

บทที่ 1

บทนำ

ในกระบวนการผลิตและสกัดแยกจิบเบอแรลลินออกจากน้ำหมักจะมีน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการดังกล่าว ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้จะมีค่า COD สูงมากและมีตัวทำละลายเอทิลแอลกอฮอล์อยู่ จากขั้นตอนการสกัดแยกจิบเบอแรลลิน ถ้าปล่อยน้ำเสียเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัดเสียก่อนจะมีผลทำให้เกิดปัญหามลภาวะต่อแหล่งน้ำอย่างรุนแรงได้ ดังนั้นจึงควรมีการบำบัดน้ำเสียเหล่านี้ก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ การพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านระบบการบำบัดน้ำเสียได้รับการพัฒนามากขึ้น โดยเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นระบบหนึ่งที่ใช้บำบัดน้ำเสียทางด้านชีวภาพเพื่อกำจัดหรือลดความสกปรกของน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ ได้รับความสนใจท่ามกลางสภาวะที่พลังงานมีอยู่อย่างจำกัด เนื่องจากเป็นระบบที่ต้องการพลังงานน้อย ไม่ต้องมีการเติมออกซิเจน และจุลินทรีย์ในระบบมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ จุลินทรีย์ในระบบเกิดขึ้นน้อย จึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบ และยังต้องการอาหารเสริมสร้างต่ำ และผลผลิตสุดท้ายได้ก๊าซมีเทนซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาโดยให้จุลินทรีย์รวมกันเป็นเม็ดโดยไม่ต้องมีสารตัวกลางให้แบคทีเรียยึดเกาะ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายลง การที่จุลินทรีย์รวมกันเป็นเม็ดทำให้น้ำหนักมาก สามารถรวมอยู่ในระบบได้นาน มีประสิทธิภาพสูง สามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ได้สูง และเมื่ออุณหภูมิสูงจุลินทรีย์มักมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมมากสำหรับประเทศในเขตร้อน เช่น ประเทศไทย

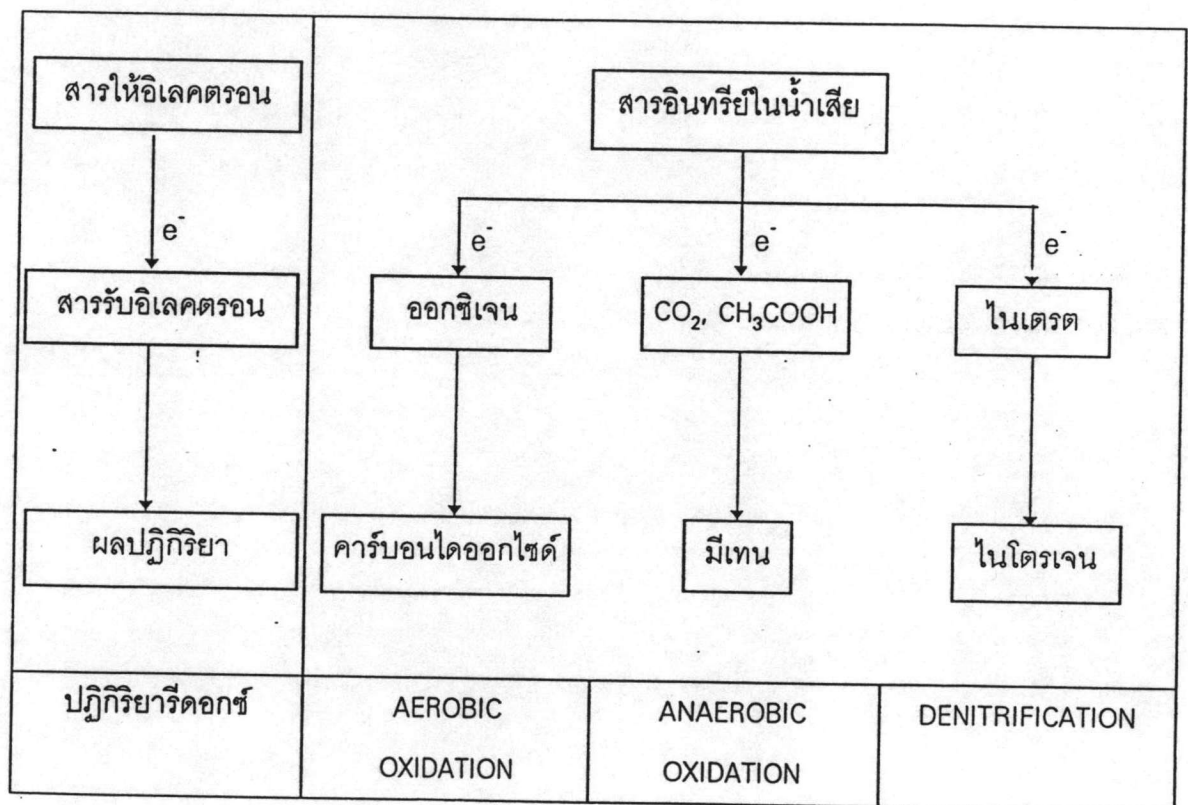
1.1 จุลชีววิทยา และชีวเคมี ของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชันรีดักชัน หรือ ปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งหมายถึง ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างสารให้อิเล็กตรอนและสารรับอิเล็กตรอน โดยสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเป็นสารให้อิเล็กตรอน และสารอื่นเป็นสารรับอิเล็กตรอน หากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบใช้ออกซิเจน ออกซิเจนจะเป็นสารรับ

อิเล็กตรอน แต่หากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบไร้ออกซิเจน สารรับอิเล็กตรอนก็จะเป็นสารอื่น เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ดังรูปที่ 1.1

กระบวนการไร้ออกซิเจนมีลักษณะเฉพาะตัวหลายประการ ที่แตกต่างจากกระบวนการแบบใช้ออกซิเจนอย่างเด่นชัดคือ

1. มีเสถียรภาพต่ำ
2. มีอัตราการสร้างตะกอนจุลินทรีย์ต่ำมาก



รูปที่ 1.1 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย (มันสิน,2536)

3. ไม่สามารถลดความเข้มข้นสารอินทรีย์ให้เหลือต่ำมาก
4. ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณต่ำ
5. ได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นก๊าซมีเทน
6. ไม่มีออกซิเจนอิสระเข้ามาเกี่ยวข้อง

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดปฏิกิริยา 4 ขั้นตอน คือ ไฮโดรไลซิส (hydrolysis), การสร้างกรด (acidogenesis), การสร้างแอสีเทต (acetogenesis) และการสร้างมีเทน (methanogenesis) ดังแสดงในรูปที่ 1.2

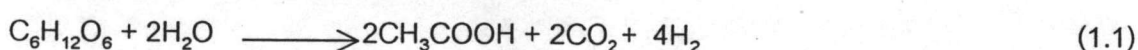
1.1.1 ไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

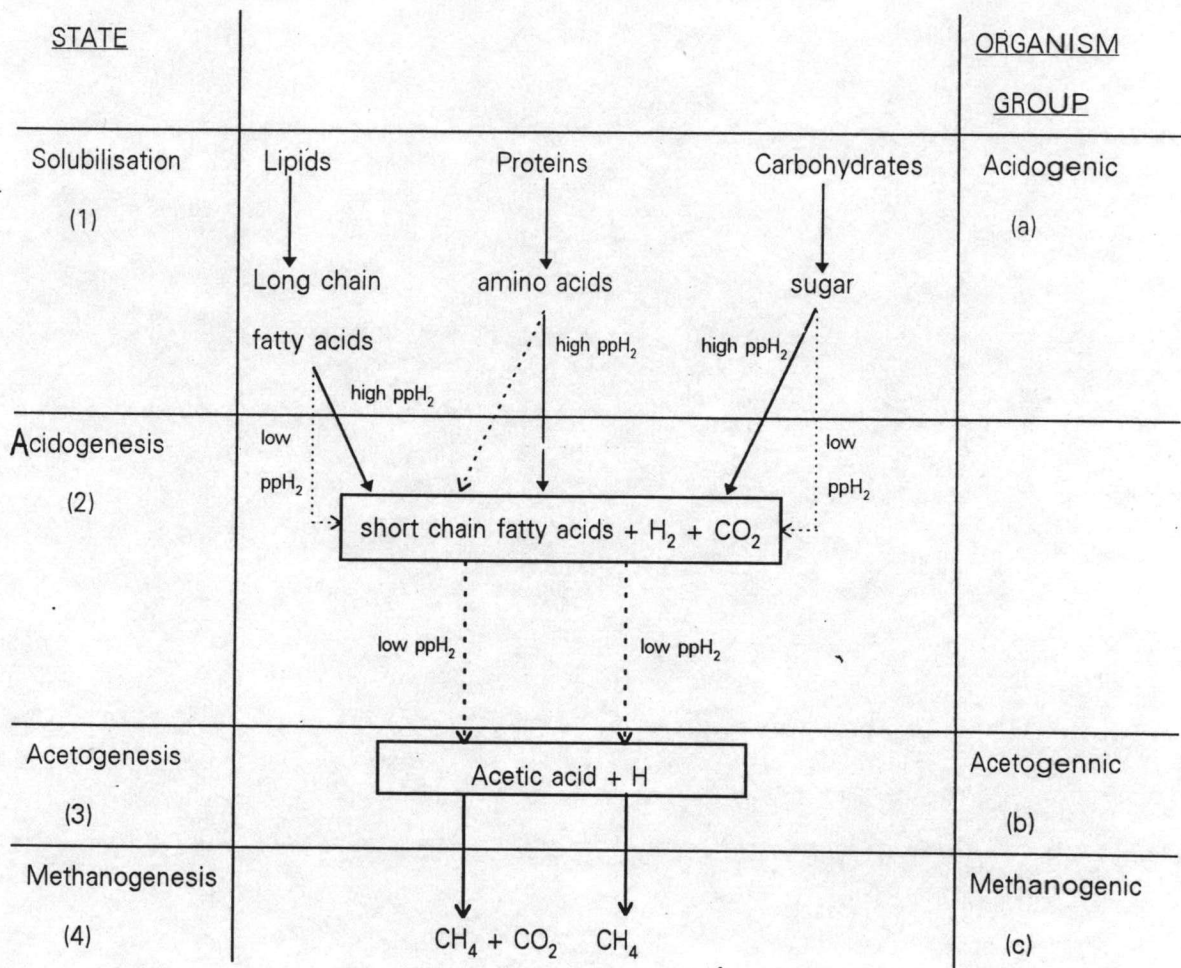
สารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน จะถูกย่อยสลายให้มีขนาดเล็กจนละลายน้ำได้ โดยเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ (extracellular enzyme) ของแบคทีเรียพวกสร้างกรด (acidogenic bacteria) ผลผลิตที่ได้คือ กลูโคส กรดไขมัน และกรดอะมิโน ซึ่งแบคทีเรียสามารถดูดซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ การย่อยสลายในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมา การทำงานของเอนไซม์จะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์แต่ละชนิด จะใช้เวลาต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.3

1.1.2 การสร้างกรด (acidogenesis)

ผลผลิตที่ได้จากการไฮโดรไลซิส ได้แก่ กลูโคส กรดไขมัน และกรดอะมิโน จะถูกดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์ เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของแบคทีเรียพวกสร้างกรด โดยผ่านกระบวนการหมัก ภายในเซลล์ และถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid) เช่น กรดแอสีติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดบิวทิริก (butyric acid) เป็นต้น รวมทั้งได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยจะได้สารชนิดใดขึ้นอยู่กับชนิดของสารจากขั้นตอนไฮโดรไลซิส และค่าความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจน (hydrogen partial pressure, p_{H_2}) ผลของปฏิกิริยาที่ได้จะแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.4 ตัวอย่างเช่น การย่อยสลายกลูโคสผ่านกระบวนการ Embden - Meyerhof pathway ภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ จะได้ผลผลิตคือ กรดแอสีติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ้าภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง จะได้ผลผลิตคือ กรดแอสีติก กรดบิวทิริก กรดโพรพิโอนิก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้

