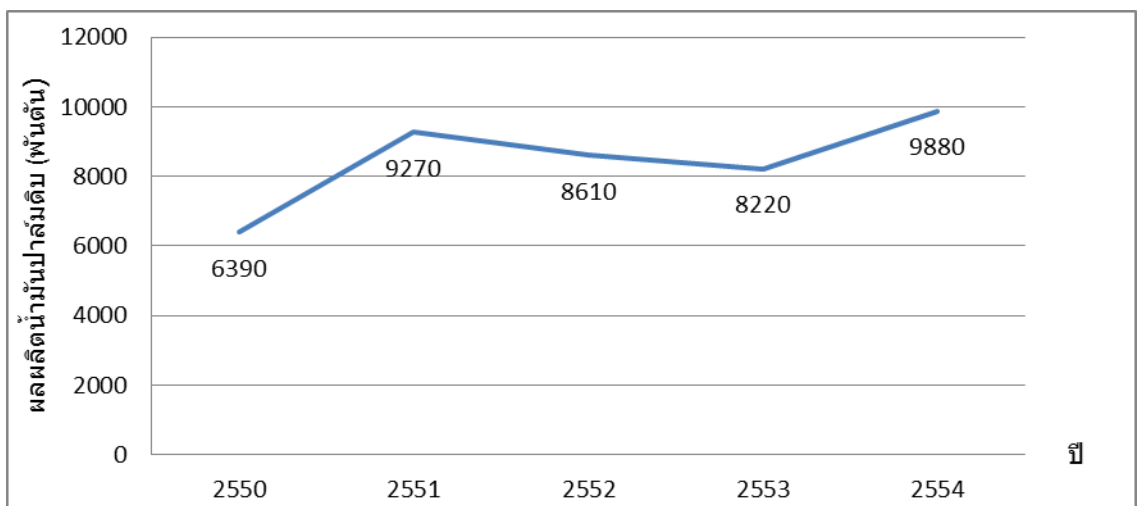


## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

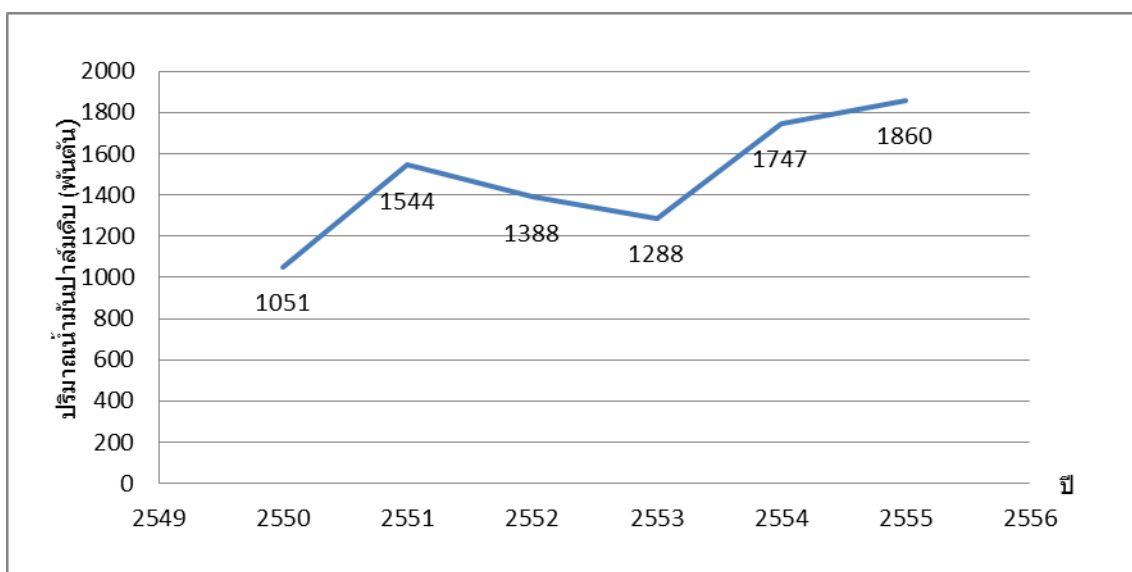
### 2.1 อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันของไทย [1]

ปัจจุบันไทยเป็นประเทศหนึ่งในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่สามารถผลิตปาล์มน้ำมันได้อย่างเพียงพอ และสามารถส่งขายให้กับต่างประเทศได้เป็นอันดับสาม รองจากประเทศอินโดนีเซียและมาเลเซีย จากการรวบรวมข้อมูลผลผลิตปาล์มสดของไทย โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2554 พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกที่ให้ผลผลิตแล้วมากกว่า 3.75 ล้านไร่ โดยร้อยละ 87.83 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมดอยู่ในภาคใต้ และจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีพื้นที่ให้ผลผลิตมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 25.37 รองลงมาคือ กระบี่และชุมพร มีสัดส่วนร้อยละ 24.83 และ 19.40 ตามลำดับ ในระยะที่ผ่านมา ประเทศไทยได้จัดทำแผนพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551 – 2565) โดยเฉพาะการใช้น้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบหลัก ในการทดแทนการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศและมุ่งส่งเสริมการใช้ไขมันไบโอดีเซล B3 B5 และพัฒนาถึง B10 ทำให้มีเกษตรกรผู้สนใจเริ่มปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นทั่วทุกภูมิภาคและมีแนวโน้มจะขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคอีสาน เช่น จังหวัดสระบุรี กาญจนบุรี ราชบุรี ฉะเชิงเทรา ระยอง เชียงราย เลย อุดรธานี นครพนม ร้อยเอ็ด นครราชสีมา สระแก้วบุรีรัมย์ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ผลผลิตปาล์มสดของไทยปี พ.ศ. 2550 – 2555 [1]

การศึกษาแนวโน้มความสามารถในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบของประเทศ จากสถิติปริมาณผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2550 – 2555 พบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2553 ประเทศไทยได้เผชิญกับความแปรปรวนของสภาพดินฟ้าอากาศอย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่บริเวณภาคใต้ ซึ่งเป็นแหล่งเพาะปลูกปาล์มที่สำคัญของประเทศ มีปริมาณผลปาล์มและน้ำมันปาล์มที่ออกสู่ตลาดลดลงอย่างมากถึงระดับต่ำสุดที่ประมาณ 1,288 พันตัน ในปี พ.ศ. 2553 อย่างไรก็ตาม การผลิตปาล์มน้ำมันเริ่มปรับตัวเข้าสู่สภาวะปกติตั้งแต่ช่วงครึ่งปีหลังของปี พ.ศ. 2554 โดยปริมาณน้ำมันปาล์มดิบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในปี พ.ศ. 2555 ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยปี พ.ศ. 2550 – 2555 [1]

### 2.1.1 โครงสร้างอุตสาหกรรม [2]

โครงสร้างอุตสาหกรรมอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม ประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ได้แก่ เกษตรกรผู้ปลูกปาล์ม โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานกลั่นน้ำมันปาล์ม อุตสาหกรรมต่อเนื่อง และผู้บริโภค ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแต่ละส่วนจะมีผลกระทบซึ่งกันและกัน นอกจากนี้ยังมีอีก 3 ส่วนประกอบที่เข้ามามีบทบาทต่ออุตสาหกรรม ได้แก่ ผู้รวบรวมผลผลิต หรือลานเท คลังรับฝากน้ำมัน และองค์กรวิชาชีพ ชมรม สมาคมที่เกี่ยวข้อง

#### 1) เกษตรกรผู้ปลูกปาล์ม สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- **บริษัทเอกชนผู้ปลูกปาล์ม** ประกอบด้วย กลุ่มโรงงานสกัดที่มีสวนปาล์มของตนเอง บางส่วนมีการบริหารเชิงธุรกิจ มีคณะกรรมการบริหาร ผู้จัดการบริษัทหรือผู้จัดการสวน

ปาล์มน้ำมัน ผู้ควบคุมดูแลแปลงต่างๆ และว่าจ้างคนงานในการดูแลสวน ผู้ประกอบธุรกิจกลุ่มนี้สามารถช่วยตัวเองได้ มีการบริหารจัดการที่ดี

- **เกษตรกรอิสระ** เกษตรกรกลุ่มนี้เป็นเกษตรกรรายย่อยที่มีจำนวนมากและหลากหลาย พื้นที่ปลูกกระจุกกระจาย ขาดการสนับสนุนจากภาครัฐจึงมีปัญหาทางด้านวิชาการ การดูแลรักษาสวนการสนับสนุนปัจจัยการผลิต การจัดการเรื่องการตลาดและขาดโอกาสเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร ขาดอำนาจในการต่อรอง ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตต่ำ การจำหน่ายผลผลิตของเกษตรกรกลุ่มนี้จะขายปาล์มสดให้โรงงานสกัดขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ ขึ้นอยู่กับระยะทางจากสวนถึงโรงงาน ราคารับซื้อ เงื่อนไขทางการเงินที่โรงงานเสนอให้ บางรายจะขายให้พ่อค้าท้องถิ่นซึ่งรวบรวมผลปาล์มส่งโรงงานขนาดใหญ่
- **เกษตรกรในกลุ่มสหกรณ์ผู้ปลูกปาล์มน้ำมันหรือนิคมสร้างตนเอง** เกษตรกรเหล่านี้จะมีพื้นที่อาณาเขตชัดเจนรวมกันเป็นผืนใหญ่ ง่ายต่อการจัดการ ได้รับการดูแลสนับสนุนด้านวิชาการ โครงสร้างพื้นฐาน เกษตรกรกลุ่มนี้สามารถเชื่อมโยงการจำหน่ายผลผลิตของสมาชิกกับโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีอำนาจการต่อรองสูง มีกรรมการบริหารผู้จัดการ ประสิทธิภาพการผลิตอยู่ในระดับปานกลาง

2) **ผู้รวบรวม หรือเรียก ลานเท หรือ แล้ม** ทำหน้าที่เป็นคนกลางรับซื้อทะลายปาล์มสดจากเกษตรกรรวบรวมส่งโรงงาน หรืออาจนำปาล์มไปหีบเอาน้ำมันแล้วจำหน่ายแก่โรงงานในรูปน้ำมันปาล์มดิบก็ได้ โดยลานเทจะต้องมีเงินทุนหมุนเวียนสูง เพราะต้องจ่ายเงินสดให้แก่เกษตรกรลานเท หรือ แล้ม จะเป็นผู้กำหนดราคาซื้อ โดยอิงจากโรงงาน ราคาซื้อจะขึ้นกับคุณภาพของปาล์มทั้งในส่วนเมล็ดและทะลาย โดยตรวจสอบความดิบ-แก่ของเมล็ดจากสีเปลือกด้วยตาเปล่า ราคาซื้อผลปาล์มสดจะแยกเป็นราคาทั้งทะลาย และราคาผลร่วง ราคาผลร่วงจะสูงกว่าเล็กน้อย เพราะไม่ต้องเอามาแยกทะลาย ผลปาล์มสดที่เก็บเกี่ยวได้จากต้นปาล์มน้ำมันควรจะนำเข้ากระบวนการผลิตภายใน 24 ชั่วโมง เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำมันปาล์มดิบที่ดี จึงทำให้การแข่งขันในด้านการรับซื้อผลปาล์มสดจะค่อนข้างสูง

3) **โรงงานหีบสกัดน้ำมัน** มักตั้งอยู่ในพื้นที่ปลูกปาล์ม ส่วนใหญ่จะผลิตน้ำมันปาล์มดิบเพื่อขายต่อให้โรงกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์หรืออุตสาหกรรมอื่น เพื่อนำไปผลิตไบโอดีเซล โรงงานสกัดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- **โรงสกัดน้ำมันขนาดเล็ก** เป็นโรงงานผลิตด้วยวิธีดั้งเดิม ส่วนใหญ่ใช้ลูกร่วง ใช้วิธีย่างไฟ 24 ชั่วโมง แล้วจึงเอาเข้าสกรูบีบอัดน้ำมัน ซึ่งจะได้น้ำมันเกรด B เป็นน้ำมันผสมออกมา ราคาจะต่ำกว่าน้ำมันเกรด A ประมาณกิโลกรัมละ 1 บาท

- โรงสกัดน้ำมันขนาดกลางและขนาดใหญ่ มีกระบวนการผลิตแบบแยกน้ำมันจากเมล็ดในและเนื้อปาล์ม บางโรงอาจไม่มีการแยกน้ำมันจากเมล็ดใน ส่งเมล็ดในขายให้โรงงานอื่นอีกทอดหนึ่ง

4) โรงงานกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์ ผู้ประกอบการกลุ่มนี้มีทั้งที่รับซื้อน้ำมันปาล์มดิบจากโรงสกัดมา กลั่น ซื้อผลปาล์มมาสกัดในโรงงานก่อนจะส่งน้ำมันปาล์มดิบเข้าโรงกลั่น หรือมีส่วนปาล์มของตนเองเพื่อบริหารจัดการวัตถุดิบเข้าโรงงานได้อย่างเพียงพอตั้งแต่ต้นทาง นอกจากนี้ ผู้ประกอบการบางรายยังมีการดำเนินการเองตั้งแต่การนำพันธุ์ปาล์มเข้าจากต่างประเทศมาเพาะขยายพันธุ์และจำหน่ายแก่เกษตรกรในเครือ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง จนถึงการนำน้ำมันปาล์มไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ

5) โรงงานอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เป็นโรงงานที่ซื้อน้ำมันปาล์มจากโรงสกัดหรือโรงกลั่นในลักษณะต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในหลายวัตถุประสงค์ ทั้งอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเคมี

6) คลังรับฝากน้ำมันปาล์ม จะรับฝากน้ำมันปาล์มดิบสำหรับโรงงานที่มีถังเก็บไม่เพียงพอ

7) องค์กรวิชาชีพ ชมรม สมาคมที่เกี่ยวข้อง เป็นการรวมตัวของเกษตรกร ผู้ประกอบการลักษณะเดียวกันเพื่อวัตถุประสงค์บางประการ ปัจจุบันมีการจดทะเบียนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันที่ไม่ใช่หน่วยงานของราชการและมหาวิทยาลัยที่สำคัญ ดังนี้

- สมาคมปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มแห่งประเทศไทย
- สมาคมโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
- สมาคมโรงกลั่นน้ำมันปาล์ม
- ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวน เช่น ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนจังหวัดกระบี่ เป็นต้น

## 2.1.2 กำลังการผลิต [1]

1) โรงสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ในปัจจุบันมีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบประมาณ 80 โรง มีกำลังการผลิตของโรงงานรวมทั้งสิ้นประมาณ 10 -12 ล้านตันผลปาล์มสดต่อปี แต่ยังคงสูงกว่าปริมาณวัตถุดิบผลปาล์มสดที่ออกสู่ตลาด ปีละประมาณ 8 ล้านตัน ซึ่งจะเห็นว่ากำลังการผลิตของโรงสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีมากกว่าอุปทานของผลปาล์มสดที่มีอยู่ในปัจจุบันกว่าร้อยละ 50 ภาวะความไม่สมดุลระหว่างอุปสงค์และอุปทานดังกล่าว ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพราคาของน้ำมันปาล์มดิบ ทำให้

ราคาน้ำมันปาล์มดิบสูงขึ้น ประชาชนบริโภคน้ำมันดิบลดลงและหันไปเลือกใช้น้ำมันจากพืชชนิดอื่นทดแทน ส่งผลให้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เกิดปัญหาทางการเงิน จนอาจต้องปิดกิจการ จึงเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการแข่งขันและการพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มของประเทศ

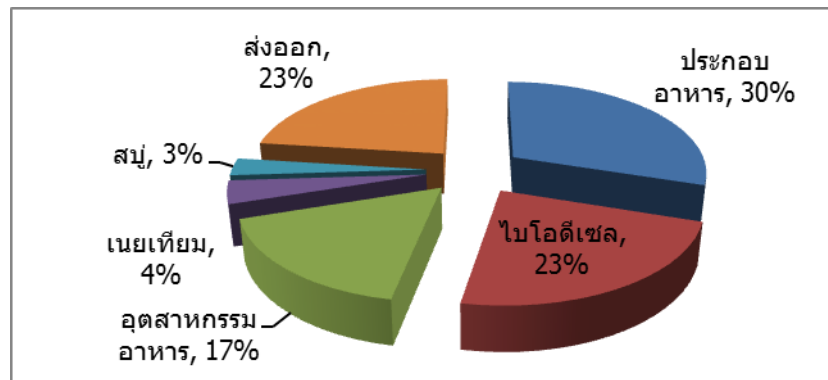
2) **โรงกลั่นน้ำมันปาล์ม** เป็นสถานประกอบการที่มีขีดจำกัดสำหรับผู้ประกอบการรายใหม่ เพราะผู้ประกอบการที่ต้องการจะประกอบธุรกิจโรงกลั่นน้ำมันปาล์ม จะต้องใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูง ต้องอาศัยความรู้ความชำนาญและเทคโนโลยีระดับสูง

น้ำมันเมล็ดในปาล์มสามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันมะพร้าวได้เป็นอย่างดี ในการทำสบู่ และ ผงซักฟอก น้ำมันเมล็ดในปาล์มสกัดได้เฉพาะในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดใหญ่ที่มีการแยกเอาเมล็ดในปาล์มออกมาจากเส้นใยของผลปาล์มเท่านั้น ส่วนโรงงานสกัดขนาดเล็กจะหีบน้ำมันจากผลปาล์มทั้งทะลายโดยไม่มีการแยกเปลือกและเมล็ดใน น้ำมันปาล์มดิบที่ได้ก็จะป็นน้ำมันผสม

