

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประวัติความเป็นมาของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (anaerobic process)

ในปี พ.ศ. 2319 Volta เป็นบุคคลแรกที่ค้นพบความจริงเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของการสลายตัวของพืช ผัก และก๊าซซึ่งสามารถจุดไฟติดได้ แต่ระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการหมักนั้นได้เริ่มมีการศึกษากันอย่างจริงจังในช่วงครึ่งหลังของศตวรรษที่สิบเก้า และนำไปสู่การติดตั้งระบบของถังหมักเป็นครั้งแรกในศตวรรษที่ยี่สิบ สำหรับการหมักของเสียที่มีความใส โครกหรือมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงเช่น มูลสัตว์ ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำทิ้งของบ้านเรือนของเสียเหล่านี้มีความต้องการขบวนการหมักที่ยาวนาน ดังนั้นจึงต้องมีระยะเวลาเก็บกักที่ยาวนานขึ้น ในปี พ.ศ. 2493 ได้มีการพัฒนาถังหมักแบบ anaerobic contact process โดย Schroeffer ซึ่งต่อมาเมื่อเกิดวิกฤตการณ์ของพลังงานในปี พ.ศ. 2516 (1973) จึงทำให้เกิดความสนใจในขบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งจะได้รับพลังงานในรูปก๊าซชีวภาพจากจุดนี้ทำให้มีความก้าวหน้าในการพัฒนาขบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนต่อมา ซึลล์ (Zeeuw, 1984)

ทฤษฎีการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

การบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีววิทยาแบบไร้อากาศ มีข้อดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เนื่องจากความต้องการปริมาณอาหารเสริมสร้างที่น้อย เซลล์ของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นใหม่น้อยกว่า ต้องการใช้พลังงานสำหรับระบบน้อย และได้ก๊าซมีเทนซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ แต่อย่างไรก็ตาม ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศก็มีข้อเสียคือ จุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเจริญเติบโตช้า ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการเริ่มต้น (start up) เติบโตที่ยาวนานและระบบบำบัดน้ำเสียไม่สามารถปรับตัวได้คืนต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำเสีย ปริมาณบีโอดี อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ นอกจากนี้ยังเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีกลิ่นเหม็นซึ่งทำปฏิกิริยากับโลหะต่าง ๆ ทำให้น้ำทิ้งมีสีดำ (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2518)

เลททิงกา และคณะ (Lettinga et al., 1984) ได้กล่าวถึงการจำแนกขบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศว่า ขึ้นกับอัตราการรับสารอินทรีย์ (loading rate) ซึ่งอัตราการรับสารอินทรีย์ของ

ระบบบำบัดน้ำเสียจะถูกกำหนดโดยปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมัก ถ้าสามารถรักษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในถังหมักได้มากและนาน ก็ทำให้ระบบสามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้มากตามไปด้วย นอกจากนี้การจำแนกยังขึ้นกับความสามารถในการสัมผัสกันของน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์ด้วย ในการรักษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักให้อยู่ได้มากและนานมีวิธีการดังนี้

การรักษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์โดยบรรจุตัวกลาง (packing material) ใน

1. ถังหมักเพื่อใช้ดักจับตะกอนจุลินทรีย์ให้เป็นแผ่นฟิล์ม ได้แก่ ระบบถังกรองไร้อากาศ (anaerobic filter)

2. การรักษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์โดยขบวนการ immobilization โดยอาศัยกลไกการสัมผัสของจุลินทรีย์บนพื้นผิวตัวกลาง ได้แก่ ระบบ fluidized bed ระบบ fixed film expanded bed

3. การรักษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์โดยขบวนการ sludge blanket ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในระบบ up flow anaerobic sludge blanket

การที่ระบบสามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูงนั้น การรักษาตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในถังหมักได้ยาวนานกว่าระยะเวลาเก็บกักของน้ำเสียเป็นปัจจัยที่สำคัญ ดังนั้นแต่ละระบบจึงสามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้ต่างกัน ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Zeeuw, 1984)

ชนิดของระบบ	วิธีการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์	อัตราการรับสารอินทรีย์ (กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตรต่อวัน)
1. conventional (completely stirred)	none	ประมาณ 1
2. anaerobic contact process	separate settling tank with sludge return	ประมาณ 5
3. anerobic filter	bacterial immobilization on filter material combined with sludge particle retention in filter interstices	10-15
4. up flow anaerobic sludge blanket	granulation of bacterial mass and an internal settling compartment	20-50
5. fixed film process	bacterial immobilization on static surfaces (up flow or down flow made) or on particles (expanded on fluidized bed made)	20-50

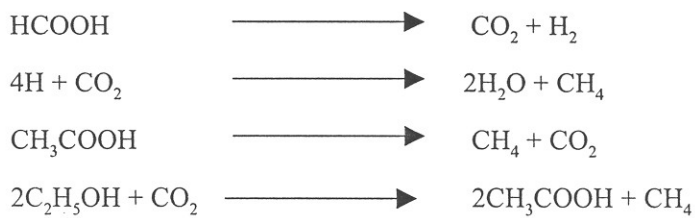
ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน

ในขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน เป็นการทำลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่อยู่ในรูปของแข็งและสารละลาย ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียมีเสถียรภาพและได้ก๊าซมีเทนที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ซึ่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ สแตมฟอร์ด, เวสทลีย์ และเทสเกส (Stafford, Wheatly, & Theghes, 1980) ได้แบ่งไว้เป็น 3 ลำดับ

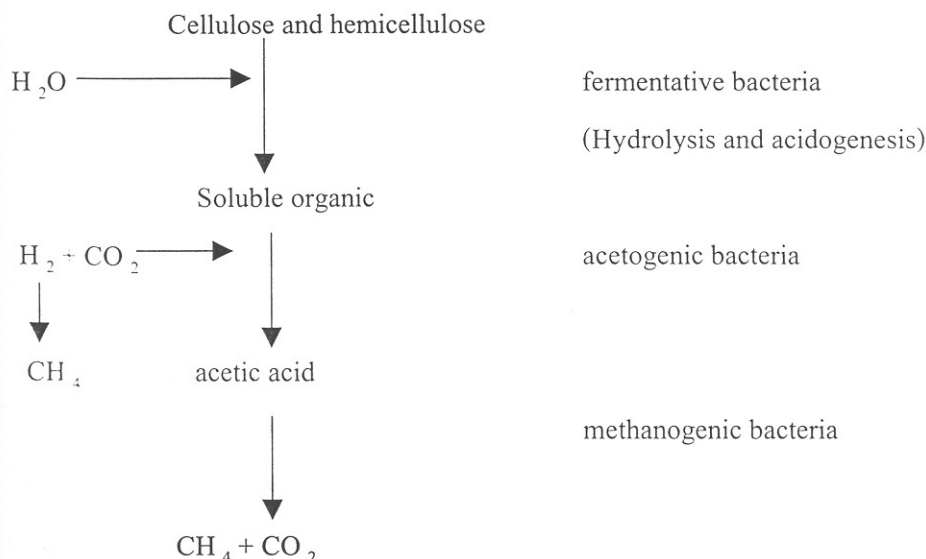
1. ขั้นตอนการเกิด hydrolysis โดยกลุ่มจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนพวก cellulolytic bacteria จะทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงซ้อนโมเลกุลใหญ่ ๆ เช่น เซลลูโลส โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน สารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกย่อยสลายไปเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเดี่ยวเล็ก ๆ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดไขมัน และกลีเซอรอล