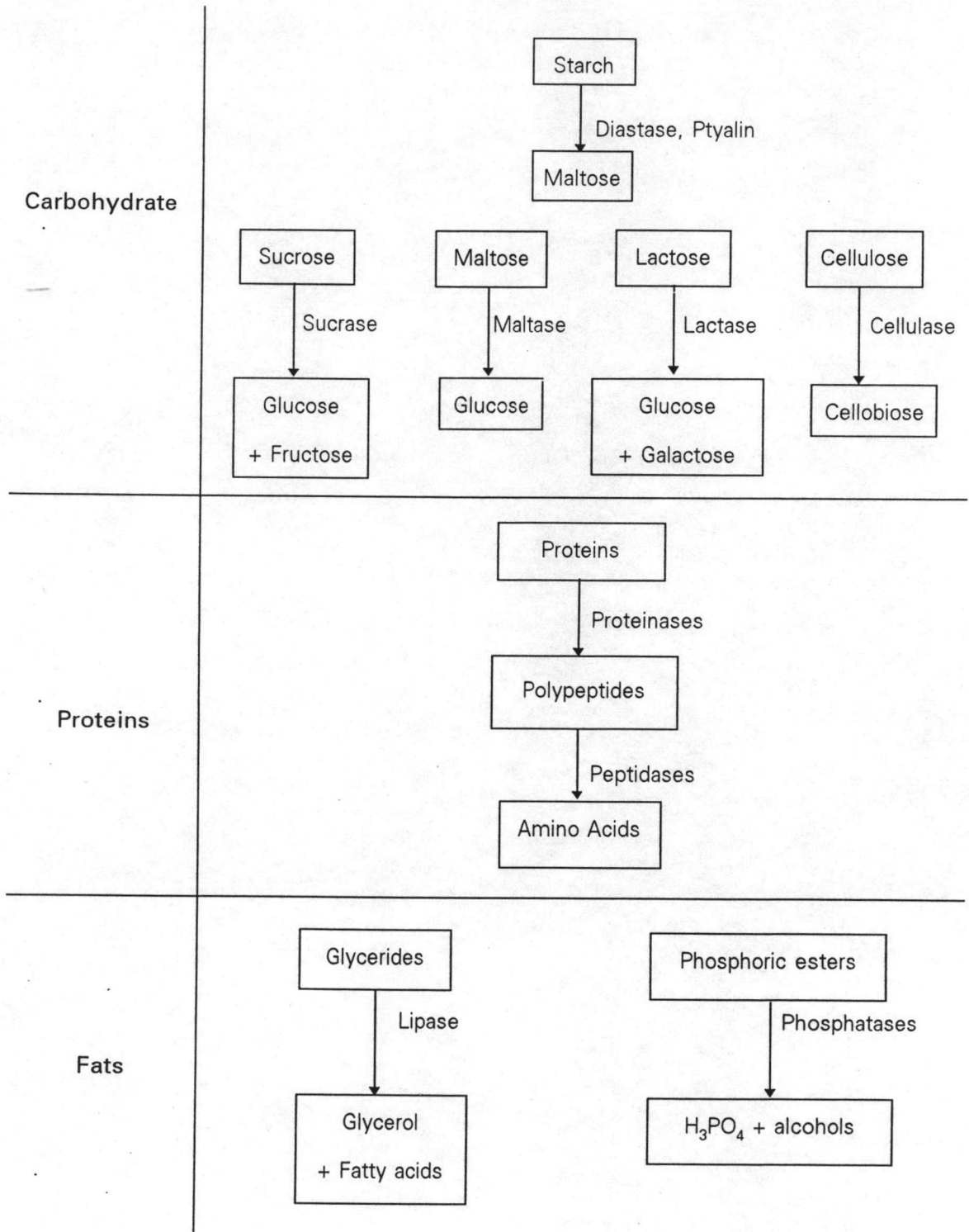
สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่ค่าต่ำ





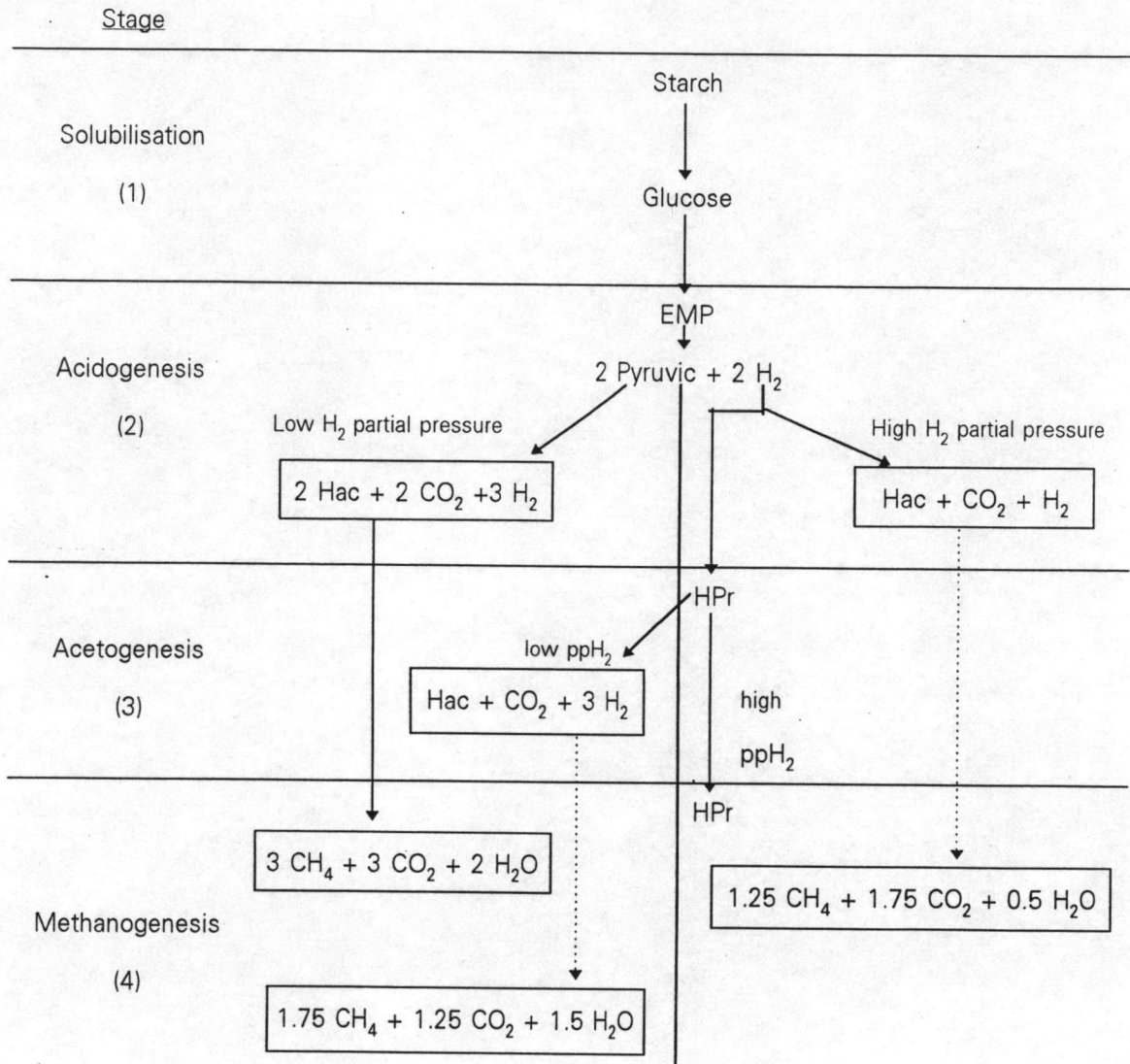
รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้ออกซิเจน

[Sam-Soon, et al, 1987]



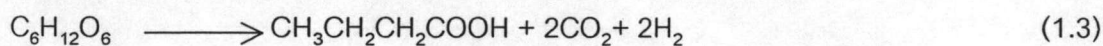
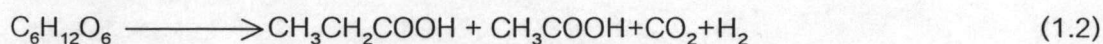
รูปที่ 1.3 รายละเอียดการย่อย ของสารอาหารขนาดใหญ่

(Sawyer & Mccarty, 1978)



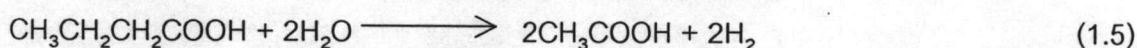
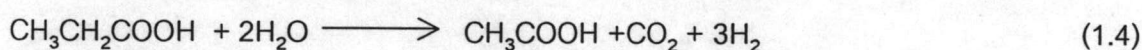
รูปที่ 1.4 การย่อยสลายของแป้งภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำและสูง
(Sam-Soon et al;1987)

สภาวะความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนที่ค่าสูง



1.1.3 การสร้างแอสีเทต (acetogenesis)

แบคทีเรียสร้างมีเทน (methanogenic bacteria) ผลิตมีเทนโดยใช้กรดฟอร์มิก กรดแอสีติก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลลามีน แต่ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดบิวทิริก กรดโพรพิโอนิก ซึ่งเป็นสารอาหารโดยตรงในการผลิตมีเทน ดังนั้นแบคทีเรียพวก acetogenic จึงมีบทบาทสำคัญในการเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างไฮโดรเจน (hydrogen producing acetogenic bacteria) สามารถเปลี่ยน กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดบิวทิริก กรดโพรพิโอนิก ให้เป็นกรดแอสีติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนภายใต้สภาวะความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนต่ำ ดังสมการ



โดยแบคทีเรียสร้างไฮโดรเจนนี้ จะเป็นตัวช่วยไม่ให้เกิดการสะสมตัวของกรดบิวทิริก กรดโพรพิโอนิก ซึ่งเป็นตัวทำให้ค่าพีเอชลดลง จนยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน

1.1.4 การสร้างมีเทน (methanogenesis)

แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (obligate anaerobic) แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1.แบคทีเรียสร้างมีเทนจากกรดแอสีติก (obligate acetoclastic methanogen)

แบคทีเรียชนิดนี้สร้างมีเทนจากกรดแอสีติกเพียงอย่างเดียว



ปฏิกิริยาดังกล่าวจะผลิตมีเทนได้ประมาณ 70 % ของมีเทนที่ได้ทั้งหมด(Volesky, 1978; Ditchfield, 1986)

2. แบคทีเรียสร้างมีเทนจากไฮโดรเจน (H_2 -utilizing methanogen bacteria) แบคทีเรียชนิดนี้สร้างมีเทนจากไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียว โดยใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน



แบคทีเรียชนิดนี้ยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารอาหารอย่างเดียวได้ เพราะกรดฟอร์มิกสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย ดังสมการ



เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนนี้ สามารถเจริญเติบโตในช่วงพีเอช ประมาณ 6.8 - 7.2 และอุณหภูมิก็มีผลต่อการเจริญเติบโต รวมทั้งมักมีอัตราการเจริญจำเพาะ (specific growth rate) ต่ำ ทำให้ขั้นตอนนี้ดำเนินไปช้า และมักเป็นขั้นตอนในการจำกัดอัตราการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

3. แบคทีเรียสร้างมีเทนจากกรดแอสिटิกหรือไฮโดรเจน (hydrogenotrophic/acetoclastic methanogen) แบคทีเรียชนิดนี้สร้างมีเทนได้จากกรดแอสिटิกหรือไฮโดรเจน แต่ชอบไฮโดรเจนมากกว่า

ตารางที่ 1.1 แสดงตัวอย่างแบคทีเรียสร้างมีเทนและสารอาหารที่ใช้ จะเห็นว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนส่วนใหญ่สามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งให้อิเล็กตรอน ในการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่แบคทีเรียส่วนใหญ่ในเม็ดตะกอนในระบบบิวเอเอสบี คือ แบคทีเรียพวก methanothrix และ methanosarcina ซึ่งแบคทีเรียพวก methanothrix ใช้กรดแอสिटิกเป็นสารอาหาร ส่วนแบคทีเรียพวก methanosarcina สามารถใช้สารอาหารได้หลายชนิด เช่น กรดแอสिटิก เมทานอล เมทิลลามีน และบางครั้งก็ใช้ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เช่นกัน

