หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

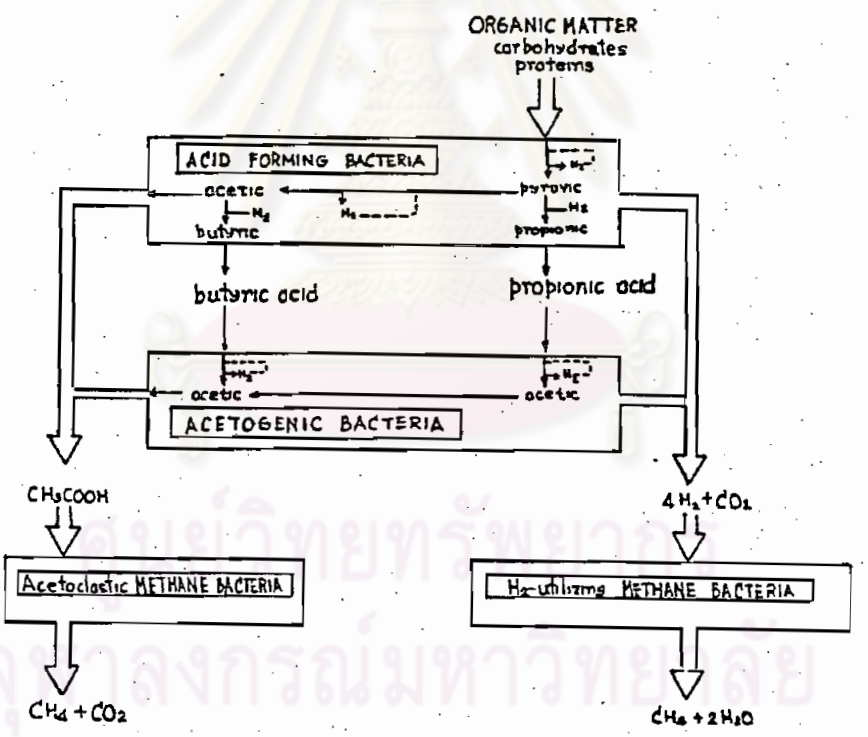
บทที่ 2

ทฤษฎี และแนวความคิด

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

2.1.1 หลักการทำงานของปฏิบัติการแบบไร้ออกซิเจนโดยทั่วไป

หลักการทำงานของปฏิบัติการแบบไร้ออกซิเจน สามารถแบ่งตามปฏิกริยาชีวเคมี ได้ด้วยรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขบวนการเมตาบอลิซึมของขบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน

ในขั้นแรกสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำทิ้ง เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรท ไขมัน ซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ จะถูกแบคทีเรียประเภทดำรงชีพอยู่ได้ในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน-อิสระ(facultative bacteria) และแบคทีเรียประเภทดำรงชีพอยู่ได้ในสภาพไม่มีออกซิเจน

อิสระ (anaerobic bacteria) กลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า แอซิดฟอร์เมอร์ (acid formers) แยกสลายเป็นกรดอินทรีย์ขนาดโมเลกุลเล็ก ๆ หลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ กรดอาซีติค กรดโพรพิ-ออนิค จากนั้นแบคทีเรียพวก H_2 producing acetogenic bacteria ก็จะเปลี่ยนผลที่ได้จากการทำงานของแบคทีเรียพวกแรกไปเป็นไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และกรด-อาซีติก

ขั้นที่สอง แบคทีเรียพวกมีเทนฟอร์เมอร์ (methane formers) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พวกแรกจะเปลี่ยนไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ไปเป็นมีเทน ส่วนอีกประเภทจะสร้างมีเทนจาก decarboxylation ของอาซีเตต สมการ 1 และ 2 แสดงสมการการสร้างก๊าซมีเทนจากมีเทนฟอร์เมอร์ของแบคทีเรียทั้ง 2 ประเภทนี้

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad (1)$$

$$CH_3COO^- + H_2 \longrightarrow CH_4 + CO_2 \qquad (2)$$

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบกำจัดน้ำเสียแบบไร้-ออกซิเจน ในการควบคุมระบบกำจัดน้ำเสียแบบนี้ จำเป็นต้องควบคุมสภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสม สภาพดังกล่าว ได้แก่ สภาพไร้ออกซิเจนอิสระ ค่าพีเอช อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซคาร์บอนได-ออกไซด์ ความเป็นด่างกรดอินทรีย์ระเหย ความเป็นด่างไบคาร์บอเนต โลหะเป็นพิษ อัตรา การเติมสารอินทรีย์ต่อวัน (Loading) เวลาในการบำบัด (HRT) และอายุของตะกอนแบคที-เรีย (SRT)

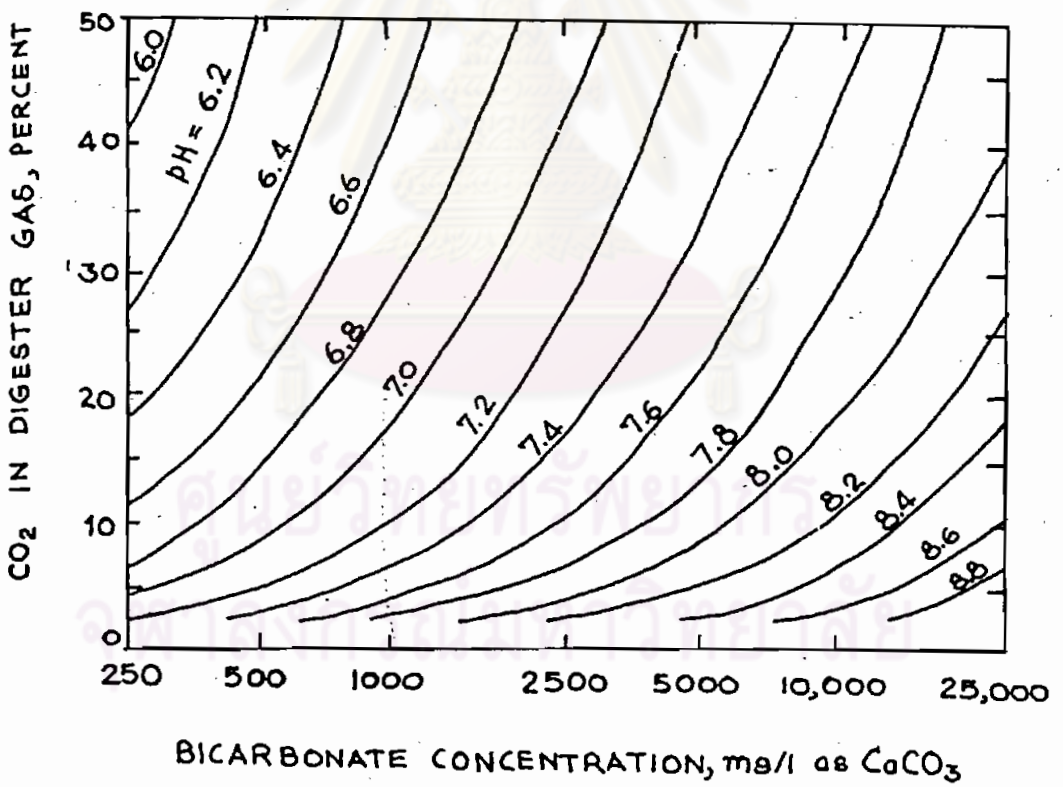
2.1.2 <u>สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน</u>

2.1.2.1 <u>พีเอช</u> ค่า pH ที่เหมาะสมต่อระบบกำจัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน อยู่ในช่วงระหว่าง 6.6-7.6 ถ้าค่า pH สูงหรือต่ำกว่านี้ ประสิทธิภาพของระบบกำจัดจะลด-ลง ที่ค่า pH ต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะสภาวะเป็นกรดนั้นจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียพวกมีเทนฟอร์มเมอร์

2.1.2.2 <u>ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดและความเป็นด่างไบคาร์บอเนต และอัตราส่วนความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ต่อระดับสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต</u>

ในระบบกำจัดน้ำเสียที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ สภาพความเป็นด่างทั้งหมด จะมีความสำคัญน้อยกว่าความเป็นด่างไบคาร์บอเนตในการใช้เป็นตัวชี้บอกสภาวะการทำงานของระบบหมัก

ทั้งนี้เนื่องจากสภาพความเป็นด่างทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในปฏิกริยาทางเคมีในระบบหมัก (ดูในเรื่องปริมาณก๊าซ CO_2) ค่าความเป็นด่างไบคาร์บอเนตจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เมื่อมีกรดอินทรีย์เกิดขึ้นในระบบอันเนื่องมาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในขั้นแรก ทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ถ้ามีความเป็นด่างไบคาร์บอเนตต่ำ หรือกรดอินทรีย์มากเกินไปจนทำลายแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีอยู่หมดไป ทำให้เกิดกรดอินทรีย์อิสระเหลืออยู่ เป็นเหตุให้ค่าพีเอชลดต่ำลงได้มากเมื่อเกิดกรณีเช่นนี้ขึ้น จำเป็นต้องปรับพีเอชให้ขึ้นมาในช่วงปกติทันที โดยใช้โซดาไฟแล้วจึงใช้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต ในระบบกำจัดนี้โดยปกติจะควบคุมปริมาณสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตอยู่ในช่วง 1,500-2,000มก./ล. ของ $CaCO_3$ McCarty ได้แสดงความสัมพันธ์ pH และสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตในรูปที่ 2.2 และเสนอว่าสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตของระบบไม่ควรมีค่าต่ำกว่า 1,000 มก./ล. ของ $CaCO_3$



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ในทางทฤษฎีระหว่าง CO_2 pH และสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตของถังหมักไร้ออกซิเจน (42)

ปัจจัยที่สำคัญกว่าสภาพความเป็นด่าง ก็คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นกรดโวลาไทล์ต่อระดับสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต ตราบใดที่อัตราส่วนนี้ (VFA/HCO_3^{-1}) น้อยกว่า 0.4 ระบบจะมีบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้ (VFA/HCO_3^{-1}) มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในขั้นที่พีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้ามีการเพิ่มเพียงเล็กน้อยของกรดโวลาไทล์ ด้วยเหตุนี้ระหว่างการควบคุมจึงจำเป็นต้องตรวจค่าอัตราส่วนนี้กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของมัน

2.1.2.3 <u>กรดโวลาไทล์</u> (Volatile Fatty Acid)

