

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 การบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

กระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนนั้นได้มีการศึกษากันมาเป็นเวลานานแล้ว แต่ก็ไม่แพร่หลายเท่าที่ควรเนื่องจากมีปัญหาหลายประการ เช่น ใช้เวลาในการเริ่มเดินระบบนาน ต้องการพื้นที่เป็นจำนวนมาก ปัญหาในการควบคุมระบบซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญ ทำได้ยากหากผู้ควบคุมไม่มีความรู้ดีพอ เป็นต้น ดังนั้น ส่วนใหญ่จึงใช้กระบวนการบำบัดใช้ออกซิเจนแทน เนื่องจาก ใช้เวลาในการเริ่มเดินระบบน้อย ควบคุมระบบได้ง่ายกว่า แต่ก็มีข้อเสียตรงที่ว่า ต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ในเรื่องพลังงานที่ต้องใช้ในการเติมออกซิเจนให้กับระบบ และยังเสียค่าใช้จ่ายในการเติมสารเคมีอีกด้วย นอกจากนี้ ยังมีตะกอนส่วนเกินที่ต้องนำไปกำจัดทิ้ง ทำให้เริ่มมีการนำกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนขึ้นมาพิจารณาใหม่ และพยายามค้นคว้าเพื่อพัฒนาระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนให้ดีขึ้น ดังจะเห็นได้จากมีผลงานวิจัยใหม่ๆ ที่ทำการค้นคว้าเกี่ยวกับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน มาเผยแพร่เพิ่มมากขึ้น

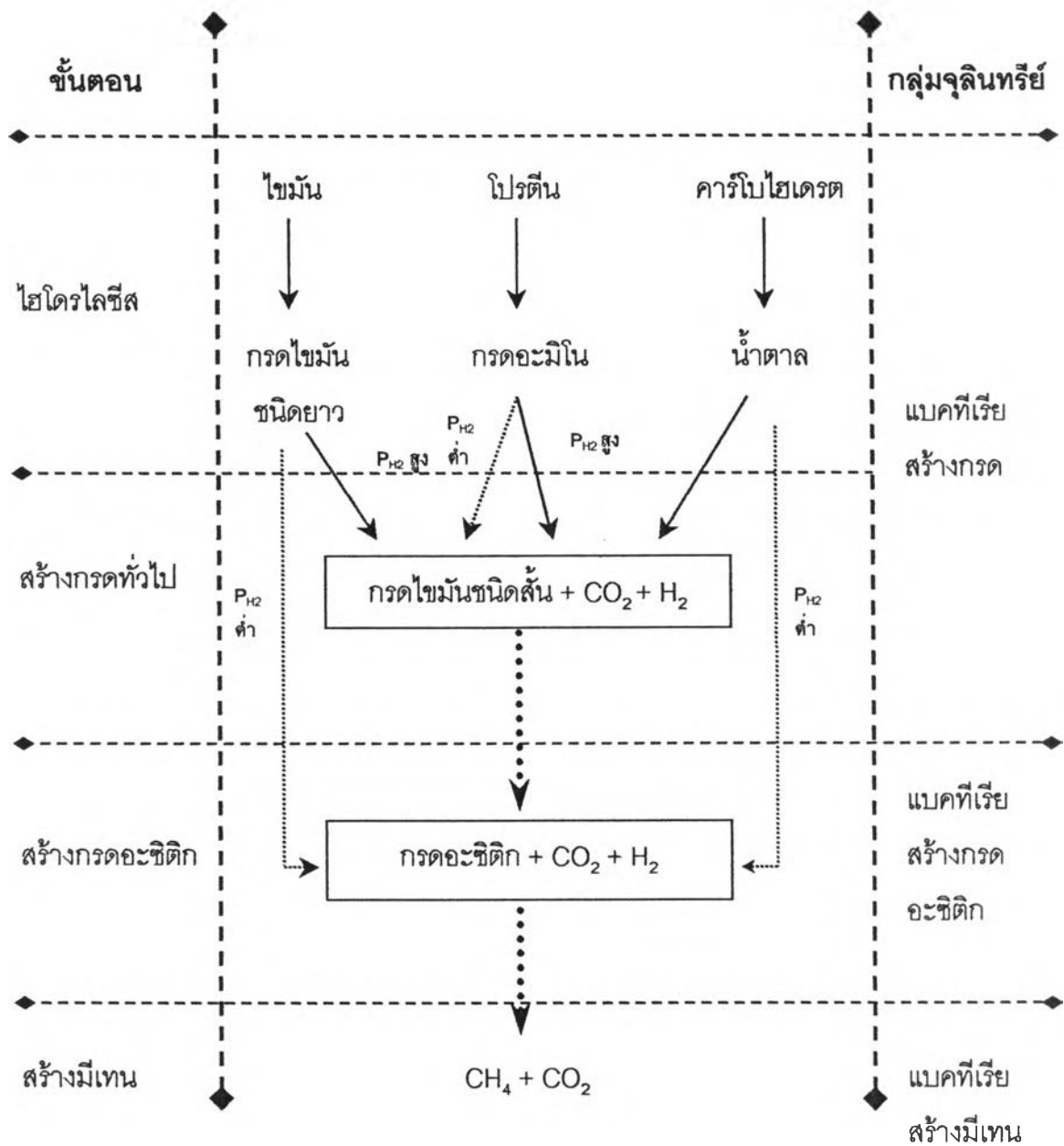
กระบวนการไร้ออกซิเจนที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนใหญ่มีหน้าที่ 2 ประการคือ เป็นระบบบำบัดน้ำเสีย และเป็นระบบบำบัดสลัดจ์ เมื่อพิจารณาด้านการบำบัดน้ำเสีย กระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมักใช้เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น เพื่อลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ให้เหลือน้อยลงได้มากอย่างมีนัยสำคัญ เป็นการช่วยประหยัดพลังงานและสารเคมีได้มาก ก่อนจะส่งไปบำบัดในขั้นต่อไป เพื่อให้ได้มาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

2.1.1 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการไร้ออกซิเจน

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการไร้ออกซิเจน จะประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ 4 ขั้นตอน คือ

- ขั้นตอนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)
- ขั้นตอนการสร้างกรดทั่วไป (Acidogenesis)
- ขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)
- ขั้นตอนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

สามารถสรุปโดยรวมได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนของปฏิกิริยาไร้ออกซิเจน (Sam-Soon , 1987)

P_{H_2} = ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนก๊าซ

CH_4 = มีเทน

CO_2 = คาร์บอนไดออกไซด์

H_2 = ไฮโดรเจน

1) การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ๆ เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และ โปรตีน โดยแบคทีเรียประเภทสร้างกรดให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลง เช่น กรดไขมัน ชนิดยาว น้ำตาล และกรดอะมิโน ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ และถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียประเภทนี้จะปล่อยเอนไซม์ที่เรียกว่า hydrolase ออกมา ซึ่งจะมียูด้วยกันหลาย ชนิด แล้วแต่ประเภทของสารอินทรีย์ที่จะถูกย่อย เช่น ถ้าเป็นแป้งและไกลโคเจน จะใช้เอนไซม์ amylase ถ้าเป็นไขมันและไลปิด จะเป็นเอนไซม์ lipase และ esterases ในขณะที่โปรตีนจะใช้ เอนไซม์ protease ส่วนกรดอะมิโนและไลซีน ต้องใช้เอนไซม์ trypsin เป็นต้น ในขั้นตอนนี้จะดำเนิน ไปค่อนข้างช้ามาก จึงเป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราเร็วของปฏิกิริยาในระบบไร้ออกซิเจน ซึ่งอัตราใน การเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ เวลาที่น้ำ และค่าพีเอช เป็นต้น

2) การสร้างกรดทั่วไป (acidogenesis)

ผลผลิตที่ได้จากขั้นตอนการไฮโดรไลซิส จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไป ภายในเซลล์ เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน โดยผ่านกระบวนการหมัก แล้วเปลี่ยน เป็นกรดไขมันระเหยชนิดสั้น (เช่น กรดอะซิติก กรดไพรูวอิก กรดบิวทิริก แอลกอฮอล์ และ คีโตน เป็นต้น) คาร์บอนไดออกไซด์ และการไฮโดรเจน ซึ่งผลผลิตที่ได้จะเป็นอะไรข้างนั้นขึ้นอยู่กับ ชนิดของสารอินทรีย์จากขั้นตอนไฮโดรไลซิส และความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนในขณะนั้น

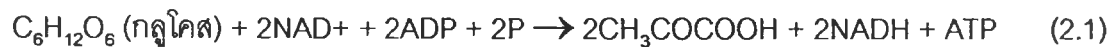
ตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาว (long chain fatty acid) จะถูกย่อยเปลี่ยนเป็น กรดอะซิติกและไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ และย่อยสลาย กลายเป็นกรดไพรูวอิก และกรดบิวทิริก เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจน มีค่าสูง โดยผ่านวิถีชีวเคมีของกระบวนการ β -oxidation

ส่วน การย่อยสลายน้ำตาล โดยผ่านวิถีชีวเคมี ที่เรียกว่า Emden-Meyerhof Pathway เกิดได้ 2 แบบ คือ แบบที่หนึ่ง เกิดที่ความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนต่ำ ผลผลิตที่ได้ คือ กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ส่วนแบบที่สอง จะเกิดที่ความดัน พาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนสูง ผลผลิตที่ได้คือ กรดอะซิติก กรดไพรูวอิก ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ส่วนกรดไพรูวอิก ก็จะสามารถย่อยสลายต่อไปได้อีก เป็นกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ถ้าหากระบบมีความดันพาร์เชียลของ ก๊าซไฮโดรเจนต่ำ แต่ถ้าที่ความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนสูง กรดไพรูวอิกจะไม่สามารถ

ย่อยสลายได้และเกิดการสะสมอยู่ในระบบเรื่อยๆ เป็นผลให้พืชเเขนในระบบลดลงจนในที่สุดไม่สามารถทำงานได้ กระบวนการนี้สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.2

ในการย่อยกลูโคสนั้น จะมีรายละเอียดของการย่อยที่ภายใต้สภาวะความดันพาร์เซี่ยลของกาซไฮโดรเจนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้ (Sam-Soon , 1987)

- ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนทั่วไปที่เกิดได้ทั้งที่สภาวะความดันพาร์เซี่ยลของกาซไฮโดรเจนทั้งต่ำและสูง โดยกลูโคสจะถูกย่อยให้กลายเป็นกรดไพรูวิกและไฮโดรเจนอิออน ซึ่งไฮโดรเจนอิออนนี้ จะเข้าร่วมตัวกับพาหนะขนส่งอิเล็กตรอน (NAD^+) กลายเป็น NADH และได้พลังงานให้กับจุลินทรีย์ ดังสมการที่ (2.1)

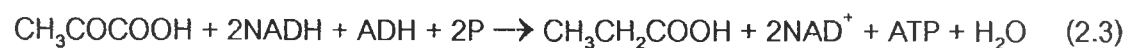


จากสมการ จะเห็นว่า 1 โมลของกลูโคส จะเกิดกรดไพรูวิกถึง 2 โมล และพลังงาน 2 โมล หลังจากนั้น NADH จะปลดปล่อย H^+ ออกมา เพื่อรักษาระดับของ NAD^+ ซึ่งมีจำนวนจำกัดไว้ ให้เป็นพาหนะขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป ซึ่งวิธีการปลดปล่อย H^+ เกิดได้ 2 แบบ คือ

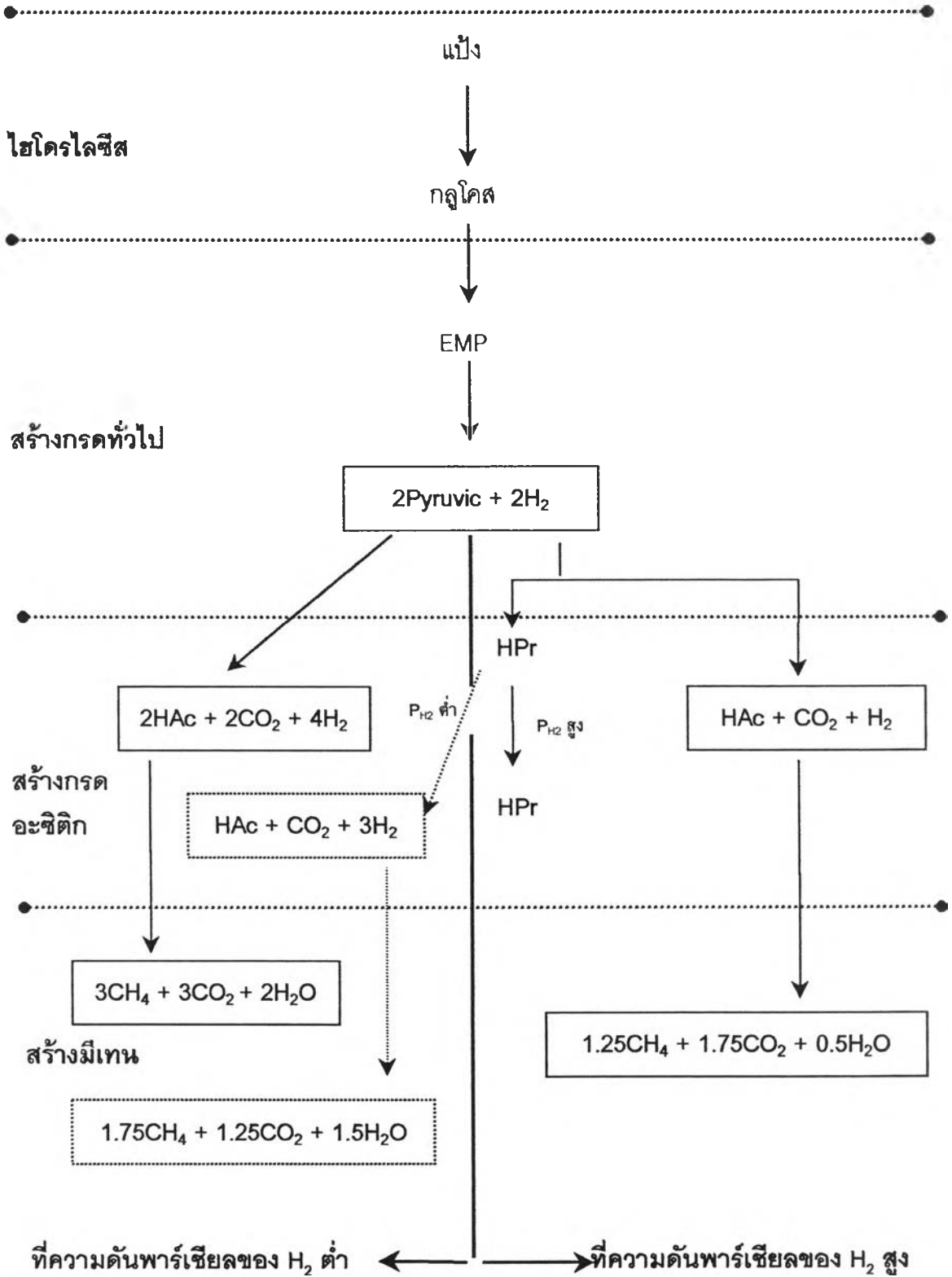
1) ภายใต้สภาวะความดันพาร์เซี่ยลของกาซไฮโดรเจนต่ำ NADH จะถูกออกซิไดซ์เป็น NAD^+ และ H_2 ดังสมการที่ (2.2)