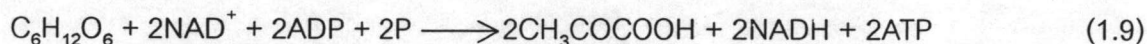
ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างแบคทีเรียสร้างมีเทนและสารอาหารที่ใช้ (Madigan et al., 1997)

Genus	Morphology	Gram reaction	Number of species	Substrates for methanogenesis
Group I				
<i>Methanobacterium</i>	Long rods	+ or -	8	H ₂ +CO ₂ , formate
<i>Methanobrevibacter</i>	Short rods	+	3	H ₂ +CO ₂ , formate
<i>Methanosphaera</i>	Cocci	+	1	Methanol + H ₂ (both needed)
Group II				
<i>Methanothermus</i>	Rods	+	2	H ₂ +CO ₂ ; can also reduce S ⁰
Group III				
<i>Methanococcus</i>	Irregular cocci	-	5	H ₂ +CO ₂ , pyruvate + CO ₂ , formate
Group IV				
<i>Methanomicrobium</i>	Short rods	-	2	H ₂ +CO ₂ , formate
<i>Methanogenium</i>	Irregular cocci	-	3	H ₂ +CO ₂ , formate
<i>Methanospirillum</i>	Spirilla	-	1	H ₂ +CO ₂ , formate
<i>Methanoplanus</i>	Plate-shaped cells occurring as thin plates with sharp edges	-	2	H ₂ +CO ₂ , formate
Group V				
<i>Methanosarcina</i>	Large irregular cocci in packets	+	6	H ₂ +CO ₂ , methanol, methylamines, acetate
<i>Methanobus</i>	Irregular cocci in aggregates	-	5	Methanol, Methylamines
<i>Methanoculleus</i>	Irregular cocci	-	4	H ₂ +CO ₂ , alcohols, formate
<i>Methanohalobium</i>	Irregular cocci	-	1	Methanol, methylamines; halophilic
<i>Methanococcoides</i>	Irregular cocci	-	2	Methanol, methylamines
<i>Methanohalophilus</i>	Irregular cocci	-	3	Methanol, methylamines, methyl sulfides; halophile
<i>Methanotherix</i> (<i>Methanosaeta</i>)	Long rods to filaments	-	3	Acetate
Group VI				
<i>Methanopyrus</i>	Rods in chains	+	1	H ₂ +CO ₂ ; hyperthermophile, growth at 110°C
Group VII				
<i>Methanopusculum</i>	Irregular cocci	-	3	H ₂ +CO ₂ , formate, alcohols

1.2 ตัวอย่างวิถีชีวเคมีที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหย

สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนแรก กลูโคสจะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นกรดไพรูวิก ดังสมการ



กลูโคสแต่ละโมเลกุลจะผลิตกรดไพรูวิก 2 โมลและ ATP 2 โมล โดยมีโคเอนไซม์ NAD^+ เป็นพาหะของอิเล็กตรอนและไฮโดรเจน ทำให้เกิด NADH และเนื่องจากปริมาณ NAD^+ มีจำกัด จึงต้องมีวิธีปลดปล่อย H^+ ออกจาก NADH ให้เป็น NAD^+ เช่นเดิม เพื่อให้เป็นพาหะขนส่งอิเล็กตรอนได้อีก โดยปกติการปลดปล่อย H^+ จาก NADH ให้เป็น NAD^+ จะเกิดขึ้นดังสมการ

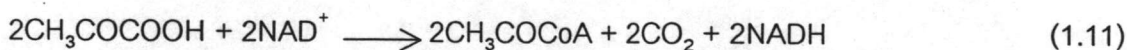


สมการที่ 2 สามารถดำเนินไปได้ราบเท่าที่ H_2 สามารถหนีออกจากระบบได้ ดังนั้นสมการ (1.10) จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ (น้อยกว่า 10^{-6} บรรยากาศ, Sam - Soon et al., 1987)

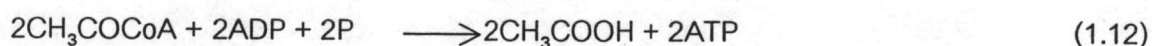
ขั้นตอนที่สอง เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนกรดไพรูวิก จากขั้นตอนแรกให้เป็นกรดไขมันระเหย ซึ่งจะเป็นชนิดใดนั้น ขึ้นอยู่กับค่าความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจน ดังนี้

กรณีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ

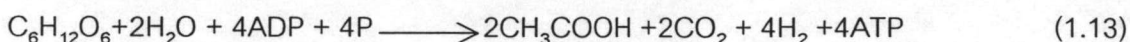
กรดไพรูวิกที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นแอสีทิลโคเอ (CH_3COCOA) ดังสมการ



โดยมี NAD^+ เป็นพาหะของอิเล็กตรอน ซึ่ง NAD^+ ได้จากการปลดปล่อย H^+ จากสมการ (1.10) แอสีทิลโคเอจะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นกรดแอสีติก พร้อมกับการสร้าง ATP ดังสมการ



เมื่อรวมสมการ (1.9), (1.10) , (1.11) และ (1.12) เข้าด้วยกัน จะได้ปฏิกิริยาการหมักที่สมบูรณ์ภายใต้สภาวะความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนต่ำดังนี้



จากสมการที่ (1.13) พบว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของกลูโคส 1 โมล ภายใต้สภาวะความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ จะได้กรดแอสติก 2 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมล ไฮโดรเจน 4 โมล และ ATP 4 โมล

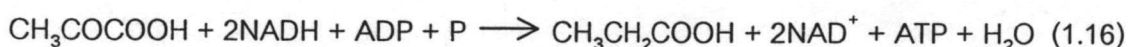
และถ้าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย H_2 -utilizing bacteria สามารถใช้ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในการผลิตมีเทน หรือ sulfate-reducing bacteria (SRB) ก็สามารถใช้อิโดรเจนได้ดังสมการ



จากสมการ (1.14) และ (1.15) จะมีผลทำให้ความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจน มีค่าต่ำเสมอ แต่ในสมการ (1.15) จะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียเกิดขึ้นด้วย

กรณีความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง

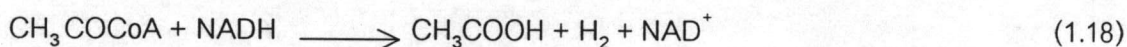
อย่างไรก็ตามหาก H_2 -utilizing methane bacteria ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือไม่มีแบคทีเรียดังกล่าวอยู่ในระบบ เป็นผลให้เกิดการสะสมตัวของไฮโดรเจนในระบบ จนทำให้ค่าความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าสูงทำให้ NADH ไม่สามารถปลดปล่อย H^+ ตามสมการ (1.10) ได้ เนื่องจาก H_2 ไม่สามารถหนีออกไปจากระบบได้ แบคทีเรียชนิดนี้สามารถสร้างมีเทนจึงต้องหาวิธีอื่นในการฟื้นอำนาจ NADH เพื่อให้ปฏิกิริยาการหมักสามารถดำเนินต่อไปได้ โดยใช้วิธีการสร้างปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเอง และใช้เป็นปฏิกิริยาควบคุมในการเปลี่ยน NADH ให้เป็น NAD^+ พบว่าการเปลี่ยนกรดไพรูวิกให้เป็นกรดไพรูฟอิกสามารถทำให้ NADH ปลดปล่อย H^+ ได้ดังสมการ



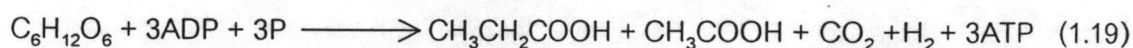
จะเห็นว่ากรดไพรูวิก 1 โมล สามารถปลดปล่อย H^+ จาก NADH ได้ 2 โมล แต่ยังมีกรดไพรูวิก เหลืออีก 1 โมล ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นแอสีทิลโคเอตามปกติ ดังสมการ



และพบว่า เมื่อมาถึงขั้นตอนนี้จะเกิดปัญหาในการฟื้นอำนาจให้แก่ NADH เช่นเดิม ถ้าความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำการฟื้นอำนาจจะเป็นไปตามปกติ แต่ถ้าความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง การฟื้นอำนาจของ NADH ก็เกิดควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแอสีทิลโคเอไปเป็นกรดแอสีติก ดังสมการ



เมื่อรวมสมการ (1.9) ,(1.16) ,(1.17) และ (1.18) เข้าด้วยกัน จะได้ปฏิกิริยาการหมักที่สมบูรณ์ ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง ดังนี้



นั่นคือการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของกลูโคส 1 โมลภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง จะได้กรดไพรูวิก 1 โมล กรดแอสีติก 1 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมล ไฮโดรเจน 1 โมล และ ATP 3 โมล เมื่อเปรียบเทียบสมการ (1.13) กับ (1.19) ในขั้นตอนการสร้างกรด จะเห็นว่าการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ภายใต้ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ จะให้ ATP 4 โมล และผลิตกรดแอสีติก 2 โมล ในขณะที่สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูงจะให้ ATP เพียง 3 โมล และผลิตกรดแอสีติกและกรดไพรูวิกอย่างละ 1 โมล

1.3 บทบาทของไฮโดรเจนที่มีต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะมีการผลิตไฮโดรเจนเกิดขึ้นตลอดเวลา โดยไฮโดรเจนเกิดจากปฏิกิริยาการปลดปล่อย H^+ ของ NADH ดังสมการ (1.10)ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการฟื้นอำนาจของ NAD^+ เพื่อใช้เป็นพาหะของอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์



ภายใต้สภาวะความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ สมการ (1.10) จะเกิดขึ้นได้โดย H_2 สามารถหนีออกจากน้ำสู่บรรยากาศภายในถังหมัก ทำให้ปฏิกิริยาในสมการ (1.10) สามารถเกิดขึ้นจากซ้ายไปขวาได้ตลอดเวลา หากกระบวนการไร้ออกซิเจนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว จะต้องมีการทำงานที่สัมพันธ์กันของ H_2 utilizing methane bacteria โดยใช้ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในการผลิตมีเทนตามสมการ (1.14)

การสะสมตัวของไฮโดรเจนจึงไม่เกิดขึ้น ความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนจึงมีค่าต่ำตลอดเวลา แต่ถ้าการทำลายไฮโดรเจนไม่มีประสิทธิภาพ หรือไม่เกิดขึ้น ทำให้ไฮโดรเจนเกิดการสะสมตัวจนถึงจุดอิ่มตัวแล้ว ความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนจะมีค่าสูงขึ้น ก่อให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการไร้ออกซิเจน 2 ประการ คือ

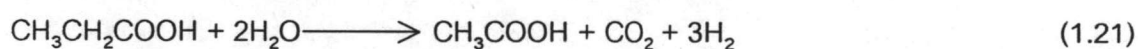
1.3.1 ผลกระทบต่อการสร้างกรดไขมันระเหย

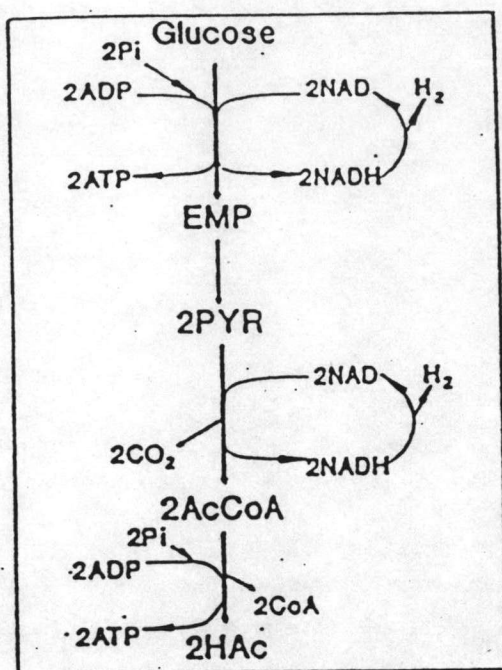
เมื่อไฮโดรเจนเกิดการสะสมตัวมาก จนความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง ทำให้แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนทางปลดปล่อย H^+ จาก NADH โดยการเปลี่ยนกรดไพรูวิกไปเป็นกรดไพรูฟิอิก ดังสมการ (1.16)

