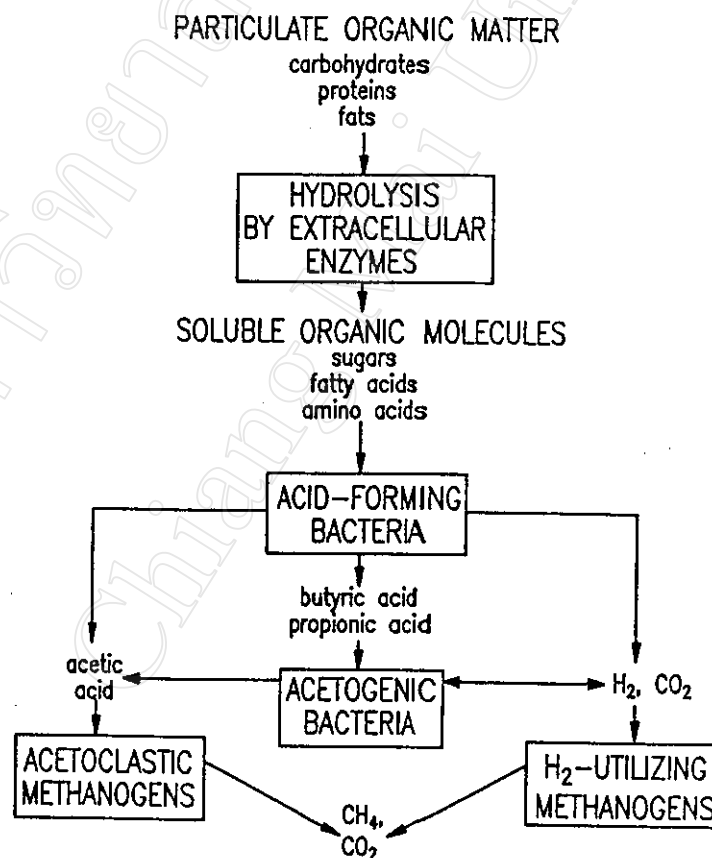


บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

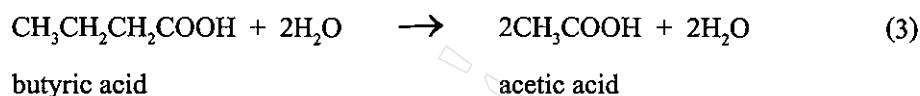
2.1 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน

จากการศึกษาทางด้านชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานของกระบวนการได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) กระบวนการสร้างกรด (Acid Formation) และกระบวนการสร้างมีเทน (Methane Formation) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน

ที่มา : Malina, J.F. and Pohland, F.G., 1992



เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนสามารถสร้างกรดได้ แต่แบคทีเรียที่สร้างกรดไม่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้ ทำให้ยากที่จะแยกแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดนี้ได้ ดังนั้นเราจึงจัดให้แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนเป็นชนิดหนึ่งของแบคทีเรียที่สร้างกรดและเรียกแบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้รวมกันว่าเป็น Non-Methanogenic Bacteria ซึ่งผลปฏิกิริยาสุดท้ายจากเมตาบอลิซึม (Metabolism) ของแบคทีเรียเหล่านี้คือ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก และ กรดฟอร์มิก ถ้าไม่มีการสร้างไฮโดรเจนเกิดขึ้น น้ำเสียที่ผ่านขั้นตอนนี้ยังคงมีสารอาหาร (Substrate) เหลืออยู่เกือบเท่าเดิม เหตุที่สารอาหารถูกกำจัดออกไปน้อยมาก เพราะว่าอิเล็กตรอนที่อยู่ในสารอาหารจะถูกส่งต่อไปยังสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย และ เกิดจากการสูญเสียประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ (Microbial Inefficiency) ในระหว่างนี้มีการเปลี่ยนแปลงรูปของสารอินทรีย์เท่านั้น อย่างไรก็ตามเมื่อมีการสร้างไฮโดรเจน อิเล็กตรอนที่ถูกส่งผ่านไปให้กับไฮโดรเจนอ็อกไซด์ ทำให้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนหนีออกจากระบบ ดังสมการที่ 4

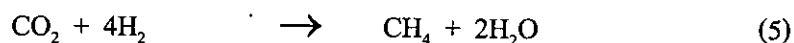


ดังนั้นการสร้างไฮโดรเจนจึงเป็นการลดจำนวนอิเล็กตรอนของสารอาหาร ทำให้ลดปริมาณสารอาหารลงนั่นเอง

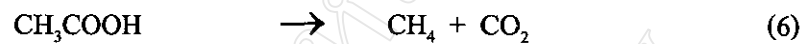
2.1.3 กระบวนการสร้างมีเทน

กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสร้างกรด จะเป็นสารอาหารของกลุ่มแบคทีเรียที่ต้องอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนอิสระ (Obligate Anaerobic Bacteria) มีชื่อเรียกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Former Bacteria หรือ Methanogenic Bacteria) ซึ่งเจริญเติบโตอย่างช้าๆ ในน้ำเสีย และช่วงเวลาในการขยายพันธุ์อยู่ในช่วงตั้งแต่ 3 วัน ที่ 35°C ถึง 50 วัน ที่ 10°C แบคทีเรียสร้างมีเทนยังแบ่งออกได้อีก 2 ประเภทคือ

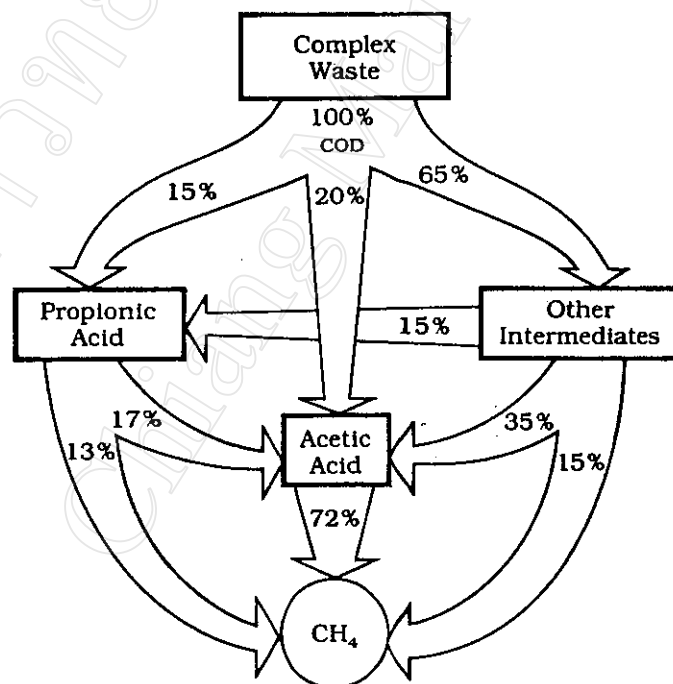
ก) Hydrogenotrophic Methanogenic หรือ Hydrogen-Utilizing Chemolithotrophs มีหน้าที่เปลี่ยนไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ให้เป็นมีเทน ดังสมการที่ 5



๗) Acetotrophic Methanogens อาจเรียกว่า Acetoclastic Bacteria หรือ Acetate-Splitting Bacteria ทำหน้าที่เปลี่ยนกรดอะซิติกให้เป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 6

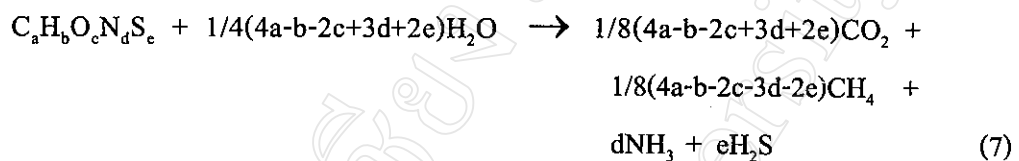


ประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของมีเทนได้มาจากกรดอะซิติกที่แปรรูปโดย Acetotrophic Methanogens ส่วนที่เหลือเป็นผลมาจากการรีดักชันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยไฮโดรเจน (Mackie, R.I. and Bryant, M.P., 1981) ซึ่งสอดคล้องกับที่ McCarty, P.L. (1964a) ได้เคยศึกษาและพบว่าก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 72 ได้มาจากกรดอะซิติก และอีกร้อยละ 28 ได้มาจากกรดไพรูโพนิกและกรดระเหยง่ายอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

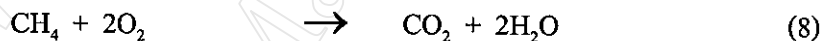


รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไร้ออกซิเจน
ที่มา : McCarty, P.L., 1964a

เนื่องจากก๊าซมีเทนเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนมีความซับซ้อนยากแก่การเข้าใจ ดังนั้นจากการศึกษาของ Buswell, A.M. and Haffield, W.D. (1930) ทำให้เขียนสมการทั่วๆ ไป ที่ง่ายต่อการเข้าใจถึงสมดุลของมวลระหว่างสารอาหารที่ถูกย่อยสลาย และก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



McCarty, P.L. (1964b) พบว่าขณะที่กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนทำงานอยู่ พลังงานทั้งหมดของสารอาหารจะถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซมีเทนและของเหลว ซึ่งก๊าซมีเทนจำนวน 1 โมล จะต้องการออกซิเจน 2 โมล เพื่อใช้ในการออกซิไดส์ให้ได้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการที่ 8



2.2 ถึงปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์ (Continuously Stirred Tank Reactor, CSTR)

2.2.1 แนวความคิดของถึงปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์

เป็นระบบบำบัดไร้ออกซิเจนแบบจุลินทรีย์แขวนลอย (Anaerobic Suspended-Growth Process) อย่างง่ายและเป็นพื้นฐานในการพัฒนาสู่ระบบบำบัดไร้ออกซิเจนแบบอื่นๆ ต่อไป นับได้ว่าเป็นกระบวนการที่เก่าแก่ที่สุดซึ่งที่แรกถูกใช้สำหรับการปรับเสถียรตะกอน (Sludge Stabilization) เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะขาดออกซิเจนจนกระทั่งปัจจุบัน ยังมีการใช้งานโดยกระบวนการนี้อยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมบางแห่ง และ เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการใช้กระบวนการนี้กับน้ำเสียอินทรีย์ ที่มีความเข้มข้นไม่สูงมากนัก ซึ่งบำบัดแบบไร้ออกซิเจน (Metcalf and Eddy, 1991) โดยรู้จักกันดีในชื่อถึงปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์