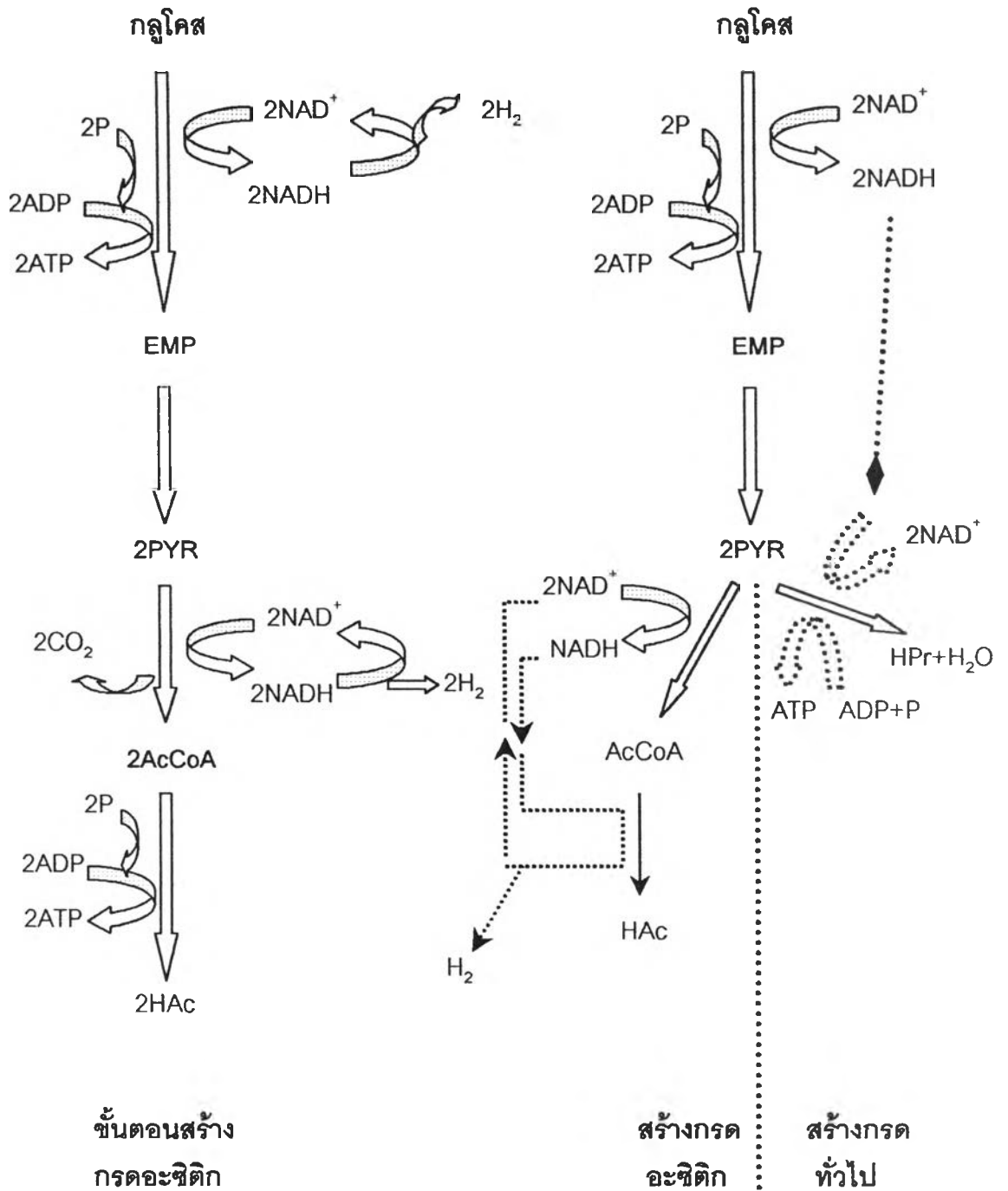
2) ภายใต้สภาวะความดันพาร์เซี่ยลของกาซไฮโดรเจนสูง NADH จะปลดปล่อย H^+ ออกมาพร้อมกับการรีดิวซ์กรดไพรูวิก ไปเป็นกรดไพรูพอนิก ดังสมการที่ (2.3)



ขั้นตอน



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการย่อยสลายแป้ง ที่สภาวะความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนต่ำและสูง (Sam-Soon , 1987)



ก) ที่ความดันพาร์เซียล H₂ ต่ำ

ข) ที่ความดันพาร์เซียล H₂ สูง

รูปที่ 2.3 การย่อยกลูโคสที่สภาวะความดันพาร์เซียลของกาซไฮโดรเจนต่ำและสูง

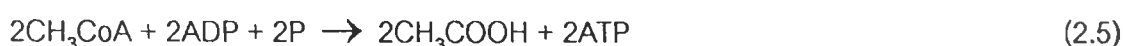
- EMP = Embden-Meyerhof pathway HPr = กรดโพรพิอิก (Propionic acid)
- PYR = กรดไพรูวิก (Pyruvic acid) HAc = กรดอะซิติก (Acetic acid)
- AcCoA = อะซิติลโคเอนไซม์เอ (Acetyl coenzyme A)

- ขั้นตอนที่ 2 กรดไพรูวิกจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นกรดไขมันระเหยชนิดสั้น ซึ่งจะเป็นชนิดได้นั้น ขึ้นกับความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจน ดังนี้

1) ที่ความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนต่ำ (รูป 2.3 ก) 2 โมลของกรดไพรูวิกที่เกิดจากขั้นตอนที่ 1 จะถูกออกซิไดซ์กลายเป็น อะซิติลโคเอ (Acetyl-CoA) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมี NAD^+ ทำหน้าที่เป็นพาหนะขนส่งอิเล็กตรอน ดังสมการที่ (2.4)



หลังจากนั้น 2 โมลของ NADH จะปลดปล่อยไฮโดรเจนออกมามา อยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจน ดังสมการที่ (2.2) และ 2 โมลของอะซิติลโคเอ จะเปลี่ยนต่อไปเป็นกรดอะซิติค 2 โมล และเกิด 2 โมลของ ATP ดังสมการที่ (2.5)

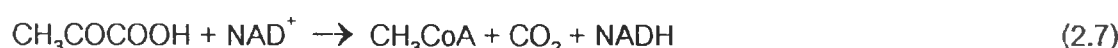


สรุปแล้ว การย่อยสลายกลูโคส 1 โมล ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนต่ำจะได้ดังสมการที่ (2.6)

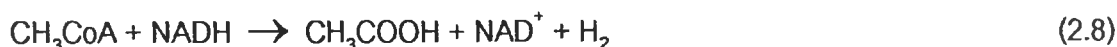


ซึ่งจากสมการ จะพบว่า 1 โมลของกลูโคส จะทำให้เกิดกรดอะซิติค 2 โมล ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมล ก๊าซไฮโดรเจน 4 โมล และ ATP 4 โมล

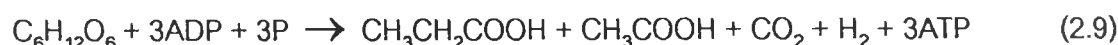
2) ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนสูง (รูปที่ 2.3 ข) เมื่อ 1 โมลของกรดไพรูวิกกลายเป็นกรดไพรูวิกอนิกเรียบร้อยแล้ว (ตามสมการที่ (1)) และอีก 1 โมลของกรดไพรูวิกจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นอะซิติลโคเอ ดังสมการที่ (2.7)



แต่เนื่องจากที่สภาวะความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนสูงนี้ NADH จะไม่สามารถปลดปล่อย H^+ ออกมาได้ อย่างไรก็ตาม จุลินทรีย์ในระบบก็ยังสามารถปลดปล่อย H^+ จาก NADH ได้โดยการทำปฏิกิริยานี้ควบคู่ไปกับการสร้างปฏิกิริยาขึ้นมาใหม่ โดยเปลี่ยนอะซิติลโคเอให้กลายเป็นกรดอะซิติค โดยจะไม่มี ATP เกิดขึ้น ดังแสดงในสมการที่ (2.8)



เมื่อรวมสมการทั้งหมดของขั้นตอนภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนสูง จะได้ดังสมการที่ (2.9)

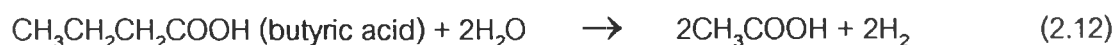
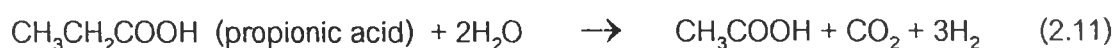


ซึ่ง 1 โมลของกลูโคส จะให้ 1 โมล ของกรดไพรูวอิก , 1 โมลของกรดอะซิติก , 1 โมลของก๊าซไฮโดรเจน , 1 โมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ 3 โมลของ ATP

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ (2.6) และ (2.9) ในขั้นตอนสร้างกรดนี้ พบว่า ที่สภาวะความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนต่ำ จะให้พลังงานทั้งหมด 4 โมล และกรดอะซิติก 2 โมล ในขณะที่ ที่สภาวะความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนสูง จะให้พลังงาน 3 โมล กรดอะซิติกเพียงแค่ 1 โมล และกรดไพรูวอิก 1 โมล

3) การสร้างกรดอะซิติก (acetogenesis)

จุลินทรีย์สร้างกรดอะซิติกนี้มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นตัวกลางระหว่างขั้นตอนการสร้างกรด และสร้างมีเทน เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนจะสามารถย่อยกรดไขมันได้เฉพาะที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 2 อะตอม เช่น กรดอะซิติก และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นจึงต้องอาศัยแบคทีเรียอะซิโตจีนิค เพื่อทำการย่อยสลายกรดไขมันที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดบิวทิริก กรดไพรูวอิก ให้กลายเป็นกรดไขมันที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 2 อะตอม เช่น กรดฟอร์มิก เมธานอล กรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้



แบคทีเรียกลุ่มนี้จะสามารถทำงานได้ดีที่สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำเท่านั้น ถ้าความดันพาร์เชียลสูงจะทำให้กรดอะซิติกรวมตัวกับก๊าซไฮโดรเจนกลับไปเป็นกรดไพรูวอิก กรดบิวทิริก หรือเอทานอล เป็นผลให้เกิดการสะสมตัวของกรดเหล่านี้ ทำให้พีเอชลดลง และยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนได้

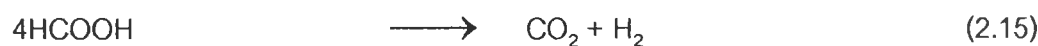
4) การสร้างมีเทน (methanogenesis)

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะเป็นชนิดไร้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาด สามารถทำงานได้ดีที่พีเอช ประมาณ 7 แบ่งได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

(1) แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากไฮโดรเจน (*Obligate hydrogenotrophic methanogen*) โดยแบคทีเรียพวกนี้จะใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน และใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน

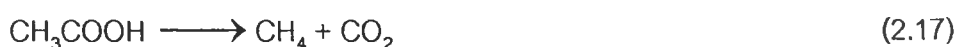


นอกจากนี้ยังสามารถใช้สารอาหารอื่นเป็นแหล่งคาร์บอนได้อีก เช่น กรดคาร์บอนิก กรดฟอร์มิก และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยสารพวกนี้จะถูกแบคทีเรียกลุ่มนี้ใช้โดยเปลี่ยนเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ดังสมการ



เนื่องจากแบคทีเรียชนิดนี้ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนในการสร้างมีเทน จึงช่วยลดความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนได้

(2) แบคทีเรียสร้างมีเทนจากกรดอะซิติก (*Obligate acetoclastic methanogen*) ซึ่งใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงานในการสร้างมีเทนดังสมการ



ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบ ประมาณ ร้อยละ 70 จะเกิดจากแบคทีเรียชนิดนี้

3) แบคทีเรียสร้างมีเทนจากกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจน (*Hydrogenotrophic / acetoclastic methanogen*) คือแบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้ทั้งจาก กรดอะซิติก หรือก๊าซไฮโดรเจน แต่ชอบก๊าซไฮโดรเจนมากกว่า

การเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างสมบูรณ์นั้น ต้องผ่านขั้นตอนทั้ง 4 ขั้นตอน ที่กล่าวมาแล้วนี้ ต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน โดยผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนแรกๆ จะเป็นสารตั้งต้นให้กับขั้นตอนต่อไป ดังนั้น หากมีสิ่งใดที่ทำให้เกิดการเสียสมดุลย์หรือเกิดการยับยั้งในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง เช่น แบคทีเรียสร้างมีเทน มีจำนวนลดลง ทำให้การนำกรดไขมันระเหยไปใช้ได้น้อยลง ในขณะที่อัตราการผลิตกรดเท่าเดิม ทำให้เกิดการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนค่าพีเอชต่ำลงเรื่อยๆ ในที่สุดระบบอาจล้มเหลวได้

2.1.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับระบบไร้ออกซิเจน

แบคทีเรียในระบบไร้ออกซิเจนแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรด
2. กลุ่มแบคทีเรียที่สร้างมีเทน

ในขั้นตอนการสร้างกรดของกระบวนการไร้ออกซิเจน กรดจะผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียทั้งพวกไร้ออกซิเจนแท้ (obligate anaerobes) และพวกที่อยู่ได้ทั้งที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (facultative) โดยส่วนใหญ่จะผลิตขึ้นด้วยแบคทีเรียพวกแรกมากกว่าเพราะมีจำนวนมากกว่าแบคทีเรียในหลายๆ สปีชีส์ (species) ของ *Pseudomonas* *Flavobacterium* *Alcaligenes* *Escherichia* และ *Aerobacter* เป็นพวกที่สร้างกรด เมตาบอลิซึมของแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนมีหลายแบบ ผลปฏิกิริยาที่ได้จึงมีหลายแบบต่างๆ ไป ถ้าได้สารที่เป็นโมเลกุลอย่างง่าย แบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็สามารถใช้เป็นสารอาหารได้ แต่ถ้าเป็นสารอื่นก็ต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นสารโมเลกุลอย่างง่ายก่อน แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจึงจะสามารถนำไปใช้ได้ แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนประเภทที่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่มีบทบาทสำคัญเพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียที่สร้างกรดกับแบคทีเรียที่สร้างมีเทน แบคทีเรียประเภทสร้างไฮโดรเจนนี้เมื่อทำปฏิกิริยาสร้างไฮโดรเจนจะสามารถสร้างกรดอะซิติกได้จากสารอินทรีย์อื่นเช่นกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 ตัว ที่เกิดขึ้นจากแบคทีเรียที่สร้างกรดแบบธรรมดา และแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการสะสมทำให้พีเอชในระบบลดลงได้จนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ส่วนไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นหากมีการสะสมตัวอยู่ภายในระบบจะ

เป็นพืชต่อแบคทีเรียที่สร้างมันขึ้นมา อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียที่สร้างมีเทนสามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนในการสร้างมีเทนได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียที่สร้างกรดและที่สร้างมีเทนให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน คือแบคทีเรียที่สร้างกรดสร้างอาหารให้แก่แบคทีเรียที่สร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะก็ช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียที่สร้างกรด

ในขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนจะเป็นแบคทีเรียในกลุ่มเล็กๆ ของพวกไร้ออกซิเจนแท้ ซึ่งไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย แบคทีเรียพวกนี้เจริญเติบโตช้า เลือกรชนิดของอาหารมากโดยใช้ได้เฉพาะก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และเมทานอล ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้กรดอะซิติกเป็นสารอาหารในการสร้างมีเทนมากที่สุด ตัวอย่างแบคทีเรียที่สร้างมีเทนและสารอาหารที่ใช้แสดงในตารางที่ 2.1 เมื่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนต้องการสารอาหารบางชนิดอย่างเจาะจง แต่แบคทีเรียที่สร้างกรดสามารถสร้างกรดอินทรีย์ได้หลายชนิดทำให้แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมีส่วนสำคัญดังกล่าว

แบคทีเรียที่สร้างมีเทน อาจแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ชนิดแรก เรียกว่า hydrogenotrophic methanogen หรือ hydrogen utilizer สร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน กล่าวคือได้คาร์บอนมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และได้พลังงานมาจากไฮโดรเจน แบคทีเรียชนิดนี้สามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารอาหารเพียงอย่างเดียวได้ เพราะกรดฟอร์มิกสามารถเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย ส่วนชนิดที่ 2 คือพวกที่สร้างมีเทนจากกรดอะซิติก โดยมีเทนส่วนใหญ่ได้จากการแตกตัวของกรดอะซิติก แบคทีเรียชนิดนี้เรียกว่า acetoclastic methanogen

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบแบบไร้ออกซิเจน

ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมของจุลินทรีย์

1) อุณหภูมิ (Temperature)

ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกระบวนการไร้ออกซิเจน มี 2 ช่วงคือ

- Mesophilic ช่วงอุณหภูมิ 30 - 40° C
- Thermophilic ช่วงอุณหภูมิ 45 -55° C

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างแบคทีเรียที่สร้างมีเทนและสารอาหารที่ใช้ เสนอโดย
Balch, 1979 (อ้างถึงใน Mosey, 1982)

Order/ Family	Genus	Species	Substrates for growth and methane production
I/1	<i>Methanobacterium</i>	formicicum	H ₂ + CO ₂ formate
I/1	<i>Methanobacterium</i>	bryantii	H ₂ + CO ₂
I/1	<i>Methanobacterium</i>	bryantii, strain M.o.H.G.	H ₂ + CO ₂
I/1	<i>Methanobacterium</i>	thermoautotrophicum	H ₂ + CO ₂
I/1	<i>Methanobrevibacter</i>	ruminantium	H ₂ + CO ₂ formate
I/1	<i>Methanobrevibacter</i>	arboriphilus	H ₂ + CO ₂
I/1	<i>Methanobrevibacter</i>	arboriphilus strain AZ	H ₂ + CO ₂
I/1	<i>Methanobrevibacter</i>	arboriphilus strain DC	H ₂ + CO ₂
I/1	<i>Methanobrevibacter</i>	smithii	H ₂ + CO ₂ formate
II/1	<i>Methanococcus</i>	vanniellii	H ₂ + CO ₂ formate
II/1	<i>Methanococcus</i>	voltae	H ₂ + CO ₂ formate
III/1	<i>Methanomicrobium</i>	mobile	H ₂ + CO ₂ formate
III/1	<i>Methanogenium</i>	cariaci	H ₂ + CO ₂ formate
III/1	<i>Methanogenium</i>	marisnigri	H ₂ + CO ₂ formate
III/1	<i>Methanospirillum</i>	hungatii	H ₂ + CO ₂ formate
III/2	<i>Methanosarcina</i>	barkeri	H ₂ + CO ₂ methanol
III/2	<i>Methanosarcina</i>	barkeri strain 227	acetate
III/2	<i>Methanosarcina</i>	barkeri strain W	H ₂ + CO ₂ methanol acetate H ₂ + CO ₂ methanol acetate

สำหรับ Mesophilic Bacteria ไม่ต้องใช้พลังงานสูงมากนักในการควบคุมเหมือนช่วง Thermophilic และ Thermophilic Bacteria จะไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดีเหมือนกับในช่วงอุณหภูมิอื่น

2) พีเอช (pH)

ช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนควรอยู่ระหว่าง 6.6-7.4 (Alan Li, 1983) ซึ่งกำหนดโดยการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ถ้าพีเอชน้อยกว่า 6.6 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสามารถปรับตัวได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าดังนั้นการควบคุมพีเอชของระบบจึงมุ่งเน้นไปที่ค่าที่เหมาะสมกับกลุ่มสร้างมีเทนมากกว่า

3) กรดไขมันระเหย (volatile fatty acid, VFA) และสภาพด่าง (alkalinity)

ระบบยูเอเอสบีที่ทำงานได้ดี ปกติควรมีค่ากรดไขมันระเหย น้อยกว่า 500 มก./ล.ของกรดอะซิติก การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของกรดไขมันระเหย จะมีผลกระทบต่อแบคทีเรียเนื่องจากแบคทีเรียผลิตมีเทนไม่สามารถนำผลผลิตที่เกิดจากแบคทีเรียสร้างกรดไปใช้ได้ทัน เกิดการสะสมตัวของกรดไขมันระเหย ทำให้พีเอชในระบบลดลงเรื่อยๆ จนอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน จนในที่สุด ระบบอาจล้มเหลวได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมสภาพด่าง เพื่อเป็นกำลังบัฟเฟอร์ให้กับระบบ เพื่อรักษาค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรีย โดยทั่วไป อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่าง ถ้าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่า มีกำลังบัฟเฟอร์สูง ระบบสามารถทำงานได้ดี ถ้ามากกว่า 0.8 แสดงว่า มีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงและหากไม่แก้ไขระบบจะล้มเหลวได้ ซึ่งในส่วนของสภาพด่างนี้ จะได้กล่าวอย่างละเอียดในหัวข้อต่อไป

4) อาหารเสริม (nutrient)

ถึงแม้ว่าในระบบแบบไร้ออกซิเจนจะมีเซลล์แบคทีเรียที่สร้างขึ้นมาน้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจน ทั้งนี้เนื่องจากผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่จะกลายเป็นกาซมีเทนและกาซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่จุลินทรีย์เองก็ยังคงต้องการอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส แต่ในอัตราส่วนที่น้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์ในระบบแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ต้องการ C:N:P ประมาณ 100 : 1.1 : 0.2 (McCarty, 1964 อ้างถึงใน โสภา, 2540) นอกจากนี้ยังมีธาตุบางอย่างที่แบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการเป็นปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ ได้แก่ เหล็ก โคบอลต์ นิเกิล ซัลเฟอร์

5) สารพิษ (toxic)

สารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบไร้ออกซิเจน โดยเฉพาะแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน มีหลายชนิด ความรุนแรงขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารเหล่านั้น สารที่เป็นพิษไม่ได้หมายถึงสารอันตรายโดยตรงเท่านั้น สารบางตัวเป็นสารอาหารที่จำเป็นแต่ต้องมีปริมาณพอเหมาะถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะกลายเป็นสารพิษได้ รวมถึงอิออนบวกและโลหะหนักต่างๆ ควรมีการตรวจวัดปริมาณสารพิษในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเพื่อหาทางแก้ไข หรือลดความเป็นพิษลง เช่น การตกตะกอนแยกโลหะหนักออกก่อน เป็นต้น เชื้อแบบไร้ออกซิเจนมีความทนทานต่อสารพิษมากกว่าเชื้อแบบอื่น แต่หากระบบล้มเหลวลงเนื่องจากสารพิษต้องใช้เวลาในการฟื้นตัวนานเช่นเดียวกัน

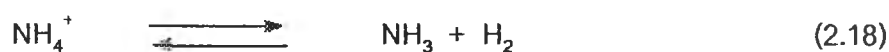
พิษของอิออนบวกและโลหะหนัก

อิออนบวกได้แก่ Na^+ , K^+ , Mg^+ และ Ca^{2+} ซึ่งถ้ามีความเข้มข้นต่ำพอเหมาะจะมีประโยชน์ต่อแบคทีเรีย ถ้ามากเกิดความจำเป็นจะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย โดยเฉพาะอิออนบวกที่มีวาเลนซ์สูงจะมีความเป็นพิษมากกว่าที่มีวาเลนซ์ต่ำ ซึ่งพิษของ Mg^+ และ Ca^{2+} มากกว่า Na^+ และ K^+ ถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของอิออนบวกจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อวาเลนซ์สูงขึ้น และน้ำหนักอะตอมเพิ่มมากขึ้น การลดความเป็นพิษได้โดยทำแอนตาโกนิสซึม (Antagonism) คือเมื่อมีอิออนบวกอยู่ร่วมกันในความเข้มข้นที่พอเหมาะ พิษของอิออนบวกชนิดหนึ่งสามารถลดความเป็นพิษอิออนอีกชนิดหนึ่งได้ เช่นพิษของ Na^+ ที่ความเข้มข้น 3500 มก./ลิตร จะลดลงถ้ามี Mg^{2+} และ Ca^{2+} ในปริมาณที่เหมาะสม ในทางตรงกันข้าม อิออนบางชนิดอาจเป็นพิษเพิ่มมากขึ้น ถ้ามีอิออนอีกชนิดหนึ่งอยู่ด้วย

ส่วนโลหะหนักได้แก่ แมงกานีส สังกะสี แคดเมียม นิเกิล โคบอลต์ ทองแดง และโครเมียม โลหะหนักเหล่านี้จะอยู่ในรูปของอิออน พบว่า Cu^{2+} มีผลต่อระบบมากที่สุด โดยความเป็นพิษของ $\text{Cu}^{2+} > \text{Cu}^+ > \text{Fe}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ ความเป็นพิษของโลหะหนักลดลงได้ถ้าน้ำเสียมีปริมาณซัลไฟด์พอเหมาะ เพราะสามารถรวมกับโลหะหนักเกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ซึ่งสามารถตกตะกอนได้

พิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาจากการย่อยสลายสารพวกโปรตีน ซึ่งมีไนโตรเจนรวมอยู่ในโมเลกุล โดยไนโตรเจนที่ปล่อยออกมาจะอยู่ในรูป NH_4^+ และ NH_3 ดังสมการ



ถ้าพีเอชต่ำกว่า 9.2 ปฏิกริยาจะดำเนินไปทางซ้าย ถ้าพีเอชมากกว่า 9.2 ปฏิกริยาจะดำเนินไปทางขวา ซึ่ง NH_3 จะยับยั้งการทำงานและเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนมากกว่า NH_4^+ ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน
(McCarty,1964)

แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ล.)	ผลต่อระบบ
50-200	ปริมาณพอเหมาะ
200-1000	ยังไม่เกิดผลเสีย
1500-3000	เริ่มยับยั้งเมื่อพีเอชสูง
>3000	เป็นพิษโดยตรง

พิษของซัลไฟด์

ถ้ามีปริมาณของซัลไฟด์ในระบบมาก ไม่ว่าจะมาจากน้ำเสียที่เข้าระบบหรือการย่อยสลายของซัลเฟตก็ตาม ซัลไฟด์จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนในกระบวนการไร้ออกซิเจน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอิออนบวกที่รวมอยู่ ถ้ารวมกับโลหะหนักก็จะตกตะกอนลงมา ส่วนที่เหลือจะละลายน้ำในรูปแบบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสามารถเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริกได้ แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระสามารถทนต่อซัลไฟด์ละลายน้ำที่มีความเข้มข้นถึง 50 - 100 มก./ล. แต่ที่ความเข้มข้นมากกว่า 200 มก./ล. จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดนี้ การลดพิษของซัลไฟด์ทำได้โดยการทำให้ตกตะกอนของซัลไฟด์ การทำให้น้ำเจือจาง หรือโดยการแยกซัลไฟด์ออกจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

2.1.4 ปัจจัยที่ใช้ควบคุมการทำงานของจุลินทรีย์

นอกจากสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์แล้ว การควบคุมจุลินทรีย์ให้แข็งแรงสามารถทำงานได้ดี จำเป็นต้องรักษาสภาพทางกายภาพต่อตัวจุลินทรีย์ให้เหมาะสม ดังนี้

1) การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ไว้ให้สูงที่สุด

การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบให้มีจำนวนมากที่สุด จะทำให้สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพดีได้ ทั้งนี้ เนื่องจากระบบบำบัดนี้สามารถเลี้ยงแบคทีเรียให้จับตัวกันเป็นเม็ดตะกอน มีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมากจนตกตะกอนได้ดี และยังมีอุปกรณ์แยกสามสถานะ ซึ่งสามารถแยกกาซออกจากกลุ่มตะกอนจุลินทรีย์ และดักตะกอนจุลินทรีย์ให้หลุดปนไปกับน้ำทิ้งน้อยที่สุดได้ด้วย ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์อยู่ในระบบมากขึ้น และนานขึ้น ดังนั้น จึงควรออกแบบอุปกรณ์แยกสามสถานะนี้ให้เหมาะสม และดีที่สุด ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงสมบัติของน้ำเสียประกอบ ซึ่งมีส่วนในการกำหนดชนิดของจุลินทรีย์ในระบบ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ ปริมาณกาซชีวภาพที่เกิดขึ้น ขนาดและรูปร่างของถังยูเอเอสบี

2) การกระจายน้ำเสียให้เข้าถึงอย่างทั่วถึง

ควรออกแบบระบบป้อนน้ำเสียเข้าถึงให้สามารถกระจายน้ำเสียให้เข้าถึงได้อย่างทั่วถึงตลอดทั้งหน้าตัด ให้น้ำเสียสัมผัสกับแบคทีเรียอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันปัญหาการไหลลัดวงจร ทำให้ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

3) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ การตกตะกอนของจุลินทรีย์ และกาซที่เกิดในระบบ น้ำเสียควรมีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำกว่าอัตราสูงสุดในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ เพื่อป้องกันการเกิด ช็อคโหลด ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพลดลง

2.2 ระบบยูเอเอสบี (UASB; Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

2.2.1 ความเป็นมา

ถึงแม้ว่าระบบบำบัดที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่ เช่น ระบบแอกติเวเต็ดเต็ดสลัดจ์ จะสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ระบบนี้จะสิ้นเปลืองพลังงานในการเดินระบบเป็นอย่างมาก จึงได้พยายามที่จะคิดค้นระบบบำบัดน้ำเสียใหม่ๆ ขึ้นมา จนในที่สุด นักวิจัยได้กลับมาให้ความสนใจระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนอีกครั้งหนึ่ง หลังจากระบบนี้ได้ถูกละเลยไม่ได้รับความนิยมนำมาใช้ เนื่องจากตัวระบบเองมีปัญหาอยู่หลายประการคือ

- ต้องใช้เวลากักน้ำมาก ทำให้ระบบมีขนาดใหญ่ เช่น บ่อไร้ออกซิเจน
- ระบบไม่มีเสถียรภาพในการทำงาน เนื่องจากผู้ควบคุมไม่มีความรู้ ความสามารถในการควบคุมระบบอย่างแท้จริง
- ตะกอนจุลินทรีย์มักหลุดไปกับน้ำทิ้งได้ง่าย ทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพต่ำ และไม่สามารถเก็บตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้ ทำให้มีจุลินทรีย์อยู่ในระบบน้อยลง ประสิทธิภาพในการทำงานก็น้อยลงตาม

