



บททวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบำบัดทางชีวภาพถูกใช้อย่างกว้างขวางในการกำจัดต่างๆ กับการใช้ทำให้คงตัวบางส่วน หรือโดยสมบูรณ์ของสับสเตรท (substrate) ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ในน้ำเสีย ถึงแม้ว่า การอธิบายลักษณะของของเสียส่วนใหญ่จะมุ่งพิจารณาปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ก็ตาม

จุดประสงค์ของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ คือ การรวมตัว และกำจัดของแข็งคอลลอยด์ (colloids) ที่ไม่สามารถตกตะกอนได้ และทำให้สารอินทรีย์คงตัว สำหรับน้ำเสียที่เกิดจากการเกษตร มีจุดประสงค์ในการกำจัดสารอาหาร โดยเฉพาะ ในโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งสามารถ กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชน้ำ สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมมีจุดประสงค์เพื่อกำจัด หรือลด การปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ (Tchobanoglous และBurton, 1991)

เป็นระยะเวลาชยาวนานมาแล้วที่เชื่อกันว่าการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (anaerobic digestion) เกิดขึ้นช้าและประยุกต์ใช้ได้เพียงจำกัดอย่างมากกับสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งอคติที่เกิดขึ้นเป็น สิ่งที่ไร้เหตุผล การจัดกลุ่มทางชีวเคมีในจุลินทรีย์ไร้อากาศเทียบเคียงได้กับจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจน ปัญหาจึงไม่ได้เกิดจากกิจกรรมทางชีววิทยาแต่เกิดจากเวลาที่เพิ่มขึ้นเท่าตัว (Aivasidis และคณะ, 1988 อ้างถึงใน Speece, 1996)

เมื่อมีข้อบ่งชี้ในการบำบัดฟื้นฟูและการปล่อยน้ำเสียเกิดขึ้น ความเป็นไปได้ในทาง เศรษฐศาสตร์และการปฏิบัติในการบำบัดจึงถูกนำมาพิจารณา เนื่องจากพิสูจน์ได้ว่าความจุในการ ย่อยสลายสารประกอบที่เป็นพิษดีเท่ากับสารมลพิษโดยทั่วไป ส่วนมากสำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรม แล้ว เทคโนโลยีแบบไร้อากาศในทุกวันนี้มีความก้าวหน้า มีประโยชน์ในระดับสูงเพื่อฟื้นฟูน้ำเสียที่ ออกมาจากอุตสาหกรรมต่างๆ การบำบัดแบบไร้อากาศกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นปานกลางและ ความเข้มข้นสูงซึ่งในปัจจุบันได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพิสูจน์แล้ว (Wheatley, 1990 อ้างถึงใน Speece, 1996)

เหตุผลพื้นฐานที่ทำให้กระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศได้รับความสนใจนั้น พิจารณาได้ จากข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบของกระบวนการเหล่านี้

2.1 ข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบของกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ

ข้อได้เปรียบของกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ พิจารณาจากด้านพลังงาน การผลิตมวล ชีวภาพปริมาณต่ำ มีความต้องการสารอาหารน้อยกว่า และรับค่าภาระได้สูงกว่า นอกจากนี้เมื่อ

พิจารณาด้านพลังงานจะพบว่ากระบวนการไร้อากาศมีการผลิตพลังงานสุทธิมากกว่าการนำไปใช้
เช่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการใช้ออกซิเจน

ข้อได้เปรียบของกระบวนการไร้อากาศ

- ต้องการพลังงานต่ำในการทำงานของกระบวนการ
- มีการผลิตสลัดจ์ (sludge) ชีวภาพปริมาณต่ำ จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดมวลชีวภาพที่เกิดขึ้น
- ต้องการสารอาหารปริมาณต่ำ จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเติมสารอาหารเสริมในโตรเจน และฟอสฟอรัส
- สามารถผลิตก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทน เป็นการอนุรักษ์พลังงานทำให้เกิดความคุ้มค่าทางนิเวศวิทยาและทางเศรษฐศาสตร์
- ใช้ถึงปฏิริยาขนาดเล็กกว่า จึงเป็นการลดพื้นที่ในการติดตั้ง
- สารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ได้รับการปรับสภาพจนคุ้นเคยแล้วสามารถเปลี่ยนรูปได้ และสามารถย่อยสลายสารที่ไม่สามารถย่อยสลายด้วยกระบวนการใช้ออกซิเจนได้
- ไม่ต้องการความเข้มงวดในการดูแลการเดินระบบมากนัก
- หลีกเลี่ยงการเกิดฟองบริเวณผิวหน้าของน้ำเสีย
- กระบวนการบำบัดมีความคงตัวและสามารถบำบัดเป็นครั้งคราวไม่ต่อเนื่องได้
- มีการตอบสนองต่อสับสเตรทที่ป้อนเข้าสู่ระบบได้อย่างรวดเร็ว หลังจากหยุดป้อนเป็นระยะเวลายาวนาน

ข้อเสียเปรียบของกระบวนการไร้อากาศ

- ใช้ระยะเวลาในการเริ่มต้นเดินระบบยาวนาน เพื่อพัฒนามวลชีวภาพที่จำเป็น
- อาจมีความต้องการสภาพด่าง (alkalinity) และ/หรือ อีออน(ions)พิเศษเพิ่มเติม
- ความเป็นไปได้ในการสร้างสภาพด่าง มีปริมาณไม่เพียงพอในน้ำเสียที่เจือจาง หรือน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต
- คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบอาจจะยังไม่ดีเพียงพอที่จะปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ ในบางกรณีอาจต้องการกระบวนการบำบัดต่อเนื่องด้วยกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเพื่อให้ได้ค่าการปลดปล่อย (discharge) ที่ต้องการ
- ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสชีวภาพได้ และไม่สามารถเกิดปฏิริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification) ได้
- มีความไวมาก ต่ออิทธิพลของอุณหภูมิที่ต่ำลงต่ออัตราการเกิดปฏิริยา
- มีความไวต่อการรบกวนของสารพิษ
- Chlorinated aliphatics มีความเป็นพิษสูงต่อจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทน (methanogens)

- มีการสร้างกลิ่นและก๊าซที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน จากซัลไฟด์ (H_2S) และกลิ่นที่สร้างขึ้นมาจาก ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่ถูกป้อนเข้าไปในระบบ
- จากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำไม่เพียงพอต่อการสร้างก๊าซมีเทนจึงต้องเตรียมให้ความร้อนเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ 35 องศาเซลเซียส
- ต้องการความเข้มข้นของแอมโมเนีย (NH_3) สูง (40-70 มิลลิกรัมต่อลิตร) สำหรับค่าสูงสุดของกิจกรรมของจุลินทรีย์

การเปรียบเทียบเทคโนโลยีทางชีวภาพแบบไร้อากาศกับแบบใช้ออกซิเจน (Speece, 1996)

- อัตราการระสาดอินทรีย์ (organic loading rate) ของกระบวนการไร้อากาศสูงกว่ากระบวนการใช้ออกซิเจน 5-10 เท่า
- อัตราการสังเคราะห์มวลชีวภาพของกระบวนการไร้อากาศเกิดเพียงร้อยละ 5-20 ของกระบวนการใช้ออกซิเจน
- ความต้องการสารอาหารมีเพียงร้อยละ 5-20 ของกระบวนการใช้ออกซิเจน
- มวลชีวภาพแบบไร้อากาศเก็บรักษาได้นานนับเดือนหรือนับปี โดยไม่ทำให้การทำงานเสื่อมสภาพมาก
- กระบวนการไร้อากาศไม่ต้องการพลังงานในการเติมอากาศเหมือนดังเช่นกระบวนการใช้ออกซิเจน ที่ต้องการพลังงาน 500-2,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อ 1,000 กิโลกรัมซีโอดี (kwhr/ 1,000 kgCOD)
- กระบวนการไร้อากาศผลิตก๊าซมีเทน 12,000,000 บีทียูต่อ 1,000 กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด (BTU/ 1,000 kgCOD_{removed})

2.2 หลักการพื้นฐาน

2.2.1 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไร้อากาศ

การทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ เป็นการทำงาน of กระบวนการต่างๆ ร่วมกันซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ในหลายระดับชั้น (class) และสารตัวกลาง (intermediates) หลายขั้นตอน

กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน ตามลำดับ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กระบวนการไฮโดรไลซิส เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลง เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน (amiono acid) และกรดไขมัน (fatty acid) ตามลำดับ เพื่อให้จุลินทรีย์ดูดซึม

เข้าสู่เซลล์ได้ โดยจุลินทรีย์กลุ่มไฮโดรไลซิงแบคทีเรีย (hydrolyzing bacteria) จะผลิตเอนไซม์และปล่อยเอนไซม์ออกมาเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในกระบวนการย่อยสลายภายนอกเซลล์ ตัวอย่างเช่นจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ เซลลูเลส (cellulase) ย่อยสลายเซลลูโลส (cellulose), ลิเปส (lipase) ย่อยสลายไขมันให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยสายสั้น (smaller chained fatty acids), โปรตีเอส (protease) ย่อยสลายโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโน (amino acids) ซึ่งกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกรดอินทรีย์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 ในการย่อยสลายนั้นสารจำพวกโพลีเมอร์จะมีอัตราการไฮโดรไลซิสช้าลง เช่น โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) ถูกไฮโดรไลซิสได้ช้ากว่ากลูโคส ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราปฏิกิริยาของกระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรต เช่นเดียวกับการไฮโดรไลซิสเซลลูโลส มักจะเป็นขั้นตอนที่ช้าที่สุดในกระบวนการย่อยสลาย เพราะฉะนั้นการทำงานของแบคทีเรียในขั้นตอนที่หนึ่งนี้จะช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนที่สองและสาม (Chawla, 1986)

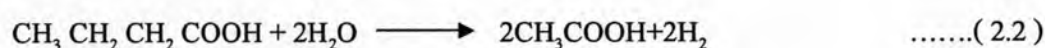
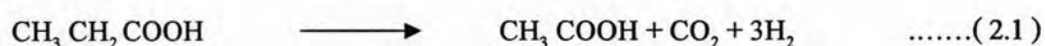
ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) และการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

กระบวนการสร้างกรด คือ ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็ก ด้วยกระบวนการหมัก (fermentation) โดยจุลินทรีย์สร้างกรด โดยการดูดซึมผลผลิตของขั้นตอนที่ 1 เข้าไปภายในเซลล์ เพื่อใช้เป็นอาหารและถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid : VFA) เช่น อะซิติก (CH_3COOH) บิวไทริก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) และโพรไพโอนิก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) เป็นต้น นอกจากผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่เป็นกรดอินทรีย์แล้วยังสามารถพบผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ด้วย เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และสภาวะแวดล้อมของปฏิกิริยา ทั้งนี้มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ประการ คือ ชนิดของสับสเตรทและความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจน (hydrogen partial pressure) ที่เกิดขึ้น เช่น กรดไขมันชนิดสายยาวถูกย่อยสลายกลายเป็นอะซิติก และก๊าซไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนมีค่าต่ำ แต่จะย่อยสลายกลายเป็นบิวไทริก และโพรไพโอนิก เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่ก๊าซไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง

จากนั้น กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้น จะเข้าสู่กระบวนการสร้างกรดอะซิติก คือ ปฏิกิริยาการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่เกิดจากกระบวนการสร้างกรด ให้กลายเป็นกรดอะซิติก โดยการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มอะซิโตเจนิค (acitogenics) หรือเรียกว่า จุลินทรีย์สร้างกรดอะซิติก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างก๊าซมีเทน เนื่องจากการสร้างก๊าซมีเทน โดยจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนนั้นต้องการสับสเตรทที่มีความเฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ อะซิติก ฟอร์มิก (HCOOH) ก๊าซไฮโดรเจน เมทานอล (CH_3OH) และเมทิลามีน (CH_3NH_2) สับสเตรทที่เป็นกรดไขมันระเหยดังกล่าวจะต้องมีคาร์บอนไม่เกิน 2 อะตอม

โดยต้องมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์อะซิโตเจนิก ซึ่งในขั้นตอนนี้ จะเกิดขึ้นได้เฉพาะในสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซิลต่ำเท่านั้น

จุลินทรีย์กลุ่มที่สามารถสร้างก๊าซไฮโดรเจนได้ จะมีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหย ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่ก๊าซไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซิลต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศ สำหรับการย่อยสลายกรดบิวไทริกและกรดโพรไพโอนิก ตามลำดับ (มันลิน ดันทุลเวสม์, 2542) ดังสมการที่ (2.1) และ (2.2)

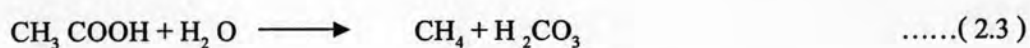


ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการสร้างก๊าซมีเทน (methanogenesis)

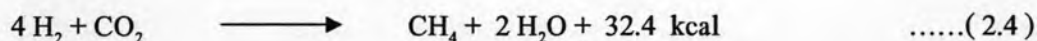
กระบวนการสร้างก๊าซมีเทน คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนกรดอะซิติก หรือก๊าซไฮโดรเจน ไปเป็นก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะที่ไร้อากาศอย่างเด็ดขาด โดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทนจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตช้ามาก และมีความไวต่อสภาวะแวดล้อมอย่างมาก ไม่อาจเจริญเติบโตได้ดี เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมนอกช่วงค่าพีเอช (pH) 6.8-9.2 (สัทนจิต นิมรัตน์, 2548) สามารถใช้สารตั้งต้นเพียงบางชนิดที่มีคาร์บอนเพียง 1 หรือ 2 คาร์บอน เท่านั้น ดังนั้น จุลินทรีย์กลุ่มนี้จึงต้องอาศัยจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ เปลี่ยนกรดไขมันระเหยต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติก หรือก๊าซไฮโดรเจนก่อน จึงจะสามารถสร้างก๊าซมีเทนได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เมทานอล ฟอร์มิก เป็นสับสเตรทในการสร้างก๊าซมีเทนได้อีกด้วย

สามารถจำแนกจุลินทรีย์ทำหน้าที่สร้างก๊าซมีเทนได้เป็น 3 กลุ่ม ตามประเภทของสารตั้งต้น ดังนี้

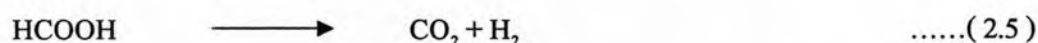
1) จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากกรดอะซิติก (Obligate Acetoclastic Methanogen) จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถบริโภคอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอนได้เพียงอย่างเดียว แสดงดังสมการที่ (2.3)



2) จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจน (Obligate hydrogenotrophic methanogen หรือ H₂ Utilizer) จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถสร้างก๊าซมีเทนโดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานและใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแหล่งคาร์บอน แสดงดังสมการที่ (2.4)



นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ฟอร์มิกเป็นสารตั้งต้นได้ เนื่องจากฟอร์มิก สามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ง่าย (สัจฉิต นิมรัตน์, 2548) แสดงดังสมการที่ (2.5)



3) จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจน หรืออะซิติก (Hydrogenotrophic / acetoclastic methanogen) จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถใช้ทั้งกรดอะซิติก และก๊าซไฮโดรเจน เป็นสารตั้งต้นในการสร้างก๊าซมีเทน แต่จะชอบใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารตั้งต้นมากกว่า ตัวอย่างการจำแนกจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน แสดงดัง ตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.1 แบคทีเรียสร้างกรดอินทรีย์ (Organic acids producing bacteria) (Chawla, 1986)

Bacteria	pH	Temp. (°C)	Products formed
<i>Bacillus cereus</i>	5.2	25-30	acetic , lactic
<i>Bacillus knelfelkampii</i>	5.2-8.0	25-35	acetic , lactic
<i>Bacillus megaterium</i>	5.2-7.5	28-35	acetic , lactic
<i>Bacteriodes succinogenes</i>	5.2-7.5	25-35	acetic , succinic
<i>Clostridium carnofoetidum</i>	5.0-8.5	25-37	
<i>Clostridium cellobioparus</i>	5.0-8.5	36-38	formic , acetic , lactic , ethanol , CO ₂
<i>Clostridium dissolvens</i>	5.0-8.5	35-51	formic , acetic , lactic , succinic
<i>Clostridium theymocellulaseum</i>	5.0-8.5	55-65	formic , acetic , lactic , succinic , ethanol
<i>Pseudomonas formicans</i>	-	33-42	formic , acetic , lactic , succinic , ethanol
<i>Ruminococcus flavifaciens</i>	-	33-38	formic , acetic , lactic , succinic

ตารางที่ 2.2 การจำแนกชนิดของแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน (Bitton, 1994 อ้างถึงใน สุบัญญัติ นิมรัตน์, 2548)

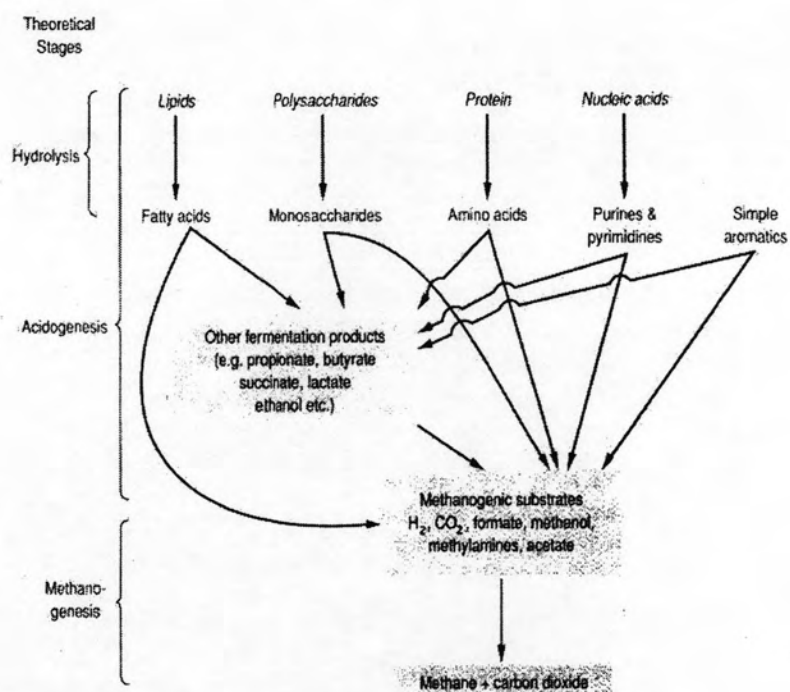
อันดับของแบคทีเรียสร้าง ก๊าซมีเทน (Order)	ตระกูลของแบคทีเรีย สร้างก๊าซมีเทน (Family)	สกุลของแบคทีเรียสร้าง ก๊าซมีเทน (Genus)	ชนิดของแบคทีเรียสร้าง ก๊าซมีเทน (Species)
Methanobacteriales	Methanobacteriaceae	<i>Methanobacterium</i>	<i>M. formicicum</i> <i>M. bryanri</i> <i>M. thermoautotrophicum</i> <i>M. ruminantium</i>
		<i>Methanobrevibacter</i>	<i>M. arboriphilus</i> <i>M. smithii</i> <i>M. vannielii</i>
Methanococcales	Methanococcaceae	<i>Methanococcus</i> <i>Methanomicrobium</i>	<i>M. voltae</i> <i>M. mobile</i>
Methanomicrobiales	Methanomicrobiaceae	<i>Methanogenium</i>	<i>M. cariaci</i> <i>M. marisnigri</i>
		<i>Methanosprillum</i>	<i>M. hungatei</i> <i>M. barkeri</i>
	Methanosarcinaceae	<i>Methanosarcina</i>	<i>M. mazi</i>

ตารางที่ 2.3 ชนิดและแหล่งที่อยู่ของแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน (สุบัญญัติ นิมรัตน์, 2548)

