บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 คำนำ

ภายหลังสงครามโลกครั้งที่สอง จำนวนประชากรของโลกได้ทวีขึ้นอย่างรวดเร็ว ประเทศต่าง ๆ ได้มีการเร่งพัฒนาทั้งด้านเกษตรกรรมและการอุตสาหกรรม เพื่อปรับปรุงเศรษฐกิจของประเทศให้ดีขึ้น ผลก็คือมลภาวะที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ได้ถูกทิ้งลงสู่ธรรมชาติเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ขีดความสามารถของธรรมชาติที่จะรับมีจำกัด ดังนั้นมนุษย์จึงต้องแสวงหาวิธีการใหม่ ๆ ที่จะช่วยปรับปรุงสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติให้ดียิ่งขึ้น

สาเหตุที่ทำให้เกิดมลภาวะทางธรรมชาติมีอยู่ด้วยกันหลายประการ แต่สาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งได้แก่สารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ซึ่งอาจเกิดได้จาก

1. น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน
2. น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
3. น้ำทิ้งจากการเกษตรกรรม

วิธีกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ก่อนจะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติมีหลายวิธี แต่ละวิธีมีความเหมาะสมตามสภาพการใช้งานแตกต่างกันไป ระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Wastewater Treatment) เป็นระบบบำบัดทางชีววิทยาระบบหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงในการลดมลสารอินทรีย์ อีกทั้งยังเหมาะที่จะใช้กับประเทศในเขตร้อน เช่น ประเทศไทยอีกด้วย ผลพลอยได้ที่ตามมาคือก๊าซมีเทน ซึ่งอาจเป็นแหล่งพลังงานทดแทนในอนาคตได้

1.2 ชนิดของระบบกำจัดสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน

ระบบกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งแบบไร้ออกซิเจนมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่ละแบบมีคุณสมบัติและความเหมาะสมในการใช้แตกต่างกันดังนี้ คือ

1.2.1 บ่อเกรอะ (Septic Tank) ได้เริ่มพัฒนาขึ้นในประเทศอังกฤษ เมื่อปี ค.ศ. 1895 โดย Cameron บ่อเกรอะมักจะสร้างเป็นถังรูปสี่เหลี่ยมฝืนผ้าฝังอยู่ใต้พื้นดิน (ดังภาพที่ 1.1) โดยรับน้ำเสียจากบ้านเรือน ซึ่งมีระยะเวลากักเก็บน้ำประมาณ 1-3 วัน เพื่อให้สารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งจมลงสู่ก้นถัง และมีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อ็อกซิเจน แม้ว่าจะมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี แต่ยังคงมีการสะสมตัวของสลัดจ์เกิดขึ้น จึงทำให้ต้องกำจัดออกทุก ๆ 1-5 ปี บ่อเกรอะมักใช้กับน้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่มีประชากรไม่เกิน 300 คน และมักมีบ่อซึมเพื่อบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเกรอะเสมอ ๆ

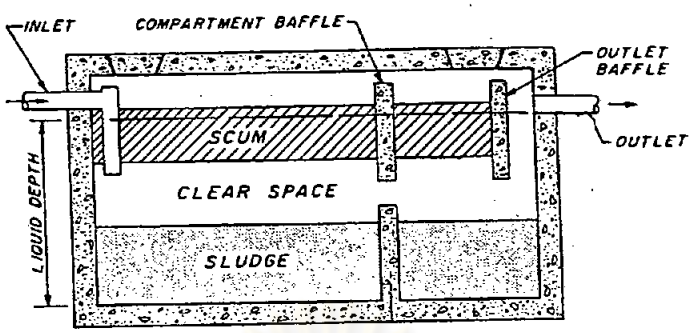
1.2.2 บ่อหมัก (Anaerobic Lagoons) เป็นระบบกำจัดสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ง่ายและอาศัยธรรมชาติมากที่สุด ตัวบ่อหมักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ มีความลึก 2-3 เมตร น้ำทิ้งจะใช้เวลาอยู่ในบ่อหมักนานประมาณ 10-30 วัน ในระหว่างที่น้ำทิ้งอยู่ในบ่อหมัก สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจะถูกจุลชีพย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้น้ำทิ้งมีค่าบีโอดีลดลง ระบบบ่อหมักเหมาะสำหรับกำจัดน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีสูง และเหมาะสมที่จะใช้ในภูมิประเทศที่ราคาที่ดินไม่สูงนัก

