บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งในทวีปเอเชีย ซึ่งเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ประเทศไทยมีการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นอันดับ 3 ของทวีป และปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่จะเจริญได้ดีในพื้นที่ภาคใต้ โดยพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมีทั้งสิ้น ประมาณ 1,128,289 ไร่ บริเวณพื้นที่ที่ปลูกมากที่สุด คือจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล และตรัง โดยจังหวัดกระบี่มีพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดจำนวน 389,837 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 34.55 และรองลงมาได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 280,056 ไร่ และจังหวัดชุมพร จำนวน 186,748 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 24.82 และ 16.55 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศ ตามลำดับ โดยมีผลผลิตในรูปทะลายปาล์มสดจากพื้นที่ภาคใต้ประมาณ 2,464,773 ตัน (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2543) และอุตสาหกรรมที่รองรับผลผลิตดังกล่าวคือ อุตสาหกรรมสกัดน้ำมันจากผลปาล์ม

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มถือได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำและทางอากาศที่สำคัญแหล่งหนึ่ง ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ที่สูง จากการศึกษาของ อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ (2537) พบว่าการสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้วัตถุดิบ 1 ตันทะลายปาล์มสดจะมีน้ำเสียเกิดขึ้นประมาณ 0.87 ลูกบาศก์เมตร และในน้ำเสียจะมีมลสารในรูป TCOD, BOD_5 และ SS เท่ากับ 52.45, 26.58 และ 12.88 กิโลกรัม ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณมลสารของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั้งหมดกับมลสารที่เป็นของเหลวจากบ้านเรือน (60 กรัมบีโอดี/คน/วัน) จะมีค่าเท่ากับการปล่อยของเสียโดยประชากรประมาณ 3 ล้านคนต่อวัน (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540)

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มนั้นมักใช้กระบวนการบำบัดทางชีวภาพซึ่งแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การบำบัดแบบใช้อากาศ โดยใช้ระบบบ่อผึ่ง (Oxidation Pond) และการบำบัดแบบไร้อากาศ โดยใช้ระบบบ่อหมักไร้อากาศ (Anaerobic Pond) และระบบถังหมักไร้อากาศ (Anaerobic Digestor) อย่างไรก็ตามพบว่าบ่อผึ่งมักเป็นที่นิยมใช้กัน ทั้งนี้เพราะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ง่ายที่สุด และมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบที่ต่ำ แต่บ่อผึ่งมักจะมีข้อเสียคือต้องใช้พื้นที่มากและการบำบัดขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ ฉะนั้นระบบถังหมักไร้อากาศน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์เพราะเป็นระบบปิดจึงใช้พื้นที่น้อยและไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบบ่อ รวมถึงมีตะกอนเกิดขึ้นน้อยและใช้พลังงาน

น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบใช้อากาศ จึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายและยังได้พลังงานชีวภาพที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ระบบถังหมักไร้อากาศสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือแบบขั้นตอนเดียว (Single-Stage) และแบบสองขั้นตอน (Two-Stage) โดยระบบถังหมักไร้อากาศทั้ง 2 แบบสามารถใช้ถังปฏิกิริยาแบบต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสียตามความเหมาะสม ซึ่งถังปฏิกิริยาที่นิยมใช้ เช่น ระบบ Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ระบบ Anaerobic Filter (AF) และระบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR) เป็นต้น โดยการทำงานของระบบถังหมักไร้อากาศดังกล่าวต้องอาศัยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต ซึ่งการทำงานของจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นได้ไม่ดีถ้าปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายในระบบไม่เหมาะสม ปัจจัยหนึ่งซึ่งมีความสำคัญสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนคือ อุณหภูมิ (Temperature) โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิ 2 ช่วง (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524) คือ ช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) ระหว่าง 30-38 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 35 องศาเซลเซียส จากการศึกษาของ Borja and Banks (1995) ซึ่งบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบขั้นตอนเดียวในช่วง Mesophilic โดยถังกรองไร้อากาศและถังแบบตัวกลางแขวนลอย พบว่าสามารถบำบัด TCOD ได้มากกว่าร้อยละ 90 ทั้ง 2 ถังปฏิกิริยา ที่ระยะเวลาเก็บกักโดยเฉลี่ย 0.25 วัน และ 1.5-4.5 วัน ตามลำดับ และจากการศึกษาของการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตลูกกวาดโดยระบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอนที่ทำงานในช่วง Mesophilic พบว่า สามารถบำบัด TCOD ได้ร้อยละ 98 ที่ระยะเวลาเก็บกักรวมประมาณ 2.4 วัน (Beal and Raman, 2000) และอุณหภูมิอีกช่วงหนึ่ง คือ ช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) ระหว่าง 48-57 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 55 องศาเซลเซียส จากการศึกษาของ Borja and Banks (1993) บำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบไร้อากาศในช่วง Thermophilic พบว่าสามารถบำบัด TCOD ได้มากกว่าร้อยละ 85 ที่ระยะเวลาเก็บกักโดยเฉลี่ย 4.3 วัน และจากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเนยแข็งโดยระบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอนที่ทำงานในช่วง Thermophilic พบว่า สามารถบำบัด TCOD ได้ร้อยละ 96 ที่ระยะเวลาเก็บกักรวมประมาณ 10 วัน (Hwang, *et al.,* 2003) จากผลการศึกษาข้างต้นจะเห็นว่า ส่วนใหญ่ระบบแบบสองขั้นตอนมีประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD ได้สูงกว่าแบบขั้นตอนเดียว แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดของแบบสองขั้นตอนขึ้นอยู่กับการควบคุมสภาวะภายในระบบให้เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดและผลิตก๊าซมีเทนในแต่ละถัง โดยส่วนใหญ่มักใช้การควบคุม pH (Beal and Raman 2000 ; Dinsdale, *et al.,* 1997a และ Dalis, *et al.,* 1996.)

ในการวิจัยนี้เลือกระบบบำบัดน้ำเสีย ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนที่ทำงานในช่วง Thermophilic และ Mesophilic ในรูปแบบระบบถังเดียวที่มีการเปิด-ปิดเครื่องกวน การย่อยสลาย การตกตะกอนและการสูบน้ำเข้า-ออกภายในถังใบเดียวกัน เป็นระบบที่สามารถคัดเลือกและพัฒนาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี มีความยืดหยุ่นในการบำบัด และสามารถที่จะปรับสภาวะการทำงานให้เหมาะสมกับน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบได้ รวมถึงไม่มีปัญหาในการบำบัดตะกอน (กาญนิกา ครองธรรมชาติ และสมชาย ดารารัตน์, 2546 ; Dague *et al.,* 1992 และ Wirtz and Dague, 1996) และเป็นระบบที่ประสบความสำเร็จในการบำบัดน้ำเสียบางประเภทมาแล้ว (Bodik, *et al.*, 2002 ; Masse and Masse', 2000 และ Welper, *et al.,* 1997) แต่ไม่มีการใช้บำบัดจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ดังนั้นจึงสนใจจะศึกษาและวิจัยการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อเป็นข้อมูลบางประการ และพิจารณาความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่จัดอยู่ในตระกูลเดียวกับ มะพร้าว ต้นจาก ระกำ และตาลโตนด มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในทวีปแอฟริกาและพบมากอยู่ทางฝั่งตะวันตก แต่ก็มีบางส่วนขึ้นกระจัดกระจายไปทางฝั่งตะวันออกไปจนถึงเกาะมาดากาสกา ปาล์มน้ำมันที่ขึ้นอยู่ในแอฟริกาส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่ปลูกในเชิงเศรษฐกิจอยู่ในปัจจุบัน ต่อมาก็มีการสันนิษฐานว่าปาล์มน้ำมันได้แพร่หลายเข้าไปในทวีปอเมริกาใต้ (ผาสุก กุลละวณิชย์ และคณะ, 2528) โดยทั่วไปปาล์มน้ำมันขึ้นได้ระหว่าง ละติจูดที่ 20 องศาเหนือและใต้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีอากาศร้อนชื้น มีปริมาณน้ำฝนเพียงพอและกระจายเกือบตลอดปี (วิทยาลัยวันศุกร์, 2546)

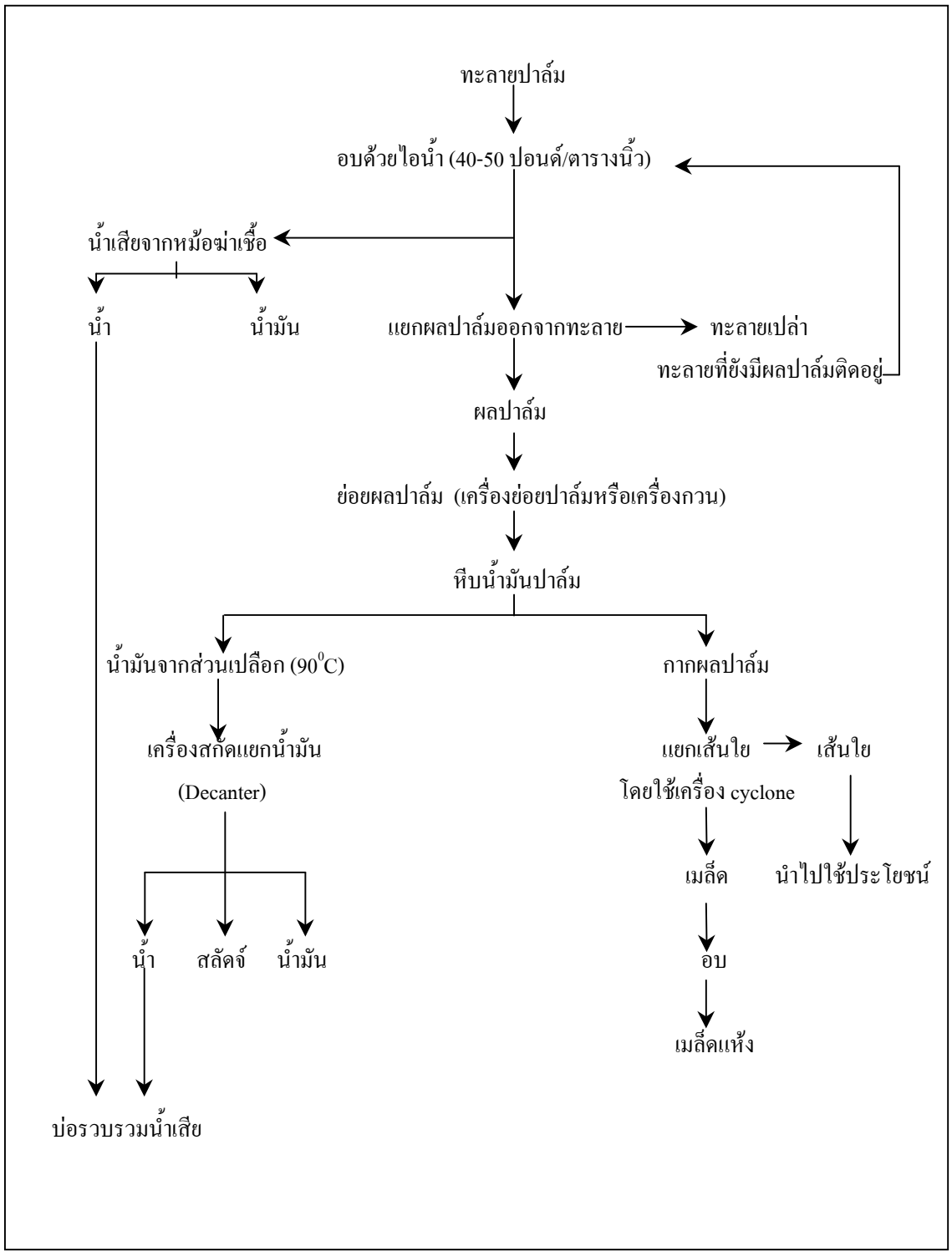
ปาล์มน้ำมันได้ถูกนำเข้ามาปลูกในอาเซี่ยนเมื่อ 150 ปีที่แล้ว สำหรับในประเทศไทยนั้นในปี พ.ศ. 2511 ได้มีการปลูกปาล์มน้ำมันในเชิงการค้าเป็นครั้งแรกที่จังหวัดกระบี่และสตูล ต่อมาก็มีการปลูกปาล์มกันอย่างแพร่หลายในหลายจังหวัดโดยเฉพาะจังหวัดในทางภาคใต้ จึงก่อให้เกิดอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มอยู่ในภาคใต้เป็นจำนวนมาก ในปี พ.ศ. 2529 มีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 34 โรงงาน และโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 13 โรงงาน (ผาสุก กุลละวณิชย์ และคณะ, 2531) ต่อมาในปี พ.ศ. 2538 มีโรงงานอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นเป็น 49 โรงงาน โดยมีกำลังการผลิตรวม 405,000 ตันน้ำมันปาล์มดิบต่อปี โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน 17 โรงงาน มีกำลังการผลิตประมาณร้อยละ 60 ของกำลังการผลิตรวม โดยได้น้ำมัน

250,000 ตันน้ำมันปาล์มดิบต่อปี (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540) และในปี 2548 มีโรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับน้ำมันปาล์มทั้งหมด 75 โรงงาน เป็นโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 61 โรงงาน และโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์อีก 14 โรงงาน (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