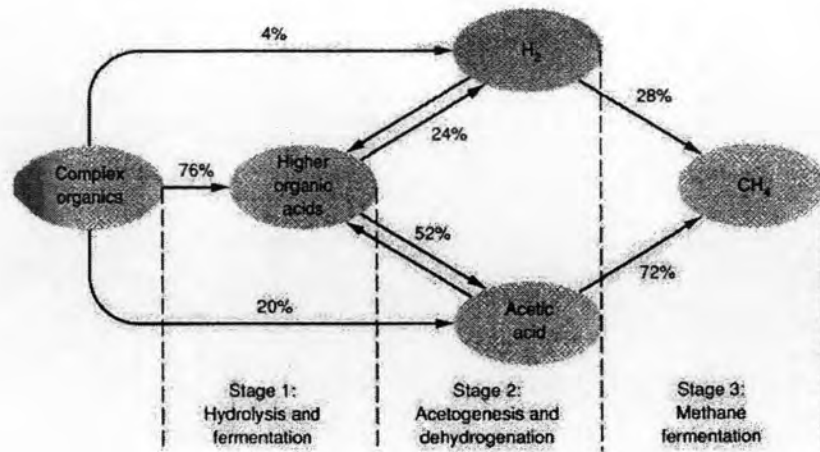
ชนิดของแบคทีเรีย	สารตั้งต้น	ชนิดของแบคทีเรีย	สารตั้งต้น
<i>Methanobacterium bryantii</i>	H ₂	<i>Methanogenium cariaci</i>	H ₂ และ HCOOH
<i>M. formicium</i>	H ₂ และ HCOOH	<i>M. marisnigri</i>	H ₂ และ HCOOH
<i>M. thermoautotrophicum</i>	H ₂	<i>M. tatii</i>	H ₂ และ HCOOH
<i>M. alcaliphilum</i>	H ₂	<i>M. olentagyi</i>	H ₂
<i>Methanobrevibacter arboriphilus</i>	H ₂	<i>M. thermophilicum</i>	H ₂ และ HCOOH
<i>M. ruminantium</i>	H ₂ และ HCOOH	<i>M. bourgense</i>	H ₂ และ HCOOH
<i>M. smithii</i>	H ₂ และ HCOOH	<i>M. aggregans</i>	H ₂ และ HCOOH
<i>Methanococcus vannilii</i>	H ₂ และ HCOOH	<i>Methanococcoides</i>	CH ₃ NH ₂ และ
<i>M. voltae</i>	H ₂ และ HCOOH	<i>methylutens</i>	CH ₃ OH
<i>M. deltae</i>	H ₂ และ HCOOH	<i>Methanotherix soehngnii</i>	CH ₃ COOH
<i>M. maripaludis</i>	H ₂ และ HCOOH	<i>M. concilii</i>	CH ₃ COOH

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) ชนิดและแหล่งที่อยู่ของแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน (สัณฐานวิทยา นิมรต์น, 2548)

ชนิดของแบคทีเรีย	สารตั้งต้น	ชนิดของแบคทีเรีย	สารตั้งต้น
<i>M. jannaschii</i>	H ₂	<i>Methanothermus fevidus</i>	H ₂
<i>M. thermolithoautotrophicus</i>	H ₂ และ HCOOH		และ(CH ₃) ₂ NH
<i>M. frisius</i>	H ₂ , CH ₃ OH, CH ₃ NH ₂ และ(CH ₃) ₃ N	<i>Methanosarcina barkeri</i>	CH ₃ OH, CH ₃ COOH
<i>Methanomicrobium mobile</i>	H ₂ และ HCOOH		



ภาพที่ 2.1 กระบวนการไร้อากาศ (Tchobanoglous และBurton, 1991)



ภาพที่ 2.2 การส่งผ่านพลังงานในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ
(Tchobanoglous และBurton, 1991)

ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยานั้นการเจริญเติบโตของเซลล์จะเกิดขึ้นไปพร้อมกับการออกซิเดชัน (oxidation) ของสารประกอบอินทรีย์หรือสารประกอบอนินทรีย์ อัตราส่วนของปริมาณการสร้างมวลชีวภาพต่อปริมาณการบริโภคสับสเตรท (กรัมของมวลชีวภาพต่อกรัมของกรดไขมันระเหย) (g biomass/g VFAs) หมายถึง ผลผลิตมวลชีวภาพ (biomass yield) หรือโดยทั่วไปหมายถึง ความสัมพันธ์ของการให้อิเล็กตรอน (electron donor used)

$$\text{Biomass Yield } Y = \frac{\text{g biomass produced}}{\text{g substrate utilized (i:e, consumed)}} \quad \dots\dots(2.6)$$

สำหรับการย่อยสลายของกรดไขมันระเหย (VFAs) แบบไร้อากาศเพื่อสร้างก๊าซมีเทน ผลผลิต (yield) จะถูกกล่าวถึงในรูป g biomass / g VFAs ที่ใช้ไป ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงปริมาณกับปริมาณสารประกอบที่ใช้ไป

สำหรับการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน หรือไร้อากาศ ของน้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม ซึ่งมีปริมาณสารประกอบอินทรีย์จำนวนมาก ผลผลิตจะอยู่บนพื้นฐานของพารามิเตอร์ที่สามารถวัดได้ ซึ่งสะท้อนถึงการบริโภคสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมด เช่น ซีโอดี (COD) หรือ บีโอดี (BOD) เป็นต้น ดังนั้นผลผลิตอาจอยู่ในรูป กรัมของมวลชีวภาพต่อกรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด (g biomass / g COD_{removed}) หรือ กรัมของมวลชีวภาพต่อกรัมของบีโอดีที่ถูกกำจัด (g biomass / g BOD_{removed}) (Tchobanoglous และBurton, 1991)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

2.3.1 อุณหภูมิ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการไร้อากาศนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมมีอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงการทำงานของ มีโซฟิลิกแบคทีเรีย (mesophilic Bacteria) ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30-40 องศาเซลเซียส และช่วงการทำงานของเทอร์โมฟิลิกแบคทีเรีย (thermophilic Bacteria) ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 45-55 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมินั้นจะมีผลต่อการสร้างก๊าซของแบคทีเรีย การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิแม้เพียง 2-3 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงก๊าซมีเทนเป็นอย่างมาก (อุตสาหกรรม, กระทรวง. กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545) มีรายงานว่า กระบวนการสร้างก๊าซมีเทนสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงอุณหภูมิ 4-100 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับชนิดแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic species) หลากหลายชนิด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วถึงปฏิกิริยาแบบไร้อากาศจะเดินระบบ ในช่วงการทำงานแบบมีโซฟิลิก อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส แต่ถ้าการทำงานอยู่ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่านี้ จะต้องใช้ระยะเวลาสัมผัสนานขึ้น (longer contact times) และต้องการมวลชีวภาพมากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงความเข้มข้นของกรดระเหย (volatile acid) มักจะเพิ่มขึ้น เพราะ อัตราการเมแทบอลิซึม (metabolism rate) ของแบคทีเรียสร้างกรดได้รับผลกระทบต่ำกว่าแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันระเหย จากกรณีนี้ มีความเป็นไปได้ที่ระบบจะต้องการ ความจุบัฟเฟอร์ (buffer capacity) เพิ่มขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับการลดลงของค่าพีเอชอย่างรุนแรง ดังนั้น การลดลงของอุณหภูมิจึงทำให้เกิดผลสะท้อนรุนแรงมากในการเดินระบบ แทบจะทุกค่าความจุสูงสุด (maximum capacity) (Speece, 1996) ช่วงอุณหภูมิของถึงปฏิกิริยาที่นิยมใช้สำหรับการเดินระบบอยู่ในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยสนับสนุนให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพสูงสุด และทำให้การบำบัดมีเสถียรภาพมากขึ้น (Tchobanoglous, Burton และStensel, 2004)

2.3.2 ค่าพีเอช

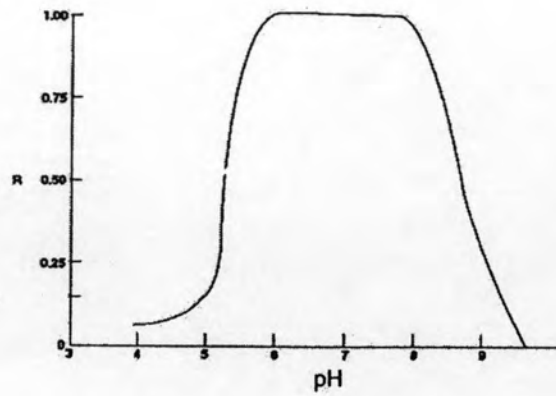
ค่าพีเอชเป็นปัจจัยบ่งชี้สภาพภายในของกระบวนการไร้อากาศได้ แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของกรดระเหย จะเกิดขึ้นช้า ดังนั้น ค่าพีเอช จึงเป็นตัวบ่งชี้ที่แสดงผลออกมาได้ช้าสำหรับการแก้ไขสภาวะในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของกรดระเหยง่าย (อุตสาหกรรม, กระทรวง. กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

เนื่องจากแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน จะทำงานได้ดีที่สภาวะค่าพีเอชใกล้เคียงความเป็นกลางโดยทั่วไป จึงยอมรับกันว่าเป็นช่วงค่าพีเอชสูงสุด (optimal pH range) ของสิ่งแวดล้อมภายในถึงปฏิกิริยาจะต้องอยู่ในช่วงระหว่างประมาณ 6.5-8.2 (ภายใต้บางสภาวะอาจมีความเป็นไปได้ที่จะเดินระบบที่ค่าพีเอช 6.0 แต่สภาพต่างจากไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ไม่สามารถที่จะคงสภาพ

บัฟเฟอร์ได้ดีภายใต้สภาวะนี้) จึงจะสามารถเดินระบบให้ประสบความสำเร็จได้ การทำงานของ จุลินทรีย์จะมีผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลือง ในการปรับสมดุลและอาจจะเสียสมดุลของการปรับให้เป็นกลาง (neutralize) ด้วยตัวเองของระบบ บำบัดได้ องค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกรดไขมันระเหยสายสั้น (volatile short chain fatty acids) มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลง ขณะที่ความเป็นด่างประจุบวก (alkalinity-generating cations) จำพวกแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จากการย่อยสลายโปรตีนและโซเดียมจากการย่อยสลายสาบจะช่วยเพิ่มความเป็นด่างและค่าพีเอช (Speece, 1996)

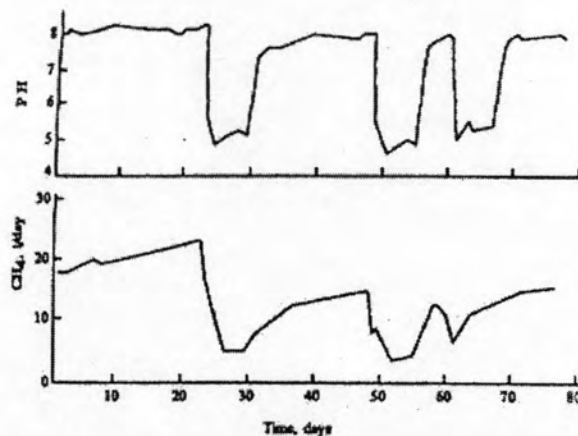
แต่อย่างไรก็ตาม ค่าพีเอชยังเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมระบบการหมักแบบไร้อากาศ โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6.7-7.4 (อุตสาหกรรม, กระทรวง. กรมโรงงาน อุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545) หรือในช่วงค่าพีเอช ประมาณ 6.8-9.2 (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2542) ซึ่งเหมาะแก่การทำงานและการเจริญเติบโตของ แบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน

ถ้าค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่ไม่เป็นกลางการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน จะถูกยับยั้งทำให้ระบบล้มเหลวได้ และการปรับและรักษาระดับค่าพีเอช ให้เป็นกลางยังเป็นเรื่อง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกระทำก่อนเรื่องใดๆ ในระหว่างที่มีการแก้ไขระบบล้มเหลวให้ฟื้นตัว การ ยกกระดับค่าพีเอชให้สูงขึ้นจนอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง สามารถใช้สารเคมีได้หลายชนิด เช่น ปูนขาว และโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) เป็นต้น ถ้าไม่ใช้สารเคมีก็อาจเพิ่มค่าพีเอชได้โดยกำจัดก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกบางส่วนจากส่วนผสมของก๊าซชีวภาพ (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2542) แต่ การเพิ่มค่าพีเอชโดยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปโดยตรง ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งจะทำให้ ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นได้ชั่วคราวโดยที่ระดับสภาพด่างไม่เพิ่มขึ้นด้วย และผลสุดท้ายระดับค่าพีเอชจะ ลดลงเหลือเท่าเดิมเมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกสร้างเพิ่มขึ้น (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2542) ระบบ หลักทางเคมีที่ควบคุมค่าพีเอช ได้แก่ สมดุลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์-ไบคาร์บอเนต (carbondioxide-bicarbonate equilibrium) (Cheremisinoff, 1994) (ภาพที่ 2.3-2.4)



เมื่อ R คือ การทำงานของจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทน

ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทน (Methanogens) กับ ค่าพีเอช (pH) (Speece, 1996)



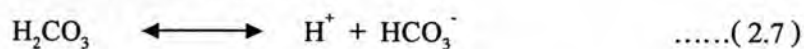
ภาพที่ 2.4 การตอบสนองของระบบกรองแบบไร้อากาศ (anaerobic filter) ต่อการลดระดับค่าพีเอช แบบไม่สม่ำเสมอ (Speece, 1996)

2.3.3 สภาพด่าง (Alkalinity)

สภาพด่างทั้งหมด ในระบบไร้อากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย สภาพความเป็นด่างที่มีความสำคัญ คือ สภาพด่างไบคาร์บอเนต ซึ่งจะทำหน้าที่บัฟเฟอร์ เมื่อมีกรดไขมันระเหยเกิดขึ้นในระบบ แต่ปัจจัยที่สำคัญที่ควรพิจารณามากกว่าสภาพด่าง ได้แก่ อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพด่างไบคาร์บอเนต ($VFA : HCO_3^-$) ซึ่งถ้ามีอัตราส่วน $VFA : HCO_3^-$ น้อยกว่า 0.4 ระบบจะมีบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบ

กำลังอยู่ในขั้นที่ค่าพีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้ากรดไขมันระเหยมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (อุตสาหกรรม,กระทรวง. กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

ในการรักษาระดับค่าพีเอชให้มีค่าเป็นกลางหรือใกล้เคียง สำหรับระบบที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงในองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นจากระบบไร้อากาศ โดยทั่วไปอยู่ในช่วงร้อยละ 30 – 50 ระบบจะมีความต้องการความเข้มข้นของสภาพค้างอยู่ในช่วง 2,000 – 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ($\text{mg} / \text{L as CaCO}_3$) ซึ่งมักจะได้รับจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ในบางกรณีสร้างขึ้นจากการย่อยสลายโปรตีนและกรดอะมิโน ซึ่งถ้าต้องเติมสารเคมีเพื่อควบคุมค่าพีเอช จะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองขึ้น ในการบำบัดแบบไร้อากาศ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับสภาพค้างซึ่งควบคุมด้วยสารเคมีไบคาร์บอเนต (Tchobanoglous, Burton และ Stensel, 2004) แสดงดังสมการที่ (2.7) และ (2.8)



$$\frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = \text{Ka}_1 \quad \dots\dots(2.8)$$

Ka_1 = first acid dissociation constant ,

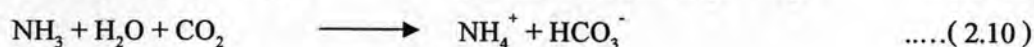
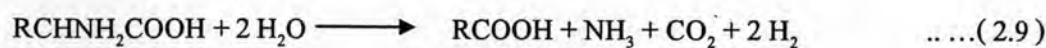
which is a function of ionic strength and temperature

การกำหนดระดับความเข้มข้นของสภาพค้างที่จะทำให้ระบบบำบัดมีกำลังบำบัดที่เหมาะสมนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติและความเข้มข้นของน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียมีความเข้มข้นสูงก็มีโอกาสจะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้มาก ความต้องการความจุบำบัดของระบบจะเพิ่มขึ้น ระบบไร้อากาศ(ที่ปิดฝา) ควรมีความเข้มข้นสภาพค้างประมาณ 1,500 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2542)

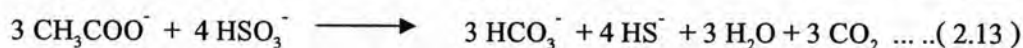
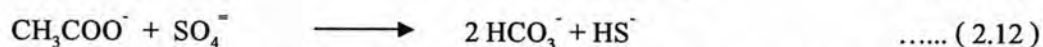
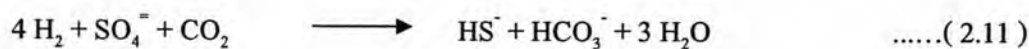
ลักษณะของน้ำเสียหลายประเภท ทำให้เกิดสภาพค้างจากการเมแทบอลิซึม (metabolism-generated alkalinity) ซึ่งทำให้สภาพค้างเพิ่มขึ้นจากการเมแทบอลิซึมสารประกอบอินทรีย์ โดยปลดปล่อยประจุบวก (cation) ด้วยเหตุนี้จึงเป็นผลให้สภาพค้างของน้ำที่ป้อนเข้าระบบมีปริมาณอยู่ในระดับเพียงร้อย มิลลิกรัม แต่เมื่อผ่านการเมแทบอลิซึมแล้วทำให้สภาพค้างเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับพันมิลลิกรัม ซึ่งตัวแปรที่กำหนดสภาพค้างจากกระบวนการนี้ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้วปล่อยอิออนบวก เช่น โปรตีน เกลือของกรดอินทรีย์ (organic acids) หรือ สบู่ (soaps) และปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟต/ซัลไฟต์ (sulfate / sulfite reduction) ที่วัดได้ (Speece, 1996)

การผลิตสภาพต่างจากโปรตีน ซัลเฟต และซัลไฟด์ แสดงดังสมการที่ (2.9) – (2.13) ต่อไปนี้

การผลิตสภาพต่างจากโปรตีน



การผลิตสภาพต่างจากซัลเฟต และซัลไฟด์



และถ้าไม่มีการปลดปล่อยอ็อกซิเจนจากสารอินทรีย์ระหว่างการย่อยสลาย จะไม่มีสภาพต่างเกิดขึ้นกรณีตัวอย่าง เช่น คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล กรดอินทรีย์ อัลดีไฮด์ (aldehydes) คีโตน (ketones) และเอสเทอร์ (esters)

Anderson และ Yang (1992b) อ้างถึงใน Speece (1996) ได้กล่าวสรุปว่า ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย ซัลเฟต สารประกอบไนโตรเจน และซีโอดี ส่งผลใกล้ชิดต่อความต้องการสภาพต่างสำหรับการควบคุมค่าพีเอชในการบำบัดแบบไร้อากาศ

ปัจจัยที่กำหนดปริมาณสภาพต่าง (Factors determining available reserve alkalinity) (Speece, 1996) ได้แก่

- ปริมาณการหมุนเวียนน้ำกลับ (effluent recycle capacity)
- การเมแทบอลิซึมขั้นแรกของสภาพต่างของน้ำในกระบวนการ (pre-metabolism alkalinity of process water)
- การเมแทบอลิซึมสภาพต่างจากน้ำเสียที่เข้าระบบ (feedstock alkalinity metabolism-generation potential)
- ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้าระบบ (organic concentration in the feedstream)
- การควบคุมกระบวนการ (process control)

- อัตราการเปลี่ยนสารมลพิษ ไปเป็นกรดไขมันระเหย (rate of pollutant conversion to VFA)
- การเพิ่มความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยอย่างเรื้อรัง (chronic elevated volatile acids concentrations)
- การเดินระบบแบบเทอร์โมฟิลิก (thermophilic operation)
- การจัดการก๊าซ (gas phase management)
- ค่าใช้จ่ายในการเสริมสภาพค่าง (supplemental alkalinity economics)

ปริมาณสภาพค่างสำรองในถังปฏิกรณ์ ที่เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหย (VFA) ระหว่างการเดินระบบปกติ จะขึ้นอยู่กับปัจจัย (Speece, 1996) ดังต่อไปนี้

