

## บทที่ 2

### ทบทวนเอกสาร

#### 2.1 การบำบัดน้ำเสียประเภทแป้งด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน

##### 2.1.1 กลไกการย่อยสลาย และ แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง

###### 2.1.1.1 ไฮโดรไลซิส

ขั้นตอนนี้แบคทีเรียสร้างกรดจะปล่อยเอนไซม์อะไมเลส(Amylase) ออกมาภายนอกเซลล์ ย่อยโมเลกุลแป้งซึ่งอยู่ในรูปอนุภาคแขวนลอยที่ไม่ละลายน้ำ ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเดี่ยวละลายน้ำคือ กลูโคส ซึ่งมีโมเลกุลเล็กจนผ่านเซลล์เมมเบรนเข้าสู่ภายในเซลล์ของแบคทีเรียสร้างกรดได้ ขั้นตอนนี้ค่อนข้างช้า และเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาอัตราเร็วและความสมบูรณ์ของขั้นตอนนี้ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ เวลาพักน้ำ และค่าพีเอช

###### 2.1.1.2 การสร้างกรด

กลูโคสที่เข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรียสร้างกรด จะถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็นกรดไพรูวิก ต่อจากนั้นกรดไพรูวิกจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นกรดไขมันระเหยโมเลกุลเล็กอื่นๆ เช่น กรดอะเซติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก ซึ่งจะเป็นอะไรนั้นขึ้นกับค่าความดันพาร์เชียลไฮโดรเจนในระบบ ดังแสดงในตาราง 2.1 แบคทีเรียสร้างกรด ส่วนใหญ่เป็นชนิดไร้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาด มีเพียงส่วนน้อยประมาณ 1% เป็นชนิดกึ่งไร้ออกซิเจน

### ตาราง 2.1 ปฏิกริยาในขั้นตอนการสร้างกรด

ความดันพาร์เซิลไฮโดรเจนต่ำ	
$C_6H_{12}O_6$	$\longrightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$
$C_6H_{12}O_6$	$\longrightarrow CH_3CH_2CH_2COOH$ (กรดบิวทริก) + $2CO_2 + 2H_2$
ความดันพาร์เซิลไฮโดรเจนสูง	
$C_6H_{12}O_6$	$\longrightarrow CH_3CH_2COOH$ (กรดโพรพิโอนิก) + $CH_3COOH + CO_2 + H_2$
$C_6H_{12}O_6$	$\longrightarrow CH_3CH_2CH_2COOH$ (กรดบิวทริก) + $2CO_2 + 2H_2$

#### 2.1.1.3 การสร้างอะเซเตต

แบคทีเรียสร้างกรดอะเซติกจะเปลี่ยนกรดไขมันระเหยที่ได้จากขั้นตอนการสร้างกรดเป็นกรดอะเซติก ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะเกิดภายใต้สภาวะความดันพาร์เซิลไฮโดรเจนต่ำเท่านั้น ดังแสดงในตาราง 2.2 ดังนั้นการสร้างมีเทนโดยใช้ก๊าซไฮโดรเจน และการใช้ก๊าซไฮโดรเจนโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต จะช่วยไม่ให้เกิดการสะสมของกรดโพรพิโอนิกซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน

### ตาราง 2.2 ปฏิกริยาในขั้นตอนการสร้างอะเซเตต

ความดันพาร์เซิลไฮโดรเจนต่ำ	
$CH_3CH_2COOH$ (กรดโพรพิโอนิก) + $2H_2O$	$\longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$
$CH_3CH_2CH_2COOH$ (กรดบิวทริก) + $2H_2O$	$\longrightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$

#### 2.1.1.4 การสร้างมีเทน

แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นชนิดไร้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาด ใช้สารอาหารจำเพาะเจาะจง แบ่งสารอาหารได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งฟอร์มิก (HCOOH) และคาร์บอนมอนนอกไซด์ โดยมีก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน
- กลุ่มเมทิล ( $CH_3$ ) ที่มีคาร์บอน 1 อะตอม เช่น เมทานอล ( $CH_3OH$ ), เมทิลลาไมล์ ( $CH_3NH_3^+$ )
- กรดอะเซติก

สารอาหารต่างๆที่แบคทีเรียสร้างมีเทนใช้แสดงในตาราง 2.3 จากตารางแบคทีเรียสร้างมีเทนส่วนใหญ่สามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งให้อิเล็กตรอนในการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่แบคทีเรียที่เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ในเม็คตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสพี คือ *Methanothrix* และ *Methanosarcina* ซึ่ง *Methanothrix* เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนชนิดเส้นใยที่ใช้กรดอะเซติกเป็นสารอาหาร ส่วน *Methanosarcina* สามารถใช้สารอาหารได้หลายอย่าง คือ กรดอะเซติก เมทานอล เมทิลไมด์ และบางครั้งก็ใช้ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นักวิจัยพบว่าปฏิกิริยาการสร้างมีเทนส่วนใหญ่ประมาณ 70% จึงมาจากกรดอะเซติก ปฏิกิริยาที่สำคัญในขั้นตอนการสร้างมีเทน แสดงในตาราง 2.4

ตาราง 2.3 ชนิดของแบคทีเรียสร้างมีเทน และ สารอาหารที่ใช้ (Fenchel et al.,1995)

จีแนต	จำนวนสปีชี	สารอาหาร		
		H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> หรือ HCOOH	เมทานอล /เมทิลลามีน	กรดอะเซติก
<i>Methanobacterium</i>	12	+	-	-
<i>Methanobrevibacter</i>	3	+	-	-
<i>Methanococcus</i>	6	+	-	-
<i>Methanolobus</i>	3	-	+	-
<i>Methanosaeta</i> ( <i>Methanothrix</i> )	3-4	-	-	+
<i>Methanocorpusculum</i>	5	+	+	-
<i>Methanosarcina</i>	6	+	+	+

(ไม่รวม HCOOH)

ตาราง 2.4 ปฏิกิริยาที่สำคัญในขั้นตอนการสร้างมีเทน (Fenchel et al.,1995)