ปฏิกิริยาข้างต้นจะเกิดขึ้น ในสภาวะที่ความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าสูงกว่า $2 \cdot 10^{-3}$ บรรยากาศ ปฏิกิริยาการสร้างกรดไขมันระเหย ภายใต้สภาวะที่มีความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ และสูง ดังแสดงในรูปที่ 1.5 และ 1.6

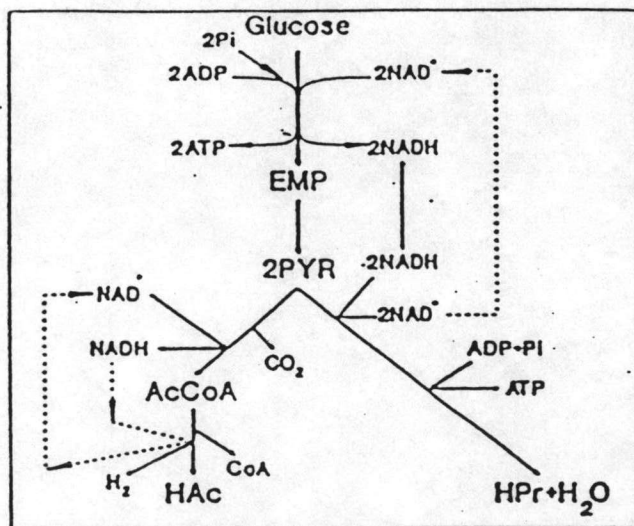
1.3.2 ผลกระทบต่อการสร้างกรดแอสिटิก

ในขั้นตอนการสร้างแอสिटेट เป็นขั้นตอนที่มีการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม ให้เป็นกรดแอสिटิก โดย acetogenic bacteria ก่อน จึงสามารถนำไปสร้างมีเทนได้ การเปลี่ยนแปลงกรดไพรูฟิอิกไปเป็นกรดแอสिटิกแสดงได้ดังสมการ





รูปที่ 1.5 ปฏิกิริยาย่อยสลายกลูโคสภายใต้สภาวะความดันพาร์เซียของไฮโดรเจนมีค่าต่ำโดยวิถีทาง EMP (Sam-Soon et al; 1987)



รูปที่ 1.6 ปฏิกิริยาย่อยสลายกลูโคสภายใต้สภาวะความดันพาร์เซียของไฮโดรเจนมีค่าสูงโดยวิถีทาง EMP (Sam-Soon et al; 1987)

พบว่าไฮโดรเจนเกิดขึ้นด้วย หากไฮโดรเจนไม่ถูกกำจัดออก ปฏิกิริยาในสมการที่ (1.21) จะหยุด ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนกรดโพธิโธนิคไปเป็นกรดแอสติกได้ หากความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าไม่เกิน 10^4 บรรยากาศ ปฏิกิริยา (1.21) จะดำเนินไปได้ (Schmidt and Ahring, 1996) แต่หากมีค่าเกิน 10^4 บรรยากาศ จะทำให้มีกรดโพธิโธนิคสะสมอยู่ในระบบ เนื่องจากไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นกรดแอสติก การสะสมตัวของกรดโพธิโธนิค หรือกรดไขมันระเหยอื่น ๆ จะทำให้ค่าพีเอชของระบบมีค่าต่ำลง จนทำให้ระบบมีภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และยังพบว่ากรดโพธิโธนิคเมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 1,000 มิลลิกรัม / ลิตร จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียพวกไม่ใช้ออกซิเจน

นอกจากนี้ Terzis (1994) พบว่า ค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจน สามารถใช้เป็นดัชนีที่สำคัญที่ใช้ในการติดตามการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน โดยในช่วงที่ระบบล้มเหลว จะมีการเพิ่มขึ้นของไฮโดรเจนในก๊าซชีวภาพอย่างรวดเร็ว

1.4 ปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เนื่องจากในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ประกอบด้วยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการสร้างกรด (acid former) และที่ทำหน้าที่ในการสร้างก๊าซมีเทน (methane former) ดังนั้นเพื่อที่จะควบคุมให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นจะต้องรักษาภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมที่จะทำให้แบคทีเรียเหล่านี้อยู่ในภาวะที่สมดุลกัน ปัจจัยแวดล้อมได้แก่

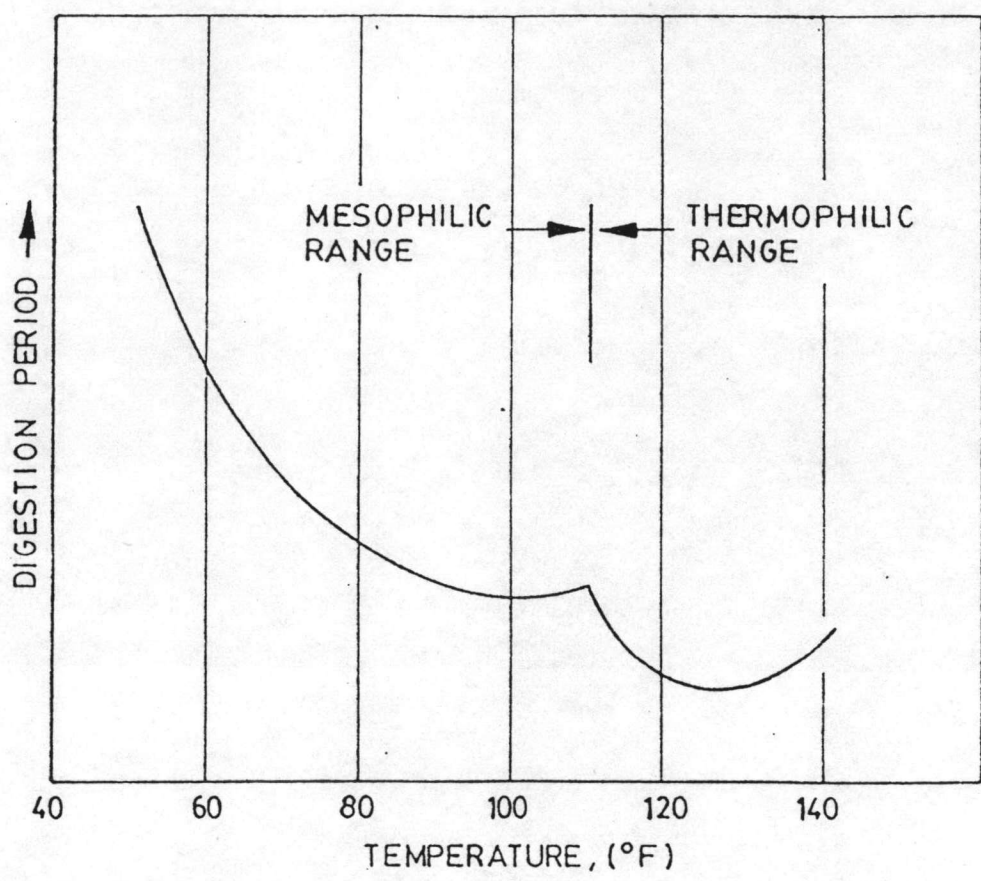
1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการทำงานของระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการทำปฏิกิริยาก็จะเร็วขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้ระยะเวลาในการหมักลดลง ดังแสดงในรูปที่ 1.7 สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถแบ่งออกได้ 2 ช่วง คือ

1. mesophilic มีช่วงอุณหภูมิ 20-45 °c

2. thermophilic มีช่วงอุณหภูมิ 50-65 °c

เนื่องจากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ต้องใช้แบคทีเรียหลายประเภททำปฏิกิริยาชีวเคมีหลายปฏิกิริยา ซึ่งมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างใกล้ชิด ด้วยเหตุนี้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงไม่กี่องศา อาจทำให้เสียสมดุลระหว่างกลุ่มแบคทีเรียประเภทต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกัน จึงอาจทำให้การทำงานของระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นการรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ในการหมัก



รูปที่ 1.7 ผลของอุณหภูมิต่อช่วงระยะเวลาการย่อยสลาย (McCarty, 1964)

แบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงเป็นเรื่องสำคัญมาก และสำคัญมากกว่าการพยายามรักษาระดับอุณหภูมิที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด (Dague, 1968)

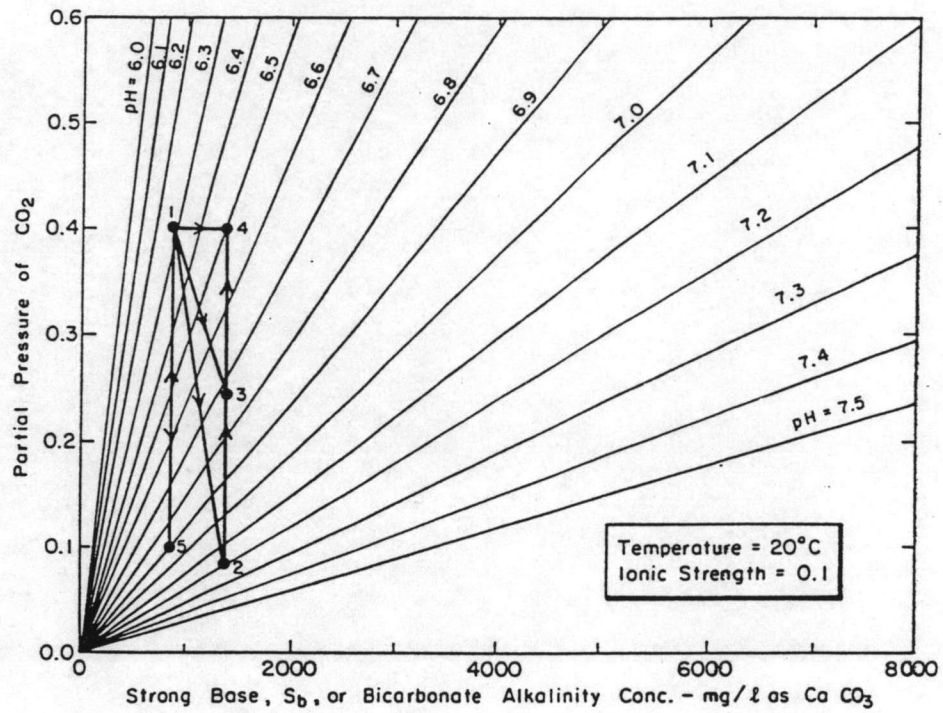
2. พีเอช (pH)

ค่าพีเอช สามารถที่จะใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะภายในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ แต่ก็มีปัญหาคือมันเปลี่ยนแปลงช้าในขณะที่กรดไขมันระเหยเพิ่มมากขึ้นแต่ค่าพีเอชกลับเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกำลังบัฟเฟอร์ (buffering capacity) ภายในถังหมัก ดังนั้นค่าพีเอชจึงเป็นตัวบ่งชี้ที่แสดงผลออกมาได้ช้า สำหรับการแก้ไขสภาวะในถังหมัก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพีเอชก็ยังเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมระบบการหมักแบบไร้ออกซิเจนเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนมีความไวต่อค่าพีเอชมาก โดยระบบจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชระหว่าง 6.6 ถึง 8.2 สำหรับที่พีเอช 6.2 และที่ต่ำกว่านี้ การทำงานของระบบจะล้มเหลว เพราะไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะกลายเป็นพิษต่อแบคทีเรีย

ส่วนวิธีการแก้ไขสาเหตุของการยับยั้ง ที่เกิดเนื่องจากการลดลงอย่างมากของพีเอช ก็คือ สะเทิน H^+ ด้วยการเติมด่างเข้าไปควบคุมให้พีเอชอยู่ระหว่าง 7.0 ถึง 7.5

วิธีการปรับพีเอชในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน

สารเคมีที่ใช้เพิ่มพีเอชให้กับถังหมักมีหลายอย่าง เช่น ปูนขาว, $NaHCO_3$, $NaOH$ หรือ Na_2CO_3 เป็นต้น ถ้าใช้ $NaOH$ หรือปูนขาว หรือ Na_2CO_3 สมดุลทางไอออนิกจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ CO_2 ถูกดึงออกจากบรรยากาศของก๊าซที่อยู่ในถังหมัก เข้าไปทดแทนส่วนของ CO_2 ในน้ำ ซึ่งถูกทำลายไปโดยสารละลายด่างที่เติมลงไปเพื่อสร้างความเป็นด่างไปคาร์บอเนต ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสภาวะเริ่มต้นของถังหมักอยู่ที่ตำแหน่ง 1 ในรูปที่ 1.8 การเติม $NaOH$ หรือ $Ca(OH)_2$ ทำให้ partial pressure ของ CO_2 ลดลงและไปคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นจุดสมดุลจะเลื่อนไปอยู่จุดที่ 2 แต่อย่างไรก็ดีแบคทีเรียจะสร้าง CO_2 ขึ้นมาใหม่ ทำให้ partial pressure ของ CO_2 เพิ่มขึ้นไปอยู่ที่ระดับเดิม จุดสมดุลจึงเลื่อนจากจุด 2 ไปอยู่ที่จุด 4 เป็นผลให้พีเอชลดลงทั้งที่ความเป็นด่างยังคงเดิมอยู่ ถ้า Na_2CO_3 มีจำนวนโมลเท่ากันถูกเติมลงไปแทน จุดสมดุลจะเลื่อนจากจุด 1 ไปอยู่ที่จุด 3 ก่อนที่จะไปหยุดที่จุด 4 ด้วยเหตุผลเดียวกัน ในทำนองเดียวกันถ้า $NaHCO_3$ จำนวนเท่ากัน ถูกใช้แทน สมดุลจะเลื่อนจากจุด 1 ไปอยู่จุด 4 โดยตรง ทั้งนี้เพราะว่า CO_2 ในถังหมักไม่ถูกดึงไปใช้สร้างคาร์บอเนต (เพราะเติมคาร์บอเนตลงไป) อนึ่งการกำจัด CO_2 ออกจากก๊าซในถังหมักโดย



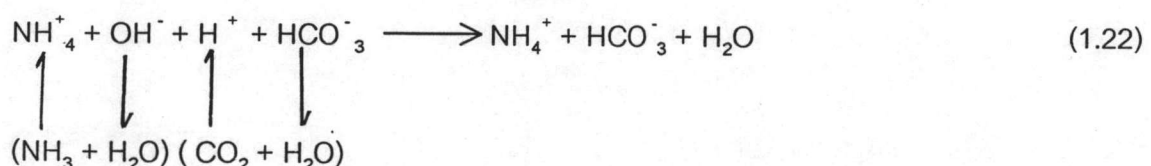
รูปที่ 1.8 ความสัมพันธ์ในทางทฤษฎีระหว่าง CO_2 , pH และความเป็นด่างของถึงหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Grady, C.P.L.; 1980)

ตรงก็อาจช่วยทำให้พีเอชสูงขึ้นได้ ในกรณีนี้จุดสมมูลจะเลื่อนจากจุด 1 ไปจุด 5 แต่เมื่อแบคทีเรียสร้าง CO₂ ขึ้นมาใหม่ จุดสมมูลจะเลื่อนกลับไปจุด 1 อีก การปรับพีเอชแบบนี้จึงไม่ใช่วิธีการถาวรและไม่อาจใช้ได้

ตัวอย่างข้างบนนี้แสดงว่าสารเคมีที่ใช้ควบคุมพีเอชอาจแบ่งได้เป็นสองประเภท ชนิดแรกสามารถให้คาร์บอนेटกับน้ำได้โดยตรง ชนิดที่สอง ใช้วิธีจับ CO₂ หรือ H₂CO₃ และเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอนेट การเลือกใช้สารเคมีชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ต้องพิจารณา 2 อย่าง ปัจจัยข้อแรกเกี่ยวข้องกับผลของการเติมสารเคมี สารเคมีที่จับ CO₂ ทำให้พีเอชสูงเกินความต้องการก่อนเสมอ จากนั้น CO₂ ที่สร้างใหม่จะทำให้พีเอชค่อยลดลงไปจนถึงจุดที่ต้องการ ถ้าปริมาณของสารเคมีที่ต้องการใช้อยู่ในระดับสูง การเติมลงไปทีเดียว อาจทำให้พีเอชเพิ่มขึ้นสูงจนถึงระดับที่อาจเป็นพิษได้ ด้วยเหตุนี้การเติมสารเคมีที่จับ CO₂ จึงค่อย ๆ เติมทีละน้อยอย่างช้า ๆ เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงของพีเอชเป็นไปอย่างช้า ๆ ส่วนการเติมสารประกอบไบคาร์บอนेटโดยตรงนั้นไม่มีผลแบบที่เกิดขึ้นกับสารจับ CO₂ ทำให้มีความสะดวกกว่าทำให้สามารถเติมสารเคมีและปรับพีเอชได้ละเอียดและแม่นยำ ปัจจัยข้อที่สองคือ ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่เป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยา (การเติมปูนขาวให้กับถังหมัก จะทำให้ความเป็นด่างเพิ่มขึ้นเนื่องจากปูนขาวจะรวมกับ CO₂ หรือ H₂CO₃ ทำให้ได้สารไบคาร์บอนेट แต่เนื่องจากแคลเซียมไบคาร์บอนेट มีขีดจำกัดในการละลายน้ำอยู่ที่ประมาณ 500 - 1000 มก/ล การเติมปูนขาวเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดตะกอนหินปูน (CaCO₃) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เป็นเหตุให้เกิดการก่อกำจัด CO₂ โดยที่ความเป็นด่างไบคาร์บอนेटไม่เพิ่มขึ้น การลดลงของ CO₂ ทำให้ partial pressure ของ CO₂ ลดลงด้วย พีเอชจึงสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากความเป็นด่างไม่ได้เพิ่มตามขึ้นด้วย จึงทำให้พีเอชไม่มีเสถียรภาพ ทันทึแบคทีเรียผลิต CO₂ ขึ้นมาใหม่ พีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็วทันที

3. ความเป็นด่าง (alkalinity)

ความเป็นด่างในถังหมักไร้ออกซิเจน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอนेट ซึ่งความเป็นด่างไบคาร์บอนेटนี้เกิดมากจากปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนีย กับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียม ไบคาร์บอนेट ดังสมการที่ 1.22



การสร้างความเป็นต่างตามธรรมชาตินี้ มีความสำคัญคือจะเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีให้แก่ระบบที่จะควบคุมพีเอชให้อยู่ระหว่าง 6.8 ถึง 7.2 อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยภายในระบบเพิ่มมากขึ้น ความเป็นต่างไบคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติก็จะถูกทำลายไป และถูกแทนที่โดย Volatile - Acid Alkalinity (VAA) ดังสมการที่ 1.23



การทำลายความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์นี้ เป็นสาเหตุทำให้พีเอชลดลง ถึงแม้ว่าความเป็นต่างจะมีความจำเป็นในการควบคุมสภาวะสมดุลของการหมักก็ตาม แต่ความเป็นต่างอย่างเดียวไม่สามารถที่จะชี้ถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการหมักได้ นอกจากนี้จะใช้เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย

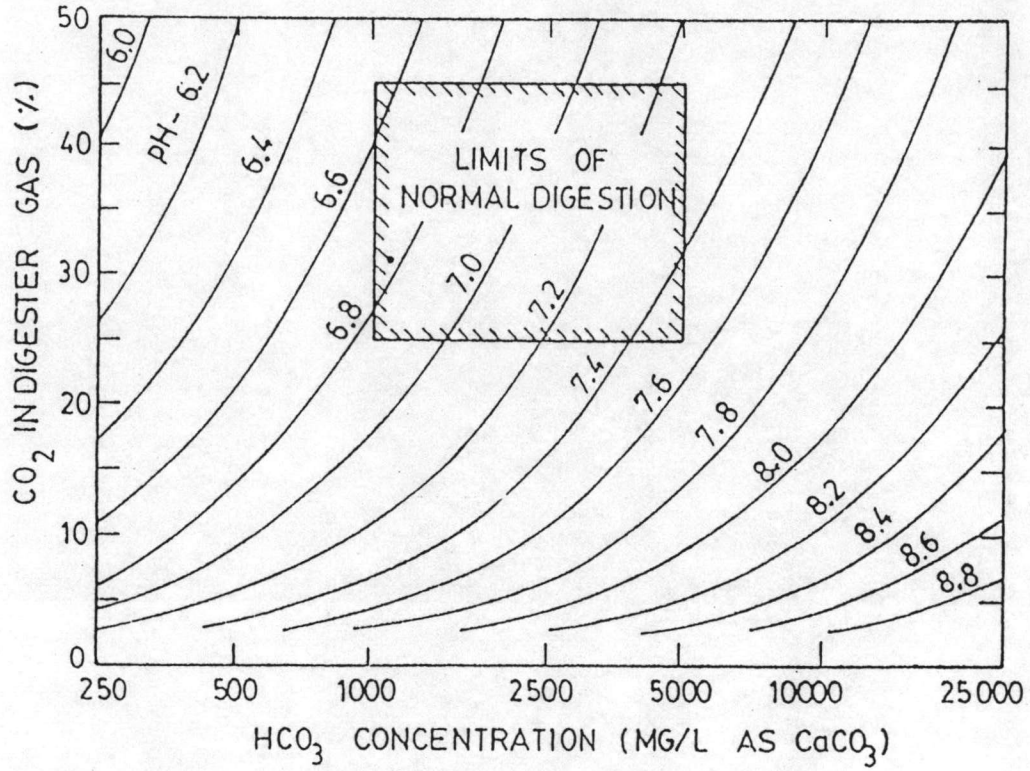
รูปที่ 1.9 แสดงให้เห็นว่าความเป็นต่างไบคาร์บอเนต ควรจะรักษาให้อยู่ในระดับอย่างน้อย 1,000 มิลลิกรัม / ลิตร เทียบเท่าแคลเซียมคาร์บอเนต เพื่อที่จะให้แน่ใจว่าเพียงพอในการควบคุมพีเอชอยู่ได้ สำหรับค่าความเป็นต่างไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้มีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ (buffering capacity) อย่างเพียงพออยู่ในช่วงระหว่าง 2,500 ถึง 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เทียบเท่าแคลเซียมคาร์บอเนต

4. กรดไขมันระเหย (volatile fatty acid)

กรดไขมันระเหย เป็นอาหารที่สำคัญของแบคทีเรียพวกที่สร้างมีเทน ในการที่จะผลิตก๊าซมีเทนออกมา แต่ผลในทางตรงข้าม ของมันก็คือ ที่ความเข้มข้นสูงอาจจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียพวกที่สร้างมีเทนได้จะหยุดยั้งขั้นตอนการเกิดมีเทน โดยไม่คำนึงถึงพีเอชเลย และการเติมต่างเข้าไปก็จะไม่ช่วยให้ดีขึ้น กรดไขมันระเหยที่พบในระบบหมักส่วนมากได้แก่ กรดแอสติก กรดไพโรฟิอิก และกรดบิวทิริก ซึ่งโดยส่วนมากจะเป็นกรดแอสติก ปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่โดยส่วนมากมักจะควบคุมไม่ให้เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. สารอาหารเสริม

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจนมีข้อดีอย่างหนึ่งคือ มีเซลล์จุลินทรีย์ที่สร้างขึ้นมาน้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องการอาหารเสริม เช่นไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่ำ



รูปที่ 1.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช ,ความเข้มข้นของไบคาร์บอเนต และ คาร์บอนไดออกไซด์
(McCarty, 1964)

กว่า สุมเมธ(2535)กล่าวว่าจุลินทรีย์ต้องการปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียควรมีอัตราส่วน COD:N:P = 100:2.2:0.4 นอกจากนี้แบคทีเรียยังต้องการธาตุบางอย่างในปริมาณน้อย เช่น เหล็กโคบอลท์ นิเกิล และ ซีลเฟอร์(ในรูปซีลไฟต์)ดังตารางที่1.2