1.2.3 ถังหมักธรรมดา (Conventional Anaerobic Digestion) เป็นระบบที่ใช้แพร่หลายในการย่อยสลายกากตะกอนจากระบบแอคทิเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ระบบกำจัดประกอบด้วยถังปฏิกิริยา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นถังคอนกรีตมีฝาปิดเพื่อเก็บความร้อน กลิ่น และก๊าซ บนฝามีทางระบายก๊าซที่เกิดขึ้น ระบบถังหมักธรรมดามี 2 แบบ คือ

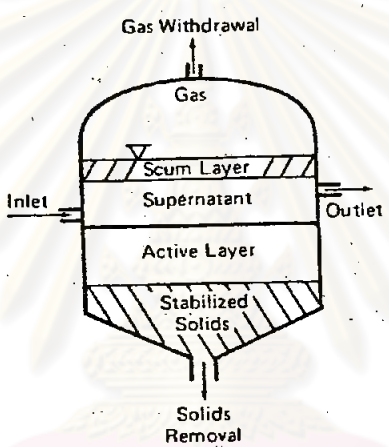
ก. ถังหมักชนิดอัตรากำจัดช้า (Low Rate Anaerobic Digestion) ภายในถังไม่มีเครื่องกวน ทำให้มีตะกอนหนักจมลงก้นถัง ตะกอนเบาลอยอยู่ชั้นบน ชั้นตะกอนเบาจะหนาหลายฟุต ซึ่งเป็นการลดปริมาตรของถังย่อย และยังทำให้เกิดการลัดวงจร (Short Circuit) ได้ง่ายอีกด้วย (ดังภาพที่ 1.2)

ข. ถังหมักชนิดอัตรากำจัดเร็ว (High Rate Anaerobic Digestion) ภายในถังมีเครื่องกวนเพื่อให้เกิดการผสมอย่างทั่วถึง (Completely Mixed) (ดังภาพที่ 1.3) ในถังแบบนี้มีการลัดวงจรน้อยลง ทำให้ระยะเวลากักเก็บน้ำทิ้งที่จำเป็นน้อยลง และประสิทธิภาพดีกว่าชนิดอัตรากำจัดช้า เนื่องจากจุลชีพสัมผัสกับของเสียได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น แต่น้ำทิ้งที่ออกจากถังหมักชนิดนี้ จำเป็นต้องมีการแยกตะกอนจุลชีพออกก่อน

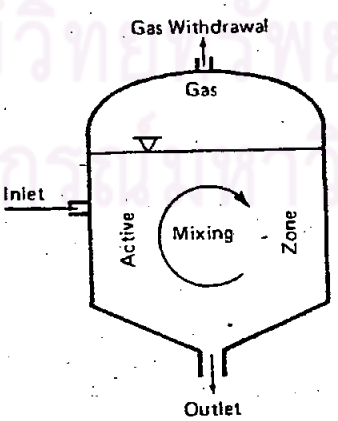
ระบบถังหมักธรรมดาทั้งสองแบบ มิได้นำตะกอนจุลชีพกลับมาใช้อีก เนื่องจากการ



ภาพที่ 1.1 บ่อหมัก



ภาพที่ 1.2 ถังหมักชนิดอัตรากำจัดช้า



ภาพที่ 1.3 ถังหมักชนิดอัตรากำจัด เร็ว

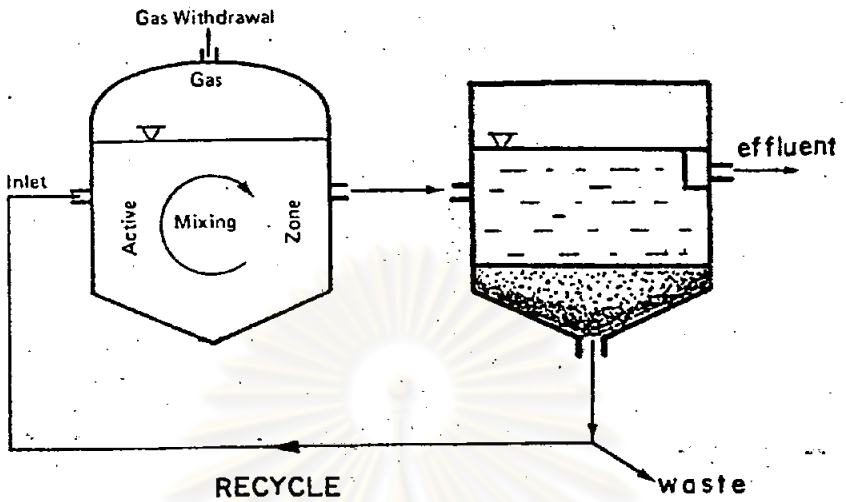
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เจริญเติบโตของจุลชีพชนิดไม่ใช้ออกซิเจนช้ามาก ดังนั้นต้องการระยะเวลากักเก็บน้ำนานประมาณ 10-30 วัน

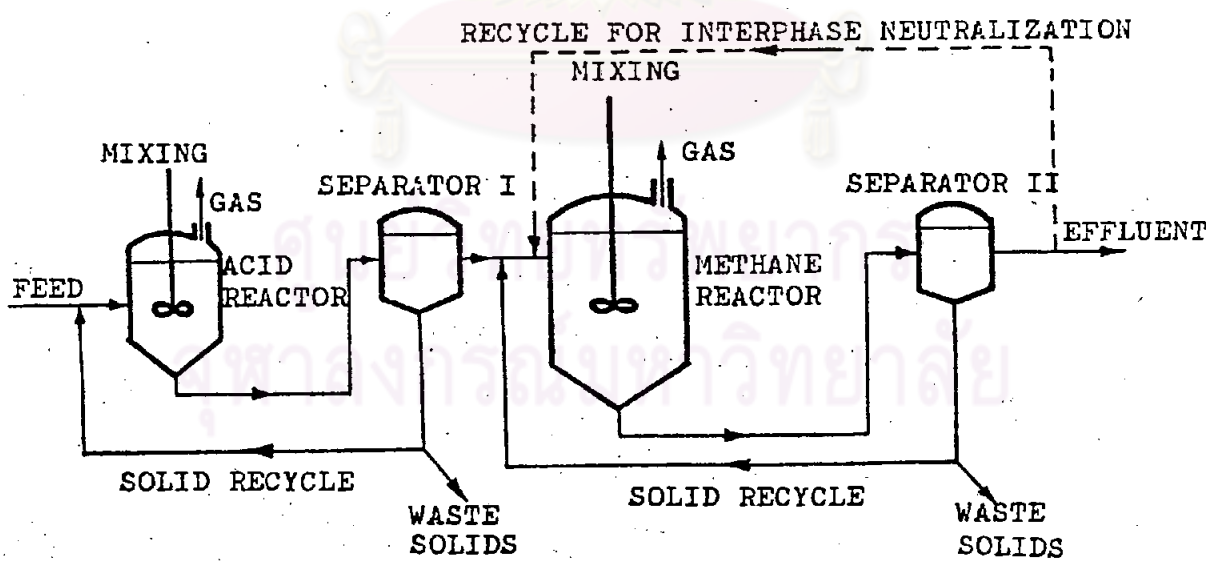
1.2.4 ระบบถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic Contact หรือ Anaerobic Activated Sludge) เป็นถังหมักที่ดัดแปลงมาจากถังหมักชนิดอัตราก้ำจัดเร็ว ได้พัฒนาโดย Schroepfer และผู้ร่วมงาน (93) เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหารกระป๋อง หลักการทำงานของกระบวนการนี้ คล้ายกับระบบแอคติเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) (ดังภาพที่ 1.4) โดยการติดตั้งถังตกตะกอนเพื่อแยกจุลชีพออกจากน้ำทิ้ง แล้วนำกลับไปเข้าถังหมักใหม่ ซึ่งทำให้ตะกอนจุลชีพในระบบมากขึ้น สามารถลดขนาดของถังปฏิกิริยาลงได้มาก แต่เนื่องจากตะกอนจุลชีพในระบบถังหมักจะมีก๊าซเกาะติดอยู่ และพาตะกอนจุลชีพลอยขึ้น จึงต้องแยกก๊าซออกเสียก่อนที่จะทำการแยกตะกอนจุลชีพออกจากน้ำทิ้ง หรือใช้เครื่องมือกลในการแยกตะกอน ระบบนี้ใช้แพร่หลายในการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

1.2.5 ระบบถังหมักแบบสองเฟส (Two-Phase Anaerobic Digestion) เป็นการแยกถังหมักออกเป็นสองส่วน ตามลักษณะการทำงานของจุลชีพแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อความสะดวกในการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับจุลชีพแต่ละชนิด (ดังภาพที่ 1.5) Ghosh (44) ได้ทำการทดลองพบว่า สามารถลดถังปฏิกิริยาลงได้ ซึ่งจะลดค่าก่อสร้าง ก๊าซมีเทนจะเกิดมากกว่าและง่ายต่อการควบคุมสภาวะแวดล้อม แต่ต้องใช้ผู้ชำนาญงานควบคุม และต้องใช้เครื่องมือเพิ่มอีกมาก