2.2.2 ลักษณะและการทำงานของถึงปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์

ถึงปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์ ประกอบด้วยถึงกวนผสม ซึ่งอาจเป็นถึงกลม ถึงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็ได้ซึ่งรูปทรงของถึงกวนผสมต้องสัมพันธ์ต่อการกวนผสม เพราะการกวนผสมเป็นสิ่งที่สำคัญมากต่อกระบวนการนี้ และมันถูกสมมุติว่าของเหลวที่รวมกันอยู่ในถึงได้รับการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ นั่นคือผสมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างคงที่ตลอดทั่วทั้งถึง น้ำเสียจะถูก

ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยาเพื่อรวมผสมกับตะกอนหัวเชื้อที่อยู่ภายในถังและทำปฏิกิริยากันจนได้น้ำออกที่มีเนื้อเดียวกันกับของเหลวที่อยู่ภายในถัง ส่วนในทางปฏิบัติ การกวนที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อการกวนผสมนั้นเพียงพอสำหรับของเหลวที่ไม่มีความหนืดจนเกินไป (Reynolds, T.D. and Richards, P.A., 1995) ก๊าซที่ได้จากการทำปฏิกิริยาจะถูกนำออกจากถังปฏิกิริยาทางท่อนำก๊าซที่ติดตั้งอยู่บนฝาถัง การกวนผสมภายในถังอาจทำได้โดยการใช้เครื่องจักรกลแบบใบพัด การใช้เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนหรือการกวนผสมด้วยก๊าซซึ่งได้จากการเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซชีวภาพ ประโยชน์ของการกวนมีดังนี้

ก) ป้องกันการแยกชั้นทางความร้อนและรักษาสภาพคงที่ทางอุณหภูมิตลอดทั่วทั้งถังปฏิกิริยาโดยรักษาสภาพทางเคมีและกายภาพให้เท่ากันทั้งหมด

ข) ทำให้เกิดการผสมกันระหว่างมวลสารชีวะและน้ำเสียเข้า

ค) เกิดการกระจายอย่างรวดเร็วของกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์และลดผลกระทบอันเนื่องมาจากสารพิษที่เข้ามาสู่ระบบให้น้อยที่สุด

ง) ป้องกันการเกิดฝ้าไขและการตกตะกอนทับถมของดินตะกอน กรวดทราย และอนุภาคของแข็งที่เข้ามาคับน้ำเสีย

2.2.3 ข้อดีและข้อเสีย ของถังปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์

ข้อดีของถังปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์

ก) เหมาะกับน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยในระดับที่สูง
 ข) เหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง
 ค) ถังปฏิกิริยาแบบนี้สามารถรักษาความคงที่ของสารอาหาร อุณหภูมิและพีเอชให้เท่ากันทั่วทั้งถังปฏิกิริยา

ง) ถังปฏิกิริยาแบบนี้ง่ายต่อการเฝ้าตรวจ

จ) สารพิษในน้ำเสียซึ่งมีความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จะถูกเจือจางให้มีผลกระทบต่อระบบน้อยที่สุด

ฉ) การกวนผสมที่ดีภายในถังปฏิกิริยาจะช่วยลดการไหลลัดวงจร และการสะสมตัวของปริมาตรของน้ำเสียที่เป็นจุดอับการกวน

ช) ไม่เกิดการจมตัวของจุลินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน

ข้อเสียของถังปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์

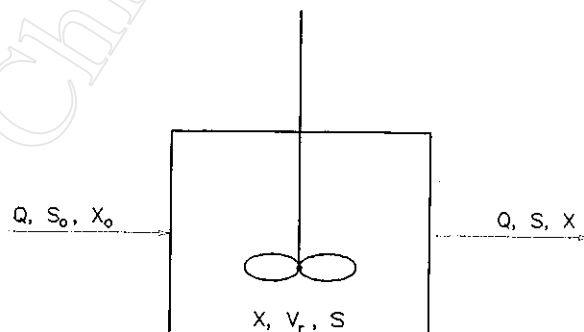
ก) ต้องการปริมาตรของถังปฏิกิริยาที่ใหญ่เพื่อรักษาเวลาเก็บกักของแข็ง (Solids Retention Time, SRT) ให้เพียงพอ

- ข) การกวนผสมเป็นเรื่องที่ย่งยากสำหรับน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยสูง
- ค) ประสิทธิภาพในการบำบัดอาจต่ำ เนื่องจากน้ำเสียที่ยังไม่ได้รับการย่อยสลาย และ จุลินทรีย์หลุดออกไปที่ทางออกของถังปฏิกิริยา
- ง) เสถียรภาพของถังปฏิกิริยาอาจถูกจำกัด โดยเวลาเก็บกักของแข็งที่ต่ำ

2.2.4 จลนศาสตร์ของถังปฏิกิริยาชีวเคมีแบบซีเอสทีอาร์

การสร้างสมการเพื่อใช้ในทางวิเคราะห์และออกแบบถังบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับปฏิกิริยาชีวเคมีและความรู้ทางกลศาสตร์ประกอบกัน จุดประสงค์เพื่ออธิบายถึงการพัฒนาเพื่อรักษาสมดุลของจุลินทรีย์และสารอาหารในระบบ และการทำนายความเข้มข้นของจุลินทรีย์กับสารอาหารที่ออกจากระบบ โดยใช้สมการสมดุลของมวลสาร (Mass Balance Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียดังสมการที่ 9 และ 10 ภายใต้ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบ Monod Reaction ตามสมการที่ 9 (Metcalf and Eddy, 1991) โดยที่ในถังปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์จะมีน้ำเสีย และตะกอนจุลินทรีย์ผสมกันดีทั่วทั้งถังตลอดเวลา โดยน้ำที่ไหลออกจากถังปฏิกิริยาจะมีลักษณะเหมือนกับน้ำที่อยู่ในถังปฏิกิริยา มีการไหลเข้าออกแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอ และไม่มีการไหลวนกลับดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3

$$\mu' = \mu_m \frac{S}{K_s + S} - k_d \quad (9)$$



รูปที่ 2.3 ถังปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์

$$\frac{dX}{dt} V_r = QX_0 - QX + V_r \left(\frac{\mu_m X S}{K_s + S} \right) - k_d X \quad (10)$$

และสมการสมดุลของสารอาหารคือ

$$\frac{dS}{dt} V_r = QS_0 - QS + V_r \left(\frac{-kXS}{K_s + S} \right) \quad (11)$$

- เมื่อ μ' = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อเวลา)
- μ_m = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (ต่อเวลา)
- S = ความเข้มข้นของสารอาหารในถังปฏิกรณ์ (น้ำหนักต่อปริมาตร)
- K_s = ความเข้มข้นของสารอาหาร ณ จุดที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (น้ำหนักต่อปริมาตร)
- k_d = สัมประสิทธิ์การสลายตัวของจุลินทรีย์ (ต่อเวลา)
- dX/dt = อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (น้ำหนักต่อปริมาตรต่อเวลา)
- V_r = ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ (ปริมาตร)
- Q = อัตราการไหลเข้าของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (ปริมาตรต่อเวลา)
- X_0 = ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (น้ำหนักต่อปริมาตร)
- X = ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ (น้ำหนักต่อปริมาตร)
- dS/dt = อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอาหาร (น้ำหนักต่อปริมาตรต่อเวลา)
- S_0 = ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (น้ำหนักต่อปริมาตร)
- k = อัตราการใช้สารอาหารสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยจุลินทรีย์ (ต่อเวลา)

ถ้าระบบบำบัดน้ำเสียอยู่ในสภาวะคงที่จะได้ $dX/dt = 0$ และ $dS/dt = 0$ และสมมติฐานว่า จุลินทรีย์ในระบบ (X_0) เป็น 0 ดังนั้นสมการ (10) และ (11) จะเปลี่ยนเป็นสมการ (12) และ (13) ตามลำดับ

$$\frac{Q}{V_r} = \frac{1}{\theta} = \frac{\mu_m S}{K_s + S} - k_d \quad (12)$$

$$(S_0 - S) - \theta \left(\frac{kXS}{K_s + S} \right) = 0 \quad (13)$$

เมื่อ $\theta = V_r/Q$ = เวลาเก็บกักน้ำเสีย (เวลา)
และถ้าระบบถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงการเจริญเติบโตแบบ Log ทำให้การเกิด Endogenous Respiration มีน้อยมาก ซึ่งทำให้สมการ (12) สามารถเปลี่ยนได้เป็นสมการ (14) เพราะ $k_d = 0$

$$\frac{1}{\theta} = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \quad (14)$$

