เลขทะเบียน คพ.08-016
เล่มที่ 3/5

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

การจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้ออกซิเจน

ข้อแนะนำแนวทางการออกแบบ เล่ม 1 อุตสาหกรรมฟอกย้อม

ISBN 974-9558-05-7

กรมควบคุมมลพิษ

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ISBN 974-9558-05-7

สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ **เล่มที่ 3/5**

กรมควบคุมมลพิษ **กันยายน 2545**

การจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้ออกซิเจน

- **ข้อแนะนำแนวทางการออกแบบ เล่ม 1 อุตสาหกรรมฟอกย้อม**

ดำเนินการศึกษาโดย :

บริษัท แซน.อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด

แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

เป็นเจ้าของกรรมสิทธิ์และมีลิขสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในประเทศไทย กล่าวได้ว่าเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม และไม่เป็นการกล่าวเกินจริงเลยว่า “ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ดีที่สุด” ต้องเป็นระบบผสมที่มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ “ระบบไม่ใช้อากาศ” เป็นระบบนำและตามด้วย “ระบบใช้อากาศ” ระบบไม่ใช้อากาศจะทำหน้าที่กำจัดสารอินทรีย์ส่วนใหญ่โดยเสียพลังงานน้อยที่สุด ส่วนระบบใช้อากาศเป็นระบบบำบัดตามซึ่งจะทำหน้าที่กำจัดสารอินทรีย์ที่เหลือและผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูง ทั้งนี้ ระบบใช้อากาศเพียงลำพังก็อาจบำบัดน้ำเสียได้ แต่ต้องเสียค่าพลังงานสูง

กรมควบคุมมลพิษได้ตระหนักถึงข้อดีในด้านการประหยัดพลังงาน และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ จึงพยายามส่งเสริมให้มีการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศโดยจัดทำคู่มือแนวทางการออกแบบวิศวกรรมสำหรับ 2 อุตสาหกรรม คือ อุตสาหกรรมฟอกย้อมและอุตสาหกรรมอาหาร (โดยรายงานฉบับนี้เป็นรายละเอียดของอุตสาหกรรมฟอกย้อม) เพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้อากาศ และมีบริษัท แซน.อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด เป็นบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาที่ได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบในการจัดทำโครงการดังกล่าวนี้

เพื่อให้โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเป็นรูปธรรมและได้รับความนิยมอย่างสูงสุด จำเป็นจะต้องสร้างตัวอย่างการพัฒนาเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศที่ดีและมีประสิทธิภาพให้ปรากฏ ทำให้งานสำรวจโรงงานอุตสาหกรรม 10 แห่ง สำหรับเป็นกรณีศึกษาในงานจัดทำคู่มือแนวทางการออกแบบฯ จะสามารถสนับสนุนแนวคิดและเป็นข้อมูล อันเป็นประโยชน์ในการพัฒนาและส่งเสริมกระแสนิยมของเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศให้กับการภาคอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของคู่มือ

คู่มือเล่มนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

- เพื่อใช้ในการพิจารณาความเหมาะสมในการใช้ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศ เป็นระบบเบื้องต้นในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม
- เป็นคู่มือหรือแนวทางสำหรับผู้ออกแบบในการพิจารณาใช้ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดเบื้องต้นก่อนบำบัดต่อไปด้วยระบบเอเอส
- เพื่อเป็นแนวทางในการคัดเลือกระหว่างระบบไม่ใช้อากาศแบบใช้พื้นที่มาก (บ่อหมักไม่ใช้อากาศ) และระบบไม่ใช้อากาศแบบใช้พื้นที่น้อย (ระบบยูเอเอสบี)
- เพื่อใช้ประมาณความต้องการพื้นที่ของระบบบำบัดน้ำเสีย
- เพื่อใช้ประมาณราคาค่าก่อสร้างเบื้องต้นของระบบบำบัดน้ำเสีย
- เพื่อใช้ประมาณราคาค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย
- เพื่อใช้ประเมินจุดคุ้มทุนในการนำกาซชีวภาพมาใช้ประโยชน์
- เพื่อใช้ประมาณราคาค่าใช้จ่ายในการนำกาซชีวภาพมาใช้ประโยชน์และมูลค่ากาซชีวภาพที่ได้

1.3 เป้าหมายของคู่มือ

คู่มือเล่มนี้มีเป้าหมายดังต่อไปนี้

- เพื่อสนับสนุนให้มีการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยแสดงให้เห็นว่า เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศช่วยทำให้เสียค่าบำบัดน้ำเสียน้อยกว่าการใช้ระบบใช้อากาศเพียงลำพัง
- เพื่อสนับสนุนให้มีการใช้ประโยชน์จากกาซชีวภาพที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

ผู้ที่จะได้รับประโยชน์และสามารถใช้ประโยชน์จากคู่มือเล่มนี้ได้แก่

- วิศวกรที่มีหน้าที่ออกแบบ, ควบคุมและปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย
- โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการออกแบบ, ปรับปรุงและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย
- วิศวกรที่ปรึกษาที่ต้องการประมาณราคาของโครงการที่ใช้ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศ

สารบัญ

หน้า

รายการของรายงานหลักและรายงานประกอบ I
คำนำ III
กิตติกรรมประกาศ V

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ 1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของคู่มือ 1-2
1.3 เป้าหมายของคู่มือ 1-2

บทที่ 2 อุตสาหกรรมฟอกย้อม

2.1 กระบวนการฟอกย้อม 2-1
2.1.1 การเตรียมผ้า 2-4
2.1.2 การย้อม (Textile Dyeing) 2-9
2.1.3 การตกแต่งสำเร็จ (Textile Finishing) 2-11
2.2 วัตถุดิบและสารเคมี 2-13
2.2.1 เส้นใย 2-13
2.2.2 ผ้า 2-14
2.2.3 สารเคมี 2-15
2.3 การใช้น้ำในโรงงาน 2-18
2.3.1 น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต 2-18
2.3.2 น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ 2-19
2.3.3 น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น 2-19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.4 น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน 2-19
2.3.5 น้ำจากแหล่งอื่นๆ.....2-19
2.4 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย.....2-19
2.5 ปริมาณและลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม 2-20

บทที่ 3 ทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อม

3.1 การเปรียบเทียบระบบบำบัดแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศ.....3-1
3.1.1 การเปรียบเทียบทางด้านสภาวะของน้ำเสีย 3-1
3.1.2 การเปรียบเทียบด้านกระบวนการ 3-2
3.1.3 การเปรียบเทียบด้านการสร้างผลพลอยได้จากการบำบัดน้ำเสีย 3-5
3.1.4 การเปรียบเทียบเรื่องราคา.....3-5
3.2 การใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศร่วมกับแบบใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสีย
อุตสาหกรรม.....3-6
3.3 ระบบไม่ใช้อากาศสำหรับบำบัดน้ำเสีย.....3-9
3.3.1 บ่อหมักไม่ใช้อากาศ 3-9
3.3.2 ถังกรองไม่ใช้อากาศ (AF) 3-13
3.3.3 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB).....3-14
3.3.4 AnSBR หรือ Anaerobic Sequencing Batch Reactor 3-19
3.3.5 ประยุกต์การหยุดเติมอากาศให้กับระบบเติมอากาศปัจจุบัน.....3-20
3.3.6 ถังย่อยสลัดจ์ (บำบัดสลัดจ์) 3-22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การออกแบบระบบไม่ใช้อากาศ

4.1 เกณฑ์ทั่วไปสำหรับออกแบบเบื้องต้นของระบบบำบัดไม่ใช้อากาศ 4-1
4.2 การออกแบบถังหมักไม่ใช้อากาศ 4-1
4.2.1 เวลากักน้ำ 4-1
4.2.2 สมรรถนะของถังหมักไม่ใช้อากาศ 4-2
4.2.3 การกวนสลัดจ์ 4-3
4.2.4 รูปร่างของถังหมัก 4-3
4.2.5 ตัวอย่างออกแบบถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศ 4-4
4.2.6 ตัวอย่างข้อมูลการทำงานถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศ 4-5
4.3 การออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ 4-11
4.3.1 อัตราภาระซีโอดี (COD Loading Rate) 4-12
4.3.2 เวลากักน้ำ (τ) 4-14
4.3.3 ประสิทธิภาพของบ่อหมักไม่ใช้อากาศ 4-14
4.3.4 ความลึก 4-15
4.3.5 พีเอช 4-15
4.3.6 การกวนน้ำ 4-16
4.3.7 รูปร่างและท่อน้ำเข้าบ่อ 4-16
4.3.8 การต่อบ่อบำบัดน้ำเสียหลายบ่อเข้าด้วยกัน 4-16
4.3.9 ขั้นตอนในการออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ 4-17
4.3.10 รูปร่างของบ่อหมักไม่ใช้อากาศ 4-18
4.3.11 ตัวอย่างการออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ 4-21
4.4 การออกแบบระบบยูเอเอสบี (UASB) และอีจีเอสบี (EGSB) 4-22
4.4.1 อัตราภาระซีโอดี (COD Loading Rate) 4-22
4.4.2 เวลากักน้ำ (Hydraulic Retention Time-HRT) 4-23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.3 ความเร็วน้ำไหลขึ้นของระบบและอัตราน้ำล้นผิวในส่วนตกตะกอน 4-23
4.4.4 ความสูงของระบบ 4-24
4.4.5 จุดป้อนน้ำเข้า 4-24
4.4.6 ส่วนตกตะกอน 4-24
4.4.7 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี 4-25
4.4.8 กรณีศึกษาระบบบำบัดยูเอเอสบีขนาด 42,000 ม3/วัน ที่บูราคาแมงกา, โคลัมเบีย 4-27
4.5 การออกแบบถังสร้างกรด (Acid Tank) 4-29
4.6 การออกแบบระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงอื่นๆ 4-30

บทที่ 5 ข้อแนะนำในการใช้ระบบไม่ใช้อากาศสำหรับบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม

5.1 ทางเลือกในการใช้ระบบไม่ใช้อากาศที่เหมาะสม 5-2
5.1.1 ข้อแนะนำทั่วไป 5-6
5.1.2 รายละเอียดการเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศ 5-7
5.1.3 ตัวอย่างการเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศ 5-14
5.2 รายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสีย 5-15
5.2.1 พื้นที่ที่ต้องการในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย 5-15
5.2.2 ราคาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย 5-18
5.2.3 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย 5-19
5.2.4 ตัวอย่างการใช้งาน 5-21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 ตัวอย่างการออกแบบและประมาณค่าใช้จ่ายระบบบำบัดน้ำเสีย

6.1 ระบบเอเอส (ทางเลือกที่ 1) 6-1
6.1.1 ตัวอย่างการออกแบบระบบเอเอส 6-1
6.1.2 แบบของระบบเอเอส 6-11
6.2 ระบบยูเอเอสบี + ระบบเอเอส (ทางเลือกที่ 2) 6-11
6.2.1 ตัวอย่างการออกแบบระบบยูเอเอสบี+ระบบเอเอส 6-11
6.2.2 ตัวอย่างแบบของระบบยูเอเอสบี+ระบบเอเอส 6-21
6.3 ระบบบ่อหมัก+ระบบเอเอส 6-22
6.3.1 ตัวอย่างการออกแบบระบบบ่อหมัก+ระบบเอเอส (ทางเลือกที่ 3) 6-22
6.3.2 ตัวอย่างแบบของระบบบ่อหมัก+เอเอส 6-31
6.4 ระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกิน 6-32
6.4.1 การบำบัดตะกอนสลัดจ์จากทางเลือกที่ 1 (ระบบเอเอส) 6-33
6.4.2 การบำบัดตะกอนสลัดจ์จากทางเลือกที่ 2 (ระบบยูเอเอสบีและเอเอส) 6-37
6.4.3 การบำบัดตะกอนสลัดจ์จากทางเลือกที่ 3 (ระบบบ่อหมัก+ระบบเอเอส) 6-42

บทที่ 7 ระบบการนำกาซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

7.1 ระบบรวบรวมกาซจากระบบบำบัดไม่ใช้อากาศ 7-1
7.1.1 แบบหลังคาคงที่ 7-1
7.1.2 แบบฝาถังเคลื่อนที่ขึ้นลงได้หรือฝาลอย 7-1
7.1.3 แบบบอลลูน 7-2
7.2 ระบบท่อส่งกาซและควบคุมความดัน 7-3
7.2.1 ระบบท่อส่งกาซ 7-4
7.2.2 ส่วนประกอบของระบบท่อส่งจ่ายกาซและควบคุมความดัน 7-4

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

7.3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากกาซชีวภาพ 7-7
7.3.1 การเปรียบเทียบเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 ประเภท 7-11
7.3.2 การจ่ายไฟจากเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า 7-12
7.4 การใช้กาซสำหรับหัวเผา (Gas Burner) 7-14

บทที่ 8 ข้อแนะนำในการใช้ประโยชน์จากกาซชีวภาพ

8.1 ข้อกำหนดและข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางการเงิน 8-2
8.2 จุดคุ้มทุนในการนำกาซชีวภาพผลิตกระแสไฟฟ้า 8-4
8.3 ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนจากการใช้กาซชีวภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า 8-4
8.3.1 ค่าใช้จ่ายในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกาซชีวภาพ 8-4
8.3.2 ผลตอบแทนจากการใช้กาซชีวภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า 8-6
8.4 ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนจากการใช้กาซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ 8-6
8.5 การเปรียบเทียบผลตอบแทนในการนำกาซชีวภาพไปใช้ผลิตไฟฟ้ากับใช้ในหม้อไอน้ำ 8-7
8.6 ข้อแนะนำในการใช้กาซชีวภาพผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อม 8-8
8.7 การใช้สมการวิเคราะห์ทางการเงิน 8-10

เอกสารอ้างอิง

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 จุดมุ่งหมายและวิธีการของการเตรียมผ้า....2-5
ตารางที่ 2.2 ประเภทของการชุบมัน....2-9
ตารางที่ 2.3 ชนิดเส้นใยและสีที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ผ้าประเภทต่างๆ....2-15
ตารางที่ 2.4 ลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม....2-20
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของสีชนิดต่างๆ....2-21
ตารางที่ 2.6 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์....2-25
ตารางที่ 2.7 แสดงลักษณะน้ำเสียของโรงงาน T1-T5 (อุตสาหกรรมฟอกย้อม)....2-26
ตารางที่ 2.8 แสดงลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด....2-26
ตารางที่ 3.1ก อัตราบำบัดน้ำเสียของระบบไม่ใช้อากาศแบบต่างๆ....3-4
ตารางที่ 3.1ข อัตราบำบัดน้ำเสียของระบบเอเอส....3-4
ตารางที่ 3.2 รายชื่อโรงงานที่ใช้ระบบ UASB ในประเทศไทย....3-17
ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นบีโอดีและซีโอดีของแหล่งน้ำเสียต่างๆ และเวลาเปิดเครื่องเติมอากาศที่ต้องการ....3-21
ตารางที่ 4.1 เกณฑ์ทั่วไปสำหรับคำนวณสำหรับระบบไม่ใช้อากาศ....4-1
ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การออกแบบถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศ....4-2
ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างข้อมูลการทำงานของถังบำบัดสลัดจ์ไม่ใช้อากาศ....4-6
ตารางที่ 4.4 Digester Design Parameter, Back River WWTP, Baltimore, Md. 4-8
ตารางที่ 4.5 เกณฑ์ออกแบบของบ่อหมักไม่ใช้อากาศสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชน....4-13
ตารางที่ 4.6 อัตราภาระซีโอดีที่ใช้ออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ....4-14
ตารางที่ 4.7 สรุปผลการทำงานของบ่อหมักไม่ใช้อากาศ....4-15
ตารางที่ 4.8 อัตราภาระซีโอดีสำหรับออกแบบน้ำเสียอุตสาหกรรมของระบบยูเอเอสบี 4-22
ตารางที่ 4.9 Maximum Loading Rateของระบบยูเอเอสบีที่ใช้บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมต่างๆ....4-23

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลจากทำงานของบ่อสร้างกรดที่ใช้บำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิต
น้ำสับปะรดกระป๋อง.....4-31
ตารางที่ 4.11 เกณฑ์ออกแบบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่มีอัตราสูง 4-32
ตารางที่ 5.1 ข้อแนะนำในการเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดเบื้องต้น.....5-14
ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 1
(อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล).....6-2
ตารางที่ 6.2 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 1
(อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล).....6-8
ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 2.....6-12
ตารางที่ 6.4 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 2.....6-19
ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย
ทางเลือกที่ 3 ที่ อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล.....6-22
ตารางที่ 6.6 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 3
ที่อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล.....6-29
ตารางที่ 6.7 ตัวอย่างรายการคำนวณระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกิน ทางเลือกที่ 1 .6-34
ตารางที่ 6.8 ตัวอย่างรายการคำนวณระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกิน ทางเลือกที่ 2 .6-38
ตารางที่ 7.1 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า 3 ประเภท 7-11
ตารางที่ 7.2 ราคาค่าติดตั้ง และค่าบำรุงรักษาคิดเป็นเงินดอลลาร์ต่อกิโลวัตต์ 7-12
ตารางที่ 8.1 ข้อกำหนดการคำนวณการวิเคราะห์การเงินในการนำกาซชีวภาพ
ไปใช้งานสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า.....8-2
ตารางที่ 8.2 ต้นทุนราคาชุดเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าจากกาซชีวภาพ 8-3
ตารางที่ 8.3 ปริมาณน้ำเสียที่จุดคุ้มทุนที่ซีโอดีค่าต่างๆ 8-4
ตารางที่ 8.4 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด 8-8
ตารางที่ 8.5 ค่าวิเคราะห์ทางการเงินที่หาจากสมการ 8-10

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม....2-1
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการฟอกย้อม....2-2
รูปที่ 2.3 การจำแนกประเภทของเส้นใย....2-14
รูปที่ 2.4 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย....2-22
รูปที่ 2.5 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ....2-23
รูปที่ 2.6 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมผ้าถัก....2-24
รูปที่ 3.1 การใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศร่วมกับระบบแบบใช้อากาศ....3-8
รูปที่ 3.2 บ่อหมักไม่ใช้อากาศที่ครอบด้วยแผ่นยางพีอีหนา 1 มม.....3-13
รูปที่ 3.3 ถังกรองไม่ใช้อากาศ....3-14
รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบยูเอเอสบี....3-18
รูปที่ 3.5 การบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอด้วยระบบ AnSBR....3-19
รูปที่ 3.6 ถังย่อยชนิดอัตราต่ำ....3-23
รูปที่ 3.7 ถังย่อยแบบอัตราสูง....3-23
รูปที่ 3.8 ถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน....3-24
รูปที่ 4.1 รูปร่างของถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศ 3 แบบ....4-3
รูปที่ 4.2 ถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศของอเมริกาสร้างเป็นรูปไข่....4-10
รูปที่ 4.3 การคำนวณรูปร่างของบ่อหมักไม่ใช้อากาศ....4-18
รูปที่ 4.4 โครงสร้างทางน้ำเข้า....4-19
รูปที่ 4.5 ทางน้ำเชื่อมระหว่างบ่อ....4-20
รูปที่ 4.6 โครงสร้างทางน้ำออก....4-20
รูปที่ 5.1 การใช้ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศตามด้วยระบบใช้อากาศ....5-2

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.2 ผังแสดงทิศทางการไหลและผังแสดงค่าระดับทางชลศาสตร์ของระบบในทางเลือกที่ 1 5-3
รูปที่ 5.3 ผังแสดงทิศทางการไหลและผังแสดงค่าระดับทางชลศาสตร์ของระบบในทางเลือกที่ 2 5-4
รูปที่ 5.4 ผังแสดงทิศทางการไหลและผังแสดงค่าระดับทางชลศาสตร์ของระบบในทางเลือกที่ 3 5-5
รูปที่ 5.5 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียระหว่างระบบ AS และระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศร่วมกับระบบ AS ที่ราคาที่ดิน 100,000 บาท/ไร่ 5-8
รูปที่ 5.6 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียในกรณีราคาที่ดิน 100,000 บาท/ไร่ ระหว่างระบบ AS และ ระบบ UASB + AS 5-8
รูปที่ 5.7 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 500,000 บาท/ไร่ ระหว่างระบบ AS และ ระบบ UASB + AS 5-9
รูปที่ 5.8ก ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 1,000,000 บาท/ไร่ 5-9
รูปที่ 5.8ข ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 1,000,000 บาท/ไร่ ระหว่างระบบ AS และ ระบบ UASB + AS 5-10
รูปที่ 5.9ก ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 2,000,000 บาท/ไร่ 5-10
รูปที่ 5.9ข ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 2,000,000 บาท/ไร่ ระหว่างระบบ AS และ ระบบ UASB + AS 5-11
รูปที่ 5.10 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 4,000,000 บาท/ไร่ 5-11
รูปที่ 5.11 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ระหว่างระบบยูเอเอสบีและระบบเอเอส ในกรณีราคาที่ดิน 4,000,000 บาท/ไร่ 5-12

สารบัญรูป (ต่อ)

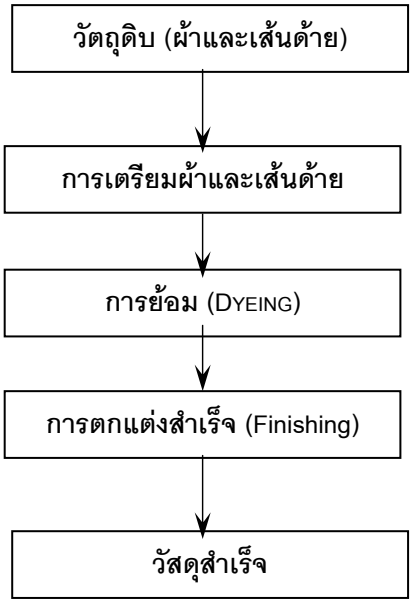
หน้า

รูปที่ 5.12 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 8,000,000 บาท/ไร่ 5-12
รูปที่ 5.13 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 8,000,000 บาท/ไร่ ระหว่างระบบ AS และ ระบบ UASB + AS..... 5-13
รูปที่ 5.14 พื้นที่ที่ต้องการในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส……5-16
รูปที่ 5.15 พื้นที่ที่ต้องการในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีร่วมกับ เอเอส……..5-17
รูปที่ 5.16 พื้นที่ที่ต้องการในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักร่วมกับ เอเอส……..5-17
รูปที่ 5.17 ราคาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส……...5-18
รูปที่ 5.18 ราคาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบเอเอส……...5-18
รูปที่ 5.19 ราคาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักร่วมกับระบบเอเอส……. ..5-19
รูปที่ 5.20 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส(เดินระบบ 30วัน/เดือน)..5-19
รูปที่ 5.21 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบเอเอส (เดินระบบ 30 วัน/เดือน)…… ……...5-20
รูปที่ 5.22 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักร่วมกับระบบเอเอส (เดินระบบ 30 วัน/เดือน)…… ……...5-20
รูปที่ 7.1 ลักษณะการเก็บกาซโดยใช้หลังคาคงที่…….7-2
รูปที่ 7.2 การรวบรวมกาซแบบคลุมด้วยบอลลูน..... 7-3
รูปที่ 7.3 Micro Turbine..... 7-9
รูปที่ 7.4 เครื่องปั่นไฟแบบ Fuel Cell..... 7-10
รูปที่ 7.5 ระบบเผากำจัดกาซ 7-15
รูปที่ 7.6 ระบบส่งกาซแบบมีพัดลมเพิ่มความดันในระบบ..... 7-16

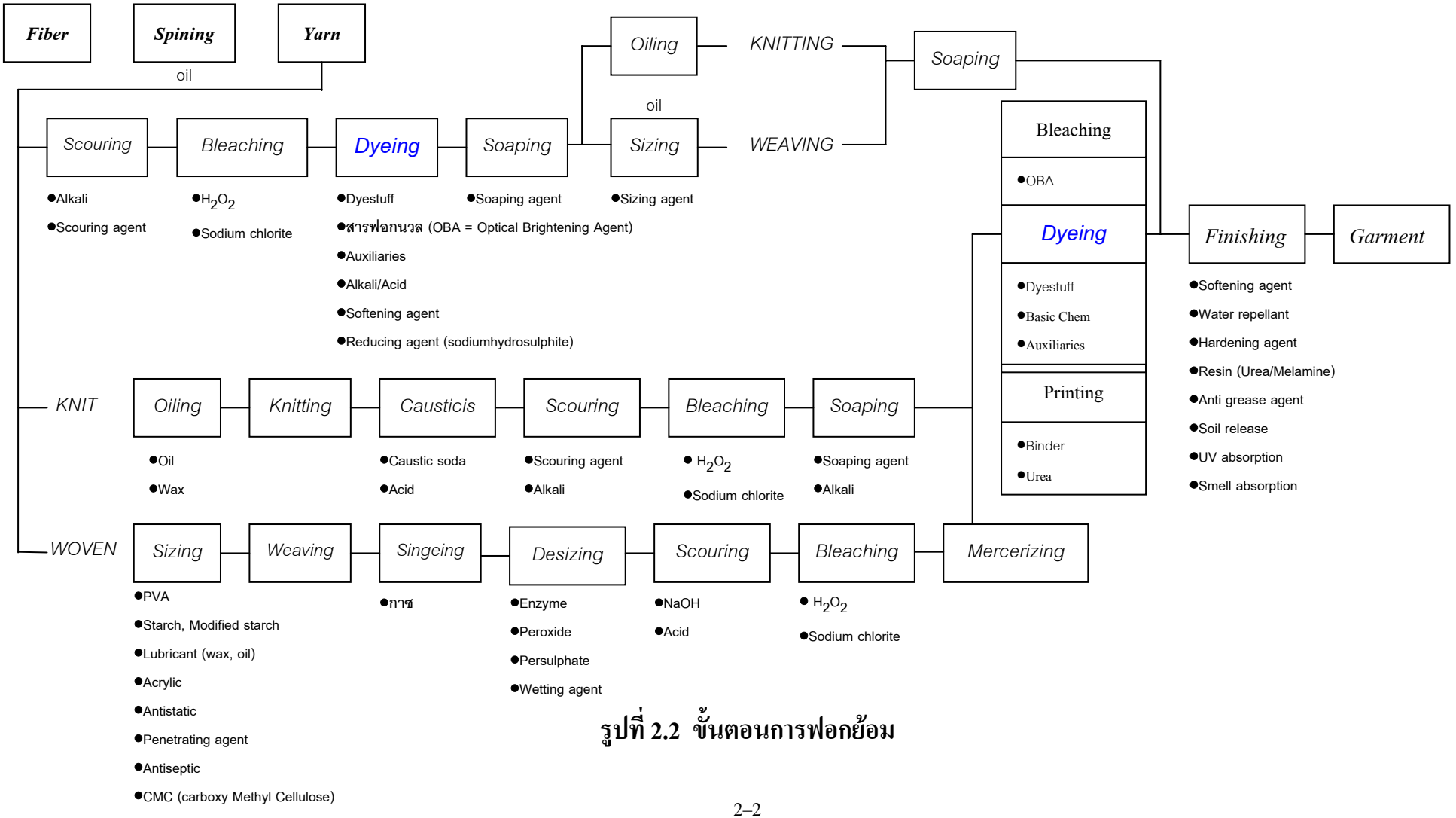
บทที่ 2
อุตสาหกรรมฟอกย้อม

2.1. กระบวนการฟอกย้อม

กระบวนการฟอกย้อมเป็นกระบวนการที่สำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยทำหน้าที่เปลี่ยนแปลง ผ้าหรือด้าย ที่ยังอยู่ในรูปวัตถุดิบ ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมขั้นต่อไป หรือทำการจำหน่ายให้กับผู้บริโภค โดยหลักการของกระบวนการฟอกย้อมแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยเริ่มจากการนำวัตถุดิบที่เป็นผ้าหรือด้ายมาผ่านกระบวนการเตรียมผ้าหรือด้าย เพื่อให้การย้อมสีในขั้นต่อไปทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อได้ผ้าหรือด้ายที่ย้อมแล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการตกแต่งสำเร็จเพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่างๆ ตามที่ตลาดต้องการ โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการฟอกย้อม

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่ากระบวนการฟอกย้อมหลักๆ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

- **กระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย**

เริ่มต้นกระบวนการผลิตโดยใช้วัตถุดิบคือเส้นด้าย จากนั้นนำมาผ่านขั้นตอนการเตรียมด้ายก่อนการย้อมคือ การขจัดสิ่งสกปรก(Scouring),การฟอกขาว(Bleaching) จากนั้นจึงนำไปผ่านกระบวนการย้อม (Dyeing), และทำการล้างด้ายด้วยน้ำสบู่(Soaping) เมื่อด้ายที่ทำการย้อมสำเร็จแล้วจึงนำไปทำการถักหรือทอ และทำการตกแต่ง เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ สำหรับเป็นวัสดุสำเร็จต่อไป

- **กระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ**

เริ่มต้นกระบวนการผลิตโดยใช้วัตถุดิบคือผ้าที่ทอเรียบร้อยแล้ว(ซึ่งในขึ้นตอนดังกล่าวจะมีการลงแป้ง(Sizeing) ที่ด้ายยืนในการทอ) จากนั้นนำมาผ่านขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการย้อมคือ การเผาขน (Singeing), การลอกแป้ง(Desizeing), การขจัดสิ่งสกปรก (Scouring), การฟอกขาว (Bleaching), การชุบมัน(Mercerization) จากนั้นจึงนำไปผ่านกระบวนการย้อม (Dyeing), เมื่อผ้าทอที่ทำการย้อมสำเร็จแล้วจึงนำไปทำการตกแต่ง เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ตลาดต้องการ สำหรับเป็นวัสดุสำเร็จต่อไป

กระบวนการฟอกย้อมผ้าถัก

เริ่มต้นกระบวนการผลิตโดยใช้วัตถุดิบคือผ้าที่ถักเรียบร้อย จากนั้นนำมาผ่านขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการย้อมคือ ขั้นตอน Caustics เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดสี, การขจัดสิ่งสกปรก(Scouring),การฟอกขาว(Bleaching), การล้างด้วยน้ำสบู่(Soaping) จากนั้นจึงนำไปผ่านกระบวนการย้อม(Dyeing), เมื่อผ้าถักที่ทำการย้อมสำเร็จแล้วจึงนำไปทำการตกแต่งเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ตลาดต้องการ สำหรับเป็นวัสดุสำเร็จต่อไป

จะเห็นได้ว่ากระบวนการฟอกย้อมด้ายและผ้าถักจะแตกต่างกับผ้าทอที่สำคัญคือ การเตรียมด้ายหรือผ้าถักก่อนการย้อมจะไม่มีกระบวนการ ลอกแป้ง (Desizeing) เนื่องจากใน

กระบวนการถักผ้าหรือผลิตด้าย ไม่ได้มีกระบวนการลงแป้ง(Sizeing) นั่นเอง จึงทำให้น้ำเสียที่ได้จากกระบวนการฟอกย้อมผ้าถักและด้ายมีค่าความสกปรกไม่สูงนักเมื่อเทียบกับน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ

โดยขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการฟอกย้อมแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

2.1.1 การเตรียมผ้า

เพื่อให้การย้อมสีและตกแต่งผ้าและด้ายทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องขจัดสิ่งเจือปนและสิ่งสกปรกที่ติดมากับเส้นใย รวมทั้งกำจัดแป้งที่ลงด้ายยืนออกด้วย (กรณีผ้าทอ) กระบวนการขั้นนี้เรียกว่า “การเตรียมผ้า” (Pretreatment) จุดมุ่งหมายของการเตรียมผ้าสรุปดังตารางที่ 2.1

2.1.1.1 <u>การเผาขน (Singeing)</u>

กระบวนการเตรียมผ้าที่ปฏิบัติกันจริงๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมจะเริ่มต้นด้วย การตรวจรอบบกพร่องของผ้า ใช้จักรซิกแซกเย็บต่อปลายผ้าแต่ละผืนให้ติดกันเป็นผืนยาวผืนเดียวกันแล้วนำไปเผาขน

โดยจุดมุ่งหมายของการเผาขน เพื่อทำให้ผ้ามีพื้นผิวที่เรียบ การพิมพ์ลายทำได้ดีและลดการเกิดขุยผ้าเมื่อใช้ผ้าไปนานๆ

การเผาขนใช้ความร้อนได้ 3 ชนิด ได้แก่ เปลวกาซ แผ่นโลหะร้อน และไฟฟ้า ปรกติแล้วนิยมเผาขนด้วยเปลวกาซมากที่สุด เพราะมีประสิทธิภาพและการเดินเครื่องจักรก็ง่ายกว่าอย่างอื่น การเผาขนอาจเผาขนผ้าทั้งสองด้านหรือเผาแต่เพียงด้านเดียวก็ได้ ภาวะการเผาขนขึ้นอยู่กับระดับ (Grade) ของผ้าและจุดมุ่งหมายของการใช้ผ้านั้น อย่างไรก็ตามสิ่งที่สำคัญก็คือ ต้องเผาให้ขนไหม้สม่ำเสมอทั่วกันทั้งผืนผ้า อย่าใช้ความร้อนสูงจนกระทั่งเส้นใยเสื่อมคุณภาพ

ตารางที่ 2.1 จุดมุ่งหมายและวิธีการของการเตรียมผ้า

ขั้นตอน	จุดมุ่งหมาย	วิธีการ / สารเคมี
การเผาขน (Singing)	กำจัดขนหรือเส้นใยที่โผล่เหนือผ้า ทำให้ผิวผ้าเรียบ	เปลวไฟเผา
การลอกแป้ง (Sizeing)	ย่อยและกำจัดแป้ง ทำให้เส้นใยพองตัว	เอนไซม์, สารออกซิไดซ์, น้ำสบู่
การกำจัดสิ่งสกปรก (Scouring)	กำจัดสิ่งสกปรก โดยเฉพาะพวกไขมัน ทำให้เปลือกเมล็ดฝ้ายละลายน้ำได้	โซดาไฟ, น้ำสบู่
การฟอกขาว (Bleaching)	ทำลายสารมีสี กำจัดเปลือกเมล็ดฝ้าย	สารออกซิไดซ์
การชุบมัน (Mercerization)	ทำให้เซลลูโลสพองตัวอย่างสม่ำเสมอ ขยายพื้นที่ผิวภายในเส้นใย ดูดซึมสีย้อมดีขึ้น	โซดาไฟเข้มข้น

2.1.1.2 <u>การลอกแป้ง (Desizing)</u>

การลอกแป้งเป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับกระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ เนื่องจากผ้าทอจะมีการลงแป้งที่เส้นด้ายยืนในระหว่างการทอผ้า เพื่อให้การทอผ้าทำได้สะดวก แต่เมื่อจะมาทำการย้อมแป้งที่อยู่บนด้ายจะมีผลต่อคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำและสารเคมีของเส้นใย โดยการลอกแป้งในผ้าทอจะทำให้ผ้ามีคุณสมบัติในการดูดติดสีและสารเคมีได้ดี ทำให้ประหยัดเวลาและสารเคมีที่ใช้ โดยกระบวนการกำจัดแป้งสามารถทำได้ 4 วิธี คือ

- การหมัก เป็นการนำแป้งออกจากผ้าโดยใช้แบคทีเรียในน้ำและอากาศย่อยสลาย โดยต้องอาศัยระยะเวลานาน
- การใช้กรด เป็นการใช้กรดทำปฏิกิริยากับแป้ง ทำให้แป้งหลุดออกมาจากผ้าทอได้ แต่การใช้ต้องระมัดระวังเพราะอาจส่งผลต่อเส้นใยได้
- การใช้เอมไซม์ เป็นการใช้เอมไซม์ซึ่งเป็นสานประเภทโปรตีน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับแป้งบนเส้นใยโดยเฉพาะ ไม่ทำปฏิกิริยากับเส้นใยแต่อย่างใด

- การใช้สารออกซิไดซิง เป็นการใช้สารออกซิไดซ์เช่น สารประกอบเปอร์ซัลเฟต หรือเปอร์ออกไซด์ ซึ่งนอกจากจะช่วยกำจัดแป้งบนเส้นใยยังช่วยฟอกผ้าให้ขาวขึ้นด้วยแต่การใช้สารดังกล่าวในปริมาณที่มากจะทำลายเส้นใยในผ้าได้

2.1.1.3 <u>การผ่านกรด (Souring)</u>

ใยฝ้ายจะมีเกลืออนินทรีย์ สี และอื่นๆ รวมอยู่ด้วย ดังนั้นถ้าต้องการให้ผ้าขาวสะอาดยิ่งขึ้นหรือให้สีสามารถซึมทะลุเข้าไปภายในเส้นใยได้มากขึ้น ควรเอาผ้าไปผ่านสารละลายกรดกำมะถันเจือจาง ให้กรดทำปฏิกิริยาละลายสิ่งที่ไม่ต้องการเหล่านี้ออก ในบางกรณีจะงดการผ่านกรดก็ได้ ทั้งนี้ ย่อมแล้วแต่ประโยชน์ใช้สอยและชนิดของผ้า

2.1.1.4 <u>การกำจัดสิ่งสกปรก (Scouring)</u>

ขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรกเป็นขั้นตอนที่จำเป็นสำหรับเส้นใยทุกประเภท เนื่องจากเส้นใยทุกชนิดมีสิ่งสกปรกเจือปนติดมาเสมอไม่ว่าจะเป็นสิ่งสกปรกที่ติดมาตามธรรมชาติหรือสิ่งที่ติดมาจากขึ้นตอนการผลิตสิ่งสกปรกต่างๆ จำเป็นต้องกำจัดออกไปเพื่อให้เส้นใยสะอาดมีความสามารถในการดูดซึมน้ำดี ดูดติดสารเคมีต่างๆ ได้สม่ำเสมอ เป็นการเตรียมเส้นใยที่มีคุณสมบัติเหมาะกับกระบวนการผลิตขั้นต่อไป เช่น การย้อม การพิมพ์ เป็นต้น กรรมวิธีการกำจัดสิ่งสกปรกในเส้นใยแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน โดยปรกติแล้วเส้นใยธรรมชาติมีสิ่งสกปรกเจือปนมากกว่าเส้นใยประดิษฐ์เพราะฉะนั้นจึงมีวิธีการกำจัดที่รุนแรงกว่า

การกำจัดสิ่งสกปรก (Scouring) เป็นกระบวนการทำความสะอาดเส้นใยด้วยการใช้ด่าง เช่น โซดาไฟ โซดาแอช เป็นต้น เมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้วเส้นใยจะสะอาด มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดี เปียกได้ง่าย

การกำจัดสิ่งสกปรก นอกจากใช้โซดาไฟแล้ว ยังมีการเติมสารเคมีอื่นๆ ลงไปด้วยวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนี้

1. โซดาแอช (ใช้โซดาไฟ 2 ส่วน และโซดาแอช 1 ส่วนโดยน้ำหนัก) ทำให้ไขมันถูกกำจัดออกได้ง่ายขึ้น
2. น้ำสบู่ ทำให้ผ้าเปียกน้ำเร็วขึ้น สารเคมีแทรกซึมเข้าไปในเนื้อผ้าได้ง่ายและสม่ำเสมอ พร้อมทั้งทำหน้าที่อันเป็นอิมัลไฟเออร์ในการกำจัดสารขี้ผึ้งเทียม โดยรวมตัวกันเป็นอิมัลชัน
3. สารซีเควสเตอริง (Sequestering Agent) ทำหน้าที่จับอิออนของโลหะ แก้น้ำกระด้าง ยังทำหน้าที่กระจายสิ่งสกปรกไม่ให้กลับไปติดบนผ้า สารชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Chelating Agent ซึ่งในทางการค้าที่สำคัญมี 3 กลุ่ม คือ Inorganic Polyphosphate, Hydroxycarboxylic Acids, Aminopolycarboxylic Acids