ปริมาณกรดโวลาไทล์มีความสำคัญมาก ในการควบคุมการทำงานของการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่ไม่ต้องการใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion Process) เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน จำเป็นต้องอาศัยแบคทีเรีย 2 ประเภท คือ แบคทีเรียสร้างกรด (Acid former bacteria) ซึ่งจะทำการย่อยสลายเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นกรดโวลาไทล์ จากนั้นแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methane former bacteria) ก็จะย่อยสลายกรดโวลาไทล์เป็นมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นถ้ามีการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์จะต้องเกิดปฏิกริยาการย่อยสลาย 2 ตอนนี้อย่างต่อเนื่อง ถ้าเกิดแต่ขั้นตอนแรกอย่างเดียวปริมาณกรดโวลาไทล์ จะเกิดขึ้นมากจนไประงับ (Inhibit) การเจริญเติบโตของมีเทนแบคทีเรีย ทำให้ไม่สามารถเกิดการย่อยสลายในขั้นตอนที่ 2 ได้ เรียกว่าเกิด "Stuck Digestion" ขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการหมักแบบไร้ออกซิเจนใด ๆ ก็ตาม การหาค่ากรดโวลาไทล์ มีความสำคัญต่อการควบคุมการทำงานของระบบนี้มาก ปกติแล้วถังหมักแบบไร้ออกซิเจนควรมีปริมาณของกรดโวลาไทล์ประมาณ 50-500 มก./ล. (วัดในเทอมของกรดอาซีติก) หากปริมาณของกรดโวลาไทล์มากกว่า 2,000 มก./ล. อาจจะยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย และถ้าระบบมีปริมาณกรดโวลาไทล์ 8,000-10,000 มก./ล. as (CH_3COOH) จะเป็นพิษต่อระบบโดยตรง

อนึ่งถึงแม้ว่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ประมาณ 200-400 มก./ล. ในเทอมของกรดอาซีติก จัดได้ว่าเป็นระดับที่แสดงว่าระบบไร้ออกซิเจนทำงานได้ดี แต่ปริมาณกรดยังไม่สำคัญเท่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของมัน ทั้งนี้เพราะความเข้มข้นของกรดเหล่านี้ได้รับอิทธิพลจากแบคทีเรียทั้ง 2 ประเภท แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงของมันเป็นเครื่องวัดโดยตรงที่บอกได้ก่อนถึงอัตราเร็วของปฏิกริยาของแบคทีเรีย ด้วยเหตุนี้การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทันทีของความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ แสดงว่ามีบางอย่างเกิดขึ้น ทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ในทางตรงกันข้ามถ้ามีการลดอย่างรวดเร็วของกรดโวลาไทล์

ก็แสดงว่าเหตุการณ์เป็นไปในทางตรงข้าม เหตุการณ์อันหลังนี้สามารถทำให้ระบบไร้ออกซิเจนหยุดได้ ไม่มีสัญญาณของ Stuck Digestion เลย ความรู้เกี่ยวกับชนิดของกรดโวลาไทล์ก็มีความสำคัญอย่างยิ่ง เช่น ถ้าความเข้มข้นของกรดโพรไพโอนิคสูงกว่า 1,000 มก./ล. ก็จะมีปัญหาเรื่องพิษของมันเพิ่มขึ้นมาอีกอย่างหนึ่งนอกเหนือจากปัญหาเรื่องการลด pH เป็นต้น อย่างไรก็ดีตราบเท่าที่ pH อยู่ระหว่าง 7 ปัญหาต่าง ๆ จะเกิดน้อยแม้ว่าระดับความเข้มข้นของกรดอย่างอื่น ๆ จะสูงก็ตาม

2.1.2.4 สภาพไร้ออกซิเจนอิสระ ระบบบำบัดจะต้องอยู่ในสภาพที่ปราศจากออกซิเจนอิสระ เนื่องจากออกซิเจนอิสระไม่เอื้ออำนวยต่อสภาพการทำงานของแบคทีเรียพวกมีเทนฟอร์มเมอร์

2.1.2.5 อุณหภูมิ ปฏิกริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิ 2 ช่วง คือ ช่วงเมโซฟิลิค (mesophilic range) คือ ช่วงอุณหภูมิ 30-37 °ซ และช่วงเทอร์โมฟิลิค (thermophilic range) คือ ช่วงอุณหภูมิ 47-55 °ซ. ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิต่ำหรือสูงกว่าช่วงดังกล่าว แบคทีเรียจะทำงานได้ไม่ดี ประสิทธิภาพของระบบจะลดต่ำลง เช่น ในช่วงอากาศหนาวเย็น ซึ่งจะสังเกตได้จากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะลดน้อยลงทันที

2.1.2.6 อาหารเสริมสร้าง ระบบแบบนี้ต้องการอาหารเสริมสร้างต่ำมาก อัตราส่วน BOD:N:P ที่ต้องการต่ำที่สุด เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 ดังนั้นต้องทำการวิเคราะห์หาค่าไนโตรเจนฟอสฟอรัสในน้ำที่จะบำบัดว่ามีอยู่มากน้อยเพียงใด ถ้าต่ำกว่าอัตราส่วนที่ต้องการจำเป็นต้องเพิ่มเติมให้ครบ สารที่นิยมใช้เพิ่มเติม คือ ยูเรียและกรดฟอสฟอริก

2.1.2.7 ปริมาณอิออนและโลหะหนัก ปริมาณอิออนและโลหะหนักในน้ำทิ้งหรือในระบบถ้ามีมากเกินไปจะเกิดเป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบได้โดยตรง อิออนเหล่านี้มีทั้งแคทอิออนและแอนอิออน ที่สำคัญได้แก่ K^+ Na^+ Ca^{++} Mg^{++} และ S^{2-} ส่วนโลหะหนักได้แก่ Cu Zn Ni และ Cr

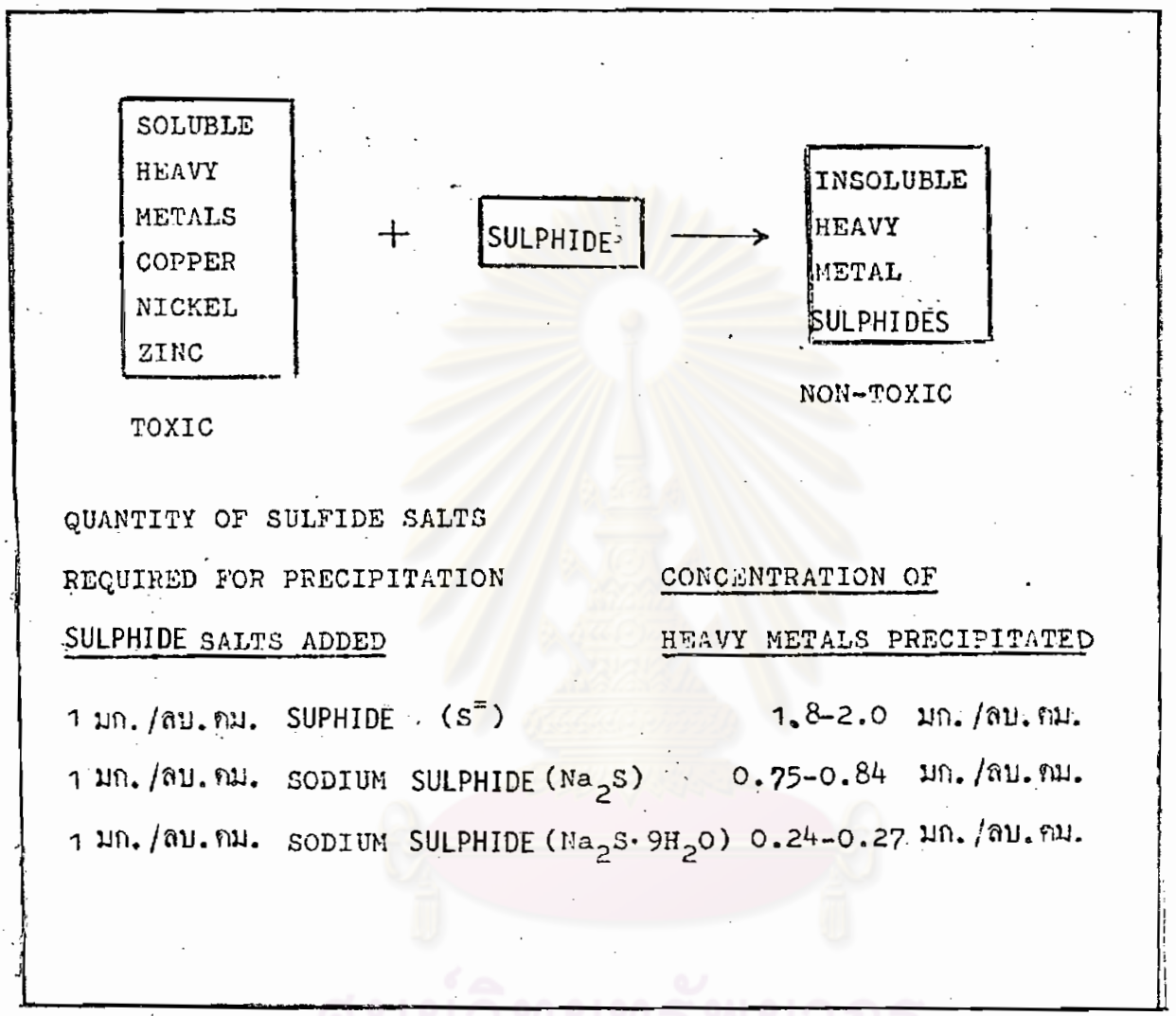
ดังนั้น ในการบำบัดด้วยระบบการหมัก ถ้าน้ำทิ้งมีปริมาณอิออนต่าง ๆ หรือโลหะหนักอยู่ในปริมาณมากถึงระดับที่ทำให้เกิดเป็นพิษ จำเป็นต้องเจือจางน้ำทิ้งลง เพื่อให้ความเข้มข้นของอิออนต่าง ๆ หรือโลหะหนักต่ำกว่าระดับทำให้เกิดเป็นพิษ อย่างไรก็ตามอิออนเหล่านี้มักมีรวมกันอยู่ในระบบและสามารถลดการเป็นพิษของกันและกันได้ในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม เรียกว่าเกิดปรากฏการณ์แอนตาโกนิซึม (antagonism) เช่น Na^+ 3,500 มก./ล. สามารถทำให้หมดไปได้ ถ้ามี Ca^{++} และ Mg^{++} มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 50-1,000 มก./ล.

