

บทที่ 3

ทบทวนเอกสาร

3.1 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเป็นระบบที่ซับซ้อน มีกลุ่มจุลชีพอาศัยอยู่ร่วมกันหลายกลุ่ม ความสัมพันธ์ของกลุ่มจุลชีพเหล่านี้มีทั้งการพึ่งพาอาศัยกัน และการแข่งขันกัน สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนรูปไป เนื่องจากการย่อยสลายโดยกลุ่มจุลชีพหลายกลุ่มต่อกัน ผลผลิตที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของกลุ่มจุลชีพหนึ่ง จะถูกย่อยสลายต่อโดยกลุ่มจุลชีพอีกกลุ่มหนึ่ง เกิดเป็นความสัมพันธ์แบบพึ่งพากัน แต่ถ้าผลผลิตที่เกิดขึ้นสามารถใช้โดยกลุ่มจุลชีพหลายกลุ่ม กลุ่มจุลชีพที่ใช้สารอาหารชนิดเดียวกันก็ทำให้เกิดความสัมพันธ์แบบแข่งขันกันขึ้น กลุ่มจุลชีพหลายกลุ่มที่อาศัยอยู่ร่วมกันและมีปฏิสัมพันธ์กันเหล่านี้เอง ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ และเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปต่างๆ เช่น มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ หรือฮัลไฟด์เป็นต้น (ดังแสดงในรูปที่ 3.1) แต่สารอินทรีย์ในระบบจะถูกใช้โดยจุลชีพกลุ่มใดและถูกใช้ในสัดส่วนเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่ส่งผลให้จุลชีพกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งโดดเด่นที่สุดในระบบ ซึ่งหากพิจารณาในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนโดยทั่วไปที่ผลิตก๊าซมีเทน จุลชีพที่โดดเด่นในระบบก็คือกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ทำงานร่วมกัน ผลผลิตหลักของระบบนี้ก็คือก๊าซมีเทน โดยมีขั้นตอนเพื่อเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

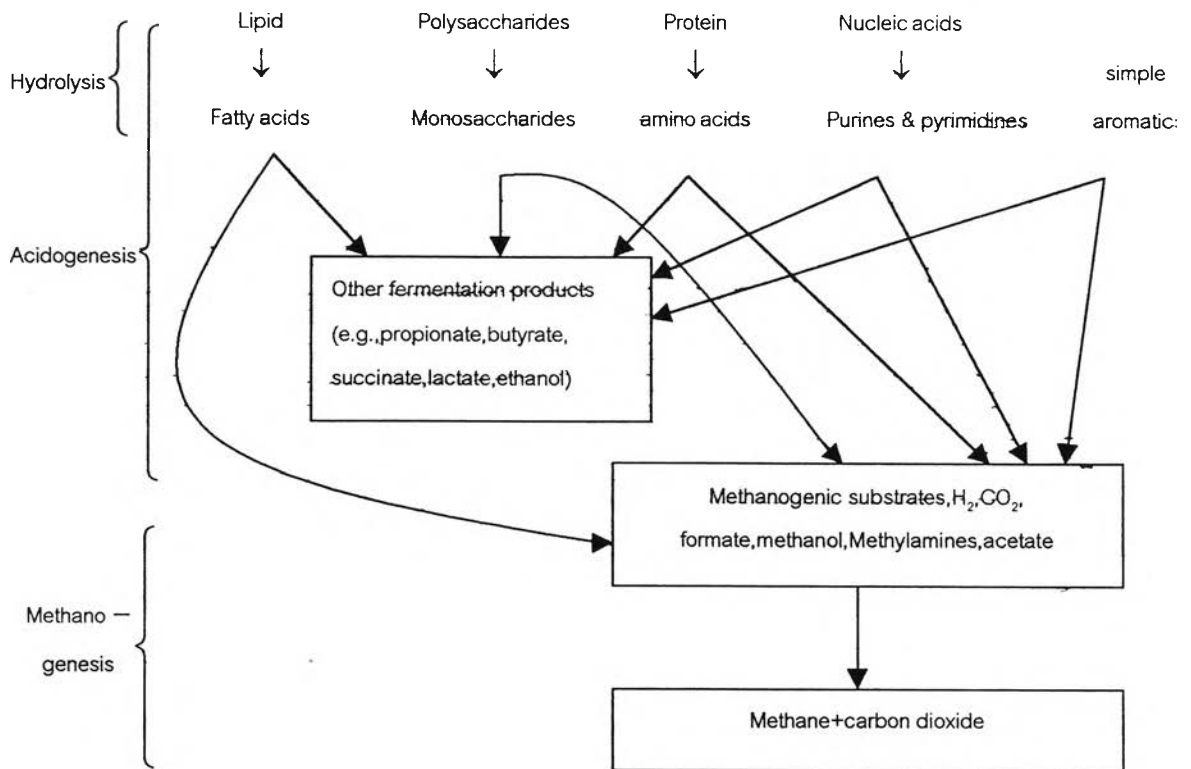
ขั้นที่ 2 การสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenesis)

ขั้นที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

ขั้นที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ขั้นที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตเป็นต้น ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล และกรดอะมิโน โดยแบคทีเรียหลายจำพวกซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกแบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียเหล่านี้ขับเอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีความจำเพาะต่อปฏิกิริยาและสารที่ทำปฏิกิริยา ดังนั้นเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาออกเซลล์จึงขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เช่น แป้ง และไกลโคเจน ต้องใช้เอนไซม์อะไมเลส (Amylase) ไขมันและน้ำมันใช้เอนไซม์ไลเปส (Lipase) และเอสเตอเรส (Esterases) โปรตีนต้องใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสถานะสารอินทรีย์ภายใต้ภาวะไร้อากาศ

(Tchobanoglous และคณะ , 1993)

เอนไซม์โปรตีเอส (Protease) ส่วนกรดอะมิโนและไลซีน (Lysine) ต้องใช้เอนไซม์ทริปซิน (Trypsin) เป็นต้น การทำงานของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ ดังนั้นการย่อยสลายสารแต่ละชนิดจึงใช้เวลาต่างกัน

ขั้นที่ 2 การสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenesis)

ผลผลิตจากกระบวนการไฮโดรไลซิสโมเลกุลของสารอินทรีย์ จะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงานของแบคทีเรียกลุ่มเดียวกับขั้นตอนแรกคือ พวก Acidogenic organism โดยผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) ภายในเซลล์และถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) เช่นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ภายใต้ Low hydrogen partial pressure แต่จะได้กรดอะซิติก กรดไพรูฟอนิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ภายใต้ High hydrogen partial pressure ภายใต้วิธีดังกล่าวทั้งสองแบบ กลูโคสจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก และกรดไขมันระเหยอื่นๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวรับอิเล็กตรอน

ขั้นที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

กรดไขมันระเหยที่ผลิตขึ้นในขั้นที่ 2 จะเป็นอาหารให้แบคทีเรียกลุ่มที่ทำหน้าที่สร้างมีเทนต่อไป แต่เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดบิวไทริก กรดไพรฟิออนิก เป็นสารอาหารได้ จึงต้องอาศัยแบคทีเรียสร้างอะซิเตตย่อยกรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นกรดอะซิติกเพื่อให้แบคทีเรียนำไปใช้ได้

ขั้นที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 จะถูกแบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานซึ่งได้มีเทนเป็นผลิตภัณฑ์ สารอื่นนอกเหนือจากกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจน มีเพียงเมทานอลและเมทิลลามีเนเท่านั้นที่สามารถใช้ได้โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนกรดไขมันระเหยและสารอื่นๆ ที่ได้จากขั้นที่ 3 จะหลุดออกไปกับน้ำทิ้งออกจากระบบบำบัด

3.2 फिल्मชีวภาพ

3.2.1 กระบวนการเกิดฟิล์มชีวภาพ

ในสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ จุลชีพส่วนมากที่แนวโน้มที่จะเจริญเติบโตในสภาพยึดเกาะบนตัวกลางมากกว่าที่จะอยู่ในสภาพแขวนลอยอย่างอิสระ เหตุผลอย่างหนึ่งคือเมื่อจุลชีพยึดเกาะบนตัวกลางแล้ว จะสามารถใช้สารอาหารโดยการสะสมให้อยู่ในรูปของอิออนและโมเลกุลขนาดใหญ่ไว้ระหว่างผิวสัมผัสของตัวกลางที่ยึดเกาะกับผิวของน้ำ แม้แต่จุลชีพที่แขวนลอย ก็ยังพบว่ามันยึดเกาะอยู่บนอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่มันกำลังย่อยสลาย หรือเกาะรวมกันเองเพื่อลดพลังงานในการดำรงชีพแบบแขวนลอย ฟิล์มจุลชีพมีทั้งการเจริญเติบโตและหลุดลอกเกิดขึ้นร่วมกันอย่างต่อเนื่อง ฟิล์มจุลชีพที่เกิดขึ้นเป็นผลรวมมาจากกระบวนการต่างๆ ดังนี้

3.2.1.1. การขนถ่ายโมเลกุลของสารอินทรีย์แขวนลอยในของเหลวไปยังผิวหน้าของตัวกลางด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้

1. การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian movement) มีผลเล็กน้อยต่อการเคลื่อนที่ของจุลชีพที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1.0 ไมโครเมตร

2.การตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วง ในขณะที่มีการกรองเกิดขึ้นระหว่างที่จุลชีพไหลผ่านตัวกลาง ก็พบว่ามีการตกตะกอนเกิดขึ้นในบริเวณน้ำนิ่งระหว่างอนุภาคตัวกลาง 2 อนุภาคด้วย เรียกว่า Local settling

3.Thermophoresis เป็นการเคลื่อนที่ ที่เกิดขึ้นเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อจุลชีพเข้าไปในที่ซึ่งมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน เช่นผิวตัวกลางในถังปฏิกรณ์มักมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำเสีย จะทำให้อนุภาคจุลชีพถูกผลักออกห่างจากตัวกลาง

4.Taxis การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต ในทิศทางที่ตอบสนองต่อแรงกระตุ้นภายนอก จุลินทรีย์สามารถเคลื่อนที่เองตามธรรมชาติโดยใช้พลังงานภายในของเซลล์เอง

5.แรงยก (Lift force) เมื่อเซลล์จุลชีพเคลื่อนที่ไปเร็วกว่าของไหลที่อยู่ใกล้ผนัง แรงยกจะทำให้เซลล์เคลื่อนที่เข้าหาผนัง

3.2.1.2 การยึดเกาะของเซลล์จุลชีพบนผิวเปียก

ในช่วงแรกการยึดเกาะจะเป็นแบบผันกลับได้ (Reversible adhesion) เป็นการเกาะที่ไม่แน่นอนหาเซลล์จุลชีพยังมีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน และหลุดลอกได้ง่ายแม้มีการชะล้างเบาๆ ต่อมาจึงเกิดการยึดเกาะแบบไม่ผันกลับ (Irreversible adhesion) เกิดจากการสร้างพันธะกับพื้นผิวโดยการสร้างผลิตภัณฑ์แล้วหลั่งออกมาภายนอกเซลล์ คือ Extracellular จะเป็นตัวช่วยยึดเกาะฟิล์มชีวภาพเข้าไว้ด้วยกัน

3.2.2 การหลุดลอก (Detachment)

การหลุดลอกของฟิล์มจุลชีพเกิดขึ้นหลังจากเริ่มมีการยึดเกาะของเซลล์ เมื่อฟิล์มหนามากขึ้น เมื่อความหนาของฟิล์มจุลชีพถึงจุดหนึ่งสารอาหารจะไม่สามารถแพร่เข้าไปสู่เซลล์ที่อยู่ด้านในได้ จุลชีพบริเวณนั้นจะตาย และสลายตัวพร้อมกับหลุดลอกออกไปกับน้ำที่ออกจากระบบ

3.2.2.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหลุดลอก

1.วัฏจักรการเจริญเติบโต

จุลชีพผลิตโพลีแซคคาไรด์เพื่อสร้างแคปซูลห่อหุ้มเซลล์ในช่วงหยุดนิ่ง (Stationary phase) ทำให้เซลล์มีลักษณะชอบน้ำ (Hydrophilic) มากขึ้นเป็นเหตุให้เซลล์เหล่านี้หลุดลอกออกจากพื้นผิวของตัวกลาง

2.ภาวะขาดแคลนอาหาร ในภาวะขาดแคลนอาหาร เช่น กลูโคส และไนโตรเจน ทำให้เกิดการหลุดลอกของฟิล์มจุลชีพ จำนวนเซลล์ที่ยึดเกาะลดลง จำนวนเซลล์อิสระในของเหลวเพิ่มขึ้นแทน

3. Shearing คือการหลุดลอกของชิ้นส่วนเล็กๆอย่างต่อเนื่องขึ้นอยู่กับชลศาสตร์เป็นสิ่งสำคัญ เกิดขึ้นเมื่อมากเมื่อความหนาของฟิล์มจุลชีพและ ความเค้นเฉือน (Shear stress) ระหว่างพื้นผิวฟิล์มจุลชีพกับน้ำเพิ่มขึ้น

4.Sloughing คือการสูญเสียเซลล์และส่วนประกอบอื่นๆ ออกจากฟิล์มจุลชีพชั้นใหญ่ พบบ่อยในฟิล์มจุลชีพที่หนามากๆ และมีสารอาหารสมบูรณ์

5.การเสียดสี (Abrasion) เป็นการสูญเสียจุลชีพเนื่องจากการกระทบกันระหว่างอนุภาคตัวกลาง พบบ่อยในถังปฏิกรณ์บรรจุตัวกลางเคลื่อนที่ (Fluidized bed)

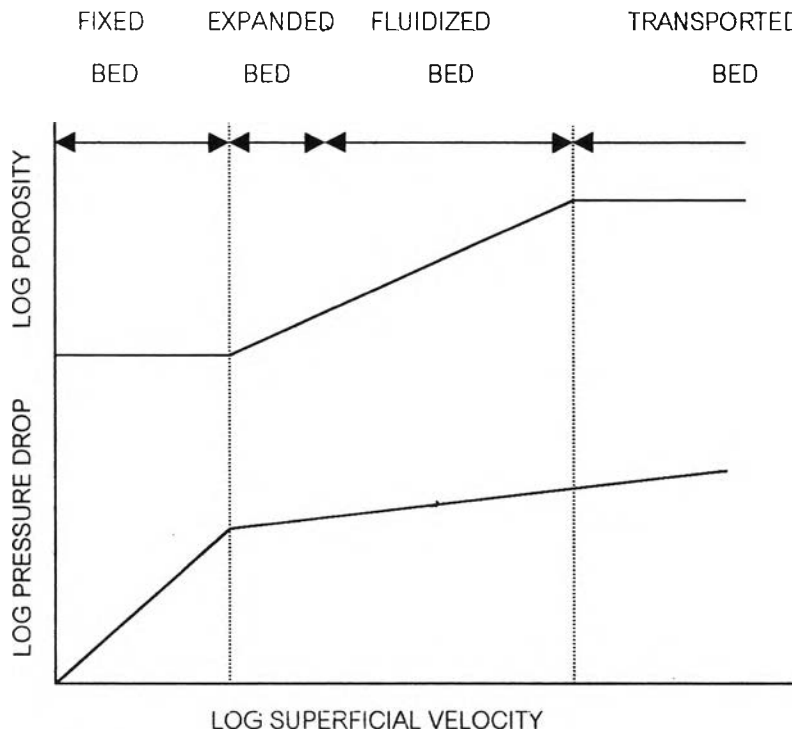
3.3 ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter)

3.3.1 ลักษณะทั่วไป

ระบบถังกรองไร้อากาศเป็นระบบที่มีมวลชีวภาพชนิดยึดเกาะตัวกลาง จุลชีพยึดติดอยู่บนตัวกลางทำให้ได้ความเข้มข้นของจุลชีพและระยะเวลาที่จุลชีพสูง ระบบถังกรองไร้อากาศมักถูกจัดให้น้ำเสียมีทึบโคลนขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่าตัวกลางสำหรับยึดเกาะของจุลชีพจะจมอยู่ในของเหลวทั้งหมดอันเป็นการรักษาสภาพไร้อากาศไว้

ระบบถังกรองไร้อากาศอาจแบ่งตามการขยายตัวของตัวกลางได้เป็น 3 ประเภทได้แก่ (1) ตัวกลางหยุดนิ่ง (Fixed bed) (2) ตัวกลางขยาย (Expanded bed) (3) ตัวกลางลอยตัว (Fluidized bed) รูปที่3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำเสียป้อนเข้ากับอัตราการขยายตัวของตัวกลางในถังปฏิกรณ์

ตัวกลางสำหรับยึดเกาะอาจผลิตจากวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้เช่น พลาสติก,เซรามิก หรือดินเหนียว หลักการทั่วไปของระบบคือ ป้อนน้ำเสียด้วยความเร็วต่ำเข้าสู่ระบบทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ผ่านแทรกซึมไปทั่วตัวกลางที่บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งทำหน้าที่เป็นผิวน้ำยึดเกาะให้กับจุลชีพ อีกทั้งเป็นตัวกรองจุลชีพชนิดที่ไม่ยึดเกาะอีกด้วย จุลชีพทั้งสองประเภทในระบบจะเปลี่ยนอินทรีย์สารทั้งชนิดละลายและแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนที่น้ำเสียจะไหลออกจากระบบทางด้านบนของถังปฏิกรณ์



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำเข้ากับอัตราการขยายตัวของตัวกลางในถังปฏิกรณ์ (Hall, 1992)

ถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้นมีความสูงน้อยกว่าแบบไหลลง และจุลชีพในถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้นมีความเข้มข้นสูงและสามารถป้องกันจุลชีพหลุดออกจากถังปฏิกรณ์ได้ดี เป็นผลให้กระบวนการมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง แต่ก็ขึ้นอยู่กับชนิด รูปร่าง พื้นที่ผิวและรูปแบบของช่องว่างของตัวกลางด้วย

สุรพล สายพานิช (2542) กล่าวว่า ถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้นมีข้อดีกว่าแบบไหลลงในด้านขนาดและราคา แต่ในกรณีนี้ที่น้ำเสียมีตะกอนแขวนลอยมากกว่า 10% ของซีไอดีเข้า ถ้าใช้ระบบไหลขึ้นอาจจะต้องมี Pretreatment เพื่อลดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนเข้าถังปฏิกรณ์ ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในถังแบบไหลขึ้นดีกว่าแบบไหลลงที่ ระยะเก็บกักขลศาสตร์เดียวกัน

การเปรียบเทียบระบบกรองไร้ออกซิเจนแบบไหลขึ้นและไหลลง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบระบบกรองไร้ออกซิเจนแบบไหลขึ้นและไหลลง (สุรพล สายพานิช, 2542)

รายการ	แบบไหลขึ้น	แบบไหลลง
ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่สามารถส่งเข้าระบบได้	น้อยกว่า	มากกว่า
อัตราการหมุนเวียนน้ำ	ต่ำกว่า	สูงกว่า
ขนาด	เล็กกว่า	ใหญ่กว่า
ราคา	ถูกกว่า	แพงกว่า
ความสามารถในการรับปริมาณของแข็งแขวนลอยเข้าสู่ระบบ	ต่ำกว่า	สูงกว่า
ความสูงของถัง	น้อยกว่า	มากกว่า
ความหนาแน่นของจุลินทรีย์	มากกว่า	น้อยกว่า
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ HRT เดียวกัน	มากกว่า	น้อยกว่า

3.3.2 ค่าออกแบบ (Design Parameters)

3.3.2.1 ความเข้มข้นและอุณหภูมิของน้ำเสีย

กระบวนการไร้ออกซิเจนสามารถบำบัดน้ำเสียได้ทุกชนิดตั้งแต่ความเข้มข้นต่ำๆ เช่นน้ำเสียชุมชน จนถึงน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงมาก เช่น โรงกลั่นสุรา แต่จะต้องคำนึงถึงข้อเท็จจริงและองค์ประกอบอื่นๆร่วมด้วยดังนี้

- 1) ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นน้ำเสียสูงขึ้น เช่น ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำจากบ้านเรือน อาจจะมีเพียงร้อยละ 50 และเพิ่มสูงขึ้นจนถึงมากกว่าร้อยละ 80-90 ถ้าความเข้มข้นของน้ำเสียสูงเกิน 2,000 มก.ซีโอดี / ลิตร
- 2) น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจนยังคงมีสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ในปริมาณสูง และมักมีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ทำให้ต้องมีการบำบัดขั้นต่อไปด้วยกระบวนการแบบอาศัยออกซิเจน หรือการบำบัดทางฟิสิกส์ หรือทางเคมี ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นต่ำจึงอาจไม่เหมาะสมในด้านค่าใช้จ่ายและความยุ่งยากในการควบคุมการทำงาน การบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนควรใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 1,000 มก.ซีโอดี/ลิตร (สุรพล สายพานิช, 2542)

- 3) กระบวนการไร้ออกซิเจนเหมาะสำหรับใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้น สำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง เพราะไม่ต้องมีการเติมอากาศเหมือนระบบอาศัยออกซิเจน ทำให้ใช้พลังงานต่ำ อีกทั้งยังเกิดก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อีกด้วย
- 4) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับจุลชีพแอนแอโรบิก สามารถทำงานได้ดีมีอยู่สองช่วงคือ ช่วง Mesophilic ประมาณ 30-40 องศาเซลเซียส และช่วง Thermophilic ประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส แต่ส่วนใหญ่จะออกแบบให้ทำงานในช่วง Mesophilic เพราะระบบจะมีเสถียรภาพและความแน่นอนในการทำงานสูงกว่า ประกอบกับเป็นอุณหภูมิที่สามารถทำงานได้ดีในประเทศไทยโดยไม่ต้องเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงปฏิกรณ์ด้วยพลังงานอื่นๆ อีก

3.3.2 ชนิดและคุณสมบัติของตัวกลาง

ตัวกลางที่บรรจุภายในเครื่องกรองไร้ออกซิเจน มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้เซลล์จุลชีพหลุดออกไปจากระบบ อีกทั้งยังเป็นที่ยึดเกาะของจุลชีพ ส่งผลให้เซลล์สูญหายน้อย อยู่ในระบบนานมีค่า Sludge Retention Time สูง ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างมาก

ตัวกลางที่ใช้ในสมัยแรกๆ มักเป็นหินหรือกรวด แต่มีข้อเสียที่ให้ช่องว่างระหว่างตัวกลาง (Void space) น้อย และอุดตันเนื่องจากของแข็งหรือมวลชีวภาพได้ง่าย ดังนั้นจึงถูกเปลี่ยนมาใช้แหวนพลาสติกซึ่งมีน้ำหนักเบา ความพรุนสูงช่วยให้ระบบสามารถรับอัตราการไหลสูงขึ้นได้

Hall (1992) กล่าวว่าดูเหมือนว่าไม่มีตัวกลางชนิดใดจะดีที่สุดที่จะนำมาใช้ในระบบถังกรองไร้อากาศได้ แต่ในระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ระบบถังกรองไร้อากาศและดำเนินงานอยู่ส่วนใหญ่ใช้ตัวกลางแบบเติมไม่เป็นระเบียบและอัดตัวแบบหลวมด้วยแหวนพลาสติก หรือใช้แผ่นพลาสติกเรียงกันเป็นกล่อง (Module) ชนิดของวัสดุที่นำมาผลิตตัวกลางดูจะไม่มีผลต่อการทำงานของระบบ เนื่องจากจุลชีพสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวได้แทบทุกประเภท ตัวอย่างของวัสดุได้แก่ ไนลอน โพลีโพรพิลีน โพลีไวนิลคลอไรด์ เซรามิก

ตัวกลางที่ใช้จะต้องมันคงและทนแรงดันต่อเนื่องได้นาน เมื่อผิวของตัวกลางเป็นแบบไฮโดรฟิลิก จุลชีพจะยึดเกาะได้อย่างรวดเร็ว แต่หากเป็นแบบไฮโดรโฟบิก จุลชีพจะต้องขับสารโพลีเมอร์ชีวภาพออกมาใช้เป็นตัวประสาน

สุรพล สายพานิช (2542) กล่าวว่า จากการทดลอง พื้นที่ผิวจำเพาะและความพรุนไม่มีผลต่อการเริ่มเดินระบบและความสูงของถังปฏิกรณ์มีผลต่อการกำจัดซีไอดีไม่มากนัก สัดส่วนของความสูงของตัวกลางต่อความสูงของถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้นเป็นปัจจัยที่สำคัญมากกว่าถังปฏิกรณ์

ที่มีปริมาตรของตัวกลางน้อยกว่าร้อยละ 50 ทำให้เพิ่มโอกาสสูญเสียตะกอนและมีประสิทธิภาพลดลง Young และ Yang (1989) อ้างถึงใน สุรพล สายพานิช (2542) แนะนำว่าตัวกลางควรอยู่ส่วนบนของถังปฏิกรณ์เป็นระยะ 2 ใน 3 ของความสูงของถังปฏิกรณ์

3.3.2.3 ความสูงของถังปฏิกรณ์

ความสูงของถังปฏิกรณ์ จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นไปถึงระดับหนึ่ง จากนั้นความสูงที่เพิ่มขึ้นจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ

บุญส่ง ไช้เกษ (2519) ใช้ถังกรองไร้อากาศกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานทำผักดองบรรจุกระป๋อง โดยใช้ตัวกลางหิน กล่าวว่าการกรองมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดในช่วงความสูง 15 เซนติเมตรจากตอนล่าง และความสูงที่เหมาะสมคือ 1.20-1.50 เมตร

บุญสิน สุภักวงศ์ (2521) ใช้ถังกรองไร้อากาศทำความสะอาดน้ำโสโครกจากบ้านพักอาศัย สรุปว่าการทำงานของถังกรองไร้อากาศลึก 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร ให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก

โรมรัน ศรีสัมฤทธิ์ (2525) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากถังกรองไร้อากาศใช้วัสดุอินทรีย์เป็นตัวกลาง กล่าวว่าการกำจัดซีโอดีของถังกรองไร้ออกซิเจนส่วนใหญ่เกิดในช่วง 0.30 เมตร วัดจากฐานถังกรอง การใช้เครื่องกรองที่มีความสูงไม่มากนักต่ออย่างอนุกรมอาจให้ผลดีกว่าถังกรองตัวเดียวที่มีความสูงมากๆ อย่างไรก็ตามในการออกแบบถังกรองไร้ออกซิเจนเพื่อการใช้งานจริงซึ่งอาจมีการเปลี่ยนระดับภาระอินทรีย์อย่างกะทันหัน ความสูงของถังกรองจึงไม่ควรน้อยกว่า 1.20 เมตร ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้การทำงานของระบบล้มเหลว

Bayoumy และ คณะ (1999) ใช้แบคทีเรียรีดิทซ์ซัลเฟตรวมกับระบบถังกรองไร้อากาศในการกำจัดทองแดง นิกเกิล สังกะสี โครเมียม แคดเมียม และตะกั่ว พบว่าโลหะหนักจะถูกกำจัดหมด 100% ในช่วงความสูง 10 ถึง 350 มิลลิเมตร จากฐานของถังปฏิกรณ์ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของโลหะหนักที่ป้อน

ดังนั้นโดยทั่วไปความสูงของถังกรองจะอยู่ในช่วง 1.0-1.80 เมตร ถังกรองที่มีความสูงน้อยกว่านี้อาจมีโอกาสทำให้น้ำเข้ามีไหลลัดวงจร (Short Circuit) ส่วนความสูงที่มากกว่า 1.80 เมตร ดูเหมือนจะเป็นการสิ้นเปลืองมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่ได้เพิ่มขึ้นจากเดิม เพราะจากงานวิจัยที่ผ่านมาชี้ว่า กิจกรรมของจุลชีพส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นตอนล่างของถังกรอง แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มความสูงจะต้องสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัด และระยะเก็บกักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time) ทั้งนี้เพื่อให้จุลชีพมีเวลาสัมผัสกับน้ำเสียได้นาน

3.3.2.4 ภาวะสารอินทรีย์

ระบบถังกรองไร้อากาศสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นในช่วงน้อยกว่า 1,000 มก.ซีไอดี/ลิตร ขึ้นไปจนกระทั่งถึงมากกว่า 20,000 มก.ซีไอดี/ลิตร แต่หากระบบต้องรับน้ำเสียความเข้มข้นสูง ควรเวียนน้ำทิ้งออกจากระบบกลับเข้าสู่ระบบเพื่อให้ความเข้มข้นน้ำเสียเข้าระบบอยู่ในช่วง 8,000-12,000 มก.ซีไอดี / ลิตร

ระบบถังกรองไร้อากาศที่เปิดดำเนินงานอยู่ ถูกออกแบบให้บริการสารอินทรีย์ไม่เกิน 16 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ระยะกักขลศาสตร์ที่สอดคล้องกับภาวะสารอินทรีย์นี้อยู่ในช่วง 12-96 ชั่วโมง

ผู้ออกแบบส่วนใหญ่จะใช้ค่าภาวะสารอินทรีย์ต่อปริมาตรถังปฏิกรณ์ (Volumetric Organic loading) ในการคำนวณถังปฏิกรณ์ เพื่อให้บำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีค่าสำรองความปลอดภัยอยู่พอสมควร โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$B_v = \frac{C_i Q}{V}$$

โดย

B_v = อัตราภาวะสารอินทรีย์ต่อปริมาตรถังปฏิกรณ์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

C_i = ความเข้มข้นซีไอดีที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสีย (มก.ซีไอดี/ลิตร)

Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)

V = ปริมาตรถังปฏิกรณ์ (ลบ.ม.)

สุรพล สายพานิช (2542) กล่าวว่าค่าภาวะสารอินทรีย์ที่ใช้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจริงอยู่ระหว่าง 0.2-16 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน อย่างไรก็ตามค่าที่ใช้ในการออกแบบโดยทั่วไปควรต่ำกว่า 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน นอกจากนี้ยังกล่าวอีกว่าตามความเป็นจริงแล้ว ภาวะสารอินทรีย์ มิได้เป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพและการควบคุมการทำงานของระบบ แต่เป็นที่รวมปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญต่างๆ เช่น อัตราการทำลายสารมลพิษ อัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพ ความเข้มข้นของจุลชีพในถังปฏิกรณ์ อัตราการส่งถ่ายสารเข้าไปในมวลชีวภาพเข้าไว้ในค่าเดียวกันเพื่อความสะดวกในการคำนวณและเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ ทั้งทางด้านเทคนิคและด้านราคา เนื่องจากสามารถแสดงค่าเหล่านี้ได้ง่ายเมื่อเทียบกับในรูปของปริมาตรถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

3.3.2.5 ระยะเก็บกักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time)

ระยะเก็บกักชลศาสตร์ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการออกแบบ ระบบถังกรองไร้อากาศมีระยะเวลาเก็บกัก ระหว่าง 12-96 ชั่วโมง ยกเว้นระบบบำบัดน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบใช้เวลาเก็บกัก 30-40 วัน และระบบบำบัดของเสียจากโรงกลั่นสุรา ใช้เวลาเก็บกัก 12-14 วัน

3.3.2.6 ความเข้มข้นของมวลจุลชีพ

ตารางที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าถังกรองไร้อากาศมีความเข้มข้นของมวลจุลชีพได้ 4.9-35 kg.VSS/m³. หรืออาจสูงขึ้นไปถึง 60 kg.VSS/m³. ในระบบบำบัดจำลอง

ตารางที่ 3.2 ค่าความเข้มข้นมวลจุลชีพและค่าพารามิเตอร์ในการดำเนินงานของถังกรองไร้อากาศ (Hall, 1992)

Process	Biomass Concentration (kgVSS/m ³)	Organic Removal Rate (kgCOD /m ³ -d)	Speific Biomass Activity (kgCOD/kg VSS-d)	SRT (day)
Fixed Beds (Pilot)				
Upflow	14.2	10.9	0.77	13
Upflow	5.1	1.2	0.23	43
Upflow	4.9	18.6	3.8	2.6
Upflow	35	4.9-20	0.14-0.57	17.5-173
Downflow	20	4-20	0.25-1.0	10-40
Expanded Bed(pilot)	40			
	60	15.6-72	0.26-1.2	8.3-38
Fluidized Bed(pilot)	11.5	49.5	4.3	2.4
	30	5.1-25	0.17-0.83	12-60
	31.2	40.6	1.3	7.6
	15-21	50.4	2.4	5-20
Fluidized Bed (Full-scale)	20	18	0.9	11
	22	19.8	0.9	12
	15	10.5	0.7	14

3.3.2.7 ความหนาของฟิล์มจุลชีพ

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของตัวกลางที่บรรจุในระบบถังกรองไร้อากาศ (Hall, 1992)

Process	Media Voidage(%)	SV (m ² /m ³)
Downflow Fixed Film	50-95 %	70-100
Upflow Modular Medium	90-95 %	85-100
Upflow Random Medium	90-95 %	90-200
Expanded Bed (0.3 mm)	45-55 %	9,000-11,000
Fluidized Bed (0.3 mm)	50-300 %	4,000-10,000

3.3.2.8 การเวียนกลับน้ำทิ้ง

การหมุนเวียนน้ำมีประโยชน์เมื่อมีค่าซีโอดีสูงกว่า 8,000 ถึง 12,000 มก/ล เพื่อลดความต้องการค่าความเป็นด่าง เพื่อปรับปรุงการกระจายน้ำเสียผ่านชั้นตะกอน และเพื่อลดความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ Young และ Yang (1989) อ้างใน สุรพล สายพานิช (2542) แนะนำอัตราหมุนเวียนน้ำดังสมการต่อไปนี้

$$r = \frac{S_0}{12,000} = \frac{R}{Q}$$

เมื่อ

r = สัดส่วนของอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียน (R) ต่ออัตราการไหลของน้ำเสียเข้า(Q)

S_0 = ความเข้มข้นของซีโอดีเข้า (มก./ล.)

3.3.2.9 ปัจจัยอื่นๆ

นอกจากที่กล่าวแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อระบบถังกรองไร้อากาศ ได้แก่ พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างจุลชีพกับน้ำเสีย และการกวนผสมในถังปฏิกรณ์

3.3.3 ข้อได้เปรียบของระบบถังกรองไร้อากาศเทียบกับระบบชีวภาพอื่นๆ

- 1) ระบบถังกรองไร้อากาศเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่เป็นสารละลาย
- 2) มวลชีวภาพมีความเข้มข้นสูง และมีระยะเวลาที่มวลจุลชีพยาวนาน

- 3) ปริมาตรของถังปฏิกรณ์น้อยเนื่องจากใช้อัตราภาวะอินทรีย์สูงใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อย
 - 4) มีเสถียรภาพภายใต้ภาวะน้ำเข้าผันแปร หรือประสพภาวะเป็นพิษวิกฤติ
 - 5) ไม่ต้องการเครื่องกวนแบบกลในการกวนผสม การเกิดก๊าซชีวภาพ และการเวียนกลับน้ำทิ้ง ช่วยทำให้อุณหภูมิ พีเอช และความเข้มข้นของน้ำเสียเข้า สม่่าเสมอทั่วทั้งถังปฏิกรณ์
 - 6) มีความเหมาะสมในการนำไปบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก เนื่องจากโลหะหนักสามารถตกตะกอนทางเคมีได้ด้วยซัลไฟด์ที่เป็นผลผลิตของระบบไร้อากาศ
- นอกเหนือจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระบบบำบัดไร้อากาศแบบฟิล์มตรึงกับระบบบำบัดไร้อากาศแบบกวนสมบูรณ์ จะพบว่า

- 1) ระบบถังกรองไร้อากาศจะยังมีเสถียรภาพเมื่อรับภาระวิกฤติ (Shock load) และทนทานต่อภาระและสภาพแวดล้อมต่างได้มากกว่า เช่น พีเอช และอุณหภูมิ
- 2) ระบบถังกรองไร้อากาศสามารถเดินระบบแบบเดินๆหยุดๆ (Intermittent mode) ได้
- 3) ระบบถังกรองไร้อากาศสามารถลดผลกระทบของโลหะหนักได้ด้วยการทำให้คุ้น (Acclimatization)

3.3.4 ข้อเสียเปรียบ

- 1) ของแข็งแขวนลอยสะสม ส่งผลกระทบต่อด้านลบกับจุลชีวศาสตร์และสมบัติการส่งผ่านมวลภายในถังปฏิกรณ์
- 2) ไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยสูง
- 3) ไม่สามารถสังเกตลักษณะภายในถังปฏิกรณ์ได้ ตรวจสอบการอุดตันของตัวกลางได้ยาก
- 4) ตัวกลางที่นิยมใช้และระบบรองรับตัวกลางมีราคาสูง

ระบบถังกรองไร้อากาศมักถูกมองว่าเป็นถังปฏิกรณ์แบบไหลตามกัน (Plug flow) แต่การที่มีตัวกลางยึดเกาะที่อัดตัวอยู่ในถังปฏิกรณ์จะทำให้เส้นทางการไหลของน้ำเสียผันผวนกัน อีกทั้งผลของอัตราไหลต่ำ ทำให้แบบจำลองของการไหลตามกันแบบดั้งเดิมไม่เหมาะสมกับระบบชนิดนี้ ระบบถังกรองไร้อากาศสามารถลดผลกระทบที่เลวร้ายอันเนื่องจากสารพิษได้ ด้วยเหตุที่ระบบมีลักษณะแบบกึ่งไหลตามกัน (Quasi-plug flow) ที่จะส่งผ่านสารพิษอย่างรวดเร็วโดยไม่ทำให้ฟิล์มชีวภาพถูกชะออก (Parkin และ Speece, 1984 อ้างใน pompimol , 1989) ส่วนทางด้าน การควบคุมความหนาของฟิล์มชีวภาพนั้น โดยปกติจะควบคุมด้วยการล้างย้อน

3.3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงาน

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบไร้อากาศได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ความเป็นพิษ การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การสमानตะกอนชีวภาพแอนแอโรบิก และอัตราปัสสาวะอินทรีย์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.3.5.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการทำงานของแอนแอโรบิกคล้ายกับการดำเนินการทางชีวเคมีอื่นๆ ขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงหนึ่งอัตราเติบโตจำเพาะของจุลชีพจะเพิ่มขึ้น ผลนี้สำคัญโดยเฉพาะในระบบแอนแอโรบิกเพราะอันตรกิริยาระหว่างจุลชีพ แบคทีเรียต่างชนิดจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในปริมาณต่างกัน ดังนั้นปฏิกรณ์ที่พัฒนาที่อุณหภูมิหนึ่งจะมีจุลของชนิดจุลชีพต่างจากปฏิกรณ์ที่พัฒนาที่อีกอุณหภูมิหนึ่ง การเปลี่ยนไม่ก็องศาสามารถทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างจุลชีพหลักทั้งสองสามารถนำให้กระบวนการล้มเหลวได้ ด้วยเหตุนี้การรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอสำคัญมากกว่าการรักษาอุณหภูมิที่ให้อัตราสูงสุดที่เป็นไปได้ (Dague, 1968 อ้างถึงใน ชีวะ ,2539)

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ชนิด Mesophilic มีค่าระหว่าง 30-40 องศาเซลเซียส และหากอุณหภูมิของน้ำเสียสูงขึ้นถึง 50-60 องศาเซลเซียส ก็จะมีจุลินทรีย์ชนิด Thermophilic ที่สามารถทำงานที่อัตราการทำลายสารมลพิษสูงกว่าประมาณ 25-50% แต่จุลินทรีย์ประเภทนี้มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำและมีอัตราการตายสูง นอกจากนั้นยังมีกรดระเหยได้ ตกค้างอยู่ในน้ำที่บำบัดแล้วสูงถึง 1,000 มก/ล เมื่อเทียบกับระบบ Mesophilic ที่มีกรดระเหยได้เหลืออยู่เพียง 100 ถึง 500 มก/ล

จุลชีพแอนแอโรบิกมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก ดังนั้นในการออกแบบถังปฏิกรณ์จะต้องควบคุมให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส /วัน (สุรพล สายพานิช, 2542)

3.3.5.2 ค่าพีเอช

พีเอชของตัวกลางที่กลุ่มจุลชีพอยู่จะมีผลต่อกลุ่มจุลชีพหลักทั้งสอง แบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่ใช้ไฮโดรเจนมีความไวต่อพีเอชมาก โดยทั่วไปการเติบโตเกิดได้ในช่วงแคบ ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนชนิดหนึ่งที่พบในถังย่อยมีช่วงการเติบโตประมาณจากพีเอช 6.5-7.7 โดยทั่วไปพีเอชที่

เหมาะสมอยู่ประมาณความเป็นกลาง จากการทดลองหนึ่งพบว่าการผลิตมีเทนของแบคทีเรียสร้างมีเทนถูกยับยั้งเกือบทั้งหมดที่พีเอช 6.2 ปัญหาที่รุนแรงเกิดขึ้นได้ถ้าพีเอชลดลงต่ำกว่า 6.5

3.3.5.3 ความเป็นพิษ

1) กรดอินทรีย์ระเหยได้

กรดอินทรีย์ระเหยได้มีผลต่อพีเอชของตัวกลาง กรดอะซิติกและบิวทิริกไม่มีผลที่เป็นพิษอย่างสำคัญต่อแบคทีเรียที่ความเข้มข้นถึง 10,000 กรัม/ลบ.ม. กรดไพโรฟอนิกจะหน่วงแบคทีเรียผลิตกรดในการย่อยตะกอนจากน้ำเสียชุมชน ที่พีเอชเป็นกลางมีเพียงกรดไพโรฟอนิกเท่านั้นที่แสดงความเป็นพิษต่อระบบ

2) แคลไออนของโลหะเบา

แคลไออนของโลหะเบาได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม และแมกนีสิียม หากความเข้มข้นของไออนเหล่านี้มากเกินไปจะหน่วงการทำงานของระบบจนต้องใช้อายุตะกอนยาวมากเพื่อกันความล้มเหลวของระบบ

3) ซัลไฟด์

น้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงเมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ถ้าความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายมากกว่า 200 กรัม/ลบ.ม. ปฏิกริยาเมแทบอลิซึมของกลุ่มผลิตมีเทนจะถูกยับยั้งอย่างรุนแรงนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบ จุลชีพสามารถทนได้โดยการทำให้คูล ความเข้มข้นระหว่าง 100-200 กรัม/ลบ.ม. จะมีผลเล็กน้อยต่อการทำงานของระบบหลังจากทำให้คูลแล้ว ซัลไฟด์ละลายเท่านั้นที่เป็นพิษเพราะเข้าถึงเซลล์

ความเป็นพิษของซัลไฟด์มักจะเกิดขึ้นในกรณีที่น้ำเสียมีความเข้มข้นต่ำแต่มีซัลเฟตสูง โดยเฉพาะถ้ามีอัตราส่วนของซีโอดีต่อซัลเฟตต่ำกว่า 7.5 เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไม่เพียงพอที่จะไล่ซัลไฟด์ที่ละลายน้ำให้หลุดออกไปเป็นก๊าซ

การแก้ปัญหาความเข้มข้นของซัลไฟด์สูงเกินไปสามารถทำได้โดย

- เจือจางน้ำเสียที่ส่งเข้าระบบ
- เติมน้ำเกลือของเหล็ก เพื่อตกตะกอนซัลไฟด์ออกจากน้ำ
- เป่าไล่ไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากน้ำและหมุนเวียนก๊าซชีวภาพมาเป่าในถังปฏิกรณ์
- ออกซิไดส์ซัลไฟด์ด้วยวิธีการทางชีวภาพ และนำกำมะถันมาใช้ใหม่

5) โลหะหนัก

โลหะหนักละลายเท่านั้นที่เป็นพิษ ความเข้มข้นของโลหะหนักลดลงได้โดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยซัลไฟด์

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ไร้ออกซิเจน ส่วนตารางที่ 3.5 แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่สำคัญบางชนิด ซึ่งเป็นพิษต่อการทำงานของกระบวนการไร้ออกซิเจนเช่นกัน

3.3.6 สัญญาณเตือนของการเสียสมดุลของระบบ

1) ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ โดยปกติความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในระบบประมาณ 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร (เทอมของกรดอะซิติก) แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จะเป็นสัญญาณแสดงการเสียสมดุลของระบบ คือเกิดการชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน หรือทำให้การเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างกรดถูกเร่งให้เร็วขึ้น

2) ระดับความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต สภาพความเป็นด่างจะบ่งบอกให้ทราบถึงกำลังบัฟเฟอร์ (Buffer Capacity) ว่ามีเหลืออยู่เท่าไรในระบบ หากมีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้พีเอชลดลงได้อย่างมากและเร็ว ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน แต่หากสภาพความเป็นด่างสูงพอ ก็จะสามารถทนกับสภาพการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ระเหยได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อค่าพีเอชมากนัก ระดับสภาพความเป็นด่างที่เหมาะสมขึ้นกับคุณสมบัติและความเข้มข้นของน้ำทิ้ง โดยทั่วไประบบไร้ออกซิเจนควรมีสภาพความเป็นด่างประมาณ 1,500-2,000 มิลลิกรัม / ลิตร

3) ค่าไออาร์พี (ORP) ปฏิกริยาแต่ละประเภทจะมีค่าไออาร์พีประจำแต่ละปฏิกริยา ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ไร้ออกซิเจน
(Parkin และ Owen, 1986 อ้างถึงใน Hall,1992)

สารอนินทรีย์	ความเข้มข้นของสาร	
	เป็นพิษปานกลาง(mg/L)	เป็นพิษสูง(mg/L)
Sodium	3,500-5,500	8,000
Potassium	2,500-4,500	12,000
Calcium	2,500-4,500	8,000
Magnesium	1,000-3,000	3,000
Ammonium-N	1,500-3,000	3,000
Sulfide	200	200
Copper	-	0.5 soluble
	-	50-70 total
Chromium(VI)	-	3.0 soluble
	-	200-600 total
Chromium(III)	-	180-420 total
Nickel	-	2.0 soluble
	-	30 total
Zinc	-	1.0 soluble

ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ไร้ออกซิเจน (สุรพล สายพานิช , 2542)

สารอินทรีย์	ความเข้มข้นที่ยับยั้งการทำงาน 50%
Acetaldehyde	440
Acrolein	10
Bacitracin	20
Bromoethanesulfonate	20
Chloroform	15
Creolin(mixture of cresote,pheno;,isopropanol)	1
Dinitriphenol	40
Dettol	10
Ethylbenzene	340
Fluorinated hydrocarbons	1
Formaldehyde	70
Long-chain fatty acids	500
Monensin	2
Nitrobenzene	10
Tannins	700
Virginiamycin	10

ตารางที่ 3.6 ค่าไออาร์พีของปฏิกิริยายาประเภทต่างๆ (มันลิน ตัลฑุลเวศม์, 2542)

ประเภทของปฏิกิริยายา	ไออาร์พี (มิลลิโวลต์)*
แอโรบิคออกซิเดชัน	+300
ไนตริฟิเคชัน	+100
ดีไนตริฟิเคชัน	0
การย่อยไร้ออกซิเจน	
-สร้างกรดอินทรีย์	-300
-สร้างมีเทน	-500

*Ag / Ag₂Cl₂ Reference Electrode

ถึงย่อยไร้ออกซิเจนที่ทำงานได้ดีต้องมีค่าไออาร์พีอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ หากค่าไออาร์พีเป็นลบน้อยๆ หรือมีค่าบวก แสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยไร้ออกซิเจนเกิดขึ้นน้อยหรือไม่เกิดเลย

4) ค่าพีเอช ไม่ได้เป็นสัญญาณที่เร็วพอที่จะบอกถึงการทำงานผิดพลาดของระบบได้ทันที เพราะความเสียหายของระบบจะเกิดขึ้นก่อนที่พีเอชจะลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลของพีเอชก็ยังมีค่าสำคัญ เนื่องด้วยแบคทีเรียทั้งสองชนิด โดยเฉพาะชนิดสร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชแคบๆ หากไม่ควบคุมพีเอชให้ใกล้เคียงกลาง การเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะถูกยับยั้ง ทำให้ระบบล้มเหลวได้ เพื่อให้ระบบฟื้นตัวหลังจากเสียสมดุลจะต้องการรักษาระดับพีเอชให้ใกล้เคียงกลางเป็นลำดับแรก

5) อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเป็นเครื่องวัดโดยตรงของ Metabolic Activity ของแบคทีเรียสร้างมีเทน การเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตมีเทนมีความสำคัญกว่าค่าปริมาณการผลิต เพราะเป็นสัญญาณที่บอกถึงความผิดปกติเกิดขึ้นกับแบคทีเรียสร้างมีเทน

6) สัญญาณอื่นๆ สัญญาณที่แสดงการเสียสมดุลของระบบไร้ออกซิเจนอีกสองชนิดได้แก่ ส่วนประกอบของก๊าซรวมและอัตราการผลิตก๊าซ การเสียสมดุลของแบคทีเรียสำคัญทั้งสองชนิดจะทำให้ปริมาณมีเทนลดต่ำ แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นซึ่งจะเห็นได้จากส่วนประกอบของก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไป

3.4 การกำจัดโลหะหนักของจุลชีพแอนแอโรบิก

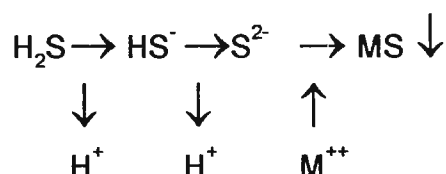
Cheng (1975) อ้างถึงใน Rivera (1983) กล่าวว่าสามารถสรุปกระบวนการกำจัดโลหะหนักที่แตกต่างกัน 4 อย่างที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะไร้อากาศนี้ดังนี้

- การดูดติดผิว (Adsorption)
- การดูดซับเข้าไปในเซลล์ (Incorporation into cell)
- การตกผลึกแล้วถูกจับยึดอยู่ในตะกอนชีวภาพ
- กระบวนการเคลื่อนที่ของโลหะละลายโดยลิแกนด์ของสารอินทรีย์และอนินทรีย์

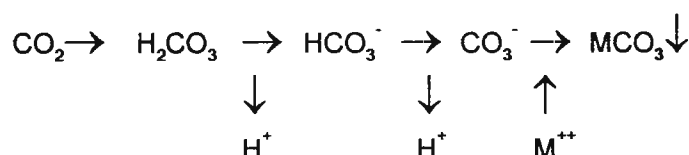
มีตัวอย่างการค้นพบธาตุยูเรเนียมสะสมอยู่ภายนอกเซลล์ของ *Saccharomyces cerevisiae* ในลักษณะคล้ายๆ เซมิ แต่กลับพบว่าสะสมอย่างหนาแน่นอยู่ในเซลล์ของ *P. aeruginosa* (Wise, 1988)

กระบวนการหลักๆ 2 กระบวนการที่เป็นที่ทราบกันดีทั่วไปว่ากระบวนการกำจัดโลหะหนักโดยจุลชีพ กระบวนการแรกเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของโลหะหนักกับไฮโดรเจนซัลไฟด์ (หรือระบบซัลไฟด์) ส่วนอีกกระบวนการเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของโลหะหนักกับคาร์บอนไดออกไซด์ (หรือระบบคาร์บอเนต) อธิบายตามแผนภาพดังนี้

ระบบซัลไฟด์



ระบบคาร์บอเนต



ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลชีพแอนแอโรบิกที่มีซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นสารตั้งต้น

3.4.1 ความเป็นพิษของโลหะหนัก

สารบางชนิดเป็นปัจจัยสำคัญในการกระตุ้นส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลชีพในกระบวนการชีวภาพ หากให้สารนี้แก่ระบบเกินกว่าที่จุดเหมาะสม (Optimum) อัตราการบำบัดของระบบจะลดลง (เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีสารนี้ในระบบ) จนกระทั่งระบบถูกยับยั้ง ในที่สุดเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น จุลชีพจะตายทั้งหมด มีการศึกษาอย่างกว้างขวางเพื่อเจาะจงหรือเลือกกลุ่มจุลชีพในการกำจัดสารเป็นพิษเฉพาะราย รวมทั้งพยายามศึกษาความสามารถของระบบต่างๆ ในการกำจัดพบว่าระบบถังกรองไร้อากาศมีความสามารถเฉพาะในการฟื้นตัวหลังจากสัมผัสกับสารพิษที่ความเข้มข้นวิกฤต เมแทบอลิซึมของจุลชีพแอนแอโรบิกอาจหยุดลงโดยสิ้นเชิงในระยะหลายเดือน แต่มีความเป็นไปได้ที่จะฟื้นตัวกลับมา มีกิจกรรมตามปกติในภายหลัง

3.4.1.1 โลหะหนัก

โลหะละลายมีส่วนอย่างมากในการยับยั้งระบบ Kugelman และ Chin (1971) อ้างถึงใน Pompimol (1989) ซึ่งว่าความเข้มข้นของโลหะหนักเพียงเล็กน้อยก็เพียงพอที่จะยับยั้งการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบได้ แต่ถึงกระนั้นพบว่าระบบสามารถรับภาระโลหะหนักสูงมากได้ หากระบบสามารถผลิตซัลไฟด์ได้มากพอที่จะใช้ในการตกผลึกกับโลหะหนักที่ป้อนเข้าระบบ ตารางที่ 3.7 แสดงตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับผลของโลหะหนักที่มีต่อแบคทีเรียแอนแอโรบิก

3.4.1.2 การตอบสนองของจุลชีพต่อพิษของโลหะหนัก

จุลชีพมีบทบาทในการเปลี่ยนรูปหรือลดความเป็นพิษของโลหะหนักได้ ทั้งนี้เนื่องด้วยการที่จุลชีพมีอัตราเมตาบอลิซึมสูง รวดเร็ว และอาศัยอยู่ปนกันหลากหลายสายพันธุ์เป็นชุมชน ทำให้เกิดการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว พร้อมกับสามารถปรับปรุงพันธุกรรมของตนเองให้ผลิตเอนไซม์ใหม่ที่สามารถย่อยสลายสารที่ไม่เคยพบได้ภายในไม่กี่ช่วงอายุ (Generation) (Wise, 1988)

การเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนัก จะทำให้ความเครียด (Strain) ทางจุลชีววิทยาของจุลชีพเพิ่มขึ้นเป็นผลให้จุลชีพรุ่นต่อมาทนทานต่อโลหะหนักได้เพิ่มขึ้น ความทนทานที่เพิ่มขึ้นอาจมีอีกสาเหตุมาจากการที่จุลชีพปรับลดความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) ของผนังเซลล์สำหรับโลหะหนักลง

ผลกระทบของโลหะหนักลดลงได้อย่างมากด้วยการปรับชินสภาพ (Acclimatization) โดยค่อยๆเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนักทีละน้อย ทั้งนี้เพื่อให้จุลชีพมีระยะเวลาปรับปรุงพันธุกรรมของตนเอง การปรับชินสภาพประสบความสำเร็จกับหลายระบบ ทั้งระบบเท-ถ่าย ระบบกึ่งเท-ถ่าย หรือระบบต่อเนื่อง รวมทั้งระบบฟิล์มตรึง ตารางที่ 3.8 และ 3.9 เปรียบเทียบความสามารถของจุลชีพสองประเภทที่มีและไม่มี การปรับชินสภาพ

จากทั้งสองตารางนี้จะพบว่าจุลชีพที่ถูกทำให้คุ้นก่อนจะสามารถเผชิญกับโลหะหนักความเข้มข้นสูงกว่าโดยไม่เกิดผลกระทบใดๆ ตัวอย่างเช่น จุลชีพที่ถูกทำให้คุ้นทนนิเกิลได้ 250 มก/ล โดยไม่เกิดผลกระทบใดๆ ในขณะที่จุลชีพที่ไม่ถูกทำให้คุ้นเริ่มประสบปัญหาในการผลิตก๊าซมีเทนตั้งแตรับความเข้มข้นนิเกิล 80 มก/ล แล้ว

ตารางที่ 3.8 ผลของสารพิษที่มีต่อการผลิตก๊าซมีเทน
(Parkin และคณะ, 1984 อ้างถึงใน Pompimol , 1989)

สารพิษ	ความเข้มข้น(มก/ล)	ระยะเวลาที่ระบบหยุดผลิต ก๊าซมีเทน (วัน)
Nickel	70	0
	80	3
	90	6
	100	11
Sulphide	100	2
	200	4
	300	6
	500	14
Formaldehyde	100	15
	150	23
	250	35
	500	35

ตารางที่ 3.9 ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบใดๆต่อระบบกรองไร้ออกซิเจนที่มีจุลชีพ
ที่ถูกทำให้คุ้น (Acclimatized) มาก่อน (Parkin และคณะ , 1984 อ้างถึงใน Pompimol , 1989)

สารพิษ	ความเข้มข้นสูงสุดที่ทนได้(มก/ล)
Nickel	250
Sulphide	600
Formaldehyde	400

3.5 แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต

แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นแบคทีเรียแอนแอโรบิกชนิดเด็ดขาด จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรีย
ชนิดเคโมเฮเทโรทรอป ซึ่งดำรงชีพและเจริญเติบโตได้รับพลังงานจากปฏิกิริยาทางเคมีในการย่อย

สลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนของแบคทีเรียประเภทนี้ ลักษณะเด่นของแบคทีเรียกลุ่มนี้คือความสามารถในการรีดิวซ์ซัลเฟตทำให้ซัลเฟตเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ เนื่องจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในการออกซิไดส์ไฮโดรเจนโมเลกุลหรือสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด ในกรณีที่สารให้อิเล็กตรอนคือไฮโดรเจนโมเลกุลหรืออะซิเตต ขั้นตอนดังกล่าวนี้จัดเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเช่นเดียวกับขั้นตอนการสร้างมีเทนตามปกติ ดังนั้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนที่บำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตจะพบแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตอยู่ร่วมกับแบคทีเรียชนิดสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนซึ่งจะมีความสัมพันธ์ต่อกันใน 3 กลุ่มทั้งในแง่ของการพึ่งพาอาศัยและการแข่งขันระหว่างกัน

ในการแบ่งกลุ่มของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตอย่างกว้างๆตามความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อการดำรงชีพและเจริญเติบโต สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1) แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตชนิดย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ไม่สมบูรณ์ (Incompletely Oxidizing Sulfate Reducing Bacteria; I-SRB) โดยสารอินทรีย์ที่เหลือจากการย่อยสลายคือ อะซิเตต

2) แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตชนิดย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์ (Completely Oxidizing Sulfate Reducing Bacteria; C-SRB) โดยสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์จนได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ปฏิภิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบไร้ออกซิเจนขึ้นอยู่กับว่าแบคทีเรียในระบบเป็นประเภทใดและใช้สารใดในระบบเป็นสารรับอิเล็กตรอน ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนที่สร้างมีเทน กลไกในการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเป็นการพึ่งพาอาศัยกันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน แต่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนที่มีซัลเฟตอยู่ในระบบ จะพบแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต แบคทีเรียชนิดสร้างอะซิเตตและแบคทีเรียสร้างมีเทนอาศัยอยู่ร่วมกัน ซึ่งความสัมพันธ์ของแบคทีเรียทั้ง 3 กลุ่มนี้มีทั้งการพึ่งพาอาศัยกันและแข่งขันกัน แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตได้เปรียบแบคทีเรียสร้างมีเทนในการแข่งขันกันใช้สารอาหารและมีแนวโน้มว่าจะชนะแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ แต่ในทางปฏิบัติแล้วแบคทีเรียชนิดใดจะเป็นฝ่ายได้เปรียบขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในขณะนั้นอย่างมาก เช่น ในกรณีซัลเฟตเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต แบคทีเรียสร้างมีเทนก็มีโอกาสที่จะเอาชนะแบคทีเรียสร้างมีเทนได้เช่นกัน ดังนั้นปัจจัยอีกประการหนึ่งที่สำคัญมากในการตัดสินใจว่าแบคทีเรียประเภทใดจะเป็นฝ่ายได้เปรียบในระบบหนึ่งๆจึงขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนระหว่างซีโอดีต่อซัลเฟต จากงานวิจัยของ Choi และ Rim (1991) อ้างถึงใน อนุตร เปียงแก้ว (2542) พบว่าอัตราส่วนนี้มีค่าระหว่าง 1.7-2.7 ถ้าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตมีค่าอยู่ระหว่างนี้จะเกิดการแข่งขันระหว่างแบคทีเรียทั้งสองประเภท แต่ถ้าอัตราส่วนสูงกว่านี้ แบคทีเรียสร้างมีเทนจะเป็นฝ่ายได้เปรียบ

3.6 น้ำอ้อยปนเปื้อนตะกั่วจากห้องปฏิบัติการ

3.6.1 การใช้สารเคมีในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย

ในอดีตโรงงานน้ำตาลซื้อขายอ้อยจากชาวไร่อ้อยตามน้ำหนักเพียงอย่างเดียวซึ่งก่อให้เกิดผลเสียหายทางเศรษฐกิจต่อระบบอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายเป็นอย่างมาก เนื่องจากชาวไร่อ้อยหันไปมุ่งเน้นการเพิ่มน้ำหนักอ้อยมากกว่าการเพิ่มความหวานของอ้อย ทำให้ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตได้ต่ำกว่าที่ควรเป็น ต่อมาเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบการซื้อขายอ้อยจากระบบเดิมที่ซื้อขายโดยการชั่งน้ำหนักเพียงอย่างเดียวเป็นระบบการซื้อขายอ้อยตามคุณภาพความหวาน หรือ ซี.ซี.เอส. (Commercial Cane Sugar: C.C.S.) ตั้งแต่ฤดูการผลิตปี 2535-2536 เป็นต้นมา ทำให้เกิดความเป็นธรรมในการซื้อขายอ้อยระหว่างโรงงานน้ำตาลและชาวไร่อ้อยมากขึ้น

เพื่อให้การซื้อขายอ้อยเป็นไปตามคุณภาพของอ้อย คณะกรรมการอ้อย และน้ำตาลทราย และคณะกรรมการบริหาร ตามพระราชบัญญัติอ้อยและน้ำตาลทราย พ.ศ.2527 จึงได้ออกประกาศและระเบียบในเรื่องดังกล่าวขึ้นดังนี้

- (1) ประกาศคณะกรรมการอ้อย และน้ำตาลทราย ฉบับที่ 4 พ.ศ.2535 เรื่องกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเกี่ยวกับการซื้อขายอ้อยและชำระราคาอ้อยตามคุณภาพ(ซี.ซี.เอส.)
- (2) ระเบียบคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2535 ว่าด้วยการหีบอ้อยและตัดส่งอ้อย การตรวจสอบคุณภาพอ้อย และการรับอ้อยของโรงงาน
- (3) ประกาศคณะกรรมการบริหารฉบับที่ 4 พ.ศ.2537 เรื่องกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขการเก็บตัวอย่างน้ำอ้อย การวิเคราะห์คุณภาพอ้อย การตัดสินข้อโต้แย้งเกี่ยวกับการตรวจสอบคุณภาพอ้อย อ้อยไฟไหม้ และความบริสุทธิ์ของอ้อย

ตามประกาศและระเบียบดังกล่าว สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายต้องจัดส่งเจ้าหน้าที่ไปประจำ ณ โรงงานน้ำตาลทุกโรงในช่วงเปิดหีบ คือ ประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน เพื่อตรวจสอบคุณภาพอ้อยของชาวไร่อ้อยแต่ละรายแต่ละคันรถ โดยโรงงานน้ำตาลเป็นผู้รับผิดชอบการเก็บตัวอย่างน้ำอ้อย พร้อมทั้งให้หมายเลขลำดับตัวอย่างเพื่อส่งมอบให้แก่เจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพอ้อยของสำนักงานฯ

ในการตรวจวัดคุณภาพอ้อยจะต้องวิเคราะห์ปริมาณซูโครสด้วยวิธี Polarimetric Method สารละลายที่กรองได้จะต้องใสเพื่อให้การวัดระดับซูโครสมีความถูกต้อง ซึ่งต้องใช้สารละลายตะกั่วอะซิเตตเป็นสารทำใส (Clarifying Reagent) เพราะทำให้น้ำอ้อยใสได้อย่างรวดเร็วดีกว่าสารทำใสประเภทอื่น อีกทั้งคณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยการวิเคราะห์น้ำตาล (International

Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis :ICUMSA) อนุญาตให้ใช้สารดังกล่าว เป็นสารทำให้อาหารเป็นทางการด้วย.

3.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โรมรัน วงศ์วิไลรัตน์ (2542)

ใช้ถังกรองไร้อากาศแบบไฮบริดบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนสูง 1.25 เมตร บำบัด น้ำเสียสังเคราะห์ซีไอดี 5,500 มก./ล. ภาระสารอินทรีย์ 3.67 4.89 7.33 และ 14.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีมีค่าระหว่างร้อยละ 44-96 โดยอัตราภาระสารอินทรีย์ ที่สูงขึ้นมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีลดลง

ทัยศักดิ์ ธรรมกุล (2543)

ใช้ถังกรองไร้อากาศสูง 1 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เมตร ภายในบรรจุตัวกลาง พลาสติกโพลีโพรพิลีน บำบัดน้ำเสียจากโรงงานปิโตรเคมี รับภาระสารอินทรีย์ 0.58 ถึง 1.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีมีค่าระหว่างร้อยละ 74.7 ถึง 84 ไม่เกิด ก๊าซชีวภาพเนื่องจากพิษของซัลเฟตที่มากถึง 900 มก/ล เป็นสารยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย ผลิตมีเทน

วชิรา สันพนวัฒน์ (2543)

ใช้ถังกรองไร้อากาศ บรรจุเปลือกหอยขนาด 5-10 มม. บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ซีไอดี 300 มก./ล. พบว่าต้องใช้ความสูงตัวกลาง 1.5 เมตรเพื่อให้รับภาระสารอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้น เพื่อผัน ความเร็วในการไหลมากขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดียังคงมีค่าสูงในช่วงร้อยละ 80-97 แต่ ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนลดลงอย่างเห็นได้ชัด

Pornpimol (1989)

ใช้ถังกรองไร้อากาศกำจัดโลหะหนัก ในน้ำเสียของโรงงานผลิตโทรทัศน์และวิทยุ น้ำเสีย ประกอบด้วย โครเมียมละลาย 42 มก/ล นิกเกิลละลาย 23 มก/ล และทองแดงละลาย 0.67 มก./ล. มีคาร์บอนอินทรีย์ในปริมาณจำกัดมาก จึงต้องเติมกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนเทียบเท่าซีไอดี 750

มก./ล. ใช้ถังปฏิกรณ์ทรงกระบอกทำจากอะคลิลิคเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.16 ซม. ความสูงตัวกลาง 180 ซม. ปริมาตรประสิทธิผล 8.2 ลิตร มีแผ่นกระจายน้ำเข้าที่ด้านล่าง และตะแกรงที่ด้านบนของถัง เจาะช่องเก็บน้ำตัวอย่างทุกๆ 6 นิ้ว (15.25 ซม.)ตลอดความสูงของถังปฏิกรณ์ ภาชนะสารอินทรีย์เท่ากับ 0.4 0.168 0.056 กก.ซีไอดี / ลบ.ม./วัน ระยะเก็บกักชลศาสตร์ 12 และ 24 ชั่วโมงพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีที่ระยะเก็บกักชลศาสตร์ 24 ชั่วโมงอยู่ในช่วง 87-90% และลดลงเป็น 76% ณ ระยะเก็บกักชลศาสตร์ 12 ชั่วโมง

เมื่อเพิ่มภาระโครเมียม 8.986 กรัมโครเมียม/ลบ.ม./วัน และ 1.2 กรัมโครเมียม/ลบ.ม./วัน พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมอยู่ในช่วง 72-92 % ความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียมในน้ำทิ้งออกจากระบบมีค่าประมาณ 0.714 มก./ล. เมื่อใช้ภาระนิกเกิล 4.72 กรัม/นิกเกิล/ลบ.ม./วัน และ 0.826 กรัม/นิกเกิล/ลบ.ม./วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดนิกเกิลในช่วง 80-97% ความเข้มข้นเฉลี่ยของนิกเกิลในน้ำทิ้งออกจากระบบมีค่า 0.185 มก./ล.เมื่อใช้ภาระทองแดง 1.758 กรัมทองแดง/ลบ.ม./วัน และ 0.098 กรัมทองแดง/ลบ.ม./วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดทองแดงในช่วง 60-94% ความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดงในน้ำทิ้งออกจากระบบมีค่า 0.135 มก./ล.

Prayitno (1989)

ศึกษาการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถังกรองไร้อากาศตามด้วยระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor) ถังปฏิกรณ์ส่วนที่เป็นถังกรองไร้อากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. ความสูงของตัวกลาง 50 ซม. ปริมาตรประสิทธิผล 4.52 ลิตร บรรจุตัวกลางรูปหัวใจ (I-Ball) ป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้กลูโคสเป็นสารอาหารเทียบเท่ากับซีไอดี 2,000 มก./ล. เมื่อรวมระบบถังกรองไร้อากาศเข้ากับระบบจานหมุนชีวภาพเป็นหน่วยเดียวพบว่าระบบทำงานได้อย่างราบรื่น โครเมียมส่วนมากถูกกำจัดในระบบถังกรองไร้อากาศ เมื่อป้อนโครเมียมเข้มข้น 5 มก./ล. ณ ภาระอินทรีย์ 2.02 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ระบบให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีและโครเมียมประมาณ 97% และเพิ่มเป็น 98% เมื่อลดภาระอินทรีย์ลงเป็น 1.41 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นโครเมียมเป็น 10 มก./ล. ณ ภาระอินทรีย์ 0.77 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ระบบให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี และโครเมียมเท่ากับ 99% และ 96% ตามลำดับโดยให้คุณภาพ น้ำทิ้งออกจากระบบที่ไม่แตกต่างกับโครเมียมความเข้มข้น 5 มก./ล.