2.1.1.5 <u>การฟอกขาว (Bleaching)</u>

การฟอกขาวเป็นขั้นตอนในการทำให้ผ้าหรือเส้นใยมีความขาวมากขึ้น เพื่อทำให้การย้อมสีสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งการย้อมสีอ่อนหรือสำหรับผ้าที่ต้องการทำเป็นผ้าขาว โดยคุณสมบัติของเส้นใยหรือผ้าหลังจากทำการฟอกขาวแล้ว ควรมีความขาวคงทนถาวร สามารถย้อมสีได้สม่ำเสมอ และวัสดุที่ได้ต้องไม่เปื่อยทำให้ความแข็งแรงลดลง

สารเคมีที่ใช้ในการฟอกขาวแบ่งเป็น 2 กลุ่มได้แก่

- สารออกซิไดซ์ ได้แก่ สารประกอบเปอร์ออกไซด์, สารประกอบไฮโปคลอไรต์ , สารประกอบคลอไรต์ เป็นต้น
- สารรีดิวซ์ ได้แก่ โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_4$) โซเดียมฟอร์มัลดีไฮด์ซัลฟอกซิเลต ($HCHOHSO_2Na.2H_2O$) โซเดียมเมทาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$)

สารฟอกสีที่ใช้กันมาก ได้แก่ สารฟอกสีคลอรีน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารฟอกสีคลอรีนกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การใช้สารฟอกสีคลอรีนและทำให้เส้นใยเปราะและเหลืองได้ เพราะยังคงมีคลอรีนเหลืออยู่ ทำให้ต้องเพิ่มขั้นปฏิบัติงานภาย

หลังจากฟอกขาวด้วยสารฟอกสีคลอรีน กล่าวคือ ต้องทำอย่างหนึ่งอย่างใดเพื่อเอาคลอรีนออกจากผ้าให้หมดและซักให้สะอาด ตรงกันข้ามถ้าฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้เส้นเสียหายน้อย เส้นใยขาวสะอาดทนนานกว่า วิธีฟอกก็ง่ายกว่า บางครั้งเมื่อฟอกขาวด้วยสารฟอกสีคลอรีนแล้วยังฟอกซ้ำด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อีกครั้ง เพื่อขจัดคลอรีนที่คงเหลืออยู่ให้หมดไป และเป็นการตกแต่งการฟอกขาวให้ดีขึ้นด้วย

2.1.1.6 <u>การชุบมัน (Mercerization) หรือเมอร์เซอไรส์</u>

เมื่อ ค.ศ. 1844 ได้มีผู้พบว่า ถ้าจุ่มด้ายหรือผ้าฝ้ายลงไปในสารละลายโซดาไฟเข้มข้น (15 – 30%) เส้นใยฝ้ายเกิดความหดตัว ถ้าผ้าใส่แรงดึงไว้มิให้เส้นใยหดตัวได้เต็มที่ จะได้เส้นด้ายที่มีความเงาเพิ่มขึ้นจากเดิม (ทำให้ดูมันเหมือนไหม) นอกจากนี้ ยังทำให้ฝ้ายดูดซึมสีย้อมและสารเคมีเพิ่มมากขึ้น และทำให้ผ้ามีความคงทนมากขึ้นด้วย

โดยทั่วไปแล้ว นิยมทำหลังจากผ้าหรือเส้นด้ายผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวมาแล้ว หลังจากนั้นจึงนำผ้าไปย้อมหรือพิมพ์ เพื่อเพิ่มการดูดซึมของสีและความเงางามของผ้า

การชุบมัน ทำโดยแช่ผ้าให้จมอยู่ในน้ำสารละลายโซดาไฟ แล้วผ่านลูกกลิ้งบีบเอาน้ำออก ผ่านไปตามลูกกลิ้งอีกชุดหนึ่งเพื่อดึงให้ตึงตามความยาว ผ่านไปยังเครื่องดึงผ้า (Stenter) แบบหนีบ (Clip) เพื่อดึงตามขวางแล้วผ่านลงไปในน้ำร้อน ผ้าจะเป็นมันและซักสะอาดในที่สุด วิธีนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เครื่องชุบมันอีกแบบหนึ่ง ทำงานโดยส่งผ้าที่แช่สารละลายโซดาไฟแล้วไปตามลูกกลิ้งหลายๆ ลูกจัดอยู่ชิดกันมาก (Chainless Mercerizing Machine)

การชุบมันผ้าฝ้ายและผ้าฝ้ายผสม มีวิธีทำได้หลายรูปแบบ แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ประเภทของการชุบมัน (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, 2542)

การชุบมัน	อุณหภูมิ	เวลา	สารเคมี	ลักษณะพิเศษที่ได้
แบบทั่วๆ ไป	20 – 25 °C	30 – 60 วินาที	โซดาไฟเข้มข้น 20 – 30 °Be′ [1]	เส้นใยพองตัวและหดตัวตามยาวเพิ่ม ความเงาการดูดซึมสีย้อมดีขึ้น
แบบอุณหภูมิต่ำ	-10 – 0 °C	20 – 60 วินาที	โซดาไฟเข้มข้น 20 – 30 °Be′	มีลักษณะโปร่งแสง เงามันมากขึ้น มีผิวสัมผัสคล้ายลินิน
แบบอุณหภูมิสูง	60 – 90 °C	5 – 50 วินาที	โซดาไฟเข้มข้น 30 – 35 °Be′	ให้ผิวสัมผัสที่นุ่มขึ้น ทำเท็กเจอร์ได้ง่ายขึ้น คงทนต่อการยับในสภาพที่เปียกดีขึ้น คุณสมบัติด้านการซักและสวมใส่ดีขึ้น
แบบใช้แอมโมเนีย	ต่ำกว่า –33 °C	1 – 10 วินาที	สารละลายแอมโมเนีย 100%	ให้ผิวสัมผัสที่นุ่ม คุณสมบัติด้านการซักและสวมใส่ดีขึ้น ความคงทนต่อการยับดีขึ้น ความเหนียวของเส้นใยสูงขึ้น

ที่มา : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, 2542

ลำดับของการชุบมันในกระบวนการเตรียมผ้า อาจอยู่ได้หลายลำดับตามความเหมาะสม

2.1.2 การย้อม (Textile Dyeing)

การย้อมสี เป็นกระบวนการที่สำคัญในกระบวนการฟอกย้อม โดยนำด้ายหรือผ้าที่ผ่านการเตรียมมาดีแล้วมาทำการย้อมโดยผ่านขั้นตอนการย้อม โดยขั้นตอนการย้อม,สารเคมีและสีย้อมที่ใช้มีได้หลากหลายชนิดตามความต้องการ โดยกลไกที่สีย้อมถูกดูดซึมและติดกับด้าย

[1] °Be′ คือ หน่วยความเข้มข้น (องศาโบเม่) มีความสัมพันธ์โดยประมาณเทียบกับความถ่วงจำเพาะของ NaOH ดังนี้

1 °Be′ มีความถ่วงจำเพาะ NaOH = 1.007
10 °Be′ มีความถ่วงจำเพาะ NaOH = 1.075
20 °Be′ มีความถ่วงจำเพาะ NaOH = 1.161
30 °Be′ มีความถ่วงจำเพาะ NaOH = 1.263
40 °Be′ มีความถ่วงจำเพาะ NaOH = 1.385

หรือผ้าจะเป็นกลไกที่ซับซ้อนโดยเกี่ยวข้องกับแรงทางเคมีคือ แรงโควาเลนซ์, แรงอิออนนิค และแรงดึงดูดทางกายภาพคือแรงแวนเดอร์วาล

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของการย้อมขึ้นกับ ระยะเวลาการย้อม อุณหภูมิ พีเอช และสารเคมีช่วยย้อม ต่างๆ โดยวิธีการย้อมผ้าและเส้นด้ายสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีคือ

2.1.2.1 <u>การย้อมแบบดูดซึม (Exhaust Method)</u>

จะเป็นการย้อมโดยผ้าหรือวัสดุที่ย้อมจะถูกแช่หรือหมุนอยู่ในอ่างย้อม จนกระทั่งการย้อมเสร็จสมบูรณ์ เครื่องย้อมที่ใช้กันมาก เช่น เครื่องจิกเกอร์ เครื่องวินซ์ เครื่องเจ็ท เครื่องย้อมเส้นด้ายสำเร็จรูป โดยเครื่องย้อมแต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผ้าที่จะย้อมต่อน้ำหนักสารละลายน้ำย้อมสีที่ใช้ย้อม (Liquor Ratio, L : R) แตกต่างกันไป

2.1.2.2 <u>การย้อมด้วยวิธีกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous Method)</u>

การย้อมด้วยวิธีนี้ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ จะเตรียมสีย้อมและด่างผสมกันในอ่างย้อมและผ่านผ้าที่จะย้อมลงไปในอ่างย้อม เพื่อให้ส่วนผสมที่เตรียมไว้ผ่านเข้าไปในผ้าและผ้าดังกล่าวจะผ่านต่อไปยังลูกกลิ้งเพื่ออัดรีดเอาน้ำย้อมบางส่วนออก ผ้าที่ได้จะถูกม้วนเก็บไว้บนท่อนแหล็กและทิ้งไว้เพื่อให้สีเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยได้ดี โดยม้วนผ้าจะถูกห่อหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกใส เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในช่วงของการเก็บ และระหว่างที่รอเวลานั้นท่อนเหล็กจะต้องหมุนเพื่อให้สีย้อมกระจายอย่างสม่ำเสมอในผ้าทุกๆ ส่วน สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บก็ขึ้นกับความว่องไวต่อปฏิกิริยาของสี ความแรงของด่างที่ใช้ และอุณหภูมิของการเก็บ โดยการย้อมวิธีนี้จะมีเปอร์เซ็นต์การติดของสีสูงกว่าวิธีย้อมแบบดูดซึม ทำให้ประหยัดสีได้มากกว่า

2.1.2.3 <u>การย้อมด้วยวิธีต่อเนื่อง (Continuous Method)</u>

การย้อมด้วยวิธีต่อเนื่องนี้ ผ้าจะเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องผ่านเครื่องจักรซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับกระบวนการย้อมขั้นตอนต่างๆ จนกระทั่งออกมาเป็นผ้าย้อมสำเร็จทำให้

การย้อมทำได้เร็วจึงเหมาะกับการย้อมทีละมากๆ แต่ถ้าเกิดมีการผิดพลาดขึ้นในระหว่างการย้อม ผ้าก็อาจเสียไปเป็นจำนวนมากได้ สำหรับหลักการของการย้อมในขั้นตอนการอัดน้ำสีและด่างนั้น การย้อมด้วยวิธีต่อเนื่องนี้ ใช้สภาวะที่รุนแรงกว่ามากเพื่อต้องการระยะเวลาที่สั้นในแต่ละขั้นตอนการย้อม โดยแสดงขั้นตอนการย้อมดังนี้

การอัดน้ำสี + ด่าง → การอบแห้ง → การผนึกสีโดยใช้ไอน้ำหรือความร้อน → การซัก

สำหรับการผนึกสีอาจทำได้โดยใช้ไอน้ำหรือความร้อนแห้ง อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับความว่องไวต่อปฏิกิริยาของสีและความแรงของด่างที่ใช้ โดยปรกติผู้ย้อมจะต้องเลือกสภาวะที่จะทำให้การผนึกเกิดขึ้นในระยะเวลาอันสั้นที่สุด เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด

2.1.3 การตกแต่งสำเร็จ (Textile Finishing)

การตกแต่งสำเร็จเป็นขั้นตอนสุดท้ายต่อจากการเตรียมผ้าและการให้ย้อมสีกับสิ่งทอ โดยขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะเปลี่ยนแปลง ปรับปรุง หรือเพิ่มเติมคุณสมบัติบางอย่างให้กับผลิตภัณฑ์ ตามที่ตลาดต้องการ โดยสามารถจำแนกประเภทของการตกแต่งได้หลายประเภทพคือ

2.1.3.1 <u>การจำแนกตามกรรมวิธีการตกแต่ง</u>

- *การตกแต่งด้วยวิธีทางเชิงกล (Mechanical Finishing)*
  เป็นการตกแต่งสิ่งทอโดยใช้เครื่องจักรในการผลิตทำให้สิ่งทอมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ , การตกแต่งเพื่อให้ผ้ามีความเงามัน เรียบลื่น (Calendering) ทำให้อากาศผ่านได้น้อยลง ลดอาการเลื่อนหลุดของเส้นด้าย, การตกแต่งเพื่อควบคุมการหดตัวของผ้า (Shrinkage Control), การตกแต่งด้วยกระบวนการตัดขน (Shearing) คือ การตัดแต่งขนผ้าที่ทอหรือถักจากเส้นด้ายใยสั้น (Spun Yarn) เพื่อให้เรียบสม่ำเสมอหรือเกิดเป็นลวดลาย เช่น ผ้าขนหนู และ การตกแต่งเพื่อให้ผ้านุ่ม เป็นต้น

- *การตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคมี (Chemical Finishing)*

  เป็นการตกแต่งสิ่งทอด้วยสารเคมี เพื่อให้สิ่งทอมีคุณสมบัติตามที่ต้องการเช่น ทำให้ผ้ากันน้ำได้ หรือ ทำให้ผ้านุ่ม เป็นต้น

2.1.3.2 <u>การจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการตกแต่ง</u>

- *ประโยชน์การใช้งาน*

  การตกแต่งผ้าให้นุ่ม (Soft Finishing) มักใช้ทำการตกแต่งผ้าสำหรับทำเสื้อผ้าเด็ก เนื่องจากผ้าที่จะใช้กับเด็กควรมีความนุ่ม นิ่ม อ่อนไหวง่าย นอกจากนี้จะต้องตกแต่งด้วยสารเคมีที่ไม่เป็นพิษ หรือระคายเคืองผิวเด็กอ่อน, การตกแต่งให้ผ้ามีคุณสมบัติการคืนตัวต่อรอยยับได้ดี และมีความนุ่มของเสื้อผ้าพอสมควร (Wash & Wear Finishing) ใช้ทำเสื้อผ้าทำงานของผู้ใหญ่ บางครั้งอาจจะมีการตกแต่งพิเศษที่ดีกว่าปรกติขึ้นอีกที่เราเรียกกันว่า ตกแต่งผ้าให้ยับยากแต่รีดง่าย (Easy Care) ,การตกแต่งเพื่อสร้างความอบอุ่นให้กับร่างกาย เช่น ในกรณีที่ใช้ทำเสื้อกันหนาว เสื้อสกี เสื้อกันลม, การตกแต่งผ้าให้แข็ง (Stiffening Finishing) เพื่อให้มีความสะดวกในการตัดเย็มเนื่องจากมีผ้าบางชนิดที่นุ่มและลื่นมากทำให้การตัดเย็บทำได้ไม่สะดวก

- *การบำรุงรักษาให้ใช้ได้ดีและสวยงามตลอด (Protection Finishing)*

  กรณีของผ้าบางชนิดที่นำไปใช้ในการตกแต่ง เช่น ผ้าม่าน ผ้าคลุมเตียง ผ้าบุเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น ซึ่งตามปรกติแล้วผ้าสีที่ย้อมมามีความสวยงามอยู่แล้ว แต่สภาพในการใช้งานจริงจำเป็นต้องถูกสัมผัสตลอดเวลาและยากต่อการนำไปซักล้าง ฉะนั้น เพื่อให้ผ้าเหล่านี้ยังคงความสวยงามอยู่ได้ ผู้ผลิตจำต้องทำการตกแต่งผ้าให้มีคุณสมบัติกันน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้สกปรกเลอะเทอะจากของเหลวต่างๆ เช่น น้ำชา กาแฟ ซึ่งจะทำให้ผ้าเกิดรอยด่างรวมทั้งลดปริมาณการดูดความชื้นของผ้าไปสะสม ซึ่งจะป้องกันไม่ให้เกิดกลิ่นอับชื้นได้ง่าย ทำให้ไม่ต้องนำไปซักบ่อยและเป็นการถนอมผ้าไม่ให้เสื่อมเร็วด้วย ,การตกแต่งเพื่อให้สามารถซักล้างสิ่งสกปรกออกจากเนื้อผ้าได้ง่ายโดยผ้าที่ผ่าน

กระบวนการตกแต่งด้วยวิธีนี้เมื่อเกิดรอยเปื้อนขึ้น ก็สามารถจะทำการขจัด หรือซักออกได้ง่ายกว่าผ้าที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการตกแต่ง จึงทำให้ผ้ามีความสะอาดสดใสกว่า

- *ความปลอดภัยของการใช้ผ้า*

  การนำผ้าไปใช้งานในบางกิจกรรมต้องการความปลอดภัยในการใช้ เช่น การตกแต่งผ้าเพื่อกันแบคทีเรียและเชื้อรา ซึ่งแตกต่างจากผ้าทั่วไปเมื่อเกิดการอับชื้นมักจะเกิดเชื้อราโดยเฉพาะราสีดำหรือแบคทีเรีย ทำให้เกิดกลิ่นและทำลายผ้าได้ ,การตกแต่งเพื่อไม่ให้ติดไฟง่ายและสามารถหยุดการลุกลามต่อเนื่องในผ้า (Flame Retardant) เป็นต้น

- *ความสวยงามหรือเปลี่ยนแปลงกายภาพของผ้า*

  การตกแต่งเพื่อให้เกิดความสวยงาม หรือเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผ้า ซึ่งเป็นการตกแต่งทางเชิงกลเป็นส่วนมาก เช่น การตกแต่งผ้าให้มีความเงามัน (Calendering),การตกแต่งเพื่อควบคุมการหดตัว (Shrinkage), การตกแต่งด้วยกระบวนการตะกรุยขน (Raising), การตกแต่งด้วยกระบวนการตัดขน (Shearing) เป็นต้น

2.2. วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมประกอบด้วย 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ เส้นใยหรือผ้าดิบที่เป็นผืน และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมทั้งหมด ซึ่งส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะถูกปล่อยทิ้งเป็นของเสียชนิดต่างๆ

2.2.1 เส้นใย

เส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม

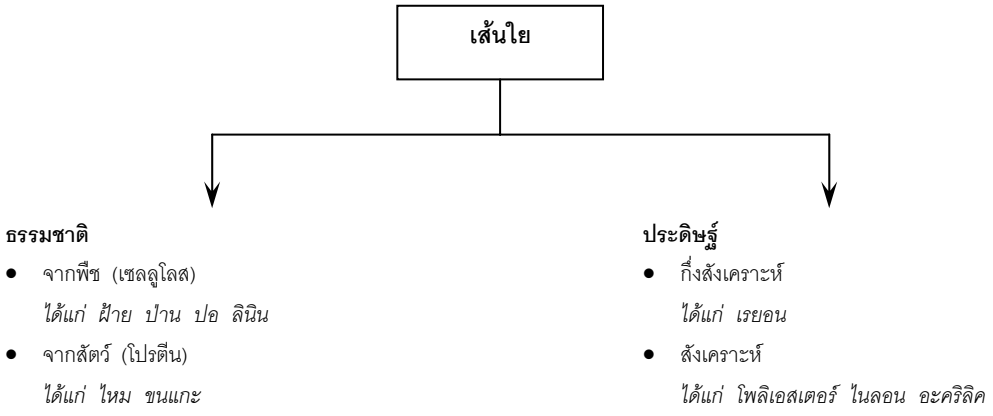
- กลุ่มที่ 1 ได้แก่ เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber) หมายถึง เส้นใยที่เกิดตามธรรมชาติ ได้แก่ ฝ้าย (Cotton) ไหม (Silk) ขนสัตว์ (Wool) และจูด (Jute)

- กลุ่มที่ 2 ได้แก่ เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic Fiber) หมายถึง เส้นใยที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นเอง ไม่มีในธรรมชาติ ได้แก่ โพลิเอสเตอร์ (Polyester) เทโทรอน (Tetoron) ไนลอน (Nylon) และอะคริลิค (Acrylic)
- กลุ่มที่ 3 ได้แก่ เส้นใยกึ่งสังเคราะห์ ประกอบด้วยอะซิเตต (Acetate) และเรยอน (Rayon)
- กลุ่มที่ 4 ได้แก่ เส้นใยผสม (Blending Fiber) ซึ่งเป็นการผสมเส้นใยที่กล่าวตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปเข้าด้วยกัน เช่น เทโทรอนกับฝ้าย(T/C) เทโทรอนกับเรยอน(T/R) เทโทรอนกับขนสัตว์ (T/W) เทโทรอนกับไนลอน (T/N) ฝ้ายกับขนสัตว์ (C/W) เป็นต้น

หรืออาจแบ่งเส้นใยออกเป็น 2 ประเภท ดังรูปที่ 2.3 และแสดงชนิดของเส้นใยและสีที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ รายละเอียดแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

2.2.2 ผ้า

เมื่อนำเส้นใยมาถักหรือทอเข้าด้วยกันจะได้ผืนผ้าที่จะนำไปตัดเย็บเป็นเสื้อผ้าต่อไป ชนิดของผ้าแบ่งตามชนิดของเส้นใยได้ 2 ชนิด คือ ผ้าที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เซลลูโลส (ฝ้ายและจูด) และโปรตีน (ขนสัตว์และไหม) และผ้าที่ทำจากเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ เส้นใยที่เป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymer) ได้แก่ โพลิเอสเตอร์ อะคริลิค และไนลอน นอกจากนี้ยังมีผ้าที่ทอจากเส้นใยผสมอีกด้วย



รูปที่ 2.3 การจำแนกประเภทของเส้นใย

ตารางที่ 2.3 ชนิดเส้นใยและสีที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ผ้าประเภทต่างๆ (EPA Manual, 1996)

ชนิดผ้า	ชนิดเส้นใย	สีที่ใช้	เครื่องย้อมสี
ผ้าผืน	โพลีเอสเตอร์	ดิสเพอร์ส	Jet
	ฝ้าย	รีแอคทีฟหรือไดเรคต์	Beck
	โพลีเอสเตอร์/ฝ้าย	ดิสเพอร์ส/รีแอคทีฟ หรือไดเรคต์	Beck
ด้าย Yarn Package	โพลีเอสเตอร์	ดิสเพอร์ส	Package
	โพลีเอสเตอร์/ฝ้าย	ดิสเพอร์ส/รีแอคทีฟ หรือไดเรคต์	Package
ถุงเท้า	ไนลอน/Spandex	Acid	Paddle
ถุงน่อง	ไนลอน/Spandex	ดิสเพอร์ส/Acid	Beck
พรม	ไนลอน	ดิสเพอร์ส/Acid	Beck
	โพลีเอสเตอร์	ดิสเพอร์ส	Beck
ผ้าถัก	Aramid	เบสิก	Jet
Skein	Acrylic	เบสิก	Skein

2.2.3 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการย้อมผ้าชนิดต่างๆ แบ่งออกได้ 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

2.2.3.1 สารเคมีช่วยให้สีติด (Auxillaries Chemicals)

สารเคมีกลุ่มนี้ทำหน้าที่เตรียมเส้นใยหรือผ้าให้อยู่ในสภาพที่สีเข้าไปเกาะติดได้ง่าย หรือปรับสภาพเส้นใยให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานภายหลังย้อมสีแล้ว สารเคมีกลุ่มนี้ได้แก่

- Scouring Agent และ Soaping Agent สารเคมีเหล่านี้จะช่วยขจัดสิ่งสกปรกต่างๆ ออกจากผิวเส้นใย โดยทำให้สกปรกเหล่านั้นกระจายตัวอยู่ในน้ำ และป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกย้อนกลับมาเกาะกับผิวเส้นใยที่สะอาดแล้ว
- Wetting Agent เป็นสารเคมีที่ช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ ทำให้เส้นใยเปียกน้ำสม่ำเสมอในเวลาอันรวดเร็ว
- Leveling Agent เป็นสารที่ช่วยในการย้อมสีได้อย่างสม่ำเสมอ มี 2 ชนิด คือ Nonionic Type ซึ่งเป็น Dye Affinity ทำหน้าที่ลดอัตราการกินสีให้ช้าลง (Retarder) และ Anionic

Type ซึ่งเป็น Fiber Affinity ทำหน้าที่จับจองที่ในเส้นใยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สารเหล่านี้จะสลายตัวทำให้สีเข้าไปเกาะอยู่ในเส้นใยได้

- Softening Agent เป็นสารที่ช่วยให้เส้นใยมีผิวสัมผัสที่ดี สารเคมีกลุ่มนี้มีหลายประเภท เช่น Softener ที่เป็น Anionic Cationic Nonionic หรือ Silicon

2.2.3.2 <u>สารเคมีพื้นฐาน (Basic Chemicals)</u>

เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ด่าง บัฟเฟอร์ เกลือ และอื่นๆ

- กรด (Acid) กรดที่ใช้ปรับ pH ได้แก่ กรดน้ำส้ม (Acetic Acid) กรดฟอร์มิก (Formic Acid) นอกจากนี้ยังใช้กรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) และกรดมะนาว (Citric Acid) อีกด้วย
- อัลคาไลน์ (Alkaline) สารอัลคาไลน์ที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์และฟอกย้อมได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate) โซดาแอช (Soda Ash) โซดาไฟ (Caustic Soda) โซเดียมซัลไฟด์ (Sodium Sluphide) และโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ (Sodium Hydrosulphite)
- บัฟเฟอร์ (Buffer) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายไม่ให้เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สารที่ทำหน้าที่บัฟเฟอร์ ได้แก่ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium Phosphate) โซเดียมอะซิเตต (Sodium Acetate) แอมโมเนียมอะซิเตต (Ammonium Acetate) โมโนโซเดียมฟอสเฟต (Monosodium Phosphate) ไดโซเดียมฟอสเฟต (Disodium Phosphate) และแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium Sulphate)
- เกลือ (salt) สารประกอบที่อยู่ในรูปของเกลือถูกนำมาใช้ช่วยกินสี ได้แก่ โซเดียมซัลเฟต (sodium sulphate) และเกลือแกง (sodium chloride) นอกจากนี้ ยังใช้โซเดียมไนเตรต (Sodium Nitrate) ช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเครื่องจักรอีกด้วย
- สารเคมีอื่นๆ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) และโซเดียมคลอไรต์ (Sodium Chlorite) ซึ่งเป็นสารฟอกขาว (Bleaching) โซเดียมเปอร์ซัลเฟต (Sodium Persulphate) แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium Persulphate) และโปแตสเซียม

เปอร์ซัลเฟต (Potassium Persulphate) ซึ่งใช้สำหรับลอกแป้งออกจากผ้าก่อนนำไปย้อมสี นอกจากนี้ยังใช้ White Spirit ช่วยทำให้ผ้าขาวขึ้นอีกด้วย

2.2.3.3 <u>กลุ่มสี (Dyestuff)</u>

สีแต่ละชนิดใช้ย้อมเส้นใยบางชนิดได้เท่านั้น ซึ่งแบ่งสีออกเป็นชนิดต่างๆ ได้แก่

- Cationic Dye เป็นสีที่มีคุณสมบัติเป็น Cation ละลายได้ในน้ำร้อน มี Fastness ดีมีสีสดใส นิยมใช้ย้อมเส้นใยประเภทอะคริลิค
- Acid Dye เป็นสีที่มีคุณสมบัติเป็น Anionic ละลายได้ดีในน้ำร้อน และติดสีได้ดีในน้ำย้อมที่มีสภาวะเป็นกรด นิยมใช้ย้อมเส้นใยที่เป็นโปรตีนและไนล่อน
- Mordant Dye มีคุณสมบัติคล้าย Acid Dye แต่วิธีการย้อมจะต้องทำ Chroming ใช้ย้อมเส้นใยที่เป็นโปรตีน เช่นเดียวกับ Acid Dye การติดสีแน่นกว่า แต่สีไม่สว่างสดใสเท่า Acid Dye
- Metal Complex คือสีที่ผ่านการทำ Chroming กับสีก่อนนำมาย้อม ทำให้ไม่ต้องทำ Chroming หลังย้อม ซึ่งที่รู้จักกันดีคือ 1:1 Metal Complex (1 โมเลกุลของสีเกาะกับ 1 โมเลกุลของโลหะ Cr) ใช้ย้อมในสภาวะน้ำย้อมที่เป็นกรดเข้มข้นและ 1:2 metal Complex ใช้ย้อมในสภาวะน้ำย้อมเป็นกรดเจือจางหรือเป็นกลาง
- Reactive Dye เป็นสีที่ละลายน้ำได้ดี มีการติดสีแน่นดีถึงดีมาก นิยมใช้ย้อมเส้นใยพวกเซลลูโลส ไนล่อน ขนสัตว์ ไหม และจูด
- Direct Dye เป็นสีที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการย้อมเส้นใยพวกเซลลูโลส เช่น ฝ้าย มี Light Fastness ดี แต่ Wet Fastness ไม่ดี ซึ่งต้องทำการตรึงสีหลังการย้อมสีไม่สดเท่า Acid Dye หรือ Basic Dye
- Sulphur Dye เป็นสีที่ใช้ย้อมเส้นใยพวกเซลลูโลส สีทึบ มี Fastness ดีถึงดีมาก นิยมใช้ย้อมสีน้ำตาล กากี กรมท่า และดำ สีต้องถูกทำปฏิกิริยา Reduction ด้วย Reducing Agent เช่น โซเดียมซัลไฟด์ (NaS_2) หรือโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_4$) ก่อนจึงจะย้อมติด หลังจากนั้นต้องทำปฏิกิริยา Oxidation เพื่อให้ได้ Shade สีตามต้องการ

- Vat Dye เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถใช้ Reducing Agent ช่วยให้ละลายได้มี Fastness ดีที่สุด
- Disperse Dye เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ แต่ทำให้ละลายได้โดยโมเลกุลของสีจะถูกเคลือบด้วย Dispersing Agent นิยมใช้ย้อมใยสังเคราะห์พวกโพลิเอสเตอร์ โพลีเอไมด์อะซิเตต (Polyamide Acetate)
- Fluorescent Color เป็นสารสีนวลละลายน้ำได้ดี ใช้ย้อมผ้าขาว
- Pigment เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เกาะติดกับเส้นใยได้ด้วยสารยึดเกาะ (Binder) นิยมใช้กับผ้าพิมพ์ทุกชนิด

กลไกการติดสีและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการย้อมสีแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.4

2.3. การใช้น้ำในโรงงาน

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมที่จัดว่าใช้น้ำเป็นปริมาณมาก เนื่องจากทุกขั้นตอนในกระบวนการฟอกย้อมผ้าหรือด้ายจะต้องใช้น้ำในขั้นตอนนั้นๆ โดยการใช้น้ำในอุตสาหกรรมฟอกย้อมจะมีการใช้ในกิจกรรมต่างๆ ที่สำคัญ 5 ทางด้วยกันคือ

2.3.1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม น้ำใช้ในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต โดยน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ยังอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อม โดยน้ำในส่วนนี้จะปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนที่ค่อนข้างสูง และน้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนโดยส่วนรวมแล้วต่ำกว่าน้ำเสียในประเภทแรก

น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้จะเกิดเป็นน้ำเสียที่สำคัญของโรงงานที่ต้องให้ความสนใจและมักจะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อขนาดและประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกใช้

2.3.2 น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

ในกระบวนการฟอกย้อม มีหลายกระบวนการที่ต้องอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้และเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำใช้ที่ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้เนื่องจากไม่ได้สัมผัสกับสิ่งสกปรกแต่อย่างใด แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนในกระบวนการต่างๆ มีการสัมผัสกับสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น กรณีให้ความร้อนแก่สารละลายสีย้อมโดยตรง ก็จะเป็นการเพิ่มปริมาตรของสารละลายสีย้อมซึ่งจะถูกรวมเป็นน้ำเสียที่สกปรกต้องนำไปบำบัดในที่สุด

2.3.3 น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น

ในกระบวนการฟอกย้อม มีบ่อยครั้งที่ทางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมลงในเวลาอันสั้น ซึ่งจะทำได้ก็โดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น โดยน้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้เนื่องจากไม่มีการปนเปื้อนในระหว่างการใช้งานในกระบวนการผลิต

2.3.4 น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน

น้ำส่วนนี้นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม และในบางกรณีเป็นน้ำเสียที่ต้องให้ความสนใจในการบำบัดด้วย เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

2.3.5 น้ำจากแหล่งอื่นๆ

โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังอาจมีการใช้น้ำในกิจกรรมอื่นๆ อีก นอกจากการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว เช่น น้ำใช้ของคนงาน เป็นต้น

2.4. แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

เนื่องจากมีการใช้น้ำและสารเคมีเกือบทุกขั้นตอนในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีความสกปรกจากแต่ละกระบวนการแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสกปรกใน

วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการนั้นๆ เช่นกระบวนการลอกแป้งของผ้าทอ จะมีแป้งปนมากับน้ำเสียซึ่งถูกวัดเป็นค่าซีโอดีได้สูง และขั้นตอนการชุบมันมีการใช้ด่างมากทำให้น้ำเสียจากกระบวนการนี้จะมีพีเอชที่สูง และสำหรับขั้นตอนการย้อมสีย้อมที่ไม่ติดไปกับผ้าจะถูกล้างออกมาทำให้น้ำเสียมีสี เป็นต้น โดยรายละเอียดของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากแต่ละกระบวนการแสดงได้ดังรูปที่ 2.4, รูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6

2.5. ปริมาณและลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม

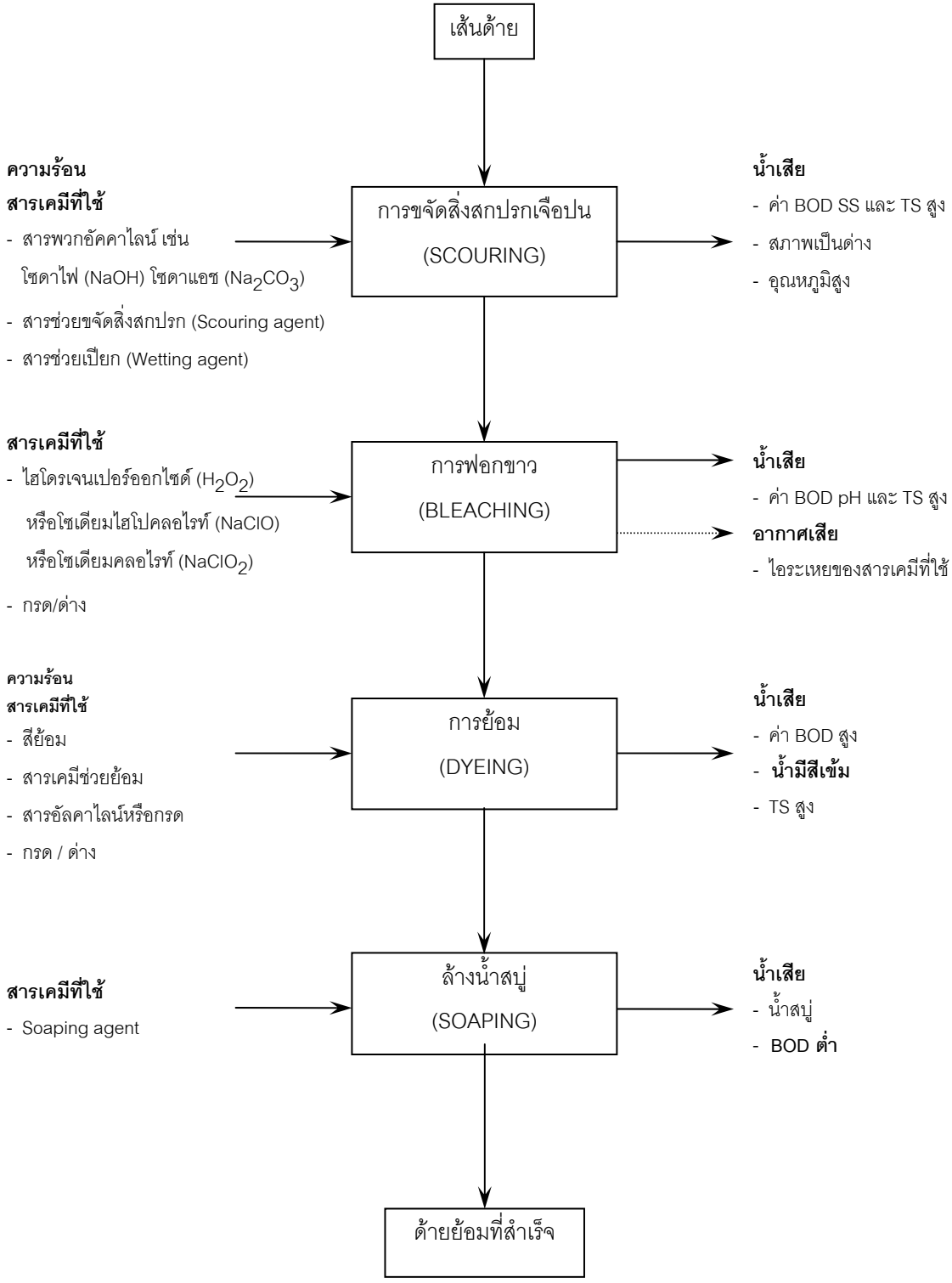
จากข้อมูลแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิต สามารถประมาณปริมาณน้ำเสียและลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากแต่ละกระบวนการ โดยแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม (World Bank Group, 1998)