1.2.1.1 กระบวนการสกัดน้ำมันจากผลปาล์ม

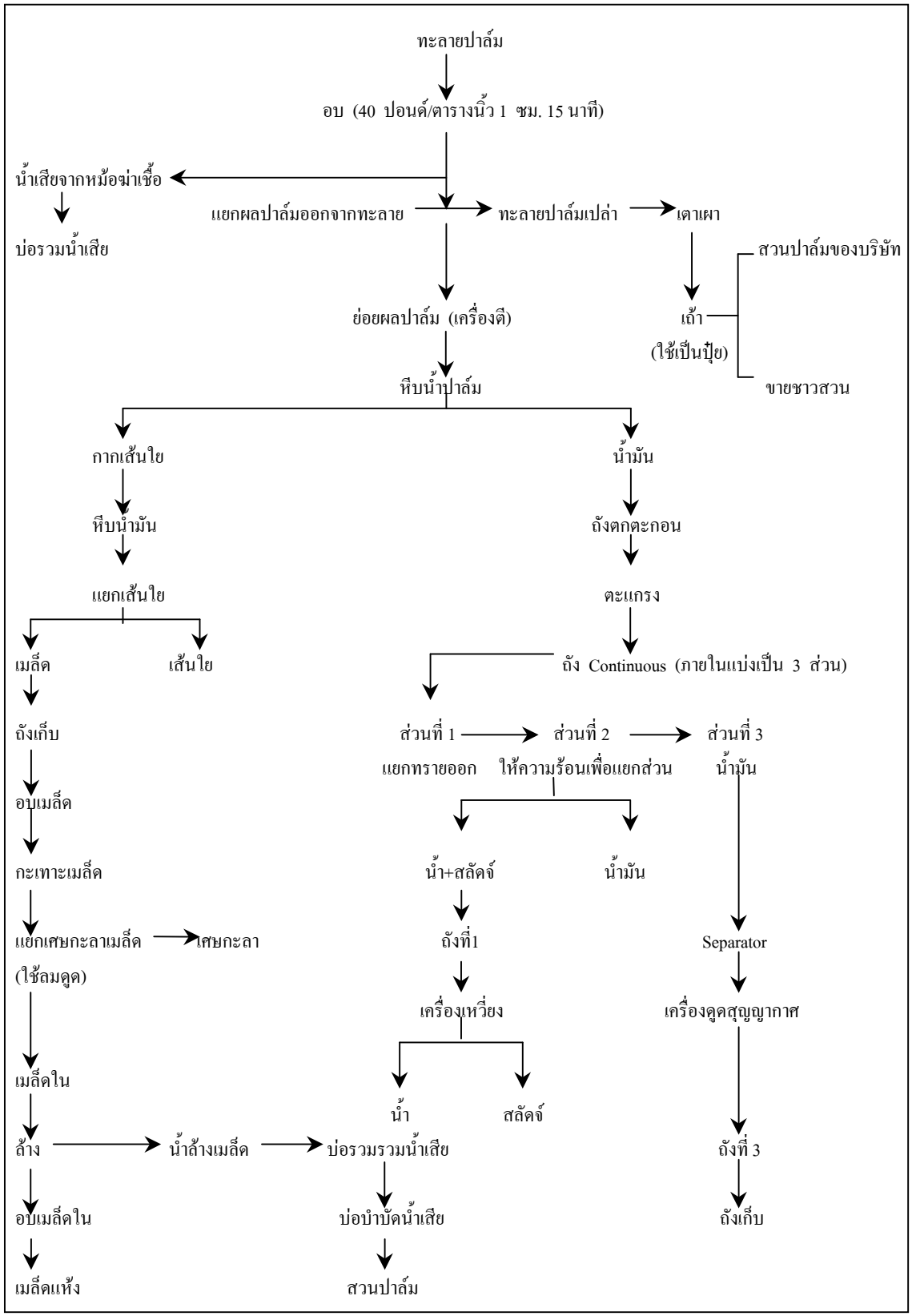
กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบ่งเป็น 3 แบบ (ผาสุก กุลละวณิชย์ และคณะ, 2528) คือกระบวนการสกัดแบบใช้น้ำหรือที่เรียกว่าแบบมาตรฐาน กระบวนการสกัดแบบย่างผลปาล์ม และกระบวนการสกัดแบบทอดผลปาล์ม แต่วิธีการสกัดที่สามารถรองรับวัตถุดิบได้ในปริมาณมาก และให้ผลผลิตในรูปน้ำมันปาล์มดิบที่มีคุณภาพ คือ กระบวนการสกัดแบบใช้น้ำ ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับโรงงานขนาดใหญ่และกลาง โดยใช้เงินในการลงทุนที่สูงกว่ากระบวนการผลิตแบบอื่นๆ และกระบวนการสกัดแบบนี้ก่อให้เกิดน้ำเสียมากกว่าแบบอื่นๆ อีกด้วย

กระบวนการสกัดแบบใช้น้ำ แบ่งย่อยเป็น 2 ลักษณะคือ แบบที่ใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมันที่เรียกว่า Decanter (ภาพประกอบที่ 1) และแบบที่ใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมันที่เรียกว่า Separator (ภาพประกอบที่ 2) ขั้นตอนโดยทั่วไปของการสกัดน้ำมันแบบใช้น้ำเริ่มจากการอบทะลายปาล์มสดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 120-130 องศาเซลเซียส ที่ความดันประมาณ 40-50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลาประมาณ 40-60 นาที การอบผลปาล์มจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาลิโปไลซิสที่จะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์ม นอกจากนี้ไอน้ำยังทำให้ผลปาล์มอ่อนนุ่ม ขั้วหลุดออกจากทะลายได้ง่าย สะดวกต่อการย่อยและการหีบ ทะลายปาล์มที่ผ่านการนึ่งแล้วจะมีการนำป้อนเข้าเครื่องแยกผลปาล์มซึ่งเป็นทรงกระบอกกลวงหมุนด้วยความเร็วประมาณ 23 รอบต่อนาที ในส่วนของทะลายจะถูกลำเลียงเข้าสู่เตาเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง ส่วนผลปาล์มที่แยกได้จะถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์มโดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นรูปถังทรงกระบอกซึ่งภายในมีใบพัด และจะมีการเติมน้ำร้อนลงไปเล็กน้อย สำหรับการกวนผลปาล์มให้เส้นใยฉีกแยกจากเมล็ดและให้เซลล์น้ำมันเกิดการแตกตัว การกวนจะเกิดขึ้นประมาณ 15-20 นาที จากนั้นจึงป้อนเข้าเครื่องหีบแบบอัดเกลียว (Screw Press) และน้ำมันจะถูกแยกออกจากน้ำ และเศษเส้นใยรวมทั้งสิ่งสกปรกอื่นๆ โดยการใช้เครื่อง Decanter หรือเครื่อง Separator อย่างไรก็ตามน้ำมันดิบที่ผ่านเครื่อง Separator โดยส่วนใหญ่ยังคงมีสิ่งเจือปนอยู่อีกมาก โดยเฉพาะอนุภาคของแข็ง จึงมีการนำมาผ่านเข้าสู่เครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูงเพื่อบำบัดอนุภาคของแข็ง หลังจากนั้นจึงผ่านเข้าสู่เครื่องดูดสูญญากาศเพื่อไล่ความชื้น แล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บในถังเก็บน้ำมันขนาดใหญ่ รอเข้าสู่ขั้นการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์หรือเตรียมจำหน่ายโรงงานทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ต่อไป (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ, 2533)



ภาพประกอบ 1 การผลิตน้ำมันปาล์มดิบในกระบวนการผลิตแบบใช้น้ำที่ใช้เครื่อง Decanter

ที่มา : พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ (2533)



ภาพประกอบ 2 การผลิตน้ำมันปาล์มดิบในกระบวนการผลิตแบบใช้น้ำที่มีการใช้เครื่อง Separator

ที่มา: พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ (2533)

1.2.1.2 ปริมาณและลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์ม

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐานจะมีปริมาณน้ำเสียออกมามาก โดยส่วนใหญ่มาจาก 2 ขั้นตอน ได้แก่ การอบทะลายปาล์มในรูปน้ำเสียจากหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Sterilizer Condensate) มีประมาณ 200 ลิตรต่อ 10 ตันทะลายปาล์ม คิดเป็นร้อยละ 2 (ปริมาณโดยน้ำหนัก) ของทะลายปาล์ม (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ, 2533) และน้ำเสียจากขั้นตอนการแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน น้ำเสียส่วนนี้เกิดขึ้นมากที่สุดและเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของ SS สูง ในกรณีที่ใช้ Decanter สำหรับแยกน้ำเสียจากการแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมันจะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกมาประมาณ 0.35 ลูกบาศก์เมตรต่อวัตถุดิบ 1 ตันทะลายปาล์มสด และในกรณีที่ใช้ Separator จะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกมาประมาณ 0.65 ลูกบาศก์เมตรต่อวัตถุดิบ 1 ตันทะลายปาล์มสด (อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ, 2539) ส่วนปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดคิดเป็น 2.5-3.0 เท่าของปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้ (Cheah *et al*., 1988 อ้างถึงใน ปรีชา มุณีศรี, 2531)

ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ, 2533) ได้แก่ น้ำเสียจากหม้อฆ่าเชื้อ น้ำเสียจากเครื่องแยก Decanter หรือ Separator ก่อนที่จะไหลไปรวมกันเป็นน้ำเสียรวมในบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงาน โดยน้ำเสียจากทั้ง 3 ส่วน จะมีลักษณะ ดังตารางที่ 1 ซึ่งลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจากกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ จะเห็นว่าน้ำเสียจากบ่อรวมมี TCOD, BOD_5 และ SS ส่วนใหญ่สูงกว่าน้ำเสียจากเครื่อง Decanter หรือ Separator และน้ำเสียจากหม้อฆ่าเชื้อ ทั้งนี้มาจากการรวบรวมน้ำเสียจากทุกกิจกรรมการผลิตมารวมกัน นอกจากนี้ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจากกิจกรรมต่างๆ ยังมีการนำเสนอใน Industrial Pollution Control Guide- Lines (ESCAP, 1982 อ้างถึงใน อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ, 2536) รายงานไว้ดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นว่าน้ำเสียจากการบำบัดตะกอน (Clarifiers) จะมีปริมาณ TS และ SS สูงมากที่สุดจากทุกกิจกรรมของโรงงาน ส่วนน้ำเสียจากการสกัดน้ำมัน (Oil Extraction) มี TCOD และ BOD_5 สูงมากที่สุดจากทุกกิจกรรมของโรงงาน และจะเห็นว่าอุณหภูมิน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจากทุกกิจกรรมมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง ส่วนใหญ่อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้มีค่ามากกว่า 70 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณ Oil ที่ติดมากับน้ำเสียมีค่าค่อนข้างสูงเช่นกันโดยเฉพาะที่บ่อรวบรวมน้ำเสีย นอกจากนี้น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มยังประกอบด้วยอินทรีย์สารและแร่ธาตุต่างๆที่สำคัญได้แก่ ไนโตรเจน (ร้อยละ1.37-2.08) โปแตสเซียม (ร้อยละ 0.09-4.15) และฟอสฟอรัส (ร้อยละ 0.28-0.42) เป็นต้น (Hwang *et al.*, 1987 อ้างถึงในอารี กังแฮ, 2536) ตัวแปรเหล่านี้ล้วนบ่งชี้ให้เห็นว่าน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะก่อให้เกิดปัญหาด้านมลภาวะทางน้ำเมื่อถูกปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

ตารางที่ 1 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จากหม้อฆ่าเชื้อ จากเครื่อง Decanter หรือ Separator และจากบ่อรวบรวมน้ำเสีย

พารามิเตอร์	น้ำเสียจากหม้อฆ่าเชื้อ	น้ำเสียจากเครื่อง Decanter หรือ Separator	น้ำเสียจากบ่อรวม
Color	Brown	Brown-Blackish Brown	Dark Brown
pH	4.84-5.35	4.16-5.35	4.05-4.62
BOD_5	22,800-41,985	21,000-68,550	54,750-60,000
TCOD	45,360-80,146	38,246-105,955	80,523-115,934
Volatile Acid (as acetic acid)	998-7,125	535-1,838	3,100-5,800
Alkalinity (as $CaCO_3$)	37.5-1,576.0	48.0-86.5	68-200
Grease	20.9-1,103.0	4.7-1,130.0	16-2,500
Total Solids (TS)	26,367-76,733	25,634-118,570	49,453-88,508
Volatile Solids (VS)	24,415-67,635	23,056-108,590	42,063-81,872
Suspended Solid (SS)	6,100-26,000	2,900-40,000	18,500-52,000
Ammonia Nitrogen	7.7-66.3	22.8-61.6	27-61
Organic Nitrogen	22.4-1,287.0	518.5-1,352	551-1,172

หมายเหตุ : ทุกค่ามีหน่วยเป็น มก./ล. ยกเว้นสีและพีเอช (ไม่มีหน่วย)

ที่มา : ดัดแปลงจากพูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ (2533)

ตารางที่ 2 ลักษณะน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจากกิจกรรมต่างๆ