จากปัญหาต่างๆ เหล่านี้ จึงได้มีผู้พยายามที่จะพัฒนาและแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทำให้เกิดระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนในรูปแบบต่างๆ มากมาย แต่ก็ยังไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดีเท่าที่ควร จนกระทั่ง Lettinga และคณะ (1982) ได้ทำการทดลองการย่อยแบบไร้ออกซิเจนของน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่งในประเทศฮอลแลนด์ โดยเริ่มแรกเป็นการศึกษาโดยใช้ถังกรองไร้อากาศ ต่อมาได้พัฒนาปรับปรุงอุปกรณ์ให้สามารถแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ ออกจากกันได้ทั้ง 3 สถานะ (อ้างถึงใน พิระพงษ์ , 2530) จึงได้ตั้งชื่อกระบวนการนี้ว่า กระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB)

ในปัจจุบัน ระบบยูเอเอสบีได้รับความสนใจและยอมรับกันเพิ่มมากขึ้น มีการติดตั้งระบบยูเอเอสบีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั่วโลก ในประเทศไทยก็มีเช่นกัน เช่น โรงงานเบียร์ ของบริษัท บุญรอด บิวดเวอรี่ จำกัด โดยนำมาใช้เป็นระบบบำบัดทางชีวภาพในขั้นต้น เพื่อลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ให้กับระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนที่อยู่ถัดมา

2.2.2 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ถังยูเอเอสบีที่ใช้กันอยู่ทั่วไป จะมีอยู่ 2 รูปทรง คือ ทรงสี่เหลี่ยม และทรงกระบอก แต่ทั้งสองแบบก็มีส่วนประกอบหลักเหมือนกัน อยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีระบบกระจายน้ำเสียเพื่อกระจายน้ำเสียได้อย่างทั่วถึงทั้งถังให้แก่เชื้อแบคทีเรีย และส่วนที่เป็นส่วนแยกสามสถานะ คือ สามารถแยกได้ทั้ง ตะกอนสลัดจ์ ก๊าซชีวภาพ และส่วนที่เป็นน้ำ ลักษณะการทำงานของระบบเป็นดังนี้

1. ส่วนที่เป็นถังหมักหรือถังปฏิกรณ์ จะมีการป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังผ่านระบบกระจายน้ำให้น้ำเสียเข้าอย่างทั่วถึงทั้งหน้าตัดของถัง ทิศการไหลของน้ำเสียเป็นแบบไหลในแนวตั้งจากด้านล่างขึ้นบน

2. มีการเลี้ยงเชื้อ แบบไร้ออกซิเจนหรือแบบแอนแอโรบิก ให้เกิดขึ้นของตะกอนจุลินทรีย์ ที่มีความหนาแน่นรวมเป็นเม็ดหรือเกล็ด

3. ชั้นตะกอนจะมีการเรียงตัว โดยเชื้อที่มีขนาดใหญ่และความหนาแน่นสูงจะจมตัวอยู่ด้านล่าง ส่วนที่มีขนาดเล็กทรงลงมาจะอยู่ในชั้นถัดไปเรื่อยๆ ซึ่งการเรียงตัวมีลักษณะเหมือนชั้นทรายกรอง สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายในชั้นนี้ ซึ่งเรียกว่า ชั้นสลัดจ์ (sludge bed) ส่วนกลุ่มตะกอนที่มีความหนาแน่นต่ำและมีความเร็วในการจมตัวต่ำกว่า จะถูกพัดพาโดยฟองก๊าซที่ถูกผลิตขึ้นมาและตามการไหลของน้ำที่เข้ามาจากทางด้านล่างถังปฏิกรณ์ กวนให้ขึ้นมาเป็นชั้นของตะกอนแขวนลอย (sludge blanket)

4. ส่วนบนสุดของถัง ซึ่งติดตั้งชุดแยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator Device : GSS) ทำหน้าที่แยกก๊าซ กลุ่มตะกอนจุลินทรีย์ และน้ำเสียออกจากกัน ควบคุมให้ตะกอนแขวนลอยหลุดออกไปกับน้ำทิ้งน้อยลง ลักษณะของอุปกรณ์แยกสามสถานะนี้ ออกแบบได้หลายแบบ ขึ้นกับขนาดและรูปร่างของถังปฏิกรณ์ แต่มีหลักการเหมือนกันคือ

- สามารถเก็บกักก๊าซไว้โดยการแทนที่น้ำ
- แยกน้ำกับก๊าซ ไม่ให้ไหลออกทางเดียวกัน โดยอาศัยหลักการที่ว่า น้ำสามารถไหลเลี้ยวไปมาได้ แต่ก๊าซมีการลอยตัวจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนเป็นเส้นตรงเท่านั้น ถ้ามีสิ่งกีดขวาง หรือแผ่นปะทะใดมาเปลี่ยนทิศทางการลอยตัวขึ้น หลังจากพ้นสิ่งกีดขวางนั้นแล้ว ก็จะลอยตัวขึ้นเป็นเส้นตรงดังเดิม

- แยกตะกอนออกจากน้ำโดยการตกตะกอน ดังนั้นในส่วนของอุปกรณ์แยกสามสถานะ จึงต้องมีส่วนที่น้ำนิ่งและช่องเปิดใหญ่พอที่ตะกอนจะตกกลับลงมายังถังปฏิกรณ์ได้

หลักการที่สำคัญของระบบยูเอเอสบี คือ ต้องเก็บกักตะกอนไว้ในถังปฏิกรณ์ให้ได้มากที่สุด โดยการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียให้รวมตัวกันเป็นเม็ดหรือเกล็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากพอที่จะจมตัวในความเร็วที่สูง ตกตะกอนได้ดี ซึ่งการรวมตัวเกิดเป็นเม็ดของเชื้อจุลินทรีย์จะเกิดได้ดีหรือไม่ ขึ้นกับลักษณะน้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้เริ่มต้นในการเดินระบบ และความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์แยกสามสถานะ โดยตะกอนที่แยกตัวออกมาแล้ว ต้องตกตะกอนกลับเข้าถังปฏิกรณ์ได้ง่าย ไม่สะสมตัวอยู่ในส่วนตกตะกอน และมีตะกอนหลุดปนไปกับน้ำทิ้งน้อยที่สุด

นอกจากนี้ สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบถังยูเอเอสบี คือ ระบบกระจายน้ำเข้า ต้องออกแบบระบบกระจายน้ำเข้าให้สามารถกระจายน้ำเสียให้ทั่วถึงทั้งหน้าตัด เพื่อให้น้ำเสียได้สัมผัสกับแบคทีเรียอย่างทั่วถึง มีโอกาสสุดตันน้อย หลีกเลี่ยงการออกแบบระบบป้อนน้ำเสียเข้าเพียงจุดเดียว เพราะจะทำให้เกิดปัญหาการไหลลัดวงจรได้

ข้อดีของระบบยูเอเอสบี

- เก็บเชื้อไว้ในระบบได้มาก สามารถรับภาระสารอินทรีย์ (organic load) และ shock load ได้สูง
- ไม่ต้องใช้สารตัวกลาง (media)
- สามารถนำกากขี้เถ้าไปใช้ได้
- มีสลัดจ์เกิดขึ้นน้อย
- ต้องการอาหารเสริม (nutrient) ต่ำ
- ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ ไม่ต้องการการเติมอากาศ และการกวนผสม
- ระบบกระทัดรัด สามารถออกแบบให้อุปกรณ์ GSS รวมอยู่ในโครงสร้างเดียวกับถังปฏิกริยาได้

ข้อเสียของระบบยูเอเอสบี

- ต้องการอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสม เพื่อช่วยในการกวน
- ต้องเลี้ยงจุลินทรีย์ให้จับตัวเป็นเม็ด ตกตะกอนได้ดี
- ในเมืองไทยยังมีการใช้ระบบนี้น้อย หา Seed ยาก

2.3 บทบาทของสภาพต่างในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมมีความสำคัญอย่างมากต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะพีเอช โดยปกติแบคทีเรียผลิตมีเทนจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชเป็นกลาง สิ่งที่จะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ การสะสมตัวของกรดไขมันระเหย และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งทั้งสองสาเหตุนี้ทำให้ค่าพีเอชลดลง ถ้าระบบมีสภาพต่างไม่เพียงพอหรือมีกำลังบำบัดต่ำ ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้พีเอชลดลงได้อย่างมากและรวดเร็วและเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน แต่ถ้าระบบมีสภาพต่างสูงพอ ระบบก็จะสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชมากจนมีนัยสำคัญ แต่การจะกำหนดว่าสภาพต่างที่ต้องการของระบบเป็นเท่าใดจึงจะเหมาะสมเป็นไปได้ยากเนื่องจากขึ้นอยู่กับลักษณะและความเข้มข้นของน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียมีความเข้มข้นสูงก็จะสามารถผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ได้มาก ความต้องการต่างเพื่อรักษาสมดุลของกรดคาร์บอนิกก็จะมาก

สภาพต่างที่จะใช้ในการรักษาระดับพีเอช สามารถหาได้หลายวิธี เช่น โดยการเติมต่างโดยตรง หรือทำให้ต่างถูกผลิตขึ้นภายในถังปฏิกริยา หรือวิธีอื่น เช่น การทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบน้อยลง และถ้าหากน้ำเสียที่จะเข้าระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีสภาพต่างน้อยหรือไม่มีสภาพต่างเลย การควบคุมพีเอชด้วยการเติมต่างนั้น จะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายอย่างมีนัยสำคัญ

สภาพต่างในน้ำโดยทั่วไปจะมีอยู่ในรูปของ ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-), คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) นอกจากนี้ ยังมีสารอื่นที่ให้สภาพต่างได้อีก เช่น ซิลิเกต บอเรต แอมโมเนีย ฟอสเฟต และสารอินทรีย์บางชนิดที่ให้สภาพต่าง เช่น กรดฮิวมิก ในแหล่งน้ำเสียหรือน้ำที่มีสภาวะไร้อากาศ เกลือของกรดอ่อน เช่น เกลือของกรดอะซิติก และกรดไพโรฟิออนิก รวมทั้งสารไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก็สามารถให้สภาพต่างได้ด้วยเช่นกัน แต่มีปริมาณค่อนข้างน้อยในน้ำ จนถือว่าไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้น จึงแบ่งสภาพต่างที่มีอยู่ในน้ำโดยทั่วไปได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มไฮดรอกไซด์ กลุ่มคาร์บอเนต และกลุ่มไบคาร์บอเนต ในน้ำโดยทั่วไปจะพบสภาพต่างไม่ครบทุกชนิด ขึ้นกับพีเอชของน้ำ จากงานเขียนของ ดร.มันสิน, 2537 ได้แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ระดับพีเอช	สภาพต่าง
> 11.0	OH^-
9.4 – 11.0	OH^- และ CO_3^{2-}
8.3 – 9.4	CO_3^{2-} และ HCO_3^-
4.6 – 8.3	HCO_3^-
< 4.6	มีแต่กรด

แต่ในการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.6 – 7.4 ดังนั้น สภาพต่างที่มีความสำคัญมากที่สุด คือ สภาพต่างไบคาร์บอเนตเท่านั้น

2.3.1 ความต้องการสภาพต่างในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน พีเอชจะถูกควบคุมโดยความสัมพันธ์ระหว่าง กรด-เบส อย่างไรก็ตาม สิ่งที่มีผลกระทบหลักๆ ในระบบบำบัดต่อค่าพีเอช ก็คือ กรดคาร์บอนิกและการสะสมของกรดไขมันระเหย ในช่วงพีเอช 6.0-7.5 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ บัฟเฟอร์หรือสภาพต่างที่พบส่วนใหญ่ ก็คือ สภาพต่างไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Alkalinity : BA) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบจะให้มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลผลิต ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นบางส่วนจะกลายเป็นก๊าซอยู่เหนือน้ำ และอีกส่วนหนึ่งจะละลายอยู่ในน้ำและทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ถ้าระบบมีสภาพต่างไม่เพียงพอจะเป็นผลให้พีเอชลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อเพิ่มสภาพต่างให้แก่ระบบ

นอกจากนี้ในระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ดีนักแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำกรดไขมันระเหยที่มีอยู่ไปใช้ได้หมด ทำให้มีกรดไขมันระเหยเหลืออยู่ในระบบฯ ถ้าหากมีสภาพต่างไม่เพียงพอแล้ว จะทำให้ค่าพีเอชลดลง เป็นผลให้การทำงานของจุลินทรีย์สร้างกรดจะดีขึ้น สามารถสร้างกรดไขมันระเหยได้เพิ่มขึ้น และสะสมตัวมากขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่การทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนจะช้าลง มีเทนที่เกิดขึ้นก็น้อยลง ทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างมีเทน จนในที่สุดการทำงานของระบบอาจล้มเหลวได้ ทำให้ต้องมีการเติมสภาพต่างให้เพียงพอ เพื่อไปทำปฏิกิริยากับกรดไขมันระเหยสะสมที่เกิดขึ้น และไม่ทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลง

สรุปคือ สภาพต่างที่ต้องการเพื่อรักษาระดับพีเอชในถังปฏิกรณ์ของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ เป็นผลรวมระหว่างสภาพต่างเพื่อใช้ในการสะเทินกรดไขมันระเหย และสภาพต่างเพื่อรักษาสมดุลของกรดคาร์บอนิก นั่นคือ

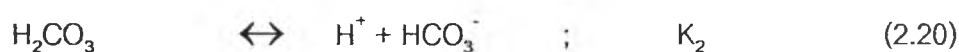
$$\begin{array}{l} \text{สภาพต่างทั้งหมด} \\ \text{ที่ต้องการ} \end{array} = \begin{array}{l} \text{สภาพต่างเพื่อรักษา} \\ \text{สมดุลของกรดคาร์บอนิก} \end{array} + \begin{array}{l} \text{สภาพต่างเพื่อใช้ใน} \\ \text{การสะเทินกรดไขมันระเหย} \end{array}$$

2.3.1.1 สภาพต่างไบคาร์บอเนตสำหรับรักษาสมดุลของกรดคาร์บอนิก

ความต้องการสภาพต่างเพื่อรักษาสมดุลของกรดคาร์บอนิกสามารถคำนวณได้จาก ทฤษฎีสมดุลของคาร์บอเนตและกฎของเฮนรี ดังนี้

สมดุลของกรดคาร์บอนิก

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นผลผลิต ส่วนหนึ่งของคาร์บอนไดออกไซด์จะกลายเป็นกาซอยู่เหนือน้ำ อีกส่วนหนึ่งจะละลาย อยู่ในน้ำและทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ดังสมการ (2.19) และกรดคาร์บอนิกจะ แตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนและไบคาร์บอเนตไอออนตามลำดับ ดังสมการ (2.20)



จากสมการ (2.19) และ (2.20) จะได้ว่า

$$K_1 = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{\text{CO}_{2(aq)}} \quad (2.21)$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \quad (2.22)$$

รวมสมการ (2.21) และ (2.22) จะได้

$$K_1 \cdot K_2 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_{2(aq)}]} \quad (2.23)$$

กำหนดให้ $K_1 \cdot K_2 = K_a$

ดังนั้นจากสมการ (2.23)

$$K_a = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_{2(aq)}]} \quad (2.24)$$

กฎของเฮนรี (Henry's Law)

กฎของเฮนรี กล่าวว่า ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำจะขึ้นกับความดันพาร์เชียลของก๊าซนั้น

$$C^* = K_h \cdot P^*$$

โดยที่ C^* = ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำ (โมล/ล.)