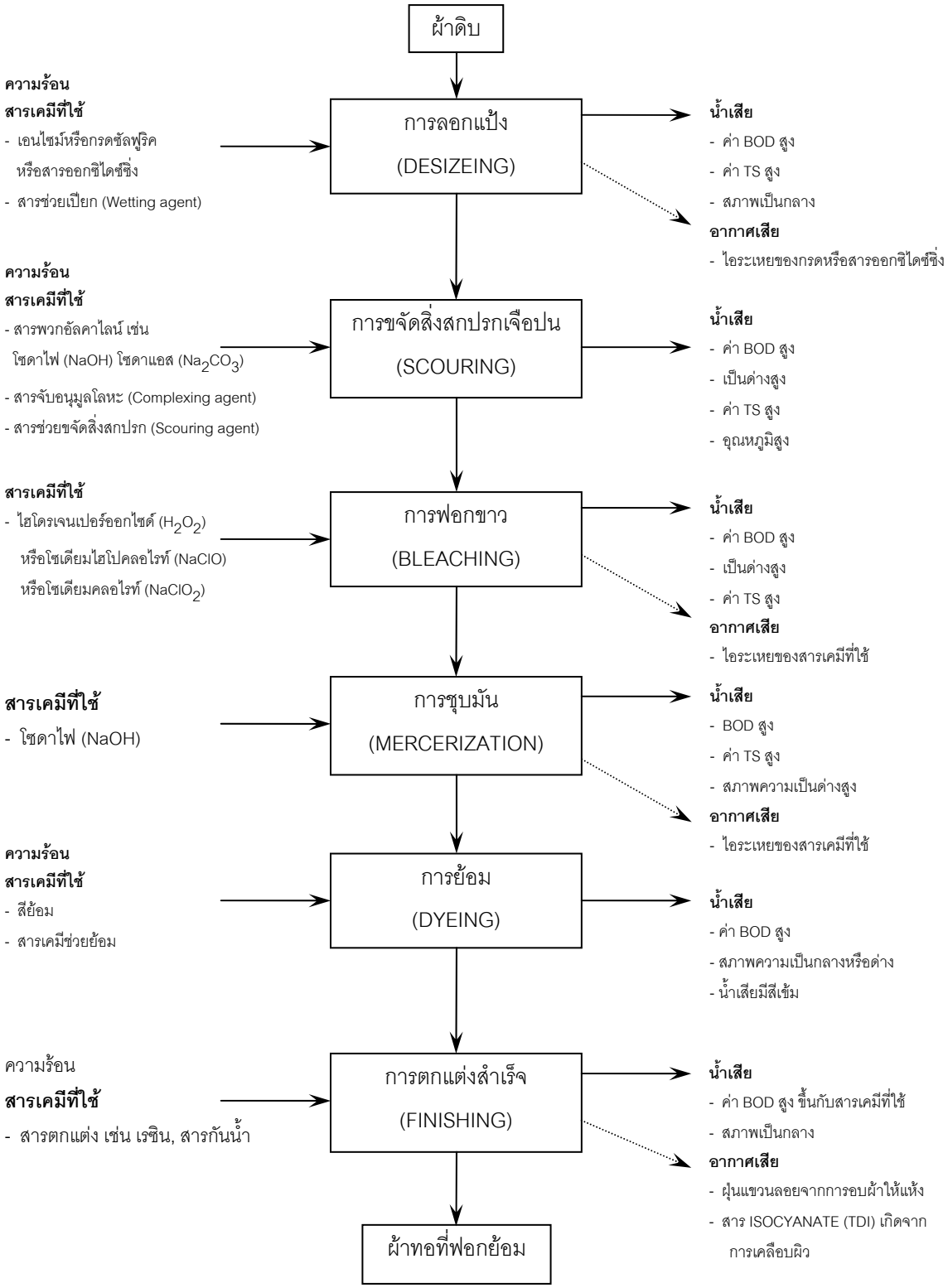
	ปริมาตรน้ำเสีย ($ม^3$/ตัน)	BOD		TSS	
		กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.
ผ้าฝ้าย					
ลงแป้งด้าย	4.2	2.8	667		
Desizing	22	58	2,636	30	1,364
Scouring	100	53	530	22	220
Bleaching	100	8	80	5	50
Mercerizing	35	8	229	2.5	71
Dyeing	50	60	1,200	25	500
Printing	14	54	3,857	12	857
Average compounds	265	115	434	70	264
Other fibers (metric ton of product)					
Rayon processing	42	30	714	55	1,310
Acetate processing	75	45	600	40	533
Nylon processing	125	45	360	30	240
Acrylic processing	210	125	595	87	414
Polyester processing	100	185	1,850	95	950

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของสีชนิดต่างๆ

สี	คุณสมบัติ	เส้นใยที่นิยมใช้ย้อม	กลไกการติดสี	สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการย้อม
acid dye	anionic ละลายน้ำได้มาก	ไนลอน ขนสัตว์	Ionic bond	กรดกำมะถัน กรดน้ำส้ม โซเดียมซัลเฟต
	wet fastness ไม่ดี			สารลดแรงตึงผิว (surfactant)
metal complex	anionic ละลายน้ำได้น้อย	ไนลอน ขนสัตว์	Ionic bond	ไม่มีข้อมูล
	wet fastness ไม่ดี			
direct dye	anionic ละลายน้ำได้น้อย	ไนลอน ขนสัตว์	Ionic bond	เกลือโซเดียม fixing agent เกลือโลหะ
	wet fastness ไม่ดี			(Cu, Cr)
cationic dye	cationice ละลายน้ำได้ดีมาก	อะคริลิค	Ionic bond	กรดน้ำส้ม softening agent
Disperse dye	คอลลอยด์ ละลายน้ำได้น้อยมาก	โพลิเอสเตอร์ ไนลอน อะคริลิค	คอลลอยด์ติดเส้นใยด้วย	ตัวพา (carrier) โซเดียมไฮดรอกไซด์
	wet fastness ดี	เซลลูโลส อะซีเตต	แรงดูดซับ	โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์
Reactive dye	anionic ละลายน้ำได้ดีมาก	ฝ้าย viscose ขนสัตว์	Covalent bonds	เกลือแกง โซเดียมไฮดรอกไซด์ เอทิลีนไดเอมีน
sulphur dye	เกิดเป็นคอลลอยด์ภายหลังทำปฏิกิริยากับเส้นใย	ฝ้าย viscose	สีตะกอนในเส้นใย	โซเดียมซัลไฟด์ และเกลืออื่นๆ กรดน้ำส้ม
	ไม่ละลายน้ำ			
	wet fastness ดี			
vat dye	เช่นเดียวกับ sulphur dye	ฝ้าย viscose	สีตะกอนในเส้นใย	โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์
				และเกลืออื่นๆ สารลดแรงตึงผิว
asoic dye	เช่นเดียวกับ sulphur dye	ฝ้าย viscose	สีตะกอนในเส้นใย	เกลือโลหะ ฟอร์มัลดีไฮด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์
				โซเดียมไนไตรต์ กรด
chrome dye	anionic ละลายน้ำ wet fastness ดี	ขนสัตว์	คอมเพล็กซ์ของเส้นใยสี	โครเมียม และเกลือโลหะอื่นๆ กรดน้ำส้ม โซเดียมซัลเฟต

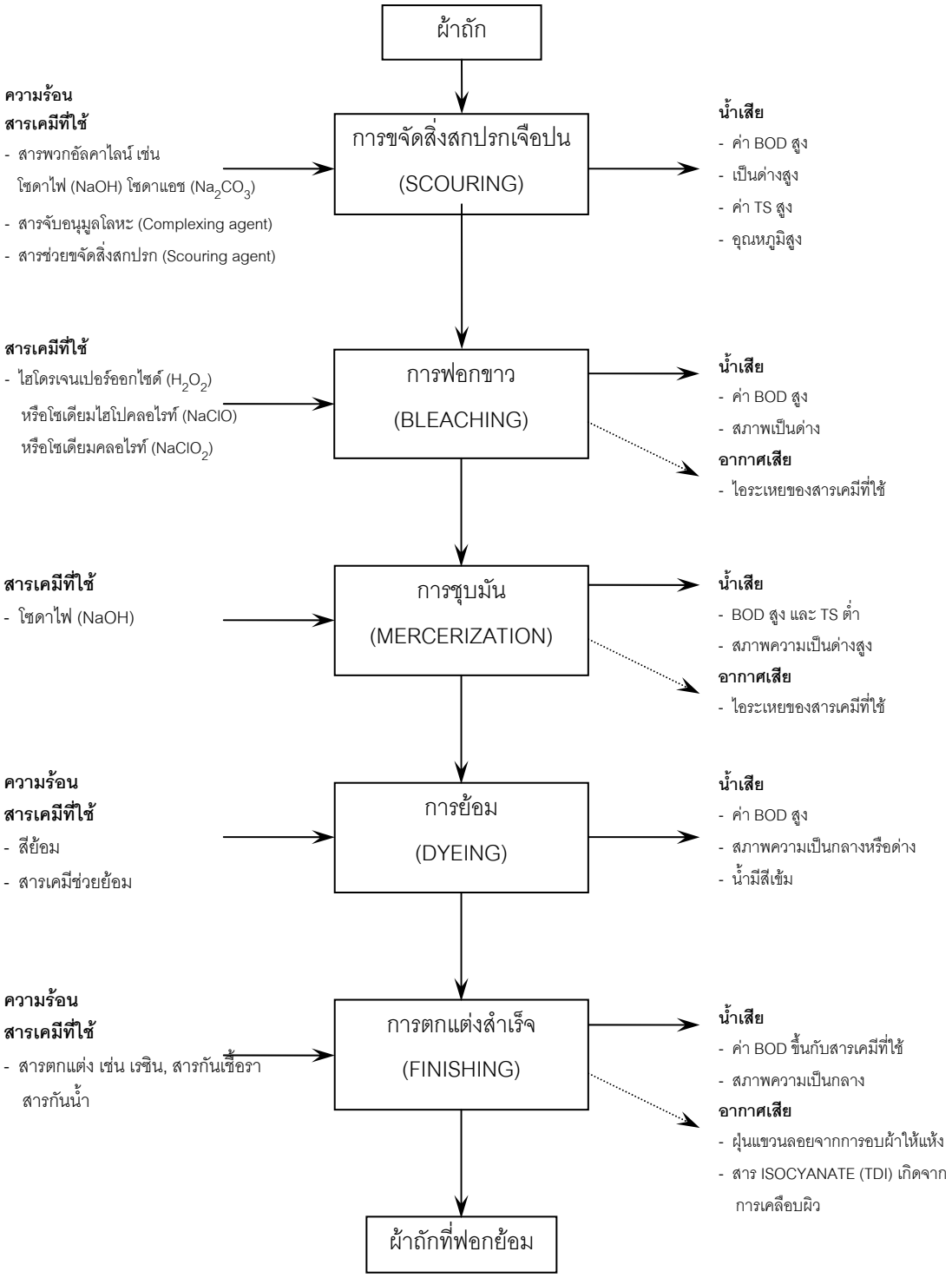


รูปที่ 2.4 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2542)



รูปที่ 2.5 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ

(สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2542)



รูปที่ 2.6 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมผ้าถัก

(สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2542)

โดยมีตัวอย่างข้อมูลจากรายงาน คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่ทำการสำรวจโดย บริษัท ช.รุ่งเลิศ แอสโซซิเอท จำกัด. ข้อมูลการสำรวจโดยการเก็บตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมาณมณฑล จำนวน 100 ตัวอย่าง ซึ่งการเก็บตัวอย่างน้ำเสียได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงตัก (Grab Sample) ที่จุดรวมน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย โดยรายละเอียดของน้ำเสียรวมแสดงได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ฟอกย้อม	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด					จำนวนข้อมูล
	pH	BOD (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	สี (หน่วย Pt Co)	
ฟอกย้อมด้าย	8.2	120	300	43	450	13
ฟอกย้อมผ้าถัก	9.0	110	370	50	570	16
ฟอกย้อมผ้าทอ	8.6	400	1,200	140	670	41
ฟอกย้อมด้ายและผ้าหรืออื่นๆ	9.1	230	713	65	400	30

ที่มา : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน , กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2542)

สำหรับการเก็บข้อมูลโดยละเอียดของบริษัทแซน.อี.68ฯ จากโรงงานฟอกย้อม 5 แห่ง จะใช้ข้อมูลที่ทางบริษัทแซน.อี.68ฯ ตรวจวัด และข้อมูลของโรงงานที่ทำการเก็บเป็นระยะเวลานาน โดยแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงลักษณะน้ำเสียของโรงงาน T1-T5 (อุตสาหกรรมฟอกย้อม)

โรงงาน	ประเภทโรงงาน	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด				
		pH	BOD มก./ล.	COD มก./ล.	SS มก./ล.	TDS มก./ล.
T1	ฟอกย้อมผ้าทอชนิดหนา	12.0	512	2,108	184	8,562
T2	ฟอกย้อมผ้าทอ	12.0	403	1,403	150	4,275
T3	ฟอกย้อมเส้นด้าย	9.7	113	423	61	3,769
T4	ฟอกย้อมผ้าทอ	12.13	561	1,665	393	7,898
T5	ฟอกย้อมเส้นด้าย	9.0	180	650	40	-

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าโรงงานที่ทำการฟอกย้อมผ้าทอจะมีค่าบีโอดี,ซีโอดีสูงกว่าโรงงานประเภทอื่นทั้งนี้เนื่องจากมีการกระบวนการลอกแป้งนั่นเอง นอกจากนี้จะมีพีเอชค่อนข้างสูงเนื่องจากมีการชุบมันมาก และจะมีค่า TDS สูง ด้วยเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ต้องใช้สารเคมีปริมาณมาก ทำให้เมื่อสารเคมีดังกล่าวถูกทิ้งมายังระบบบำบัดฯ ทำให้เกิดค่า TDS ที่สูงในที่สุด สำหรับโรงงงานฟอกย้อมด้ายจะมีค่าบีโอดีและซีโอดีไม่สูงนัก และค่าพีเอชจะต่ำกว่าโรงงานที่ทำการฟอกย้อมผ้าทอ

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปลักษณะน้ำเสียเบื้องต้นของโรงงานฟอกย้อมเป็น 2 ประเภท โดยมีรายละเอียดได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด

ประเภทโรงงาน	ลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด			
	pH	BOD มก./ล.	COD มก./ล.	SS มก./ล.
โรงงานฟอกย้อมด้ายและผ้าถัก	8.0-9.7	110-180	300-650	40-60
โรงงานฟอกย้อมผ้าทอ	12.0	400-500	1,200-2,100	150-400

ตารางที่ 2.8 เป็นการแยกให้เห็นว่าอุตสาหกรรมฟอกย้อมจะมีลักษณะน้ำเสียแบบใด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเสนอระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมแต่ละโรงงาน

บทที่ 3
ทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อม

จากข้อมูลกระบวนการผลิตและลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นที่กล่าวในบทที่ 2 จะเป็นข้อมูลที่สำคัญในการนำมาพิจารณาเลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับโรงงาน สำหรับรายละเอียดระบบบำบัดนำเสียแบบต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบไม่ใช้อากาศ แสดงได้ดังต่อไปนี้

3.1 การเปรียบเทียบระบบบำบัดแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศ

ระบบบำบัดแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศมีความแตกต่างกันในหลายด้าน ซึ่งจะได้เปรียบเทียบให้เห็นดังต่อไปนี้

3.1.1 การเปรียบเทียบทางด้านสภาวะของน้ำเสีย

3.1.1.1 <u>การตกตะกอนเบื้องต้น</u>

การตกตะกอนขั้นต้นให้กับน้ำเสียมักจะเป็นความจำเป็นของระบบใช้อากาศมากกว่าระบบไม่ใช้อากาศ แต่สำหรับระบบไม่ใช้อากาศนั้น อาจต้องการการตกตะกอนเบื้องต้นสำหรับกรณีที่ใช้ระบบที่มีอัตราบำบัดสูงมากที่ไม่สามารถรับสารแขวนลอยได้มาก แต่ระบบไม่ใช้อากาศอื่นๆ มักไม่ต้องมีการตกตะกอนเบื้องต้น

3.1.1.2 <u>ความเข้มข้นของน้ำเสีย</u>

ระบบใช้อากาศเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียเข้มข้นต่ำและปานกลาง แต่ไม่เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ส่วนระบบไม่ใช้อากาศเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียเข้มข้นสูงและปานกลาง

3.1.1.3 อุณหภูมิของน้ำเสีย

ระบบใช้อากาศเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีอุณหภูมิต่ำและสูงไม่เกิน 35-40°ซ แต่ระบบไม่ใช้อากาศเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีอุณหภูมิในช่วงต่างๆ และสามารถใช้กับน้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูงถึง 50-60°ซ ได้

3.1.2 การเปรียบเทียบด้านกระบวนการ

3.1.2.1 ความต่อเนื่องของระบบบำบัด

ระบบใช้อากาศต้องทำงานบำบัดอย่างต่อเนื่องโดยไม่สามารถหยุดทำงานเป็นระยะยาว ในทางตรงกันข้าม ระบบไม่ใช้อากาศสามารถพักระบบเป็นระยะยาว และระบบสามารถฟื้นตัวได้รวดเร็วเมื่อเริ่มบำบัดใหม่ จึงเหมาะสำหรับใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีตามฤดูกาล เช่น โรงงานน้ำตาลอ้อยที่ทำงานเฉพาะในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนพฤษภาคมของปี

3.1.2.2 คุณภาพของน้ำที่บำบัดแล้ว

ระบบใช้อากาศสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูงมากซึ่งทำให้สามารถระบายทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือท่อระบายได้โดยไม่ผิดกฎหมาย ในขณะที่ระบบไม่ใช้อากาศไม่สามารถทำได้

3.1.2.3 ปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้น

ผลจากการบำบัดน้ำเสีย จะต้องมีสลัดจ์เกิดขึ้นเป็นของเสียเสมอ ระบบใช้อากาศสร้างสลัดจ์ส่วนเกินมากกว่าระบบไม่ใช้อากาศหลายเท่า ในทางปฏิบัติระบบไม่ใช้อากาศสร้างสลัดจ์ประมาณ 20-150 กก. จากการกำจัดซีโอดี 1 ตัน ในขณะที่ระบบใช้อากาศสร้างสลัดจ์ส่วนเกินสูงถึงประมาณ 400-600 กก. สลัดจ์ส่วนเกินเป็นภาระที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัด

3.1.2.4 อัตราบำบัดน้ำเสีย

ระบบใช้อากาศมีอัตราบำบัดน้ำเสียต่ำกว่าระบบไม่ใช้อากาศ หากเป็นสมัยก่อนจะต้องกล่าวว่าระบบไม่ใช้อากาศมีอัตราบำบัดน้ำเสียต่ำกว่าระบบใช้อากาศ แต่ในปัจจุบันนี้ มีการพัฒนาระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงดังเช่น ระบบ UASB, EGSB เป็นต้น ซึ่งเป็นระบบที่มีอัตราบำบัดสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบใช้อากาศดังเช่น ระบบเอเอส (ขอให้ดูการเปรียบเทียบในตารางที่ 3.1ก และ 3.1ข) ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ในอัตราสูงกว่ามีผลทำให้ระบบมีขนาดเล็กกว่า ระบบไม่ใช้อากาศจึงต้องการพื้นที่น้อยกว่า

3.1.2.5 การบำรุงรักษาเครื่องจักร

ระบบใช้อากาศมักมีอุปกรณ์เครื่องจักรมากกว่า จึงต้องการการบำรุงรักษามากกว่า และมีการสึกหรอของเครื่องจักรมากกว่า

3.1.2.6 การเกิด Off gas

ระบบใช้อากาศดังเช่นระบบเอเอส ซึ่งเป็นระบบที่นิยมกันมากที่สุด มีปัญหาเรื่องไอกาซระเหย (Off gas) ที่เกิดจากการเติมอากาศ ตัวอย่างเช่น การบำบัดน้ำเสียที่มีซีโอดี 2,000 มก./ล. จะต้องเติมอากาศในปริมาตรที่สูงกว่าอัตราไหลของน้ำเสียถึง 70 เท่า จะมีการหนีของอากาศจากถังเติมอากาศเป็นไอกาซในปริมาตรที่เกือบเท่ากับปริมาตรลมที่เติม ดังนั้น ถ้าอัตราบำบัดน้ำเสีย 500,000 ลบ.ม./วัน (อาจเป็นระบบเดียวหรือเป็นระบบย่อยรวมกันหลายระบบ) จะมีไอกาซ (Off gas) เกิดขึ้น 35 ล้าน ลบ.ม./วันที่ความเข้มข้นซีโอดี 2,000 มก./ล. ไอกาซดังกล่าวอาจมีสาร VOC หรือสารที่ไม่ต้องการอย่างอื่น ที่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์

ระบบไม่ใช้อากาศมีปัญหาเรื่อง Off gas น้อยกว่ามาก เนื่องจากไม่ได้เติมอากาศ

ตารางที่ 3.1ก อัตราบำบัดน้ำเสียของระบบไม่ใช้อากาศแบบต่างๆ

ระบบบำบัด	ภาระซีโอดี (กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	การกำจัดซีโอดี (%)
Anaerobic Contact	1 – 6	80 – 95
Upflow Filter	1 – 10	80 – 95
FB / EB	1 – 20	80 – 87
Downflow Filter	5 – 15	75 – 88
Sludge Bed	5 – 30	85 – 95
Anaerobic Pond	0.5 – 1	50 – 85
UASB	5 – 20	75 – 85

ที่มา : van den Berg & Kennedy, 1983 Metcalf & Eddy, 1991 Syed R. Qasim, 1999

ตารางที่ 3.1ข อัตราบำบัดน้ำเสียของระบบเอเอส

ระบบบำบัด	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก. บีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	การกำจัดบีโอดี (%)
เอเอสแบบธรรมดา	0.6 - 1.6	85 – 95
เอเอสแบบอัตราสูง	2 – 6	60 – 75

3.1.2.7 <u>ปัญหาเรื่องกลิ่น</u>

ระบบไม่ใช้อากาศที่อาจมีปัญหาเรื่องกลิ่น เป็นระบบแบบเปิด ดังเช่นบ่อหมักไม่ใช้อากาศแบบเปิด แต่ถ้าเป็นระบบบ่อแบบปิด ก็ไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่น อย่างไรก็ตาม ต้องตระหนักว่าระบบไม่ใช้อากาศที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะไม่สร้างปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นเน่า ระบบที่มีพีเอชเป็นกลาง จะไม่มีการผลิตกาซไข่เน่าหรือ H_2S จึงไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น

3.1.3 การเปรียบเทียบด้านการสร้างผลพลอยได้จากการบำบัดน้ำเสีย

ระบบไม่ใช้อากาศมีกาซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าหรือเป็นเชื้อเพลิง

3.1.4 การเปรียบเทียบเรื่องราคา

3.1.4.1 <u>เงินลงทุนเบื้องต้น</u>

ถ้าพิจารณาถึงการนำระบบไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงมาใช้บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ต้องกล่าวให้ชัดเจนว่า จะซื้อระบบสำเร็จรูปของต่างประเทศหรือออกแบบเอง ระบบไม่ใช้อากาศที่ซื้อจากต่างประเทศมีราคาแพงมากและแพงกว่าระบบใช้อากาศ แต่ถ้าออกแบบระบบไม่ใช้อากาศเอง ราคาจะถูกกว่าระบบใช้อากาศ เนื่องจากระบบไม่ใช้อากาศไม่มีอุปกรณ์เครื่องจักรมากเท่าของระบบใช้อากาศ

3.1.4.2 <u>ค่าเดินระบบ</u>

โดยทั่วไป อาจกล่าวได้ว่า ค่าเดินระบบของระบบใช้อากาศจะแพงกว่าของระบบไม่ใช้อากาศ เนื่องจากต้องเสียค่าไฟฟ้าในการเติมอากาศและเสียค่าปุ๋ย N และ P สูงกว่า อย่างไรก็ตาม มีข้อพึงสังเกตในเรื่องความต้องการด่างของระบบไม่ใช้อากาศที่ควรนำมาพิจารณาด้วย ธรรมชาติของระบบบำบัดน้ำเสียจะสร้าง CO_2 จากการย่อยสลายสารอินทรีย์เสมอ ไม่ว่าจะเป็นระบบใช้อากาศหรือไม่ใช้อากาศก็ตาม CO_2 ที่เกิดขึ้นอาจมีผลต่อระบบไม่ใช้อากาศมากกว่า เนื่องจากถังเติมอากาศเป็นถังกำจัดกาซที่ดี CO_2 จะหนีออกไปจากน้ำได้อย่างรวดเร็ว แต่ถังหมักไม่ใช้อากาศไม่สามารถกำจัด CO_2 ได้ดีเหมือนถังเติมอากาศ จึงต้องมีสภาพด่างสำหรับสะเทิน CO_2 เพื่อมิให้พีเอชของระบบมีค่าต่ำเกินไป ขณะนี้ยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนถึงความต้องการด่างของระบบไม่ใช้อากาศ ถ้าเป็นไปตามทฤษฎี ระบบไม่

ใช้อากาศต้องการสภาพด่างสูง แต่ในทางปฏิบัติดูเหมือนว่า ความต้องการด่างจะไม่สูงเท่าตัวเลขตามทฤษฎี

ระบบใช้อากาศเสียค่าไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียประมาณ 1,100 กิโลวัตต์-ชม. เพื่อกำจัดซีโอดี 1 ตัน แต่ระบบไม่ใช้อากาศไม่ต้องเสียเงินในส่วนนี้

ระบบใช้อากาศต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสประมาณ 3-5 กก. และ 0.6-1 กก. สำหรับกำจัดบีโอดี 100 กก. ในขณะที่ระบบไม่ใช้อากาศต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสน้อยกว่าประมาณ 5-10 เท่า

ในด้านการบำบัดสลัดจ์ส่วนเกิน ระบบไม่ใช้อากาศเสียค่าใช้จ่ายส่วนนี้น้อยกว่าระบบใช้อากาศมาก เนื่องจากผลิตสลัดจ์ส่วนเกินน้อยกว่านั่นเอง

3.2 การใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศร่วมกับแบบใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

ปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเลือกใช้เทคโนโลยีแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศ มีดังนี้

- ค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ
- กาซมีเทนหรือพลังงานที่ได้
- สลัดจ์ที่เกิดขึ้นซึ่งต้องกำจัด

โดย “เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ” มีข้อได้เปรียบมากกว่า “เทคโนโลยีใช้อากาศ” ดังนี้

1. สามารถทำงานที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading) ได้สูงกว่าเทคโนโลยีใช้อากาศ 5 – 10 เท่า
2. ผลิตสลัดจ์ส่วนเกินเพียง 5 – 20% ของเทคโนโลยีใช้อากาศ
3. สามารถพักการใช้งานของระบบฯ ได้นานเป็นเดือนหรือเป็นปี โดยไม่เกิดความเสียหายต่อระบบฯ

4. ประหยัดค่าพลังงานในการเติมอากาศ

   ระบบใช้อากาศ ต้องใช้ไฟฟ้าในการเติมอากาศประมาณ 1,100 หน่วย (กิโลวัตต์-ชม.) ในการกำจัดซีโอดี 1 ตัน แต่ระบบไม่ใช้อากาศไม่ต้องเสียพลังงานส่วนนี้ หากคิดว่าค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2 บาท ก็เท่ากับว่าสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2,200 บาท/ตันซีโอดี

5. กาซชีวภาพ

   ระบบไม่ใช้อากาศผลิตกาซชีวภาพ 1 ลบ.ม. คิดเป็นพลังงาน 1.1 × 107 Btu หรือคิดเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล 600 ลิตรหรือผลิตไฟฟ้าได้ 1.2 กิโลวัตต์-ชม. ถ้าน้ำมันดีเซลราคา 14 บาท/ลิตร จะได้พลังงานเชื้อเพลิงจากกาซชีวภาพคิดเป็นเงิน 8.4 บาท/กาซชีวภาพ 1 ลบ.ม. พลังงานที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่างๆ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือใช้เดินเครื่องจักร เป็นต้น

6. การบำบัดสลัดจ์ชีวภาพ

   ระบบไม่ใช้อากาศ สร้างสลัดจ์ชีวภาพประมาณ 20 – 150 กก จากการกำจัดซีโอดี 1 ตัน ขณะที่ระบบใช้อากาศสร้างสลัดจ์สูงถึง 400 – 600 กก. การบำบัดสลัดจ์ต้องเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 5,000 บาท/ตัน เท่ากับว่าสามารถลดปริมาณสลัดจ์ที่ต้องกำจัดลงได้ประมาณ 500 กก./ตันซีโอดี คิดเป็นเงิน 2,500 บาท

7. ลดการเติม N, P

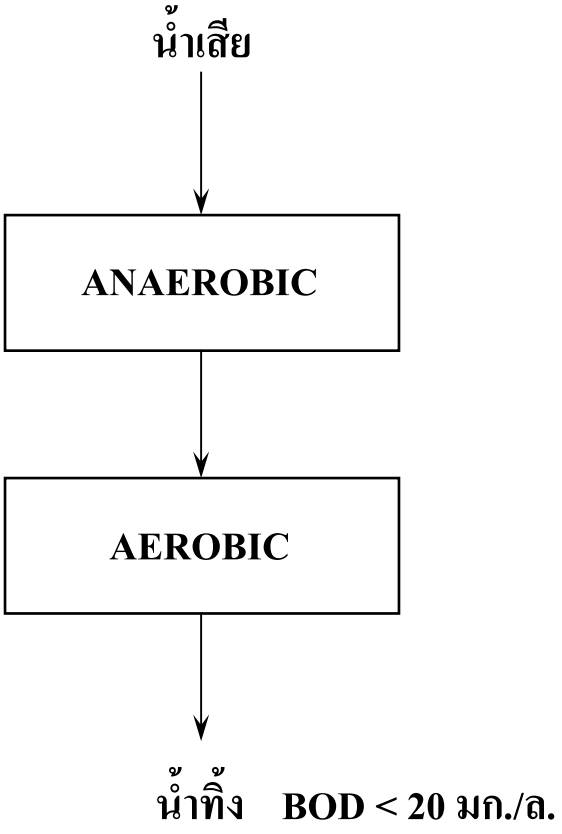
เนื่องจากอาหารพวก N, P เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์แบคทีเรียที่เกิดขึ้น ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศสามารถลดปริมาณสลัดจ์ที่ต้องกำจัดได้ (เซลล์ที่เกิดขึ้น) ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเติม N, P สามารถลดลงได้เป็นสัดส่วนตามปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงด้วย

ด้วยเหตุผลข้างต้น จึงเห็นได้ว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไม่ใช้อากาศประหยัดกว่าระบบใช้อากาศ อย่างไรก็ตาม ระบบไม่ใช้อากาศมีข้อด้อยในทางเทคนิคคือ ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพสูงเหมือนระบบใช้อากาศ กล่าวคือระบบใช้อากาศสามารถผลิตน้ำทิ้งสุดท้ายที่มีคุณภาพสูง จนผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งตามกฎหมายได้ (เช่น BOD<20 มก./ล. SS<30 มก./ล. เป็นต้น) แต่ระบบไม่ใช้อากาศไม่สามารถทำได้ เมื่อนำเอาข้อดีของทั้งสองระบบมารวมกัน ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสมจึงมี 2 ทางเลือก คือ

ทางเลือกที่ 1 ประกอบด้วยระบบไม่ใช้อากาศ ตามด้วยระบบใช้อากาศ (ดูรูปที่ 3.1)

ทางเลือกที่ 2 ประกอบด้วยระบบใช้อากาศเพียงอย่างเดียว

ในทางปฏิบัติทั่วไป การบำบัดน้ำเสียต้องอาศัยระบบใช้อากาศด้วยเสมอ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถผลิตน้ำทิ้งสุดท้ายที่มีคุณภาพสูง ถ้าน้ำเสียมีค่าซีโอดีเข้มข้นสูง ควรจะต้องบำบัดน้ำเสียก่อนด้วยระบบไม่ใช้อากาศแล้วจึงบำบัดต่อด้วยระบบใช้อากาศ แต่ถ้าน้ำเสียมีค่าซีโอดีต่ำ การบำบัดด้วยระบบใช้อากาศเพียงลำพังจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า



รูปที่ 3.1 การใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศร่วมกับระบบแบบใช้อากาศ

3.3 ระบบไม่ใช้อากาศสำหรับบำบัดน้ำเสีย

การส่งเสริมให้มีการใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศสำหรับบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมควรต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ควรเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศที่สามารถใช้ได้ง่าย ทนทาน และไม่จุกจิก
- สามารถหา Seed ได้ง่ายในปริมาณมากๆ

ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศที่ใช้อยู่ทั่วไป คือ

- บ่อหมักไม่ใช้อากาศ
- ถังกรองไม่ใช้อากาศ (AF)
- ระบบยูเอเอสบี (UASB)
- ระบบ AnSBR

ระบบไม่ใช้อากาศที่ขอแนะนำเป็นอย่างมากในช่วงแรกนี้คือ บ่อหมักไม่ใช้อากาศ เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้งานได้ง่าย และสามารถใช้มูลสัตว์ต่างๆ เป็น Seed สำหรับเลี้ยงระบบในตอนต้น

3.3.1 บ่อหมักไม่ใช้อากาศ

จากข้อมูลการสำรวจระบบบำบัดน้ำเสียจำนวน 803 แห่ง ของ (โครงการศึกษาเพื่อประเมินสารพิษอุตสาหกรรมทางน้ำ โครงการศึกษาวิเคราะห์จัดทำแผนหลักในการลดปัญหามลพิษทางน้ำจากภาพอุตสาหกรรม โครงการศึกษาปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อมโรงงานที่ก่อปัญหามลพิษในพื้นที่วิกฤติ) บ่อหมักไม่ใช้อากาศเป็นเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศที่มีใช้มากที่สุดในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่มและแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีความเข้มข้นบีโอดีและซีโอดีสูง จัดได้ว่าบ่อหมักไม่ใช้อากาศเป็นวิธีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสมที่สุดด้วยเหตุผลดังนี้

ใช้ง่าย

เนื่องจากการควบคุมบ่อหมักสามารถกระทำได้ง่าย ผู้ใช้เพียงแต่ป้อนน้ำเสียลงไปในบ่อหมักโดยไม่ต้องควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ โรงงานมีน้ำเสียแปรปรวนอย่างไรก็ป้อนเข้าระบบได้เลย อาจจะต้องเติมปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสบ้าง โดยเติมเป็น Batch in วันละ 1 ครั้ง การปรับพีเอชมักไม่ต้องทำถ้าออกแบบบ่อหมักได้อย่างถูกต้อง บ่อหมักจะทำงานได้เองและยิ่งนานประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียก็ยิ่งดีขึ้น เพราะมีแบคทีเรียเพิ่มขึ้นตามเวลา

ทนทานและไม่จุกจิก

เนื่องจากบ่อหมักไม่ใช้อากาศเป็นบ่อดินที่มีเวลากักน้ำประมาณ 5 วันหรือมากกว่า และไม่ต้องมีเครื่องจักรกลจึงเป็นระบบที่ทนทานต่อการใช้งาน ไม่มีปัญหาเรื่องการซ่อมแซมอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหาย

รับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยหรือ Slurry ได้

ระบบเอเอสหรือจานหมุนชีวภาพ ไม่สามารถใช้ได้กับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอย เช่น น้ำแป้ง น้ำซาวข้าว ฯลฯ กรณีดังกล่าวต้องมีการกำจัดตะกอนแขวนลอยออกก่อน ซึ่งเป็นปัญหาวุ่นวายในการเดินระบบและจะต้องมีระบบบำบัดหรือจัดการกับสลัดจ์ที่เกิดจากการแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย ผู้ที่ใช้ระบบเอเอสบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทำขนม, ก๋วยเตี๋ยว หรือแป้งต่างๆ จะเข้าใจในความยุ่งยากที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยอินทรีย์เป็นอย่างดี ถ้าใช้บ่อหมักไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดเบื้องต้น น้ำเสียทั้งหมดจะถูกส่งเข้ามาบำบัดในบ่อหมักได้เลย ทำให้ลดขั้นตอนกำจัดตะกอนแขวนลอยได้ทั้งหมด บ่อหมักจะบำบัดน้ำเสียและบำบัดตะกอนแขวนลอยพร้อมกัน ตะกอนแขวนลอยจะตกตะกอนลงก้นบ่อและถูกย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศที่ก้นบ่อ

รับน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันได้

ระบบเอเอสหรือจานหมุนชีวภาพที่บำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมัน มักจะมีปัญหาเนื่องจากน้ำมันและไขมันย่อยสลายได้ช้า ถ้าน้ำมันและไขมันไม่รวมกับน้ำอาจลอยตัวอยู่บนผิวน้ำ หรือจับกับสลัดจ์เป็นจนเป็น Scum ที่หนาและสกปรกรบกวนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย บ่อหมักสามารถรับน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันได้ดีกว่าระบบเอเอสหรือจานหมุนชีวภาพ เนื่องจากบ่อหมักมีพื้นที่ผิวมาก

การบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันด้วยบ่อหมักไม่ใช้อากาศมักได้ผลดีกว่าการใช้ระบบเติมอากาศ (เช่นระบบเอเอสหรือบ่อเติมอากาศ) การใช้ระบบเอเอสนั้นมีความยุ่งยากหลายอย่างเช่น

- การเติมอากาศของระบบเอเอสมีปริมาณ Off Gas เกิดขึ้นมหาศาล น้ำมันและไขมันย่อยสลายได้ ช้า จึงมีโอกาสสะสมตัวอยู่ในถังเติมอากาศ และเกิด Flotation ดังกล่าวข้างต้นขึ้นในถังเติมอากาศ ตะกอน MLSS จะถูกลอยตัวภายในถังเติมอากาศ ทำให้การบำบัดน้ำเสียไม่เกิด

การใช้ระบบอเอสกับน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมัน จึงต้องมีระบบกำจัดน้ำมันและไขมันที่ไม่ละลายออกจากน้ำเสียเสียก่อน

ในกรณีที่เป็นบ่อหมัก ก็ควรมีระบบดักไขมันแบบธรรมดา เช่น Greese Trap เพื่อแยกน้ำมันและไขมันที่ลอยบนผิวน้ำออกให้หมดก่อน จากนั้นจึงป้อนน้ำเสียให้บ่อหมักต่อไป

บ่อหมักไม่ใช้อากาศใช้เป็นระบบบำบัดสลัดจ์

โดยปกติ บ่อหมักไม่ใช้อากาศมักเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นที่ต้องตามด้วยระบบบำบัดแบบใช้อากาศเพื่อให้ได้น้ำทิ้งสุดท้ายที่มีคุณภาพสูง (ดูรูปที่ 3.1) สลัดจ์ที่เกิดระบบบำบัดขั้นสอง (ระบบใช้อากาศ) เป็นภาระที่ต้องบำบัด แต่ถ้ามีบ่อหมักไม่ใช้อากาศเป็นระบบ

ขั้นต้น สลัดจ์ดังกล่าวสามารถส่งมาบำบัดในบ่อหมักได้ ทำให้ลดภาระในการบำบัดสลัดจ์ ถ้าระบบขั้นต้นเป็นเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศแบบอื่น เช่น UASB, AF จะไม่สามารถบำบัดสลัดจ์ได้ ทำให้ภาระบำบัดสลัดจ์ยังคงอยู่

การปิดฝาบ่อหมักไม่ใช้อากาศ

จุดอ่อนของบ่อหมักไม่ใช้อากาศมี 2 ประการ คือปัญหาเรื่องกลิ่นและอัตราบำบัดน้ำเสียมีค่าต่ำ (รับออร์แกนิกโหลดดิ่งได้ไม่เกิน 0.5-1 กก.ซีโอดี/ม3-วัน) ผู้ใช้จำนวนหนึ่งไม่ยอมรับปัญหาเรื่องกลิ่น (รวมทั้งความไม่น่าดู) ของบ่อหมัก โดยปกติบ่อหมักที่ออกแบบถูกต้องสามารถควบคุมไม่ให้มีปัญหาเรื่องกลิ่นได้ อย่างไรก็ตามบ่อหมักก็มักจะมีกลิ่นเหม็นบ้าง (แต่ไม่ใช่เหม็นเน่า) ทำให้ไม่สามารถสร้างบ่อหมักให้อยู่ใกล้สำนักงานหรือบ้านพัก ในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาบ่อหมักไม่ใช้อากาศแบบมีฝาปิด ทำให้หมดปัญหาเรื่องกลิ่นและได้ผลประโยชน์เพิ่มขึ้นอีก 2 ประการคือ ทำให้ได้กาซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ และทำให้สามารถบำบัดน้ำเสียในอัตราที่สูงถึง 1 กก.ซีโอดี/ม3-วัน ฝาที่ปิดบ่อหมักอาจเป็นแผ่นยางสังเคราะห์ (ดูรูปที่ 3.2) หรืออาจเป็นแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งทำให้สามารถใช้พื้นที่ฝาบ่อเป็นประโยชน์ใช้สอยได้ด้วย