เมื่อพิจารณาถึงเวลาเก็บกักของจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยา (θ_c) สามารถคำนวณหาได้โดยอาศัยข้อจำกัดความว่า เวลาเก็บกักของจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยา คือ จำนวนจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาหารด้วยจำนวนจุลินทรีย์ที่ถูกถ่ายทิ้งออกจากถังปฏิกริยาต่อหน่วยเวลา ซึ่งสามารถเขียนได้ในรูปสมการที่ (15)

$$\theta_c = \frac{V_r X}{QX} = \frac{V_r}{Q} \quad (15)$$

จาก $k = \mu_m/Y$ เมื่อ Y = สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตสูงสุดของจุลินทรีย์ (น้ำหนักต่อ น้ำหนัก) และนำสมการ (12) และ (13) ร่วมกันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ จะได้สมการที่ (16) และ (17)

$$X = \frac{\mu_m (S_0 - S)}{k(1 + k_d \theta)} = \frac{Y(S_0 - S)}{(1 + k_d \theta)} \quad (16)$$

$$S = \frac{K_s(1 + \theta k_d)}{\theta(Yk - k_d) - 1} \quad (17)$$

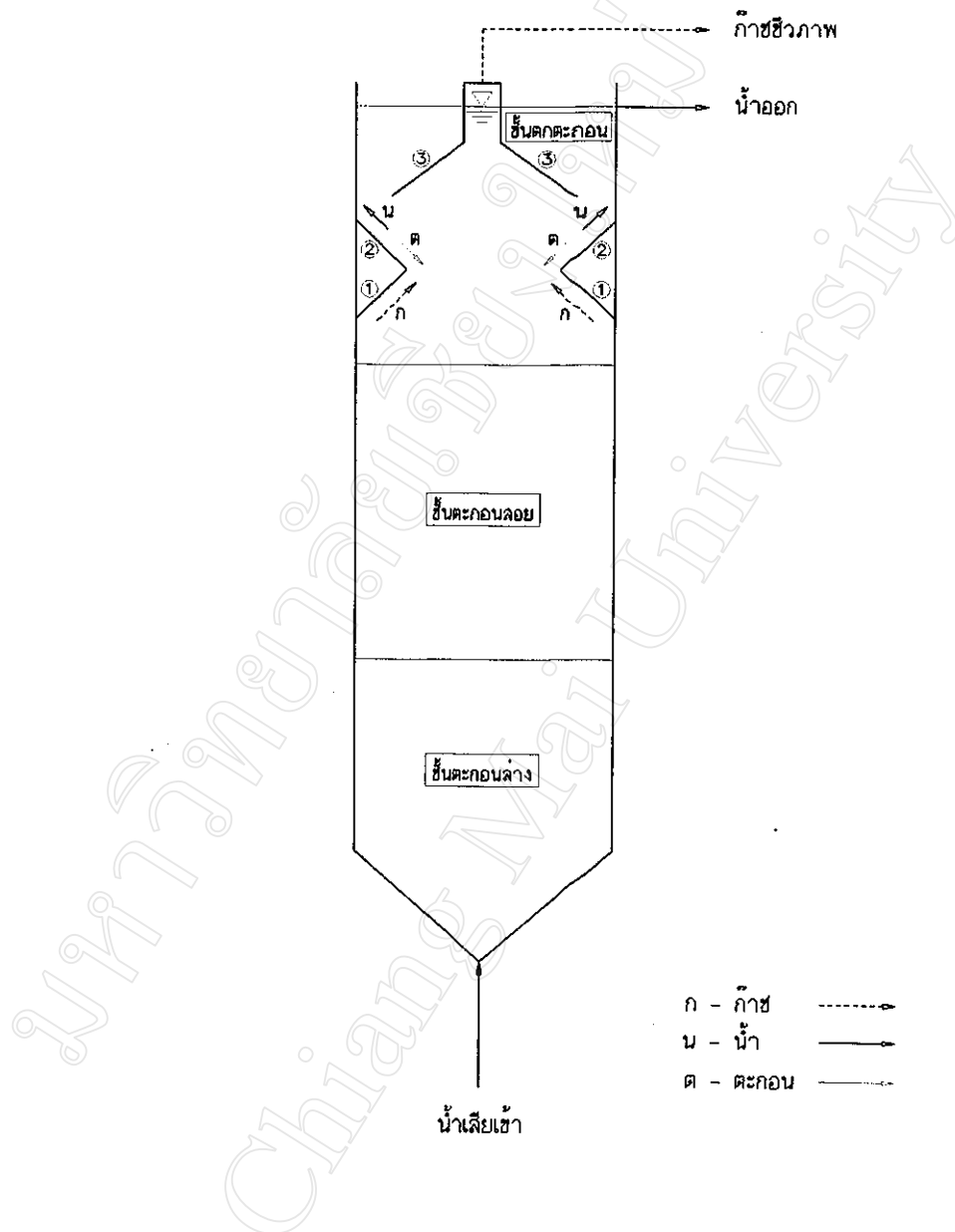
2.3 ถังปฏิกริยาแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor)

2.3.1 แนวความคิดของถังปฏิกริยาและกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเท่าที่ผ่านมา ประสบปัญหาบางประการในการออกแบบและควบคุมการทำงานได้แก่การแยกจุลินทรีย์ ไม่ให้หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง และ เวลาเก็บกักน้ำที่นานกว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน และเสถียรภาพในการทำงานของระบบต่ำ เป็นต้น จากปัญหาที่กล่าวมาแล้ว Stander, G.J.(1966) ซึ่งเป็นผู้ค้นพบความสำคัญของการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้มีอยู่ในถังหมักเป็นจำนวนมาก ๆ โดยทำถังตกตะกอนติดตั้งอยู่ที่ส่วนบนของถังหมักเพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำมาเก็บไว้ในถังหมักอีก การทำเช่นนี้สามารถที่จะลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียให้สั้นลง และยังสามารถรับปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบได้มากขึ้นด้วย ในช่วงปี ค.ศ. 1970 ศาสตราจารย์ Lettinga แห่ง Wageningen Agricultural University ประเทศเนเธอร์แลนด์ได้พัฒนาแนวคิดของ Stander, G.J.(1966) โดยการเปลี่ยนแปลงวิธีการแยกก๊าซและการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำออก จึงได้เรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการยูเอเอสบี

2.3.2 ลักษณะและการทำงานของกระบวนการยูเอเอสบี

กระบวนการยูเอเอสบีเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนด้วยจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ ลักษณะทั่วไปของถังปฏิกริยาเป็นถังปิดลักษณะกลมหรือสี่เหลี่ยมก็ได้ แบ่งออกเป็นสองส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วนแรกเป็นถังหมักอยู่ส่วนล่างของถังปฏิกริยา ส่วนที่สองเป็นถังตกตะกอนประกอบขึ้นด้วยระบบแผ่นกั้น (Baffle System) ซึ่งเอียงทำมุมประมาณ 50 องศา อยู่ส่วนบนของถังปฏิกริยาทำหน้าที่แยกของเหลว ก๊าซ และตะกอนจุลินทรีย์ (Gas - Solids Seperator, GSS) ออกจากกัน น้ำเสียที่ต้องการบำบัดจะไหลเข้าสู่ส่วนล่างของถังปฏิกริยาจะสัมผัสกับชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง เรียกชั้นตะกอนจุลินทรีย์นี้ว่า ชั้นตะกอนล่าง (Sludge Bed) จุลินทรีย์ที่อยู่ชั้นตะกอนล่างจะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้เกิดเซลล์ของจุลินทรีย์และก๊าซต่าง ๆ ก๊าซที่เกิดขึ้นจะเกาะอยู่ตามผิวของตะกอนจุลินทรีย์ ความเร็วของน้ำเสียและฟองก๊าซที่ไหลขึ้นในถังปฏิกริยาจะพาเอาตะกอนจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนลอยขึ้นสู่ด้านบน ทำให้มีการสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียกับชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่แขวนลอยซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นต่ำกว่าตะกอนล่าง เรียกชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่แขวนลอยนี้ว่า ชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket) ระหว่างที่น้ำเสียไหลขึ้น สารอินทรีย์ยังคงถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนลอย การลอยขึ้นของน้ำเสียที่



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบหลักของถังปฏิกริยาแบบยูเอสบี

มีตะกอนจุลินทรีย์และก๊าซต่างๆ เกาะรวมกัน จะกระทบกับระบบ GSS ซึ่งแยกตะกอน จุลินทรีย์ ให้ตกตะกอนกลับสู่ถังหมักอีกครั้ง

เมื่อน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์และก๊าซไหลขึ้น จะกระทบกับส่วนที่ 1 ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันมิให้ก๊าซที่ติดมากับตะกอนจุลินทรีย์ไหลเข้าสู่ส่วนที่ 2 และแยกก๊าซออกจากน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ ก๊าซที่ถูกแยกออกมาจะลอยขึ้นในแนวดิ่งสู่ส่วนที่เก็บก๊าซ น้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกแยกออกมาจะไหลเข้าสู่ส่วนที่ 2 และ 3 ซึ่งมีลักษณะการไหลของน้ำเป็นแบบปลั๊กโฟลว์ (Plug Flow) ในชั้นตกตะกอนอาจมีสภาพน้ำนิ่งทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ (Heertjes, P.M. and Van der Meer, R.R., 1978) น้ำเสียจะไหลออกจากถังปฏิกริยากลายเป็นน้ำออก ส่วนตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนมาทางส่วนที่ 3 และ ส่วนที่ 2 จมตัวลงสู่ส่วนที่เป็นถังหมักอีกครั้งหนึ่งโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity Force) ซึ่งมีส่วนที่ 1 เป็นตัวป้องกันมิให้ก๊าซที่เกิดขึ้นในส่วนที่เป็นถังหมักมารบกวนการตกตะกอนในส่วนที่ 2 และ 3 ได้ นอกจากนี้ ตะกอนจุลินทรีย์สามารถที่จะตกตะกอนสู่ชั้นตะกอนล่างโดยการเกิดลักษณะการไหลวนกลับ (Back-mix Flow) ซึ่งเกิดจากการลอยขึ้นของก๊าซและการไหลขึ้นของน้ำเสียทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักหลุดออกไปกับน้ำออกน้อยลง (Van der Meer, R.R., 1979)

2.3.3 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการยูเอเอสบี

ข้อดีของกระบวนการยูเอเอสบี

ก) น้ำเสียที่ได้รับการบำบัดแล้ว มีของแข็งแขวนลอยต่ำกว่าถังแบบซีเอสทีอาร์แต่ยังมีสารอินทรีย์อยู่ระดับหนึ่ง ต้องมีการบำบัดขั้นสุดท้าย (Post Treatment) ก่อนทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้

ข) ต้องการพลังงานน้อย มีเพียงแต่ค่ากระแสไฟฟ้าในการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบเท่านั้น

ค) ใช้สารเคมีในการปรับพีเอชน้อยและสะดวกต่อการควบคุมระบบ ซึ่งโดยปกติจะขึ้นกับความเป็นด่างและพีเอชของน้ำเสียเข้า

ง) ตะกอนส่วนเกินของระบบเกิดขึ้นน้อยมาก ไม่เป็นปัญหาต่อการถ่ายทิ้ง

จ) เมื่อต้องการหยุดการใช้งานก็สามารถหยุดได้เลย โดยไม่ต้องให้อาหารได้เป็นเวลาหลายเดือน และพร้อมที่จะทำงานต่อได้โดยระบบพร้อมที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดังเดิมภายในเวลาประมาณ 2 สัปดาห์