K_h = ค่าคงที่ของการละลาย (โมล/ล.-บรรยากาศ)
ขึ้นกับชนิดของก๊าซและอุณหภูมิ

P^* = ความดันพาร์เชียลของก๊าซ

ดังนั้น ความเข้มข้นหรือปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำ เท่ากับ

$$CO_{2(aq)} = K_h \cdot P_{CO_2} \quad (2.25)$$

แทนค่า สมการ (2.25) ในสมการ (2.24)

$$\begin{aligned} \text{จัดรูปใหม่} \quad K_a &= \frac{[H^+][HCO_3^-]}{K_h \cdot P_{CO_2}} \\ [HCO_3^-] &= \frac{K_a K_h \cdot P_{CO_2}}{[H^+]} \end{aligned} \quad (2.26)$$

โดย $[\text{HCO}_3^-]$ คือ สภาพต่างที่ต้องการเพื่อรักษาสมดุลของกรดคาร์บอนิก (โมล/ลิตร)

K_a คือ ค่าคงที่สมดุลของกรดคาร์บอนิก

จากสมการ (2.26) จะเห็นว่า ค่าสภาพต่างไบคาร์บอเนต จะขึ้นกับค่าความดันพาร์เซี่ยลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าพีเอช นอกจากนี้ ยังขึ้นกับค่าอุณหภูมิอีกด้วย เนื่องจาก ค่า K_a และ K_h มีค่าขึ้นกับอุณหภูมิ โดย Loewenthal และ Marais ได้กำหนดไว้ดังสมการต่อไปนี้

$$pK_a = \frac{17052}{T} + 215.21(\log T) - 0.12675T - 545.76 \quad (2.27)$$

$$pK_h = 1.12 + 0.0138t \quad 0 \leq t \leq 35 \text{ c} \quad (2.28)$$

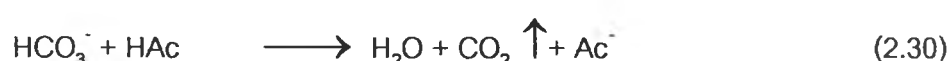
$$pK_h = 1.36 + 0.0069t \quad 35 \leq t \leq 80 \text{ c} \quad (2.29)$$

เมื่ออุณหภูมิ T มีหน่วยเป็น เคลวิน และ t มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

เพื่อให้เห็นภาพง่ายขึ้นจึงขอแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างความดันพาร์เซี่ยลของคาร์บอนไดออกไซด์ พีเอช และสภาพต่างไบคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.4

2.3.1.2 สภาพต่างไบคาร์บอเนตสำหรับสะเทินกรดไขมันระเหย

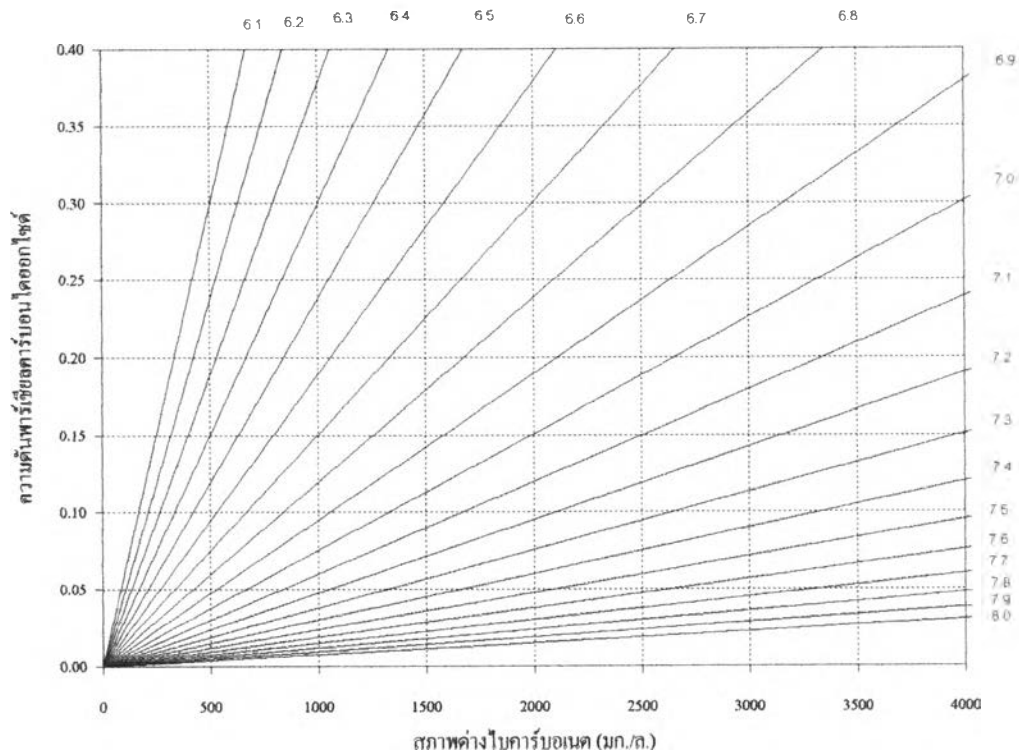
ความต้องการสภาพต่างเพื่อสะเทินกรดไขมันระเหยสามารถหาได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดไขมันระเหยและไบคาร์บอเนตอิออน ดังแสดงในสมการที่ (2.28) เนื่องจากกรดคาร์บอนิกจะเป็นกรดที่อ่อนกว่ากรดไขมันระเหย ดังนั้น ปฏิกิริยาจะเกิดไปข้างหน้าทางเดียว ถ้าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นบัฟเฟอร์ที่มีอยู่ในระบบ ระบบก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยมีมากกว่าปริมาณไบคาร์บอเนตในระบบแล้ว กรดไขมันระเหยที่เกินมาเหล่านี้จะแสดงอำนาจออกมา เป็นผลให้พีเอชของระบบ ลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมสภาพต่างให้กับระบบ (Hindin ,1960)



จากสมการจะเห็นว่า 1 โมลของกรดไขมันระเหย ทำปฏิกิริยากับ 1 โมล ของ ไบคาร์บอเนตอิออน ดังนั้น สภาพต่างที่ต้องการเพื่อใช้ในการสะเทินกรดไขมันระเหย จะเท่ากับ ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้น นั่นเอง (Li และ Sutton , 1983)

$$\text{VA Alkalinity} = 0.833 \text{ (VA)} \quad (2.31)$$

เมื่อ VA = กรดไขมันระเหย มีหน่วยเป็น มก./ล. กรดอะซิติก
 VA Alkalinity = สภาพต่างจากกรดไขมันระเหย มีหน่วยเป็น มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต
 0.833 = ตัวคูณเพื่อเปลี่ยนหน่วยของกรดไขมันระเหยจาก มก./ล. กรดอะซิติก เป็น มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต

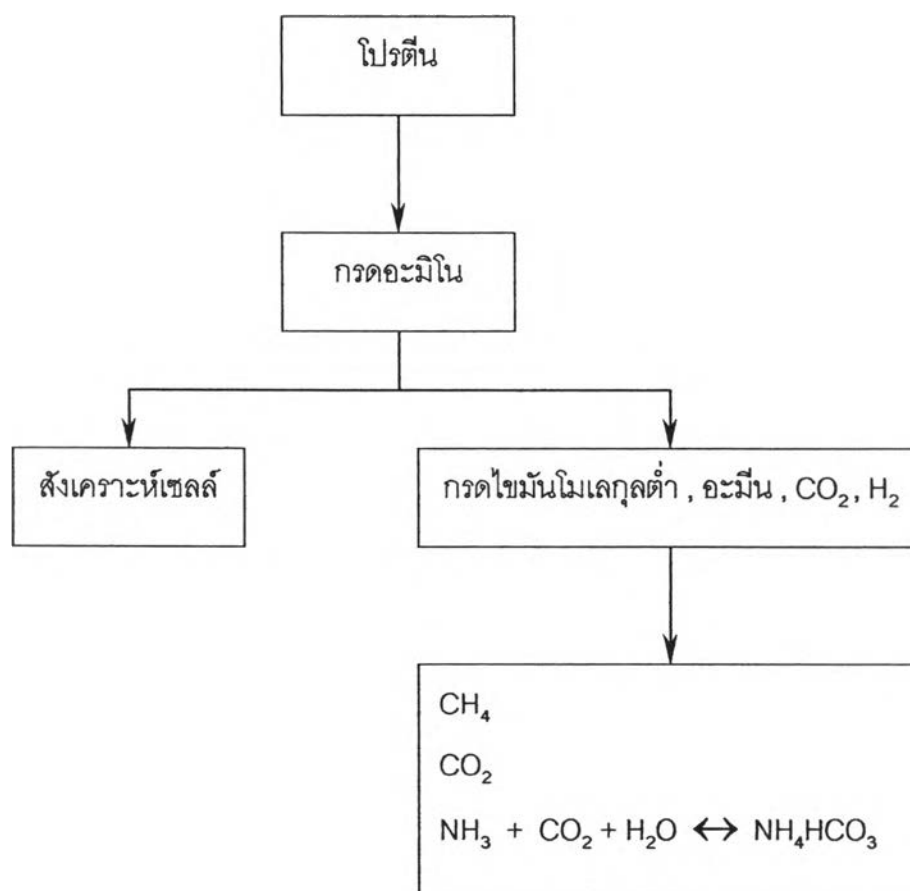


รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างความด้นพาร์เซิลของคาร์บอนไดออกไซด์ ฟิเอซ และสภาพต่างไบคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (โสภา,2542)

2.3.2 การสร้างสภาพต่างในน้ำเสียโปรตีน

น้ำเสียประเภทโปรตีนสามารถสร้างสภาพต่างเองได้เนื่องจากในน้ำเสียเองจะมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ ซึ่งการเกิดสภาพต่างในน้ำเสียสามารถอธิบายได้ดังนี้

การบำบัดที่ใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน ในขั้นแรกโปรตีนโมเลกุลใหญ่จะถูกไฮโดรไลซิสให้กลายเป็นเปปไทด์ หรือกรดอะมิโน จากนั้นเปปไทด์และกรดอะมิโนจะถูกแบคทีเรียสร้างกรดย่อยสลายต่อ โดยส่วนหนึ่งจะนำไปสังเคราะห์ส่วนประกอบของเซลล์ และอีกส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบโมเลกุลต่ำ เช่น กรดไขมันโมเลกุลต่ำ อะมีน (Amines) ฟีนอล (Phenols) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แอมโมเนีย เป็นต้น ตัวอย่างดังแสดงในแผนภาพข้างล่าง



กรดไขมันระเหยโมเลกุลต่ำรวมทั้งหมู่อะมีนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ส่วนแอมโมเนียจะถูกใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์ส่วนประกอบของเซลล์หรืออาจเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) โดยการเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตได้นั้นพีเอชของระบบต้องอยู่ในช่วงเป็นกลาง ดังแสดงในสมการ



จากสมการ แอมโมเนีย 1 โมล (17 กรัม) จะดึงคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบมา 1 โมล เพื่อทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต 1 โมล (79 กรัม) (ไบคาร์บอเนตไอออน 61 กรัม) แต่แอมโมเนียที่เกิดขึ้นได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ โดยปริมาณแอมโมเนียที่เกิดจะเท่ากับปริมาณของไนโตรเจน (ค่าที่เคเอ็น) ที่สามารถเปลี่ยนมาเป็นแอมโมเนียได้ ถ้าสมมติว่าในระบบสามารถเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียได้ทั้งหมด จะได้ว่าไนโตรเจน 1 โมล (14 กรัม) จะทำให้เกิดแอมโมเนีย 1 โมล (17 กรัม) และเกิดแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต 1 โมล (79 กรัม) หรือไนโตรเจน (ที่เคเอ็น) 1 กรัม จะให้สภาพต่างไบคาร์บอเนตได้ประมาณ 4.36 กรัม

ดังนั้น การเกิดสภาพต่างในน้ำเสียโปรตีนจะมีมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณไนโตรเจนในน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียมีปริมาณไนโตรเจนมากและแบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียได้มาก สภาพต่างที่เกิดขึ้นจะมากตาม แต่ข้อจำกัดสำหรับน้ำเสียโปรตีนก็คือ ถ้าพีเอชของระบบไม่อยู่ในสภาวะเป็นกลางโดยมีค่าสูงกว่า 9.2 ไนโตรเจนก็จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียกาซซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ

2.3.3 วิธีลดการความต้องการต่างให้กับระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีความจำเป็นต้องใช้สภาพต่างดังสาเหตุที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.3.1 ถ้าระบบมีสภาพต่างหรือกำลังบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ก็จำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อเพิ่มสภาพต่างให้แก่ระบบ ซึ่งถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่สำคัญอย่างหนึ่งในหัวข้อนี้จึงขอเสนอแนะวิธีในการลดความต้องการต่างของระบบฯ เพื่อเป็นการประหยัดค่าสารเคมีลงได้บ้าง ดังนี้

1. ใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบ 2 ขั้นตอน เนื่องจากในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถแบ่งกระบวนการทำงานได้เป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ ขั้นตอนการสร้างกรด และขั้นตอนการสร้างมีเทน ซึ่งมีสภาวะการทำงานของแบคทีเรียที่แตกต่างกัน โดยแบคทีเรียสร้างกรดจะทำงานได้ดีที่พีเอชประมาณ 5-6 ในขณะที่แบคทีเรียสร้างมีเทนทำงานได้ดีที่พีเอชประมาณ 7 นอกจากนี้ อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างกรด (การเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า) จะเร็วกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนมาก โดยในอดีตที่ใช้ระบบบำบัดฯ จะเป็นแบบขั้นตอนเดียว ถ้าเกิดสิ่งผิดปกติภายในระบบฯ เป็นผลให้พีเอชในระบบลดต่ำลงน้อยกว่า 6.6 แล้ว จะทำให้แบคทีเรียสร้างกรดทำงานได้ดีกว่า ในขณะที่ความสามารถในการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะเริ่มลดลง (Mosey และ Fernandes, 1989 อ้างถึงใน โสภา ,2542) จนเกิดการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยอย่างรวดเร็ว ในที่สุดอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ในเวลาอันรวดเร็วถ้าหากไม่ทำการแก้ไข ต่อมาจึงได้มีการวิจัยและออกแบบระบบเป็น 2 ขั้นตอน เพื่อให้แบคทีเรียแต่ละชนิดสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ โดยในขั้นตอนแรกจะเป็นขั้นตอนสร้างกรดเมื่อสารอินทรีย์เข้ามาในขั้นตอนนี้จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดย่อยสลายเพื่อให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยโมเลกุลต่ำเพื่อให้แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถนำไปใช้ได้ทันที ส่วนในขั้นตอนที่สองจะมีพวกแบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นส่วนใหญ่ก็จะใช้กรดไขมันระเหยที่ได้จากขั้นตอนแรกมาใช้ได้ทันทีทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ตัวอย่างของระบบนี้ ได้แก่ งานวิจัยของ Li และ Sutton , 1983 ซึ่งได้ทดลองเปรียบเทียบการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน ซึ่งสมมติค่าต่างๆ ที่ได้ออกแบบดังตารางที่ 2.3 และสามารถคำนวณหาสภาพต่างๆ ที่ต้องการได้ดังนี้