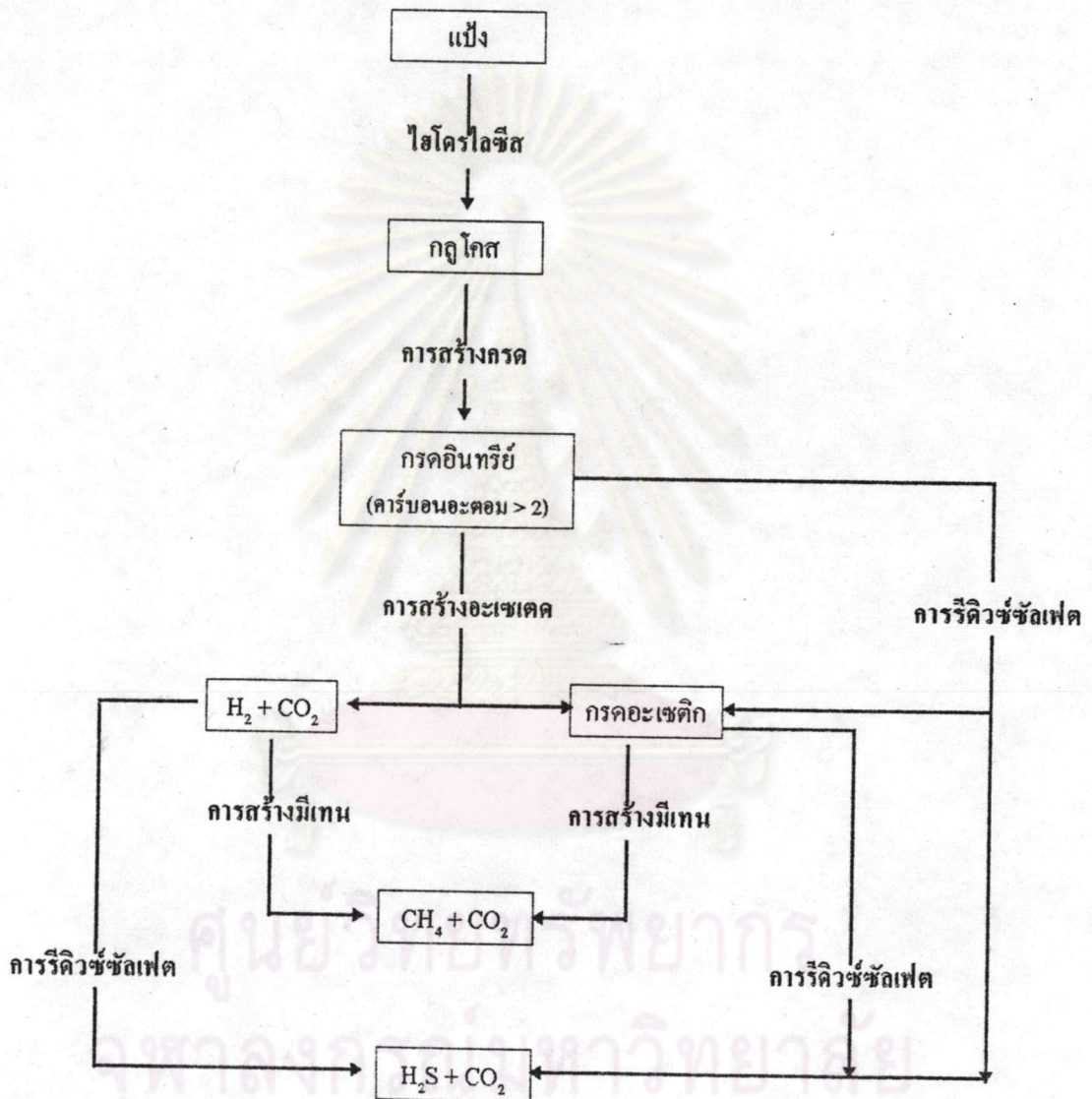
CO <sub>2</sub> + 4H <sub>2</sub>	→ CH <sub>4</sub> + 2H <sub>2</sub> O	ΔG <sup>0</sup> = -136 กิโลจูล/โมลก๊าซมีเทน
4HCOOH	→ CH <sub>4</sub> + 3CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	ΔG <sup>0</sup> = -130 กิโลจูล/โมลก๊าซมีเทน
4CH <sub>3</sub> OH	→ 3CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	ΔG <sup>0</sup> = -105 กิโลจูล/โมลก๊าซมีเทน
CH <sub>3</sub> COOH	→ CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub>	ΔG <sup>0</sup> = -31 กิโลจูล/โมลก๊าซมีเทน

## 2.1.2 แบคทีเรียอื่น ๆ ที่อาจพบในระบบไร้ออกซิเจน

### 2.1.2.1 แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria , SRB)

แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นแบคทีเรียไร้ออกซิเจนชนิดเค็ดขาด (Strictly Anaerobe) ต้องการสภาพไร้ออกซิเจนในการเติบโต แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะออกซิไดซ์ไฮโดรเจนโมเลกุลหรือสารประกอบอินทรีย์โดยใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน โดยเปลี่ยนซัลเฟตเป็นซัลไฟด์ ชั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนแทนขั้นตอนการสร้างมีเทนตามปกติ ดังนั้นจึงมักพบแบคทีเรียชนิดนี้ร่วมกับแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนในระบบไร้ออกซิเจนที่ใช้น้ำบาดน้ำเสียที่มีซัลเฟต ตัวอย่างขั้นตอนการย่อยสลายน้ำเสียที่มีซัลเฟตในระบบไร้ออกซิเจนแสดงในรูป 2.1 ทำให้เกิดการแย่งสารอาหารเนื่องจากทั้งแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถใช้กรดอะซิติกและไฮโดรเจนเป็นสารอาหารได้ ซึ่งแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมีแนวโน้มที่จะแย่งสารอาหารและเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน ตาราง 2.5 แสดงค่าทางเทอร์โมไดนามิกและค่าทางจลศาสตร์ จากค่า  $\Delta G^\circ$  จะเห็นว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมีความสามารถในการแย่งไฮโดรเจนได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน สำหรับกรดอะซิติกยังต้องพิจารณาปัจจัยภายนอกอื่น ๆ ที่มีผลต่อการแข่งขันระหว่างแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนอีก เช่น ความเข้มข้นของกรดอะซิติก ความเข้มข้นของซัลเฟต และค่าพีเอช จึงไม่สามารถทำนายได้ว่าสารอินทรีย์ในระบบถูกใช้โดยแบคทีเรียชนิดใดมากกว่า แต่ก็สามารถสรุปได้อย่างหนึ่งว่า การลดลงของซีโอดีในน้ำเสียจากปฏิกิริยารีดิวซ์ซัลเฟตมีอย่างน้อย 30% จากการออกซิไดซ์ไฮโดรเจน เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการไร้ออกซิเจนผ่านมาทางก๊าซไฮโดรเจนมีประมาณ 30% และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ยังช่วยรักษาระดับความดันพาร์เชียลไฮโดรเจนให้ต่ำเพื่อให้ปฏิกิริยาในขั้นตอนการสร้างอะเซเตตดำเนินต่อไปได้ (Visser A., 1994) ทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากระบบลดลง โดยเกิดซัลไฟด์ซึ่งมีพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนแทน

Alphenaar (1994) และ Visser A., Gao Y. และ Lettinga G. (1993) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตในระบบยูเอเอสบี พบว่าสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดส่วนใหญ่มาจากปฏิกิริยารีดิวซ์ซัลเฟต และการรวมตัวกันเป็นเม็ดของตะกอนจุลินทรีย์เกิดขึ้น ได้ดีจากการรวมตัวของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต เป็นผลมาจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมีความสามารถในการแย่งสารอาหาร คือ ก๊าซไฮโดรเจนและกรดอะซิติกได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน



รูป 2.1 ขั้นตอนการย่อยสลายแป้งแบบไร้ออกซิเจน (Visser et al, 1994)

ตาราง 2.5 ค่าทางเทอร์โมไดนามิก และค่าทางจลศาสตร์ของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต และแบคทีเรียสร้างมีเทน ในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนและกรดอะเซติก (Alphenaar, 1994)