ฉ) การลงทุนก่อสร้างใช้งบประมาณที่ไม่สูงมากนัก และสามารถดัดแปลงใช้กับถังปฏิกริยาเก่าที่ไม่ใช่แล้ว โดยติดตั้งระบบกระจายน้ำเข้าและชุดแยกก๊าซ-ตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มเติมจากเดิม

ช) มีผลพลอยได้คือก๊าซชีวภาพใช้เป็นพลังงานทดแทนได้

ข้อเสียของกระบวนการยูเอเอสบี

ก) ในช่วงของการเริ่มต้น (Start Up) ระบบ ต้องสร้างให้เกิดตะกอนแบบเม็ดตะกอน (Granular Sludge) จึงจะใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข) ใช้เวลาเริ่มต้นระบบนานกว่าระบบเดิมอากาศ

ค) จำเป็นต้องมีการบำบัดต่อ ก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เพราะน้ำทิ้งจะมีค่าบีโอดีที่เกินมาตรฐานอยู่

2.3.4 สภาพทางจุลชีวของการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนในถังปฏิกริยาเยเอเอสบี

จากการที่สามารถเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ไม่ให้หลุดออกไปจากถังปฏิกริยาได้ดี ก่อให้เกิดตะกอนจุลินทรีย์ในรูปของเม็ดตะกอน ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ โดยที่ตะกอน จุลินทรีย์เกาะยึดกันไว้เป็นก้อนเม็ดอย่างเห็นได้ชัด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 มม. ถึง 5 มม. ซึ่งมีค่า Methanogenic Activity สูง ลักษณะของเม็ดตะกอน ที่เกิดขึ้นในถังปฏิกริยาเยเอเอสบี ขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนหัวเชื้อ (Seed Sludge) ส่วนประกอบของน้ำเสีย ตลอดจนการเริ่มต้นของการหมัก และสิ่งแวดล้อมขณะเริ่มต้นกระบวนการหมัก โดยที่เม็ดตะกอนอาจมีหลายชนิดดังต่อไปนี้ (Lettinga, G. et al., 1984)

- Sorcina Granular เป็นชนิดที่มีจุลินทรีย์รูปร่างกลมเกาะกันเป็นกลุ่มโดยส่วนใหญ่ เม็ดตะกอนชนิดนี้สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของกรดอะซิติก มากกว่า 1,000 มก./ล. ซึ่งมีขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลาง < 0.5 มม.) จึงถูกชะล้างออกจากถังปฏิกริยาได้ง่าย นอกจากนี้ยังเป็นเม็ดตะกอนชนิดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียต่ำ ดังนั้น เพื่อควบคุมประสิทธิภาพการทำงานของระบบจึงต้องมีความเร็วน้ำไหลขึ้น (Upflow Liquid Velocity, ULV) ที่พอเหมาะต่อการชะล้างตะกอนชนิดนี้ให้หลุดออกจากระบบ

- Spinky Granular ซึ่งมีความยาวมากกว่า 1 มม. มีความหนาแน่นน้อยกว่า 0.5 มม. ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 60 และเป็นชนิดที่สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งข้าวโพด

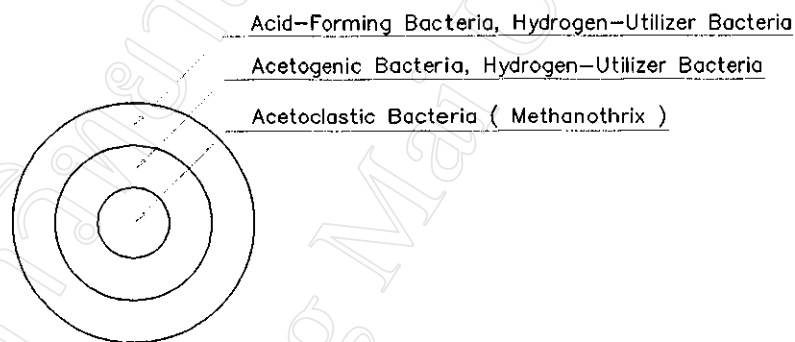
- Filamentous มีรูปร่างเป็นแท่งต่อกันเป็นสายประกอบด้วย Methanothrix ชนิดที่เป็นเส้น สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียที่มีแต่กรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid , VFA)

- Rod มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมประกอบด้วย Methanothrix ชนิดเป็นเส้นสั้น รวมกันประมาณ 5 เซล พบในถังปฏิกริยาที่ใช้บำบัดน้ำเสียโรงงานแป้งมันและโรงงานน้ำตาล

จากการศึกษาโดยวิธีเทคนิควิทยาภูมิคุ้มกัน (Immunological Techniques) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (Scanning Electron Microscope , SEM) และรังสีเอ็กซ์ (X-ray) กับเม็ดตะกอน พบว่าประกอบด้วย Methanogens เช่น Methanothrix soehngenii,

Methanobacterium, Methanobrevibacter, Methanosarcina และผลิตภัณฑ์ของแคลเซียม นอกจากนี้ Lettinga, G. et al. (1985) พบว่าเม็ดตะกอน ส่วนใหญ่สร้างจาก Methanothrix-Like Bacteria ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ชนิดที่มีรูปร่างต่อกันเป็นเส้นสายโดยเม็ดตะกอนชนิดนี้สร้างขึ้นจากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำและความเข้มข้นของอะซิเตท (Acetate) ต่ำกว่า 1,000 มก./ล. ซึ่งยอมรับกันว่าเม็ดตะกอนชนิดนี้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบในน้ำเสีย

การศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนโดย McLeod, F.C. et al. (1990) พบว่ามี 3 ชั้น ประกอบด้วย Methanothrix-Like Cells เป็นแกนกลางของ Granular ชั้นกลางประกอบด้วย Methanothrix ชนิดเป็นเส้นสั้น (Rod) ซึ่งรวมทั้ง H_2 -Consuming Organisms ส่วนชั้นนอกสุดประกอบด้วยการรวมตัวกันของ Rod และ Filamentous Microorganisms ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ Granular Sludge

2.3.5 การสร้างเม็ดตะกอนของระบบยูเอเอสบี

จากผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเบียร์ Wu, W.M. et al. (1985) แบ่งช่วงการเกิดเม็ดตะกอนเป็น 4 ช่วงคือ

- ก) ช่วงเริ่มต้นระบบ ตะกอนหัวเชื้อที่ใส่ลงไปจะขยายตัวเนื่องจากการเกิดก๊าซ
- ข) การเริ่มปรากฏของเม็ดตะกอนฟล็อกที่เบาและตกตะกอนยาก จะหลุดออกไปกับน้ำออกจากระบบ ส่วนอนุภาคที่มีน้ำหนักตกตะกอนง่ายจะถูกกักอยู่ในถังหมักจุลินทรีย์จะเริ่มจับกลุ่มกับอนุภาคเหล่านี้และจับตัวกันเป็นเม็ดตะกอน โดยจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 2 มม.
- ค) เม็ดตะกอนสร้างตัวอย่างรวดเร็วในชั้นตะกอนล่าง อัตราการเกิดเม็ดตะกอนมากกว่าการชะล้างตะกอน

ง) สภาวะคงที่ เมื่อก่อนที่เห็ดมีความสามารถในการตกตะกอนได้ดี ตะกอนที่หลุดออกไปกับน้ำออกจากกระบอกจะเกิดขึ้นได้ยาก

2.4 ถึงสร้างกรด

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนมีขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนมีความต้องการแตกต่างกันในเรื่อง อาหาร สภาพทางกายภาพ อัตราการเจริญเติบโต และความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงต่างกัน แบคทีเรียสร้างกรดเป็นชนิดกึ่งไร้ออกซิเจน เจริญเติบโตเร็วกว่า ทำให้เจริญเติบโตอยู่ในลักษณะฟล็อกได้ง่าย ทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นชนิดไร้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาด และเจริญเติบโตช้า ในทางทฤษฎีการแยกกระบอกออกเป็น 2 ขั้นตอน จะทำให้ระบบแต่ละขั้นตอนมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากสามารถรักษาสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแต่ละชนิดได้มากที่สุด

ถึงสร้างกรดป้องกันถึงสร้างมีเทนจากสภาวะที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนเช่น การเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบอย่างกะทันหัน การมีสารพิษเข้าสู่ระบบ หรือจากสภาวะที่แปรปรวนต่าง ๆ ทั้งนี้เป็นเพราะแบคทีเรียสร้างกรดสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า อีกทั้งยังย่อยน้ำเสียให้มีโมเลกุลเล็กลงและสามารถถูกย่อยสลายได้ง่ายในถึงสร้างมีเทน

การออกแบบดังปฏิกิริยาที่เหมาะสม ยังไม่ปรากฏแน่ชัดในปัจจุบัน แต่ที่มีการใช้งานอยู่ในทุกวันนี้เป็นแบบซีเอสทีอาร์ ที่มีการกวนผสมจึงดูแลรักษายาก เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดสามารถทำงานได้ดีและอัตราการทำงานสูงกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน ในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนจึงทำให้แบคทีเรียชนิดนี้มีมากและอาจทำให้สร้างกรดได้ดีขึ้น เมื่อระบบมีค่าพีเอชต่ำลง (ช่วง 5.8 - 6.2)

เวลาเก็บกักที่ต้องการ ขึ้นอยู่กับธรรมชาติทางโครงสร้างที่ซับซ้อนของสารอินทรีย์ อุณหภูมิ และความต้องการระดับของการสร้างกรด ซึ่งปกติจะอยู่ในช่วง 6-24 ชั่วโมง Zeotemeyer, R.J. et al. (1982a, 1982b) ได้รายงานค่าพีเอชที่ทำให้กระบวนการสร้างกรดสามารถทำงานได้ดีที่สุด อยู่ในช่วง 5.8-6.2 ขณะที่อุณหภูมิช่วงระหว่าง 25-55°C เขาได้แนะนำอุณหภูมิที่ดีที่สุดต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรดคือ 37°C สำหรับช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic) และ 52°C สำหรับช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) Georgia, D. et al. (1988) ได้เสนอค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ (Biokinetic Coefficient) ไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ของแบคทีเรียสร้างกรด

ค่าคงที่ทางจลนศาสตร์	หน่วย	พิสัย
μ_m	ต่อวัน	12 – 85
K_s	มก. ซีไอดี/ล.	10 – 10000
K_d	ต่อวัน	0.01 – 6.6

ที่มา: Georgia, D. et al. (1988)

2.5 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมและความต้องการของจุลินทรีย์สำหรับขั้นตอนการสร้างกรด

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม และความต้องการของจุลินทรีย์ สำหรับขั้นตอนการสร้างกรดของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน จะต้องรักษาระดับให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและทำให้จุลินทรีย์ของการสร้างกรดเจริญเติบโตได้ดีและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงต้องอาศัยความรู้ทางชีววิทยาของกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนเข้าช่วย พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมและความต้องการของจุลินทรีย์ที่สำคัญ ๆ มีดังนี้

2.5.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือ ช่วงแรกอยู่ระหว่าง 30°C ถึง 35°C เรียกอุณหภูมินี้ว่า ช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic) ส่วนอีกช่วงหนึ่งอยู่ระหว่าง 55°C ถึง 60°C เรียกอุณหภูมิช่วงนี้ว่าช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) McDougall, F.R. et al. (1993b) รายงานว่าถึงสร้างกรดที่ทำการทดลองในช่วงเทอร์โมฟิลิก จะผลิตกรดระเหยง่ายได้ต่ำกว่าช่วงเมโซฟิลิกถึงร้อยละ 40 โดยถึงปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์ และใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตกาแฟ

2.5.2 พีเอช

จุลินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับช่วงค่าพีเอช ซึ่งแบคทีเรียสร้างกรดจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดในช่วงของค่าพีเอชเท่ากับ 5.0 และ 6.5 Dague, R.R. (1970) พบว่าถ้าค่าพีเอชในน้ำเสียดำกว่า 6.2 จะทำให้มีไฮโดรเจนไอออนจำนวนมาก ซึ่งเป็นพิษต่อมีเทนแบคทีเรีย ทำให้ปฏิกิริยาการสร้างมีเทนเสียสมดุล ซึ่งจะสามารถทำการสร้างมีเทนได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงค่าพีเอชเท่ากับ 6.5 - 7.5 (Bryant, M.P., 1979)

แบคทีเรียสร้างกรดเมื่อทำการสร้างกรดอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มให้ค่าพีเอชต่ำลง ส่งผลทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนถูกยับยั้ง

การทำงาน การตรวจสอบและติดตามผลอาจทำได้โดยหาค่าอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นค่ารวมซึ่งถูกเสนอไว้โดย Sahm, H. (1984) ควรให้ได้ค่าต่ำกว่า 0.1 ถ้าต้องการให้เกิดปฏิกิริยาสร้างมีเทนด้วย

2.5.3 อาหารเสริม

อาหารเสริมเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัสและอื่นๆ Lettinga, G. et al. (1980) พบว่าการเติมธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นอาหารเสริมอย่างหนึ่งให้แก่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบสูงขึ้น Speece, R.E. and McCarty, P.L. (1964) พบว่าจุลินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน ต้องการธาตุไนโตรเจนประมาณ 0.106 เท่าของน้ำหนักของจุลินทรีย์และต้องการธาตุฟอสฟอรัสประมาณ 0.143 เท่าของความต้องการธาตุไนโตรเจน หรืออาจกล่าวได้ว่าความต้องการอาหารเสริมของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนสามารถอธิบายได้โดยอัตราส่วนของ ซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P) เท่ากับ 600:7:1

2.5.4 สารพิษ

การทำงานของแบคทีเรียแบบไร้ออกซิเจนจะลดประสิทธิภาพลงโดยสารพิษหรือผลกระทบของการยับยั้งของสารประกอบและอนินทรีย์ สารพิษเหล่านี้ได้แก่ กรดระเหยง่ายและซัลไฟด์ ความเป็นพิษนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารพิษเพิ่มขึ้น เริ่มจากการที่ได้รับสารพิษในปริมาณที่ต่ำ ช่วงนี้จะไม่สังเกตพบผลกระทบได้ จนถึงค่า Threshold หนึ่งที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเริ่มลดลง ที่จุดนี้ความเป็นพิษเกิดขึ้นและความเข้มข้นใดๆ ที่มากกว่านี้เรียกว่าเป็นพิษที่ความเข้มข้นเหนือค่า Threshold ความรุนแรงของพิษจะเพิ่มตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น

ก) กรดระเหยง่าย ผลของกรดระเหยง่ายที่มีต่อแบคทีเรียแบบไร้ออกซิเจน ก่อให้เกิดความยุ่งยากเพราะกรดมีผลต่อพีเอชของน้ำด้วย เมื่อพีเอชอยู่ที่ใกล้เคียงความเป็นกลาง ทั้งกรดอะซิติกและบิวทิริก ไม่มีผลที่เป็นพิษอย่างสำคัญต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ใช้ไฮโดรเจน ถึงแม้ว่ากรดระเหยง่ายจะมีปริมาณความเข้มข้นสูงถึง 10,000 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติกก็ตาม (McCarty, P.L. and McKinney, R.E., 1961) กรดโพธิโฟนิกแสดงความเป็นพิษต่อทั้งแบคทีเรียสร้างกรดและสร้างมีเทน และจะแสดงความเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนเมื่อมีความเข้มข้นถึง 1,000 มก./ล. ที่พีเอชเป็นกลาง (Hobson, P.N. and Shaw, B.G., 1976)

ข) ซัลไฟด์ เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจนจากรีดักชันของซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำเสียและ ในการสลายตัวของโปรตีนอาจอยู่ในรูปของซัลไฟด์ที่ละลายอยู่ในน้ำได้หรือไม่ละลายน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของโลหะที่รวมอยู่ ถ้ารวมอยู่กับพวกโลหะหนักก็จะตกตะกอนลงมา ส่วนที่เหลือจะละลายน้ำอยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังนั้นความเข้มข้นของซัลไฟด์

ละลายขึ้นอยู่กับทั้งค่าพีเอชของของเหลวและส่วนประกอบของก๊าซ ตามปกติแล้วแบคทีเรียสร้างกรดจะมีความไวต่อไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน McCarty, P.L. (1964a) พบว่าแบคทีเรียแบบไร้ออกซิเจนสามารถทนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ ที่มีปริมาณความเข้มข้น 50 – 100 มก./ล. ได้ และที่ปริมาณความเข้มข้นมากกว่า 200 มก./ล. จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน สำหรับถึงปฏิกิริยาแบบยูเอเอสบี อัตราส่วนที่เหมาะสมของซีโอดีต่อซัลเฟต ($\text{COD}:\text{SO}_4^{2-}$) ต้องสูงกว่า 7-10 (Lettinga, G., 1981)

2.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนแต่ละชนิดจะมีพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำเสีย และกลไกการทำงานของจุลินทรีย์ภายในกระบวนการนั้นๆ พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน เช่น อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate) เวลาเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ (Solids Retention Time) เป็นต้น

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ การตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์และการเกิดก๊าซในถังปฏิกิริยา น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะต้องมีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำกว่าอัตราสูงสุดในการกำจัดสารอินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 18

$$B_v = C_i Q/V \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } B_v &= \text{อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/(ลบ.ม.-วัน))} \\ C_i &= \text{ความเข้มข้นของค่าซีโอดีของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด (มก./ล.)} \\ Q &= \text{อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)} \\ V &= \text{ปริมาตรของถังปฏิกิริยา (ลบ.ม.)} \end{aligned}$$

การที่จะให้ได้มาซึ่งอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุด ทำได้โดยการรักษาระดับของตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในระบบไว้ให้เป็นเวลานานๆ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$\theta_c = \frac{1}{\mu'} \quad (19)$$

เมื่อ θ_C = ระยะเวลาเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ (เวลา)
 μ' = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อเวลา)

2.7 ร้อยละของการสร้างกรด (% Acidification)

สามารถหาได้โดยการเทียบร้อยละของกรดระเหยง่ายที่เกิดขึ้นที่ถูกแปลงค่าเทียบเท่ากับค่าซีโอดีต่อ ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบ ดังสมการที่ 20

$$\text{ร้อยละการสร้างกรด (Acidification)} = \frac{\text{COD}_{\text{acid}}}{\text{Inf. COD}_{\text{non-VFA}}} \times 100 \quad (20)$$

เมื่อ COD_{acid} = COD_{CH_4} ที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ + $\Delta\text{COD}_{\text{VFA}}$ ของน้ำออกกับน้ำเข้า
 $\text{Inf. COD}_{\text{non-VFA}}$ = $\text{Inf. TCOD} - \text{Inf. COD}_{\text{VFA}}$
 COD_{CH_4} ที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ = $1000 \times \text{CH}_4 / (\text{CF} \times \text{Q})$
 CH_4 = ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อวัน, มล./วัน
 CF = Correction Factor สำหรับคำนวณค่า COD จากก๊าซมีเทน (ที่ระดับน้ำทะเล), มล. มีเทนขึ้นที่เทียบเท่า 1 กรัม COD
 Q = ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบต่อวัน, ล./วัน
 $\Delta\text{COD}_{\text{VFA}}$ ของน้ำออกกับน้ำเข้า = $\text{Eff. COD}_{\text{VFA}} - \text{Inf. COD}_{\text{VFA}}$
 COD_{VFA} = $\text{VFA} \times 1.066$ กรณีที่ค่า VFA มีหน่วยเป็น มก./ล. เทียบกับกรดอะซิติกตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวแปลงค่ากรดระเหยง่ายเทียบค่าซีโอดี

กรดระเหยง่าย	ความเข้มข้น (กรัมซีโอดี/กรัมกรดระเหยง่าย)
กรดอะซิติก	1.066
กรดโพรพิโอนิก	1.512
กรดบิวทีริก	1.816
กรดวาเลอริก	2.037

2.8 อัตราการสร้างกรด

เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ประเมินค่าสมรรถนะของขั้นตอนการสร้างกรดของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนคือ อัตราการสร้างกรดต่อหนึ่งหน่วยของปริมาตรถังปฏิกรณ์ (มก./ล.-วัน)

$$r_p = \frac{Q \cdot \text{COD}_{\text{acid}}}{V} \quad (21)$$

เมื่อ r_p = อัตราการสร้างกรด (มก./ล.-วัน)

Q = ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบต่อวัน (ล./วัน)

V = ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ (ลิตร)

COD_{acid} = COD_{CH_4} ที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ + $\Delta \text{COD}_{\text{VFA}}$ ของน้ำออก
กับน้ำเข้า

2.9 ข้อกำหนดการออกแบบ (Design Criteria)

การออกแบบถังปฏิกรณ์แบบซีเอสทีอาร์และยูเอเอสบี มีปัจจัยควบคุมดังนี้คือ

2.9.1 ถังปฏิกรณ์แบบซีเอสทีอาร์

- เวลาเก็บกักน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time) Lettinga, G. and Hulshoff Pol, L.W. (1991) ได้เสนอแนะให้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในถังสร้างกรดควรอยู่ในช่วง 6 - 24 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่เพื่อป้องกันผลยับยั้งของระบบที่เกิดขึ้นจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระยะเวลาเก็บกักไม่ควรต่ำกว่า 8 ชั่วโมง (Komatsu, T. et al., 1991)

2.9.2 ถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี

- เวลาเก็บกักน้ำเสีย โดยทั่วไปขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำออกจากระบบที่ต้องการ โดยสามารถใช้ช่วงค่า 4-24 ชั่วโมง ถ้าเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกปานกลาง ซีโอดีละลายน้ำอยู่ในช่วง 1,000 - 3,000 มก./ล. อาจใช้ 3-8 ชั่วโมง และถ้าเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง ซีโอดีละลายน้ำอยู่ในช่วง 10,000 - 15,000 มก./ล. อาจใช้มากถึง 1 วัน (Lettinga, G. et al. 1980) เวลาเก็บกักน้ำดังกล่าวนี้สำหรับปฏิกรณ์สร้างกรดและสร้างมีเทนในถังแบบยูเอเอสบี

- อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ Lettinga, G. et al. (1983) รายงานไว้ว่าโรงบำบัดน้ำเสียที่ใช้ระบบยูเอเอสบีทั้งในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรมควรจะใช้ไม่เกินช่วงค่า 15-20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่อุณหภูมิ 30°C

- ความเร็วไหลขึ้น (Upflow Liquid Velocity, ULV) Souza, M.E. (1986a) เสนอให้ใช้ไม่ควรเกินช่วงค่า 1.2 - 1.5 ม./ชม.

- ความสูงของถังปฏิกรณ์ ความสูงของโชนตกตะกอนไม่ควรต่ำกว่า 1.5 ม. (Lettinga, G. et al., 1983) ส่วนความสูงของโชนย่อยสลายขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นตะกอนล่าง
- ความเร็วในโชนตกตะกอน Lettinga, G. et al. (1983) แนะนำให้ใช้น้อยกว่า 2 ม./ชม.
- ชุดอุปกรณ์แยกของเหลว ก๊าซและตะกอนจุลินทรีย์ มุมลาดชันของผนังโชนตกตะกอน ควรมีความลาดชันประมาณ 50° กับแนวราบ (Lettinga, G. et al., 1983) และพื้นที่หน้าตัดของช่องเก็บก๊าซ ไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 15-20 ของพื้นที่หน้าตัดของถังปฏิกรณ์

2.10 ชนิด ปริมาณและคุณสมบัติของหัวเชื้อ และวิธีการเริ่มต้นระบบ

ปกติแล้วการเริ่มต้นขบวนการหมักในบ่อหมักแบบไร้ออกซิเจน เป็นสิ่งที่ยากและต้องใช้เวลาาน กว่าจะได้ปริมาณตะกอนที่มากพอและมีลักษณะตกตะกอนได้ดี แต่เมื่อใดที่สามารถทำให้ตะกอนผ่านขบวนการคัดเลือกตะกอนได้แล้วนั้น ปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ของขบวนการหมักจะหมดไป เนื่องจากตะกอนที่ได้จากการหมักแบบไร้ออกซิเจน สามารถเก็บไว้ได้นานและคงสภาพเหมือนเดิม ในขณะที่ไม่มีการให้อาหาร ตะกอนเหล่านี้ยังสามารถใช้เป็นหัวเชื้อในการเริ่มต้นขบวนการหมักเพื่อกำจัดของเสียจากแหล่งอื่นที่แตกต่างจากเดิมได้

Lettinga, G. et al. (1983a) แนะนำวิธีการเริ่มต้นขบวนการหมักในถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสพี โดยใช้ตะกอนที่ถูกย่อยสลายแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน เป็นหัวเชื้อ เพื่อทำการเริ่มต้นระบบในปริมาณ 10-20 กก.VSS/ลบ.ม. โดยใช้อัตราภาระบรรทุกชั้นดินในช่วง 0.05-0.1 กก.ซีโอดี/(กก.VSS.-วัน) และจะเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเมื่อภาระเหี่ยง่ายถูกย่อยมากกว่าร้อยละ 80 โดยยอมให้มีการชะล้าง เพื่อให้ตะกอนที่มีลักษณะเบาถูกชะล้างออกไป และจะต้องป้องกันตะกอนที่มีน้ำหนักและตกตะกอนยากถูกชะล้างออกไปจากถังปฏิกรณ์

Wu, W.M, et al. (1985) กล่าวว่าไว้ว่าการเริ่มต้นระบบในถังหมักแบบยูเอเอสพีควรเริ่มจากช่วงค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 กก.ซีโอดี/(กก.VSS.-วัน) และเพิ่มจนถึง 0.6 กก.ซีโอดี/(กก.VSS.-วัน) เพื่อเร่งการเกิดตะกอนแบบก้อนเม็ด โดยความเร็วไหลขึ้นที่อยู่ในช่วง 0.25-0.40 ม./ชม. มีค่าสูงพอที่จะเกิดตะกอนแบบก้อนเม็ด เมื่ออัตราการเกิดก๊าซต่อพื้นที่ผิวโชนย่อยสลาย (Biogas Flux) มีค่า 0.15-0.30 ลบ.ม./(ตร.ม.-ชม.)

2.11 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

เนตรนภา ศรีตวราชพงศ์ (2539) ได้ศึกษาการใช้ระบบยูเอเอสพีแบบมีถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งการทดลองประกอบด้วยถังยูเอเอสพี

3 ชุด ทำการทดลองเปรียบเทียบกัน ถึงยูเอเอสบีชุดที่ 1 ไม่มีถังสร้างกรด แต่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ ถึงยูเอเอสบีชุดที่ 2 มีถังสร้างกรดและมีการหมุนเวียนน้ำกลับ ถึงยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีถังสร้างกรดแต่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ โดยถังสร้างกรดมีระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง และอัตราส่วนการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 5:1 การทดลองกระทำที่ภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/(ลบ.ม.-วัน) ตามลำดับ โดยเตรียมแป้งมันสำปะหลังละลายในน้ำร้อนให้มีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 2500 และ 5000 มก./ล. ตามลำดับ อัตราสูบน้ำเข้าระบบเท่ากับ 4 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง ผลการทดลองที่ภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/(ลบ.ม.-วัน) ของถึงยูเอเอสบีชุดที่ 1, 2 และ 3 พบว่า จากที่น้ำเข้ามีกรดระเหยง่าย 39 มก./ล. เทียบกับกรดอะซิติกเมื่อผ่านถังสร้างกรดรวมของถึงยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 833 มก./ล. เทียบกับกรดอะซิติก และหลังจากที่น้ำผ่านระบบรวมแล้วพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าเท่ากับร้อยละ 81, 89 และ 84 ของถึงยูเอเอสบีที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ กรดระเหยง่ายที่ผ่านถึงยูเอเอสบีแล้วคงเหลือ 127, 45 และ 45 มก./ล. เทียบกับกรดอะซิติก ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองที่ภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/(ลบ.ม.-วัน) พบว่าน้ำเข้ามีกรดระเหยง่าย 90 มก./ล. เทียบกับกรดอะซิติก เมื่อผ่านถังสร้างกรดรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1685 มก./ล. เทียบกับกรดอะซิติก โดยมีประสิทธิภาพรวมการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 73, 85 และ 81 ของถึงยูเอเอสบีที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เหลือกรดระเหยง่าย 710, 85 และ 91 มก./ล. เทียบกับกรดอะซิติก ตามลำดับ

พิรพงษ์ ทิพยาทร (2529) ได้ศึกษาถึงการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำโดยระบบยูเอเอสบี โดยใช้น้ำเสียของโรงงานผลิตเครื่องดื่มสำเร็จรูปจากน้ำนมถั่วเหลือง และเครื่องดื่มอัดลมอื่นๆ ซึ่งมีพีเอชสูง ด้วยถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้นทำหน้าที่สร้างกรดปริมาตร 16 ลิตร สูง 2 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.10 เมตร และถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี ทำหน้าที่สร้างมีเทน ปริมาตร 106 ลิตร สูง 2.75 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.22 เมตร การศึกษาได้กระทำขึ้นสองชุด โดยชุดที่ 1 เป็นการทดลองโดยไม่ใช้ถังสร้างกรด มี 4 การทดลอง ด้วยเวลาเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 28, 24, 12 และ 8 ชั่วโมงตามลำดับ อัตราภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.78, 1.01, 2.10 และ 3.78 กก.ซีโอดี / (ลบ.ม.-วัน) สามารถกำจัดซีโอดีทั้งหมดได้ร้อยละ 94.1, 88.6, 71.2 และ 56.8 ตามลำดับ และในน้ำเสียออกมีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายเท่ากับ 66.4, 536, 373.9 และ 504.5 มก./ล. เทียบเท่ากับกรดอะซิติก ตามลำดับ ส่วนการทดลองชุดที่ 2 เป็นการทดลองโดยมีถังสร้างกรดต่อด้วยถังสร้างมีเทน มี 5 การทดลองด้วยเวลาเก็บกักน้ำเสียของถังสร้างกรดเท่ากับ 7.2, 3.6, 2.4, 1.2 และ 0.6 ตามลำดับ และเวลาเก็บกักน้ำเสียของถังสร้างมีเทนเท่ากับ 48, 24, 16, 8 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ อัตราภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.43, 0.98, 1.57, 3.62 และ 4.78 กก.ซีโอดี/(ลบ.ม.-

วัน) สามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 92.7, 95.0, 90.5, 93.8 และ 90.0 ตามลำดับ โดยในน้ำเสียออกจากถังสร้างกรดมีความเข้มข้นกรดระเหยง่ายเท่ากับ 395.2, 340.9, 299.6, 331.5 และ 274.2 มก./ล. เทียบเท่ากับกรดอะซิติก ตามลำดับ และน้ำออกจากถังสร้างมีเทนมีความเข้มข้นกรดระเหยง่ายเท่ากับ 73.2, 56.2, 55.2, 44.5 และ 50.0 มก./ล. เทียบเท่ากับกรดอะซิติก จึงสรุปได้ว่าการใช้ถังสร้างกรดจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนได้ รวมทั้งลดปัญหาจากน้ำเสียเข้าที่มีพีเอชสูง มีสารพิษที่ได้จากกระบวนการล้างขวดและการฆ่าเชื้อในระบบการผลิต เพราะถังสร้างกรดจะช่วยปรับสภาพน้ำเสียให้มีโมเลกุลเล็กลง อยู่ในรูปกรดระเหยง่ายและลดพีเอชของน้ำเสียให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์ในถังสร้างมีเทน

โสภา ชินเวชกิจวานิชย์ (2540) ได้ศึกษาถึงการลดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนด้วยระบบยูเอเอสบี ซึ่งประกอบไปด้วยถังปฏิกรณ์ แบบ 2 ขั้นตอนคือขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน มีเวลาเก็บกักขั้นตอนละ 12 ชั่วโมง และจากการทดลองที่ 1 ใช้น้ำย้อมสีค่าและความเข้มข้นแป้งมัน 500, 1000 และ 1500 มก./ล. ทำให้ซีโอดีน้ำเสียเท่ากับ 646, 1172 และ 1672 มก./ล. สำหรับถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ชุดตามลำดับ หลังจากที่ผ่านมาถังสร้างกรดแล้ว ซีโอดีลดลงเหลือ 413, 729 และ 1140 มก./ล. ตามลำดับ กรดระเหยง่ายในน้ำเสียก่อนเข้าระบบเท่ากับ 129, 173 และ 223 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ผ่านถังสร้างกรดแล้วมีค่าเท่ากับ 254, 401 และ 563 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพรวมของการลดค่าซีโอดี เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบีคิดเป็นร้อยละ 67, 71 และ 69 ตามลำดับ การทดลองที่ 2 ใช้น้ำย้อมสีแดงและความเข้มข้นแป้งมันให้ค่าซีโอดีของน้ำเสียเท่ากับ 408, 619 และ 940 มก./ล. ตามลำดับของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ชุด ในถังสร้างกรดค่าซีโอดีเท่ากับ 329, 458 และ 719 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนกรดระเหยง่ายในน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 198, 218 และ 249 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ หลังจากผ่านถังสร้างกรดแล้วมีค่าเท่ากับ 198, 267 และ 375 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพรวมของการลดค่าซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 39, 58 และ 57 มก./ล. ตามลำดับ การทดลองที่ 3 ใช้น้ำย้อมสีน้ำเงิน โดยมีความเข้มข้นแป้งมันให้ค่าซีโอดีของน้ำเสียเท่ากับ 96, 300 และ 602 มก./ล. ตามลำดับของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ชุด เมื่อผ่านถังสร้างกรดค่าซีโอดีเท่ากับ 96, 234 และ 439 มก./ล. ส่วนกรดระเหยง่ายในน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 117, 134 และ 162 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับและเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านถังสร้างกรดคิดเป็น 124, 185 และ 300 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ โดยที่ประสิทธิภาพรวมของการลดค่าซีโอดีคือร้อยละ 48, 52 และ 56 ตามลำดับ การทดลองที่ 4 ใช้น้ำย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์ น้ำเสียเข้ามีค่าซีโอดีดังนี้ 47, 250 และ 549 มก./ล. ตาม

ลำดับของถังปฏิริยาทั้ง 3 ชุด ผ่านถังสร้างกรดแล้วมีค่าเท่ากับ 59, 190 และ 420 มก./ล. ตามลำดับ กรดระเหยง่ายเริ่มต้น 26, 58 และ 91 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นเป็น 28, 101 และ 210 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ เมื่อผ่านถังสร้างกรด และเมื่อออกจากระบบรวมแล้วคิดเป็น 37, 86 และ 149 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ การทดลองสุดท้ายเป็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ทำให้ได้ค่าซีไอดีน้ำเสียเท่ากับ 536, 521 และ 509 มก./ล. ตามลำดับของถังปฏิริยาทั้ง 3 ชุด ออกจากถังสร้างกรดแล้วเหลือ 351, 348 และ 352 มก./ล. กรดระเหยง่ายน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีค่าเท่ากับ 91, 89 และ 85 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านถังสร้างกรดเป็น 179, 190 และ 194 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และเมื่อผ่านระบบรวมแล้วได้เท่ากับ 147, 148 และ 152 ของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ

Alexiou, I.E. et al. (1994) ได้ทำการศึกษาปฏิริยาสร้างกรดโดยใช้ถังปฏิริยาแบบซีเอสทีอาร์บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตกาแฟสำเร็จรูปความเข้มข้นซีไอดี 10,000 มก./ล. โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยในการออกแบบต่างๆ คือ พีเอช อุณหภูมิ และเวลาเก็บกักน้ำเสีย ค่าพีเอชถูกควบคุมที่ 4.5, 5 และ 6 อุณหภูมิที่ 37, 45, 50, 55 และ 65°C เวลาเก็บกักน้ำเสียที่ 6, 9 และ 12 ชั่วโมง พบว่า ที่พีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 6 เป็นค่าที่ทำให้กิจกรรมของการสร้างกรดมีประสิทธิภาพมากที่สุด อุณหภูมิที่ดีที่สุดของขั้นตอนการสร้างกรดในช่วงอุณหภูมิเมโซฟิลิกคือ 37°C ที่พีเอช 6 ส่วนเวลาเก็บกักน้ำเสียที่ 24 ชั่วโมง จะได้น้ำเสียออกที่มีร้อยละของ กรดเท่ากับ 50 ขณะที่เวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมงได้ร้อยละของกรดถึง 40 นั่นคือการลดปริมาตรของถังปฏิริยาลง 1 ใน 4 ส่วน จะลดการสร้างกรดลงเพียงร้อยละ 20

Dinsdale, R.M. et al. (1997) ได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจากขบวนการผลิตกาแฟสำเร็จรูป ด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนในช่วงอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิก ซึ่งมีถังปฏิริยาแบบซีเอสทีอาร์ เป็นถังปฏิริยาที่ใช้สร้างกรด หมุนกวนที่ 100 รอบต่อนาที ปริมาตร 5.6 ลิตร มีการปรับพีเอชให้คงที่เท่ากับ 6 และมีระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 24, 18, 15 และ 12 ชั่วโมง นั่นคือมีอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 10, 13.3, 16 และ 16 กก.ซีไอดี/(ลบ.ม.-วัน) พบว่าหลังจากการทำงานเกินร้อยละ 38 ของค่าซีไอดีน้ำเสียเข้าถูกเปลี่ยนเป็นกรดระเหยง่าย ที่เวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และลดลงเหลือร้อยละ 21 ที่เวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง และยังพบอีกว่าการควบคุม พีเอชของน้ำเสียเข้าให้เท่ากับ 6 ไม่ได้ไปกว่าการปล่อยให้ค่าพีเอชที่มากับน้ำเสียซึ่งเท่ากับ 5 เข้าสู่ระบบ และน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิริยาแบบซีเอสทีอาร์ซึ่งมีพีเอช 5.2 ไม่ต้องการที่จะปรับ

ให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนที่จะจ่ายเข้าสู่ถังปฏิกริยาแบบยูเอเอสบี เพื่อใช้ในการสร้างมีเทนต่อไป

Gavala, H.N. et al. (1997) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเนยโดยใช้ถังปฏิกริยาแบบยูเอเอสบี ปริมาตร 10 ลิตร ความสูง 113 เซนติเมตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหากระบวนการทุกสารอินทรีย์ที่สูงสุดที่เหมาะสมสำหรับการบำบัด ใช้ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตเนยมาเจือจางก่อนเข้าระบบ ซึ่งเริ่มต้นที่ค่าซีโอดี 2500 มก./ล. แล้วจึงค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นขึ้นที่ระยะเวลาเก็บกักเดิม จนเข้าสู่สภาวะปกติ แล้วจึงเริ่มทำการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกัก 6 วัน พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีได้ถึงร้อยละ 98 ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 6.2 กก.ซีโอดี/(ลบ.ม.-วัน) ซีโอดีเข้า 37,000 มก./ล. และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีเป็น 42,000 มก./ล. การบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ 85 – 90 โดยระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมควรจะมากกว่า 30 วัน เพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดที่เหมาะสม