ตารางที่ 1.2 ปริมาณธาตุอาหารรองที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของแบคทีเรีย
(Sander & Bloodgood , 1965)

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
โซเดียม	125-250
โพแทสเซียม	200-400
แคลเซียม	100-200
แมกนีเซียม	75-125
แอมโมเนีย	80-170
เหล็ก	1-10
โคบอลท์	1-5
ไทอะมีน	1-5
กรดเพนโททีนิก	1-5

6. สารพิษ

การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา น้ำเสียไม่ควรมีสารเป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ ตารางที่ 1.3 แสดงระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ความรุนแรงของพิษขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารนั้นๆ ซึ่งสารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียสามารถแบ่งเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 5 ชนิดคือ

(1) พิษของกรดไขมันระเหย

กรดไขมันระเหยถ้าถูกสร้างขึ้นมากเกินไป เช่นในภาวะที่มีอาหารเข้ามามากแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดจะผลิตกรดไขมันระเหยออกมามาก และถ้าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอ จะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนได้ ทำให้เกิดก๊าซมีเทนน้อยลง การแก้ไขทำได้โดยการลดอัตราการป้อนสารอินทรีย์ หรือเติมสารปรับสภาพ เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) และใช้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT) ในระบบให้นานขึ้น

ตารางที่ 1.3 ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (สุเมธ ชวเดช, 2535)

สารพิษ	ความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย (มิลลิกรัม)
Cu	1.0
Zn	5.0
Cr ⁶⁺	5.0
Cr ³⁺	2,000
Total Chromium	5.0
Ni	2.0
Cd	0.02
S ²⁻	100
SO ₄ ²⁻	500
Ammonia	1,500
Na ⁺	3,500
K ⁺	2,500
Ca ²⁺	2,500
Mg ²⁺	1,000
Acrylonitrile	5.0
Benzene	50
CCl ₄	10
Chloroform	0.1
Pentachlorophenol	0.4
Cyanide	1.0
Chloride	15,000

(2) พืชของเกลืออนินทรีย์ เกลือของสารอนินทรีย์พวกที่มีพืชต่อแบคทีเรียในระบบกำจัดสารอนินทรีย์ในน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่น เกลือของธาตุอัลคาไลและอัลคาไลเอิร์ท ได้แก่ เกลือของธาตุโซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) เกลือเหล่านี้จะแตกตัวให้ cations ที่เป็นพืชมากกว่า anions ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของ cations ด้วยว่าปริมาณมากน้อยเพียงใด ปริมาณของ cations ของเกลืออนินทรีย์ที่มีผลต่อระบบกำจัดสารอนินทรีย์ในน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนดูได้จากตารางที่ 1.4

ความเป็นพืชของ cations แต่ละชนิดจะรุนแรงไม่เท่ากันดังตารางที่ 1.4 cations ที่มีวาเลนซ์ เท่ากับ 1 จะมีพืชต่อแบคทีเรียน้อยกว่า cations ที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 และพืชของ cations ที่มีน้ำหนักอะตอมมากจะมีพืชต่อแบคทีเรียมากกว่า cations ที่มีน้ำหนักอะตอมน้อย ดังนั้นพืชของ Ca^{++} และ Mg^{++} จะมีพืชมากกว่าพืช Na^+ และ K^+

ความเป็นพืชของ cations นั้นสามารถลดลงได้โดยการทำ antagonism กล่าวคือ เมื่อมี cations ซึ่งเป็นพืชต่อแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ชนิดหนึ่ง ถ้ามี cations อีกชนิดหนึ่งอยู่ด้วยจะทำให้ความเป็นพืชของ cations ชนิดแรกลดลงได้ เช่น พืชของ Na^+ เข้มข้น 3,500 กรัม / ลูกบาศก์เมตร สามารถทำให้หมดไปได้ ถ้ามี Ca^{++} และ Mg^{++} มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 50 - 1,000 กรัม / ลูกบาศก์เมตร แต่ในทางตรงกันข้าม cations บางชนิดจะไปเพิ่มพืชของ cations อีกชนิดหนึ่งเมื่ออยู่ร่วมกัน ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า synergism

ตารางที่ 1.4 ปริมาณ cations ที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (McCarty, 1964)

Cation	Unit	Stimulatory	Moderately	Strongly
			Inhibitory	Inhibitory
Sodium (Na)	ก./ลบ.ม.	100-200	3,500 - 5,500	8,000
Potassium (K)	ก./ลบ.ม.	200-400	2,500 - 4,500	12,000
Calcium (Ca)	ก./ลบ.ม.	100-200	2,500 - 4,500	8,000
Magnesium (Mg)	ก./ลบ.ม.	75-150	1,000 - 1,500	3,000

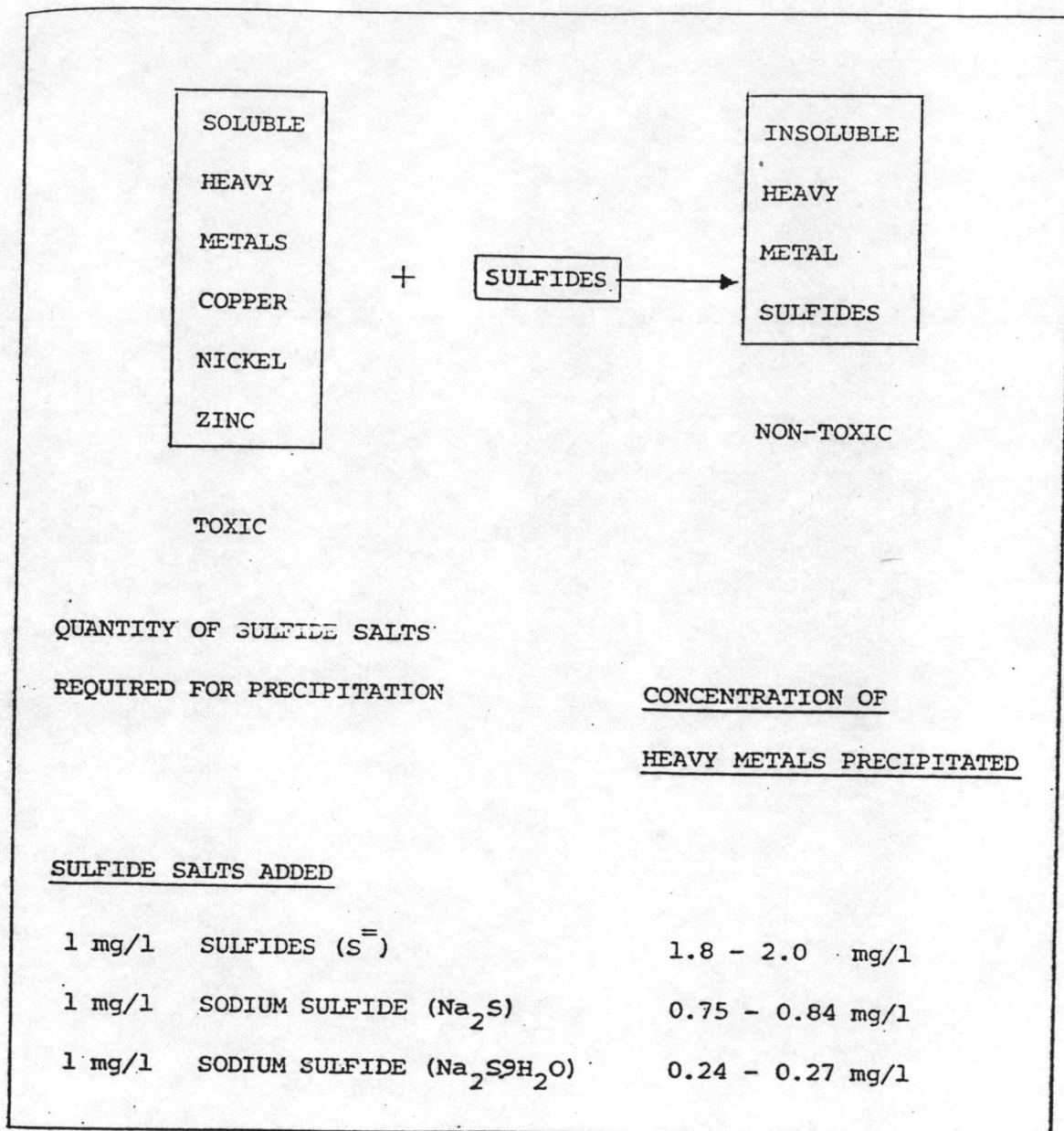
(3) พิษของโลหะหนัก ไอออนของโลหะหนักเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งอาจจะเพียงยับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำให้ตายได้ McCarty(1964) ได้สรุปไว้ว่าโลหะที่มีวาเลนซ์สูงมีพิษมากกว่าโลหะที่มีวาเลนซ์ต่ำ เช่น Cr^{+6} มีพิษมากกว่า Cr^{+3} นอกจากนั้น พิษของโลหะหนักยังขึ้นกับความสามารถในการละลายน้ำของโลหะนั้น เช่น เหล็กและอะลูมิเนียมจะไม่เป็นพิษเนื่องจากเกลือของโลหะทั้งสองละลายน้ำได้น้อยและพิษของโลหะหนักจะมากหรือน้อยยังขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่มีอยู่ในน้ำทิ้งเพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์จะรวมกับโลหะหนักได้เกลือซัลไฟด์ซึ่งไม่ละลายน้ำ จึงไม่เป็นพิษ ดังรูปที่ 1.10 1 กรัมของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะรวมตัวกับ 1.8 - 200 กรัมของโลหะหนักกลายเป็นเกลือและตะกอน ถ้าน้ำทิ้งมีปริมาณของไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกลือซัลไฟด์ตกตะกอนได้สามารถแก้ได้โดยการเติมเกลือซัลไฟด์ (sulfide salts) ลงไปเช่นเติมโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือเติมเกลือซัลเฟต (sulfate salts) ลงไปเกลือทั้งสองชนิดจะถูกลดออกซิเจนไปเป็นซัลไฟด์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนทำให้ลดพิษของโลหะหนักได้

(4) พิษของก๊าซบางชนิด

4.1) พิษของแอมโมเนีย แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนรวมอยู่ด้วย เช่น โปรตีน จะมีแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยสาร 2 ตัวนี้จะเปลี่ยนไปมาขึ้นอยู่กับพีเอช ดังสมการที่ 16



ถ้าพีเอชต่ำกว่า 7.2 จะมีแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) มากกว่าก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) และถ้าพีเอชสูงกว่า 7.2 จะมีก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) มากกว่าแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) จะยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียหรือเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนมากกว่าแอมโมเนียมไอออน (Sanberg and Ahing, 1992) และความเข้มข้นของแอมโมเนียที่สูงจะไปลดกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนแสดงไว้ในตารางที่ 1.5 การที่จะลดพิษแอมโมเนียไนโตรเจนทำได้โดยการเจือจางน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ อันเป็นผลให้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนลดลงด้วย หรือจะทำได้โดยวิธีกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนออกจากรู้น้ำทิ้งก่อนที่จะเข้าสู่ระบบ



รูปที่ 1.10 ปฏิกริยาการทำลายสารพิษ ของโลหะหนัก โดยซัลไฟด์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน (McCarty, 1964)

ตารางที่ 1.5 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจน ต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน
(McCarty, 1964)

Ammonia Nitrogen	หน่วย	Affect on anaerobic treatment
50-200	กรัม / ลบ.ม.	Beneficial
200-1,000	"	No adverse effect
1,500-3,000	"	Inhibitory at high pH value
มากกว่า 3,000	"	Toxic