พารามิเตอร์	หม้อฆ่าเชื้อ	การสกัดน้ำมัน	การบำบัดตะกอน	เครื่องแยกแบบไซโคลนและหม้อไอน้ำ	บ่อรวมน้ำเสีย
pH	4.0-4.9	3.9-4.8	4.5	4.7-6.2	4.1-6.3
Temperater	30-88	36-77	-	30-70	30-75
Oil	1,100-6,100	6,800-8,500	7,000	800-1,600	8,200-9,600
Total Solids (TS)	6,600-38,500	31,000-47,500	60,000	1,300-2,600	15,500-23,000
Suspended Solid (SS)	1,250-9,000	18,400-31,000	35,000	850-2,000	7,500-10,000
BOD_5	5,500-27,000	16,800-30,000	20,000	1,050-1,950	10,000-14,000
TCOD	10,300-52,500	45,000-64,000	60,000	1,860-3,600	18,300-28,500

หมายเหตุ : ทุกค่ามีหน่วยเป็น มก./ล. ยกเว้นพีเอช (ไม่มีหน่วย) ส่วนอุณหภูมิมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

ที่มา : ESCAP (1982 อ้างถึงใน อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ, 2536)

1.2.2 การบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

1.2.2.1 การบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพและเคมี

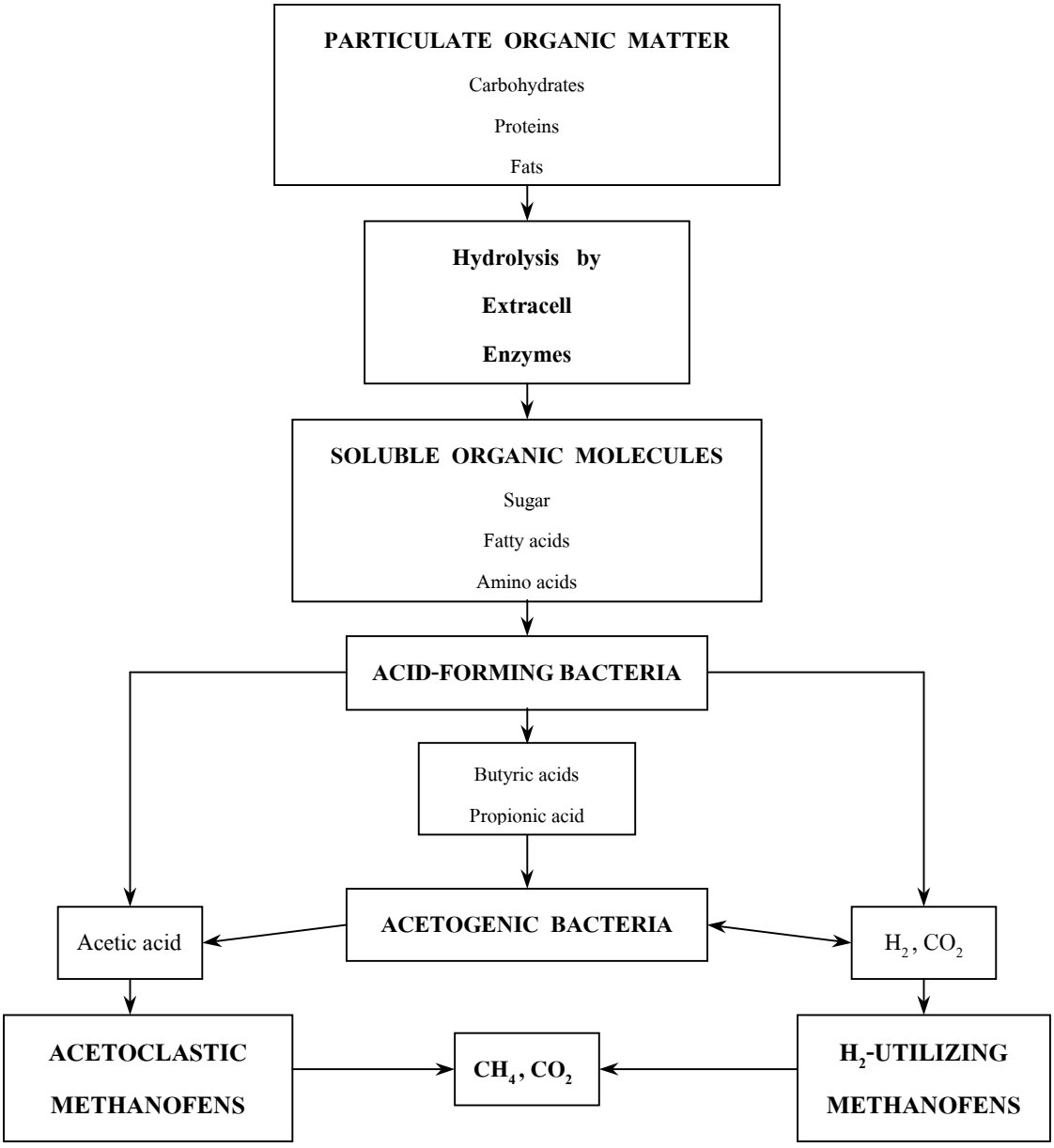
กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ เป็นการบำบัดสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำเช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กรวดทราย น้ำมันและไขมัน (ที่ไม่ละลายน้ำ) เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการตกตะกอนหรือการลอยตะกอน ส่วนวิธีการบำบัดทางเคมี เป็นการบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังต่อไปนี้ คือ มี pH ต่ำหรือสูงเกินไป มีโลหะหนักที่เป็นพิษ มีสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ยาก มีสารประกอบอนินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นพิษ เช่น ซัลไฟด์ และมีไขมันหรือน้ำมันละลายน้ำ ซึ่งสามารถบำบัดได้โดย กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) การตกตะกอนผลึก (Precipitation) การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) และการออกซิเดชั่นรีดักชั่น (Oxidation-Reduction) สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยวิธีการทางกายภาพและเคมีนั้นมีการศึกษากันน้อย ส่วนใหญ่จะเน้นการบำบัดบางพารามิเตอร์ เช่น สี และ Oil and Grease

อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ (2544) ทดลองแยก Oil จากน้ำทิ้งแหล่งต่างๆของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ด้วยวิธีการต่างๆ พบว่า Oil ที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อสามารถแยกได้ง่าย โดยตั้งทิ้งไว้ก็จะเกิดการแยกชั้น สำหรับน้ำทิ้งจากเครื่องแยกหรือน้ำทิ้งจากบ่อรวบรวมน้ำทิ้งไม่สามารถที่จะแยกน้ำมันออกได้ด้วยวิธีการตกตะกอนจมตัว การใช้ความร้อนพร้อมกับการแกว่งอย่างช้าๆ การใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอน และการใช้วิธีอัดอากาศ ส่วนวิธีการหมุนเหวี่ยงน้ำทิ้งจากบ่อรวบรวมน้ำทิ้ง สามารถแยก Oil ออกจากน้ำทิ้งได้ร้อยละ 5-30 เป็นผลให้น้ำทิ้งจากบ่อรวบรวมน้ำเสียมี TCOD ลดลงร้อยละ 50.00 และ Oil ลดลงร้อยละ 85.00

จินตนา แก้วบริสุทธิ์ (2541) ทดลองการบำบัดสีและ TCOD ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าวและทำจากไม้โกงกาง ซึ่งมีการนำน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นที่ผิวต่างกัน คือ 2, 4, 8 และ 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราน้ำล้นผิวลง และยังพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากไม้โกงกางสามารถดูดซับ TCOD และสีได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าว แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาแพง ต่อมาจึงมีการทดลองนำถ่านกัมมันต์ที่ทำจากไม้โกงกางที่ผ่านการใช้งานมาแล้วมาฟื้นสภาพใหม่ พบว่าเมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที ถ่านกัมมันต์ที่ฟื้นคืนสภาพมีประสิทธิในการดูดซับ TCOD มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน และภายหลังการฟื้นสภาพ 10 ครั้ง พบว่าถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มที่จะสามารถดูดซับ TCOD และสีได้ดีขึ้น

1.2.2.2 การบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไร้อากาศ

การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศแบ่งตามปฏิกิริยาชีวเคมีได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) กระบวนการสร้างกรด (Acid Formation) และกระบวนการสร้างมีเทน (Methane Formation) ดังภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบ 3 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน

ที่มา : Malina and Pohland, 1992

ก) กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กลุ่มของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนจะย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex Organic Compound) ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ให้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลง สามารถละลายน้ำได้ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล กรดไขมัน ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดขึ้นภายนอกเซลล์ โดยในธรรมชาติจุลินทรีย์ไม่สามารถนำสารอินทรีย์แขวนลอยไปใช้ได้จนกว่าจะทำให้อยู่ในรูปสารละลายเสียก่อน โดยเอนไซม์หลายชนิดมีความจำเพาะเจาะจงกับชนิดของสารตั้งต้น และกระบวนการไฮโดรไลซิสนั้นเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นช้าต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ได้แก่ พีเอช อายุตะกอน และค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของอนุภาค โดยที่อนุภาคใหญ่ๆ ที่มีค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของอนุภาคต่ำจะเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสได้ช้ากว่าอนุภาคที่เล็ก รวมถึงสารที่ละลายน้ำยาก เช่น แป้งหรือไขมัน กระบวนการไฮโดรไลซิสจะเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดของระบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำเสียนั้นๆ ด้วย

ข) กระบวนการสร้างกรด (Acid Formation)

สารประกอบอย่างง่ายที่ถูกสร้างขึ้นในขั้นตอนของกระบวนการไฮโดรไลซิสจะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์พวก Facultative และ Obligate Anaerobic โดยกระบวนการหมัก (Fermentation) ซึ่งจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่สร้างกรด (Acid Formers หรือ Non-Methanogenic Bacteria) จะเปลี่ยนน้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน ให้เป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดระเหยง่าย (Volatile Acids) ที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว ได้แก่ กรดอาเซติก (Acetic Acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic Acid) และกรดบิวทีริค (Butyric Acid) ส่วนผลปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวส์มีอยู่หลายอย่าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และตัวรับอิเลคตรอน เช่นจุลินทรีย์ที่สร้างกรดบางชนิดสามารถใช้ไฮโดรเจนอิออนเป็นตัวรับอิเลคตรอน ทำให้เกิดไฮโดรเจนโมเลกุลขึ้นมา แต่ผลปฏิกิริยาที่อยู่ในตัวรีดิวส์ตัวอื่นๆ เช่น แอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว เป็นต้น ไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ถ้าหากไม่มีการสร้างไฮโดรเจนโมเลกุล จุลินทรีย์ที่สร้างกรดเหล่านี้ จะใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นตัวรับอิเลคตรอน ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวส์ตัวอื่นๆ เช่น เมทานอล (Methanol) อีทานอล (Ethanol) โพรพานอล (Propanal) บิวธานอล (Buthanol) หรือกรดแลคติค (Lactic Acid) เป็นต้น

นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดยังสามารถสร้างกรดอาเซติก กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โมเลกุลที่ได้จากกรดระเหยง่ายจะมีขนาดใหญ่กว่ากรดอาเซติกหรือผลปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวส์ตัวอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาแรกๆ ดังสมการที่ 1, 2 และ 3

$$2CH_3CH_2OH + 2CO_2 \longrightarrow 3CH_3COOH \quad (1)$$

ethanol — acetic acid

$$CH_3CH_3COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2 \quad (2)$$

propionic acid — acetic acid

$$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2H_2O \quad (3)$$

butyric acid — acetic acid

เนื่องจากจุลินทรีย์ที่สร้างไฮโดรเจนสามารถสร้างกรดได้ แต่จุลินทรีย์ที่สร้างกรดไม่สามารถจะสร้างไฮโดรเจนได้ ทำให้ยากที่จะแยกจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดออกจากกันได้ ดังนั้นจึงจัดให้จุลินทรีย์ที่สร้างไฮโดรเจนเป็นชนิดหนึ่งของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดและเรียกจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้รวมกันเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ผลิตมีเทน (Non-Methanogenic Bacteria) ซึ่งผลปฏิกิริยาสุดท้ายจากกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) ของจุลินทรีย์จำพวกนี้คือ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอาเซติก และกรดฟอร์มิก ถ้าไม่มีการสร้างไฮโดรเจนเกิดขึ้น น้ำเสียที่ผ่านขั้นตอนนี้ยังคงมีสารอาหาร (Substrate) อยู่เท่าเดิม เหตุที่สารอาหารถูกบำบัดออกไปน้อยมาก เพราะอิเลคตรอนที่อยู่ในสารอาหารจะถูกส่งต่อไปยังสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย และเกิดจากการสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ (Microbial Inefficiency) ในระหว่างนี้มีการเปลี่ยนแปลงรูปของสารอินทรีย์เท่านั้น อย่างไรก็ดีเมื่อมีการสร้างไฮโดรเจน อิเลคตรอนที่ถูกส่งผ่านไปให้กับไฮโดรเจนอิออนทำให้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนหลุดออกจากตัวกลางระบบ ดังสมการที่ 4

$$2\bar{e} + 2H^+ \longrightarrow H_2 \quad (4)$$

ในขั้นตอนที่จุลินทรีย์ไม่ผลิตมีเทนนั้น การลด TCOD เกิดจากการผลิตก๊าซไฮโดรเจนและความไม่มีประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งถ้าก๊าซไฮโดรเจนหลุดออกมาจากตัวกลางระบบแล้วพลังงานที่มีอยู่ในถังปฏิกิริยาจะลดลง เป็นผลให้ค่า TCOD ของน้ำเสียลดลง ถ้าไม่มีก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นแล้วการบำบัด TCOD จะน้อยมาก เนื่องจากในการออกซิเดชั่นสารประกอบอินทรีย์อิเลคตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจะผ่านไปยังตัวรับอินทรีย์ซึ่งยังคงอยู่ในตัวกลาง พลังงานของถังปฏิกิริยาจึงลดลงเล็กน้อยเนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ

ค) กระบวนการสร้างมีเทน (Methane Formation)

กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสร้างกรด จะเป็นสารอาหารตั้งต้นของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ต้องอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนอิสระ (Obligate Anaerobic Bacteria) เรียกว่ากลุ่มจุลินทรีย์สร้างมีเทน (Methane Former Bacteria หรือ Methanogenic Bacteria) ซึ่งเจริญเติบโตอย่างช้าๆในน้ำเสีย จุลินทรีย์สร้างมีเทนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) Hydrogenotropic Methanogenic หรือ Hydrogen-Utilizing Chemolithotrophs มีหน้าที่เปลี่ยนไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ให้เป็นมีเทน ดังสมการที่ 5

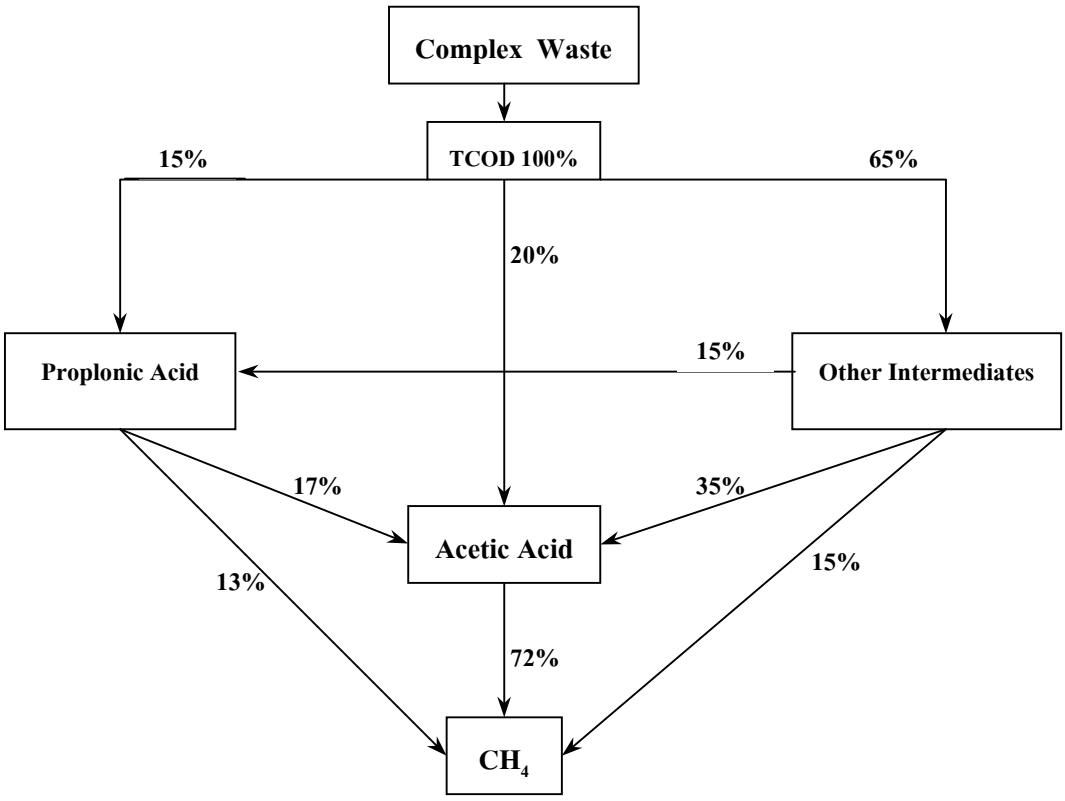
$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad (5)$$

2) Acetotrophic Methanogens อาจเรียกว่า Acetoclastic Bacteris หรือ Acetate-Splitting Bacteria ทำหน้าที่เปลี่ยนกรดอาเซติกให้เป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 6

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \qquad (6)$$

จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนนั้นจะเจริญไม่พร้อมกัน จุลินทรีย์กลุ่มที่ทำการย่อยสลายกรดฟอร์มิคและแอลกอฮอล์นั้น เจริญได้เร็วกว่ากลุ่มอื่นๆ แต่กลุ่มที่สำคัญคือ จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายกรดอาเซติกและกรดโพรไพโอนิค กลุ่มนี้มีการเจริญอย่างช้าๆ ระบบบำบัดจะยังไม่สมบูรณ์จนกว่าทุกกลุ่มของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน มีพร้อมอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นผลให้เมื่อมีการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ (Start-up) ต้องใช้เวลานานจากการอยู่ร่วมกันของจุลินทรีย์สองชนิด คือ ชนิดที่ทำให้เกิดกรดและชนิดที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน ในระบบบำบัดน้ำเสียจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดจึงต้องมีหลายชนิด ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพื่อพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน เมื่อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกรดทำการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นกรดอินทรีย์ชนิดหนึ่งแล้วจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทนก็จะทำการย่อยสลายต่อไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สำหรับก๊าซมีเทนที่จุลินทรีย์ผลิตได้ประมาณ 2 ใน 3 ส่วน ได้มาจากกรดอาเซติกที่แปรเปลี่ยนรูปโดย Acetotrophic Methanogens ส่วนที่เหลือเป็นผลมาจากกระบวนการรีดักชั่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยไฮโดรเจน (Mackie and Bryant, 1981) ซึ่งสอดคล้องกับที่ McCarty (1964a) ได้ศึกษาและพบว่าก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 72 ได้มาจากกรดอาเซติกและอีกร้อยละ 28 ได้มาจากกรดโพรไพโอนิก และกรดระเหยง่ายอื่นๆ ดังภาพประกอบที่ 4



ภาพประกอบ 4 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไร้อากาศ
ที่มา : McCarty, 1964a

ส่วนการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบไร้อากาศในระยะที่ผ่านมารวบรวมไว้แสดงดังตารางที่ 3 โดยพบว่าส่วนใหญ่ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป TCOD ได้มากกว่าร้อยละ 80

ตารางที่ 3 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยวิธีการทางชีวภาพแบบไร้อากาศ

วิธีการบำบัด	ประสิทธิภาพการบำบัด	อ้างอิง
Themophilic Anaerobic Digestion	บำบัด TCOD ได้มากกว่าร้อยละ 90.0 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 15.0 วันหรือมากกว่านี้	Chin and Wong (1983)
Anaerobic Digestion	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 88.0 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 20.0 วัน	Ho and Tan (1983)
Thermophilic Semi-Continuous Anaerobic	บำบัด TCOD ได้มากกว่าร้อยละ 70.0-97.0 ที่ระยะเวลาเก็บกักโดยเฉลี่ย 1.3 วัน	Cail and Barford (1985)

ตารางที่ 3 (ต่อ)

วิธีการบำบัด	ประสิทธิภาพการบำบัด	อ้างอิง
Mesophilic Semi-Continuous Anaerobic	บำบัด SCOD ได้มากกว่าร้อยละ 75.0 ที่ระยะเวลาเก็บกักโดยเฉลี่ย 5.6 วัน	Cail and Barford (1985)
Two-Stage Anaerobic Pond และ Facltative Pond	ระบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอนบำบัด BOD_5 ได้ร้อยละ 98.9 ที่ระยะเวลาเก็บกักรวม 49.0 วัน ส่วนระบบแบบกึ่งไร้อากาศ บำบัด BOD_5 ได้ร้อยละ 99.6 และ TCOD ได้ร้อยละ 98.3 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 16.0 วัน	Chooi (1985)
Themophilic Semi-Continuous Anaerobic	บำบัด TCOD ได้มากกว่าร้อยละ 85.0 ที่ระยะเวลาเก็บกักโดยเฉลี่ย 4.3 วัน	Borja and Banks (1993)
Anaerobic Filter และ Mesophilic Anaerobic Fiuidized Bed Reactor	ระบบถังรองไร้อากาศ บำบัด TCOD ได้มากกว่าร้อยละ 90.0 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 0.3 วัน ส่วนถังแบบตัวกลางแขวนลอย บำบัด TCOD ได้มากกว่าร้อยละ 90.0 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 1.5-4.5 วัน	Borja and Banks (1995)
Two-Stage UASB	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 91.7 ที่ระยะเวลาเก็บกักรวม 0.9 วัน	Borja *et al*.(1996)
Anaerobic Baffled Reactors ที่มีการรีไซเคิลน้ำทิ้ง	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 86.0 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 2.5 วัน	Setiadi *et al* .(1996)
ระบบ Anaerobic 3 สภาวะ คือ Anaerobic Pond, Anaerobic Digestion และ Anaerobic Digestion ที่มีการรีไซเคิลสลัดจ์	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 94.5 - 96.9 ที่ระยะเวลาเก็บกักหลังจาก 10.0 วัน	Ugoji (1997)
Membrane Anaerobic System	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 91.7-94.2 ที่ระยะเวลาเก็บกักโดยเฉลี่ย 3.0 วัน	Fakhru and Noor (1999)
A Modified Anaerobic baffled Reactors	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 87.4-95.3 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3.0-10.0 วัน	Faisal and Unno (2001)
Themophilic and Mesophilic Anaerobic Digestion	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 81.1 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.0 วัน	Pechsuth *et al.* (2001)

1.2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ASBR

ระบบบำบัดน้ำเสีย ASBR (Anaerobic Sequencing Batch Reactor) เป็นระบบที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกับระบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) ที่มีลักษณะเป็นถังเดียวมีการเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศ การย่อยสลายและตกตะกอนภายในถังเดียวกัน ขั้นตอนโดยส่วนใหญ่ของระบบ ASBR จะคล้ายกันกับระบบ SBR แต่จะต่างกันที่เป็นการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ที่สามารถสร้างจุลินทรีย์ชนิดเม็ดได้ (Granular Biomass) เป็นระบบแบบตะกอนแขวนลอย (Suspended Growth) ที่มีการเดินระบบในรูปแบบของ Batch Fed System ซึ่งสามารถสร้างสภาวะที่เอื้ออำนวยในการตกตะกอนชีวภาพในถังปฏิกิริยา ถือเป็นกระบวนการคัดเลือกและพัฒนาเม็ดจุลินทรีย์ให้เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาที่ทำให้สามารถเดินระบบในระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ที่สั้น และมีระยะการกักเก็บตะกอน (SRT) ที่ยาว

1.2.3.1 กลไกการทำงานของระบบ ASBR

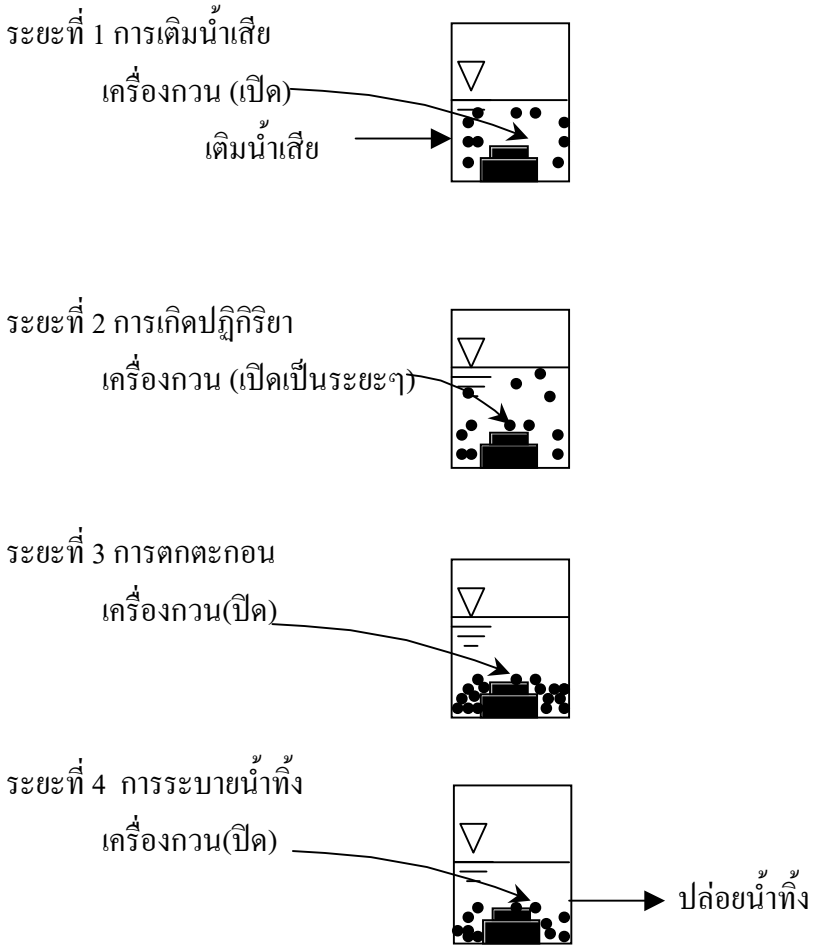
Tchobanoglous, *et al*. (2003) กล่าวถึงการบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพของระบบ ASBR ซึ่งในถังบำบัดจะเดินระบบแบ่งเป็น 4 ระยะ โดยแต่ละช่วงเวลาจะมีชื่อเรียกเฉพาะตามหน้าที่เริ่มต้นของช่วงเวลา ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ (รายละเอียดแสดงดังภาพประกอบที่ 5)

1) ระยะการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบ (Substrate Feed Phase) เป็นระยะที่มีการเติมน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยา ซึ่งภายในถังปฏิกิริยาจะมีน้ำตะกอน (Mixed Liquor) จากวัฏจักรก่อนเหลืออยู่

2) ระยะการเกิดปฏิกิริยา (React Phase) เป็นระยะที่ระบบจะทำงานภายใต้สภาวะที่สัดส่วนของ F/M ที่สูงและมีการกวนเกิดขึ้นเป็นระยะๆ เพื่อทำให้การสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์และมวลชีวภาพเป็นไปอย่างทั่วถึง จึงส่งผลให้อัตราการย่อยสลายสารมลพิษและการผลิตก๊าซอย่างรวดเร็ว ในตอนปลายของระยะนี้สัดส่วนของ F/M จะต่ำลง รวมถึงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจะลดลงซึ่งสภาวะนี้จะเอื้ออำนวยให้มวลชีวภาพในถังปฏิกิริยาเกิดการตกตะกอนและแยกน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วได้ง่าย

3) ระยะการตกตะกอนของมวลชีวภาพ (Quiescent Settle Phase) เป็นระยะของการแยกตัวตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยอุปกรณ์ในการกวนจะต้องหยุดการทำงาน ระยะนี้ต้องไม่นานเกินไป ส่วนมากใช้เวลาไม่เกิน 1 ชม.

4) ระยะการระบายน้ำทิ้ง (Decant Phase) เป็นระยะที่มีการปล่อยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกิริยา ระยะนี้ต้องใช้เวลาไม่นานเกินไปและจะต้องไม่มีตะกอนหลุดออกจากระบบ



ภาพประกอบ 5 กลไกการทำงานของระบบ ASBR

ที่มา : ดัดแปลงจาก Tchobanoglous *et al.,* 2003

1.2.3.2 สภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการทำงานของระบบไร้อากาศแบบ ASBR

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจำเป็นต้องมีสภาวะแวดล้อมภายในระบบที่เหมาะสมกับขั้นตอนของปฏิกิริยาชีวเคมีแต่ละขั้นตอน คือ ขั้นตอนการผลิตกรดและขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน จึงจะส่งผลให้ปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการทำงานของระบบไร้อากาศแบบ ASBR มีดังนี้

ก) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปความเข้มข้นของน้ำเสียแสดงอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำเสียและค่าที่นิยมใช้ คือ Total Chemical Oxygen Demand (TCOD) และถ้าความเข้มข้นของสารอินทรีย์มีมากทำให้อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูงจะทำให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีลักษณะการเจริญเติบโตกระจัดกระจายไม่มีการรวมตัวกันเป็นฟล็อค (Floc) เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำขุ่น และมีค่าสารอินทรีย์เหลืออยู่สูง หรือถ้าสารอินทรีย์น้อยทำให้อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้น้อย แต่การตกตะกอนจะเกิดขึ้นได้เร็ว ซึ่งมีผลทำให้ตะกอนเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนได้ไม่ดี ทำให้น้ำมีความขุ่น (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

ข) อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม เช่นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ที่นอกเหนือจากสารอาหารต่างๆ ที่นำมาใช้เป็นพลังงาน การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อค (Floc) เติบโตได้ไม่ดีจนทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างเส้นใยเจริญเติบโตได้มากกว่า โดยปกติระบบควรจะมีอัตราส่วนระหว่าง TCOD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 (McCarty, 1964b)

Speece and McCarty (1964) รายงานว่า จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนต้องการธาตุไนโตรเจนประมาณ 0.106 เท่าของน้ำหนักเซลล์และต้องการธาตุฟอสฟอรัสประมาณ 0.143 เท่าของความต้องการธาตุไนโตรเจนและ Lettinga, *et al.* (1980) พบว่า การเติมธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเป็นอาหารเสริมอย่างหนึ่งให้แก่ระบบบำบัดน้ำเสีย UASB จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบสูงขึ้น

ค) อุณหภูมิ

เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศต้องใช้จุลินทรีย์ผลิตกรดและผลิตก๊าซมีเทนหลายชนิดทำปฏิกิริยาชีวเคมีหลายปฏิกิริยาซึ่งมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างใกล้ชิด ด้วยเหตุนี้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่กี่องศาอาจทำให้เสียสมดุลย์ระหว่างจุลินทรีย์ประเภทต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันอันอาจทำให้การทำงานของระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจึงถือว่าเป็นเรื่องสำคัญมากและสำคัญยิ่งกว่าการพยายามรักษาระดับอุณหภูมิที่จะทำให้ได้อัตราเร็วของปฏิกิริยาสูงสุดเสียอีก (MetCalf&Eddy, Inc., 2003)

- อิทธิพลของอุณหภูมิต่อถังหมักไร้อากาศ

กรณีน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง อุณหภูมิในการเดินระบบสามารถควบคุมได้โดยการใช้มีเทนเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ส่วนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้มีเทน ไม่เพียงพอต่อการเพิ่มอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ความร้อนสูงสุดที่ได้รับจากการเผาไหม้มีเทนจากระบบถังหมักไร้อากาศ ที่มี TCOD 500 มก./ล. (ค่าทั่วไปของน้ำเสียชุมชน) เท่ากับ 15 กิโลแคลอรีต่อลิตร ซึ่งเพียงพอที่จะเพิ่มอุณหภูมิได้ 1.5 องศาเซลเซียส ในทางทฤษฎี แต่ค่าสูงสุดนี้จะได้รับจากการแปลงสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นมีเทนอย่างสมบูรณ์ ความร้อนจากมีเทนต้องถูกใช้อย่างเต็มที่ โดยทั่วไปน้ำเสียมักจะถูกบำบัดที่อุณหภูมิขณะนั้นๆของระบบที่ติดตั้งอยู่ (Van *et al*., 1994)

ระบบไร้อากาศก็เช่นเดียวกับกระบวนการทางชีววิทยาอื่นๆ ที่อุณหภูมิจะมีผลต่อกระบวนการหมักอย่างมาก โดยอัตรากระบวนการหมักจะมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิระหว่าง 35 และ 40 องศาเซลเซียส สำหรับช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) และประมาณ 55 องศาเซลเซียส สำหรับช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) ในการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะใช้เพียงช่วงมีโซฟิลิกเท่านั้น จากการศึกษาของ Henzen and Harremoes (1983) ในเรื่องอิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราและขอบเขตของกระบวนการหมัก ได้ทำการคำนวณจากข้อมูลที่มีมาดังภาพประกอบที่ 6 ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิต่ออัตรากระบวนการหมัก สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 ถึง 40 องศาเซลเซียส

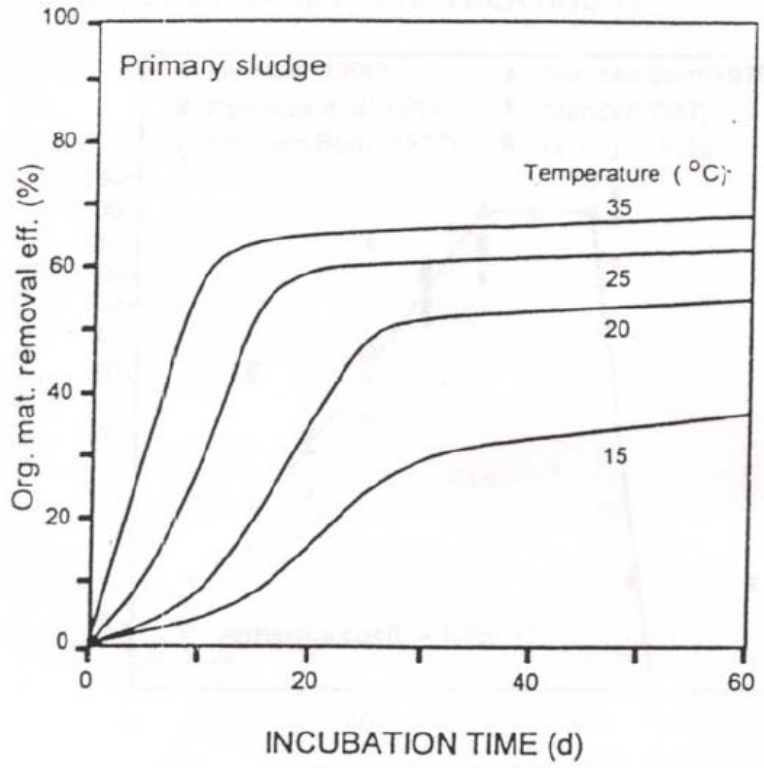
(2) สำหรับอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสม อัตราการหมักจะลดลงโดยประมาณร้อยละ 11 ต่อ 1 องศาเซลเซียสที่ลดลง และสอดคล้องกับสมการของอาเรเนียส (Arhenius equation) ดังสมการที่ 7

$$R_t = R_{30}\,(1.11)^{(t-30)} \qquad (7)$$

โดย t = อุณหภูมิองศาเซลเซียส

R_t , R_{30} = อัตราการหมักที่อุณหภูมิ t และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

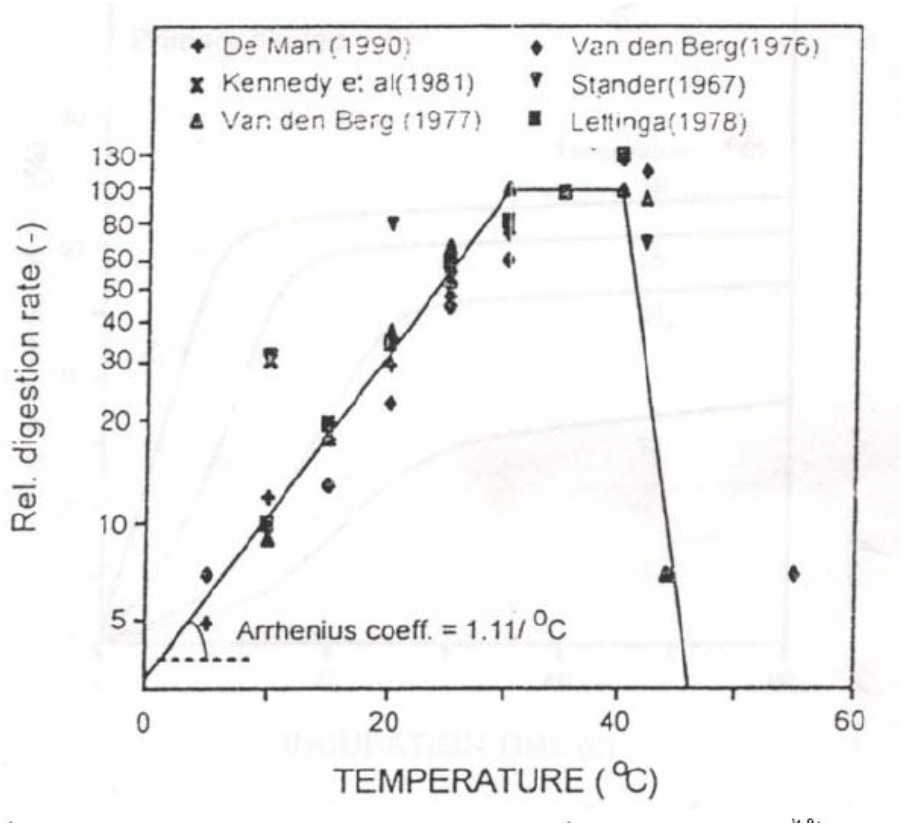
เมื่อใช้สมการอาราเนียส คำนวณที่ 20 และ 10 องศาเซลเซียส อัตราการหมักจะลดลงร้อยละ 35 และ 12 ตามลำดับเมื่อเทียบกับอัตราการหมักที่ 30 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 6 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของระบบไร้อากาศในช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic)

ที่มา : Henzen and Harremoes, 1983

อิทธิพลของอุณหภูมิต่อถังหมักไร้อากาศ ไม่ได้จำกัดอยู่ที่อัตราของกระบวนการหมักแต่มันมีผลต่อขอบเขตการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในน้ำเสียของถังหมักไร้อากาศด้วย O' Rourke (1968) แสดงขอบเขตของการหมักโดยใช้ของเสียที่ตกตะกอนจากถังตะกอนแรก (Primary Sudge) โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการหมักต่อที่อุณหภูมิต่างๆ กัน (ภาพประกอบที่ 7)แผนภาพนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการย่อยสลายของแข็ง การลดลงในสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายสามารถอธิบายได้ว่า เป็นผลมาจากอัตราการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ที่ลดลง ในทางปฏิบัติสิ่งนี้จะเป็นประโยชน์ในการลดสารอินทรีย์แขวนลอยจากน้ำเสียที่อุณหภูมิต่ำเพราะเมื่อ SS ถูกย่อยสลายได้น้อยลง จะถูกจับตัวอยู่ในชั้นสลัดจ์ในระบบบำบัดซึ่งสามารถบำบัดได้ในภายหลัง โดยการปล่อยออกมาเป็นสลัดจ์ส่วนเกินเพื่อนำไปบำบัดต่อไป โดยที่อัตราการย่อยสลายต่างๆ พบว่าอากาศแบบร้อนชื้นเหมาะสมที่จะนำไปใช้ที่สุด (อุณหภูมิน้ำเสียมากกว่า 20 องศาเซลเซียส) ส่วนในเขตอบอุ่น (อุณหภูมิมากกว่า 15 องศาเซลเซียส) ยังนับว่าน่าสนใจแต่อาจต้องมีการแปลงความร้อน ส่วนที่อากาศหนาวเย็น (อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส) ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เพราะอาจต้องสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มความร้อนให้กับระบบ