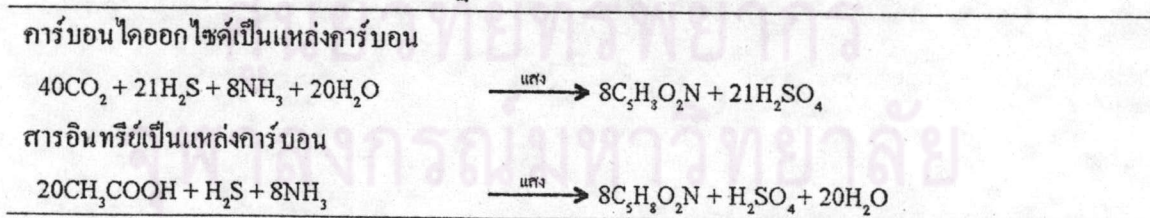
ค่าทางเทอร์โมไดนามิก		$\Delta G'$ (กิโลจูล/โมล)			
<b>การใช้ไฮโดรเจน</b>					
$4H_2 + SO_4^{2-} + H^+ \longrightarrow$	$HS^- + 4H_2O$	-38			
$4H_2 + HCO_3^- + H^+ \longrightarrow$	$CH_4 + 3H_2O$	-32.7			
<b>การใช้กรดอะเซติก</b>					
$CH_3COO^- + SO_4^{2-} \longrightarrow$	$HS^- + 2HCO_3^-$	-39.5			
$CH_3COO^- + H_2O \longrightarrow$	$CH_4 + HCO_3^-$	-28.2			
ค่าทางจลศาสตร์ (ไฮโดรเจน)	$K_s$ ( $\mu M$ )	$\mu_m$ ( $d^{-1}$ )	Y ( $gVSS.mol^{-1}$ )	pH	T ( $^{\circ}C$ )
<b>แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต</b>					
<i>Desulfovibrio Vulgaris</i>		5.52	1.0-1.25	7.2	35
	4		1.1	7.0	30
<i>Desulfovibrio sp.</i>	3.3	1.37	0.85	6.7	37
<i>Desulfovibriogigas</i>		1.37	1.75-2.0	7.0	35
<b>แบคทีเรียสร้างมีเทน</b>					
<i>Methanobacter formicicum</i>	2	2.0	0.8		
<i>Methanobacter Hungatei</i>	6.6	1.2	0.2	6.7	37
<i>Methanobacterium sp.</i>	14		0.6	7.0	30
ค่าทางจลศาสตร์ (กรดอะเซติก)	$K_s$ ( $mM$ )	$\mu_m$ ( $d^{-1}$ )	Y ( $gVSS.mol^{-1}$ )	pH	T ( $^{\circ}C$ )
<b>แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต</b>					
<i>Desulfobacter Postagei</i>	0.23	1.03	2.56		28
<i>Desulfotomaculum acetoxidans</i>		0.55	5.52	7.1	36
<i>Desulfonema limicola</i>		0.55		7.6	30
mixed culture	0.1	0.51	3.72		31
<b>แบคทีเรียสร้างมีเทน</b>					
<i>Methanotrix soehgenii</i>	0.44	0.11	1.47	7.6	37
<i>Methanosarcina Barkeri</i>	4.02	0.21			37
mixed culture	6.39	0.24	3.24		30

### 2.2.2.2 แบคทีเรียซัลเฟอร์สีม่วง (Purple Sulfur Bacteria)

ในระบบไร้ออกซิเจนยังสามารถพบแบคทีเรียสังเคราะห์แสงแต่ไม่ให้ออกซิเจน เป็นแบคทีเรียไร้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาดมีแบคทีเรียโอคโลโรฟิลล์ และ รงควัตถุคาโรทีนอยด์ซึ่งช่วย จับพลังงานแสงและส่งให้แบคทีเรียโอคโลโรฟิลล์ แบคทีเรียซัลเฟอร์สีม่วงอยู่ในตระกูล โครมาติอาซี (Chromatiaceae) พบในสภาวะที่มีแสงและไฮโดรเจนซัลไฟด์ สามารถใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือซัลเฟอร์เป็นแหล่งให้อิเล็กตรอน เพื่อใช้สังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นอาหาร โดยใช้แสงเป็นแหล่งพลังงาน ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกเปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์สะสมอยู่ในเซลล์ ของแบคทีเรีย นอกจากคาร์บอนไดออกไซด์แล้วแบคทีเรียชนิดนี้บางตัวยังสามารถใช้สารประกอบ อินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยๆบางตัวเป็นแหล่งคาร์บอนได้อีกด้วย ตาราง 2.6 แสดงตัวอย่าง ปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มนี้ คือ แสง ออกซิเจน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ แบคทีเรียชนิดนี้มีสีม่วงจนถึงสีน้ำตาลหรือแดงจาก รงควัตถุและแบคทีเรียโอคโลโรฟิลล์ ภายในเซลล์

แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียซัลเฟอร์สีม่วงมีความเกี่ยวข้องกัน โดยที่ แบคทีเรียซัลเฟอร์สีม่วงจะใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ได้จากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ไปสังเคราะห์แสง สร้างอาหาร และไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์สามารถถูกออกซิไดซ์ต่อกลายเป็น ซัลเฟตอีกครั้ง

ตาราง 2.6 ปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์



### 2.2.2.3 แบคทีเรียสีม่วงชนิดไม่ใช้ซัลเฟอร์ (Purple Nonsulfur Bacteria)

แบคทีเรียสีม่วงชนิดไม่ใช้ซัลเฟอร์ เป็นแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงแต่ไม่ให้ก๊าซ ออกซิเจนอีกชนิดหนึ่ง อยู่ในตระกูลโรโดสปิลลาซี (Rhodospillaceae) แบคทีเรียชนิดนี้ใช้ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน และสามารถใช้อาหารประกอบอินทรีย์เป็นทั้งแหล่งให้ คาร์บอนและแหล่งให้อิเล็กตรอน แต่ไม่สามารถใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเล็กตรอนได้ แต่ ในปัจจุบันพบว่า แบคทีเรียสีม่วงชนิดไม่ใช้ซัลเฟอร์สามารถใช้ซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นต่ำเป็นตัวให้อิเล็กตรอนได้ แต่ซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นสูงจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดนี้ ตาราง 2.7 แสดงแหล่ง คาร์บอนและแหล่งให้อิเล็กตรอนของแบคทีเรียแต่ละชนิด แบคทีเรียสีม่วงชนิดไม่ใช้ซัลเฟอร์ทน ต่อออกซิเจนได้ดีกว่าแบคทีเรียซัลเฟอร์สีม่วง บางชนิดสามารถเจริญแบบใช้ออกซิเจนได้ในที่มีด โดยได้พลังงานจากการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ มีสีน้ำตาลอมส้มจนถึงสีม่วงแดง มีการใช้แบคทีเรีย สีม่วงชนิดไม่ใช้ซัลเฟอร์ในการบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีถึง 85% (Somiya et al, 1990)

ชนิดของแบคทีเรียซัลเฟอร์สีม่วงและแบคทีเรียสีม่วงชนิดไม่ใช้ซัลเฟอร์แสดงไว้ใน ตาราง 2.8

ตาราง 2.7 แหล่งคาร์บอนและแหล่งให้อิเล็กตรอนของแบคทีเรียซัลเฟอร์สีม่วง และ แบคทีเรียสี ม่วงชนิดไม่ใช้ซัลเฟอร์

	แหล่งคาร์บอน	แหล่งให้อิเล็กตรอน	แหล่งให้พลังงาน
แบคทีเรียซัลเฟอร์สีม่วง	CO <sub>2</sub> / สารอินทรีย์	H <sub>2</sub> S, S	แสง
แบคทีเรียสีม่วงชนิดไม่ใช้ซัลเฟอร์	สารอินทรีย์ CO <sub>2</sub>	สารอินทรีย์ H <sub>2</sub>	แสง