1) องค์ประกอบของกระบวนการซึ่งทำให้เกิดการสำรองสภาพค่างสูงสุด

ถ้าถังปฏิกรณ์เป็นแบบซีเอสทีอาร์ (Completely Stirred Tank Reactor ; CSTR) ความเข้มข้นกรดไขมันระเหย มีความเข้มข้นเท่ากันทั่วทั้งถังปฏิกรณ์ซึ่งตามปกติจะมีความเข้มข้นต่ำ และมีอัตราการบริโภคกรดไขมันระเหยคงที่ แต่ถ้าถังปฏิกรณ์เป็นแบบไหลตามกัน (plugflow) จะมีการสร้างกรดไขมันระเหย เพิ่มขึ้นในส่วนป้อนน้ำเข้าซึ่งอัตราการสร้างจะเร็วกว่าอัตราการบริโภค กรดไขมันระเหยโดยแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน ดังนั้น ถังปฏิกรณ์ที่มีองค์ประกอบแบบไหลตามกัน จึงมีความต้องการสภาพค่างสำรองเพื่อรักษาค่าพีเอชในบริเวณป้อนน้ำเข้าในขณะถังปฏิกรณ์ แบบซีเอสทีอาร์ แบบกวนผสมด้วยก๊าซอัตราสูง (highly gas – mixed) หรือแบบไหลตามกันที่มีการหมุนเวียนกลับสูง (high recycle rate plug flow reactors) ไม่มีความจำเป็นดังกล่าว

2) การหมุนเวียนน้ำกลับมายาบำบัด

การหมุนเวียนน้ำกลับนั้นมิใช่เป็นการลดความต้องการสภาพค่างเพื่อสภาพความเป็นกลางของกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) เป็นเพียงการเจือจางซีโอดีที่เข้าระบบ จึงยังคงมีความต้องการสภาพค่างและลดกรดไขมันระเหย แต่ถ้าอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำกลับหรือมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปเพิ่มขึ้น องค์ประกอบของถังปฏิกรณ์แบบไหลตามกัน จะเปลี่ยนไปคล้ายถังปฏิกรณ์ซีเอสทีอาร์มากขึ้นจึงอาจช่วยลดผลกระทบได้ ความต้องการขั้นต่ำของสภาพค่างไปคาร์บอนเนต มีค่าประมาณ 1.2 กรัมแคลเซียมคาร์บอนเนตต่อกรัมซีโอดีในน้ำเข้าที่เปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันระเหย ($g CaCO_3 / g \text{ influent COD converted to VFA}$) ทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการเดินระบบระดับ โรงบำบัด (full-scale plant)

Moosbrugger และคณะ (1993) อ้างถึงใน Speece (1996) ได้ทำการทดลองหมუნเวียนน้ำออกจากระบบกลับเพื่อลดซีโอดีของน้ำเข้าระบบจาก 27,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงเหลือ 790 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้อัตราส่วนการเวียนน้ำกลับ 33/1 ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อ การกำจัดซีโอดี ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับการปรับสภาพต่าง

3) สภาพต่างก่อนการเมแทบอลิซึม (pre-metabolism alkalinity) ของกระบวนการ เป็นสภาพต่างที่ได้จากน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันทางชีววิทยา (biological denitrification) หรือน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการเติมโซดาไฟ (caustic soda ; NaOH) หรือ โซดาแอช (soda ash ; Na_2CO_3) ทำให้เกิดสภาพต่างประเภทนี้ขึ้น

4) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ การสะสมของกรตระเหยสูงสุดที่เป็นไปได้ ถูกจำกัดด้วยความเข้มข้นของ สารอินทรีย์ในน้ำเสีย เพราะค่าซีโอดีของกรตระเหยที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปและสะสม จะมีค่าไม่ เกินความเข้มข้นของซีโอดีที่ป้อนเข้าระบบ ดังนั้นความต้องการสภาพต่างสำหรับทำให้กรตระเหย ในถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกันมีสภาวะเป็นกลาง จึงควรทำการเจือจางให้เหมาะสม

5) ผลดีจากการควบคุมระบบ การดูแลระบบอย่างใกล้ชิดจะช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ของกรดไขมันระเหยได้ เช่น การจำกัดการป้อน การเติมต่างลงไป ถ้ากรตระเหย เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจ ติดตั้งเครื่องควบคุมค่าพีเอช (pH-controller) ในการควบคุมค่าพีเอช ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการ เติมต่างปริมาณมากเพื่อปรับสภาพความเป็นกลางในกรณีฉุกเฉิน

6) อัตราการเปลี่ยนมลภาวะ ไปเป็นกรตระเหย อัตราการเปลี่ยนมลภาวะไปเป็นกรตระเหยขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการ ย่อยสลาย อัตราการเปลี่ยนแปลงนี้จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงกรตระเหยโดยส่วนใหญ่ จึงเป็นเหตุ ให้ระบบต้องมีการสำรองสภาพต่างเอาไว้ กระบวนการไฮโดรไลซิสจะเป็นอัตราจำกัดสำหรับ สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก และภายใต้การทำงานความเข้มข้นของกรตระเหย จะค่อนข้างต่ำ สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ เช่น น้ำตาล และสารอินทรีย์พื้นฐานจะเปลี่ยนเป็น กรตระเหย ดังนั้น ขั้นตอนจำกัดอัตราปฏิกิริยาจึงกลายเป็นกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน ซึ่งสามารถ ทำให้เกิดการสะสมกรดไขมันระเหย และต้องการสภาพต่างสำรอง

7) การเพิ่มความเข้มข้นของกรดระเหย อย่างเรื้อรัง

การเพิ่มความเข้มข้นของ กรดระเหยอย่างเรื้อรังนี้ต้องการสภาพค่างที่เพียงพอที่จะไปรักษาระดับพีเอชให้เป็นกลาง การเพิ่มระดับของกรดไขมันระเหย มีสาเหตุจากสารพิษหรือบางครั้งมาจากการจำกัดไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัส ถ้ากรดไขมันระเหยชนิดเด่น ได้แก่ โพรไพโอเนต ควรใช้กระบวนการแบบขั้นตอน และ/หรือ เม็ดจุลินทรีย์บนฟิล์มชีวภาพ (biofilms)

8) การเดินระบบแบบเทอร์โมฟิลิก

Pfeffer (1981) อ้างถึงใน Speece (1996) กล่าวว่า การเพิ่มอุณหภูมิมีผลต่อค่าพีเอช สภาพค่างและองค์ประกอบของก๊าซ ผลของอุณหภูมิแสดงออกมาใน 2 รูปแบบ ได้แก่

- (1.) โดยการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่สมดุลของระบบไบคาร์บอเนต
- (2.) โดยการเปลี่ยนความดันไอของน้ำ

การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในน้ำจะมีความเข้มข้นลดลงครึ่งหนึ่งจากที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไปที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส การลดลงเช่นนี้ทำให้ความต้องการสภาพค่างของช่วงเทอร์โมฟิลิก ลดลงด้วย (Speece, 1996)

2.3.4 กรดระเหย

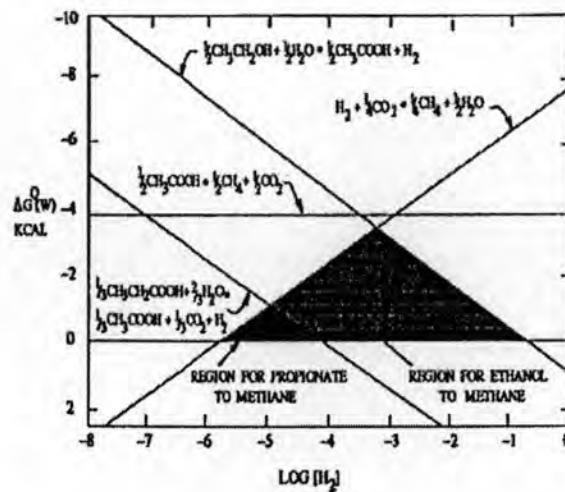
2.3.4.1 อะซิเตต (Acetate)

สารประกอบมลภาวะอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบหลักของก๊าซมีเทน ซึ่งได้จากการใช้อะซิเตต เป็นสารตั้งต้นโดยตรง เนื่องจาก อะซิเตตเป็นสารตั้งต้นหลัก ดังนั้นระบบไร้อากาศที่ทำงานได้ดี จึงต้องจัดการอะซิเตตได้อย่างมีประสิทธิภาพและกำจัดให้มีความเข้มข้นต่ำในน้ำออกจากระบบ

2.3.4.2 โพรไพโอเนต (propionate)

โพรไพโอเนตเป็นสารตัวกลางพื้นฐานจากการเมแทบอลิซึม ของน้ำตาล โปรตีน กรดระเหยโมเลกุลใหญ่ และสารประกอบอินทรีย์ อาจมีมากกว่าร้อยละ 20 ที่เกิดการถ่ายเทของอิเล็กตรอน และเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนในที่สุด

การทำงานที่เหมาะสมของกระบวนการไร้อากาศขึ้นอยู่กับ การส่งผ่านของสับสเตรทที่ไม่ถูกขัดขวางจากโพรไพโอเนตและก๊าซไฮโดรเจน ดังนั้นโพรไพโอเนตจึงมีความสัมพันธ์ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการนี้ โดยตามปกติแล้วโพรไพโอเนตสามารถเปลี่ยนเป็นอะซิเตต และก๊าซไฮโดรเจนได้ การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นได้เมื่อความดันก๊าซไฮโดรเจนต่ำกว่า 10^{-4} บรรยากาศ หรือ 100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) แสดง ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระกับความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจน (Speece, 1996)

ถ้าความเข้มข้นของโพรไพโอเนตมีค่าต่ำจะเป็นตัวบ่งชี้การทำงานที่ดีของระบบไร้อากาศ แต่การเพิ่มขึ้นของระดับโพรไพโอเนต ไม่จำเป็นที่จะต้องมีความผิดปกติจากก๊าซไฮโดรเจนมีปริมาณสูงเกินไปเสมอไป เพราะยังมีปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องอีกหลายปัจจัย การเพิ่มความเข้มข้นของโพรไพโอเนตอาจเป็นตัวบ่งชี้ความยากในขั้นตอนเมแทบอลิซึม ในขั้นเดียว หรือมากกว่านั้น ของการบำบัดแบบไร้อากาศ

ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ ที่ไม่มีการจำกัดความเข้มข้นของโพรไพโอเนต แต่ควบคุมถึงปฏิกริยาแบบตะกอนแขวนลอย (suspended growth reactors) อัดโนมิตีด้วยคอมพิวเตอร์ มีอัตราการบริโภคโพรไพโอเนต ค่าประมาณ 6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ($\text{kg/m}^3 \cdot \text{d}$) ขณะที่ถึงปฏิกริยาซูเอเอสปี มีอัตราการบริโภคประมาณ 22 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน แสดงให้เห็นว่าความใกล้ชิดกันของมวลชีวภาพภายในกลุ่มแสดงบทบาทที่สำคัญ

การเมแทบอลิซึมโพรไพโอเนต ของมวลชีวภาพชนิดเม็ดจะลดลงอย่างรุนแรง ถ้ามีประชากรเพียงกลุ่มเดียวและอยู่ในรูปแบบการเดินระบบแบบซีเอสทีอาร์ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าอัตราการบริโภคก๊าซไฮโดรเจน (H_2 -utilization rate) มีนัยสำคัญเพิ่มขึ้น เมื่อลดความแตกต่างระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ กับฟิล์มชีวภาพ ระหว่างผู้ผลิตกับผู้บริโภคก๊าซไฮโดรเจน (H_2 -producers/ H_2 -utilizers)

การเพิ่มความเข้มข้นของกรดโพรไพโอนิกสามารถยับยั้งการสร้างก๊าซมีเทน ผลกระทบจากการยับยั้งนี้ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่ผลิตและย่อยสลายกรดไขมันระเหย

อย่างไรก็ดี แบบที่เรีอาจปรับตัวต่อผลการยับยั้งของกรดโพโรไฟโอนิกที่ไม่แตกตัวเป็นไอออน ดังนั้นการเมแทบอลิซึม จึงคืนสู่สภาพเดิมได้

จากงานวิจัยของ Speece พบว่า โพโรไฟโอนิตความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่ทำให้ระบบเกิดการยับยั้งขึ้น และ McCarty และ Brousseau (1963) อ้างถึงใน Speece (1996) พบว่า ระบบสามารถทนทานได้ถึง 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3.4.3. ฟอर्मेट (formate)

จลนศาสตร์ (kinetics) ของกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน จากฟอर्मेटรวดเร็วกว่าที่สร้างจาก อะซิเตด และก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งฟอर्मेटให้ชีโอดีต่อหน่วย (unit mass) 0.348 กรัมชีโอดีต่อกรัมฟอर्मेट (g COD/g formate) น้อยกว่ากรดไขมันระเหยชนิดอื่น ปัจจุบันนี้แสดงถึงความเป็นไปได้ที่ระบบจุลินทรีย์ (microbial systems) ใช้เป็นเส้นทางลดอิควิวาเลนต์ (equivalents) ผ่านฟอर्मेट ค่อนข้างมากกว่าโพโรไฟโอนิต หรือก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งอาจจะเสถียรต่อภาวะที่ทำให้ระบบล้มเหลว (shock loads) มากกว่า

แต่ค่าความเข้มข้นของฟอर्मेट มักจะไม่นำมาใช้ในการบำบัดแบบไร้อากาศ เนื่องจากตรวจสอบได้ยาก แต่ก็มีการวิจัยบางชิ้นนำไปใช้ตรวจสอบเช่นกัน

โดยทั่วไประบบไร้อากาศควรมีปริมาณกรดระเหยประมาณ 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงต้องมีการควบคุมการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นกรดระเหยกับการเปลี่ยนแปลงกรดระเหยไปเป็นก๊าซมีเทนให้สมดุลกัน (อุตสาหกรรม, กระทรวง, กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

2.3.5 สารอาหารที่จำเป็น

เนื่องจากกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศผลิตสัจฉักน้อย ดังนั้น จึงมีความต้องการไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในการเจริญเติบโตของมวลชีวภาพน้อย แต่ในน้ำเสียบางประเภท ขาดแคลนสารอาหารเหล่านี้ จึงต้องเติมเสริมเข้าไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของสับสเตรท และอายุสัจฉัก สารอาหารที่ต้องการ 100 มิลลิกรัมมวลชีวภาพ (mg of biomass) ได้แก่ ไนโตรเจน , ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ อยู่ในช่วง 10 - 13 , 2 - 2.6 และ 1 - 2 มิลลิกรัม ตามลำดับ (Tchobanoglous, Burton และ Stensel, 2004) และโดยทั่วไปในระบบไร้อากาศจะนิยมควบคุมอัตราส่วนต่ำสุดของสารอาหารที่ต้องการสำหรับการเจริญเติบโต ฟอสฟอรัส : ไนโตรเจน : คาร์บอน = 1 : 6 : 100 (Cheremisinoff, 1994)

อย่างไรก็ตาม ควรมีความเข้มข้นของไนโตรเจน ภายในถังปฏิกริยาอยู่ในช่วง 40 - 70 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อป้องกันการขาดแคลนไนโตรเจน (Speece , 1996)

และถ้าต้องการรักษาการทำงานสูงสุดของจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนระบบจะต้องการ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ เท่ากับ 500, 10 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Speece, 1996)

โลหะปริมาณน้อย (trace metals) ที่สำคัญที่ช่วยกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทน ได้แก่ เหล็ก (Fe) โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) และ สังกะสี (Zn) ปริมาณที่แนะนำ ได้แก่ 0.02 , 0.004 , 0.003 และ 0.02 มิลลิกรัมต่อกรัมอะซิเตตที่ผลิตขึ้น (mg/g acetate produced) ตามลำดับ และกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศที่มีความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยสูง โลหะปริมาณน้อยต่อลิตรของถังปฏิกรณ์ที่แนะนำ ได้แก่ เฟอรัลคลอไรด์ (FeCl_2) 1.0 มิลลิกรัม โคบอลต์คลอไรด์ (CoCl_2) 0.1 มิลลิกรัม นิกเกิลคลอไรด์ (NiCl_2) 0.1 มิลลิกรัม และซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) 0.1 มิลลิกรัม (Tchobanoglous, Burton และ Stensel, 2004) และใช้สารอาหารอนินทรีย์เพื่อรักษามวลชีวภาพในการทดลองที่เตรียมได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของสารอาหารอนินทรีย์ สำหรับการศึกษาระบบไร้อากาศ (Speece, 1996)

Constituent	Concentration in Reactor (mg/L)
NH_4Cl	400
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	400
KCl	400
$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	300
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	80
$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	40
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10
KI	10
$(\text{NaPO}_3)_6$	10
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.5
NH_4VO_3	0.5
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5
ZnCl_2	0.5

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) องค์ประกอบของสารอาหารอินทรีย์ สำหรับการศึกษาระบบไร้อากาศ (Speece, 1996)

Constituent	Concentration in Reactor (mg/L)
$\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.5
$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5
H_3BO_3	0.5
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.5
$\text{NaWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5
Na_2SeO_3	0.5
Cysteine	10
NaHCO_3	6000

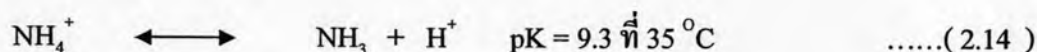
2.3.6 สารพิษ

สารพิษ คือ สารที่ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อการเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียซึ่งไม่จำเป็นต้องทำให้มีการตายเกิดขึ้น และสารพิษนั้นจะหมายถึง องค์ประกอบในน้ำเสีย ที่เป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบดังกล่าว สารพิษที่มีผลกระทบต่อระบบไร้อากาศที่สำคัญ ได้แก่

1) แอมโมเนีย

ความเป็นพิษของแอมโมเนียมักจะพบในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูง หรือมีสารตั้งต้นประเภทโปรตีน

การแตกตัวของแอมโมเนีย (NH_3 ionization) จะถูกควบคุมโดยค่าพีเอช และอุณหภูมิ ซึ่งมีการแตกตัว ดังสมการที่ (2.14) โดยแอมโมเนียมีความเป็นพิษมากกว่า (Speece, 1996) แต่ถ้าค่าพีเอช เท่ากับ 7.2 หรือต่ำกว่า แอมโมเนีย เกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมอิออนซึ่งมีความเป็นพิษน้อย (อุตสาหกรรม,กระทรวง. กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)



$$\text{NH}_3 = N_{\text{Total}} / [1 + \text{H}^+/\text{K}]$$

Wiegant และ Zeeman (1986) พบว่า แอมโมเนียมีบทบาทเป็นตัวยับยั้งอย่างแรงในการสร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจน แต่มีผลกระทบต่อ การสร้างโดยใช้อะซิเตตต่ำกว่า

ถ้าปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) สูง การลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 55 องศาเซลเซียส เป็นผลให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นและกระบวนการมีเสถียรภาพมากขึ้น เพราะจะเป็นการลดความเข้มข้นของแอมโมเนีย (NH_3) ทำให้การย่อยสลายกรดไขมันระเหย (VFA) ดีขึ้น

2) ชัลไฟด์

สำหรับจุลินทรีย์ชนิดเมธานที่เพิ่มขึ้นในระบบที่มีซัลเฟตจะถูกยับยั้งโดยไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชด้วย ถ้าค่าพีเอชมีค่าเป็นค่ากลางผลการยับยั้งนั้นจะมากกว่าที่ค่าพีเอชเป็นกลางหรือกรด แต่ถ้าจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นในระบบที่ไม่มีซัลเฟต การยับยั้งจะมีสาเหตุจากไฮโดรเจนซัลไฟด์อิสระที่ไม่ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช และผลกระทบจากความเป็นพิษของซัลไฟด์อยู่ในรูปความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่านั้น (Speece, 1996)

ซัลไฟด์มีผลเสียต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน เนื่องจากสามารถตกผลึกเหล็กนิเกิลและโลหะที่จำเป็นต่างๆ และเมื่อซัลไฟด์ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนมีระดับความเข้มข้นสูงกว่า 100-150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน (อุตสาหกรรม, กระทรวง. กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

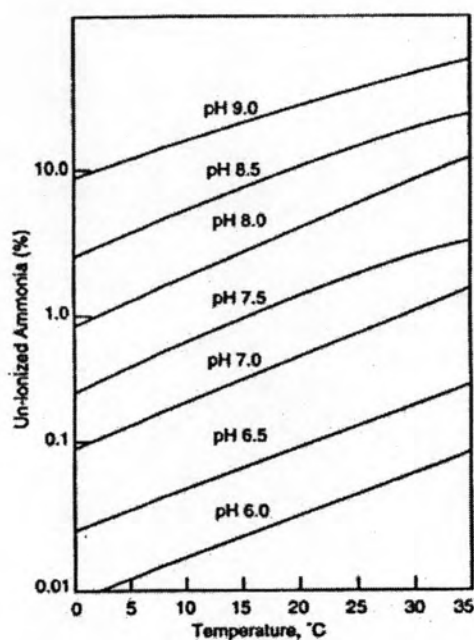
3) ประจุบวกของโลหะ (cation)

การเติมเบสเพื่อควบคุมพีเอชของระบบไร้อากาศ จะส่งผลให้ปริมาณของประจุบวกของโลหะเบาที่เกี่ยวข้องกับเบส ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (Mg) ที่พบในระบบสูงขึ้นและสามารถทำให้เกิดความเป็นพิษได้ (อุตสาหกรรม, กระทรวง. กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

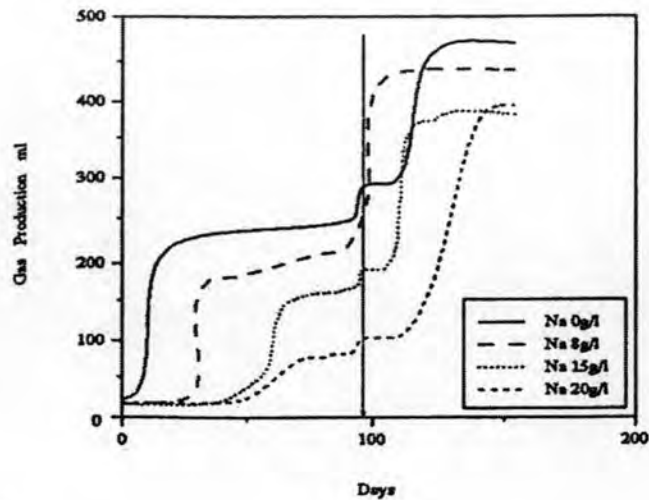
ความเป็นพิษจากโซเดียม จะเกิดกับมวลชีวภาพในระบบไร้อากาศที่ไม่ได้รับการปรับสภาพให้เกิดความคุ้นเคย ดังนั้นสิ่งสำคัญคือ ความเป็นไปได้ในการปรับสภาพให้เกิดความคุ้นเคย, ความสัมพันธ์ของอัตราเมแทบอลิซึมภายหลังการปรับสภาพ และการรักษาลักษณะการปรับสภาพตลอดช่วงระยะเวลา ภาพที่ 2.7 แสดงการปรับสภาพของจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนให้คุ้นเคยกับความเข้มข้นของโซเดียมไอออน (Na^+)

ระบบไร้อากาศแบบเดิมที่รับความเข้มข้นของโซเดียมไอออนได้ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการปรับสภาพแล้วสามารถรับความเข้มข้นได้สูงถึง 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการบริโภคร้อยละ 50 ของการควบคุมโซเดียมไอออนระดับต่ำ (Speece, 1996)

ความเป็นพิษจากโพแทสเซียม มีผลกระทบหลักที่เกิดจากโพแทสเซียม อีออน (K^+) ทำให้เกิดการลดลงของอัตราการบริโภคสับสเตรทสูงสุดจำเพาะ (maximum specific substrate utilization rate) หรือ k_{max} (Kugelman และ Chin, 1971 อ้างถึงใน Speece, 1996) (ภาพที่ 2.6-2.7)



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมโมเนียที่ไม่แตกตัว (Un-ionized NH_3) กับอุณหภูมิ ที่ระดับพีเอชต่างๆ (Speece, 1996)



ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงการปรับสภาพของจุลินทรีย์สร้างมีเทนกับความเข้มข้นของโซเดียมไอออน (Speece, 1996)

2.3.7 ศักยภาพการให้และรับอิเล็กตรอน (Oxidation-Reduction Reaction)

ศักยภาพการให้และรับอิเล็กตรอน หรือ ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) คือ ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปสู่อีกสารหนึ่ง โดยวัดความแตกต่างด้านความสามารถ ในการให้หรือรับอิเล็กตรอนระหว่างปฏิกิริยาทั้งสองด้วยค่า ออกซิเดชัน-รีดักชันโพเทนเชียล หรือ โออาร์พี (ORP) อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ถ้าวัดค่าโออาร์พี ได้ค่าบวกมาก แสดงว่าสารละลายมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนได้ดี

โดยทั่วไปจะวัดโออาร์พีได้ค่าบวกในน้ำที่มีออกซิเจน หรือไนเตรตและวัดค่าโออาร์พี ได้ค่าลบในน้ำเสียที่ปราศจากออกซิเจน (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2542) ซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนและเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในระบบไร้อากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือกรดอะซิติกจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนโดยถังย่อยไร้อากาศที่ดีจะต้องมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ ถ้าค่าโออาร์พีมีค่าเป็นลบน้อยๆ หรือมีค่าเป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไร้อากาศเกิดขึ้นน้อยหรือไม่เกิดขึ้น (อุตสาหกรรม,กระทรวง. กรม โรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

2.4 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB)

2.4.1 ประวัติความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี

ในปี 1972 Lettinga และคณะ ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกากน้ำตาลโดยใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ และนำไปสู่การพัฒนากระบวนการยูเอเอสบีขึ้น ระหว่างปี 1974 ถึง ปี1977 ได้มีการสร้างโรงบำบัดน้ำเสียนำร่อง (pilot plants) ระบบยูเอเอสบีขึ้นในประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งมีขนาด 6, 30 และ 200 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และระบบยูเอเอสบีเต็มมาตราส่วน (full-scale) มีขนาด 800 ลูกบาศก์เมตร ได้ถูกสร้างขึ้นในปี 1978 เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล สามารถกำจัดชีโอดีได้ร้อยละ 88 ที่ภาระสารอินทรีย์ (organic loading) 16.25 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ($\text{kgCOD}/\text{m}^3\text{-d}$) นับแต่นั้นเป็นต้นมาจึงมีการนำไปใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ ทั่วโลก ซึ่งประสิทธิภาพด้านการประหยัดค่าใช้จ่ายและความสามารถรับภาระสารอินทรีย์สูงๆได้ จึงทำให้ระบบยูเอเอสบีได้รับความสนใจ (Lin และ Yang, 1991)

2.4.2 หลักการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ถังปฏิกริยายูเอเอสบี มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน แสดงดังภาพที่ 2.8 ซึ่งประกอบด้วย

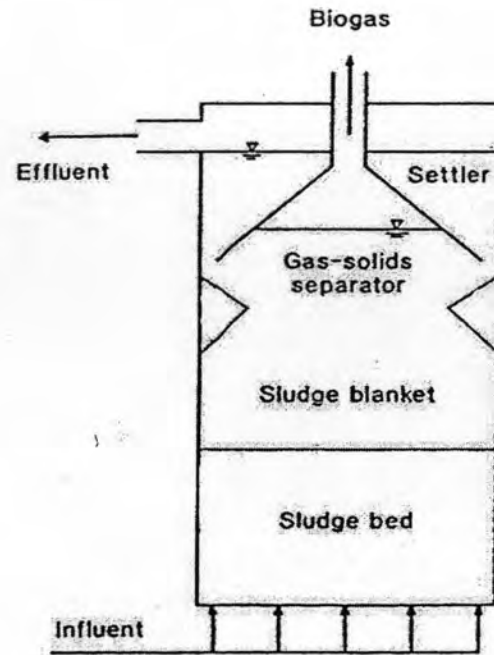
1) ชั้นตะกอนจมตัว (sludge bed) คือ ชั้นของมวลชีวภาพจมตัวอยู่ที่ก้นถังปฏิกริยา

2) ชั้นตะกอนแขวนลอย (sludge blanket) คือ ชั้นของอนุภาคแขวนลอยที่ถูกกวนผสมด้วยก๊าซที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ซึ่งการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียที่เข้าระบบทางก้นถังปฏิกริยาจะเกิดขึ้นในบริเวณนี้ และบริเวณชั้นตะกอนจมตัวด้วย

3) ส่วนแยกก๊าซ-ของแข็ง (gas-solids separator : GSS) คือ อุปกรณ์ในการแยกก๊าซออกจากของเหลว

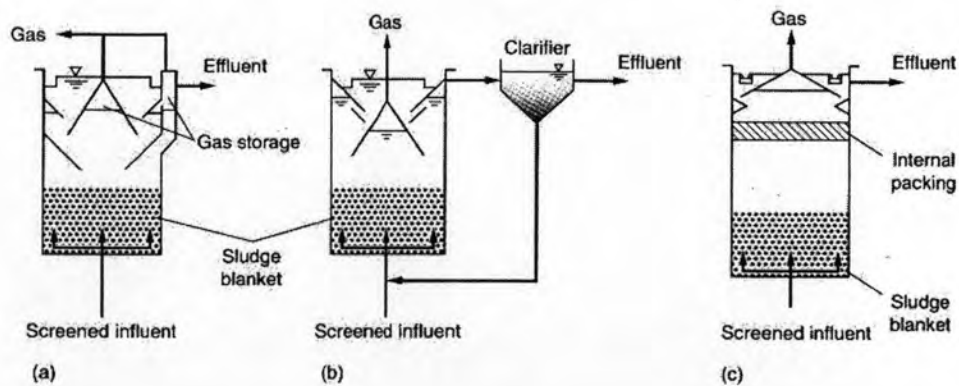
4) ส่วนตกตะกอน (settlement compartment) คือ บริเวณสงบนิ่ง อนุภาคของสัคค์ ที่เข้ามาในบริเวณตกตะกอนนี้ จะตกกลับลงสู่ถังปฏิกริยา มีปริมาณน้อยมากที่จะถูกชะล้างออกไปกับน้ำออกจากถังปฏิกริยา

เนื่องจากกระบวนการของระบบยูเอเอสบี สามารถรักษามวลชีวภาพได้สูงและมีความสามารถเฉพาะตัวสูงในการรับอัตราภาระสารอินทรีย์จึงสามารถกำจัดชีโอดีได้ดี และจากการที่สามารถแยกก๊าซ ของเหลว และของแข็งภายในถังปฏิกริยา และไม่จำเป็นต้องใช้ตัวกลางเพื่อให้แบคทีเรียยึดเกาะ จึงช่วยลดปัญหาการอุดตันและประหยัดค่าใช้จ่ายต่ำกว่าระบบไร้อากาศอื่นๆ (Lin และ Yang, 1991)



ภาพที่ 2.8 ส่วนประกอบหลักของถังปฏิกริยาเยอเอสบี (UASB reactor) (Lin และ Yang, 1991)

นอกจากนี้ ยังมีการประยุกต์รูปแบบถังปฏิกริยาเยอเอสบีโดยการเพิ่มเติม ส่วนประกอบบางอย่างเข้าไป เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน แสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างการประยุกต์รูปแบบถังปฏิกริยาเยอเอสบีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน (Tchobanoglous, Burton และ Stensel, 2004)

2.4.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบยูเอเอสบี

2.4.3.1 โครงสร้างของถังปฏิกริยายูเอเอสบี

(1) ขนาดถังปฏิกริยา (Dimensions) (Lin และ Yang, 1991)

ขนาดถังปฏิกริยาถูกกำหนดจากภาวะสารอินทรีย์ หรือภาวะชลศาสตร์ (hydraulic loading) ความเร็วของของเหลวบนผิวหน้าตกตะกอนและธรรมชาติของน้ำเสีย การออกแบบในระดับเต็มมาตรส่วน ค่าความปลอดภัยสูงสุดในการออกแบบจะต้องมีภาวะสารอินทรีย์ 15-20 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และความเร็วในการจมตัวจำเพาะ (settler superficial velocities) 1.2-1.5 เมตรต่อชั่วโมง (m/h) สำหรับน้ำเสียเข้มข้นต้องการถังปฏิกริยาขนาดใหญ่เหมาะสมกับภาวะสารอินทรีย์ ในทางตรงข้ามน้ำเสียเจือจางจำเป็นจะต้องมีพื้นที่ผิวหน้ากว้าง เพื่อลดความเร็วใกล้ผิวหน้า

ในทางทฤษฎี ไม่มีการจำกัดขนาดของถังปฏิกริยายูเอเอสบี แต่ถ้าขนาดใหญ่มากกว่า 1,500 ลูกบาศก์เมตร อาจทำให้เกิดปัญหาในการก่อสร้างและเดินระบบได้ จึงใช้ถังปฏิกริยาขนาดเล็กหลายถังขนานกันแทน และแนะนำให้ความสูงของถังไม่เกินกว่า 6 เมตร

(2) เครื่องแยกก๊าซ-ของแข็ง (Lin และ Yang, 1991)

เครื่องมือดังกล่าว จะทำการแยกก๊าซชีวภาพออกจากของเหลวที่ผสมกันอยู่ ตะกอนที่จมตัวได้จะเข้าสู่ส่วนจมตัว และตกกลับเข้าสู่ส่วนย่อยสลาย

ส่วนหักเหที่ลาดเอียงประมาณ 50 องศา กับแนวราบของระบบทำให้ได้เปรียบสำหรับการไหลแนวตั้งของก๊าซในของเหลว และไม่ขัดขวางการตกกลับของสัลดับริเวณส่วนตกตะกอน ความเร็วของการไหลในบริเวณนี้ควรมีความเร็วสูงสุด 2-5 เมตรต่อชั่วโมง ผิวหน้าระหว่างก๊าซและของเหลวภายในกรวย เครื่องแยกก๊าซ-ของแข็ง ควรจะเกิดการกวนได้ดีและมีพื้นที่เพียงพอที่จะปลดปล่อยก๊าซออกไปได้ง่าย และควรป้องกันตะกอนลอยที่ชะล้างออกไป ดังนั้นบริเวณนี้ควรมีพื้นที่กว้างพอที่จะหลีกเลี่ยงการก่อตัวของตะกอนลอย

(3) ระบบการป้อนน้ำ (Inlet system) (Lin และ Yang, 1991)

โดยปกติสภาวะในการเดินระบบภายใต้อุณหภูมิต่ำ หรือภาวะสารอินทรีย์ต่ำ ทำให้ผลผลิตก๊าซต่ำเกินกว่าจะกวนผสมได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นระบบการป้อนน้ำและการกวนผสมจึงมีความจำเป็นเพื่อลดช่องว่างและการกั้วงจรในชั้นตะกอนจมตัว ระบบการป้อนน้ำที่ดี จะสนับสนุนการสัมผัสระหว่างตะกอนกับน้ำเสีย สำหรับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำจะมีความวิกฤตของช่องว่างมากกว่า เนื่องจากมีการสร้างก๊าซที่จะช่วยกวนผสมชั้นตะกอนแขวนลอยน้อย

ในการเดินระบบถังปฏิภริยาระดับเต็มมาตราส่วนที่มีการะสารอินทรีย์สูง 6 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีความต้องการจุดกระจายน้ำหนึ่งจุดต่อพื้นที่ 7-10 ตารางเมตร จะทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพ

สำหรับน้ำเสียเจือจางที่มีการกวนผสมจากก๊าซต่ำต้องการจุดกระจายน้ำหนึ่งจุด ทุก 1-2 ตารางเมตร

2.4.3.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของถังปฏิภริยาเยื่อเออสปี

(1) ลักษณะของน้ำเสีย

สารที่ปรากฏอยู่ในน้ำเสียนั้นสามารถเปลี่ยนเป็นเม็ดตะกอน แต่สารดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุของฟอง หรือตะกอนลอยได้ด้วยเช่นกัน และน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของโปรตีน และ/หรือไขมัน มีแนวโน้มที่จะเป็นสาเหตุของปัญหาดังกล่าว ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างอนุภาคกับซีโอดีละลาย (soluble COD) จึงถูกใช้ในการกำหนดการะของถังปฏิภริยาเยื่อเออสปีและการประยุกต์ใช้กระบวนการ ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวเพิ่มขึ้นการรวมตัวของเม็ดตะกอนจะลดลง (Lettinga และ Hulshoff Pol, 1991 อ้างถึงใน Tchobanoglous, Burton และ Stensel, 2004)

(2) ปริมาณการะสารอินทรีย์

การะซีโอดี (COD loading) เป็นตัวแทนของความรุนแรงของน้ำเสียของถังปฏิภริยาเยื่อเออสปี น้ำเสียหลายประเภทมีซีโอดีอยู่ในช่วง 12-20 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน สามารถถูกกำจัดได้ร้อยละ 90-95 ที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส ขณะที่การกำจัดซีโอดีต่ำกว่าร้อยละ 90 มีของแข็งทั้งหมด (TSS) สูง และใช้ความเร็วไหลขึ้น (upflow velocities) สูง จะช่วยพัฒนาตะกอนเม็ด (granulated sludge) ขึ้นและชะล้างของแข็งอื่นๆออกไป ที่สภาวะนี้จึงมีปริมาณการะสารอินทรีย์สูงกว่าสัดส่วนของซีโอดีในน้ำเสียและความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 2.5 ส่วนน้ำเสียที่มีการะสูง ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันระเหยเป็นส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้ตะกอนเม็ดมากขึ้นด้วย (Tchobanoglous, Burton และ Stensel, 2004)

(3) ความเร็วไหลขึ้น (Upflow velocity)

ความเร็วไหลขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและพื้นที่ของถังปฏิภริยาซึ่งมีการแนะนำไว้ แสดงดังตารางที่ 2.5

สำหรับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำนั้น ความเร็วและความสูงของถังปฏิภริยา (reactor height) ประเมินได้จากปริมาณของถังปฏิภริยาเยื่อเออสปี และสำหรับน้ำเสียความเข้มข้นสูงจะประเมินจากปริมาณการะสารอินทรีย์

$$\text{ความเร็วไหลขึ้น (v)} = \frac{\text{อัตราการไหล (Q)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของถังปฏิกรณ์ (A)}} \quad \dots\dots(2.15)$$

เมื่อ v = design upflow superficial velocity, m/h
 A = reactor cross-section area, m²
 Q = influent flowrate, m³/h

ตารางที่ 2.5 ปริมาณภาระซีโอดี(COD loading) ที่แนะนำสำหรับถังปฏิกริยายูเอเอสบี ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งกำจัดซีโอดีได้ ร้อยละ 85-95 (Tchobanoglous, Burton และ Stensel, 2004)

Wastewater COD, mg/L	Fraction as particulate COD	Volumetric loading, kg COD/m ³ -d		
		Flocculent sludge	Granular sludge With high TSS removal	Granular sludge With little TSS removal
1,000-2,000	0.10-0.30	2-4	2-4	8-12
	0.30-0.60	2-4	2-4	8-14
	0.60-1.00	na	na	na
2,000-6,000	0.10-0.30	3-5	3-5	12-18
	0.30-0.60	4-8	2-6	12-24
	0.60-1.00	4-8	2-6	na
6,000-9,000	0.10-0.30	4-6	4-6	15-20
	0.30-0.60	5-7	3-7	15-24
	0.60-1.00	6-8	3-8	na
9,000-18,000	0.10-0.30	5-8	4-6	15-24
	0.30-0.60	na	3-7	na
	0.60-1.00	na	3-7	na

หมายเหตุ : kg/m³-d × 62.4280 = lb/10³ ft³-d

ตารางที่ 2.6 ค่าความเร็วไหลขึ้นและความสูงของถังปฏิกริยาที่แนะนำสำหรับถังปฏิกริยาเยอเอสปี (Tchobanoglous, Burton และStensel, 2004)

Wastewater type	Upflow velocity , m/h		Reactor height , m	
	Range	Typical	Range	Typical
COD nearly 100% soluble	1.0-3.0	1.5	6-10	8
COD partially soluble	1.0-1.25	1.0	3-7	6
Domestic wastewater	0.8-1.0	0.7	3-5	5

หมายเหตุ : m 3.2808 = ft. , m/h 3.2808 = ft/h.