2. Acid formation ในขั้นนี้พวกจุลินทรีย์ที่เรียกว่า acetogenic bacteria จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลเดี่ยวเล็ก ๆ ไปเป็นตัวกลาง ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่าง ๆ เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก

3. Methane formation ในขั้นนี้ตะกอนจุลินทรีย์พวก methanogenic bacteria จะทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่าง ๆ ได้เป็นก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยก๊าซมีเทนอาจเกิดจากการย่อยสลายกรดอะซิติก หรือการรีดิวส์ คาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพที่มีก๊าซไฮโดรเจน หรือมีฟอर्मेटที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ซึ่งการเกิดก๊าซมีเทนเป็นไปตามสมการ



อัตราการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายไปเป็นก๊าซมีเทนจะเป็นตัวจำกัดการเพิ่มอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ เนื่องจากว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจะทำให้ pH ลดต่ำลง และระบบบำบัดล้มเหลวได้ แต่การกวนผสมก็เป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการที่จะรักษาความเหมาะสมในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่าง ๆ ไปเป็นก๊าซมีเทน เอกเคนฟีลเดอร์ (Eckenfelder, 1980)



ภาพที่ 1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งในสภาพไร้ออกซิเจน

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหมักแบบไร้ออกซิเจน

1. อุณหภูมิ เจนนาสท์ และ มาเทลส์ (Jannasch & Mateles, 1974) ได้แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิมีผลต่อสรีรวิทยาและส่วนประกอบทางเคมีของเซลล์ในระหว่างที่มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง เพราะเอนไซม์มีความเหมาะสมในการทำงานที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระยะต่อมา มีรายงานว่า จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทนสามารถอาศัยอยู่ได้ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 0 – 97 องศาเซลเซียส ฮิวเกสท์ และคณะ (Hughes et al., 1981) และ มัททา (Matta, 1985) ส่วน กัวดี้ และกัวดี้ (Gaudy & Gaudy, 1981) ได้แบ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ไว้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะ psychophilic เป็นระยะที่มีช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 – 20 องศาเซลเซียส

ระยะ mesophilic เป็นระยะที่มีช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20 – 45 องศาเซลเซียส

ระยะ thermophilic เป็นระยะที่มีช่วงอุณหภูมิระหว่าง 45 – 90 องศาเซลเซียส

ฮิวเกสท์ และคณะ (Hughes et al., 1981) ได้รายงานการตรวจพบการสร้างก๊าซมีเทนของ จุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แสดงว่าในระยะ psychophilic มีการเจริญเติบโตของมีเทน แบคทีเรียบางชนิด เลททิงกา และคณะ (Lettinga et al., 1984) ได้รายงานว่า อุณหภูมิที่เหมาะสม สำหรับการย่อยสลายมากที่สุดคือ ระยะ mesophilic ที่ 37 องศาเซลเซียส เฮนส์ และ เฮร์มอส (Henze & Harremoës, 1983) ได้สแตมฟอร์ด, ฮอลท์ และฮอร์ทล (Stafford, Hawkes, & Horton, 1980) ได้รายงานว่า การเพิ่มอุณหภูมิทุก 10 - 15 องศาเซลเซียส จะทำให้ความสามารถของมีเทน แบคทีเรียเพิ่มขึ้นเท่าตัว โซลเทมเยอร์, อาร์โนลด์, โคเฮน และ โบลโอเวอร์ (Zoetemeyer, Arnoldy,

Cohen, & Boelhouwer, 1982) ได้รายงานไว้ว่า ที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายมากที่สุดในระยะ thermophilic โซล (Souza, 1986) และ เพนนิน, ชายโนเวท, โกส และ ไบรวัสทาวา (Fannin, Chynoweth, Ghosh, & Brivastava, 1980) ได้รายงานว่าในระยะ thermophilic จะมีประสิทธิภาพของการย่อยสลายมากกว่าระยะ mesophilic สุเมธ ชวเดช (2529) ได้แนะนำว่า อุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบควรมีความผันแปรไม่เกิน ± 5 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบขึ้น ๆ ลง ๆ จะทำให้ระบบเสียสมดุลย์ของปฏิกิริยาต่าง ๆ

2. ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ความมีเสถียรภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจะขึ้นกับการรักษาค่า pH ของระบบ โดยการขจัดโปรตรอนส่วนเกิน เนื่องจากโปรตรอนส่วนเกินจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ H_2 ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของมีเทนแบคทีเรียได้ pH ที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนชนิดกวนสมบูรณ์มีค่า 6.8 – 7.2 แต่มีรายงานบางฉบับแสดงความเหมาะสมในการหมักมูลวัวว่า อยู่ที่ 5.0 เพราะสภาพแวดล้อมขนาดเล็กรอบ ๆ มีเทนแบคทีเรียมี pH ต่ำกว่านี้ เลนนี (Lane, 1981) แต่โดยทั่วไป pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6 – 8 และเหมาะสมต่อการทำงานมากที่สุดคือ ที่ pH 7 แต่ก็ยังตรวจพบการเกิดก๊าซมีเทนที่ pH 3 เรียกสภาพ acid bogs ฮิวเกสท์ และคณะ (Hughes et al., 1981) pH ที่เหมาะสมของแบคทีเรียที่สร้างกรด คือ 5 – 6 และทนได้ถึง pH 4.5 โดยสภาพธรรมชาติทำให้แบคทีเรียกลุ่มนี้ทนต่อความเป็นกรดได้ดีกว่าแบคทีเรียทั่วไป แต่ขั้นตอนที่เป็นข้อจำกัดในขบวนการย่อยสลายของระบบคือ ขั้นตอนการย่อยสลายของมีเทนแบคทีเรีย แมททา (Matta, 1985)

ค่า pH จะสัมพันธ์กับค่าความเป็นด่าง ดังนั้นจึงสามารถรักษาระดับของ pH ในถังหมักให้สูงกว่า 6 ได้ โดยการใช้ด่าง เช่น ปูนขาว, โซเดียมไฮคาร์บอเนต เพื่อรักษาความสมดุลย์ของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดและจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน เคอร์บี้ (Kerby et al., 1980) เมื่อคิดถึงค่าใช้จ่ายแล้วการใช้โซเดียมคาร์บอเนตจะเหมาะสมที่สุด เฮนซี และ เฮร์มอส (Henze & Harremoes, 1983) ซึ่ง โซล (Souza, 1986) ได้รายงานไว้ว่า ค่า pH ที่ต่ำกว่า 6.5 หรือสูงกว่า 7.5 จะเป็นอันตรายต่อมีเทนแบคทีเรีย โดยที่ค่า pH จะสัมพันธ์กับค่า alkalinity และความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ เมื่อมีกรดอินทรีย์มากขึ้น ค่า alkalinity จะลดลงก่อน เนื่องจากเป็น buffer ของถังหมัก จากนั้นค่า pH จึงลดลงตาม

3. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย ตัวกลางของขบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ในการผลิตก๊าซมีเทน คือ กรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่าง ๆ เมคแคร์ที, คิวคิวแมน และ ลาวเรนท (McCarty, Kugelman, & Lawrence, 1964) ได้รายงานไว้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายอย่างกะทันหันจะทำให้ระบบเสียสมดุลย์ ถ้าเป็นช่วงเริ่มต้นเดินระบบจะเสียสมดุลย์ชั่วคราว แต่ถ้าเป็นระยะเดินระบบคงที่แล้วจะเสียสมดุลย์อย่างถาวร เนื่องจากกรดโปรพอนิกจะย่อยสลาย

โปรโตพลาสของแบคทีเรียที่สร้างกรดทำให้ระบบบัลลัมเหลวได้ แต่กรดอะซิติกแม้ที่ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็ไม่เป็นพิษต่อมีเทนแบคทีเรีย และจากการทดลองผสมกรดอินทรีย์ระเหยง่ายหลายชนิดที่ความเข้มข้นสูง ซึ่งไม่เป็นพิษต่อมีเทนแบคทีเรีย แต่กลับทำให้เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนสูงขึ้นเมื่อปรับ pH ให้เป็นกลาง และระบบกลับสู่สมดุลย์ ส่วนการทดลองของ สแตมฟอร์ด, เวสท์ และเทสเกส (Stafford, Wheatly, & Theghes, 1980) ที่รายงานว่าที่ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นพิษต่อมีเทนแบคทีเรียนั้น อาจมีปัจจัยอื่น ๆ เกี่ยวข้องด้วย โดย เฮนส์ และ เฮร์รีมอส (Henze & Herremoes, 1983) ได้รายงานว่า กรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่อยู่ในรูปอิสระและไม่ละลายที่ความเข้มข้น 1-2 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีศักยภาพของความ เป็นพิษ

4. สารพิษ มีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนอย่างสูง เพราะผลกระทบจากสารพิษต่าง ๆ ทั้งโลหะหนัก โลหะ alkalinity โลหะ alkaline earth ซัลเฟต ซัลไฟด์ คลอโรฟอร์ม ฟีนอล คลอไรด์ ไนเตรต และออกซิเจน จะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น ซัลเฟตในน้ำเสียจะส่งผลให้มีการเจริญของ sulfate-reducing bacteria โดยถูกเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งกระบวนการนี้จะไปแย่ง H_2 จากมีเทนแบคทีเรีย โซลสา (Souza, 1986) ซึ่ง กัวดี้ และ กัวดี้ (Gaudy & Gaudy, 1981) ได้แบ่งประเภทของสารพิษต่าง ๆ ไว้ดังนี้

4.1 สารพิษที่เป็นสารอินทรีย์ สารเหล่านี้จะเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์บางชนิด ได้แก่ สารฟีนอล และสารอื่น ๆ ที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบ สารเหล่านี้จะได้จากขบวนการผลิตถ่านหิน ปิโตรเคมี การรักษาเนื้อไม้ และยาฆ่าเชื้อในโรงพยาบาล แต่สารเหล่านี้ก็สามารถถูกกำจัดได้ในขบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ pseudomonas

4.2 สารพิษที่เป็นสารอนินทรีย์ แบ่งได้เป็นพวกที่มีความเป็นพิษสูงที่เป็นทั้งธาตุและสารประกอบ ได้แก่ โครเมียม โครเมต นิเกิล สังกะสี ทองแดง อาเซนิก และไซยาไนด์ และพวกที่มีความเป็นพิษต่ำ ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม โลหะ alkaline earth ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม แอมโมเนียม พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของ monovalent ions พวกโซเดียม โพแทสเซียม และแอมโมเนียม คือ 0.01 M ส่วน divalent ion พวกแมกนีเซียม และแคลเซียม คือ 0.005 M พบปรากฏการณ์ antagonism ที่ประจุไอออนหนึ่งช่วยลดความเป็นพิษของอีกประจุไอออนหนึ่ง ปรากฏการณ์ synergistic ที่ประจุไอออนหนึ่งช่วยเพิ่มความเป็นพิษของอีกประจุไอออนหนึ่ง และพบว่าโลหะหนัก จะมีความเป็นพิษสูง ได้แก่ ทองแดง สังกะสี นิเกิล แต่ความเป็นพิษจะถูกลดลงโดยสมบูรณ์

เนื่องจากขบวนการตกตะกอนของซัลไฟด์ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระแสดงในตารางที่ 2 ในปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ประสบกับสารพิษในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่ง สปีส์ (Speece, 1983) ได้ให้ไว้ ได้แก่ ตัวเร่งกะตะไลต์ที่เป็นโลหะหนัก ยาในอาหารสัตว์ สารฆ่าเชื้อโรค ตัวทำละลายต่าง ๆ สารเคมีถนอมอาหาร สารที่รั่วไหลจากไอน้ำ สารพิษจากปฏิกิริยาขั้นที่ 2 เป็นต้น

ตารางที่ 2 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ
(สุเมธ ชวเดช, 2529)

parameter		optimum	maximum
บีโอดี	:N :P	100 :1.1: 0.2	-
pH		6.8 – 7.4	6.4 – 7.8
VFA	mg/l.HOAC	50 – 500	2,000
Alkalinity	mg/l CaCO ₃	1,500 – 2,000	1,000 – 3,000
NH ₄ -N	mg/l	550 – 1,000	3,000
Na	“	100 – 200	3,500 – 5,500
K	“	200 – 400	2,500 – 4,500
Ca	“	100 – 200	2,500 – 4,500
Mg	“	7.5 – 150	1,000 – 1,500
SO ₄ ⁻²	“	-	500
S ⁻	“	0.1 – 1.0	100
Cl ⁻	“	-	15,000
Temperature	⁰ C	37	50 - 55

5. ธาตุอาหารเสริม (nutrient) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมักมีคุณลักษณะไม่เหมาะสมต้องมีการเพิ่มสารอาหารให้ เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน โดย เฮนส์ และ เฮร์มอสส์ (Henze & Harremoes, 1983) ได้รายงานไว้ว่า ค่า COD : N : P ขึ้นกับอัตราการรักษาอินทรีย์ และที่อัตราการรักษาอินทรีย์สูง ต้องมีธาตุอาหารเสริมตามปริมาณที่แสดงในตารางที่ 3 เสริมพล รัดสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2518) ได้ให้อัตราส่วนที่เหมาะสมของ BOD : N : P = 100 : 1.1 : 0.2 ถ้ามีอัตราส่วนของ N : P ต่ำกว่านี้ จะทำให้ประสิทธิภาพของการย่อย

สลายและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลง แต่ถ้า N มีมากเกินไปจะเป็นพิษ และทำให้ระบบเสียสมดุลได้ส่วนธาตุอาหารเสริมอื่นๆ ที่ต้องการในปริมาณน้อย ได้แก่ Ca, Mg, Mo, Co, และ Fe ซึ่งน้ำเสีย โดยปกติจะไม่ขาดแคลนธาตุอาหารเสริมเหล่านี้

ตารางที่ 3 ธาตุอาหารเสริมที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน
(Henze & Harremoes, 1983)

compound	beneficial concentration In the study g/m ³	effect
Fe ⁺⁺	0.2	Precipitation of sulphide Flocculation/Biofilm Structure
	12 – 120 (soluble)	-
Cl ⁺⁺	(0.017)	Build-up of F ₄₃₀ co- Factor in methanogens Increase in activity
	0.006	
Mg ⁺⁺	0.01 – 0.02	Flocculation
Ca ⁺⁺	0.01 – 0.04	Flocculation
Ba ⁺⁺	0.01 – 0.1	Flocculation
Co ⁺⁺	0.01	Vitamin B ₁₂
	0.003	Increase in activity
SO ₄ ⁻	0.02	Increase in activity

ระบบยูเอเอสบี

ประวัติความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี

การย่อยสลายในสภาพไร้อากาศ มีความเหมาะสมสำหรับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงซึ่งนอกจากประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้รับแล้ว ยังได้รับก๊าซชีวภาพอีกด้วย ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศแบบหนึ่ง ได้รับการพัฒนาขึ้นมาในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยมีพื้นฐานการพัฒนาจากประเทศอิตาลี ซึ่งมีการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบขบวนการ

สัมผัส โดย วินโลว์ และ เฟลส์ (Winlow & Phelps, 1971) ได้พัฒนาให้ระบบถังหมักมีการฉีดน้ำเสียขึ้นสู่ด้านบน โดยผ่านส่วนล่างของถังหมักซึ่งมีตะกอนจุลินทรีย์อยู่หนาแน่น ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า “Biolytic tank” ต่อมา คูลเตอร์ และ เอททิงเกอร์ (Coulter & Ettinger, 1961) ได้รายงานสรุปว่าเป็นไปได้ที่จะใช้บำบัดน้ำเสียในชั้นเริ่มต้นได้ดี เมื่อมีวิธีการแยกตะกอนจุลินทรีย์กลับไปสัมผัสกับน้ำเสียอีก โดย คิลลี, เฮนเซน, สแตนเดอร์ และ เบลลี (Cillie, Henzen, Stander, & Baillie, 1969) ได้รายงานถึงความสำเร็จในการพัฒนารูปแบบการบำบัดน้ำเสียที่มีการฉีดพ่นน้ำเสียของน้ำตาลเป้ง กุลโคส นำจากการกลั่นไวน์ และยีสต์ ผ่านตะกอนจุลินทรีย์ใน DORR OLIVER CLARIGESTER ซึ่ง สแตนเดอร์ (Stander, 1966) ได้รายงานว่ามีการพัฒนาทั้งในชั้นโรงงานต้นแบบ และระบบใช้งานจริงที่ Western Caper Regional Laboratory at Bellville โครงการพัฒนาของระบบยูเอเอสบี เริ่มต้นในปี 1970 โดยได้รับการสนับสนุนจากกระทรวงสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมของรัฐบาลเนเธอร์แลนด์ ทำให้เกิดการพัฒนาศักยภาพของถังหมักในระดับทำงานจริงเพื่อบำบัดน้ำเสียในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยเป็นการทำงานร่วมกันของกลุ่มงานวิจัย Centrale Suiker Maatschappij (CMS), มหาวิทยาลัย Delft University of Technology, มหาวิทยาลัย Wageningen และมหาวิทยาลัย Amsterdam เลททิงกา (Lettinga et al., 1984) ทำให้ในปัจจุบันมีการใช้ระบบนี้ทั่วโลก

หลักการการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการฉีดพ่นน้ำเสียขึ้นสู่ด้านบน โดยไม่ใช้ตัวกลางหรือวัสดุใด ๆ ในการพองมวลชีวภาพทั้งสิ้น ซึ่งลักษณะเด่นเฉพาะของระบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น มีดังนี้

1. มีเครื่องแยกตะกอนที่ส่วนบนของถังหมัก
2. ตะกอนจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นเม็ดตะกอนอยู่ในชั้นตะกอนล่าง และชั้น

ตะกอนลอย

3. มีการฉีดพ่นขึ้นสู่ด้านบน (up flow feeding) ทั้งที่เป็นช่วงๆ (intermittent pulse feeding) และเป็นแบบต่อเนื่อง (continuous feeding)

4. ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องกวน

จากลักษณะเด่นต่าง ๆ สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. ไม่จำเป็นต้องมีถังตกตะกอน ตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ชั้นตะกอนล่าง และชั้นตะกอนลอย โดยมีอุปกรณ์แยกก๊าซกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ด้านบนของถังหมัก ซึ่งเรียกว่า gas-solid separator ซึ่งแม้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักจะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด แต่ก็มีโอกาสฟุ้งกระจายจากชั้นตะกอนล่าง ในสถานะที่ระบบมีอัตราการรับสาร

อินทรีย์สูง ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดความปั่นป่วนภายในถังหมัก เนื่องจากขบวนการเกิดก๊าซ หรือเกิดการลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์ เพราะว่าเกิดการเกาะตัวของตะกอนชีวภาพกับฟองก๊าซ แต่ตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกพาลอยขึ้นมาส่วนใหญ่เป็นพวก flocculant bacteria จากชั้น sludge blanket เมื่อไหลผ่าน settler ตะกอนเหล่านี้จะตกกลับลงถังหมัก ดังนั้นอุปกรณ์แยกนี้จึงมีความจำเป็นมาก เพื่อเป็นการป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกไปจากถังหมัก ซึ่งลักษณะการใช้งานจริงของระบบกระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น (ยูเอเอสบี) ในส่วนของชั้นตะกอนลอยที่เข้าไปอยู่ในส่วนของอุปกรณ์แยกก๊าซกับตะกอนจุลินทรีย์ จะเป็นตัวช่วยไม่ให้ตะกอนจากชั้นตะกอนตกกลับไป ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายในชั้นตะกอนล่าง แต่ที่เป็นปัญหาจริง ๆ คือ การลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์เป็นครั้งคราว