ตาราง 2.8 ชนิดของแบคทีเรียซัลเฟอร์สีม่วง และแบคทีเรียสีม่วงชนิดไม่ใช่ซัลเฟอร์  
(Zehnder , 1988)

---

**Purple Sulfur Bacteria (*Chromatiaceae and Ectothiorhodospiraceae*)**

*Amoebobacter*  
*Chromatium*  
*Lamprocystis*  
*Lamporbacter*  
*Thiocapsa*  
*Thiocystis*  
*Thiodictyon*  
*Thiospirillum*  
*Thiopedia*  
*Ectothiorhodospira*

**Purple Nonsulfur Bacteria (*Rhodospirillaceae*)**

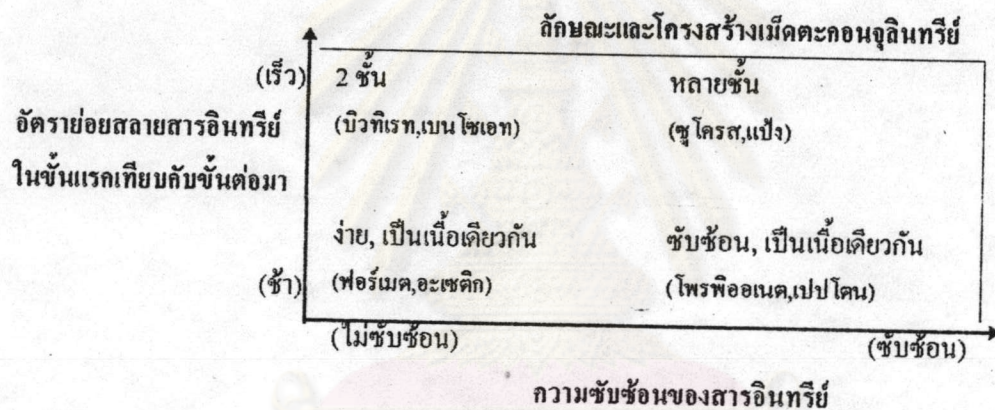
*Rhodocyclus*  
*Rhodomicrobium*  
*Rhodopseudomonas*  
*Rhodobacter*  
*Rhodopila*  
*Rhodospirillum*

---

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 2.2.3 โครงสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของน้ำเสียประเภทแป้งในระบบยูเอสบี

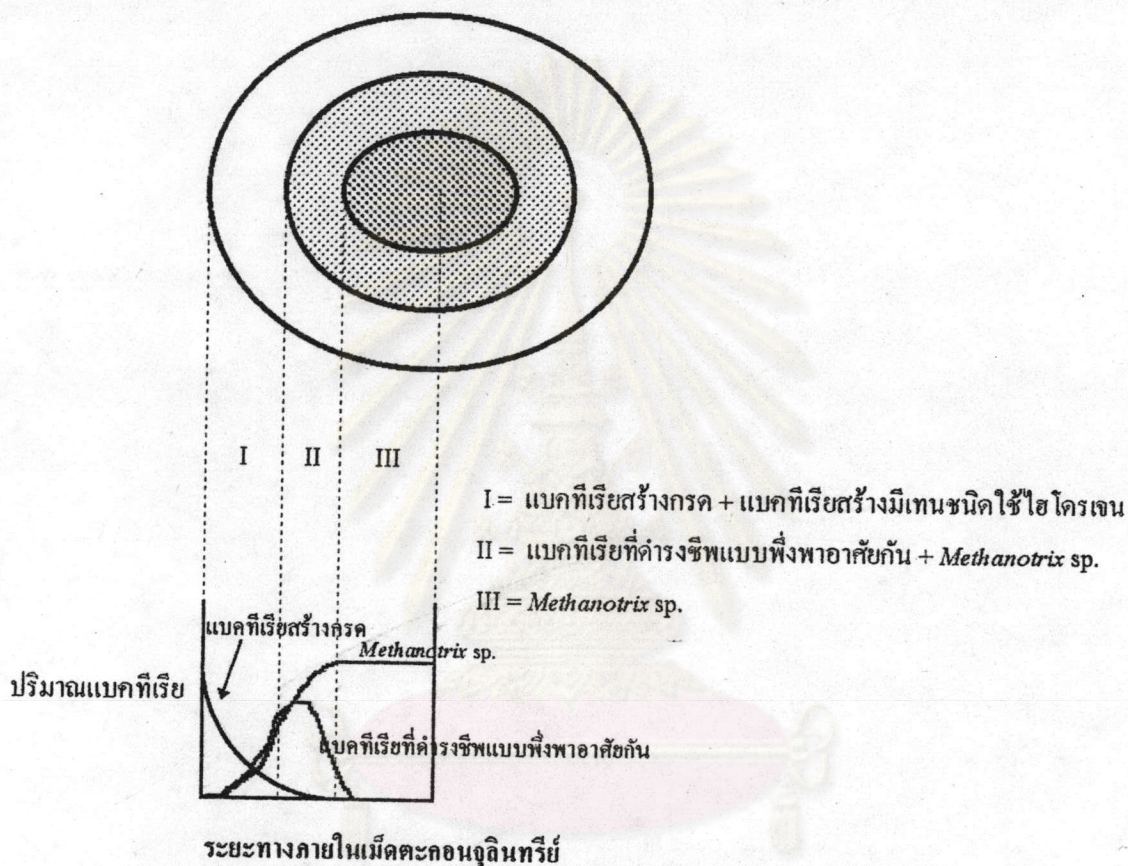
โครงสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีหลายรูปแบบ ขึ้นกับชนิดของน้ำเสียและอัตราการย่อยสลายในขั้นแรก คือ ขั้นตอนไฮโดรไลซิสและขั้นตอนการสร้างกรด เทียบกับ อัตราการย่อยสลายในขั้นต่อมา คือ ขั้นตอนการสร้างอะเซเตตและขั้นตอนการสร้างมีเทน (Fang et.al, 1995) โดยน้ำเสียที่ซับซ้อนและย่อยสลายเร็วในขั้นแรกจะมีโครงสร้างหลายชั้น น้ำเสียซับซ้อนแต่ย่อยสลายช้าในขั้นแรก เม็ดจุลินทรีย์จะมีลักษณะซับซ้อนแต่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งเม็ด น้ำเสียไม่ซับซ้อนและย่อยสลายเร็วในขั้นแรกจะมีโครงสร้าง 2 ชั้น ในขณะที่น้ำเสียไม่ซับซ้อนแต่ย่อยสลายช้าในขั้นแรกจะมีโครงสร้างง่ายและเป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในรูป 2.2



รูป 2.2 โครงสร้างและลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อน และอัตราการย่อยสลายแตกต่างกัน (Fang et.al, 1995)

แป้งเป็นสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน แต่ย่อยสลายได้ง่าย ขั้นตอนการสร้างกรดเกิดได้เร็ว จากการศึกษาของ Fang H.H.P., Chui H.K. และ Li Y.Y. (1994) พบว่า โครงสร้างตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตมี 3 ชั้น ดังแสดงในรูป 2.3 ชั้นนอกเป็นพวกแบคทีเรียสร้างกรดทำหน้าที่ในขั้นตอนไฮโดรไลซิส และย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นกรดไขมันระเหย ส่วนชั้นกลางเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ดำรงชีพแบบพึ่งพาอาศัยกัน (Syntrophic microcolonies) ประกอบด้วยแบคทีเรียสร้างกรดซึ่งให้ก๊าซไฮโดรเจน และ แบคทีเรียสร้างมีเทนชนิดที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นอาหาร ในขั้นนี้กรดไขมันระเหยจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะเซติก ส่วนชั้นในสุดที่เป็นแกนกลางประกอบด้วยแบคทีเรียสร้างมีเทน *Methanotrix* ซึ่งใช้กรดอะเซติกเป็นสารอาหารและผลิตก๊าซมีเทน พบ *Methanotrix* กระจายแทรกตัวปนอยู่ทั่วไปทั้งชั้นนอกและชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

โครงสร้างแบบเดียวกันนี้ยังพบในการศึกษาของ Macleod (1990) และ Guiot (1992) ซึ่งศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายซูโครสและกลูโคส ตามลำดับ



กราฟแสดงปริมาณแบคทีเรียชนิดต่างๆภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

รูป 2.3 โครงสร้างและชนิดแบคทีเรียที่เป็นองค์ประกอบของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต (Fang H.H.P., Chui H.K. และ Li Y.Y. ,1994)

## 2.2 ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด

### 2.2.1 ลักษณะทั่วไปของถังสร้างกรด

ระบบไร้ออกซิเจนมีขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการสร้างกรด และขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนมีความต้องการแตกต่างกันในเรื่อง สภาพทางกายภาพ อัตราการเจริญเติบโต และความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงต่างกัน แบคทีเรียสร้างกรดเป็นชนิดกึ่งไร้ออกซิเจน เจริญเติบโตเร็ว ทำให้เจริญเติบโตอยู่ในลักษณะฟล็อกได้ง่าย ทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียสร้างมีเทน เป็นชนิดไร้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาด และเจริญเติบโตช้า ทำให้สามารถเจริญเติบโตอยู่ในลักษณะเม็ดตะกอนที่แน่นได้ ค่าจลศาสตร์ต่างๆของแบคทีเรียแสดงในตาราง 2.9 ในทางทฤษฎีการแยกระบบออกเป็น 2 ขั้นตอน จะทำให้ระบบแต่ละขั้นตอนมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากสามารถรักษาสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแต่ละชนิดได้มากที่สุด

ตาราง 2.9 ค่าจลศาสตร์ต่างๆของแบคทีเรีย Mesophillic (Thaveesri, 1994)

แบคทีเรีย	สารอาหาร	q (gCOD/gVSS.d)	$K_s$ (mg COD/l)	$\mu_{max}$ (d <sup>-1</sup> )	b (d <sup>-1</sup> )	Y (gVSS/gCOD)
Acidogenic	คาร์โบไฮเดรต	1.33-70.6	22.5-630	7.2-30	6.1	0.14-0.17
Acetogenic	C <sub>2</sub> , C <sub>4</sub> , C <sub>3</sub>	6.2-17.1	12-500	0.13-1.2	0.01-0.027	0.025-0.047
Methanogenic	กรดไขมัน					
	กรดอะเซติก	2.6-11.6	11-421	0.08-0.7	0.004-0.037	0.01-0.054
Methanosaeta sohngeni	H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	1.92-90	4.8x10 <sup>-5</sup> -0.6	0.05-4.07	0.088	0.017-0.054
	กรดอะเซติก	3.7-8.0	30-45	0.11-0.16	-	0.02-0.03
Methanosarcina barkeri	กรดอะเซติก	8.8-15	320	0.44-0.60	-	0.04-0.05

Pohland และ Ghost (1971 อ้างถึงใน Fang H.H.P., 1995) ได้แนะนำให้แยกระบบไร้ออกซิเจนออกเป็น 2 ถึงปฏิกิริยา ถึงใบแรกสำหรับขั้นตอนไฮโดรไลซิส และ ขั้นตอนการสร้างกรด ขั้นตอนทั้งสองนี้ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ เนื่องจากแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องเป็นตัวเดียวกัน ส่วนถึงใบที่ 2 สำหรับขั้นตอนการสร้างอะเซต และ ขั้นตอนการสร้างมีเทน เพราะแบคทีเรียสร้างกรดอะเซตต้องอาศัยแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ไร้ออกซิเจนเป็นสารอาหาร ช่วยรักษาความดันพาร์เชียลไฮโดรเจนให้ต่ำเพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้ และการแยกถึงออกจากกันอย่างสมบูรณ์ไม่มีความจำเป็น การควบคุมระบบทำได้ยาก (Lettinga et.al, 1991)

### 2.2.2 ข้อดีและความจำเป็นในการมีถังสร้างกรด

ในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน การมีถังสร้างกรดมีข้อได้เปรียบ เหนือกว่าระบบที่ไม่มีถังสร้างกรดหลายประการ

ถังสร้างกรดป้องกันถังสร้างมีเทนจากสภาวะที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน เช่น การเพิ่มภาระของระบบอย่างกะทันหัน การมีสารพิษเข้าสู่ระบบ หรือจากสภาวะที่แปรปรวนต่างๆ (Ghosh et.al, 1975 ; Bull et.al, 1984) ทั้งนี้เป็นเพราะแบคทีเรียสร้างกรดสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า Malasopina และคณะ(1996) พบว่า ถังสร้างกรดช่วยให้ค่าพีเอชของระบบคงที่ เพิ่มเสถียรภาพให้ระบบในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเนยแข็ง ขณะที่ Shin และคณะ(1992) พบว่าถังสร้างกรดช่วยให้การบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูงมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยถังสร้างกรดสามารถลดปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียจากโรงกลั่นเหล้าได้ถึง 35-65% การลดลงของปริมาณซัลเฟตในถังสร้างกรด คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการที่ซัลเฟตสามารถหลุดออกจากถังสร้างกรดได้ ในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรดประมาณ 6.5 Lettinga และคณะ(1991) กล่าวว่าถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแป้งมันฝรั่ง ใช้เพื่อกำจัดซัลไฟด์และโปรตีนในน้ำเสีย ซึ่งซัลไฟด์เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ ส่วนโปรตีนทำให้เกิดการลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์ พีรพงษ์ ทิพยาทร(2530) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตนมถั่วเหลืองและน้ำอัดลมด้วยระบบยูเอเอสบี พบว่าการใช้ถังสร้างกรดช่วยลดปัญหาจากน้ำเสียที่ค่อนข้างเป็นพิษเนื่องจากยาม่าเชื้อและน้ำยาทำความสะอาด

การมีถังสร้างกรดทำให้ระบบสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นได้ ซึ่งเป็นผลมาจาก โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่เป็นอันตรายต่อถังสร้างมีเทนน้อยลง อีกทั้งน้ำเสียยังถูกย่อยให้

เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย เช่น พวกรดไขมันระเหยโมเลกุลเล็ก ซึ่งสามารถย่อยสลายต่อได้  
อย่างรวดเร็วในถังสร้างมีเทน (Cohen et.al, 1982 ; Sutton et.al, 1983 ; Bull et.al, 1984 ; Aoki  
et.al, 1991 ; Stadlbauer et.al, 1994)

ถังสร้างกรดช่วยป้องกันการเจริญเติบโตที่มากเกินไปของแบคทีเรียสร้างกรด เป็นสาเหตุ  
ให้เกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวของระบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Bulking) ในถังสร้างมีเทน เนื่องจาก  
จากแบคทีเรียสร้างกรดสามารถเจริญเติบโตได้เร็วกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน และผลิตสารโพลีเมอร์  
(Extracellular Polymer) ออกมาจำนวนมาก (Yoda et.al, 1989) จากการศึกษาพบว่าถังสร้างกรด  
จำเป็นสำหรับระบบที่ภาระสูงๆ เพื่อป้องกันการเกิดการหลุดออกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ เนื่องจาก  
จากมีแบคทีเรียสร้างกรดแบบเส้นใยจำนวนมากเกิดขึ้นในระบบ (Ohtsuki et.al, 1992 ; Alphenaar,  
1994)

นอกจากนี้ ถังสร้างกรดยังช่วยป้องกันผลเสีย อันเนื่องมาจากอนุภาคแขวนลอยเข้าไปใน  
ระบบ ซึ่ง Lettinga และคณะ(1991) ได้กล่าวไว้ว่า ในระบบยูเอเอสบีการมีอนุภาคแขวนลอยปริมาณ  
สูงในน้ำเสียมีผลต่อการทำงานของระบบ อนุภาคแขวนลอยจะติดผิวแบคทีเรียที่เป็นฟลอคขัดขวาง  
การรวมตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้การเจริญเติบโตของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ช้า และการรวม  
ตัวของเม็ดตะกอนไม่แข็งแรง กรณีอนุภาคแขวนลอยย่อยสลายยากและสะสมในชั้นตะกอน  
จุลินทรีย์ ทำให้การทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนโดยปริมาตรลดลง คือ ปริมาณตะกอนในชั้น  
ตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเนื่องจากอนุภาคแขวนลอยที่สะสม ถ้าอนุภาคแขวนลอยติดอยู่ในชั้น  
ตะกอนจุลินทรีย์เป็นเวลานาน อาจเกิดการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ กรณีที่อนุภาค  
แขวนลอยเป็นพวกไขมันจะทำให้เกิดการลอยตัวและหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์เช่นกัน  
ในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีถังสร้างกรด การย่อยสลายอนุภาคแขวนลอยจะเกิดขึ้นในถังสร้างกรด  
ก่อน เพื่อป้องกันอนุภาคแขวนลอยสะสมในถังสร้างมีเทน (Ghosh et.al, 1975 ; Lettinga et.al, 1986  
; Sayed et.al, 1993) กล่าวคือ ถังสร้างกรดช่วยเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำให้กลายเป็นสาร  
อินทรีย์ละลายน้ำและย่อยสลายง่าย Endo G.และ Tohya Y. (1985) พบว่า ถังสร้างกรดช่วยแก้  
ปัญหาการเกิดชั้นตะกอนลอยในการบำบัดน้ำเสียโสโครก ป้องกันการหลุดออกของเม็ดตะกอน  
จุลินทรีย์ในระบบ

ถังสร้างกรดยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพอื่นๆ ทำให้ประหยัด เนื่องจากถังสร้างกรดยจะเปลี่ยนน้ำเสียที่ซับซ้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เป็นกรดไขมันระเหยอย่างง่ายสำหรับเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์ในระบบ เช่น ระบบ Biological Nutrient Removal และ ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน (Alexion et al., 1994)

### 2.2.3 ความสำคัญของถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียประเภทแป้ง

แป้งเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อน และมีขั้นตอนไฮโดรไลซิสเป็นขั้นตอนจำกัดในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Pavlostathis and Giraldo-Gomez, 1991) น้ำเสียประเภทแป้งมีลักษณะเป็นอนุภาคแขวนลอยซึ่งอนุภาคแขวนลอยมีผลเสียต่อระบบยูเอเอสบีตามที่ Lettinga และคณะ(1991) ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.2.2 และอนุภาคแป้งนี้ต้องอาศัยระยะเวลาในขั้นตอนไฮโดรไลซิสนาน เมื่ออนุภาคแป้งเข้าสู่ระบบยูเอเอสบี แบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ยังไม่สามารถใช้อุณหภูมิที่ยังไม่ย่อยสลายผ่านขั้นตอนไฮโดรไลซิส เนื่องจากแป้งไม่สามารถแพร่เข้าสู่เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ อนุภาคแป้งเหล่านั้นจะตกตะกอนและดูดซับผิวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขัดขวางการรวมเป็นเม็ด (Lettinga et.al, 1980) และขัดขวางการส่งถ่ายของสารอาหารเข้าไปในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์เสถียรภาพและประสิทธิภาพการทำงานลดลง โดย Koster I.W. และ Lettinga G.(1985) พบอนุภาคแป้งมันฝรั่งสะสมในชั้นตะกอนของระบบยูเอเอสบี ที่อุณหภูมิ 14°C และ 20°C ทำให้ระบบรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ต่ำ คือ 3 และ 4-5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ

Endo และ Tohya (1988) กล่าวว่า การสะสมตัวของอนุภาคแป้งในระบบยูเอเอสบียังทำให้แบคทีเรียสร้างกรดที่มีลักษณะเป็นเส้นใยเจริญเติบโตในระบบ ส่งผลให้เกิดการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์และเกิดการสะสมของกรดไขมันระเหย เกิดผลเสียต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนทำให้ระบบล้มเหลวในที่สุด โดยเริ่มพบแบคทีเรียสร้างกรดชนิดเส้นใยฟูในระบบที่น้ำเสียแป้งเข้มข้นมากกว่า 2000 มก./ล.

มีผู้เสนอแนะวิธีป้องกันการเกิดปัญหาเหล่านี้ไว้ เช่น Lettinga และคณะ (1980) แนะนำให้มีถังสร้างกรวดเพื่อข่อยอนุภาคแขวนลอยให้ละลายน้ำหรือเป็นกรวดก่อนเข้าระบบยูเอเอสบี การทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นตะกอนจากการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ หรือจากก๊าซที่เกิดขึ้นจะช่วยไล่อนุภาคแขวนลอยที่สะสมในชั้นตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบได้ Zhang และ Noike (1994) พบว่า เวลาที่กักน้ำเสียแป่งในถังสร้างกรวดที่ 12 ชั่วโมง เป็นค่าที่เหมาะสม เนื่องจากมีปริมาณกรวดอะเซติกสูง ขณะที่กรวดโพรฟิออนิกและกรวดบิวทริกมีค่าต่ำ

ธาดา นัครธานี (2530) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังด้วยระบบหมักไร้ออกซิเจนแบบ 2 ขั้นตอน เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานกับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์ คือ ที่ระยะเวลาจำกัด 1 วัน (21 - 22 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน) ส่วนขั้นตอนการหมักมีเทน ระยะเวลาจำกัดที่เหมาะสม 5 วัน (3.06 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน) คิดเป็นเวลากำจัดรวม 6 วัน (3.63 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน) ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี 92.1% ส่วนระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว ใช้เวลากำจัดสูงถึง 13 วัน (1.64 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน) ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี 95.5%