Haas และ Chongchin (1993)

ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำซัลไฟด์ชีวภาพที่ผลิตได้จากถังย่อยแอนแอโรบิก (Anaerobic digester) ย้อนไปตกตะกอนทางเคมี (Precipitation) กับทองแดงในน้ำเสีย ก่อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ไบโอเดียวกันนั้น ผู้ทดลองออกแบบให้น้ำเสียที่จะเข้าสู่ถังย่อยแอนแอโรบิกจะต้องถูกผสมด้วยน้ำใสซึ่งเติมไปด้วยซัลไฟด์ที่แยกได้จากถังปฏิกรณ์ไบโอเดียวกันก่อน ให้งดตกตะกอนคนละใบกันเพื่อจะได้แยกตะกอนโลหะหนัก และตะกอนจุลชีพแยกจากกันไม่ปนกัน ใช้น้ำเสียที่สังเคราะห์จากกลูโคส และอะซิเตต และทองแดง มีซีไอดี 10,400 มก./ล. ซัลเฟต 3,060 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักชลศาสตร์ของถังย่อยแอนแอโรบิกเท่ากับ 7 วัน ภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 1.49 กก./ลบ.ม./วัน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการตกตะกอนทางเคมีด้วยซัลไฟด์ชีวภาพ จะให้โลหะละลายเหลืออยู่สูงกว่าการใช้ซัลไฟด์เคมี เนื่องจากน้ำใสจากถังย่อยแอนแอโรบิกจะมีสารอินทรีย์อื่นๆปนอยู่ด้วยเช่น ไนโตรเจน แอมโมเนีย คาร์บอนเนต แต่ซัลไฟด์ชีวภาพเป็นสารตกตะกอนได้ดีกว่าในแง่ที่มันเข้ากันได้ ต่อกันกับโลหะหนัก ณ พีเอชเดียวกัน และเติมปริมาณ เท่ากัน สาเหตุยังไม่มีหลักฐานระบุ แต่อาจเป็นเพราะประสิทธิภาพของโพลีซัลไฟด์ หรือ coprecipitate ของคอปเปอร์คาร์บอนเนต ที่ได้จากน้ำใสของถังปฏิกรณ์ ระบบทำงานอย่างมีเสถียรภาพ

Wijaya (1993) อ้างถึงใน Bayoumy (1999)

ใช้แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate-reducing bacteria : SRB) กำจัดโครเมียม(+6) ความเข้มข้น 45 มก./ล ได้ 80 เปอร์เซ็นต์ กำจัดตะกั่ว เข้มข้น 18 มก./ล ได้ 90 เปอร์เซ็นต์ กำจัดทองแดงเข้มข้น 400 มก./ล ได้ 90 เปอร์เซ็นต์ และกำจัดแคดเมียมเข้มข้น 500 มก./ล. ได้ 99 % ฟอสฟอรัสเข้มข้น 65 มก./ล. เหมาะสมในการเจริญเติบโตของ SRB มากที่สุด ที่ภาระอินทรีย์ 6 กก ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

Chua และคณะ (1997)

ศึกษาผลตอบสนองของระบบถังกรองไร้อากาศต่อภาระชลศาสตร์กระทันหัน (Hydraulic shock loading) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 3,000 มก.ซีไอดี/ลิตร ระยะเวลาเก็บกักชลศาสตร์ 5 วัน เป็นฐาน แล้วใช้ระยะเวลาเก็บกักชลศาสตร์ 2.5 วัน 1.25 วัน 1.00 วัน และ 0.50 วัน เพื่อจำลองสภาพชลศาสตร์แบบกระทันหันเป็น 2 เท่า 4 เท่า 5 เท่า และ 10 เท่า ตามลำดับ โดยให้ภาระซีไอดีคงที่

ณ เวลาเก็บกักชลศาสตร์ 5 วัน ระบบให้ประสิทธิภาพ 98.1% ณ สภาพชลศาสตร์แบบ กระทั่งหัน 2 เท่า 4 เท่า และ 5 เท่า ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอยู่ในช่วง 84-88% แต่จะ กลับมามีประสิทธิภาพสูงเป็นปกติภายใน 8 วันหลังจากได้รับการกระทัณฑ์แต่สำหรับภาระ ชลศาสตร์แบบกระทัณฑ์ 10 เท่า ระบบล้มเหลว แต่เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าระบบให้อัตราปกติ คือ ระยะเก็บกักชลศาสตร์ 5 วัน อีกครั้ง ระบบเริ่มฟื้นตัวเป็นปกติได้ภายใน 3 วัน ทั้งนี้เนื่องจาก จุลชีพไม่ได้ถูกล้างออกนอกถังปฏิกรณ์จากผลกระทบของสภาพชลศาสตร์กระทัณฑ์ ซึ่งเป็น ข้อได้เปรียบของระบบบำบัดที่มีจุลชีพยึดติดตัวกลาง ที่มีเหนือระบบบำบัดที่มีจุลชีพแขวนลอย

Bayoumy และคณะ (1999)

ใช้แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate-reducing bacteria: SRB) กับระบบถังกรองไร้อากาศ แยกกำจัดทองแดง นิกเกิล สังกะสี โครเมียม แคดเมียม และตะกั่ว ที่ละชนิดไม่ปนกัน โดยใช้แหล่ง คาร์บอนอินทรีย์จากสองแหล่งคือ แลคเตต และ อะซิเตต ถังปฏิกรณ์ประกอบขึ้นจากพีวีซี สูง 1,300 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 102 มม. ปริมาตรสุทธิที่ใช้งานจริง 9.80 ลิตร เจาะช่องเก็บ น้ำตัวอย่างตลอดความสูงของถังปฏิกรณ์

การทดลองแรกศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบ โดยไม่ปนโลหะหนัก พบว่า (1) อัตราส่วนความต้องการออกซิเจนทางทฤษฎี (TOD)ต่อ ซัลเฟต เท่ากับ 1.5-2.25 (2) ภาระ อินทรีย์เท่ากับ 6 กก./ลบ.ม./วัน (3) ภาระไนโตรเจน เท่ากับ 0.3 ถึง 0.7 กก./ลบ.ม./วัน (4) ภาระ ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.06 กก./ลบ.ม./วัน (5) อัตราส่วนซีโอดี ต่อ ไนโตรเจน ต่อฟอสฟอรัส เท่ากับ 100:5:1 (6) ระยะเก็บกักชลศาสตร์ มากกว่า 12 ชั่วโมง ชนิดของตัวกลางไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพในระบบ ระบบสามารถกำจัด TOC ได้ 50% และเปลี่ยนซัลเฟตเป็นซัลไฟด์ได้ 14%

การทดลองที่สองปนโลหะหนักที่ละชนิดไม่ปนกันตั้งแต่ความเข้มข้นต่ำเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง ระบบล้มเหลว (วัดจากอัตราการกำจัดโลหะใกล้เคียงศูนย์) พบว่า

(1) ระบบสามารถกำจัดโลหะหนักที่ป้อนได้ 100% เมื่อป้อนทองแดงน้อยกว่า 200มก/ล นิกเกิลหรือสังกะสีน้อยกว่า 150 มก/ล โครเมียมน้อยกว่า 75 มก/ล แคดเมียมน้อยกว่า 50 มก/ล และตะกั่ว น้อยกว่า 40 มก/ล

(2) ระบบยังสามารถกำจัดโลหะหนักที่ป้อนได้ 90% หากความเข้มข้น ทองแดงไม่เกิน 350 มก/ล นิกเกิลหรือสังกะสีไม่เกิน 200 มก/ล โครเมียมไม่เกิน 100 มก/ล แคดเมียมไม่เกิน 75 มก/ล และตะกั่วไม่เกิน 50 มก/ล

(3) โลหะหนักถูกกำจัด 100% ที่ความสูง 10-350 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น โลหะที่ป้อน

(4) มีแบบจำลองเพื่อคำนวณความสูงของตัวกลางวิกฤตที่ยังสามารถกำจัดโลหะหนักได้อย่างสมบูรณ์ เช่น เมื่อต้องการกำจัดตะกั่ว ความสูงวิกฤต (H) = $C_i e^{\left(\frac{C_i}{160} - 4\right)}$ โดย C_i คือความเข้มข้นในหน่วยมก./ล ของตะกั่วในน้ำเสียเข้าระบบ แต่ค่าความสูงวิกฤตอาจเปลี่ยนแปลงไปตามรูปร่างของถังปฏิกรณ์และระยะเก็บกักชลศาสตร์อื่นๆด้วย

Steed และคณะ (2000)

บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่เลียนแบบน้ำทิ้งจากเหมืองแร่ (Acid mine drainage:AMD) ประกอบด้วย เหล็ก สังกะสี แมกนีเซียม อะลูมิเนียม ทองแดง ด้วยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในสองระบบ คือ Upflow anaerobic sludge blanket :UASB และ ระบบถังกรองไร้อากาศเวียนน้ำทิ้งกลับเปรียบเทียบกับ สำหรับระบบกรองไร้อากาศยังแบ่งทดลองเป็นถังกรองไร้อากาศบรรจุตัวกลางเต็มถังและไม่เต็มถังอีกด้วย ถังกรองไร้อากาศที่ใช้มีความสูง 1.07 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 170 มม. บรรจุแหวนโพลีโพรพิลีน

การทดลองแรก คณะวิจัยใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน พร้อมกับป้อนโลหะหนักได้แก่ เหล็ก 32 mM อย่างต่อเนื่องให้กับทั้งสองระบบในอัตรา 2.0 ลิตร/วัน มีค่าเก็บกักชลศาสตร์ 8.4 วัน เท่ากัน ผลการทดลองพบว่าโลหะละลายใน UASB และถังกรองไร้อากาศเป็น 0.25 และ 0.11 มก./ล. ตามลำดับ ของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 0.51 และ 22 มก./ล. ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า UASB ไม่เหมาะจะเป็นระบบทำใส (Clarifier) เท่ากับถังกรองไร้อากาศ นอกจากนี้ยังพบว่าตัวกลางอุดตันอย่างรวดเร็วส่งผลให้คุณภาพน้ำทิ้งออกจากระบบถังกรองไร้อากาศต่ำลง

การทดลองที่สอง คณะวิจัยนำตัวกลางในถังปฏิกรณ์ออก 40% โดยปริมาตร พบว่าระบบทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพสูงกว่า ทั้งความเข้มข้นของโลหะหนัก และของแข็งแขวนลอย

คณะวิจัยสรุปว่า เครื่องกรองไร้อากาศทำหน้าที่เป็นระบบทำใสได้ดีกว่าระบบ UASB ความเข้มข้นของโลหะหนัก (ยกเว้นแมงกานีส) ในน้ำทิ้งออกจากระบบมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดในมาตรฐานน้ำดื่ม โลหะหนักและมลพิษชีวภาพสามารถนำออกจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์โดยไม่พบผลกระทบของการสัมผัสอากาศ และเครื่องกรองไร้อากาศที่บรรจุตัวกลางไม่เต็มถังมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบที่บรรจุตัวกลางเต็มถัง