ระบบเป็นแบบขั้นตอนเดียว ต้องรักษาพีเอชของระบบให้เท่ากับ 7.0 โดยในระบบมีความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.40 จากสมการที่ 2.26 จะได้สภาพต่างๆ ที่ต้องการเท่ากับ 5,902 มก./ล.นินปุณ และกรดไขมันระเหยที่คาดว่าจะเกิดเท่ากับ 500 มก./ล.อะซิติก จากสมการที่ 2.30 จะได้สภาพต่างๆ ที่ต้องการเพื่อสะเทินกรดไขมันระเหยเท่ากับ 417 มก./ล.นินปุณ รวมเป็นสภาพต่างๆ ที่ต้องการทั้งหมดเท่ากับ 6,319 มก./ล.นินปุณ

ระบบแบบสองขั้นตอน ค่าสภาพต่างๆ ที่ต้องการในแต่ละขั้นตอนแบ่งเป็น

- ขั้นแรกเป็นขั้นตอนสร้างกรด พีเอชที่ต้องเท่ากับ 6.0 (เพื่อให้เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด) เมื่อสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียสร้างกรดและเปลี่ยนรูปไปเป็นกรดไขมันระเหยเท่ากับ 3,000 มก./ล.อะซิติก ดังนั้นสภาพต่างๆ ที่ต้องการเพื่อสะเทินกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ 2,490 มก./ล.นินปุณ เพื่อให้เปลี่ยนกรดไขมันระเหยที่อยู่

ในรูปอิสระไปอยู่ในรูปอิออน ดังปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสมการที่ 2.30 และในการย่อยสลายจะมีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น คิดเป็นความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสภาพต่างเพื่อรักษาสมดุลกรดคาร์บอนิกเท่ากับ 885 มก./ล.หินปูน รวมสภาพต่างที่ต้องการในชั้นตอนนี้เท่ากับ 3,384 มก./ล.หินปูน

- ชั้นตอนที่สองเป็นชั้นตอนสร้างก๊าซ กรดไขมันระเหยจากชั้นตอนแรกจะถูกย่อยโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนให้เกิดเป็นก๊าซชีวภาพ พร้อมกันนี้คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดในชั้นตอนแรกก็จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนอิออนเพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพเช่นกัน ทำให้กรดไขมันระเหยและคาร์บอนไดออกไซด์เหลืออยู่ในระบบน้อยลง โดยในชั้นตอนนี้คาดว่าจะมีกรดไขมันระเหยเหลือ 500 มก./ล.อะซิติก และความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.15 ต้องการรักษาระดับพีเอชของระบบให้เท่ากับ 7.0 ดังนั้นสภาพต่างที่ต้องการทั้งหมดในชั้นตอนนี้เท่ากับ 2,631 มก./ล.หินปูน

แต่ในระบบแบบสองชั้นตอนนี้เมื่อน้ำเสียจากชั้นตอนแรกเข้าสู่ชั้นตอนที่สองจะทำให้กรดไขมันระเหยและคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนถูกทำลายในชั้นตอนที่สอง ดังนั้นสภาพต่างที่มีอยู่ในชั้นตอนแรกจะเหลือเข้ามาสู่ชั้นตอนที่สอง และสภาพต่างนี้มากพอที่จะสามารถนำไปใช้ต่อในชั้นตอนที่สองได้ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเติมต่าง 2,631 มก./ล.หินปูน ตามที่คำนวณได้อีก ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบชั้นตอนเดียวกับสองชั้นตอนแล้วพบว่า ระบบฯ แบบสองชั้นตอนจะต้องการต่างเพียงประมาณครึ่งหนึ่งของระบบฯ ชั้นตอนเดียว

ตารางที่ 2.3 สภาพต่างที่ต้องการในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ
จากงานวิจัยของ Li และ Sutton ,1983

ระบบ	ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ				สภาพต่างที่ต้องการ (มก./ล. หินปูน)		
	อุณหภูมิ (°c)	พีเอช	CO ₂ (%)	VFA (มก./ล.อะซิติก)	เพื่อสมดุล CO ₂	เพื่อสะเทิน VFA	รวม
หนึ่งชั้นตอน	35	7.0	40	500	5,902	417	6,319
สองชั้นตอน							
- ชั้นแรก	35	6.0	60	3,000	885	2,490	3,384
- ชั้นที่สอง	35	7.0	15	500	2,214	417	2,631

2. การรีไซเคิลน้ำออกกลับมาในระบบใหม่ จากงานวิจัยต่างๆ พบว่า ในน้ำออกเมื่อผ่านการบำบัดสารอินทรีย์แล้ว ในน้ำออกยังคงมีสภาพต่างเหลืออยู่ จึงได้มีการคิดที่จะนำสภาพต่างกลับมาใช้โดยการรีไซเคิลน้ำออกกลับเข้ามาในระบบใหม่ ทำให้สามารถลดปริมาณการเติมต่างได้นอกจากนี้ยังช่วยลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของน้ำเสียที่เข้ามาในระบบได้อีกด้วย ตัวอย่างของงานวิจัย ได้แก่ งานวิจัยของ Sam-Soon , 1991 ได้ศึกษาผลของการรีไซเคิลน้ำออกกลับเข้ามาในระบบยูเอเอสบี โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำแอปเปิ้ล ซึ่งผลการทดลอง แสดงในตารางที่ 2.4 เมื่อเปรียบเทียบชุดการทดลองที่ A1 และ A2 ทดลองที่ซีโอดี 2,850 มก./ล. ซึ่งแตกต่างที่ไม่มี การรีไซเคิลและมีการรีไซเคิลน้ำออกเป็น 1:1 ตามลำดับ แต่เติมต่างในน้ำเสียเท่ากันทั้งสองชุด พบว่า เมื่อมีการรีไซเคิลน้ำออกเข้ามาในระบบ สภาพต่างในระบบที่ได้จะเพิ่มขึ้นจาก 1.60 เป็น 3.20 มก.หินปูน/มก.ซีโอดีเข้า และค่าพีเอชในระบบก็เพิ่มขึ้นจาก 6.71 เป็น 7.01 เมื่อเปรียบเทียบชุดการทดลองที่ B1 - B3 ให้ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้า 5,700 มก./ล. แต่แตกต่างกันที่อัตรารีไซเคิลน้ำ โดยชุด B1 ไม่มีการรีไซเคิลน้ำ ส่วนชุด B2 และ B3 มีการรีไซเคิลน้ำในอัตรา 1:1 และ 2:1 ตามลำดับ ทดลองโดยกำหนดให้ค่าพีเอชน้ำออกใกล้เคียงกัน พบว่า ถ้าไม่มีการรีไซเคิลน้ำออกเข้าระบบ สภาพต่างที่ต้องการต่อซีโอดีน้ำเข้าจะเท่ากับ 1.20 มก.หินปูน/มก.ซีโอดี แต่ถ้ามีการรีไซเคิลน้ำจะสามารถลดสภาพต่างที่ต้องการลงได้ โดยที่อัตรารีไซเคิล 1:1 , 2:1 สภาพต่างที่ต้องการจะลดลงเหลือ 0.71 และ 0.68 มก.หินปูน/มก.ซีโอดี ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลอง C1-C4 จะใช้ซีโอดีสูงขึ้นเป็น 8,500 มก./ล. โดยชุดการทดลอง C1 จะไม่มีการรีไซเคิลน้ำ ส่วนชุดการทดลอง C2 , C3 และ C4 มีอัตรารีไซเคิลเท่ากับ 1:1 , 2:1 และ 3:1 ตามลำดับ พบว่า เมื่อไม่มีการรีไซเคิลน้ำ สภาพต่างที่ต้องการต่อซีโอดีน้ำเข้าจะเท่ากับ 1.22 มก.หินปูน/มก.ซีโอดี เพื่อให้ได้พีเอชอยู่ในช่วงเป็นกลาง แต่เมื่อมีการรีไซเคิลน้ำเป็น 1:1 , 2:1 และ 3:1 ตามลำดับ จะสามารถลดสภาพต่างที่ต้องการได้เป็น 0.71 , 0.45 และ 0.46 ตามลำดับ จะเห็นว่า ที่อัตรารีไซเคิล 2:1 และ 3:1 สภาพต่างที่ต้องการจะไม่แตกต่างกัน ดังนั้นอัตรารีไซเคิลที่ 2:1 น่าจะเป็นอัตรารีไซเคิลที่ดีที่สุด ดังนั้น การรีไซเคิลน้ำออกกลับมาใช้ใหม่ทำให้สามารถลดปริมาณการเติมสารเคมีที่ใช้เพื่อเพิ่มสภาพต่างให้แก่ระบบได้ นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยของ Moosbrugger, 1993 ซึ่งได้ศึกษาการควบคุมพีเอชและสภาพต่างที่ต้องการโดยใช้น้ำเสียจากโรงเบียร์และน้ำเสียจากการทำไวน์องุ่นโดยใช้ระบบยูเอเอสบี และมีการทดลองนำน้ำออกที่มีสภาพต่างเหลืออยู่มารีไซเคิล พบว่า การรีไซเคิลน้ำออกกลับมาก็สามารถลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ได้เช่นกัน

ตารางที่ 2.4 ผลการรีไซเคิลน้ำออกของการทดลองการบำบัดด้วยระบบยูเอสบีที่ใช้
น้ำแอปเปิ้ลเป็นสารอาหาร (Sam-Soon,1991)

จุด ทดลอง	อัตราไหล (ล./วัน)	ซีโอดีเข้า (มก./ล.)	ซีโอดี ไหลคั่ง (กก./ลบ.ม.- วัน)	อัตรา รีไซเคิล	สภาพต่างที่เดิม ต่อซีโอดีเข้า (มก. CaCO ₃ / มก. ซีโอดี)	Effective alkalinity* (มก. CaCO ₃ / มก. ซีโอดีเข้า)	ซีโอดี ที่ถูก กำจัด (%)	พีเอช ต่ำสุด
A1	30	2 850	28.5	0:1	1.60	1.60	96	6.71
A2	30	2 850	28.5	1:1	1.60	3.20	97	7.01
B1	15	5 700	28.5	0:1	1.20	1.20	96	6.62
B2	15	5 700	28.5	1:1	0.71	1.42	98	6.80
B3	15	5 700	28.5	2:1	0.68	2.04	98	6.82
C1	15	8 500	42.6	0:1	1.22	1.22	92	6.74
C2	15	8 500	42.6	1:1	0.71	1.42	96	6.81
C3	15	8 500	42.6	2:1	0.45	1.35	96	6.82
C4	15	8 500	42.6	3:1	0.46	1.84	92	6.81

* Effective alkalinity = $\frac{(\text{สภาพต่างในน้ำเสียเข้า} \times \text{อัตราไหลน้ำเสีย}) + (\text{สภาพต่างในน้ำออก} \times \text{อัตรารีไซเคิล})}{\text{อัตราไหลเข้า} + \text{อัตรารีไซเคิล}}$

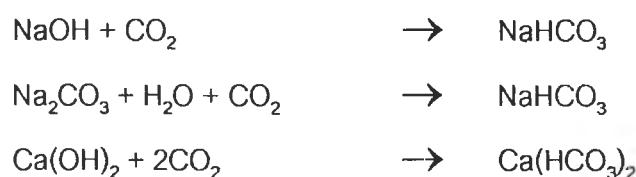
3. การเลือกใช้ค่าพีเอช การเลือกใช้ค่าพีเอชสามารถลดปริมาณการใช้ด่างลงได้อย่างมาก จากไดอะแกรมความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์พีเอช และสภาพต่างไบคาร์บอเนต ในรูปที่ 2.4 สมมุติความดันพาร์เชียลของระบบเท่ากับ 0.2 ที่พีเอช 6.8 สภาพต่างที่ต้องการเท่ากับ 1,674 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต และที่พีเอช 7.0 สภาพต่างที่ต้องการเท่ากับ 2,653 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต จะเห็นว่า สภาพต่างที่ต้องการระหว่างพีเอช 6.9 และ 7.0 จะแตกต่างกันถึง 979 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต

2.3.4 การเลือกสารเคมีที่ใช้ในการเพิ่มสภาพต่างเพื่อควบคุมระดับพีเอช

สารเคมีที่ใช้ควบคุมพีเอชในกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนมีหลายชนิด เช่นแสดงในตารางที่ 2.5 แต่สามารถแบ่ง 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. สารเคมีที่สามารถให้สภาพต่างไบคาร์บอเนต (bicarbonate alkalinity) โดยตรง เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) หรือ แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) การเติมสารเคมีประเภทนี้สามารถเพิ่มบัฟเฟอร์ให้แก่วัสดุโดยจะไม่มีผลกระทบต่อสมดุลการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ข้อดีประการหนึ่งของการเติมสารประกอบไบคาร์บอเนตคือ ไม่ว่าจะเติมในปริมาณมากเท่าใด ค่าพีเอชในระบบจะไม่เกิน 8.3

2. สารเคมีที่ให้สภาพต่างไบคาร์บอเนตโดยอ้อม เช่น โซเดียมคาร์บอเนต โซดาไฟ ปูนขาว เป็นต้น สารเคมีเหล่านี้เมื่อเติมเข้าไปจะมีผลทำให้ระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์มาทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดเป็นสภาพต่างไบคาร์บอเนต ตัวอย่างของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ข้อดีของการเติมสารเคมีประเภทนี้ คือ สามารถลดคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดในระบบได้ แต่ข้อเสียก็คือ หากเติมมากเกินไปอาจทำให้พีเอชของระบบสูงจนอาจเป็นผลทำให้ระบบเสียสมดุลได้

การเลือกสารเคมีเพื่อควบคุมพีเอชนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ ผลของสารเคมีต่อระบบ และราคาของสารเคมี ดังนี้

1. คุณสมบัติของสารเคมี เช่น ความสามารถในการด้านสภาพการละลาย การเติมสารเคมีที่มีโซเดียมเป็นส่วนประกอบจะมีสภาพการละลายได้สูงมากภายใต้สภาพปกติของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ในขณะที่สารประกอบพวกแคลเซียมจะค่อนข้างละลายได้ยากกว่า เนื่องจากมักเกิดการตกผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นตัวจำกัดสภาพการละลายในช่วง

พีเอชมากกว่า 6.5 เช่นในการเติมปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) จะมีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบมาทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดสารประกอบแคลเซียมไบคาร์บอเนต ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้จนถึงระดับหนึ่ง หลังจากนั้นเมื่อพีเอชมากกว่า 6.5 การทำปฏิกิริยาจะให้สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตแทน (CaCO_3) ซึ่งไม่ละลายน้ำ ในการเติมปูนขาวจะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบลดลงแต่ไม่เพิ่มสภาพต่างเพราะเกิดการตกผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตแทน ซึ่งการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้พีเอชของระบบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว คุณสมบัติของสารเคมีตัวอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งเป็นก๊าซอาจมีอันตรายเนื่องจากการนำมาใช้ได้