แต่บางการศึกษาก็ไม่พบผลเสียของอนุภาคแป้งต่อระบบยูเอเอสบีเหมือนกับรายงานที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยผู้ศึกษาได้อธิบายไว้ว่า เป็นเพราะวิธีการเริ่มต้นเดินระบบ ที่จะปรับเชื้อจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับน้ำเสียชนิดนั้นทำได้ดีมีมากน้อยเพียงใด เช่น Fang H.H.P.และคณะ (1994, 1995) และ Kwang T.และคณะ (1996) ศึกษาพบว่า อนุภาคแป้งข้าวโพด ไม่มีผลเสียต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี และไม่พบการสะสมของอนุภาคแป้งในชั้นตะกอนของระบบ ทั้งนี้เป็นเพราะเทคนิคการเริ่มต้นเดินระบบค่อยๆปรับให้ตะกอนจุลินทรีย์คุ้นเคยกับน้ำเสีย โดยค่อยๆแทนที่กลูโคสด้วยแป้งจนระบบสามารถปรับตัวรับแป้งได้ทั้งหมด โดย Kwang T.ใช้เวลานานถึง 7 เดือน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Lwin N.N. (1996) ไม่พบผลของอนุภาคแป้งมันสำปะหลังต่อระบบยูเอเอสบีเช่นกัน เนื่องจากจุลินทรีย์คุ้นเคยกับน้ำเสียจากเทคนิคการเริ่มต้นเดินระบบ โดยป้อนระบบด้วยน้ำเสียที่แยกอนุภาคแป้งส่วนที่ไม่ละลายน้ำออกด้วยเครื่องเซนติฟิวซ์ในระยะเริ่มต้นเดินระบบ

ตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียประเภทแป้งด้วยระบบไร้ออกซิเจนแสดงในตาราง 2.10



ตาราง 2.10 ตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียประเภทแป้งด้วยระบบไร้ออกซิเจน

ชนิด	ระบบ	การบรรทุกสารอินทรีย์ กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	อุณหภูมิ °ซ	ประสิทธิภาพ %	อ้างอิง
แป้งมันฝรั่ง	UASB	25	30	-	Lettinga (1980)
แป้งข้าวโพด	UASB	90	37	95.3	Kwong (1996)
แป้งข้าวโพด	Anaerobic Upflow Sludge Blanket Filter	40	37	94	Fang (1995)
แป้งมันสำปะหลัง	UASB	20-30	30-32	80	Lwin (1996)
	Anaerobic Digestion	3.06	37	92	ธาดา ฉัตรธานี (2530)
แป้งมันฝรั่ง	UASB	3	14	-	Koster (1985)
		4-5	20	-	
แป้งข้าวโพด	Hybrid	10	37	-	Fang (1994)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.2.4 เกณฑ์การออกแบบถังสร้างกรด

Lettinga และ Hulshoff (1991) แนะนำให้ใช้ถังกวนผสมอย่างสมบูรณ์เป็นถังสร้างกรด และถังพักน้ำเสีย (Balancing Tank) ที่มีอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถดัดแปลงนำมาใช้เป็นถังสร้างกรดได้ Alexiou และคณะ (1991) แนะนำให้ใช้ถังสร้างกรดเป็นแบบง่ายที่สุดทั้งในด้านการออกแบบและการดำเนินการ เพื่อหลีกเลี่ยงการลงทุนและค่าดำเนินการที่สูง

### 2.2.4.1 อุณหภูมิและพีเอช

อุณหภูมิที่เหมาะสมของถังสร้างกรดขึ้นกับค่าพีเอชที่จะเลือกใช้ Zoetemeijer และคณะ (1982a, 1982b) กล่าวว่า อุณหภูมิของถังสร้างกรดควรอยู่ในช่วงมีโซฟิลิก หรือ เทอร์โมฟิลิก โดยที่ช่วงมีโซฟิลิกจะมีส่วนประกอบของกรดคงที่กว่า โดยส่วนประกอบของกรดจะขึ้นกับอุณหภูมิและอัตราส่วนการเจือจาง ค่าพีเอชที่เหมาะสมของถังควรอยู่ระหว่าง 5.8-6.2 ขณะที่ Cohen และคณะ (1980) กล่าวว่า ค่าพีเอชของถังสร้างมีเทนควรอยู่ระหว่าง 7.0-7.2 และอัตราการสร้างกรดจะลดลงอย่างรวดเร็วที่พีเอชต่ำกว่า 5 (Lettinga et.al, 1991)

### 2.2.4.2 ระยะเวลาพักน้ำ

Lettinga และ Hulshoff (1991) แนะนำว่าระยะเวลาพักน้ำในถังสร้างกรดควรอยู่ระหว่าง 6-24 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำเสีย โดยเลือกระยะเวลาการพักน้ำที่ทำให้เกิดการหมักกรด 20-40% การทำให้เกิดกรดโดยสมบูรณ์ไม่ใช่สิ่งจำเป็น ทำให้ต้องเสียเงินลงทุนและเสียค่าดำเนินการสูงขึ้น และยังเป็นผลเสียต่อระบบ เพราะอาจมีแบคทีเรียสร้างกรดจำนวนมากปนเข้าไปในถังสร้างมีเทนทำให้เกิดผลเสียต่อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และการทำงานของระบบได้

การเลือกเวลากักน้ำของถังสร้างกรด ขึ้นกับระยะเวลาที่ทำให้เกิดปริมาณกรดที่เหมาะสม คือไม่ก่อให้เกิดผลเสียกับระบบสร้างมีเทนในขั้นต่อไป โดยต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นมากแต่ปริมาณกรดที่ได้ไม่แตกต่างกันนักด้วย เช่น Alexiou และคณะ (1994) พบว่าเวลากักน้ำเสียในถังสร้างกรดจากการผลิตกาแฟ 24 ชั่วโมงจะเกิดกรด 50% ในขณะที่เวลากักน้ำ 6 ชั่วโมง จะเกิดกรด 40% การลดเวลากักน้ำส่งผลให้ขนาดถังสร้างกรดลดลง เป็นการประหยัดการ

ลงทุนทางหนึ่ง ดังนั้นการศึกษาระยะเวลากักน้ำที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียแต่ละชนิดเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบถังสร้างกรวดสำหรับการใช้งานจริงต่อไป

เกณฑ์การออกแบบถังสร้างกรวดไม่มีข้อกำหนดตายตัว ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบอาศัยจากการศึกษาที่ผ่านมา โดยขึ้นกับลักษณะและชนิดของน้ำเสียแต่ละประเภท ค่าพารามิเตอร์ของถังสร้างกรวดที่ใช้ในการศึกษาต่างๆ ที่ผ่านมาแสดงในตาราง 2.11

จากการศึกษาต่าง ๆ ที่ผ่านมาพบว่าเวลากักน้ำที่เหมาะสมส่วนใหญ่จะน้อยกว่า 12 ชั่วโมง (Alexiou et.al, 1994)

ตาราง 2.11 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบถังสร้างกรวดจากการศึกษาที่ผ่านมาสำหรับน้ำเสียประเภทต่างๆ ในระบบบำบัดไร้ออกซิเจน

ประเภทน้ำเสีย	พีเอช	อุณหภูมิ °ซ	เวลากักน้ำ ชั่วโมง	การเกิดกรวด	อ้างอิง
กฐ โกลส	6.0	37	-	-	Zoetemeyer (1982a,1982b)
	5.8	30	24	-	Alphenaar (1994)
น้ำตาล	4.8	30	3	-	Lettinga (1980)
แป้งมันสำปะหลัง	4.5-4.7	30-32	12	1200 mg/l	Lwin (1996)
	7	37	24	-	ธาดา ฉัตรธานี (1987)
กาแฟ	6.0	37	6	40-50%	Alexion (1994)
	4.5	45	3	-	Kozuchowska (1995)
กากน้ำตาล	4.0-5.0	35-37	4.7	60%	Yoda (1997)
	6	35	3.4	50%	Romli (1994)
น้ำเสียชุมชน	-	18	4	-	Sayed (1993)
เนยแข็ง	6.5	-	-	23-28%	Malaspina F. (1996)
	4.5	35	9.6	70%	Garcia P.A. (1991)
โรงเบียร์	5.9±0.3	32	7±2	20%	Stadlbauer (1994)
มูลหมู	-	36	4 วัน	-	Cseh T. (1984)
นมผง	5.0-5.5	35	12	85%	Anderson (1994)
แป้ง	6.2	35±2	12	67%	Zhang (1994)

### 2.3 ความสำคัญของการหมุนเวียนน้ำกลับในระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตรวมกันเป็นเม็ด ในการบำบัดน้ำเสีย การสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสีย จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อ ประสิทธิภาพและการทำงานของระบบ ในระบบยูเอเอสบีมีโอกาสที่จะเกิดการไหลลัดทางของ น้ำเสียอันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น การกระจายจุดน้ำเข้าไม่เพียงพอ ความเร็วน้ำเข้าระบบต่ำ หรือก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นต้น การหมุนเวียนน้ำกลับในระบบยูเอเอสบีช่วยเพิ่มการสัมผัสกันระหว่าง เม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสียให้เพียงพอ ซึ่งมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ (Lettinga, 1983) อีกทั้งยังช่วยเจือจางน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง หรือน้ำเสียที่เป็นพิษก่อนเข้าระบบ ทำให้ ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น Lettinga และคณะ (1991) แนะนำให้ใช้น้ำเข้ามีค่าซีโอดีในขณะเริ่ม เติบโตอยู่ระหว่าง 1000-5000 มก./ล. ส่วนน้ำเสียที่เข้มข้นสูงควรหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อเจือจาง น้ำเข้าระบบให้ค่าซีโอดีต่ำกว่า 15000 มก./ล. เพื่อลดปริมาณสภาพค่างที่ต้องเติมและเพิ่มการสัมผัส ระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสีย Fongsatitkul และคณะ (1995) ใช้การหมุนเวียนน้ำกลับ เพื่อฟื้นฟูระบบยูเอเอสบีที่ล้มเหลว เนื่องจากมีการสะสมในระบบจำนวนมากในการบำบัดน้ำเสีย ขุมชน

Kata M.T.(1994) ศึกษาการหมุนเวียนน้ำกลับในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำด้วยระบบ ยูเอเอสบี กล่าวว่า ในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ (ความเข้มข้นน้อยกว่า 1000 มก./ล.) ด้วย ระบบยูเอเอสบี ระบบจะมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากน้ำเสียความเข้มข้นต่ำจะให้ก๊าซน้อย ทำให้เกิด การสัมผัสกันระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำเสียไม่ดี ส่งผลให้อัตราการแพร่ของสารอาหารช้า กว่าอัตราการใช้สารอาหารในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้แบคทีเรียที่อยู่ชั้นนอกของเม็ดตะกอน จุลินทรีย์เท่านั้นที่จะเจริญเติบโต ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จึงใหญ่ขึ้นแต่มีโพรงอยู่ภายใน ส่งผลให้การทำงานของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่ำลง และเกิดการลอยออกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ เนื่องจากแรงลอยตัวจากก๊าซที่สะสมในโพรงอากาศนั้น การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำให้มี ประสิทธิภาพสูง ต้องอาศัยการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์และการสัมผัสกันอย่างทั่วถึง ระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำเสียโดยเกิดการผสมกันอย่างเพียงพอ จะทำให้สารอาหาร สามารถแพร่เข้าไปในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ ซึ่งจะทำให้ค่าคงที่การอ้อมตัว ( $K_s$ ) ของเม็ดตะกอน จุลินทรีย์มีค่าต่ำลง โดยอาศัยการเพิ่มความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีและเพิ่มภาระบรรทุก สารอินทรีย์ให้สูง การเพิ่มความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีทำได้โดยอาศัยการหมุนเวียนน้ำ กลับทำให้ความเร็วของการไหลขึ้นในถังเป็น 5-6 ม./ชม. ขณะที่ความเร็วที่ใช้ปกติเท่ากับ 0.5-1.5

ม./ชม. ความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีที่เหมาะสมต้องทำให้เกิดการผสมอย่างเพียงพอ และไม่มากเกินไปจนทำความเสียหายให้มีตะกอนจุลินทรีย์หรือพัดพาให้มีตะกอนจุลินทรีย์ ลอยออกจากระบบ มีการรายงานถึงผลของความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีที่มีต่อ ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเข้มข้นต่ำ ที่ 8°ซ พบว่า มีประสิทธิภาพ 75% ที่ความเร็วของการ ไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีสูงกว่า 5 ม./ชม. ขณะที่ความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบี 0.5 ม./ชม. ระบบมีประสิทธิภาพเพียง 50-60%

การเติมสภาพต่างในระบบยูเอเอสบี มักเป็นเรื่องจำเป็นทั้งนี้เพื่อรักษาระดับค่าพีเอชให้ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แบคทีเรียสร้างมีเทนใช้กรดไขมันระเหยภายในถัง ยูเอเอสบีทำให้พีเอชน้ำออกสูงขึ้น การหมุนเวียนน้ำกลับจึงเป็นการหมุนเวียนสภาพต่างในน้ำออก จากระบบมาใช้ ทำให้พีเอชน้ำเข้าระบบสูงขึ้น ช่วยลดสภาพต่างที่ต้องเติมให้แก่ระบบ (Ferguson et.al, 1984 ; Samssoon et.al, 1990 ; Romli et.al, 1994) หรือ ไม่ต้องอาศัยสภาพต่างจากภายนอกเลย (Shin et.al, 1992 ; Garcia et.al, 1991; Malaspina et al.,1996) Ferguson และคณะ (1995) พบว่า การไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Decarbonation) ออกจากน้ำที่จะหมุนเวียนกลับเข้าระบบ สามารถ ลดปริมาณสภาพต่างที่ต้องเติมให้กับระบบอันเนื่องมาจากกรดคาร์บอนิกได้ Nishimura S.และ Yoda M. (1996) ศึกษาการลดปริมาณต่างที่เติมในระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด พบว่า การไล่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำออกของถังสร้างกรดก่อนที่จะเข้าสู่ถังยูเอเอสบี สามารถลดปริมาณ ต่างที่เติมได้มากกว่า การไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำที่หมุนเวียนจากถังยูเอเอสบี

Romli และคณะ (1994) และ Samssoon และคณะ (1990) พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนการ เวียนกลับจนเวลากักน้ำในถังสร้างกรดสั้นเกินไป ทำให้มีส่วนที่ยังไม่ย่อยเข้าสู่ถังสร้างมีเทน ส่งผล ให้พีเอชลดลงเนื่องจากเกิดการย่อยให้เป็นกรดในถังสร้างมีเทน และการหมุนเวียนน้ำกลับในขณะ ที่เดินระบบที่ภาระสูงๆ จะส่งผลเสียต่อระบบเนื่องจากจะหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและซีโอดีที่ ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำออกกลับเข้ามาใหม่ เป็นการเพิ่มภาระให้ระบบอีก