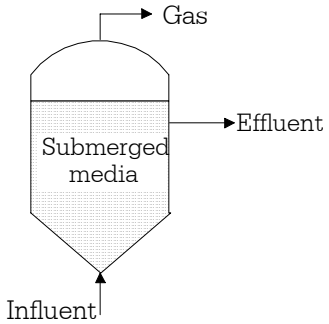
การใช้บ่อหมักที่ปิดฝาเป็นพัฒนาการใหม่ของเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศ ทำให้บ่อหมักปิดฝาทำงานคล้ายกับถังหมักไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestor) แต่ค่าก่อสร้างของบ่อหมักปิดฝาจะถูกกว่ามาก

รูปที่ 3.2 บ่อหมักไม่ใช้อากาศที่ครอบด้วยแผ่นยางพีอีหนา 1 มม. (ฟาร์มหมูใน จ.ราชบุรี)

3.3.2 ถังกรองไม่ใช้อากาศ (AF)

ก่อนที่จะมีการใช้ระบบ UASB McCarty และ Young แห่งมหาวิทยาลัยแสตนฟอร์ดได้แนะนำให้มีการใช้ถังกรองไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Filter) มาตั้งแต่ปี 2507 ถังกรองไม่ใช้อากาศเป็นถังสูงที่รับน้ำเสียเข้าทางก้นถังและไหลขึ้นข้างบน ผ่านชั้นตัวกลางพลาสติก (หรือหินขนาดเล็ก) ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของแบคทีเรียแบบไม่ใช้อากาศ (ดูรูป 3.3) ระบบบำบัดน้ำเสียที่ดีมีลักษณะ 2 ประการคือ ประการแรกต้องเก็บกักสลัดจ์ให้อยู่ในระบบได้ นั่นคือสลัดจ์ต้องไม่หนีออกจากระบบ และประการที่สองต้องเลี้ยงสลัดจ์ให้เข้มข้นได้มากที่สุด ระบบ Activated Sludge หรือ AS มีลักษณะครบถ้วนทั้ง 2 ประการจึงเป็นระบบบำบัดที่ดีที่สุดในปัจจุบัน ส่วนระบบ RBC มีเพียงข้อเดียวคือ เก็บกักสลัดจ์ให้อยู่ในระบบ (บนแผ่นจานชีวภาพ) ได้ดี แต่ไม่มีลักษณะข้อที่สองเนื่องจากพื้นที่ผิวของแผ่นจานมีจำกัด ระบบ RBC จึงยังไม่มีประสิทธิภาพเท่ากับของ AS McCarty และ Young พัฒนาระบบถังกรองไม่ใช้อากาศหรือ AF ขึ้นมาก็เพื่อหวังว่าชั้นหินหรือตัวกลางพลาสติกจะสามารถเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียไม่ใช้อากาศให้กักตัวอยู่ในระบบโดยไม่หลุดหนีออกไปกับน้ำทิ้ง แต่ปรากฏว่าเมื่อระบบได้รับ Organic Load สูง ก็จะมีกาซชีวภาพเกิดขึ้นมาก กาซดังกล่าวจะพาเอาเชื้อแบคทีเรียหลุดออกไปกับน้ำทิ้งโดยไม่สามารถควบคุมได้เลย ระบบ AF จึงไม่สามารถ

บำบัดได้ในอัตราสูง ประกอบกับตัวกลางพลาสติกมีราคาแพงมาก ระบบ AF จึงไม่เป็นที่นิยมและไม่มีการใช้อย่างแพร่หลาย



รูปที่ 3.3 ถังกรองไม่ใช้อากาศ

3.3.3 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB)

3.3.3.1 ความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี

ก่อนที่จะมีการพัฒนาระบบยูเอเอสบี ได้มีความพยายามที่จะพัฒนาแก้ไขปัญหาประสิทธิภาพต่ำและอัตราบำบัดต่ำของระบบไม่ใช้อากาศกันอย่างกว้างขวาง ก่อให้เกิดระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศในรูปแบบต่างๆ หลายชนิด แต่ก็ยังไม่มีระบบที่ประสิทธิภาพสูงจนสามารถเปลี่ยนแปลงความเชื่อในด้านลบของระบบไม่ใช้อากาศเหล่านี้ได้ จนกระทั่งในช่วงปี 1972 Dr. Lettinga (Mosey, 1982) ได้ทำการทดลองศึกษาการย่อยแบบไม่ใช้อากาศของน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำตาลจากหัวผักกาดหวาน (sugar beet) แห่งหนึ่งในประเทศฮอลแลนด์โดยเริ่มแรกเป็นการศึกษาโดยใช้ถังกรองไม่ใช้อากาศ (anaerobic filter) แต่ต่อมาได้มีการพัฒนาปรับปรุงอุปกรณ์ให้สามารถแยกน้ำเสียตะกอนจุลินทรีย์ และกาซชีวภาพ ออกจากกันได้ทั้ง 3 สถานะ (1980 อ้างถึงใน พีรพงษ์ ทิพยากร, 2530) จึงได้ตั้งชื่อกระบวนการนี้ว่า กระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศแบบไหลขึ้น (upflow anaerobic sludge blanket) และยังสามารถเลี้ยงให้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบมีลักษณะเป็นเม็ดหรือเกล็ด (granular or pellet)

ปัจจุบันระบบยูเอเอสบีได้รับความสนใจและยอมรับอย่างกว้างขวาง มีการติดตั้งระบบยูเอเอสบีเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่องทั่วโลก โดยนำมาใช้สำหรับการบำบัดทางชีวภาพขั้นต้นเพื่อลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ให้กับระบบใช้อากาศที่เป็นระบบบำบัดขั้นสอง สำหรับในประเทศไทยได้มีการติดตั้งระบบยูเอเอสบีมาแล้วกว่า 10 ปี (ดูตารางที่ 3.2) ขณะนี้มีการใช้ระบบยูเอเอสบีไม่น้อยกว่า 30 แห่ง

3.3.3.2 <u>ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี</u>

ลักษณะโดยทั่วไปเป็นถังปิดรูปทรงสี่เหลี่ยม หรือ ทรงกระบอกก็ได้ โดยถังยูเอเอสบีจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นถังปฏิกรณ์พร้อมด้วยระบบกระจายน้ำเสียและส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซบริเวณด้านบน (รูปที่ 3.4) โดยมีลักษณะการทำงานดังนี้

1) สำหรับส่วนที่เป็นถังปฏิกรณ์ การป้อนน้ำเสียจะเข้าทางด้านล่างผ่านระบบการกระจายน้ำเสียเพื่อให้น้ำเสียเข้าถังทั่วทั้งหน้าตัด การไหลของน้ำเสียในถังเป็นการไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน

2) มีการเลี้ยงเชื้อแบบไม่ใช้อากาศให้เกิดเป็นชั้นสลัดจ์ที่มีความหนาแน่น โดยเชื้อในชั้นสลัดจ์จะรวมกันเป็นเม็ดหรือเกล็ด

3) เชื้อที่มีความหนาแน่นสูงจะจมตัวอยู่ด้านล่าง (sludge bed) โดยมีการเรียงตัวจากขนาดใหญ่ขึ้นไปหาเล็กเหมือนชั้นทรายกรองเป็นชั้นตะกอนล่างทำหน้าที่ย่อยสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่อยู่ในน้ำ ส่วนกลุ่มที่มีความหนาแน่นต่ำและมีความเร็วในการจมตัวต่ำกว่าจะถูกฟองก๊าซที่เกิดขึ้นมาและการไหลของน้ำที่เข้าถังปฏิกรณ์ทางด้านล่างของถัง กวนขึ้นมาเป็นชั้นตะกอนแขวนลอย และสัมผัสกับน้ำเสียอีก เป็นการเพิ่มการสัมผัส

4) ส่วนบนของถังจะเป็นชุดแยกสามสถานะ เรียกว่า GSS (Gas-Solids Separator) ทำหน้าที่แยกก๊าซ กลุ่มตะกอนจุลินทรีย์ และน้ำเสียออกจากัน การออกแบบอุปกรณ์แยกสามสถานะนี้มีหลายลักษณะตามขนาดและรูปร่างของถังปฏิกรณ์ แต่ใช้หลักการเดียวกัน คือ

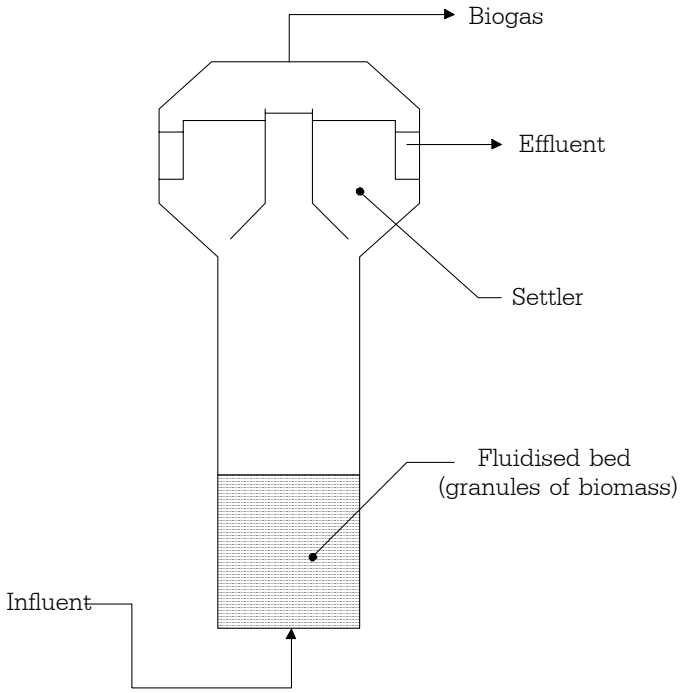
- เก็บกักน้ำไว้โดยการแทนที่น้ำ
- แยกน้ำกับกาซไม่ให้ไหลออกทางเดียวกัน โดยอาศัยหลักการที่ว่าน้ำสามารถไหลเลี้ยวไปมาได้ แต่กาซมีการลอยตัวจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนเป็นเส้นตรงเท่านั้น ยกเว้นถ้ามีสิ่งกีดขวางหรือแผ่นปะทะใดๆ มาเปลี่ยนทิศทางการลอยตัวขึ้น แต่หลังจากผ่านพ้นสิ่งกีดขวางนั้นแล้วก็จะลอยตัวเป็นเส้นตรงดังเดิม
- แยกตะกอนออกจากน้ำโดยการตกตะกอน ดังนั้นในส่วนของอุปกรณ์แยกสามสถานะจึงต้องมีเนื้อที่ส่วนที่เป็นน้ำนิ่งเพียงพอที่ตะกอนจะตกกลับลงมาในถังปฏิกรณ์ได้ ทำให้คงรักษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาให้มีค่าสูงไว้ได้

ลักษณะที่สำคัญของระบบยูเอเอสบีคือ การเก็บกักตะกอนไว้ภายในถังปฏิกรณ์ได้มาก โดยการเลี้ยงจุลินทรีย์ให้รวมตัวเป็นเม็ดหรือเกล็ดตะกอนจนกระทั่งมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก มีความเร็วในการจมตัวสูง (high settling velocity) สามารถตกตะกอนได้ดี การรวมตัวเป็นเม็ดของตะกอนจุลินทรีย์จะขึ้นกับลักษณะน้ำเสียและเชื้อแบคทีเรียที่นำมาใช้ในตอนเริ่มเดินระบบ และอุปกรณ์แยกสามสถานะต้องสามารถทำงานได้ดี โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนแยกตัวลงมาแล้ว ต้องสามารถตกกลับเข้าถังปฏิกรณ์ได้ง่าย ไม่มีการสะสมตัวอยู่ในส่วนตกตะกอนและมีตะกอนหลุดออกไปกับน้ำทิ้งน้อยที่สุด

ตารางที่ 3.2 รายชื่อโรงงานที่ใช้ระบบ UASB ในประเทศไทย

ชื่อโครงการ	จังหวัด	แหล่งน้ำเสีย	หน่วยบำบัดเบื้องต้น	ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)	กำลังของระบบ (กก. ซีโอดี/วัน)	ปี
กลุ่มสุราทิพย์	11 จังหวัด	กลั่นแอลกอฮอล์	สร้างกรด + ยูเอเอสบี	600	45,000	1984
แป้งมันไทยประสิทธิ์	อุทัยธานี	แป้งมันสำปะหลัง	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	1,440	38,340	1991
เนชั่นนอลสตาร์ช	กาฬสินธุ์	แป้งมันสำปะหลัง, แป้งดัดแปร	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	4,000	48,000	1992
บุญรอดบิวเวอรี บางกระบือ	กรุงเทพฯ	สุรา	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	6,000	15,000	1994
เบียร์ไทยอัมฤทธิ์	ปทุมธานี	สุรา	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	1,600	4,000	1994
บุญรอดบิวเวอรี ปทุมธานี	ปทุมธานี	สุรา	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	6,000	15,000	1995
ไทยเป๊กกี้ฟู้ด	สมุทรสาคร	มันฝรั่งแผ่น, ข้าวโพด,ขนมหวาน ,ช็อกโกแลต	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	384	1,997	1996
บมจ. เสริมสุข	ปทุมธานี	เครื่องดื่ม	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	3,600	7,200	1997
บุญรอดบิวเวอรี ขอนแก่น	ขอนแก่น	สุรา	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	-	-	1997
เพรซิเดนท์เบเกอรี่*	กรุงเทพฯ	สุรา	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	300	450	1997
ซุปเปอร์เฟิร์สฟู้ด	สมุทรสาคร	ลูกกวาด	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	30	180	1997
ก๋วยเตี๋ยวไทยคอมเมอเชียล	กรุงเทพฯ	ก๋วยเตี๋ยว	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	40	40	1997
บจ. อุตสาหกรรมกระดาษธนกร	ปทุมธานี	กระดาษใช้แล้ว	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	2,000	2,000	1998
ไทยบิวเวอรี	อยุธยา	สุรา	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	4,000	14,000	1998
มันสำปะหลังพัฒนา	ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	-	-	1998
บจ. ไทยโชติวัฒน์แช่แข็ง*	สงขลา	กุ้งแช่แข็ง	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	1,000	2,100	1998
บจ. บี.เอส.เอ. โปรดัก*	สมุทรสาคร	ทำปลา	สร้างกรด + ยูเอเอสบี	250	600	1999
บจ. ซี.วาย. อาหารแช่แข็ง	สมุทรสาคร	กุ้งแช่แข็ง	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	360	540	1999
บจ. อุตสาหกรรมฉลอง ลาเท็กซ์*	สงขลา	ลาเท็กซ์เข้มข้น	ซัลเฟตรีดักชัน+ ยูเอเอสบี	600	3,324	1999
ไทยกลูโคส	สมุทรสาคร	กลูโค (จากแป้งมันสำปะหลัง)	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	600	4,800	1999
ไทยยูเนี่ยนแมนูแฟคเจอริ่ง	สมุทรสาคร	ปลาทูนากระป๋อง	UAC	6,000	36,000	1999
บจ. ซี.พี. ค้าปลีกแอนด์มาร์เก็ตติ้ง*	กรุงเทพฯ	เบเกอรี่	สร้างกรด + ยูเอเอสบี	100	600	2000
บมจ. ไทยยูเนี่ยน ผลิตภัณฑ์แช่แข็ง*	สมุทรสาคร	กุ้งแช่แข็ง	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	1,000	1,500	2000
บจ. ทรอปิกคอลแคนนิ่ง*	สงขลา	อาหารบรรจุกระป๋อง	สร้างกรด + ยูเอเอสบี	2,400	18,000	2000
บจ. สยามชาติอาหารสากล *	ระนอง	Frozen and Surimi	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	2,400	3,000	2000
เจอเนอรอลฟู้ดสัตว์ปีก *	สมุทรปราการ	สัตว์ปีก	ไม่ใช้อากาศ(ยูเอเอสบี)	5,000	6,000	2000

ที่มา : เพิ่มเติมจากข้อมูลในวารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ปีที่ 15, เล่มที่ 2 (2001)



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบยูเอเอสบี

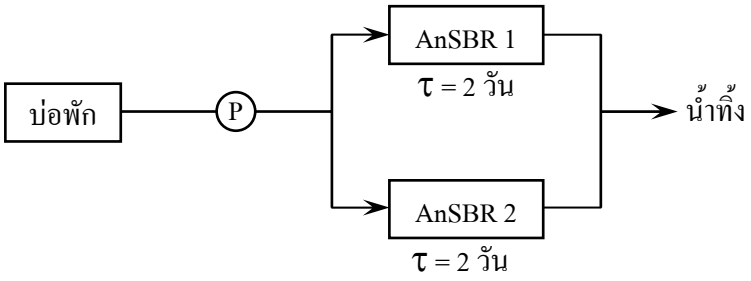
ข้อดีของระบบ UASB ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

- ใช้พื้นที่น้อยมาก
- ไม่ต้องมีลานตากสลัดจ์หรือระบบ Dewatering อื่นๆ
- ใช้พลังงานน้อยมาก
- ได้กาซชีวภาพ
- ควบคุมง่าย
- รับความแปรปรวนของน้ำเสียได้ 300% ของอัตราไหลเฉลี่ย

3.3.4 AnSBR หรือ Anaerobic Sequencing Batch Reactor

ระบบ AnSBR ที่ใช้มีลักษณะเดียวกับระบบยูเอเอสบีหรือถังหมักไม่ใช้อากาศที่เปิดฝา ไม่มีการกวนน้ำและมีการเติมน้ำเสียเป็นแบบเท (Batch) การย่อยสลายตัวของซีโอดีทำให้มีกาซเกิดขึ้นจนทำให้ชั้นสลัดจ์ฟุ้งทั้งถังคล้ายกับมีการกวนน้ำด้วยใบพัดกวน เมื่อซีโอดีลดลงปริมาณกาซก็ลดลง (จะเห็นได้จากการลดลงของการฟุ้งของชั้นสลัดจ์) ทำให้มีการตกตะกอนของชั้นสลัดจ์เกิดขึ้น ทำให้สามารถแยกชั้นน้ำใสที่อยู่ตอนบนออกทิ้งได้ การออกแบบอาจให้รอบการทำงานของแต่ละถังเป็นเวลา 1 วัน (ครบ 24 ชั่วโมง ซึ่งชั้นสลัดจ์ในถังหมักก็ไม่มีการฟุ้งแล้ว) ตัวอย่างเช่น ให้ถัง AnSBR มีเวลากักน้ำ 2 วัน (เท่ากับปริมาตร 50% ของปริมาณน้ำเสียที่เกิดในหนึ่งวัน) และใช้เชื้อแบคทีเรียประมาณ 25% ของความจุถัง ดูรูปที่ 3.5

แม้ว่าระบบนี้ต้องการเวลากักน้ำ 2 วัน ทำให้ Organic Loading เท่ากับประมาณ 5-6 กก./ลบ.ม.-วัน แต่ก็เป็น Loading ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่ย่อยยากดังเช่นในกรณีของน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอ



รูปที่ 3.5 การบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอด้วยระบบ AnSBR

ข้อดีของระบบ AnSBR มีหลายประการดังเช่น

- ไม่ต้องการ Seed ที่เป็นเม็ด และไม่ต้องเลี้ยงเชื้อให้เป็นเม็ดเหมือนระบบ UASB
- ใช้ได้กับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอย
- ใช้ได้ง่ายมากและออกแบบง่าย ผู้ที่มีความรู้น้อยก็ใช้ได้

ระบบ AnSBR มีลักษณะคล้ายบ่อหมักไม่ใช้อากาศ แต่เป็นบ่อหมักขนาดเล็กที่มีการเลี้ยงสลัดจ์เข้มข้นสูงมาก บ่อหมักธรรมดาจะมีเชื้อเข้มข้นต่ำการที่เลี้ยงเชื้อเข้มข้นมากต้องเริ่มต้นด้วยการเติมเชื้อ Seed มาก ถัง 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 กาซชีวภาพจะหมดและมีการตกตะกอนของสลัดจ์ น้ำใสจะถูกระบายออกทิ้งภายในเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะรับน้ำเสียในวันต่อไป

ถ้าต้องการให้มีการนำกาซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ ต้องสร้างฝาปิดถัง AnSBR ในกรณีนี้ถัง AnSBR จะคล้ายกับถังหมักไม่ใช้อากาศที่ใช้บำบัดสลัดจ์ (Anaerobic Digestor) กาซที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีการย่อยสลายซีโอดีจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ เมื่อใกล้ 24 ชั่วโมงกาซจะหมดจึงถึงเวลาระบายน้ำทิ้งออก ช่วงนี้สามารถเปิดท่อระบายอากาศเพื่อให้ทิ้งน้ำใสได้ง่าย การทำงานของระบบ AnSBR ที่ต้องการกาซชีวภาพจะคล้ายกับบ่อหมักไม่ใช้อากาศที่มีการปิดฝาหรือคล้ายกับถังหมักไม่ใช้อากาศแบบธรรมดาที่ใช้บำบัดสลัดจ์ แต่ถัง AnSBR เป็นถังหมักที่มีเวลากักน้ำเสียเพียง 2 วัน (ถังหมักธรรมดามีเวลากักน้ำประมาณ 10–30 วัน)

3.3.5 ประยุกต์การหยุดเติมอากาศให้ กับระบบเติมอากาศปัจจุบัน

ปัจจุบันนี้ มีการใช้ระบบใช้อากาศ เช่น ระบบเอเอส ในการบำบัดน้ำเสียอยู่ทั่วไปสำหรับโรงงานฟอกย้อม ระบบเอเอสจำนวนไม่น้อยที่ถูกสร้างขึ้นมาให้ใช้บำบัดน้ำเสียเข้มข้นต่ำรวมทั้งน้ำเสียของโรงงานย้อมต่างๆ ทำให้ต้องเสียค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องเติมอากาศสูง

กว่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการเติมอากาศเป็นไปเพื่อการกวนผสมในถังเติมอากาศ แต่ปริมาณออกซิเจนที่ได้เกินความต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานฟอกย้อมด้ายและผ้าถัก กรณีตัวอย่างข้างต้นมีให้เห็นได้ทั่วไป ไม่เฉพาะในอุตสาหกรรมฟอกย้อมเช่น

- ระบบเอเอสที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนของกรมควบคุมมลพิษจำนวนมาก
- ระบบเอเอสที่ใช้บำบัดน้ำเสียสำนักงานต่างๆ เช่น สำนักงานเขตการไฟฟ้านครหลวง
- ระบบเอเอสที่ใช้บำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลของรัฐ

ตารางที่ 3.3 เป็นลักษณะเฉลี่ยของน้ำเสียของโรงพยาบาล น้ำเสียฟอกย้อมด้าย และน้ำเสียสำนักงานตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำเสียดังกล่าวมีค่าบีโอดีและซีโอดีต่ำ จากการคำนวณพบว่า ถ้าเวลากักน้ำของถังเติมอากาศเท่ากับ 1 วัน น้ำเสียที่มี BOD ต่ำกว่า 400 มก./ล. ล้วนแต่เติมออกซิเจนหรืออากาศเกินกว่าความจำเป็นในการย่อยสลายบีโอดี ปริมาณการเติมอากาศที่มากเกินไป เป็นเพราะต้องใช้อากาศในการกวนน้ำให้เกิดการแขวนลอยของ MLSS นั่นเอง

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นบีโอดีและซีโอดีของแหล่งน้ำเสียต่างๆ และเวลาเปิดเครื่องเติมอากาศที่ต้องการ

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

* ใช้สำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์,กำหนดให้เวลากักน้ำของถังเติมอากาศ 24 ชม.

ในตารางที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าทุกระบบอาจปิดเครื่องเติมอากาศได้นานเท่ากับ 17.7, 16.7, 17.3, 19.8 และ 20.7 ชม./วัน ตามลำดับเท่ากับประหยัดพลังงานได้ 74, 70, 72, 82 และ 90% ตามลำดับ

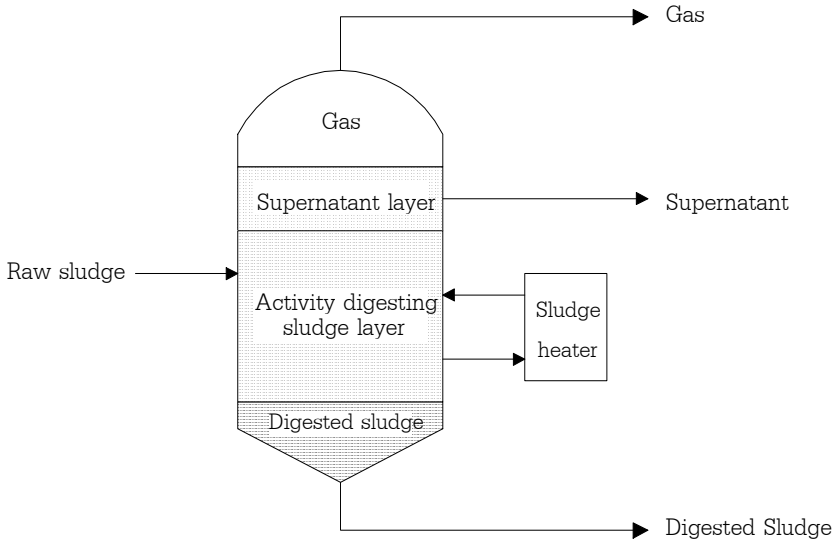
บริษัทวิศวกรที่ปรึกษากำลังนำเทคโนโลยีตัวนี้ไปใช้กับโรงงานฟอกย้อมขนาดใหญ่ รวมทั้งทดลองใช้กับน้ำทิ้งจากอาคารของบริษัทฯ ที่มีพนักงานประมาณ 25 คน โดยบำบัดด้วยระบบ *SBR แบบกึ่งแอโรบิก* ปรากฏว่าได้ผลดี และสามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียความเข้มข้น 400 มก./ล. ให้เหลือประมาณ 100 มก./ล. โดยการเติมอากาศ 12 ชั่วโมง/วัน วิธีที่ใช้นี้ทำให้บริษัทวิศวกรที่ปรึกษาเสียเงินเพียงประมาณ 8,000 บาท (ไม่รวมค่าบ่อเกรอะบ่อซึม) ในการติดตั้งระบบบำบัดน้ำส้วมขนาดประมาณ 500 ลิตร/วัน สำหรับใช้กับพนักงาน 25 คน และเสียค่าไฟฟ้าประมาณวันละ 8 บาท

ในกรณีที่เป็นระบบเอเอสที่สร้างใหม่ ควรออกแบบเป็น SBR ที่มี 2 ไซเคิล ทำให้สามารถลดเวลากักน้ำรวมของถังเติมอากาศเหลือ 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงออกแบบวิธีควบคุมระบบให้เป็นแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศสลับกันไม่จำเป็นต้องมีการกวนน้ำในช่วงเดินระบบแบบไม่ใช้อากาศ ถ้าใช้บำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำดังเช่นน้ำเสียจากอาคารหรือน้ำเสียชุมชน ช่วงเติมอากาศใช้เวลาเพียง 8 – 12 ชั่วโมง/วัน หรือน้อยกว่า

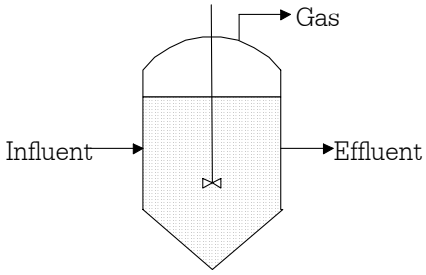
3.3.6 ถังย่อยสลัดจ์ (บำบัดสลัดจ์)

ระบบแบบนี้ใช้ในการบำบัดสลัดจ์ซึ่งเป็นตะกอนอินทรีย์ ส่วนประกอบหลักของระบบนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.6 และ 3.7 รูปที่ 3.6 เป็นถังย่อยที่ไม่มีการกวนตะกอนและไม่ปรับอุณหภูมิให้กับสลัดจ์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังจึงช้าและไม่ทั่วถึง ถังย่อยแบบนี้จึงเรียกว่าถังย่อยแบบอัตราต่ำ (Low Rate Digester) รูปที่ 3.7 เป็นถังย่อยแบบที่มีการกวนและมีการปรับอุณหภูมิด้วย ปฏิกิริยาการกำจัดสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นได้ดีกว่าแบบแรก ถังย่อยแบบนี้จึงเรียกว่าถังย่อยแบบอัตราสูง (High Rate Digester) รูปที่ 3.8 เป็นถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีถัง 2 ชุด ในภาพแสดงให้เห็นถึงการแยกตะกอนสลัดจ์ออกจากถังย่อยสลัดจ์ชุดที่ 2

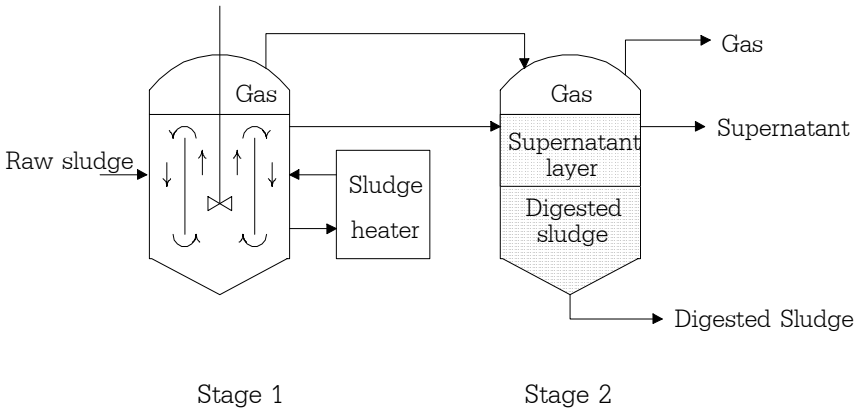
ซึ่งทำให้สามารถได้สลัดจ์ย่อยแล้วที่มีความเข้มข้นสูงและปล่อยน้ำทิ้งที่มีตะกอนแขวนลอยต่ำ (สกปรกน้อย)



รูปที่ 3.6 ถังย่อยชนิดอัตราต่ำ



รูปที่ 3.7 ถังย่อยแบบอัตราสูง



รูปที่ 3.8 ถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน

บทที่ 4
การออกแบบระบบไม่ใช้อากาศ

4.1 เกณฑ์ทั่วไปสำหรับออกแบบเบื้องต้นของระบบบำบัดไม่ใช้อากาศ

โดยหลักการแล้ว เกณฑ์ที่จะนำมาใช้ในการออกแบบควรจะได้จากการทดลองบำบัดน้ำเสียด้วย Pilot Plant แต่ในทางปฏิบัติ น้ำเสียส่วนใหญ่มีสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำก็อาจใช้ข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.1 เพื่อการคำนวณออกแบบเบื้องต้น

ตารางที่ 4.1 เกณฑ์ทั่วไปสำหรับคำนวณสำหรับระบบไม่ใช้อากาศ

ข้อมูล	ค่าทั่วไป
ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (%)	50 – 80
อัตราการเกิดกาซชีวภาพ	0.50 ลบ.ม. / กก. COD ที่ถูกกำจัด
อัตราการเกิดกาซมีเทน	0.35 ลบ.ม. / กก. COD ที่ถูกกำจัด
อัตราการเกิดสลัดจ์ที่ต้องกำจัด	0.05 – 0.10 กก. VSS / กก. COD ที่ถูกกำจัด

4.2 การออกแบบถังหมักไม่ใช้อากาศ

ในอดีตที่ผ่านมา ผู้ออกแบบไทยไม่นิยมย่อยสลัดจ์ด้วยถังหมักไม่ใช้อากาศเนื่องจากเกรงว่าถังหมักจะไม่สามารถบำบัดสลัดจ์ได้ ความคิดดังกล่าวเป็นความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนจากข้อเท็จจริง แท้ที่จริงแล้วอุณหภูมิที่สูงตลอดปีทำให้การย่อยสลัดจ์ชีวภาพเกิดขึ้นได้ดี นอกจากนี้ตัวสลัดจ์เองก็เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยได้โดยไม่ยาก ดังนั้น ถังหมักไม่ใช้อากาศสามารถบำบัดสลัดจ์ได้อย่างแน่นอน ถ้าใช้ถังหมักอย่างถูกวิธี (เช่น มีการเติม Seed) การย่อยสลัดจ์ก็เกิดได้เร็ว และสามารถใช้ได้ตลอดไป

4.2.1 เวลากักน้ำ

การออกแบบถังหมักไม่ใช้อากาศมีหลายวิธี แต่วิธีที่สะดวกและสามารถใช้ได้ดีคือ ใช้เวลากักน้ำของถังหมักเป็นเกณฑ์ออกแบบ ตารางที่ 4.2 เป็น เกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ออกแบบถังหมัก

สลัดจ์ไม่ใช้อากาศ ในทางปฏิบัติสำหรับประเทศในเมืองร้อน เวลากักน้ำของถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศควรเป็นดังนี้

ถังหมักไม่ใช้อากาศแบบอัตราปกติ	เวลากักน้ำประมาณ	30	วัน
ถังหมักไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูง	เวลากักน้ำประมาณ	10	วัน

ขนาดของถังหมักไม่ใช้อากาศจึงขึ้นอยู่กับปริมาตรของสลัดจ์ดิบที่ต้องการบำบัด ในทางปฏิบัติ จึงควรทำให้สลัดจ์ดิบมีปริมาตรน้อยที่สุด โดยทำให้สลัดจ์มีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 1% มีผลทำให้สามารถลดขนาดของถังหมักซึ่งเป็นการประหยัดค่าก่อสร้าง

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การออกแบบถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

1. เวลากักน้ำทั้งหมด	30	วัน
ถังที่ 1	15	วัน
ถังที่ 2 (แยกสลัดจ์)	15	วัน
2. ประสิทธิภาพในการกำจัด TVS	50%	
3. อัตราผลิตกาซ	0.8 - 1.0	ลบ.ม./กก. ΔVS
4. ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ย่อยแล้ว	2.5 - 3	% (DS)
5. การกวน	ใช้เครื่องกวนหรือกาซชีวภาพที่ได้	
6. ระยะเวลากวน	ประมาณ 8	ชม./วัน
6. พลังงานกลที่ใช้กวน	6-8	วัตต์/ลบ.ม.

4.2.2 สมรรถนะของถังหมักไม่ใช้อากาศ

ในการออกแบบถังหมักไม่ใช้อากาศ อาจกำหนดให้ถังหมักมีสมรรถนะ ดังนี้

- ความสามารถในการทำลายของแข็งระเหย (Volatile Solids) 50%
- ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ย่อยแล้ว 2-3% นน.แห้ง
- ปริมาณกาซชีวภาพที่ได้(ลบ.ม.) ต่อกก.ของของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด (ΔVS)

  0.8-1.0 ลบ.ม./กก. ΔVS

4.2.3 การกวนสลัดจ์

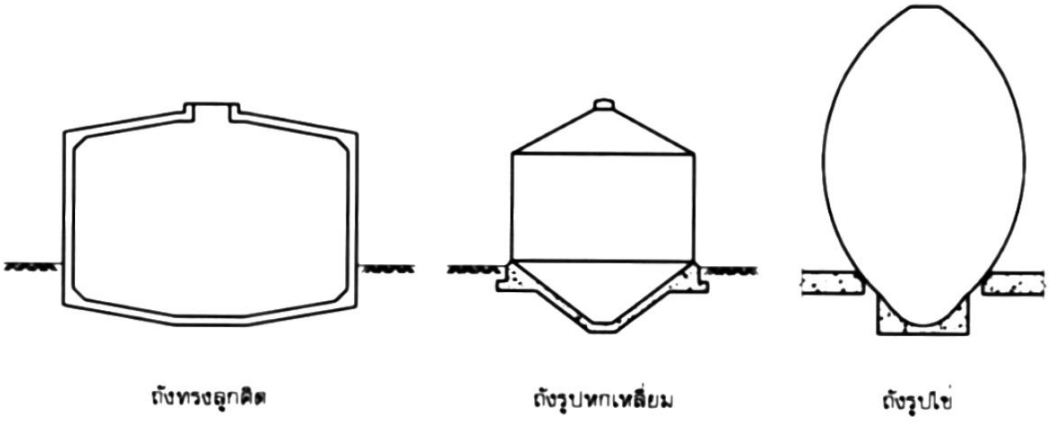
ในกรณีของถังหมักไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงที่ใช้บำบัดสลัดจ์อินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองหรือสลัดจ์ที่ย่อยได้ง่ายอื่น กาซชีวภาพที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการกวนภายในถังได้ ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์กวนให้กับถังหมัก แต่ถ้าเป็นสลัดจ์ของแข็งที่ย่อยยากหรือมีไขมันเป็นส่วนประกอบสำคัญ การผสมระหว่างแบคทีเรียและสลัดจ์อย่างทั่วถึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์กวนให้กับถังหมัก มิฉนั้น ไขมันหรือของแข็งอาจจับตัวกับสลัดจ์จุลินทรีย์จนการย่อยสลายไม่เกิดขึ้น

การกวนสลัดจ์ไม่จำเป็นต้องกระทำอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ผู้ออกแบบอาจกำหนดให้มีการเปิดเครื่องกวนประมาณ 8 ชม./วัน ก็น่าจะพอเพียง พลังงานที่ใช้ในการกวนประมาณ 6-8 วัตต์/ ลบ.ม.ของถัง

4.2.4 รูปร่างของถังหมัก

ถังหมักไม่ใช้อากาศมีรูปร่าง 3 แบบ (ดูรูปที่ 4.1) คือ

- รูปทรงกระบอก
- รูปแปดเหลี่ยม
- รูปไข่



รูปที่ 4.1 รูปร่างของถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศ 3 แบบ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

ถังหมักรูปไข่เป็นแบบที่นิยมในประเทศที่มีเทคโนโลยีสูงและมีฐานะทางเศรษฐกิจดี เช่น สหรัฐอเมริกา, ยุโรป, ญี่ปุ่น ฯลฯ เพราะรูปร่างสวย, ประสิทธิภาพในการกวนสูง และไม่เปลืองพลังงานในการให้ความอบอุ่นแก่ถังหมัก

4.2.5 ตัวอย่างออกแบบถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศ

กำหนดให้

ปริมาณสลัดจ์ดิบ	62.4	ลบ.ม./วัน
ความเข้มข้นของสลัดจ์ดิบ	2.5	% DS
TVS ของสลัดจ์ดิบ	70	%

จงออกแบบถังย่อยสลัดจ์

<u>วิธีทำ</u> ปริมาณของสลัดจ์ดิบ = 62.4 x 2.5 x 10

= 1,560 กก.DS/วัน

= 1,560 x 0.7

= 1,092 กก.TVS/วัน

เลือกเวลากักน้ำ = 30 วัน

ดังนั้นปริมาตรของถังย่อย = 30 x 62.4

= 1,872 ลบ.ม.

เลือกใช้ถังกลม 2 ถัง @ 15 วัน

ขนาดของถังแต่ละใบ = Dia. 14 ม. x สูง 7 ม.

ตรวจสอบเวลากักน้ำ = $(2 \times 14^2 \times 0.785 \times 7) / 62.4$

= 34.5 วัน

สมมติ Solid Recovery Ratio = 0.9

และ % กำจัด TVS = 50%

ดังนั้น TVS ที่ถูกกำจัด = 0.5 x 1,092 x 0.9

= 491.4 กก.TVS/วัน

และ TDS ที่เหลือในสลัดจ์ที่ย่อยแล้ว	=	(0.9 x 1,560) - 4,914	
	=	913	กก.DS/วัน
สมมติให้ความเข้มข้นของสลัดจ์ย่อยแล้ว	=	3%	
ดังนั้น ปริมาตรของสลัดจ์ย่อยแล้ว	=	913 / 3 x 10	
	=	30.4	ลบ.ม./วัน
ปริมาตรของ Supernatant	=	62.4 - 30.4	
	=	32.0	ลบ.ม./วัน
DS ใน Supernatant	=	0.1 x 1,560	
	=	156	กก.DS/วัน
ความเข้มข้นของ Supernatant	=	156 / 32	
	=	4.875	กก./ลบ.ม.
	=	4,875	มก./ล.