2. ตะกอนจุลินทรีย์สามารถตกตะกอนได้ง่าย เนื่องจากแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นเม็ด มีน้ำหนักสูง เลททิงกา และคณะ (Lettinga et al., 1984) ได้รายงานไว้ว่า ระบบกระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้นมีประสิทธิภาพสูงก็ต่อเมื่อ ตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักมีลักษณะเป็นเม็ด ดังนั้นเพื่อให้ได้ตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด จึงต้องมีวิธีการเริ่มต้นเดินระบบที่ถูกวิธี โดยให้มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในถังหมัก 10-15 กิโลกรัม VSS ต่อลูกบาศก์เมตร โดยให้มีอัตราการรับสารอินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ 0.05-0.1 กิโลกรัมชีโอดีต่อกิโลกรัม VSS ต่อวัน และต้องไม่เพิ่มอัตราการรับสารอินทรีย์จนกว่ากรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดจะถูกย่อยสลายไปมากกว่า 80% และในการเดินระบบ ต้องยอมให้มีการชะล้างของตะกอนชีวภาพที่มีความสามารถในการตกตะกอนต่ำออกจากระบบของถังหมัก และต้องพยายามรักษาตะกอนจุลินทรีย์ส่วนที่มีน้ำหนักสูงไว้ในระบบ ซึ่งขบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด (granulation) จะเกิดขึ้นในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบของถังหมัก เลททิงกา และคณะ (Lettinga et al., 1984) ได้แสดงการทดลองความสามารถในการรับภาระสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ granular sludge (UASB), fluidized bed system, fixed film expanded bed system, anaerobic filter, down fixed film

จากความสามารถในการรับภาระสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียข้างต้น จะพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบกระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น ซึ่งมีตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด มีความสามารถในการรับภาระสารอินทรีย์ของน้ำเสียได้สูง จึงเหมาะสมสำหรับน้ำเสียของโรงงานสุราที่มีค่าความโศโครก ความเข้มข้นของซัลเฟต และกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระดับที่สูงด้วย แซนเชดส์, การ์โดบา และ ซิเนอร์ริท (Sanchez, Cardoba, & Sinerigt, 1985)

3. การฉีดพ่นของน้ำเสียจากส่วนล่างของถังหมักอย่างสม่ำเสมอ ระบบกระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น ที่อัตราการรับสารอินทรีย์สูงมาก ๆ จำเป็นที่จะต้องป้องกันการเกิดช่อง (channelling) ในชั้นตะกอนล่าง ซึ่งการเกิดช่องมีโอกาสดังกล่าว เมื่อถังหมัก

ถูกป้อนด้วยน้ำเสียที่มีอุณหภูมิต่ำและมีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งจะทำให้ปริมาณของก๊าซมีเทนน้อยเกินกว่าที่จะ ทำให้มีการกวนผสมและสัมผัสของตะกอนจุลินทรีย์อย่างพอเพียง นอกจากนี้ถ้าชั้นตะกอนล่างมีความสูงน้อยเกินไปก็เกิดช่องได้ ดังนั้นอุปกรณ์การป้อนน้ำเข้าและจำนวนท่อฉีดจึงมีความสำคัญ เลททิงกา และคณะ (Lettinga et al., 1984) ได้เสนอแนะว่า ถ้าเป็นชั้นตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดที่หนา (thick granular sludge) ที่ค่าอัตราการรับสารอินทรีย์ 1-2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ให้ใช้ 1 หัวฉีดต่อ 1 ตารางเมตรของพื้นที่ถังหมัก

เมื่อเปรียบเทียบกับถังหมักระบบอื่น ๆ แล้วระบบกระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้นนี้เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงและค่าก่อสร้างระบบต่ำ เนื่องจากไม่ต้องใช้ตัวกลาง ไม่ต้องมีเครื่องกวนผสม และไม่ต้องมีถังตกตะกอนแบบที่เรียกใช้เครื่องสูบน้ำน้อยตัวไม่เสียปริมาตรของถังเนื่องจากตัวกลางออกแบบง่าย นอกจากนี้ยังมีตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินน้อยมาก เพราะ 80% ของชีโอดีในน้ำเสียที่ถูกกำจัดไป จะเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน โดยทั่วไปจะเกิดตะกอนจุลินทรีย์ประมาณ 0.1 กิโลกรัมของตะกอนต่อกิโลกรัมชีโอดี ซึ่งเมื่อเทียบกับระบบใช้ระบบใช้อากาศแล้วจะน้อยมาก ทำให้ลดปัญหาการกำจัดตะกอนส่วนเกินได้มาก ตะกอนจุลินทรีย์จากถังหมักนี้สามารถรักษาคูณสมบัติของตัวมันเองไว้โดยไม่เปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และปราศจากอาหารซึ่งเก็บได้นานถึง 1 ปี ดังนั้น ระบบนี้จึงเหมาะสำหรับโรงงานที่ปล่อยน้ำเสียเป็นฤดูกาลไม่สม่ำเสมอแต่อย่างไรก็ตาม ระบบกระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศไหลขึ้นมีข้อเสียที่ต้องมีการดำเนินการเดินระบบที่ถูกต้อง มิฉะนั้นแล้ว แบคทีเรียในถังหมักจะไม่เป็นชนิดเม็ดที่มีน้ำหนักสูงประสิทธิภาพของระบบจะไม่สูงอย่างที่คาดหมายไว้ ข้อดี และข้อเสียของระบบยูเอเอสบี แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบ ยูเอเอสบี

ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามารถรับสารอินทรีย์ได้สูง	1. ต้องการวิธีการเริ่มต้นเดินระบบที่ถูกต้อง
2. ใช้พลังงานต่ำ	2. ต้องการอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมในการกวน
3. การเกิดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินน้อยมาก	3. เมื่อสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบ ทำให้อัตราการเจริญทดแทนไม่ทันอัตราการรับสารอินทรีย์จึงไม่สูงขึ้น
4. สามารถเก็บรักษาตะกอนจุลินทรีย์ในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20°C ได้ถึง 1 ปี จึงเป็นระบบที่สามารถใช้กับแหล่งผลิตที่มีน้ำเสียเป็นระบบที่สามารถใช้กับแหล่งผลิตที่มีน้ำเสียเป็นช่วง ๆ ได้	4. ตะกอนจุลินทรีย์มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก เช่น สารพิษ สารยับยั้งการเจริญเติบโต
5. ต้องการธาตุอาหารเสริมเล็กน้อย	5. ต้องใช้ระยะเวลาในการเริ่มต้นเดินระบบที่ยาวนาน
6. ได้ผลผลิตของก๊าซชีวภาพที่เป็นเชื้อเพลิง	6. ต้องการระบบบำบัดน้ำเสียที่ต่อเนื่องเพื่อลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ให้ได้มาตรฐาน
7. ตะกอนจุลินทรีย์สามารถแยกจากน้ำเสียได้ง่าย	7. ยังมีข้อมูลและประสบการณ์ในการเดินระบบน้อย

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบยูเอเอสบี

3.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบ วิคเตอร์ และหลุยส์ (Victor & Luis, 1987) ได้ให้แนวทางไว้ดังนี้