ตารางที่ 2.5 สารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช

สารเคมี	ข้อดี	ข้อเสีย
NH_3	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ราคาถูก ➢ ได้ไนโตรเจนเป็นสารอาหาร 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ อาจเป็นพิษต่อระบบได้ ➢ จะมีแอมโมเนียมากเกินไปในน้ำออก ➢ มีอันตรายเนื่องจากการนำมาใช้ เพราะเป็นก๊าซ
NH_4OH	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ได้ไนโตรเจนเป็นสารอาหาร 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ราคาแพง ➢ อาจเป็นพิษต่อระบบ ➢ มีแอมโมเนียมากเกินไปในน้ำออก
ปูนขาว	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ราคาถูก 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ไม่ละลายหากพีเอชมากกว่า 6.5 เว้นแต่จะ จะไม่มีการฟอร์มตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต
โซดาแอช	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ราคาปานกลาง 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ พีเอชเพิ่มขึ้นเร็ว ควบคุมยาก
โซดาไฟ	<ul style="list-style-type: none"> ➢ อาจจะใช้ได้ 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ราคาแพง ➢ พีเอชเพิ่มขึ้นเร็ว ควบคุมยาก
NaHCO_3	<ul style="list-style-type: none"> ➢ พีเอชจะมีค่าไม่เกิน 8.5 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ราคาแพง
NH_4HCO_3	<ul style="list-style-type: none"> ➢ พีเอชจะมีค่าไม่เกิน 8.5 ➢ ได้ไนโตรเจนเป็นสารอาหาร 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ราคาแพง ➢ จะมีแอมโมเนียเกินมาในน้ำออก

2. ผลของสารเคมีต่อระบบ ในการเติมสารประกอบไบคาร์บอเนตโดยตรงจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบ ทำให้ค่าพีเอชของระบบไม่เปลี่ยนแปลงมากนักและพีเอชสูงสุดไม่เกิน 8.3 ในขณะที่การเติมสารเคมีที่ไม่ใช่สารประกอบไบคาร์บอเนตโดยตรง เช่น โซดาไฟ โซเดียมคาร์บอเนต จะมีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบมาทำปฏิกิริยา ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้พีเอชของระบบสูงขึ้น ถ้าปริมาณสารเคมีที่เติมมากเกินไปจะทำให้พีเอชสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบได้ นอกจากนี้ยังมีสารเคมีบางตัวที่มีความเป็นพิษต่อระบบ เช่น การใช้แอมโมเนีย (NH_3) หรือแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) หากเติมมากเกินไปแอมโมเนียที่มีอยู่อาจเป็นพิษต่อระบบและมีแอมโมเนียปะปนออกมากับน้ำออก

3. ราคาของสารเคมี เป็นส่วนประกอบในการพิจารณาอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการพิจารณาอย่างมาก เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น โดยปกติ สารเคมีที่ใช้กันมาก มี 4 ชนิด คือ ปูนขาว โซดาไฟ โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมไบคาร์บอเนต ราคาต่อหน่วยน้ำหนักที่เท่ากัน พบว่า ปูนขาวจะมีราคาถูกที่สุด ส่วนที่มีราคาแพงลงมาคือ โซเดียมคาร์บอเนต โซดาไฟ และโซเดียมไบคาร์บอเนต ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบราคาสารเคมีที่ใช้เพื่อเพิ่มสภาพต่าง

ชนิดของสารเคมี	ราคา ¹ (บาท/กก.)	ความเข้มข้นของสารที่ใช้ (มก./ล.) ในการทำลาย สภาพกรด 1 มก./ล. ²	ราคาเปรียบเทียบ (บาท/กก. สภาพ กรดที่ถูกทำลาย)	สถานะ
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	2.50	0.74	1.85	ของแข็ง
NaOH 50%	6.50	0.80	10.40	ของเหลว
Na_2CO_3	7.00	1.06	7.42	ของแข็ง
NaHCO_3	16.00	1.68	26.88	ของแข็ง

¹ จากแฟ้มข้อมูลของบริษัท แชน. อี. 68 คอนซัลติงเอ็นจิเนียรส์ จำกัด ณ เดือนเมษายน 2545

² ความเข้มข้นของสารในการทำงานสภาพต่าง 1 มก./ล. = น้ำหนักสมมูลของสาร / 50

เมื่อพิจารณาหลายๆ ประเด็นประกอบกัน จะพบว่า สารเคมีที่น่าสนใจมากที่สุด มี 4 ชนิด คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต และโซดาไฟ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารเคมีที่ใช้เพื่อให้อากาศลดลงหรือพีเอชเพิ่มขึ้นเท่ากัน พบว่า แคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะใช้น้อยที่สุด ตามด้วยโซดาไฟ โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมไบคาร์บอเนต ตามลำดับ ($\text{Ca(OH)}_2 < \text{NaOH} < \text{Na}_2\text{CO}_3 < \text{NaHCO}_3$) แต่เมื่อคิดเป็นราคาต่อหน่วยที่สามารถทำลายสภาพกรดที่เท่ากัน พบว่า แคลเซียมไฮดรอกไซด์จะมีราคาถูกที่สุด ตามด้วย โซเดียมคาร์บอเนต โซดาไฟ และโซเดียมไบคาร์บอเนต ตามลำดับ แต่การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์อาจจะมีปัญหาในการเกิดตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตดังได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ ส่วนการใช้โซเดียมคาร์บอเนตและโซดาไฟจะมีปัญหาในกรณีที่เดิมมากเกินไปจะมีการเพิ่มขึ้นของพีเอชซึ่งสามารถขึ้นได้สูงเกินกว่าพีเอชที่เหมาะสมของแบคทีเรีย (มากกว่า 8) และส่งผลให้ระบบฯ เสียสมดุลได้ ดังนั้นในการใช้สารเคมีสองชนิดนี้ควรจะต้องเติมอย่างช้าๆ โดยเฉพาะโซดาไฟจะให้ค่าพีเอชขึ้นเร็วมาก นอกจากนี้ยังเป็นสารที่ค่อนข้างอันตรายเนื่องจากเป็นเบสแก่และอยู่ในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นถึง 50% ดังนั้นในการใช้งานต้องมีความระมัดระวังอย่างมาก ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงน่าจะมาพิจารณาใช้โซเดียมคาร์บอเนตมากกว่า เหมาะสำหรับระบบที่มีขนาดใหญ่ปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้จะมากจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก แต่ก็ต้องระวังไม่เติมมากเกินไปทำให้พีเอชของระบบสูงเกินไป ส่วนโซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งสามารถให้สภาพต่างแก่ระบบได้โดยตรงและไม่ต้องกังวลในเรื่องของพีเอชเนื่องจากจะให้ค่าพีเอชไม่เกิน 8.3 แต่มีราคาต่อหน่วยสภาพต่างค่อนข้างแพงน่าจะเหมาะสำหรับระบบฯ ขนาดเล็กเนื่องจากเมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายก็ไม่ถือว่าสูงมากนัก

2.4 การศึกษาที่ผ่านมา

Brovko และ Chen , 1977 ได้ทำการวิจัยเรื่อง การผลิตก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น และความสามารถของบัพเฟอร์ที่เหมาะสมในการทำงานของถังย่อยสลาย ในการทดลอง ใช้ถังขนาด 18 ลิตร จำนวน 4 ถัง มีการกวนผสมตลอดเวลา เวลากัก 20 วัน โดยสลัดจัดิปที่เติมมีสภาพต่างอยู่ในช่วง 4,000-5,000 มก./ล. ในชุดการทดลองที่ 1,2,3 และ 4 มีพีเอชเริ่มต้น 6.4,6.1,6.0 และ 6.5 ตามลำดับ ในชุดที่ 2 และ 3 ช่วงเริ่มต้น มีก๊าซเกิดน้อยมาก หลังจากนั้นจะเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเข้าไปเพื่อปรับพีเอช ให้ได้ประมาณ 7 พีเอชในระบบจะเพิ่มขึ้นจากเดิมเรื่อยๆ เป็นผลให้มีก๊าซเกิดมากขึ้น ปริมาณกรดไขมันระเหยมีน้อยลง จนถึงวันที่ 35 พีเอชมีค่าประมาณ 7.4 ซึ่งใกล้เคียงกับชุดที่ 1 และ 4 โดยในชุดที่ 1 จะเติม NaHCO_3 :ปุ๋ยมูลวัว เท่ากับ 3:1 เพื่อรักษาระดับพีเอชไม่ให้สูงเกินไป ส่วนชุดที่ 4 เติมน้ำปุ๋ย ในแต่ละวัน 150-300 มก./ล. ในการนำน้ำมาวิเคราะห์ จะวิเคราะห์ในวันแรก วันที่ 10 , 20 , 30 , 35 และ 40 ตามลำดับ สภาพต่างไบคาร์บอเนตที่เกิดขึ้น (ได้จากการคำนวณ สภาพต่างไบคาร์บอเนต = สภาพต่างทั้งหมด - $0.71 \times$ กรดไขมันระเหย) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา จนถึงวันที่ 40 พบว่า สภาพต่างไบคาร์บอเนตมีค่าอยู่ในช่วง 4,000-5,000 มก./ล. กรดไขมันระเหยจากเริ่มต้น 5,000-8,000 มก./ล. ลดลงเหลือ 300-500 มก./ล. ปริมาณก๊าซที่เกิดเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซที่เกิดขึ้นจริงจะน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ เนื่องจากว่า การเคลื่อนที่ของคาร์บอนไดออกไซด์จากในของเหลวไปยังอากาศจะช้ากว่า เพราะในระบบมีการกวนผสมอย่างต่อเนื่อง

Keenan และ Kormi,1981 ทำการศึกษาการย่อยสลายแบบไร้อากาศโดยใช้น้ำเสียจากโรงเบียร์ โดยการแปรเวลากักของถังปฏิกรณ์ เป็น 8 , 10 และ 15 วัน และมีการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์เมื่อค่าพีเอชต่ำกว่า 6.4 เพื่อให้พีเอชมีค่าเป็นกลาง พบว่า เมื่อเวลากักมากขึ้นระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้เพิ่มขึ้น มีกรดไขมันระเหยในระบบลดลง สภาพต่างในน้ำออกจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ได้แปรค่าซีโอดีไหลดิ่ง เป็น 2 , 4 , 6 และ 8 ก./ล.-วัน พบว่า ที่ไหลดิ่ง 2 , 4 และ 6 ก./ล.-วัน สภาพต่างจะเพิ่มขึ้น เมื่อไหลดิ่งสูงขึ้น แต่อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะลดลง เป็น 0.338 , 0.287 และ 0.229 ตามลำดับ ในขณะที่ไหลดิ่ง 8 ก./ล.-วัน พบว่า กรดไขมันระเหยสูงมากถึง 7,200 มก./ล. เป็นตัวบ่งชี้การทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนให้ทำงานช้าลง ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลงเหลือ 20-22 เปอร์เซ็นต์ พีเอชลดต่ำกว่า 6.4 อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างสูงถึง 1.6 เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 75

Li และ Sutton , 1983 แสดงปริมาณสภาพต่างที่ต้องการในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีและไม่มีขั้นตอนการสร้างกรด โดยใช้ น้ำเสียที่เหมือนกัน พบว่า ในระบบที่ไม่มีขั้นตอนการสร้างกรด สภาพต่างที่ต้องการจะมากกว่าระบบที่มีขั้นตอนการสร้างกรดถึง 2 เท่า

Sam-Soon และคณะ , 1987 ได้ทำการศึกษา เรื่องสมมติฐานของเม็ดสลัดจ์ในถึงปฏิกริยาแบบยูเอเอสบี จากส่วนหนึ่งของผลการศึกษา ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต่างในระบบและกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นในถึงยูเอเอสบี พบว่า ในถึงยูเอเอสบี จะแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ ชั้นที่ 1 โชนกรดแอกทีฟ ซึ่งในส่วนนี้ จะมีความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนสูง มีการผลิตกรดไขมันระเหย (ได้ศึกษาเฉพาะกรดอะซิติกและกรดไพรูวอนิก) เป็นจำนวนมาก และเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง จนถึงในระดับหนึ่งซึ่งมีการผลิตกรดไขมันระเหยมากที่สุด ซึ่งถือเป็นจุดสิ้นสุดของชั้นนี้ ในชั้นนี้ ค่าสภาพต่างจะลดลงค่อนข้างมาก แปรผกผันกับการผลิตกรดไขมันระเหย เป็นผลให้ค่าพีเอชลดลง แต่ก็ยังไม่ต่ำกว่า 7 ทำให้แบคทีเรียผลิตมีเทนยังสามารถทำงานได้ ค่าซีโอดีก็มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในชั้นนี้ ในชั้นที่ 2 โชนมีเทนแอกทีฟ ชั้นนี้จะต่อจากชั้นที่ 1 ไปจนถึงจุดที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (พีเอช , ซีโอดี , กรดอะซิติก , กรดไพรูวอนิก และซีโอดี เป็นต้น) เริ่มคงที่ ถือเป็นจุดสิ้นสุดของชั้นนี้ ซึ่งในชั้นนี้ความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนจะต่ำลง เพราะปริมาณกรดไขมันระเหยลดลง โดยกรดไพรูวอนิกจะถูกแบคทีเรียพวกอะซิโตเจนย่อยให้กลายเป็นกรดอะซิติก หลังจากนั้นกรดอะซิติกจะถูกแบคทีเรียพวกเมธาโนเจนย่อยให้กลายเป็นก๊าซมีเทน การลดลงของกรดไขมันระเหยทำให้สภาพกรดลดลง สภาพต่างเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น ชั้นที่ 3 โชนไม่แอกทีฟ เป็นชั้นที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบเริ่มคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

Moosbrugger และคณะ (1993) ศึกษาความต้องการสภาพต่างและการควบคุมพีเอชของน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ โดยใช้ระบบยูเอเอสบี ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลองคือ

1. ทดลองโดยไม่มีการรีไซเคิลน้ำออกมาเข้าระบบ ใช้ น้ำเสียจริงมีความเข้มข้นซีโอดี 9,000-13,000 มก./ล. แต่จะเจือจางให้เหลือ 4,000 มก./ล. ก่อนนำเข้าระบบ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นค่าที่เหมาะสม (อ้างอิงจาก Sam-Soon และคณะ , 1987) เพื่อไม่ให้ น้ำเสียมีความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนสูงเกินไป เติมสภาพต่างให้กับระบบเพื่อรักษาระดับพีเอชให้เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ (มากกว่า 6.6) ใช้อัตราส่วนของสภาพต่างต่อความเข้มข้นของซีโอดีของน้ำเสีย เท่ากับ 1.2 (โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Sam-Soon) โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ การเดินระบบจะรักษาความเข้มข้นของซีโอดีไว้ที่ 4,000 มก./ล. แต่จะเพิ่ม

ภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ให้แก่ระบบโดยการเพิ่มอัตราการไหลขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึง 25 กก./ลบ.ม.-วัน ซึ่งสามารถลดซีไอได้ดี มากกว่า 90 %

2. ทดลองโดยมีการรีไซเคิลน้ำออกกลับเข้ามาในระบบใหม่ โดยจะนำสภาพต่างๆที่ยังคงมีอยู่ในน้ำออกกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดการเติมสภาพต่างจากภายนอก ซึ่งแบ่งเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

2.1 การทดลองที่ 1 ใช้ความเข้มข้นซีไอดี 9,000 มก./ล. อัตราภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ 12 กก./ลบ.ม.-วัน เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างเดียวก่อนเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ โดยใช้อัตราส่วนสภาพต่างต่อความเข้มข้นซีไอดีรวมหลังจากถูกเจือจางจากน้ำรีไซเคิลแล้ว เท่ากับ 1.2 อัตรารีไซเคิล 7:1 ซึ่งลดซีไอดีเหลือ 1,125 มก./ล. สภาพต่างที่เติม เท่ากับ 0.15 มก./มก.ซีไอดีเข้าระบบ นอกจากนี้ มีการเติมอาหารเสริมและธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตด้วย โดยทั้งหมดนี้จะเติมไปพร้อมกับน้ำเสียที่เข้าระบบ ทำการทดลองทั้งหมด 45 วัน ปรากฏว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ทั้งนี้เนื่องจาก โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมเข้าไป ทำให้พีเอชในระบบสูงขึ้น ถึง 9.1 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ยังทำปฏิกิริยากับธาตุอาหารที่เติมเข้าไปแล้วเกิดการตกผลึกอีกด้วย