(McCarty and Mckinney, 1961) แต่ในทางตรงกันข้ามแคทไอออนบางชนิดจะไปเพิ่มพิษของแคทไอออนอีกชนิดหนึ่งเมื่ออยู่ร่วมกัน ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า ซินเนอร์ยิสซึม (Synergism) ตารางที่ 2.1 แสดงความเข้มข้นของไอออนและโลหะหนักที่เกิดพิษต่อระบบ

สำหรับโลหะหนักสามารถลดการเป็นพิษได้ด้วยสารประกอบซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในระบบหรือสารที่สลายตัวให้ซัลไฟด์โดยการเติมลงไปในระบบ ทั้งนี้เนื่องจากซัลไฟด์จะไปจับกับตัวโลหะต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปโลหะซัลไฟด์เป็นตะกอนไม่ละลายน้ำ ทำให้การเป็นพิษหมดไปได้ (ดูรูปที่ 2.3)

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นของไอออนและโลหะหนักที่เกิดเป็นพิษต่อระบบการหมักได้โดยตรง (4)

ไอออนและโลหะหนักที่เป็นพิษ	ความเข้มข้น		ผลที่มีต่อระบบ
	โมล/ลบ.ดม.	มก./ลบ.ดม.	
Na^+	0.2	4,600	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน (inhibition)
	0.4	9,200	หยุดการทำงาน (complete inhibition)
K^+	0.05–0.10	1,900–3,900	ไม่มีผล (no inhibition)
	> 0.1	> 3,900	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
	0.35	13,650	หยุดการทำงาน
Mg^{2+}	> 0.05	1,200	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
	0.2	4,800	หยุดการทำงาน
Ca^{2+}	0.075	3,000	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
	> 0.2	> 8,000	หยุดการทำงาน
S^{2-}	–	150–250	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
	–	800	หยุดการทำงาน
Cu	–	397	ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลงเหลือร้อยละ 24 ของเกณฑ์ควบคุม
Zn	–	> 600	หยุดการเกิดก๊าซ
	–	350–400	ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลงเหลือเพียงร้อยละ 6 ของเกณฑ์ควบคุม
	–	1,000	บักเตรีถูกทำลายหมด (completely toxic)
Ni	–	200	บักเตรีเริ่มถูกทำลาย
	–	367	ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลงเหลือเพียงร้อยละ 28 ของเกณฑ์ควบคุม
	–	500–1,000	บักเตรีถูกทำลายอย่างรุนแรง (serious toxic)
	–	> 1,000	บักเตรีถูกทำลายหมด
Cr	–	200	บักเตรีเริ่มถูกทำลาย
	–	2,000	บักเตรีถูกทำลายหมด



รูปที่ 2.3 ปฏิกริยาการทำลายพิษของโลหะหนัก (Heavy metal) โดยซัลไฟด์ ($S^{=}$) ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (43)

2.1.2.8 ศักยภาพการให้และรับอีเล็คตรอน (Oxidation-Reduction Potential)

แหล่งพลังงานเบื้องต้นของสิ่งมีชีวิต คือ พลังงานเคมีที่ได้จากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งการใช้สารประกอบเคมีเป็นแหล่งพลังงานจำเป็นต้องอาศัยปฏิกริยาออกซิเดชัน-รีดัคชัน (Oxidation-Reduction Reaction) หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า ปฏิกริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) กลไกหลักของปฏิกริยารีดอกซ์นี้ ได้แก่ การถ่ายเทอีเล็คตรอน (Electron Tranfer) จากสารหนึ่งไปสู่อีกสารหนึ่ง ดังนั้นปฏิกริยารีดอกซ์จะเกิดสมบูรณ์ได้จะต้องประกอบด้วย สารให้อีเล็คตรอน และสารรับอีเล็คตรอน

ถ้าจะกล่าวในเทอมของพลังงานแล้ว สารให้อีเล็คตรอนจะเป็นแหล่งของพลังงาน ส่วนสารรับอีเล็คตรอนจะไม่ใช่ ส่วนประกอบในระบบกำจัดน้ำเสีย น้ำเสียซึ่งมีสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ถือว่าเป็นสารให้อีเล็คตรอน เพราะสารเหล่านี้มักถูกรีดิวซ์มาแล้วในระดับสูง ออกซิเจนและไนเตรตมักเป็นสารรับอีเล็คตรอนที่ใช้ในขบวนการกำจัดน้ำเสีย เมื่อสารให้อีเล็คตรอนถูกออกซิไดซ์ถึงที่สุด มันก็จะไม่ใช่เป็นแหล่งของพลังงานอีกต่อไป แต่จะกลายเป็นสารรับอีเล็คตรอนได้

สารประกอบทางเคมีมีความแตกต่างกันในแนวโน้มที่จะรับหรือให้อีเล็คตรอนเสมอ ดังนั้นจึงมีพารามิเตอร์ที่เรียกว่า ออกซิเดชันรีดัคชันโพเทนเชียล (Oxidation-Reduction Potential) หรือเรียกสั้น ๆว่า รีดอกซ์โพเทนเชียล (Redox Potential) ใช้สำหรับแสดงปริมาณแนวโน้มในการรับอีเล็คตรอนและถูกรีดิวซ์ ค่าของพารามิเตอร์อันนี้สามารถวัดได้โดยใช้วิธีไฟฟ้าเทียบกับสารมาตรฐานซึ่งมักเป็นไฮโดรเจน สารที่ถูกรีดิวซ์มากจะมีพลังงานมากและจะมีค่าโพเทนเชียลต่ำ นั่นก็คือ มีแนวโน้มรับอีเล็คตรอนน้อย หรืออาจกล่าวได้ว่ามีแนวโน้มให้อีเล็คตรอนสูง ในการถ่ายเทและรับอีเล็คตรอนนั้น สารที่มีโพเทนเชียลต่ำกว่าสามารถให้อีเล็คตรอนแก่สารที่มีโพเทนเชียลสูงกว่า ดังนั้นสารเคมีส่วนใหญ่สามารถเป็นได้ทั้งสารให้หรือสารรับอีเล็คตรอน ซึ่งขึ้นอยู่กับว่ามันจะทำปฏิกริยากับสารชนิดใด

ในขบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน จำเป็นจะต้องอาศัยจุลชีนแบคทีเรียหลายชนิดร่วมกันทำงานเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในระบบจึงประกอบด้วยปฏิกริยาชีวเคมีที่ซับซ้อนยากแก่การเข้าใจ อย่างไรก็ตามเป็นที่เชื่อกันว่า ในขบวนการกำจัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน การลดค่าซีโอดีเป็นผลมาจากปฏิกริยารีดอกซ์ โดยการถ่ายเทอีเล็คตรอนจากสารอินทรีย์

ไปยังสารรับอีเล็คตรอน ซึ่งสารรับอีเล็คตรอน ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอาซีติค และไฮโดรเจนไอออน ตัวอย่างของปฏิกริยารีดอกซ์ในระบบกำจัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน ได้แสดงตามสมการข้างล่างนี้

$$2e^- + 2H^+ \longrightarrow H_2 \qquad 2.2.1$$

$$\frac{1}{2} CO_2 + H^+ + e^- \longrightarrow \frac{1}{2} CH_4 + \frac{1}{4} H_2O \qquad 2.2.2$$

$$\frac{1}{8} CH_3COOH + H^+ + e^- \longrightarrow \frac{1}{4} CH_4 + \frac{1}{4} H_2O \qquad 2.2.3$$

สมการ 2.2.1 เป็นการสร้าง H_2 โดย H^+ เป็นตัวรับ e^- ทำให้เกิดการลด e^- ของลับสเตรด ซึ่งเกิดโดยแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน

สมการ 2.2.2 เป็นการสร้าง CH_4 โดยใช้ CO_2 เป็นสารตัวสุดท้ายรับ e^- ซึ่งเกิดโดยแบคทีเรียสร้าง CH_4 จาก H_2

สมการ 2.2.3 เป็นการสร้าง CH_4 โดยใช้กรดอาซีติค เป็นสารตัวสุดท้ายรับ e^- ซึ่งเกิดโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนจากกรดอาซีติค

แนวความคิดเรื่องรีดอกซ์โพเทนเชียล จึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน เพื่อใช้วัดสภาวะภายในของถังหมัก และสามารถใช้ตรวจสภาพของระบบว่าเป็นFacultative Anaerobic หรือ Anaerobic จากรายงานวิจัยส่วนใหญ่ชี้ให้เห็นว่า OR-P จะมีค่าเป็นลบ เมื่อระบบอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลการวิจัยเกี่ยวกับการวัดค่า OR-P ในสภาวะไร้ออกซิเจน

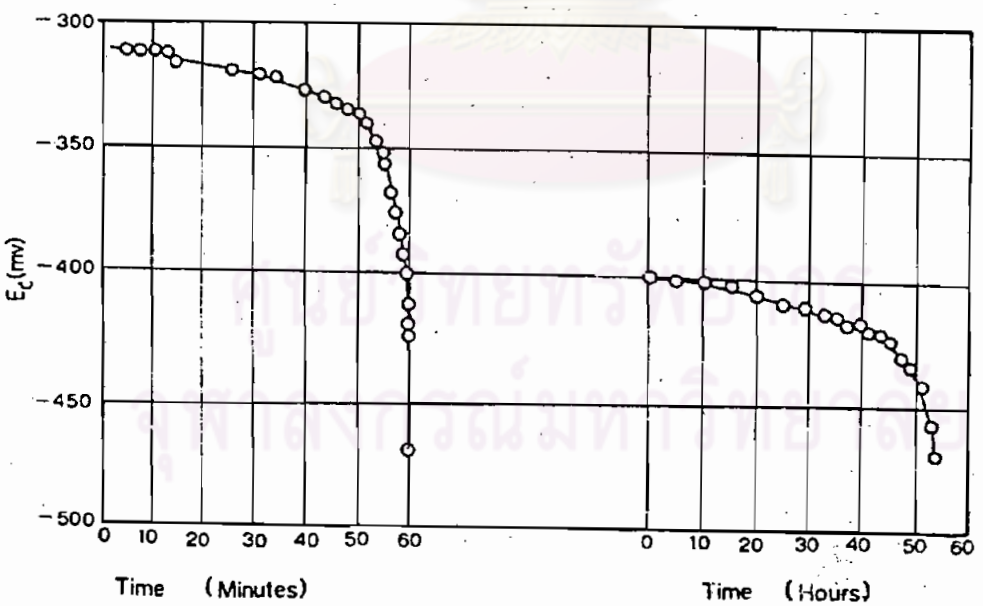
ผู้วิจัย	วัดค่า OR-P ในเทอม Eh	หมายเหตุ
Smith Hungate	-335 ถึง -340 mV	วัด OR-P จากการศึกษาการดำรงชีพของมีเทนแบคทีเรีย
Reed Orr	-200	จากการศึกษาแบคทีเรีย 15 ชนิดพวก Clostridium spp.
Maslava Pantaskava	-317 ถึง -355	วัด OR-P จากถังหมักที่อุณหภูมิ thermophilic
Molof	-220 ถึง -290	วัด OR-P จากถังหมักไร้ออกซิเจน
Dirasian	-275.5 ถึง 287.7	วัด OR-P จากถังหมักไร้ออกซิเจน

(หมายเหตุ Eh = the potential with reference to Hydrogen electrode)