Ince, O. (1998) ได้ทำการศึกษาทดลองถึงสมรรถนะของการย่อยสลายน้ำเสียนมโดยกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนสองขั้นตอนซึ่งถังสร้างกรดมีปริมาตร 10 ลิตร มีระยะเวลาเก็บกัก 0.5 วัน ควบคุมพีเอชให้เท่ากับ 5.5 – 6.0 และอุณหภูมิ 33 – 36 °C เป็นถังปฏิกริยาแบบชีเอสทีอาร์ ควบคุมความเร็วรอบ 60 – 90 รอบต่อนาที ส่วนถังสร้างมีเทนมีปริมาตร 31 ลิตร ใช้ท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20 ม. ยาว 1.0 ม. เป็นถังปฏิกริยาไร้ออกซิเจนไหลขึ้นแบบมีตัวกลาง (Anaerobic Upflow Filter) ควบคุมค่าพีเอช 7.0 – 7.5 และอุณหภูมิถูกรักษาให้เท่ากับถังสร้างกรด ซีโอดีน้ำเสียเข้าอยู่ในช่วง 2000 – 6000 มก./ล. เริ่มต้นระบบด้วยหัวเชื้อจากถังย่อยสลายตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน จากผลการทดลองพบว่าถังสร้างกรดสามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 10 – 40 และได้ร้อยละของก๊าซมีเทนเท่ากับ 5 – 15 อัตราการสร้างกรดที่มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 61 ขณะทำการทดลองอัตราส่วนของซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส ถูกควบคุมในน้ำเสียเข้าให้เท่ากับ 400 : 5 : 1 และเมื่อผ่านถังสร้างกรดพบว่า ถูกระบบการใช้เพียง 400 : 0.9 : 0.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบรวมมีค่าเท่ากับร้อยละ 90 ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 23 และ 7 กก. ซีโอดี/(ลบ.ม.-วัน) ของถังสร้างกรด และถังสร้างมีเทน ตามลำดับ

Komatsu, T. et al. (1991) ศึกษาถึงผลกระทบของไลปิดและการป้องกันผลยับยั้งกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนโดยไลปิด โดยใช้ถังปฏิกริยาแบบชีเอสทีอาร์เพื่อทำหน้าที่สร้างกรดมีปริมาตร 1 ลิตร กวนผสมด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ต่อด้วยถังปฏิกริยาแบบตัวกลาง

ร้อออกซิเจน ปริมาตร 5 ลิตร เพื่อทำหน้าที่สร้างมีเทน ทำงานแบบ 2 ขั้นตอนเพื่อเปรียบเทียบกับ การบำบัดโดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบตัวกลางร้อออกซิเจนที่มีปริมาตร 5 ลิตร ทำงานเพียงขั้นตอน เดียว ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจาก Baby Milk ความเข้มข้น 1,500 มก.ซีโอดี/ล. โดยมี ส่วน ประกอบของ คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 44 โปรตีนร้อยละ 12 และ ไลปิดร้อยละ 44 โดยเทียบจากค่า ซีโอดี เปรียบเทียบกับการใช้ Skimmed Milk ความเข้มข้น 1,500 มก.ซีโอดี/ล. เท่ากัน ซึ่งประกอบ ด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 52 โปรตีนร้อยละ 46 และ ไลปิดร้อยละ 2 เทียบกับค่าซีโอดี โดยน้ำ เสียสังเคราะห์ทั้งสองชนิดนี้มีความแตกต่างของไลปิดอย่างเห็นได้ชัด เวลาเก็บกักของระบบ บำบัดแบบสองขั้นตอนและขั้นตอนเดียวเท่ากันคือ 2 วัน จากผลการศึกษาพบว่าร้อยละของการ กำจัด ซีโอดีระบบบำบัดแบบร้อออกซิเจนสองขั้นตอนของ Baby Milk เท่ากับ 89.4 ส่วนของ Skimmed Milk เท่ากับ 85.1 ซึ่งต่ำกว่าระบบบำบัดแบบขั้นตอนเดียวที่มีค่าเท่ากับ 92.0 และ 87.1 ตามลำดับและร้อยละของการเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนของระบบบำบัดแบบร้อออกซิเจนสองขั้นตอน ของ Baby Milk เท่ากับ 75.0 ส่วนของ Skimmed Milk เท่ากับ 71.6 ซึ่งสูงกว่าระบบบำบัดแบบ ขั้นตอนเดียวที่มีค่าเท่ากับ 60.6 และ 70.3 ตามลำดับ

McDougall, F. R. et al. (1993) ได้ทำการทดลองเรื่องการบำบัดแบบร้อออกซิเจนสองขั้นตอนของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกาแฟสำเร็จรูป โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งเตรียมจากผง กาแฟแห้งกับน้ำให้มีค่าซีโอดี 10,000 มก./ล. เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยจากขบวนการผลิตกาแฟจริง ปริมาตรของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการสร้างกรดเท่ากับ 5 ลิตร แบบซีเอสทีอาร์ต่อด้วยถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการสร้างมีเทนแบบตัวกลางร้อออกซิเจนชนิดไหลขึ้น ซึ่งมีปริมาตร 15 ลิตร และมีการเวียน น้ำกลับ โดยทดลองเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบขั้นตอนเดียวซึ่งใช้ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการสร้าง มีเทนแบบตัวกลางร้อออกซิเจนชนิดไหลขึ้นและมีการเวียนน้ำกลับที่มีขนาดเท่าเดิมอีกหนึ่งชุด ในช่วงเริ่มต้นการทดลองนั้น ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการสร้างกรดทำงานภายใต้ 37°C และ ใช้เวลาเก็บ กัก 24 ชั่วโมง ที่ค่าพีเอช 5.5 ส่วนถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการสร้างมีเทนทำงานภายใต้ 37°C และมี ค่าพีเอช 7.2 โดยใช้ความเร็วไหลขึ้น 2 ม./วัน แล้วจึงเพิ่มจนเป็น 17 ม./วัน จากการทดลองมีการ ควบคุมพีเอชที่ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการสร้างกรดที่ค่าต่างๆ กันดังนี้คือ 5, 5.5, 6 และ 6.5 เพื่อหา ค่าที่จะให้ประสิทธิภาพในการสร้างกรดได้สูงสุดยังได้มีการทดลองในช่วงค่าอุณหภูมิเมโซฟิลิก 37°C พบว่าที่พีเอช 6.0 ภายใต้อุณหภูมิ 37°C มีการสร้างกรดระเหยง่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ มากที่สุด และการบำบัดแบบสองขั้นตอนสามารถกำจัดซีโอดีได้ถึงร้อยละ 78 ในขณะที่แบบขั้นตอนเดียวกำจัดได้ร้อยละ 65

Mehrotra, R. and Jain, P.K. (1997) ได้ทดลองบำบัดน้ำเสียที่สังเคราะห์จากการนำนมผงละลายน้ำประปาโดยถังปฏิกริยาแบบยูเอเอสบี ปริมาตร 2.8 ลิตร จำนวน 3 ถัง น้ำเสียเข้ามีค่าซีโอดี 500-2500 มก./ล. เข้าสู่ระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 2 วัน จากนั้นจะเพิ่มค่าซีโอดีขึ้นทีละน้อยจนมีค่าเท่ากับ 1500 มก./ล. โดยมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7 – 7.5 โดยเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตช่วงเวลาในการเริ่มต้นกินเวลา 60 วัน แล้วลดระยะเวลาเก็บกักจนเหลือ 12 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าสามารถกำจัดซีโอดีได้ถึงร้อยละ 90 ซึ่งระยะเวลาเก็บกักที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 8 – 12 ชั่วโมง

Menju, T. et al. (1997) ได้ทำการศึกษาถึงการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำเสียที่มีไลปิดเป็นส่วนประกอบ โดยใช้ถังปฏิกริยาแบบยูเอเอสบี ที่มีปริมาตร 100 ลิตร และควบคุมค่าพีเอชในถังเก็บน้ำเสียเข้าให้มีค่าเท่ากับ 7 ซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากนมที่ถูกเจือจางก่อน เพื่อทำการเริ่มต้นระบบโดยเจือจาง 50 เท่า และลดลงเหลือ 15 เท่าอย่างช้า ๆ จากค่าซีโอดี 190,000 มก./ล. และบีโอดี 110,000 มก./ล. จากการทดลองพบปัญหาคือเกิดไขฝ้า (Scum) จับตัวอยู่ที่ชุดแยกสามสถานะ ทำให้สตัคจ์ก่อนเม็คจับตัวอยู่กับไขฝ้านั้น และจากผลการทดลองที่เจือจาง 40 เท่าพบว่า สามารถลดค่าซีโอดีลงได้ร้อยละ 80

Romli, M. et al (1994) ศึกษาสมรรถภาพรวมของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนสองขั้นตอนโดยมีการหมุนเวียนน้ำทั้งจากถังปฏิกริยาที่ใช้ในการสร้างมีเทนกลับมายังถังปฏิกริยาที่ใช้ในการสร้างกรดแบบซีเอสทีอาร์ ปริมาตร 1.64 ลิตร มีการควบคุมพีเอชเท่ากับ 6 และถังปฏิกริยาทั้งคู่อุณหภูมิให้อยู่ที่ 35°C ถังปฏิกริยาที่ใช้ในการสร้างมีเทนเป็นแบบฟลูอิดไคซ์เบด ปริมาตร 3.3 ลิตร โดยใช้กากน้ำตาล (Molasses) เป็นน้ำเสียเข้า ซึ่งมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 8,400 - 9,700 มก./ล. อัตราการไหลของระบบเท่ากับ 11.52 ลิตร/วัน ที่เวลาเก็บกัก 3.4 ชั่วโมงสำหรับถังปฏิกริยาที่ใช้ในการสร้างกรดและ 6.8 ชั่วโมงสำหรับถังปฏิกริยาที่ใช้ในการสร้างมีเทน เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว ได้หยุดการหมุนเวียนน้ำกลับ ผลการทดลองพบว่าน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกริยาที่ใช้ในการสร้างกรดมีปริมาณกรดสูงถึง 3,909 มก./ล. ประกอบด้วยกรดอะซิติกถึงร้อยละ 60 ของปริมาณกรดทั้งหมด และมีกรดอะซิติก, กรดโพรไพโอนิก และ กรดบิวทิริก รวมกันได้ถึงร้อยละ 90 ของปริมาณกรดทั้งหมด ค่าซีโอดีลดลงเหลือ 5,910 มก./ล. ร้อยละของก๊าซมีเทนเท่ากับ 49.5 และมีร้อยละของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 76.6 เมื่อผ่านถังปฏิกริยาที่ใช้ในการสร้างมีเทน ค่าซีโอดีออกเท่ากับ 328 มก./ล. ปริมาณกรดทั้งหมดลดลงเหลือ 63 มก./ล. ซึ่งก็คือกรดอะซิติกทั้งหมด