2.2 ใช้ความเข้มข้นซีไอดี 13,000 มก./ล. ที่อัตราภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ 9 กก./ลบ.ม.-วัน และเปลี่ยนต่างที่ใช้มาเป็นโซเดียมไบคาร์บอเนตแทน อัตรารีไซเคิลเริ่มตั้งแต่ 7:1 ถึง 15:1 ทำให้ความเข้มข้นซีไอดีลดเหลือ 813 มก./ล. ปริมาณต่างที่เติมเท่ากับ 1,785 มก./ล.ของน้ำเสียเข้าระบบ เติมอาหารเสริมและธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั้งหมดจะเติมพร้อมกับน้ำรีไซเคิล การทดลองใช้เวลา 45 วัน โดยจะค่อยๆ เพิ่มอัตราภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ใน 20 วันแรก จะใช้อัตราภาวะบรรทุกระบบ 3.5 กก./ลบ.ม.-วัน หลังจากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยดูจากประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีคงที่ เท่ากับ 95 % จนกระทั่งถึง 9 กก./ลบ.ม.-วัน ในวันที่ 45 ปริมาณก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระบบสามารถทำงานได้ดี

จากการทดลอง พบว่า การรีไซเคิลน้ำออกกลับเข้ามาในระบบใหม่ทำให้สามารถลดปริมาณการเติมต่างให้กับระบบได้ ซึ่งจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการเติมต่างได้วิธีหนึ่ง นอกจากนี้ ผู้วิจัย ยังได้เสนอแนะว่า หากจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ ควรเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์พร้อมกับน้ำรีไซเคิล เพื่อให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดในระบบ ให้กลายเป็นสภาพต่างไบคาร์บอเนตเป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ ทำให้ค่าพีเอชไม่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากการทดลองใหม่ โดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์เติมเข้าไปพร้อมกับน้ำรีไซเคิล ที่อัตรารีไซเคิล 15:1 พบว่า ค่าพีเอชที่ได้จะประมาณ 8.6 ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ และไม่เกิดการตกผลึกของธาตุที่เติมเข้าไปแต่อย่างใด

Florencio, L. และคณะ , 1996 ได้ทำการศึกษาเรื่องเสถียรภาพของพีเอชในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้ระบบยูเอเอสบี จำนวน 5 ชุด ใช้เมธานอลเป็นแหล่งคาร์บอนเพียงแหล่งเดียว ที่ความเข้มข้นของซีไอดี 4,800 – 8,000 มก./ล. สารเคมีที่ใช้ในการเติมเพื่อปรับสภาพต่าง มี 2 ชนิด คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) และโปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) โดยในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ไม่มีการเติมสภาพต่าง ส่วนในชุดที่ 2 , 3 และ 4 เติม NaHCO_3 ที่ความเข้มข้น 15 , 50 และเปลี่ยนแปลงค่าตั้งแต่ 2.5-33 meq/l ตามลำดับ และในถังปฏิกริยาชุดที่ 5 เติม K_2HPO_4 20 meq/l ผลการทดลองเป็นดังนี้

- ในชุดที่ 1 ซึ่งไม่มีการเติมสภาพต่างเลย พบว่า ค่าพีเอชในระบบลดลงเรื่อยๆ จากมากกว่า 8 ไปหยุดอยู่ที่พีเอชประมาณ 4.2 และไม่มีการผลิตมีเทนเลย
- ในชุดที่ 2 ซึ่งมีการเติม NaHCO_3 15 meq/l พบว่า ก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักมีการผลิตขึ้นเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 75 ที่ค่าพีเอชประมาณ 6.6 ความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 17 % หลังจากนั้น ก๊าซมีเทนจะมีการผลิตลดลง เพราะค่าพีเอชจะลดลงจนถึง 5 ทั้งนี้เนื่องจาก เกิดการสะสมตัวของกรดไขมันระเหย และสภาพต่างที่มีอยู่ก็ไม่เพียงพอต่อระบบ
- ในชุดที่ 3 ซึ่งมีการเติม NaHCO_3 50 meq/l พบว่า ระบบมีสภาพต่างสูง ค่าพีเอชค่อนข้างคงที่ ประมาณ 7 ก๊าซมีเทนเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ได้ ประมาณ 89 % ของซีไอดี ความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 20%
- ในชุดที่ 4 ซึ่งมีการเติม NaHCO_3 ตั้งแต่ 2.5-33 meq/l พบว่า ในช่วงแรก ค่าพีเอชจะลดลง เนื่องจากสภาพต่างที่เติมไม่เพียงพอต่อความต้องการของระบบ จนแบคทีเรียไม่สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ แต่หลังจากเพิ่มปริมาณต่างขึ้นเรื่อยๆ พีเอชจะเพิ่มขึ้น จนได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบ (พีเอชเป็นกลาง) ระบบก็สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้
- ในชุดที่ 5 เติม K_2HPO_4 20 meq/l เพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ พบว่า ค่าพีเอชค่อนข้างคงที่ ที่ประมาณ 6.5 และมีก๊าซมีเทนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเพียงอย่างเดียว ความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 10%

Susuki และคณะ ได้ทำการศึกษาดังกรดในระบบบำบัดแบบไร้อากาศของน้ำเสียจากโรงเบียร์ โดยใช้ระบบยูเอเอสบี เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของถังกรด เช่น พีเอช อุณหภูมิ เวลาพัก ความเข้มข้นของซีไอดี และปริมาณต่าง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของถังกรด มีพีเอช 5-6 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลาพัก 12 ชม. สามารถรับซีไอดีได้ 10,000-16,000 มก./ล. อัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อซีไอดีที่ใช้ เท่ากับ 0.178 เวลาพัก 6 ชม. รับซีไอดีได้ 5,000 - 8,000 มก./ล. อัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อซีไอดีที่ใช้ เท่ากับ 0.171 และที่เวลาพัก

3 ซม. สามารถรับซีโอดีได้ 2,500 - 4,000 มก./ล. อัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อซีโอดีที่ใช้เท่ากับ 0.27 และซีโอดีที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 8,000 มก./ล. ถ้ามากกว่านี้ควรนำน้ำออกจากระบบมาเจือจางเพื่อเป็นการประหยัดค่าที่เติม

ณรงค์, 2529 ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากถั่วเหลืองโดยกรรมวิธีขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น ใช้น้ำเสียที่ได้จากการนำเอากากถั่วเหลืองสดจากโรงงานมาเจือจางด้วยน้ำประปา การทดลองแบ่งเป็น 3 ชุด แต่ละชุดจะเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 , 200 และ 300 มก./ล. ตามลำดับ เป็นสารบัฟเฟอร์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 สรุปผลการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากถั่วเหลืองฯ (ณรงค์, 2529)

การทดลองที่	น้ำเข้า		น้ำออก			
	ซีโอดี	พีเอช	ซีโอดี	พีเอช	สภาพต่าง รวม	กรดไขมัน ระเหย
1	13,794	7.75	658	7.21	1,830	183
2	28,898	9.50	4,484	7.52	3,106	666
3	43,734	10.40	18,267	7.58	5,709	2,081

จากการทดลอง จะเห็นว่า ความเข้มข้นของซีโอดีน้ำเข้าค่อนข้างสูง แต่ปริมาณค่าที่เติมให้แก่ระบบน้อยมาก เทียบเป็นอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีประมาณ 0.007:1 และเมื่อพิจารณาสภาพต่างในน้ำออกที่มีมากกว่าค่าที่เติม เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียประเภทโปรตีนซึ่งเมื่อย่อยสลายแล้วจะได้แอมโมเนียและจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในระบบเกิดเป็นเกลือไปคาร์บอเนตซึ่งจะเพิ่มบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ

พีระพงษ์, 2530 ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำโดยระบบยูเอเอสบี โดยใช้น้ำเสียจริงจากน้ำแช่ถั่วและน้ำล้างขวดซึ่งมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ปน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดแรกไม่มีถังสร้างกรด และชุดที่ 2 มีถังสร้างกรด ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.8 และ 2.9

ตารางที่ 2.8 สรุปผลการทดลองชุดที่ไม่มีถังสร้างกรด (พีระพงษ์, 2530)

ชุด	น้ำเข้า				น้ำออก		
	ซีโอดี	พีเอช	สภาพต่าง รวม	กรดไขมัน ระเหย	ซีโอดี	พีเอช	กรดไขมัน ระเหย
1	923	9.10	513	103	868	7.18	66
2	1,011	9.38	638	450	880	7.40	536
3	1,050	9.33	624	430	746	7.52	374
4	1,260	9.12	610	400	718	7.13	504

ตารางที่ 2.9 สรุปผลการทดลองชุดที่มีถังสร้างกรด (พีระพงษ์, 2530)

เวลากัก (ชม.)	น้ำเข้า				ถังสร้างกรด				น้ำออก			
	ซีโอดี	พีเอช	สภาพต่าง รวม	กรดไขมัน ระเหย	พีเอช	สภาพต่าง รวม	กรดไขมัน ระเหย	ซีโอดี	พีเอช	สภาพต่าง รวม	กรดไขมัน ระเหย	
48	851	9.31	548	190	7.46	633	395	55	7.64	687	395	
24	975	9.46	570	150	7.72	667	341	48	7.58	645	341	
15.9	980	9.20	510	114	7.28	616	300	92	7.25	596	300	
8	1,209	8.66	520	202	7.45	647	332	73	7.22	658	332	
4	797	8.24	556	167	7.81	684	274	73	7.45	608	274	

จากผลการทดลองในชุดที่ไม่มีถังสร้างกรดพบว่า แม้อำนาจซีโอดีที่ใช้ในการทดลองไม่สูงมากนัก แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของก็ไม่สูง ทั้งนี้เนื่องจากพิษของสารที่มีอยู่ในน้ำเสียเองเป็นผลให้แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีอยู่ได้ทัน แต่ในการทดลองซึ่งมีถังสร้างกรดพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงขึ้น เนื่องจากถังสร้างกรดจะเป็นตัวปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมกับแบคทีเรียสร้างมีเทนซึ่งมีอยู่ในชุดยูเอเอสบี

สมคะเน, 2538 ได้ทำการศึกษาระบบแยกกาซ-ตะกอนที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยา ยูเอเอสบีที่บำบัดน้ำเสียความเข้มข้นปานกลาง โดยใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีระบบแยกกาซ-ตะกอน แขนงลอยที่ต่างกัน 3 แบบ และแต่ละแบบจะแปรเวลากักเป็น 6 และ 12 ชม. ตามลำดับ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำสับปะรดเข้มข้นให้มีซีโอดีประมาณ 3,000 มก./ล. เติมน้ำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8,000 และ 7,000 มก./ล. ที่เวลากัก 6 และ 12 ชม. ตามลำดับ เพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 สรุปผลการทดลองระบบแยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยฯ (สมคะเน,2538)

ถัง	เวลากัก	น้ำออก				
		ซีโอดี	ซีโอดี	พีเอช	สภาพต่างรวม	กรดไขมันระเหย
1	12	3,073	154	7.77	4,396	322
	6	3,035	2,139	7.61	4,284	2,198
2	12	3,073	310	8.14	4,399	410
	6	3,035	1,516	7.80	4,415	1,428
3	12	3,073	144	7.73	4,402	354
	6	3,035	1,945	7.74	4,363	1,716

จากผลการทดลองจะเห็นว่า ที่เวลากัก 12 ชม. ระบบสามารถบำบัดซีโอดีได้ดีกว่าที่เวลากัก 6 ชม. ได้ถึง 5-10 เท่า และที่เวลากัก 6 ชม. จะใช้ต่างในปริมาณมากกว่าเพื่อรักษาระดับพีเอชของระบบให้ใกล้เคียงกับที่เวลากัก 12 ชม. ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกรดไขมันระเหยที่สะสมอยู่ในระบบมีจำนวนมากกกว่านั่นเอง

ทวีชัย, 2540 ได้ทำการศึกษาการให้ยูเอเอสบีบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อกรด โดยใช้น้ำเสียจากบ่อกรดของโรงงานผลิตน้ำสับประรด แบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง โดยชุดที่ 1 เป็นชุดที่ไม่มีถังสร้างกรด และชุดที่ 2 มีถังสร้างกรด การทดลองเป็นดังนี้

- ชุดที่ไม่มีถังสร้างกรด แบ่งย่อยเป็น 4 การทดลอง มีอัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 8 , 8 , 10 และ 10 กก./ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ มีการเติมสภาพต่างโดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต ในปริมาณ 1.5 , 1.5 , 3.0 และ 1.5 ก./ล ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าการทดลองที่ 1-3 ระบบสามารถทำงานได้ดี ค่าพีเอชของน้ำเสียของการทดลองที่ 1-3 เท่ากับ 7.83 , 7.84 และ 8.71 ตามลำดับ ส่วนพีเอชของน้ำทิ้งเท่ากับ 7.41 , 7.47 และ 7.25 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ในระบบ ส่วนการทดลองที่ 4 พบว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียและน้ำทิ้งเท่ากับ 5.72 และ 5.29 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ (ค่าที่เหมาะสม 6.7-7.4) เป็นผลให้ระบบในการทดลองที่ 4 เสียสมดุลย์ ไม่สามารถทำงานได้ดี ซึ่งผู้วิจัยได้วิเคราะห์ไว้ว่า เป็นเพราะสภาพต่างที่เติมให้กับระบบไม่เพียงพอ ทำให้มีกรดไขมันระเหยสะสมในระบบ เป็นผลให้ค่าพีเอชลดลง

- ชุดที่มีถังสร้างกรด แบ่งย่อยเป็น 4 การทดลอง เช่นกัน โดยมีอัตราภาวะบรรจุทกสารอินทรีย์ เท่ากับ 10 , 15 , 20 และ 25 กก./ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ สภาพต่างที่เดิม คือ 2.0 , 3.0 , 4.0 และ 5.0 ก/ล. ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มตามอัตราภาวะบรรจุทกสารอินทรีย์ จากผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถทำงานได้ดี และเป็นไปในแนวเดียวกัน คือ สภาพต่างในน้ำเสียจะลดลงเมื่อผ่านถังสร้างกรด และมีค่าเพิ่มขึ้นและมากกว่าเดิมเมื่อผ่านถังยูเอเอสบี สามารถอธิบายได้ว่า สภาพต่างที่ลดลงในถังสร้างกรด เนื่องจากสภาพต่างถูกนำไปใช้ในการสะเทินกรดที่เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาในการสร้างกรด และเมื่อน้ำเสียผ่านเข้ามาในถังยูเอเอสบี มีการออกซิไดซ์กรดอะซิติก โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน และ/หรือ แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ให้กลายเป็นสภาพต่างไบคาร์บอเนต จึงทำให้มีสภาพต่างเพิ่มขึ้นในระบบ