บทบาทของโออาร์พีในกระบวนการหมักไร้ออกซิเจน

เนื่องจากค่าโออาร์พีมีบทบาทสำคัญต่อพฤติกรรมของระบบ ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายท่านได้ให้ความสนใจต่อค่าโออาร์พีและทำการศึกษาอย่างต่อเนื่องเพื่อหาข้อสรุปต่าง ๆ ดังนี้

ค.ศ. 1963 Longsworth & Macinnes (34) พบว่าค่าโออาร์พีที่เขาวัดได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปฏิกริยาการหมักแบบไร้ออกซิเจน และรายงานว่าค่าโออาร์พีจะลดต่ำลง (มีค่าติดลบสูงขึ้น) ก่อนที่ระบบจะผลิตก๊าซมีเทนได้ดี จากรายงานของ Blane, et al(17) พบว่าค่าโออาร์พี เป็นพารามิเตอร์ชี้ให้เห็นถึงผลการทำงานของขบวนการสร้างมีเทน ส่วน Hartz and Kountz(29) รายงานว่า ในการเปรียบเทียบการควบคุมระบบระหว่างการวัดค่าโออาร์พี กับวิธีอื่นแล้วเขาสรุปว่าการวัดค่าโออาร์พีสามารถที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของระบบได้เร็วกว่าวิธีอื่นซึ่งต้องใช้เวลานานกว่า Molof (1950) พบความผิดพลาดจากการใช้เวลาในการวัดค่าโออาร์พีที่ต่างกัน และรายงานว่า เวลาที่เหมาะสมสำหรับการวัดโออาร์พีในระบบถังหมักควรประมาณ 10-48 ชั่วโมง (รูปที่ 2.4 แสดงว่าโออาร์พีที่ระยะเวลาการวัดต่าง ๆ กัน ซึ่งทดลองโดย Molof)



รูปที่ 2.4 ค่า OR-P ที่ระยะเวลาการวัดต่าง ๆ กัน (Potential Variation during the electrode adjustment Period(17)

นอกจากนี้ค่าโออาร์พียังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ อีก เช่น อุณหภูมิ, ออร์แกนิคโหลดดิ้ง, อากาศที่เล็ดลอดเข้าสู่ระบบ งานวิจัยชิ้นหนึ่ง (3) ได้ชี้ให้เห็นว่าถังหมักไร้ออกซิเจนเมื่อมีออกซิเจนหรืออากาศเล็ดลอดเข้าไป ค่าโออาร์พีของระบบจะมีค่าสูงขึ้นจากเดิม ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว หรือมีการรับออร์แกนิคโหลดดิ้งอย่างกระทันหันก็จะมีผลทำให้โออาร์พีมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อระบบมีการทำงานในสภาวะทรงตัว (steady state) ค่าโออาร์พี ของระบบจะค่อนข้างคงที่

ในปัจจุบันค่าโออาร์พีที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของมีเทนแบคทีเรียยังไม่สามารถกำหนดได้แน่นอน แต่จากรายงานการวิจัยต่าง ๆ พอที่จะนำมาอ้างได้ว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนทำงานได้ปกติเมื่อค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -270 ถึง -290 mv ในเทอม Eh

2.1.2.9 <u>ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์</u> (CO_2)

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นผิดปกติเป็นตัวชี้ให้เห็นว่าระบบกำลังล้มเหลว การเปลี่ยนแปลงก๊าซ CO_2 นี้อาจเนื่องมาจากน้ำทิ้งมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายปนอยู่มาก ทำให้เกิด CO_2 ได้มากในสภาพไร้ออกซิเจนอิสระ อย่างไรก็ตามปริมาณ CO_2 ที่เพิ่มขึ้นอาจสืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางเคมีของระบบ ดังสมการ 2.1 และ 2.2 และการที่ระบบล้มเหลวและมี CO_2 สูงนั้น เนื่องมาจาก CO_2 ไม่สามารถเปลี่ยนเป็น CH_4 ดังสมการ 2.3

$$HCO_3^- + CH_3COOH\ (aq) \longrightarrow CH_3COO^-(aq) + H_2CO_3(aq) \qquad 2.1$$

$$H_2CO_3 \longrightarrow CO_2(gas) + H_2O\ (aq) \qquad 2.2$$

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad 2.3$$

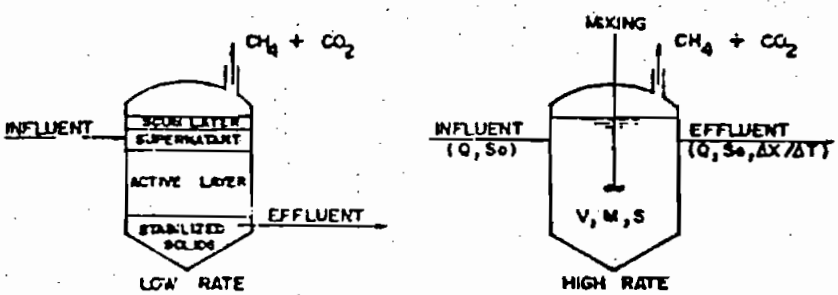
จากสมการ 2.1 พบว่า กรดอาซิติคเพิ่มขึ้น 250 มก./ล. จะทำลายความเป็นด่างไบคาร์บอเนตได้ประมาณ 415 มก./ล. แต่ได้อาซิเตตที่เทียบเท่าปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) เพียง 310-350 มก./ล. ดังนั้นจะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น ปริมาณความเป็นด่างไบคาร์บอเนตจะลดลง ได้ความเป็นด่างอาซิเตตแทน ซึ่งเป็นผลทำให้ปริมาณ CO_2 เพิ่มขึ้นตามสมการ 2.2 แต่ลดปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดลงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าความเป็นด่างทั้งหมดมีความสำคัญน้อยมากในด้านการใช้เป็นตัวช่วยในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

2.2 ประเภทของปฏิบัติการไร้ออกซิเจน

ระบบกำจัดน้ำเสียระบบไม่ใช้ออกซิเจนมีหลายระบบ ซึ่งแต่ละระบบก็มีลักษณะสำคัญร่วมกัน แต่จะมีความแตกต่างกันในด้านการนำมาใช้งาน ระบบเหล่านี้ได้แก่

2.2.1 ระบบบ่อหมักไร้ออกซิเจน (Anaerobic Lagoons) ระบบนี้เป็นวิธีกำจัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ง่ายที่สุด กล่าวกันว่า ระบบบ่อกำจัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนถูกพัฒนาขึ้นมาโดยบังเอิญในออสเตรเลีย ทั้งนี้เพราะวิศวกรบังเอิญปล่อยสารอินทรีย์จำนวนมากเกินไปลงในบ่อกำจัดน้ำเสียแบบเยียว (facultative oxidation pond) จนทำให้ไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่ในน้ำ แต่ก็ปรากฏว่ายังสามารถกำจัดน้ำเสียได้ โดยเหตุนี้วิศวกรจึงมีการออกแบบระบบกำจัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนด้วยเกณฑ์ออกแบบที่สูงกว่าบ่อเยียว เพื่อกำจัดออกซิเจนจากน้ำ บ่อแบบไร้ออกซิเจนมักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ที่มีความลึก 3-4 เมตร และไม่มีฝาปิด น้ำเสียจะไหลเข้าไปในบ่อและถูกกักไว้นานหลายวันจึงไหลออกจากบ่อ ภายในระยะเวลาดังกล่าว น้ำเสียจะถูกย่อยด้วยหลักการแบบไร้ออกซิเจน ด้วยเหตุที่ต้องใช้ที่ดินจำนวนมากในการสร้างและอาจมีกลิ่นไม่ดี ระบบบ่อไร้ออกซิเจนจึงเหมาะเฉพาะกับชนบทหรือย่านเมืองที่ซึ่งราคาที่ดินไม่สูงนักและมีผู้คนอาศัยอยู่ไม่หนาแน่น

2.2.2 ถังหมักแบบธรรมดา (Conventional Anaerobic Digestion) เป็นระบบที่ยุ่งยากกว่าระบบ Anaerobic Lagoons คือ มีการใช้เครื่องกลเพิ่มขึ้น ระบบนี้อาจเป็นแบบต่ำ (Low rate) ประกอบด้วยถังปฏิกริยาซึ่งเป็นถังคอนกรีตกลมมีฝาปิด เพื่อเก็บความร้อน กลิ่น แกส และทำให้ภายในถังมีสภาพไร้ออกซิเจนอย่างแท้จริงบนฝามีระบบแยกแกส CH_4 และ CO_2 เพื่อนำไปเผาทิ้งหรือนำไปทำเชื้อเพลิง (ดูรูปที่ 2.5 ก) ถ้าเป็นแบบอัตราสูง (High rate) จะมีการกวนน้ำตลอดเวลาโดยใช้เครื่องสูบน้ำหรือฮัดแกส CH_4 ที่ได้ลงไปในน้ำทิ้งจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งได้อย่างทั่วถึง (ดูรูปที่ 2.5 ข) อัตราการทำลาย



รูปที่ 2.5 ก. รูปที่ 2.5 ข.

รูปที่ 2.5 ระบบถังหมักธรรมดา

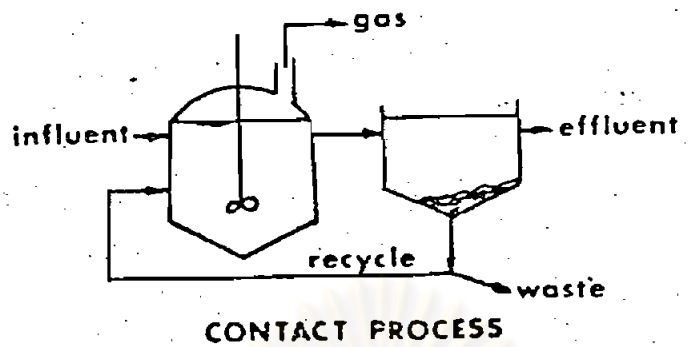
BOD ในระบบนี้จึงเร็วกว่าในระบบ Anaerobic Lagoons มาก ระบบนี้มักใช้กำจัด Sludge เท่านั้น

2.2.3 ถังหมักแบบคอนแท็คท์ (Anaerobic Contact) ถังหมักแบบนี้ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ แม้ว่าถังแบบคอนแท็คท์นี้อาจเป็นถังปฏิกริยาแบบมีรีไซเคิลหรือไม่มีก็ได้ แต่มักนิยมใช้แบบมีรีไซเคิล ดังนั้นถังหมักแบบคอนแท็คท์จึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบแอ็คติเวัตเต็ดสลัจ จนกระทั่งบางครั้งอาจเรียกถังหมักแบบนี้ว่า เป็นระบบแอ็คติเวัตเต็ดสลัจ แบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Activated Sludge) การที่มีถังหมักรีไซเคิลของเซลล์ ทำให้มันอาจใช้ได้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก ในทางปฏิบัติ ระดับของซีโอดีที่เหมาะจะใช้ถังหมักแบบนี้คือ 4,000-50,000 มก./ล. (ดูรูปที่ 2.6 ก)