สำหรับเศษวัสดุเหลือจากกระบวนการผลิต คือ เส้นใยของผลปาล์ม กะลาปาล์ม และทะลายปาล์มเปล่าทางโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ในโรงงานเองเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบและยังเป็นการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย

### 2.1.3 ตลาดและความต้องการ [1]

ตลาดเป้าหมายของน้ำมันปาล์มในประเทศไทยจะอยู่ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมไบโอดีเซลเป็นหลัก โดยส่วนใหญ่นำไปใช้ผลิตน้ำมันพืชสำหรับประกอบอาหาร เป็นสัดส่วนร้อยละ 30 รองลงมาได้แก่ ไบโอดีเซล อุตสาหกรรมอาหาร และเนยเทียม คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 23, 17 และ 4 ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สัดส่วนการใช้้ำมันปาล์มดิบของไทยปี พ.ศ. 2554 [1]

ส่วนทางด้านราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทยจะอ้างอิงกับราคาในประเทศมาเลเซีย ประกอบกับการพิจารณาอุปสงค์อุปทานของไทยด้วย ซึ่งปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อราคาของน้ำมันปาล์มในตลาดมาเลเซีย ได้แก่ ระดับราคาน้ำมันพืชชนิดอื่นที่ใช้แทนกันได้ ความต้องการบริโภคและปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มในตลาดโลก สภาพดินฟ้าอากาศ และราคาน้ำมันปิโตรเลียม จึงทำให้น้ำมันดิบของประเทศไทยมีราคาสูงกว่าประเทศคู่แข่ง

#### 2.1.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [1]

ในกระบวนการผลิตที่โรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์นั้น มีวัตถุดิบหลักคือ น้ำมันปาล์มดิบ คิดเป็นประมาณร้อยละ 85 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวสามารถผลิตได้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ แม้กระทั่งผลพลอยได้ของผลิตภัณฑ์ก็สามารถนำมาปรับปรุงเปลี่ยนแปลงและพัฒนาเพื่อขายเป็นสินค้าได้ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัตถุดิบเหลือใช้จากกระบวนการผลิตของน้ำมันปาล์มจึงถือว่าไม่น้อยมาก

สำหรับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต เช่น กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม เปล่า เส้นใยปาล์ม กากตะกอน (สลัดจ์เค้ก) และขี้เถ้า ซึ่งโรงงานสามารถนำกากเส้นใยและกะลาปาล์มไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ ส่วนทะลายปาล์มเปล่าสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือแจกฟรีให้เกษตรกรนำไปเพาะเห็ด นอกจากนี้โรงงานยังสามารถนำสลัดจ์เค้กและขี้เถ้าไปถมที่หรือใช้เป็นปุ๋ย อย่างไรก็ตาม กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบอาจก่อให้เกิดฝุ่นและควัน ซึ่งเกิดจากการสันดาปของกระบวนการผลิตตามปกติ

ด้านมลภาวะทางน้ำ โรงงานส่วนใหญ่ได้มีการวางแผนการจัดการระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิต มีการนำคอนเดนเสด จากทุกส่วนของโรงงานนำกลับเข้ามาใช้ ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำที่ต้องเติมไปในกระบวนการผลิตและเป็นการลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น ติดตั้งระบบดักไขมันและตะกอน ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียก่อนปล่อยสู่ระบบบำบัดและยังมีโครงการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพด้วย

## 2.1.5 ปัญหาและอุปสรรค [1]

อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มของไทยมักจะเผชิญปัญหาที่สำคัญ ดังนี้

### 1) สวนปาล์มของไทยส่วนมากมีขนาดเล็ก

เกษตรกรผู้ปลูกปาล์มส่วนใหญ่ขาดความรู้ความเข้าใจในการบำรุงรักษา ส่วนใหญ่เป็นการปลูกตามธรรมชาติ การใช้ปุ๋ยอยู่ในอัตราต่ำ ขาดเงินทุนและเทคโนโลยีในการเพาะปลูกที่เพียงพอ จึงทำให้ผลผลิตต่อไร่และอัตราการสกัดน้ำมันดิบต่ำ

### 2) พันธุ์ปาล์มส่วนใหญ่ที่เกษตรกรปลูกเป็นผลปาล์มที่ให้ผลผลิตต่ำ

### 3) ความไม่แน่นอนของปริมาณวัตถุดิบ

การเจริญเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมันจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะสภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำและปุ๋ยที่เพียงพอ ดังนั้นหากปีใดที่มีปริมาณน้ำฝนน้อย หรือสภาพภูมิอากาศไม่เอื้ออำนวย จะทำให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันต่อต้นน้อย อีกทั้งปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้จากผลปาล์มอยู่ในระดับต่ำ

### 4) สภาพการแข่งขันภายในอุตสาหกรรมที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

จำนวนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่มีอยู่เดิมก็มีการขยายกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น ทำให้มีการแข่งขันกันซื้อผลปาล์มสดในราคาสูง เพื่อให้โรงงานสามารถใช้ประโยชน์จากกำลังการผลิตที่มีอยู่ได้อย่างเต็มที่ โดยไม่คำนึงถึงคุณภาพของผลปาล์มสดเท่าที่ควร ส่งผลสะท้อนไปยังต้นทุนวัตถุดิบและราคาน้ำมันปาล์มดิบที่สูงขึ้น

### 5) สถานการณ์การผลิตพืชทดแทน

ปริมาณและราคาผลผลิตถั่วเหลืองเป็นปัจจัยเสี่ยงหนึ่งที่มีผลกระทบต่อปาล์มน้ำมัน เนื่องจากเป็นสินค้าทดแทน ดังนั้นหากราคาน้ำมันถั่วเหลืองลดลง อาจทำให้ผู้บริโภครู้สึกหันไปบริโภคหันไปเลือกซื้อน้ำมันถั่วเหลืองแทนน้ำมันปาล์ม หรือหากราคาถั่วเหลืองในตลาดโลกปรับตัวสูงขึ้น ก็อาจทำให้ผู้ปลูกปาล์มน้ำมันหันไปปลูกถั่วเหลืองแทนได้

### 6) ภาวะขาดแคลนแรงงาน

ผู้ปลูกปาล์มน้ำมันต้องเผชิญภาวะขาดแคลนแรงงานอย่างรุนแรง เนื่องจากเศรษฐกิจมีการเจริญเติบโต ผลผลิตทั่วประเทศเพิ่มมากขึ้นและแรงงานบางส่วนทยอยกลับถิ่นฐานของตนเอง ทำให้ผู้ประกอบการแก้ไขปัญหาโดยการจ้างแรงงานต่างด้าวและนำเครื่องมือเครื่องจักรกลมาช่วยเพิ่มผลผลิตมากขึ้น

## 7) การควบคุมราคาจำหน่ายปลีกน้ำมันปาล์ม

เนื่องจากราคาน้ำมันปาล์มสำเร็จรูปถูกควบคุมโดยกรมการค้าภายใน ทำให้ไม่สามารถปรับราคาจำหน่ายได้โดยเสรี เพื่อสะท้อนต้นทุนวัตถุดิบที่แท้จริงและส่งผลกระทบต่อกำไรของผู้ประกอบการ แต่ราคาน้ำมันปาล์มได้ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้รัฐบาลต้องอนุมัติเงินชดเชยให้โรงกลั่นน้ำมันปาล์ม พร้อมกับการประกันราคาผลปาล์มสด

## 2.2 น้ำเสีย

น้ำเสีย (Waste) เป็นน้ำสกปรกมีสิ่งเจือปนต่างๆมากมาย ที่ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์ได้อีก ซึ่งหากมีปริมาณมาก อาจเกิดการเน่าเสียและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์โดยรอบ เช่น ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคและเป็นเหตุให้สิ่งมีชีวิตเจ็บป่วยหรือล้มตาย เป็นต้น เพื่อเป็นการลดปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น จึงควรทำการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ [3]

### 2.2.1 สิ่งสกปรกในน้ำเสีย [4]

สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียเป็นสิ่งที่ต้องกำจัดออกจากน้ำเสีย ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด แตกต่างกันไปตามกิจกรรมที่ทำให้เกิดน้ำเสีย ซึ่งสามารถจัดเป็นหมวดหมู่ได้ดังนี้

#### 1) จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่พบในน้ำเสียส่วนใหญ่นั้นจะเป็นจุลินทรีย์ที่มีทั้งที่เป็นสาเหตุของโรคและเป็นจุลินทรีย์ทั่วไปที่ไม่ทำให้เกิดโรค ซึ่งน้ำเสียอาจมีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ต่างๆมากมาย รวมทั้งยังมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ที่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์และไม่มีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ หรืออาจจะมีสารพิษอยู่แต่จะมีอยู่ในปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ในน้ำเสีย

#### 2) สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้

สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย ได้แก่ สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารได้ เช่น แป้ง น้ำตาล กรดอะมิโน โปรตีน เป็นต้น

#### 3) สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยาก

สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยาก ได้แก่ สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์นำไปใช้เป็นอาหารได้ยาก เช่น สีข้อมชนิดต่างๆ สีของน้ำกากส่า สีของกากน้ำตาล เป็นต้น



#### 4) สารอินทรีย์ที่มีปริมาณน้อย

สารอินทรีย์บางชนิดแม้มีการปนเปื้อนในน้ำเสียปริมาณน้อย แต่ก็มีผลอย่างมากต่อคุณภาพน้ำเสีย เช่น เกิดกลิ่น รส สี เปลี่ยนไป รวมทั้งอาจมีสารอินทรีย์บางชนิดที่มีฤทธิ์ในการฆ่าหรือทำลายสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะจุลินทรีย์ในน้ำเสียหรือแหล่งรองรับน้ำเสีย

#### 5) สารพิษ

สารพิษเป็นสารที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำหรือน้ำเสียนั้น มีทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ได้แก่ โลหะหนัก เช่นปรอท แคดเมียม ตะกั่ว เป็นต้น

#### 6) ตะกอนแขวนลอย

เป็นสิ่งสกปรกต่างๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียที่มีลักษณะสมบัติที่ไม่ละลายน้ำและแขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย เช่น เชื้อกระดาศ ตะกอนดิน และตะกอนแป้ง เป็นต้น ส่งผลให้การส่งผ่านของแสงแดดลงสู่น้ำไม่ดี รวมทั้งบดบังแสงแดดไม่ให้ส่องลงไปสู่ก้นบ่อหรือแหล่งน้ำ

#### 7) สีและความขุ่น

สีและความขุ่น จัดว่าเป็นมลพิษตัวหนึ่งซึ่งส่งผลต่อแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียนั้นหรือสภาวะแวดล้อม ตลอดจนเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดความน่ารังเกียจกับแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียนั้น

#### 8) สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

สารประกอบดังกล่าวเป็นปุ๋ยอย่างดีสำหรับพืชน้ำและสาหร่าย ซึ่งจะส่งผลให้น้ำมีสีเขียวหรือมีฟิชน้ำเกิดขึ้น เป็นผลให้อาจมีสีเขียวขุ่นได้

#### 9) น้ำมันและไขมัน

สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในรูปไขมันมักจะไม่สามารถละลายน้ำ เมื่อตั้งทิ้งไว้จะแยกตัวออกจากน้ำและลอยอยู่บนผิวน้ำได้ง่าย แต่ในบางสภาวะน้ำมันและไขมันอาจจะแขวนลอยอยู่ในน้ำเสียก็ได้ โดยผลจากความร้อนและสารลดแรงตึงผิวที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนั้น

#### 10) สิ่งสกปรกที่ลอยน้ำได้

ในที่นี้อาจจะเป็นของเหลวหรือของแข็งก็ได้ ตัวอย่างที่เป็นของเหลว เช่น น้ำมันและไขมัน สารตัวทำละลายบางชนิด ตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เช่น เศษไม้ เศษกระดาษ กะลาปาล์ม หรือขยะมูลฝอย

### 11) สารระเหยได้

สิ่งสกปรกที่สามารถระเหยออกจากน้ำได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำ ได้แก่ สารระเหยง่ายต่างๆ เช่น กรดไขมันระเหยง่าย สารอินทรีย์คาร์บอนระเหยง่าย ก๊าซบางชนิด เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น

## 2.2.2 ลักษณะสมบัติน้ำเสีย [5, 6]

ลักษณะสมบัติน้ำเสียเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย สามารถจำแนกได้เป็น 3 ลักษณะ ตามวิธีการวิเคราะห์ ดังนี้

### 1) ลักษณะสมบัติน้ำเสียทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียที่สำคัญที่ใช้ประกอบในการออกแบบ ตลอดจนใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของน้ำเสียและใช้เป็นดัชนีในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย ประกอบด้วย ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณของแข็ง กลิ่น สี ความขุ่น และอุณหภูมิ

### 2) ลักษณะสมบัติน้ำเสียทางเคมี [7]

ลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำเสียที่จำเป็นในการตรวจวิเคราะห์ จะประกอบด้วยสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ในรูปของ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ เช่น ความเป็นกรด-ด่าง (pH) สารอินทรีย์ต่างๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย อาจจะอยู่ในรูปของสารละลาย สารแขวนลอย หรือในรูปของแข็งกาคตะกอนก็ได้ ปริมาณสารประกอบไนโตรเจน ปริมาณสารฟอสฟอรัส ปริมาณไขมันและน้ำมัน สารอนินทรีย์ จำพวกโลหะหนักและความเป็นด่าง คลอไรด์ สารประกอบซัลเฟต ก๊าซ และปริมาณสารพิษ เป็นต้น

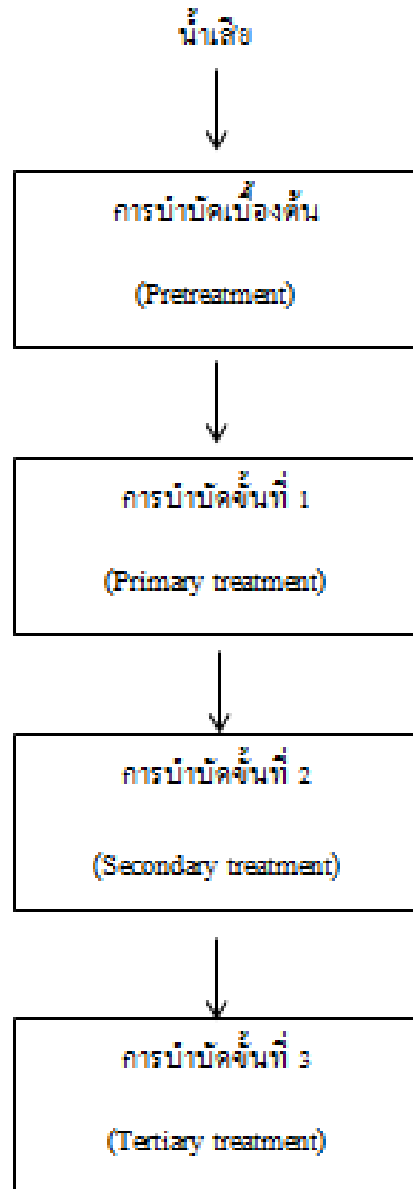
### 3) ลักษณะสมบัติน้ำเสียทางชีวภาพ

จุลินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอันตรายต่อชีวิตและสุขภาพของมนุษย์ แต่ในขณะเดียวกันในระบบบำบัดน้ำเสียก็ใช้จุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายสิ่งสกปรกต่างๆ ได้แก่ แบคทีเรีย ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำเสียได้ 95 % นอกนั้นคือ สาหร่าย และโปรโตซัว

## 2.3 การบำบัดน้ำเสีย [5, 8]

เป็นวิธีการที่ทำให้คุณภาพน้ำเสียดีขึ้นจนถึงระดับที่สามารถจะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ หรือแม้กระทั่งให้มีคุณภาพดีขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่

หรือนำกลับไปใช้ในกิจกรรมอื่นๆ อีก โดยทั่วไปการบำบัดน้ำเสียประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย [4]

#### 1) การบำบัดเบื้องต้น (Pretreatment)

การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นส่วนใหญ่จะเป็นการเตรียมน้ำเสียเพื่อให้เหมาะสมที่จะนำไปบำบัดในขั้นตอนต่อไปหรือขั้นตอนหลัก เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในขั้นตอนเหล่านั้น เช่นการดักตะกอนหรือ

ของแข็งด้วยตะแกรง การตกตะกอนหนัก การแยกตะกอน โดยการทำให้ลอยโดยใช้อากาศเป็นตัวพา เป็นต้น

## 2) การบำบัดขั้นที่ 1 (Primary treatment)

การบำบัดขั้นที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมก่อนที่จะไปสู่ขั้นตอนการบำบัดขั้นต่อไป เพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่อไปมีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบบำบัดขั้นต่อไป หรือระบบบำบัดโดยรวม การบำบัดเบื้องต้น ได้แก่ การแยกกากของแข็งแขวนลอยด้วยการตกตะกอน การสร้างและการรวมตะกอน การปรับสภาพน้ำเสีย เป็นต้น กระบวนการที่ใช้ในขั้นตอนนี้มักเป็นกระบวนการทางเคมีหรือกระบวนการทางกายภาพเป็นส่วนใหญ่ เพื่อลดมลพิษให้ต่ำลงและบำบัดน้ำเสียขั้นต้นให้มีลักษณะสมบัติเหมาะสมก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป ซึ่งเป็นขั้นตอนหลักในระบบบำบัดน้ำเสีย

## 3) การบำบัดขั้นที่ 2 (Secondary treatment)

การบำบัดขั้นที่ 2 เป็นขั้นตอนหลักในการบำบัดหรือแยกสิ่งสกปรกที่เป็นสารปนเปื้อนหลักออกจากน้ำเสียโดยเฉพาะ ทำให้น้ำเสียมีลักษณะสมบัติตรงตามที่มาตรฐานกำหนด

## 4) การบำบัดขั้นที่ 3 (Tertiary treatment)

บางครั้งคุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 แล้วอาจมีลักษณะสมบัติน้ำเสียบางประการที่ไม่เหมาะสมหรือเกินกว่าค่าตามที่มาตรฐานกำหนด จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียดังกล่าวให้มีลักษณะสมบัติดีขึ้นอีก เช่น น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วยังมีสี ความขุ่น สารอาหารบางอย่างตกค้างอยู่ หรือมีการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดเพิ่มเติมเพื่อให้คุณภาพน้ำดีขึ้นอีก ขั้นตอนนี้เรียกว่า “การบำบัดขั้นที่ 3” หรือ “การบำบัดขั้นสูง” ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายกระบวนการ ส่วนใหญ่จะเป็นการตกตะกอนสารแขวนลอย หรือการตกตะกอนของแข็งที่ละลายในน้ำ การดูดซับสารปนเปื้อนบางชนิด สี กลิ่น ด้วยถ่านกัมมันต์ การแลกเปลี่ยนประจุในน้ำเสีย การกรองสิ่งปนเปื้อนขนาดเล็กด้วยการกรองชั้นสูง

การบำบัดน้ำเสียแต่ละประเภทไม่จำเป็นต้องประกอบด้วยขั้นตอนการบำบัดทั้ง 4 ขั้นตอน ขึ้นกับลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด หรือคุณภาพของน้ำเสียที่ต้องการหลังการบำบัด

### 2.3.1 ประเภทของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย [4]

เนื่องจากน้ำเสียแต่ละประเภท มีลักษณะสมบัติน้ำเสียแตกต่างกันออกไป กระบวนการในการบำบัดน้ำเสีย ต้องประกอบด้วยขั้นตอนย่อยๆ หลายขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนย่อยๆ ก็มีวัตถุประสงค์ในการกำจัดสิ่งสกปรกที่แตกต่างกันออกไป กระบวนการย่อยๆ ดังกล่าว สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

#### 1) กระบวนการทางกายภาพ

กระบวนการทางกายภาพเป็นการกำจัดของเสียหรือสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำเสีย โดยอาศัยหลักการทางกายภาพ เช่น การคัดด้วยตะแกรง การกวาดเก็บ การทำให้ลอย การตกตะกอน การแยกด้วยการเหวี่ยง การกรอง กระบวนการทางกายภาพนี้มักจะเหมาะสมกับการแยกสิ่งสกปรกหรือปนเปื้อนที่ไม่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้แล้วยังมีกระบวนการทางกายภาพอื่นๆ ที่มีการใช้อีก เช่น การลดอุณหภูมิของน้ำเสีย โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเสียน้ำกับน้ำ หรือน้ำเสียกับอากาศ หรือแม้กระทั่งการใส่สารกำจัดสิ่งสกปรกในน้ำเสีย

#### 2) กระบวนการทางเคมี

กระบวนการทางเคมีเป็นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่มักอยู่ในรูปของสารที่ละลายน้ำและสารแขวนลอย ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ หลักการที่ใช้ คือ การทำให้เป็นกลาง การทำให้ตกตะกอน การรวมตะกอน การเติมและลดยอกซิเจนในสิ่งสกปรกหรือปนเปื้อน วิธีการเหล่านี้มักจะมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดค่อนข้างสูง เนื่องจากราคาสารเคมีและค่าใช้จ่ายในการควบคุมและเดินระบบบำบัด บางครั้งอาจเป็นการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการทางชีววิทยา

#### 3) กระบวนการทางชีววิทยา

กระบวนการทางชีววิทยาเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจจะเป็นจุลินทรีย์หรือพืชในการบำบัดหรือลดมลพิษในน้ำเสีย ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ในน้ำเสีย นอกจากนี้ยังได้มีการพิจารณานำกระบวนการทางชีววิทยามาใช้ในการบำบัดสารอนินทรีย์ เช่น การดูดซับโลหะหนัก[9] การบำบัดสีของโรงงานฟอกย้อม[10] เป็นต้น กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการหลัก คือ การบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระหรือแบบไม่เติมอากาศ และการบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนอิสระหรือแบบเติมอากาศ กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา มักนิยมใช้กับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นสิ่งปนเปื้อนหลัก ทั้งนี้เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการบำบัดค่อนข้างต่ำและมีผลกระทบน้อย

#### 4) กระบวนการฟิสิกส์ – เคมี

กระบวนการทางฟิสิกส์ – เคมี เป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายสูงมาก มักจะใช้ในการบำบัดน้ำเสียขั้นสูง สามารถใช้ได้กับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ โดยอาศัยหลักการการดูดซึมด้วยสารคาร์บอน การแลกเปลี่ยนประจุ เป็นต้น

### 2.3.2 การเลือกกระบวนการบำบัดน้ำเสีย [4]

การพิจารณาเลือกหรือสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย สิ่งที่ต้องดำเนินการคือ การจัดขั้นตอนการบำบัดและการเลือกใช้ชนิดของระบบบำบัดในแต่ละขั้นตอน การจัดทำรายละเอียด การจัดรูปแบบขั้นตอนการบำบัดและการเลือกใช้ชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียในแต่ละขั้นตอนนั้นเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ เพื่อให้ได้ระบบบำบัดน้ำเสียที่สอดคล้องกับกระบวนการผลิตและกิจกรรมของโรงงาน การพิจารณาที่จะเลือกกระบวนการบำบัดน้ำเสียว่าเป็นชนิดใดจะต้องมีความรอบคอบและมองถึงผลดีและผลเสียที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตด้วย ข้อกำหนดที่นิยมนำมาเป็นข้อที่ใช้ในการพิจารณามีดังนี้

#### 1) ปริมาณและลักษณะสมบัติน้ำเสีย

ปริมาณและลักษณะสมบัติน้ำเสียเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สุดในการกำหนดแนวทางการบำบัดหรือกำจัดน้ำเสีย จากข้อมูลดังกล่าวผู้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียสามารถกำหนดแนวทางกว้างๆ เช่น จุดมุ่งหมายในการกำจัดและกระบวนการบำบัดว่าจะต้องมีหน่วยบำบัดน้ำเสียย่อยอะไรบ้าง ลักษณะน้ำเสียการป้อนน้ำเสีย เป็นต้น

#### 2) คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดที่ต้องการ

คุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดที่ต้องการจะเป็นตัวกำหนดถึงขั้นตอนและชนิดของกระบวนการบำบัด ตลอดจนความยุ่งยากของการบำบัด [11] ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำเสียที่บำบัดแล้ว (น้ำทิ้ง) ที่กระทรวงอุตสาหกรรมอนุญาตให้ปล่อยสู่ธรรมชาติ

#### 3) ราคาที่ดินและพื้นที่ดินที่ต้องการ

โดยปกติแล้วระบบบำบัดแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในการใช้ขนาดที่ดินในการก่อสร้าง เนื่องจากความต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่แตกต่างกัน โดยสาเหตุมาจากมีข้อกำหนดต่างๆ เช่น ระบบบำบัดแบบง่ายใช้เครื่องจักรน้อย การควบคุมดูแลง่าย มักใช้พื้นที่ดินมาก หากจะต้องการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียในพื้นที่จำกัดและต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสูง อาจจะต้องมีการใช้เครื่องจักรมากขึ้น การควบคุมดูแลระบบก็จะยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้นด้วย

#### 4) ความยุ่งยากในการควบคุมและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยเทคโนโลยีมากและเครื่องจักรกลมาก การควบคุมและการบำรุงรักษาก็จะยุ่งยากมากขึ้น ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีการใช้เครื่องจักรกลมาก การควบคุมและบำรุงรักษาก็จะไม่ยุ่งยาก เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเลี้ยงตะกอนเร่งจะต้องมีการควบคุมทั้งปริมาณอากาศที่เติมให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

#### 5) ความยุ่งยากในการจัดหาอุปกรณ์

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแต่ละประเภทรวมทั้งระบบบำบัดน้ำเสียแต่ละชนิดมีความต้องการเครื่องจักรที่แตกต่างกัน ดังนั้นข้อจำกัดอีกข้อหนึ่งเกี่ยวกับการเลือกกระบวนการบำบัดน้ำเสียคือ ความยุ่งยากในการหาเครื่องจักรและการซ่อมแซมบำรุงรักษา

#### 6) ปัญหาเกี่ยวกับเหตุเดือดร้อนนําราคาญ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียหรือชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียบางระบบอาจก่อให้เกิดเหตุเดือดร้อนนําราคาญ ขณะเดินระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น มีกลิ่นเหม็น เสียงดังจากการเดินเครื่องจักร หรือแม้กระทั่งมีพวกพาหะนำเชื้อโรคต่างๆ เช่น แมลง หนู แมลงสาบ เป็นต้น

#### 7) ต้นทุนในการบำบัด

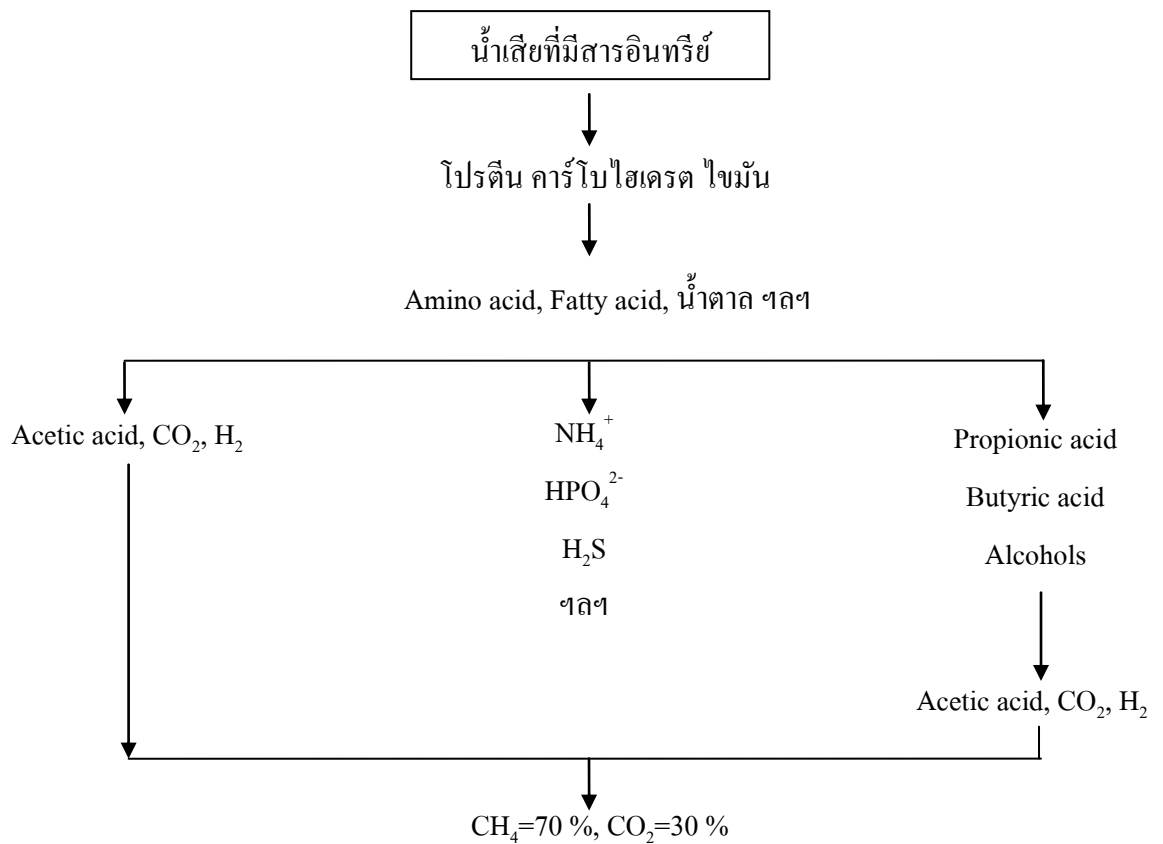
ต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียจะประกอบด้วยต้นทุน 2 ส่วน คือ ต้นทุนที่ใช้ในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งรวมถึงส่วนของค่าพลังงาน ค่าแรงงานและค่าสารเคมีที่ใช้ด้วย

## 2.4 การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ

### 2.4.1 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

[12, 13]

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จะเกิดปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอน ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยสารอินทรีย์ในระบบ เป็นสารให้อิเล็กตรอน ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) เป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีปฏิกิริยาชีวเคมีซับซ้อนกว่าระบบใช้ออกซิเจน โดยที่ปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน แสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ปฏิกริยาชีวเคมีของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน [6]

กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมี 4 ขั้นตอน ดังนี้

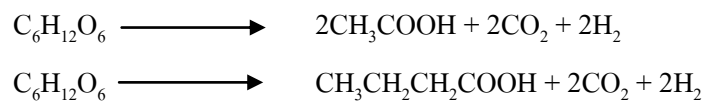
**ขั้นที่ 1 ไฮโดรลิซิส** ขั้นตอนนี้สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีโครงสร้างซับซ้อน เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายให้เป็น โมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง สามารถละลายน้ำ โดยเอนไซม์ (Extracellular Enzyme) ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรียหลายจำพวก ส่วนใหญ่จะเป็น แบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acidogenic Bacteria) โดยที่คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยเป็น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน ตามลำดับ ทำให้แบคทีเรียสามารถดูดซึมเข้าไปในเซลล์ได้โดย เกิดจากการที่เอนไซม์เหล่านี้จะลดพลังงานกระตุ้น (Activation Energy) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น แต่ทั้งนี้เอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงมาก การทำงานของเอนไซม์จึงขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วยคือ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ อุณหภูมิ ค่าพีเอช และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ จากทั้งหมดนี้ ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์แต่ละชนิดใช้เวลาต่างกัน

**ขั้นที่ 2 การสร้างกรดอินทรีย์ (Acidogenesis)** แบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acidogens) จะทำการเปลี่ยน สารประกอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) และกรด

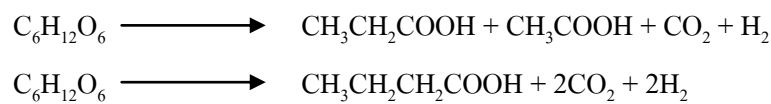


ไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 ตัว เป็นสารประกอบ เช่น กรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) กรดโพรพิโอนิก ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ) กรดบิวทิริก ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ) ซึ่งความแตกต่างของกรดที่เกิดขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 และสถานะความดันย่อยของไฮโดรเจนในระบบ (Hydrogen Partial Pressure;  $\text{ppH}_2$ ) ดังนี้

สถานะความดันย่อยของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ

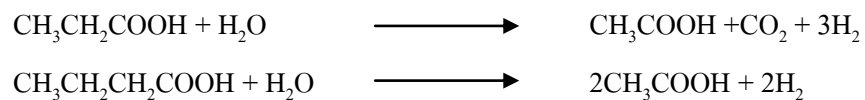


สถานะความดันย่อยของไฮโดรเจนมีค่าสูง



**ขั้นที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acitogenetic)** แบคทีเรียพวกอะซิโตเจน (Acetogens) จะเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยง่ายจากขั้นตอนที่ 2 ไปเป็นกรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งปฏิกิริยาการสร้างกรดอะซิติกมีดังนี้

สถานะความดันย่อยของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ



**ขั้นที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)** แบคทีเรียพวกสร้างมีเทน (Methanogen) จะเปลี่ยนสารประกอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 เป็นก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ซึ่งถ้าระบบมี Methanogens ปริมาณมากพอ และมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี จะได้ก๊าซมีเทนประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20-30 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซอื่นๆ ( $\text{H}_2$  และ  $\text{N}_2$ ) อีกเล็กน้อย ก๊าซมีเทน ร้อยละ 33 ที่เกิดขึ้นผลิตได้จากไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) และคาร์บอนไดออกไซด์โดย Hydrogenotropic Bacteria ในขณะที่อีกร้อยละ 67 ผลิตจากอะซิเตท (Acetate) โดย Acetotropic Bacteria ทั้งนี้ ถ้าปริมาณ Methanogens มีน้อยจนไม่สามารถย่อยสลายสารอาหารได้ทัน จะเกิดการสะสมของกรดภายในระบบ ซึ่งเป็นสาเหตุของ pH ที่ลดลง ทำให้ระบบล้มเหลว แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนจะสร้างก๊าซภายใต้สถานะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ซึ่ง Methanogenic Bacteria ส่วนใหญ่เป็นพวก Methanobacterium, Methanosarcina, Methanoequilibrium และ Methanococcus ซึ่งมีความสามารถในการใช้สารอาหารได้จำกัด ได้แก่  $\text{CO}_2$ - $\text{H}_2$ , Formate, Acetate, Methanol, Methylamines และ CO แบคทีเรียเหล่านี้ สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในที่ที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น เป็นแบคทีเรียที่มีความไวต่อออกซิเจนมาก นอกจากนี้แบคทีเรียยังไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี ถ้า Redox

Potential ในสารละลายตัวกลางมีค่าต่ำกว่า -500 mV แต่ยังคงต้องการสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโต คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนียและซัลไฟด์ แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจนที่จำเป็น แต่ไม่สามารถใช้กรดอะมิโนหรือเปปไทด์ได้ ซัลไฟด์เป็นแหล่งซัลเฟอร์ที่สามัญที่สุด

การผลิตมีเทนตามทฤษฎี จากกระบวนการ Stabilizer ที่สมบูรณ์ 1 กิโลกรัม ซีโอดีสามารถผลิตมีเทนได้ 0.348 ลบ.ซม. ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน [14]

## 2.4.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ [15]

### 1) แบคทีเรียสร้างกรด (Acidogenic Bacteria)

ในขั้นตอนการสร้างกรดของกระบวนการไม่ใช้อากาศ กรดจะผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียพวก Obligate Anaerobes มากกว่าพวก Facultative ทั้งนี้เพราะ แบคทีเรียพวกแรกมีจำนวนมากกว่า แบคทีเรีย Obligate Anaerobes ที่มีบทบาทในการสร้างกรดไขมันระเหยง่าย ก็คือกลุ่ม Clostridium แบคทีเรียกลุ่มนี้ มีเมตาบอลิซึมหลายแบบ จึงสามารถใช้สารอาหารทั้งที่เป็นพวก Polysaccharides หรือ โปรตีนได้ ผลปฏิกิริยาที่ได้จึงมีหลายชนิดแตกต่างกันไป เช่น กรดบิวทิริก กรดอะซิติก ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน เอทานอล อะซิโตน เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม Propionibacterium ที่ผลิตกรด โพรไพโอนิกและกรดอะซิติกจากกรดแลคติก [16]

### 2) แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria)

เมื่อผลผลิตจากแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิดดังกล่าว และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้ ดังนั้น จึงต้องมีการเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้กลายเป็นสารอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ซึ่งแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

#### - Homoacetogenic Bacteria

เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอน และผลิตกรดอะซิติกขึ้นมา (เป็นกระบวนการหายใจแบบไร้อากาศ) ผ่านวิถีที่เรียกว่า Acetyl-CoA Pathway แบคทีเรียชนิดนี้ เช่น Acetobacterium Woodii และ Clostridium Aceticum สามารถเจริญเติบโตทั้งในแบบออโตโทรฟิก (Autotrophic) คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอนและใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอน เพื่อเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก อีกทั้งเจริญเติบโตในแบบเฮเทอโรโทรฟิก (Heterotrophic) ก็ได้

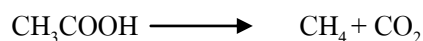
### - H<sub>2</sub>- producing acidogenic Bacteria

แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่มีกรดอะซิติก) หรือแอลกอฮอล์เป็นสารอาหาร แล้วสร้างกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนขึ้นมา ซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทน ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้ จึงมีบทบาทสำคัญ เพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับแบคทีเรียสร้างมีเทน อย่างไรก็ตามแบคทีเรียชนิดนี้จะเจริญเติบโตได้ไม่ดีเมื่ออยู่ตามลำพัง ทั้งนี้เพราะก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมา ถ้าสะสมจะทำให้มีความดันย่อยของไฮโดรเจนมีค่าสูง ทำให้ปฏิกิริยาสร้างกรดอะซิติก ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ การเจริญเติบโตของแบคทีเรียอะซิติกนี้จะลดลง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก และสร้างมีเทน ให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน และต่างก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีถ้าอยู่เพียงลำพัง นั่นคือแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจะสร้างอาหารให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ก็ช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียชนิดนี้จะอยู่ในกลุ่ม *Syntrophomonas* และกลุ่ม *Syntrophobacter* โดยแบคทีเรีย *Syntrophomonas Wolfei* จะช่วยย่อยกรดไขมันระเหยง่าย ที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 4 ถึง 8 อะตอม ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนแบคทีเรีย *Syntrophomonas Wolinii* จะย่อยกรดโพธิไฟโพนิกให้กลายเป็นอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เช่นกัน

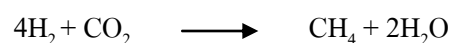
### 3) แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenesis Bacteria)

แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียที่ไม่สามารถใช้ออกซิเจนได้เลย ไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮเทโรโทรป ดำรงชีวิตอยู่และเจริญเติบโต โดยได้รับพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นสารอาหารของแบคทีเรียกลุ่มนี้เพียงกลุ่มเดียว ซึ่งมีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้น ส่วนสารอาหารชนิดอื่น นอกจากนั้น ไม่ว่าจะเป็กรดไขมันระเหยง่าย เช่น บิวทริกหรือโพธิไฟโพนิก ซึ่งปกติสารอาหารของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ได้ แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิดตามชนิดของสารอาหารที่ใช้ ได้แก่

- **Obligate Acetoclastic Methanogen** เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงาน ตามสมการ



- **Obligate Hydrogenotrophic Methanogen (Hydrogen Utilizer)** เป็นแบคทีเรียชนิดเดียวที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนในการผลิตก๊าซมีเทน โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ดังสมการ



นอกจากก๊าซไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียชนิดนี้ ยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นแหล่งอาหารเพียงอย่างเดียวได้ เพราะกรดฟอร์มิกสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

- **Hydrogenotrophic Methanogen** เป็นแบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้ทั้งจากกรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจน แต่ใช้ไฮโดรเจนได้ดีกว่า

รูปร่างของเซลล์แบคทีเรียสร้างมีเทนมีทั้งที่เป็นแท่ง (Short Rods และ Long Rods) และ ทรงกลม (Cocci) ที่มีการจัดรูปแบบเซลล์ต่างๆ หรือเป็นแผ่น Plate-Shaped รวมทั้งที่เป็นเส้นใย (Filamentous) การติดสีของแบคทีเรีย มีทั้งแกรมลบและแกรมบวก

### ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่ส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน [15]

#### - อุณหภูมิ

ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน มีอยู่ 2 ช่วง คือ

ช่วง 30-40 °C เรียกว่า เมโซฟิลิก (Mesophilic)

ช่วง 45-55 °C เรียกว่า เทอร์โมฟิลิก (Thermophilic)

ตามปกติแล้วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์จะเร็วขึ้น อัตราการเจริญเติบโตก็จะเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มสูงเกินกว่าที่เซลล์ทำงานได้โปรตีน กรดนิวคลีอิก และส่วนประกอบเซลล์หลายส่วนจะถูกทำลายจนไม่อาจกลับคืนสภาพเดิมได้ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ จึงเป็นการเพิ่มการเจริญเติบโตและการทำงานของเซลล์ได้ จนถึงอุณหภูมิหนึ่ง การทำงานและการเจริญเติบโตจะลดลงเป็นศูนย์อย่างรวดเร็ว

#### - พีเอช

จุลินทรีย์แต่ละชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงพีเอชช่วงหนึ่ง ค่าพีเอชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดก็จะอยู่ในช่วงนี้ จุลินทรีย์ส่วนใหญ่มักมีค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วงพีเอช 5-10 เพราะสภาพแวดล้อมส่วนใหญ่ในธรรมชาติ มักมีพีเอชอยู่ในระดับ 5-10 จุลินทรีย์ที่จะเจริญเติบโตได้ที่พีเอชต่ำกว่า 5 เรียกว่า Acidophile เช่น ราและแบคทีเรียบางชนิด ส่วนพวกที่เจริญเติบโตได้ที่พีเอช 10-11 เรียกว่า Alkaliphiles พีเอชที่เหมาะสมต่อกระบวนการไม่ใช้

ออกซิเจนควรอยู่ระหว่าง 6.8-7.2 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ถ้าพีเอชน้อยกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว

#### - กรดไขมันระเหยง่ายและสภาพความเป็นด่าง

กรดไขมันระเหยง่ายที่ผลิตโดยแบคทีเรียสร้างกรด ปกติควรมีค่าประมาณ 200-400 มก. แคลเซียมคาร์บอเนต/ล. กรดไขมันระเหยง่ายที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณว่า ระบบกำลังเสียสมดุล เพราะทำให้พีเอช ลดลงจนไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมของแบคทีเรียที่อยู่ในระบบ ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียที่สร้างมีเทนหรือแบคทีเรียสร้างกรด แม้ว่าแบคทีเรียที่สร้างกรดจะทนต่อกรดที่ผลิตขึ้นได้มากกว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็ตาม สังเกตได้จากแบคทีเรียสร้างกรดสามารถอยู่ได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า ดังนั้น สภาพด่างจึงแสดงถึงกำลังบัฟเฟอร์ของระบบซึ่งจะรักษาระบบให้พีเอชค่อนข้างคงที่และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันระเหยง่ายได้ โดยทั่วไปกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนควรมีสภาพด่างประมาณ 1,500-2,000 มก.แคลเซียมคาร์บอเนต/ล.

นอกจากดูสภาพต่างแล้ว ยังต้องพิจารณาอัตราส่วนของไขมันระเหยง่าย ในรูปแบบกรดอะซิติกต่อสภาพด่าง (as  $\text{CaCO}_3$ ) ด้วย โดยค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างน้อยกว่า 0.4 ถือได้ว่าระบบยังทำงานได้ดี แต่ถ้าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างสูงกว่า 0.8 แล้ว แสดงว่า ระบบมีบัฟเฟอร์ต่ำ ควรวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้อัตราส่วนสูงขึ้นและแก้ไข เพราะพีเอชมีแนวโน้มลดลงจนระบบอาจล้มเหลวได้

#### - ธาตุอาหาร

แม้ว่าเซลล์ของแบคทีเรียที่สร้างขึ้นมากในกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน จะมีน้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจน แต่จากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสต่อซัลเฟอร์ (C: N: P: S) ในเซลล์มีค่าประมาณ 100:10:1:1 จึงจำเป็นต้องรักษาอัตราส่วนนี้ไว้ไม่น้อยกว่านี้ จุลินทรีย์จึงต้องการอาหารเสริมนอกเหนือจากคาร์บอน เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งอัตราส่วนระหว่างบีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสอย่างน้อยควรมีค่าเท่ากับ 100:1:0.2 [7] สำหรับกระบวนการไร้ออกซิเจน นอกจากนี้ ยังมีธาตุบางอย่างที่แบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการเป็นปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ ได้แก่ เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล และ ซัลเฟอร์

### เหล็กและโคบอลต์

เหล็กเป็นธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้น้อยและสามารถตกตะกอนผลึกในรูปของเหล็กซัลไฟด์ ทำให้เกิดปัญหาการกำจัดเหล็กได้ ส่วนโคบอลต์มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีกว่า แต่ก็อาจเกิดปัญหาเดียวกันได้

### นิกเกิล

นิกเกิลเป็นส่วนประกอบสำคัญของโคเอนไซม์  $F_{430}$  ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในโคเอนไซม์สำคัญต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งได้แก่ โคเอนไซม์  $F_{420}$ ,  $F_{430}$  และ 2-Mercaptoethane Sulfuric Acid โดยปกติแล้วนิกเกิลเป็นมลทินที่ติดอยู่ใน Yeast Extract และในเกลือแร่อื่นๆ ทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนได้รับนิกเกิลโดยไม่ได้ตั้งใจ อย่างไรก็ตาม นิกเกิลอาจรวมกับซัลไฟด์และตกผลึกได้ เช่นเดียวกับผลึกเหล็ก จึงมีความจำเป็นต้องเติมนิกเกิลบ้าง ในกรณีที่ไม่มีหรือมีนิกเกิลไม่เพียงพอ

### ซัลไฟด์

บทบาทของซัลไฟด์ที่มีต่อระบบ ไร้ออกซิเจนมีทั้งเชิงบวกและเชิงลบ ซัลไฟด์ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเป็นสารที่จำเป็นและขาดไม่ได้สำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทน เมื่อวิเคราะห์เซลล์ของแบคทีเรียสร้างมีเทน ปรากฏว่าพบซัลไฟด์สูงถึง 2.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด

### -สารพิษ

สารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ ไร้อากาศ โดยเฉพาะแบคทีเรียสร้างมีเทนมีอยู่หลายชนิด ระดับความรุนแรงขึ้น อยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารเหล่านั้น สารที่เป็นพิษบางตัวเป็นสารอาหารที่จำเป็นแต่ต้องมีปริมาณพอเหมาะ ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะกลายเป็นพิษได้

### พิษของอามอนิเอียม

อามอนิเอียมในน้ำเสียที่อาจเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ได้แก่ โซเดียมอามอนิเอียม โปแตสเซียมอามอนิเอียม แมกนีเซียมอามอนิเอียม และแคลเซียมอามอนิเอียม อามอนิเอียมเหล่านี้ถ้ามีความเข้มข้นที่พอเหมาะ จะเป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้าความเข้มข้นสูงเกินไปก็จะเริ่มเป็นพิษต่อแบคทีเรีย โดยเฉพาะอามอนิเอียมที่มีวาเลนซ์สูงจะมีความเป็นพิษมากกว่าอามอนิเอียมที่มีวาเลนซ์ต่ำ ซึ่งพิษจากอามอนิเอียมของแมกนีเซียมและแคลเซียมมีมากกว่าโซเดียมและโปแตสเซียมถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของอามอนิเอียมจึงเพิ่มขึ้นเมื่อวาเลนซ์สูงขึ้น แต่ความเข้มข้นของอามอนิเอียมที่ทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตมีเทน ยังไม่เป็นที่แน่นอนว่าเกิดขึ้น ณ ความเข้มข้นเท่าใด มีรายงานถึงความเข้มข้นของ

โซเดียมสามารถยับยั้งการผลิตมีเทนได้ 50 เปอร์เซ็นต์อยู่เป็นจำนวนมาก โดยค่าความเข้มข้นในงานเหล่านั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 6-40 ก./ล. [14, 17, 18, 19]

### โลหะหนัก

โลหะหนักที่อาจเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ได้แก่ แมงกานีส สังกะสี แคดเมียม นิกเกิล โคบอลต์ ทองแดง และโครเมียม โลหะหนักเหล่านี้จะอยู่ในรูปของไอออน พบว่าลำดับความเป็นพิษของโลหะหนักจะเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ คือ ทองแดง เหล็ก แคดเมียม และสังกะสี แต่ความเป็นพิษของโลหะจะหนักลดลงได้ถ้าน้ำเสียมีปริมาณซัลไฟด์ที่พอเหมาะ เพราะสามารถรวมกับโลหะหนักเกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ ซึ่งสามารถตกตะกอนได้

### พิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากการย่อยสลายสารพวก โปรตีน ซึ่งมีไนโตรเจนรวมอยู่ในโมเลกุลด้วย โดยไนโตรเจนที่ปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปแอมโมเนียและไฮโดรเจนไอออน ดังสมการ  $\text{NH}_4^+ \longrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$

ถ้าพีเอชต่ำกว่า 7.2 ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางซ้าย ถ้าพีเอชมากกว่า 7.2 ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางขวา ดังนั้น ที่พีเอชสูงขึ้นก็จะมีแอมโมเนียอยู่ในระบบมากขึ้น แอมโมเนียจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนมากกว่าแอมโมเนียมไอออน ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสีย แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

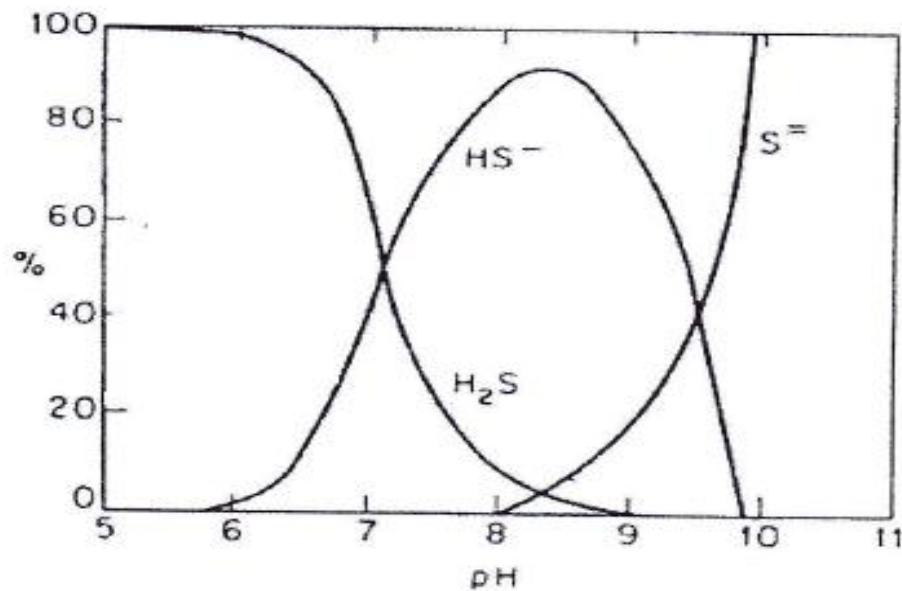
ตารางที่ 2.1 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน [15]

| แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ ล.) | ผลต่อระบบ                 |
|-----------------------------|---------------------------|
| 50-200                      | ปริมาณพอเหมาะ             |
| 200-1,000                   | ยังไม่เกิดผลเสีย          |
| 1,500-3,000                 | เริ่มยับยั้งเมื่อพีเอชสูง |
| มากกว่า 3,000               | เป็นพิษโดยตรง             |

### พิษของซัลไฟด์ [20]

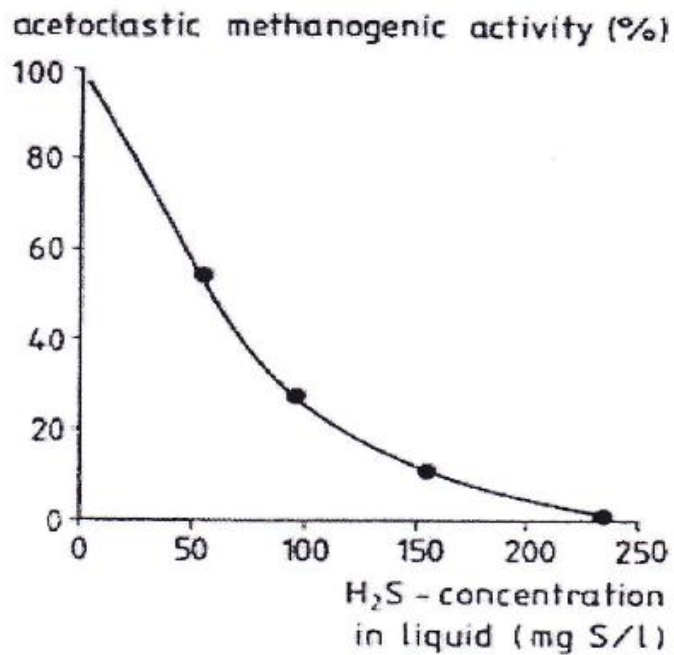
การศึกษาส่วนใหญ่จะเกี่ยวกับความเป็นพิษ เนื่องจากซัลไฟด์เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทนจากอะซิเตต ซัลไฟด์เป็นสารที่จำเป็นกับแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) ความ

เข้มข้นซัลไฟด์ 11.5 มก./ล. ของไฮโดรเจนซัลไฟด์ เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัวที่ขอมได้มีค่า 145 มก.ซัลเฟอร์/ลิตร ซึ่งหมายความว่า กระบวนการไร้อากาศสามารถดำเนินการได้ที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วงแคบๆ ปัจจัยสำคัญของการยับยั้งเนื่องจากซัลไฟด์จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ผลของค่าพีเอชต่อปริมาณซัลไฟด์ในรูปแบบต่างๆ เป็นที่ยอมรับกันว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัวเป็นตัวการที่ทำให้เกิดการยับยั้ง โมเลกุลที่ไม่แตกตัวสามารถซึมผ่านผนังเซลล์ได้ง่ายกว่าโมเลกุลที่มีแตกตัว และโมเลกุลที่มีการแตกตัวสามารถผ่านผนังเซลล์ได้ง่ายกว่าโมเลกุลที่อยู่ในรูปของไอออน ไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงเป็นพิษมากกว่าซัลไฟด์ในรูปแบบไอออน แต่ในกรณีที่มีความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออนสูง ไอออนของซัลไฟด์ก็เป็นพิษต่อเซลล์ได้เช่นเดียวกัน แบคทีเรียที่อ่อนไหวต่อไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่าแบคทีเรียอื่นๆ ในการย่อยสลายแบบไร้อากาศ คือ อะซิโตคลาสติกเมทาโนเจน (Acetoclastic Methanogens) การยับยั้งแบคทีเรียเหล่านี้เกิดขึ้น โดยการสะสมอะซิเตทเป็นผลให้พีเอชในปฏิกรณ์ต่ำลง ทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทนต่ออะซิโตคลาสติกของเมทาโนเจน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดที่แบคทีเรียทนได้อยู่ที่ 145 มก.ซัลเฟอร์/ลิตร ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7



รูปที่ 2.6 ผลของพีเอชต่อสมดุลของ H<sub>2</sub>S, HS<sup>-</sup> และ S<sup>2-</sup> ในการสลาย H<sub>2</sub>S 32 มก./ล. [20]





รูปที่ 2.7 การยับยั้งของอะซิโตคลาสติกเมทาโนเจนโดยไฮโดรเจนซัลไฟด์ [20]

#### 4) แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate reducing Bacteria) [15]

แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนชนิดเค็ดขาด (Desulfovibrio ก่อนข้างจะทนต่อออกซิเจนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตบางส่วน สามารถรีดิวซ์ในเตรตเป็นแอมโมเนียได้ด้วย) จัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียชนิดเคโมเฮเทโรทรอป ดำรงชีวิตและเจริญเติบโต โดยได้รับพลังงานจากปฏิกิริยาทางเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ลักษณะเด่นของแบคทีเรียกลุ่มนี้ คือ ความสามารถในการรีดิวซ์ซัลเฟตทำให้ซัลเฟตเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ เนื่องจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนโมเลกุลหรืออะซิเตต ขั้นตอนดังกล่าวนี้ จัดเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่นเดียวกับขั้นตอนการสร้างมีเทนตามปกติ ดังนั้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนที่มีซัลเฟต จึงมักพบแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตอยู่ร่วมกับแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนอยู่เสมอ ในการแบ่งกลุ่มของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตอย่างกว้างๆ ตามความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อดำรงชีพและเจริญเติบโต สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

- แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตชนิดย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ไม่สมบูรณ์ (Incompletely Oxidizing Sulfate Reducing Bacteria; I-SRB) โดยสารอินทรีย์ที่เหลือจากการย่อยสลายก็คือ อะซิเตต

- แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตชนิดย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์ (Completely Oxidizing Sulfate Reducing Bacteria; I C-SRB)

เนื่องจาก แบคทีเรียกลุ่ม I-SRB ได้จะซิเตดเป็นผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายสารอินทรีย์และไม่สามารถนำอะซิเตดไปใช้ได้ แม้จะเป็นสารอาหารที่มีอยู่เพียงประเภทเดียวก็ตาม มีสาเหตุเนื่องมาจาก I-SRB ขาดกลไกที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเอนไซม์บางชนิด ที่มีผลต่อการย่อยอะซิเตดนั่นเอง อย่างไรก็ตาม I-SRB อาจใช้อะซิเตดเป็นแหล่งคาร์บอนได้ เมื่อสารให้อิเล็กตรอนคือ ไฮโดรเจนหรือฟอร์มेट ข้อแตกต่างอีกประการหนึ่ง ของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตทั้ง 2 กลุ่มนี้คือ แบคทีเรียกลุ่ม I-SRB มีอัตราการเจริญเติบโตที่เร็วกว่ากลุ่ม C-SRB เมื่ออยู่ในภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้งสองกลุ่ม แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตหลายชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ ด้วยการรีดิวซ์ไนเตรตให้เป็นแอมโมเนียได้ ในกรณีที่มีไนเตรต หรือสามารถใช้ไทโอซัลเฟต ( $S_2O_3^{2-}$ ) และซัลเฟอร์ ( $S^0$ ) ได้ด้วย

### ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่ส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต [21, 22, 23]

- ความต้องการเกลือและความทนต่อเกลือ

ความต้องการเกลือของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของแบคทีเรีย ซึ่งแยกเป็นพวกที่ได้จากแหล่งน้ำเค็มหรือน้ำกร่อยกับพวกที่ได้จากแหล่งน้ำจืด แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่ได้จากแหล่งน้ำเค็มหรือน้ำกร่อย มักต้องการปริมาณเกลือในระดับหนึ่ง จึงจะเจริญเติบโตได้ดี และในทางตรงกันข้าม ถ้านำแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตกลุ่มนี้มาเลี้ยงในสภาพที่มีความเค็มต่ำ ก็จะได้ผลในทางลบ ชนิดและปริมาณของเกลือสำหรับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจากแหล่งน้ำเค็มที่เหมาะสม คือ โซเดียมคลอไรด์ 20 ก./ล. และแมกนีเซียมคลอไรด์ 1.5 ก./ล. นอกเหนือจากเกลือทั้งสองชนิดนี้แล้ว บางสายพันธุ์ยังต้องการแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่ำ 0.5 ก./ล. ปริมาณความต้องการเกลือจะลดลงสำหรับกลุ่มที่มาจากน้ำกร่อย ส่วนแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่มาจากน้ำจืดอาจถูกยับยั้งการเจริญเติบโตได้ ถ้ามีโซเดียมคลอไรด์ในระดับที่เข้มข้นเท่ากับที่มีอยู่ในน้ำทะเล (ปริมาณ 27 ก./ล.)

- พีเอช

ช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง คือ ประมาณ 7 และมักถูกยับยั้ง เมื่อค่าพีเอชต่ำกว่า 6 หรือสูงกว่า 9 อย่างไรก็ตาม พบว่า ปฏิริยาซัลเฟตรีดักชันสามารถเกิดขึ้นได้ในแหล่งน้ำจากเหมืองแร่ ซึ่งมีค่าพีเอชในแหล่งน้ำประมาณ 3-4 แต่เมื่อนำแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจากแหล่งน้ำนี้มาเพาะเชื้อและทดสอบกลับ พบว่า ถูกยับยั้งการ

เจริญเติบโต เมื่อพีเอชต่ำกว่า 6 ทำให้เกิดข้อสันนิษฐานว่า แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่อยู่ในแหล่งน้ำของเหมืองแร่ อาจมีสภาพแวดล้อมเล็กๆ เช่น โพรง หรือ ซอกหินขนาดเล็กมากๆ (Microniches) หรือสภาพแวดล้อมใน โมเลกุลรอบๆ ตัวแบคทีเรีย (Microenvironment) มีค่าพีเอชที่สูงกว่าพีเอชของทั้งระบบ เนื่องจากปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต เป็นปฏิกิริยาที่ใช้โปรตอนหรือไฮโดรเจนไอออน การใช้สารอาหารแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต จึงสร้างสภาพต่างให้กับระบบ (ยกเว้นกรณีการเกิดซัลเฟตรีดักชันของสารอาหาร ที่จำเป็นต้องมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมาก) จึงทำให้แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถดำรงชีวิตได้ แม้พีเอชโดยรวมของระบบจะมีค่าต่ำก็ตาม

### 2.4.3 ลำดับในการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

งานเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียเป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อนและต้องอาศัยความชำนาญเฉพาะ ซึ่งอาจเริ่มตั้งแต่การคัดเลือกและออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย การก่อสร้าง การเริ่มต้นเดินระบบบำบัดน้ำเสีย รวมถึงการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ได้ออกแบบไว้ [7, 24, 25] ตัวอย่างเช่น ในการคัดเลือกและออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียนั้นควรจะมีการดำเนินงานเป็นขั้นตอนเพื่อจะได้เป็นการป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในการคัดเลือกและออกแบบ รวมทั้งเพื่อสร้างความมั่นใจว่าจะคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียได้เหมาะสมที่สุด โดยจะต้องเป็นระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการเดินระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุด การควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียง่ายและไม่ซับซ้อน รวมทั้งสามารถปรับปรุงแก้ไข และขยายระบบบำบัดน้ำเสียได้ง่ายเมื่อต้องการ [6] ขั้นตอนในการดำเนินงานควรเป็นไปตามขั้นตอน ดังนี้

#### 1) การสำรวจภายในโรงงานและรอบๆโรงงาน

การสำรวจภายในโรงงานและรอบๆโรงงานแบ่งการสำรวจเป็นสองส่วนคือ การสำรวจภายในโรงงานจะเป็นการสำรวจถึงลักษณะสถานะของโรงงาน ลักษณะพื้นที่ แปลนโรงงาน ตลอดจนแผนงานในอนาคตเกี่ยวกับการใช้พื้นที่ ส่วนการสำรวจภายนอกโรงงาน เพื่อให้ทราบสภาพรอบๆโรงงานว่ามีจุดอ่อนอะไรบ้าง เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจออกแบบหรือคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งส่วนใหญ่ผู้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปมักไม่ค่อยคำนึงถึงและให้ความสำคัญเท่าใด

#### 2) การสำรวจปริมาณและลักษณะน้ำเสีย

การสำรวจเกี่ยวกับปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในโรงงาน รวมทั้งลักษณะสมบัติน้ำเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานในจุดต่างๆ เป็นสิ่งที่จำเป็นในการเลือกและออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียว่าควรเป็นอย่างไรและมีขั้นตอนอย่างไร โดยการสำรวจควรจะครอบคลุมถึงกิจกรรมการใช้น้ำของโรงงาน

ทั้งหมด ซึ่งควรที่จะทราบว่าปริมาณเท่าไร มีอะไรปนเปื้อนอยู่ในน้ำปริมาณเท่าไร เพื่อจะได้ใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการกำหนดรูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสียว่าควรจะมีการบำบัดน้ำเสียอย่างไร

### 3) การสำรวจแหล่งหรือจุดระบายน้ำเสีย

การสำรวจแหล่งหรือจุดระบายน้ำเสียก็เพื่อต้องการทราบว่าโรงงานมีจุดระบายน้ำเสียที่จุดและแต่ละจุดมีน้ำเสียประเภทใดบ้างที่ระบายออกมา เพื่อใช้ประกอบในการเลือกชนิดและกระบวนการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ยังช่วยในการวางแผนและออกแบบระบบรวบรวมและลำเลียงน้ำเสียไปยังระบบบำบัดน้ำเสียด้วย

### 4) การสำรวจและพิจารณาขบวนการผลิตของโรงงาน

กระบวนการผลิตของโรงงานจะเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาคัดเลือกกระบวนการบำบัดน้ำเสียและขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสม ดังนั้นการสำรวจกระบวนการผลิตโรงงาน ตลอดจนการคาดการณ์กระบวนการผลิตในอนาคตว่าจะมีการปรับเปลี่ยนหรือเปลี่ยนแปลงอย่างไรได้บ้าง การออกแบบ การเลือกใช้นิคมของระบบบำบัดน้ำเสียจะต้องเพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียจะต้องเพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถใช้ได้ในอนาคตด้วย

### 5) การสำรวจพื้นที่ที่จะทำการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ตลอดจนจุดรวบรวมน้ำเสีย

การสำรวจพื้นที่ที่จะทำการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ตลอดจนจุดรวมน้ำเสีย รวมไปถึงจุดระบายน้ำเสียที่บำบัดแล้วออกจากโรงงานมีความสำคัญอย่างมากต่อการเลือกพื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ตลอดจนการวางผังระบบบำบัดน้ำเสีย จะต้องอาศัยความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านสุขอนามัย ด้านความปลอดภัย ด้านการดำเนินการผลิตอย่างถูกวิธี เพื่อป้องกันเหตุการณ์ต่างๆ ที่ไม่พึงประสงค์ที่อาจจะเกิดขึ้น แม้ว่าค่าใช้จ่ายที่อาจจะต้องเสียในการขนส่งหรือสูบน้ำเสียไปบำบัดบริเวณใดบริเวณหนึ่งจะมีราคาสูงก็ตาม

### 6) การประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียเดิม

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียในอดีตส่วนใหญ่มักจะไม่ค่อยคำนึงถึงอนาคตเท่าใดนัก มักจะออกแบบสำหรับรองรับปริมาณน้ำเสียในสภาวะปัจจุบันเท่านั้น ดังนั้นเมื่อมีการขยายโรงงานหรือขบวนการผลิตจึงต้องมาดำเนินการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียใหม่อีก การขยายหรือปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเดิมอาจจะส่งผลกระทบต่อผลการดำเนินงานตามปกติของโรงงาน การปรับปรุง

หรือคัดแปลงระบบบำบัดน้ำเสียจะต้องสามารถดำเนินการได้ง่าย ประหยัดที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงสุด ตามความต้องการและความเหมาะสม

#### 7) การคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสม

ปัจจัยที่มีผลในการตัดสินใจเลือกระบบบำบัดน้ำเสียมีอยู่มากมาย และในแต่ละประเด็นก็จะมีน้ำหนักแตกต่างกันไปตามสถานที่ก่อสร้าง ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม รวมทั้งจะต้องอาศัยประสบการณ์ด้วย เพื่อให้ประกอบในการตัดสินใจคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุด

#### 8) การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่คัดเลือกได้

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดบางประการ เช่น คุณภาพและปริมาณน้ำเสียที่ต้องการบำบัด เพราะการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียว่าจะมีขนาดเท่าไรต้องอาศัยข้อมูลเรื่องคุณภาพและปริมาณน้ำเสีย

#### 9) การควบคุมงานก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

การก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย รายละเอียดหรือขั้นตอนก่อนหลังในการก่อสร้างจะต้องมีการจัดทำเป็นแผนงานอย่างละเอียดเพื่อใช้ในการสั่งงานและตามงาน เป็นต้น โดยผู้ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมงานน่าจะเป็นวิศวกร เพื่อให้งานก่อสร้างเป็นไปตามแบบแปลนที่ออกแบบไว้ รวมไปถึงเป็นไปตามแผนงานที่วางไว้

#### 10) การเดินระบบบำบัดน้ำเสียเป็นครั้งแรก

ภายหลังการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเรียบร้อยแล้ว จำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนงานในการเดินระบบครั้งแรก โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดขั้นตอนและระยะเวลาที่ถูกต้องและเหมาะสมเพื่อเลี้ยงจุลินทรีย์ให้มีปริมาณหรือระดับที่ต้องการ ระยะเวลาที่ต้องสูญเสียในการเดินระบบบำบัดครั้งแรกจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของระบบบำบัดน้ำเสีย

การวางแผนการเดินระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียนั้นสามารถใช้งานได้ทันพร้อมกับการดำเนินงานของโรงงานและสอดคล้องกับกำลังการผลิตของโรงงาน ดังนั้นการเริ่มเดินระบบบำบัดน้ำเสียอาจจะต้องมีการวางแผนอย่างดี และอาจจะต้องมีการดำเนินงานไปในบางส่วนก่อน ขณะที่โรงงานมีการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

### 11) การควบคุมและดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย

ภายหลังจากเสร็จสิ้นการเดินระบบบำบัดน้ำเสียครั้งแรกแล้ว ระบบก็จะพร้อมที่จะบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ระบบบำบัดก็ยังคงต้องมีการทำงานอย่างต่อเนื่องในการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการควบคุมดูแลอย่างถูกต้องสม่ำเสมอ ดังนั้น ขั้นตอนต่อไปคือ การจัดทำคู่มือที่ใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้เจ้าหน้าที่ของโรงงานทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียให้ปฏิบัติตามอย่างถูกต้องที่สุด

### ตารางที่ 2.2 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ [26]

| สภาวะแวดล้อม  | ช่วงค่าที่เหมาะสม | ช่วงค่าที่ยอมรับได้ |
|---|-------------------|---------------------|
| อุณหภูมิ (°C)   | 30 – 35           | 25 – 40             |
| pH  | 6.8 – 7.2         | 6.6 – 7.4           |
| ค่าความเป็นด่าง (มก.ของCaCO <sub>3</sub> /ล.)                                   | 2,000 – 3,000     | 1,000 – 4,000       |
| ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (มก.ของCH <sub>3</sub> COOH/ล.)                      | 50 - 500          | 2,000               |
| ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดี (COD)  | >85%              | 75 – 85%            |
| ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่าง (VFA/Alk ratio) | < 0.3             | 0.03 - 0.3          |
| %CH <sub>4</sub>  | 60 – 65           | 55 – 60             |
| H <sub>2</sub> S ที่ละลายในน้ำเสีย (ppm)  | < 30              | < 200               |
| อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)                                  | 40 - 50           | < 100               |

### 2.4.4 สาเหตุที่ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศด้อยเสถียรภาพหรือประสิทธิภาพลดลง [4]

สาเหตุหลักที่ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศด้อยเสถียรภาพหรือประสิทธิภาพลดลง คือ

- 1) ความจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมดูแลอย่างสม่ำเสมอสองกลุ่ม คือ แบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดและแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนอยู่รวมกันในถังปฏิกรณ์เดียวกัน และต้องพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันเป็นอย่างมาก แต่แบคทีเรียเหล่านั้นมีความต้องการสภาวะแวดล้อมในการดำรงชีวิตที่แตกต่างกัน

- 2) ความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมของแบคทีเรียในถังปฏิกริยาอยู่ในระดับที่แตกต่างกัน เช่น กรณีแบคทีเรียสร้างกรดจะมีความสามารถในการทนต่อสภาวะที่เป็นกรดได้สูงกว่าแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน รวมทั้งอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างกรดก็สูงกว่าแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน

#### 2.4.5 ปัจจัยที่ใช้ในการติดตามและประเมินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ [4]

การดูแลระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศในขณะที่เดินระบบ หรือการเริ่มเดินระบบบำบัดน้ำเสียทุกชนิดและทุกประเภท เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง การตรวจสอบและติดตามสภาวะแวดล้อมต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังปฏิกริยาจึงเป็นเรื่องสำคัญ เมื่อพบว่าเกิดสภาวะไม่สมดุลขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังปฏิกริยาแล้วจะต้องทำการแก้ไขทันที ปัจจัยที่สำคัญที่ผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียจะต้องติดตาม มีดังนี้

##### 1) ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย

ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังปฏิกริยาหรือในระบบบำบัดน้ำเสียจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ โดยปกติแล้วหากระดับความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (ในรูปของกรดอะซิติก) อยู่ในช่วง 200 – 400 มก./ล. อาจจะเป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียทำงานได้ดี

##### 2) ระดับความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนต

สภาวะความเป็นด่างจะบอกถึงความสามารถของระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังปฏิกริยาในการดำเนินการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำเสียในถังปฏิกริยา เมื่อมีปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเพิ่มขึ้น โดยค่าระดับความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนตจะเป็นตัวกำหนดหรือตัวบอกถึงความเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังปฏิกริยาเป็นอย่างดี คือถ้าระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังปฏิกริยามีค่าระดับความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนตสูง แสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสียมีความเสถียรสูงมากในการดำเนินการลดลงของความเป็นกรด – ด่างของน้ำเสีย อันเนื่องมาจากการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกสร้างขึ้นจากแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรด ในทางตรงกันข้าม ถ้าระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าระดับความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนตต่ำ แสดงว่าระบบเริ่มจะมีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจะทำงานได้ดี เมื่อค่าระดับความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนตอยู่ในช่วง 1,000 – 3,000 มก./ล.

### 3) ระดับความเป็นกรด – ต่าง

ระดับความเป็นกรด – ต่างที่เปลี่ยนแปลงไปจะเป็นผลที่เกิดขึ้นหลังจากระบบบำบัดน้ำเสียหรือถึงปฏิบัติการเสียสมดุลแล้ว ค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด – ต่างของน้ำเสียในถึงปฏิบัติการ เป็นข้อมูลสำคัญที่แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะความเป็นกรด – ต่างที่เหมาะสม จะทำให้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียสามารถเจริญเติบโตได้ดี ดังนั้นการแก้ไขระบบบำบัดน้ำเสียที่ล้มเหลวอันดับแรก คือ การปรับสภาพความเป็นกรด – ต่างของน้ำเสียให้เหมาะสม

### 4) อัตราการผลิตก๊าซมีเทน

อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะใช้เป็นดัชนีชี้วัดโดยตรงของความสามารถของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน และเป็นเครื่องวินิจฉัยประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่สำคัญมาก การเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมีความสำคัญมาก เพราะจะบ่งบอกถึงความผิดปกติของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน

## 2.5 ก๊าซชีวภาพ [26]

ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เมื่อมีแบคทีเรีย สารอินทรีย์ และอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในสภาวะที่ไม่มีอากาศ ในธรรมชาตินี้ ก๊าซชีวภาพมักเกิดขึ้นบริเวณที่มีการย่อยสลายของสารอินทรีย์หรือมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์ เช่น ก้นบ่อ ก้นแม่น้ำ ก้นทะเลสาบ หนองน้ำ บึงและนาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง เป็นต้น

### 2.5.1 องค์ประกอบและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

#### 1) องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ [27]

ก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน ประมาณ 50 – 70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 20 – 50% ที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น ไซลอกเซน (Siloxane) โฟม คราบ (Scum) เมือกและตะกอน เป็นต้น ดังตารางที่ 2.3



ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ [27]

| องค์ประกอบ               | ความเข้มข้น     |
|--------------------------|-----------------|
| CH <sub>4</sub>          | 50 – 70%(v/v)   |
| CO <sub>2</sub>          | 20 – 50%(v/v)   |
| H <sub>2</sub> O (Vapor) | 0 – 10%(v/v)    |
| N <sub>2</sub>           | 0 – 5%(v/v)     |
| O <sub>2</sub>           | 0 – 2%(v/v)     |
| NH <sub>3</sub>          | 0 – 1%(v/v)     |
| H <sub>2</sub> S         | 50 – 10,000 ppm |

หมายเหตุ ในตารางนี้ยังไม่ได้รวมสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่มีในก๊าซชีวภาพ เช่น ไฮโดรเจน โพลีคราบาตคอนต่างๆ เป็นต้น ซึ่งความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพ

## 2) สมบัติของก๊าซชีวภาพ [28]

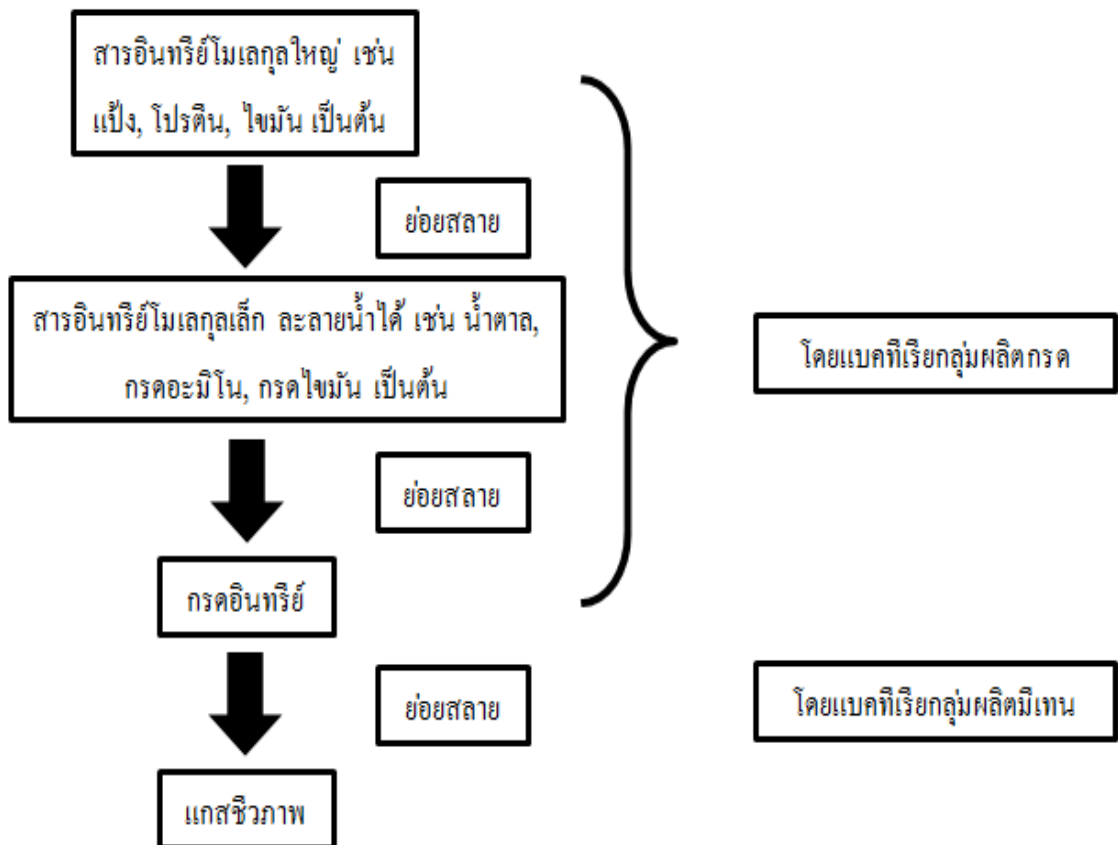
การศึกษาสมบัติของก๊าซชีวภาพมีประโยชน์ในการออกแบบ เลือกอุปกรณ์ เครื่องจักรที่ใช้ในการลำเลียง การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมและการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปก๊าซชีวภาพมีสมบัติ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติของก๊าซชีวภาพ [28]

| สมบัติก๊าซ  | ผลการวิเคราะห์ |
|---|----------------|
| สัดส่วนของก๊าซ (โดยปริมาตร)                         |                |
| ก๊าซมีเทน   | 60%            |
| คาร์บอนไดออกไซด์                                    | 35%            |
| ไฮโดรเจนซัลไฟด์                                     | 1.67%          |
| แอมโมเนีย   | 1.67%          |
| ไอน้ำ   | 1.67%          |
| น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)                              | 26.14          |
| ความถ่วงจำเพาะ                                      | 0.904          |
| ความหนาแน่นที่สภาวะบรรยากาศ (kg/m <sup>3</sup> )    | 1.169          |
| ค่าความร้อน (kJ/m <sup>3</sup> )                    | 9,429.071      |
| สัดส่วนพลังงานที่สภาวะบรรยากาศ (kJ/m <sup>3</sup> ) | 24,292.968     |
| ค่าคงที่ของก๊าซ (J/K.mol)                           | 8.314          |

### 2.5.2 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ [26]

เนื่องจากก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดขึ้น จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่ใช้อากาศ ด้วยแบคทีเรีย ซึ่งผลิตผลหลักประกอบด้วยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีก๊าซอื่นๆ เกิดขึ้นในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า และก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น สามารถอธิบายกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพได้ตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ [26]

### 2.5.3 เทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ [26]

ถึงปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพสามารถจำแนกได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับแนวทางการจำแนก เช่น สภาพของจุลินทรีย์ที่อยู่ในถัง ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งในถัง หรือสภาวะอุณหภูมิที่อยู่ในถัง เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แนวทางที่ใช้ในการจำแนกชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ [26]

| แนวทางที่ใช้จำแนก  | ชนิดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ |                             |
|--|---------------------------|-----------------------------|
| สภาพของจุลินทรีย์ที่อยู่ในถัง  | Suspended growth          | Attached growth             |
| ความเข้มข้นของของแข็งในถัง (กรณีอินทรีย์สารมีความชื้นต่ำ เช่น Solid Waste เป็นต้น) | Wet system                | Dry system                  |
| อุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์  | Mesophilic<br>(20 – 45°C) | Thermophilic<br>(45 – 60°C) |
| ลักษณะการป้อนอินทรีย์สาร (น้ำเสีย)   | Batch                     | Continuous                  |
| ขั้นตอนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ   | Single – stage reactor    | Two – stage reactor         |
| จำนวนประเภทน้ำเสีย/ของเสียที่ป้อน  | Single substrate          | Co – substrate              |

สามารถแบ่งชนิดของถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพตามสภาพของจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ ได้เป็น 2 ประเภท ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 1) ถังปฏิกรณ์ที่เชื้อจุลินทรีย์อยู่ในสภาพแขวนลอย

ในถังปฏิกรณ์ประเภทนี้ เชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในถังจะอาศัยอยู่และเจริญเติบโตในสภาพแขวนลอย โดยจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในถังจะมีการกระจายตัวทั่วกันทั้งถังด้วยการกวนผสม หรือตะกอนจุลินทรีย์มีความเข้มข้นไล่ระดับไปตามการไหลของน้ำ เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศนั้น เชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้า คือพวกเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน ดังนั้นการรักษาเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่ในระบบได้นานจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ซึ่งการรักษาจุลินทรีย์ให้อยู่ในระบบได้นาน สามารถทำได้โดย

- การมีปริมาตรของเหลวในระบบมาก ทำให้ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำสูง
- การแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำและวนตะกอนจุลินทรีย์กลับเข้าไปในถังปฏิกรณ์ ทำให้ระยะเวลาที่กักเก็บของแข็งนานกว่าระยะเวลาที่กักเก็บน้ำ
- การสร้างให้ตะกอนจุลินทรีย์เกาะตัวกันเป็นเม็ดและแยกออกจากน้ำได้ง่าย ทำให้ระยะเวลาที่กักเก็บของแข็งนานกว่าระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเช่นกัน

ตัวอย่างถังปฏิกรณ์ที่เชื้อจุลินทรีย์อยู่ในสภาพแขวนลอย ที่นิยมในโรงงานอุตสาหกรรมได้แก่

- ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ CSTR / ถังแบบ AC
- ถังปฏิกรณ์แบบตะกอนลอย UASB
- ระบบท่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ Anaerobic covered lagoon
- ระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง Modified covered lagoon
- ระบบแผ่นกั้นแบบไม่ใช้อากาศ ABR
- ระบบบ่อแบบราง Plug flow anaerobic digester

## 2) ถังปฏิกรณ์ที่เชื้อจุลินทรีย์เกาะอยู่บนวัสดุตัวกลาง

ระบบนี้มาจากแนวคิดที่ว่า ประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศและผลิตก๊าซชีวภาพ มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาเก็บกักเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการกักเก็บเชื้อจุลินทรีย์ให้ดียิ่งขึ้น จึงใส่ตัวกลางในถังปฏิกรณ์ เพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะหรือตรึงอยู่บนผิววัสดุของตัวกลางเป็นฟิล์มหนา ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ตัวกลางในถังปฏิกรณ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะที่อยู่ในถัง คือ ตัวกลางที่ถูกยึดติดอยู่กับที่และตัวกลางที่เคลื่อนที่ในถังปฏิกรณ์

ตัวอย่างถังปฏิกรณ์ที่เชื้อจุลินทรีย์เกาะอยู่บนวัสดุตัวกลาง ที่ใช้ใน โรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่

- ถังกรองไม่ใช้อากาศ AF / ถังแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ AFF
- ถังปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์เบด Anaerobic fluidized bed

### 2.5.4 การปรับปรุงและควบคุมคุณภาพก๊าซชีวภาพ [3]

การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพและควบคุมให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ เหมาะกับการใช้งานทุกสภาวะ เพื่อให้การนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อเนื่องและปลอดภัย สามารถทำการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ ได้ดังนี้

#### 1) การกำจัดความชื้นหรือละอองน้ำ

น้ำในก๊าซชีวภาพที่เป็นละอองน้ำ เมื่อไหลผ่านท่อก๊าซและอุปกรณ์ดักละอองน้ำ จะถูกแยกออกจากก๊าซชีวภาพ แต่ยังคงมีน้ำที่อยู่ในรูปความชื้นที่ต้องถูกกำจัดก่อนที่จะนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน ไม่เช่นนั้นจะมีผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ หรือทำให้เกิดคราบหรือเมือกในอุปกรณ์ความปลอดภัยต่างๆ เป็นต้นเหตุของอุบัติเหตุได้ การกำจัดความชื้นในก๊าซชีวภาพทำได้โดยการติดตั้งเครื่องกำจัดความชื้นที่ใช้หลักการลดอุณหภูมิของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

## 2) การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อรวมตัวกับน้ำหรือความชื้นจะเกิดเป็นกรดไฮโดรซัลฟิวริก ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรงต่อวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่สัมผัสกับก๊าซชีวภาพ เมื่อมีการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะเกิดเมือก เป็นต้น กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นั้น มีหลายกระบวนการ โดยจำแนกตามเทคโนโลยี ได้ดังนี้

### - กระบวนการแบบแห้ง

เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการของการดูดซับโดยสารดูดซับ ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกจับในรูพรุนของสารดูดซับ หรือหลังจากถูกจับแล้วอาจจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

### - กระบวนการแบบเปียก

เป็นกระบวนการดูดซับที่อาศัยหลักการของการละลาย ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะละลายลงไปในสารละลายที่จะทำหน้าที่เป็นสารดูดซับที่ไหลผ่านกัน และเมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายลงไปในสารดูดซับแล้ว อาจจะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นกำมะถัน ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีทั้งที่เป็นปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาทางชีววิทยาจากจุลินทรีย์ในระบบ

## 3) การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การควบคุมคุณภาพก๊าซ โดยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทน เพื่อรักษาระดับก๊าซมีเทนให้คงที่ ซึ่งมีผลต่อการใช้งาน เช่น ทำให้ลดปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรือเปลวไฟไม่นิ่งหรือไฟดับ และเกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้ หรือถ้านำไปใช้กับเครื่องยนต์ ทำให้เผาไหม้ไม่หมดในจังหวะคายไอเสีย และเกิดเปลวไฟยาวออกไปเผาแล้วไอเสียทำให้ไหม้และทำงานไม่ได้ประสิทธิภาพ

## 4) การกำจัดไซลอกเซน

การปนเปื้อนของไซลอกเซนจะสังเกตได้จากคราบของแข็งสีขาวในส่วนที่มีอุณหภูมิสูงของ Gas turbine หรือในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ โดยผงสีขาวนี้ คือ  $\text{SiO}_2$  ที่เกิดจากการเผาไหม้ของไซลอกเซน การที่ต้องกำจัดไซลอกเซน เพื่อป้องกันการสึกหรอของอุปกรณ์และเครื่องจักรในการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

### 2.5.5 การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพในการผลิตพลังงาน [4]

ในการผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ การผลิตพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้โดยตรงและการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งกระทำได้หลายวิธีในการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ วัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ของแต่ละเทคโนโลยี ความอ่อนไหวต่อลักษณะ หรือคุณภาพของก๊าซชีวภาพควรตรวจสอบให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ต่างๆ อุปกรณ์จึงจะใช้งานได้ และมีอายุการใช้งานตามที่ควรจะเป็น

#### 1) การผลิตพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้โดยตรง [27]

การผลิตพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้โดยตรง เป็นรูปแบบการผลิตพลังงานพื้นฐาน และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ก๊าซเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่อุปกรณ์ที่เรียกว่า หัวเผา (Burner) ความร้อนจากการเผาไหม้ จะถูกพ่นออกมาในรูปของก๊าซร้อน สามารถนำไปทำน้ำร้อนหรือไอน้ำ หรือน้ำมันร้อน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป หัวเผาเชื้อเพลิงที่ได้รับการออกแบบมาดีจะช่วยให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ได้โดยองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้น จะเป็นดังนี้

- มีการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศอย่างทั่วถึง
- มีเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้พอเพียง เพื่อไม่ให้สูญเสียเชื้อเพลิงที่ยังไม่ถูกเผาไหม้ออกไปจากห้องเผาไหม้
- มีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ในระหว่างการเผาไหม้สูงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ต่อเนื่อง ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับสัดส่วนของปริมาณเชื้อเพลิงกับอากาศ เพื่อให้ได้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงกว่าจุดติดไฟของเชื้อเพลิง

#### 2) การผลิตพลังงานไฟฟ้า [32]

ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าได้ โดยใช้เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ เช่น เครื่องยนต์สันดาปภายในที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าชนิด สเตอริลิง เซลล์เชื้อเพลิง รวมไปถึงการใช้ในระบบกังหันก๊าซ เป็นต้น

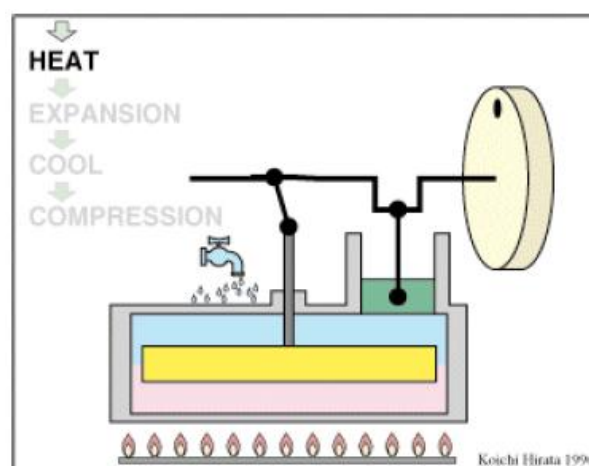
##### - เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าชนิดสันดาปภายใน (Internal combustion engine)

ใช้หลักการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ก๊าซชีวภาพจะถูกป้อนเข้าสู่กระบอกสูบในเครื่องยนต์ ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นเพื่ออัดความดันในกระบอก เกิดการจุดระเบิดพร้อมดันลูกสูบและคายไอเสีย ลูกสูบที่เคลื่อนที่ขึ้นลงเชื่อมต่อเข้ากับเพลาคอเหวี่ยง พลังงานที่ได้จากการขับเพลาคอเหวี่ยงนี้จะส่งต่อไปขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป นอกจากนี้ในระบบที่มีขนาดใหญ่อาจใช้ไอเสียที่ไหลออกจากเครื่องยนต์ผลิตไอน้ำ เพื่อ

ป้อนเข้ากังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้าได้อีกครั้งหนึ่ง โดยเรียกกระบวนการผลิตรวมนี้ว่า ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Cogeneration) เครื่องยนต์ 4 จังหวะที่ใช้กับก๊าซชีวภาพนี้เดิมที่เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้กับก๊าซธรรมชาติแต่ดัดแปลงมาให้สามารถใช้งานกับก๊าซชีวภาพได้ เป็นเครื่องยนต์ชนิดจุดระเบิดด้วยหัวเทียน (Ignition spark plug) ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วงไม่เกิน 34 – 40% ขนาดของเครื่องยนต์ที่มีอยู่ในตลาดตั้งแต่ 1 kW ถึง 2 MW เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที

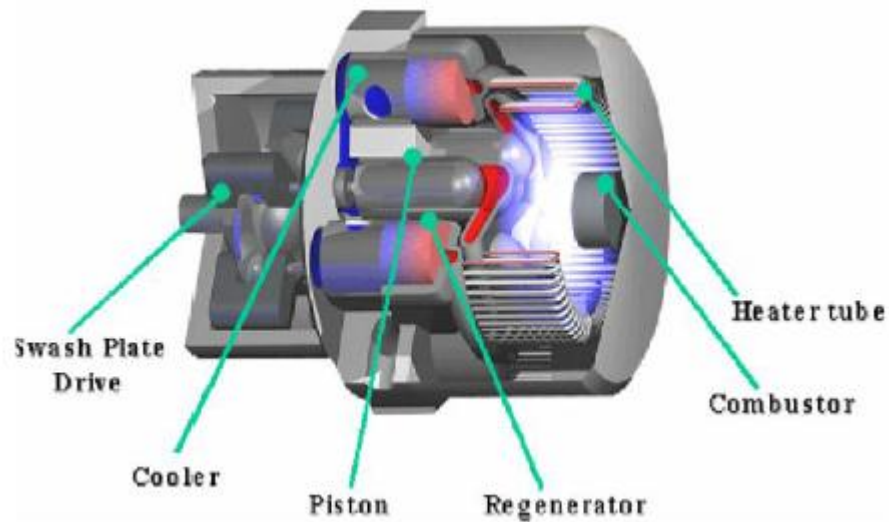
- **เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าชนิดสเตอร์ลิง (Sterling engine)**

เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าชนิดสเตอร์ลิง เป็นเครื่องยนต์ความร้อนชนิดหนึ่งที่มีความแตกต่างจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน ที่ใช้ในรถยนต์ทั่วไป เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีการทำงานเป็นลักษณะครบวงจรเรียกว่า วงจรสเตอร์ลิง ความแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน คือ ภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีก๊าซที่บรรจุไม่สามารถรั่วไหลออกมาได้ จึงไม่ต้องมีวาล์วไอเสียเหมือนกับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนหรือดีเซล และไม่มีการจุดระเบิดของหัวเทียนหรือน้ำมันเชื้อเพลิง พลังงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาจากความร้อนภายนอกกระบอกสูบจึงไม่มีการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ ลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง สามารถแสดงดังรูปที่ 2.9 และ 2.10 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงนั้น อาศัยการเปลี่ยนแปลงความดันของก๊าซที่อยู่ในกระบอกสูบเมื่อได้รับความร้อนอุณหภูมิของก๊าซจะเพิ่มขึ้นและเกิดการขยายตัว ในทางตรงกันข้าม เมื่อก๊าซสูญเสียความร้อนอุณหภูมิของก๊าซจะต่ำลงทำให้ปริมาตรของก๊าซลดลง การขยายและหดตัวของก๊าซในกระบอกสูบสามารถทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนลูกสูบได้



รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง [26]



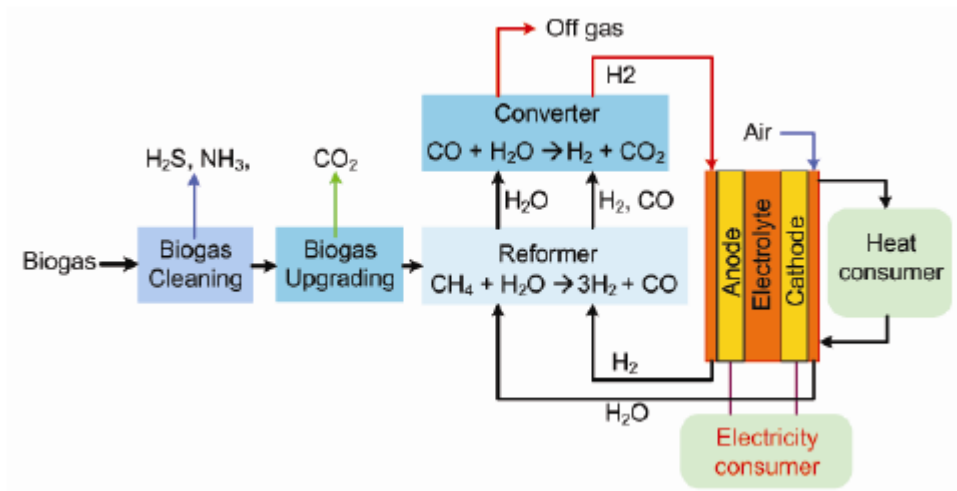


รูปที่ 2.10 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง [26]

- เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) [26]

เซลล์เชื้อเพลิง คือ อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี-ไฟฟ้าระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจน ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานของเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ไม่ต้องผ่านการเผาไหม้ ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงนี้ไม่ก่อมลภาวะทางอากาศ ทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์เผาไหม้ 1 – 3 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงและชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้

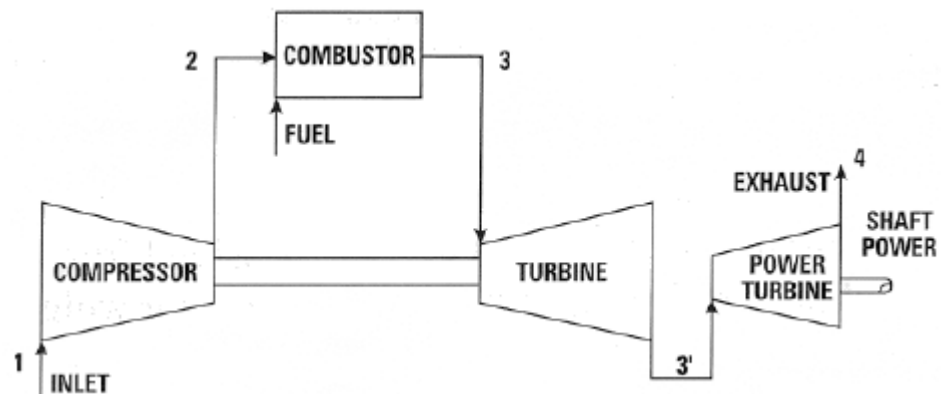
แนวทางการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งก๊าซชีวภาพจำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงหลายขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนการทำความสะอาดก๊าซ การแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วผ่านขั้นตอนการเปลี่ยนก๊าซมีเทนให้เป็นก๊าซไฮโดรเจนด้วยกระบวนการ Reforming ซึ่งจะได้ออกก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะถูกเปลี่ยนต่อให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการทำปฏิกิริยากับน้ำในกระบวนการ Converting ซึ่งจะทำได้ไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.11 แนวทางการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง [26]

- กังหันก๊าซ (Gas turbine) [26]

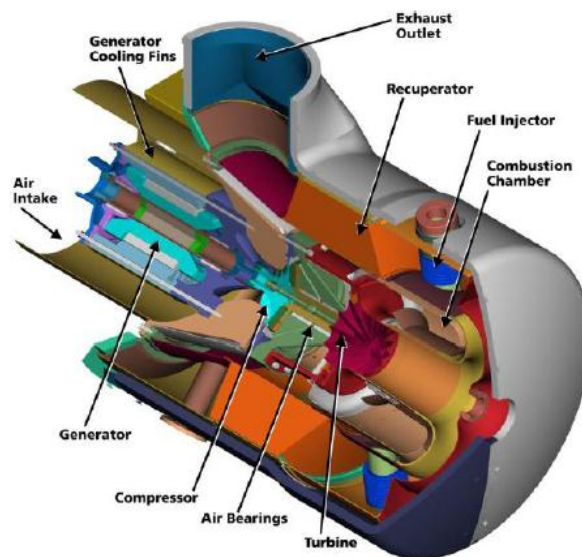
เป็นชุดอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการเผาไหม้ภายในอีกรูปแบบหนึ่ง โดยมีลักษณะการทำงาน ตามรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ระบบกังหันก๊าซ [26]

หลักการทำงานของกังหันก๊าซเริ่มต้นตั้งแต่อากาศถูกอัดโดยเครื่องอัดอากาศ (Compressor) ให้มีความดันเพิ่มขึ้นแล้วป้อนเข้าไปเผาไหม้กับก๊าซในห้องเผาไหม้ (Combustor) ได้ไอนี้อุณหภูมิและความดันสูงใช้ขับเคลื่อนกังหันก๊าซตัวแรกที่ติดตั้งอยู่บนเพลาดียวกันกับเครื่องอัดอากาศและกังหันผลิตกำลัง (Power turbine) งานที่ได้นำไปใช้ผลิตไฟฟ้า ระบบกังหันก๊าซนี้มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าอยู่ในช่วง 25 – 35% แต่เนื่องจากระบบกังหันก๊าซเหมาะกับเชื้อเพลิงที่มีความชื้นต่ำ และมีความบริสุทธิ์ของเชื้อเพลิงสูง ทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้

งานกับก๊าซชีวภาพ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพก่อนการใช้งาน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละโรงงานนั้น อาจยังไม่สูงมากพอที่จะนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้ากับระบบกังหันก๊าซขนาดใหญ่ได้ ในปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาสร้างกังหันก๊าซขนาดเล็ก (Micro gas turbine) ขึ้น โดยมีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ 30 kW จนถึง 200 kW มาใช้งานในเชิงพาณิชย์ ซึ่งทำให้การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพมีความยืดหยุ่นและหลายทางเลือกมากขึ้น กังหันก๊าซขนาดเล็กมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 15 – 25% อุณหภูมิไอเสีย 400 ถึง 600 °C ปัจจุบันได้มีการพัฒนากังหันไอน้ำขนาดเล็กมาใช้งานร่วมกับกังหันก๊าซขนาดเล็กแล้ว โดยติดตั้งหม้อน้ำรับความร้อนจากไอเสียที่ออกจากกังหันก๊าซซึ่งยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ ผลิตเป็นไอน้ำจ่ายเข้ากังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโดยรวมสูงขึ้นถึง 50% รูปที่ 2.13 แสดงภาพตัดภายในของกังหันก๊าซขนาดเล็ก



รูปที่ 2.13 ภาพตัดภายในของกังหันก๊าซขนาดเล็ก (Micro gas turbine) [26]

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เจษฎา โชติวัฒน์ศักดิ์ [29] ศึกษาประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีค่า HRT เท่ากับ 14, 10, 7 และ 6.5 วัน และมีค่า OLR เฉลี่ยเริ่มต้น 2.43, 5.09, 6.50 และ 8.70 kgCOD/m<sup>3</sup>.d ตามลำดับ มีค่า BOD<sub>5</sub> เฉลี่ย 95% และประสิทธิภาพการกำจัด COD 65% จากการศึกษาพบว่า ระบบบำบัดที่มีเสถียรภาพมากที่สุด คือ ที่สภาวะการเดินระบบที่มีค่า HRT 7 วัน ค่า OLR 6.50 kgCOD/m<sup>3</sup>.d สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 4,295 m<sup>3</sup>/day ซึ่งประกอบไปด้วยก๊าซมีเทนเฉลี่ย 67% จากนั้นนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยชุดผลิตไฟฟ้าเครื่องยนต์ดีเซลแบบตัดแปลง

กมลวรรณ ดิษฐ์ดีมิ่งกล [30] ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการใช้ก๊าซชีวภาพจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จากผลการวิเคราะห์โครงการด้านเทคนิคพบว่าโครงการสามารถผลิตไฟฟ้าได้โดยต้องมีการลงทุนระบบบำบัดน้ำเสียโดยการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ ก๊าซมีเทน และต้องมีการลงทุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) สำหรับการวิเคราะห์โครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ งบประมาณและระยะเวลาดำเนินการก่อสร้าง หน่วยบำบัดน้ำเสียและหน่วยผลิตไฟฟ้า จะใช้ระยะเวลาดำเนินการก่อสร้าง 12 เดือนและใช้งบประมาณรวมเป็นเงิน 158,677,425.00 บาท ที่อัตราน้ำเสียจากโรงงานเอทานอล 450 ลบ.ม.ต่อวัน เพื่อผลิตไฟฟ้าจำนวน 1200 kW พบว่าโครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน ที่อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำร้อยละ 12 มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 63,290,917.25 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายในโครงการที่ร้อยละ 21.37% และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 5 ปี 8 เดือนและการวิเคราะห์ความไวของโครงการ ศึกษาแนวโน้มที่อาจมีการผันแปรถึง ±20% เทียบ ณ ปัจจุบันของราคาค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในการลงทุน และปริมาณกำลังการผลิต พบว่าโครงการสามารถรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ตั้งนั้น โครงการนี้มีความเหมาะสมที่จะได้รับการสนับสนุนให้เกิดการลงทุน

กุลธิดา สว่างพล [31] ศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำพวกถิกนินเซลลูโลส โดยเริ่มจากการคัดเลือกแหล่งวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรพวกถิกนินเซลลูโลสที่มีศักยภาพสูง จากนั้นเลือกกระบวนการปรับสภาพ กระบวนการไฮโดรไลซิส และถึงปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูงตามลำดับ การผลิตไฟฟ้าพิจารณาที่เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ 5 ขนาดที่อยู่ในช่วงประมาณ 200 ถึง 2,000 กิโลวัตต์ การคิดต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยแบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีมีการปรับสภาพและไม่มีการปรับสภาพวัตถุดิบตั้งต้น ผลการประเมินพบว่า ฟางข้าว ยอดและใบอ้อยมีศักยภาพสูง จึงนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ และได้เลือกวิธีปรับสภาพแบบระเบิดด้วยไอน้ำและกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์สำหรับการเปลี่ยนวัตถุดิบตั้งต้นไปเป็นน้ำตาล

กรณีมีการปรับสภาพวัตถุดิบตั้งต้น ใช้ถึงปฏิกรณ์แบบ UASFF ในการผลิตก๊าซชีวภาพ คำนวณต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยของเครื่องยนต์ชีวภาพขนาด 187 ถึง 1,966 กิโลวัตต์ ได้ 9.29 ถึง 4.77 บาท/กิโลวัตต์ ชั่วโมง สำหรับฟางข้าว และ 11.29 ถึง 6.21 บาท/กิโลวัตต์ ชั่วโมง สำหรับยอดและใบอ้อยตามลำดับ เนื่องจากกระบวนการปรับสภาพมีต้นทุนค่อนข้างสูง จึงส่งผลต่อการคำนวณต้นทุนทางไฟฟ้าสูงกว่า อัตราการรับซื้อไฟฟ้า (รวมอัตราส่วนเพิ่ม) สำหรับกรณีไม่มีการปรับสภาพวัตถุดิบตั้งต้น เลือกใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกวนต่อเนื่อง (CSTR) ในการผลิตก๊าซชีวภาพ การคำนวณต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพขนาด 187 ถึง 1,966 กิโลวัตต์ ได้ 8.17 ถึง 4.55 บาท/กิโลวัตต์ ชั่วโมงสำหรับฟางข้าว และ 9.37 ถึง 5.39 บาท/ชั่วโมง สำหรับฟางข้าว ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราการรับซื้อไฟฟ้าเช่นกัน เพื่อเป็นการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากชีวมวลประเภทลิกโนเซลลูโลส อัตราการรับซื้อไฟฟ้าควรมีค่าสูงกว่าค่าต้นทุนไฟฟ้า ดังนั้น อัตราส่วนเพิ่ม สำหรับก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากชีวมวลประเภทลิกโนเซลลูโลส ควรมีค่าสูงกว่าค่าที่ให้ในปัจจุบัน

วีรศักดิ์ สุวรรณประภา [32] ได้ศึกษาศักยภาพของการใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร เพื่อเป็นแหล่งพลังงานภายในฟาร์ม 36 แห่ง พบว่าอัตราการใช้พลังงานในฟาร์มอยู่ในช่วง 171 – 1,481 kWh/เดือน ในการประเมินศักยภาพของการใช้ก๊าซผลิตกระแสไฟฟ้า ได้พิจารณากำหนดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าตามจำนวนสุกรและตามปริมาณการใช้ไฟฟ้า กรณีพิจารณาขนาดตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแยกชุดกับเครื่องยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบรวมชุดกับเครื่องยนต์ ในการประเมินทางด้านเทคนิคเมื่อจำนวนสุกรเท่ากันพบว่า แบบ fixed-dome plants สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่า floating-drum plants และ plug-flow digesters ส่วนการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ระยะเวลาคืนทุน 10 ปีเป็นเกณฑ์ ทั้งกรณีการกำหนดขนาดตามจำนวนสุกรและขนาดตามจำนวนสุกรและขนาดตามปริมาณการใช้ไฟฟ้า พบว่าแบบ floating-drum plants ใช้เงินทุนมากกว่าทั้งสองแบบ

A. HENHAM and M.K.MAKKAR [33] ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพจำลองในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงผสม ในการศึกษาได้เตรียมก๊าซชีวภาพจำลอง โดยการผสมก๊าซชีวภาพกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเมื่อนำก๊าซชีวภาพจำลองผสมกับเชื้อเพลิงดีเซลได้ เชื้อเพลิงผสมสำหรับทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลเป้าหมายหลักของการศึกษา เพื่อผลด้านเศรษฐศาสตร์และลดมลภาวะ โดยการหาสัดส่วนของการใช้เชื้อเพลิงดีเซลต่อการต่อเชื้อเพลิงผสมต่ำสุดภายใต้สภาวะการทำงานหลายลักษณะ จากผลการศึกษาพบว่า ก๊าซชีวภาพจำลองในสัดส่วนเชิงปริมาตรของก๊าซธรรมชาติต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 50% และ 50% ตามลำดับ สามารถเข้าไปทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลได้ถึง 60% ของความต้องการเชื้อเพลิงดีเซลปกติ หรือกล่าวได้ว่าสัดส่วนเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงดีเซลต่อก๊าซชีวภาพจำลองที่ใช้เป็น 40% และ 60% ตามลำดับ โดยเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้

เชื้อเพลิงผสมนี้จะทำงานได้ปกติโดยปราศจากการน็อก และพบว่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องยนต์ดังกล่าวลดลงจากประสิทธิภาพเดิมประมาณ 10 – 20% เพื่อพิจารณาที่แรงบิด 40 นิวตัน เมตรความเร็วรอบ 2,000 และ 2,800 รอบ/นาที

นิสาชล ไชยสุวรรณ [34] ศึกษาต้นทุนราคาก๊าซชีวภาพและไฟฟ้าที่ผลิตได้ในฟาร์มเลี้ยงสุกร โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ตอน ตอนแรกศึกษาเพื่อหาค่าประกอบทางเคมีและค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากฟาร์มสุกร พบว่าก๊าซชีวภาพประกอบด้วยมีเทน 60 – 70% คาร์บอนไดออกไซด์ 20 – 30% และไฮโดรเจนซัลไฟด์ 53 – 56 ppm และมีค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ  $24,616 \text{ kJ/m}^3$  ตอนต่อมาเป็นการหาต้นทุนราคาของก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร โดยพิจารณาตัวชี้วัดคือมูลค่าปัจจุบันสุทธิ ณะระดับอัตราคิดลดร้อยละ 8 และ 10 โดยเริ่มจากศึกษาข้อมูลค่าใช้จ่ายในการลงทุนด้านต่างๆ แล้วตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินโดยใช้ตัวชี้วัดคือ NPV แล้วจึงทำการวิเคราะห์ต้นทุนราคาของก๊าซชีวภาพ พบว่าอยู่ในช่วง 1.56 – 2.43 บาท/ $\text{m}^3$  และ 58.09 – 90.48 บาท/GJ ซึ่งในการนำก๊าซชีวภาพที่ได้มาใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า จากผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าอยู่ในช่วง 12.7 – 15% ส่งผลให้ต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าอยู่ในช่วง 3.24 – 3.76 บาท/kWh

ณัฐธิชา มะโน [35] ศึกษาศักยภาพการใช้ก๊าซชีวภาพจากโรงงานแป่งมันสำปะหลังในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้ทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์จากโรงงานแป่งมันสำปะหลัง 2 แห่งที่มีการใช้แหล่งพลังงานเพื่อผลิตอากาศร้อนที่แตกต่างกัน คือ โรงงานต้นแบบที่ 1 กำลังการผลิต 9.5 ตันแป่ง/ชั่วโมง ปริมาณน้ำเสีย 2,280 ลูกบาศก์เมตร/วัน ผลิตอากาศร้อนโดยรับความร้อนจากไอน้ำที่ได้จากหม้อไอน้ำขนาด 5 ตัน/ชั่วโมง โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงและเครื่องผลิตลมร้อนขนาด 8 ตัน/ชั่วโมงที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง และโรงงานต้นแบบที่ 2 กำลังการผลิต 6.3 ตันแป่ง/ชั่วโมง ปริมาณน้ำเสีย 1,512 ลูกบาศก์เมตร/วัน ผลิตอากาศร้อนโดยรับความร้อนจากหม้อน้ำร้อนขนาด 3,000 kW ที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ในขั้นตอนแรก ทำการประเมินศักยภาพก๊าซชีวภาพของโรงงานทั้ง 2 แห่ง หลังจากนั้นออกแบบการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ความร้อนเพียงพอ ในการอบแป่งของโรงงาน ซึ่งได้ออกแบบไว้ 3 กรณี ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 1 การนำก๊าซชีวภาพมาเผาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง กรณีศึกษาที่ 2 การนำก๊าซชีวภาพมาแป่งเป็นเชื้อเพลิงให้ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมโดยใช้ไมโครก๊าซเทอร์ไบน์และกรณีศึกษาที่ 3 การนำก๊าซชีวภาพมาเป็นเชื้อเพลิงในระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมโดยใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพส่วนการวิเคราะห์ทางการเงินได้พิจารณา 2 สมมติฐาน คือ โรงงานมีระบบก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบีอยู่แล้วและโรงงานยังไม่มีระบบก๊าซชีวภาพ หลังจากนั้นวิเคราะห์ความไวของตัวแปรหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในแต่ละกรณีศึกษา ผลการศึกษาพบว่าโรงงานต้นแบบที่ 1 และ 2 มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ

962 และ 638 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าการนำก๊าซชีวภาพมาเผาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในกรณีศึกษาที่ 1 ทั้งโรงงานต้นแบบที่ 1 และ 2 มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 962 และ 638 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ โดยพบว่า การนำก๊าซชีวภาพมาเผาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในกรณีศึกษาที่ 1 ทั้งโรงงานต้นแบบที่ 1 และ 2 จะให้ผลตอบแทนการลงทุนที่ดีที่สุด เนื่องจากมีเงินลงทุน (รวมระบบ UASB) ต่ำที่สุด คือ 14.88 และ 11.04 ล้านบาท ตามลำดับ และมีผลตอบแทนสูง โดยมีอัตราผลตอบแทนต่อเงินลงทุนทั้งหมดของโครงการ อัตราผลตอบแทนในส่วนที่ผู้ประกอบการลงทุน และระยะเวลาคืนทุนสูงสุด เท่ากับ 52.2%, 131.0% และ 2 ปี ตามลำดับ สำหรับโรงงานต้นแบบที่ 1 และเท่ากับ 152.9%, 460.8% และ 0.67 ปี ตามลำดับ สำหรับโรงงานต้นแบบที่ 2 แต่อย่างไรก็ตามการนำก๊าซชีวภาพมาเผาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงจะไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ และจะใช้ก๊าซชีวภาพเพียง 72.9% และ 80.69% ของศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดของโรงงานต้นแบบที่ 1 และ 2 เท่านั้น เมื่อพิจารณาที่ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมพบว่า กรณีศึกษาที่ 3 จะให้ผลตอบแทนในการลงทุนดีที่สุด โดยผลิตไฟฟ้าได้ 8.50 GWh/ปี และ 9.06 GWh/ปี ของโรงงานต้นแบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งผลิตไฟฟ้าได้มากกว่ากรณีศึกษาที่ 2 ด้วย สำหรับผลการวิเคราะห์ความไวของตัวแปร พบว่าตัวแปรที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง ได้แก่ อัตราค่าไฟฟ้าและราคาเชื้อเพลิง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี [36] ได้ทำโครงการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมแป้งข้าว จะได้ว่าที่โรงงานอุตสาหกรรมแป้งข้าวที่มีกำลังการผลิตแป้ง 350 ตัน/วัน จะเกิดน้ำเสียขึ้น 1,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน จะเกิดก๊าซชีวภาพได้ถึง 2,400 – 3,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งเป็นการทดแทนการผลิตไฟฟ้าได้ถึง 3,000 – 3,500 kWh ประหยัดเงินได้เดือนละ 300,000 บาท เมื่อเทียบกับระบบน้ำเสียที่มีอยู่เดิม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [37] ได้ผลิตพลังงานความร้อนจากก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารต้นแบบจำนวน 2 แห่ง โดยติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของโรงงาน ซึ่งในบริษัท ยูเนี่ยน โฟรเซน โปรดักส์ จำกัด ติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ด้วยเงินลงทุน 28 ล้านบาท ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 50 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง และนำระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่เดิมเป็นระบบบำบัดน้ำขั้นหลังก่อนปล่อยสู่ธรรมชาติ เกิดผลประหยัด 4.7 ล้านบาท/ปี ใช้ระยะเวลาคืนทุน 5.9 ปี ส่วนในบริษัท เชนเนอรัล สตาร์ช จำกัด ติดตั้งระบบบำบัดแบบ UASB ด้วยเงินทุน 54 ล้านบาท ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 563 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง เกิดผลประหยัด 26.3 ล้านบาท/ปี ใช้ระยะเวลาคืนทุน 2.1 ปี

นันทิยา เปปะตัง [38] ศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวมจากฟาร์มสุกรและโรงงานอุตสาหกรรมอาหารขนาดกลางและขนาดเล็ก ในตำบลท่าข้าม ตำบลบ้านใหม่ และตำบลสามพราน จังหวัดนครปฐม โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB กับระบบบำบัดน้ำเสียขั้นหลังแบบ Constructed Wetland พื้นที่รวม 184 ไร่ โดยมีน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดวันละ 2,500 ลูกบาศก์เมตร ค่าความสกปรก 23,300 กิโลกรัม COD/วัน ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ถึงวันละ 7,000 ลูกบาศก์เมตร พบว่าเมื่อนำก๊าซชีวภาพ 76.7% ของปริมาณที่ผลิตได้ทั้งหมดมาผลิตไฟฟ้าใช้ใน 3 ตำบลเป้าหมาย จะสามารถทดแทนความต้องการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ได้ 1.4% จากการวิเคราะห์ทางการเงิน พบว่าในกรณีพิจารณาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเป็นต้นทุนในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะไม่สามารถคืนทุนได้ภายใน 15 ปี แต่ถ้าไม่พิจารณาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียจะสามารถคืนทุนได้ภายใน 15 ปี จากผลการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงเสนอให้มีการนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าแล้วขายให้การไฟฟ้า