4.2.6 ตัวอย่างข้อมูลการทำงานถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศ

ตารางที่ 4.3 และ 4.4 เป็นตัวอย่างข้อมูลถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศที่สร้างในยุโรปและสหรัฐอเมริกาตามลำดับ ถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศของอเมริกาสร้างเป็นรูปไข่ดังแสดงในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างข้อมูลการทำงานของถังบำบัดสลัดจ์ไม่ใช้อากาศ (Killilea, 2000)

	Tullamore	**Plant 1**
จำนวนถังหมัก (ถัง)	1	1
ปริมาตรของถังหมัก ($ม^3$)	330	570
ประชากร (คน)	16,000	11,000
อัตราป้อนสลัดจ์ ($ม^3$/วัน)	17	18
ปริมาตรกาซชีวภาพ ($ม^3$/วัน)		
จากคำนวณ	408	606
ได้จากระบบจริง	400 - 600	400
ถังพักกาซ ($ม^3$)	1x10 $ม^3$	1x16.44 $ม^3$
พีเอชใช้งาน	6.8 - 7.3	6.8 – 7.2
อุณหภูมิใช้งาน ($^oซ$)	34 - 38	34 – 36
Solids in, %DS	3.5 - 4%	5%
Solids out, %DS	1.5 - 2.5%	2.8%
การใช้กาซชีวภาพ	อุ่นถัง AD กวนถัง AD ให้ความร้อนอาคาร ผลิตไฟฟ้า	อุ่นถัง AD กวนถัง AD ให้ความร้อนอาคาร
การควบคุมพีเอช (เมื่อพีเอชลดต่ำ)	เติมปูนขาวที่ถังทำข้น	เติมโซดาไฟที่เครื่องสูบสลัดจ์หมุนเวียน
ระบบ Heating	12. @ Internal Heat Exchange	1 @ external Heat Exchange
จำนวนหม้อน้ำ	รวม 2 ถัง 1 - Propane 1 - Methane	1 ถัง , dual fired
CHP Unit	2 @ Gas Engine 1 Duty + 1 Standby	1 @ Gas Engine
การกวน	ใช้กาซชีวภาพ	ใช้กาซชีวภาพ
วัสดุสร้างถังหมัก	ถังเหล็กปรุแก้ว	ถังเหล็กปรุแก้ว
ฉนวน	Panel Insulation Bolted on to Outside	Rockwool 200mm

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างข้อมูลการทำงานของถังบำบัดสลัดจ์ไม่ใช้อากาศ (Killilea, 2000) **(ต่อ)**

	Plant 2	**Plant 3**
จำนวนถังหมัก (ถัง)	2	2
ปริมาตรของถังหมัก ($ม^3$)	400 /ถัง	800 /ถัง
ประชากร (คน)	32,000	60,000
อัตราป้อนสลัดจ์ ($ม^3$/วัน)	20 – 21	ถังA =12 และถังB = 40
ปริมาตรกาซชีวภาพ ($ม^3$/วัน)		
จากคำนวณ	622 – 809	1,162
ได้จากระบบจริง	360 – 477 (ถัง 1)	910 (ถัง B)
ถังพักกาซ ($ม^3$)	2 x 15 each	1 x 251.2
พีเอชใช้งาน	6.95 – 7.1	7.0 – 7.3
อุณหภูมิใช้งาน ($^oซ$)	34 – 36	35.1
Solids in, %DS	5 – 6%	4 – 5%
Solids out, %DS	3.8%	2.5 – 3%
การใช้กาซชีวภาพ	อุ่นถัง AD กวนถัง AD	อุ่นถัง AD กวนถัง AD ผลิตไฟฟ้า
การควบคุมพีเอช (เมื่อพีเอชลดต่ำ)	เติมโซดาไฟที่เครื่องสูบสลัดจ์หมุนเวียน	ลดอัตราป้อนน้ำเสียและเติมปูนขาวที่ถังผสม
ระบบ Heating	2 @1 external Heat Exchange	2 @1 external Heat Exchange
จำนวนหม้อน้ำ	2 ถัง Both dual fired	2 ถัง Both dual fired
CHP Unit	1 @ Gas Engine	2 @ Gas Engine
การกวน	ใช้กาซชีวภาพ	ใช้กาซชีวภาพ
วัสดุสร้างถังหมัก	ถังเหล็กปรุแก้ว	ถังคสล.
ฉนวน	โพลียูรีเทน 50มม.	Mineral and fibre 100mm

ตารางที่ 4.4 Digester Design Parameter, Back River WWTP, Baltimore, Md.

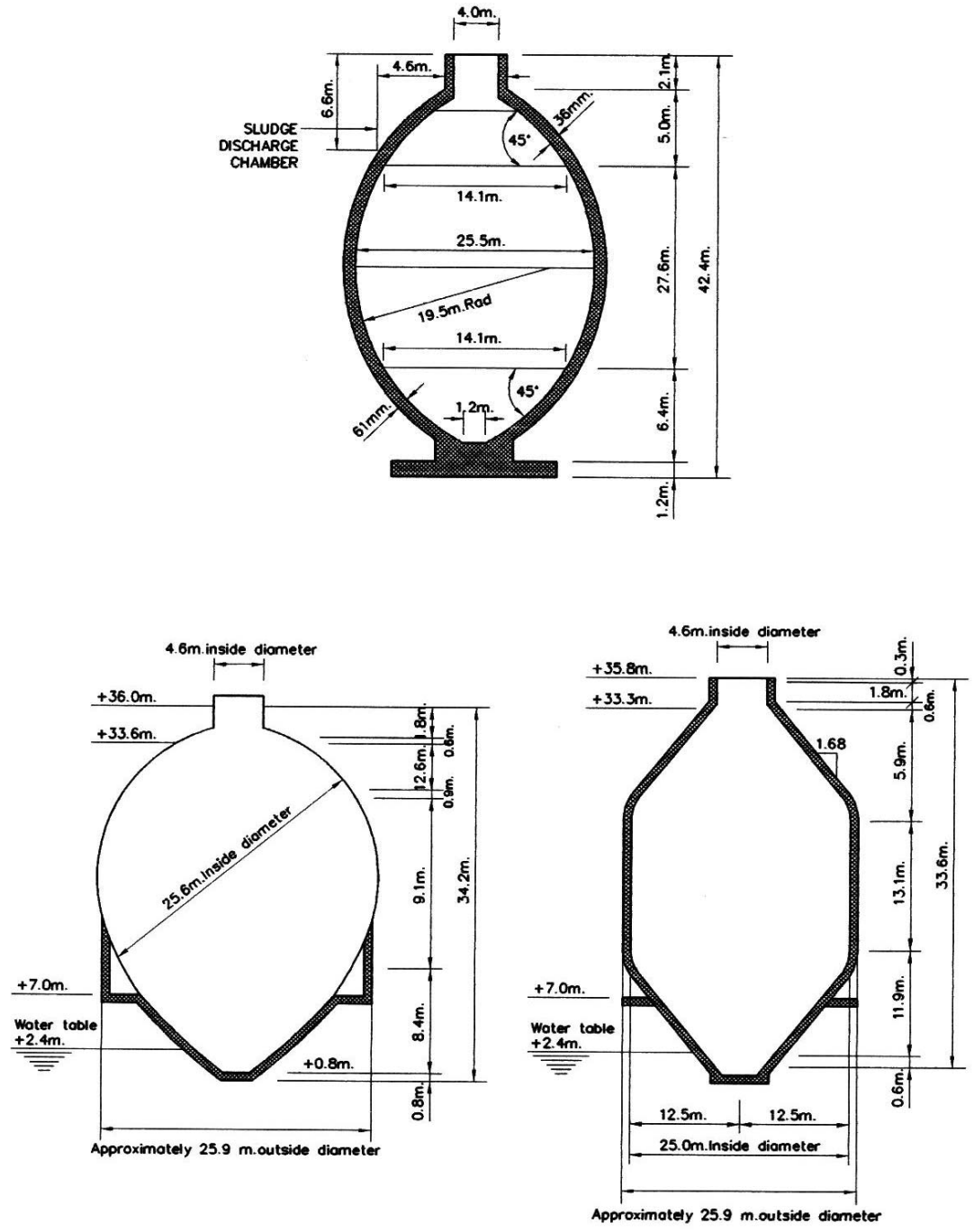
• รูปร่างของถังหมัก	รูปไข่
• จำนวนของถังหมัก	2
• ปริมาตร	11,355 ลบ.ม/ถัง
• ความสูง	42.4 ม.
• เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุด	26.0 ม.
• อัตราภาระ VSS	2.77-2.84 กก./ลบ.ม-วัน
• อายุสลัดจ์	11.1-16.7 วัน
• ระบบการกวนขั้นต้น-mechanical draft tube	
มอเตอร์	44.7 กิโลวัตต์
เส้นผ่าศูนย์กลาง Draft-Tube	0.9 ม.
อัตราสูบ	1.31 ลบ.ม/วินาที
อัตราหมุนครบรอบ(Turnover Rate)	10/วัน
ระดับพลังงานที่ใช้	0.0035 กิโลวัตต์/ลบ.ม
• ระบบกวนขั้นสอง-unconfined gas	
จำนวนเครื่องอัดลมที่ใช้งาน	2
มอเตอร์	76.8 กิโลวัตต์
ระดับพลังงานที่ใช้	0.0055 กิโลวัตต์/ลบ.ม
• **การหมุนเวียนสลัดจ์**	
วัตถุประสงค์	ให้ความร้อนแก่สลัดจ์
จำนวนเครื่องสูบต่อถัง	2 ชุด@ 29.8 กิโลวัตต์
ขนาดเครื่องสูบ	0.048 ลบ.ม/วินาที
อัตราหมุนครบรอบ(Turnover Rate)	0.7/วัน
ระดับพลังงานที่ใช้	0.0047 กิโลวัตต์/ลบ.ม
การทำงาน	ต่อเนื่อง

ที่มา : Stukenberg, J.R et al, 1992

ตารางที่ 4.4 Primary Digester Design Parameter, Deer Island WWTP, Boston, Mass. (ต่อ)

• รูปร่างของถังหมัก	รูปไข่
• จำนวนของถังหมัก	14
• ปริมาตร	11,355 ลบ.ม/ถัง
• ความสูง (ภายใน)	41.5 ม.
• เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุด (ภายใน)	25.9 ม.
• อัตราภาระ VSS	1.41-2.19 กก./ลบ.ม-วัน
• อายุสลัดจ์	17-26 วัน
• ระบบการกวนขั้นต้น	
ระบบกวน	เครื่องกลที่มีท่อดูด (draft tube)
มอเตอร์	37.3 กิโลวัตต์
เส้นผ่าศูนย์กลาง Draft-Tube	0.70 ม.
อัตราสูบ	1 ลบ.ม/วินาที
อัตราหมุนครบรอบ(Turnover Rate)	7.6/วัน
ระดับพลังงานที่ใช้	0.003 กิโลวัตต์/ลบ.ม
• ระบบกวนขั้นสอง	
ระบบกวน	ใช้กาซที่ผลิตได้
วัตถุประสงค์	ให้ความร้อนแก่สลัดจ์ และระบบกวนฉุกเฉิน
Heat Exchanger Flow	0.045 ลบ.ม/วินาที
Injection Ports	6, 9 ม. จากก้นถัง
Additional Mixing Flow	0.064 ลบ.ม/วินาที
ขนาดเครื่องสูบสูงสุด	0.109 ลบ.ม/วินาที
อัตราหมุนครบรอบสูงสุด (Turnover Rate)	0.8/วัน

ที่มา : Stukenberg, J.R et al, 1992



รูปที่ 4.2 ถังหมักสลัดจ์ไม่ใช้อากาศของอเมริกาสร้างเป็นรูปไข่ (Stukenberg, J.R et al, 1992)

4.3 การออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ

การออกแบบบ่อบำบัดน้ำเสียมีหลายวิธี ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับประสบการณ์ที่ได้จากการควบคุมหรือเป็นแนวความคิดที่ได้จากทฤษฎี ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีออกแบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป แม้ว่าดูผิวเผินแล้ว ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย ดูจะเป็นของง่าย แต่ที่แท้จริงแล้ว ระบบนิเวศน์ของบ่อแบบนี้มีความสลับซับซ้อนและพิสดารยิ่งกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบใดๆ นี่อาจเป็นเหตุผลที่ทำให้ผู้ออกแบบยังไม่มีวิธีออกแบบที่เหมาะสม พารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบบ่อบำบัดน้ำเสียมี 2 ตัว คือ อัตราภาระอินทรีย์ (L_o) และเวลากักน้ำ อัตราภาระอินทรีย์ มี 2 แบบคือ เชิงปริมาตร (Volumetric Organic Loading) หรือเชิงพื้นที่ (Areal Organic Loading) แบบแรกมักใช้ออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ ส่วนแบบที่สอง ใช้ออกแบบบ่อออกซิเดชันซึ่งต้องคำนวณพื้นที่ผิวน้ำเพราะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอน

ในการออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ อัตราภาระซีโอดีเชิงปริมาตร(L_o) มีความสัมพันธ์กับค่าซีโอดี, ความจุของบ่อ และอัตราไหลเข้าบ่อดังนี้

$$L_o = S_0F/1000V \qquad (4.1)$$

โดยมี S_0 = ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสีย, มก/ล

F = อัตราไหลเข้าบ่อของน้ำเสีย, ลบ.ม./วัน

V = ความจุน้ำของบ่อ, ลบ.ม.

L_o = อัตราภาระซีโอดีเชิงปริมาตร, กก./ลบ.ม.-วัน

ถ้าให้ τ = เวลากักน้ำของบ่อ, วัน

$$V = \tau F \qquad (4.2)$$

จะได้ $$L_o = S_0/1000\tau \qquad (4.3)$$

เนื่องจากยังมีการใช้อัตราภาระอินทรีย์ แบบพื้นที่(L_a)ในการออกแบบและควบคุมบ่อหมักไม่ใช้อากาศ จึงจำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระอินทรีย์เชิงพื้นที่(L_a)และอัตราภาระอินทรีย์เชิงปริมาตร (L_o) ซึ่งมีดังนี้

จากสมการ	L_o	=	$S_0F/1000V$	
	V	=	A x D	
โดยที่	A ,D	=	พื้นที่(ตร.ม)และความลึก(ม.)ของน้ำในบ่อตามลำดับ	
จะได้	L_o	=	$S_0F/(1000$ A x D)	
เนื่องจาก	L_a	=	$S_0F/(1000$ A)	
ดังนั้น	L_o	=	L_a / D	(4.4)

4.3.1 อัตราภาระซีโอดี (COD Loading Rate)

ในปัจจุบัน การออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศยังอาศัยพารามิเตอร์ออกแบบที่เรียกว่าอัตราภาระซีโอดี (COD Loading Rate) พารามิเตอร์ตัวนี้ใช้กันมานานแล้ว และยังคงใช้ได้ในปัจจุบัน

เกณฑ์ของบ่อหมักสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนมีการศึกษาและวิเคราะห์กันไว้มากพอสมควร ตารางที่ 4.5 เป็นเกณฑ์ออกแบบของบ่อหมักไม่ใช้อากาศสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.5 เกณฑ์ออก<u>แบบ</u>ของบ่อหมักไม่ใช้อากาศสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชน (Mara, 1997)

อุณหภูมิ (°ซ)	อัตราภาระบีโอดี (กรัม/ลบ.ม.-วัน)	% กำจัดบีโอดี
10	100	40
15	200	50
20	300	60
25	350	70
>25	350	70

สำหรับเกณฑ์ออกแบบบ่อหมักที่ใช้บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยังไม่มีความชัดเจนเหมือนของน้ำเสียชุมชน ดังนั้น การออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศสำหรับบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมจึงใช้เกณฑ์กำหนดเหมือนกับของน้ำเสียชุมชน แต่ใช้อัตราภาระซีโอดีแทนอัตราภาระบีโอดี ตารางที่ 4.6 เป็นสรุปอัตราภาระซีโอดีสำหรับออกแบบน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 10 °ซ - 25°ซ หรือมากกว่า โดยสมมติให้ COD = 1.5BOD

การออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศสำหรับประเทศไทย ผู้เขียนแนะนำให้ใช้อัตราภาระอินทรีย์แบบปริมาตรไม่เกิน 0.5 กก./ลบ.ม.-วัน ถ้าใช้ตัวเลขสูงกว่านี้จะมีความยากลำบากในการเลี้ยงให้มีปริมาณแบคทีเรียสร้างมีเทนพอเพียง แต่ภายใต้สภาวะที่มีอัตราภาระอินทรีย์สูงๆ แบคทีเรียสร้างกรดยังสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่า ทำให้อัตราการผลิตกรดอินทรีย์ระเหย(VFA) สูงกว่าอัตราการใช้กรดของแบคทีเรียสร้างมีเทน มีผลทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยและทำให้บ่อหมักมีพีเอชต่ำ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะมีค่าลดต่ำลงมาก นอกจากนี้พีเอชต่ำมักทำให้เกิดกลิ่นเหม็นอีกด้วย

ตารางที่ 4.6 อัตราภาระซีโอดีที่ใช้ออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ

อุณหภูมิ (°ซ)	อัตราภาระซีโอดี (กรัม/ลบ.ม.-วัน)
10	150
15	300
20	450
25	525
>25	525

4.3.2 เวลากักน้ำ (τ)

เวลากักน้ำ (τ) คำนวณได้จาก ปริมาตรของบ่อ (V) และอัตราไหลของน้ำเสีย (F)

$$\tau = V/F$$

บ่อหมักไม่ใช้อากาศ ควรมีเวลากักน้ำไม่น้อยกว่า 3 วันสำหรับการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

4.3.3 ประสิทธิภาพของบ่อหมักไม่ใช้อากาศ

สมรรถนะของบ่อหมักไม่ใช้อากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ บ่อหมักที่สร้างในประเทศร้อนจะมีความสามารถในการกำจัดบีโอดีได้ดีมาก โดยทั่วไปประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีของบ่อหมักมักสูงถึง 70-80% ได้โดยไม่ยาก (ตามความหมายของบีโอดีแล้ว ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD น่าจะได้ถึง 90% หรือมากกว่า แต่เนื่องจากน้ำทิ้งมักมีตะกอนอินทรีย์ จึงทำให้ % กำจัดบีโอดีได้เพียง 70-80%)

แต่ % กำจัดซีโอดีมักไม่สูงเท่าของบีโอดี เนื่องจากซีโอดีบางส่วนไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ อาจกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม น้ำเสียของอุตสาหกรรมอาหาร, เกษตรหรือชุมชน เป็นน้ำเสียที่ย่อยได้ง่าย

ทำให้ประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีอาจสูงถึง 70-80% ในขณะที่บ่อหมักไม่ใช้อากาศของอุตสาหกรรมฟอกย้อมหรือกระดาษและเยื่อกระดาษอาจมี % กำจัดซีโอดีสูงเพียง 50-60% เท่านั้น

ตารางที่ 4.7 เป็นตัวอย่างข้อมูลของบ่อหมักที่ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานประเภทต่างๆ

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการทำงานของบ่อหมักไม่ใช้อากาศ

ประเภทอุตสาหกรรม	พื้นที่ (ไร่)	ความลึก (เมตร)	เวลากักน้ำ (วัน)	อัตราภาระซีโอดี		%กำจัดบีโอดี
				L_a (กรัม/ม^2-วัน)	L_o (กก./ม^3-วัน)	
อาหารกระป๋อง	38.8	1.8	15	47	0.026	51
เนื้อและสัตว์ปีก	15.6	2.2	16	151	0.069	80
เคมีภัณฑ์	1.9	1.1	65	6.5	0.006	89
กระดาษ	1,096	1.8	18.4	42	0.023	50
สิ่งทอ	33.8	1.8	3.5	172	0.095	44
น้ำตาล	540	2.1	50	29	0.0014	61
เหล้าไวน์	56.9	1.2	245	-	-	-
Rendering	15.6	1.8	245	19	0.0011	37
ฟอกหนัง	40	1.3	6.2	360	0.28	68
มันฝรั่ง	154	1.2	3.9	-	-	-
ค่าเฉลี่ย				103		60

ที่มา: ดัดแปลงมาจากข้อมูลในหนังสือของ มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ , 2542

4.3.4 ความลึก

บ่อบำบัดน้ำเสียแบบนี้ควรมีความลึกประมาณ 3-4 เมตรหรือมากกว่า การที่ต้องมีความลึกมากเนื่องจากก้นบ่อเป็นที่สะสมสลัดจ์ด้วย ในปัจจุบันมีแนวโน้มว่า ผู้ออกแบบจะใช้บ่อที่ลึกมาก อัตราสะสมสลัดจ์อาจสมมติให้อยู่ในช่วง 15-30 ซม./ปี

4.3.5 พีเอช

บ่อหมักไม่ควรมีพีเอชต่ำกว่า 6 หรือ สูงกว่า 7.5

4.3.6 การกวนน้ำ

การกวนน้ำอาจเป็นผลเสียต่อความสามารถในด้านการตกตะกอนของบ่อหมัก แต่การกวนให้มีการผสมระหว่างแบคทีเรียและน้ำเสียช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของบ่อหมักได้

4.3.7 รูปร่างและท่อน้ำเข้าบ่อ

บ่อหมักควรเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการไหลลัดทางน้อยที่สุด วิธีการป้องกันการไหลลัดทางที่ดีที่สุด คือ ใช้บ่อหมักหลายๆบ่อต่อกันอย่างอนุกรม ควรออกแบบให้สามารถกระจายน้ำเสียไปทั่วก้นบ่อได้อย่างสม่ำเสมอ ด้วยเหตุนี้ น้ำเสียจึงควรเข้าที่จุดศูนย์กลางของบ่อหรือเข้าห่างจากขอบบ่อไม่ต่ำกว่า 6-7 เมตร ถ้าเป็นไปได้ท่อน้ำเข้าควรให้น้ำไหลเข้าใกล้ขอบบ่อ

4.3.8 การต่อบ่อบำบัดน้ำเสียหลายบ่อเข้าด้วยกัน

ในกรณีที่ต้องการบำบัดน้ำเสียจำนวนมากๆ ผู้ออกแบบควรใช้บ่อขนาดเล็กหลายๆ บ่อมากกว่าใช้บ่อขนาดใหญ่เพียงบ่อเดียว ทั้งนี้ เพื่อให้สะดวกต่อการซ่อมแซมบำรุงรักษาและมีความยืดหยุ่นในการควบคุม นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย การต่ออย่างอนุกรมช่วยลดปัญหาเรื่องการไหลลัดทางได้อย่างมาก ส่วนการต่อแบบขนานนั้น ช่วยทำให้ผู้ควบคุมสามารถล้างบ่อได้โดยไม่ต้องปิดระบบ การต่อบ่อหมักอย่างอนุกรมควรให้ทุกบ่อมีอัตราภาระอินทรีย์สูงสุดเท่าที่จะยอมได้ เช่น ให้ทุกบ่อได้รับบีโอดีในอัตรา 560 ก./ตร.ม.-วัน ลักษณะเช่นนี้ทำให้บ่อแรกมีขนาดใหญ่ที่สุดและบ่อสุดท้ายมีขนาดเล็กที่สุด ถ้าต้องการบำบัดน้ำเสียที่มีซีโอดีสูงมากๆ ควรใช้บ่อหลายๆ บ่อต่อกันอย่างอนุกรมโดยมีบ่อหมักอยู่หน้า และตามด้วยบ่อออกซิเดชัน ในบางครั้งอาจมีบ่อเติมอากาศอยู่ระหว่างบ่อหมักและบ่อออกซิเดชันก็ได้

อนึ่ง ต้องตระหนักว่า การออกแบบบ่อที่ต่อกันอย่างอนุกรมทำให้พื้นที่ใช้ประโยชน์ (พื้นที่ผิวน้ำ) ลดน้อยลง เนื่องจากต้องเสียพื้นที่ในการสร้างคันดินและอื่นๆ นอกจากนี้การสร้าง

บ่อใหญ่ช่วยให้ได้ประโยชน์จากพื้นที่มากกว่าที่ได้จากบ่อเล็ก ด้วยเหตุนี้ ถ้าพื้นที่ผิวน้ำไม่เกิน 0.5 ไร่ ควรสร้างบ่อน้ำเสียเพียงบ่อเดียวจึงจะได้รับประโยชน์อย่างเต็มที่

4.3.9 ขั้นตอนในการออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ

ขั้นตอนในการออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ มีดังนี้

- กำหนดค่าอัตราภาระซีโอดี (L_0)

เลือกค่า L_0 = 0.5 กก/ม^3-วัน สำหรับบ่อหมักธรรมดา

L_0 = 1 กก/ม^3-วัน สำหรับบ่อหมักแบบปิดฝา

- คำนวณค่าเวลากักน้ำ (τ) จาก L_0 และ S_0

$$\tau = S_0/(1000L_0)$$

โดยที่ So = ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสีย, มก./ล

ถ้าคำนวณ τ สำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรมได้น้อยกว่า 3 วัน ให้ใช้ τ = 3 วัน แต่ถ้าเป็นน้ำเสียชุมชน ให้ใช้ τ ได้ต่ำถึง 1 วัน

- กำหนดความลึกของบ่อหมัก (D)

อาจให้ความลึกเท่ากับ 3-5 เมตร หรือลึกกว่าก็ได้

- คำนวณหาพื้นที่เฉลี่ยที่ระดับลึกครึ่งบ่อ

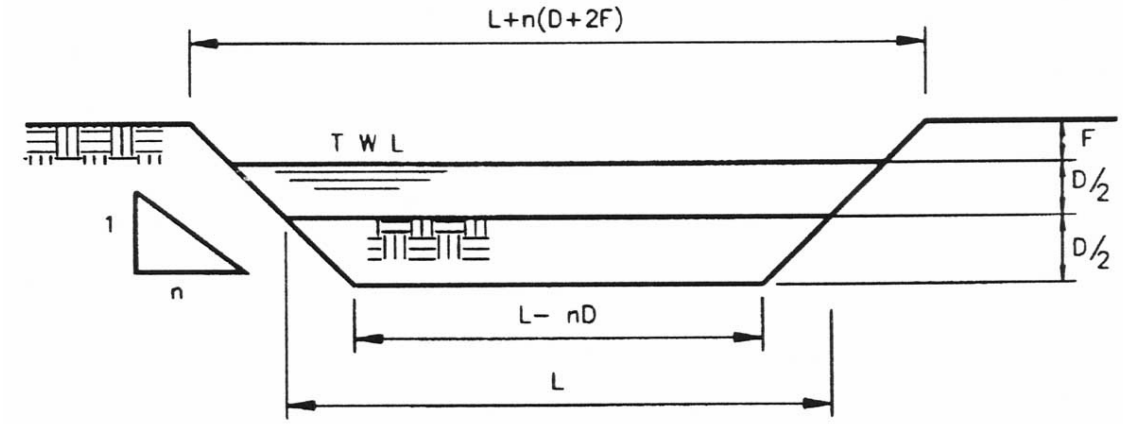
เนื่องจากบ่อหมักมีด้านข้างเป็นพื้นเอียง พื้นที่จึงมีค่าสูงสุดที่ผิวน้ำและมีค่าน้อยที่สุดที่ก้นบ่อ (ดูรูป 4.3) พื้นที่เฉลี่ยจึงเป็นค่าที่ระดับความลึกครึ่งบ่อ (A)

$$A = F\tau/D$$

- กำหนดค่าความเอียง (Slope) ของคันบ่อ

คันบ่อควรมีความเอียงประมาณ 1:3 ความเอียงน้อยที่สุดไม่ควรต่ำกว่า 1:2 และกำหนดให้มีความสูงเหนือผิวน้ำไม่น้อยกว่า 0.5 ม. เสมอ

ข้อมูลที่ได้จนถึงขณะนี้ สามารถกำหนดรูปร่างของบ่อหมักได้ครบถ้วนดังแสดงในรูปที่ 4.3 แล้ว



รูปที่ 4.3การคำนวณรูปร่างของบ่อหมักไม่ใช้อากาศ

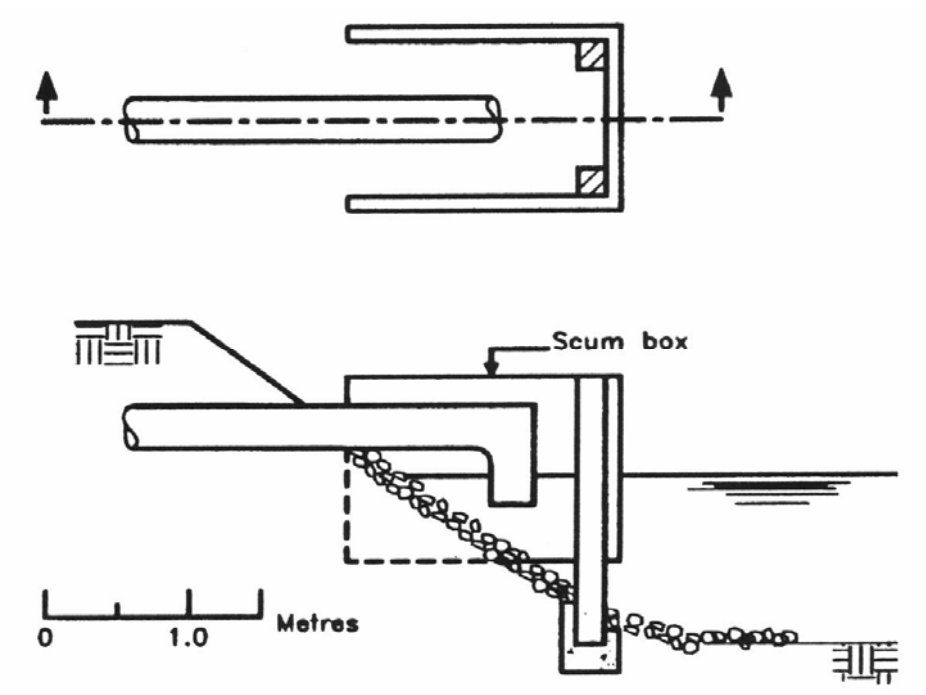
4.3.10 รูปร่างของบ่อหมักไม่ใช้อากาศ

บ่อหมักมักมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีด้านยาว : ด้านกว้าง ไม่น้อยกว่า 2-3 : 1 ผู้ออกแบบต้องคำนึงการไหลของน้ำภายในบ่อ (จากทางน้ำเข้าไปยังทางน้ำออก) ให้มีการไหลลัดทางน้อยที่สุด การตกตะกอนมักเกิดขึ้น ณ บริเวณทางน้ำเข้ามากกว่าตำแหน่งอื่น ดังนั้น จึงควรคำนึงการขุดลอกตะกอนบริเวณทางน้ำเข้าไว้ด้วย บางครั้ง ข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ ผู้ออกแบบอาจต้องใช้สร้างบ่อหมักไปตามเส้นเขตพื้นที่ที่มีอยู่ ทำให้บ่อหมักมีรูปร่างตามพื้นที่ดินของโรงงาน ผู้ออกแบบต้องเลือกตำแหน่งทางน้ำเข้า-ออกให้มีการไหลลัดทางน้อยที่สุด เพื่อให้มีการกวนน้ำของบ่อหมัก ควรสร้างบ่อหมักให้มีด้านยาวขนานไปกับทิศทางลม ถ้าทิศทางลมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดปี ควรเลือกทิศทางลมในฤดูร้อนเป็นหลัก

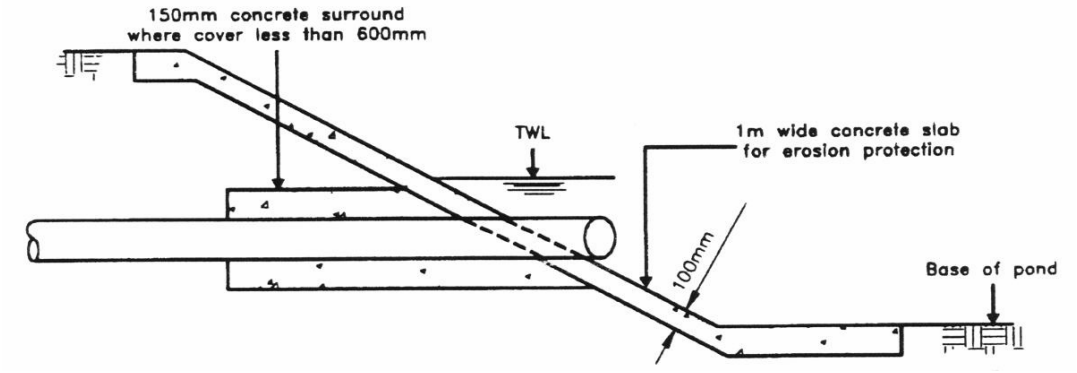
ทางน้ำเข้าและทางน้ำออก

ผู้ออกแบบควรเลือกใช้โครงสร้างอย่างง่ายและมีราคาถูกเพื่อเป็นทางน้ำเข้าและทางน้ำออกของบ่อหมัก โดยปกติ บ่อหมักมีทางน้ำเข้าและทางน้ำออกอย่างละอันก็พอเพียงแล้ว ทางน้ำเข้ามักเป็นท่อปิดที่มีปลายอยู่ใต้น้ำ เพื่อป้องกันการไหลลัดทางของน้ำเสียและควรมีโครงสร้าง เช่น แผ่นกั้น (ดูรูปที่ 4.4) เพื่อเก็บกัก Scum มิให้กระจายไปในส่วนต่างๆ ของบ่อ การไหลต่อเชื่อมระหว่างบ่อควรเกิดขึ้นใต้น้ำ (ดูรูปที่ 4.5)

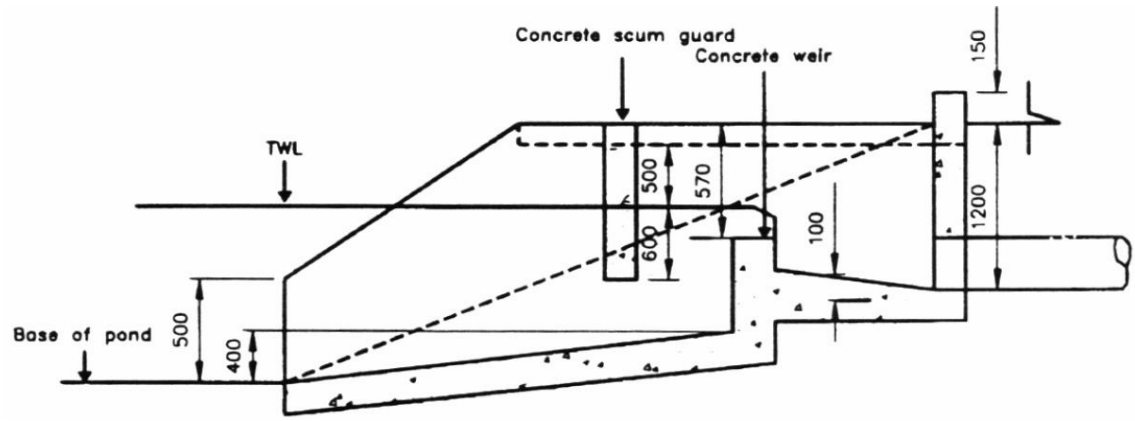
ทางน้ำออกควรเป็นโครงสร้าง คสล. ที่สามารถป้องกันมิให้ Scum ไหลออกจากบ่อ (ดูรูปที่ 4.6) น้ำไหลออกจากบ่อโดยล้นผ่านเวียร์ทางออกที่สามารถปิดได้ ความสูงของสันเวียร์ทางออกเป็นเครื่องกำหนดระดับของน้ำในระบบ (ออกแบบไว้ก่อน) แผ่นกั้นสกัมควรจุ่มอยู่ใต้ผิวน้ำในบ่อหมักประมาณ 300 มม.



รูปที่ 4.4 โครงสร้างทางน้ำเข้า (Arceivala, S.J et al, 1970)



รูปที่ 4.5 ทางน้ำเชื่อมระหว่างบ่อ (Arceivala, S.J et al, 1970)



รูปที่ 4.6 โครงสร้างทางน้ำออก (Arceivala, S.J et al, 1970)

4.3.11 ตัวอย่างการออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ

	อุณหภูมิ, 25 ซ	**อุณหภูมิ, 10 ซ**
ข้อมูลออกแบบ		
ซีโอดี, มก./ล.	200	200
อัตราไหล, ลบ.ม./วัน	10,000	10,000
อุณหภูมิ, °ซ	25	10
อัตราระเหย, มม./วัน	5	0
บ่อหมักไม่ใช้อากาศ		
ออร์แกนิกโหลดดิง, กก./$ม^3$-วัน	0.35	0.1
เวลากักน้ำ, วัน ค่าที่คำนวณได้	0.6	2.0
ค่าที่ใช้ออกแบบ	1.0	2
ปริมาตรบ่อ, $ม^3$	10,000	20,000
ความลึก, ม.	4	4
พื้นที่ผิวน้ำ, $ม^2$	2,500	5,000
% กำจัดซีโอดี	70	40
ซีโอดีของน้ำทิ้ง, มก./ล.	60	120
บ่อออกซิเดชัน		
ออร์แกนิกโหลดดิง, ก./$ม^2$-วัน	35	10
พื้นที่ผิวน้ำ, $ม^2$	17,143	120,000
ความลึก, ม.	1.5	1.5
ปริมาตรบ่อ, $ม^3$	25,714	180,000
เวลากักน้ำ, วัน ค่าที่คำนวณได้	2.6	18.0
ค่าที่ใช้ออกแบบ	4.0	18
คำนวณพื้นที่ผิวน้ำใหม่, $ม^2$	26,490.1	
% กำจัดซีโอดี	70	50
ซีโอดีของน้ำทิ้ง, มก./ล.	18	60

4.4 การออกแบบระบบยูเอเอสบี(UASB)และอีจีเอสบี(EGSB)

4.4.1 อัตราภาระซีโอดี (COD Loading Rate)

การออกแบบระบบยูเอเอสบีอาศัยพารามิเตอร์ออกแบบที่เรียกว่าอัตราภาระซีโอดี (COD Loading Rate) เช่นเดียวกับการออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ แต่เนื่องจากระบบยูเอเอสบีมีความสามารถในการสะสมและเก็บรักษาเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าบ่อหมัก อัตราภาระซีโอดีของระบบยูเอเอสบีจึงสูงกว่าของบ่อหมักมากและจัดว่าระบบนี้เป็นระบบแบบมีอัตราบำบัดสูง

ตารางที่ 4.8 เป็นสรุปอัตราภาระซีโอดีสำหรับออกแบบน้ำเสียอุตสาหกรรมทั่วไป น้ำเสียอุตสาหกรรมมีความยากง่ายในการย่อยสลายแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรมและลักษณะของน้ำเสีย อุตสาหกรรมอาหารและเกษตรมักมีน้ำเสียที่ย่อยได้ง่าย จึงใช้อัตราภาระซีโอดีที่มีค่าสูง(15-20 กก/ลบ.ม-วันหรือสูงกว่า) ในขณะที่น้ำเสียของโรงงานกระดาษและเยื่อ โรงงานสุรา หรือโรงฆ่าสัตว์ จะใช้อัตราภาระซีโอดีที่มีค่าต่ำ (10-12 กก/ลบ.ม-วันหรือต่ำกว่า) ตารางที่ 4.9 เป็นข้อมูลของอัตราภาระซีโอดีสูงสุดของระบบยูเอเอสบีที่ใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

ตารางที่ 4.8 อัตราภาระซีโอดีสำหรับออกแบบน้ำเสียอุตสาหกรรมของระบบยูเอเอสบี

พารามิเตอร์ออกแบบ	หน่วย	ช่วงออกแบบ UASB
1. อัตราภาระซีโอดี (COD Loading)	กก/ม^3-วัน	5 - 20
2. สลัดจ์เกิดขึ้น	กก/กก.ซีโอดีกำจัด	0.04+
3. % กำจัดซีโอดี	%	65 - 85
4. % กำจัดบีโอดี	%	70 - 95
5. % กำจัดของแข็งระเหยได้	%	45 - 65
6. อุณหภูมิ	^{o}ซ	35
7. กาซชีวภาพที่ผลิตได้	ม^3/กก.ซีโอดีกำจัด	0.3 - 0.4
8. มีเทน	%	60 - 70

ตารางที่ 4.9 Maximum Loading Rateของระบบยูเอเอสบีที่ใช้บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมต่างๆ

ประเภทของน้ำเสีย	Maximum Loading Rate (กก. ซีโอดี/ม^3-วัน)	% กำจัดซีโอดี	อ้างอิง
น้ำตาลจากหัวบีท	30-32	75	Lettinga and Hulshoff, 1991
มันฝรั่งแปรรูป	40	84	Van Wambeke et. al., 1990
แป้งมัน	30	75	DeZueew, 1998
ผักกระป๋อง	10-20	60-80	DeZueew, 1998
ยีสต์	14	70	DeZueew, 1998
นมเนย	15	80	Hulshoff and Lettinga, 1986
โรงฆ่าสัตว์	10	55	DeZueew, 1998
Rendering Plant	6	63	Hansen and West, 1992
โรงกลั่นสุรา	11-17	45-65	Pipijin and Verstraete, 1985
กระดาษ	12		

Van Wambeke,M., Grusenmeyer,S., Verstraete,W., and Longly,R.(1990). Process Biochemistry, pp.181

De Zueew, W.J.(1988). Proceedings of GASMAT.Workshop, Wageningen, Netherlands

Hulshoff Pol, L.W., de Zueew, W.J., Velzebeboer, C.T.M., and Lettinga, G. (1983). Water Science and Technology, 15, 291.

Pipijin, P., and Verstraete, W. (1985). Hannover Industrie Abwasser Tagung, Hanover, Germany.

Athanospoulos, N. (1990). Biological Wastes, 32, 161.

4.4.2 เวลากักน้ำ (Hydraulic Retention Time - HRT)

เวลากักน้ำเฉลี่ยอย่างน้อย 4 ชั่วโมง (Lettinga et.al. 1993) แต่ควรจะมีมากกว่า 6 ชั่วโมง (Vieira and Garcia ใน Manila, J.F. and Pohland, F.G. (1992))

4.4.3 ความเร็วน้ำไหลขึ้นของระบบและอัตราน้ำล้นผิวในส่วนตกตะกอน

ความเร็วน้ำไหลขึ้น เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำงานของระบบ ในแง่ของการผสมน้ำและเชื้อจุลินทรีย์เพื่อให้เกิดการสัมผัสที่พอเพียง ความเร็วน้ำไหลที่สูงเกินไปจะมีผลทำให้เซลหลุดออกจากระบบได้ ความเร็วน้ำไหลขึ้นที่เหมาะสมควรจะน้อยกว่า 1.0 เมตรต่อชั่วโมง (Vieira and Garcia 1992) ส่วน Lettinga et.al. (1993) ได้แนะนำว่าความเร็วน้ำไหล

ขึ้นเฉลี่ยตลอดวันนั้น ไม่ควรเกิน 4 เมตรต่อชั่วโมง และในช่วง Peak Flow ก็ควรไม่เกิน 8 เมตรต่อชั่วโมง เป็นระยะเวลานานกว่า 2-4 ชั่วโมง Campos และ Anderson (1992) ได้ทำการวิจัยกับ Lab-scale UASB Reactor และพบว่าในช่วงเริ่มเดินระบบ (Start-up) ความเร็วน้ำไหลขึ้นควรอยู่ระหว่าง 0.72-0.96 เมตรต่อวัน นอกจากนี้เพื่อป้องกันการหลุดออกของเซลจุลินทรีย์ ในส่วนตกตะกอนควรมีอัตราน้ำล้นผิว 0.7 เมตรต่อชั่วโมงและในช่วง Peak Flow อัตราน้ำล้นผิวจะต้องไม่เกิน 1.3 เมตรต่อชั่วโมง (Vieira and Garcia 1992)

4.4.4 ความสูงของระบบ

ความสูงของถังควรอยู่ระหว่าง 4.0-4.8 เมตร และส่วนตกตะกอนควรจะสูง 1.5-1.6 เมตร (Vieira and Garcia 1992)

4.4.5 จุดป้อนน้ำเข้า

เพื่อการกระจายของน้ำเสียเป็นไปอย่างทั่วถึง Lettinga et.al. (1993) ได้แนะนำว่าควรจะมีจุดป้อนน้ำเข้าอย่างน้อย 1 จุดต่อ 4 ตารางเมตร เมื่อมีชั้นตะกอนอยู่เต็ม และ 1 จุดต่อ 1 ตารางเมตร เมื่อมีชั้นตะกอนอยู่น้อย ในขณะที่ Vieira และ Garcia (1992) ได้แนะนำให้มีจุดป้อนน้ำเข้า 1 จุดต่อ 1-2 ตารางเมตร และจุดป้อนน้ำเข้าควรอยู่กว่าก้นถัง 20 เซนติเมตร

4.4.6 ส่วนตกตะกอน

ส่วนตกตะกอนมีหน้าที่ในการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเท่านั้น ไม่ควรจะให้มีปฏิกิริยาทางชีวภาพเกิดขึ้นบนผนังเอียง ดังนั้นผนังควรมีความชันมากกว่า 50 องศา เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่ตกลงมาไหลกลับลงไปสู่ถังปฏิกิริยา ช่องทางเข้าของส่วนตกตะกอนควรได้รับการออกแบบเป็นอย่างดี เพื่อให้ความเร็วการไหลของน้ำไม่สูงกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมง (Vieira and Garcia, 1992)

Lettinga et.al. (1993) ได้แนะนำว่า

- รางน้ำล้นทำจากเหล็กไร้สนิม หรือพลาสติก
- คอนกรีตที่ใช้ควรเป็นคอนกรีตที่ต้านทานกรด
- ชุดเก็บกาซควรใช้วัสดุที่ต้านทานการกัดกร่อน หรือมีการเคลือบผิวเป็นอย่างดี

4.4.7 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี

ตัวอย่างออกแบบถัง EGSB ข้อมูลน้ำเสียที่ต้องการบำบัดมีดังนี้

COD เฉลี่ย	=	2610	มก./ล.
NH_4^+-N	=	17	มก./ล.
PO_4-P	=	3	มก./ล.
SO_4^{2-}	=	200-800	มก./ล.
แร่ธาตุหายาก		มีพอเพียง	
สภาพด่าง	=	310	มก./ล.
พีเอช	=	6.50	
อุณหภูมิ	=	30	$^oซ$
อัตราไหลเฉลี่ย	=	40	ลบ.ม./ชม. (จันทร์-ศุกร์)
	=	10	ลบ.ม./ชม. (เสาร์-อาทิตย์)

น้ำเสียจัดเป็นแบบย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย

วิธีทำ

อัตราไหลที่ใช้ออกแบบ	=	40	ลบ.ม./ชม.
ความเข้มข้นซีโอดี	=	2610	มก./ล.
ดังนั้น ซีโอดีโหลด	=	$2,610 \times 40 \times 24 \times 10^{-3}$	
ก. ขนาดของถัง EGSB		2505.6	กก./วัน
สูตร HRT	=	COD (กรัม/ลิตร) / อัตราภาระอินทรีย์	
สมมติให้ใช้อัตราภาระอินทรีย์	=	10	กก./ลบ.ม.-วัน
ต้องการเวลากักน้ำ (HRT) = (2,610/1,000)/10	=	0.261	วัน
	=	6.264	ชม.
ดังนั้น ปริมาตรของถังหมัก EGSB	=	251	ลบ.ม.

ถ้ากำหนดให้ความสูงของถัง	=	16	เมตร
พื้นที่ของถัง	=	15.7	ตร.ม.
ดังนั้น เส้นผ่าศูนย์กลางถัง	=	4.5	เมตร

ข. คำนวณปริมาตรสลัดจ์ที่ต้องการ

สมมติให้ Max Activity ของ MPB	=	0.8 - 10	กรัมซีโอดี/กรัม VSS-วัน
และใช้ Design Activity	=	0.50	กรัม/กรัม-วัน
เนื่องจากซีโอดีโหลด	=	2505.6	กก./วัน
ดังนั้นต้องการ VSS	=	5011.2	กก.

สมมติให้ชั้นสลัดจ์ใน UASB หรือ EGSB มีความเข้มข้น 10%TS และ 70%VS

นั่นคือ ความเข้มข้นของสลัดจ์ (TS)	=	10	%
	=	100	กก./ลบ.ม.
VS	=	70	%VS
	=	70	กก./ลบ.ม.
ดังนั้นต้องการปริมาตรชั้นสลัดจ์	=	71.6	ลบ.ม.

เนื่องจากปริมาตรของถังหมัก 251 ลบ.ม. ปริมาตรสลัดจ์ 71.5 ลบ.ม.จึงเท่ากับ 30% ของถัง

ค.อัตราหมุนเวียน

กำหนดให้อัตราเร็วของน้ำเสียไหลผ่านถัง	=	7.5	ม./ชม.
เนื่องจากพื้นที่ถัง	=	15.7	ตร.ม.
ดังนั้น อัตราไหลของน้ำที่ผ่านถัง	=	117.45	ลบ.ม./ชม.
เนื่องจากอัตราไหลของน้ำเสีย	=	40	ลบ.ม./ชม.
ดังนั้นอัตราไหลหมุนเวียนของน้ำทิ้ง	=	77.45	ลบ.ม./ชม.
	=	194	%

ง. ปริมาตรสลัดจ์ที่ทิ้ง

เนื่องจาก ซีโอดีโหลด	=	2505.6	กก./วัน
สมมติ %กำจัดซีโอดี	=	90	%
ดังนั้น ซีโอดีโหลดที่ถูกกำจัด	=	2255	กก./วัน
สมมติให้มี % สลัดจ์ยีล	=	5	%
ดังนั้น จะมีสลัดจ์ที่ต้องทิ้ง	=	112.8	กก.วัน

สมมติว่า สลัดจ์เข้มข้น 10%TS และ 70%VSS

ดังนั้น ปริมาตรสลัดจ์ที่ต้องทิ้ง	=	1.12752	ลบ.ม./วัน

4.4.8 กรณีศึกษา ระบบบำบัดยูเอเอสบีขนาด 42,000 ม^3/วัน ที่บูคาราแมงกา, โคลัมเบีย

(Journey and McNiven, 1996)

ลักษณะของน้ำเสีย		เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด
อัตราไหลของน้ำเสีย	ลบ.ม./วัน	37,000	-	-
อุณหภูมิ	oซ	24	23	25
ซีโอดี	มก./ล.	380	330	450
บีโอดี	มก./ล.	160	105	180
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	240	210	300
TKN	มก./ล.N	29	24	35

ข้อมูลจำเพาะถังหมักยูเอเอสบี

HRT เฉลี่ย, ชม. = 5.2

HRT ต่ำสุด, ชม. = 3.5

จำนวนถัง = 3

ปริมาตร/ถัง, ลบ.ม. = 3,350

ความสูงของถัง, ม. = 4

ระบบกระจายน้ำเข้าใช้ท่อเข้าจำนวน 288 ท่อ โดยผ่านถังแยกน้ำเสีย 3 ถัง ท่อน้ำเข้าวางกระจายทั่วพื้นก้นถังโดยครอบคลุมพื้นที่ 2.9 ตร.ม./ท่อ

ระบบแยก 3 สถานะ (GSS) = 18@ 2.4x19.2 ม. วางเอียงทำมุม 52 ^{o} 26$^{'}$

ความเร็วในช่องตกตะกอน, ม./ชม. = 4

วิธีระบายสลัดจ์ทิ้ง = ผ่านท่อขนาด 1,000ม. ที่ระดับ 0.5ม. จากก้นถัง จำนวน 1 ท่อ และที่ระดับ 1.5ม. จำนวน 3 ท่อ

บ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative Pond)

บีโอดีโหลด, กก./วัน = 1,400

บีโอดีโหลดดิง, กรัม/ตร.ม.-วัน	=	0.27		
พื้นที่ผิวน้ำ, ตร.ม.	=	135x200	=	27,000

โดยสร้างเป็น 3 ช่องๆ ละ 9,000 ตร.ม.

ความลึก, ม.	=	2 ช่องแรกลึก 2 เมตร ช่องที่ 3 ลึก 1.5 เมตร
เวลากักน้ำ	=	24
ความถี่ในการลอกบ่อ	=	ทุกๆ 8 - 10 เดือน

ลานตากสลัดจ์

พื้นที่ทั้งหมด, ตร.ม.	=	5,760
จำนวนลาน	=	48
ความลึกของสลัดจ์, ม.	=	0.25 - 3
เวลาตาก, วัน	=	7
ความแห้งของสลัดจ์ที่ตากได้	=	มากกว่า 50% DS

<u>การสร้างกาซชีวภาพ</u>

อัตราผลิตกาซที่วัดได้	=	1,100 $ม^3$/ถัง หรือ 71 $ม^3$/1,000 $ม^3$ของน้ำเสีย
% มีเทน	=	80
% CO_2	=	10
% N	=	10
% H_2S	=	0.1

ตารางแสดงผลการบำบัดน้ำเสีย

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำเสีย	UASB	บ่อ	รวมทั้งหมด
อัตราไหล	ม3/วัน	42	15.3	30.6	46
HRT	ชม.	-	5	30	-
COD ทั้งหมด	มก./ล.	400	160	95	95
COD ละลายน้ำ	มก./ล.	180	93	82	82
BOD ทั้งหมด	มก./ล.	150	35	19	19
BOD ละลายน้ำ	มก./ล.	70	20	15	15
TSS	มก./ล.	230	85	22	22
VSS	มก./ล.	155	40	18	18
% กำจัดซีโอดี			65	40	75
% กำจัดบีโอดี			75	50	90
% กำจัด TSS			70	75	90

4.5 การออกแบบถังสร้างกรด (Acid Tank)

วัตถุประสงค์ของการใช้ถังสร้างกรดมีดังนี้

1. เพื่อลดความต้องการสภาพด่างของระบบ
2. เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งขนาดใหญ่ เช่น ตะกอนแป้ง, ตะกอนอินทรีย์ต่างๆ
3. เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ หรือสารอินทรีย์เคมีที่ย่อยได้ยากในน้ำเสีย

ในปัจจุบันนี้ เกณฑ์ออกแบบถังสร้างกรดยังไม่มีข้อกำหนดชัดเจน วิธีออกแบบอาศัยพื้นฐานความรู้ในเรื่องกลไกสร้างกรดอินทรีย์ระเหยของกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- รักษาระดับพีเอชของถังสร้างกรดให้ต่ำประมาณ 6 โดยเติมสภาพด่างน้อยที่สุด
- ใช้อัตราภาระซีโอดีประมาณ 10 กก./ลบ.ม-วัน แต่ไม่ให้เวลากักน้ำต่ำกว่า 6 ชม. หรือสูงกว่า 24 ชม.

ตารางที่ 4.10 เป็นข้อมูลจากทำงานของบ่อสร้างกรดที่ใช้บำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตน้ำสัปรดกระป๋องแห่งหนึ่งในประเทศไทย อัตราภาระซีโอดีที่เข้าบ่อนี้มีค่าประมาณ 30 กก./ลบ.ม-วัน น้ำเสียรวมไหลเข้าบ่อกรดโดยไม่มีการปรับพีเอชและไม่ได้มีการเติมสารอาหารเสริมใดๆ เลย ลักษณะของน้ำในบ่อมีสีขาวตลอดเวลาที่มีน้ำเสียไหลเข้าบ่อ จะเห็นได้ว่าบ่อสร้างกรดสามารถกำจัดซีโอดีได้สูงถึง 60% โดยที่บ่อมีพีเอชต่ำถึง 4

4.6 การออกแบบระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงอื่นๆ

การออกแบบระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบอัตราสูงอื่นๆ ใช้อัตราภาระซีโอดี (COD Loading Rate) เป็นพารามิเตอร์ออกแบบเช่นเดียวกับการออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศและระบบยูเอเอสบี

ตารางที่ 4.11 เป็นการเปรียบเทียบอัตราภาระซีโอดีสำหรับออกแบบน้ำเสียอุตสาหกรรมทั่วไปของระบบบำบัดอัตราสูงบางประเภทคือ ถังหมักอัตราสูง ระบบเอซี (Anaerobic Contact) ถังกรองไม่ใช้อากาศ ชั้นลอย (FB) และ ยูเอเอสบี

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลจากทำงานของบ่อสร้างกรดที่ใช้บำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตน้ำสับปะรดกระป๋อง

สัปดาห์ที่	น้ำเสีย				บ่อสร้างกรด			
	pH	COD	BOD	TDS	pH	COD	BOD	TDS
1	4.32	12,728			3.91	5,160		
2	4.13	19,292	10,650		3.64	5,096	2,850	
3	4.45	10,080			3.59	5,616		
4	4.38	10,788			3.60	5,134		
5	4.54	9,800			3.66	3,872		
6	4.42	9,396	8,100		3.70	4,176	2,200	
7	4.63	13,320			3.79	4,824		
8	4.68	11,264			3.70	5,088		
9	4.66	15,456			3.71	5,667		
10	5.05	9,828	7,500		3.81	4,732	2,700	
11	4.93	10,800			4.01	4,176		
12	5.36	9,612			4.14	3,774		
13	6.10	7,392			4.23	3,661		
14	3.88	8,160			4.29	3,808		
15	4.67	11,640	7,500		4.22	3,957	2,150	
16	5.58	11,400			4.33	4,332		
17	4.72	11,904			3.82	5,506		
18	4.65	17664	8700		3.40	5,883	3000	
19	4.49	11036			3.44	5,696		
20	4.60	10912			3.56	5,421		
21	5.18	5392			3.81	3,986		
22	4.76	5152			4.05	9,091		
23	5.38	3312			4.12	2,355		
24	4.70	6480			4.09	2,448	950	
25	4.77	7476			4.00	1,872		
@AVG	4.76	10,411	8,490	-	3.86	4,613	2,308	-
@STD	0.47	3,584	1,168	-	0.27	1,398	684	-

ที่มา : ข้อมูลของบริษัท แซน.อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด

ตารางที่ 4.11 เกณฑ์ออกแบบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่มีอัตราสูง

พารามิเตอร์	หน่วย	ถังหมักอัตราสูง (High Rate Digestor)	Anaerobic Contact	ถังกรองไร้อากาศและชั้นลอย(FB)	ยูเอเอสบี
ช่วงซีโอดีที่เหมาะสม	มก./ล.	>20,000	2,000-20,000	500-10,000	1,000-50,000
อุณหภูมิ,	°ซ	a) 30-40	30-40	20-35	7-35
		b) 55-60			
อัตราภาระซีโอดี	กก./ลบ.ม-วัน	1-8	1-5	1-15	3-15
อัตราภาระของแข็ง (สลัดจ์โหลดดิง)	กก./กก.-วัน	-	0.2-0.5	-	0.8-1
สลัดจ์ที่เกิด	ก./ก.	-	0.3-0.1	0.03-0.01	0.04
เวลากักตะกอน(SRT)	วัน	a) 10-30	>20	>100	>100
	วัน	b) 5-15			
เวลากักน้ำ(HRT)	วัน	a) 10-30	0.5-2.5	0.2-3	0.2-3
%มีเทน		50-75	50-90	50-90	80-90
%กำจัดซีโอดี		30-70	60-90	70-95	80-90

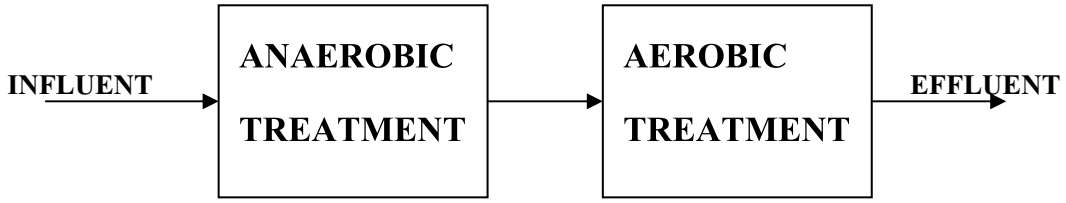
ที่มา: Sreekrishnan,T.R and Ali, M "New Developments in Bioreactor Design for Biomethanation Process"

บทที่ 5
ข้อแนะนำในการใช้ระบบไม่ใช้อากาศ สำหรับบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม

เมื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบบำบัดแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศ จะเห็นได้ว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไม่ใช้อากาศประหยัดกว่าระบบใช้อากาศ อย่างไรก็ตาม ระบบไม่ใช้อากาศมีข้อด้อยในทางเทคนิคคือ ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพสูงเหมือนระบบใช้อากาศ กล่าวคือระบบใช้อากาศสามารถผลิตน้ำทิ้งสุดท้ายที่มีคุณภาพสูง จนผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งตามกฎหมายได้ (เช่น BOD<20 มก./ล. SS<30 มก./ล. เป็นต้น) แต่ระบบไม่ใช้อากาศไม่สามารถทำได้ เมื่อนำเอาข้อดีของทั้งสองระบบมารวมกัน ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสมจึงมี 2 ทางเลือก คือ

ทางเลือกที่ 1 ประกอบด้วยระบบไม่ใช้อากาศ ตามด้วยระบบใช้อากาศ (ดูรูปที่ 5.1)
ทางเลือกที่ 2 ประกอบด้วยระบบใช้อากาศเพียงอย่างเดียว

ในทางปฏิบัติทั่วไป การบำบัดน้ำเสียต้องอาศัยระบบใช้อากาศด้วยเสมอ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถผลิตน้ำทิ้งสุดท้ายที่มีคุณภาพสูง ถ้าน้ำเสียมีค่าซีโอดีเข้มข้นสูง ควรจะต้องบำบัดน้ำเสียก่อนด้วยระบบไม่ใช้อากาศแล้วจึงบำบัดต่อด้วยระบบใช้อากาศ แต่ถ้าน้ำเสียมีค่าซีโอดีต่ำ การบำบัดด้วยระบบใช้อากาศเพียงลำพังจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า



รูปที่ 5.1 การใช้ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศตามด้วยระบบใช้อากาศ

ในการเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศสำหรับบำบัดน้ำเสียนั้น จุดเด่นของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ คือ สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเติมอากาศได้ แต่จุดด้อยของระบบบำบัดน้ำเสียประเภทนี้ คือ เป็นระบบบำบัดที่ไม่จบในตัว หมายถึง ไม่สามารถใช้ระบบนี้เพียงระบบเดียวในการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพผ่านมาตรฐานได้ ดังนั้นความเหมาะสมที่จะนำเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเข้ามาร่วมในการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกเท่าไร ปริมาณน้ำเสียเท่าใดจึงจะเหมาะสม จึงเป็นคำถามที่ยังคงต้องการคำตอบอยู่

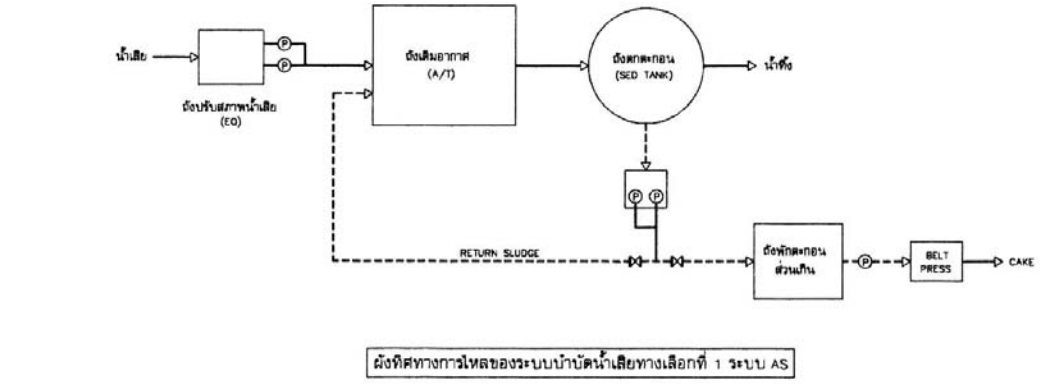
5.1 ทางเลือกในการใช้ระบบไม่ใช้อากาศที่เหมาะสม

ในการวิเคราะห์ทางเลือกของการใช้ระบบไม่ใช้อากาศที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม จำเป็นต้องจำกัดขอบเขตของงานให้กระชับเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องเวลาและงบประมาณ จึงแบ่งทางเลือกระบบบำบัดน้ำเสียออกเป็น 3 ทางเลือก ได้แก่

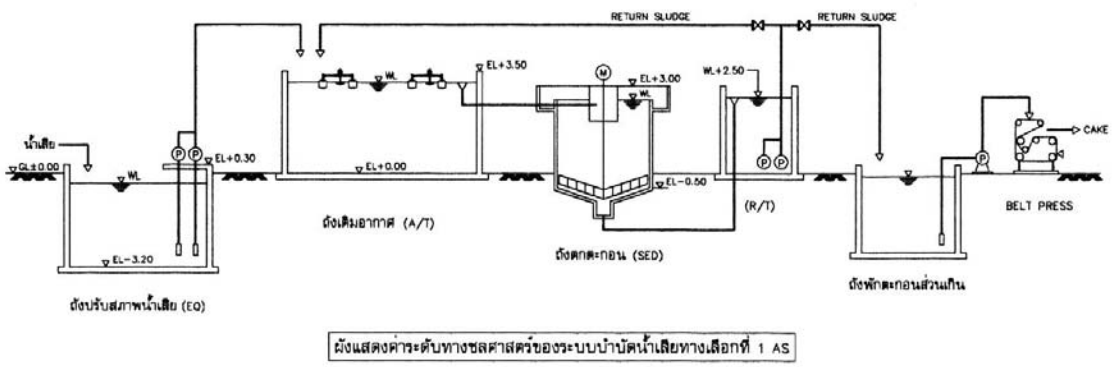
- ทางเลือกที่ 1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส
- ทางเลือกที่ 2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบเอเอส
- ทางเลือกที่ 3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักร่วมกับระบบเอเอส

โดยได้แสดงผังแสดงทิศทางการไหลและผังแสดงค่าระดับทางชลศาสตร์ของระบบในแต่ละทางเลือกไว้ดังรูปที่ 5.2 ถึง รูปที่ 5.4

ในทางเลือกที่ 1 จะเป็นการใช้ระบบเอเอสในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นระบบที่มีความคุ้นเคยกันมากที่สุด แต่จะมีข้อเสียในเรื่องของพลังงานที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ส่วนในทางเลือกที่ 2 และทางเลือกที่ 3 นั้น จะเป็นการนำเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเข้ามาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยระบบบำบัดในทางเลือกที่ 2 จะเป็นระบบที่มีอัตราการบำบัดสูง ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อย จึงเหมาะสมกับระบบบำบัดในเมือง ส่วนทางเลือกที่ 3 จะเป็นระบบที่มีอัตราการบำบัดต่ำกว่า ทำให้ใช้พื้นที่มากกว่า แต่จะมีข้อดีในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการเดินระบบซึ่งมีค่าต่ำกว่าเนื่องจากไม่ต้องมีภาระในเรื่องการจัดการปัญหาตะกอนสลัดจ์ที่เกิดขึ้น และยังสามารถเดินระบบฯได้ง่ายกว่าด้วย ระบบนี้จึงเหมาะสมกับพื้นที่ที่มีราคาที่ดินไม่สูงนัก

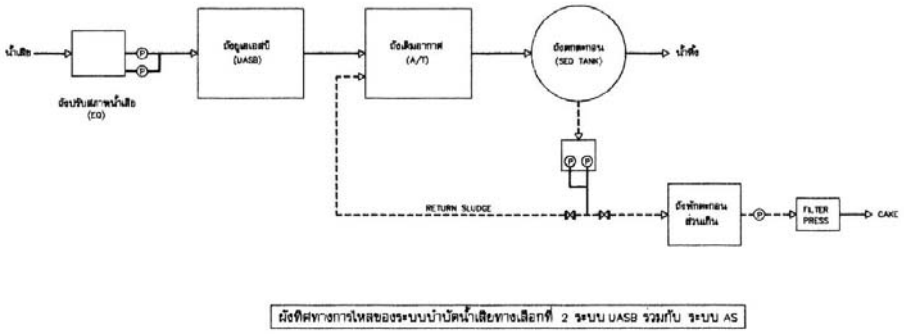


ผังทิศทางการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียทางเลือกที่ 1 ระบบ AS

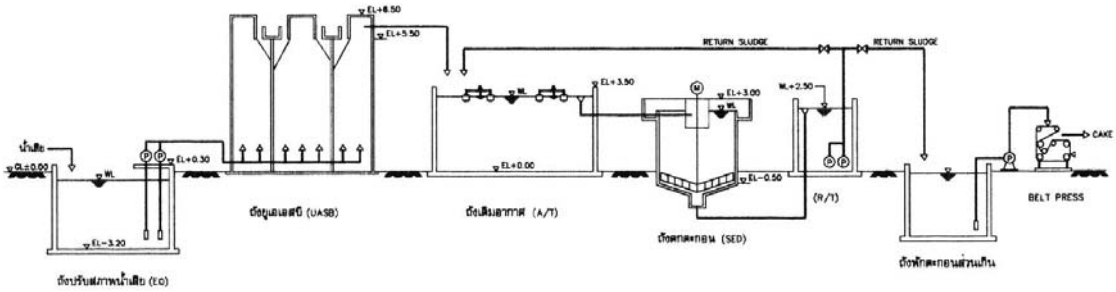


ผังแสดงค่าระดับทางชลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียทางเลือกที่ 1 AS

รูปที่ 5.2 ผังแสดงทิศทางการไหลและผังแสดงค่าระดับทางชลศาสตร์ของระบบในทางเลือกที่ 1

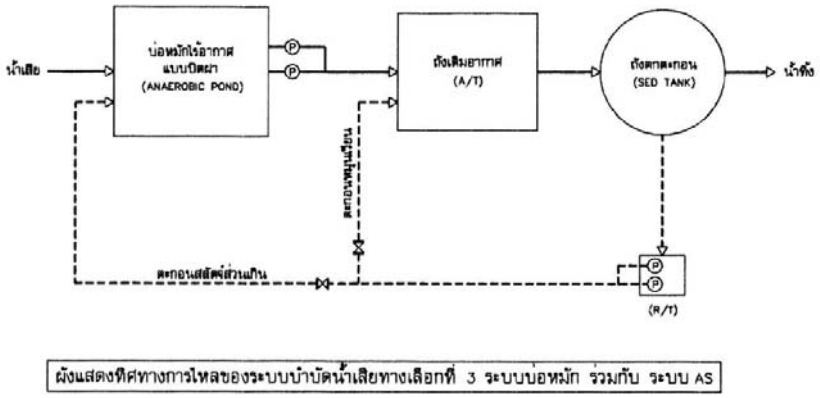


ผังทิศทางการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียทางเลือกที่ 2 ระบบ UASB ร่วมกับ ระบบ AS

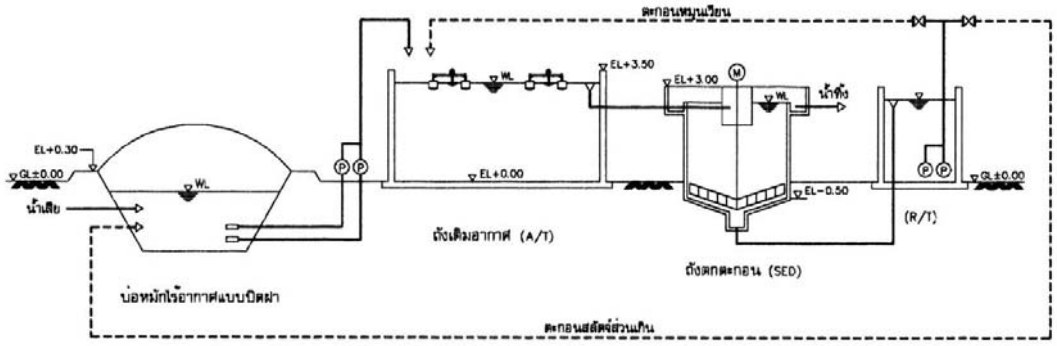


ผังแสดงค่าระดับทางชลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียทางเลือกที่ 2 ระบบ UASB ร่วมกับ ระบบ AS

รูปที่ 5.3 ผังแสดงทิศทางการไหลและผังแสดงค่าระดับทางชลศาสตร์ของระบบในทางเลือกที่ 2



ผังแสดงทิศทางการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียทางเลือกที่ 3 ระบบบ่อหมัก รวมกับ ระบบ AS



ผังแสดงค่าระดับทางชลศาสตร์ของระบบบัดน้ำเสียทางเลือกที่ 3 ระบบบ่อหมัก รวมกับ ระบบ AS

รูปที่ 5.4 ผังแสดงทิศทางการไหลและผังแสดงค่าระดับทางชลศาสตร์ของระบบในทางเลือกที่ 3

โดยในการประเมินความเหมาะสมในการเลือกใช้ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นในคู่มือฉบับนี้ มีข้อกำหนดต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินดังนี้

- ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี

  ระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ 50%

  ระบบยูเอเอสบี 50%

- เวลากักน้ำอย่างต่ำของระบบฯ

ระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ	1 วัน
ระบบยูเอเอสบี	8 ชม.