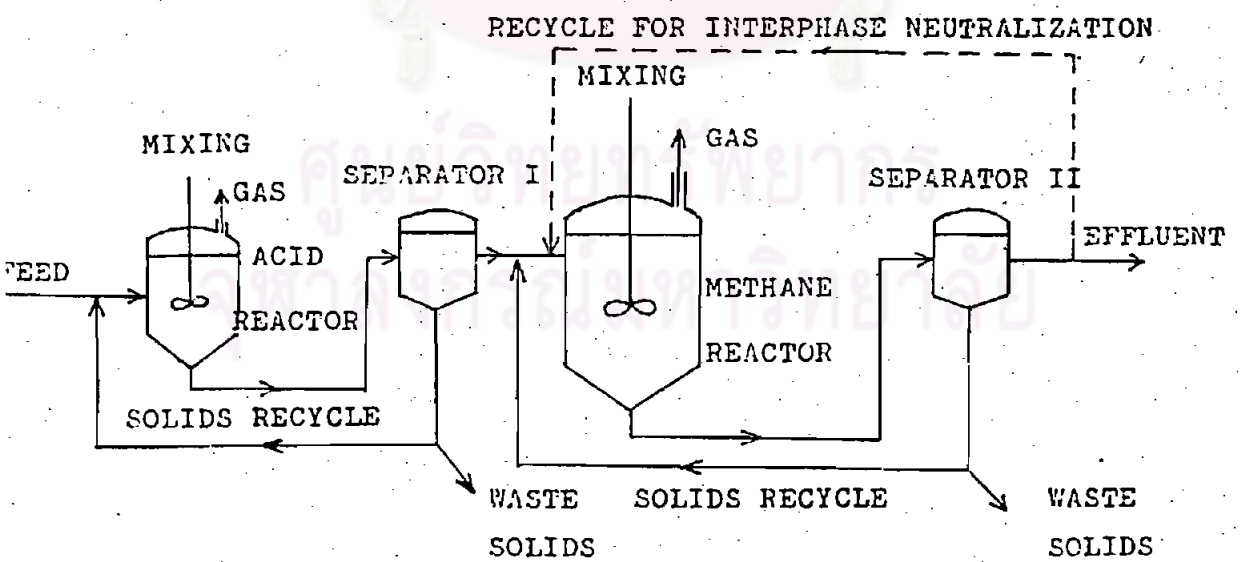
ในปัจจุบันวิศวกรบางคนกำลังศึกษา และหาหลักเกณฑ์ในการออกแบบถังหมักแบบแยกประเภท เพื่อให้แบคทีเรียสร้างกรดและสร้างมีเทน เติบโตอยู่ในถังคนละใบ ลักษณะเช่นนี้เชื่อว่า แบคทีเรียแต่ละชนิดจะทำงานได้เต็มที่ และเป็นการใช้ประโยชน์จากถังปฏิกริยาให้ได้เต็มที่ นอกจากนี้ยังทำให้การควบคุมการทำงานของถังหมักมีความสะดวกยิ่งขึ้น รูปที่ 2.6 ข. แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของถังหมักแบบแยกประเภท ที่ใช้พีเอชเป็นตัวกำหนดและควบคุมแบคทีเรียในถังหมัก ถังใบแรกซึ่งมีพีเอชประมาณ 6 จะมีแต่แบคทีเรียประเภทสร้างกรด ส่วนใบที่ 2 ซึ่งมีพีเอชประมาณ 7 จะมีแบคทีเรียสร้างมีเทน การควบคุมพีเอชเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับถังใบแรกเท่านั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นในถังใบแรก จะถูกปล่อยทิ้งออกไปจากถัง เพื่อมิให้เกิดการสะสมตัว จนเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างกรด วิศวกรบางคนอาจมีวิธีอื่นในการควบคุมแบคทีเรียในถัง โดยมิต้องใช้พีเอช เช่น การควบคุมระดับ SRT เป็นต้น

อนึ่ง แม้ว่าแนวความคิดต่างๆ ที่เกี่ยวกับถังหมักแบบคอนแท็คท์และแบบแยกประเภทมีทางเป็นไปได้ แต่ประสพการณ์ต่าง ๆ ในสนามยังมีน้อย วิศวกรยังขาดความรู้พื้นฐานอีกหลายอย่าง เช่น ความรู้ในด้านการตกตะกอนของแบคทีเรียไร้ออกซิเจน ดังนั้นวิศวกรจึงมีความลังเลใจมากในการใช้ระบบถังหมักแบบคอนแท็คท์หรือแยกประเภท

013440

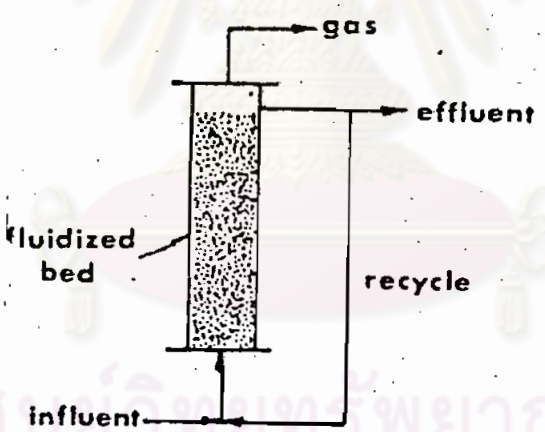


รูปที่ 2.6 ก. ระบบถังหมักแบบคอนแท็คท์



รูปที่ 2.6 ข. ระบบถังหมักแยกประเภท

2.2.4 ระบบ Fluidized and Expanded Bed (Fluidized and Expanded Bed) ในระบบนี้เซลล์จะยึดกับสารเฉื่อยที่มีน้ำหนัก และจะมีการไหลเวียนของเหลวที่ได้รับการบำบัด แล้วเข้าสู่ระบบเพื่อที่จะทำให้สารเฉื่อยพวกนี้มีการลอยตัวขึ้นอย่างเต็มที่หรือบางส่วน ซึ่งจะทำให้เซลล์ได้สัมผัสกับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง ระบบนี้สามารถลดขนาดของถังปฏิกรณ์ได้ โดยการรักษาเซลล์ในระบบให้มีความเข้มข้นของเซลล์ต่อปริมาตรถังสูงและมีการกักเซลล์ให้อยู่ในระดับ 99% ระบบการกำจัดน้ำเสียนี้ต้องใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงเซลล์นาน (START UP) ทั้งนี้เพื่อขจัดปัญหาทางชีววิทยาที่อาจเกิดขึ้น รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของระบบชนิดนี้ ข้อดีของถังปฏิกริยาแบบนี้ได้แก่ การที่ไม่เกิดการอุดตัน ส่วนข้อเสียได้แก่ ต้องสูบน้ำหมุนเวียนในอัตราสูงเพื่อทำให้ตัวกลางซึ่งมีจุลชีพเกาะอยู่ลอยตัวอยู่ในถังปฏิกริยา



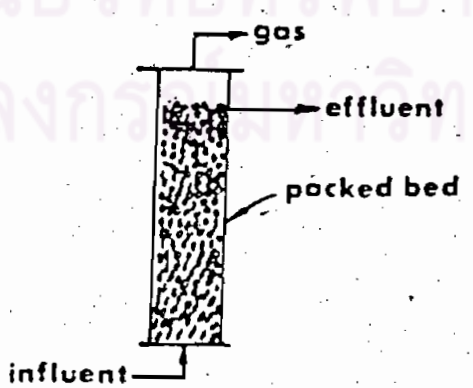
รูปที่ 2.7 ระบบ Fluidized and Expanded Bed

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.5. ระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter)

ระบบนี้เพิ่งพัฒนามาเมื่อ 10 ปีนี้เอง รูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของเครื่องกรองแบบไร้ออกซิเจนเป็นถังกรองสูงภายในบรรจุด้วยหินขนาด 1.5" - 2" หรืออาจใช้ตัวกลางพวกพลาสติก น้ำเสียจะถูกปล่อยเข้ามาทางก้นถังแล้วไหลออกทางตอนบน (upward flow) ลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมถังสูงอยู่ตลอดเวลา แบคทีเรียที่เกิดขึ้นจะยึดเกาะตัวกลางและเกาะกันเป็นตะกอนติดอยู่ตามช่องว่างระหว่างตัวกลาง จึงทำให้ค่า SRT มีค่าสูงกว่า HRT มาก ด้วยเหตุนี้ระบบ Anaerobic Filter จึงสามารถใช้กำจัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงนักได้เช่นเดียวกับระบบ Anaerobic Contact แต่ระบบ Anaerobic Filter ง่ายกว่าระบบ Anaerobic contact มาก เพราะไม่ต้องมีการตกตะกอนและไม่ต้องมีการสูบตะกอนจากก้นถังตกตะกอนกลับเข้าถังปฏิกริยาอีก

ระบบ Anaerobic Filter ยังไม่เป็นที่แพร่หลายกันนักในต่างประเทศที่มีอากาศหนาว ทั้งนี้เพราะน้ำเสียที่มีค่า BOD ต่ำกว่า 10,000 มก./ล.แล้วแก๊สมีเทนที่ได้จะมีปริมาณไม่มากพอที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเสียได้ จึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสูงกว่าวิธีการกำจัดแบบใช้ออกซิเจนเช่นระบบ Activated Sludge แต่สำหรับในประเทศไทยจะไม่มีปัญหาเรื่องการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเสีย ระบบกำจัดแบบ Anaerobic Filter จึงน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมและประหยัดที่สุด ในระบบนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดจะมีค่าสูงสุดทางตอนล่างของถังกรองและจะมีตะกอนแบคทีเรียมากที่สุดในบริเวณนี้ เพราะมีค่า F/M สูง ส่วนบนของถังจะช่วยทำให้น้ำทิ้งใสขึ้น เนื่องจากการสลายตัวของแบคทีเรียเพราะขาดอาหาร ความสูงของถังจึงไม่ควรน้อยกว่า 1.20 เมตร



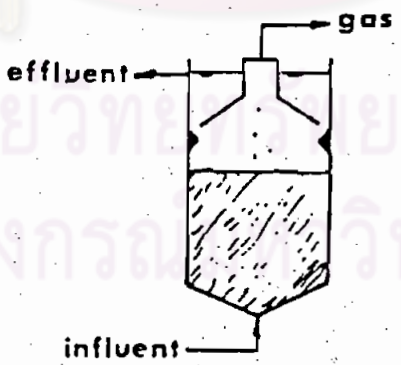
UP-FLOW FILTER

รูปที่ 2.8 ระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน

2.2.6 ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

ประมาณปี 1972 Dr Lettinga(35) ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนของน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลใน Holland การศึกษาครั้งแรกได้ใช้ถังกรองไร้ออกซิเจนซึ่งภายหลังได้รับการพัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ เป็นโรงงานกำจัดน้ำเสียที่มีชื่อว่า โรงปฏิกรณ์แบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket หรือเรียกย่อ ๆ ว่า UASB โดยน้ำเสียจะถูกปล่อยให้ไหลขึ้นอย่างช้า ๆ ผ่านชั้นของ flacculant bacteria ซึ่งจะเกิดขบวนการหมักของสารอินทรีย์และเปลี่ยนไปเป็นส่วนผสมของก๊าซ CO_2 และ CH_4 ที่ส่วนบนของถังปฏิกรณ์จะมีลักษณะเป็นถังตกตะกอนและช่องเก็บก๊าซ โดยมีหน้าที่แยกก๊าซและป้องกันการพัดพาของสารแขวนลอยออกจากระบบ (ดูรูปที่ 2.9)

ขบวนการ UASB ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กำจัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้น COD ต่ำ และมีระยะเวลากักน้ำ 3-4 ชม. ถังปฏิกรณ์แบบนี้สร้างขึ้นครั้งแรกมีขนาด 6 ลบม. สามารถรับออร์แกนิคโหลดดัง 14-40 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน อย่างน่าพอใจโดยใช้ระยะเวลากักน้ำ 3-8 ชม.(35) ข้อดีของระบบนี้คือ เป็นถังปฏิกรณ์แบบง่าย ๆ และเสียค่าใช้จ่ายต่ำประโยชน์ที่จะได้รับขึ้นอยู่กับการพัฒนาเซลล์ในระบบให้มีรูปร่างเป็นเม็ดแบบเดียวกัน (uniquely grainy) มีการจมตัวดี (well settlement) มีคุณสมบัติในการอัดแน่นดี (thickening) และผสมกันได้อย่างทั่วถึง

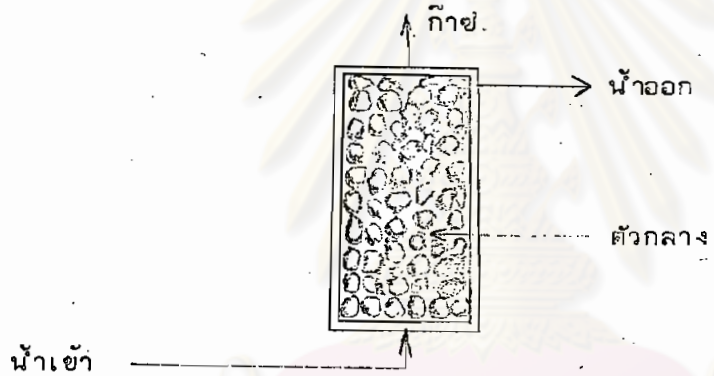


รูปที่ 2.9 ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket

2.3 การกำจัดน้ำเสียของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter)

2.3.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน

เครื่องกรองไร้ออกซิเจนมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกสูงหรือถังสี่เหลี่ยมก็ได้ ดังรูปที่ 2.10 ภายในเครื่องกรองจะบรรจุตัวกลางซึ่งอาจเป็นหิน กรวด หรือ วัสดุสังเคราะห์ที่มีความคงทนไม่ผุกร่อนง่าย น้ำเสียจะไหลเข้าสู่ระบบจากด้านล่างและออกจากเครื่องกรองทางตอนบน (Up Flow) ซึ่งการไหลลักษณะนี้ทำให้น้ำเสียท่วมถังตลอดเวลาและแบคทีเรียภายในถังซึ่งส่วนใหญ่ยึดเกาะกับตัวกลาง สามารถสัมผัสกับน้ำเสียได้ทั่วถึง แบคทีเรียเหล่านี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ไปเป็น CH_4, CO_2 และเซลล์แบคทีเรีย การที่เซลล์แบคทีเรียถูกกักกรองให้ค้างหรือยึดเกาะกับตัวกลางนี้ ทำให้แบคทีเรียมีระยะเวลาอยู่ในเครื่องกรองได้นาน (SRT สูง) ลักษณะการไหลของเครื่องกรองนี้จะเป็นแบบ Plug Flow



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะทั่วไปของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน

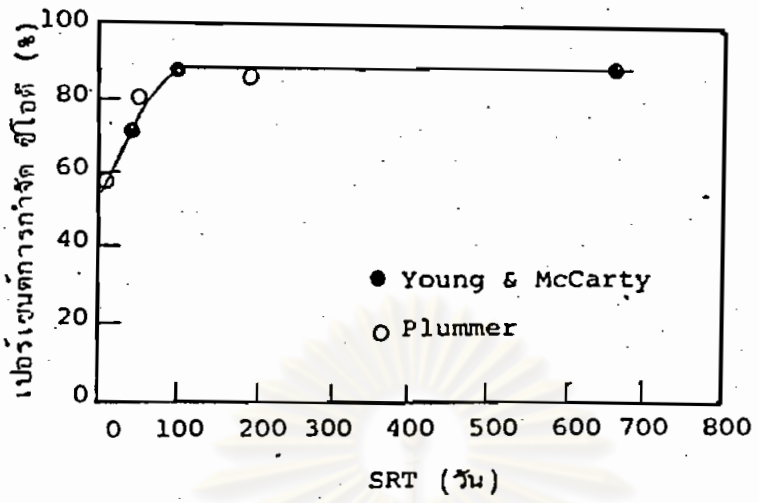
2.3.2 แฟคเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน

จากงานวิจัยต่าง ๆ ล้วนชี้ให้เห็นว่า เครื่องกรองไร้ออกซิเจนสามารถทำงานได้ที่อัตราการรับสารอินทรีย์ที่สูงกว่าระบบกำจัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากมันมีค่า SRT ที่ยาวนาน ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนจึงขึ้นอยู่กับค่า SRT. และแฟคเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งจะกล่าวต่อไป

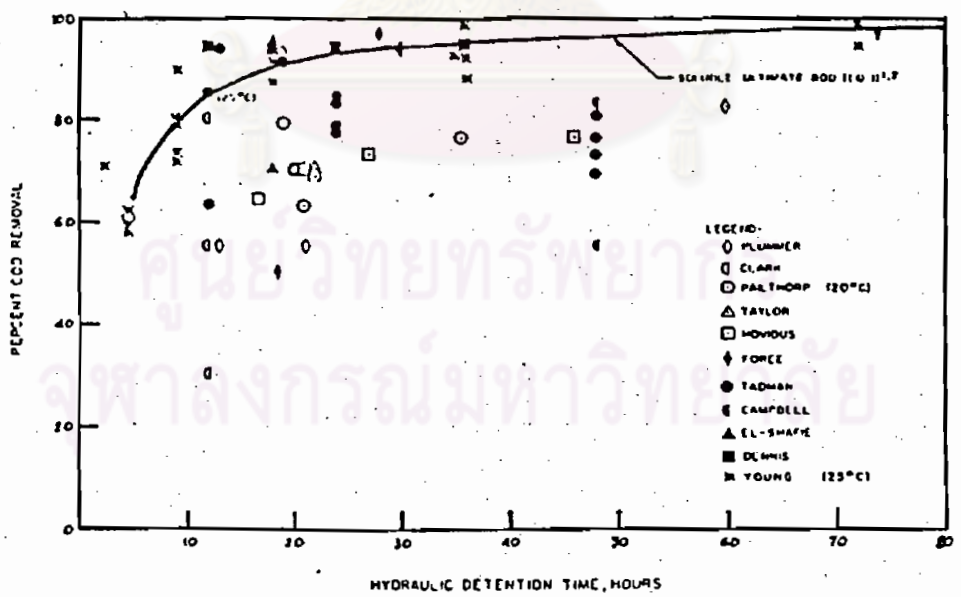
2.3.2.1 ระยะเวลากักตะกอน (SRT)

งานวิจัยหลายชิ้นได้เสนอแนวความคิดในการหาค่า SRT ที่เหมาะสมต่อระบบการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน เช่น

Mueller & Macini ได้นำเสนอผลการวิจัยของ Young & McCarty และ Plumer เสนอเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SRT และประสิทธิภาพในการกำจัด



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง SRT และประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน(36)



รูปที่ 2.12 ผล HRT ต่อประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน(36)

ซีโอดี ดังรูปที่ 2.11

จากรูปพบว่า เมื่อ SRT มีค่าต่ำกว่า 100 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะลดลงอย่างรวดเร็ว Mueller & Mancini จึงสรุปว่า SRT ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน ไม่ควรต่ำกว่า 100 วัน ทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุที่มีเทนแบคทีเรียมีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้า

2.3.2.2 ระยะเวลากักน้ำ (HRT)

HRT เป็นตัวแปรอีกตัวที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน Mueller & Mancini(36) ได้รวบรวมผลการวิจัยของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ผ่านมาในอดีต และได้เสนอกราฟซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์อ้างค่า HRT ต่อประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ดังรูปที่ 2.12 Young & McCarty(42) ได้เสนอสมการที่จะทำนายประสิทธิภาพในการกำจัด BOD_L ของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนดังสมการข้างล่าง

$$\%E = 100(1 - 1.8/T)$$

T = ระยะเวลากักน้ำหรือค่า HRT (ชม.) คิดจากปริมาตรช่องว่างในเครื่องกรอง

E = ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสีย (%)

สมการที่เสนอนี้ มีขีดจำกัดในการใช้คือ สามารถใช้กับเครื่องกรองที่มีความสูงไม่เกิน 6 ฟุต

การลดค่า HRT ของเครื่องกรองลงจะทำให้แบคทีเรียมีเวลาสัมผัสน้ำเสียได้น้อยลง ซึ่งอาจมีผลดีคือ ทำให้ลดขนาดของถังกรองลงได้ แต่ถ้าหากเครื่องกรองทำงานในสภาวะที่ค่า HRT ต่ำเกินไป ก็จะมีผลทำให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้มาก ซึ่งมีผลให้ค่า SRT ลดลง และทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ลดลงด้วย

2.3.2.3 คุณลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียที่นำมาใช้กับถังกรองไร้ออกซิเจนควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีอาหารเสริมที่เพียงพอต่อจุลชีพที่ไม่ใช้ออกซิเจน คือ มีค่า COD:N:P ไม่น้อยกว่า 100:1.1:0.2

2. ปราศจากสารเป็นพิษ และสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย หรืออาจยอมให้มีได้แต่ไม่มากเกินข้อกำหนดที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบ

3. มีปริมาณสารแขวนลอยต่ำ ทั้งนี้เพื่อขจัดปัญหาการอุดตันของระบบ

2.3.2.4 ชนิดและคุณสมบัติของตัวกลางในเครื่องกรองไร้ออกซิเจน

ตัวกลางที่บรรจุภายในเครื่องกรองไร้ออกซิเจน จะทำหน้าที่ในการกักเซลล์มิให้หลุดออกไปจากระบบ และยังเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย ซึ่งเป็นผลให้ปริมาณเซลล์ภายในเครื่องกรองอยู่ในระบบได้นาน (SRT สูง) สิ่งเหล่านี้มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสีย

ปัจจุบันตัวกลางที่นำมาใช้กับเครื่องกรองไร้ออกซิเจนอาจได้มาจากธรรมชาติ เช่น หิน กรวด หรืออาจทำขึ้นจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น พลาสติก การที่จะเลือกชนิดของตัวกลางย่อมต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสีย และความประหยัดด้านค่าใช้จ่ายของระบบ งานวิจัยหลายชิ้นได้ค้นคว้าศึกษาคุณลักษณะของตัวกลางซึ่งพอที่จะสรุปได้ว่า ตัวกลางที่มีประสิทธิภาพดีจะต้องมีพื้นที่ผิวมากและมีค่าความพรุนสูง ทั้งนี้เพราะการที่มีพื้นที่ผิวมากจะทำให้แบคทีเรียมีโอกาสยึดเกาะได้มาก และการที่มีความพรุนสูงก็เพื่อจะลดปัญหาการอุดตัน การเกิดการไหลลัดวงจร (Short Circuit) และปัญหาด้านไฮโดรลิค (Hydrolic) จากผลของการใช้ตัวกลางชนิดเดียวกันแต่มีขนาดต่างกัน เช่น การใช้หินขนาด 1"-1.25" กับหินขนาด 1.75"-2.5" กำจัดน้ำเสียชนิดเดียวกัน และตัวกลางทั้งสองมีความพรุนประมาณ 43-46% จะพบว่าตัวกลางที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียได้สูงกว่า (1) จากการศึกษาและการค้นคว้าเกี่ยวกับคุณสมบัติของตัวกลางได้แนะนำขนาดของหิน กรวด ควอไซท์ (Quartzite) ที่จะนำมาเป็นตัวกลางของถังกรองชนิดนี้ควรมีขนาด 25-38 มม. (30) ซึ่งจะให้ค่าความพรุน 42-47% และมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตร 140 $ม^2/ม^3$ และถ้าใช้ตัวกลางพวก Activated Carbon ขนาด 0.85-2 มม. จะให้ค่าความพรุนเท่ากัน แต่พื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงถึง 3,700 $ม^2/ม^3$ ในทำนองเดียวกันถ้าต้องการค่าความพรุนสูงมากประมาณ 85-90% ตัวกลางประเภทพลาสติกก็จะถูกนำมาใช้ นอกจากนี้ยังมีการใช้ตัวกลางพวกสารอินทรีย์ เช่น ซังข้าวโพด (10) ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำทิ้งได้สูง แต่อายุการใช้งานของตัวกลางชนิดนี้ไม่ยาวนาน เนื่องจาก ตัวกลางชนิดนี้จะถูกใช้เป็นแหล่งอาหารของพวกแบคทีเรียที่ยึดเกาะอยู่

จะเห็นได้ว่าตัวกลางมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสีย และมีผลต่อค่าใช้จ่ายของระบบ เช่น การใช้หินกรวดเป็นตัวกลางจะมีผลต่อการออกแบบฐานรากในการที่จะรับน้ำหนักมัน การใช้ตัวกลางพวกพลาสติกอาจขจัดปัญหาด้านฐานรากแต่ตัวมันเองมีราคาสูงมาก ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาการลดชั้นตัวกลางประเภทพลาสติกลงครึ่งหนึ่งเพื่อหาศักยภาพของเครื่องกรองและเพื่อจุดประสงค์ในด้านลดค่าใช้จ่ายลง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2.5 ลักษณะการวางยั้นตัวกลาง

เนื่องจากตัวกลางในถังกรองไร้ออกซิเจนทำหน้าที่เสมือนอุปกรณ์ในการกักเก็บตะกอนเซลล์ให้อยู่ภายในระบบ การศึกษาลักษณะการวางตัวของชั้นตัวกลางจะให้ข้อมูลนำไปสู่การพัฒนาระบบให้ดีขึ้นทั้งทางด้านการกำจัดน้ำเสีย และการลดต้นทุนของระบบ ความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกของระบบและอิทธิพลหน้าที่ของแบคทีเรียที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของถังกรองจะเป็นพื้นฐานในการเลือกตำแหน่งชั้นตัวกลางในลักษณะที่ให้ผลประโยชน์สูงสุด จากข้อสมมุติฐานของงานวิจัยที่ผ่านมา ที่ตำแหน่งความสูงต่าง ๆ ของถังกรองจะมีหน้าที่การทำงานต่างกัน เช่น ทางตอนล่างของถังกรองจะพบกิจกรรมของแบคทีเรียมีมาก ณ บริเวณนี้ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี จะเกิดขึ้นมาก ส่วนตอนบนของถังกรองจะมีหน้าที่ในการกักเซลล์ให้อยู่ในระบบ

ปัจจุบันได้มีงานวิจัยการลดความสูงของชั้นตัวกลางทั้งในและต่างประเทศ(3,35) เช่น การศึกษาพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนแบบ UASB ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ระบบนี้จะไม่มีตัวกลางบรรจุอยู่ในถังปฏิกรณ์ แต่จะมีตะกอนเซลล์เกาะรวมตัวกันเป็นชั้น ๆ ภายในถัง ส่วนในประเทศ ได้มีการวิจัยการลดชั้นความสูงของตัวกลางภายในเครื่องกรองไร้ออกซิเจน โดยใช้ตัวกลางพลาสติก(3) ผลปรากฏว่าตัวกลางสามารถลดค่าซีโอดี ได้ดีพอสมควร และยังเปิดเผยถึงการลดชั้นตัวกลางในลักษณะครึ่งถังลอยจะให้ผลดีกว่าการวางตัวกลางในลักษณะครึ่งถังจม เนื่องจากงานวิจัยที่กล่าวนี้ยังไม่สามารถให้ข้อมูลที่เพียงพอประกอบกับประสบการณ์ยังมีน้อย ดังนั้นการนำไปใช้ประยุกต์กับงานจริงจึงยังไม่เป็นที่ยอมรับกันทั่วไป ด้วยเหตุนี้การวิจัยเกี่ยวกับการลดความสูงของชั้นตัวกลางจึงเป็นสิ่งที่ควรจะต้องศึกษาค้นคว้าต่อไป เพื่อให้ได้ข้อมูลและประสบการณ์ที่มั่นใจพอที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริง

2.3.2.6 ความสูงของถังกรอง

โดยทั่วไปความสูงของถังกรองจะอยู่ในช่วง 1-1.8 เมตร ความสูงของถังกรองที่น้อยกว่านี้อาจมีโอกาสทำให้น้ำทิ้งมีการไหลลัดวงจรได้ง่าย (Short Circuit) ส่วนความสูงที่มากกว่า 1.80 เมตร ดูเหมือนจะเป็นการสิ้นเปลืองมากกว่าเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพที่ได้เพิ่มขึ้นจากเดิม ทั้งนี้เพราะจากงานวิจัยต่าง ๆ ล้วนชี้ให้เห็นว่า กิจกรรมของแบคทีเรียส่วนใหญ่เกิดทางตอนล่างที่บริเวณ 0.30 เมตร จากก้นถังกรอง(3,6) แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความสูงของถังกรองจะต้องสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัดและการกักน้ำ (HRT) ทั้งนี้เพื่อที่จะให้แบคทีเรียมีเวลาอยู่ในถังกรองได้นาน

2.3.3 ข้อดีข้อเสียของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตพอสรุปข้อดีข้อเสียของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนได้ดังนี้

ข้อดี

1. เครื่องกรองไร้ออกซิเจนเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมและสมบูรณ์ที่สุดสำหรับการกำจัดน้ำเสียที่ส่วนใหญ่ละลายน้ำ (Soluble Waste)
2. ไม่ต้องทำ Effluent recycle หรือ Sludge recycle น้ำออกจากถังกรองมีลักษณะใส
3. เซลล์แบคทีเรียจะสะสมอยู่ในถังกรองมากขึ้นตลอดเวลา ทำให้ค่า SRT สูง ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูง
4. ไม่ต้องมีการให้ความร้อน
5. เซลล์เกิดน้อยมาก และน้อยกว่าวิธีกำจัดแบบอื่น จึงทำให้ลดปัญหาการกำจัดตะกอน โดยทั่วไปเป็นเวลาหลายเดือนหรือเป็นปี จึงจะมีการระบายตะกอนออกไปสักครั้งหนึ่ง
6. สามารถรับออร์แกนิคโหลดตั้งที่เพิ่มขึ้นได้อย่างกระทันหัน (Shock Load)
7. สามารถทำงานได้ดีหลังจากที่มีการหยุดการทำงานไปชั่วเวลาหนึ่ง โดยไม่ต้องมีการเริ่มเลี้ยงแบคทีเรียใหม่
8. ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน เพราะเครื่องกรองไม่ต้องการใช้ออกซิเจนในการทำงาน
9. ให้ผลผลิตสุดท้ายเป็นก๊าซมีเทนซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้
10. ต้องการอาหารเสริมน้อยกว่าระบบชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน

ข้อเสีย

1. ไม่เหมาะกับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยสูง เพราะอาจเกิดปัญหาการอุดตัน
2. มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งทำให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น
3. การใช้งานในทางปฏิบัติจริง ปัจจุบันยังมีปัญหาเกี่ยวกับการออกแบบระบบการกระจายน้ำยังไม่ดีพอ อันมีผลทำให้เกิดการไหลลัดวงจร

4. การใช้ตัวกลางเป็นหิน จำเป็นต้องมีฐานรากของโครงสร้างที่แข็งแรง ทำให้สิ้นเปลืองค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้น การใช้ตัวกลางพวกวัสดุสังเคราะห์ แม้จะเบา แต่มีข้อเสียที่ราคาแพง

2.3.4 การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลองเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ผ่านมา

เครื่องกรองไร้ออกซิเจนได้ถูกนำมาทดลองในการกำจัดน้ำเสียเทียมเป็นครั้งแรก โดย Young & McCarty, 1963(43) ต่อมามีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องกรองในการกำจัดน้ำเสียหลายชนิด เช่น น้ำเสียจากโรงงานทำอาหาร - กระป๋อง น้ำเสียจากโรงงานผลิตยา น้ำเสียจากชุมชน อีกทั้งยังศึกษาคุณสมบัติของตัวกลาง (media) หลายชนิด และลักษณะการวางชั้นตัวกลางในเครื่องกรอง เพื่อที่จะลดต้นทุนการก่อสร้างของระบบให้ได้มากที่สุด นอกจากนี้ก็ยังมีการวิจัยในการนำเครื่องกรองไร้ออกซิเจนมาใช้ร่วมกับระบบอื่น เพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครื่องกรองในการกำจัดน้ำเสีย