ภาพประกอบ 7 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการบำบัดสารอินทรีย์ในระบบไร้อากาศของสลัดจ์ปฐมภูมิ (Primary sludge)

ที่มา : O'Rourke, 1968

- อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์

ธีระ เกรอต (2539) แบ่งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ ที่แตกต่างกันซึ่งแบ่งได้เป็น 3 พวก คือ

1) Psychrophilic หมายถึง จุลินทรีย์ที่ชอบความเย็น เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ -10–30 องศาเซลเซียส และเจริญรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 12-18 องศาเซลเซียส (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524) แต่จุลินทรีย์พวกนี้จะไม่ทนความร้อน เช่น *Listeria monocytogenes* ซึ่งอุณหภูมิในช่วงนี้จะเหมาะสมกับเขตที่มีภูมิอากาศหนาวเย็น

ระบบแบบไร้อากาศสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิต่ำสุด 10 องศาเซลเซียส แต่สำหรับในโรงงานจริงแล้วสามารถดำเนินงานได้จริงต่ำสุดที่ 20 องศาเซลเซียส (Droste, 1997) และมีรายงานว่าที่อุณหภูมิต่ำจุลินทรีย์มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำและต้องการระยะเวลาการคงอยู่ของตะกอนภายในถังปฏิกิริยามากกว่าที่อุณหภูมิสูงถึง 1.9 เท่า (Bryant, 1979)

Banik and Dague (1997) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ที่เป็นน้ำเสียจากการผลิตนมผง โดยระบบ ASBR ในช่วง Psychrophilic ทดลองใช้ถังปฏิกิริยาขนาด 6 ลิตร ควบคุมอุณหภูมิเป็นระยะต่างๆ ดังนี้ 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0, 17.5, 20.0 และ 25.0 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 6, 8, 12, 16 และ 24 ชม. พบว่าที่อุณหภูมิ 20.0 และ 25.0 องศาเซลเซียส สามารถบำบัด BOD_5 และ TCODได้มากกว่าร้อยละ 90.0 ส่วนที่อุณหภูมิ 5.0 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเก็บกัก 6 ชม. สามารถที่จะบำบัด BOD_5 และ TCOD ได้ร้อยละ 62.0 และ 75.0 ตามลำดับ

Kripa and Thiruvenkatachari (1998) ศึกษาการเริ่มต้นและการดำเนินการระบบ UASB ที่อุณหภูมิต่ำ (20 องศาเซลเซียส) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ระบบมีขนาด 8 ลิตร พบว่าสามารถบำบัด TCOD และ SCOD ได้ร้อยละ 60-75 และ 70-85 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชม. และระบบบำบัดซัลเฟตได้ร้อยละ 70-80

2) Mesophilic หมายถึง จุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 20-50 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิ Mesophilic จะเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 30-38 องศาเซลเซียส (เสริมพล รัตสุขและไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524) ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอากาศค่อนข้างร้อนเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้มาก

Buhr and Andrew (1977) และ Gaudy (1975) ได้อธิบายว่าการหมักที่อุณหภูมิช่วง Mesophilic มีประโยชน์ ดังนี้

1) จุลินทรีย์สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงได้ดี

2) ประหยัดค่าใช้จ่ายและลดพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิ เพราะสามารถเดินระบบได้ที่อุณหภูมิห้อง

Lomas *et al.* (1999) ศึกษาระบบถังหมักไร้อากาศแบบ fixed film ในระดับ pilot scale ซึ่งบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในช่วง Mesophilic (35 องศาเซลเซียส) โดยทำการสูบน้ำเสียเข้าทางด้านล่าง ถังปฏิกิริยามีปริมาตรใช้งานขนาด 1.32 ลบ.ม. ผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถบำบัด TCOD และ Volatile Solid ได้ร้อยละ 60 และ 50 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาเก็บกักมากกว่า 3 วัน ส่วน Leal *et al.* (1998) ศึกษาระบบถังกรองไร้อากาศในช่วง Mesophilic (อุณหภูมิห้อง) ซึ่งบำบัดน้ำเสียโรงงานเบียร์ ถังปฏิกิริยามีปริมาตรใช้งานขนาด 5.80 ลบ.ม. ผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถบำบัด TCOD ได้ร้อยละ 96 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก./ลบ.ม./วัน

3) Themophilic หมายถึงจุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 35–75 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิ Themophilic จะเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 48–57 องศาเซลเซียส (เสริมพล รัตสุขและไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524) การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยทั่วไปที่อุณหภูมิสูง เช่น 55 องศาเซลเซียส จะดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เช่น 35 องศาเซลเซียส ถึง 1.5 เท่า (มารศรี เรืองจิตชัชวาลย์, 2541)

Forday and Greenfied (1982) และ Buhr and Andrew (1977) ได้อธิบายว่าการหมักช่วง Themophilic มีประโยชน์หลายประการ ดังนี้

1) กิจกรรมเมตาโบลิซึมของจุลินทรีย์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
2) ถังหมักสามารถรองรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง (OLR)
3) ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ของถังหมักในการย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าน้อย
4) ปริมาตรถังหมักสามารถใช้ถังเล็กๆได้
5) ลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อโรคได้สูง
6) การกวนผสมทำได้ง่ายเพราะที่อุณหภูมิสูงทำให้ความหนืดของของเหลวลดลง

Garber, *et al*. (1975) ได้อธิบายว่าการหมักที่ช่วง Themophilic มีข้อเสีย ดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบค่อนข้างสูงและสิ้นเปลืองพลังงาน
2) จุลินทรีย์มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ไม่ดี

สำหรับการศึกษาการบำบัดน้ำเสียในช่วง Themophilic ส่วนใหญ่จะมีการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพราะน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีอุณหภูมิในช่วง 75–90 องศาเซลเซียส (สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540) ดังเช่น Chin and Wong (1983) ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ถังหมักไร้อากาศในช่วง Themophilic (55±1 องศาเซลเซียส) ในระดับห้องปฏิบัติการ ภายในถังจะมีการกวนผสมเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ผลการทดลองพบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 15.0 วันหรือมากกว่า สามารถที่จะลด TCOD ได้มากกว่าร้อยละ 90.0 ส่วนการศึกษาของ Pechsuth *et al*., (2001) พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยระบบถังหมักไร้อากาศในช่วง Themophilic สามารถที่จะลด TCOD ได้มากกว่าร้อยละ 81.1 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.0 วัน ส่วนการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอื่นๆ เช่น Rintala and Lepisto (1997) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปผักตามฤดูกาล โดยใช้ถังหมัก UASB ในช่วง Themophilic (55 องศาเซลเซียส) ในระดับ pilot scale ถังปฏิกิริยามีปริมาตรใช้งานขนาด 0.7 ลบ.ม. ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถบำบัด TCOD ได้มากกว่าร้อยละ 80.0 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4.0 กก./ลบ.ม./วัน ส่วน Harada *et al.*, (1996) ศึกษาการบำบัด

น้ำเสียจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มที่เป็นแอลกอฮอล์ โดยใช้ถังหมัก UASB ในช่วง Themophilic (55 องศาเซลเซียส) ถังปฏิกิริยามีปริมาตรใช้งานขนาด 140.0 ลิตร ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถบำบัด TCOD และ BOD_5ได้ร้อยละ 39.0-67.0 และมากกว่า 80.0 ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 19.0 กก./ลบ.ม./วัน

สำหรับการบำบัดน้ำเสียภายใต้การทำงานของอุณหภูมิ 2 ช่วง คือ Themophilic และ Mesophilic เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานต่างๆ จากการศึกษาของ Dinsdale *et al*. (1997a) เปรียบเทียบการทำงานของจุลินทรีย์ในช่วง Mesophilic และ Themophilic ในการบำบัดน้ำเสียจากผลิตภัณฑ์กาแฟ โดยใช้ระบบ UASB บำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าที่ช่วง Mesophilic สามารถที่จะบำบัด TCOD ได้ร้อยละ 70.0 ส่วนช่วง Themophilic สามารถที่จะบำบัด TCOD ได้ร้อยละ 78.0 ส่วน Fang and Wai-Chung Chung (2001) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตอาหารสัตว์ในช่วง Mesophilic และ Themophilic โดยใช้ระบบ UASB บำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการเก็บกัก 9.0 ชม. พบว่าช่วง Mesophilic สามารถที่จะบำบัด TCOD ได้ร้อยละ 83.5-85.1 ส่วนช่วง Themophilic สามารถที่จะบำบัด TCOD ได้ร้อยละ 68.5-82.7 ซึ่งต่ำกว่าช่วง Mesophilic

ง) การกวน

ระบบจะต้องมีการกวนที่เพียงพอและทั่วถึงทั้งระบบเพื่อป้องกันมิให้จุลินทรีย์ตกตะกอนอยู่ด้านล่างถังและเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่สูบเข้ามาบำบัดและให้จุลินทรีย์จับตัวกันเป็นฟล็อคที่ดี การกวนผสมภายในถังปฏิกิริยาสามารถทำได้โดยการกวนโดยใช้ใบพัดหรือการพ่นก๊าซและการวนตะกอน สำหรับการกวนผสมของสารอาหารภายในถังปฏิกิริยาไม่ทั่วถึง ทำให้บางจุดในถังโดยเฉพาะทางเข้าของสารอาหารมีการสะสมของสารอาหารมากเกินไปและการกระจายจุลินทรีย์ภายในถังไม่ทั่วถึง เกิดการสะสมของสารพิษทำให้ pH ลดต่ำลงจนอาจจะมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์และประสิทธิภาพการผลิตมีเทนลดลง ในทางตรงกันข้ามการกวนตะกอนทำให้สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยช่วยให้อาหารมีการกระจายอย่างทั่วถึงยิ่งขึ้น จุลินทรีย์ที่อยู่ในตำแหน่งห่างจากทางเข้าของสารอาหารมีโอกาสสัมผัสกับสารอาหารมากขึ้น ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้มากขึ้นและยังสามารถรักษาระดับปริมาณจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในของเหลวได้ดี ถังปฏิกิริยาจึงสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงๆ นอกจากนี้ยังช่วยลดความเข้มข้นของสารอาหารให้มีค่าลดลงจนไม่ก่อให้เกิดปัญหาความเป็นพิษให้กับระบบ (ชินพงศ์ วังใน, 2538) อีกทั้งการรวมตะกอนในถังช่วยลดความต้องการสภาพด่างต่อ TCOD ในน้ำเสียเข้าระบบเพื่อควบคุม pH ได้อีกด้วย (Sam-Soon, *et al*., 1991 และ Chian and DeWalle, 1977)

จ) พีเอช

pH ของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศควรจะอยู่ในช่วง 6.5-7.5 (Bryant, 1979) เพราะว่าถ้า pH มีค่าต่ำกว่า 6.6 จะทำให้เกิดก๊าซ CO_2 มากกว่าปกติ และจะเกิดกลิ่นเหม็นพร้อมกับมีฝ้าตะกอนลอยขึ้นมามากมาย และเมื่อ pH มีค่าสูงกว่า 7.5-8.0 ก็จะทำให้จุลินทรีย์ประเภทที่ช่วยผลิตก๊าซมีเทนมีน้อยลงและเชื่องช้า และถ้า pH มีค่าสูงถึง 9.0 ระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์จะไม่ทำงาน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

ถ้าไม่มีการควบคุม pH จะมีผลต่อการสะสมกรดระเหยง่ายในถังปฏิกิริยาซึ่งจะทำให้ pH ในถังปฏิกิริยาลดต่ำเกินไป การควบคุม pH ในถังหมักไร้อากาศทำได้โดยการควบคุมความเข้มข้นของสภาพด่าง (Alkalinity) และกรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid)

ฉ) สภาพด่าง

เป็นค่าที่แสดงความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตอน (Proton) (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2518) มีหน่วยเป็น มก./ล. ของ $CaCO_3$ ค่าสภาพด่างนี้เป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของระบบ ถ้าระบบมีค่านี้สูงแสดงว่าระบบมีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์สูง สามารถรักษา pH ของระบบให้คงตัวอยู่ได้นาน ไม่เกิดการแปรปรวนของ pH ได้ง่ายเมื่อมีการเพิ่มปริมาณกรดในระบบ สภาพด่างมีผลทางอ้อมต่อการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบได้เร็ว เพราะถ้าเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ เช่น กลูโคส จุลินทรีย์ที่ใช้กลูโคสซึ่งมีอัตราการเจริญที่เร็วกว่าจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทน จะใช้กลูโคสอย่างรวดเร็วเกิดเป็นกรดอินทรีย์จำนวนมาก ถ้าระบบมีสภาพด่างต่ำจะทำให้ pH ของระบบลดลง จุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนไม่สามารถทำงานได้ (พรพรรณ พาณิชนำสิน, 2540) ซึ่งถ้า pH มีค่าต่ำ กรดระเหยง่ายจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ (Capri and Marais, 1975)

สภาพด่างที่เหมาะสมสำหรับระบบไร้อากาศควรอยู่ระหว่าง 1,000-5,000 มก./ล. ของ $CaCO_3$ (MetCalf & Eddy, Inc., 1982) ซึ่งค่าอนุโลมให้มีสภาพด่างต่ำสุดคือ 100 มก./ล. ของ $CaCO_3$ (Halbert, 1981) ปัจจัยที่สำคัญกว่าระดับสภาพด่างก็คือ อัตราส่วนของกรดระเหยง่าย (มก./ล. ของ CH_3COOH) ต่อระดับของสภาพด่าง (มก./ล. ของ $CaCO_3$) ตราบใดที่อัตราส่วนนี้น้อยกว่า 0.4 จัดว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในระดับที่ pH จะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้ามีการเพิ่มขึ้นของกรดระเหยง่ายเพียงเล็กน้อย (เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 2538)

ช) กรดระเหยง่าย

กรดระเหยง่าย หรือ VFA นี้ ได้แก่พวกกรดอาเซติก กรดบิวทีริก กรดโพรพิโอนิก กรดฟอร์มิก เป็นต้น การที่พบกรดพวกนี้ในปริมาณมากมักเป็นสัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของระบบ เนื่องจากกรดเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์สารตัวกลางที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ระบบที่มีการสะสมของกรดระเหยง่าย ในปริมาณที่มาก ช่วงแรกกรดระเหยง่ายจะมีผลทำให้สภาพด่างของระบบลดลง ต่อมาถ้ายังไม่มีการใช้หรือบำบัดกรดระเหยง่าย ให้มีปริมาณน้อยลงอีก pH ของระบบก็จะลดต่ำลง และถ้า pH มีค่าลดต่ำลงกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ซึ่งปริมาณกรดโพรพิโอนิกที่ใช้เป็นตัวทำนายการล้มเหลวของระบบนั้นถ้ามากกว่า 3 ก./ล. บ่งชี้ถึงสภาพระบบที่ต้องดูแลอย่างใกล้ชิด (Asinari di San Marzano, *et al*., 1981) ส่วนกรด iso-valeric และ กรด iso-butyric ถ้ามีในปริมาณน้อยกว่า 5 มก./ล. แสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะปกติ แต่ถ้ามีประมาณ 5-15 มก./ล. แสดงว่าระบบเริ่มมีปัญหาและถ้ามากกว่า 15 มก./ล. แสดงว่าระบบล้มเหลว (Hill and Bolte, 1989) โดยปกติระดับกรดระเหยง่ายที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 50-500 มก./ล.ของ CH_3COOH ซึ่งค่าสูงสุดที่ยอมให้มีในระบบเท่ากับ 2,000 มก./ล. ของ CH_3COOH (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543 และ Halbert, 1981)

ซ) ความเป็นพิษ

สารที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ เช่น กรดระเหยง่าย แอมโมเนีย ซัลไฟด์ และโลหะหนัก เป็นต้น จุลินทรีย์จะสะสมไว้ภายในเซลล์จนก่อให้เกิดความเป็นพิษและตายในที่สุด

McCarty (1964c) รายงานว่า สารพิษบางชนิดหากมีปริมาณความเข้มข้นที่พอเหมาะจะช่วยกระตุ้นจุลินทรีย์ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ สารพิษเหล่านี้ได้แก่ กรดระเหยง่าย เกลืออนินทรีย์โลหะหนัก แอมโมเนียมซัลไฟด์ เป็นต้น ระดับความเป็นพิษของสารที่กล่าวแล้วข้างต้นจะมากหรือน้อยจะแตกต่างกันออกไป สารพิษบางชนิด ได้แก่อิออนของไซยาไนด์ และสารประกอบพวกคลอรีน ได้แก่ CCl_4, $CHCl_3$ และ CH_2Cl_2 สารพิษเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ตายได้ ถึงแม้จะมีปริมาณความเข้มข้นเพียงเล็กน้อยก็ตาม

นอกจากนี้ปริมาณซัลเฟตก็ยังมีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในกลุ่ม methanogen เพราะทำให้มีการแข่งขันการใช้อาหารระหว่างจุลินทรีย์พวก sulfate-reducing bacteria และ methanogen ถ้ามีซัลเฟตสูงๆ ก็จะไปกระตุ้นการเกิดกิจกรรมของพวก sulfate-reducing bacteria และจะผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมา ส่งผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์พวก methanogen ทำให้การผลิตก๊าซมีเทนในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศลดลง (Gadre, 1989 และ Hilton and Archer, 1988) ซึ่งความเข้มข้นของซัลเฟตที่มีความเป็นพิษกับระบบอยู่ในช่วง 200- 1,500 มก./ล. (Sastry and Vickineswaty, 1995)

1.2.4 ข้อดีและข้อเสียของระบบ ASBR

1.2.4.1 ข้อดีของระบบ ASBR

1) เป็นระบบที่ก่อสร้างได้ง่าย ไม่ซับซ้อนเนื่องจากเป็นถังใบเดียวที่มีการสูบน้ำเข้า -ออก การทำปฏิกิริยา การตกตะกอนและการกวนภายในถังใบเดียวกัน
2) ระบบมีความยืดหยุ่นในการบำบัดและสามารถที่จะปรับการทำงานให้เหมาะสมกับน้ำเสียที่เข้าสู่ในระบบได้
3) สามารถสร้างสภาวะที่เอื้ออำนวยในการตกตะกอนชีวภาพในถังปฏิกิริยาได้ดี
4) มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ที่สั้น และมีการกักเก็บตะกอน (SRT) ที่ยาว
5) มีมวลชีวภาพที่ว่องไวในการทำงาน (Active Biomass)
6) มีปริมาณตะกอนที่ต้องนำไปบำบัดหรือกำจัดน้อย

1.2.4.2 ข้อเสียของระบบ ASBR

1) ในช่วงของการเริ่มต้นระบบ (Start-up) ระบบต้องสร้างให้เกิดตะกอนแบบเม็ดตะกอน (Granular Sludge) จึงจะใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2) ต้องมีการควบคุมระดับ pH ในระบบให้ดี คือควบคุมปริมาณสภาพด่างให้เพียงพอ (Alkalinity)
3) คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดส่วนมากยังไม่ได้มาตรฐานจำเป็นต้องมีการบำบัดด้วยวิธีอื่นๆ ต่อ ก่อนปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

1.2.5 การบำบัดน้ำเสียโดยระบบ ASBR

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบ ASBR ในต่างประเทศนั้นมีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย ส่วนในประเทศไทยนั้นยังมีการศึกษาไม่แพร่หลาย โดยหน่วยงานวิจัยแรกที่เริ่มศึกษาวิจัยถึงระบบบำบัด ASBR คือ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาถึงปัจจุบัน สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ รวบรวมไว้แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆด้วยระบบ ASBR

น้ำเสียที่ใช้บำบัด	ประสิทธิภาพการบำบัด	อ้างอิง
น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นต่ำ	บำบัด SCOD ได้ร้อยละ 80.0-90.0 ที่อุณหภูมิ 35.0 องศาเซลเซียส และระยะเวลาเก็บกัก 48.0 ชม.	Ndon and Dague (1997)

ตารางที่ 4 (ต่อ)

น้ำเสียที่ใช้บำบัด	ประสิทธิภาพการบำบัด	อ้างอิง
น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสูง	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 90.0-95.0 ที่อุณหภูมิ 35.0 องศาเซลเซียส และระยะเวลาเก็บกัก 48 ชม.	Welper *et al.* (1997)
น้ำชะมูลฝอย	บำบัด TOC ได้ร้อยละ 73.9 ที่อุณหภูมิ 35.0 องศาเซลเซียสและ ระยะเวลาเก็บกัก 1.5 วัน	Timur and Ozturk (1999)
น้ำเสียผลิตภัณฑ์นม	เป็นระบบแบบสองขั้นตอน ซึ่งบำบัด VS ได้ร้อยละ 22.0 อุณหภูมิถังแรกช่วง Thermophilic ถังที่สองช่วง Mesophilic ที่ระยะเวลาเก็บกัก 6.0 วัน	Dugba *et al.* (1999)
น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 84.2, 88.7 และ 90.8 ที่อุณหภูมิ 20.0 25.0 และ 30.0 องศาเซลเซียส ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4.9, 2.9 และ 2.8 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ	Masse and Masse/ (2000)
น้ำเสียผลิตภัณฑ์นม	เป็นระบบแบบสองขั้นตอน ซึ่งบำบัด VS ได้ร้อยละ 38.9 อุณหภูมิถังแรกช่วง Thermophilic ถังที่สองช่วง Mesophilic ที่ระยะเวลาเก็บกัก 4.0 วัน	Zhang *et al.* (2000)
น้ำเสียจากชุมชน	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 88.0 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.0 ชม.	Bodik *et al.* (2002)
น้ำเสียฟาร์มสุกร	บำบัด SCOD ได้ร้อยละ 94.2, 78.8 และ 60.4 ที่อุณหภูมิ 20.0, 15.0 และ 10.0 องศาเซลเซียส ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.2, 1.2 และ 1.1 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ	Masse *et al.* (2003)
น้ำเสียจากการฟอกย้อม	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 82.8 และสีได้ร้อยละ 34.5 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 60.0 วัน	อนุสิทธิ์ ยมะสมิต (2543)

1.2.6 กระบวนการของระบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอน

ดังได้กล่าวมาแล้ว ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีอยู่ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ย่อยสลายแล้วทำให้ได้กรด และขั้นตอนการย่อยสลายแล้วทำให้ได้ก๊าซมีเทน อัตราการย่อยสลายในขั้นที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนจะช้ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดกรด ดังนั้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยทั่วไปซึ่งเป็นแบบขั้นตอนเดียวหรือใช้ถังปฏิกิริยาเพียงถังเดียว ปฏิกิริยาชีวเคมีทั้ง 2 ขั้นตอนจะเกิดขึ้นในถัง

ปฏิกิริยาพร้อมๆ กัน ปฏิกิริยาชีวเคมีของการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ จึงถูกควบคุมด้วยขั้นตอนย่อยสลายที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนโดยในทางปฏิบัติที่กระทำกันคือการควบคุมสภาวะให้เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน โดยการควบคุมอัตราการป้อนน้ำเสียไม่ให้สูงเกินไป เพื่อให้จุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนสามารถใช้กรดอินทรีย์ที่เกิดจากขั้นตอนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดกรดได้ทัน เพราะถ้าอัตราการป้อนน้ำเสียสูงเกินไป จะทำให้กรดอินทรีย์ซึ่งเป็นผลผลิตจากขั้นตอนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดกรดเกิดขึ้นมากเกินที่จะนำไปใช้ได้ทัน การสะสมของกรดนี้ก็จะไประงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน ทำให้ไม่สามารถเกิดขั้นตอนการย่อยสลายในขั้นตอนที่สองได้ เรียกว่า เกิด Stuck Digestion ขึ้นทำให้การทำงานของระบบล้มเหลวในที่สุด

ดังนั้นการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาการทำงานของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดและผลิตก๊าซมีเทนได้ เพราะเป็นการแยกการทำงานของจุลินทรีย์เป็น 2 ถัง โดยถังแรกจะถูกควบคุมให้เกิดกระบวนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดกรด ซึ่งจะเรียกถังปฏิกิริยานี้ว่า ถังปฏิกิริยาสร้างกรด และถังที่สองจะควบคุมให้เกิดกระบวนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดมีเทน ซึ่งจะเรียกถังปฏิกิริยานี้ว่า ถังปฏิกิริยาสร้างมีเทน ซึ่งจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างมีเทนในถังปฏิกิริยาจะถูกแยกออกจากกัน ทำให้สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์แต่ละชนิดได้ ในการศึกษาเท่าที่ผ่านมาพบว่าไม่สามารถที่จะแยกจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดออกจากกันได้อย่างเด็ดขาด เพราะจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนจะใช้ก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาสร้างกรดมาเป็นสารตั้งต้น

Malina and Pohland (1992) ได้ศึกษาพบว่า ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่เหมาะสมควรจะเป็นถังปฏิกิริยาแบบการกวนสมบูรณ์ ส่วนเวลาเก็บกักที่ต้องการ ขึ้นอยู่กับธรรมชาติทางโครงสร้างที่ซับซ้อนของสารอินทรีย์ อุณหภูมิ และความต้องการระดับของการสร้างกรด ซึ่งปกติจะอยู่ในช่วง 6-24 ชม. จากการศึกษาของ Zeotemeyer, *et al.* (1982a, 1982b) พบว่า pH ที่ทำให้กระบวนการสร้างกรดสามารถทำงานได้ดีที่สุดอยู่ในช่วง 5.8-6.2 และในช่วงอุณหภูมิที่ 25-55 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่ดีที่สุดต่อการทำงานของจุลินทรีย์สร้างกรดคือ 37 องศาเซลเซียส สำหรับช่วง Mesophilic และ 52 องศาเซลเซียส สำหรับช่วง Thermophilic

โดยในการบำบัดน้ำเสียแบบนี้ น้ำเสียจะถูกป้อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยาสร้างกรดก่อน จากนั้นน้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างกรด จะเข้าสู่ถังปฏิกิริยาสร้างมีเทน เพื่อบำบัดสารอินทรีย์และผลิตก๊าซมีเทนต่อไป โดยปกติถังปฏิกิริยาสร้างมีเทนจะมีขนาดใหญ่กว่าถังปฏิกิริยาสร้างกรด เนื่องจากปฏิกิริยาชีวเคมีในขั้นตอนย่อยสลายที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนจะช้ากว่าปฏิกิริยาชีวเคมีในขั้นตอนย่อยสลายที่ทำให้เกิดกรด

1.2.6.1 ข้อดีของระบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอน

Tanaka and Matsuo (1985) และ Ghosh, *et al*. (1975) ได้อธิบายข้อดีของระบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอนไว้ดังนี้

1) ระบบสามารถปรับสภาพภายในถังหมักให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์แต่ละกลุ่ม ซึ่งส่งผลดีต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์
2) สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบซับซ้อน ย่อยสลายยากได้เร็ว เช่น พวกไขมัน โปรตีน เป็นต้น
3) มีผลผลิตปริมาณก๊าซมีเทนมากขึ้น
4) ช่วยลดความเป็นพิษของสารยับยั้งในปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทน

1.2.6.2 ข้อเสียของระบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอน

Ghosh, *et al*. (1975) ได้อธิบายข้อเสียของระบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอนไว้คือ เป็นระบบที่ต้องอาศัยความรู้ความชำนาญในการควบคุมดูแลระบบเป็นอย่างมาก

1.2.7 การบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ ของระบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอน

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอนในระยะที่ผ่านมามีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไม่แพร่หลายนัก แต่จะมีการบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมแบบอื่นๆ อย่างแพร่หลาย โดยส่วนใหญ่พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป TCOD ได้มากกว่าร้อยละ 80 ดังแสดงตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอน คือถังผลิตกรดและถังผลิตก๊าซ

วิธีการบำบัด	น้ำเสียที่ใช้บำบัด	ประสิทธิภาพการบำบัด	อ้างอิง
ระบบ CSTR ทั้ง 2 ถัง	น้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 85.0 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 1.0 และ 30.0 วัน ของถังผลิตกรดและก๊าซ ตามลำดับ	Wong , *et al* (1985)
ระบบ CSTR และ Anaerobic Filter	น้ำเสียโรงงานผลิตเครื่องดื่ม	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 96.0 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 96.0 ชม.	Ghosh, *et al.* (1985)

ตารางที่ 5 (ต่อ)

วิธีการบำบัด	น้ำเสียที่ใช้บำบัด	ประสิทธิภาพการบำบัด	อ้างอิง
ระบบ CSTR และ Anaerobic Upflow Filter	น้ำเสียโรงงานผลิตภัณฑ์นม	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 92.0 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 1.0 และ 3.4 วัน ของถังผลิตกรดและก๊าซ ตามลำดับ	Tanaka and Matsuo (1985)
ระบบ CSTR และ Anaerobic Upflow Filter	น้ำเสียโรงงานผลิตกาแฟผงสำเร็จรูป	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 78.0 ที่ระยะเวลาเก็บกักรวมทั้งระบบ เท่ากับ 24 .0 ชม.	McDougall. *et all* (1993)
ระบบ CSTR และ Anaerobic Upflow Filter	น้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษ	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 90.0 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5.0 และ 16.0 ชม. ของถังผลิตกรดและก๊าซ ตามลำดับ	Vinas. *et al.* (1993)
ระบบ CSTR และ Anaerobic Fluidized Bed	น้ำเสียโรงงานผลิตน้ำตาล	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 96.0 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3.4 และ 6.8 ชม. ของถังผลิตกรดและก๊าซ ตามลำดับ	Romli. *et al.* (1994)
ระบบ UASB ทั้ง 2 ถัง	น้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 91.7 ที่ระยะเวลาเก็บกักรวม 0.9 วัน	Borja. *et al.* (1996)
ระบบ CSTR และ Anaerobic Upflow Filter	น้ำเสียโรงงานผลิตนม	บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 90.0 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 0.5 และ 1.6 วัน ของถังผลิตกรดและก๊าซ ตามลำดับ	Ince (1998)

1.2.8 เปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอน

เพื่อให้ครอบคลุมประเด็นที่ผู้วิจัยทำการศึกษา จึงได้ทำการการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบหมักแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนในประเด็นต่างๆ ดังนี้

1.2.8.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนที่ทำงานในช่วง Mesophilic ($35^{O}C$)

Ghosh and Henry (1981) ทำการเปรียบเทียบระบบหมักแบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน พบว่าระบบหมักแบบสองขั้นตอนมีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ได้สูงกว่าระยะเวลาเก็บกักต่ำกว่าและน้ำเสียที่เติมเข้าระบบมีความเข้มข้นสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว รายระเอียดแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบการทำงานของถังหมักไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียผลิตเครื่องดื่มในช่วง Mesophilic (35^{O})

รายการ	ถังหมักแบบขั้นตอนเดียว	ถังหมักแบบสองขั้นตอน
อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ (kg. VS/m^3.d)	0.64	4.80
ระยะเวลาเก็บกัก (d)	15.0	7.4
ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซ (m^3/kg of VS destroyed)	0.37	0.37
อัตราการผลิตก๊าซ (Vol/Liquid Vol/d)		
- CH_4	61	63
- H_2	0	3
ประสิทธิภาพการลด VS (%)	72	64
ประสิทธิภาพการลด TCOD (%)	84	96
สัดส่วนของก๊าซมีเทน (%)	76	75

ที่มา : Ghosh and Henry (1981)

1.2.8.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนที่ทำงานในช่วง Thermophilic (55^{O}C)

สุเมธ ชวเดช (2540) ทำการศึกษาระบบหมักแบบสองขั้นตอน ส่วน อะเคื อ บุญศิริ (2536) ทำการศึกษาระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว ในการบำบัดน้ำเสียกากส่า ดังตารางที่ 7 ซึ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบหมักตัวกลางกรอง- UASB (55^{O}C) แบบสองขั้นตอนกับระบบหมัก UASB (55^{O}C) แบบขั้นตอนเดียว สามารถสรุปได้ดังนี้

- ระบบหมักแบบสองขั้นตอนมีระยะเวลาเก็บกักสั้น คือ 3.6 วัน และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียวซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักนานกว่า คือ 8.1 วัน
- ระบบหมักแบบสองขั้นตอนมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (m^3/m^3/d) สูงกว่าระบบหมักแบบขั้นตอนเดียวประมาณ 4 เท่า
- ระบบหมักแบบสองขั้นตอนมีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดใกล้เคียงกัน
- ประสิทธิภาพของระบบถังหมักทั้ง 2 ถังมีค่าใกล้เคียงกันโดยถังหมักแบบสองขั้นตอนมีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ร้อยละ 84 ส่วนระบบหมักแบบขั้นตอนเดียวมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 44

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบการทำงานของถังหมัก UASB แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียกากส่าในช่วง Thermophilic ($55^{O}C$)

รายการ	ระบบแบบสองขั้นตอนที่ ($55^{O}C$)			ระบบแบบขั้นตอนเดียวที่ ($55^{O}C$)
	ถังหมักกรด	ถังหมักมีเทน	ทั้งระบบ	
ถังหมัก	ตัวกลางกรอง	UASB	-	UASB
ปริมาตรใช้งาน (m^3)	0.0068	0.0360	0.0418	0.0350
ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (mg/L)	60,000	33,100	60,000	113,280
อุณหภูมิ (^{O}C)	55	55	55	55
อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ ($kgCOD/m^3.d$)	143.70	24.70	11.00	10.10
ระยะเวลาเก็บกัก (d)	13.6 h	3.0	3.6	8.1
อัตราส่วนการรีไซเคิล	-	-	1:1	1:1
ปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำกากส่าในน้ำออก (mg/L)	4,250	2,580	2,580	490
ประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ (%)	25.20	8.00	47.50	44.00
ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซ (m^3/kgCOD destroyed)	0.230	3.470	3.700	0.225
อัตราการผลิตก๊าซ ($m^3/m^3/d$)	3.640	0.560	4.200	1.003
สัดส่วนของก๊าซมีเทนและอื่นๆ (%)	9.40	65.00	33.40	61.00

หมายเหตุ : อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดของระบบหมักยังมีเสถียรภาพของระบบดีอยู่

ที่มา : สุเมธ ชวเดช, 2540 และ อะเคื้อ บุญศิริ, 2536

1.2.8.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนในห้องปฏิบัติการกับการบำบัดน้ำเสียที่ใช้งานจริง

สุเมธ ชวเดช (2540) ทำการศึกษาระบบหมักแบบสองขั้นตอนในห้องปฏิบัติการ ส่วน Chavadej and Chattrakoon (1991 อ้างถึงใน สุเมธ ชวเดช, 2540) ทำการศึกษาข้อมูลของระบบหมัก UASB ขนาดอุตสาหกรรมที่ใช้งานจริงในโรงงานผลิตสุราจังหวัดฉะเชิงเทรา บุรีรัมย์ และอุตรดิตถ์ ซึ่งเป็นน้ำเสียจากกากส่าเช่นกัน โดยหมักที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งอุณหภูมิน้ำกากส่าเฉลี่ยในถังหมักเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบการทำงานของระบบหมัก UASB ขนาดอุตสาหกรรมที่ใช้งานจริงกับระบบหมัก UASB ในการบำบัดน้ำกากส่าในห้องปฏิบัติการ

รายการ	ระบบหมักในห้องปฏิบัติการ	ระบบหมักที่ใช้งานจริง
ถังหมัก		
- ถังหมักกรด, ขนาดถัง (m^3)	ตัวกลางกรอง, (0.0068)	ถังตกตะกอน, (450)
- ถังหมักมีเทน, ขนาดถัง (m^3)	UASB, (0.035)	UASB, (3,000)
ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (mg/L)	58,000-66,000	51,000-61,000
อุณหภูมิ (^OC)	55	อุณหภูมิห้อง
อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ ($kgCOD/m^3.d$)	6.4-10.0	2.6-4.2
ระยะเวลาเก็บกัก (d)	3.6-9.1	14-22
ปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำกากส่าในน้ำทิ้ง (mg/L)	990-3,000	100-950
ประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ (%)	47-56	50-65
ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซ (m^3/kgCOD destroyed)	2.30-2.60	0.26-0.68
สัดส่วนของก๊าซมีเทนและอื่นๆ (%)	65-70	61-70

หมายเหตุ : ระบบหมักสองขั้นตอนทดลองใช้ในโรงงานผลิตสุราจังหวัดฉะเชิงเทรา บุรีรัมย์และ อุตรดิตถ์

ที่มา : Chavadej and Chattrakoon, 1991 และ สุเมธ ชวเดช, 2540

- อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบหมักในห้องปฏิบัติการอยู่ในช่วง 6.4-10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซึ่งสูงกว่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบหมักที่ใช้งานจริงในอุตสาหกรรมที่มีค่าอยู่ในช่วง 2.6-4.2 กก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

- ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบหมักในห้องปฏิบัติการ คือร้อยละ 47-56 ซึ่งใกล้เคียงกับประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบหมักที่ใช้งานจริงในอุตสาหกรรม คือ ร้อยละ 50-65

- ระบบหมักที่ใช้งานจริงในอุตสาหกรรมมีระยะเวลาเก็บกักยาวนานถึง 14.0-22.0 วัน ในขณะที่ระบบหมักในห้องปฏิบัติการมีระยะเวลาเก็บกักที่สั้นกว่า คือเพียง 3.6-9.1 วัน

- ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบหมักที่ใช้งานจริงในอุตสาหกรรมมีค่าต่ำกว่าระบบหมักในห้องปฏิบัติการแต่องค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากถังหมักมีเทนมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ประมาณร้อยละ 65-70

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน ที่ทำงานในช่วง Thermophilic และ Mesophilic ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในห้องปฏิบัติการ

1.3.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เท่ากัน ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน ที่ทำงานในช่วง Thermophilic และ Mesophilic และพิจารณาความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน ที่ทำงานในช่วง Thermophilic และ Mesophilic

1.4.2 ได้ข้อมูลเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีลักษณะใกล้เคียงกันและปรับใช้ในการออกแบบการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มให้เหมาะสมต่อไป

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 การวิจัยนี้ทำในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Scale) ซึ่งใช้แบบจำลองระบบ ASBR โดยทำการสร้างระบบจำลอง 2 ชุดการทดลอง ซึ่งจะมีการเดินแบบขั้นตอนเดียวเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดสารอินทรีย์ที่ทำงานในช่วง Thermophilic Condition ($55\pm1^{O}C$) และช่วง Mesophilic Condition ($35\pm1^{O}C$) โดยมีสภาวะการเดินระบบบำบัดที่ควบคุมค่าระยะเวลาเก็บกัก (HRT) และ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ (OLR) หลังจากนั้นได้ทำการเดินระบบแบบสองขั้นตอนโดยมีการนำระบบทั้งสองถังมาเชื่อมต่อด้วยกัน สำหรับน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งนำมาจากโรงงานน้ำมันพืชบริสุทธิ์จำกัด ตำบลบ้านพรุ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.5.2 วิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะนำมาหาค่า pH, Temperature, Alkalinity, Volatile Fatty Acids, Color, TCOD, SCOD, BOD_5, SS, TKN, NH_4^+-N, TP, Oil and Grease, MLSS และ MLVSS ตามวิธีใน APHA, AWWA and WEF, 1998 มีการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำ และวิเคราะห์ร้อยละของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ตลอดจนนำค่าผลการทดลองมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของชุดการทดลองที่ศึกษา