5.1.1 ข้อแนะนำทั่วไป

จากบทที่ 2 ทำให้เราทราบว่าลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอย่างไร โดยทั่วไปน้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้จะมีปริมาณมาก และจัดเป็นน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ค่อนข้างยาก

ทางบริษัทที่ปรึกษาได้ศึกษา วิเคราะห์ข้อมูล ทำการคำนวณและออกแบบ รวมถึงการประเมินค่าใช้จ่ายต่างๆ ทั้งในด้านของค่าก่อสร้างและค่าเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้สามารถสรุปข้อแนะนำในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อมได้ดังนี้

1. โรงงานที่มีค่าความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียน้อยกว่า 500 มก./ล. ที่อัตราการไหลต่างๆ ควรเลือกใช้ระบบเอเอสหรือระบบบำบัดใช้อากาศอื่น
2. โรงงานที่มีค่าความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียสูงกว่า 500 มก./ล.ที่อัตราการไหลต่างๆ ควรเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดขั้นต้น และระบบเอเอสหรือระบบบำบัดใช้อากาศอื่นเป็นระบบบำบัดขั้นที่ 2 เนื่องจากความคุ้มค่าในการลงทุนและช่วยในเรื่องของการลดสีในน้ำเสีย
3. การเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดขั้นต้นในกรณีที่ราคาที่ดินมีค่าไม่เกิน 2 ล้านบาท/ไร่ ระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศเป็นระบบที่มีความเหมาะสมที่สุด เหนือระบบไม่ใช้อากาศอื่น (พิจารณาทั้งราคาค่าก่อร้างและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ)
4. ในกรณีที่โรงงานมีค่าราคาที่ดินสูงกว่า 2,000,000 บาท ถ้าค่าซีโอดีของน้ำเสียมีค่าต่ำกว่า 500 มก./ล. แนะนำให้ใช้ระบบใช้อากาศในการบำบัด ส่วนถ้ากรณีที่ค่าซีโอดีของน้ำเสียสูงกว่า 500 มก./ล. ควรเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดเบื้องต้นก่อน แล้ว

ตามด้วยระบบไม่ใช้อากาศ แต่จะเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศประเภทใดนั้นขึ้นอยู่กับค่าซีโอดีและปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น

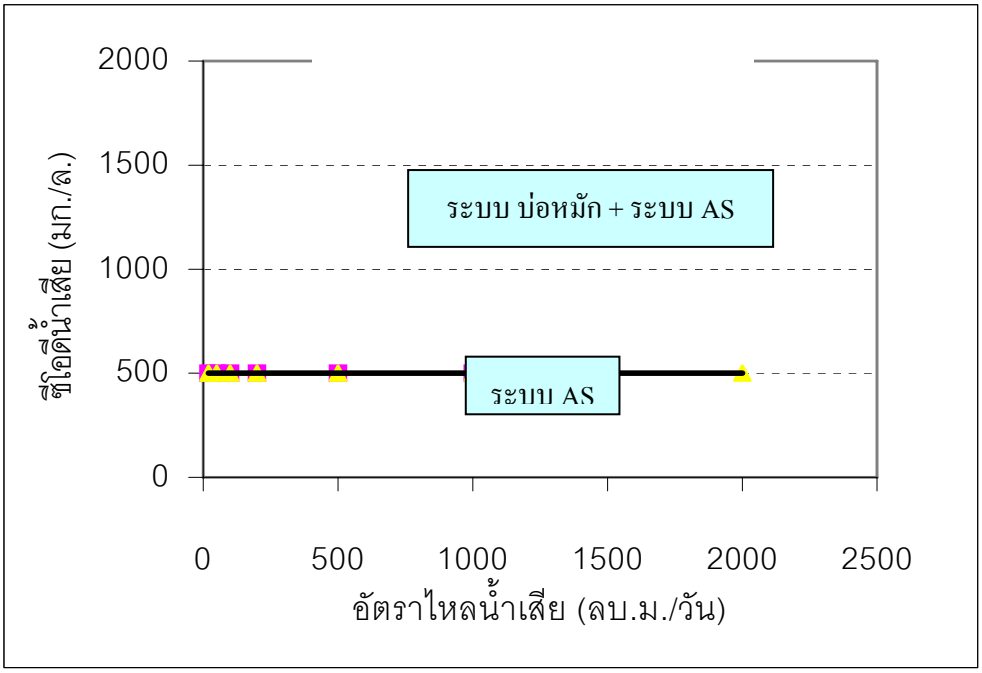
5.1.2 รายละเอียดการเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศ

ในการเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้น ผู้ออกแบบจะเลือกใช้ระบบที่เหมาะสมระบบใดนั้น ขึ้นอยู่กับค่าอัตราการไหล ค่าซีโอดีของน้ำเสีย และค่าราคาที่ดิน

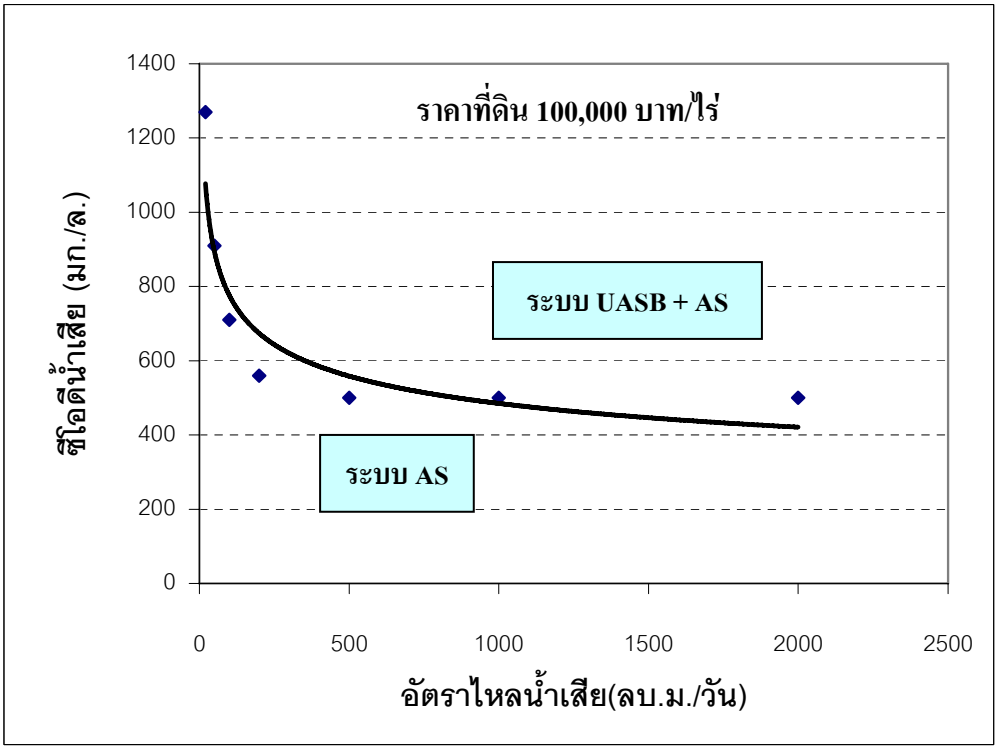
รูปที่ 5.5 ถึงรูปที่ 5.13 เป็นรูปภาพแสดงการเลือกใช้ระบบบำบัดที่เหมาะสมตามค่าอัตราการไหล และค่าซีโอดีของน้ำเสีย ซึ่งในแต่ละรูปจะมีจุดที่แตกต่างกันในเรื่องของสถานที่ตั้งของระบบบำบัดน้ำเสีย หมายถึง ราคาที่ดินของแต่ละสถานที่ของแต่ละโรงงานจะมีค่าไม่เท่ากัน ในการประเมินความเหมาะสมในการนำเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศมาใช้จึงแบ่งออกตามราคาที่ดินเป็น 6 ราคา คือ 100,000 500,000 1,000,000 2,000,000 4,000,000 และ 8,000,000 บาท/ไร่

จากการประเมินความเหมาะสมในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อม พบว่าเมื่อค่าซีโอดีของน้ำเสียมีค่ามากกว่า 500 มก./ล. ขึ้นไป การเลือกใช้ระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศร่วมกับระบบเอเอสเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยเหมาะสมกว่าระบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบเอเอส และระบบเอเอสเอง ที่ราคาที่ดินมีมูลค่าไม่เกิน 400,000 บาท/ไร่ ดังรูปที่ 5.5

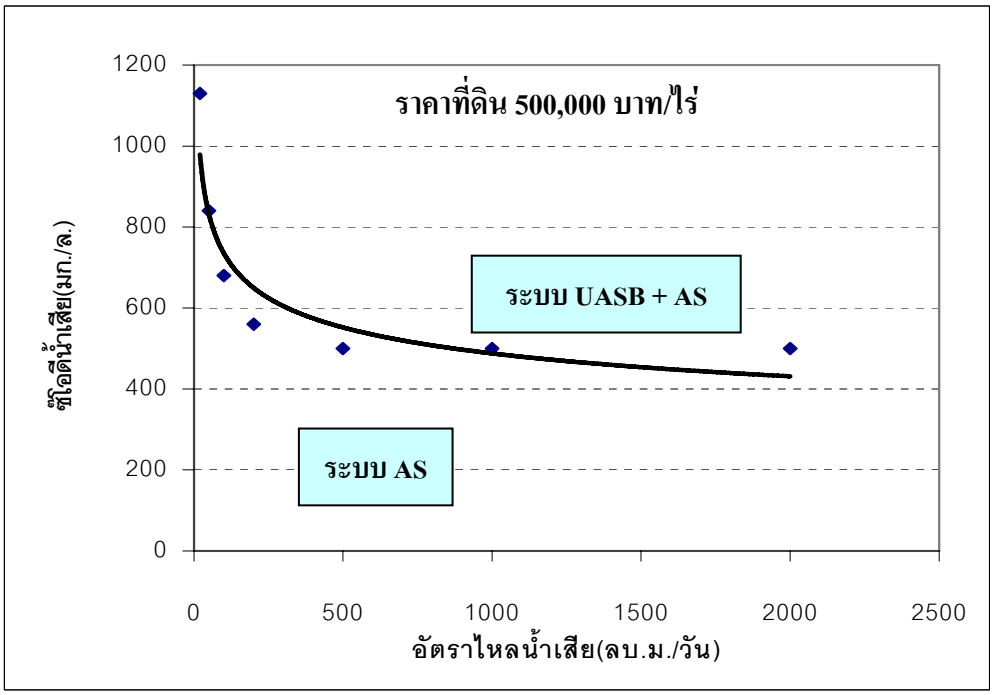
ในกรณีที่โรงงานมีพื้นที่ไม่เพียงพอที่จะทำการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ หรือไม่ต้องการใช้ระบบบำบัดแบบบ่อหมักเนื่องจาก ปัญหาในเรื่องทัศนียภาพและกลิ่นของระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศ โรงงานมีทางเลือกในการประเมินความเหมาะสมในการเลือกใช้ระบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบเอเอส หรือระบบเอเอส ที่ราคาที่ดินต่างๆที่มีมูลค่าไม่เกิน 4,000,000 บาท/ไร่ ได้โดยดูได้จากรูปที่ 5.5 ถึงรูปที่ 5.13



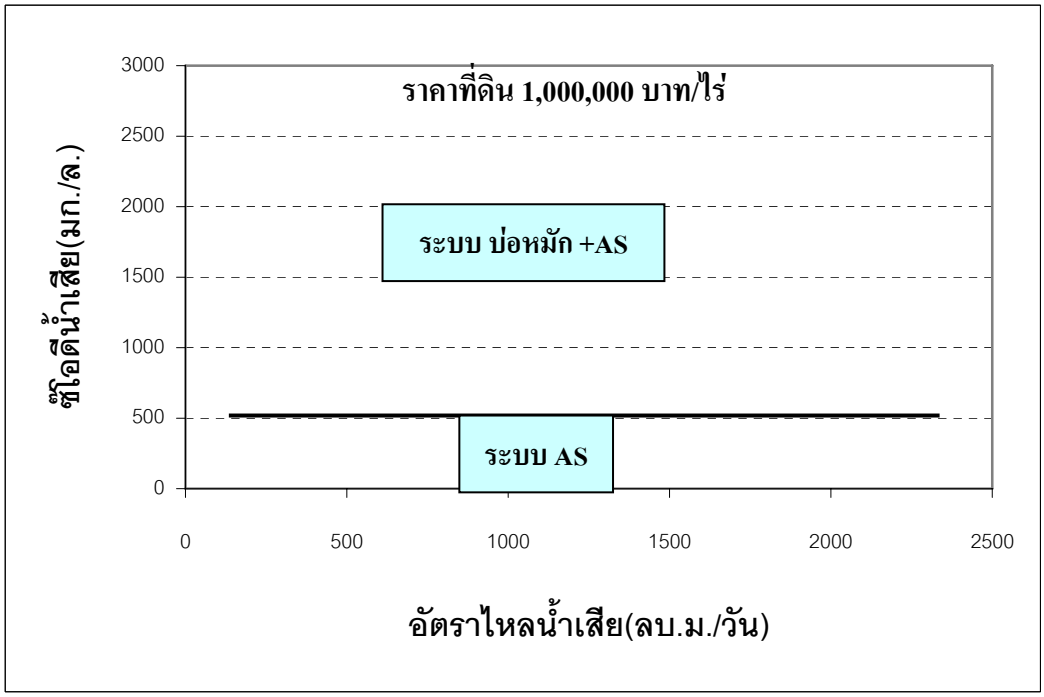
รูปที่ 5.5 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย
ระหว่างระบบ AS และ ระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศร่วมกับระบบ AS ที่ราคาที่ดิน 100,000 บาท/ไร่



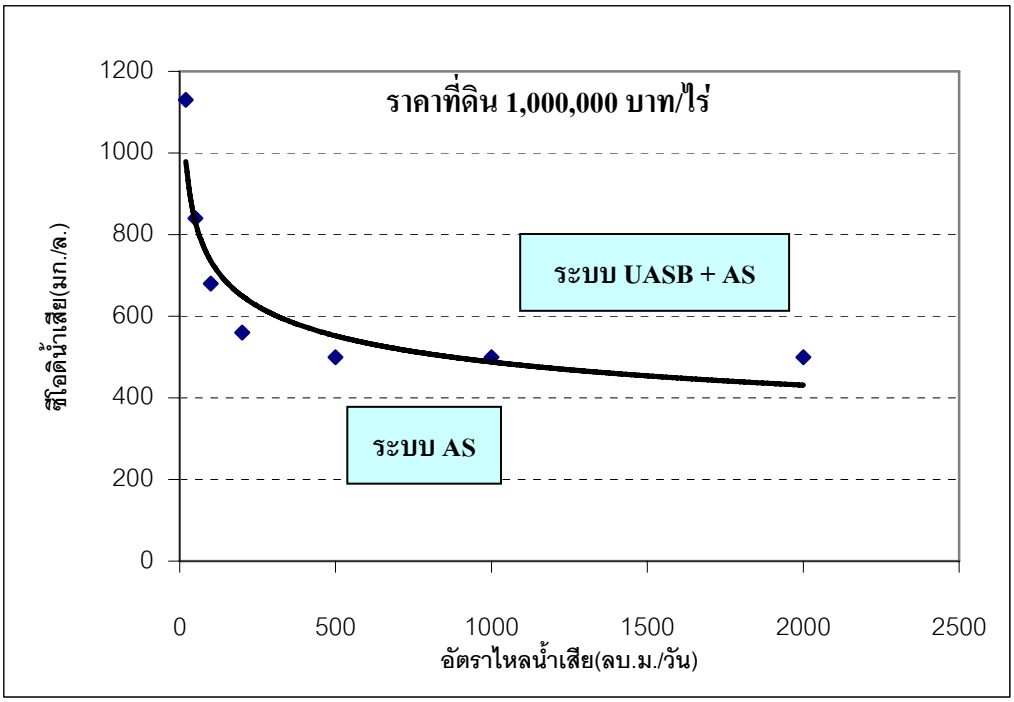
รูปที่ 5.6 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย
ในกรณีราคาที่ดิน 100,000 บาท/ไร่ ระหว่างระบบ AS และ ระบบ UASB + AS



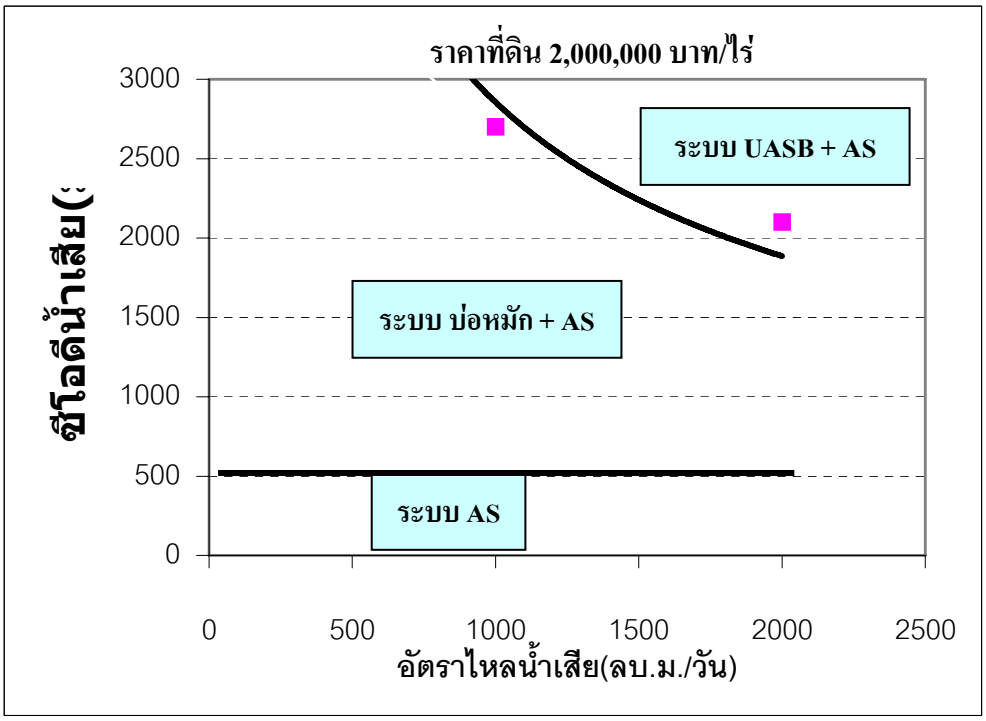
รูปที่ 5.7 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย
ในกรณีราคาที่ดิน 500,000 บาท/ไร่ ระหว่างระบบ AS และ ระบบ UASB + AS



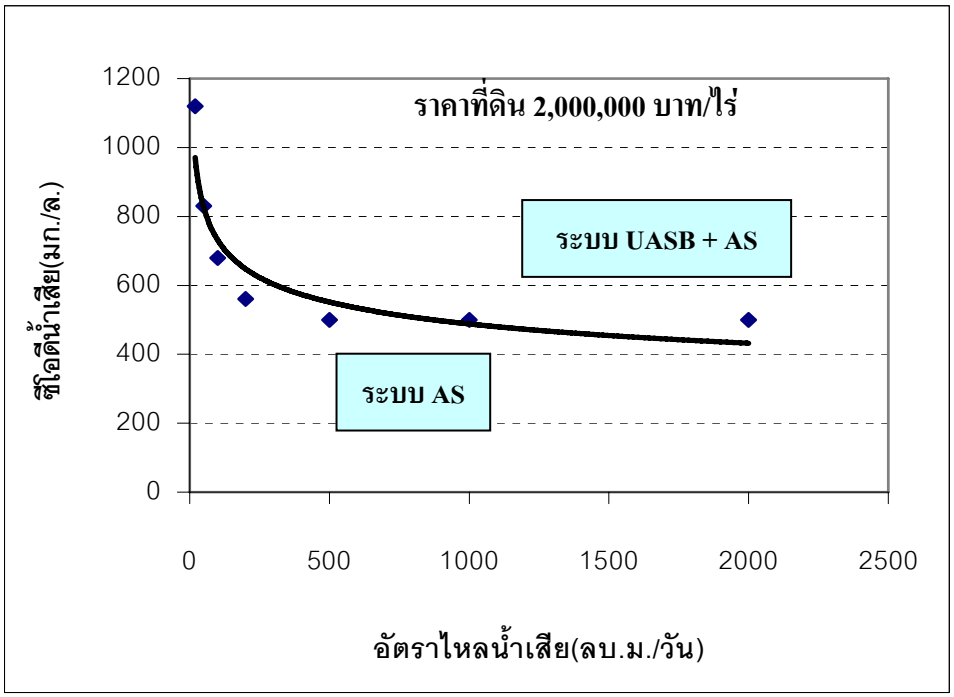
รูปที่ 5.8ก ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย
ในกรณีราคาที่ดิน 1,000,000 บาท/ไร่



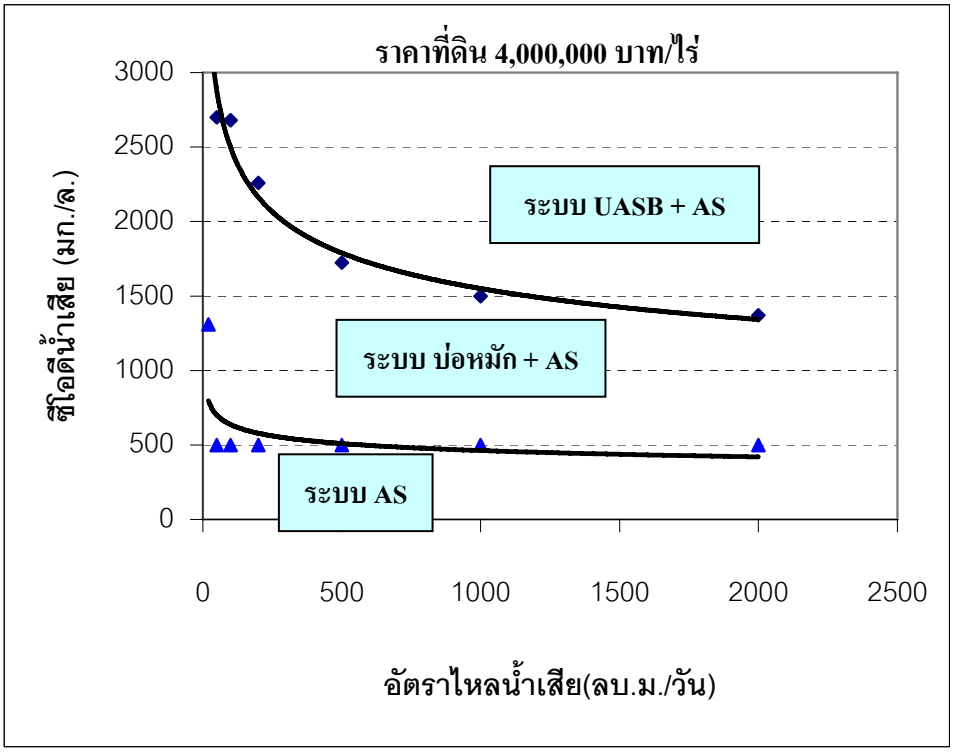
รูปที่ 5.8ข ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 1,000,000 บาท/ไร่ ระหว่างระบบ AS และ ระบบ UASB + AS



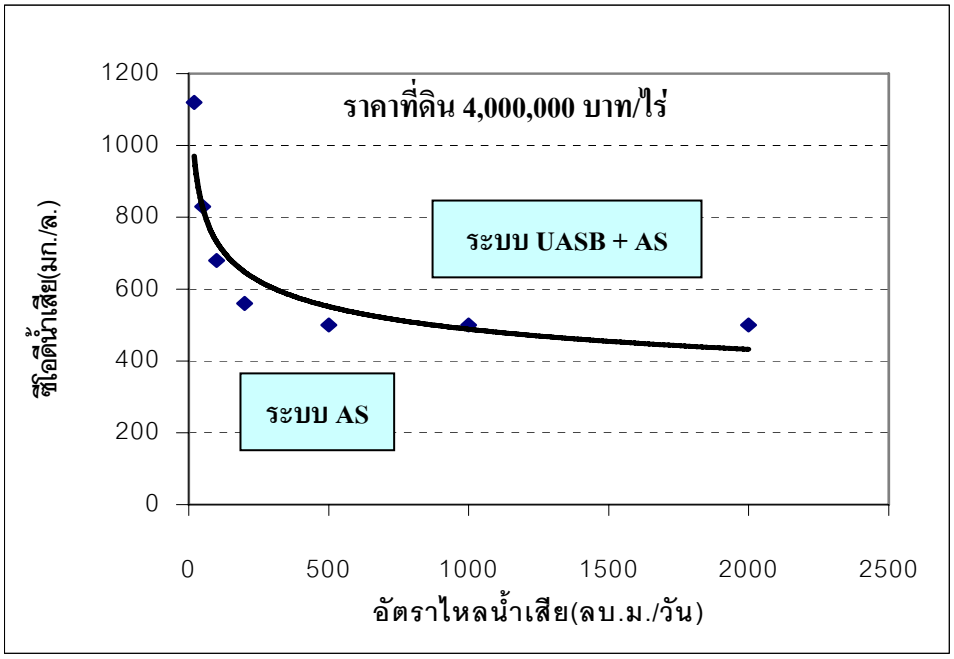
รูปที่ 5.9ก ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 2,000,000 บาท/ไร่



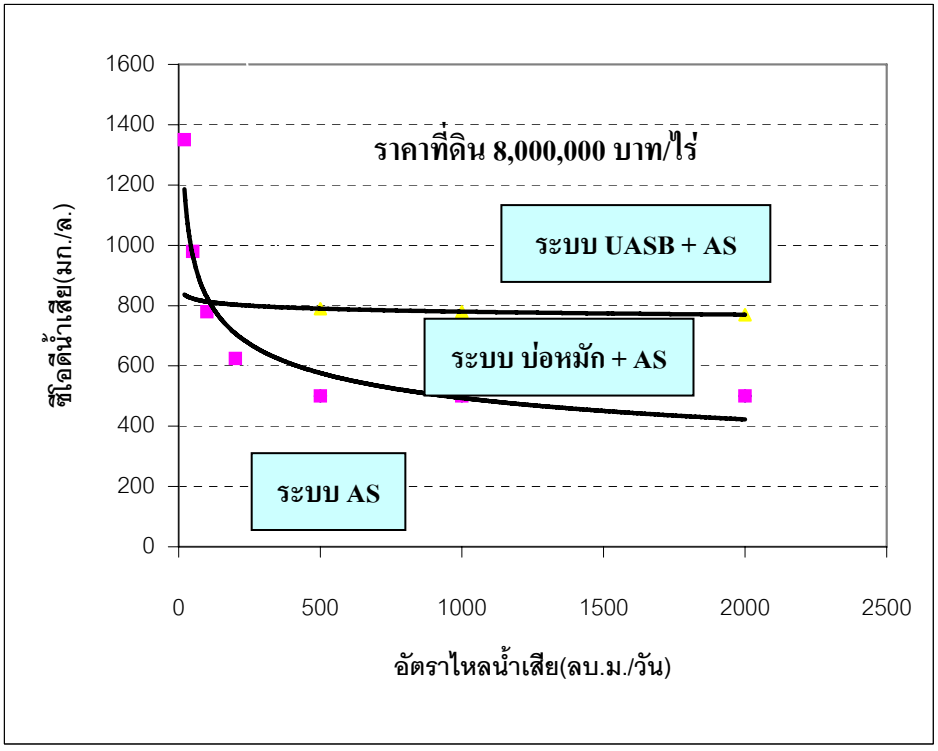
รูปที่ 5.9ข ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 2,000,000 บาท/ไร่ ระหว่างระบบ AS และ ระบบ UASB + AS



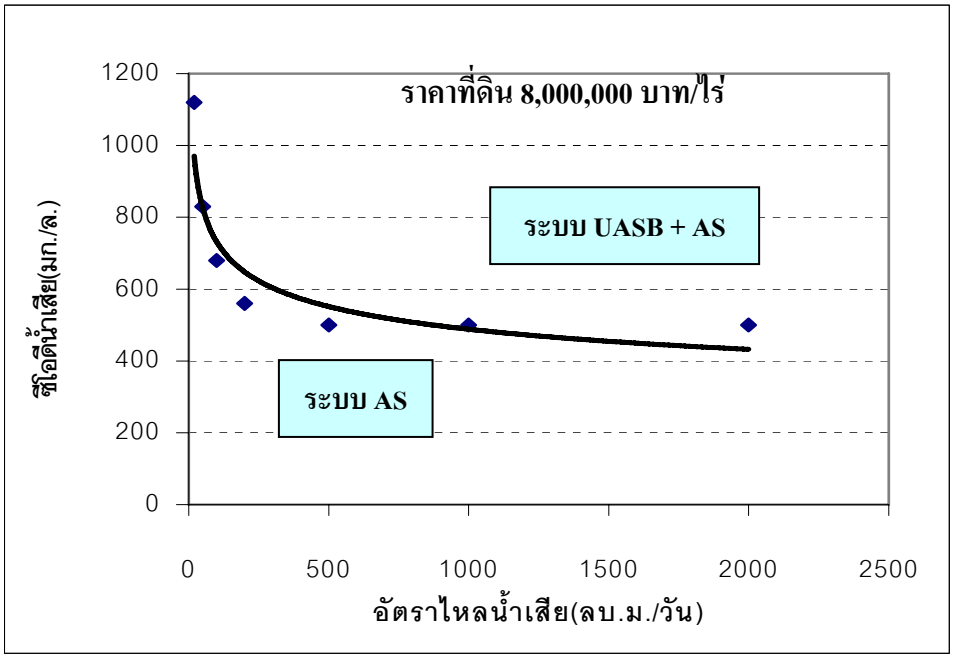
รูปที่ 5.10 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 4,000,000 บาท/ไร่



รูปที่ 5.11 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ระหว่างระบบยูเอเอสบีและระบบเอเอส ในกรณีราคาที่ดิน 4,000,000 บาท/ไร่



รูปที่ 5.12 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 8,000,000 บาท/ไร่



รูปที่ 5.13 ความเหมาะสมของในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรณีราคาที่ดิน 8,000,000 บาท/ไร่ ระหว่างระบบ AS และ ระบบ UASB + AS

จากการประเมินความเหมาะสมในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อม พบว่าเมื่อราคาที่ดินบริเวณที่จะก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียมีมูลค่าสูงขึ้น การเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบเอเอสจะมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากขึ้นเรื่อยๆ ความเหมาะสมที่จะเลือกใช้ระบบบ่อหมักร่วมกับระบบเอเอสเป็นระบบบำบัดน้ำเสียจะมีความเหมาะสมน้อยลง เนื่องจากบ่อหมักต้องการพื้นที่จำนวนมากในการก่อสร้าง ทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนก่อสร้างบ่อหมักจะสูงขึ้น

สำหรับโรงงานที่มีราคาที่ดินไม่สูงนัก โดยมีราคาต่ำกว่า 2,000,000 บาท/ไร่ ระบบบำบัดที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีสูงกว่า 500 มก./ล. ได้แก่ ระบบบ่อหมักร่วมกับระบบ AS ส่วนโรงงานที่มีน้ำเสียมีค่าซีโอดีต่ำกว่า 500 มก./ล. ระบบที่เหมาะสมจะเป็นระบบเอเอสหรือระบบใช้อากาศอื่นๆ

จากรายละเอียดการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียข้างต้น สามารถสรุปเป็นแนวทางสำหรับผู้ออกแบบเพื่อให้สามารถพิจารณาเลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ข้อแนะนำในการเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดเบื้องต้น

ประเภทโรงงาน	ซีโอดี	ปริมาณน้ำเสีย	ราคาที่ดิน (บาท/ไร่)		
	มก./ล.	ลบ.ม./วัน	<2,000,000	<4,000,000	<8,000,000
ฟอกย้อมด้ายหรือผ้าถัก	< 500	-	AS	AS	AS
ฟอกย้อมด้ายหรือผ้าถัก	500 -1000	< 500	บ่อหมัก	บ่อหมัก	AS / บ่อหมัก
		>500	บ่อหมัก	บ่อหมัก	บ่อหมัก
ฟอกย้อมผ้าทอ (บาง)	1000 -2000	<1000	บ่อหมัก	บ่อหมัก	UASB
		>1000	บ่อหมัก	UASB / บ่อหมัก	UASB
ฟอกย้อมผ้าทอ (หนา)	2000-3000	<1000	บ่อหมัก	UASB/บ่อหมัก	UASB
		>1000	UASB/บ่อหมัก	UASB	UASB

หมายเหตุ

- AS หมายถึง แนะนำให้ใช้ระบบใช้อากาศ
- UASB หมายถึง แนะนำให้ใช้ระบบยูเอเอสบีตามด้วยระบบใช้อากาศ
- บ่อหมัก หมายถึง แนะนำให้ใช้ระบบบ่อหมักตามด้วยระบบใช้อากาศ
- UASB/บ่อหมัก หมายถึง จะใช้ระบบ UASB หรือ บ่อหมักขึ้นอยู่กับค่าซีโอดีและปริมาณน้ำเสีย

5.1.3 ตัวอย่างการเลือกใช้ระบบไม่ใช้อากาศ

กรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม T1

โรงงานมีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้น 2500 ลบ.ม./วัน และมีค่าซีโอดีของน้ำเสีย 2000 มก./ล. และราคาที่ดินของโรงงานมีมูลค่าประมาณ 4,000,000 บาท/ไร่

ถ้าประเมินจากรูปที่ 5.7.1 พบว่า โรงงาน T1 มีความเหมาะสมที่จะเลือกใช้ระบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบเอเอสมากที่สุด เป็นต้น

<u>กรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม T2</u>
โรงงานมีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้น 3000 ลบ.ม./วัน และมีค่าซีโอดีของน้ำเสีย 450 มก./ล. และราคาที่ดินของโรงงานมีมูลค่าประมาณ 4,000,000 บาท/ไร่

ถ้าประเมินจากรูปที่ 5.10 พบว่า โรงงาน T2 มีความเหมาะสมที่จะเลือกใช้ระบบเอเอสมากที่สุด เนื่องจากน้ำเสียของโรงงานมีค่าซีโอดีต่ำกว่า 500 มก./ล.

<u>กรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม T3</u>
โรงงานมีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้น 3000 ลบ.ม./วัน และมีค่าซีโอดีของน้ำเสีย 1400 มก./ล. และราคาที่ดินของโรงงานมีมูลค่าประมาณ 4,000,000 บาท/ไร่

ถ้าประเมินจากรูปที่ 5.10 พบว่า โรงงาน T3 มีความเหมาะสมที่จะเลือกใช้ระบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบเอเอสหรือเลือกใช้ระบบบ่อหมักร่วมกับระบบเอเอสก็ได้ เนื่องจากเมื่อดูจากรูปจะเห็นได้ว่ามีความเหมาะสมและความคุ้มค่าในการลงทุนใกล้เคียงกันในเรื่องของทางเศรษฐศาสตร์ จุดต่อไปที่ต้องพิจารณา ได้แก่ ความยาก- ง่ายในการเดินระบบ ความต้องการพื้นที่ที่ใช้ในการก่อสร้างระบบฯ ทัศนียภาพ เป็นต้น

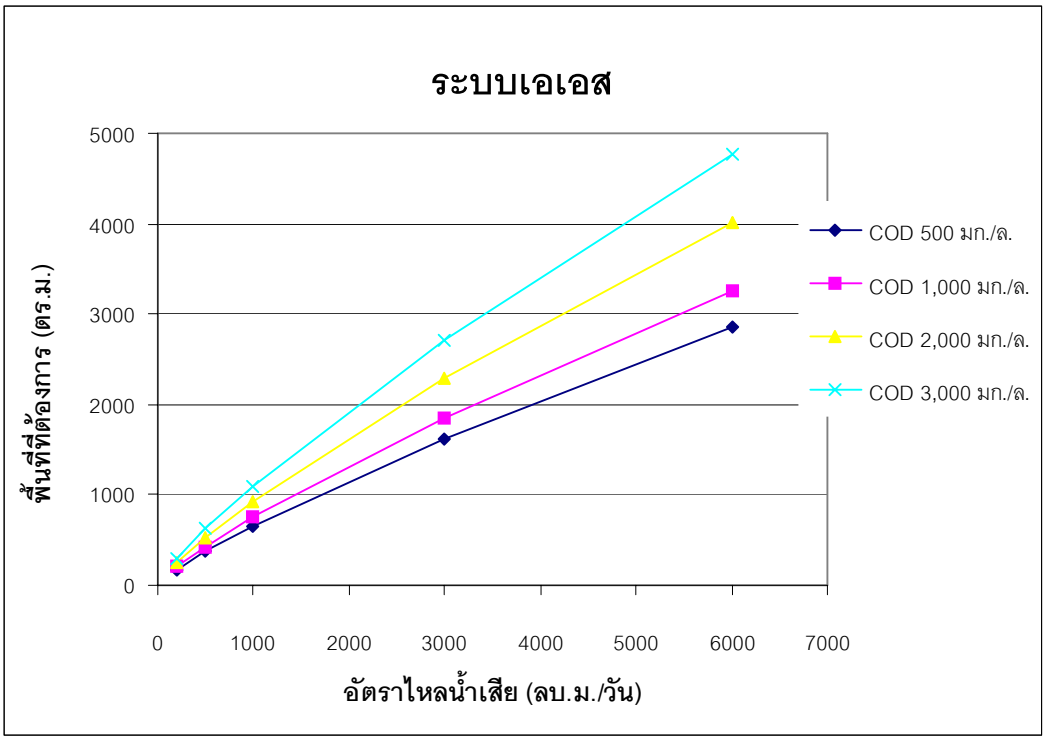
5.2 รายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสีย

ในข้อที่ 5.1 เราทราบแล้วว่าปริมาณและลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานต่างๆ นั้น ทางบริษัทที่ปรึกษามีข้อแนะนำอย่างไรบ้างว่าควรจะเลือกใช้ระบบใดที่มีความเหมาะสม ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงรายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสียที่แนะนำ

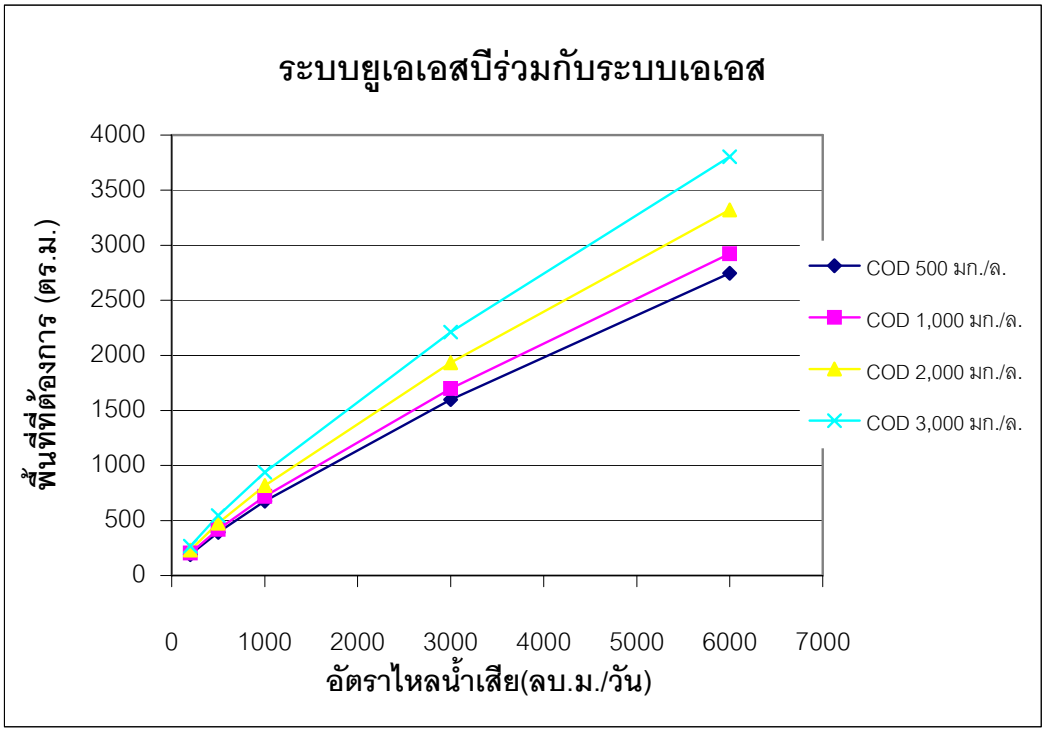
5.2.1 พื้นที่ที่ต้องการในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

การก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียนั้นต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างระบบแตกต่างกันออกไปในแต่ละระบบ โดยทั่วไประบบที่ต้องการพื้นที่น้อยมักจะมีค่าลงทุนก่อสร้างระบบสูงกว่าระบบที่ต้องการพื้นที่มากกว่า เนื่องจากอัตราในการบำบัดน้ำเสียมีค่าแตกต่างกัน ความ

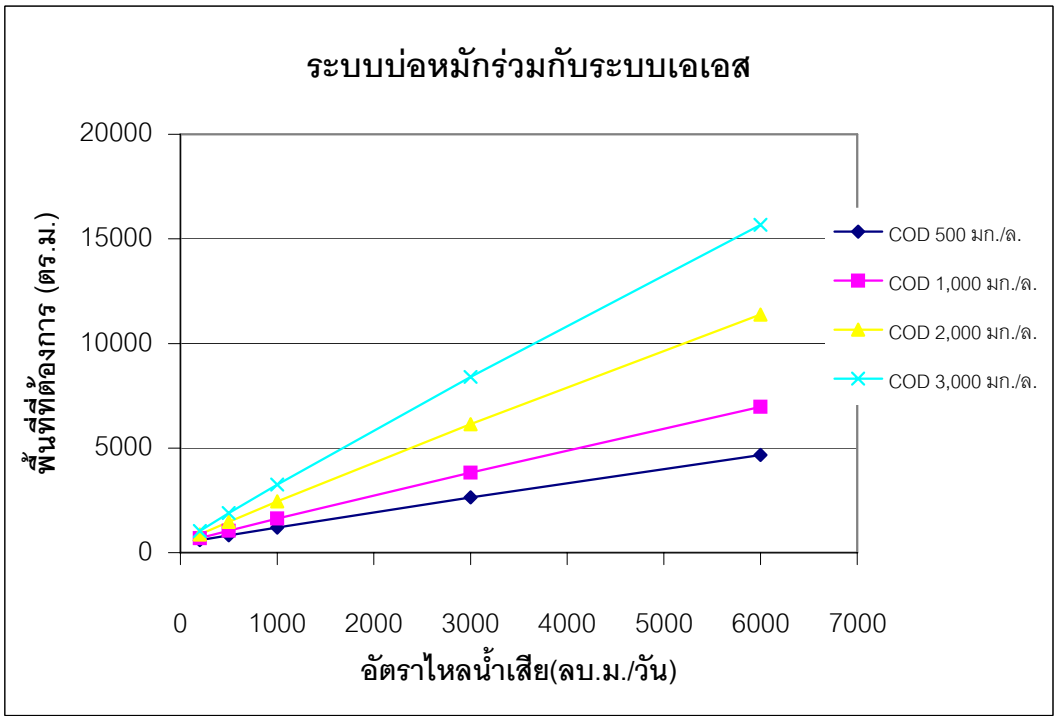
ต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.14 ถึงรูปที่ 5.16 ตามลำดับ



รูปที่ 5.14 พื้นที่ที่ต้องการในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส



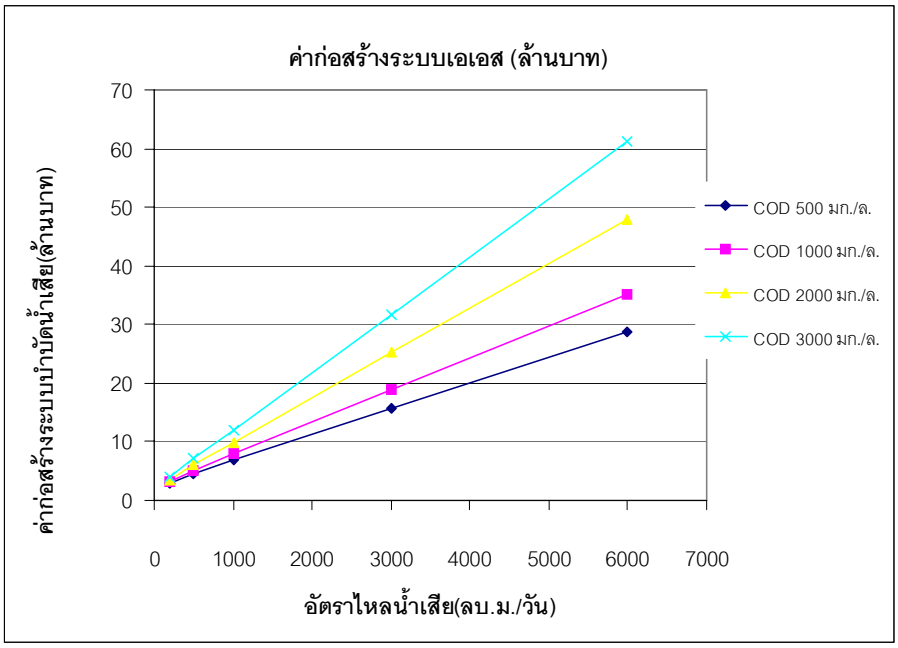
รูปที่ 5.15 พื้นที่ที่ต้องการในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีร่วมกับเอเอส