1.2.6 ระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) คิดค้นโดยYoung และ McCarty (108) ก่อนหน้าที่จะมีการค้นพบระบบนี้ Rankine (89) ได้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของถังหมักแบบธรรมดา (Conventional Anaerobic Digestion ซึ่งทำงานที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการบำบัดมากกว่าอัตราออร์แกนิคโหลดดิง (Organic Loading Rate) ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของถัง การค้นพบนี้ตรงกับทฤษฎีซึ่งใช้ในภายหลังว่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักเก็บตะกอน (Solid Retention Time, SRT) มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด (42) และพบว่าการหลุดออกไป (Wash Out) ของมีเทนแบคทีเรียที่ใช้อะซีเตตและกลุ่มจุลชีพที่ใช้โพรพิโอเนทและบิวทิเรทจะเกิดขึ้นเมื่อมีค่าเวลากักเก็บตะกอนต่ำกว่า 4 วัน ที่อุณหภูมิ 35 °ซ.(63,75)ทำให้มีการพัฒนามาสู่ระบบเครื่องกรองแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งมีระยะเวลากักเก็บตะกอนสูง เป็นระบบที่ใช้เครื่องมือน้อย ระบบกำจัดประกอบด้วย



ภาพที่ 1.4 ระบบถังหมักแบบสัมผัส

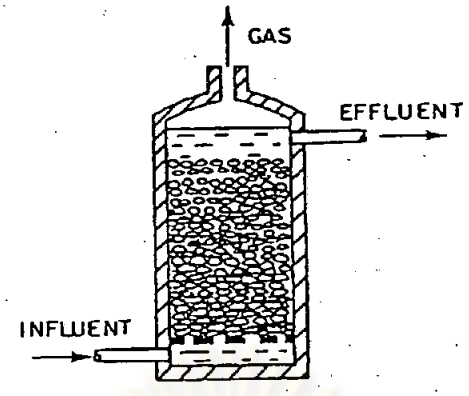


ภาพที่ 1.5 ระบบถังหมักแบบสองเฟส

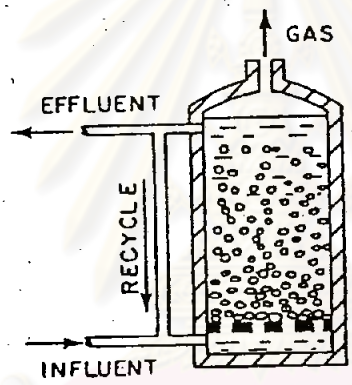
ถังรูปทรงกระบอกมีฝาปิดสนิท ที่ฝามีที่ระบายก๊าซ ภายในถังมีตัวกลาง (Filter Media) บรรจุอยู่ ลักษณะของตัวกลางต้องมีช่องว่างพอสมควร เพื่อให้น้ำตะกอนไหลผ่านได้และต้องคงทนต่อการกัดกร่อน ตัวกลางนี้ช่วยกระจายการไหลของน้ำที่เข้าระบบก่อจัดให้สัมผัสกับจุลชีพอย่างทั่วถึง และแยกก๊าซจากตะกอนจุลชีพทำให้จุลชีพถูกกักอยู่ในระบบ การไหลของน้ำทิ้งเข้าในระบบเป็นแบบปลั๊กโฟล (Plug Flow) (ดังภาพที่ 1.6)

1.2.7 ระบบ Anaerobic Fluidized Bed (AFB)และAnaerobic Attached Film Expanded Bed (AAFEB) ได้พัฒนามาจากระบบ Fluidized Bed และ Attached Film Expanded Bed แบบ Aerobic ซึ่ง Leuschner (68) เป็นผู้ริเริ่มนำมาใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์ต่ำ ในระบบนี้จะมีอนุภาคเฉื่อยที่มีน้ำหนัก เช่น ทราย เพื่อให้จุลชีพยึดเกาะ โดยจุลชีพจะเจริญเติบโตบนผิวเม็ดอนุภาคเหล่านี้ ความหนาของฟิล์มจุลชีพบวกกับน้ำหนักของอนุภาคจะเป็นตัวต้านทานกระแสการไหลของน้ำเสียที่ไหลผ่านจากด้านล่างขึ้นสู่บน โดยมีการขยายตัวของชั้นอนุภาคให้ลอยตัวอยู่ได้โดยไม่หลุดออกจากระบบ หรือเกิดการอุดตันของระบบ แต่ต้องมีการสูบน้ำเสียให้หมุนเวียนตลอดเวลา ข้อแตกต่างระหว่างระบบ AFB และ-AAFEB ก็คือ ในระบบ AFB จะมีการหมุนเวียนของน้ำเสียที่ไหลผ่านอนุภาคและปริมาตรการขยายตัวของชั้นอนุภาคในอัตราที่สูงกว่าระบบ AAFEB และขนาดเม็ดอนุภาคของระบบ AFB จะใช้ -ขนาดใหญ่กว่า คือประมาณ 400 ไมโครเมตร แต่ในระบบ AAFEB จะใช้เม็ดอนุภาคขนาด -20-30 ไมโครเมตร ภายหลังปรากฏว่ามีการใช้เม็ดอนุภาคในระบบ AAFEB มีขนาดใหญ่ถึง 50-1000ไมโครเมตร ซึ่งผิดไปจากขนาดที่เคยจดลิขสิทธิ์แต่เดิม (55) ลักษณะของระบบดังแสดงในภาพที่ 1.7

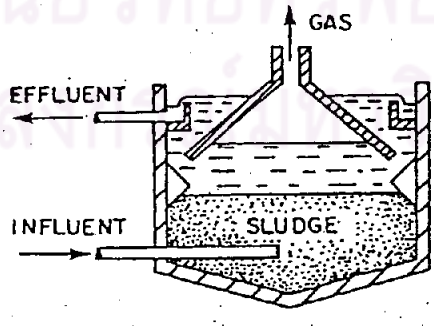
1.2.8 ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ระบบนี้ได้เริ่มต้นศึกษาในประเทศเนเธอร์แลนด์ ราวปี ค.ศ. 1972 เป็นระบบที่ไม่มีชั้นอนุภาคที่รองรับ แต่จะสร้างชั้นสลัดจ์อันเกิดจากกลุ่มก้อนของจุลชีพให้เป็นเม็ดผลึกที่มีน้ำหนัก หลักการพื้นฐานคือสร้างสภาพทางฟิสิกส์และเคมีให้เหมาะแก่การรวมตัวของจุลชีพให้มีคุณสมบัติในการอัดแน่นและตกตะกอนได้ดี โดยอาจใส่สารช่วยตกตะกอนให้เกิดผลึกในรูปของ $CaCO_3$ หรือ FeS ชั้นสลัดจ์อันเกิดจากการรวมตัวของกลุ่มก้อนจุลชีพจะมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง สามารถนำมาบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำ ๆ ได้ดีในสภาพอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20° ซ. (ดังภาพที่ 1.8) โดยน้ำเสียจะไหลผ่านจากด้านล่างขึ้นสู่บน มีการสัมผัสชั้นสลัดจ์เพื่อให้เกิด