(4) อุณหภูมิในการเดินระบบ (Operating temperature)

โดยส่วนใหญ่แล้วการเดินระบบเยอเอสปีจะกระทำที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส แต่ในบางกรณีอาจเดินระบบที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของตะกอนในระบบไร้อากาศ (anaerobic sludge) และลักษณะของน้ำเสียด้วย (Lin and Yang, 1991) ตัวอย่างของภาวะสารอินทรีย์ที่สัมพันธ์กับบทบาทของอุณหภูมิที่มีผลต่อน้ำเสียที่มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ซีโอดีละลายน้ำ (soluble COD) (Tchobanoglous, Burton และStensel, 2004)

(5) บทบาทของสภาพด่างของระบบเยอเอสปี (UASB alkalinity role)

ผลจากน้ำเข้าระบบทั้งหมดจนกระทั่งออกจากระบบ มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียสภาพด่างสุทธิออกจากระบบน้อย ดังนั้นหน้าที่ของสภาพด่าง จึงได้แก่เป็นตัวตั้งต้นควบคุมการลดลงของพีเอชในบริเวณที่มีก๊าซไฮโดรเจน (H_2 zone) เกิดขึ้นสูง สภาพด่างที่เดิมเสริมลงในน้ำเข้าระบบในที่สุดแล้วจะกลายเป็นของเสียในน้ำออกจากระบบ ตัวอย่างเช่น ของเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตมีความต้องการสภาพด่าง 1.2-1.6 กรัมสภาพด่างในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตต่อกรัมซีโอดีน้ำเข้าระบบ (g Alk as $CaCO_3$ /g influent COD) ซึ่งทำให้พอเพียงในการรักษาพีเอชสูงกว่า 6.6 (Speece, 1996)

2.4.3.3 ชนิดของจุลินทรีย์ในระบบเยอเอสปี

Methanoseata และMethanosarcina species เป็นแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนเพียง 2 กลุ่ม ซึ่งสามารถย่อยสลายอะซิเตดได้ Westernman's team ได้รายงานไว้ว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นต่ำสุด (The minimum threshold concentrations : S_{min}) มีความแตกต่างกันสำหรับการบริโภคอะซิเตดของแบคทีเรียสร้างมีเทน ดังนี้ 67, 24 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับ *Methanosarcina barkeri* , *Methanosarcina mazie* และ *Methanoseata* ตามลำดับ (Speece, 1996)

การรวมตัวและเสริมการทำงานซึ่งกันและกันของมวลชีวภาพที่รวมตัวกันในบางครั้งมีประโยชน์จากการบริโภคของฟิล์มชีวภาพ และมีจุลินทรีย์ในกระบวนการไร้อากาศ

ความพิเศษของกลุ่มจุลินทรีย์ไร้อากาศเหล่านี้ในฟิล์มชีวภาพ และเมื่อดูจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการ ทำงานร่วมกันสูงสุดระหว่างสิ่งมีชีวิตที่ทำงานร่วมกัน โดยลดระยะทางในการแพร่เพื่อส่งผ่านใน กระบวนการเมแทบอลิซึม เซลล์ที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดหรืออยู่เป็นชุมชนจะมีความได้เปรียบใน การย่อยสลายสับสเตรทที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจน(H_2 -producing substrates) เช่น คาร์โบไฮเดรต โพรไพ โอเนต บิวทิเรต เอทานอล (CH_3CH_2OH) และ โพรพานอล ($CH_3CH_2CH_2OH$) เป็นต้น

จากโครงสร้างของกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบไร้อากาศ สังเกตพบแบคทีเรียที่ คล้ายกับ *Methanosarcina* ซึ่งคาดว่ามีความสามารถจำเพาะ (specific activity) อยู่ในชั้นนอกของ กลุ่มจุลินทรีย์ไร้อากาศซึ่งมีจำนวนมากกว่าแบคทีเรียที่คล้ายกับ *Methanosaeta* ในชั้นที่อยู่ถัดเข้าไป ภายใน และพบแบคทีเรียชนิดเด่นที่ทำหน้าที่หมัก (fermentative bacterias) อยู่ในชั้นนอก แต่ ในทางตรงข้ามแบคทีเรียที่ย่อยสลายโพรไพโอเนต(propionate-degrading bacteria) จะปรากฏเด่น อยู่ลึกเข้าไปข้างใน จุลินทรีย์ที่บริโภคโพรไพโอเนตจะหูดอยู่ด้านในที่ว่างของฟิล์มชีวภาพ หรือ หลบอยู่ในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ขณะที่แบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนจากการบริโภคก๊าซไฮโดรเจน ปรากฏเด่นในชั้นนอกสุด กิจกรรมของแบคทีเรียสร้างอะซิติก(aceticlastic activity) จะกระจาย สม่าเสมอทั่วผิวที่อยู่ถัดเข้าไปของฟิล์มชีวภาพหรือเม็ดจุลินทรีย์ (การเปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซ มีเทนไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนกับโพรไพโอเนต) แต่ถึงอย่างไรก็ตามผิวหน้าชั้น ถัดไปยังคงมีแบคทีเรียที่คล้าย *Methanosaeta* (*Methanothrix*) ปรากฏโดดเด่นอยู่ (Guiot และคณะ, 1992 อ้างถึงใน Speece, 1996)

ซึ่งในระบบยูเอเอสบีมีความเร็วไหลขึ้นช่วยกำหนดค่าความดันจำเพาะ คงที่ (constant selection pressure) ของจุลินทรีย์ซึ่งสามารถเกาะกันได้เพื่อก่อตัวเป็นเม็ดตะกอน จุลินทรีย์และจมตัวได้ดี (Paussand Guiot, 1993 อ้างถึงใน Speece, 1996)

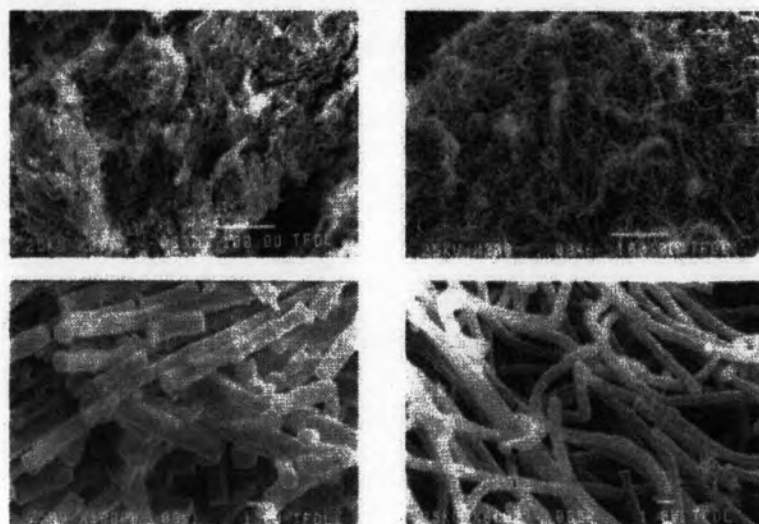
De Zeeuw (1987) อ้างถึงใน Hulshoff Pol และคณะ (2004) อธิบาย รูปแบบต่างๆ ของเม็ดตะกอนในการทดลองเริ่มต้นเดินระบบ(start-up) ของระบบยูเอเอสบีระดับ ห้องปฏิบัติการทดลองโดยใช้กรดไขมันระเหยเป็นสับสเตรทประกอบด้วย 3 รูปแบบ ดังนี้

(1) เม็ดตะกอนทรงกลมอัดแน่น มีองค์ประกอบหลักเป็นแบคทีเรียรูปร่าง แบบท่อน (rod-shaped bacteria) ลักษณะคล้าย *Methanothrix soehngenii* สายสั้น หรือเซลล์เดี่ยว แสดงดังภาพที่ 2.10 (ก)

(2) เม็ดตะกอนค่อนข้างกลม มีองค์ประกอบหลักเป็นแบคทีเรียแบบเส้น ใย (filamentous bacteria) สานกันหลวมๆ เกาะติดกับอนุภาคที่สอดแทรกอยู่ แบคทีเรียที่พบ โดยทั่วไปมีลักษณะคล้าย *Methanothrix soehngenii* แสดงดังภาพที่ 2.10 (ข)

(3) เม็ดตะกอนทรงกลมอัดแน่นประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่ม *Methanosarcina*-type เป็นกลุ่มเด่น แสดงดังภาพที่ 2.11

ซึ่งการเกิดตะกอนจุลินทรีย์แต่ละชนิด อธิบายด้วยพื้นฐานของการคัดเลือกของตะกอน และการกักกร่อนและขยายตัวของชั้นตะกอนจมน้ำ และความแตกต่างของแรงดัน และอายุสัปดาห์ แต่เมื่อตะกอน *Methanosarcina* จะพัฒนาและรวมกลุ่มกันโดยไม่ขึ้นอยู่กับค่าแรงดัน ซึ่งภายในกลุ่มนี้จะมีโพรเจนจำนวนมากที่สามารถเป็นที่อยู่ของแบคทีเรียชนิดอื่น อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ใช้เพียงอะซิเตตความเข้มข้น 1 กิโลกรัมซีไอต่อลูกบาศก์เมตร เป็นสับสเตรทเพียงอย่างเดียว ซึ่ง *Methanosarcina* สามารถที่จะเจริญได้ดีกว่า *Methanothrix*



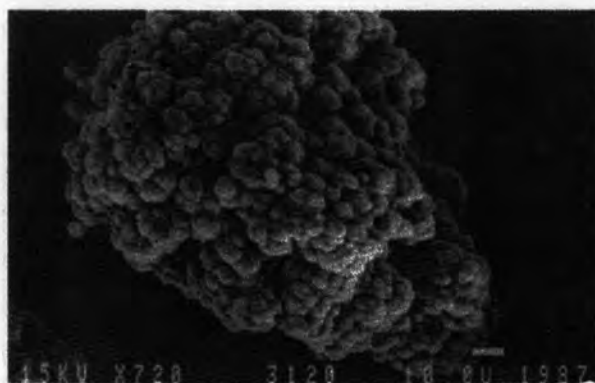
(ก)

(ข)

ภาพที่ 2.10 รูปร่างของแบคทีเรีย (Hulshoff Pol และคณะ, 2004)

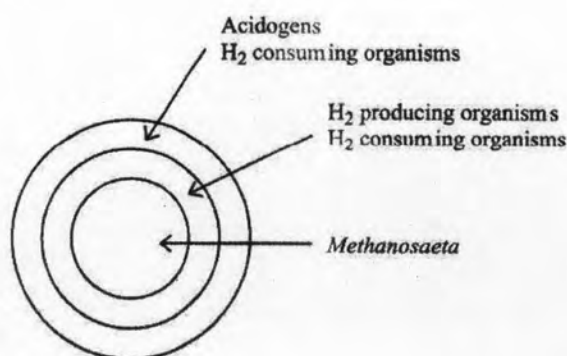
(ก) แบคทีเรียรูปร่างแบบท่อน (rod-shaped bacteria) คล้าย *Methanothrix soehngeni*

(ข) แบคทีเรียรูปร่างแบบเส้นใย (filamentous bacteria) ลักษณะคล้าย *Methanothrix soehngeni*



ภาพที่ 2.11 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่ม *Methanosarcina* (Hulshoff Pol และคณะ, 2004)

จากการทดลองของ McLeod และคณะ (1990) อ้างถึงใน Hulshoff Pol และคณะ (2004) อ้างว่ากลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายซูโครส เป็นแกนกลางและจะมีจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ มาเกาะกันเป็นชั้นซ้อนกัน ดังภาพที่ 2.12 โดยที่ชั้นนอกสุดเป็นแบคทีเรียที่ทำหน้าที่หมักโดยใช้ สับสเตรทที่อยู่ในสารละลาย ได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดอินทรีย์ซึ่งเป็นสับสเตรทให้กับจุลินทรีย์สร้างอะซิเตตต่อไป และในชั้นนี้ยังมีจุลินทรีย์ใช้ก๊าซไฮโดรเจนอิสระ (H_2) ชั้นกลางมีจุลินทรีย์บริโภคน้ำ ก๊าซไฮโดรเจนอยู่ด้วยเช่นกันซึ่งจะร่วมกันกำจัดก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากจุลินทรีย์ที่สร้างอะซิเตต (H_2 -producing acetogens) เหลือแต่อะซิเตตให้ *Methanotrix* จากการรวมกันและเรียงระดับชั้น ผู้บริโภคน้ำ (trophic groups) ที่แตกต่างกันทำให้การทำงานของจุลินทรีย์สร้างอะซิเตต อยู่ในระดับสูง อย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 2.12 องค์ประกอบของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ เสนอโดย McLeod และคณะ (Hulshoff Pol และคณะ, 2004)

ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบไร้อากาศ (Boonyakitsombut, 2004)

- ต้องการแรงขับทางชลศาสตร์ (hydrodynamic shear force) โดยมีความเร็วไหลขึ้นสูง และระยะเวลาพักชลศาสตร์ต่ำ (low HRT) ในระยะเริ่มสร้างเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์เพื่อไล่อุจลินทรีย์บางส่วนที่รบกวนการเกิดเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ออกไป อัตราการระสาดินทรีย์ต้องเริ่มที่ความเข้มข้นต่ำ แล้วจึงค่อยๆเพิ่มความเข้มข้นขึ้นไป ถ้าการระสาดินทรีย์มีค่าสูงเกินไปจะทำให้เมื่อดตะกอนอ่อนแอ และมีการสร้างก๊าซมากขึ้นไป ซึ่งจะเป็นผลให้ไม่เกิดการรวมตัวของเมื่อดตะกอน และมีการชะล้าง (wash-out) ของเซลล์ออกไป

- ลักษณะของน้ำเสียนี้อาจมีผลต่อรูปแบบ องค์ประกอบ และโครงสร้างของเมื่อดตะกอน สับสเตรทที่มีพลังงานสูง เช่น คาร์โบไฮเดรต ทำให้รูปแบบเมื่อดตะกอนมีเยื่อหุ้มเซลล์และโพลีเมอร์ (Extracellular polymer ; ECP) เส้นใยยึดเกาะระหว่างเซลล์รวมตัวกัน

- ลักษณะของหัวเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ (seed sludge) ที่มีน้ำหนักรวมมีข้อได้เปรียบซึ่งเกิดการชะล้างออกไปได้น้อย และการเติมโพลีเมอร์ และอิออนบวก เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} และ Fe^{3+} สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างเมื่อดตะกอนได้อีกด้วย

- อุณหภูมิและค่าพีเอชก็มีส่วนสำคัญเช่นกัน โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 30-35 องศาเซลเซียส ถ้าต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส จะเกิดการยับยั้งขึ้น ส่วนค่าพีเอชที่เหมาะสมนั้นอยู่ระหว่าง 5.5-8.0 ถ้าค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.5-11.0 จะทำให้เมื่อดตะกอนจุลินทรีย์อ่อนแอได้ แต่ค่าพีเอชต่ำกว่า 5.0 จะทำให้ความแข็งแรงของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ข้อดี-ข้อเสีย ของระบบยูเอเอสบี

ข้อดี

- ลดค่าใช้จ่าย เพราะไม่ต้องใช้ตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ
- รักษามวลจุลินทรีย์ได้สูง จึงสามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูง
- เนื่องจากเป็นระบบปิด จึงสามารถนำก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้
- สามารถแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียได้ง่าย

ข้อเสีย

- ต้องใช้ระยะเวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ (start-up) ค่อนข้างนาน
- ต้องเลี้ยงจุลินทรีย์ให้จับตัวเป็นเมื่อด มิฉะนั้นจะด้อยประสิทธิภาพ

-ต้องพยายามรักษาตะกอนจุลินทรีย์ในระบบให้เหมาะสม เพื่อมิให้อัตราการระ
สารอินทรีย์ลดลง

-ต้องมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการกวนตะกอน

-น้ำเสียแต่ละประเภทมีผลต่อการเกิดและคุณสมบัติของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์
แตกต่างกัน

2.5 การพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด แบบประสิทธิภาพสูง

จากความแตกต่างของสภาวะการทำงานของจุลินทรีย์ 2 กลุ่มในระบบไร้อากาศ ได้แก่
จุลินทรีย์สร้างกรด และจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทน ดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น การแยกขั้นตอน
(separation of phase) จึงเป็นวิธีการเลือกสภาวะที่เหมาะสม (optimal conditions) ในการเดินระบบ
ของแต่ละกระบวนการ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ เป็นเหตุให้อัตราการ
สร้างกรดและการสร้างก๊าซชีวภาพสามารถเกิดขึ้นอย่างสูงสุด ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจึงมี
ประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตาม ในแต่ละขั้นตอนก็ยังคงมีจุลินทรีย์ของขั้นตอนอื่นปะปนอยู่ แต่มิได้มี
บทบาทสำคัญในขั้นตอนที่มีสภาวะที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตหรือการทำงาน ซึ่งจุลินทรีย์
กลุ่มนี้ อาจเรียกว่า จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่เด่น ก็ได้

เทคนิคที่เหมาะสมที่สุดในการแยกกระบวนการออกเป็นสองขั้นตอน คือ การควบคุมอัตรา
การป้อนสารอินทรีย์ โดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ ในถังสร้างกรดสูง (HRT ต่ำ) ซึ่งจะให้มี
ปริมาณกรดไขมันระเหยสูง มีผลในการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนในถัง
สร้างกรดโดยตรงและการที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ต่ำ ส่งผลให้จุลินทรีย์สร้างมีเทน
เจริญเติบโตไม่ทัน ส่วนในถังสร้างก๊าซมีเทนจะใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ ต่ำกว่าในถังสร้างกรด
(HRT ยาวนานกว่า) (นาฏนดา ธรินทร์วรกุล, 2537) จากเทคนิคดังกล่าวจะส่งผลถึงค่าพีเอชใน
ระบบด้วย ซึ่งมีผลต่อจุลินทรีย์แต่ละประเภท จึงอาจใช้ค่าพีเอชในการแยกขั้นตอนได้เช่นกัน

2.5.1 ลักษณะการทำงานของระบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอน

ระบบบำบัดไร้อากาศแบบสองขั้นตอน ประกอบด้วยถังปฏิกริยาจำนวน 2 ถังต่อ
อนุกรมกัน

ถังปฏิกริยาแรก ได้แก่ ถังปฏิกริยาสร้างกรด เดินระบบด้วยสภาวะที่เหมาะสม
สำหรับการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์สร้างกรด ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดกระบวนการ
สร้างกรดไขมันระเหย โดยค่าพีเอชที่ทำให้การสร้างกรดสูงสุดอยู่ในช่วงพีเอช 4-6.5 อายุสัปดาห์
อยู่ระหว่าง 2 ชั่วโมง ถึง 2 วัน ซึ่งยากต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทน ภายใต้สภาวะ
นี้ทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยซึ่งส่งผลให้ค่าพีเอชลดต่ำลง (Speece, 1996)

ถังปฏิกริยาที่สอง ได้แก่ ถังปฏิกริยาสร้างก๊าซมีเทน เติมนระบบด้วยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทน ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนโดยใช้กรดไขมันระเหยจากขั้นตอนแรกเป็นสับสเตรทและการทำงานปฏิกริยากันของก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับขั้นตอนนี้ค่าพีเอช ที่ทำให้การสร้างก๊าซมีเทนสูงสุดอยู่ในช่วงค่าพีเอช 6.5-8.2 ใช้อายุสลัดจ์มากกว่า 7-15 วัน เพื่อป้องกันการชะล้างของจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทน (Speece, 1996)

จากการศึกษาของ The Aivasidis group (1988) อ้างถึงใน Speece (1996) กระบวนการสองขั้นตอนที่มีค่าพีเอช 4-5 ในขั้นตอนแรกนั้น มีคุณภาพของน้ำออกจากระบบดีกว่าสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอย (SS) และซีโอดี ได้มากกว่า อัตราภาระสูงสุด (maximum loading rates) ของขั้นตอนเดียว และการกำจัดซีโอดีในขั้นตอนสร้างก๊าซมีเทนของระบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอนนี้มีค่ามากกว่าของระบบแบบขั้นตอนเดียว 2 เท่า และมีความคงตัวสูงกว่าด้วย