4.2) พิษของซัลไฟด์ ซัลไฟด์ที่มีอยู่ในระบบกำจัดแบบไร้ออกซิเจน อาจมีอยู่ในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบกำจัด หรืออาจเกิดจากการรีดักชันของซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำเสีย โดย sulfate-reducing bacteria (SRB) เช่น *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* (Ciftci and Ozturk, 1993; Vanderhaegen et al., 1992) ซึ่งจะใช้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย และเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ ในการศึกษาพฤติกรรมของแบคทีเรียในการที่จะรีดิวซ์ซัลเฟต หรือสร้างมีเทนนั้น สามารถอธิบายได้จากค่า ΔG° ตามตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 ค่า ΔG° ในการรีดิวซ์ซัลเฟต และสร้างมีเทน (Hideki และคณะ, 1994 อ้างถึงใน กิตติศักดิ์ ต้นชนะชัย, 2539)

ปฏิกิริยา	ΔG° (kJ)
1. $4\text{H}_2 + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+ \longrightarrow \text{HS}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	-152.2
2. $4\text{H}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \longrightarrow \text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$	-135.6
3. $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+ \longrightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{S}$	-47.6
4. $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{CH}_4$	-31.0
5. $4\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 3\text{SO}_4^{2-} \longrightarrow 4\text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{HCO}_3^- + 3\text{HS}^- + \text{H}^+$	-150.6
6. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 3\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2$	-76.1
7. $4\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 12\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 3\text{CH}_4$	-102.4

จากตารางข้างต้นจะเห็นว่าในปฏิกิริยาที่รีดิวซ์ซัลเฟตเป็นซัลไฟด์ (ปฏิกิริยาที่ 1 และ 3) ทั้งที่ใช้ไฮโดรเจนและกรดแอซิดิกเป็นสารตั้งต้นนั้นมีค่า ΔG° เป็นลบมากกว่าแสดงว่าให้พลังงานมากกว่าในปฏิกิริยาที่สร้างมีเทน (ปฏิกิริยาที่ 2 และ 4) เมื่อมีสารตั้งต้นชนิดเดียวกัน ดังนั้นปฏิกิริยารีดิวซ์ซัลเฟตโดยแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) จึงสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าปฏิกิริยาที่สร้างมีเทนโดยแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน การที่น้ำเสียมีซัลเฟตจึงทำให้ได้ผลผลิตที่เป็นก๊าซมีเทนลดน้อยลง และได้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีกลิ่นเหม็นที่พีเอชต่ำ และอาจเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ (Petersen and Ahring, 1992) แต่หากพิจารณาในแง่ของการย่อยสลายกรดไพรูวิกเป็นกรดแอซิดิกแล้วนั้น (ปฏิกิริยาที่ 5 ถึง 7) จะพบว่าปฏิกิริยารีดิวซ์ซัลเฟตที่เกิดขึ้น จะช่วยลดการสะสมตัวของกรดไพรูวิกในระบบด้วย ดังนั้น การที่มีซัลเฟตในน้ำเสียจึงมิได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี แต่ปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียที่มีสูงเกินไปจะทำให้ SRB เป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักแทน methanogens

นอกจากนี้ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น จะอยู่ในรูปของซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ หรือไม่ละลายน้ำขึ้นอยู่กับไอออนของโลหะที่รวมอยู่ ถ้ารวมกับพวกโลหะหนักก็จะตกตะกอนลงมา จึงทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย ส่วนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ จะอยู่ในรูปของ H_2S McCarty (1964) พบว่า แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถทนต่อซัลไฟด์ละลายน้ำ ที่มีความเข้มข้น 50 - 100 มิลลิกรัม / ลิตร ได้ และถ้าทำให้แบคทีเรียเกิดความเคยชินก่อน ก็จะสามารถทนต่อซัลไฟด์ละลายน้ำได้ถึง 200 มิลลิกรัม / ลิตร แต่ถ้าซัลไฟด์ละลายน้ำมีความเข้มข้นมากกว่า 200 มิลลิกรัม / ลิตรจะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย (Driessen, Tielboord and Vereijken, 1994)

(5) พิษของสารอินทรีย์ สารอินทรีย์ที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่พวกแอลกอฮอล์, กรดไขมันระเหยชนิดสายยาว, คลอโรฟอร์ม ฯลฯ McCarty (1964) พบว่า แม้จะมีแอลกอฮอล์ พวกเมทานอลที่มีความเข้มข้น 1,000 - 2,000 กรัม / ลูกบาศก์เมตร ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนก็ยังทำงานได้ และถ้ามีความเข้มข้นถึง 10,000 กรัม / ลูกบาศก์เมตร ระบบก็ยังสามารถรับได้แต่ต้องเข้าสู่ระบบกำจัดอย่างต่อเนื่องเพื่อให้แบคทีเรียคุ้นเคยและปรับตัวได้

1.5 สาเหตุในการล้มเหลวของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

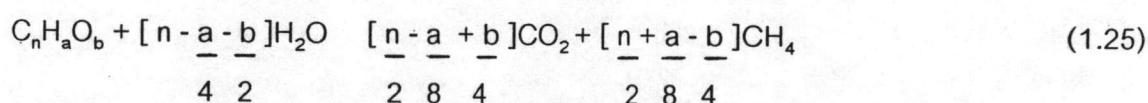
ก) การให้ของเหลวเข้าสู่ระบบมากเกินไป (hydraulic overloading) จะทำให้ระยะเวลาเก็บกักแบคทีเรียในระบบ ลดลงจนถึงจุดซึ่งแบคทีเรียไม่สามารถที่จะเจริญเติบโตได้ทัน ก่อนที่จะถูกล้างออกจากระบบ

ข) การให้ปริมาณสารอินทรีย์ เข้าสู่ระบบมากเกินไป (organic overloading) จะทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยซึ่งจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (Mathiot et al. 1992)

ค) การให้ปริมาณสารพิษที่เข้าสู่ระบบมากเกินไป (toxic overloading) เมื่อสารพิษเช่น โลหะหนัก, สารเคมี, แอมโมเนียและไฮดรอกไซด์ เข้าสู่ระบบมากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน

1.6 องค์ประกอบและปริมาณก๊าซที่ได้ (gas composition and gas yield)

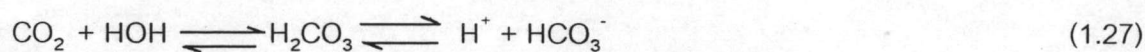
ในการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรต ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนนั้น สามารถที่จะทำนายปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากความรู้ทางเคมีขององค์ประกอบของของเสีย จากสมการที่ 1.25 ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย Buswell และ Mueller, 1952



อย่างไรก็ตามคาร์บอนไดออกไซด์ จะไม่ออกไปในรูปของก๊าซหมดแต่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำ และ ไฮดรอกไซด์ไอออน ส่วนโปรตีนจะถูกแบคทีเรียย่อยสลายเป็นแอมโมเนีย ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำดังสมการ ที่ 1.26



ไฮดรอกไซด์ ที่เกิดขึ้นนี้ จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ กลายเป็นไบคาร์บอเนตไอออน ดังสมการที่ 1.27 และ 1.28



ดังนั้นสารอาหารที่มีองค์ประกอบของโปรตีนจะมีผลต่อปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์จริงๆ ที่ถูกระบายออกมาจากสารละลายรวมทั้ง bicarbonate buffer capacity ของระบบด้วย McCarty (1964) ได้แสดงให้เห็นว่าก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี จากการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ (complete stabilization) ของ 1 กิโลกรัม COD เท่ากับ 0.348 ลูกบาศก์เมตร มีเทน ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน

1.7 ระบบยูเอเอสบี (upflow anaerobic sludge blanket)

กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเป็นกระบวนการที่มีศักยภาพสูงสำหรับการบำบัดน้ำเสียหลายชนิด เป็นที่ยอมรับและมีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีมากในประเทศเนเธอร์แลนด์ แต่ก็ยังไม่เป็นที่นิยมมากนักในอีกหลายประเทศ อาจเนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ขาดแคลนข้อมูลที่เพียงพอเกี่ยวกับการติดตั้งระบบแบบไร้ออกซิเจน
2. ขาดหลักความรู้พื้นฐาน ทางด้านวิศวกรรมสุขาภิบาล
3. เนื่องจากเหตุผลทางการค้า เช่น บริษัทส่วนมากได้ลงทุนศึกษาค้นคว้า และจดลิขสิทธิ์กับระบบแบบเดิมอากาศไปก่อนแล้ว
4. ขาดการให้การศึกษาทางด้านวิศวกรรม
5. ขาดโครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐาน, การประสานงาน, การค้นคว้า และศูนย์กลางด้านการศึกษาข้อมูล
6. เทคโนโลยีทางด้านนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับมากนัก จากสถาบันค้นคว้าและบริษัทเอกชน

ปัญหาที่มักพบเสมอของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีหลายประการ เช่น

1. ความยากลำบากในการแยกตะกอนแบคทีเรียทำให้ตะกอนแบคทีเรียมักหลุดออกไปกับน้ำทิ้งของระบบ
2. ระบบบำบัดแบบนี้ มักต้องใช้เวลาที่นาน ทำให้ระบบมีขนาดใหญ่
3. ระบบมีเสถียรภาพในการทำงานต่ำ

ระบบยูเอเอสบีถูกพัฒนาขึ้นโดย Lettinga และคณะ (1980) โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะเอาชนะปัญหาต่าง ๆ ดังกล่าว ระบบนี้ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบที่ประหยัดทั้งด้านการลงทุน การควบคุมระบบ ตลอดจนการบำรุงรักษา (Hajipakkos, 1992) และสามารถนำมาใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท (Borja and Banks, 1994; Shin, Bae, Lee and Paik, 1992; Vinas, Bozzacconi and Martinez, 1993) การใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ให้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนอื่น ๆ (Ciftci and Ozturk, 1993) จึงเป็นทางเลือกที่ได้รับความสนใจและใช้กันอย่างกว้างขวาง

1.7.1 ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนพลังงานในปัจจุบัน รวมทั้งความสามารถแยกเชื้อแบคทีเรียเช่น พวก methanogenic bacteria ออกมาเป็นเชื้อบริสุทธิ์ได้สำเร็จ ทำให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมของแบคทีเรียพวก anaerobic มากขึ้น การใช้ระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสีย มีข้อดีข้อเสียดังนี้

ข้อดี

1. การก่อสร้างและควบคุมระบบ สามารถกระทำได้ง่ายและมีราคาถูก
2. มักจะไม่ต้องการใช้ไฟฟ้าและไม่ต้องการใช้เครื่องจักรกล
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในระบบบำบัดขนาดเล็กมากไปจนถึงขนาดใหญ่มาก จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ระบบบำบัดขนาดใหญ่เพียงอย่างเดียว
4. เมื่อไม่จำเป็นจะต้องใช้โรงบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่เพียงอย่างเดียว ก็จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในส่วน of ระบบโดยรวม และขนส่งน้ำเสียลงไปได้
5. ปริมาณการเกิดกากตะกอน (sludge) มีน้อย ในระบบไม่ใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์จะเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ประมาณ 10 % (Terzis, 1994) ในขณะที่ในระบบใช้ออกซิเจนสารอินทรีย์ จะเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ถึง 50 %
6. กากตะกอนที่เกิดขึ้นมีความคงตัวสูง และสามารถทำ dewatering ได้ง่าย
7. ได้มีเทนเป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยา ก๊าซตัวนี้ใช้เป็นพลังงานได้
8. ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าระบบใช้ออกซิเจน (Moosbrugger และคณะ, 1993)

9. สามารถหยุดเดินระบบได้เป็นเวลานานโดยไม่เป็นปัญหา (Yang, Chang and Whalen, 1991) และการเริ่มต้นเดินระบบใหม่ ก็กระทำได้ง่าย ระบบสามารถฟื้นตัวได้รวดเร็ว จึงเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมที่ทำงาน เป็นฤดู
10. ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง (Germili et al., 1993)
11. ระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้ออกซิเจน สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารพิษบางอย่างได้ เช่น พวก halogenated solvents
12. แบคทีเรียในระบบเกาะจับกันแน่นเป็นเม็ดขนาดเล็ก จึงจมตัวได้ดี ทำให้มีแบคทีเรียในระบบในปริมาณที่สูงจึงไม่ต้องใช้ supportor ในการยึดเกาะของแบคทีเรีย (Wiegant and Lettinga, 1985; Campos and Anderson; 1992)