3.1.1 การออกแบบที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 10-20 กรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และอัตราป้อนสารอินทรีย์ที่ใช้ในการออกแบบจะสูงขึ้นในช่วง thermophilic

3.1.2 ระบบยูเอเอสบี สามารถออกแบบสำหรับความเข้มข้นของน้ำเสีย 200-100,000 มิลลิกรัม ชีโอดี ต่อลิตร

- 3.1.3 การกวนผสมต้องมีอัตราการผลิตแก๊ส 60 ลูกบาศก์เมตรต่อวันต่อตารางเมตร ซึ่งจะพอเพียง สำหรับการกวนผสมตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสูง 2-3 เมตร
- 3.1.4 ควรมีการฉีดพ่น 1 หัวฉีดต่อ 5 ตารางเมตรของพื้นที่ก้นถัง
- 3.1.5 ความสูงของถังหมักที่เหมาะสมคือ 4-6 เมตร และพื้นที่ 3.5 ใน 4 ส่วนตามความสูงของถังหมัก ต้องการความเร็วของแก๊สชีวภาพ 1.0-1.5 เมตรต่อชั่วโมง
- 3.1.6 Settler ต้องมีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่า 99% ผนังจึงต้องการความลาดเอียง 50° เพื่อควบคุมตะกอนจุลินทรีย์ให้ไหลย้อนกลับ โดยมี surface loading ของ settler ต่ำกว่า 0.7 เมตรต่อชั่วโมง และมีค่าเฉลี่ยอัตราการไหลผ่านช่องเปิดต่ำกว่า 2 เมตรต่อชั่วโมง
- 3.1.7 Gas collector ต้องสามารถเก็บรักษาแก๊สป้องกันการหนีในช่วงแยกตัวจากตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี
- 3.1.8 การแยกจุลินทรีย์ที่สร้างกรดและจุลินทรีย์ที่สร้างแก๊สมีเทนออกจากกันเป็นสิ่งที่เหมาะสม
- 3.1.9 ความเร็วที่ปลายหัวฉีด 2-4 ฟุตต่อวินาที โดยมีดัชนีความเคลื่อนไหวของน้ำ (re-number) ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ = 170,000-200,000 และช่วงปกติ 50,000-70,000
- 3.2 ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อม
- ระบบยูเอเอสบีจะมีประสิทธิภาพสูงจำเป็นต้องมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมดังต่อไปนี้
- 3.2.1 ปริมาณอาหารเสริมที่จำเป็นต้องมีย่างพอเพียงสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังเช่น ระบบหมักอื่นๆ คือ $COD : N : P = 100 : 1 : 0.2$ (สมศักดิ์ ศรีวะโสกุล, 2534)
- 3.2.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดมี 2 ระยะ ได้แก่ ระยะ mesophilic อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส และระยะ thermophilic อุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส (Wiegant & Lettinga, 1985) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วและมีช่วงกว้างย่อมมีผลต่อลักษณะสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์
- 3.2.3 pH ของน้ำเสียต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 6.5-7.8 ฮัลชอฟฟ์, ซิลล์, วีเซฟเออร์ และ เลททิง (Hulshoff, Zeeuw, Velzeboer, & Letting, 1983)
- 3.2.4 ชนิดของน้ำเสีย โดยเฉพาะองค์ประกอบที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ได้แก่ สารประกอบทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ได้ สารประกอบที่เป็นตัวยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เช่น เมื่อมีแอมโมเนียไนโตรเจนมากกว่า 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (สมศักดิ์ ศรีวะโสกุล, 2534)

3.3 ปัจจัยที่เกี่ยวกับชนิดของตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น (seed sludge)

ปัจจัยที่เกี่ยวกับชนิดของตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น (seed sludge) สามารถสรุปได้ดังนี้ (สมศักดิ์ ศรีวะโลสกุล, 2534)

3.3.1 ควรมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์สูง

3.3.2 มีอัตราการจมตัวสูง

3.3.3 ควรมีอนุภาคเนื้อธรรมชาติที่เกิดจากการแตกหัก ในตะกอนจุลินทรีย์

3.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเริ่มต้นเดินระบบ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเริ่มต้นเดินระบบสามารถสรุปได้ดังนี้ (สมศักดิ์ ศรีวะโลสกุล, 2534)

3.4.1 ขั้นตอนในการเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ ถ้าไม่เหมาะสม อาจเกิดสภาพ overload ซึ่งจะเกิดการสูญเสียตะกอนแขวนลอยออกจากระบบมาก ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ อัตราป้อนสารอินทรีย์เหมาะสมอยู่ในช่วง 2-5 กิโลกรัมชีโอดีต่อกิโลกรัม VSS ต่อวัน ฮัลชอฟฟ์ และคณะ (Hulshoff et al., 1983) และควรเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ เมื่อย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่ายได้มากกว่า 80% (Lettinga et al., 1984)

3.4.2 ระยะเวลาเก็บกักของตะกอนจุลินทรีย์ที่ยาวนาน จะเป็นการแสดงถึงความสามารถในการตกตะกอน ความเข้มข้น และชนิดของตะกอนจุลินทรีย์ที่ดี ซึ่งระยะเวลาเก็บกักของตะกอนจุลินทรีย์ จะเป็นดัชนีที่ดีที่สุดในการควบคุมการเดินระบบกำจัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะเป็นการป้องกันความล้มเหลว ที่เกิดจากการสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบ จึงต้องให้มีระยะเวลาเก็บกักของตะกอนจุลินทรีย์ ยาวนานกว่าระยะเวลาที่จุลินทรีย์ ใช้ในการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้น 1 เท่าตัว

3.4.3 ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียมีความสัมพันธ์กับขนาดของถังหมัก และอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ นอกจากนี้ยังมีผลต่อระยะเวลาเก็บกักของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี แต่ถ้าหากตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีความสามารถในการตกตะกอนสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ขึ้นกับระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบ

3.4.4 การกวนผสมและอัตราการไหลของน้ำเสีย จะมีผลต่อการสัมผัสกันของอาหารกับตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี การกวนผสมจะขึ้นกับอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพของระบบที่ส่วนล่างของถังหมัก ทำให้สามารถแบ่งพื้นที่ของถังหมักตามการกวนผสมได้เป็น 3 ส่วน คือชั้นตะกอนล่าง ชั้นตะกอนลอย และชั้น settler ในชั้นตะกอนล่างจะมีการกวนผสม 2 อย่าง คือแบบที่กระแสน้ำผ่าน และในชั้น settler จะมีการไหลแบบราบเรียบไปทางเดียว (plug flow)

3.4.5 ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เริ่มต้นต้องเหมาะสมอยู่ในช่วง 10-15 กิโลกรัม VSS ต่อลูกบาศก์เมตร ถังหมัก เลททิงกา และคณะ (Lettinga et al., 1984)

ประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี

ดังได้กล่าวมาแล้วระบบยูเอเอสบี มีปริมาณเซลล์แบคทีเรียอยู่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมักแบบอื่น ๆ ดังนั้นระบบยูเอเอสบี จึงมีประสิทธิภาพสูง กล่าวคือสามารถรับปริมาณสารอินทรีย์ได้สูง แสดงดังตารางที่ 5 โดยสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ตามทฤษฎี 1 กรัมชีโอดี จะให้ปริมาณแก๊สมีเทนสูงถึง 0.35 ลิตร (ที่ STP) ระบบหมักนี้ให้ค่า Sludge yield ต่ำประมาณ 9 มิลลิกรัมชีโอดีต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด ดังนั้นตะกอนส่วนเกินที่ต้องถ่ายออกจากถังหมักจึงมีไม่มากนัก

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบระหว่างระบบ ยูเอเอสบี กับระบบหมักแบบประสิทธิภาพสูงอื่น ๆ (สุเมธ ชวเดช, 2530)

	anaerobic filter	anaerobic contact	anaerobic fluid Bed	UASB
Investment	สูง	ปานกลาง	สูงมาก	ต่ำ
Operation Cost	ต่ำ	ปานกลาง	สูงมาก	ต่ำ
Control	ง่ายมาก	ปานกลาง	ยาก	ปานกลาง
Loading	สูง	สูง	สูงมาก	สูงมาก
Shock load	ดี	ดี	ดีมาก	ดีมาก
Digester Size	เล็ก	เล็ก	เล็กมาก	เล็กมาก
Start-up	ง่าย	ปานกลาง	ยาก	ยาก

ลักษณะสมบัติของตะกอนแบคทีเรียในระบบยูเอเอสบี

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าแบคทีเรีย ในถังหมักยูเอเอสบี แบ่งเป็น 2 ชั้น คือชั้นบนแบคทีเรีย มีลักษณะเป็นตะกอนเบา ส่วนชั้นล่างมีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งเกิดจากแบคทีเรียเกาะติดกันแน่น จึงมีความหนาแน่นของจำนวนเซลล์แบคทีเรียต่อปริมาตรในชั้นล่างสูงกว่าในชั้นบนที่มีลักษณะเป็นตะกอนเบามาก ดังนั้นสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จึงถูกย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นมีเทนในชั้นของตะกอนเม็ดเป็นส่วนใหญ่ ประสิทธิภาพของระบบหมักแบบยูเอเอสบี จึงขึ้นกับปริมาณ และลักษณะสมบัติของแบคทีเรียชนิดเม็ด ลักษณะสมบัติของแบคทีเรียชนิดเม็ดได้รวบรวมแสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ลักษณะสมบัติของแบคทีเรียชนิดเม็ดในระบบหมักยูเอเอสบี (สุเมธ ขวเดช, 2530)

ขนาด(เส้นผ่านศูนย์กลาง)	0.2-2 มิลลิเมตร (อาจมีขนาดใหญ่ถึง 5 มิลลิเมตร)
ความถ่วงจำเพาะ	1.05
VSS/SS	0.7-0.85
ปริมาณน้ำในเม็ดตะกอน	90%
settleability (SVI)	
- ตะกอนเม็ด	10-20 มิลลิกรัมต่อกรัม
- ตะกอนเบา	20-40 มิลลิกรัมต่อกรัม

ส่วนประกอบของแบคทีเรียตรวจพบว่าส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์สูง 70-85% โดยใจกลางเม็ดมักเป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ เม็ดทราย ผลึกต่าง ๆ ตะกอน (sediments) และเศษพืช (plant fiber) ซึ่งแบคทีเรียจะใช้เป็นที่เกาะเหมือนนิวเคลียส

เลททิงกา และคณะ (Lettinga et al., 1984) ได้สรุปว่าระบบยูเอเอสบี เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีความสกปรกต่ำ ซึ่งระยะเวลาเก็บกักในถังหมักจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ การทดลองโดยใช้น้ำเสีย sugar-beet และน้ำเสียจากขบวนการผลิตแป้งมันฝรั่ง พบว่าสามารถรับสารอินทรีย์ได้สูงถึง 25 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และตะกอนจุลินทรีย์มีการพัฒนาตัวในน้ำเสียได้ดี มีลักษณะการตกตะกอนที่ดี มีประสิทธิภาพของการผลิตแก๊สมีเทนสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่การอัดตัวของตะกอน ความสูงของชั้นตะกอนล่าง ความเข้มข้นของตะกอน เป็นต้น

จิรพงษ์ อินทร์จอหอ (2537) ศึกษาลักษณะสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ (sludge activity) สำหรับระบบยูเอเอสบี ขนาดใหญ่ ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ โดยทำการศึกษาการอัตราป้อนสารอินทรีย์ (organic loading) 2, 2.5, 3.0, 3.5, และ 4 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ระดับความสูงที่แตกต่างกันในถังปฏิกรณ์ ได้แก่ ที่ระดับความสูง 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 2.0, 3.0, และ 4.0 เมตร ตามลำดับ โดยนำตัวอย่างมากรองผ่านตะแกรงกรองที่มีขนาดรูตะแกรง (pore size) 1 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร แล้วนำตะกอนที่กรองแล้วมาคำนวณหาค่าความเข้มข้นในรูปของมิลลิกรัมต่อลิตร ของสารแขวนลอย (ss) เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์โดยรวมในระบบยูเอเอสบี พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบ มีการหลุดออก (wash out) ของตะกอนขนาดเล็กค่อนข้างมาก อันเนื่องมาจากที่ตัวแยกตะกอน (settler) ในถังปฏิกรณ์มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการออกแบบใหม่และจัดวางตัวตกตะกอนให้เหมาะสมขึ้น และพบว่าปริมาณตะกอนจุลินทรีย์รวมของระบบมีค่า 212.46, 232.44, 210.59, 204.93, 201.80 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ

2. ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบตะกอนเม็ด (granular sludge) ที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.5 มิลลิเมตร อยู่ 0.64% และมีตะกอนเบา (flocculant) ที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร อยู่ 99.36% ของตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดในถังหมัก และพบว่าตะกอนเม็ดที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.5 มิลลิเมตร จะมีปริมาณมากที่ระดับความสูง 0.50 เมตร

3. ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบตะกอนเม็ดที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.5 มิลลิเมตร อยู่ 0.72% และตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร อยู่ 99.28% ของตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดในถังหมัก โดยตะกอนเม็ดจะมีปริมาณมากที่ระดับความสูง 0.50 เมตร

4. ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 3.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบตะกอนเม็ดที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.5 มิลลิเมตร อยู่ 1.11% และมีตะกอนขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร อยู่ 98.89% ของตะกอนทั้งหมดโดยตะกอนเม็ดจะมีปริมาณที่ระดับความสูง 0.75 เมตร

5. ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบตะกอนเม็ดขนาดใหญ่กว่า 0.5 มิลลิเมตร อยู่ 1.36% และตะกอนขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร อยู่ 98.64% ของตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดในถังหมัก โดยตะกอนเม็ด จะมีปริมาณมาก ที่ระดับความสูง 0.25 เมตร

6. ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 4.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบตะกอนเม็ด ขนาดใหญ่กว่า 0.5 มิลลิเมตร อยู่ 1.97% และตะกอนขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร อยู่ 98.03% ของ ตะกอนทั้งหมดในถังหมัก โดยตะกอนเม็ดจะมีปริมาณมากที่ระดับความสูง 0.50 เมตร

กระบวนการเกิดตะกอนเม็ด (process of granulation)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า ประสิทธิภาพการสร้างมีเทน และการกำจัดสารอินทรีย์ ของระบบหมักจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระบบมีปริมาณแบคทีเรียสูงขึ้น ระบบยูเอเอสบีที่มีปริมาณแบคทีเรีย ซึ่งวัดในรูป MLSS หรือ MLVSS สูงกว่าระบบหมักอื่น ๆ เนื่องจากระบบยูเอเอสบีมีตะกอน แบคทีเรียในลักษณะเป็นเม็ด ดังนั้นในการควบคุมระบบยูเอเอสบี ให้มีประสิทธิภาพสูงจึงจำเป็นต้อง สร้างเม็ดแบคทีเรียดังกล่าวในถังหมักให้ได้ มิฉะนั้นแล้วระบบยูเอเอสบีจะไม่สามารถทำงาน อย่างมีประสิทธิภาพสูง ในกรณีที่มิมีตะกอนแบคทีเรียชนิดเม็ดอยู่แล้วการเดินระบบยูเอเอสบี จะไม่ ยุ่งยากมากนัก แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะไม่สามารถหาแบคทีเรียชนิดเม็ดได้ดังนั้นการเดินระบบหมัก ยูเอเอสบี จึงมักเริ่มต้นด้วยตะกอนแบคทีเรียที่ได้จากระบบหมักอื่น ๆ ซึ่งตะกอนแบคทีเรียเหล่านี้ มักอยู่ในรูปตะกอนเบา (อะเคือ บุญญศิริ, 2537)

ฮัลชอฟฟ์ และคณะ (Hulshoff pol et al., 1983) ได้ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยสังเกตจากพฤติกรรมในการคงอยู่ หรือการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์และกล่าวถึงขั้นตอน ของการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไว้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ < 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนเริ่มต้น เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังยูเอเอสบีแล้วชั้นตะกอนล่างจะเกิดการ ขยายตัวเนื่องจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าไป และก๊าซที่เกิดในระบบ รวมทั้งจุลินทรีย์จำพวกเส้นใย (filamentous organisms) ที่เกิดขึ้น ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์จมน้ำได้ลดลง

ขั้นตอนที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 – 5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร ต่อวัน) ในขั้นตอนนี้จะมีอัตราการสูญเสียตะกอนแขวนลอยสูงมาก เนื่องจากการเพิ่มอัตราการ ระบรทุกสารอินทรีย์ทำให้เกิดการผลิตก๊าซมากขึ้น และเกิดการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ที่มี ขนาดเล็ก ๆ ออกนอกถัง ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ และหนักจะสามารถคงอยู่ในถังต่อ ไปได้ ซึ่งนับว่าเป็นการคัดเลือกของระบบให้มีการสร้างจุลินทรีย์ และรวมตัวกันของตะกอน จุลินทรีย์ ให้มีลักษณะเป็นเม็ดตะกอนจมอยู่ในส่วนล่างของถัง ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จะมีขนาดใหญ่ขึ้น (อาจมีขนาดใหญ่ถึง 5 มิลลิเมตร)

การเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดในถังหมักเล็กน้อย จะมีผลให้ methanogenic activity เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดที่เพิ่มให้ จะเป็นตัวนำในการเกิดตะกอน จุลินทรีย์ลักษณะเม็ด

ขั้นตอนที่ 3 (อัตราการบรรพทุกสารอินทรีย์ > 3 – 5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่อัตราการเกิดเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ มีมากกว่าการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งหลังจากระบบได้ผ่านขั้นตอนนี้แล้ว ระบบจะสามารถรับอัตราการบรรพทุกสารอินทรีย์ได้มากขึ้น จนถึงค่าสูงสุดที่ระบบสามารถรับได้ ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมาสามารถรับได้สูงถึง 50 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

เคย์เลส, โมททา และ เลสเตอร์ (Cayless, Motta, & Lester (1990) ได้ทดลองใช้ระบบยูเอเอสบี กับน้ำเสียจากโรงงานผลิตไอศกรีม โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในถังขนาด 6 ลิตร น้ำเสียนี้อาจมีชีโอดี 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราป้อนสารอินทรีย์ 0.5-5.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 10-0.75 วัน พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี 62% อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด 2.54 ลิตร/วัน ตะกอนเมือกที่เกิดขึ้นจะมีการจมตัวดีมี activity สูง และมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีสูง อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูง

เลททิงกา และคณะ (Lettinga et al., 1984) ได้รายงานไว้ว่า ระบบกระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศแบบไหลขึ้นนี้ จะมีประสิทธิภาพสูงก็ต่อเมื่อตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักมีลักษณะเป็นเมือก

ลาลิต (Lalit, 1991) ได้ทดลองระบบยูเอเอสบี โดยใช้ถังยูเอเอสบีปริมาตร 140 ลิตร ความสูง 4 เมตร บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชีโอดีประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาเก็บกักน้ำ 8-24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดี 85% ที่รับออร์แกนิกโหลดคิง 1.56 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 128 ลิตรต่อกิโลกรัมชีโอดีที่กำจัด

คริสพา (Krispa, 1992) ได้ทำการศึกษาทดลองต่อจาก ลาลิต (Lalit, 1991) โดยใช้เวลา 6 เดือน ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชีโอดีประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา เก็บกักน้ำ 3-6 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดี 92% ที่เวลากักน้ำ 3 ชั่วโมง ที่รับออร์แกนิกโหลดคิง 4 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 141 ลิตรต่อกิโลกรัมชีโอดีที่กำจัด

สมพงษ์ นิลประยูร และ เสนีย์ กาญจนวงศ์ (2536) ได้ทำการศึกษาศักยภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของระบบยูเอเอสบี โดยใช้ถังยูเอเอสบี ขนาดปริมาตร 24.4 ลิตร สูง 3 เมตร บำบัดน้ำเสียชุมชนจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยนำมาเติมน้ำตาลให้มีค่าชีโอดีประมาณ 228.6-241.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลากักน้ำ 4.5-24 ชั่วโมง มีออร์แกนิกโหลดคิง 0.22-1.59 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดี 76.4-88.1% อัตราผลิตก๊าซชีวภาพ 25.6-101.3 ลิตรต่อกิโลกรัมชีโอดีที่เข้าสู่ระบบ

172295