แต่ข้อเสียที่ปรากฏในการนำไปประยุกต์ใช้ เป็นเรื่องของค่าใช้จ่ายและการเดินระบบเพื่อให้เกิดการแยกขั้นตอนอย่างแท้จริง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ยูเอเอสบีซึ่งมีความสามารถในการรับภาระสารอินทรีย์ สูงกว่าระบบไร้อากาศแบบอื่นๆ และมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพดี เนื่องจากแบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่จนกระทั่งมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดีป้องกันมิให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้ดีกว่าระบบบำบัดแบบอื่นและไม่ทำให้ถังปฏิกริยาต้องเสียปริมาตรใช้งาน (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2542) ส่วนแยกของเหลวและก๊าซ ในถังปฏิกริยา ยูเอเอสบี ทำหน้าที่เก็บและกระจายก๊าซชีวภาพและแยกมวลจุลินทรีย์ออกจากน้ำที่ออกจากถังปฏิกริยา มวลจุลินทรีย์จะตกกลับอยู่ในถังปฏิกริยาเนื่องจากความเร็วไหลขึ้นที่ลดลงในบริเวณตกตะกอน (Angenent และ Dague, 1995) ซึ่งส่วนนี้จัดได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบยูเอเอสบีสำหรับบำบัดน้ำเสียบางประเภท จึงมีความพยายามพัฒนารูปแบบให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดย Caixeta, Cammarota และ Xavier (2002) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตเนื้อสัตว์ ซึ่งใช้ระบบยูเอเอสบีปริมาตร 7.2 ลิตร ติดตั้งระบบแยก 3 สถานะ (a solid-liquid-gas separation system) รูปแบบใหม่ ซึ่งประกอบด้วยแผ่นหักเห 3 ชั้น ติดอยู่กับแกนกลาง และวางสลับซ้อนเหลื่อมกัน 1.5 เซนติเมตร ทำมุม 30 องศา บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดี, บีโอดี, ไขมัน, ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยระเหย เท่ากับ 2,000-6,000, 1,300-2,300, 40-600, 850-6,300 และ 660-5,250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่าพีเอช 6.03-6.06 เติมนระบบต่อเนื่องด้วยระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 14, 18 และ 22 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 80 วัน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวได้ผ่านกระบวนการบำบัดเบื้องต้นด้วยตะแกรง

กรอง (screening) การทำให้ลอย (flotation) และการปรับสภาพ (equalization) พบว่ามีการสร้างก๊าซมีเทนเฉลี่ย 11 ลิตรต่อวัน ที่สภาวะมาตรฐาน (STP) ในการทดลอง 3 ช่วง เติมน้ำด้วยค่าภาระสารอินทรีย์ ช่วง 2.7-10.8 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดี และบีโอดีร้อยละ 77-90 และร้อยละ 95 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดร้อยละ 81-86 ผลการทดลองดังกล่าวสนับสนุนว่า ระบบแยก 3 สถานะที่ทำการทดลองนี้มีประสิทธิภาพที่เหมาะสม (optimum efficiency) เป็นไปได้ที่จะประยุกต์ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอื่น

Klinsukont และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาวิจัยต่อเนืองจากระยะแรกในโครงการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งจากข้าวด้วยระบบโรงงานต้นแบบโดยใช้ระบบหมักไร้อากาศชนิดยูเอเอสบี ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี โดยใช้ตะกอนแบคทีเรียจากก้นบ่อหมักของโรงงานชองเฮงเป็นหัวเชื้อตะกอน น้ำเสียที่ใช้มีลักษณะดังนี้ ค่าพีเอชเท่ากับ 4.67 ค่าบีโอดี, ชีโอดี, ของแข็งแขวนลอย, ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัส 2,634 , 3,761 , 1,182 , 57 และ 72 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการเดินระบบยูเอเอสบีเป็นเวลา 9 เดือน พบว่าต้องมีการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น โดยระบบ Solubilization เพื่อลดค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียไม่ให้เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนสูบเข้าถังยูเอเอสบี มิฉะนั้นจะเกิดการลอยตัวของตะกอนแบคทีเรีย เมื่อเดินระบบที่อัตราการรับน้ำเสียสูงสุดที่ค่าระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 16-18 ชั่วโมง ระบบสามารถรับค่าภาระชีโอดีและบีโอดีได้ 2.23 และ 2.02 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีและบีโอดีได้ร้อยละ 81 และ 95 ตามลำดับ สรุปว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตแบคทีเรียแบบเม็ดในถังยูเอเอสบี จากแบคทีเรียท้องถิ่นที่นำมาจากก้นบ่อหมักของโรงงานชองเฮง ผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการและโรงงานต้นแบบ สามารถยืนยันได้ในเรื่องนี้ แต่เม็ดตะกอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-1.0 มิลลิเมตร เกิดขึ้นช้ามาก ดังนั้นถ้าต้องการให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่าจะต้องใช้เวลาเดินระบบหลายปี จึงจะยืนยันผลได้แน่นอน

จากนั้น Klinsukont และ Ploypatarapinyo (2000) ได้ทำการศึกษาวิจัยการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งจากข้าวในระดับโรงงานต้นแบบโดยใช้ระบบหมักไร้อากาศที่เรียกว่า ระบบยูเอเอสบี น้ำเสียที่ได้มีลักษณะเฉลี่ยดังนี้ ค่าพีเอช เท่ากับ 4.6 ค่าบีโอดี, ชีโอดี, ของแข็งแขวนลอย, ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัส 2,700 , 5,400 , 2,600 , 100 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการเดินระบบตลอดเวลา 24 เดือน จนอยู่ที่สภาวะคงที่ พบว่าระบบยูเอเอสบีต้องทำการบำบัดขั้นต้นก่อน โดยใช้ระบบ Solubilization เพื่อลดค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียไม่ให้เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนสูบเข้าถังยูเอเอสบี มิฉะนั้นจะเกิดการลอยตัวของเม็ดตะกอนแบคทีเรีย เมื่อเข้าระบบยูเอเอสบีที่อัตราการรับน้ำเสียสูงสุดที่ค่าระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 10 ชั่วโมง ระบบสามารถรับค่าภาระชีโอดีและบีโอดีได้ 4.8 และ 3.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีอยู่

ในช่วงร้อยละ 85-90 ในขณะที่สามารถกำจัดบีโอดีได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 ถ้าจะมีเทนที่เกิดขึ้นมีค่า 0.35 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมบีโอดีที่ถูกกำจัด

และเนื่องจากระบบยูเอเอสบีมีความสามารถรับภาระสารอินทรีย์สูงได้ดี จึงมักจะมีการนำไปใช้ในการศึกษาเพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ชำนาญ ภายประสิทธิ์ (2538) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูง โดยใช้ถังยูเอเอสบีขนาด 192 ลิตร จำนวน 2 ถัง ที่มีอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยแตกต่างกัน น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้น้ำสับประดเข้มข้นมาเจือจางให้มีค่าซีโอดีประมาณ 9,000 และ 12,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยายูเอเอสบีทั้งสองถังอย่างต่อเนื่อง ภายใต้อัตราการกวนที่ 24 ชั่วโมง ทำให้มีค่าภาระสารอินทรีย์ 9.0 และ 12.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ และได้มีการเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพื่อให้มีอัตราส่วน ซีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส เท่ากับ 100 : 3 : 1 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ระบบยูเอเอสบีสามารถบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ค่าภาระสารอินทรีย์ 9.0 และ 12.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน สามารถลดซีโอดีได้ร้อยละ 80-90 และร้อยละ 83-90 ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นเฉลี่ย 431-561 และ 565-641 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ โดยมีก๊าซมีเทนในสัดส่วนร้อยละ 70 และร้อยละ 69-73 ตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนประมาณ 0.22-0.24 และ 0.22 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ ความแตกต่างของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยไม่ได้แสดงผลที่แตกต่างต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าระบบยูเอเอสบีดังกล่าวทำงานได้ดีขึ้น เมื่อเติมนิเกิลและ โคบอลต์ให้กับน้ำเสียด้วยอัตราส่วน ซีโอดี : นิเกิล และ ซีโอดี : โคบอลต์ เท่ากับ 100 : 0.1 และ 100 : 0.1 ตามลำดับ

ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศมีการเปลี่ยนสารละลายอินทรีย์ส่วนมากไปเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทนร้อยละ 60 และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 30 และมีมวลชีวภาพเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (อุตสาหกรรม,กระทรวง.กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540) การสร้างก๊าซมีเทนโดยจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนนั้นมีข้อจำกัดทั้งสภาวะที่ต้องเป็นแบบไร้อากาศอย่างเด็ดขาด สับสเตรทที่ต้องเป็นกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนไม่เกิน 2 อะตอม และเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 6.8 - 7.2 (มันสิน ดันทุภะวสม์, 2542) ซึ่งมีความแตกต่างจากจุลินทรีย์พวกที่สร้างกรดจากการศึกษาของ Sanders (2001) กล่าวว่า กระบวนการไฮโดรไลซิสอนุภาคสับสเตรท เมื่อค่าพีเอชและอุณหภูมิคงที่ปริมาณพื้นผิวในการไฮโดรไลซิสเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับอัตราการไฮโดรไลซิสส่วนพารามิเตอร์อื่น ๆ มีความสำคัญเป็นอันดับรองลงมา

การย่อยสลายแบบไร้อากาศนั้น เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ระหว่างกระบวนการบำบัด จุลินทรีย์จะทำการไฮโดรไลซ์ ไขมัน น้ำมัน และคาร์โบไฮเดรต ในรูปของ น้ำตาล แป้ง เพคติน (pectin) และเพนโตซาน (pentosan) ไปเป็นกรด

ไขมันระเหย และไอโซบิวทิลแอลกอฮอล์ (isobutyl alcohol) สารประกอบเหล่านี้มักจะมิกลั่นเหม็น และเป็นมลพิษทางอากาศ (Pasertsan และ Pasertsan, 1996)

Azbar, Ursillo และ Speece (2001) ได้ศึกษาบทบาทของความยากง่ายของสับสเตรท (ขนาดโมเลกุล) และรูปแบบกระบวนการในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ของเทคโนโลยีของจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนที่เหมาะสม ซึ่งใช้สับสเตรท 5 ชนิด ได้แก่ กลูโคส โพรไพโอเนต บิวไทเรต เอทานอล และแลคเตต ผสมกับกากของเสียซึ่งประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 60 โปรตีนร้อยละ 34 และไขมันร้อยละ 6 เติลระบบด้วยถังปฏิกริยา 5 รูปแบบ ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส ได้แก่ (1) batch-fed single-stage continuous stirred tank reactor (CSTR) (2) continuously fed single-stage CSTR (3) two-phase CSTR (4) two-stage CSTR และ (5) single-stage UASB โดยระบบรูปแบบที่ 1-4 เติลระบบด้วยระยะเวลาพักทางชลศาสตร์และอายุสัต์จ์ 20 วัน ส่วนระบบรูปแบบที่ 5 เติลระบบด้วยระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 2 วัน ป้อนสับสเตรท ความเข้มข้น 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ระยะเวลาเติลระบบอย่างน้อย 60 วัน หรือเท่ากับ 3 เท่าของอายุสัต์จ์ พบว่าความยากง่ายของสับสเตรทที่พบมีนัยสำคัญน้อยต่อ ระบบรูปแบบ two-phase, two-stage และ ยูเอเอสบี แต่ขนาดของโมเลกุลและชนิดคาร์บอนในสารประกอบ หรือตัวกลาง มีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายสับสเตรทในน้ำเข้าระบบ ภายใต้ระบบรูปแบบ single-stage CSTR ซึ่งมีผลผลิตสับสเตรทที่แสดงออกมาแย่งที่สุด ซีโอดีในน้ำออกมีค่าสูงสุด และพบโพรไพโอเนตมากที่สุดในซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำออก

สำหรับทางเลือก การบำบัด Pasertsan และ Pasertsan (1996) แนะนำว่าควรทำในถังปฏิกริยาซึ่งทำให้ได้รับก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถผลิตได้จากจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบมีโซฟิลิก (mesophilic anaerobes) ที่อัตรา 0.57 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่บริโภคต่อวัน และมีปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 60-69

เนื่องจากความแตกต่างของสภาวะที่เหมาะสมของจุลินทรีย์แต่ละประเภท จึงได้มีการแยกขั้นตอนการเติลระบบออกเป็นสองขั้นตอน ซึ่งค่าพีเอชเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการควบคุมระบบเพื่อให้การเติลระบบแต่ละขั้นตอนมีประสิทธิภาพ ซึ่งจากงานวิจัยต่างๆ มีการควบคุมค่าพีเอชหลายวิธีด้วยกัน เช่น การเติมสารเคมี ซึ่งอาจส่งผลดีและผลเสียต่อองค์ประกอบต่างๆ ของระบบได้ ดังตัวอย่าง การทดลองของ Van Langerak และคณะ (2000) ที่เริ่มเติลระบบถังปฏิกริยาแบบยูเอเอสบีที่ใช้หัวเชื้อตะกอนเริ่มต้นจากระบบยูเอเอสบีของโรงงานกระดาษ ป้อนน้ำเสียที่ประกอบด้วยน้ำเสียที่เป็นกรดผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 780-1,560 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า เกิดการจับกลุ่มของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว มีปริมาณแก๊สสูง ซึ่งการทำงานจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (specific methanogenic activity : SMA) ลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้การกำจัดซีโอดีไม่มีประสิทธิภาพ เมื่อลดปริมาณความเข้มข้น แคลเซียมคาร์บอเนตลงเหลือ 390 มิลลิกรัมต่อลิตร

เกิดการตกตะกอนน้อยลงในกลุ่มสลัดจ์ แต่จะไปเกาะอยู่บริเวณส่วนของแก้วหรือพลาสติกของถังปฏิกริยาแทน

ถ้าระบบสามารถปรับสมดุลได้โดยไม่ต้องเติมสารอินทรีย์เพิ่มเข้าไปย่อมเป็นทางเลือกที่ดีอย่างแน่นอน จากการทดลองของ Alejandra, Manuel และ Carmen (2001) เริ่มเดินระบบยูเอเอสบี ปริมาตรใช้งาน 22.3 ลูกบาศก์เมตร ที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 22 วัน นำหัวเชื้อตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดแห่งอื่นที่เหมาะสมมาปรับสภาพเพื่อใช้งาน เพื่อให้สลัดจ์จากระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ (activated sludge) ของโรงงานผลิตน้ำตาลเกิดการคงตัว พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีได้สูงถึงร้อยละ 98 ค่าเฉลี่ยร้อยละ 76 เมื่อเพิ่มภาระสารอินทรีย์จาก 0.67 จนถึง 1.024 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และไม่มี ความจำเป็นต้องปรับสภาพความเป็นกลางให้แก่ น้ำเสียเข้าระบบ เนื่องจากความจุใบคาร์บอนตกภายในถังปฏิกริยาที่ได้รับจากเม็คตะกอนจุลินทรีย์ เมื่อป้อนด้วย สัดส่วนของสลัดจ์ร้อยละ 50 และน้ำเสยร้อยละ 50 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 7.61 ลูกบาศก์เมตร ที่สภาวะมาตรฐาน และจากการศึกษาของ Dararat (1996) ยังพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศแบบอัตราสูง (high rate) สามารถย่อยสลายอะซิเตด และโพรไพโอเนต ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ค่าพีเอช 6.0 ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องปรับค่าพีเอช จนเป็นกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *Methanosarcina* ซึ่งเป็นแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนที่สามารถเจริญที่ค่าพีเอชเหมาะสมที่ 6.0 จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เป็นกรด หรือมีศักยภาพผลิตความเป็นด่างได้ต่ำ โดยลดค่าใช้จ่ายในการเติมด่างเพื่อปรับค่าพีเอช ซึ่งค่าใช้จ่ายในการเดินระบบจะสามารถลดลงจนถึงจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

และเมื่อแยกกระบวนการสร้างกรดเพื่อสร้างกรดอะซิติกและกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนออกจากกันได้ จะทำให้จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและมีประสิทธิภาพในการสร้างก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น และสามารถควบคุมสภาวะการทำงานของระบบได้ง่ายขึ้นอีกด้วย

นอกจากนี้ Haandel & Lettinga อ้างถึงใน Seghezze และคณะ (1998) ยังกล่าวว่า การใช้ระบบแบบสองขั้นตอนจะมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกริยาใบแรกสูงกว่า การกำจัดสารอินทรีย์และต้องทำการกำจัดสลัดจ์ส่วนเกินและเกิดการย่อยสลายในถังปฏิกริยาใบที่สอง Wang อ้างถึงใน Seghezze และคณะ (1998) ได้ใช้กระบวนการที่ประกอบด้วยถังปฏิกริยาแบบเอชยูเอสบี และตามด้วยถังปฏิกริยาแบบอีจีเอสบี (Expanded granular sludge bed ; EGSB) และใช้งานร่วมกับถังคงตัว เดินระบบที่อุณหภูมิต่างๆ กันด้วยระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 2 วัน พบว่าถังปฏิกริยาเอชยูเอสบี ทำหน้าที่คล้ายกับระบบยูเอเอสบี ที่สามารถรับภาระสูง ซึ่งเกิดการไฮโดรไลซ์กำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากกว่าร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิมากกว่า 19 องศาเซลเซียส ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ของถังปฏิกริยาเอชยูเอสบีถูกประยุกต์ใช้เหมือนกับถังตกตะกอนชั้นที่หนึ่งแต่มีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี, บีโอดี และของแข็งแขวนลอยสูงกว่า และจาก

การศึกษาของ Kaijun (1994) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยจากน้ำเสียชุมชนของถังปฏิกริยาเอเอสบี มากกว่าร้อยละ 85 อัตราการไฮโดรไลซิส เท่ากับร้อยละ 48 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

จึงได้มีการเดินระบบแบบสองขั้นตอนซึ่งมีผู้ศึกษาโดยทดลองนำถังปฏิกริยาแบบต่างๆมาต่อกันแล้วใช้น้ำบักน้ำเสียประเภทต่างๆ นาฏนดา ชรินทร์วรกุลป์ (2537) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ระบบตัวกลางกรอง-ยูเอเอสบี แบบอุณหภูมิสูง ชนิดสองขั้นตอนสำหรับบำบัดน้ำกากส่าที่มีค่าบีโอดี, ซีโอดี และ ของแข็งแขวนลอยระเหย ประมาณ 28,000, 90,000 และ 6,000-11,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และค่าพีเอช 4.6-5.8 พบว่า ระบบมีเสถียรภาพสูงสามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ได้สูงถึง 10.96 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ช่วงอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับระบบหมักนี้คือ 6.38-10.02 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในส่วนของถังสร้างกรดแบบตัวกลางกรองสามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ได้สูงถึง 46.50 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และผลิตกรดไขมันระเหยสูงสุดเท่ากับ 4,775 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 8.2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในขณะที่ถังสร้างมีเทนแบบยูเอเอสบี รับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ได้เพียง 4.04 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันและเมื่อปริมาณกรดไขมันระเหยที่เข้าสู่ถังสร้างมีเทนเพิ่มขึ้นมากกว่า 2,250 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการทำงานของแบคทีเรียในถังสร้างมีเทนแบบยูเอเอสบีเริ่มล้มเหลว

ทวีชัย วีระเศรษฐนันท์ (2540) ศึกษาสมรรถนะของระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้อากาศ โดยการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน การทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด) ใช้ถังปฏิกริยาเอเอสบี 2 ถังที่เหมือนกัน ทดลองบำบัดน้ำเสียให้มีความเข้มข้นของซีโอดีประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการทดลองที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน การทดลองที่ 2 (มีถังสร้างกรด) ใช้ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด ทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากน้ำสับปะรดเข้มข้นเจือจางด้วยน้ำประปา โดยเตรียมน้ำเสียให้มีความเข้มข้นซีโอดีประมาณ 3,300 , 5,000 , 6,700 และ 8,300 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการทดลองที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 10, 15, 20 และ 25 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารบัฟเฟอร์ในทุกๆ การทดลอง ผลการทดลองส่วนที่ 1 พบว่า เมื่อใช้ถังปฏิกริยาเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ทดลองบำบัดน้ำเสียที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 8 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 15 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 93 และ 92 ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.37 และ 0.32 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ เมื่อใช้ถังปฏิกริยาเอเอสบีชุดที่ 1 ทดลองบำบัดน้ำเสียที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 10 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 12 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 94 และมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.37 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ส่วนถังปฏิกริยาเอเอสบีชุดที่ 2 ได้เสียสมดุลการทำงาน