ภาพที่ 1.6 ระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน



ภาพที่ 1.7 ระบบ AFB และ AAFEB



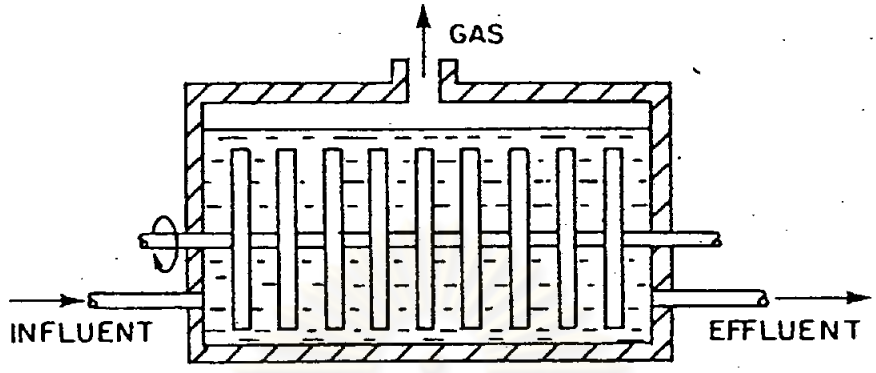
ภาพที่ 1.8 ระบบ UASB

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

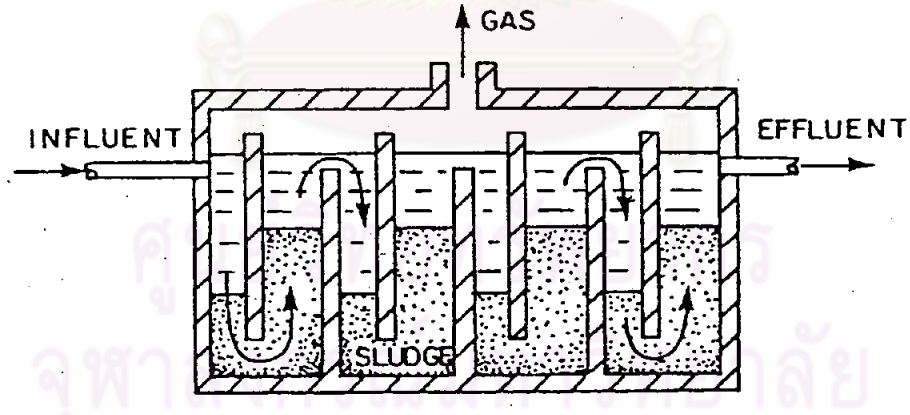
ขบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะถูกแยกออกจากมวลจุลชีพและน้ำเสียทางตอนบนโดยอุปกรณ์แยกก๊าซ (Gas-Solids-Separator) ความยุ่งยากของระบบคือการสร้างชั้นสลัดจ์ให้มีคุณสมบัติตามต้องการอาจใช้เวลานาน กล่าวกันว่าปัจจุบันสามารถเลี้ยงชั้นสลัดจ์ที่ดีได้ภายในระยะเวลา 6 สัปดาห์ และสลัดจ์เหล่านี้สามารถเก็บรักษาโดยไม่จำเป็นต้องมีการเลี้ยงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 °ซ. ได้นานนับปีทีเดียว

1.2.9 ระบบจานชีวหมุนแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Rotating Biological Contactor) หรือ AnRBC ได้เริ่มมีการทดลองโดย Tait และ Friedman (101) โดยใช้บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากต้องการลดการใช้พลังงานในการสูบน้ำเสียให้หมุนเวียนในระบบ AFB และ AAFEB และนำข้อดีของระบบฟิล์มตรึง (Fixed Film) และจานชีวหมุน (RBC) มาใช้ในระบบไร้ออกซิเจน ลักษณะของระบบก็คล้ายคลึงกับระบบจานชีวหมุน เพียงแต่เป็นระบบปิดเพื่อมิให้สัมผัสอากาศจากภายนอก มีช่องระบายก๊าซออกทางตอนบน (ดังภาพที่ 1.9) ผลปรากฏว่าแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ดีบนผิวแผ่นจาน ระบบนี้สามารถรับออร์แกนิคและไฮโดรลิคโหลดที่สูงขึ้นทันทีได้ดี

1.2.10 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic Baffled Reactor) หรือ ABR เริ่มมีการทดลองในห้องปฏิบัติการที่มหาวิทยาลัย Stanford โดย Bachmann และคณะ (16) ลักษณะของระบบ (ดังภาพที่ 1.10) คือมีแผ่นกั้นเพื่อบังคับทิศทางการไหลของน้ำเสียในแนวดิ่งโดยมีการสัมผัสกับตะกอนจุลชีพ การที่มีพื้นที่ระหว่างน้ำเสียและก๊าซชีวภาพที่เกิดมาก ทำให้ปัญหาเรื่องการแยกก๊าซถูกขจัดออกไป ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์แยกก๊าซให้ยุ่งยากดังเช่นระบบ UASB ทิศทางการไหลขึ้นและลงจะช่วยลดการสูญเสียเซลล์ของจุลชีพซึ่งทำให้ลดปัญหาด้านคุณสมบัติในการตกตะกอนของมวลจุลชีพ ระบบ ABR เหมาะแก่การบำบัดน้ำเสียที่เป็นสารละลายสามารถนำมาใช้โดยปราศจากการสูบตะกอนส่วนเกินออกได้เป็นระยะเวลานาน แต่ถ้าน้ำเสียมีพวกสารแขวนลอยเล็ก ๆ เช่นพวกแป้ง อาจทำให้เกิดความเจือจางของมวลจุลชีพได้



ภาพที่ 1.๙ ระบบ ANAEROBIC ROTATING BIOLOGICAL REACTOR



ภาพที่ 1.๑๐ ระบบ ANAEROBIC BAFFLED REACTOR