สรุปผลรายงานวิจัยบางส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกรองไร้ออกซิเจนในช่วงปี 1981-1982

Schwartz, et al, 1981(40) ใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจนกำจัดน้ำเสียพวก Sludge thermal conditioning liquor Waste ซึ่งมีค่าบีโอดี 10,000 มก./ลิตร และกำหนดระยะเวลากักน้ำ 24 ชม. เครื่องกรองสามารถลดบีโอดีได้ถึง 80% และ 60% ในเทอมของซีโอดี ก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลพลอยได้จากระบบสามารถลดค่าใช้จ่ายในระบบน้ำเสีย 20-25%

Donovan, et al, 1981(22) ใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจนกำจัดน้ำเสียพวก Sludge heat treatment liquor Waste ที่สภาวะออร์แกนิคโหลดดิ้ง 6.5 กก.ซีโอดี/ม^{2}-วัน และเวลากักน้ำ 36 ชม. เครื่องกรองสามารถลดบีโอดีของน้ำเสียได้ 75-85% และ 55-65% ในเทอมของซีโอดี

Jennett & Donnis, 1981(29) ใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจนกำจัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตยา (Phamaceutical Waste) ซึ่งมีความเข้มข้นของบีโอดี 2,000 มก./ลิตร เวลากักน้ำ 36 ชม. ที่อุณหภูมิ 35°C เครื่องกรองสามารถลดซีโอดีได้ 70-80% และลดบีโอดีได้ 94% ในขณะที่ระบบแบบใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพในการลดสับสเตรตได้เพียง 61% ด้วยการป้อนน้ำเสียลักษณะเดียวกัน

Landine et al, 1981(33) ใช้เครื่องกรองชนิด Horizontal anaerobic Filter กำจัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตมันฝรั่ง (Potato Processing Waste) เครื่องกรองสามารถลดซีโอดีในน้ำเสียได้ 91%, และลดตะกอนแขวนลอยได้ 85% ที่ออร์แกนิค-โหลดดิ้ง 1.35 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน

Friedman, et al, 1981(25) ใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจนกำจัดน้ำเสียพวกโรงงานฟอกหนังสัตว์ด้วยการป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดี ประมาณ 3,000 มก./ลิตร ระยะเวลากักน้ำ 24 ชม. เครื่องกรองสามารถลดซีโอดีในน้ำเสียได้ 40-50% และสามารถย่อยสารประกอบโปรตีนได้ 76%

Hines and Weeter, 1981 (19) ได้ใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจนในการทดลองหาปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นภายในระบบ โดยทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งมีความเข้มข้นซีโอดี 3 ระดับ 3,000, 1,500, 750 มก./ล. และกำหนด Hydrolic Loading Rate (HLR) 2 ค่า (0.0068-0.0136 ลิตร/$ม^2$-วินาที) เป็นผลให้เกิดการทดลอง 6 ชุด ซึ่งมีค่าออร์แกนิคโหลดดิ้งอยู่ในช่วง 0.43-3.5 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน จากผลการทดลองพบว่า เครื่องกรองมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงถึง 94% และมีแอมโมเนีย 170 มก./ลิตร ที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 3.03 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน HRT = 20 ชม. HLR = 0.010 ลิตร/$ม^2$-วินาที และพบว่าในการทดลองนี้ปริมาณแอมโมเนียเกิดมากที่สุด 217 มก./ลิตร ที่ระดับของออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1.35 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน HRT = 41 ชม. HLR = 0.005 ลิตร/$ม^2$-วินาที ในการทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่าปริมาณแอมโมเนียส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณตอนล่างช่วง 0.50 เมตรลงมา และยังชี้ให้เห็นว่าน้ำเสียที่ออกจากเครื่องกรองมีปริมาณแอมโมเนียเพียง 2.5% ของปริมาตรถังที่จะก่อให้เกิดปฏิกริยา Nitrification

พรพจน์ กรรณสูตร; 1981(6) ใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจนกำจัดน้ำเสียจากโรงงานสุราที่มีค่า BOD_5 30,900-40,000 มก./ล. และค่าซีโอดี 77,430-110,000 มก./ล. จากผลการทดลองพบว่า เครื่องกรองมีประสิทธิภาพมากที่สุด 70% ที่อัตราการรับสารอินทรีย์ต่อพื้นที่หน้าตัด 943 กก.ซีโอดี/$ม^2$-วัน และ 14.62 กก.ซีโอดี/$ม^2$-วัน เครื่องกรองมีประสิทธิภาพต่ำสุด 30% ที่อัตราการรับออร์แกนิคโหลดดิ้งต่อพื้นที่หน้าตัด 27.96 กก.ซีโอดี/$ม^2$-วัน ตะกอนจุลยีพที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดเฉลี่ย 0.054 กก./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ก๊าซมีเทนเกิดขึ้น 0.506 $ม^3$/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด

B.Jorn Frostall, 1981(16) ทำการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานระหว่างเครื่องกรองไร้ออกซิเจน กับระบบสัลัดจ์เบด (Sludge Bed System) โดยใช้ถังกรองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 84 มม. สูง 1.25 เมตร ภายในเครื่องกรองบรรจุตัวกลางพลาสติกมีความพรุน 96% ส่วนระบบสัลัดจ์เบด (SBR) ตอนบนจะมีระบบแยกสัลัดจ์ การทดลองนี้ได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าซีโอดี 780 มก./ลิตร และป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ในอัตราออร์แกนิคโหลดดิ้ง 0.7-10 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน ผลการทดลองปรากฏว่าเครื่องกรองไร้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเหนือกว่าระบบสัลัดจ์เบด (SBR) เล็กน้อย กล่าวคือ ระบบสัลัดจ์เบด (SBR) สามารถกำจัดซีโอดีได้ 87% และ 68% ที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 2.8, 10.1 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน ส่วนเครื่องกรองไร้ออกซิเจนสามารถกำจัดซีโอดี 93% และ 79% ที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 2.7 และ 10.5 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน ตามลำดับ ในการทดลองนี้ได้ชี้ให้เห็นว่าระบบสัลัดจ์เบด (SBR) เป็นเครื่องมือบำบัดน้ำเสียที่น่าจะนำมาใช้เพราะประหยัดค่าก่อสร้างได้มากกว่าเครื่องกรองไร้ออกซิเจน ถึงแม้ประสิทธิภาพการทำงานจะด้อยกว่าเล็กน้อย

โรมรัน ศรีสัมฤทธิ์, 1981 (10) ได้ทดลองใช้ซังข้าวโพดแห้งเป็นวัสดุตัวกลางสำหรับเครื่องกรองไร้ออกซิเจนในการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ ภายใต้ออร์แกนิคโหลดดิ้ง 0.833-30 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน ปรากฏว่าซังข้าวโพดสามารถใช้เป็นตัวกลางยึดเกาะของแบคทีเรียได้ดีและยังสามารถคงสภาพอยู่ได้หลังจากใช้งานแล้วประมาณ 8 เดือน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ซังข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวกลางไม่อยู่ในฐานะเป็นแหล่งคาร์บอนได้เพียงสำหรับเนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์จำกัด เครื่องกรองที่ใช้ในงานวิจัยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุด 94% ที่ออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1.67 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน และสามารถกำจัดซีโอดีได้มากที่สุด 7,500 มก./ลิตร ที่ระดับ 10 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน โดยมีประสิทธิภาพกำจัดซีโอดี 54%

Khanlique A. Khan, Makran T.Suidan, Nendall H.Cross, 1982 (30) ได้ทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน 2 ตัว ซึ่งบรรจุตัวกลางต่างชนิดกัน คือ Activated Carbon และ Enthracite coal โดยทดลองกับน้ำเสีย 3 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์พวกกลูโคส, phenol dilute paint stripping bath wastewater ทำการทดลองในลักษณะต่อเนื่องในห้องทดลอง โดยใช้เครื่องกรองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.1 ซม. สูง 61 ซม. ป้อนน้ำเสียในอัตรา 2 มล./นาที และมีการไหลเวียนกลับ (recirculation) ในอัตรา 50 มล./นาที ระยะเวลากักน้ำ 3.55 ชม. ทดลองที่อุณหภูมิ 35°C ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องกรองที่บรรจุ

Activated Carbon มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และการผลิตมีเทนสูงกว่าเครื่องกรองที่บรรจุ Antracite coal ทุกกรณี

RC. Landine, T.Viraraghavan, AA.Cocci. GJ.Brown,1982(38) ได้ทำการทดลองใช้ระบบการหมักและการกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Fermentation-Filtration) ในการกำจัดน้ำเสียที่เกิดจากยบวนการทำมันฝรั่ง -โดยน้ำเสียจะผ่านบ่อหมักไร้ออกซิเจนก่อน (Fermenter) แล้วจึงเข้าเครื่องกรองไร้ออกซิเจน ในการทดลองได้ป้อนน้ำเสียในอัตราออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าบ่อปิด-หมัก (Fermenter) มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 73.3-86.8% และเครื่องกรองมีประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ในช่วง 45.3-67.7% เมื่อรับภาระออร์แกนิคโหลดดิ้ง 0.82-1.20 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ที่ระยะเวลากักน้ำ 8.2-19.2 ชม. และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบ Anaerobic Fermentation Filtration มีค่า 85-95% ที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน

เจษฎา ศรศึก, 1983(3) ได้ทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีชั้นตัวกลางวางตัว 4 ลักษณะ คือ ตัวกลางเต็มถัง ตัวกลางลอย 25% ความสูงของถังกรอง ตัวกลางลอยครึ่งถังกรอง และตัวกลางจมครึ่งถังกรองในการใช้กำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิ้งอย่างต่อเนื่องและซ้ำ ๆ ปรากฏว่าถังกรองที่มีตัวกลางเต็มถังจะมีสมรรถนะและความสามารถในการลดซีโอดีของน้ำเสียได้ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิ้ง ปรากฏว่าถังกรองที่มีตัวกลางในลักษณะลอยตัวอีกสองลักษณะก็มีแนวโน้มที่จะทำงานได้ดีขึ้น ผลการทดลองทำให้คาดคะเนว่าตะกอนเซลล์แบคทีเรียส่วนใหญ่สะสมตัวตอนล่าง เนื่องจากการทดลองดังกล่าวมิได้ทดลองในลักษณะทรงตัว (Steady-State) ในแต่ละระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง ดังนั้นจึงไม่สามารถเห็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของเครื่องกรองแต่ละชนิดได้ชัดเจนนัก