ข้อเสีย

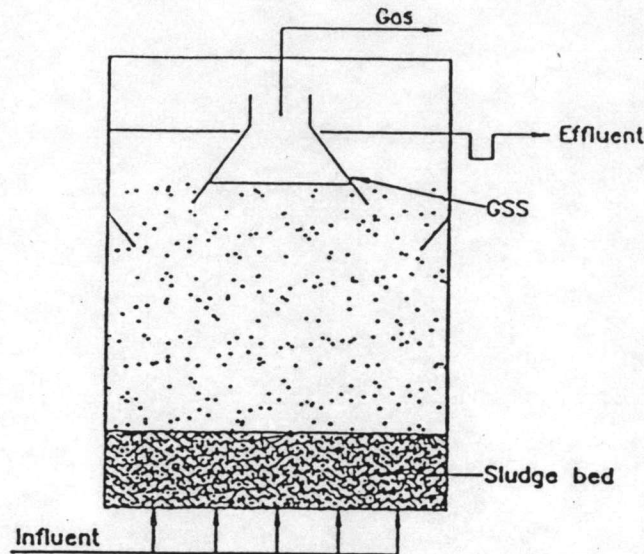
1. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ไม่สามารถใช้เป็นระบบบำบัดที่สมบูรณ์ในตัวเองได้เนื่องจากยังคงมีสาร intermediates ต่าง ๆ หลงเหลืออยู่ทำให้น้ำทิ้งมักมี BOD สูง
2. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมักมีปัญหาที่อุณหภูมิต่ำ
3. ความรู้และประสบการณ์ในขั้นการทำงานจริงยังมีอยู่ไม่มากนัก
4. ต้องใช้เวลาในการ start-up ระบบค่อนข้างนาน

1.7.2 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ลักษณะทั่วไปเป็นถังรูปทรงสี่เหลี่ยม หรือทรงกระบอกก็ได้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 1.11

1. ส่วนแรกเป็นถังปฏิกิริยาและระบบป้อนน้ำเสีย (feed inlet system) อยู่ด้านล่างของถัง
2. ส่วนที่สองเป็นส่วนแยกน้ำ, ก๊าซ และตะกอนแขวนลอยอยู่ด้านบนของถัง

ในการทำงานของระบบยูเอเอสบี จะมีการเติมเชื้อแบคทีเรียเข้าสู่ถังปฏิกิริยา จากนั้นทำให้เกิดภาวะที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความหนาแน่นและรวมตัวเป็นเม็ดหรือเกล็ด (granular or pellet) ทำให้มีความเร็วในการจมตัวสู่กันถังปฏิกิริยาสูง รวมเป็นชั้นของตะกอนนอน (sludge bed) ส่วนกลุ่มที่มีความหนาแน่นต่ำ และมีความเร็วในการจมตัวต่ำกว่า จะลอยอยู่เป็นชั้นของตะกอนแขวนลอย (sludge blanket)



รูปที่ 1.11 ลักษณะทั่วไปของถังปฏิกริยายูเอเอสบี

เมื่อน้ำเสียถูกปั๊มเข้าสู่ด้านล่างของถังปฏิกริยา จุลินทรีย์ก็จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้เกิดเซลล์ และก๊าซขึ้น โดยก๊าซที่เกิดขึ้น (ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน) และความเร็วของน้ำเสียที่ปั๊มเข้าสู่ระบบ จะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ลอยขึ้นสู่ด้านบน ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียกับตะกอนแขวนลอย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อน้ำเสียเคลื่อนที่จนถึงส่วนบนของถังซึ่งมีอุปกรณ์แยกก๊าซ, น้ำเสีย และตะกอนแขวนลอย ทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นถูกแยกไปเก็บยังส่วนบน และไหลไปตามท่อสู่ที่เก็บก๊าซ ตะกอนจุลินทรีย์จะตกลงสู่ก้นถังปฏิกริยา ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกทางด้านบนของถัง

จะเห็นได้ว่าปัจจัยสำคัญของระบบยูเอเอสบี คือ การเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เกาะเป็นเกล็ด หรือ เม็ด ซึ่งมีความหนาแน่น และน้ำหนักมาก เพื่อที่จะตกตะกอนได้ดี เป็นสิ่งสำคัญของระบบนี้ (Fang, Chui and Li, 1994; Morvai, Mihaltz and Czako, 1992; Howgrave-Graham, Isherwood and Wallis, 1994) เพราะถ้าไม่มีการรวมตัวเป็นเม็ดหรือเกล็ด จะทำให้เกิดการหลุดออก (wash out) ของตะกอนจุลินทรีย์ได้ เป็นผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงหรืออาจล้มเหลวได้

1.7.3 กลไกการเกิดเม็ด หรือเกล็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Pelletization)

Hulshoff - Pol และคณะ (1983) ได้ศึกษากลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยสังเกตจากพฤติกรรมในการคงอยู่ หรือการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งได้กล่าวถึงขั้นตอนของการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไว้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 (อัตราการป้อนสารอินทรีย์ < 2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)

เป็นขั้นตอนเริ่มต้น เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังยูเอเอสบี ชั้นตะกอนล่างจะเกิดการขยายตัวเนื่องจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าไปและก๊าซที่เริ่มเกิดในระบบ เกิดจุลินทรีย์จำพวกเส้นใย (filamentous organisms) ซึ่งทำให้ตะกอนจุลินทรีย์จมตัวได้น้อยลง

ขั้นตอนที่ 2 (อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2 - 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)

ขั้นตอนนี้จะมีอัตราการสูญเสียตะกอนแขวนลอยสูงมาก เนื่องจากการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ทำให้เกิดการผลึกก๊าซมากขึ้น ทำให้มีการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก ๆ ออกนอกถัง ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ และหนักสามารถคงอยู่ในถังต่อไปได้ ซึ่งเป็นการคัดเลือกของระบบที่มีการสร้างจุลินทรีย์ และมีการรวมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้มีลักษณะเป็นเม็ดตะกอนจมอยู่ส่วนล่างของถัง เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมีขนาดใหญ่ขึ้น อาจมีขนาดใหญ่ถึง 5 มม.

ขั้นตอนที่ 3 (อัตราการป้อนสารอินทรีย์ > 3 - 5 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)

เป็นขั้นตอนที่อัตราการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีมากกว่าการหลุดออกนอกถังของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งหลังจากระบบได้ผ่านขั้นตอนนี้แล้ว ระบบจะสามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ได้มากขึ้น จนถึงค่าสูงสุดที่ระบบสามารถรับได้ จากการทดลองที่ผ่านมา ระบบอาจรับได้สูงถึง 50 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

นอกจากนี้ การเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 30 มิลลิกรัม/ลิตร ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบจะช่วยให้การเกิดเม็ดตะกอนดีขึ้น (Borja and Banks, 1994)

1.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสีย

Riera, Cordoba และ Sinerizt (1985) ได้ศึกษาการใช้ระบบ UASB ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานกลั่นสุรา ที่ใช้น้ำกากสาเป็นวัตถุดิบ ซึ่งได้ใช้ถังหมักขนาด 100 ลิตร ทำการทดลองที่ประเทศอาร์เจนตินา น้ำเสียมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 35-100 กรัมซีโอดี/ลิตร ระบบสามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ได้ถึง 24 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 75% และอัตราการผลิตก๊าซมากกว่า 9 ลิตร/ลิตร-วัน สัดส่วนของมีเทนประมาณ 58 % และพบการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทำให้จมตัวได้ดี ระบบสามารถอยู่ได้โดยไม่มีอาหาร และที่อุณหภูมิ 20-24°C

Fang, Jinfu และ Guohua (1989) ได้ศึกษาการใช้ระบบ UASB ขนาด 1.17 m³ ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ ใช้เวลาในการทดลองมากกว่า 5 เดือน ทดลองที่อุณหภูมิ 26 °C และ HRT 13.3 ชั่วโมง ระบบสามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ได้ 4.9 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน และระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี มากกว่า 89 % และระบบยังสามารถลดปริมาณสารแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Vinas, Borzacconi และ Martinez (1994) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตยีสต์ โดยใช้ระบบ UASB พบว่าระบบสามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ได้ถึง 10 กิโลกรัมซีโอดี/ ลูกบาศก์เมตร-วัน มีHRT 36 ชั่วโมง ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี มากกว่า 60% น้ำเสียประกอบด้วย 35 % ของซีโอดีละลายที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยวิธีชีวภาพ และพบว่ากระบวนการที่มีการรีไซเคิลน้ำ จะสามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ได้สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย

อะเคือ บุญญศิริ (2536) ทำการทดลองบำบัดน้ำกากสาที่มีค่าซีโอดี ประมาณ 110,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้ถังหมักแบบ ยูเอเอสบี ขนาดความจุ 34.7 ลิตร ที่อุณหภูมิ 55 °C ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนอัตราการป้อนสารอินทรีย์ จากผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ได้สูงสุด 10.1 กิโลกรัมซีโอดี/ ลูกบาศก์เมตร-วัน ที่ระยะเวลาพักเก็บ 11 วัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน 0.137 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทน คือที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 7.1 กิโลกรัมซีโอดี/ ลูกบาศก์เมตร-วัน ระยะเวลาพักเก็บ 11 วัน ให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทน 22.1 ลิตร/วัน คิดเป็นประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน 0.204 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด

สัมพันธ์ เขียวเหมือน (2540) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการหมักกรดมะนาวโดยระบบยูเอเอสบี น้ำเสียมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 35,000-80,000 มิลลิกรัม/ลิตร และมีปริมาณกรดไขมันระเหยสูง ประมาณ 3,000-8,000 มิลลิกรัม/ลิตร ความคุมอุณหภูมิที่ 37 °C จากการศึกษาพบว่าระบบสามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ได้สูงถึง 21.27 กิโลกรัมซีโอดี/ ลูกบาศก์เมตร-วัน และอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมคือ 12.55 กิโลกรัมซีโอดี/ ลูกบาศก์เมตร-วัน มีระยะเวลาเก็บเก็บ 4.97 วัน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 87.08 ลิตร/วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 96.72 % ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน 0.5075 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด สัดส่วนของมีเทนเท่ากับ 67.84 % และเกิดตะกอนแบคทีเรียลักษณะเม็ดขนาด 1-3 มิลลิเมตร ในระบบปริมาณมาก

1.9 มุลเหตุจูงใจในการวิจัย

เนื่องจากทางสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตจิบเบอเรลลินมาอย่างต่อเนื่อง จนถึงขั้นการผลิตในระดับขยายส่วนซึ่งในกระบวนการผลิตจิบเบอเรลลินนี้ จะมีน้ำเสียจากกระบวนการสกัดจิบเบอเรลลิน ที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ถ้าปล่อยน้ำเสียเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัดก่อน ก็จะมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตจิบเบอเรลลิน เป็นประเด็นสำคัญหนึ่งที่พึงได้รับการพิจารณา วิเคราะห์ วิจัยและดำเนินการให้มีประสิทธิภาพ เพื่อเสริมสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีให้ครบวงจร ไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และมีเศรษฐศาสตร์กระบวนการที่มีความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์มากยิ่งขึ้น จึงมีแนวความคิดที่จะบำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีชีวภาพโดยการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ลงได้อย่างมากและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ

1.10 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อหาองค์ประกอบและสมบัติจำเพาะต่างๆ ของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการหมักจิบเบอเรลลิน
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรม และประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการหมักจิบเบอเรลลิน
3. เพื่อเปรียบเทียบเสถียรภาพและประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีที่มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆกัน เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบต่อไป

1.11 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. วิเคราะห์องค์ประกอบและสมบัติจำเพาะต่างๆ ของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการหมักจิบบิโอเรลลิน
2. ใช้ระบบบำบัดยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียนี้ในระดับห้องทดลอง
3. แสวงหาและทดสอบภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว
4. ประเมินเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ เพื่อหาอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสม