

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

เลขทะเบียน คพ. 08-
020
เล่มที่ 3/4

คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

เล่มที่ 1



ISBN 974-9558-55-3

กรมควบคุมมลพิษ

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

รายการของรายงานหลักและรายงานประกอบ

การจัดทำคู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

- เล่มที่ 1/4 รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร
- เล่มที่ 2/4 รายงานหลัก
- เล่มที่ 3/4 คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ
ชุดที่ 1
- เล่มที่ 4/4 คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ
ชุดที่ 2

งานที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้รวมทั้งโสตทัศนวัสดุสิ่งบันทึกเสียงและงานอื่นๆ เป็นลิขสิทธิ์ของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งที่ปรึกษาของกรมควบคุมมลพิษได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม

ห้ามผู้ใดนำงานนี้ไม่ว่าทั้งหมดหรือบางส่วนไปทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ต่อสาธารณชนในทางการค้า ให้เช่า หรือกระทำการใดอันเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของกรมควบคุมมลพิษ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากกรมควบคุมมลพิษตามกฎหมายว่าด้วยลิขสิทธิ์ ทั้งนี้ผู้ได้รับอนุญาตจะต้องอ้างอิงชื่อกรมควบคุมมลพิษในฐานะเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่นำงานไปใช้ไม่ว่าทั้งหมดหรือบางส่วน

กรมควบคุมมลพิษไม่รับผิดชอบในความเสียหายที่เกิดขึ้นหรืออาจเกิดขึ้นเพราะการนำงานนี้ไปใช้ไม่ว่าโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ฉะนั้น การนำงานนี้ไปใช้ไม่ว่าทั้งหมดหรือบางส่วนควรปรึกษากับผู้ที่มีความรู้ความชำนาญเกี่ยวกับงานนั้นๆ ด้วย

คำนำ

กรมควบคุมมลพิษก่อตั้งขึ้นตามพระราชกฤษฎีกาแบ่งส่วนราชการ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2535 มีอำนาจหน้าที่ตามกฎหมายกระทรวงแบ่งส่วนราชการกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2545 ดังต่อไปนี้ เสนอความเห็นเพื่อจัดทำนโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติด้านการควบคุมมลพิษ เสนอแนะการกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิด จัดทำแผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม และ

๓

มาตรการในการควบคุม ป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ติดตาม ตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม และจัดทำรายงานสถานการณ์มลพิษ พัฒนาระบบ รูปแบบ และวิธีการที่เหมาะสมสำหรับระบบต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการคุณภาพน้ำ อากาศ ระดับเสียง สารอันตราย และกากของเสีย ดำเนินการตามกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติด้านการควบคุมมลพิษ และดำเนินการเกี่ยวกับเรื่องราวร้องทุกข์ด้านมลพิษ

ฝ่ายคุณภาพสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ มีอำนาจหน้าที่ในการสนับสนุนงานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการจัดการมลพิษ พัฒนาระบบ รูปแบบ และวิธีการตรวจประเมินเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ ให้คำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับงานด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สนับสนุนและสร้างกลไกการแปลงแนวคิดของเทคโนโลยีการจัดการมลพิษสู่การใช้ในทางปฏิบัติ สนับสนุนการเสริมสร้างศักยภาพการแข่งขันเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และธุรกิจเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ และวิเคราะห์ตัวอย่างสิ่งแวดล้อมของกรม

โครงการจัดทำคู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาความรู้ทางวิชาการในด้านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ อันเป็นเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศเขตร้อนของประเทศไทย การมีคู่มือวิชาการนี้จะช่วยให้ผู้บริหาร วิศวกร ช่างเทคนิค ตลอดจนถึงนักศึกษา สามารถใช้เป็นคู่มืออ้างอิงเพื่อเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจ ซึ่งจะทำให้การปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพต่อไป

หากท่านมีข้อสงสัยหรือข้อเสนอแนะเกี่ยวกับรายงานนี้ ท่านสามารถติดต่อได้ที่ฝ่ายคุณภาพสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ กรมควบคุมมลพิษ โทรศัพท์ 0 2298 2554

ฝ่ายคุณภาพสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ
กรมควบคุมมลพิษ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการจัดทำคู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ ดำเนินการ
โดย ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมี รศ.ดร.มันติน
ตัณฑุลเวศม์ เป็นหัวหน้าโครงการ

คณะทำงานของที่ปรึกษาขอขอบพระคุณอธิบดีกรมควบคุมมลพิษและรองอธิบดี
กรมควบคุมมลพิษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำอันมีค่าต่อโครงการนี้ และขอขอบคุณ
เจ้าหน้าที่กรมควบคุมมลพิษทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์และร่วมมือในด้าน
ต่างๆ รวมทั้งผู้เข้าร่วมการสัมมนาผลการดำเนินงานของโครงการทุกท่านที่ได้ให้
ความเห็นในการปรับปรุงรายงานให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ที่ปรึกษาขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่กรมควบคุมมลพิษที่ได้ช่วยเหลือและ
ให้คำปรึกษารวมทั้งให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำรายงานและการ
ดำเนินงานโครงการจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ดังมีรายนามต่อไปนี้

1. นายชนินทร์ ทองธรรมชาติ ผู้อำนวยการสำนักจัดการคุณภาพน้ำ
2. นางกัญชลี นาวิกภูมิ ผู้อำนวยการส่วนน้ำเสียเกษตรกรรม
3. นางสาวสุรรัตน์ ฅมยาศิริกุล นักวิชาการสิ่งแวดล้อม 6 ว
4. นายภัทรพล ตูลารักษ์ นักวิชาการสิ่งแวดล้อม 5
5. นางสาวนวนุช ทองแป้น นักวิชาการสิ่งแวดล้อม 4

รายการคำย่อและคำเต็ม

คำย่อ	คำเต็ม
AD	Anaerobic Digestion
A₂O	Anaerobic Anoxic Oxic
AF	Anaerobic Filter
AFB	Anaerobic Fluidized Bed
APB	Acid Producing Bacteria
ADP	Adenosine Diphosphate
ATP	Adenosine Triphosphate
BAT	Best Available Technology
BOD	Biochemical Oxygen Demand
COD	Chemical Oxygen Demand
DO	Dissolved Oxygen
EGSB	Expanded Granular Sludge Blanket
EB	Expanded Bed
FB	Fluidized Bed
FMN	Flavin Mononucleotide
GJ	Giga Joule
GSS	Gas Solid Separator
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
IC	Internal Circulation
IEA	International Energy Agency
kJ	Kilo Joule
MPB	Methane Producing Bacteria

คำย่อ	คำเต็ม
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
ORP	Oxidation Reduction Potential
RNA	Ribonucleic Acid
SRB	Sulfate Reducing Bacteria
SRT	Solids Retention Time
SS	Suspended Solids
TSIC	Thailand Standard Industrial Classification
TVS	Total Volatile Solids
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
VSS	Volatile Suspended Solids

รายการคำศัพท์และคำแปล

คำศัพท์	คำแปล
Acid Fermentation	ปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศที่มีการสร้างกรดไขมันระเหยจากสารอินทรีย์อย่างง่าย เช่น กลูโคส หรือ กรดอะมิโน
Acid Forming	การสร้างกรดไขมันระเหยในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ
Aerobic Oxidation	กลไกพื้นฐานในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้อากาศโดยมีสารให้อิเล็กตรอนเป็นสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจน
Anaerobic	สภาวะแวดล้อมที่ไม่มีไนเตรทและไม่มีออกซิเจน
Anaerobic Digestion (AD)	มีความหมาย 2 อย่างดังนี้ <ol style="list-style-type: none"> 1. โดยทั่วไปหมายถึงระบบการหมักแบบไม่ใช้อากาศทุกรูปแบบที่มีการสร้างมีเทน หรือ 2. ถึงปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ที่ใช้สร้างเสถียรภาพ(ย่อย)ให้กับตะกอนอินทรีย์หรือสลัดจ์จุลินทรีย์หรือน้ำเสียเข้มข้น
Anoxic	สภาวะแวดล้อมที่มีไนเตรทแต่ไม่มีออกซิเจน
Anoxic-Oxic (AO)	ระบบกำจัดไนโตรเจนที่มีถึงปฏิกิริยาแบบ Anoxic และแบบ Oxic
ATP	สารประกอบฟอสเฟตที่มีพลังงานสูง

คำศัพท์	คำแปล
Autotrophic	ใช้สารอนินทรีย์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน
Binary Fission	การขยายพันธุ์แบบเพิ่มเท่าตัว
Chemiosmosis	ปรากฏการณ์การขนส่งโปรตอนผ่านแผ่นเยื่อบางเป็นผลให้เกิดความต่างศักย์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้
Chemoheterotroph	แบคทีเรียที่ดำรงชีพและเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากปฏิกิริยาเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งเป็นทั้งแหล่งคาร์บอนและสารให้อิเล็กตรอน เช่น กรดไขมันระเหยหรือแอลกอฮอล์
Chemolithoautotrophs	จุลินทรีย์ที่ใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานและใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน
Chemolithotrophs	จุลินทรีย์ที่ใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน
Chemoorganotroph	จุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน
Chemostat	ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะมีการป้อนสารละลายสับสเตรทอย่างต่อเนื่อง
Co Digester	ถังหมักไม่ใช้อากาศที่ใช้ย่อยสับสเตรทมากกว่า 1 อย่าง เช่น ย่อยมูลสัตว์ร่วมกับการย่อยน้ำเสียอุตสาหกรรม เป็นต้น
Denitrification	ปฏิกิริยาที่เปลี่ยนไนเตรตเป็นไนไตรท์และไนโตรเจน โดยมีไนเตรตเป็นสารรับอิเล็กตรอน

และสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นสารให้อิเล็กตรอน

คำศัพท์	คำแปล
Emden-Meyerhof Pathway (EMP)	วิถีเมตาบอลิซึมที่ใช้ย่อยกลูโคสเป็นกรดไพรูวิก ชื่อที่นิยมเรียกคือ ไกลโคลลิซิส (Glycolysis)
Enrichment	การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ด้วยอาหารสังเคราะห์ เพื่อให้เจริญเติบโตได้เต็มที่
Enrichment Culture	สายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ได้รับการเลี้ยงด้วยอาหารสังเคราะห์
Facultative Anaerobes	แบคทีเรียที่อยู่ได้ทั้งสภาวะที่มีอากาศหรือไม่มีอากาศ
Fermentation	การหมัก คือปฏิกิริยารีดอกซ์ทางชีวภาพของสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในภาวะที่ไม่มีสารรับอิเล็กตรอนภายนอก
Gram Negative	ประเภทของแบคทีเรียแบบแกรมลบ
Gram Positive	ประเภทของแบคทีเรียแบบแกรมบวก
Granular Sludge	แบคทีเรียที่เลี้ยงให้เติบโตเป็นเม็ด
Heterotrophic	ใช้สารอินทรีย์ เช่น บีโอดี เป็นแหล่งคาร์บอน
Lyse	การแตกของเซลล์ ทำให้สารภายในรั่วออกนอกเซลล์
Luxury Phosphorus Uptake	กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการชีวภาพ โดยการเลี้ยงเพาะเชื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจนตามด้วยถังแบบใช้ออกซิเจนหรือแอโรบิกทำให้เกิดการคัดพันธุ์แบคทีเรียชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถจับฟอสฟอรัสได้มากกว่าปริมาณที่เซลล์ต้องการ

ใช้ในการเจริญเติบโต

คำศัพท์	คำแปล
Mesophilic	ช่วงของอุณหภูมิ 8-45 °C ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย
Methane Fermentation	ปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศที่มีการสร้างก๊าซมีเทนจากกรดอะซิติก
Methanogens	แบคทีเรียสร้างมีเทน
Mixotrophs	จุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน
Obligate Anaerobes	แบคทีเรียไม่ใช้อากาศชนิดเด็ดขาด
Oxic	สภาวะแวดล้อมที่มีออกซิเจน
Predator	จุลินทรีย์ผู้ทำลาย (ผู้ล่า)
Prey	จุลินทรีย์ผู้ถูกทำลาย (เหยื่อ)
Stoichiometric Equation	สมการแสดงสมดุลทั้งสองข้าง
Sulfate Reduction	กระบวนการไม่ใช้อากาศแบบเด็ดขาดที่อาศัยแบคทีเรียรีดิวซิงซัลเฟต(SRB) ทำหน้าที่ย่อยสลายไฮโดรเจนหรือสารประกอบอะซิเตทหรือสารอินทรีย์อื่น(ใช้เป็นสารให้อิเล็กตรอน)และมีซัลเฟต ซัลไฟด์ หรือไรโอซัลเฟตเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ซึ่งจะถูกรีดิวซ์เป็นซัลไฟด์
Syntrophy	ความสัมพันธ์ของการอยู่ร่วมกันของสิ่งมีชีวิตแบบให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน
Thermophilic	ช่วงของอุณหภูมิ 40-70 °C ที่เหมาะสมต่อการ

เจริญเติบโตของแบคทีเรีย

คำศัพท์	คำแปล
Xenobiotic	สารอินทรีย์สังเคราะห์ซึ่งจุลินทรีย์ไม่รู้จัก (จึงยากที่จะถูกย่อยสลายทางชีวภาพ)
Yeast Extract	สารอาหารชนิดหนึ่งที่สมบูรณ์ไปด้วยธาตุและสารอินทรีย์ต่างๆที่แบคทีเรียต้องการเล็กน้อยแต่จำเป็น
Yield	ผลผลิตของจุลินทรีย์ที่ประเมินจากสับสเตรทที่บริโภค

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ประเภทของการบำบัดน้ำเสีย.....	1-1
1.1.1 การบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ.....	1-1
1.1.2 การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ.....	1-2
1.2 ปฏิบัติการบำบัดน้ำเสีย.....	1-3
1.3 ความหมายของระบบไม่ใช้อากาศ.....	1-5

บทที่ 2 กลไกของเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ

2.1 กลไกพื้นฐานของกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	2-1
2.2 กลไกของการสร้างมีเทน.....	2-4
2.2.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis).....	2-5
2.2.2 การสร้างกรด (Acidogenesis).....	2-7
2.2.3 การสร้างมีเทน (Methanogenesis).....	2-12
2.3 ชัลเฟตรีดักชัน.....	2-13
2.4 กลไกของไนเตรตรีดักชัน.....	2-16

บทที่ 3 แนวคิดและมุมมองใหม่ของการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ

3.1 บทบาทของระบบไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม.....	3-1
3.1.1 การใช้ระบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดขั้นแรก (P Primary Treatment).....	3-2
3.1.2 การกำจัดโลหะหนักและชัลเฟตในน้ำ ด้วยกระบวนการชัลเฟตรีดักชัน.....	3-5

สารบัญ (ต่อ)

3.1.3 การกำจัดไนเตรทด้วยระบบไม่ใช้อากาศ.....	3-11
3.1.4 การกำจัดฟอสฟอรัสด้วยระบบไม่ใช้อากาศ.....	3-11
3.2 การใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียเกษตรกรรม.....	3-14
3.3 การใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชน.....	3-17
3.4 การใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดขยะมูลฝอยชุมชน.....	3-19

บทที่ 4 สถานะภาพของเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ

4.1 ความนิยมใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในต่างประเทศ	
เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน.....	4-1
4.1.1 สถานะการบำบัดน้ำเสียชุมชนของโลก.....	4-1
4.1.2 การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบไม่ใช้อากาศ	
แบบอัตราสูงในประเทศต่างๆ.....	4-10
4.1.3 การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบไม่ใช้อากาศในประเทศไทย.....	4-11
4.2 สถานะการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมของโลกด้วยระบบไม่ใช้อากาศ.....	4-14
4.2.1 สถานะการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ สัตว์ปีก นม	
และปลาแปรรูป.....	4-19
4.2.2 สถานะการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผักผลไม้แปรรูป	
น้ำผลไม้ เครื่องดื่มและสิ่งทอ.....	4-19
4.2.3 สถานะการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีการกลั่นและหมัก.....	4-22
4.2.4 สถานะการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมกระดาษ	
และเยื่อกระดาษ.....	4-22

สารบัญ (ต่อ)

4.2.5	สถานะการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตสารอินทรีย์เคมีพลาสติก และเรซิน กลั่นปิโตรเลียม ฯลฯ.....	4-25
4.3	ความนิยมใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในประเทศต่างๆ.....	4-25
4.3.1	ความนิยมใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในประเทศต่างๆ.....	4-29
4.3.2	ความนิยมใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในประเทศไทย.....	4-31
4.4	ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูง.....	4-34
4.5	ศักยภาพของการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในอนาคต.....	4-40
4.5.1	แนวคิดในการประหยัดน้ำใช้ในอุตสาหกรรม.....	4-40
4.5.2	การพัฒนาของอุตสาหกรรมขั้นพื้นฐาน.....	4-41
4.5.3	แนวคิดในการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศขั้นสูง.....	4-41
4.5.4	เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศสามารถสร้างผลกำไร.....	4-41
4.5.5	การสร้างผลผลิตที่มีค่าจากของเสียด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ.....	4-42

บทที่ 5 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

5.1	แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenic Bacteria).....	5-1
5.2	แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria).....	5-1
5.3	แบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methanogenesis Bacteria).....	5-5
5.4	แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria, SRB).....	5-10

บทที่ 6 รูปแบบของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

6.1	ถังย่อยสลัดจ์ (บำบัดสลัดจ์).....	6-4
6.2	ถังย่อยแบบสัมผัส (Anaerobic Contact).....	6-6

สารบัญ (ต่อ)

6.3	ถังย่อยแบบแยกเชื้อ.....	6-7
6.4	เครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศ (AF หรือ Anaerobic Filter).....	6-8
6.5	ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (AFB หรือ Anaerobic Fluidized Bed).....	6-10
6.6	ระบบยูเอเอสบี (UASB หรือ Upflow Anaerobic Sludge Blanket).....	6-11
6.7	EGSB หรือ Expanded Granular Sludge Bed.....	6-13
6.8	ระบบจานหมุนชีวภาพไม่ใช้อากาศ (AnRBC หรือ Anaerobic Rotating Biological Contactor).....	6-16
6.9	ระบบแผ่นกั้นไม่ใช้อากาศ (ABR หรือ Anaerobic Baffled Reactor).....	6-17
6.10	AnSBR หรือ Anaerobic Sequencing Batch Reactor.....	6-18
6.11	บ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ.....	6-20
บทที่ 7 การพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเพื่อบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม		
7.1	ประเภทของน้ำเสีย.....	7-1
7.2	ความเข้มข้นของน้ำเสีย.....	7-2
7.2.1	น้ำเสียความเข้มข้นสูง.....	7-2
7.2.2	น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ.....	7-5
7.2.3	อุณหภูมิของน้ำเสีย.....	7-7
7.2.4	คุณภาพของน้ำทิ้ง.....	7-9
7.2.5	ความเข้มข้นของสารแขวนลอย (SS).....	7-9
7.2.6	สารพิษในน้ำเสีย.....	7-11
7.2.7	สารอาหารที่อาจต้องเพิ่มเติม.....	7-14
7.3	น้ำเสียที่ต้องระวังในการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ.....	7-15
7.4	น้ำเสียอุตสาหกรรมที่สามารถบำบัดได้ด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ.....	7-16
เอกสารอ้างอิง		

บทที่ 1

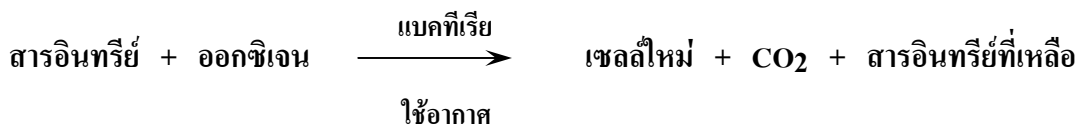
บทนำ

1.1 ประเภทของการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียและสลัดจ์อินทรีย์มี 2 วิธีคือ แบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศ การบำบัดแบบใช้อากาศอาศัยแบคทีเรียที่หายใจด้วยออกซิเจนในอากาศ ส่วนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศอาศัยแบคทีเรียที่หายใจด้วยสารอย่างอื่นที่ไม่ใช้อากาศ เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียและสลัดจ์จึงแบ่งออกเป็น 2 อย่างคือ เทคโนโลยีแบบใช้อากาศ และไม่ใช้อากาศ

1.1.1 การบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ

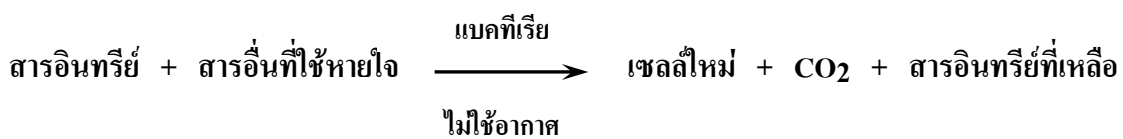
การบำบัดน้ำเสียมักหมายถึง การกำจัดสารอินทรีย์ (ซีโอดีและบีโอดี) ที่อยู่ในน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศอาศัยแบคทีเรียที่หายใจด้วยออกซิเจน (ในอากาศ) เป็นผู้ทำลายหรือกินสารอินทรีย์



ภายหลังการบำบัดสารอินทรีย์หรือซีโอดีจะเหลือน้อยมาก และมีเซลล์ใหม่ของแบคทีเรียเกิดขึ้นมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ การบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

1.1.2 การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศอาศัยแบคทีเรียที่หายใจด้วยสารอื่นที่ไม่ใช่
 อากาศเป็นผู้ทำลายสารอินทรีย์ แบคทีเรียชนิดนี้จึงไม่เหมือนกับแบคทีเรียที่
 หายใจด้วยอากาศ



ภายหลังการบำบัด สารอินทรีย์จะเหลืออยู่มาก แต่จะมีเซลล์ใหม่เกิดขึ้นน้อย
 โดยทั่วไป มักเข้าใจกันว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศหมายถึงระบบไม่
 ใช้อากาศที่ผลิตกาซมีเทนซึ่งเป็นระบบที่อาศัยแบคทีเรียที่หายใจด้วย CO₂ การ
 บำบัดน้ำเสียจึงเขียนแทนได้ด้วยสมการดังนี้

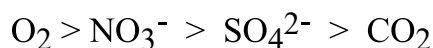


แต่แท้ที่จริงแล้ว ในโลกของแบคทีเรียไม่ใช้อากาศยังมีแบคทีเรียอื่นที่ไม่ได้
 หายใจด้วย CO₂ หรือ O₂ อีกหลายชนิด แบคทีเรียเหล่านั้นมีชีวิตอยู่ได้โดยหายใจ
 สารอื่น เช่น NO₃, SO₄, Fe₂O₃, FeOOH, MnO₂ เป็นต้น

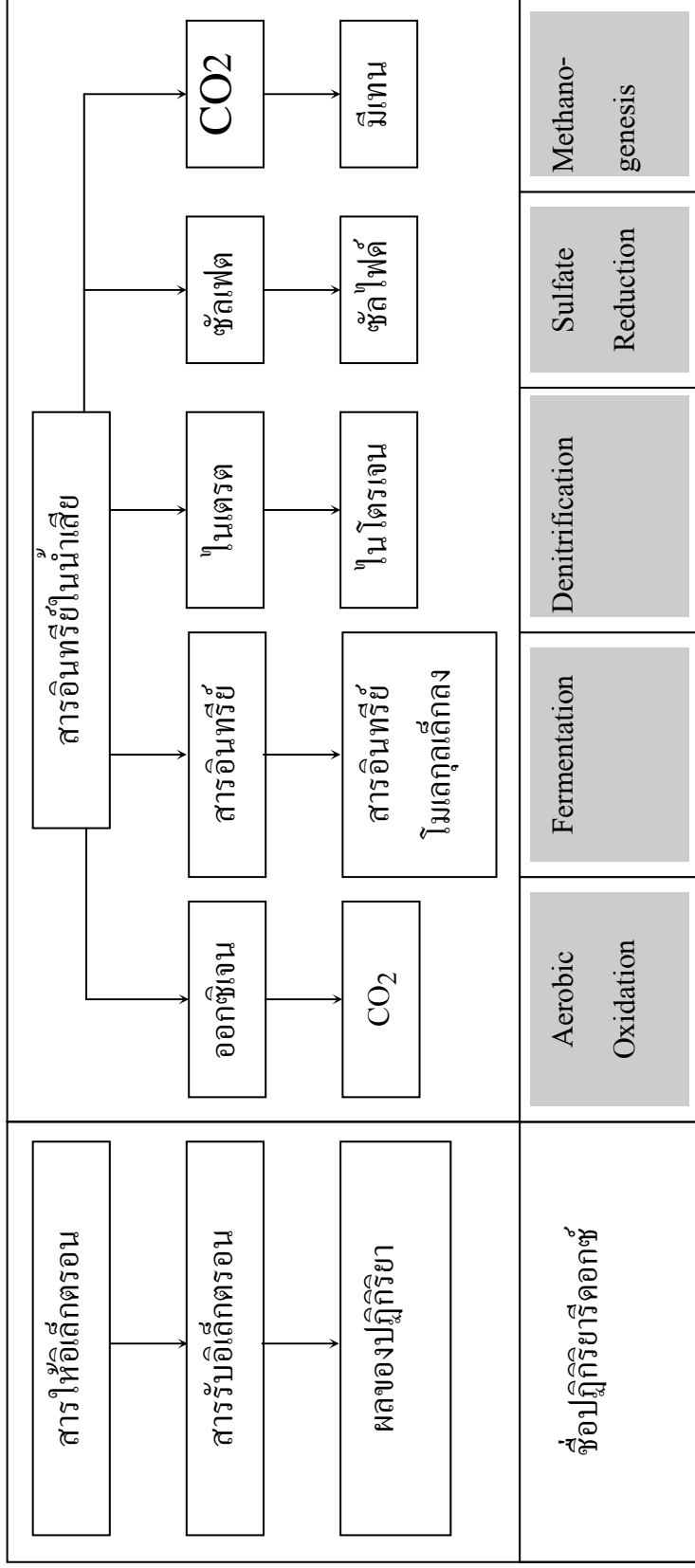
1.2 ปฏิกริยาการบำบัดน้ำเสีย

ปฏิกิริยาการบำบัดน้ำเสีย ไม่ว่าจะเป็นแบบใช้อากาศหรือไม่ใช้อากาศล้วนแต่มีกลไกพื้นฐานร่วมกัน กล่าวคือ ทั้งคู่เป็นปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชัน-รีดักชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างสารให้อิเล็กตรอน สารอินทรีย์หรือมลสารในน้ำเสียจะเป็นสารให้อิเล็กตรอน (เนื่องจากมีพลังงานอยู่ในตัวสูง) และสารอย่างอื่นที่มีอยู่ในน้ำเป็นสารรับอิเล็กตรอน ความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาใช้อากาศและไม่ใช้อากาศอยู่ที่ประเภทของสารรับอิเล็กตรอน ดังรูปที่ 1.1

จะเห็นได้ว่า ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจนอิสระ(O_2) ปฏิกิริยาก็เป็นแบบใช้ออกซิเจนหรือแอโรบิก แต่ถ้าสารรับอิเล็กตรอนไม่ใช่ออกซิเจนอิสระเป็นซัลเฟต(SO_4^{2-}) หรือไนเตรต (NO_3^-) หรือคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ปฏิกิริยาก็เป็นแบบไม่ใช้อากาศ ปัจจัยที่จะตัดสินว่าภายในระบบฯ จะมีสารใดเป็นตัวรับอิเล็กตรอนนั้น ข้อหนึ่งที่น่าสนใจคือ พลังงานที่แบคทีเรียจะได้รับจากการใช้สารรับอิเล็กตรอนตัวนั้น ซึ่งสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้



และส่งผลไปถึงปริมาณเนื้อเซลล์แบคทีเรียที่จะเกิดขึ้นตามลำดับของพลังงานที่ได้รับอีกด้วย



รูปที่ 1.1 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย (ปรับปรุงจาก มั่นสิน ตันตกุลเวศม์, 2542)

1.3 ความหมายของระบบไม่ใช้อากาศ

ในความหมายของวิศวกรที่ปรึกษา “ระบบไม่ใช้อากาศ” หมายถึง ระบบชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสีย (หรือสลัดจ์) ทุกแบบที่ไม่ได้ใช้ออกซิเจนอิสระเป็นตัวสุดท้ายในการรับอิเล็กตรอน ในปัจจุบัน “ระบบไม่ใช้อากาศ” หมายถึง ระบบบำบัดชีวภาพที่ใช้กระบวนการชีวเคมีต่อไปนี้

- มีเทนเฟอร์เมนเตชัน (Methane Fermentation)
- ซัลเฟตรีดักชัน (Sulfate Reduction)
- ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)
- เฟอร์เมนเตชัน (Fermentation)

ระบบที่เดินต่อเนื่อง(ต้องเปิดเครื่องเติมอากาศตลอดเวลา)และบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน จึงมีการปรับปรุงระบบให้เป็นแบบทีละเท (Batch) ซึ่งในขณะที่ระบบ “ไม่มีการเติมอากาศ” ก็ถูกมองว่าเป็นระบบแบบไม่ใช้อากาศด้วยเพราะถือว่าช่วงที่ไม่มีการเติมอากาศนั้น จะไม่มีออกซิเจนอิสระอยู่ในน้ำ (หรือมีน้อยมาก) จนแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศมีบทบาทเด่นขึ้นมา

ความแตกต่างของปฏิกิริยาบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ อาจจำแนกได้โดยใช้ระดับออกซิเจนละลายและระดับโออาร์พี (ORP) ได้ ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ระดับออกซิเจนละลาย (DO) และโออาร์พีของปฏิกริยาบำบัดน้ำเสีย

ปฏิกริยาบำบัด น้ำเสียหรือสลัดจ์	ประเภทของ ระบบบำบัด	ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)	โออาร์พี (มิลลิโวลต์)
ออกซิเดชัน	ใช้อากาศ	มากกว่า 1-2	> +100
ดีไนตริฟิเคชัน	ไม่ใช้อากาศ	0-0.5	0 ถึง +100
เฟอร์เมนเตชัน	ไม่ใช้อากาศ	0	0 ถึง -100
การสร้างกรดอินทรีย์ระเหย	ไม่ใช้อากาศ	0	-100 ถึง -200
ซัลเฟตรีดักชัน	ไม่ใช้อากาศ	0	น้อยกว่า -200
การสร้างมีเทน	ไม่ใช้อากาศ	0	น้อยกว่า -200

บทที่ 2

กลไกของเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ

2.1 กลไกพื้นฐานของกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

กลไกพื้นฐานในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ไม่ว่าจะเป็นแบบใช้อากาศหรือไม่ใช้อากาศก็ตามจะมีลักษณะเหมือนกันคือเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชันรีดักชัน (รีดอกซ์) ปฏิกิริยารีดอกซ์หมายถึง ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างสารให้อิเล็กตรอนและสารรับอิเล็กตรอน สารให้อิเล็กตรอนในน้ำเสียส่วนใหญ่มักเป็นสารอินทรีย์ ส่วนสารรับอิเล็กตรอนในน้ำเสียมักเป็นสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่สารอินทรีย์ เช่น ออกซิเจน, ไนเตรทหรือซัลเฟต เป็นต้น การถ่ายเทอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์จะได้พลังงานเกิดขึ้นจำนวนหนึ่ง พลังงานที่เกิดขึ้นนี้ส่วนหนึ่งสูญเสียไปในรูปของพลังงานความร้อน อีกส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ในการดำรงชีวิตและสร้างเซลล์ใหม่ ดังนั้นสารอินทรีย์จึงเป็นทั้งแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนของจุลชีพ แต่สารรับอิเล็กตรอนในน้ำเสียมีหลายชนิด ผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็ต่างกันไปตามชนิดของสารรับอิเล็กตรอน เช่น ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่เรียกว่า Aerobic Oxidation ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นไนเตรท ก็จะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันขึ้น เป็นต้น สามารถแบ่งชนิดของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของแบคทีเรียออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามสารรับอิเล็กตรอน คือ

ก. การหมัก (Fermentation) คือ ปฏิกิริยารีดอกซ์ของสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในภาวะที่ไม่มีสารรับอิเล็กตรอนภายนอก

ข. การหายใจ (Respiration) คือ ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่มีสารรับอิเล็กตรอนภายนอก เป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ซึ่งสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีก 2 ประเภท

- Aerobic Respiration เป็นการหายใจที่มีโมเลกุลของออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย

- Anaerobic Respiration เป็นการหายใจที่ไม่ใช้ออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย สารรับอิเล็กตรอนที่ใช้ในกรณีนี้ได้แก่ ไนเตรท ซัลเฟต หรือคาร์บอนไดออกไซด์

รายละเอียดของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสียแสดงดังรูปที่ 1.1 (ในบทที่ 1)

จากรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศแตกต่างจากระบบใช้อากาศตรงที่สารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายไม่ใช้ออกซิเจน แต่เป็นสารรับอิเล็กตรอนอื่นในน้ำเสีย เช่น ไนเตรท, ซัลเฟตหรือคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย สิ่งที่จะกำหนดว่าจะมีปฏิกิริยาชนิดใดเกิดขึ้นก็คือ สภาพของน้ำเสียในขณะนั้น ว่ามีสารให้และสารรับอิเล็กตรอนชนิดใดในน้ำเสีย พีเอช และอุณหภูมิเท่าใด พิจารณาแหล่งน้ำแห่งหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิ,พีเอชมีปริมาณธาตุอาหารและปริมาณสารอินทรีย์อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้มีระดับน้ำที่ไม่สูงนัก ทำให้ออกซิเจนสามารถละลายลงไปในดินตะกอนใต้น้ำ บริเวณนี้จะมีจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายอาศัยอยู่ ดำรงชีพด้วยการใช้สารอินทรีย์ในน้ำบริเวณนั้นเป็นสารอาหาร จุลินทรีย์กลุ่มอื่น เช่น แบคทีเรียที่ใช้ไนเตรทหรือซัลเฟตจะไม่สามารถอาศัยอยู่ได้

เนื่องจากการใช้ออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนจะได้พลังงานสูงกว่าการใช้ไนเตรทหรือซัลเฟตมาก ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มอื่นเจริญเติบโตและแย่งใช้สารอินทรีย์ในน้ำสู้กับพวกที่ใช้ออกซิเจนไม่ได้ แม้น้ำในบริเวณนั้นจะมีไนเตรทหรือซัลเฟตอยู่ก็ตาม ในคืนที่ลึกลงไปออกซิเจนในน้ำจะเริ่มลดลงเนื่องจากออกซิเจนจากอากาศแพร่ลงไปได้น้อยลง และจากการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์กลุ่มอื่นจะเจริญเติบโตขึ้นมาแทนที่โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ไนเตรทเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายจะเป็นกลุ่มต่อไปที่เจริญเติบโตขึ้นมา เนื่องจากการใช้ในเตรทเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายได้พลังงานรองลงมาจากออกซิเจนเช่นเดียวกัน ในบริเวณที่ไนเตรทเริ่มหมดไป จุลินทรีย์กลุ่มอื่น ได้แก่ พวกที่ใช้ซัลเฟต, คาร์บอนไดออกไซด์ และสารอินทรีย์เป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายจะเจริญเติบโตขึ้นมาแทน แต่จุลินทรีย์กลุ่มใดจะเป็นกลุ่มเด่นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเพราะจุลินทรีย์ทั้งสามกลุ่มนี้มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันเป็นอย่างมากทั้งการพึ่งพาอาศัยกันและแข่งขันกัน

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศก็เป็นเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในธรรมชาติในบริเวณที่ไม่มีออกซิเจน แต่สิ่งที่ระบบบำบัดน้ำเสียต่างออกไปจากธรรมชาติก็คือ ปริมาณของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียจะมีมากกว่าในธรรมชาติมาก สารอินทรีย์ถูกทำให้ลดลงได้ในเวลาที่รวดเร็วโดยจุลินทรีย์จำนวนมากในระบบ แต่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบที่ซับซ้อนมีกลุ่มจุลินทรีย์อาศัยอยู่ร่วมกันมากมายหลายกลุ่ม ความสัมพันธ์ของกลุ่มจุลินทรีย์เหล่านี้มีทั้งการพึ่งพาอาศัยกันและการแข่งขันกัน สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนรูปไปเนื่องจากการย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์หลายๆกลุ่มต่อกัน ผลกระทบที่เกิดจากการย่อยสลายของกลุ่มจุลินทรีย์หนึ่งจะถูกย่อยสลายต่อโดยกลุ่ม

จุลชีพอีกกลุ่มหนึ่ง เกิดเป็นความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถใช้ได้โดยจุลชีพหลายกลุ่มซึ่งใช้สารอาหารชนิดเดียวกันก็ทำให้เกิดความสัมพันธ์แบบแข่งขันกันขึ้น กลุ่มจุลชีพหลายกลุ่มที่อาศัยอยู่ร่วมกันและมีปฏิสัมพันธ์กันเหล่านี้เองที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์และเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปต่างๆ เช่น กรดอินทรีย์, มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ซัลไฟด์ เป็นต้น แต่สารอินทรีย์ในระบบจะถูกใช้โดยจุลชีพกลุ่มใดและถูกใช้ไปในสัดส่วนเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมซึ่งจะส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งโดดเด่นที่สุดในระบบ ถ้าหากพิจารณาในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศโดยทั่วไปที่ผลิตมีเทน จุลชีพกลุ่มที่โดดเด่นที่สุดในระบบก็คือแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียสร้างกรดที่ทำงานร่วมกันได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นกาซมีเทน

ดังนั้นพื้นฐานของการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไม่ใช้อากาศก็คือการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยารีดอกซ์โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้อากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสภาวะของน้ำเสียกับปริมาณและชนิดของแบคทีเรียในระบบ

2.2 กลไกของการสร้างมีเทน

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ไม่มีไนเตรตอยู่ด้วยจะมีแบคทีเรียอาศัยอยู่ในระบบร่วมกัน 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ แบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียสร้างมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต สาเหตุที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีแบคทีเรียหลายกลุ่มอาศัยอยู่ร่วมกันเป็นเพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้สารอาหารได้จำกัดชนิด ซึ่งมักเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุล

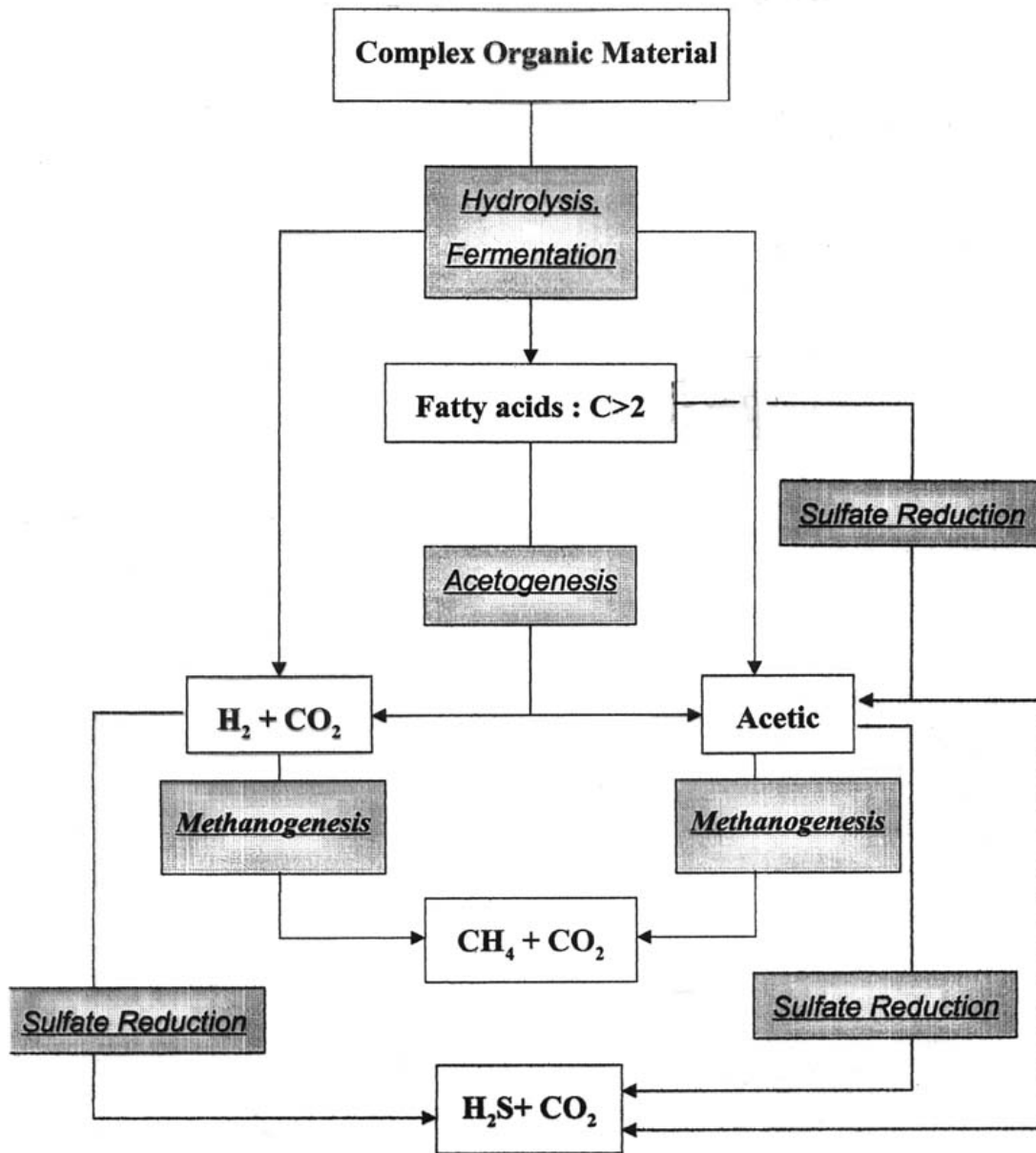
เล็ก ทำให้แบคทีเรียสร้างกรดใช้สารอินทรีย์ได้ก่อนและเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นกรดอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ต่อจากนั้นแบคทีเรียรีดิคิวซ์-ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนจึงใช้กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นนั้นต่อไป

สารอินทรีย์ที่เข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ จะถูกย่อยสลายผ่านขั้นตอนต่างๆ (ดูรูปที่ 2.1) ดังนี้

2.2.1. ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

แบคทีเรียใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน แต่การนำเอาสารอินทรีย์ไปใช้ของแบคทีเรีย จะต้องขนส่งสารอินทรีย์เข้าสู่เซลล์เสียก่อน จากนั้นจึงจะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นภายในเซลล์และได้พลังงานในการดำรงชีวิต และเจริญเติบโตดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ การขนส่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดเข้าสู่เซลล์มีความยากง่ายต่างกัน สารอินทรีย์ขนาดใหญ่จะไม่สามารถขนส่งเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายให้ขนาดโมเลกุลเล็กลงก่อน ทำให้สารโมเลกุลใหญ่ขนส่งเข้าสู่เซลล์ได้ยากกว่าสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก

ในกระบวนการไม่ใช้อากาศ แบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียสร้างกรดจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ เช่น ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น ให้มีขนาดเล็กลง โดยการผลิตเอนไซม์ขึ้นภายในเซลล์และปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ เอนไซม์ที่ออกมาจะช่วยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารอินทรีย์และช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น แต่เอนไซม์เป็นโปรตีนที่มีความเฉพาะเจาะจงต่อปฏิกิริยาและตัวทำปฏิกิริยา ดังนั้นแบคทีเรียต้องสร้างเอนไซม์ที่ใช้ได้เฉพาะกับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เช่น ต้องใช้อะไมเลส



ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสถานะไร้ออกซิเจน

เมื่อมีซัลเฟตในน้ำเสีย [2]

รูปที่ 2.1 กลไกสร้างมีเทน และซัลไฟต์ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

(Speece,R.E 1996)

(amylase) ย่อยสลายแป้งและไกลโคเจนให้เป็นน้ำตาล หรือใช้เอนไซม์ไลเปส (lipase) และเอสเตอเรส (esterases) ย่อยสลายไขมันและไลปิดให้เป็นกลีเซอรอล และกรดไขมัน หรือต้องเอนไซม์โปรตีเอส (protease) ย่อยสลายโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโน เป็นต้น

ขั้นตอนไฮโดรไลซิสนี้เป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างช้าและเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของปฏิกิริยา ความเร็วของปฏิกิริยาจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาเคมี ความเข้มข้นเอนไซม์ อุณหภูมิ พีเอช พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น ทำให้เวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารแต่ละชนิดแตกต่างกัน

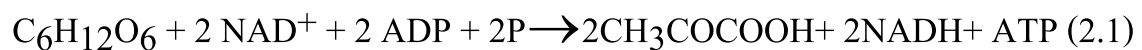
2.2.2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

หลังจากขั้นตอนไฮโดรไลซิส สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกย่อยให้เล็กลง กลายเป็นสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลเล็กและถูกแบคทีเรียสร้างกรดขนส่งเข้าสู่เซลล์ แบคทีเรียที่ทำหน้าที่สร้างกรดในกระบวนการไม่ใช้อากาศเป็นพวก Obligate Anaerobes และ Facultative แต่แบคทีเรียพวก Obligate Anaerobes มีจำนวนมาก่มาก จึงเป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักที่ทำหน้าที่ผลิตกรด ซึ่งได้แก่ แบคทีเรียหลายๆกลุ่มของ Pseudomonas, Flavobacterium, Alcaligenes, Escherichia และ Aerobacter

หลังจากสารอินทรีย์ถูกขนส่งเข้าสู่เซลล์แล้วจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนโดยผ่านกระบวนการหมักภายในเซลล์ เปลี่ยนสารอินทรีย์ที่เข้าสู่เซลล์ให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย คาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว เช่น

กรดอะซิติค กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก เป็นต้น กระบวนการหมักภายในเซลล์ที่สำคัญมากสำหรับสิ่งมีชีวิต คือ การหมักกลูโคสเป็นไพรูเวตโดยผ่านวิถีทางชีวเคมีที่เรียกว่า Emden-Meyerhof Pathway หรือวิถีไกลโคไลซิส

กลูโคสจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นกรดไพรูวิก ดังนี้



แต่ละโมลของกลูโคสจะผลิตกรดไพรูวิก 2 โมล และ ATP 1 โมล โคเอนไซม์ NAD^+ จะถูกใช้เพื่อพาหะของอิเล็กตรอนและไฮโดรเจน ทำให้เกิด $NADH$ เนื่องจาก NAD^+ มีจำกัด จึงต้องมีวิธีปลดปล่อย H^+ ออกจาก $NADH$ ให้กลายเป็น NAD^+ ใหม่ เพื่อให้มีพาหะสำหรับขนส่งอิเล็กตรอนตลอดไป โดยปฏิกิริยาฟีนอานาจของ NAD^+ เกิดขึ้นได้ดังนี้

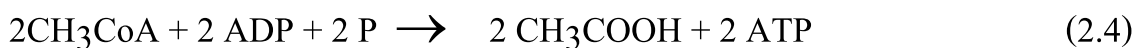


สมการ (2.2) สามารถเกิดขึ้นเองได้ทราบเท่าที่ H_2 (ในค่านวของสมการ) สามารถหนีออกไปจากปฏิกิริยาได้ ถ้าไฮโดรเจนที่อยู่ในบรรยากาศเหนือน้ำมีความดันพาร์เซี่ยลต่ำจนทำให้ไฮโดรเจนละลายน้ำได้น้อยมาก ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในสมการ (2.2) ก็จะหนีจากน้ำสู่บรรยากาศได้ง่าย ทำให้สมการ (2.2) สามารถเกิดจากซ้ายไปขวาได้เอง ทำให้มีการคืนกลับของ NAD^+ เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

กรดไพรูวิกที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์ต่อไป กลายเป็นอะเซทิล โคเอ (CH₃CoA) ดังนี้



NAD⁺ ก็ยังทำหน้าที่เป็นตัวพาหะของอิเล็กตรอนอีกเหมือนเคย อะเซทิล โคเอจะถูกลดสลายต่อไป กลายเป็นกรดอะซิติก พร้อมกับการสร้าง ATP ดังนี้

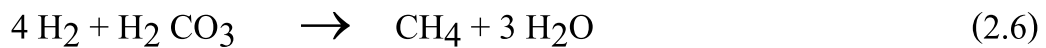


เมื่อรวมสมการ (2.2), (2.3) และ (2.4) เข้าด้วยกัน จะได้ปฏิกิริยาเฟอร์เมนเตชันที่สมบูรณ์ดังนี้



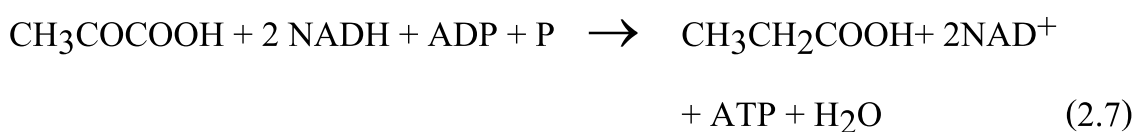
จะเห็นได้ว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของกลูโคส 1 โมล จะได้กรดอะซิติก 2 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมล ไฮโดรเจน 4 โมล และ ATP 4 โมล ทั้งนี้ปฏิกิริยาของสมการ (2.5) จะเกิดขึ้นภายใต้บรรยากาศที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำมากเท่านั้น

เมื่อปฏิบัติการไม่ใช้อากาศสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะถูกใช้ผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียที่เรียกว่า ผู้บริโภคนไฮโดรเจน หรือ H_2 Utilizer (ซึ่งเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนชนิดหนึ่ง)

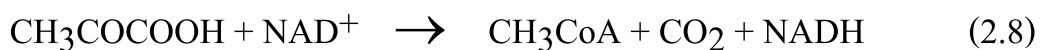


เป็นผลทำให้ความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำเสมอ

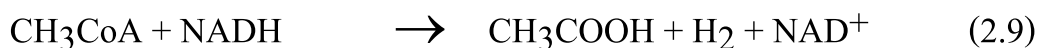
อย่างไรก็ตาม หากมีปัญหาเกิดขึ้นทำให้แบคทีเรียบริโภคนไฮโดรเจนหรือ H_2 Utilizer ไม่สามารถดำรงอยู่ได้ หรือไม่มีแบคทีเรียชนิดนี้อาศัยอยู่ในถังหมักไม่ใช้อากาศ ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นก็จะไม่ถูกนำไปใช้ประโยชน์และมีการสะสมตัวของไฮโดรเจน จนกระทั่งความดันพาร์เซียลมีค่าสูง ผลกระทบจะเกิดขึ้นกับการปลดปล่อย H^+ ออกจาก NADH นั่นคือวิธีการปลดปล่อย H^+ แบบปกติ (ดูสมการ (2.2)) จะไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้ เนื่องจาก H_2 ไม่สามารถหนีไปจากปฏิกิริยาได้ แบคทีเรียชนิดไม่สร้างมีเทนจึงต้องใช้วิธีการอื่นในการฟื้นอำนาจของ NADH เพื่อให้ปฏิกิริยาเฟอร์เมนเตชันสามารถเกิดขึ้นต่อไปได้ วิธีการที่ใช้คือ สร้างปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองได้และใช้เป็นปฏิกิริยาควบคู่ในการเปลี่ยน NADH ให้กลายเป็น NAD^+ ปรากฏว่าการเปลี่ยนกรดไพรูวิกให้กลายเป็นกรดพรอพิออนิกสามารถทำให้ NADH ปลดปล่อย H^+ ได้ดังนี้



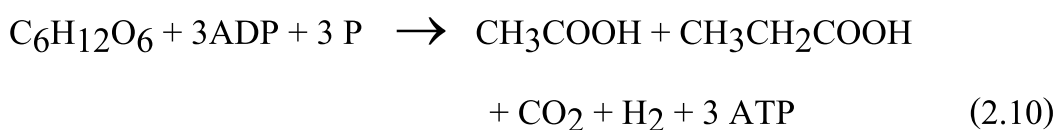
จะเห็นได้ว่ากรดไพรูวิกเพียง 1 โมลสามารถใช้ปลดปล่อย H^+ จาก NADH 2 โมล ซึ่งได้จากการย่อยสลายกลูโคสในขั้นตอนแรกของปฏิกิริยาเฟอร์เมนเตชัน แต่กลูโคส 1 โมลใช้ผลิตกรดไพรูวิกได้ 2 โมล จึงยังมีกรดไพรูวิกเหลืออีก 1 โมล ซึ่งจะถูกย่อยสลายเป็น Acetyl CoA (CH_3CoA) ไปตามปกติ ดังนี้



เมื่อถึงขั้นตอนนี้ ก็มีปัญหาในการฟื้นอำนาจให้กับ NADH อีกเหมือนเดิม กล่าวคือ ถ้าความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ การปลดปล่อย H^+ จาก NADH ก็คงเป็นวิธีปกติ (ตามสมการ 2.8) แต่ถ้าความดันพาร์เชียลมีค่าสูง การปลดปล่อย H^+ จะต้องเกิดขึ้นควบคู่กับการเปลี่ยน Acetyl CoA ให้เป็นกรดอะซิติก ดังนี้



เมื่อรวมสมการ 2.1, 2.3, 2.8 และ 2.9 เข้าด้วยกัน จะได้ สมการเฟอร์เมนเตชัน ที่ใช้ย่อยสลายกลูโคส 1 โมลภายใต้สภาวะหรือบรรยากาศที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง ดังนี้

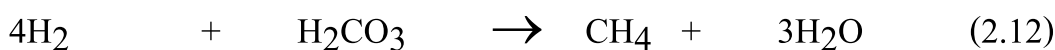
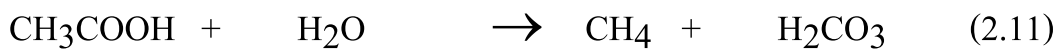


นั่นคือแต่ละโมลของกลูโคสสามารถผลิตกรดอะซิติก 1 โมล กรดพรอพิโอนิก 1 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมล ไฮโดรเจน 1 โมล และ ATP 3 โมล

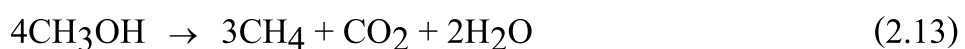
เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 2.6 และ 2.7 จะเห็นได้ว่าการย่อยแบบไม่ใช้อากาศภายใต้สภาวะที่มีความดันพาร์เซียลต่ำ จะให้ ATP 4 โมลและผลิตกรดอะซิติก 2 โมล (ไม่มีกรดพรอพิโอนิก เกิดขึ้น) แต่ถ้าความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนสูง จะได้ ATP เพียง 3 โมล และสร้างกรดอะซิติกและพรอพิโอนิก อย่างละ 1 โมล

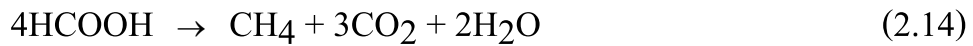
2.2.3 การสร้างมีเทน(Methanogenesis)

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียใช้สร้างกาซมีเทนภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศอย่างเด็ดขาด



กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียจะต้องเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนเสียก่อน จึงจะใช้ผลิตมีเทนได้ นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียอาจใช้สับสเตรตอย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิดในการผลิตมีเทน เช่น เมทานอล, กรดฟอร์มิก (HCOOH)





2.3 ซัลเฟตรีดักชัน

ในการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศของน้ำเสียที่มีซัลเฟต, ซัลไฟต์, ไฮโดรซัลเฟตหรือสารประกอบซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปออกซิไดซ์ ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นจะมี 2 อย่างคือ ปฏิกริยาสร้างมีเทน (Methanogenesis) และปฏิกริยาซัลเฟตรีดักชัน (ดูรูปที่ 2.1)

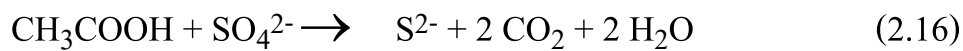
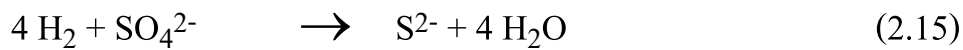
ซัลเฟตรีดักชันเป็นกระบวนการไม่ใช้อากาศแบบเด็ดขาดที่อาศัยแบคทีเรียรีดิวซิงซัลเฟต (SRB) ทำหน้าที่ย่อยสลายไฮโดรเจนหรือสารประกอบอะซิเตท หรือสารอินทรีย์อื่น (ใช้เป็นสารให้อิเล็กตรอน) และมีซัลเฟต, ซัลไฟต์หรือไฮโดรซัลเฟตเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ผลสุดท้ายของปฏิกริยาจะสร้างซัลไฟด์จากการทำซัลเฟตรีดักชัน

แม้ว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีจุดมุ่งหมายในการผลิตมีเทน แต่ถ้าน้ำเสียมียซัลเฟตหรือซัลไฟต์ ปฏิกริยาซัลเฟตรีดักชันจะเกิดขึ้นได้เสมอ เพราะให้พลังงานมากกว่าปฏิกริยาสร้างมีเทน

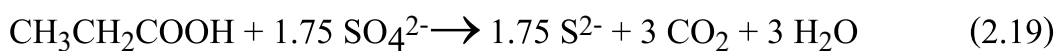
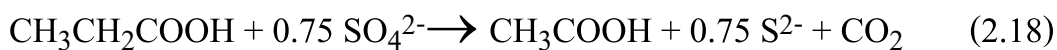
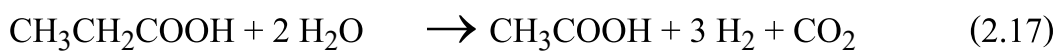
SRB อาจแบ่งได้เป็น 3 พวก คือ

- SRB ที่กำจัดไฮโดรเจน
- SRB ที่กำจัดอะซิเตท
- SRB ที่กำจัดกรดอินทรีย์ระเหยโมเลกุลใหญ่

SRB ที่ออกซิไดซ์ไฮโดรเจนและอะซิเตท (เป็นสารให้อิเล็กตรอน) มักไม่มีปัญหา เพราะปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์



แต่ถ้าน้ำเสียมีกรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ปฏิกิริยาออกซิเดชันอาจเกิดขึ้นได้สมบูรณ์หรือไม่สมบูรณ์ก็ได้



การเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชัน และสร้างซัลไฟด์ก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ดังนี้

- ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง เนื่องจากมีซัลไฟด์เกิดขึ้นในน้ำทิ้งของกระบวนการไม่ใช้อากาศ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1 กรัม สามารถวัดเป็นซีโอดีได้ 2 กรัม ทำให้จำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำทิ้งที่มีซัลไฟด์
- บางส่วนของซัลไฟด์กลายเป็น H_2S ในกาซชีวภาพ ถ้ามีการนำเอากาซชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิง การกำจัด H_2S ออกจากกาซชีวภาพก็เป็นเรื่องจำเป็นหรือถ้ามีการเผากาซชีวภาพก็จะเกิดกาซ SO_2 ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศ

- การเกิดซัลเฟตรีดักชันต้องแบ่งสารอินทรีย์บางส่วนจากน้ำเสีย มีผลทำให้แหล่งคาร์บอนสำหรับสร้างมีเทนลดน้อยลงไปตามส่วน ผลผลิตกาซมีเทนจะลดน้อยลงด้วย
- การเกิดซัลไฟด์ในน้ำทิ้งและในกาซชีวภาพ สร้างปัญหากรดกำมะถันและสร้างกลิ่นเหม็น
- ซัลไฟด์เป็นพิษต่อแบคทีเรียไม่ใช้อากาศต่างๆ เช่น MPB, APB และ SRB ถ้ามีความเข้มข้นซัลไฟด์สูง ระบบบำบัดต้องทำงานที่ภาระอินทรีย์ต่ำ มิฉะนั้นระบบจะล้มเหลวหรือระบบจะมีประสิทธิภาพต่ำ

นอกจากจะมีข้อเสียต่างๆ ดังกล่าว กระบวนการซัลเฟตรีดักชันมีข้อดีดังนี้

- กระบวนการซัลเฟตรีดักชันใช้กำจัดซัลเฟตออกจากน้ำเสีย แต่ควรตระหนักด้วยว่าต้องมีวิธีกำจัดซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นด้วย ในประเทศเนเธอร์แลนด์ น้ำทิ้งจะต้องมีซัลเฟตไม่เกิน 300 มก./ล.เพื่อมิให้มีซัลไฟด์เกิดขึ้นมากเกินไป
- ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นอาจนำไปใช้กำจัดโลหะหนักโดยอาศัยปฏิกิริยาสร้างผลึก (Precipitation) ดังตัวอย่างข้างล่างนี้



ในอดีต ปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันมักถูกมองเป็นเรื่องน่ารังเกียจและถือเป็นปัญหาต่อปฏิกิริยาสร้างมีเทน โดยมีความพยายามมากในการยับยั้งการเกิดซัลเฟตรีดักชันเพื่อมิให้เกิดผลเสียต่อปฏิกิริยาสร้างมีเทน อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันว่า การเกิดซัลเฟตรีดักชันไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้และจะต้องเกิดขึ้นไม่

มากก็น้อย ความพยายามในการใช้โมลิบเดตเพื่อยับยั้งการเกิดซัลเฟตรีดักชัน อาจจะได้ผลดีในห้วงปฏิบัติการ แต่ไม่ได้ผลเท่าที่ควรในงานสนาม ทั้งนี้เพราะ SRB สามารถปรับตัวเองให้ชินกับโมลิบเดตได้ นอกจากนี้ยังพบว่าโมลิบเดตเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน (MPB) วิธีที่ดีที่สุดคือให้ซัลเฟตรีดักชันเกิดน้อยที่สุด

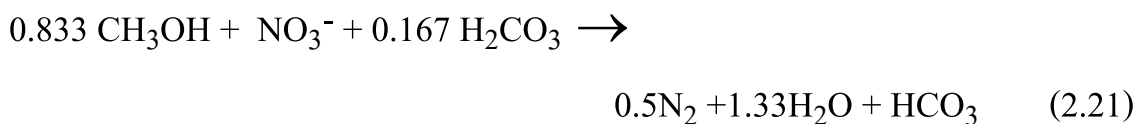
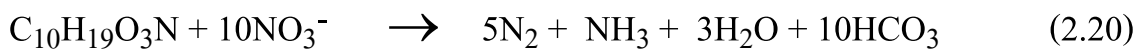
แนวคิดในปัจจุบันได้เปลี่ยนทัศนคติของนักวิชาการที่มีต่อปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชัน ผู้คนได้มองเห็นประโยชน์ของปฏิกิริยานี้มากขึ้นมีการมองถึงการนำซัลเฟตรีดักชันในการกำจัดซัลเฟตและโลหะหนักในน้ำใต้ดิน (เรื่องการบำบัดน้ำใต้ดิน กำลังเป็นหัวข้อวิจัยที่ได้ความสนใจสูงสุดในประเทศสหรัฐอเมริกาและยุโรป ทั้งนี้เพราะสารเคมีต่างๆ ที่มีการใช้กันในอดีตได้สะสมอยู่ในน้ำใต้ดิน จนมีระดับความเข้มข้นที่ส่งผลกระทบต่อผู้คนที่อยู่ข้างบนแล้ว) รวมทั้งการกำจัดซัลเฟตจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม การสกัดโลหะจากดินและการกำจัดซัลเฟอร์จากก๊าซเสีย เป็นต้น

2.4 กลไกของไนเตรตรีดักชัน

ไนเตรทสามารถเปลี่ยนเป็นไนไตรต์และไนโตรเจน(ตามลำดับ)ได้ด้วยปฏิกิริยาที่เรียกว่า ดีไนตริฟิเคชัน ในกรณีเช่นนี้ไนเตรทเป็นสารรับอิเล็กตรอน (มีบทบาทเหมือนออกซิเจนในปฏิกิริยาใช้อากาศ)ที่มีสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นสารให้อิเล็กตรอน ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันอาจแบ่งเป็น 2 ประเภทได้ตามชนิดของสารคาร์บอน ดังนี้

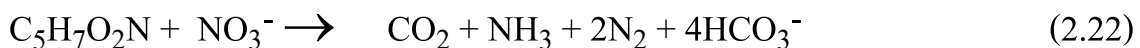
2.4.1 Substrate Nitrate Denitrification

คือไนตริฟิเคชันแบบนี้ใช้สารอินทรีย์คาร์บอนจากแหล่งใดก็ได้ที่ไม่ใช่คาร์บอนในเซลล์จุลินทรีย์ สารอินทรีย์คาร์บอนอาจเป็นซีโอดี/บีโอดีที่อยู่ในน้ำเสีย (สมการ 2.20) หรือเป็นสารเคมีที่เติมลงไปก็ได้ แหล่งสารอินทรีย์คาร์บอนที่นิยมเติมให้กับน้ำได้แก่ เมทธานอล (สมการ 2.21)



2.4.2 Endogenous Nitrate Denitrification

ในกรณีที่ไม่มีแหล่งคาร์บอนภายนอก คือไนตริฟิเคชันอาจยังเกิดขึ้นได้ ทั้งนี้โดยใช้แหล่งคาร์บอนภายในเซลล์ของจุลินทรีย์



เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาทั้งสองประเภท จะเห็นได้ว่า Substrate Denitrification เป็นปฏิกิริยาของการเจริญเติบโตของเซลล์แบบปรกติที่ได้ออกซิเจนจากไนเตรท ส่วน Endogenous Denitrification เป็นการย่อยสลายตัวเองซึ่งทั้งสองปฏิกิริยาเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่มีไนเตรทเป็นแหล่งรับอิเล็กตรอน (คล้ายกับกรณีของปฏิกิริยาใช้อากาศที่มีออกซิเจนเป็นแหล่งรับอิเล็กตรอน)

บทที่ 3

แนวคิดและมุมมองใหม่ของการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ

เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศมีกลไกการทำงานหลากหลายดังที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 ซึ่งความสามารถที่ได้จากกลไกการทำงานช่วยให้การนำเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศสามารถเกิดขึ้นได้อย่างกว้างขวาง จึงมีการนำเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศมาประยุกต์ในการบำบัดมลพิษทั้งที่เกิดจากอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร ดังเช่น

- อุตสาหกรรมต่างๆ เช่น น้ำเสียอุตสาหกรรม
- ชุมชน เช่น น้ำเสียชุมชน, ขยะชุมชน
- เกษตรกรรมและเกษตรอุตสาหกรรม เช่น น้ำเสียและของเสียจากฟาร์มต่างๆ

3.1 บทบาทของระบบไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสียมักมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตอาหารและเครื่องดื่มและอุตสาหกรรมเกษตร เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศสามารถใช้ได้ดีกับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมดังกล่าว ในปัจจุบันได้มีความพยายามในการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหารและเกษตร เช่น น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมพลาสติกและเรซิน เป็นต้น งานวิจัยต่างๆ แสดงว่า น้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหารและเกษตรก็มักมีสารอินทรีย์ (วัดได้เป็นค่า BOD และ COD) จึงสามารถบำบัดได้ด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ

เมื่อพิจารณาถึงการนำระบบไม่ใช้อากาศมาใช้บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม จะเห็นได้ว่าบทบาทของระบบไม่ใช้อากาศในฐานะเป็นระบบบำบัดขั้นแรกมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการบำบัดน้ำเสียในประเทศไทย เหตุผลต่างๆ ที่สนับสนุนแนวคิดนี้ได้แก่

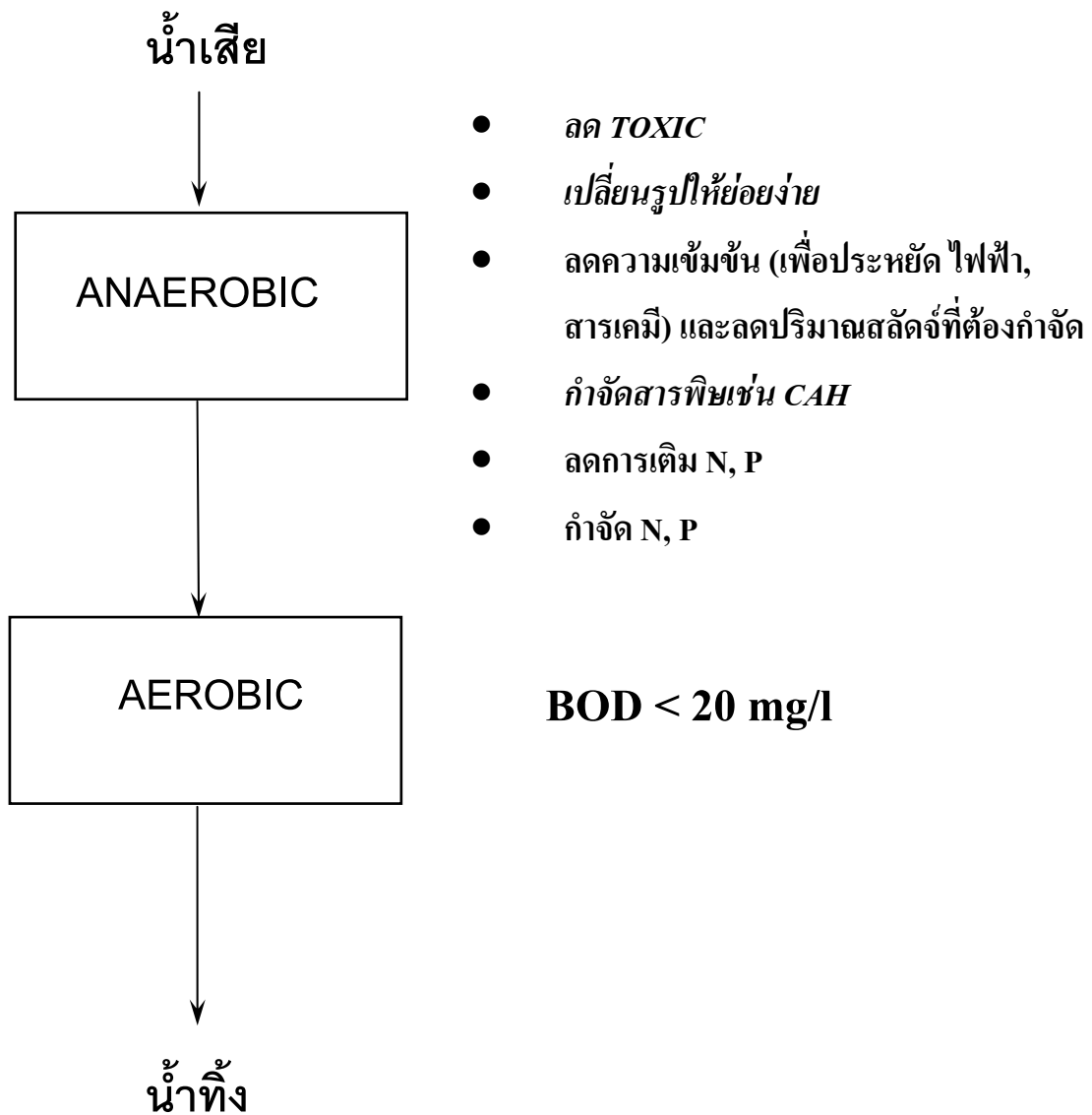
- ประหยัดค่าพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นซีโอดีสูง
- น้ำเสียอุตสาหกรรมมีส่วนประกอบต่างๆ หลากหลาย บางอุตสาหกรรมอาจมีสารรับอิเล็กทรอนิกส์อื่นที่ใช้แทนออกซิเจนอิสระได้ แบคทีเรียไม่ใช้อากาศมีมากขึ้นกว่าแบคทีเรียใช้อากาศ ดังนั้นโอกาสของการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศจึงมีมากกว่าแบบใช้อากาศ
- อุณหภูมิของประเทศเหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศทำให้ไม่ต้องเสียพลังงานในการรักษาอุณหภูมิของถังหมักไม่ใช้อากาศและมักไม่ต้องเสียพลังงานในการกวนด้วย
- การบำบัดน้ำเสียและสลัดจ์แบบไม่ใช้อากาศสามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นพลังงานและเชื้อเพลิงได้

3.1.1 การใช้ระบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดขั้นแรก (Primary Treatment)

น้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีความเข้มข้นซีโอดีสูงกว่า 1,000 มก./ล. ทำให้การบำบัดเบื้องต้นด้วยระบบไม่ใช้อากาศเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด ตัวอย่างอุตสาหกรรมที่ควรใช้ระบบไม่ใช้อากาศ ได้แก่

- แอลกอฮอล์
- ยีสต์
- เบียร์และเหล้า
- ขนมอบึงเบเกอร์
- ลูกกวาดและหมากฝรั่ง
- ชอคโกแลต
- กรดน้ำส้ม, กรดผลไม้
- นมและเนย
- น้ำผลไม้
- ก๋วยเตี๋ยวและขนมจีน
- น้ำตาล
- เครื่องดื่ม
- อาหารทะเลแช่แข็ง
- ผลไม้ดองและแช่แข็ง
- พลาสติกและเรซิน
- ฟอกย้อม
- อาหารกระป๋อง
- แป้งและแป้งตัดแปร

เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศอาจจะไม่ใช่เทคโนโลยีที่ดีที่สุดที่มีอยู่ตามที่อ้างถึงในสหรัฐอเมริกา แต่ในประเทศไทย การกล่าวว่าเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดไม่เป็นการกล่าวเกินจริงเลย ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ดีที่สุดต้องเป็นระบบผสมที่มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ระบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบนำและตามด้วยระบบใช้อากาศ (ดูรูปที่ 3.1) ระบบไม่ใช้อากาศทำหน้าที่กำจัดสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ (ระบบขั้นแรก) ส่วนระบบใช้อากาศเป็นระบบขั้นสองซึ่งทำหน้าที่ผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูง ระบบใช้อากาศตามลำพังก็สามารถบำบัดน้ำเสียได้แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าการใช้ระบบผสม นอกจากนี้มีแนวคิดล่าสุดคือ การผนวกเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเข้าไปในระบบเอเอสที่บำบัดน้ำเสียเข้มข้นต่ำ แนวคิดนี้ได้มาจากวิธีการกำจัด N และ P ด้วยระบบเอเอสนั่นเอง น้ำเสียเข้มข้นต่ำได้แก่ น้ำเสียชุมชนหรือน้ำเสียอุตสาหกรรมบางประเภท ยิ่งมีความเข้มข้นต่ำเท่าใด ระบบเอเอสก็ยังประหยัดพลังงาน ประโยชน์ข้อนี้จะชัดเจนเมื่อนำไปใช้กับระบบเอเอสที่ใช้งานอยู่แล้ว แต่ก็นำไปใช้ในการออกแบบระบบใหม่ได้ ดังนั้น ในขณะนี้จึงกล่าวได้ว่า เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศสามารถใช้ได้กับน้ำเสียทั้งเข้มข้นสูงและเข้มข้นต่ำ

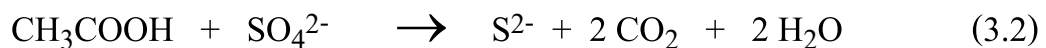
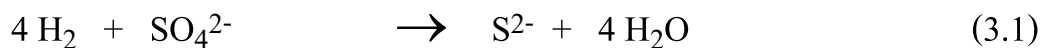


รูปที่ 3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสมที่สุด
(มันสิน ตันฑกุลเวศม์ 2542)

3.1.2 การกำจัดโลหะหนักและซัลเฟตในน้ำด้วยกระบวนการซัลเฟตรีดักชัน

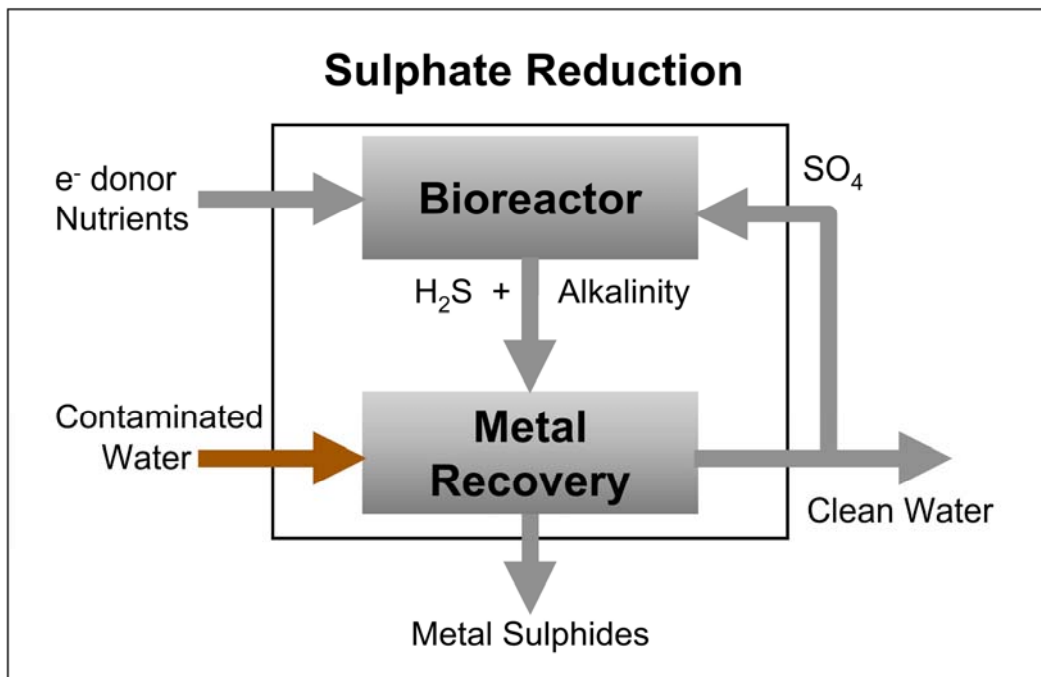
ระบบไม่ใช้อากาศสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟต, ซัลไฟต์, ไธโอซัลเฟตหรือสารประกอบซัลเฟอร์โดยอาศัยปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชัน แบคทีเรีย SRB (แบคทีเรีย

รีดิวซิงซัลเฟต) ทำหน้าที่ย่อยสลายไฮโดรเจนหรือสารประกอบอะเซเตท หรือสารอินทรีย์อื่น(ใช้เป็นสารให้อิเล็กตรอน)และมีซัลเฟต, ซัลไฟต์หรือไธโอซัลเฟตเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ผลสุดท้ายของปฏิกิริยาจะสร้างซัลไฟด์จากการทำซัลเฟตรีดักชัน



จากลักษณะเด่นของแบคทีเรียรีดิวซิงซัลเฟตที่สามารถผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ จึงมีความพยายามนำไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ได้มาใช้ประโยชน์ โดยมีแนวทางหลัก 2 แนวทาง คือ

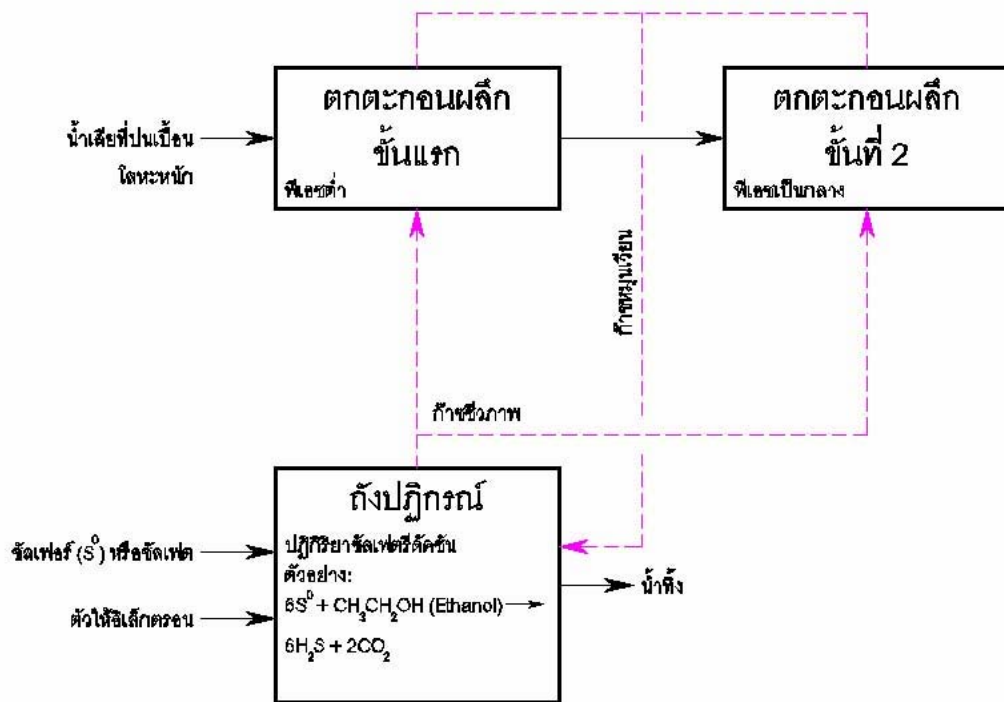
- ใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในการกำจัดโลหะหนัก โดยการตกตะกอนผลึกโลหะหนักในรูปของโลหะซัลไฟด์ (ดูรูปที่ 3.2)
- กำจัดซัลไฟด์ในกาซชีวภาพโดยใช้ wet scrubber เพื่อป้องกันการกัดกร่อนในระบบท่อส่งกาซชีวภาพและหม้อต้มไอน้ำ และนำน้ำที่ได้จากการชะกาซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปเปลี่ยนรูปให้เป็นซัลเฟอร์



รูปที่ 3.2 แนวคิดในการใช้กระบวนการซัลเฟตรีดักชัน
เพื่อกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

การใช้กระบวนการซัลเฟตรีดักชันในการกำจัดโลหะหนัก

แนวคิดที่จะใช้กระบวนการซัลเฟตรีดักชันในการกำจัดโลหะหนัก ได้เกิดขึ้นมาก่อนช้านานพอควรแล้ว โดยมีรายงานการวิจัยทั้งในระดับห้องทดลองและระดับ bench scale จำนวนมาก แผนผังแสดงการทำงานของวิธีการนี้ แสดงดังรูปที่ 3.3



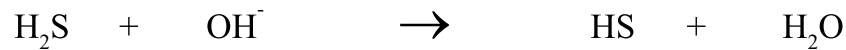
รูปที่ 3.3 การใช้ประยุกต์ใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากกระบวนการซัลเฟตรีดักชันใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

สำหรับตัวอย่างของการประยุกต์ใช้กระบวนการซัลเฟตรีดักชันตามแนวทางแรก ในระดับการทำงานจริง ได้แก่ โรงงานเบตเตอร์แห่งหนึ่งในสาธารณรัฐเชค ซึ่งประสบปัญหาการบำบัดน้ำชะตะกอนไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการกำจัดโลหะหนัก เป็นน้ำเสียที่เป็นด่างและมีส่วนประกอบของโซเดียมซัลเฟต โลหะหนักต่าง ๆ เช่น ตะกั่ว, สังกะสี, สารหนู และพลวง (Antimony) เป็นต้น น้ำเสียที่ออกมาไม่สามารถใช้การเติมปูนขาวเพื่อกำจัดโลหะหนักให้ลดต่ำกว่ามาตรฐานได้ จึงมีการนำวิธีการที่แสดงตามรูปภาพที่ 3.3 มาใช้ โดยจะใช้น้ำเสียจากโรงงานซึ่งมีสภาพเป็นกรดมาผสมรวมกับน้ำเสียจากการชะตะกอน เพื่อให้มีพีเอชลดต่ำลงจนเหลือประมาณ 3 ในขั้นตอนแรก ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ได้จากกระบวนการซัลเฟตรีดักชันจะถูกเติมไปเพื่อตกตะกอนสารหนูและพลวง จากนั้นน้ำจากขั้นตอนแรกจะปรับพีเอชให้เป็นกลางและมีการเติมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อีกครั้งเพื่อตกตะกอนโลหะหนักชนิดอื่นที่เหลืออยู่ ก๊าซที่เหลือออกมาจากทั้งสองขั้นตอนจะถูกเวียนกลับไปเติมใหม่อีกครั้งหนึ่ง ในส่วนของถังปฏิกรณ์จะมีการเติมเอทานอลเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ส่วนซัลเฟตได้จากน้ำเสียของโรงงานเอง หรือเติมซัลเฟอร์เพิ่มให้กับน้ำที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์ โดยถังปฏิกรณ์มีขนาดประมาณ 80 ลบ.ม. อัตราการป้อนน้ำเสีย 1 ลบ.ม./ชม. เวลาพักประมาณ 3 วัน มีอัตราการผลิตซัลไฟด์ได้ประมาณ 75 กก. ไฮโดรเจนซัลไฟด์/วัน

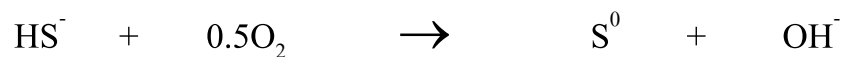
การใช้กระบวนการซัลเฟตรีดักชันร่วมกับการเปลี่ยนซัลไฟด์ให้เป็นซัลเฟอร์

การเปลี่ยนซัลไฟด์ให้เป็นซัลเฟอร์นั้น ต้องมีการใช้แบคทีเรียประเภทไม่ใช้อากาศ อีกชนิดหนึ่งเข้ามาช่วย โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้เรียกว่า ซัลเฟอร์แบคทีเรีย ซึ่งในขั้นตอนแรก กระบวนการซัลเฟตรีดักชันจะผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งมี

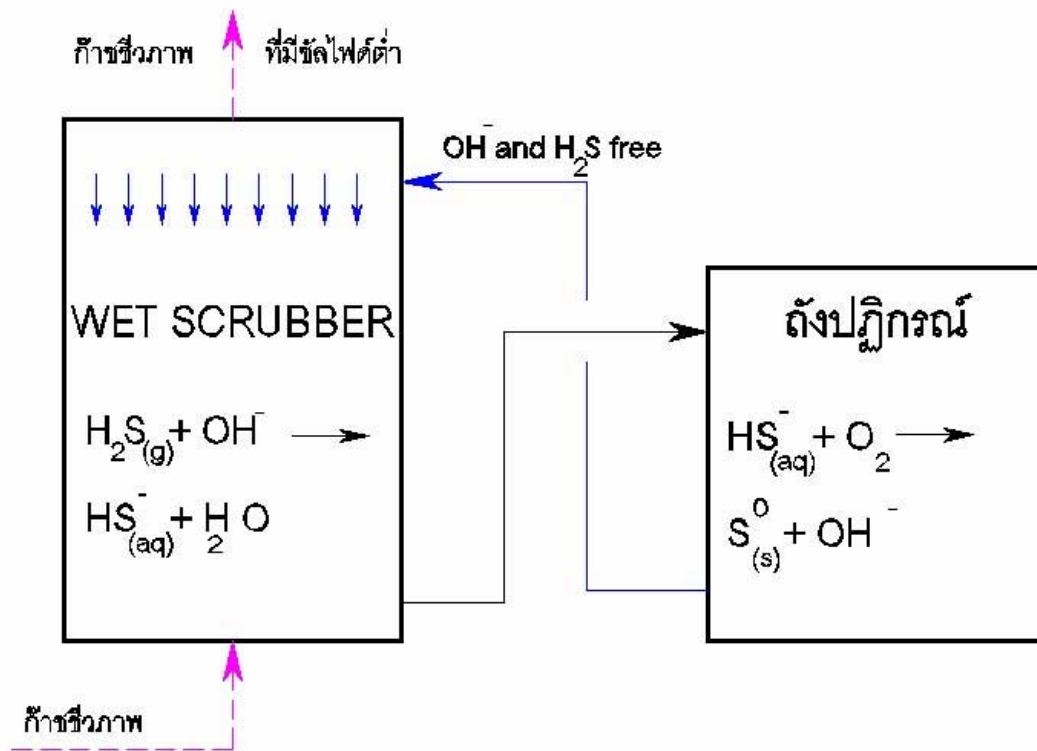
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนอยู่ขึ้นมา ก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกชะด้วยน้ำซึ่งมีสภาพเป็นด่าง ทำให้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำ ดังแสดงตามสมการ



น้ำที่ออกจาก wet scrubber จะเป็นน้ำที่มีซัลไฟด์อยู่ค่อนข้างสูง น้ำส่วนนี้จะถูกส่งไปยังถังปฏิกรณ์เพื่อเปลี่ยนซัลไฟด์ให้เป็นซัลเฟอร์ดังแสดงตามสมการ



น้ำที่ออกจากถังปฏิกรณ์จะเป็นน้ำที่มีซัลไฟด์ต่ำมากและมีพีเอชสูง น้ำส่วนนี้จะถูกเวียนกลับไปชะซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพอีกครั้งที่ wet scrubber เนื่องจากน้ำที่เวียนกลับไปมีซัลไฟด์ต่ำมาก จะทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของซัลไฟด์มาก ประสิทธิภาพของการกำจัดซัลเฟอร์จึงสูงตามไปด้วย การทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การใช้ประยุกต์ใช้กระบวนการซัลเฟตรีดักชันเพื่อใช้กำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพและผลิตซัลเฟอร์

จากที่กล่าวมาทั้งหมด จะเห็นได้ถึงแนวทางการประยุกต์ใช้กระบวนการซัลเฟตรีดักชันในรูปแบบต่างๆ ซึ่งแนวโน้มในอนาคต เชื่อได้ว่าวิธีการประยุกต์ใช้ต่างๆ เหล่านี้จะเป็นที่นิยมมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพราะกระบวนการซัลเฟตรีดักชันจัดเป็นเทคโนโลยีชีวภาพที่สะอาด ประหยัด และไม่สิ้นเปลืองสารเคมี

นอกจากนี้ การบำบัดน้ำใต้ดินกำลังเป็นหัวข้อวิจัยที่ได้ความสนใจสูงที่สุดในประเทศสหรัฐอเมริกาและยุโรป ทั้งนี้เพราะสารเคมีต่างๆ ที่มีการใช้กันในอดีตได้สะสมอยู่ในน้ำใต้ดิน จนมีระดับความเข้มข้นที่ส่งผลกระทบต่อผู้คนที่อาศัยอยู่ข้างบนแล้ว

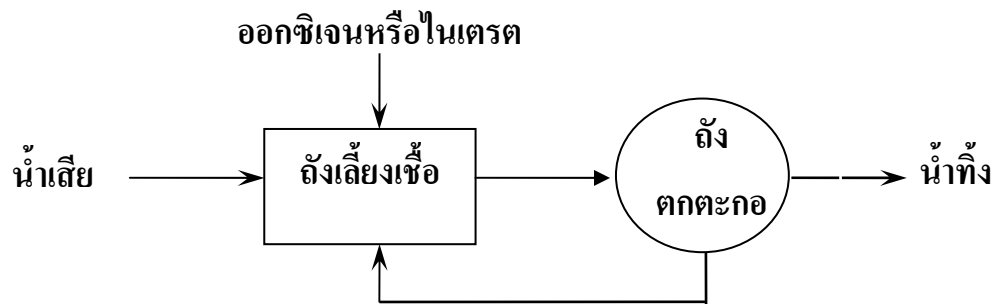
3.1.3 การกำจัดไนเตรตด้วยระบบไม่ใช้อากาศ

การใช้ระบบเอเอสกำจัดไนเตรตในน้ำเสียเป็นตัวอย่างของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่น่าสนใจมาก ไนเตรตจะถูกใช้เป็นสารรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน ระบบนี้เรียกว่า ดีไนตริฟิเคชัน (ดูรูปที่ 3.5) แบคทีเรียเฮเทอโรโทรบของระบบเอเอสสามารถกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้ไนเตรตแทนออกซิเจน (อิสระ) ได้ทันที แบคทีเรียเฮเทอโรโทรบสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้สภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน การสลับสารรับอิเล็กตรอนสามารถทำได้ทันที แบคทีเรียจะไม่เสียเวลาปรับตัวเพื่อใช้สารรับอิเล็กตรอนตัวใหม่

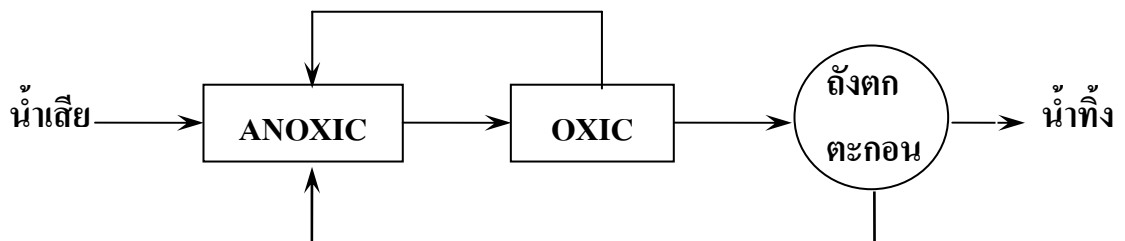
ในปัจจุบันการใช้ระบบเอเอสกำจัดไนโตรเจนในน้ำสามารถทำได้โดยอาศัยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (ซึ่งเกิดขึ้นในถัง Oxic) และปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่เกิดในถัง Anoxic (ดูรูปที่ 3.6) ระบบเอเอสที่ใช้กำจัดไนโตรเจนแบบธรรมดาเรียกว่าระบบ AO หรือ Anoxic-Oxic

3.1.4 การกำจัดฟอสฟอรัสด้วยระบบไม่ใช้อากาศ

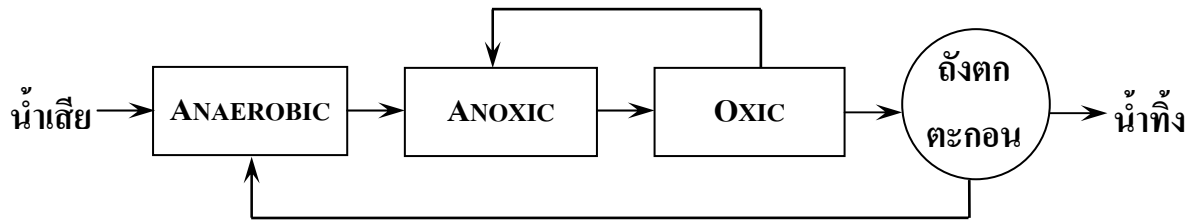
เช่นเดียวกับการกำจัดไนโตรเจน การกำจัดฟอสฟอรัสสามารถกระทำได้ด้วยระบบไม่ใช้อากาศและสามารถพ่วงเข้ากับระบบกำจัดไนโตรเจนได้เป็นอย่างดี เทคโนโลยีของปัจจุบันสามารถกำจัด N, P และ COD ด้วยระบบชุดเดียวดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.5 การใช้ออกซิเจนหรือไนเตรตเป็นสารรับอิเล็กตรอนของระบบเอเอส
(มันสิน ตัณฑุลเวศม์ 2542)



รูปที่ 3.6 ระบบ AO ที่ใช้กำจัดไนโตรเจนในน้ำเสีย
(มันสิน ตัณฑุลเวศม์ 2542)

รูปที่ 3.7 ระบบ A₂O ที่ใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย

(มันสิน ตันฑุลเวศม์ 2542)

การเลี้ยงเพาะเชื้อแบบไม่ใช้อากาศตามด้วยถังแบบใช้อากาศ ทำให้เกิดการคัดพันธุ์แบคทีเรียชนิดพิเศษ เช่น Acinetobacteria ซึ่งสามารถจับฟอสฟอรัสได้มากกว่าปริมาณที่เซลล์ต้องการใช้ในการเจริญเติบโต ลักษณะนี้เรียกว่า Luxury Phosphorus Uptake โดยปกติเซลล์แบคทีเรียจะต้องการฟอสฟอรัสประมาณ 1.5-2% ของน้ำหนักตัวแห้ง แต่กรณีของ Luxury Uptake แบคทีเรียสามารถจับฟอสฟอรัสได้ 4-12% ของน้ำหนักตัวแห้ง ดังนั้น การทิ้งสลัดจ์จึงเท่ากับสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้มากกว่าระบบธรรมดา 2.5-4 เท่า

ประเด็นที่สำคัญที่ควรกล่าวถึงเนื่องจากเป็นประเด็นที่จุดประกายของแนวคิดในการใช้ประโยชน์จากกระบวนการไม่ใช้อากาศแบบไม่เค็ดขาด (ระดับสร้างกรด) คือ บทบาทของถังไม่ใช้อากาศในระบบกำจัดฟอสฟอรัส จากรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าถังไม่ใช้อากาศของระบบ A₂O ไม่มีทางผลิตก๊าซมีเทนได้เลย จึงเป็นถังไม่ใช้อากาศแบบ Acid Forming เท่านั้น แบคทีเรียประเภทสร้างกรดจะบริโภคสารอินทรีย์ในน้ำเสียและเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ระเหย เพื่อไปทำลายในถัง Oxic การกำจัดสารอินทรีย์ในถังสร้างกรดชี้ให้เห็นได้ว่าการใช้ถังไม่ใช้อากาศเป็น

ระบบ บำบัดขั้นต้น (Pretreatment) ไม่จำเป็นต้องอาศัยแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งเลี้ยงยากกว่ามาก ถังไม่ใช้อากาศที่ทำงานเป็นเพียงถังสร้างกรดก็สามารถเป็นระบบบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) ได้แล้ว

3.2 การใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียเกษตรกรรม

น้ำเสียจากภาคเกษตรกรรม หมายถึง น้ำเหลือใช้จากพื้นที่เพาะปลูก น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ และน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การบำบัดน้ำเสียจากภาคเกษตรด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศก็มีมานานในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น การใช้ถังหมักไม่ใช้อากาศบำบัดมูลสัตว์ต่างๆ เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นต้น

จากการประเมินปริมาณความสกปรกของสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษต่างๆ ใน 4 กลุ่มน้ำหลัก คือ เจ้าพระยา ท่าจีน แม่กลอง และบางปะกง โดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2538) พบว่าในปี พ.ศ. 2542 แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างต้องรองรับปริมาณความสกปรกของน้ำทิ้งในรูปบีโอดีสูงสุดคือประมาณวันละ 274,454 กิโลกรัม รองลงมาคือแม่น้ำแม่กลองวันละ 238,328 กิโลกรัม แม่น้ำท่าจีนตอนล่างวันละ 197,824 กิโลกรัม และแม่น้ำบางปะกงวันละ 176,767 กิโลกรัม โดยแหล่งน้ำทิ้งสี่สายมีสัดส่วนของความสกปรกในรูปบีโอดีของน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากภาคเกษตรกรรมสูงสุด ยกเว้นเฉพาะแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างที่มีสัดส่วนของน้ำทิ้งจากชุมชนสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 3.1

**ตารางที่ 3.1 ปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดี (กก./วัน) ของน้ำเสีย
จากแหล่งกำเนิดมลพิษต่างๆ ใน 4 ลุ่มน้ำหลัก**

ลุ่มน้ำ	ปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดี (กก./วัน)				
	ชุมชน	เกษตรกรรม	อุตสาหกรรม	รวม	
เจ้าพระยา	ตอนบน	29,678	19,583	1,428	50,689
	ตอนกลาง	41,076	48,416	5,843	95,335
	ตอนล่าง	148,455	55,537	70,462	274,454
	รวม	219,209	123,536	77,733	420,478
ท่าจีน	ตอนบน	13,084	17,816	601	31,501
	ตอนกลาง	24,992	63,966	7,327	96,285
	ตอนล่าง	28,970	136,875	31,979	197,824
	รวม	67,046	218,657	39,907	325,610
แม่กลอง	รวม	42,406	182,747	13,175	238,328
บางปะกง	รวม	47,100	120,511	9,156	176,767
รวมทั้งหมด		375,761	645,451	139,971	1,161,183

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2538)

ปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากฟาร์มปศุสัตว์สามารถแก้ไขได้โดยใช้ระบบการย่อยไม่ใช้อากาศ (AD หรือ Anaerobic Digestion) ประเทศที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการใช้ระบบ AD คือ ประเทศเดนมาร์ก ซึ่งได้ออกแบบระบบถังหมักไม่ใช้อากาศให้มีขนาดใหญ่จนถือว่าเป็นระบบบำบัดรวม (Centralized AD Plant) รายงานในปี 1996 มีจำนวน 18 แห่ง ส่วนใหญ่ใช้บำบัดน้ำเสียจากคอกสัตว์ แต่บางแห่งใช้ย่อยมูลสัตว์ร่วมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมเกษตรและขยะมูลฝอยจากชุมชนเมือง (MSW) การย่อยแบบนี้เรียกว่า Codigestion

ข้อแตกต่างของระบบ AD ในประเทศยุโรปและประเทศกำลังพัฒนาในย่านเอเชีย อเมริกาใต้และแอฟริกา คือในประเทศยุโรปถังหมักจะมีขนาดใหญ่กว่าและสามารถใช้ก๊าซในการผลิตความร้อนและไฟฟ้าสำหรับใช้ในฟาร์ม ยุโรปมีอากาศเย็น การใช้ AD จึงต้องเป็นถังเหล็กหรือ คสล.ปิดฝาและมีการให้ความร้อนกับถัง AD ทำให้ระบบ AD มีราคาแพง แต่ประเทศกำลังพัฒนามักมีอากาศอบอุ่นระบบ AD จึงใช้บ่อหมักที่ปิดฝาหรือไม่ปิดฝา สำหรับในประเทศกำลังพัฒนา การใช้ถังหมักขนาดเล็กในชนบทที่มีกันมานานแล้ว ประมาณว่าประเทศจีนมีถังหมักมูลสัตว์ขนาดเล็กประมาณ 6 ล้านถัง และเนปาลมีประมาณ 47,000 ถัง ถังหมักขนาดเล็กเช่นนี้ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับใช้หุงต้มในบ้านและได้ปุ๋ยหมักสำหรับใช้คัวย

บ่อหมักไม่ใช้อากาศสามารถใช้บำบัดน้ำเสียจากคอกสัตว์ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมูลสัตว์เป็นแหล่งเชื้อแบคทีเรียไม่ใช้อากาศ การเลี้ยงเชื้อเริ่มต้นในบ่อหมักจึงสามารถทำได้ง่ายโดยไม่ต้องมีการขนเชื้อแบคทีเรียมาจากที่อื่น การเริ่มเดินระบบ (Starting Up) ของกรณีนี้จึงใช้เวลาสั้นและไม่เสียค่าใช้จ่ายมากในปัจจุบัน บ่อ

หมักไม่ใช้อากาศของฟาร์มปศุสัตว์อาจมีฝาทำด้วยแผ่นพลาสติกปิดครอบเพื่อเก็บก๊าซชีวภาพสำหรับใช้เป็นพลังงานและเพื่อใช้ป้องกันกลิ่นเหม็นที่อาจเกิดขึ้น รูปที่ 3.8 เป็นตัวอย่างการใช้ระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศแบบปิดฝาในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร



รูปที่ 3.8 ระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศแบบปิดฝาในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

3.3 การใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมักเป็นระบบที่ใช้อากาศซึ่งต้องใช้พลังงานปริมาณมหาศาลในการเดินระบบ หากสามารถเปลี่ยนมาใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศก็จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานได้ ในปัจจุบันนี้ยังมีการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศบำบัดน้ำเสียชุมชนกันน้อยมาก

แต่การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเป็นเรื่องใหม่ซึ่งในอดีตไม่มีใครเชื่อว่าจะทำได้ การที่ Lettinga (2522) ได้พัฒนาระบบยูเอเอสบีขึ้นมา ทำให้การบำบัดน้ำเสียเข้มข้นต่ำดังเช่น น้ำเสียชุมชน ด้วยระบบไม่ใช้อากาศเป็นเรื่องที่สามารถทำได้ ประเทศที่มีการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศบำบัดน้ำเสียชุมชนมากที่สุด 5 แห่ง ได้แก่ เม็กซิโก โคลัมเบีย บราซิล อินเดียและจีน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ล้วนแต่เป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อนและเป็นประเทศกำลังพัฒนา

สำหรับในประเทศไทย การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเป็นเรื่องใหม่ที่มีคนเชื่อว่าสามารถทำได้ หากทำได้จริง เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศจะมีความสำคัญและได้รับความนิยมเพิ่มอีกมาก เนื่องจากขณะนี้เทศบาลหลายแห่งมีการรวบรวมน้ำเสียชุมชนในปริมาณมาก ประกอบกับมีการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนให้เป็นระบบที่ใช้อากาศซึ่งต้องใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมาก และชุมชนต่างๆ ขาดเงินทุนในการเดินระบบบำบัดแบบใช้อากาศ หากสามารถเปลี่ยนมาใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศก็จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานได้ อย่างไรก็ตาม การใช้เทคโนโลยีตัวนี้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนยังต้องรอการพิสูจน์ว่าจะสามารถใช้ได้ในประเทศไทยหรือไม่ เหตุผลที่ต้องมีการตั้งข้อสงสัยเป็นเพราะว่าน้ำเสียชุมชนของประเทศไทยมีความเข้มข้น BOD และ COD ต่ำมากจนไม่มั่นใจว่าจะมีอาหารเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียไม่ใช้อากาศหรือไม่

3.4 การใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดบำบัดขยะมูลฝอยชุมชน

การบำบัดขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal Solids Waste หรือ MSW) มีหลายวิธี เช่น การฝังกลบ การเผา การหมัก เป็นต้น วิธีฝังกลบ (Sanitary Landfill) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก แต่ปัจจุบันการหาพื้นที่ฝังกลบเป็นปัญหาที่แก้ได้ยากขึ้นทุกที วิธีเผายะเป็นวิธีที่แพงและสร้างปัญหาอากาศเป็นพิษ วิธีหมักหรือ Composting เป็นวิธีบำบัดขยะที่ได้ปุ๋ยหมักเป็นผลพลอยได้ แต่วิธีหมักต้องใช้พลังงานประมาณ 50-75 กิโลวัตต์-ชม. ต่อทุกๆ ตันของขยะมูลฝอยที่หมัก วิธีบำบัดขยะมูลฝอยด้วยระบบย่อยแบบไม่ใช้อากาศหรือ AD ถือเป็นวิธีบำบัดที่น่าสนใจ เพราะสร้างพลังงานประมาณ 75-50 กิโลวัตต์-ชม. ต่อทุกๆ ตันของขยะที่นำมาบำบัด อย่างไรก็ตาม การบำบัดขยะแบบไม่ใช้อากาศยังเป็นวิธีการใหม่ แม้จะเป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาถึงระดับที่นำมาใช้ในเชิงพาณิชย์แต่ก็ยังมีราคาแพง

การบำบัดขยะด้วยวิธีไม่ใช้อากาศมีส่วนอย่างมากในการสนับสนุนให้เกิดงานวิจัยเกี่ยวกับการหมักแบบ HSD (High Solid Digestion) ซึ่งสามารถใช้กับสลัดจ์ที่มี TS สูงถึง 30% การนำเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเข้ามาใช้ที่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย น่าจะเป็นโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศอีกระดับหนึ่ง

บทที่ 4

สถานภาพของเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ

เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีแบบใช้อากาศแล้ว เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเป็นองค์ความรู้ที่มีผู้นิยมน้อย มีเหตุผลหลายอย่างที่ทำให้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศไม่เป็นที่นิยมใช้ในที่ใดๆ แม้แต่ในประเทศที่เจริญแล้วดังเช่น สหรัฐอเมริกา หรือในญี่ปุ่น

สาเหตุที่ไม่นิยมใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศมีหลายประการ เช่น

- ไม่เหมาะสำหรับประเทศหนาวที่มีอุณหภูมิต่ำ
- เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเป็นเทคโนโลยีที่สลับซับซ้อน
- หา Seed ยากและ Start Up ยาก
- ไม่สามารถใช้ตามลำพังได้
- ใช้ไม่ค่อยได้ผล (ประสิทธิภาพต่ำ)

4.1 ความนิยมใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในต่างประเทศเพื่อบำบัดน้ำเสีย

ชุมชน

4.1.1 สถานะการบำบัดน้ำเสียชุมชนของโลก

แม้ว่าปัจจุบันจะมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก แต่สาธารณสุขขั้นพื้นฐานของหลายประเทศในโลกยังก้าวตามไม่ทัน จะเห็นได้จากวิธีการจัดการน้ำเสียชุมชนของประเทศต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

เมื่อพิจารณาโดยรวม กล่าวได้ว่าการจัดการน้ำเสียชุมชนมี 3 วิธีคือ

- ทิ้งลงท่อน้ำเสียสาธารณะซึ่งน้ำเสียอาจได้รับการบำบัดหรือไม่ได้รับการบำบัดก็ได้
- ระบายทิ้งออกจากบ้านเรือนโดยไม่มีระบบระบายน้ำเสีย (ลงบนพื้นดินตามยถากรรม)
- ทิ้งน้ำเสียลงในบ่อเกรอะ-บ่อซึม

ตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียชุมชนที่ยังไม่ได้รับการบำบัดอย่างถูกต้องยังมีอีกมาก

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบให้เห็น%น้ำเสียชุมชนที่ได้รับการบำบัดแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศของประเทศต่างๆ ข้อมูลในตารางนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

- ประเทศที่มีการบำบัดน้ำเสียชุมชนมากกว่า 50% มีจำนวน 9 แห่ง (ประเทศในกลุ่ม OECD นับรวมเป็นประเทศเดียว)
- ประเทศที่มีการบำบัดน้ำเสียชุมชนมากกว่า 10% แต่ไม่ถึง 50% มี 4 แห่ง
- ประเทศอื่นๆ ในโลกที่มีการบำบัดน้ำเสียชุมชนไม่ถึง 10% ของน้ำเสียที่มี

ประเทศที่มีการบำบัดน้ำเสียชุมชนมากกว่า 50% ของน้ำเสียทั้งหมดล้วนแต่เป็นประเทศที่เจริญแล้วดังเช่น ญี่ปุ่น เยอรมัน สหรัฐอเมริกา เป็นต้น อย่างไรก็ตามประเทศดังกล่าวใช้วิธีบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบใช้อากาศเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณน้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบไม่ใช้อากาศมีน้อยกว่า 10% (ดูรูปที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการจัดการน้ำเสียชุมชนของประเทศต่างๆ (Doom et al 1997)

ประเทศ	วิธีการบำบัดน้ำเสียชุมชน		
	%ทิ้งต่อสาธารณะ	%ทิ้งลงดิน	%ลงบ่อเกรอะ
แอฟริกา			
ไนจีเรีย	10	50	40
อียิปต์	10	50	40
เคนยา	10	50	40
แอฟริกาใต้	40	30	30
ซิมบับเวย์	40	30	30
อื่นๆ	10	50	40
เอเชีย			
จีน	15	20	65
อินเดีย	15	50	35
อินโดนีเซีย	15	40	45
ปากีสถาน	15	50	35
บังกลาเทศ	15	50	35
ญี่ปุ่น	90	0	10
อื่นๆ	15	20	65
ยุโรป			
รัสเซีย	70	0	30
เยอรมัน	80	0	20
อังกฤษ	90	0	10
ฝรั่งเศส	80	0	20
อิตาลี	80	0	20
OECD	70	0	30
อื่นๆ	70	0	30
อเมริกาเหนือ			
สหรัฐอเมริกา	70	0	30
แคนาดา	70	0	30
ลาตินอเมริกาและแคริบเบียน			
บราซิล	40	40	20
เม็กซิโก	40	40	20
อื่นๆ	40	40	20
ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์			
ออสเตรเลีย	70	5	25

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียชุมชนของประเทศต่างๆ

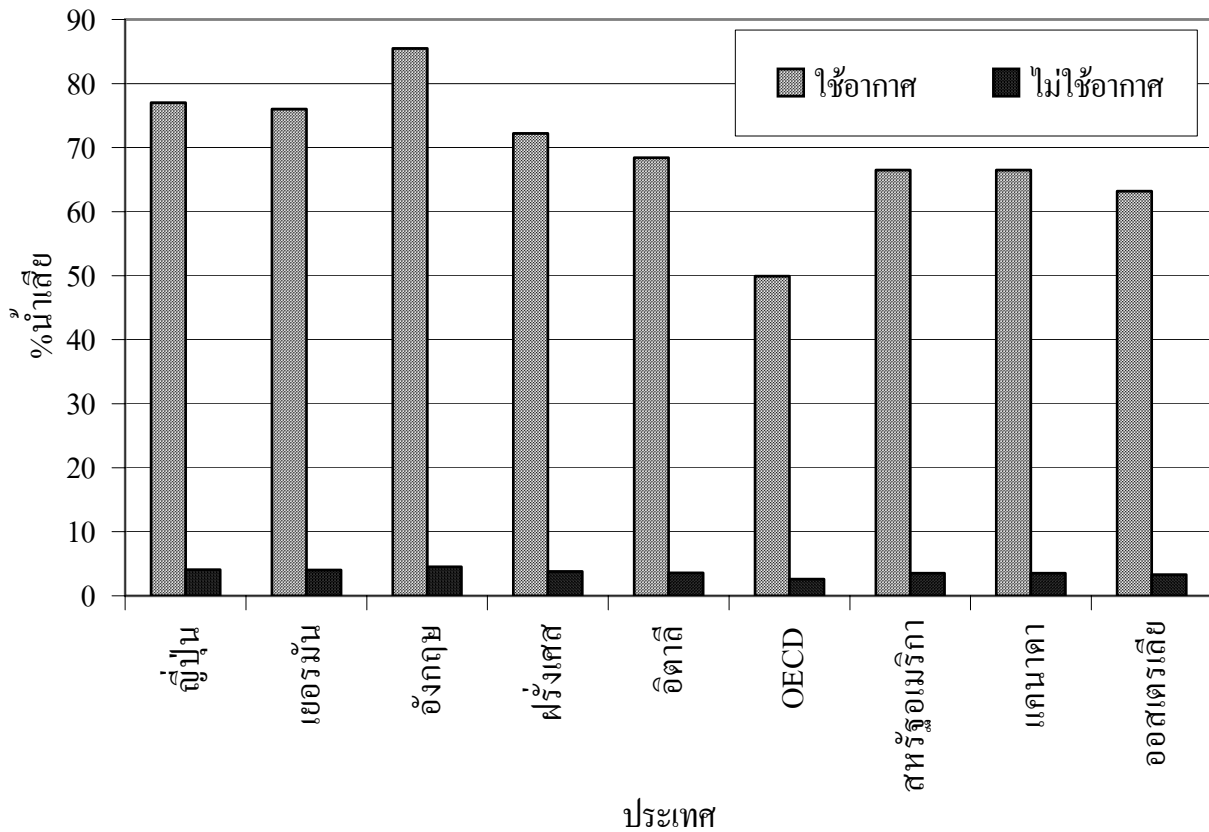
(Doorn et al 1997)

ประเทศ	%น้ำเสียชุมชนที่มีการบำบัด		
	ไม่ใช้อากาศ	ใช้อากาศ	รวม
แอฟริกา			
ไนจีเรีย	0.5	0.5	1.0
อียิปต์	1.0	1.0	2.0
เคนย่า	2.0	2.0	4.0
แอฟริกาใต้	3.2	12.8	16.0
ซิมบับเวย์	3.2	12.8	16.0
อื่นๆ	0.5	0.5	1.0
ค่าเฉลี่ย	1.7	4.9	6.7
เอเชีย			
จีน	0.8	0.8	1.5
อินเดีย	0.8	0.8	1.5
อินโดนีเซีย	1.5	1.5	3.0
ปากีสถาน	0.8	0.8	1.5
บังกลาเทศ	0.8	0.8	1.5
ญี่ปุ่น	4.1	77.0	81.0
อื่นๆ	0.8	0.8	1.5
ค่าเฉลี่ย	1.4	11.8	13.1

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียชุมชนของประเทศต่างๆ

(Doorn et al 1997) (ต่อ)

ประเทศ	%น้ำเสียชุมชนที่มีการบำบัด		
	ไม่ใช้อากาศ	ใช้อากาศ	รวม
ยุโรป			
รัสเซีย	14.0	21.0	35.0
เยอรมัน	4.0	76.0	80.0
อังกฤษ	4.5	85.5	90.0
ฝรั่งเศส	3.8	72.2	76.0
อิตาลี	3.6	68.4	72.0
OECD	2.6	49.9	52.5
อื่นๆ	3.5	31.5	35.0
<i>ค่าเฉลี่ย</i>	<i>5.1</i>	<i>57.8</i>	<i>62.9</i>
อเมริกาเหนือ			
สหรัฐอเมริกา	3.5	66.5	70.0
แคนาดา	3.5	66.5	70.0
<i>ค่าเฉลี่ย</i>	<i>3.5</i>	<i>66.5</i>	<i>70.0</i>
ลาตินอเมริกาและคาริบเบียน			
บราซิล	1.0	1.0	2.0
เม็กซิโก	1.0	1.0	2.0
อื่นๆ	1.0	1.0	2.0
<i>ค่าเฉลี่ย</i>	<i>1.0</i>	<i>1.0</i>	<i>2.0</i>
ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์			
ออสเตรเลีย	3.3	63.2	66.5
<i>ค่าเฉลี่ยทั้งหมด</i>	<i>2.7</i>	<i>27.5</i>	<i>30.2</i>



รูปที่ 4.1 ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียชุมชนของประเทศต่างๆ (Doorn et al 1997)

ตารางที่ 4.3 แสดงจำนวน % ประชากรที่ได้รับบริการบำบัดน้ำเสียชุมชนของกลุ่มประเทศยุโรปและประเทศที่พัฒนาแล้วอื่นๆ

ตารางที่ 4.4 แสดง % น้ำเสียชุมชนที่บำบัดแบบไม่ใช้อากาศของประเทศต่างๆ ในโลก ประเมินว่าน้ำเสียชุมชนทั่วโลกมีปริมาณซีโอดีโหลดรวมกัน 212.7 ล้านตัน/ปี ร้อยละ 2 ของซีโอดีโหลดทั้งหมดหรือประมาณ 4.296 ล้านตัน/ปี ถูกบำบัดด้วยระบบไม่ใช้อากาศ

ตารางที่ 4.3 %ประชากรที่ได้รับบริการบำบัดน้ำเสียชุมชน ของประเทศที่พัฒนาแล้ว

(Doorn et al 1997)

ประเทศ	% ประชากรทั้งหมดที่ได้รับบริการบำบัดน้ำเสียชุมชน		
	บำบัดขั้นต้น	บำบัดขั้นต้นและขั้นสอง	ทั้งหมด
ออสเตรเลีย	5	62	67
เบลเยียม (1979)	ไม่มีข้อมูล	23	23
แคนาดา	15	47	62
เดนมาร์ก	8	90	98
ฟินแลนด์	0	74	74
ฝรั่งเศส (1984)	ไม่มีข้อมูล	59	50
เยอรมัน (1983)	8	79	87
กรีซ (1985)	ไม่มีข้อมูล	1	1
ไอร์แลนด์	ไม่มีข้อมูล	11	11
อิตาลี	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	30
ญี่ปุ่น	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	39
ลักเซมเบิร์ก (1985)	14	69	83
เนเธอร์แลนด์	7	83	90
นิวซีแลนด์ (1985)	8	85	88
นอร์เวย์	6	37	43
โปรตุเกส	4	8	12
สเปน (1985)	13	16	29
สวีเดน	1	99	100
สวิตเซอร์แลนด์	ไม่มีข้อมูล	85	85
ตุรกี (1985)	2	2	4
อังกฤษ	6	78	84
สหรัฐอเมริกา (1984)	15	59	74

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบไม่ใช้อากาศของประชากรโลก

(Doorn et al 1997)

ประเทศ	ประชากร (ล้านคน)	ซีโอดีโหลด ทั้งหมด (ล้านตัน/ปี)	ซีโอดีที่ถูกกำจัดด้วย ระบบไม่ใช้อากาศ	
			%	ตัน/ปี
แอฟริกา				
ไนจีเรีย	127	4.1	0.5	20,500
อียิปต์	59	1.9	1.0	19,000
เคนย่า	28	0.9	2.0	18,000
แอฟริกาใต้	43	1.6	3.2	51,200
ซิมบับเวย์	12	0.4	3.2	12,800
อื่นๆ	492	15.7	0.5	78,500
เอเชีย				
จีน	1,238	40	0.8	320,000
อินเดีย	931	30	0.8	240,000
อินโดนีเซีย	201	6.4	1.5	96,000
ปากีสถาน	135	4.3	0.8	34,400
บังกลาเทศ	128	4.1	0.8	32,800
ญี่ปุ่น	126	6.3	4.1	258,300
อื่นๆ	726	23	0.8	184,000

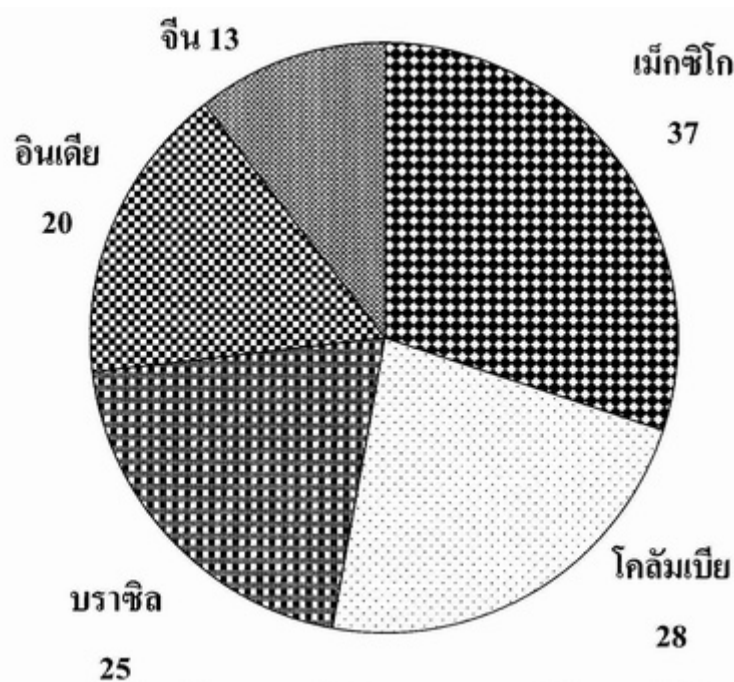
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบไม่ใช้อากาศของประชากรโลก(ต่อ)

(Doorn et al 1997)

ประเทศ	ประชากร (ล้านคน)	ซีโอดีไหลด ทั้งหมด (ล้านตัน/ปี)	ซีโอดีที่ถูกกำจัดด้วย ระบบไม่ใช้อากาศ	
			%	ตัน/ปี
ยุโรป				
รัสเซีย	150	6.8	14.0	952,000
เยอรมันนี	81	4.4	4.0	176,000
อังกฤษ	58	3.2	4.5	144,000
ฝรั่งเศส	58	3.2	3.8	121,600
อิตาลี	58	3.2	3.6	115,200
OECD	113	6.2	2.6	161,200
อื่นๆ	217	12	3.5	420,000
อเมริกาเหนือ				
สหรัฐอเมริกา	263	17	3.5	595,000
แคนาดา	29	1.6	3.5	56,000
ลาตินอเมริกาและคาริบเบียน				
บราซิล	161	5.2	1.0	52,000
เม็กซิโก	94	3.0	1.0	30,000
อื่นๆ	224	7.2	1.0	72,000
ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์				
ออสเตรเลีย	18	1.0	3.5	35,000
รวม	5770	212.7	2.0	4,295,500

4.1.2 การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงในประเทศต่างๆ

จากรายงานโครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรมของ GTZ (Hulshof Pol, L et al 1998) ปรากฏว่าประเทศที่มีการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชนอย่างจริงจังเป็นประเทศในอเมริกาใต้และเอเชีย ซึ่งได้แก่ เม็กซิโก โคลัมเบีย บราซิล อินเดีย และจีน ระบบไม่ใช้อากาศที่ใช้เป็นแบบอัตราสูง (เช่น ยูเอเอสบี) ประเทศดังกล่าวมีการใช้ระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงในการบำบัดน้ำเสียชุมชนมากกว่าประเทศอื่นๆในโลก รูปที่ 4.2 แสดงจำนวนระบบไม่ใช้อากาศที่มีอยู่ในประเทศทั้ง 5 แห่งที่กล่าวถึง



รูปที่ 4.2 จำนวนระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีอยู่ในประเทศทั้ง 5 แห่ง (Hulshof Pol, L et al 1998)

4.1.3 การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบไม่ใช้อากาศในประเทศไทย

มีการพูดกันมากในการบำบัดน้ำเสียชุมชน (หรือน้ำเสียเจือจาง) ด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ และมีการอ้างถึงระบบไม่ใช้อากาศขนาดจริงหลายแห่งในทวีปเอเชีย เช่น อินเดีย จีน เป็นต้นและในทวีปอเมริกาใต้ เช่น บราซิล เป็นต้น ระบบไม่ใช้อากาศแบบ UASB ได้รับการอ้างถึงมากที่สุดในการใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน (ดูรูปที่ 4.2) เนื่องจากเป็นระบบที่มีเม็คแบคทีเรียจับกันเป็นชั้นนอน (Bed) ทำให้สามารถเลี้ยงแบคทีเรียได้ปริมาณมากโดยไม่หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศมีค่าผลผลิตของเซลล์หรือยิลด์ (Yield) ต่ำเพียง 10% หมายความว่า แบคทีเรียไม่ใช้อากาศเจริญเติบโตขึ้นได้เพียง 10% จากอาหารที่บริโภค ยกตัวอย่างเช่น ซีโอดีที่ถูกย่อยสลาย 100 กรัม ผลิตสแลคจ์แบคทีเรียได้ 10 กรัม (วัดในเทอมของ VSS) กล่าวในอีกทางหนึ่งว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียจะต้องมีพอเพียงที่จะสร้างแบคทีเรียให้มีพอเพียงและสะสมเพิ่มขึ้นในระบบ ขอให้พิจารณารายการคำนวณระดับพื้นฐาน ดังต่อไปนี้

สมมติว่าน้ำเสียชุมชนมีความเข้มข้นซีโอดี	=	100	มก./ล.
และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี	=	70%	
ดังนั้น ความเข้มข้นซีโอดีที่ถูกใช้ไป (ถูกย่อยสลาย)	=	70	มก./ล.
สมมติว่า ระบบไม่ใช้อากาศมียิลด์	=	10%	
ดังนั้น จะมีเนื้อเซลล์ (VSS) เกิดขึ้น	=	7	มก./ล.

จะเห็นได้ว่า การย่อยสลายมี VSS เกิดขึ้น 7 มก./ล. แต่ในทางปฏิบัติ น้ำทิ้งของระบบไม่ใช้อากาศมักมีค่า VSS มากกว่า 7 มก./ล. ซึ่งถือเป็นเรื่องปรกติ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า ถ้าน้ำเสียชุมชนมีความเข้มข้นซีโอดี 100 มก./ล. จะมีการสูญเสีย

แบคทีเรียตลอดเวลา ระบบบำบัดนี้จึงไม่มีการสะสมแบคทีเรียเลยและเพราะน้ำเสียมีอาหารไม่พอเพียงสำหรับเลี้ยงแบคทีเรียไม่ใช้อากาศ ให้คงอยู่ได้ในระบบบำบัด

จากรายการคำนวณข้างต้น อาจประเมินได้ว่าการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศบำบัดน้ำเสียชุมชน (จะต้องใช้ระบบ UASB ด้วย) อาจเป็นไปได้ต่อเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นซีโอดีสูงระดับหนึ่ง เช่น 300 – 500 มก./ล.หรือมากกว่า

สำหรับในประเทศไทย มีการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนให้เป็นระบบที่ใช้อากาศซึ่งต้องใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมากและชุมชนต่างๆ ขาดเงินทุนในการเดินระบบบำบัดแบบใช้อากาศ หากสามารถเปลี่ยนมาใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศก็จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานได้ อย่างไรก็ตาม น้ำเสียชุมชนไทยมีความเข้มข้นต่ำมากดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.5 ซึ่งสรุปค่าความเข้มข้นของน้ำเสียชุมชนจากเทศบาลต่างๆ 13 แห่ง จะเห็นได้ว่าบีโอดีเฉลี่ยมีค่าเพียง 24 มก./ล. (และคาดว่าซีโอดีจะมีค่าไม่ถึง 100 มก./ล.)และมีค่า SS เฉลี่ย 37 มก./ล.

ดังนั้นระบบยูเอเอสบีไม่น่าจะนำมาใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนไทยได้ เนื่องจากน้ำเสียมีความเข้มข้นซีโอดีหรือบีโอดีต่ำเกินไป

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นของน้ำเสียชุมชนเมืองจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย

เทศบาล	อัตราผลิตน้ำเสีย เฉลี่ย(ลิตร/คน-วัน)	BOD (เฉลี่ย) (มก./ล.)
ทม.ภูเก็ต จ.ภูเก็ต	285	30 – 81 (48)
ทม.เชียงใหม่ จ.เชียงใหม่	267	4.7 – 9.5 (6)
ทม.ประจวบคีรีขันธ์	266	8 – 53 (34)
ทม.อุบลราชธานี	160	3 – 13 (9)
ทม.อ่างทอง จ.อ่างทอง	200	36 – 87 (41)
ทม.อุทัยธานี จ.อุทัยธานี	217	12 – 73 (19)
ทม.เพชรบุรี จ.เพชรบุรี	185	33 – 47 (41)
ทม.พนัสนิคม จ.ชลบุรี	105	13 – 28 (27)
ทม.บ้านหมี่ จ.ลพบุรี	84	4.8 – 11.4 (8)
ทม.ชัยภูมิ จ.ชัยภูมิ	159	15 – 55 (24)
ทต.บัวใหญ่ จ.นครราชสีมา	140	9 – 37 (27)
ทน.นครปฐม จ.นครปฐม	315	15 – 27 (14)
ทม.ชุมแสง จ.นครสวรรค์	131	7 – 14 (8)
เฉลี่ย		24

4.2 สถานะการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมของโลกด้วยระบบไม่ใช้อากาศ

รายงานของ Doorn และคณะ (1997) แจ้งว่าน้ำเสียจากอุตสาหกรรมหลักมี ปริมาตรประมาณ 41,460 ล้าน.ลบ.ม./ปี และมีภาระชีโอดีประมาณ 132 ล้านตัน/

ปี ภาวะซีโอดีหรือซีโอดีไหลคที่ได้รับการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมีเพียง 8.7 ล้านตัน/ปี หรือเท่ากับ 6.6% ของภาวะซีโอดีทั้งหมด (ดูตารางที่ 4.6) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และรวมอุตสาหกรรมให้เป็นประเภทใหญ่ตามรหัส TSIC จะได้ข้อมูลสรุปดังแสดงในตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาอุตสาหกรรมของโลก กลุ่มอุตสาหกรรมใหญ่ที่สร้างมลพิษทางน้ำมี 3 ประเภทคือ

- กระดาษและเยื่อกระดาษ (รหัส 341) มีภาวะซีโอดี 44.1 ล้านตัน/ปี
- เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมีต่างๆ
(รหัส 351 และ 352) มีภาวะซีโอดี 53.5 ล้านตัน/ปี
- อาหารและเครื่องดื่ม มีภาวะซีโอดี 27.7 ล้านตัน/ปี
(รหัส 311, 312 และ 313)

ในจำนวนทั้งหมดนี้ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศบำบัดน้ำเสียมากที่สุด คือประมาณ 32% ของภาวะซีโอดีที่มีอยู่ ส่วนอีก 2 อุตสาหกรรมมีการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศเพียง 1-2% ซึ่งนับว่าน้อยมาก

รูปที่ 4.3 แสดง % ภาวะซีโอดีของน้ำเสียอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ได้รับการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จาก International Energy Agency (IEA) แม้ว่าตัวเลขจากทั้ง 2 แหล่ง จะมีความแตกต่างกัน แต่ก็แสดงความหมายไปในทางเดียวกัน

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม (Doorn et al 1997)

ประเภทอุตสาหกรรม	ปริมาณน้ำเสีย	ซีโอดีไหลค	ความเข้มข้นซีโอดี	บำบัดด้วยระบบไม่ใช้อากาศ		รหัส TSIC
				ซีโอดีไหลค	%	

	(ล้าน ลบ.ม/ปี)	(ล้านตัน/ปี)	(มก./ล.)	(ล้านตัน/ปี)		
เนื้อและสัตว์ปีก	977	4.1	4197	2.266	55.3	31119
ผลิตภัณฑ์นม	225	0.6	2667	0.326	54.3	31121
แปรรูปปลา	233	0.6	2575	0.160	26.7	31140
แอลกอฮอล์	744	8.2	11022	0.940	11.5	31310
ไวน์และน้ำส้มสายชู	658	1.0	1520	0.075	7.5	31218
น้ำมันพืช	178	0.1	562	0.011	11.0	31151
น้ำตาล	1324	4.3	3248	0.465	10.8	31181
มอลต์และเบียร์	845	2.4	2840	0.218	9.1	31330
แป้งและแป้งแปรรูป	271	2.7	9963	0.243	9.0	31163
ผัก,ผลไม้และ น้ำผลไม้	628	3.2	5096	0.076	2.4	31131
สิ่งทอ (ธรรมชาติ)	5735	5.2	907	0.160	3.1	32120
เครื่องดัด	207	0.5	2415	0.015	3.0	31340
ไม่มีแอลกอฮอล์						
กระดาษและ เยื่อกระดาษ	5179	44.1	8515	2.476	5.6	341
สารอินทรีย์เคมี	15365	46.2	3007	1.003	2.1	352
สบู่และผงซักฟอก	101	0.1	990	0.003	3.0	35231
สี	15	0.0	5100			
กลั่นปิโตรเลียม	1290	1.3	1008	0.031	2.4	35300
พลาสติกและเรซิน	7274	7.2	990	0.184	2.6	35136
ถ่านโค้ก	211		100			
รวมทั้งหมด	41460	131.8	3179	8.652	6.564	

ตารางที่ 4.7 ปริมาณและความเข้มข้นของน้ำเสียอุตสาหกรรมหมวดต่างๆ

และ%ที่บำบัดด้วยระบบไม่ใช้อากาศ (Doorn et al 1997)

รหัส	น้ำเสีย	ปริมาณ	ซีโอดี	ซีโอดี	บำบัดด้วยระบบ
------	---------	--------	--------	--------	---------------

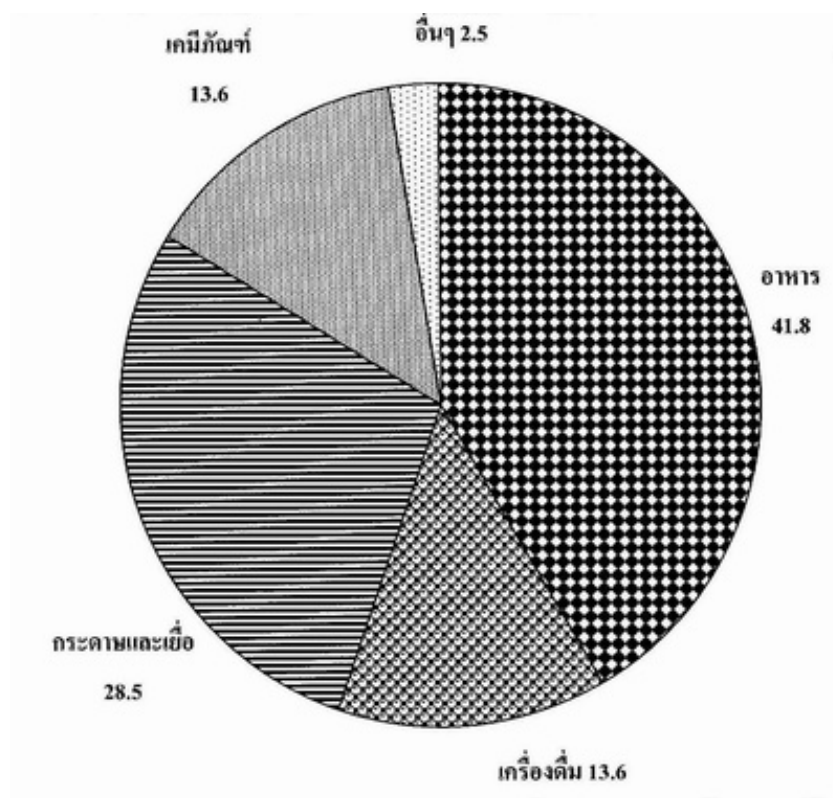
TSIC	อุตสาหกรรม ประเภทต่างๆ	น้ำเสีย*	โหลด ล้านตัน/ปี	เข้มข้น มก./ล.	ไม่ใช้อากาศ	
					%	ซีโอดี โหลด**
311-312	อาหาร	4494	16.6	3,694	21.9	3.64
313	เครื่องดัด	1796	11.1	6,180	10.6	1.18
321	สิ่งทอสิ่งถัก	5735	5.2	907	3.1	0.16
341	กระดาษและเยื่อ กระดาษ	5179	44.1	8,515	5.6	2.48
351	เคมีภัณฑ์สำหรับ งานอุตสาหกรรม	7485	7.2	990	2.6	0.18
352	ผลิตภัณฑ์เคมีอื่นๆ	15481	46.3	2,991	2.5	1.00
353	กลั่นปิโตรเลียม	1290	1.3	1,008	2.4	0.03
	รวม เฉลี่ย	41460	131.8	3,179	6.6	8.67

* ล้านลบ.ม./ปี

** ล้านตัน/ปี

รหัส TSIC	ประเภทอุตสาหกรรม	ซีโอดีโหลด ล้านตัน/ปี	%
-----------	------------------	--------------------------	---

311-312	อาหาร	3.64	41.8%
313	ผลิตเครื่องดื่ม	1.18	13.6%
341	กระดาษและเยื่อ	2.48	28.5%
351-352	เคมีภัณฑ์	1.18	13.6%
353	อื่นๆ	0.19	2.5%
	รวม	8.7	100%

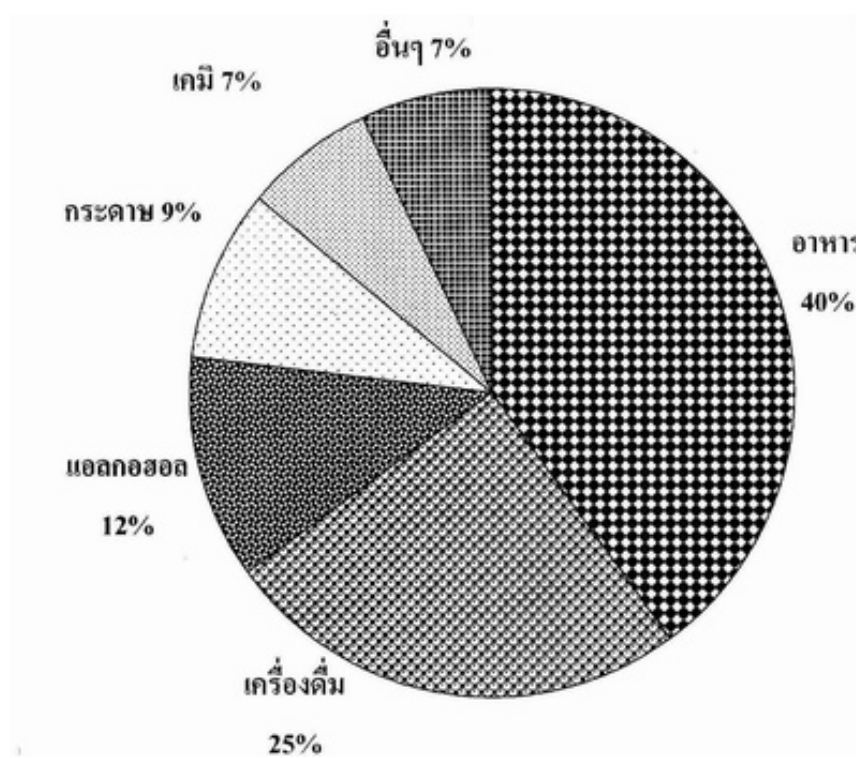


รูปที่ 4.3 % ภาระซีโอดีของน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

(Doorn et al 1997)

รหัส TSIC	ประเภทอุตสาหกรรม	ซีโอดีโหลด ล้านตัน/ปี	%
-----------	------------------	--------------------------	---

311-312	อาหาร		40
313	เครื่องดื่มและเบียร์		25
	กลั่นสุรา		12
341	กระดาษและเยื่อ		9
351-352	เคมี		7
353	อื่นๆ		7
	รวม		100



รูปที่ 4.4 % ภาระซีโอดีของน้ำเสียอุตสาหกรรมที่บำบัดเบื้องต้นด้วยระบบไม่ใช้อากาศ

(International Energy Agency (IEA) 2001)

4.2.1 สถานะการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ สัตว์ปีก นมและปลาแปรรูป

อุตสาหกรรมกลุ่มนี้ใช้วัตถุดิบที่มาจากสัตว์เลี้ยงและปลา น้ำเสียมักมีโปรตีนและไขมันสูง ทำให้มีค่าซีโอดีสูง ในประเทศด้อยพัฒนา อุตสาหกรรมเนื้อสัตว์และนม มักเป็นโรงงานหรือฟาร์มขนาดเล็ก แต่สำหรับในประเทศพัฒนาแล้ว หรือ

กำลังพัฒนา โรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้มักมีขนาดใหญ่ ระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นมักเป็นบ่อหมักไม่ใช้อากาศ ตามด้วยบ่อออกซิเดชันหรือระบบใช้อากาศแบบเอเอสหรือบ่อเติมอากาศ ตารางที่ 4.8 เป็นข้อมูลการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ สัตว์ปีก ปลาและนม จะเห็นได้ว่า ประเทศที่พัฒนาแล้วจะมีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทนี้ในระดับสูงมาก และหลายแห่งมีการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศสูงมากด้วย

4.2.2 สถานะการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผักผลไม้แปรรูป น้ำผลไม้ เครื่องดื่ม และสิ่งทอ

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมกลุ่มนี้มักมีลักษณะแปรเปลี่ยนไปตามสินค้าที่ผลิต ยกตัวอย่างเช่น โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง อาจมีการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ ซึ่งได้แก่ ผลไม้ต่างๆ หรือปลา หรือซอส ทำให้น้ำเสียมีลักษณะแปรเปลี่ยนไปได้ง่าย ในกรณีของประเทศที่พัฒนาแล้ว โรงงานอุตสาหกรรมจึงนิยมระบายน้ำเสียลงในท่อสาธารณะ เพื่อส่งไปบำบัดรวมมากกว่าจะทำการบำบัดเอง

ตารางที่ 4.9 เป็นข้อมูลการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมนี้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ระบบบำบัดแบบใช้อากาศมากกว่าระบบไม่ใช้อากาศเป็นอย่างมาก ทั้งๆ ที่ระบบไม่ใช้อากาศสามารถใช้เป็นระบบขั้นต้นได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ สัตว์ปีก นม

(Doorn et al 1997)

ชื่อประเทศ	% น้ำเสียอุตสาหกรรมที่บำบัดด้วยวิธีต่างๆ		
	ไม่ได้บำบัด	ระบบบำบัดที่ใช้	
		ไม่ใช้อากาศ	ใช้อากาศ
แอฟริกา	60	34	6
ญี่ปุ่น (รวมปลา)			
ญี่ปุ่น (ไม่รวมปลา)	10	65	25
เอเชียอื่นๆ	70	22	8
รัสเซีย	50	23	27
เยอรมันนี	0	72	28
อังกฤษ	0	72	28
ฝรั่งเศส	0	72	28
อิตาลี	0	72	28
ประเทศ OECD อื่น	0	63	37
ประเทศยุโรปอื่น	50	23	27
สหรัฐอเมริกา	0	77	23
แคนาดา	0	77	23
ลาตินอเมริกา	50	32	18
ออสเตรเลีย	0	72	28
อื่นๆ ของโลก (เฉลี่ย)			

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฝักและผลไม้แปรรูป น้ำผลไม้ เครื่องดื่ม และสิ่งทอ (Doorn et al 1997)

ชื่อประเทศ	% น้ำเสียอุตสาหกรรมที่บำบัดด้วยวิธีต่างๆ		
	ไม่ได้บำบัด	ระบบบำบัดที่ใช้	
		ไม่ใช้อากาศ	ใช้อากาศ
แอฟริกา	70	6	24
ญี่ปุ่น	10	1	89
เอเชียอื่นๆ	70	5	25
รัสเซีย	50	1	49
เยอรมันนี	0	0	100
อังกฤษ	0	0	100
ฝรั่งเศส	0	0	100
อิตาลี	10	0	90
ประเทศ OECD อื่น	10	1	89
ประเทศยุโรปอื่น	50	1	49
สหรัฐอเมริกา	0	0	100
แคนาดา	0	0	100
ลาตินอเมริกา	60	5	35
ออสเตรเลีย	0	0	100
อื่นๆ ของโลก (เฉลี่ย)			

4.2.3 สถานะการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีการกลั่นและหมัก

อุตสาหกรรมที่จัดอยู่ในประเภทที่มีการกลั่นและหมัก ได้แก่ อุตสาหกรรมกลั่นแอลกอฮอล์, เบียร์, ไวน์, เหล้า, น้ำมันพืช, น้ำตาลและแป้ง อุตสาหกรรมเหล่านี้ส่วนใหญ่มีขั้นตอนการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปของวัตถุดิบไปอย่างสิ้นเชิง วัตถุดิบของอุตสาหกรรมกลุ่มนี้มักเป็นธัญพืชหรือหัว เช่น ข้าว, หัวมันสำปะหลัง เป็นต้น ยกเว้นการผลิตไวน์ที่ใช้ผลไม้เป็นวัตถุดิบ น้ำเสียของอุตสาหกรรมกลุ่มนี้ประกอบด้วยสารอินทรีย์จากพืช (ตรงกันข้ามกับหัวข้อ 4.2.1 ซึ่งเป็นสารอินทรีย์จากสัตว์) โรงงานอุตสาหกรรมมักมีขนาดใหญ่และเกิดน้ำเสียปริมาณและภาระซีโอดีสูงมาก ในประเทศที่กำลังพัฒนาเจ้าของโรงงานอุตสาหกรรมกลุ่มนี้มักเป็นบริษัทข้ามชาติขนาดใหญ่ ซึ่งมีเงินทุนมากและมีความสามารถในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียได้ โรงงานมักทำการบำบัดน้ำเสียของตัวเองด้วยระบบบ่อเติมอากาศหรือระบบใช้อากาศแบบอื่น ส่วนน้อยที่บำบัดน้ำเสียด้วยระบบไม่ใช้อากาศ ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.10

4.2.4 สถานะการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ

ตารางที่ 4.11 เป็นข้อมูลการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษของประเทศต่างๆ อุตสาหกรรมผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษต้องใช้น้ำปริมาณมหาศาล ทำให้ที่ตั้งของโรงงานมักอยู่ใกล้แม่น้ำ น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาตรสูงและเข้มข้นมากส่วนใหญ่มักมีสีเข้มซึ่งกำจัดได้ยากมาก อุตสาหกรรมกลุ่มนี้ต้องใช้เงินลงทุนมาก ทำให้เจ้าของกิจการมักเป็นบริษัทข้ามชาติที่มีขนาดใหญ่ โรงงานมักทำการบำบัดน้ำเสียของตัวเอง โดยการใ้ระบบบ่อเติมอากาศ หรือระบบใช้อากาศอื่นๆ และมีการใช้ระบบไม่ใช้อากาศน้อยมาก (ดูตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมกลั่นแอลกอฮอล์, เบียร์,

ไวน์, น้ำมันพืช, น้ำตาล, แป้ง (Doorn et al 1997)

ชื่อประเทศ	% น้ำเสียอุตสาหกรรมที่บำบัดด้วยวิธีต่างๆ		
	ไม่ได้บำบัด	ระบบบำบัดที่ใช้	
		ไม่ใช้อากาศ	ใช้อากาศ
แอฟริกา	60	17	23
ญี่ปุ่น	5	8	87
เอเชียอื่นๆ	60	11	29
รัสเซีย	50	8	42
เยอรมันนี	0	4	96
อังกฤษ	0	4	96
ฝรั่งเศส	0	4	96
อิตาลี	0	4	96
ประเทศ OECD อื่น	10	4	86
ประเทศยุโรปอื่น	50	8	42
สหรัฐอเมริกา	0	8	92
แคนาดา	0	8	92
ลาตินอเมริกา	60	13	27
ออสเตรเลีย	0	0	100
อื่นๆ ของโลก (เฉลี่ย)			

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ

(Doorn et al 1997)

ชื่อประเทศ	% น้ำเสียอุตสาหกรรมที่บำบัดด้วยวิธีต่างๆ		
	ไม่ได้บำบัด	ระบบบำบัดที่ใช้	
		ไม่ใช้อากาศ	ใช้อากาศ
แอฟริกา	25	15	60
ญี่ปุ่น	0	1	99
เอเชียอื่นๆ	25	15	60
รัสเซีย	20	20	60
เยอรมันนี	0	1	99
อังกฤษ	0	1	99
ฝรั่งเศส	0	1	99
อิตาลี	0	1	99
ประเทศ OECD อื่น	5	1	94
ประเทศยุโรปอื่น	10	14	76
สหรัฐอเมริกา	0	1	99
แคนาดา	0	1	99
ลาตินอเมริกา	25	15	60
ออสเตรเลีย	0	1	99
อื่นๆ ของโลก (เฉลี่ย)			

4.2.5 สถานะการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตสารอินทรีย์เคมี พลาสติก และเรซิน กลั่นปิโตรเลียม ฯลฯ

อุตสาหกรรมกลุ่มนี้เป็นอุตสาหกรรมที่อาศัยเทคโนโลยีขั้นสูง และใช้วัตถุดิบพื้นฐาน เช่น ก๊าซธรรมชาติ หรือสารไฮโดรคาร์บอนต่างๆ เจ้าของกิจการอุตสาหกรรมกลุ่มนี้มักเป็นบริษัทข้ามชาติขนาดใหญ่ที่มีเงินลงทุนสูง น้ำเสียมักไม่ค่อยเข้มข้นแต่มีสารอินทรีย์เคมีที่ย่อยยากและเป็นพิษ อาจมีอุตสาหกรรมบางตัวที่สร้างน้ำเสียที่มีความเข้มข้นปานกลางไปถึงสูง แต่ก็เป็นส่วนน้อย ลักษณะน้ำเสียอาจแตกต่างกันได้มาก การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบใช้อากาศ เป็นวิธีที่นิยมมาก (ดูตารางที่ 4.12) เนื่องจากเชื่อว่าน้ำเสียของอุตสาหกรรมกลุ่มนี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ดีภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ ซึ่งความเชื่อเช่นนี้เป็นที่เข้าใจผิด

4.3 ความนิยมใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในประเทศต่างๆ

รูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 แสดงให้เห็นถึงกลุ่มประเทศที่มีการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศมากที่สุด เมื่อพิจารณาถึงการไ้ระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม พบว่าประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้นำในการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ (ดูรูปที่ 4.5) ตามด้วยประเทศเยอรมัน, เนเธอร์แลนด์, สหรัฐอเมริกา และอินเดีย จำนวนระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศในประเทศทั้ง 5 สามารถสรุปได้ดังนี้

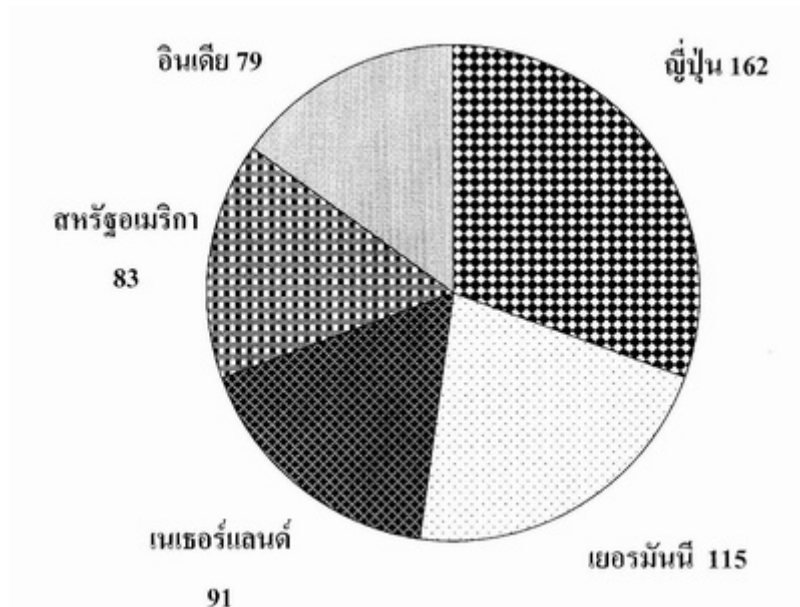
ญี่ปุ่น	162	แห่ง
เยอรมัน	115	แห่ง
เนเธอร์แลนด์	91	แห่ง
สหรัฐอเมริกา	83	แห่ง
อินเดีย	79	แห่ง
รวม	<u>530</u>	แห่ง

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสารอินทรีย์เคมี กลั่นปิโตรเลียม

พลาสติกและเรซิน สารซักฟอก ยาและเภสัชกรรมและสีทาบ้าน

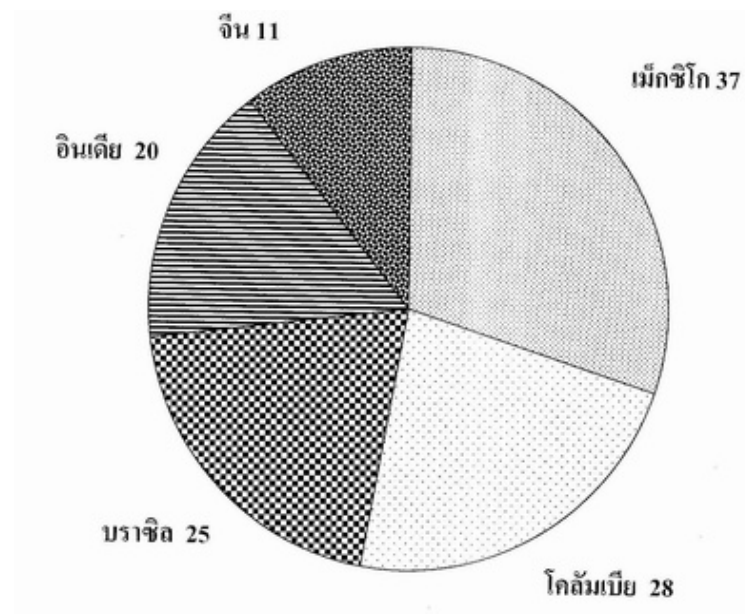
(Doorn et al 1997)

ชื่อประเทศ	% น้ำเสียอุตสาหกรรมที่บำบัดด้วยวิธีต่างๆ		
	ไม่ได้บำบัด	ระบบบำบัดที่ใช้	
		ไม่ใช้อากาศ	ใช้อากาศ
แอฟริกา	60	4	36
ญี่ปุ่น	10	3	87
เอเชียอื่นๆ	60	4	36
รัสเซีย	50	3	47
เยอรมันนี	0	3	97
อังกฤษ	0	3	97
ฝรั่งเศส	0	3	97
อิตาลี	5	3	92
ประเทศ OECD อื่น	10	6	84
ประเทศยุโรปอื่น	20	4	76
สหรัฐอเมริกา	0	3	97
แคนาดา	0	3	97
ลาตินอเมริกา	60	3	37
ออสเตรเลีย	0	3	97
อื่นๆ ของโลก (เฉลี่ย)			



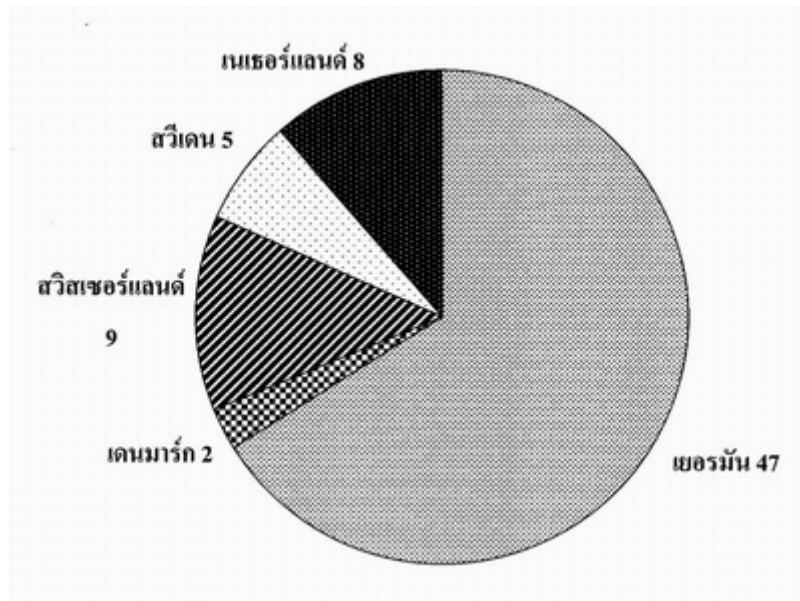
รูปที่ 4.5 รายชื่อประเทศ 5 ประเทศที่มีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยระบบไม่ใช้อากาศมากที่สุด (ตัวเลขคือจำนวนระบบไม่ใช้อากาศ)

(Hulshof Pol, L et al 1998)

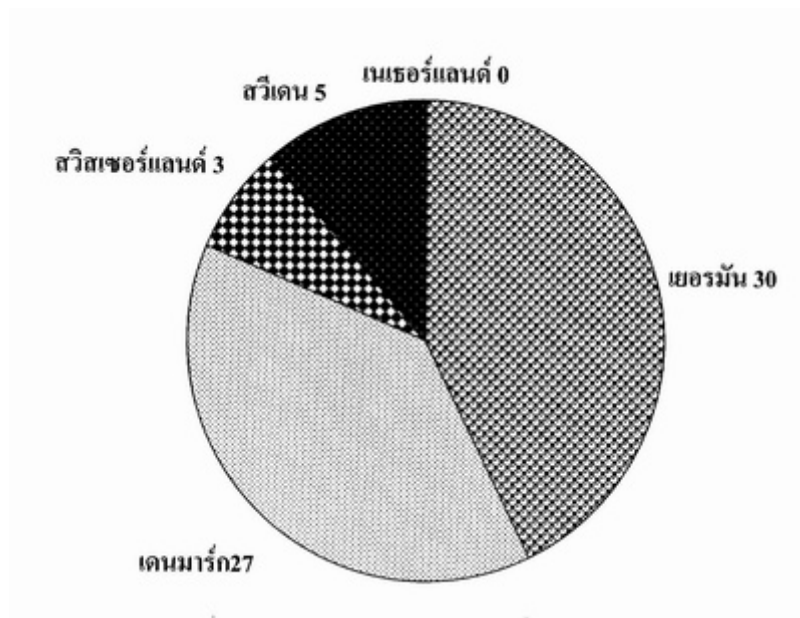


รูปที่ 4.6 รายชื่อประเทศกำลังพัฒนา 5 ประเทศที่มีการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบไม่ใช้อากาศมากที่สุด (ตัวเลขคือจำนวนระบบไม่ใช้อากาศ)

(Hulshof Pol, L et al 1998)



รูปที่ 4.7ก จำนวนระบบไม่ใช้อากาศของ 5 ประเทศที่มีการบำบัดขยะอินทรีย์มากที่สุด (Hulshof Pol, L et al 1998)



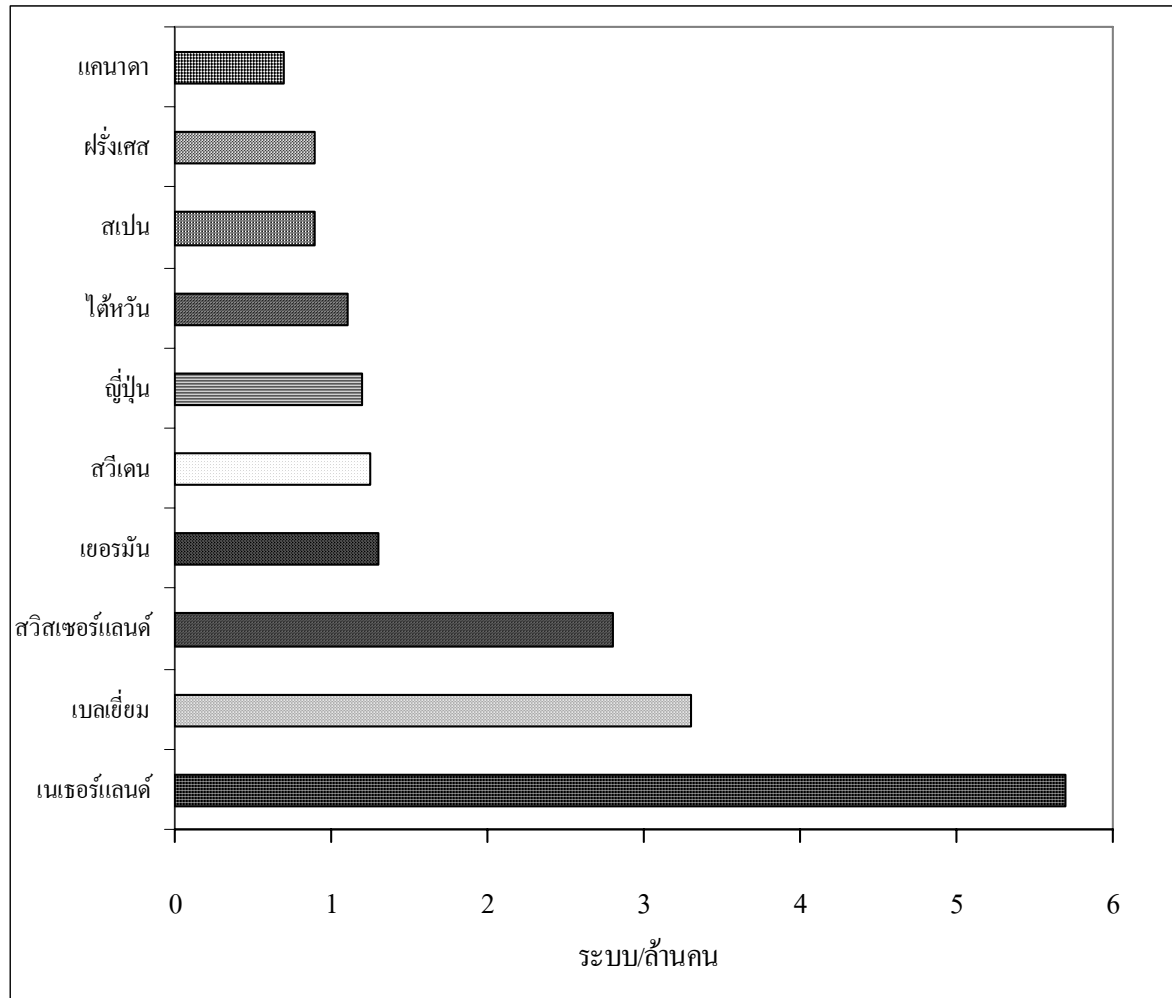
รูปที่ 4.7ข จำนวนระบบ Co Digestor ของ 5 ประเทศที่มีการบำบัดขยะอินทรีย์ ร่วมกับของเสียอื่นมากที่สุด (Hulshof Pol, L et al 1998)

จะเห็นได้ว่า จำนวนระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงมีจำนวนเพียง 530 แห่ง ซึ่งไม่นับว่ามากเลย สหรัฐอเมริกาไม่ค่อยนิยมใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศเมื่อ

เปรียบเทียบกับระบบใช้อากาศ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าระบบไม่ใช้อากาศ ไม่ใช่ระบบ BAT (Best Available Technology) ตามมาตรฐานของตัวเอง

4.3.1 ความนิยมใช้ถังหมักไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงในประเทศต่างๆ

จำนวนถังหมักต่อประชากร 1 ล้านคน เรียกว่าความหนาแน่นของถังหมักไม่ใช้อากาศ หรือ Anaerobic Reactor Density สามารถนำมาใช้วัดความนิยมใช้ถังหมักไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงได้ โดยรูปที่ 4.8 แสดงข้อมูลความหนาแน่นของระบบบำบัดหรือถังหมักไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงในประเทศต่างๆ จะเห็นได้ว่า เนเธอร์แลนด์เป็นประเทศที่มีจำนวนระบบไม่ใช้อากาศต่อประชากรมากที่สุด ตามมาด้วยประเทศเบลเยียม, สวิตเซอร์แลนด์, เยอรมันและสวีเดน จากนั้นจึงเป็นประเทศญี่ปุ่น, ไต้หวัน, สเปน, ฝรั่งเศสและแคนาดา ข้อมูลที่สำรวจได้แสดงว่า ประเทศยุโรปใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศตัวนี้มากที่สุด ญี่ปุ่นก็นิยมเหมือนกัน และอยู่ในอันดับที่ 6 แต่สหรัฐอเมริกาไม่ติดอยู่ในกลุ่ม 10 ประเทศดังกล่าวเลย นอกจากนั้นพารามิเตอร์ตัวนี้ใช้เป็นตัวชี้วัดที่แสดงศักยภาพทางการตลาด ยกตัวอย่างเช่น ประเทศเนเธอร์แลนด์มีค่าดัชนี = 5.8 ซึ่งสูงที่สุด แสดงว่าตลาดมีความอึดตัวในความต้องการใช้ระบบไม่ใช้อากาศ ผู้ผลิตต้องไปหาตลาดที่อื่น เม็กซิโก, บราซิลและอินเดีย มีค่าดัชนีเท่ากับ 0.46, 0.40 และ 0.06 ถึงต่อล้านคน ประเทศในอเมริกาใต้และเอเชียจึงมีแนวโน้มในการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศมากกว่าที่อื่น



รูปที่ 4.8 ความหนาแน่นของระบบบำบัดไม่ใช้อากาศในประเทศต่างๆ

(Hulshof Pol, L et al 1998)

การใช้ระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้รับความนิยมมากในประเทศละตินอเมริกามากกว่าที่อื่นของโลก รายงานของ Hulshoff Pol

(1998) ได้อ้างถึงการใช้ระบบ UASB บำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศเม็กซิโก, โคลัมเบีย, บราซิล, โบลิเวีย, อินเดีย, เปรูและโมร็อกโก

ระบบยูเอเอสบีเป็นถังหมักที่ได้รับความนิยมมากกว่าอย่างอื่น เนื่องจากเป็นระบบที่ค่อนข้างง่ายและทนทาน ต้องการพื้นที่ก่อสร้างน้อย นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของ Hulshoff Pol (1998) อ้างว่า ระบบยูเอเอสบีที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนไม่ต้องการ Seed และสามารถ Start up ได้ภายใน 3 เดือน นอกจากนี้ยังพบว่า ความเข้มข้นของชั้นนอน (Sludge Bed) ประมาณ 11,000 มก.VSS/ลิตร ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ TS ในน้ำเสียและเวลากักน้ำของระบบ

4.3.2 สถานะการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยระบบไม่ใช้อากาศในประเทศไทย

ดังได้กล่าวแล้วว่า การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศสามารถกระทำได้ดังนี้

- ใช้บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม
- ใช้บำบัดน้ำเสียเกษตรกรรม
- ใช้บำบัดของเสียอินทรีย์ เช่น ตะกอนสลัดจ์, ขยะมูลฝอย เป็นต้น

ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน

สำหรับประเทศไทย การใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมมีมากกว่าการนำไปใช้ในทางอื่น จากการสำรวจระบบบำบัดน้ำเสียจำนวน 803 แห่งสามารถสรุปถึงความนิยมใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศได้ดังนี้ (ดูตารางที่ 4.13)ความนิยมใช้ระบบไม่ใช้อากาศมีเพียง 25% (201 แห่ง จาก 803 แห่งที่สำรวจ) ทั้งๆ ที่ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมมีความเหมาะสมกับเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ ในขณะที่ใช้เทคโนโลยีแบบใช้อากาศและแบบอื่นๆ มีสัดส่วนสูงถึง 75%

- ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศที่ใช้กันมากที่สุดมี 3 ประเภท คือ
 - บ่อบั่กไม่ใช้อากาศ
 - ถังกรองไม่ใช้อากาศ
 - ระบบยูเอสบี (UASB)

ตารางที่ 4.13 จำนวนระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

ระบบไม่ใช้อากาศ	จำนวนแห่ง			รวม	
	(1)	(2)	(3)	จำนวน แห่ง	%
1. บ่อบั่กไม่ใช้อากาศ	130	13	12	155	19.3
2. ถังกรองไม่ใช้อากาศ หรือ UASB	21	19	6	46	5.7
รวม	151 (30%)	32 (10.5%)	18 (36%)	201	25

(1) โครงการศึกษาเพื่อประเมินสารพิษอุตสาหกรรมทางน้ำฯ (2540)

(2) โครงการศึกษาวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนหลักในการลดปัญหามลพิษทางน้ำจากภาคอุตสาหกรรม (2543)

(3) โครงการศึกษาปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อมโรงงานที่ก่อปัญหามลพิษในพื้นที่วิกฤติ (2541)

นอกจากการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศกับน้ำเสียอุตสาหกรรมจะมีน้อยแล้ว การบำบัดสลัดจ์ชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียก็ยังมีน้อยอีกด้วย

กล่าวได้ว่า วิศวกรไทยยังมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีตัวนี้น้อย ทั้งๆ ที่เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศมีขีดความสามารถสูงมาก เช่น

- ใช้พลังงานน้อยมาก ทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้า
- ใช้สารเคมีน้อย
- ได้ก๊าซมีเทนที่เป็นพลังงาน
- สร้างสลัดจ์ที่ต้องบำบัดน้อยกว่าระบบใช้อากาศหลายเท่า

ระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศเป็นเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศที่ได้รับความนิยมมากกว่าแบบอื่นโดยมีการใช้ประมาณ 155 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 77 ของระบบไม่ใช้อากาศทั้งหมด 201 แห่ง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าระบบบ่อหมักมีราคาถูก ใช้ได้ง่ายและไม่จุกจิก ในขณะที่ถังกรองไม่ใช้อากาศมีการใช้น้อยและมักมีปัญหาอุดตันหรือไม่มีประสิทธิภาพ ส่วนระบบยูเอสบีเป็นเทคโนโลยีที่มาแรง เนื่องจากเป็นระบบที่มีอัตราบำบัดสูง จนถึงในปัจจุบัน (พ.ศ. 2544) มีระบบ UASB ที่ใช้อยู่ภายในประเทศประมาณ 30 แห่ง (รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.14) ทั้งหมดใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ซึ่งได้แก่ โรงงานเบียร์ โรงงานผลิตแป้งคัดแปร (Modified Starch) โรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง และโรงงานเส้นไหม

ผลการสำรวจแสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรมที่มีการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศมีดังนี้

- อาหารทะเลบรรจุกระป๋อง
- ถักและทอผ้า
- ยารักษาโรค และเครื่องสำอางบำรุงร่างกาย
- ผลิตเส้นไหม กว้ายเตี่ยว
- ฟอกหนัง
- ชักรีด ชักแห้งหรือย้อมเสื้อผ้า
- หม่าและชำแหละสัตว์
- เยื่อและกระดาษ
- ยางธรรมชาติ
- น้ำอัดลม
- ห้องเย็น
- โรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม
- น้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว
- สบู่
- แชมพู
- กระเบื้องเคลือบ

ผงชักฟอก

- ผักและผลไม้กระป๋อง
- น้ำมันสำหรับล้าง
- เคมีภัณฑ์
- น้ำตาลทราย
- นม
- แอลกอฮอล์
- เครื่องปรุงรสอาหาร
- เบียร์ สุรา ไวน์
- ปลาป่น

4.4 ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูง

ปัจจัยที่ทำให้มีการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลายในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา คือความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ในอัตราที่สูงมาก ยกตัวอย่างเช่น ในขณะที่ระบบเอเอสสามารถบำบัดน้ำเสียได้ในอัตรา 0.5 – 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม-วัน จะพบว่าระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี (EGSB) สามารถบำบัดได้ในอัตรา 5-20 และ 10-30 กก.ซีโอดี/ลบ.ม-วัน

ตารางที่ 4.14 รายชื่อโรงงานที่ใช้ระบบยูเอเอสบี ในประเทศไทย

ชื่อโรงงาน	ประเภท อุตสาหกรรม	ปริมาณและซีไอดีโหลด		ปี
		ลบ.ม./วัน	กก. ซีไอดี/วัน	
กลุ่มสุราทิพย์ 11 จังหวัด	กลั่นแอลกอฮอล์	600	45,000	1984
แป้งมันไทยประสิทธิ์ อุตสาหกรรม	แป้งมันสำปะหลัง	1,440	38,340	1991
เนชั่นนอลสตาร์ กาศสินธุ์	แป้งมันสำปะหลัง, แป้งตัดแปร	4,000	48,000	1992
บุญรอดบิวเวอรี กรุงเทพฯ	สุรา	6,000	15,000	1994
เบียร์ไทยอัมฤทธิ ปทุมธานี	สุรา	1,600	4,000	1994
บุญรอดบิวเวอรี ปทุมธานี	สุรา	6,000	15,000	1995
ไทยเป็กกีฟู้ด สมุทรสาคร	ซ็อกโกแลต, ข้าวโพด, มันฝรั่งแผ่น,ขนมหวาน	384	1,997	1996
เสริมสุข ปทุมธานี	เครื่องดื่ม	3,600	7,200	1997
บุญรอดบิวเวอรี ขอนแก่น	สุรา	-	-	1997
เพอร์ซิเดนทีเบเกอร์* กรุงเทพฯ	สุรา	300	450	1997
เฟิร์สซูเปอร์ฟู้ด สมุทรสาคร	ลูกกวาด	30	180	1997
ก๊วยเตี้ยวไทยคอมเมอเซียล กรุงเทพฯ	ก๊วยเตี้ยว	40	40	1997
อุตสาหกรรมกระดาษธนกร ปทุมธานี	กระดาษใช้แล้ว	2,000	2,000	1998
ไทยบิวเวอรี อัญญา	สุรา	4,000	14,000	1998
มันสำปะหลังพัฒนา ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง	-	-	1998
ไทยโซติวิวัฒน์แช่แข็ง* สงขลา	กึ่งแช่แข็ง	1,000	2,100	1998
บี.เอส.เอ. โปรดัก* สมุทรสาคร	ทำปลา	250	600	1999
ซี.วาย. อาหารแช่แข็ง สมุทรสาคร	กึ่งแช่แข็ง	360	540	1999
อุตสาหกรรมผลองลาเท็กซ์* สงขลา	ลาเท็กซ์เข้มข้น	600	3,324	1999
ไทยกลูโคส สมุทรสาคร	กลูโคส(จากแป้งมัน สำปะหลัง)	600	4,800	1999
ไทยยูเนียนแมนูแฟคเจอร์ริง สมุทรสาคร	ปลาทูนากะป๋อง	6,000	36,000	1999
ซี.พี.ค้ำปติกแอนด่มาร์เก็ตติ้ง* กรุงเทพฯ	เบเกอร์รี่	100	600	2000
ไทยยูเนียนผลิตภัณฑ์แช่แข็ง* สมุทรสาคร	กึ่งแช่แข็ง	1,000	1,500	2000
ทรอปิคอลแคนนิง* สงขลา	อาหารบรรจุกระป๋อง	2,400	18,000	2000
สยามชาติอาหารสากล *ระนอง	แช่แข็งและซูริมิ	2,400	3,000	2000
เจเนอรอลฟู้ดส์ตีวี่ก * สมุทรปราการ	สัตว์ปีก	5,000	6,000	2000

ที่มา : Thai Environmental Engineering Journal Vol. 15 No.2

ระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงได้แก่ UASB, EGSB, IC, FB และ EB เป็นต้น ระบบดังกล่าวสามารถสร้างเป็นระบบสำเร็จรูปที่มีลิขสิทธิ์ ผู้ผลิตมักเป็นบริษัทในยุโรป, สหรัฐอเมริกา และแคนาดา รายชื่อผู้ผลิต, ชื่อผลิตภัณฑ์และประเภทของระบบแสดงอยู่ในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 สรุปข้อมูลการใช้ระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูง (Rintala, 2000)

รายชื่อผู้ผลิต	ประเทศผลิต	รูปแบบของระบบ	ชื่อผลิตภัณฑ์	จำนวนทั้งหมด	P/P*
ADI Systems	สหรัฐ-อเมริกา	Contact Process	ADI-BVF	67	1
		Hybrid	ADI-Hybrid	6	0
Biothane	แคนาดา	Contact	Biobulk Contact	4	0
		UASB	Biothane UASB	189	17
		EGSB	Biobed EGSB	47	0
Degremont	ฝรั่งเศส	Contact	Analift	22	1
		UASB	Anapulse	44	3
		AF	Anafiz	8	1
		FB	Anaflux	13	3
Paques	เนเธอร์แลนด์	UASB	Biopaq	266	49
		IC Reactor	Biopaq-IC	40	1
Purac AB	สวีเดน	Contact	Anamet	63	13
			รวม	785	89

P/P* = จำนวนระบบที่ใช้บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ

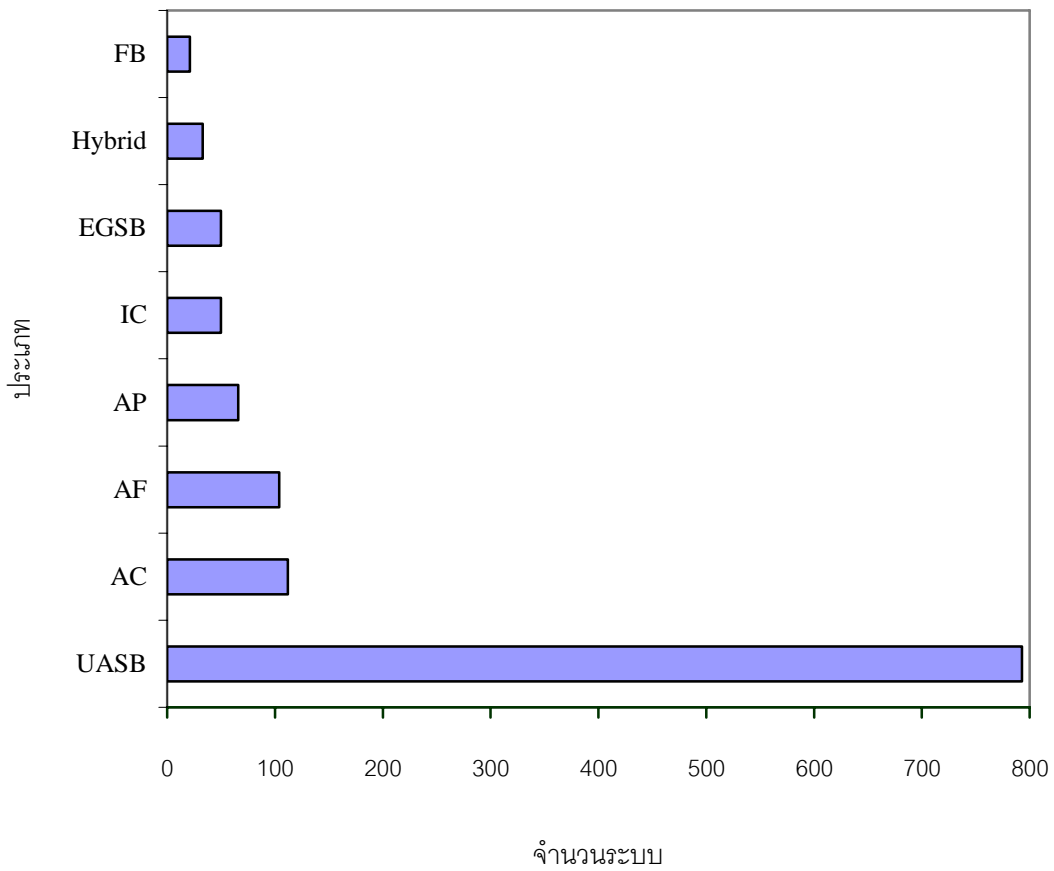
ในปี 1998 มีรายงานว่า จำนวนระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงมีจำนวนมากกว่า 785 แห่ง (Rintala, 2000) โดยแบ่งเป็นของผู้ผลิตต่างๆ ดังนี้

ADI Systems	73 แห่ง
Biothane Systems International	มากกว่า 250 แห่ง
Paques BV	306 แห่ง
Degremont	87 แห่ง
Purac AB	63 แห่ง

รายละเอียดของระบบแสดงอยู่ในตารางที่ 4.15 จากจำนวน 785 แห่ง มีการนำไปใช้บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ 89 แห่ง

Hulshof Pol (1998) รายงานว่ามีระบบไม่ใช้อากาศ จำนวน 1,229 แห่ง ที่ใช้บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยแยกเป็นรูปแบบหรือประเภทของระบบดังแสดงในรูปที่ 4.9 สัดส่วนความนิยมของถังหมักรูปแบบต่างๆเป็นดังนี้

UASB	64.5% (793 แห่ง)
Contact	9.1% (112 แห่ง)
AF	8.5% (104 แห่ง)
Hybrid	2.7% (33 แห่ง)
EGSB	4.1% (50 แห่ง)
FB	1.7% (21 แห่ง)
IC	4.1% (50 แห่ง)
Anaerobic Pond	5.4% (66 แห่ง)



รูปที่ 4.9 จำนวนระบบไม่ใช้อากาศ 8 ประเภทที่นิยมใช้มากที่สุด
(Hulshof Pol,L และคณะ 1998)

นอกจากนี้ Hulshof Pol (1998) ยังได้รายงานรายชื่อผู้ผลิตระบบไม่ใช้อากาศ 10 แห่งที่ได้รับความนิยมมากที่สุด แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 รายชื่อผู้ผลิตระบบไม่ใช้อากาศ 10 แห่งที่ได้รับความนิยมมากที่สุด
(Hulshof Pol,L et al 1998)

ชื่อผู้ผลิต	UASB	EGSB	IC	รวม
Paques	262	-	50	312
Biothane Systems International	200	50	-	250
Biotim	-	-	96	96
ADI Systems Inc.	-	-	68	68
Purac AB	-	-	59	59
Degremont SA	-	-	56	56
Enviroasia	-	-	54	54
Kurita	-	-	39	39
Shinko Pantec	-	-	28	28
TBW GmbH	-	-	27	27

4.5 ศักยภาพของการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในอนาคต

ในอนาคตความจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีแบบใช้อากาศก็ยังคงมีอยู่ แต่คาดคะเนได้ว่าจะมีความนิยมใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศสำหรับบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเป็นทางเลือกที่จะช่วยลดพลังงานสำหรับบำบัดน้ำเสียและของเสียและยังเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน ยกตัวอย่างการได้พลังงานในรูปก๊าซชีวภาพ 1.4 GJ (เทียบเท่ากับไฟฟ้า 110 กิโลวัตต์-ชม.) ปุ๋ยอินทรีย์ 180 กก. และน้ำสะอาด 700 ลิตร จากการบำบัดน้ำเสียหรือของเสีย 1 ตันด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ

นอกจากนี้ หากการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศสามารถประยุกต์มาใช้กับน้ำเสียชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก็ยังจะได้เห็นบทบาทของเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศมากและรวดเร็วยิ่งขึ้น

ปัจจัยหลายประการที่สนับสนุนให้มีความนิยมใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเพิ่มขึ้นมากและรวดเร็วในอนาคตอันใกล้มีดังนี้

4.5.1 แนวคิดในการประหยัดน้ำใช้ในอุตสาหกรรม

ในอนาคต มีความเป็นไปได้มากที่จะมีการประหยัดน้ำใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นผลให้น้ำเสียอุตสาหกรรมมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จึงมีโอกาสดำเนินการใช้เทคโนโลยีแบบไม่ใช้อากาศมากขึ้น ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงๆ ในลักษณะของการบำบัดเบื้องต้น

4.5.2 การพัฒนาของอุตสาหกรรมขั้นพื้นฐาน

ในปัจจุบัน การพัฒนาอุตสาหกรรมในประเทศไทยมุ่งไปหาการผลิตวัตถุดิบและสารเคมี เช่น การผลิตเรซินและพลาสติก ปิโตรเคมี ฯลฯ ซึ่งลักษณะของน้ำเสียจะแตกต่างจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมเกษตรและอาหารอย่างสิ้นเชิง ทำให้การบำบัดน้ำเสียกระทำได้ยากขึ้น ระบบบำบัดแบบใช้อากาศเพียงลำพังไม่มีทางรับมือกับอุตสาหกรรมใหม่เหล่านี้ได้อย่างแน่นอน สารอินทรีย์เคมีในน้ำเสียของอุตสาหกรรมใหม่สามารถบำบัดเบื้องต้นได้โดยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ

4.5.3 แนวคิดในการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศขั้นสูง

หัวข้อพัฒนาเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจ อาทิเช่น

- การบำบัดแบบไม่ใช้อากาศที่อุณหภูมิสูง (Thermophilic Anaerobic Treatment)
- การบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมเคมี
- การกำจัดซัลเฟตด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ สามารถทำให้เกิดการกำจัดโลหะหนัก
- บำบัดน้ำเสียเชิงซ้อนที่ย่อยยาก เช่น น้ำเสียที่เป็นน้ำตะกอน (Slurry), น้ำมัน อิมัลชัน, คอลลอยด์, น้ำเสียที่มีโปรตีนสูง
- ย่อยของเสียอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง
- ย่อยของเสียที่มีของแข็งและไนโตรเจนเข้มข้นสูง
- ย่อยของเสียที่มีไขมันเข้มข้นสูง

4.5.4 เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศสามารถสร้างผลกำไร

เป็นที่ทราบกันดีว่า การบำบัดของเสียเป็นกิจกรรมที่เจ้าของน้ำเสีย ต้องเสียเงินจำนวนมากโดยไม่ได้รับผลตอบแทนเป็นกำไรหรือเม็ดเงิน กล่าวโดยทั่วไปแล้ว การบำบัดของเสียเป็นกิจกรรมเพื่อสาธารณประโยชน์ แนวคิดในการทำกำไรจาก

การบำบัดน้ำเสียหรือของเสียจึงเป็นเรื่องที่ไม่น่าเป็นไปได้ แต่ในปัจจุบัน การนำเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเข้ามาใช้บำบัดของเสียสามารถทำให้เกิดผลกำไรเป็นเงินได้ ทั้งนี้เนื่องจาก เทคโนโลยีตัวนี้สร้างผลผลิตที่มีมูลค่า เช่น ก๊าซชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น

4.5.5 การสร้างผลผลิตที่มีค่าจากของเสียด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ

บริษัทในต่างประเทศบางแห่ง เช่น Waste Solution Ltd. ในสหรัฐอเมริกาได้มีการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีค่าจากของเสีย ตัวอย่างเช่น

- การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนสูงจากของเสียที่ได้จากโรงงานผลิตภัณฑ์แปรรูปจากปลา (Fish Processing)
- การผลิตน้ำมันปลาจากเศษชิ้นส่วนปลาที่ทิ้งขยะของโรงงานผลิตภัณฑ์แปรรูปจากปลา
- การผลิตสารปฏิชีวนะ (Antibiotics) จากการหมักน้ำเสีย
- การผลิตสารประกอบเกลือ Calcium Magnesium Acetate
- การผลิตปุ๋ยละลายช้า เช่น Magnesium Ammonium Phosphate

แม้แต่ในประเทศไทยช่วง พ.ศ. 2544 นี้ ได้มีการผลิตปุ๋ยน้ำ (หรือเรียกว่า ปุ๋ยหมักชีวภาพ) จากการหมักของเสียเกษตรกรรมต่างๆ เช่น เศษผักผลไม้, ผักตบชวา, เปลือกกล้วย ฯลฯ โดยใช้กระบวนการไม่ใช้อากาศ

บทที่ 5

แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

5.1 แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenic Bacteria)

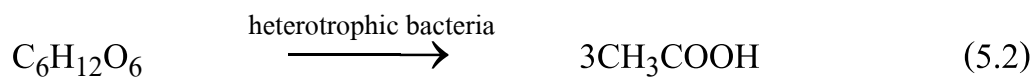
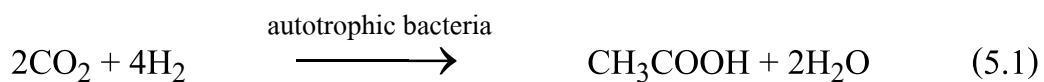
ในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยของกระบวนการไม่ใช้อากาศ กรดจะผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียไม่ใช้อากาศชนิดเด็ดขาด (Obligate Anaerobes) มากกว่าชนิด Facultative ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียชนิดเด็ดขาดมีจำนวนมากกว่า แบคทีเรียไม่ใช้อากาศชนิดเด็ดขาดที่มีบทบาทในการสร้างกรดไขมันระเหยก็คือกลุ่ม Clostridium ซึ่งมีเมตาบอลิซึมหลายแบบจึงสามารถใช้สารอาหารทั้งที่เป็นพวก แป้งหรือ โปรตีนได้ ผลปฏิกิริยาที่ได้มีหลากหลายชนิดเช่น กรดบิวทิริก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน เอทานอล บิวทานอล อะซีโตน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม Propionibacterium ที่ผลิตกรดพรอพิโอนิก (Propionic Acid) และกรดอะซิติกจากกรดแลคติก (Fenchel and Finlay, 1995 และ Madigan et.al., 1997)

5.2 แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria)

เมื่อผลผลิตจากแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิดดังที่กล่าว และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้ ดังนั้น จึงต้องมีการเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้กลายเป็นสารอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ซึ่งแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนกรดไขมันระเหยโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

● Homoacetogenic Bacteria

แบคทีเรียชนิดนี้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอน และผลิตกรดอะซิติกขึ้นมา(เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้อากาศ) ผ่านวิถีที่เรียกว่า Acetyl-CoA pathway แบคทีเรียชนิดนี้ เช่น *Acetobacterium woodii* และ *Clostridium aceticum* สามารถเจริญเติบโตทั้งในแบบออโทโทรฟิก(Autotrophic) คือ ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอนและใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติกอีกทั้งเจริญเติบโตในแบบเฮเทอโรโทรฟิก (Heterotrophic) ก็ได้ โดยการหมักน้ำตาลดั่งสมการข้างล่าง



จะเห็นว่าแบคทีเรียพวก *Clostridium* มีอยู่ทั้งในกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดทั่วไป (Acidogenic Bacteria) และกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria) ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียกลุ่มนี้มีเมตาบอลิซึมหลายแบบดังแสดงในตารางที่ 5.1

● H₂-producing Acetogenic Bacteria

แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่ใช่กรดอะซิติก) หรือแอลกอฮอล์เป็นสารอาหาร แล้วสร้างกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารอาหารของ

แบคทีเรียสร้างมีเทน ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงมีบทบาทสำคัญ เพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับแบคทีเรียสร้างมีเทน อย่างไรก็ตาม แบคทีเรีย

ตารางที่ 5.1 ลักษณะสมบัติของแบคทีเรียบางกลุ่มในจินัส

Clostridium (Medigan et al., 1997)

ลักษณะสำคัญ	ผลผลิตและลักษณะอื่น	ชนิด
1. ย่อยคาร์โบไฮเดรต		
ย่อยเซลลูโลสได้	อะซิเตท, แลคเตท, ซัลไฟเนท, ไฮโดรเจน, เอทานอล, คาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. cellobioparum</i> <i>C. thermocellum</i>
ย่อยน้ำตาล, แป้งและ เปกติน (pectin) ได้ บางชนิดครึ่ง ไนโตรเจนได้	ผลผลิตคือ อะซิโตน, บิวทานอล, เอทานอล, ไอโซพรอปินอล, บิวไทเรต, อะซิเตท, พรอพิโอเนท, ซัลไฟเนท, ไฮโดรเจน, คาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. butyricum</i> <i>C. acetobutylicum</i> <i>C. pasteurianum</i> <i>C. perfringens</i> <i>C. thermosulfurogenes</i>
ย่อยน้ำตาลให้เป็น กรดอะซิติก ได้	ผลิตอะซิเตทจาก คาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. aceticum</i> <i>C. thermoaceticum</i> <i>C. formicoaceticum</i>
ย่อยเฉพาะ pentoses หรือ methylpentoses ได้	ผลผลิตคือ อะซิเตท, พรอพิโอเนท, n- บิวทานอล, ไฮโดรเจน, คาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. methylpentosum</i>
2. ย่อยโปรตีนและ กรดอะมิโนได้		
อาจย่อยน้ำตาลได้	ผลผลิตคือ บิวไทเรตและอะซิเตท อาจผลิตเอกโซทอกซิน (exotoxins)	<i>C. sporogenes</i> <i>C. tetani</i> <i>C. botulinum</i> <i>C. tetanomorphum</i>
ย่อยสารประกอบที่มี	พรอพิโอเนท, อะซิเตทและ	<i>C. propionicum</i>

คาร์บอน 3 อะตอม คาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่ 5.1 ลักษณะสมบัติของแบคทีเรียบางกลุ่มในจินัส

Clostridium (Medigan et al., 1997) (ต่อ)

ลักษณะสำคัญ	ลักษณะอื่น	ชนิด
3. ย่อยคาร์โบไฮเดรทหรือกรดอะมิโนได้	อะซิเตท, ฟอ์เมท, มีไอโซบิวไทเรท และ ไอโซวาเลอเรท (isovalerate) เล็กน้อย	C. bifermentans
4. ย่อยพิวรีน (Purine) ได้	อะซิเตท, purines, forming acetate, คาร์บอนไดออกไซด์, แอมโมเนีย	C. acidurici
5. ย่อยเอทานอลให้เป็นกรดไขมันได้	ใช้อะซิเตทเป็นสารรับอิเล็กตรอน	C. kluyveri

ชนิดนี้จะเจริญเติบโตได้ไม่ดีเมื่ออยู่ตามลำพัง ทั้งนี้เพราะถ้ามีการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมาจะทำให้ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก ทำให้ปฏิกิริยาสร้างกรดอะซิติกไม่เกิดขึ้น ดังนั้น จะเห็นได้ว่า การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกและแบคทีเรียสร้างมีเทนให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน (Syntrophy) ต่างก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีถ้าอยู่เพียงลำพัง นั่นคือ แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจะสร้างอาหารให้แก่แบคทีเรียที่สร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็ช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียที่สร้างกรด

แบคทีเรียชนิดนี้จะอยู่ในจินัส Synthrophomonas และจินัส Synthrophobacter โดยแบคทีเรีย Synthrophomonas wolfei จะย่อยกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอน

ตั้งแต่ 4 ถึง 8 อะตอมให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนแบคทีเรีย Syntrophobacter wolinii จะย่อยกรดพรอพิโอนิกให้กลายเป็นกรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เช่นกัน

5.3 แบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methanogenesis Bacteria)

ในขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนจะเป็นแบคทีเรียประเภทเต็ดขาด (ที่ไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้แม้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย) แบคทีเรียพวกนี้จะเจริญเติบโตช้า และเลือกชนิดของอาหารมาก สารอาหารสำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทนมีอยู่ประมาณ 10 ชนิด โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารอาหารที่มีเกือบทั่วไปในธรรมชาติ และเมื่อแหล่งให้อิเล็กตรอนเป็นก๊าซไฮโดรเจนแบคทีเรียสร้างมีเทนพวกนี้จะจัดเป็นจุลินทรีย์ออโทโทรฟิกที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ทำหน้าที่เป็นทั้งสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอน นอกจากนี้ ยังมีสารอาหารอีกหลายตัวที่เป็นแหล่งคาร์บอนเช่นเดียวกับคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีก ดังแสดงในตารางที่ 5.2

กล่าวได้ว่า การสร้างมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถจัดเป็นการหายใจแบบไม่ใช้อากาศได้ โดยมีคาร์บอนไดออกไซด์ทำหน้าที่เป็นสารรับอิเล็กตรอน อย่างไรก็ตาม การศึกษาทางชีวเคมีของกระบวนการสร้างมีเทนพบว่า แบคทีเรียสร้างมีเทนที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารอาหารไม่มีสารจำพวก Cytochromes และ Quinones ซึ่งเป็นสารจำเป็นในระบบขนส่งอิเล็กตรอนทั่วไป ถึงกระนั้นการขนส่งอิเล็กตรอนในกระบวนการสร้างมีเทนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้ ก็ยังไม่เป็นที่เข้าใจกัน

อย่างชัดเจนนักจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะกระบวนการนี้ต้องการสาร โคอีนไซม์ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogens) เท่านั้น เพื่อทำหน้าที่ช่วยสารเอนไซม์ในการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์เป็นกาซมีเทน

ตารางที่ 5.2 สารอาหารสำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทน

(Medigan et.al.,1997 ; Fenchel and Finlay,1995)

กลุ่มคาร์บอนไดออกไซด์
Carbon dioxide, CO₂ (with electrons derived from H₂)
Formate, HCOO⁻
Carbon monoxide, CO
กลุ่มสารประกอบเมทิล
Methanol, CH₃OH
Methylamine, CH₃NH₃⁺
Dimethylamine, (CH₃)₂NH₂⁺
Trimethylamine, (CH₃)₃NH⁺
Methylmercaptan, CH₃SH
Dimethylsulfide, (CH₃)₂S
กลุ่มกรดอะซิติก
Acetate, CH₃COO⁻

แบคทีเรียสร้างมีเทนหลายชนิดได้ถูกค้นพบและสามารถเพาะแยกเชื้อได้ การศึกษาทั้งทางกายภาพและในระดับโมเลกุล ทำให้สามารถแยกแบคทีเรียชนิดนี้ได้เป็น 7 กลุ่ม รวมทั้งสิ้น 17 จีนัส (Genus) รูปร่างของแบคทีเรียชนิดนี้มีทั้งที่เป็นแท่ง (ทั้งชนิดยาวและชนิดสั้น) ทรงกลม(cocci) หรือเป็นรูปแผ่น รวมทั้งที่เป็นเส้นใย (filamentous) การติดสีมีทั้งแกรมลบและแกรมบวก ดังแสดงในตารางที่ 5.3

พวกแบคทีเรียสร้างมีเทนนี้มีลักษณะเด่นชัดแตกต่างจากพวกโปรคาริโอตทั่วไปตรงที่มีสารโคเอนไซม์ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับแบคทีเรียกลุ่มนี้เท่านั้นอยู่หลายตัว

- โคเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งคาร์บอน 1 อะตอม จากสารอาหารจนเป็นมีเทนได้แก่ สาร methanofuran methanopterin coenzyme M รวมทั้ง coenzyme F₄₃₀
- โคเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์ ได้แก่ coenzyme F₄₂₀ และ HS-HTP (7-mercaptoheptanoyl threonine phosphate)

สารโคเอนไซม์เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในกระบวนการชีวเคมีของการสร้างมีเทนมากกว่า NAD⁺ หรือ FMN ซึ่งเป็นสารโคเอนไซม์ทั่วไปของพวกโปรคาริโอต

ตารางที่ 5.3 แบคทีเรียสร้างมีเทนจำแนกตามลักษณะทางกายภาพและสมบัติ

ในระดับโมเลกุล (Madigan และคณะ, 1997)

จีโนส	รูปร่าง	ปฏิกิริยา แกรม	จำนวน ชนิด	สับสเตรท
Group I				
<i>Methanobacterium</i>	ท่อนยาว	+ or -	8	H ₂ + CO ₂ , formate
<i>Methanobrevibacter</i>	ท่อนสั้น	+	3	H ₂ + CO ₂ , formate
<i>Methanosphaera</i>	กลม	+	1	Methanol+H ₂ , both needed
Group II				
<i>Methanothermus</i>	เป็นท่อน	+	2	H ₂ +CO ₂ ,can also reduce S ⁰
Group III				
<i>Methanococcus</i>	กลมบูบี่	-	5	H ₂ + CO ₂ , pyruvate + CO ₂ , Formate
Group IV				
<i>Methanomicrobium</i>	ท่อนสั้น	-	2	H ₂ + CO ₂ , formate
<i>Methanogenium</i>	กลมบูบี่	-	3	H ₂ + CO ₂ , formate
<i>Methanospirillum</i>	เป็นสาย	-	1	H ₂ + CO ₂ , formate
<i>Methanoplanus</i>	เป็นแผ่น มีขอบคม	-	2	H ₂ + CO ₂ , formate

ตารางที่ 5.3 แบคทีเรียสร้างมีเทนจำแนกตามลักษณะทางกายภาพและสมบัติ
ในระดับโมเลกุล (Madigan และคณะ, 1997) (ต่อ)

จีโนส	รูปร่าง	ปฏิกิริยา แกรม	จำนวน ชนิด	สับสเตรท
Group V				
<i>Methanosarcina</i>	กลมขั้วแบน ใหญ่จับกันเป็น กลุ่ม	+	6	H ₂ + CO ₂ , acetate, methanol, methylamines
<i>Methanobolus</i>	กลมขั้วแบนจับกัน เป็นกลุ่ม	-	5	Methanol, methylamines
<i>Methanoculleus</i>	กลมขั้วแบน	-	4	H ₂ + CO ₂ , alcohol, formate
<i>Methanohalobium</i>	กลมขั้วแบน	-	1	Methanol, methylamines; halophilic
<i>Methanococoides</i>	กลมขั้วแบน	-	2	Methanol, methylamines
<i>Methanohalophilus</i>	กลมขั้วแบน	-	3	Methanol, methylamines, methyl sulfides; halophile
Methanotrinx (Methanosaeta)	ท่อนยาวและเป็น เส้นใย	-	3	Acetate
Group VI				
<i>Methanopyrus</i>	ท่อนยาวต่อเป็น สายโซ่	+	1	H ₂ + CO ₂ ; growth at 110° c hyperthermophile,
Group VII				
<i>Methanocorpusculum</i>	กลมขั้วแบน	-	3	H ₂ + CO ₂ , formate, alcohols

5.4 แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria, SRB)

แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนชนิดเค็ดขาดต้องการสภาพไม่ใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโต จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮเทอโรโทรฟ (Chemoheterotroph) ดำรงชีพและเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากปฏิกิริยาทางเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนและสารให้อิเล็กตรอน เช่น กรดไขมันระเหยหรือแอลกอฮอล์ ลักษณะเด่นของแบคทีเรียกลุ่มนี้คือ การใช้สารประกอบอนินทรีย์ของซัลเฟอร์บางชนิดเช่น ซัลเฟต, ซัลไฟด์ หรือไฮโดรซัลเฟต (ตารางที่ 5.4) เป็นสารรับอิเล็กตรอนในการย่อยสลายสารอาหาร แล้วเปลี่ยนสารประกอบซัลเฟอร์นั้นให้อยู่ในรูปซัลไฟด์แทน ผลผลิตที่สำคัญคือก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขั้นตอนนี้ถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศเช่นเดียวกับขั้นตอนการสร้างมีเทน ดังนั้นจึงมักพบแบคทีเรียชนิดนี้ร่วมกับแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนในระบบไม่ใช้อากาศที่ใช้บำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟต ความสัมพันธ์ของแบคทีเรียหลายกลุ่มดังกล่าวมามีทั้งการพึ่งพาอาศัย และการแข่งขันระหว่างกัน

แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ (ตารางที่ 5.5) ตามความสามารถในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์เพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโต ดังนี้

- แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตชนิดย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ไม่สมบูรณ์ (Incompletely Oxidizing Sulfate Reducing Bacteria, I-SRB) แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้สารอาหาร เช่น กรดแลกติก กรดไพรูวิก เอทานอล หรือกรดไขมันบางชนิด

โดยสารอินทรีย์ที่เหลือจากการย่อยสลายจะเป็นอะซิเตท เช่น แบคทีเรียในกลุ่ม Desulfovibrio Desulfomonas Desulfotomaculum และ Desulfobulbus เป็นต้น

- แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตชนิดย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สมบูรณ์ (Completely Oxidizing Sulfate Reducing Bacteria, C-SRB) สารอาหารที่ใช้จะเป็นกรดไขมัน โดยเฉพาะกรดอะซิติกและถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์จนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียในกลุ่มนี้ได้แก่ Desulfococcus Desulfosarcina และ Desulfonema

ปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอาหารของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตทั้ง 2 กลุ่ม มีอยู่หลายปฏิกิริยา เนื่องจากสารอาหารของแบคทีเรียชนิดนี้มีอยู่หลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.4 ตารางประกอบซัลเฟอร์ (สารรีดิวซ์อิเล็กตรอน)

และสารให้อิเล็กตรอนสำหรับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต

สารรีดิวซ์อิเล็กตรอน	สถานะออกซิเดชัน
สารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ	
Organic S (R-SH)	-2
Sulfide (H ₂ S)	-2
Elemental sulfur (S ⁰)	0
Thiosulfate (S ₂ O ₃ ²⁻)	+2 (average per S)
Tetrathionate (S ₄ O ₆ ²⁻)	+2.5 (average per S)
Sulfur dioxide (SO ₂)	+4
Sulfite (SO ₃ ²⁻)	+4
Sulfur trioxide (SO ₃)	+6
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	+6
สารให้อิเล็กตรอนบางชนิดสำหรับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต	
H ₂	Acetate
Lactate	Propionate
Pyruvate	Butyrate
Ethanol and other alcohols	Long-chain fatty acids
Fumarate	Benzoate
Malate	Indole
Choline	Hexadecane

ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและสารอาหารที่ใช้

(Gottschalk, 1988)

ชนิดจุลินทรีย์	ชนิดสับสเตรทที่ใช้ร่วมกับซัลเฟต	บริโภคน้ำ H ₂ +CO ₂	ชนิดไซโตโครม
Group I (I-SRB)			
<i>Desulfovibrio desulfuricans</i>	Lactate, Ethanol, Malate	ได้	c
<i>Desulfovibrio vulgaris</i>	Lactate, Ethanol, Malate	ได้	c
<i>Desulfomonas pigra</i>	Lactate	ไม่ได้	c
<i>Desulfotomaculum nigrificans</i>	Lactate, Ethanol	ได้	b
<i>Desulfobulbus propionicus</i>	Propionate	ไม่ได้	b, c
Group II (C-SRB)			
<i>Desulfotomaculum acetoxidans</i>	Acetate	ได้	b
<i>Desulfobacter postgatei</i>	Acetate	ไม่ได้	b, c
<i>Desulfococcus multivorans</i>	Acetate, Propionate, Benzoate, Fatty Acids (C ₁ -C ₁₄)	ไม่ได้	b, c
<i>Desulfonema limicola</i>	Formate, Acetate, Propionate, Fatty Acids (C ₁ -C ₁₂)	ได้	b, c
<i>Desulfosarcina variabilis</i>	Acetate, Propionate, Benzoate, Fatty Acids (C ₁ -C ₁₄)	ได้	ไม่ได้วัด

ตารางที่ 5.6 ตัวอย่างของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต

(Widdle, 1988)

ลำดับ ที่	สารให้อิเล็กตรอน	แบคทีเรีย	ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น
1	ไฮโดรเจน หรือฟอร์มเมท	I-SRB, C-SRB	$4\text{H}_2 + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow 4\text{H}_2\text{O} + \text{HS}^-$
2	อะซิเตท	C-SRB	$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{HS}^-$
3	พรอพิอเนท	C-SRB I-SRB	$4\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 7\text{SO}_4^{2-} \rightarrow 12\text{HCO}_3^- + 7\text{HS}^- + \text{H}^+$ $4\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 3\text{SO}_4^{2-} \rightarrow$ $4\text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{HCO}_3^- + 3\text{HS}^- + \text{H}^+$
4	บิวทิเรท	C-SRB I-SRB	$2\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COO}^- + 5\text{SO}_4^{2-} \rightarrow 8\text{HCO}_3^- + 5\text{HS}^- + \text{H}^+$ $2\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COO}^- + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow 4\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HS}^- + \text{H}^+$
5	แลกเตท	C-SRB I-SRB	$2\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + 3\text{SO}_4^{2-} \rightarrow 6\text{HCO}_3^- + 3\text{HS}^- + \text{H}^+$ $2\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow$ $2\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{HCO}_3^- + \text{HS}^- + \text{H}^+$
6	เบนโซเอท	C-SRB I-SRB	$4\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^- + 15\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ $28\text{HCO}_3^- + 15\text{HS}^- + 9\text{H}^+$ $4\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^- + 3\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ $12\text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{HCO}_3^- + 3\text{HS}^- + 9\text{H}^+$

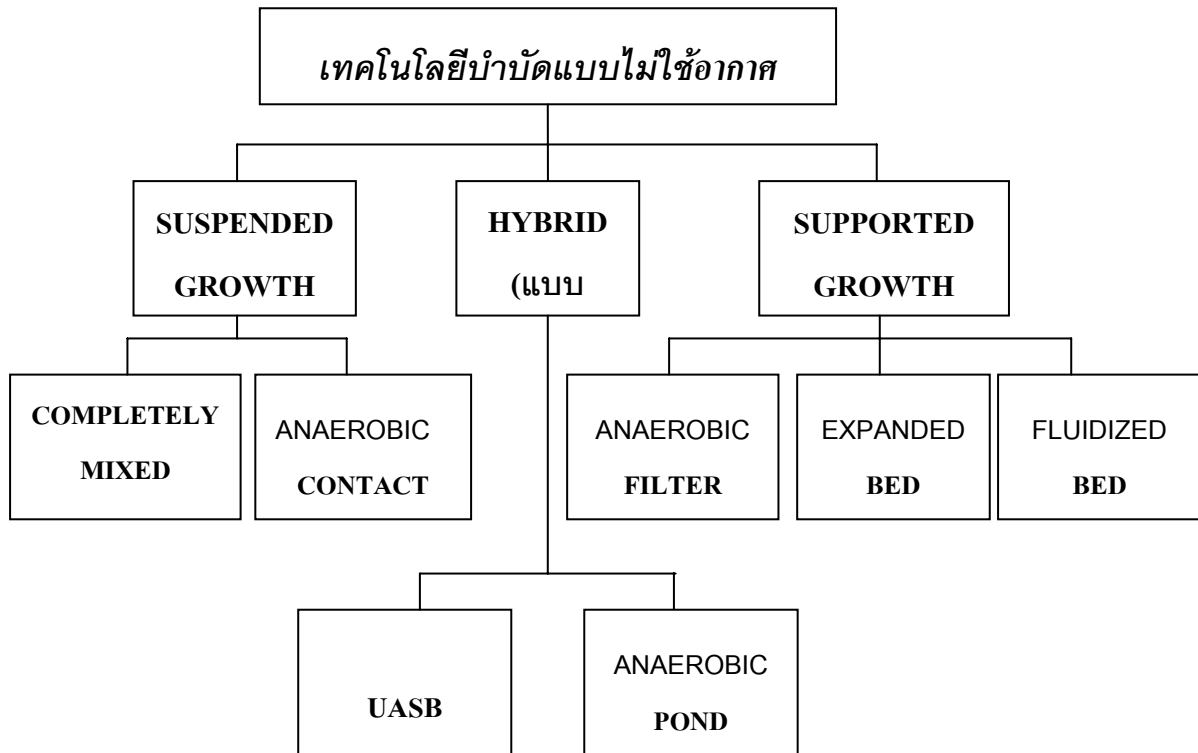
บทที่ 6

รูปแบบของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

กระบวนการไม่ใช้อากาศอาจใช้ในการบำบัดน้ำเสียหรือบำบัดสลัดจ์ก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าถึงปฏิกิริยาจะเป็นแบบใด แต่ไม่ว่าวัตถุประสงค์จะเป็นเช่นใดก็ตาม กระบวนการไม่ใช้อากาศก็มักมีลักษณะสำคัญร่วมกันคือสามารถสร้างก๊าซชีวภาพจากสารอินทรีย์ กระบวนการบำบัดสลัดจ์มักเป็นถังรูปแบบเดียวคือถังย่อยสลัดจ์ (Sludge Digestion Tank) ส่วนรูปแบบอื่นๆ มักใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ถึงปฏิกิริยาชีวภาพไม่ใช้อากาศได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับหมักธรรมดา จนถึงกระบวนการที่มีอัตราสูงที่ใช้ระยะเวลาสั้นมาก รูปที่ 6.1 ได้สรุปรูปแบบของถังปฏิกิริยาที่มีใช้กันในปัจจุบัน โดยด้านซ้ายจะเป็นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับระบบย่อยตะกอนหรือน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์อยู่ในรูปของแข็งปนอยู่มาก ส่วนกระบวนการด้านขวามือเหมาะสำหรับน้ำเสียที่สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ละลายอยู่ในน้ำ ส่วนกระบวนการตรงกลางเหมาะสมสำหรับน้ำเสียที่มีของแข็งไม่มากนักและน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ละลายน้ำ

ความแตกต่างของทั้งในด้านรูปแบบและข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานได้แสดงอยู่ในตารางที่ 6.1



รูปที่ 6.1 รูปแบบของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศแบบต่างๆ

(Manila and Pohland 1992)

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบบต่างๆ

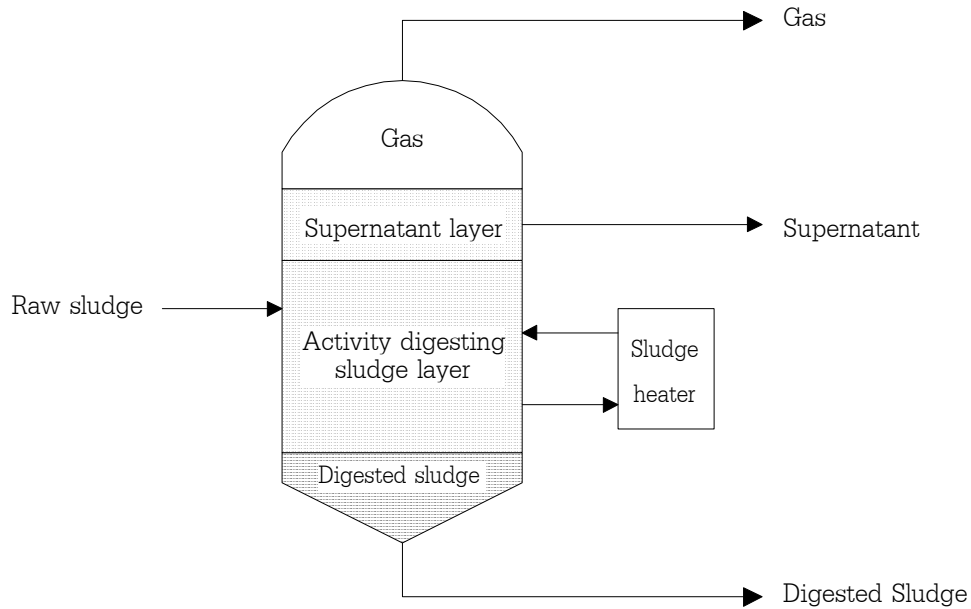
ข้อพิจารณา	ระบบเติมโต แขวนลอยใน น้ำ	ระบบผสม	ระบบมีตัวกลาง เกาะยึด
ความเข้มข้นของแบคทีเรีย	ต่ำ	สูง	สูง
อายุตะกอน (SRT)	ต่ำ	สูง	สูง
การใช้บำบัดน้ำเสียที่มีอนุภาค ของแข็ง	เหมาะสม	กำจัดอนุภาค ของแข็งได้บ้าง	กำจัดอนุภาค ของแข็งได้บ้าง
การใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความ เข้มข้นสูง	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
การใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความ เข้มข้นต่ำ	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม	เหมาะสม
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย	จำกัด	สูง	สูง
ความทนต่อสารพิษและ การเปลี่ยนแปลงภาวะ การทำงาน	มีข้อจำกัด เนื่องจากอายุ ตะกอนต่ำ	มีอายุตะกอนสูง จึงมีเสถียรภาพดี	มีอายุตะกอนสูง จึงมีเสถียรภาพดี
สภาพทางจุลศาสตร์ ในถังปฏิกรณ์	ใช้เครื่องกวน	ใช้วิธีหมุนเวียนน้ำ หรือใช้ก๊าซชีวภาพ มาเป่า	ใช้วิธีหมุนเวียนน้ำ หรือใช้ก๊าซชีวภาพ มาเป่า
การใช้พลังงาน	ต่ำที่สุด	สูงถ้ามีการหมุน เวียนน้ำ	สูง ถ้าเป็น แบบFluidized

- แบบที่เรียกเติบโตแขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย (Suspended Growth) อาศัยการกวนให้แบบที่เรียกผสมกับน้ำเสียภายในถังปฏิกรณ์ และจำเป็นต้องมีถังตกตะกอนเพื่อแยกน้ำที่ผ่านการบำบัดและเชื้อแบบที่เรียกให้ออกจากกัน โดยหมุนเวียนเชื้อกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์อีกครั้ง
- แบบที่เรียกเติบโตอยู่กับตัวกลาง (Supported Growth) เนื่องจากแบบที่เรียกแบบไม่ใช้อากาศไม่สามารถตกตะกอนได้ดี และอาจหลุดออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ทำให้มีผู้คิดค้นที่จะให้แบบที่เรียกเกาะติดกับตัวกลางและเสมือนว่าตัวกลางนั้นถูกใช้เป็นตัวกรองให้แบบที่เรียกไม่หลุดออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ทำให้ค่าใช้จ่ายของการสร้างถังตกตะกอนมาอยู่ที่ราคาของตัวกลางที่ให้แบบที่เรียกเกาะติด
- แบบผสม (Hybrid) ซึ่งเป็นการนำข้อดีมาใช้และตัดปัญหาข้อด้อยจาก 2 รูปแบบข้างต้น

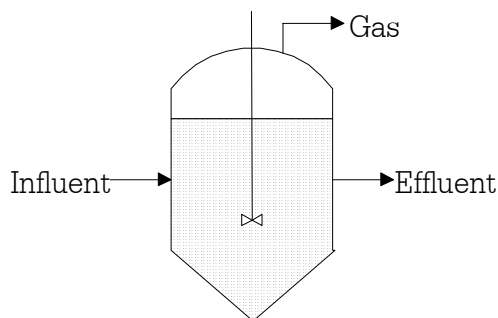
6.1 ถังย่อยสลัดจ์ (บำบัดสลัดจ์)

ระบบแบบนี้ใช้ในการบำบัดสลัดจ์ซึ่งเป็นตะกอนอินทรีย์ ส่วนประกอบหลักของระบบนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 6.2 และ 6.3 รูปที่ 6.2 เป็นถังย่อยที่ไม่มีการกวนตะกอนและไม่ปรับอุณหภูมิให้กับสลัดจ์ ปฏิกรณ์ที่เกิดขึ้นภายในถังจึงช้าและไม่ทั่วถึง ถังย่อยแบบนี้จึงเรียกว่าถังย่อยแบบอัตราต่ำ (Low Rate Digester) ส่วนรูปที่ 6.3 เป็นถังย่อยแบบที่มีการกวนและมีการปรับอุณหภูมิด้วย ปฏิกริยากำจัดสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นได้ดีกว่าแบบแรก ถังย่อยแบบนี้จึงเรียกว่าถังย่อยแบบอัตราสูง (High Rate Digester) รูปที่ 6.4 เป็นถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีถึง 2 ชุด ในภาพแสดงให้เห็นถึงการแยกตะกอนสลัดจ์ออกจากถังย่อยสลัดจ์ชุดที่ 2 ซึ่งทำให้

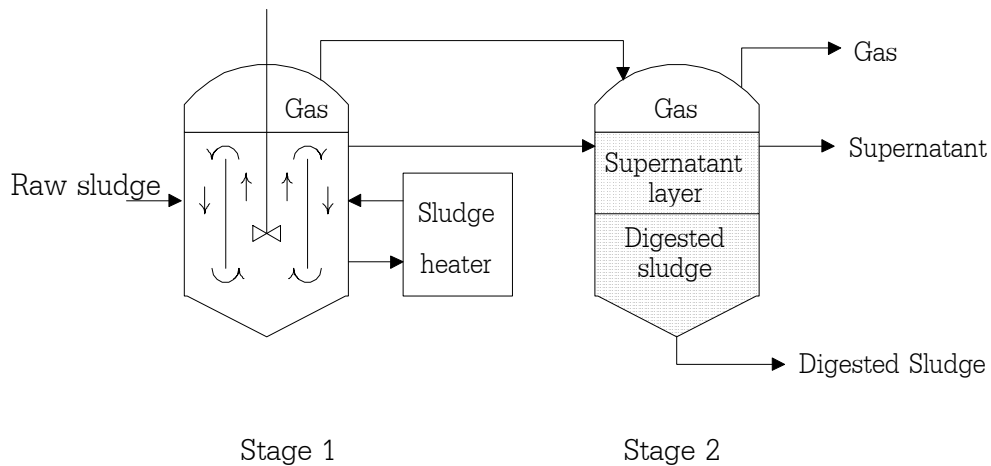
สามารถได้ผลิตภัณฑ์แล้วที่มีความเข้มข้นสูงและปล่อยน้ำทิ้งที่มีตะกอนแขวนลอยต่ำ (สกปรกน้อย)



รูปที่ 6.2 ถังย่อยชนิดอัตราต่ำ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ 2542)



รูปที่ 6.3 ถังย่อยแบบอัตราสูง (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ 2542)

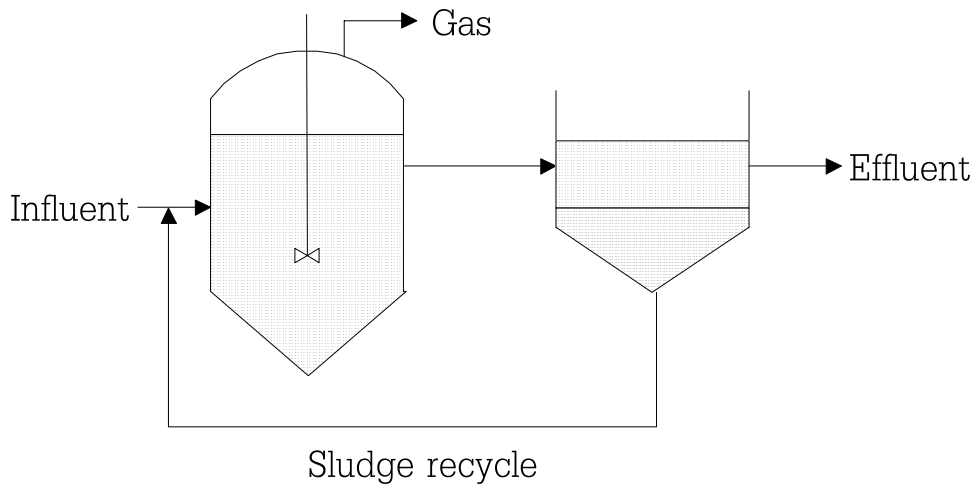


รูปที่ 6.4 ถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน (มันสิน ตันฑกุลเวศม์ 2542)

6.2 ถังย่อยแบบสัมผัส (Anaerobic Contact)

ถังย่อยแบบนี้ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ ถังย่อยแบบสัมผัสนี้อาจเป็นถึงปฏิบัติการแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่ก็ได้ แต่นิยมใช้แบบที่มีการหมุนเวียนตะกอน (ดูรูปที่ 6.5) ดังนั้น ถังย่อยแบบสัมผัสจึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบเอเอส จนกระทั่งในบางครั้งอาจเรียกถังย่อยแบบนี้ว่าเป็นระบบเอเอสแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Activated Sludge) อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีเหมือนกับระบบเอเอส การสะสมแบคทีเรียให้คงอยู่ในระบบไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากสลัดจ์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถตกตะกอนได้ดีเหมือนสลัดจ์ของระบบเอเอส จึงมีการหลุดหนีของสลัดจ์เกิดขึ้นตลอดเวลาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปัจจุบันระบบถังย่อยแบบสัมผัสมีจำนวนน้อยเนื่องจาก

ไม่เป็นที่นิยม ระบบที่ยังคงใช้ได้จะมีความสามารถในการรับภาระสารอินทรีย์ได้ต่ำ

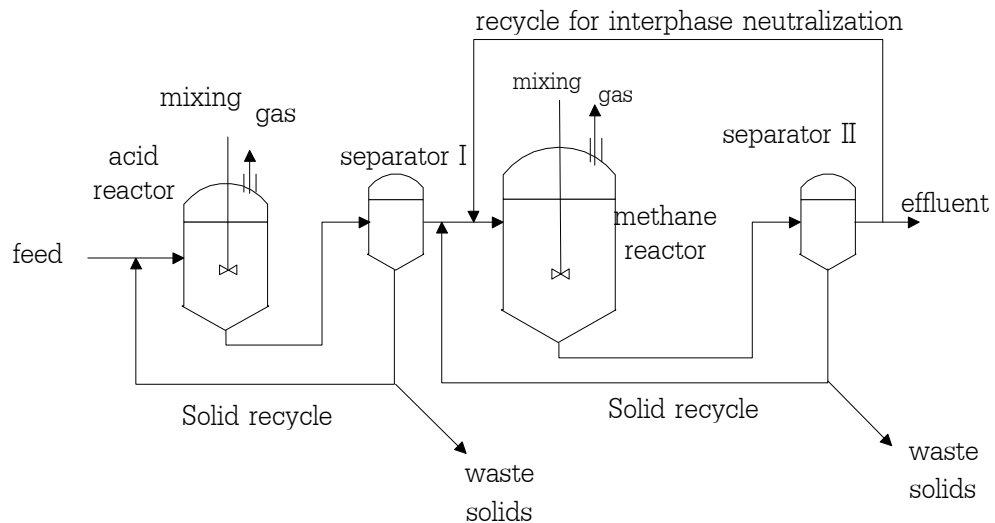


รูปที่ 6.5 ระบบถังย่อยแบบสัมผัส (มันสิน คณิตกุลเวศม์ 2542)

6.3 ถังย่อยแบบแยกเชื้อ

ได้มีความพยายามในการออกแบบถังย่อยแบบแยกเชื้อ เพื่อให้แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนเติบโตอยู่ในถังย่อยคนละใบที่สามารถควบคุมให้มีสถานะเหมาะสมแตกต่างกัน ลักษณะเช่นนี้เชื่อว่าแบคทีเรียแต่ละชนิดจะทำงานได้ดีเต็มกำลังและเป็นการใช้ประโยชน์จากถังปฏิกรณ์ได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ยังเชื่อว่าทำให้การควบคุมการทำงานของถังย่อยมีความสะดวกยิ่งขึ้น รูปที่ 6.6 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของถังย่อยแบบแยกเชื้อที่ใช้พีเอชเป็นตัวกำหนดและควบคุมแบคทีเรียในถังย่อย ถังใบแรกซึ่งมีพีเอชประมาณ 6 จะมีแต่แบคทีเรียประเภทสร้างกรด ส่วนถังที่สองซึ่งมีพีเอชประมาณ 7 จะมีแบคทีเรียสร้างมีเทน การควบคุมพีเอชแบบอัตโนมัติเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับถังใบแรกเท่านั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นในถังใบแรกจะถูกปล่อยทิ้งออกไปจากถังเพื่อมิให้เกิดการ

สะสมตัวจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างกรด วิศวกรบางคนอาจมีวิธีอื่นในการควบคุมแบคทีเรียในถังย่อยโดยมิต้องใช้พีเอช เช่น โดยการควบคุมระดับ SRT เป็นต้น



รูปที่ 6.6 ระบบถังย่อยแบบแยกเชื้อ (มันส์สัน ตันทุลเทศม์ 2542)

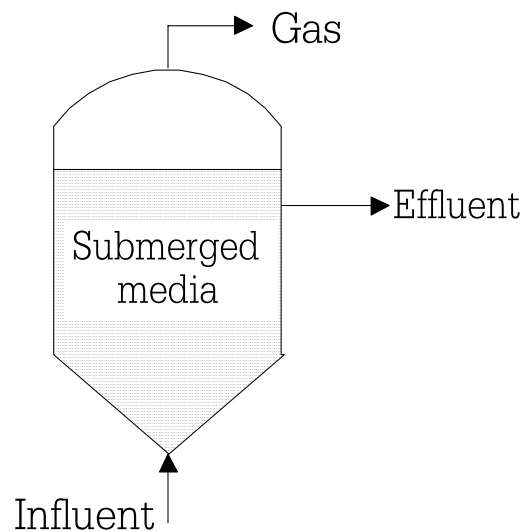
อนึ่ง แม้ว่าแนวความคิดต่างๆ ที่เกี่ยวกับถังย่อยแบบแยกเชื้อมีทางเป็นไปได้ แต่ประสบการณ์ต่างๆ ในภาคสนามนั้นยังมีน้อยมาก วิศวกรยังขาดความรู้พื้นฐานอีกหลายอย่าง ดังนั้นวิศวกรจึงมีความลังเลใจในการใช้ระบบถังย่อยประเภทนี้

6.4 เครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศ (AF หรือ Anaerobic Filter)

รูปที่ 6.7 แสดงให้เห็นถึงลักษณะทั่วไปของเครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศ ส่วนประกอบที่สำคัญคือถังสูงที่มีลักษณะคล้ายถังกรอง แต่บรรจุภายในด้วยหินขนาด 1.5–2 นิ้วหรืออาจใช้ตัวกลางพลาสติกแทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมตัวกลางอยู่ตลอดเวลา ถ้าทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง น้ำที่ไหลออกมาจะมีความใสโดยไม่

ต้องใส่ใจ

ถึงตกตะกอนต่างหาก โดยปกติเครื่องกรองไม่ใช้อากาศมีขนาดเล็กกว่าถังย่อยแบบธรรมดาเพราะมีอัตราบำบัดสูงกว่า(ใช้เวลากักน้ำต่ำกว่า) อย่างไรก็ตามเครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไข ปัญหาที่สำคัญก็คือ ต้องการวิธีการกระจายน้ำเสียให้ไหลเข้าถังกรองให้ได้อย่างสม่ำเสมอ เรื่องการอุดตันก็เป็นปัญหาเหมือนกัน แต่สามารถแก้ไขหรือบรรเทาลงได้โดยการกำจัดของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำเสียก่อนส่งเข้าเครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศ เช่นให้มีการตกตะกอนน้ำเสียก่อนส่งเข้าระบบ ถังไม่ใช้อากาศแบบนี้มีข้อดีมากกว่าแบบอื่นๆที่กล่าวไปแล้ว เนื่องจากมีความสามารถในการเก็บกักเซลล์แบคทีเรียได้ดีกว่า ทำให้มีความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำ

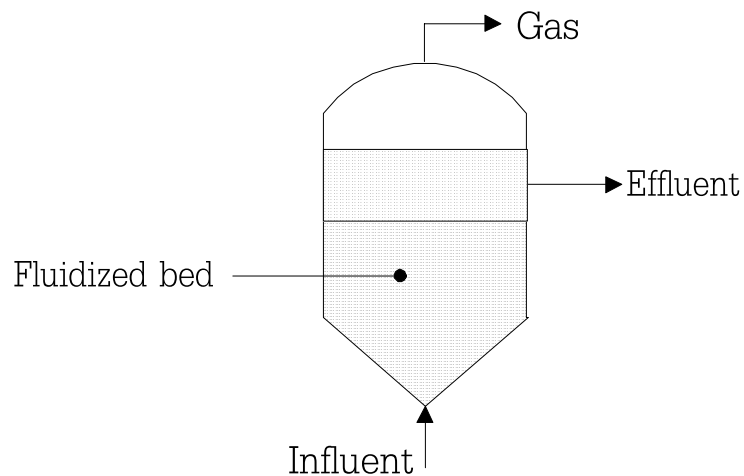


รูปที่ 6.7 ระบบเครื่องกรองไม่ใช้อากาศ (มันสิน ตันฑุลเวศม์ 2542)

6.5 ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ

(AFB หรือ *Anaerobic Fluidized Bed*)

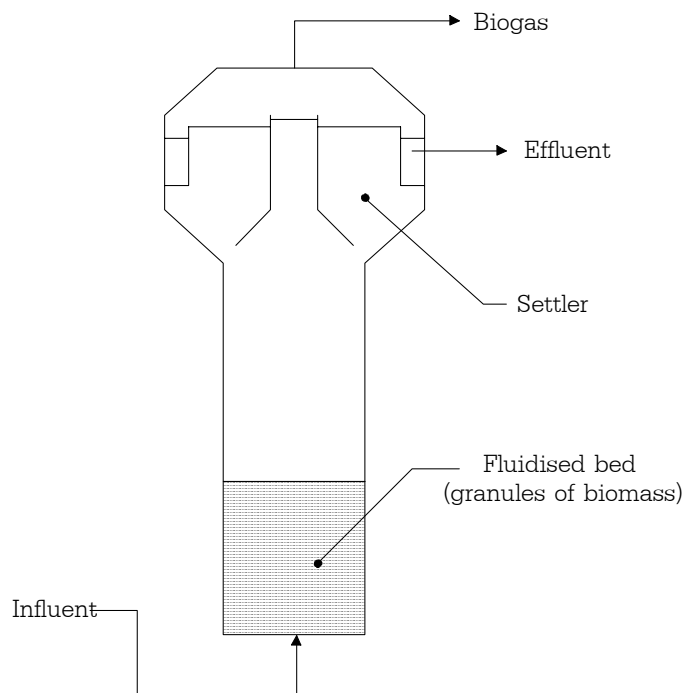
ระบบแบบนี้คล้ายคลึงกับระบบเครื่องกรองไม่ใช้อากาศตรงที่มีน้ำไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน จัดเป็นระบบฟิล์มตรึง (Fixed Film) แบบไม่ใช้อากาศที่มีสารตัวกลางขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายเป็นที่จับเกาะของแบคทีเรีย (ดูรูปที่ 6.8) อัตราไหลของน้ำเสียจะต้องสูงมากจนกระทั่งทำให้มีการลอยตัวของสารตัวกลาง ตัวอย่างสารตัวกลางที่มีการทดลองใช้ในระดับห้องปฏิบัติการได้แก่ ทราย, แอนทราไซต์, ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น การใช้สารตัวกลางขนาดเล็ก (เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเครื่องกรองไม่ใช้อากาศ) ทำให้ระบบนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (คิดต่อหน่วยปริมาตร) สูงมาก ซึ่งเท่ากับการมีแบคทีเรียจำนวนมากอาศัยอยู่ในระบบ อัตราเร็วในการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้จึงสูงมาก ถึงปฏิกิริยาที่ใช้ในระบบจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ลักษณะการทำงานซึ่งต้องทำให้สารตัวกลางลอยตัวตลอดเวลาก่อให้เกิดปัญหาในการออกแบบและควบคุมระบบหลายอย่าง และต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้สารตัวกลางลอยตัวสูงกว่าระบบอื่น ระบบเช่นนี้จึงยังไม่ได้ได้รับความนิยม



รูปที่ 6.8 ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (AFB) (มันสิน ตันทุลเทศม์ 2542)

6.6 ระบบยูเอเอสบี (UASB หรือ Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

การที่ต้องมีสารตัวกลางอยู่ในเครื่องกรองไม่ใช้อากาศและระบบ AFB ทำให้ถึงปฏิบัติการต้องเสียปริมาณใช้งานและเสียเงินซื้อสารตัวกลางเป็นจำนวนมาก จึงมีผู้คิดค้นระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้สารตัวกลาง ระบบใหม่นี้มีทิศทางไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นด้านบนโดยไม่ใช้ตัวกลาง แต่แบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ จนกระทั่งมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดี เม็ดสลัดจ์ขนาดใหญ่จะจมตัวอยู่ข้างล่าง ส่วนเม็ดขนาดเล็กจะอยู่ข้างบน เม็ดเล็กที่สุดจะลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลัดจ์ เม็ดบางส่วนอาจหลุดขึ้นถึงตอนบนของถัง แต่ตอนบนของระบบยูเอเอสบีมีอุปกรณ์ที่คล้ายถังตกตะกอนมีหน้าที่แยกเม็ดตะกอนขนาดเล็กและก๊าซชีวภาพออกจากน้ำ เรียกว่า GSS (Gas Solids Separator) หรือระบบแยกก๊าซและของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำ) ก๊าซจะถูกเก็บรวบรวมไปใช้และเม็ดตะกอนถูกส่งกลับลงไปในถัง (ดูรูปที่ 6.9)



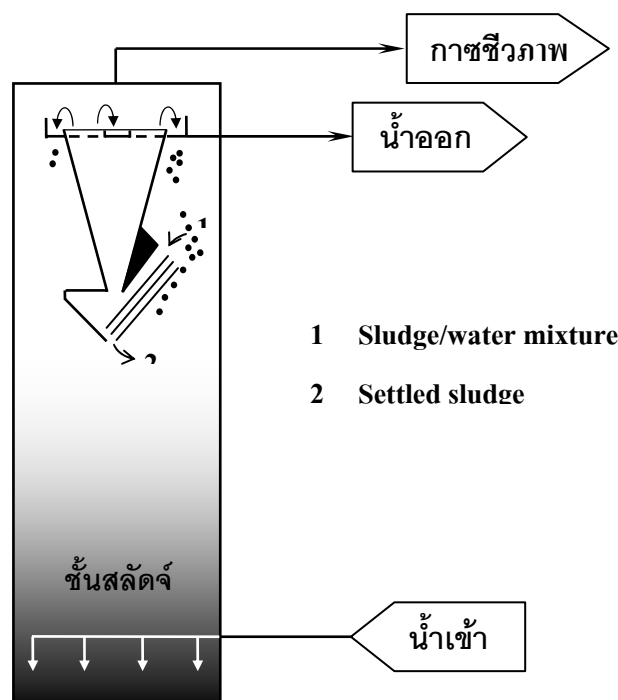
รูปที่ 6.9 ระบบยูเอเอสบี (มันลิน ตัณฑุลเวศม์ 2542)

อนึ่ง การเลี้ยงแบคทีเรียไม่ใช้อากาศให้สามารถจับตัวกันเป็นเม็ดใหญ่นั้นเป็นเรื่องยาก ผู้ใช้ระบบนี้จึงมีเทคนิคต่างๆ ในการทำให้เกิดเม็ดตะกอนที่จับกันเป็นชั้นสัดค้ภายในถังปฏิกริยาและถือเป็นความรู้เฉพาะด้วย ระบบนี้มีรายงานที่ใช้กันมากในประเทศแถบอเมริกาใต้ เอเชีย และมีใช้ในยุโรปบางประเทศ จุดอ่อนของระบบคือการสร้างชั้นสัดค้เป็นเรื่องยาก และอาจถือว่าเป็นเรื่องไม่ธรรมดาเนื่องจากธรรมชาติของแบคทีเรียไม่ใช้อากาศไม่มีนิสยเกาะจับกันเป็นกลุ่มฟล๊อค ผู้ที่นำระบบนี้ไปใช้และประสบความสำเร็จอ้างว่าระบบนี้สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูงกว่าระบบไม่ใช้อากาศแบบอื่นๆ และสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูงได้ เนื่องจากสามารถป้องกันมิให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้ดีกว่าแบบอื่น

6.7 EGSB หรือ Expanded Granular Sludge Bed

ระบบ EGSB ปรับปรุงมาจากระบบ UASB โดยให้มีอัตราน้ำไหลขึ้นสูงประมาณ 3-10 ม./ชม. ทำให้ชั้นนอน (Sludge Bed) มีการขยายตัวมากกว่าระบบ UASB ช่วยทำให้มีการสัมผัสระหว่างน้ำเสียและเม็ดแบคทีเรียได้ทั่วถึง การบำบัดน้ำเสียจึงมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบ UASB

รูปตัดของ EGSB แสดงอยู่ในรูปที่ 6.10 น้ำเสียไหลเข้าถังหมักทางด้านล่างโดยผ่านระบบท่อกระจายน้ำแบบพิเศษ ภายในถังหมักจะมีชั้นนอนของสลัดจ์ที่เป็นเม็ดแบคทีเรียขนาดประมาณเม็ดทราย เม็ดสลัดจ์มีขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนได้ดี (มีความเร็วในการตกตะกอนประมาณ 60 – 80 ม/ชม.)



รูปที่ 6.10 ภาพตัดขวางของถังหมักแบบ EGSB

(Zoutbert ,G.R and Frankin,R 1996)

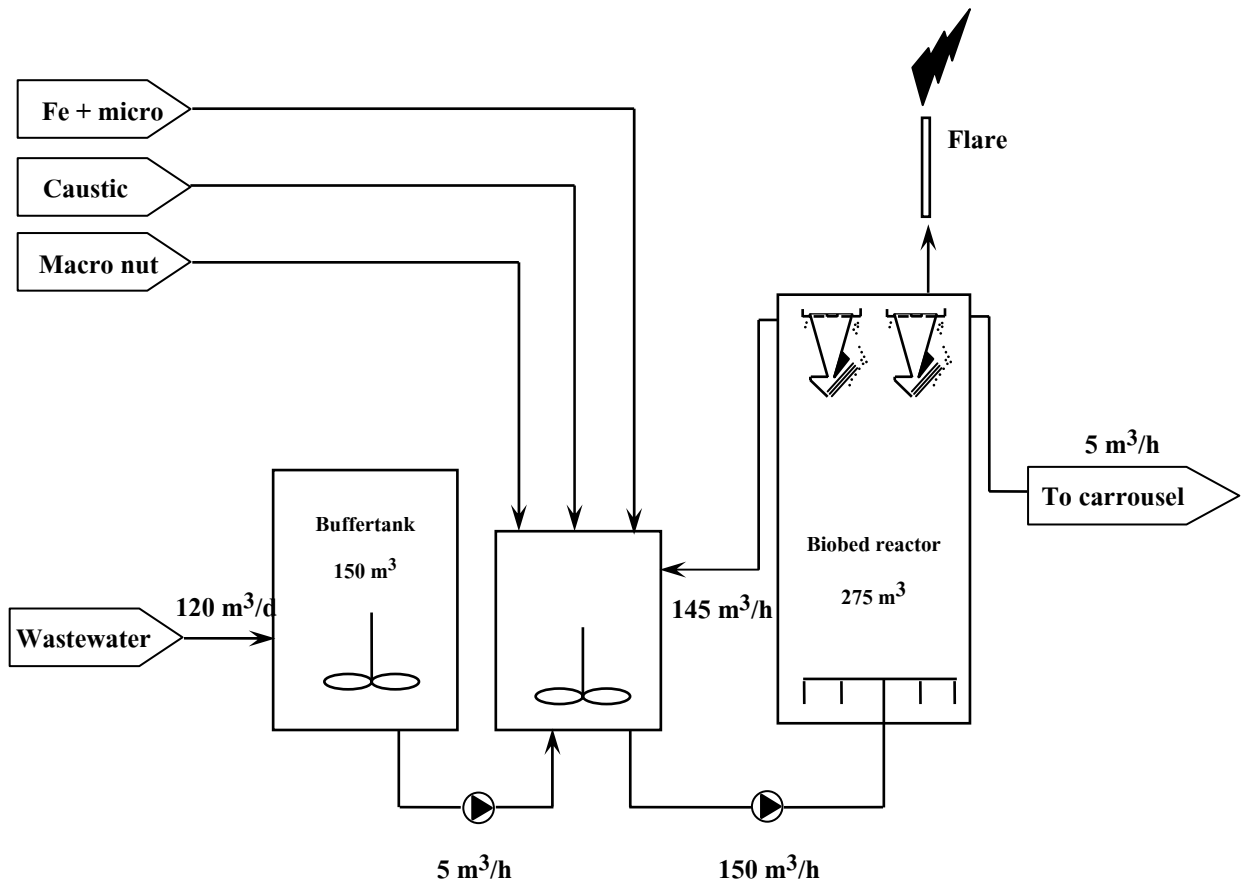
การย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นมีเทน เกิดขึ้นภายในชั้นสลัดจ์นอน (Sludge Bed) ความสูงของชั้นสลัดจ์นอน ขึ้นอยู่กับความสูงของถังหมัก ซึ่งมักมีค่าอยู่ในช่วง 7–14 เมตร เมื่อน้ำเสียไหลขึ้นมาถึงตอนบนซึ่งเป็น GSS หรือระบบแยก ก๊าซและของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำ ก๊าซชีวภาพและของแข็งแขวนลอย (SS) ถูกแยกออกจากน้ำเสียที่บำบัดแล้ว ก๊าซจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ SS จะตกตะกอน กลับลงไปยังตอนล่างของถังหมัก น้ำเสียบำบัดแล้วจะไหลออกจากถังหมัก ระบบ GSS ของถังหมักแบบ EGSB เป็นระบบที่ออกแบบพิเศษให้สามารถทำงานได้ดีกว่าระบบ GSS ของถัง UASB ทั่วไป กล่าวคือ ให้สามารถรับอัตราไหลได้สูงกว่า (อัตราน้ำล้นผิวของระบบ GSS ชุดพิเศษนี้มีค่าประมาณ 1 ม/ชม.)

กรณีศึกษา บริษัทแห่งหนึ่งในประเทศเนเธอร์แลนด์ผลิตสารเคมีฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) โดยใช้เมทานอลเป็นวัตถุดิบ น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีฟอร์มัลดีไฮด์ และเมทานอลเป็นส่วนประกอบหลักดังนี้

อัตราไหล	5	ลบ.ม./ชม.
ซีโอดีทั้งหมด	20,000	มก/ล.
ฟอร์มัลดีไฮด์	5,000	มก/ล.
เมทานอล	10,000	มก/ล.

ถัง EGSB ที่ใช้มีขนาดความจุ 275 ลบ.ม. น้ำเสียในอัตรา 5 ลบ.ม./ชม. จะไหลเข้าถังบำบัดที่มีเวลากักน้ำ 30 ชม. และถูกสูบเข้าถังปรับพีเอชในอัตราคงที่ เพื่อปรับพีเอชให้เป็นกลาง (ภายในถังนี้มีการเติมสารเคมีต่างๆ ได้แก่ N, P, และ Fe

เพื่อให้แบคทีเรียได้รับสารอาหารครบถ้วน) จากนั้นน้ำเสียจะถูกสูบต่อไปในอัตรา 150 ลบ.ม./ชม. เข้าสู่ถัง EGSB เพื่อกำจัด COD อัตราสูบดังกล่าวนี้เป็นอัตราสูบน้ำเสีย 5 ลบ.ม./ชม. และอัตราหมุนเวียน 145 ลบ.ม./ชม. ทำให้ความเร็วของน้ำที่ไหลขึ้นถึงหมักมีค่าสูงถึง 9.4 ม./ชม. จะเห็นได้ว่าอัตราหมุนเวียนน้ำทำให้เกิดการเจือจางน้ำเสียถึง 30 เท่าด้วยน้ำที่บำบัดแล้ว ทำให้ฟอร์มัลดีไฮด์และเมทานอลถูกเจือจางจนไม่เป็นพิษต่อระบบ EGSB โดย Flow Diagram ของระบบบำบัดน้ำเสียแสดงในรูปที่ 6.11



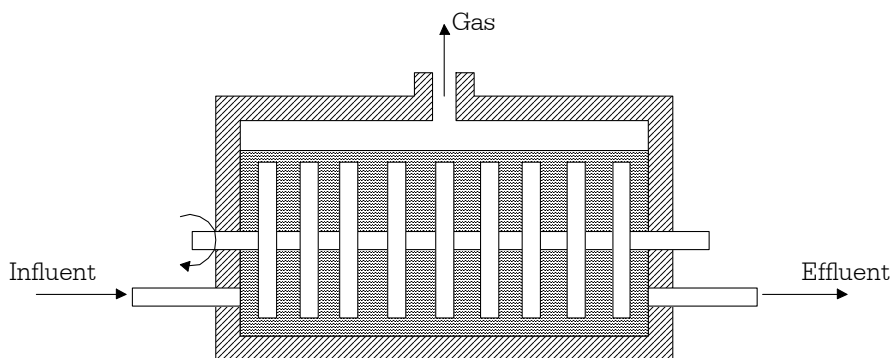
รูปที่ 6.11 Flow Diagram ของระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งใช้ถังหมัก EGSB

(Zoutbert ,G.R and Frankin,R 1996)

6.8 ระบบจานหมุนชีวภาพไม่ใช้อากาศ

(AnRBC หรือ *Anaerobic Rotating Biological Contactor*)

ได้เริ่มมีการทดลองโดย Tait และ Friedman โดยใช้บำบัดน้ำเสียที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากต้องการลดการใช้พลังงานในการสูบน้ำเสียให้หมุนเวียนในระบบ AFB และนำข้อดีของระบบฟิล์มตรึง (Fixed Film) และจานหมุนชีวภาพ (RBC) มาใช้ในระบบไม่ใช้อากาศลักษณะของระบบก็คล้ายคลึงกับระบบจานหมุนชีวภาพธรรมดา เพียงแต่มีฝาปิดเพื่อมิให้สัมผัสอากาศจากภายนอก และมีช่องระบายกาซออกทางตอนบน (ดังรูปที่ 6.12) ผลปรากฏว่าแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศสามารถยึดเกาะ และเจริญเติบโตได้ดีบนผิวแผ่นจาน มีคำอ้างว่าระบบนี้สามารถรับภาระสารอินทรีย์และภาระทางชลศาสตร์ที่สูงขึ้นอย่างกระทันหันได้ดี

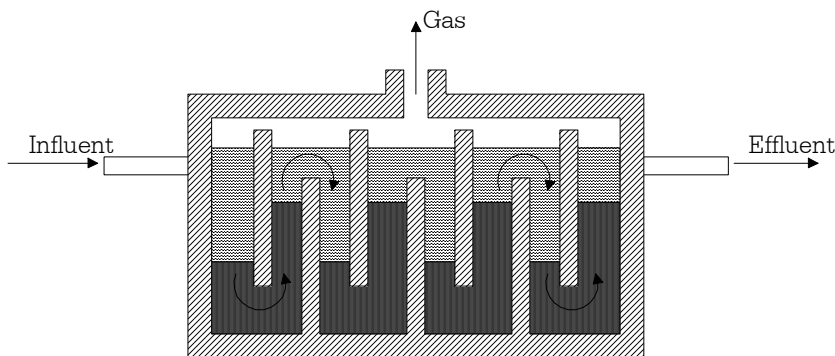


รูปที่ 6.12 ระบบ Anaerobic Rotating Biological Reactor

(มันสิน ตันจุลเวศม์ 2542)

6.9 ระบบแผ่นกั้นไม่ใช้อากาศ (ABR หรือ Anaerobic Baffled Reactor)

ลักษณะของระบบแผ่นกั้นไม่ใช้อากาศคือ มีแผ่นกั้นเพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลมุดขึ้นมุดลงอยู่ในแนวตั้ง (ดูรูปที่ 6.13) ถึงปฏิกิริยาจึงไม่จำเป็นต้องมีความสูงมากเหมือนของระบบไม่ใช้อากาศแบบอื่นๆ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ Bachmann และคณะ ได้ทดลองใช้ระบบนี้ที่มหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด สหรัฐอเมริกา และได้กล่าวถึงข้อดีของระบบนี้ว่า เป็นระบบที่มีพื้นที่ผิวน้ำมากทำให้แบคทีเรียมีพื้นที่ตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่นๆ การแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำจึงสามารถทำได้ดีโดยไม่ต้องมีการใช้อุปกรณ์แยกตะกอนอื่นๆ ก๊าซสามารถแยกตัวออกจากน้ำได้ดีและง่ายเช่นกัน ลักษณะดังกล่าวทำให้การเก็บกักเซลล์เกิดได้ดี จึงมีมวลแบคทีเรียสะสมอยู่ในระบบเป็นจำนวนมาก การบำบัดน้ำเสียจึงสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยอัตราสูง

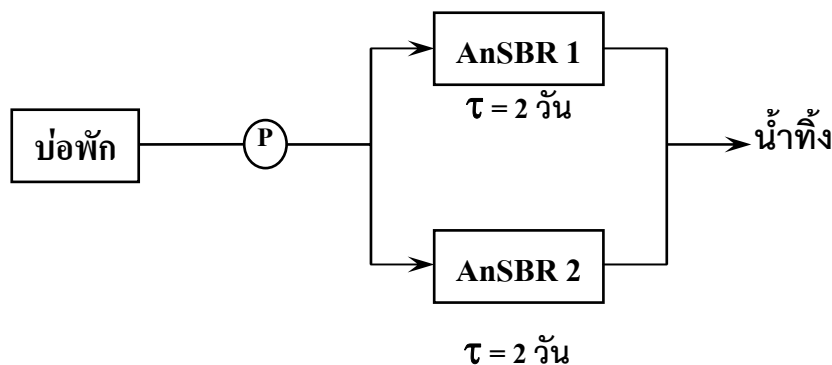


รูปที่ 6.13 ระบบ Anaerobic Baffled Reactor

(มันสิน ตันจุลเวศม์ 2542)

6.10 AnSBR หรือ Anaerobic Sequencing Batch Reactor

ระบบ AnSBR ที่ใช้มีลักษณะเดียวกับระบบยูเอเอสบีหรือถังหมักไม่ใช้อากาศที่เปิดฝา ไม่มีการกวนน้ำและมีการเติมน้ำเสียเป็นแบบเท (Batch) การย่อยสลายตัวของซีโอดีทำให้มีก๊าซเกิดขึ้นจนทำให้ชั้นสลัดจ์ฟุ้งทั้งถังคล้ายกับมีการกวนน้ำด้วยใบพัดกวน เมื่อซีโอดีลดลงปริมาณก๊าซก็ลดลง (จะเห็นได้จากการลดลงของการฟุ้งของชั้นสลัดจ์) ทำให้มีการตกตะกอนของชั้นสลัดจ์เกิดขึ้น ทำให้สามารถแยกชั้นน้ำใสที่อยู่ตอนบนออกทิ้งได้ การออกแบบอาจให้รอบการทำงานของแต่ละถังเป็นเวลา 1 วัน (ครบ 24 ชั่วโมง ซึ่งชั้นสลัดจ์ในถังหมักก็ไม่มีการฟุ้งแล้ว) ตัวอย่างเช่น ให้ถัง AnSBR มีเวลากักน้ำ 2 วัน (เท่ากับปริมาตร 50% ของปริมาณน้ำเสียที่เกิดในหนึ่งวัน) และใช้เชื้อแบคทีเรียประมาณ 25% ของความจุถัง (ดูรูปที่ 6.14)



รูปที่ 6.14 การบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอด้วยระบบ AnSBR
(ข้อมูลของบริษัท แซน.อี.68 คอนซัลติง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด)

แม้ว่าระบบนี้ต้องการเวลากักน้ำ 2 วัน ทำให้ภาระอินทรีย์เท่ากับประมาณ 5-6 กก./ลบ.ม.-วัน แต่ก็เป็นภาระอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่ย่อยยากดังเช่นในกรณีของน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอ

ข้อดีของระบบ AnSBR มีหลายประการดังนี้

- ไม่ต้องการ Seed ที่เป็นเมล็ด และไม่ต้องเลี้ยงเชื้อให้เป็นเมล็ดเหมือนระบบ UASB
- ใช้ได้กับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอย
- ใช้ได้ง่ายมากและออกแบบง่าย ผู้ที่มีความรู้น้อยก็ใช้ได้

ระบบ AnSBR มีลักษณะคล้ายบ่อหมักไม่ใช้อากาศ แต่เป็นบ่อหมักขนาดเล็กที่มีการเลี้ยงสลัดจ์เข้มข้นสูงมาก บ่อหมักธรรมดาจะมีเชื้อเข้มข้นต่ำการที่เลี้ยงเชื้อเข้มข้นมากต้องเริ่มต้นด้วยการเติมเชื้อ Seed มาก ถึง AnSBR จึงแบ่งเป็น 2 ถัง แต่ละถังมี $\tau = 2$ วัน ทำให้สามารถหา Seed มาเริ่มต้นได้ง่าย การรับน้ำเสียของ AnSBR ก็คล้ายกับบ่อหมักแต่มีข้อแตกต่างคือระบบ AnSBR รับน้ำเสียเพียง 50% ของน้ำเสียทั้งหมด การทำงานของบ่อหมักเป็นแบบต่อเนื่อง ในขณะที่ระบบ AnSBR ทำงานเป็นแบบกึ่งเท กล่าวคือในแต่ละวันเมื่อมีการบำบัดน้ำเสียในถัง AnSBR นานถึง 23 ชั่วโมง ก๊าซชีวภาพจะหมดและมีการตกตะกอนของสลัดจ์ น้ำใสจะถูกระบายออกทิ้งภายในเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะรับน้ำเสียในวันต่อไป

ถ้าต้องการให้มีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ ต้องสร้างฝาปิดถัง AnSBR ในกรณีนี้ถัง AnSBR จะคล้ายกับถังหมักไม่ใช้อากาศที่ใช้บำบัดสลัดจ์ (Anaerobic Digester) ก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีการย่อยสลายชีวมวลจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ เมื่อใกล้ 24 ชั่วโมงก๊าซจะหมดจึงถึงเวลาระบายน้ำทิ้งออก ช่วงนี้สามารถเปิดท่อระบายอากาศเพื่อให้ทิ้งน้ำได้ง่าย การทำงานของระบบ AnSBR ที่ต้องการก๊าซชีวภาพจะคล้ายกับบ่อหมักไม่ใช้อากาศที่มีการปิดฝาหรือคล้ายกับถังหมักไม่ใช้อากาศแบบธรรมดาที่ใช้บำบัดสลัดจ์ แต่ถัง AnSBR เป็นถังหมักที่มีเวลากักน้ำเสียเพียง 2 วัน (ถังหมักธรรมดาเวลากักน้ำประมาณ 10–30 วัน)

6.11 บ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

บ่อหมักไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบที่ง่ายที่สุด กล่าวกันว่า ระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศถูกพัฒนาขึ้นมาโดยบังเอิญในออสเตรเลียทั้งนี้เพราะผู้ใช้บังเอิญปล่อยสารอินทรีย์จำนวนมากเกินไปลงในบ่อน้ำเสียแบบกึ่งแอโรบิก (Facultative Oxidation Pond) จนทำให้ไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่ในน้ำ แต่ก็ปรากฏว่าบ่อยังสามารถบำบัดน้ำเสียได้

บ่อหมักไม่ใช้อากาศมักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ที่มีความลึก 3 – 4 เมตร และไม่มีฝาปิด มีเวลากักน้ำนานหลาย ๆ วัน ภายในระยะเวลาดังกล่าว น้ำเสียจะถูกย่อยด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศ เนื่องจากบ่อหมักไม่ใช้อากาศมีขนาดใหญ่ จึงต้องใช้ที่ดินจำนวนมากในการสร้าง นอกจากนั้นยังอาจจะมีกลิ่นไม่ดี ระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศจึงเหมาะสำหรับใช้ในชนบทหรือชานเมืองที่ซึ่งราคาที่ดินไม่สูงนัก และมิมีผู้อยู่อาศัยอยู่ไม่หนาแน่น

วิศวกรมักออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศด้วยค่าอัตราการระอินทรีย์ไม่เกิน 0.5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ทั้งนี้เพื่อมิให้มีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าบ่อหมักจะออกแบบได้ดีเพียงใดก็มีโอกาสจะเกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นเป็นที่น่ารังเกียจได้เสมอ ในปัจจุบันจึงมีความพยายามในการปิดบ่อไม่ใช้อากาศเพื่อป้องกันเรื่องกลิ่นเหม็นและเพื่อเก็บก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ ความก้าวหน้าในทางวัสดุศาสตร์โดยเฉพาะเรื่องเทคโนโลยีพลาสติกและเรซิน ทำให้สามารถใช้แผ่นพลาสติกพีอี (Polyethylene) เป็นฝาปกคลุมบ่อไม่ใช้อากาศได้ในราคาพอสมควร(ดูรูปที่ 6.15) ข้อดีที่ตามมาจากการปิดบ่อหมักอีกประการหนึ่งคือ ทำให้สามารถสร้างในพื้นที่ใกล้ชุมชนได้มากกว่าในอดีตและทำให้สามารถออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศแบบปิดฝาด้วยค่าอัตราการระอินทรีย์ที่สูงกว่า 0.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีผลทำให้ระบบมีขนาดเล็กลง ค่าก่อสร้างที่ลดลงเนื่องจากลดขนาดของบ่อมีส่วนทำให้สามารถชดเชยค่าปิดฝาบ่อได้บ้าง



รูปที่ 6.15 ปอหมักไม่ใช้อากาศแบบปิดฝา
(ข้อมูลของบริษัท แชน.อี.68 คอนซัลตติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด)

บทที่ 7

การพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ เพื่อบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

7.1 ประเภทของน้ำเสีย

ความเหมาะสมของระบบไม่ใช้อากาศทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์และในด้านเทคนิค ขึ้นอยู่กับลักษณะหรือประเภทของน้ำเสียเป็นสำคัญ น้ำเสียที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนมักสามารถย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศได้เช่นกัน อาจกล่าวได้ว่า น้ำเสียที่มีอัตราส่วน BOD:COD ไม่น้อยกว่า 0.5 น่าจะย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่ไม่มีอากาศ นักวิจัยได้เสนอพารามิเตอร์ที่เรียกว่า BMP (Biochemical Methane Potential) เพื่อใช้วัดความสามารถในการย่อยสลายภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศของน้ำเสีย การวัด BMP ใช้เวลา 5 วัน โดยเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียไม่ใช้อากาศให้ย่อยสลายตัวอย่างน้ำเสียเพื่อสร้างก๊าซมีเทน จากนั้นวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นและคำนวณค่าซีโอดีของมีเทน (ก๊าซมีเทน 1 มล. เท่ากับซีโอดี 2.53 มก.) ค่าซีโอดีของก๊าซมีเทนที่วัดได้คือ ค่า BMP ซึ่งมีความหมายคล้ายๆ กับค่า BOD ที่แสดงถึงความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายน้ำเสีย

จากการสำรวจระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม 803 แห่ง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2540, 2541 และ 2541) จะเห็นได้ว่าระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศใช้กันมากกับอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีภาระบีโอดี (บีโอดีไหล) สูงมาก ถึง 55.6% ของบีโอดีไหลทั้งหมดในปี พ.ศ.2539 (ดูตารางที่ 7.1) ผลสำรวจนี้ไม่ใช่เรื่องน่าประหลาดใจ เนื่องจากน้ำเสียของอุตสาหกรรม

อาหารและเครื่องคั้มประกอบด้วยสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ย่อยสลายได้ง่ายและมี
ความเข้มข้นของบีโอดีสูง จึงบำบัดด้วยระบบไม่ใช้อากาศได้ดี

ในปัจจุบัน มีความพยายามบำบัดน้ำเสียที่ไม่ใช่ของอุตสาหกรรมอาหารและ
เกษตรด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศขั้นสูงแสดง
ศักยภาพที่เป็นไปได้ของแนวคิดข้างต้น ดังนั้น จึงอาจกล่าวไว้ก่อนล่วงหน้าว่า ใน
อนาคตเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศอาจใช้ได้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมทุกชนิดที่มี
สารอินทรีย์ย่อยง่ายหรือมีสารอินทรีย์เคมีที่ย่อยยากก็ตาม

7.2 ความเข้มข้นของน้ำเสีย

7.2.1 น้ำเสียความเข้มข้นสูง

เมื่อพิจารณาด้านเทคนิคทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ พบว่ากระบวนการไม่ใช้
อากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้ทุกชนิดตั้งแต่ความเข้มข้นต่ำๆ เช่น น้ำเสียจาก
ชุมชน จนถึงน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงมาก (เช่น โรงงานกลั่นสุรา) แต่จะต้อง
คำนึงถึงข้อเท็จจริงและองค์ประกอบอื่นๆ ร่วมด้วย ดังนี้

1. ผลการวิจัยส่วนใหญ่ แสดงว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วย
กระบวนการไม่ใช้อากาศ จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำเสียสูงขึ้น เช่น
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำจากบ้านเรือน อาจจะมีเพียง
ร้อยละ 50 และเพิ่มสูงขึ้นจนถึงมากกว่าร้อยละ 80 – 90 ถ้าความเข้มข้นซีโอดี
ของน้ำเสียสูงเกิน 2,000 มก. /ล. (โดยทั่วไป ระบบไม่ใช้อากาศเหมาะสำหรับ
บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดีสูงประมาณ 2,000 มก./ล. จนถึง 20,000
มก./ล. หรือสูงกว่า)

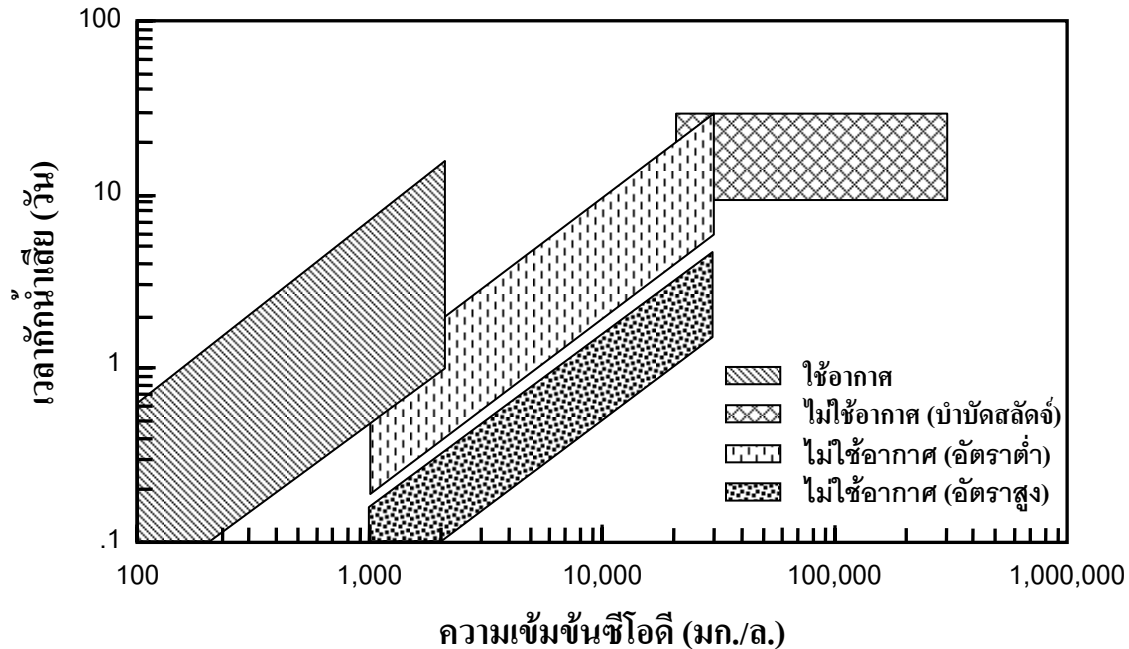
ตารางที่ 7.1 ปริมาณปีโอดีจากโรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 3 ปี พ.ศ. 2539

รหัส TSIC	ประเภทอุตสาหกรรม	จำนวน โรงงาน	ปริมาณปีโอดี	
			ตันต่อปี	%
311 – 312	ผลิตอาหาร	4,173	199,300	35.3
313	ผลิตเครื่องดื่ม	171	114,530	20.3
321	ผลิตสิ่งทอสิ่งถัก	1,186	75,140	13.3
322	ผลิตเครื่องแต่งกาย	64	34,900	6.2
323	ผลิตภัณฑ์หนังสัตว์ หนังสั๊ยม ขนสัตว์	203	1,040	0.2
331	ผลิตภัณฑ์จากไม้และไม้ก๊อกลง	1,823	86,270	15.3
332	ผลิตเครื่องเรือน เครื่องตกแต่งและสิ่งปูพื้น	764	180	0.0
341	ผลิตกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ	152	1,280	0.2
351	ผลิตเคมีภัณฑ์สำหรับงานอุตสาหกรรม	481	3,290	0.6
352	ผลิตภัณฑ์เคมีอื่นๆ	770	1,880	0.3
355	ผลิตภัณฑ์ยาง	260	120	0.0
356	ผลิตภัณฑ์พลาสติก ซึ่งมีได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น	1,062	7,920	1.4
361	ผลิตเครื่องดินเผา	501	480	0.1
362	ผลิตแก้วและผลิตภัณฑ์แก้ว	146	180	0.0
369	ผลิตผลิตภัณฑ์แร่โลหะ	334	570	0.1
371	อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าขั้นมูลฐาน	578	1,070	0.2
372	อุตสาหกรรมขั้นมูลฐานสำหรับโลหะที่มีใช่เหล็ก	730	30	0.0
381	ผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ	960	10,840	1.9
382	ผลิตเครื่องจักร	912	6,010	1.1
393	อิเล็กทรอนิกส์	751	50	0.0
384	ผลิตอุปกรณ์การขนส่ง	194	3,200	0.6
390	อุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆ	33	60	0.0
719	บริการเกี่ยวกับขนส่ง	430	15,290	2.7
951	บริการซ่อมแซม ซึ่งมีได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น	292	110	0.0
952	ซักรีด บริการซักรีด	84	1,550	0.3
999	ร้านซ่อม ซึ่งมีได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น	85	27	0.0
รวม		17,139	565,317	100.0

ที่มา : ศูนย์สารสนเทศ กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539 อ้างถึงในกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

2. น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไม่ใช้อากาศยังคงมีสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่เป็นปริมาณสูงและมักมีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ทำให้ต้องมีการบำบัดขั้นต่อไปด้วยกระบวนการแบบใช้อากาศ ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นต่ำจึงอาจไม่เหมาะสมในด้านค่าใช้จ่ายและความยุ่งยากในการควบคุมการทำงาน จากประสบการณ์พบว่าควรใช้การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศสำหรับความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียสูงกว่า 1,000 มก./ล.
3. กระบวนการไม่ใช้อากาศเหมาะสำหรับใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงเพราะไม่ต้องมีการเติมอากาศเหมือนระบบใช้อากาศ ทำให้ใช้พลังงานต่ำ อีกทั้งยังเกิดก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ ระบบใช้อากาศเหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีไม่เกิน 2,000 – 5,000 มก./ล. ส่วนระบบไม่ใช้อากาศเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีสูงหรือบำบัดสลัดจ์ ในทางปฏิบัติอาจใช้ระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราต่ำหรืออัตราสูงก็ได้สำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีเข้มข้นอยู่ในช่วง 1,000 – 30,000 มก./ล. ในกรณีที่น้ำเสียมีสารอินทรีย์สูงมากๆ เช่น ซีโอดีเข้มข้นถึง 10% หรือมากกว่าหรือบำบัดตะกอนสลัดจ์ก็สามารถใช้ระบบย่อยแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion) ในที่นี้ขออธิบายว่าระบบย่อยแบบไม่ใช้อากาศหรือ Anaerobic Digestion นั้น หมายถึง การใช้ถังหมักไม่ใช้อากาศแบบธรรมดา รูปที่ 7.1 แสดงถึงขอบเขตของการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ สำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นบีโอดีต่างๆ



รูปที่ 7.1 ขอบเขตของการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้และไม่ใช้อากาศ

(Manila and Pohland 1992)

7.2.2 น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

การใช้ระบบไม่ใช้อากาศบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดีสูงเป็นเรื่องธรรมดาที่ปฏิบัติกันทั่วไป แต่ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีได้พัฒนาระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราบำบัดสูงหลายแบบ (เช่น UASB, FB, EB เป็นต้น) ที่สามารถนำมาใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ ระบบไม่ใช้อากาศดังกล่าวถูกออกแบบให้สามารถเก็บรักษาและสะสมแบคทีเรียอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ภายในระบบมีมวลแบคทีเรียสูงและสูญเสียมวลแบคทีเรียออกไปกับน้ำทิ้งน้อยมาก จึงกล่าวได้ว่าระบบไม่ใช้อากาศสามารถใช้ได้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดีได้ทุกระดับ

ตัวอย่างเช่นในปัจจุบันนี้ มีการใช้ระบบใช้อากาศ เช่น ระบบเอเอส ในการบำบัดน้ำเสียมากที่สุดในประเทศไทย ระบบเอเอสจำนวนไม่น้อยที่ถูกสร้างขึ้นมาให้ใช้บำบัดน้ำเสียเข้มข้นต่ำ ทำให้ต้องเสียดำไฟฟ้าในการเติมอากาศสูงกว่าที่ควรจะเป็น กรณีตัวอย่างข้างต้นมีให้เห็นได้ทั่วไปดังเช่น

- ระบบเอเอสที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนของประเทศไทย
- ระบบเอเอสที่ใช้บำบัดน้ำเสียฟอกย้อมผ้าและผ้าถัก
- ระบบเอเอสที่ใช้บำบัดน้ำเสียของอาคารสูงต่างๆ
- ระบบเอเอสที่ใช้บำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลต่างๆ

ตารางที่ 7.2 เป็นลักษณะเฉลี่ยของน้ำเสียของโรงพยาบาล น้ำเสียฟอกย้อมผ้า และน้ำเสียสำนักงานตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำเสียดังกล่าวมีค่าบีโอดีและซีโอดีต่ำ จากการคำนวณพบว่า ถ้าเวลากักน้ำของถังเติมอากาศเท่ากับ 1 วัน น้ำเสียที่มี BOD ต่ำกว่า 400 มก./ล. ล้วนแต่เติมออกซิเจนหรืออากาศเกินกว่าความจำเป็นในการย่อยสลายบีโอดี ปริมาณการเติมอากาศที่มากเกินไปเป็นเพราะต้องใช้อากาศในการกวนน้ำให้เกิดการแขวนลอยของ MLSS นั้นเอง

ในตารางที่ 7.2 จะเห็นได้ว่าทุกระบบอาจปิดเครื่องเติมอากาศได้นานเท่ากับ 17.7, 16.7, 17.3, 19.8 และ 20.7 ชม./วัน ตามลำดับเท่ากับประหยัดพลังงานได้ 74, 70, 72, 82 และ 90% ตามลำดับ

ตารางที่ 7.2 ความเข้มข้นบีโอดีและซีโอดีของแหล่งน้ำเสียต่างๆ
และเวลาเปิดเครื่องเติมอากาศที่ต้องการ

แหล่งน้ำเสีย	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	เวลาเปิดเครื่อง เติมอากาศ (ชม./วัน)*	ที่มาของข้อมูล
โรงพยาบาลของรัฐ	104.7	216.1	6.3	โรงพยาบาล 45 แห่ง
ฟอกย้อมด้าย	120	300	7.3	โรงงาน 13 โรงงาน
ฟอกย้อมผ้าฝ้าย	110	370	6.7	โรงงาน 16 โรงงาน
ชุมชนเมือง	70	105	4.2	เทศบาลนนทบุรี
สำนักงาน	38.5	–	2.3	สำนักงานเขตการไฟฟ้า นครหลวง 9 เขต

* กำหนดให้เวลากักน้ำของถังเติมอากาศ 24 ชม.

ในกรณีที่เป็นระบบเอเอสทีที่สร้างใหม่ ควรออกแบบเป็น SBR ที่ทำงานวันละ 2 รอบ ทำให้สามารถลดเวลากักน้ำรวมของถังเติมอากาศเหลือ 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงออกแบบวิธีควบคุมระบบให้เป็นแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศสลับกันโดยไม่จำเป็นต้องมีการกวนน้ำในช่วงเดินระบบแบบไม่ใช้อากาศ ถ้าใช้บำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำดังเช่นน้ำเสียจากอาคารหรือน้ำเสียชุมชน ช่วงเติมอากาศใช้เวลาเพียง 8–12 ชม./วัน หรือน้อยกว่า

7.2.3 อุณหภูมิของน้ำเสีย

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศ สามารถทำงานได้ดีมีอยู่สองช่วงคือ ช่วง Mesophilic ประมาณ 30°C ถึง 40°C และช่วง Thermophilic ประมาณ 50°C ถึง 60°C แต่ส่วนใหญ่จะออกแบบให้ทำงานในช่วง Mesophilic

เพราะระบบจะมีเสถียรภาพในการทำงานสูงกว่า ประกอบกับเป็นอุณหภูมิที่สามารถทำงานได้ดีในประเทศไทยโดยไม่ต้องเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ

ในกรณีที่น้ำเสียมีอุณหภูมิสูง (เช่น อยู่ในช่วง 50–60°C) พบว่าอาจบำบัดได้ดีด้วยกระบวนการไม่ใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูง (Thermophilic Anaerobic Treatment) ช่วงอุณหภูมิประมาณ 55–65°C ถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูง

แบคทีเรียไม่ใช้อากาศที่ทำงานได้ดีในอุณหภูมิสูง พบว่ามีรวมอยู่กับแบคทีเรียไม่ใช้อากาศธรรมดา ดังนั้น เชื้อแบคทีเรียไม่ใช้อากาศจากระบบทั่วไป (ที่อุณหภูมิต่ำ) สามารถนำไปเป็นเชื้อเริ่มต้น (Seed) ให้กับระบบที่มีอุณหภูมิสูงได้

เมื่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะได้อัตราบำบัดที่มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic) ประมาณ 50–100% และมักพบว่าอัตราเพิ่มของผลผลิตชีวภาพหรือยิลด์ (Yield) มีค่าประมาณ 50% ของอัตราที่อุณหภูมิ 35°C มีผลทำให้การเริ่มเลี้ยงถังหมักต้องใช้เวลาานานมาก นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียเกิดการแตกของเซลล์ (lyse) ได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง เป็นผลให้แบคทีเรียมีการเติบโตอยู่ในสภาวะ Exponential เท่านั้น

ในกรณีของถังหมักไม่ใช้อากาศที่ทำงานในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic) การผลิตก๊าซชีวภาพจะถูกชะลอให้ช้าลงเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 45°C จากการทดลอง

พบว่าถ้าอุณหภูมิคงอยู่ที่ 45°C เป็นเวลานานจนกระทั่งระบบฟื้นตัว (ผลิตก๊าซได้ เช่นเดิม) จะสามารถเดินระบบได้ที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 55°C โดยไม่มีปัญหา

นักวิจัยบางคนกล่าวว่าระบบไม่ใช้อากาศอุณหภูมิสูงต้องใช้เวลาเริ่มเดินระบบ (Start Up) นานถึง 1 ปี แต่ไม่พบว่าระบบมีเสถียรภาพด้อยกว่าระบบที่มีอุณหภูมิปานกลาง

7.2.4 คุณภาพของน้ำทิ้ง

ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้อากาศสามารถผลิตน้ำทิ้งสุดท้ายที่มีคุณภาพสูง เช่น มีตะกอนแขวนลอยและบีโอดีต่ำ เป็นต้น ระบบไม่ใช้อากาศมักไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพสูงเท่าเทียมได้ น้ำทิ้งจากระบบไม่ใช้อากาศมักมีลักษณะขุ่นและมีบีโอดีสูงกว่า 20 มก./ล. (ตามมาตรฐานของน้ำทิ้งสุดท้ายของราชการ) นอกจากนี้ ระบบไม่ใช้อากาศไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในโตรเจนและแอมโมเนียในโตรเจนได้ น้ำทิ้งจากระบบไม่ใช้อากาศมักมีกลิ่นเหม็นของไฮโดรเจนซัลไฟด์จากปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชัน ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีผลเสีย 2 ประการคือ เกิดกลิ่นเหม็นและเพิ่มค่าซีโอดีให้กับน้ำทิ้ง ด้วยเหตุนี้ ระบบไม่ใช้อากาศจึงควรใช้เป็นระบบบำบัดเบื้องต้นทำหน้าที่ลดบีโอดีก่อนแล้วตามด้วยระบบใช้อากาศ เพื่อให้ได้น้ำทิ้งสุดท้ายที่มีคุณภาพสูง

7.2.5 ความเข้มข้นของสารแขวนลอย (SS)

สารอินทรีย์ที่เป็นอนุภาคของแข็ง เช่น ตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียจะต้องผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสเพื่อให้อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ละลายน้ำ จากนั้นจะเปลี่ยนรูปไปเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids) และกาซมีเทน ทำให้

การบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยสูงจะต้องใช้เวลาในการบำบัดน้ำเสียไม่ต่ำกว่า 10 วัน ตัวอย่างเห็นได้จาก การย่อยสลัดจ์แบบไม่ใช้อากาศ ต้องการถังย่อยสลัดจ์ (Sludge Digester) แบบกวนสมบูรณ์ที่มีเวลากักน้ำไม่น้อยกว่า 10 – 20 วัน แต่ถ้าไม่มีการกวน เวลากักน้ำของถังย่อยสลัดจ์อาจต้องใช้สูงถึง 30 วัน

ในขณะที่น้ำเสียซึ่งมีสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำแล้ว การบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะใช้เวลาอันน้อยลงได้ เนื่องจากแบคทีเรียไม่ต้องเสียเวลาในการย่อยสลายของแข็งแขวนลอยให้กลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก (ละลายน้ำ) และสามารถดูดซึมสารละลายอินทรีย์เหล่านั้นเข้าไปในเซลล์และใช้เป็นอาหารได้เลย กรณีเช่นนี้สามารถใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูง ที่มีระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียต่ำกว่า 8 ชั่วโมง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปได้ว่า การบำบัดของแข็งแขวนลอยที่เป็นสารอินทรีย์ให้กลายเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่า การย่อยแบบไม่ใช้อากาศ หรือ Anaerobic Digestion ตัวอย่างคือ การย่อยตะกอนสลัดจ์ หรือ Anaerobic Sludge Digestion ในกรณีที่สารอินทรีย์เป็นสารละลาย การย่อยสลายสารละลายอินทรีย์เรียกว่า การบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ หรือ Anaerobic Treatment ซึ่งใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์หรือบีโอดีไม่เกิน 10,000 มก./ล. หรือ 1% ถ้าน้ำเสียมีบีโอดีสูงๆ เช่น น้ำเสียจากสำหเลียที่มีบีโอดีเข้มข้น “หลายๆ หมื่น” มก./ล. การบำบัดอาจเรียกได้ว่าเป็นการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ หรือ Anaerobic Digestion

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำเสียมักมีของแข็งแขวนลอยที่เป็นสารอินทรีย์ไม่มากนัก น้อย การบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณของสารแขวนลอยอินทรีย์เสมอ ผู้ออกแบบต้องตระหนักว่าระบบบำบัดฯของตนเองสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยอินทรีย์ได้ดีเพียงใด ในการออกแบบระบบยูเอเอสบี มีผู้แนะนำว่า ถ้าซีโอดีเป็นตะกอนแขวนลอยไม่เกิน 10% ระบบยูเอเอสบียังสามารถทำงานได้ดี แต่ถ้าสูงกว่าค่าดังกล่าวควรต้องกำจัดตะกอนแขวนลอยเสียก่อน Lettinga (1987) แนะนำว่า การบำบัดน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยอินทรีย์จะต้องใช้อัตราบำบัดที่ต่ำกว่าการบำบัดน้ำเสียที่มีเฉพาะสารละลายอินทรีย์ ในกรณีการใช้ระบบยูเอเอสบี ภาระอินทรีย์ที่ใช้อาจมีค่าเพียง 1 – 4 กก. ซี-โอดี/ลบ.ม.-วัน.

7.2.6 สารพิษในน้ำเสีย

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีสารแปลกปลอมที่มีผลเสียหรือเป็นพิษต่อแบคทีเรียแบบที่ไม่ใช้อากาศ สารดังกล่าวอาจทำให้ระบบบำบัดล้มเหลว ความรุนแรงของพิษของสารแต่ละอย่างมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารพิษ ความเข้มข้นของสารพิษ และความเคยชินของแบคทีเรียที่มีต่อสารนั้น ตารางที่ 7.3 แสดงถึงระดับความเข้มข้นของอิออนต่างๆ ที่มีพิษปานกลางและมีพิษมากต่อแบคทีเรียไม่ใช้อากาศ ส่วนระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์บางชนิดที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียไม่ใช้อากาศแสดงอยู่ในตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.3 ความเข้มข้นของไอออนที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศ

(Speece 1983)

ไอออน	ความเข้มข้น (มก./ล.)	
	เป็นพิษปานกลาง	เป็นพิษมาก
Na ⁺	3,500 – 5,500	8,000
K ⁺	2,500 – 4,500	12,000
Ca ²⁺	2,500 – 4,500	8,000
Mg ²⁺	1,000 – 1,500	3,000
NH ₄ ⁺	1,500 – 3,000	3,000
S ²⁻	200	200
Cu ²⁺		0.5
Cr (VI)		3.0
Cr (III)		–
Ni ²⁺		2.0
Zn ²⁺		1.0

ตารางที่ 7.4 ระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์บางอย่างที่เป็นพิษ

ต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน (Speece 1983)

สารอินทรีย์	ความเข้มข้น (มก./ล.) ที่ 50 % Inhibition
Acetaldehyde	440
Acrolein	10
Bacitracin	20
Bromoethanesulfonate	20
Chloroform	15
Creolin (mixture of creosote, phenols, and resins)	1
Dinitrophenol	40
Dettol (ρ -chlorometaxyleneol, terpinol, and isopropanol)	10
Ethylbenzene	340
Fluorinated hydrocarbons (CCl_3F , CCl_2F_2)	1
Formaldehyde	70
Long-chain fatty acids	500
Monensin	2
Nitrobenzene	10
Tannins	700
Virginiamycin	10

อนึ่ง แม้ว่าสารบางอย่างจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียไม่ใช้อากาศ (ดังแสดงในตารางที่ 7.4) ก็ไม่ได้หมายความว่าน้ำเสียที่มีสารพิษดังกล่าวจะไม่สามารถบำบัดได้เสมอไป แบคทีเรียไม่ใช้อากาศมีความสามารถในการปรับตัวให้ทนทานและคุ้นเคยกับสารพิษจนสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ เมื่อมีการออกแบบหรือควบคุมที่ฉลาดและเหมาะสมประกอบกับมีการเลี้ยงแบคทีเรียให้คุ้นเคย สารอินทรีย์ที่เป็นพิษอาจถูกย่อยสลายด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศได้

7.2.7 สารอาหารที่อาจต้องเติมเพิ่ม

โลหะ (แร่ธาตุ) ที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนมีดังนี้

เหล็ก	ทองแดง	เซเลเนียม
โคบอลต์	แมงกานีส	สังกะสี
นิกเกิล	โมลิบดีนัม	โบรอน
สังกะสี		

ตารางที่ 7.5 แสดงความต้องการโลหะ (ซึ่งเป็นแร่ธาตุ) และสารอาหารไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) แสดงค่าเป็นกรัมของโลหะต่อ 100 กรัมของชีโอดีในน้ำเสีย

ตารางที่ 7.5 ความต้องการโลหะและสารอาหาร N และ P ของระบบไม่ใช้อากาศ

(Speece 1983)

โลหะ	ความต้องการ (กรัม/ซีโอดี 100 กรัม)
Ni	0.01
Co	0.01
Fe	1.7
Mo	0.2
N	2.1
P	0.6

7.3 น้ำเสียที่ต้องระวังในการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ

แม้ว่าเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศมีขีดความสามารถสูงดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ก็มีลักษณะน้ำเสียบางอย่างที่ผู้ใช้ต้องเอาใจใส่และระมัดระวังเนื่องจากเป็นน้ำเสียที่ย่อยยากหรืออาจเป็นพิษ ทำให้ต้องมีการใช้อัตราบำบัดที่ต่ำกว่าปกติ ลักษณะน้ำเสียที่ต้องระวังมีดังนี้

- น้ำเสียที่มีโลหะหนักปริมาณสูงเช่น โรงงานผลิตยางยืด (น้ำเสียมีกรดฟอสฟอริก และสังกะสีเข้มข้นสูง)
- น้ำเสียที่มีสารทำละลาย (Solvent) ต่างๆ
- น้ำเสียที่มีสารก่อฟองหรือสารก่อชั้นสแกม เช่น โปรตีนและไขมัน จะทำให้เกิดฟองหนาในถังยูเอเอสบี
- น้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันปริมาณสูง
- น้ำเสียที่อาจก่อให้เกิดปัญหาตะกอนหินปูนหรือตะกอนอื่นๆ

- น้ำเสียที่มีพีเอชสูงมากหรือต่ำมาก
- น้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงมาก จะไม่ผลิตก๊าซชีวภาพ (ถ้าต้องการใช้ก๊าซชีวภาพ)

7.4 น้ำเสียอุตสาหกรรมที่สามารถบำบัดได้ด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ

ในทางตรงข้าม ลักษณะน้ำเสียที่ควรพิจารณำบำบัดด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศมีดังนี้

- BOD เข้มข้นสูง และสัดส่วนของ BOD : COD มีค่ามากกว่า 0.5
- % TVS สูง
- VSS เข้มข้นสูง และ %VSS สูงมาก
- N, P พอเพียง
- มีแร่ธาตุ (Co, Mo, Fe, Mn, Ni) พอเพียง
- มีสภาพต่างพอเพียง
- น้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูง (50 – 70° ซ) และมี COD > 1,000 มก/ล.
- น้ำเสียที่มีปริมาณไนเตรทสูงกว่า 100 มก/ล. (ใช้ระบบดีไนตริฟิเคชัน)
- น้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงๆ เช่น สูงกว่า 100 มก/ล.(ใช้ระบบซัลเฟตรีดักชัน)

จากการพิจารณาลักษณะน้ำเสียดังกล่าวข้างต้นว่า ทำให้สามารถเลือกอุตสาหกรรม 24 ประเภทที่นำเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเข้ามาใช้ อย่างแน่นอนดังนี้

TSIC	ประเภทกิจการ	
311	1. โรงงานผลิตนมและเนย 3. โรงงานผลิตเครื่องดื่ม 5. โรงงานไก่แช่แข็ง 7. โรงงานผลิตเบเกอรี่ 9. โรงงานผลิตชี้อกโกแลต 11. โรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง	2. โรงงานผลิตน้ำตาลประเภทต่างๆ 4. โรงงานผลิตแป้งประเภทต่างๆ 6. โรงงานผลิตอาหารกระป๋องต่างๆ 8. โรงงานฆ่าสัตว์และบรรจุภัณฑ์เนื้อสัตว์ 10. โรงงาน Wheat and Grain Processing 12. โรงงานผลิตลูกกวาด, หมากฝรั่ง
312	13. โรงงานผลิตยีสต์	14. โรงงานผลิตกรดน้ำส้ม, กรดน้ำผลไม้ อื่นๆ
313	15. โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ 17. โรงงานผลิตเบียร์, เหล้า	16. โรงงานผลิตน้ำผลไม้ประเภทต่างๆ
321	18. โรงงานฟอกย้อม	19. โรงงานผลิตหนังเทียม, โพลียูรีเทน
341	20. โรงงานกระดาษและเยื่อกระดาษ	
351	21.อุตสาหกรรมพลาสติก เรซิน	
352	22. โรงงานยา	
อื่นๆ	23. น้ำเสียจากกองขยะ	24. น้ำเสียชุมชน(ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ หรือ มากกว่า300 มก/ล.)

เอกสารอ้างอิง

1. Barton, L.L, Editor (1995) “Sulfate Reducing Bacteria”, Plenum Press, New York, London
2. Eurlich, H.L and Holmes, D.S Co Editors(1985) “Biotechnology for the Mining, Metal-Refining, and Fossil Fuel Processing Industries”, Proceedings of a Workshop, Rensselaer Polytechnic Institute in Troy, New York, May 28-30,1985, an Interscience Publication, John Wiley & Sons.
3. Zehnder, A.J.B. Editor (1988) “Biology of Anaerobic Microorganisms”, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons.
4. De Souza, M.E. Editor (1986) “Anaerobic Treatment in Tropical Countries”, Water Science and Technology, V.18, no.12
5. Fenchel, T. and Finlay, B.J (1995) “Ecology and Evolution in Anoxic Worlds”, Oxford Univ. Press.
6. Barnett, A., Pyle, L. and Subramanian, S.K (1978) “Biogas Technology in the Third World: A Multidisciplinary Review”, IDRC, Ottawa, Ontario, Canada.
7. Speece, R.E (1996) “Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters”, Archae Press, Nashville, Tennessee
8. Alphenaar, A. (1994) “Anaerobic Granular Sludge: Characterization, and Factors Affecting its Functioning”, Doctor Thesis, Wageningen agricultural Univ., Wageningen, the Netherlands.

9. Hughes, D.E et al. Editors (1981) “Anaerobic Digestion 1981”, Proceedings of the 2nd. International Symposium on Anaerobic Digestion, Travemunde, Federal Republic of Germany,6-11 Sept.1981, Elsevier Biomedical Press, Amsterdam, New York-Oxford
10. Lettinga, G., et al. Editors (1987) “Granular Anaerobic Sludge; Microbiology and Technology”, Proceedings of the GSMAT Workshop, Lunteren, the Netherlands, 25-27 Oct.1987, Wageningen agricultural Univ., Wageningen, the Netherlands
11. van Haandel, A.C and Lettinga, G (1994) “Anaerobic Sewage Treatment: a practical Guide for Regions with a Hot Climate”, John Wiley & Sons.
12. Florencio, L. (1994) “The Fate of Methanol in Anaerobic Bioreactors”, Doctor Thesis, Wageningen agricultural Univ., Wageningen, the Netherlands.
13. Erickson, L.E. and Fung, D.Y-C Co Editors (1988) “Handbook on Anaerobic Fermentations”, Marcel Dekker, Inc, New York, Basel
14. GTZ “Anaerobic Processes for the Treatment of municipal and Industrial Wastewater and Waste: an Overview” (no date printed)
15. Stafford, D.A. and Wheatley, B.I. and Hughes, D.E. Editors (1979) “Anaerobic Digestion”, Proceedings of the 1st. International Symposium on Anaerobic Digestion, University College Cardiff, Wales Sept.1979 Applied Science Publishers Ltd., London
16. Cheynoweth, D.P. and Isaacson, R (1987), Editors “Anaerobic Digestion of Biomass”, Elsevier Applied Science, London and New York.

17. Manila, J.F. and Pohland, F.G. (1992) "Design of Anaerobic Processes for the Treatment of Industrial and Municipal Wastes", Water Quality Management Library. V.7, Technomic Publishing Co.
18. Doorn, M.R.J; Strait, R.P and Barnard, W.R (1997) "Estimates of Global Greenhouse Gas Emissions from Industrial and Domestic Wastewater Treatment" EPA Contract No. 68-D4-0100
19. Klingler, B. "Environmental Aspects of Biogas Technology" German Biogas Association, pp.1-12
20. "Methane Capture and Use" Waste Management Workbook
21. Atlas R.M. Principles of Microbiology. St. Louise: Mosby, 1995.
22. Macfarlane G.T. and Gibson G.R. Sulphate-reducing bacteria. In Levett P.N. (ed.), Anaerobic Microbiology: A Practical Approach. pp. 201-222. New York: IRL Press, 1991.
23. Madigan T.M., Martinko J.M. and Parker J. Brock Biology of Microorganisms. 8th ed. USA.: Prentice Hall International, 1997.
24. Widdel F. Microbiology and Ecology of Sulfate- and Sulfur-Reducing Bacteria. In Widdel F. (ed.), Biology of Anaerobic Microorganisms, pp. 469-585. 1988.
25. Zehnder A.J.B. Biology of Anaerobic Microorganisms. Netherlands, Wageningen: 1988.
26. Zhang, R. (2001) Biology and Engineering of Animal Wastewater Lagoons, University of California, Davis

27. Angenent , L.T and Sung S. (2001) "Development of Anaerobic Migrating Blanket Reactor (AMBR), A Novel Anaerobic Treatment System", Wat.Res.35, No.7 pp.1739-1747
28. International Energy Agency (2001) Systems and Markets Overview of Anaerobic Digestion
29. Rintala, J.A; Jain, V.K and Kettunen, R.H (2000) “Comparative Status of the World-Wide Commercially Available Anaerobic Technologies Adopted for Biomethanation of Pulp and Paper Mills Effluents”
30. Hulshof Pol ,Look et al (1998) "GTZ Sectoral Project :Promotion of Anaerobic Technology for the Treatment of Municipal and Industrial Wastes and Wastwaters" Proceedings of 5th Latin American Workshop Seminar "Wastwater Anaerobic Treatment" 27-30 October 1998, Vina der Mar, Chile
31. Stukenberg,J.R et al (1992) "Egg-Shaped Digesters: From Germany to the U.S " Water Environment & Technology ,April, pp.42-51

ภาษาไทย

1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2543) “การศึกษาวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนหลักของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในการลดปัญหามลพิษทางน้ำจากภาคอุตสาหกรรม”, รายงานฉบับสมบูรณ์
2. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2543) “การศึกษาวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนหลักของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในการลดปัญหามลพิษทางน้ำจากภาคอุตสาหกรรม”, รายงานภาคผนวก

3. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2541) “โครงการศึกษา
ปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อม โรงงานที่ก่อปัญหามลพิษในพื้นที่วิกฤต”,
รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 1 รายงานหลัก
4. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2543) “การประยุกต์ใช้
หลักการทางเศรษฐศาสตร์ในการจัดการมลพิษในโรงงาน”
5. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2541) “โครงการศึกษา
ปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อม โรงงานที่ก่อปัญหามลพิษในพื้นที่วิกฤต”,
รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 2 ภาคผนวก
6. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2538)
“โครงการจัดทำแผนหลักการจัดการน้ำเสียชุมชนและกิจกรรมต่างๆ ในพื้นที่
แหล่งน้ำสำคัญทั่วประเทศ”, รายงานฉบับสมบูรณ์
7. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2540) “โครงการศึกษา
เพื่อประเมินปริมาณสารมลพิษอุตสาหกรรมทางน้ำจากภาคอุตสาหกรรมใน
ประเทศไทย”, รายงานฉบับสมบูรณ์ รายงานหลัก
8. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2540) “โครงการศึกษา
เพื่อประเมินปริมาณสารมลพิษอุตสาหกรรมทางน้ำจากภาคอุตสาหกรรมใน
ประเทศไทย”, รายงานฉบับสมบูรณ์ ภาคผนวก
9. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี
และสิ่งแวดล้อม (2540) “รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม”
10. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2544)
“โครงการจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงระบบบำบัด
น้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้
ออกซิเจน”, รายงานเบื้องต้น

11. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2544)
“โครงการการจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงระบบบำบัด
น้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้
ออกซิเจน”, รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 1
12. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2545)
“โครงการการจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงระบบบำบัด
น้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้
ออกซิเจน”, รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 2
13. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2542) , “เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1,2”
 , พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544), “ การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทาง
ชีวภาพ”, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
15. คู่มือการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าและฟอกย้อม, สมาคมวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2544
16. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม, สำนักเทคโนโลยี
สิ่งแวดล้อมโรงงาน
17. อนุตร เปียงแก้ว "การควบคุมระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชันด้วยปริมาณซัลเฟต
และชนิดของแหล่งคาร์บอน" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย 2542.

**ISBN 974-
9558-55-3**

ฝ่ายคุณภาพสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ

เล่มที่ 3/4

กรมควบคุมมลพิษ

กรกฎาคม 2546

การจัดทำคู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

• คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1

ดำเนินการศึกษาโดย :

ดร.มันสิน ตัณฑุสเวศม์

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

344 ซ.จุฬา **22** ถ.บรรทัดทอง เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ

10330

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เป็นเจ้าของกรรมสิทธิ์และมีลิขสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้