ก่อนถึงสภาวะคงที่ ส่วนการทดลองส่วนที่ 2 ซึ่งใช้ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรตทดลองบำบัดน้ำเสียที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 10, 15, 20 และ 25 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 12 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีเท่ากับร้อยละ 93, 91, 90 และ 85 ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.31, 0.37, 0.33 และ 0.35 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของโซดาแอสที่เติมให้แก่ระบบในการทดลองส่วนที่ 1 พบว่า มีค่าเท่ากับ 1.50 และ 3.0 กรัมต่อลิตร ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ส่วนการทดลองส่วนที่ 2 เติมโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นเท่ากับ 1.98, 3.00, 4.02 และ 4.98 กรัมต่อลิตร ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 10, 15, 20 และ 25 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ จากผลการทดลองสรุปว่าระบบยูเอเอสบีสามารถบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพและปริมาณค่าที่เติมให้ระบบน่าจะมีค่าสูงเกินไป ทำให้ค่าบำบัดน้ำเสียมีค่าสูงมาก

ทรงพล ครามโกมุท (2544) ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดดีและชีโอดีของน้ำเสียจากสาด้วยระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศจำนวน 2 คอลัมน์ ซึ่งภายในคอลัมน์ทั้งสองจะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทธิลีนที่แตกต่างกัน การทดลองจะใช้คอลัมน์จำนวน 2 ชุด ที่ทำด้วยวัสดุพีวีซีใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร และสูง 2,800 มิลลิเมตร โดยภายในคอลัมน์ที่ 1 จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทธิลีนรูปวงแหวนที่มีพื้นที่ผิว 187 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตรของตัวกลาง ในขณะที่ภายในคอลัมน์ที่ 2 จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทธิลีนรูปทรงกลมที่มีพื้นที่ผิว 135 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตรของตัวกลาง และกำหนดให้ความสูงของชั้นตัวกลางภายในคอลัมน์ ทั้งสองสูงเท่ากัน 1.25 เมตร และทำการป้อนน้ำเสียจากสาเป็นแบบไหลขึ้นที่อัตราสูบ 7.5 ลิตรต่อวัน โดยจะมีการแปรเปลี่ยนค่าชีโอดีของน้ำจากสาเป็น 3,500 และ 4,500 ซึ่งคิดเป็นอัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีของคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ ร้อยละ 58 และ 65 และคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีเท่ากับ ร้อยละ 55 และ 65 ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ และคอลัมน์ที่ 1 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีร้อยละ 41 และ 45 และสำหรับคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีร้อยละ 45 และ 51 ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ ส่วนค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งของคอลัมน์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 198 และ 110 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนคอลัมน์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 137 และ 63 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากคอลัมน์ที่ 1 เฉลี่ยเป็น 4.6 และ 6.9 ลิตรต่อวัน ซึ่งมีปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 57.43 และ 66.76 ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ ส่วนคอลัมน์ ที่ 2 จะเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 5.2 และ 8.2 ลิตรต่อวัน ซึ่งมีปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 56.70 และ 71.77 ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมชี

ไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าคอลัมน์ที่ 1 และคอลัมน์ที่ 2 จะมีแนวโน้มในการกำจัดซีไอดีและสีที่ใกล้เคียงกัน รวมไปถึงค่าตัวแปรต่างๆที่สภาวะคงตัวของทั้งสองคอลัมน์ก็จะใกล้เคียงกันด้วย แต่คอลัมน์ที่ 2 จะมีประสิทธิภาพในการกักเก็บเซลล์ได้ดีกว่าคอลัมน์ที่ 1 แสดงให้เห็นว่าลักษณะของตัวกลางจะมีผลต่อการกักเก็บเซลล์ภายในคอลัมน์ และเมื่อมีการเพิ่มอัตราภาระอินทรีย์จะพบว่าระบบก็ยังสามารถดำเนินไปได้ ส่วนจากการทดลองที่ระยะความสูงต่างๆของคอลัมน์ พบว่าการกำจัดซีไอดีและสีส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นบริเวณด้านล่างของคอลัมน์ในส่วนของชั้นตะกอนแบคทีเรียเนื่องจากน้ำเสียที่เข้ามาปริมาณของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายอยู่มาก ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จะพบว่าแบคทีเรียที่เกิดขึ้นภายในคอลัมน์ทั้งสอง เป็นแบคทีเรียที่มีหลากหลายสายพันธุ์อาศัยอยู่ร่วมกัน

อิศระ รัตนปริยานุช (2546) ทำการวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำในการบำบัดน้ำกากส่า ทำการทดลองโดยใช้น้ำกากส่าเข้มข้นจากบ่อบำบัดแบบไร้อากาศมาทำการเจือจาง และใช้น้ำตาลเป็นสารอาหารปฐมภูมิ โดยมีอัตราส่วนซีไอดีของน้ำกากส่าต่อซีไอดีของน้ำตาลเป็น 1:3 การทดลองมีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4, 5, 6 และ 7 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน การศึกษาแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน การทดลองขั้นที่หนึ่ง ทำการศึกษาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมของถังหมักกรดในแต่ละภาระบรรทุกอินทรีย์ การทดลองขั้นที่สอง ใช้ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกักที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองขั้นที่หนึ่งมาทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ ผลการศึกษาจากการทดลองขั้นที่หนึ่งพบว่า ที่ภาระบรรทุกอินทรีย์ 4, 5, 6 และ 7 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีเวลาเก็บกักที่เหมาะสมในถังหมักกรดเท่ากับ 6, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีร้อยละ 16.7, 17.3, 14.9 และ 14.9 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 21.2, 21.7, 20.9 และ 19.5 ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองในขั้นที่สองพบว่า ที่ภาระบรรทุกอินทรีย์ 4, 5, 6 และ 7 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีร้อยละ 65.6, 64.1, 55.4 และ 52.0 ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 28.1, 25.2, 22.8 และ 20.0 ตามลำดับ และมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 7.0, 10.0, 8.0 และ 5.0 ลิตรต่อวันตามลำดับ เมื่อเติมธาตุไนโตรเจนและโคบอลต์ในน้ำเสียเข้าระบบในอัตราส่วน ซีไอดีต่อไนโตรเจน และซีไอดีต่อโคบอลต์ เป็น 100:0.01 และ 100:0.01 ตามลำดับ พบว่า ที่ภาระบรรทุกอินทรีย์ 4, 5, 6 และ 7 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 68.3, 66.6, 58.5 และ 52.7 ตามลำดับ มีประสิทธิภาพลดสีไม่แตกต่างโดยมีประสิทธิภพร้อยละ 28.3, 25.4, 22.2 และ 19.9 ตามลำดับ และมีปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 8.32, 10.88, 8.51 และ 5.32 ตามลำดับ สรุปได้ว่า ถังหมักกรดมีส่วนสำคัญในการกำจัดน้ำกากส่า ประสิทธิภาพของระบบบำบัดโดยรวมลดลงเมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ไนโตรเจนและโคบอลต์มีส่วนสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

Halalsheh และคณะ (2005) ทำการทดลองเดินระบบยูเอเอสบีขนาด 96 ลูกบาศก์เมตร ถึง ปฏิริยาในขั้นตอนแรกและขั้นตอนที่สองมีปริมาตร 60 และ 36 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เดินระบบเป็นระยะเวลา 2.5 ปี ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินความเป็นไปได้ที่จะบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นสูง (ซีโอดีทั้งหมด 1,531 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีค่าซีโอดีทั้งหมด, ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด, ของแข็งแขวนลอยระเหย และกรดไขมันระเหย เท่ากับ 1,419-1,650, 352-431, 238-373 และ 162-194 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าพีเอช 6.88-7.17 เดินระบบที่อุณหภูมิห้อง ค่าเฉลี่ยระหว่าง 18 และ 25 องศาเซลเซียส สำหรับฤดูหนาวและฤดูร้อน ตามลำดับ ระหว่างช่วงปีแรกถึงปฏิริยาเดินระบบด้วยระบบแบบสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 8-10 และ 5-6 ชั่วโมง สำหรับขั้นตอนแรกและขั้นตอนที่สอง ตามลำดับ ขั้นตอนแรกเดินระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ในช่วง 3.6-5.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ขั้นตอนที่สองเดินระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ในช่วง 2.9-4.6 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ผลการทดลองพบว่า ขั้นตอนแรกมีการกำจัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีแขวนลอยเฉลี่ยร้อยละ 51 และ 60 ตามลำดับ โดยปราศจากนัยสำคัญจากผลกระทบของอุณหภูมิ แต่ถึงปฏิริยาขั้นตอนที่สองไม่มีเสถียรภาพ อุณหภูมิส่งผลต่อความคงตัวของสลัดจ์ ระหว่างช่วงปีที่ 2 ขั้นตอนแรกเดินระบบโดยใช้ถังปฏิริยา ยูเอเอสบีขั้นตอนเดียว ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ในช่วง 1.5-1.8 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 24 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 62 ในระหว่างช่วงฤดูร้อน ขณะที่ประสิทธิภาพตกลงมาที่ร้อยละ 51 ในระหว่างช่วงฤดูหนาว แต่อย่างไรก็ตามของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีความคงตัวด้วยอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (VSS/TSS) ประมาณ 0.50 ตลอดทั้งปี สลัดจ์ในถังปฏิริยาขั้นตอนเดียวมีความคงตัวดี และแสดงการจมตัวดีเยี่ยม และระหว่างช่วง 3 เดือนสุดท้ายของการศึกษา สลัดจ์ถูกปล่อยเป็นปกติจากถังปฏิริยาขั้นตอนเดียว ผลการทดลองพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในรูปของซีโอดีทั้งหมด บนพื้นฐานของการทดลองนี้พบว่า ถังปฏิริยาแบบขั้นตอนเดียวเดินระบบที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ยาวนาน ดีกว่าระบบแบบสองขั้นตอน ที่สภาวะของประเทศจอร์แดน

Mahmoud และคณะ (2004) ทำการบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส โดยใช้ระบบ UASB-Digester ซึ่งเดินระบบยูเอเอสบีที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 6 ชั่วโมง และควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนในช่วงฤดูหนาวของประเทศใน ตะวันออกกลาง ส่วนตั้งย่อยสลายเดินระบบที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า ระบบ UASB-Digester มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงกว่าระบบยูเอเอสบีแบบขั้นตอนเดียวที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพของระบบ UASB-Digester ในการกำจัดซีโอดีทั้งหมด, ซีโอดีแขวนลอย, ซีโอดีคอลลอยด์ และซีโอดีละลาย ร้อยละ 66, 87, 44 และ 30 ตามลำดับ มีการสร้างสลัดจ์ส่วนเกินต่ำมากและมีความคงตัวดีสามารถกำจัดน้ำได้ดี การหมุนเวียนสลัดจ์ในระบบ

UASB-Digester ช่วยเพิ่มทั้งการกำจัดของแข็งทางกายภาพและการเปลี่ยนรูป ทำให้การสร้างก๊าซมีเทนจากที่พบในระบบยูเอเอสบีแบบขั้นตอนเดียวจากร้อยละ 20 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 47 ในระบบ UASB-Digester ระบบยูเอเอสบีแบบขั้นตอนเดียวมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมด, ชีโอดีแขวนลอย, ชีโอดีคอลลอยด์ และชีโอดีละลาย ร้อยละ 40, 73, 3 และ 5 ตามลำดับ ระบบ UASB-Digester และระบบยูเอเอสบีแบบขั้นตอนเดียว มีเสถียรภาพของสลัดจ์ เท่ากับ 0.47 และ 0.36 กรัมมีเทน-ชีโอดีต่อกรัมชีโอดี ($\text{gCH}_4\text{-COD/gCOD}$) ตามลำดับ จึงคาดว่า ระบบ UASB-Digester สามารถใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบไร้อากาศที่อุณหภูมิต่ำได้

Wang และ Banks (2003) ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการย่อยสลายแบบไร้อากาศสองขั้นตอนในการบำบัดของเสียรวมจากโรงฆ่าสัตว์กับถังปฏิริยาแบบไหลผ่านขั้นตอนเดียวแบบเดิมหรือเอสพีอาร์ (a conventional single-pass reactor : SPR) วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อศึกษาหาทางแก้ปัญหาที่เกิดจากการสะสมของกรดไขมันระเหย และแอมโมเนียในเอสพีอาร์ที่กวนผสมอย่างสมบูรณ์แบบเดิม ซึ่งเชื่อว่าการเพิ่มขึ้นนี้เป็นผลให้อัตราส่วนของ คาร์บอน : ไนโตรเจน ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีค่าต่ำ ระบบย่อยสลายแบบสองขั้นตอนประกอบด้วยถังปฏิริยาแบบกวนผสมสมบูรณ์ปริมาตรใช้งาน 30 ลิตร ซึ่งมีระยะเวลาพักทางชลศาสตร์สั้นกว่าอายุสลัดจ์ การเดินระบบดังกล่าวมีความเกี่ยวข้องกับการไหลผ่านของเหลว (hydraulic flush) และถูกออกแบบมาเพื่อรองรับองค์ประกอบพวกเส้นใยของน้ำเสียที่อยู่ในถังปฏิริยา ขณะเดียวกันทำให้เกิดการชะล้างอย่างรวดเร็วของสารตัวกลางที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสและการหมัก และถังปฏิริยาแบบของเหลวไหลผ่าน หรือ เอชเอฟอาร์ (hydraulic flush reactor : HFR) เดินระบบที่ ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 2 วัน อายุสลัดจ์ 10 วัน เมื่อเปรียบเทียบผลการทำงานของเอชเอฟอาร์กับเอสพีอาร์ ที่ค่าอัตราภาระของแข็งทั้งหมด 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 กิโลกรัมของแข็งทั้งหมดต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ($\text{kgTS/m}^3\text{-d}$) พบว่า ถังปฏิริยาเอสพีอาร์ สัมเหลวที่อัตราภาระของแข็งทั้งหมด 5 กิโลกรัมของแข็งทั้งหมดต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีการลดลงของของแข็งสูงสุดเพียงร้อยละ 41 ขณะที่เอชเอฟอาร์ลดของแข็งได้ถึงร้อยละ 66 และมีผลการทำงานที่ค่าอัตราภาระของแข็งทั้งหมด เป็นที่น่าพอใจถึง 7 กิโลกรัมของแข็งทั้งหมดต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระบบกรองไร้อากาศ (anaerobic filter) ถูกใช้เป็นขั้นตอนที่สองต่อจากเอชเอฟอาร์ เพื่อใช้บำบัดของเหลวที่ออกจากขั้นตอนแรก เดินระบบที่ ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 1 วัน ด้วยอัตราภาระอยู่ในช่วง 4.0-13.1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน การกำจัดชีโอดีประมาณร้อยละ 95 และมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงถึง 0.34 ลูกบาศก์เมตรมีเทนต่อกิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด ($\text{m}^3\text{CH}_4/\text{kgCOD}_{\text{remove}}$) ระบบแบบสองขั้นตอนนี้มีผลการทำงานดีที่สุดในสามารถลดของแข็งได้ร้อยละ 66 กำจัดชีโอดีร้อยละ 81.7 และมีผลผลิตก๊าซมีเทนทั้งหมด 0.21 ลูกบาศก์เมตรมีเทนต่อกิโลกรัมของแข็งทั้งหมดที่ป้อนเข้าไป ที่อัตราภาระ 7.02 กิโลกรัมของแข็งทั้งหมดต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

Beal และ Raman (2000) ทำการศึกษาโดยใช้ระบบแบบไร้อากาศระดับห้องปฏิบัติการ 2 ถึงปฏิกริยาต่อเนื่องกัน ทดสอบความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียจากการทำลูกกวาดและขนมหวานโดยใช้น้ำเสียที่แยกเก็บรักษาระหว่างความเข้มข้นต่ำและสูงที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ผสมกันด้วยอัตราส่วนโดยปริมาตร 9:1 และใช้น้ำประปาเจือจางถ้าจำเป็น ระบบดังกล่าวประกอบด้วย ระบบยูเอเอสบีขนาด 20 ลิตร เดิมหัวเชื้อปริมาตร 6 ลิตรหรือร้อยละ 30 ของปริมาตรถึง เติมน้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แล้วตามด้วยระบบกรองไร้อากาศแบบไหลลง (downflow anaerobic filter) ขนาด 25 ลิตร มีปริมาตรใช้งาน 10 ลิตร ได้รับหัวเชื้อแบคทีเรียที่ชะล้างออกมาจากถังปฏิกริยาแรก เติมน้ำที่อุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์รวมทั้งหมด 2.4 วัน ตรวจสอบผลการทำงานของถังปฏิกริยาโดยติดตามค่าซีไอดี, พีเอช, กรดไขมันระเหย, สภาวะค่าง และการผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีทั้งหมดของระบบร้อยละ 98 ที่อัตราการระสารอินทรีย์ทั้งหมด 12.5 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระบบยูเอเอสบีสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ที่อัตราการระสารอินทรีย์สูงซีไอดีที่ป้อน 20 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าระบบทำให้สามารถเดินระบบด้วยน้ำเข้าที่มีความเข้มข้นซีไอดีถึง 30 กรัมต่อลิตร การเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของบัพเฟอร์มีประสิทธิภาพในน้ำออกจากถังปฏิกริยายูเอเอสบี ขณะที่ระบบกรองแบบไหลลงกำจัดซีไอดีได้มากกว่าร้อยละ 50 และรักษาระดับความเข้มข้นของซีไอดีในน้ำออกมีความเข้มข้นต่ำกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

Blonskaja, Menert และ Viltu (2003) ศึกษาการย่อยสลายแบบไร้อากาศของของเสียจากโรงกลั่นสุรา ซึ่งมีค่าซีไอดี, บีไอดี, ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 49,000-53,000 , 24,000-27,000 , 975-1320 และ 613-690 มิลลิกรัมต่อลิตรและมวลสารแห้ง (dry matter) 39-42 กรัมต่อลิตร ด้วยระบบมีโซฟิลิกสองขั้นตอน (mesophilic two-stage system) ที่อุณหภูมิ 36 ± 1.5 องศาเซลเซียส ซึ่งประกอบด้วย ระบบกรองไร้อากาศ หรือเอเอฟ (Anaerobic Filter : AF) และระบบยูเอเอสบี ทดลองที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 10-19 วัน ที่อัตราการระ 2.5-5.1 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ค่าพีเอช 5.2-5.9 สำหรับขั้นตอนแรก และเพิ่มระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ขึ้นไปเป็น 20-39 วัน เพื่อให้สอดคล้องกับอัตราการระ 0.6-2.5 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับขั้นตอนที่สอง ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีร้อยละ 54 และ 93 สำหรับขั้นตอนแรกและขั้นตอนที่สอง ตามลำดับ ถึงปฏิกริยาสร้างกรดมีการเปลี่ยนซีไอดีตั้งต้นไปเป็นกรดไขมันระเหยเป็นที่น่าพอใจมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 20.5 เป็นผลให้การทำงานเป็นปกติด้วยตัวเอง ค่าพีเอชภายในถังปฏิกริยาสร้างมีเทนอยู่ในช่วง 7.2-7.8 การสร้างก๊าซชีวภาพในขั้นตอนที่สองสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (6 ลิตรต่อวัน) มากกว่าในขั้นตอนแรก (1 ลิตรต่อวัน) และจากการศึกษาพบว่าอัตราการสร้างก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นตามอัตราการระสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น สภาวะที่เหมาะสมที่แนะนำเพื่อการทำงานที่เสถียร ได้แก่ ที่อัตราการระสารอินทรีย์ 2-4 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พีเอช 6.0 สำหรับ

ชั้นคอนสตรัคกรด และที่ภาระสารอินทรีย์ 1-2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่พีเอช 7.6 สำหรับชั้นคอนสตรัคก๊าซมีเทน ส่วนชั้นตอนที่สอง มีอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง 0.05-0.14 แสดงถึงความเสถียรของระบบ อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียของประชากรแบคทีเรียสร้างอะซิติกต่อแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน (acetogenic/methanogenic) กำหนดจาก microcalorimetry ซึ่งมีค่าสูงกว่าในชั้นคอนการแยกจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทน

Herrman และ Jannke (2001) ทำการศึกษาโดยใช้ถังย่อยสลายแบบสองชั้นคอนระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วยถังปฏิกิริยาสร้างกรดแบบกวนต่อเนื่องควบคุมด้วยพีเอช (continuously stirred pH-controlled acidification reactor) ขนาด 1.2 ลิตร และถังปฏิกิริยาสร้างมีเทนแบบตัวกลางกรองไหลขึ้น (upflow fixed-bed methane reactor) ขนาด 1.2 ลิตร สูง 70 เซนติเมตร เติมน้ำอย่างต่อเนื่องด้วยน้ำเสียจากโรงงานกลั่นสุราความเข้มข้นสูงค่าชีโอดี, ในโตรเจนทั้งหมด, แอมโมเนียในโตรเจน, ฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟีนอลทั้งหมด เท่ากับ 9,000, 42, 8, 19 และ 12.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าพีเอช 6.4 ซึ่งใช้เป็นสับสเตรทเพียงอย่างเดียวหรือใช้เป็นสับสเตรทตั้งต้น เติมน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ถังปฏิกิริยาแรกควบคุมค่าพีเอช 6.2 ± 0.1 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ การหมักรวมกันของฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งเป็นกลุ่มใหญ่ของสารประกอบโพลีฟีนอลิก (polyphenolic) ตามธรรมชาติโดยทั่วไปพบในเนื้อเยื่อของพืชชั้นสูงส่วนมาก ที่พบทั่วไปสองชนิด คือ รุทีน (rutin) และเฮสเปอร์ดิซิน (hesperidin) ได้ถูกนำมาศึกษา โดยเติมลงในถังปฏิกิริยาแรก ใช้ระยะเวลาพักทางจุลชีววิทยารวมทั้งหมด 48-50 ชั่วโมง และอัตราภาระสารอินทรีย์ในถังปฏิกิริยาสร้างมีเทนอยู่ในช่วง 8-10 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน การเติมรุทีนและเฮสเปอร์ดิซินสูงถึง 0.71 กรัมต่อลิตรของถังปฏิกิริยาต่อวัน ไม่ปรากฏผลรุนแรงต่อการทำงานของถังปฏิกิริยา ในรูปของกรดไขมันระเหย ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีและลักษณะเฉพาะในการผลิตก๊าซชีวภาพ ฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์ (flavonoid glycosides) ที่เติมเข้าไปถูกเปลี่ยนอย่างรวดเร็วในถังปฏิกิริยาสร้างกรดให้ผลผลิตเป็นไฮดรอกซีอะโรมาติก (hydroxyaromatic) หลายรูปแบบ เมื่อมีเฮสเปอร์ดิซินเป็นสับสเตรทร่วม (cosubstrate) ผลผลิตที่เกิดขึ้นทุกรูปแบบถูกกำจัดอย่างสมบูรณ์ระหว่างผ่านถังปฏิกิริยาสร้างมีเทน ขณะที่กรณีของรุทีน จะมีการสร้าง m-cresol และ 4-hydroxyphenylacetate จำนวนมากในตัวกลาง (medium) และยังคงเหลืออยู่ในน้ำที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างมีเทน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าระบบบำบัดแบบไร้อากาศมักจะนิยมใช้กับน้ำเสียประเภทต่างๆ ที่มีความเข้มข้นสูงด้วยจุดประสงค์ที่แตกต่างกันไป สำหรับน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มนั้นเป็นน้ำเสียอีกประเภทหนึ่งเช่นกันที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งมีคุณสมบัติ หรือพารามิเตอร์ต่างๆ แตกต่างจากน้ำเสียประเภทอื่นๆ ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งทดลองใช้กระบวนการบำบัดรูปแบบต่างๆ โดย สุวิทย์ สุวรรณ โณ (2544) ทำการศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ได้จากบริษัทยูนิวานิช น้ำมันปาล์ม จำกัด

(มหาชน) ในถังหมักแบบกะภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยได้ทำการศึกษาที่สภาวะความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 100, 85 และ 75 ที่ความเข้มข้นของหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 25, 20 และ 15 โดยทำการบ่มที่อุณหภูมิห้อง(29) 35 และ 40 องศาเซลเซียส จากผลการทดลอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีที่สุดคือ ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 85 ความเข้มข้นของหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 20 และใช้อุณหภูมิในการบ่มที่ 40 องศาเซลเซียส สามารถให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 47.5 มิลลิลิตร (โดยวัดปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้การแทนที่ปริมาณก๊าซ) โดยใช้เวลาในการบ่มทั้งหมด 40 วัน

Ugocji (1997) ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะไร้อากาศของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีองค์ประกอบแบบ fiber-free non-oil compoments ซึ่งได้รับจากส่วนตกตะกอนของโรงงานน้ำมัน น้ำเสียจากโรงงานประเภทนี้ในประเทศไนจีเรียโดยทั่วไปมีลักษณะขุ่น สีน้ำตาลหรือเทา มีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 15,000-30,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดมลภาวะ เมื่อผลผลิตที่ได้รับการยอมรับด้านสิ่งแวดล้อมได้บังคับใช้ วิธีการย่อยสลายรูปแบบที่มีความนิยมนมากกว่ารูปแบบใช้ออกซิเจน ท่ามกลางปัจจัยอื่นๆ ที่ชุมชนต้องการประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี และบีโอดี และการเดินระบบที่เหมาะสมงานวิจัยนี้ใช้การทดลองที่เตรียมขึ้น 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบบ่อไร้อากาศขั้นตอนเดียว (single stage anaerobic ponding system) บ่อกวนด้วยน้ำเสียดิบที่ปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตถึงไร้อากาศย่อยสลายขั้นตอนเดียวกวนผสมด้วยความเร็วคงที่ (single stage anaerobic tank digester with a certain degree of mixing) บ่อกวนด้วยน้ำเสียสดปรับความเป็นกลางด้วยน้ำเสียที่ได้รับการปรับสภาพแล้วให้ได้ค่าที่เหมาะสม และการหมุนเวียนสลัดจ์ในถังไร้อากาศขั้นตอนเดียว (recycle spent POME sludge in a single stage anaerobic tank) หมุนเวียนสลัดจ์กลับร้อยละ 50 จากผลการทดลองที่ได้รับ แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพที่ได้รับจากการทดลองทั้ง 3 รูปแบบที่เตรียมขึ้น มีประสิทธิภาพร้อยละ 96.91, 96.50 และ 94.5 ตามลำดับ หลังจากระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 10 วัน ค่าผลผลิตเฉลี่ยภายหลังการย่อยสลายจากรูปแบบการย่อยสลายที่แนะนำสำหรับชาวบ้าน พบว่าได้ก๊าซชีวภาพ 2.4 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกิริยาต่อวัน ($\text{cm}^3/\text{m}^3\text{-d}$) และเหลือของแข็ง 1,900 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริญญา มาลัยลอย (2548) ศึกษาผลของการบำบัดเบื้องต้นต่อประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีระดับห้องปฏิบัติการในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่มีค่าชีโอดีทั้งหมด, ชีโอดีละลาย, บีโอดี, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งแขวนลอยระเหย, กรดไขมันระเหย, สกาพค้าง และน้ำมันและไขมัน เท่ากับ 112,500 , 60,517 , 53,400 , 78,570 , 67,475 , 36,143 , 3,600 , 2,568 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าพีเอช 4.29 การบำบัดเบื้องต้นแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ การกรองด้วยชั้นทรายกรอง และการกรองด้วยชั้นทรายกรองร่วมกับชั้นถ่านกรองโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าของแข็งแขวนลอย และกรดระเหยง่ายบางชนิดที่อาจส่งผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี ผล

การทดลองพบว่า การกรองด้วยชั้นทรายกรองสามารถกำจัดซีโอดี, ของแข็งแขวนลอย และกรดไขมันระเหยได้ร้อยละ 69.86, 99.8 และ 76.7 ตามลำดับ และการกรองด้วยชั้นทรายกรองร่วมกับชั้นถ่านกรองสามารถกำจัดซีโอดี, ของแข็งแขวนลอย และกรดไขมันระเหยได้ร้อยละ 64.59, 99.5 และ 77 ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการกรองมีค่าพีเอชสูงกว่า 7.00 ซึ่งส่งผลต่อการเดินระบบยูเอเอสบีในขั้นต่อไป การทดลองขั้นต่อไปใช้ถึงปฏิกิริยา 3 ชุด โดยชุดที่ 1 ป้อนน้ำเสียที่ผ่านชั้นทรายกรอง ชุดที่ 2 ป้อนน้ำเสียที่ผ่านชั้นทรายกรองร่วมกับชั้นถ่านกรอง และชุดที่ 3 ป้อนน้ำเสียสด พบว่าถึงปฏิกิริยาชุดที่ 3 ล้มเหลวไม่สามารถเดินระบบได้ ส่วนถึงปฏิกิริยาชุดที่ 1 และ 2 เดินระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.5 กรัมซีโอดีต่อกรัมของแข็งแขวนลอยระเหยต่อวัน ที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสำหรับถึงปฏิกิริยาชุดที่ 1 เท่ากับร้อยละ 33.79, 47.79, 59.82 และ 37.48 ตามลำดับ และสำหรับถึงปฏิกิริยาชุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 28.23, 42.69, 56.01 และ 35.72 ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเทียบกับปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด พบว่ามีค่าประมาณ 0.4-0.51 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.5-1.0 กรัมซีโอดีต่อกรัมของแข็งแขวนลอยระเหยต่อวัน แต่จะมีค่าลดต่ำลงเหลือเพียง 0.2-0.033 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด เมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.5 กรัมซีโอดีต่อกรัมของแข็งแขวนลอยระเหยต่อวัน

ธนาวัฒน์ รักกมล, สุเมธ ไชยประพัทธ์ และอุดมผล พิชนันไพบูลย์ (2549) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งมีค่าซีโอดีทั้งหมด, บีโอดี, ของแข็งแขวนลอย, กรดระเหยง่าย, แอมโมเนียไนโตรเจน, ฟอสฟอรัสทั้งหมด และน้ำมันและไขมัน เท่ากับ 4,200-13,720 , 3,364-5,622 , 2,700-7,670 , 210-573 , 224-301 , 0.87-6.52 และ 39-174 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าพีเอช 7.00-7.34 ภายใต้อุณหภูมิ 55±1 องศาเซลเซียส และมีโซฟิติก (35±1 องศาเซลเซียส) โดยระบบเอเอสบีอาร์ซึ่งเป็นระบบถึงปฏิกิริยาระดับห้องปฏิบัติการ มีปริมาตรใช้งานขนาด 5 ลิตร ซึ่งเดินระบบที่อัตราภาระบรรทุก 0.50-5.00 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ 2-10 วัน น้ำเสียเข้าระบบมีความเข้มข้นของซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 9,284 มิลลิกรัมต่อลิตร เริ่มต้นระบบโดยใช้ตะกอนหัวเชื้อจากระบบยูเอเอสบี โดยใช้ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในรูปแบบเอ็มแอลเอสเอส ประมาณ 18,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 45 วัน ที่อัตราภาระบรรทุก 0.23 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ผลการทดลองพบว่าถึงปฏิกิริยาเทอร์โมฟิลิกมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมด ของแข็งแขวน และน้ำมันและไขมัน ร้อยละ 51.42-78.98, 26-98-72.92 และ 10.41-40.44 ตามลำดับ ส่วนถึงปฏิกิริยามีโซฟิติกมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ร้อยละ 52.36-75.47, 35.30-71.59 และ 21.70-74.89 ตามลำดับ ซึ่งที่อัตราภาระบรรทุก 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ 10 วัน) ระบบทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ส่วนอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

จะเพิ่มขึ้นตามอัตราภาระบรรทุก ซึ่งมีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปริมาตรถังเท่ากับ 0.06-0.18 ลิตรต่อลิตรต่อวัน ของถังปฏิกริยาเทอร์โมฟิลิก และ 0.06-0.17 ลิตรต่อลิตรต่อวัน ของถังปฏิกริยามีโซฟิลิก โดยรวมถังปฏิกริยาทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีทั้งหมดใกล้เคียงกันแต่เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าส่วนใหญ่ถังปฏิกริยาเทอร์โมฟิลิกมีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีทั้งหมดสูงกว่าถังปฏิกริยามีโซฟิลิกอย่างมีนัยสำคัญ

Yacob, Shirai และคณะ (2006) เติกระบบถังปฏิกริยาแบบปิดขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีค่าชีโอดีอยู่ในช่วง 34,150-78,450 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับถังปฏิกริยาแบบเปิดระหว่างเริ่มเดินระบบพบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีสูงถึงร้อยละ 97 และมีอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเป็นที่น่าพอใจมีค่าระหว่าง 0.1 และ 0.3 ซึ่งประสบความสำเร็จในการเดินระบบที่ระยะเวลาพักพักทางชลศาสตร์ต่ำสุด 17 วัน ภายในระยะเวลาไม่น้อยกว่า 3 เดือน ขณะที่ถังปฏิกริยาแบบเปิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีสูงเพียงร้อยละ 80.7 ที่ระยะเวลาพักพักทางชลศาสตร์ 20 วัน มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงในช่วงแรก แต่อย่างไรก็ตามลดลงระหว่างเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของน้ำเสียอย่างกะทันหัน จึงส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบ การเริ่มเดินระบบนี้บรรลุวัตถุประสงค์ โดยสามารถสร้างประชากรจุลินทรีย์ที่ทำงานได้ดี ซึ่งแสดงออกในรูปของประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี, ค่าพีเอช, อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง และระยะเวลาพักพักทางชลศาสตร์

Najafpour และคณะ (2006) ศึกษาการใช้ ถังปฏิกริยาเยอเอสเอฟเอฟ (upflow anaerobic sludge-fixed film : UASFF) ซึ่งเป็นถังปฏิกริยาชีวภาพที่ใช้ตะกอนเม็ดแบบหนึ่งที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนด้วยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว ถังปฏิกริยาเยอเอสเอฟเอฟ เป็นถังปฏิกริยาแบบไฮบริด (hybride) ที่ประกอบด้วยส่วนยูเอฟเอฟ (upflow fixed film : UFF) มีลักษณะเป็นฟิล์มชีวภาพเกาะติดอยู่ด้านบนเหนือส่วนของระบบเยอเอสบี ซึ่งปัญหาหลักของระบบเยอเอสบี คือใช้ระยะเวลาเริ่มเดินระบบยาวนานประมาณ 2-4 เดือน ในการศึกษาครั้งนี้ลักษณะการไหล (tubular flow behavior) ของระบบเยอเอสเอฟเอฟ ถูกพัฒนาให้ใช้ระยะเวลาเริ่มต้นเดินระบบสั้นลงที่ระยะเวลาพักพักทางชลศาสตร์ต่ำ 1.5 และ 3 วัน สำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม มีค่าชีโอดี, ซีโอดีละลาย, บีโอดี, ของแข็งแขวนลอย, น้ำมันและไขมัน และไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 42,500-55,700 , 22,000-24,000 , 23,000-26,000 , 16,500-19,500 , 4,900-5,700 และ 500-700 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าพีเอช 3.8-4.4 ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อน เชื้อจากด้วยน้ำประปาและปรับพีเอช 6.8 ก่อนป้อนเข้าถังปฏิกริยา หัวเชื้อตะกอนนำมาจากแหล่งต่างๆผสมกันมีค่าของแข็งระเหยทั้งหมด 10,300 มิลลิกรัมต่อลิตร เติกระบบที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ภาระสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นทีละน้อยจาก 2.63-23.15 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 20 วัน ขนาดเพิ่มขึ้นจาก pinpoint จนถึง 2 มิลลิเมตร การ

กำจัดซีไอดีสูงร้อยละ 89 และ 97 ที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 1.5 และ 3 วัน ตามลำดับ ผลผลิตมีเทน 0.346 ลิตรมีเทนต่อกรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด ที่อัตราภาระสารอินทรีย์สูงสุด การใช้ส่วนยูเอเอฟเอฟ ติดตั้งภายในเป็นเหตุให้ มวลชีวภาพที่รวมกลุ่มกัน (flocculated biomass) ตกตะกอนเหนือมวลชีวภาพของชั้นสัดจ์แขวนลอย (sludge blanket biomass) ที่ตกตะกอนอยู่ รักษาความเหมาะสมและธรรมชาติของ hydrophobic core ในการสร้าง spatial arrangement ของชนิดจุลินทรีย์ในกระบวนการของเมื่อดตะกอนชีวภาพเต็มวัย

Yacob, Hassan และคณะ (2006) ได้ศึกษาการใช้น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นแหล่งพลังงานทดแทนจากการสร้างก๊าซมีเทนและปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ โดยทำการวัดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากบ่อไร้อากาศ 2 บ่อ เป็นระยะเวลา 52 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณก๊าซมีเทนอยู่ระหว่างร้อยละ 35.0 และร้อยละ 70.0 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่มีค่าต่ำเชื่อว่า เกิดจากการผันแปรคุณสมบัติทางเคมีของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มช่วงกว้าง และปริมาณการปล่อยเข้าสู่บ่อซึ่งมีคุณภาพและปริมาณไม่คงที่ในแต่ละช่วงเวลา ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์โดยเฉพาะจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทน และมีผลต่ออัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนด้วย และช่วงของอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพอยู่ระหว่าง 0.5 และ 2.4 ลิตรต่อเวลาที่ต่อตารางเมตร ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดต่อบ่อไร้อากาศเท่ากับ 1,043.1 กิโลกรัมต่อวัน จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าระบบบ่อไร้อากาศมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบถังย่อยสลายแบบเปิด สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมี 2 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้แก่ กิจกรรมของโรงงาน และฤดูกาลเพาะปลูก

มีนักวิจัยหลายท่านได้ให้ความสนใจนำกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศสองขั้นตอนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งทำการออกแบบกระบวนการในรูปแบบต่างๆ กันแล้วทำการทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการ Ng และ Chim (1985) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีค่าซีไอดี, บีไอดี, กรดระเหย, สภาวะต่าง, ของแข็งแขวนลอย และ ของแข็งแขวนลอยระเหย เฉลี่ย 62,934 , 26,222 , 1,503 , 1,094 , 26,456 และ 22,149 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าพีเอชเฉลี่ย 4.1 และประกอบด้วยส่วนที่ย่อยสลายยากสูง โดยใช้ระบบสองขั้นตอนระดับห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ถึงหมักที่ใช้เป็นถังกวน 2 ถังต่ออนุกรมกัน ป้อนน้ำเสียต่อเนื่อง พบว่า แม้ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกริยาสร้างกรดมีค่าสูงถึง 5,458 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็ตาม แต่ไม่มีการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในถังปฏิกริยาสร้างมีเทน ค่าพีเอชของระบบเท่ากับ 7.2 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ร้อยละ 78, 81 และ 85 ที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ในถังปฏิกริยาสร้างกรด 1 วัน และถังปฏิกริยาสร้างมีเทน 10, 20 และ 30 วัน ตามลำดับ โดยไม่มีการหมุนเวียนเซลล์กลับเข้าสู่ระบบ ผลผลิตก๊าซของขั้นตอนสร้างมีเทน 0.98-2.2 ลิตรต่อกรัมบีไอดีที่ถูกบริโภค

Borja, Banks และ Sanchez (1996) ได้ใช้ถังปฏิกริยา ยูเอเอสบี 2 ถึงต่ออนุกรมกันทำหน้าที่เป็นถังสร้างกรดและถังสร้างมีเทนศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งมีค่าซีโอดี, บีโอดี และของแข็งแขวนลอยประมาณ 40,000 , 15,000 และ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่า ถังสร้างกรดสามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย 5,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้อย่างรวดเร็วและทนทาน แล้วค่อยๆทำการเพิ่มค่าภาระขึ้นในระยะเวลา 100 วัน เป็นผลให้การไฮโดรไลซิสและการสร้างกรดให้อัตราผลผลิตกรดอะซิติกสูงสุด 4.1 กรัมต่อลิตรต่อวัน ที่อัตราภาระซีโอดี 16.6 กรัมต่อลิตรต่อวัน มีค่าพีเอช ประมาณ 5.8 ถังปฏิกริยาสร้างมีเทนสามารถปรับตัวได้อย่างรวดเร็วในการรับน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกริยาสร้างกรด เมื่อเพิ่มอัตราภาระซีโอดีในถังปฏิกริยาสร้างก๊าซมีเทนถึง 60 กรัมต่อลิตรต่อวัน พบว่าประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และพบการสะสมของกรดไขมันระเหยสายยาว การทำงานของถังปฏิกริยาสร้างมีเทนมีประสิทธิภาพดี ที่อัตราภาระซีโอดี 30 กรัมต่อลิตรต่อวัน ขณะเดียวกันสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ดีและลดค่าซีโอดี ได้มากกว่าร้อยละ 90 และมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนกรดกลายเป็นก๊าซมีเทน