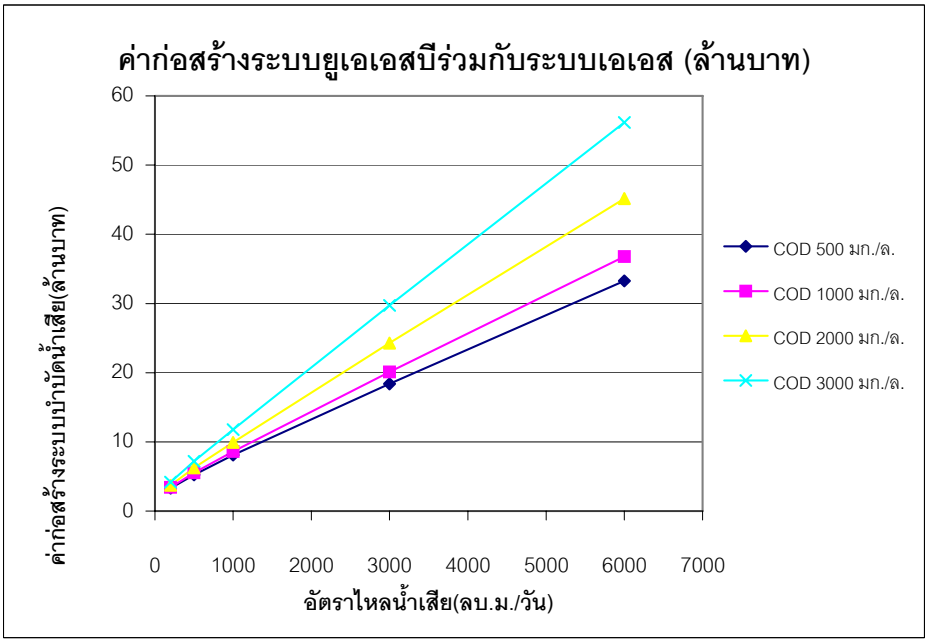
รูปที่ 5.16 พื้นที่ที่ต้องการในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักร่วมกับเอเอส

5.2.2 ราคาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

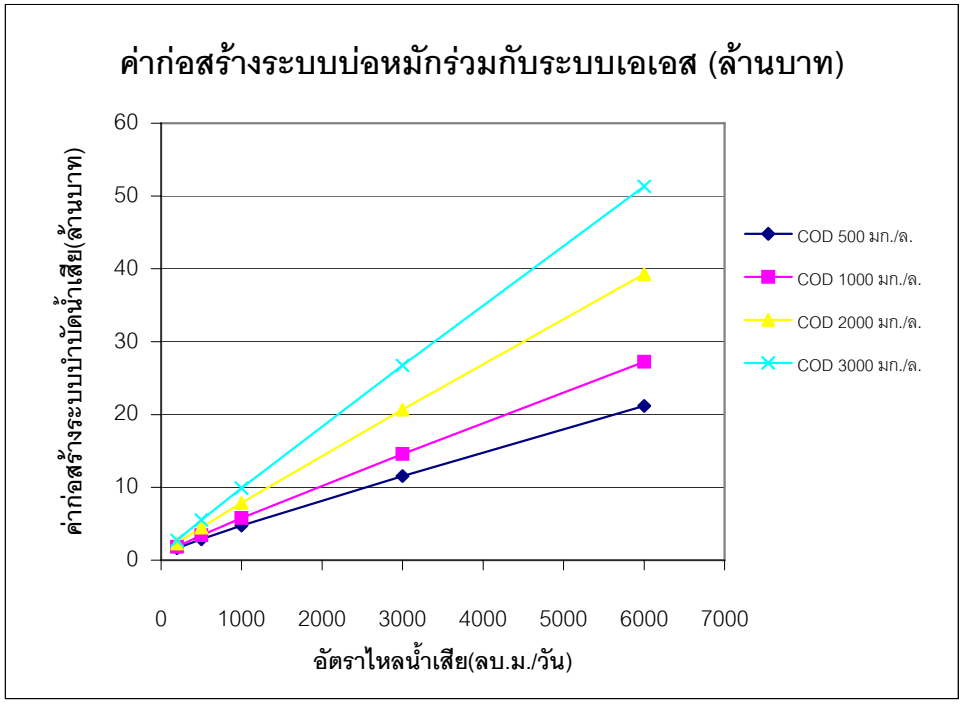
ราคาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.17 ถึงรูปที่ 5.19 ตามลำดับ



รูปที่ 5.17 ราคาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส



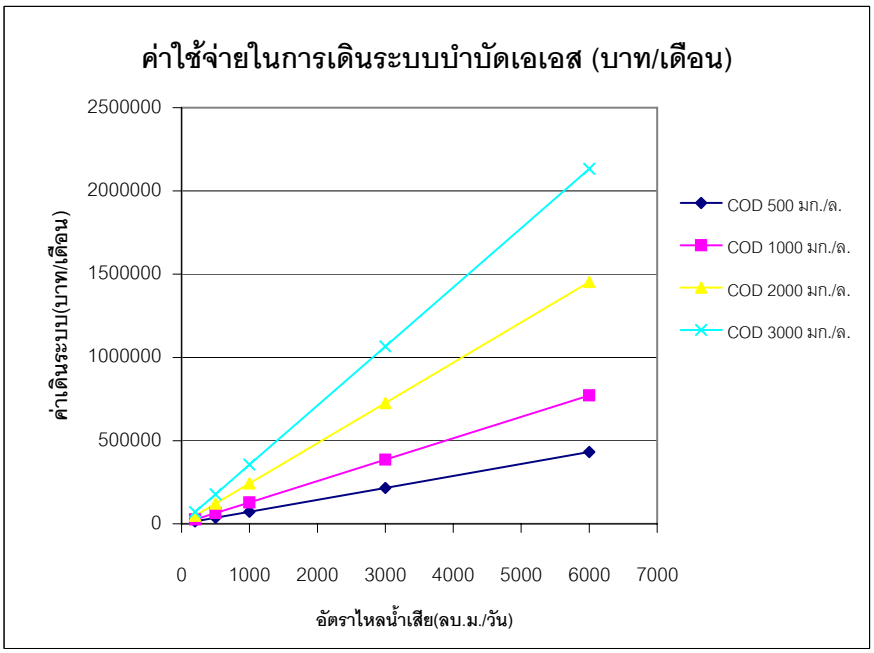
รูปที่ 5.18 ราคาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบเอเอส



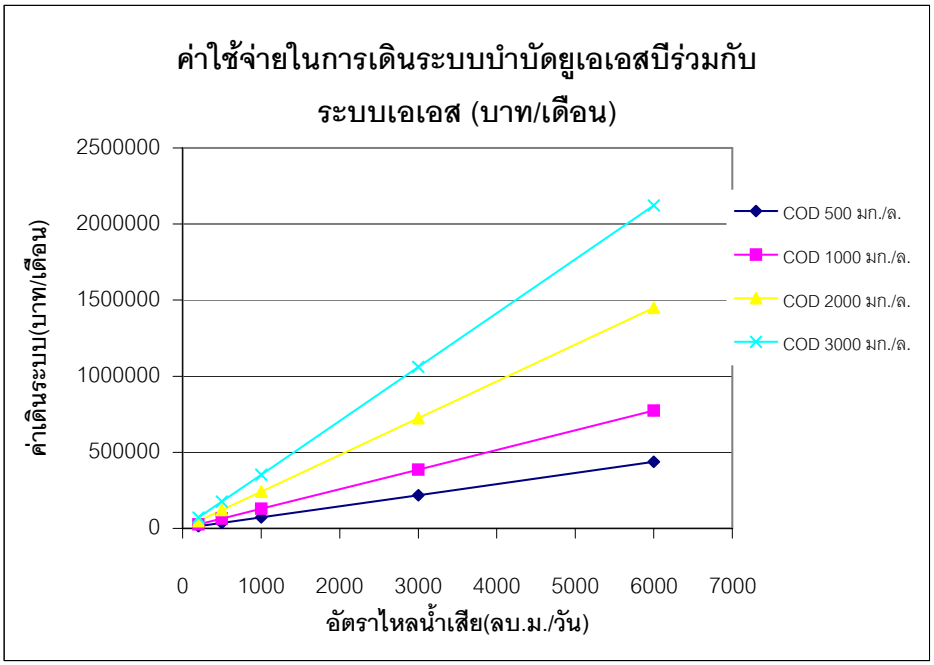
รูปที่ 5.19 ราคาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักร่วมกับระบบเอเอส

5.2.3 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย

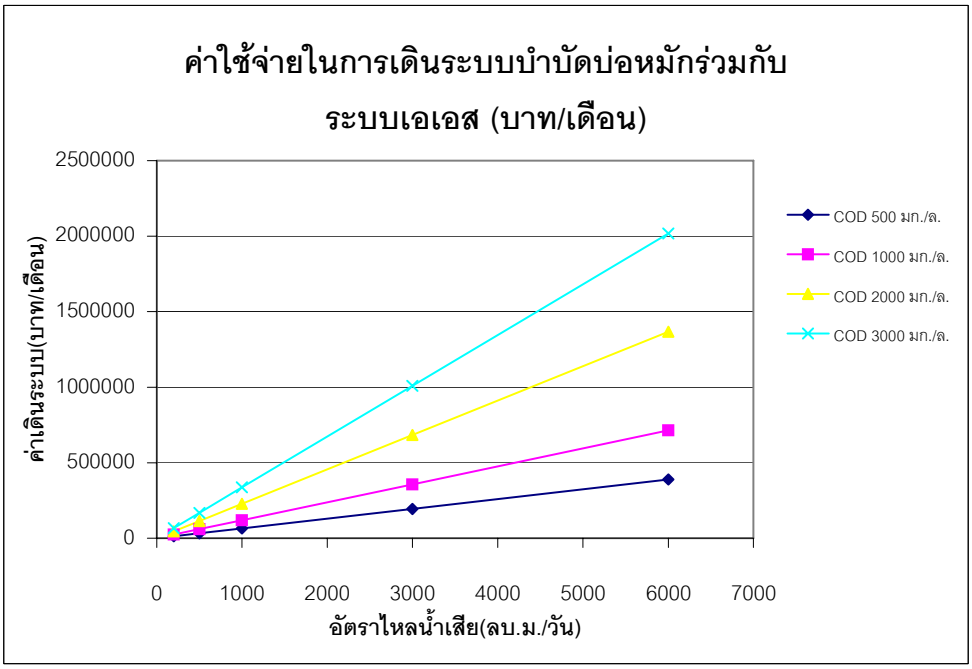
ราคาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.20 ถึงรูปที่ 5.22 ตามลำดับ



รูปที่ 5.20 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (เดินระบบ 30 วัน/เดือน)



รูปที่ 5.21 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบเอเอส (เดินระบบ 30 วัน/เดือน)



รูปที่ 5.22 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักร่วมกับระบบเอเอส (เดินระบบ 30 วัน/เดือน)

5.2.4 ตัวอย่างการใช้งาน

ในการใช้งานตามข้อแนะนำนั้นสามารถทำได้โดยโดยนำค่าอัตราไหลน้ำเสียและปริมาณน้ำเสีย รวมถึงราคาที่ดินของโรงงานมาดูรูป ดังกรณีตัวอย่าง

<u>กรณีตัวอย่างโรงงาน T4</u>

โรงงาน T4 มีปริมาณและลักษณะน้ำเสีย

- ปริมาณน้ำเสีย 1500 ลบ.ม./วัน
- ค่าซีโอดีน้ำเสีย 650 มก./ล.

และราคาที่ดินบริเวณที่โรงงาน T4 มีมูลค่า 8,000,000 บาท/ไร่

อันดับแรกต้องเลือกระบบบำบัดที่เหมาะสมกับโรงงาน T4 จากราคาที่ดินบริเวณโรงงาน 8,000,000 บาท/ไร่ สามารถดูได้จากรูปที่ 5.10 พบว่าระบบที่เหมาะสมกับโรงงาน คือ ระบบบ่อหมักร่วมกับระบบเอเอส จากนั้นเราสามารถดูรายละเอียดข้อมูลอื่นๆ ได้เพิ่มเติม ได้แก่

- ขนาดพื้นที่ที่ต้องการในการก่อสร้างระบบ ดูได้จากรูปที่ 5.15 จะได้ว่าโรงงานต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างระบบประมาณ 2,000 – 2,500 ตร.ม.
- ราคาค่าก่อสร้างระบบ ดูได้จากรูปที่ 5.18 จะพบว่าราคาค่าก่อสร้างระบบบ่อหมักร่วมกับระบบเอเอสมีค่าลงทุนประมาณ 7-8 ล้านบาท
- ค่าเดินระบบบำบัดน้ำเสียในแต่ละเดือน ดูได้จากรูปที่ 5.18 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียในแต่ละเดือนมีค่าประมาณ 100,000 –150,000 บาท/เดือน

บทที่ 6
ตัวอย่างการออกแบบและประมาณค่าใช้จ่ายระบบบำบัดน้ำเสีย

ในบทนี้จะเป็นแสดงตัวอย่างการออกแบบระบบบัดน้ำเสีย 3 ทางเลือกพื้นฐานเพื่อเป็นตัวอย่างในการพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไม่ใช้อากาศกับระบบใช้อากาศในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบจะใช้เกณฑ์ในการออกแบบจากข้อมูลในบทที่ 4 โดยระบบบำบัดที่เลือกใช้พิจารณาคือ

- ทางเลือกที่ 1 ระบบเอเอส
- ทางเลือกที่ 2 ระบบยูเอเอสบี + ระบบเอเอส
- ทางเลือกที่ 3 ระบบบ่อหมัก + ระบบเอเอส

นอกจากนี้จะเปรียบเทียบระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินของทั้ง 3 ระบบ ทั้งนี้เพื่อให้เห็นถึงประโยชน์ของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศนำมาใช้ในการกำจัดสลัดจ์ โดยรายละเอียดของระบบต่างๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้

6.1 ระบบเอเอส (ทางเลือกที่ 1)

6.1.1 ตัวอย่างการออกแบบระบบเอเอส

ตัวอย่างรายการคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบฯ ของทางเลือกที่ 1 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.1 และตารางที่ 6.2 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียของทางเลือกที่ 1

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 1 (อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล)

รายการ		หน่วย
ข้อมูลออกแบบ		
อัตราไหลน้ำเสียเข้าระบบ	1000	ลบ.ม./วัน
ค่า ซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ	3000	มก./ล.
ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งจากระบบ	120	มก./ล.
ถังปรับสภาพน้ำเสีย (EQ TANK)		
อัตราไหลน้ำเสียเข้าระบบ	1,000	ลบ.ม./วัน
กำหนดเวลากักน้ำของถัง EQ	8	ชม.
ดังนั้นจะได้ปริมาตรถัง EQ	333	ลบ.ม.
ACTIVATED SLUDGE		
<u>1 ขนาดถังเติมอากาศ</u>		
อัตราไหลออกแบบเฉลี่ย	1000	ลบ.เมตร/วัน
ซีโอดีออกแบบ	3,000	มก./ล.
ดังนั้น ภาระซีโอดีเฉลี่ย	3000	กก./วัน
จากสมการ X*t = [Y(So-S)]/[(1/SRT)+Kd]		
ให้ Y	0.50	ก./ก.
X	5000	มก./ล.
SRT	20.00	วัน
สมมติอุณหภูมิของน้ำ, T	40.00	°ซ
kd at 20°ซ	0.07	ต่อวัน
kd = kd(20 C)*1.04^(T-20)	0.15	ต่อวัน
So	3000	มก./ล.
S	120	มก./ล.
SS	200.00	มก./ล.
FSS	80.00	%
	160	มก./ล.

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 1 (อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล) ต่อ

รายการ		หน่วย
Xv*t = [Y(So-S)]/[(1/SRT)+Kd] =	7,080	68.87%
Xf*t = SRT*FSS =	3,200	31.13%
X*t	10,280	
HRT	2.06	วัน
	49.3	ชม.
จะได้ปริมาตรถังเติมอากาศ	2,056	ลบ.ม.
2 ขนาดของระบบเติมอากาศแบบ Surface Aerator		
จากสลัดจ์ต้องทิ้ง	12.3	%
เนื่องจาก ภาระซีโอดีที่ถูกกำจัดเฉลี่ย	2,880	กก./วัน
ดังนั้นสลัดจ์ที่ต้องทิ้ง (MLVSS)	354	กก./วัน
ดังนั้นสลัดจ์ที่ต้องทิ้ง (MLSS)	514	กก./วัน
ภาระซีโอดีเฉลี่ย	2,880	กก./วัน
เนื่องจาก TKN ของน้ำเสีย	50.00	มก/ล
ดังนั้น NOD load	150	กก./วัน
และ COD load รวมกับ NOD load	3,030	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนของตะกอนทิ้ง	503	กก./วัน
สมมติให้ความต้องการออกซิเจน	120.00	%
ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการทั้งหมด	3033	กก./วัน
สมมติว่า Surface Aerator ให้ออกซิเจนได้	1.00	กก/กิโลวัตต์-ชม.
ต้องการ Surface Aerator	120	กิโลวัตต์
3 ขนาดถังตกตะกอน		
อัตราไหลออกแบบ	41.67	ลบ.เมตร/ชม.
คำนวณหาอัตราน้ำล้นผิว	0.50	ม./ชม.
พื้นที่ผิวน้ำของถังตกตะกอน	83.3	ตร.ม.

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 1 (อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล) ต่อ

รายการ		หน่วย
จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง	10.3	เมตร
การประมาณราคางานโยธา		
ถัง EQ		
จากปริมาตรถัง EQ	333	ลบ.ม.
กำหนดความลึกน้ำถัง EQ	3.00	เมตร
พื้นที่หน้าตัดถัง EQ	111	ตร.ม.
ความกว้างของถัง EQ	10.5	เมตร
ความยาวของถัง EQ	10.5	เมตร
Free board ถัง EQ	0.50	เมตร
ถัง EQ ลึกทั้งหมด	3.5	เมตร
กำหนดความหนาคสล.	0.30	เมตร
จะได้ปริมาตรคสล.ถัง EQ	77.6	ลบ.ม.
ราคา คสล.	6,600	บาท/ลบ.ม.
ราคาค่าก่อสร้างถัง EQ (ไม่รวมเสาเข็ม)	512194	บาท
ค่าเสาเข็มฐานราก	2,000	บาท/ตร.ม.
ราคาฐานรากเสาเข็ม	222222	บาท
รวมราคาค่าก่อสร้างถัง EQ	734,417	บาท
ถังเติมอากาศ		
จากปริมาตรถังเติมอากาศ	2056	ลบ.ม.
กำหนดความลึกน้ำถังเติมอากาศ	3.00	เมตร
จะได้พื้นที่หน้าตัดถังเติมอากาศ	685	ตร.ม.
ความกว้างของถังเติมอากาศ	26.2	เมตร
ความยาวของถังเติมอากาศ	26.2	เมตร
Free board ถังเติมอากาศ	0.50	เมตร
ถังเติมอากาศลึกทั้งหมด	3.5	เมตร

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 1 (อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล) ต่อ

รายการ		หน่วย
กำหนดความหนาคสล.	0.30	เมตร
จะได้ปริมาตรคสล.ถังเติมอากาศ	315.6	ลบ.ม.
ราคา คสล.	6,600	บาท/ลบ.ม.
ราคาค่าก่อสร้างถังเติมอากาศ (ไม่รวมเสาเข็ม)	2,082,704	บาท
ค่าเสาเข็มฐานราก	2,000	บาท/ตร.ม.
ราคาฐานรากเสาเข็ม	1,370,719	บาท
รวมราคาค่าก่อสร้างถังเติมอากาศ	3,453,422	บาท
ถังตกตะกอน		
จากพื้นที่ผิวน้ำของถังตกตะกอน	83.3	ตร.ม.
จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางถังตกตะกอน	10.30	เมตร
กำหนดความลึกของถังตกตะกอน	3.00	เมตร
ความจุน้ำถังตกตะกอน	*250.00*	ลบ.ม.
Free board	0.50	เมตร
ถังตกตะกอนลึกทั้งหมด	3.50	เมตร
ความหนาคสล.	0.30	เมตร
จะได้ปริมาตรคสล. ถังตกตะกอน	59	ลบ.ม.
ราคา คสล.	6,600	บาท/ลบ.ม.
ราคาค่าก่อสร้างถังตกตะกอน (ไม่รวมเสาเข็ม)	389,555	บาท
ค่าเสาเข็มฐานราก	2,000	บาท/ตร.ม.
ราคาฐานรากเสาเข็ม	166,667	บาท
รวมราคาค่าก่อสร้างถังตกตะกอน	556,222	บาท
รวมราคางานโยธา	4,744,061	บาท
ระบบเติมอากาศ		
ภาระซีโอดี	2,880	กก./วัน
NOD load	150	กก./วัน

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 1 (อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล) ต่อ

รายการ		หน่วย
ความต้องการออกซิเจนของตะกอนทิ้ง	503	กก./วัน
สรุปความต้องการออกซิเจน	2,527	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนสำหรับออกแบบ	3,033	กกO2./วัน
	126.36	กกO2./ชม
Surface Aerator ให้ออกซิเจน	1.00	กกO2/กิโลวัตต์-ชม
กำลังเครื่องเติมอากาศ	126	กิโลวัตต์
เครื่องสูบน้ำจากบ่อหมักไปถังเติมอากาศ		
อัตราการไหล	1,000	ลบ.ม/วัน
แรงดัน	10	เมตร
กำลังเครื่อง	1.62	กิโลวัตต์
	2.17	แรงม้า
เครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน		
อัตราการไหล	1,000	ลบ.ม/วัน
แรงดัน	10	เมตร
กำลังเครื่อง	1.62	กิโลวัตต์
	2.17	แรงม้า
รวมจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในระบบ	132.83	กิโลวัตต์
การประมาณราคาเครื่องจักร		
ขนาดเครื่องเติมอากาศ	126	กิโลวัตต์
ราคาระบบเติมอากาศ	824,190.30	บาท
ขนาดเครื่องสูบน้ำบ่อหมัก	2.17	แรงม้า
ราคาเครื่องสูบน้ำบ่อหมักไปถังเติมอากาศ	24,599	บาท/เครื่อง
จำนวนเครื่องสูบน้ำ	2	เครื่อง
ราคาเครื่องสูบน้ำบ่อหมักไปถังเติมอากาศ	49,198	บาท

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 1 (อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล) ต่อ

รายการ		หน่วย
ขนาดเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน	2.17	แรงม้า
ราคาเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน	24,599	บาท/เครื่อง
จำนวนเครื่องสูบน้ำ	2	เครื่อง
ราคาเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน	49,198	บาท
เส้นผ่านศูนย์กลางถังตกตะกอน	10.3	เมตร
ราคาเครื่องกวาดตะกอน	298,821	บาท
รวมราคาเครื่องจักร	1,221,407	บาท
การประมาณราคาพื่ดิน		
ราคาที่ดิน	4,000,000	บาท/ไร่
พื้นที่ของ EQ	111	ตร.ม.
พื้นที่ของถังเติมอากาศ	685	ตร.ม.
พื้นที่ของถังตกตะกอน	83	ตร.ม.
รวมพื้นที่ระบบ AS	880	ตร.ม.
เผื่อพื้นที่ระบบ AS	125	% ของพื้นที่
ต้องการพื้นที่ในการก่อสร้าง	1101	ตร.ม.
รวมราคาค่าที่ดิน	2,753,600	บาท
การประมาณราคางานท่อและวาล์ว		
จากราคางานโยธา	4,744,061	บาท
ราคางานท่อและวาล์ว	20	% ของงานโยธา
ดังนั้น ราคางานท่อ	948,812.15	บาท
การประมาณราคางานเหล็กและค่าติดตั้งเครื่องจักร		
จากราคางานเครื่องจักร	1,221,407	บาท
ราคางานเหล็กและงานติดตั้งเครื่องจักร	30	% ของราคาเครื่องจักร
ดังนั้นราคางานเหล็กและงานติดตั้งเครื่องจักร	366,422.20	บาท

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 1 (อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล) ต่อ

รายการ		หน่วย
การประมาณราคางานไฟฟ้า		
จำนวนเครื่องจักรในระบบ	132.83	กิโลวัตต์
ราคางานไฟฟ้า	6,000	บาท/กิโลวัตต์
ดังนั้นราคางานไฟฟ้า	796,997	บาท
ค่า Start Up ระบบบำบัดน้ำเสีย		
ปริมาณเชื้อ Aerobic สำหรับ AS	10	% ของปริมาตรบ่อ
จากปริมาตรถังเติมอากาศ	2,056	ลบ.ม.
ต้องการเชื้อ Aerobic	205.61	ลบ.ม.
ค่าขนเชื้อ	400	บาท/ลบ.ม.
ค่าใช้จ่ายจัดหาเชื้อ Aerobic	82,243	บาท
รวมค่าใช้จ่ายในการ Start up ระบบ	82,243	บาท

ตารางที่ 6.2 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 1 (อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล)

รายการ		หน่วย
ค่าไฟฟ้าระบบเติมอากาศ		
ภาระซีโอดี	2,880	กก./วัน
NOD load	150	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนของตะกอนทิ้ง	503	กก./วัน
สรุปความต้องการออกซิเจน	2,527	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนสำหรับออกแบบ	3,033	กกO2./วัน
	126	กกO2./ชม
Surface Aerator ให้ออกซิเจน	1.00	กกO2/กิโลวัตต์-ชม
กำลังเครื่องเติมอากาศ	126	กิโลวัตต์
ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	2.50	บาท/กิโลวัตต์
ราคาค่าไฟฟ้า	7,582	บาท/วัน
ค่าไฟฟ้าเครื่องสูบน้ำจากEQ		

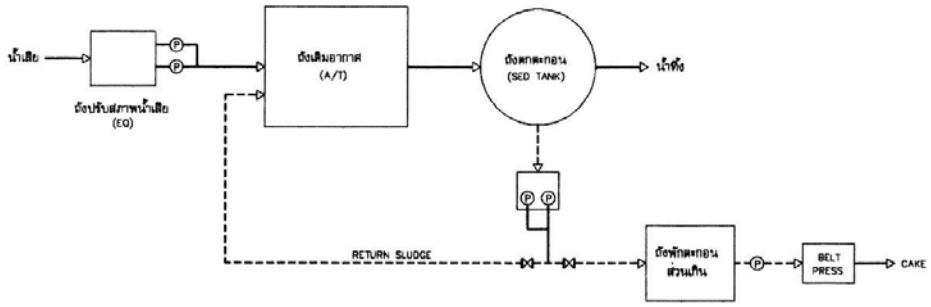
ตารางที่ 6.2 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 1 (อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล) ต่อ

รายการ		หน่วย
อัตราการไหล	1,000.00	ลบ.ม/วัน
แรงดัน	10.00	เมตร
พลังงานที่ต้องใช้	39	กิโลวัตต์-ชม.
ค่าไฟฟ้า	2.50	บาท/กิโลวัตต์
ค่าไฟเครื่องสูบน้ำEQ	97	บาท/วัน
ค่าไฟฟ้าเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน		
อัตราการไหล	1,000.00	ลบ.ม/วัน
แรงดัน	10.00	เมตร
พลังงานที่ต้องใช้	39	กิโลวัตต์-ชม.
ค่าไฟฟ้า	2.50	บาท/กิโลวัตต์
ค่าไฟเครื่องสูบน้ำEQ	97	บาท/วัน
ค่ากรด		
อัตราการไหล	1000.00	ลบม/วัน
ความต้องการกรด		มก/ล
ความเข้มข้นกรด 98%	1796	ก/ล
ปริมาณกรด98%ที่ใช้		ลิตร/วัน
ถ.พ. กรด 98 %	1825	ก/ลิตร
ปริมาณกรด98%ที่ใช้		กก/วัน
ราคากรดต่อหน่วย	2.00	บาท/กก
ค่ากรด	-	บาท/วัน
ค่า N		
อัตราการไหล	1000	ลบม/วัน
ความเข้มข้นCOD	3000	มก/ล
อัตราส่วนCOD:N = 100 :	5.00	
ดังนั้นต้องการ N	150	กก/วัน
ปุ๋ยยูเรียเข้มข้น	46.00	%

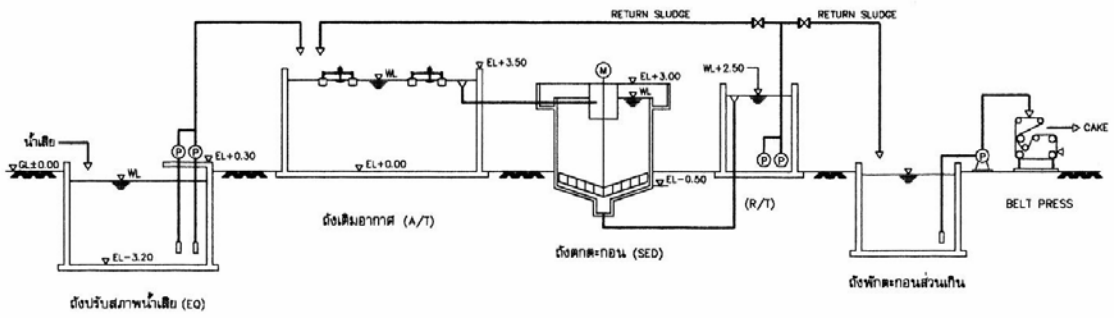
ตารางที่ 6.2 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 1 (อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล) ต่อ

รายการ		หน่วย
ดังนั้นต้องการปุ๋ยยูเรีย	326	กก/วัน
ราคาค่าปุ๋ยยูเรีย	8.75	บาท/กก
ค่าปุ๋ยยูเรียทั้งสิ้น	2,853	บาท/วัน
ค่า P		
อัตราการไหล	1000	ลบม/วัน
ความเข้มข้น COD	3000	มก/ล
อัตราส่วน COD:P = 100 :	1.00	
ดังนั้นต้องการ P	30	กก/วัน
ปุ๋ยฟอสเฟตเข้มข้น	19	%P
ดังนั้นต้องการปุ๋ยฟอสเฟต	158	กก/วัน
ราคาค่าปุ๋ยฟอสเฟต	17	บาท/กก
ค่าปุ๋ยฟอสเฟตทั้งสิ้น	2,686	บาท/วัน
สรุปค่าไฟฟ้า	7,776	บาท/วัน
สรุปค่าสารเคมี	5,539	บาท/วัน
สรุปราคาเดินระบบ (ไฟฟ้า+สารเคมี)	13,315	บาท/วัน

6.1.2 แบบของระบบเอเอส



ผังทิศทางการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียทางเลือกที่ 1 ระบบ AS



ผังแสดงค่าระดับทางชลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียทางเลือกที่ 1 AS

6.2 ระบบยูเอเอสบี+ระบบเอเอส (ทางเลือกที่ 2)

6.2.1 ตัวอย่างการออกแบบระบบยูเอเอสบี+ระบบเอเอส

ตัวอย่างรายการคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบฯ ของทางเลือกที่ 2 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.3 และตารางที่ 6.4 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียของทางเลือกที่ 2

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 2

รายการ		หน่วย
ข้อมูลออกแบบ		
อัตราไหลน้ำเสียเข้าระบบ	1,000	ลบ.ม./วัน
ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ	3000	มก./ล.
ประสิทธิภาพของระบบ Pre-treatment	50	%
ค่า ซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ AS	1500	มก./ล.
ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งจากระบบ	120	มก./ล.
ถังปรับสภาพน้ำเสีย (EQ TANK)		
อัตราไหลน้ำเสียเข้าระบบ	1,000	ลบ.ม./วัน
กำหนดเวลากักน้ำของถัง EQ	8	ชม.
ดังนั้นจะได้ปริมาตรถัง EQ	333	ลบ.ม.
ACTIVATED SLUDGE		
<u>1 ขนาดถังเติมอากาศ</u>		
อัตราไหลออกแบบเฉลี่ย	1,000	ลบ.เมตร/วัน
ซีโอดีออกแบบ	1,500	มก./ล.
ดังนั้น ภาระซีโอดีเฉลี่ย	1,500	กก./วัน
จากสมการ [Y(So-S)]/[(1/SRT)+Kd]		
ให้ Y	0.50	ก./ก.
X	5000	มก./ล.
SRT	20.00	วัน
สมมติอุณหภูมิของน้ำ, T	40.00	ซ
kd at 20 C	0.07	ต่อวัน
kd = kd(20 C)*1.04^(T-20)	0.15	ต่อวัน
So	1,500	มก./ล.
S	120	มก./ล.
SS	200.00	มก./ล.
FSS	80.00	%
	160	มก./ล.
Xv*t = [Y(So-S)]/[(1/SRT)+Kd] =	3,393	51.46%

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 2 (ต่อ)

รายการ		หน่วย
Xf*t = SRT*FSS =	3,200	48.54%
X*t	6,593	
HRT	1.32	วัน
	31.6	ชม.
จะได้ปริมาตรถังเติมอากาศ	1,319	ลบ.ม.
2 ขนาดของระบบเติมอากาศแบบ Surface Aerator		
สมมติว่าสลัดจ์ต้องทิ้ง	12.3	%
เนื่องจาก ซีโอดีโหลดที่ถูกกำจัดเฉลี่ย	1,380	กก./วัน
ดังนั้นสลัดจ์ที่ต้องทิ้ง (MLVSS)	170	กก./วัน
ดังนั้นสลัดจ์ที่ต้องทิ้ง (MLSS)	330	กก./วัน
ภาระซีโอดีเฉลี่ย	1,380	กก./วัน
เนื่องจาก TKN ของน้ำเสีย	50.00	มก/ล
ดังนั้น NOD load	150	กก./วัน
และ COD load รวมกับ NOD load	1,530	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนของตะกอนทิ้ง	241	กก./วัน
สมมติให้ความต้องการออกซิเจน	120.00	%
ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการทั้งหมด	*1,547*	กก./วัน
สมมติว่า Surface Aerator ให้ออกซิเจนได้	1.00	กก/กิโลวัตต์-ชม.
ต้องการ Surface Aerator	64	กิโลวัตต์
3 ขนาดถังตกตะกอน		
อัตราไหลออกแบบ	41.67	ลบ.เมตร/ชม.
คำนวณหาอัตราน้ำล้นผิว	0.50	ม./ชม.
พื้นที่ผิวน้ำของถังตกตะกอน	83.3	ตร.ม.
จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง	10.3	เมตร
การประมาณราคางานโยธา		
ถัง EQ		
ปริมาตรถัง EQ	333	ลบ.ม.

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 2 (ต่อ)

รายการ		หน่วย
กำหนดความลึกน้ำถัง EQ	3.00	เมตร
พื้นที่หน้าตัดถัง EQ	111	ตร.ม.
ความกว้างของถัง EQ	10.5	เมตร
ความยาวของถัง EQ	10.5	เมตร
Free board ถัง EQ	0.50	เมตร
ถัง EQ ลึกทั้งหมด	3.5	เมตร
ความหนาคสล.	0.30	เมตร
จะได้ปริมาตรคสล.ถัง EQ	77.6	ลบ.ม.
ราคา คสล.	6,600	บาท/ลบ.ม.
ราคาค่าก่อสร้างถัง EQ (ไม่รวมเสาเข็ม)	512,194	บาท
ค่าเสาเข็มฐานราก	2,000	บาท/ตร.ม.
ราคาฐานรากเสาเข็ม	222,222	บาท
รวมราคาค่าก่อสร้างถัง EQ	734,417	บาท
ถังยูเอเอสบี		
กำหนดภาระสารอินทรีย์เข้ายูเอเอสบี	5.00	กก./ลบ.ม.-วัน
และกำหนดเวลากักน้ำอย่างต่ำของถัง	8.00	ชม
จากภาระสารอินทรีย์เข้าระบบ	3000.00	กก./วัน
ดังนั้นจะได้เวลากักน้ำของถังยูเอเอสบี	14.40	ชม.
จะได้ปริมาตรยูเอเอสบี	600.00	ลบ.ม.
กำหนดความลึกน้ำถัง UASB	5.50	เมตร
พื้นที่หน้าตัดถัง UASB	109	ตร.ม.
ความกว้างของถัง UASB	7.4	เมตร
ความยาวของถัง UASB	14.8	เมตร
Free board ถัง UASB	1.00	เมตร
ถัง UASB ลึกทั้งหมด	6.5	เมตร
ความหนาคสล.	0.40	เมตร
จะได้ปริมาตรคสล.ถัง UASB	158.8	ลบ.ม.
ราคา คสล.	6,600	บาท/ลบ.ม.
ราคาค่าก่อสร้างถัง UASB (ไม่รวมเสาเข็ม)	1,048,410	บาท
ค่าเสาเข็มฐานราก	3,000	บาท/ตร.ม.

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 2 (ต่อ)

รายการ		หน่วย
ราคาฐานรากเสาเข็ม	327,273	บาท
ราคา GSS	2650.00	บาท/ตร.ม.
จะได้ราคา GSS ของถัง UASB	289,091	บาท
รวมราคาค่าก่อสร้างถัง UASB	1,664,774	บาท
ถังเติมอากาศ		
จะได้ปริมาตรถังเติมอากาศ	1319	ลบ.ม.
กำหนดความลึกน้ำถังเติมอากาศ	3.00	เมตร
พื้นที่หน้าตัดถังเติมอากาศ	440	ตร.ม.
ความกว้างของถังเติมอากาศ	21.0	เมตร
ความยาวของถังเติมอากาศ	21.0	เมตร
Free board ถังเติมอากาศ	0.50	เมตร
ถังเติมอากาศลึกทั้งหมด	3.5	เมตร
ความหนาคสล.	0.30	เมตร
จะได้ปริมาตรคสล.ถังเติมอากาศ	219.9	ลบ.ม.
ราคา คสล.	6,600	บาท/ลบ.ม.
ราคาค่าก่อสร้างถังเติมอากาศ (ไม่รวมเสาเข็ม)	1,451,372	บาท
ค่าเสาเข็มฐานราก	2,000	บาท/ตร.ม.
ราคาฐานรากเสาเข็ม	879,025	บาท
รวมราคาค่าก่อสร้างถังเติมอากาศ	2,330,397	บาท
ถังตกตะกอน		
พื้นที่ผิวน้ำของถังตกตะกอน	83.3	ตร.ม.
เส้นผ่านศูนย์กลางถังตกตะกอน	10.30	เมตร
กำหนดความลึกของถังตกตะกอน	3.00	เมตร
ความจุน้ำถังตกตะกอน	*250.00*	ลบ.ม.
Free board	0.50	เมตร
ถังตกตะกอนลึกทั้งหมด	3.50	เมตร
ความหนาคสล.	0.30	เมตร
จะได้ปริมาตรคสล. ถังตกตะกอน	59.02	ลบ.ม.
ราคา คสล.	6,600	บาท/ลบ.ม.

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 2 (ต่อ)

รายการ		หน่วย
ราคาค่าก่อสร้างถังตกตะกอน (ไม่รวมเสาเข็ม)	389,555	บาท
ค่าเสาเข็มฐานราก	2,000	บาท/ตร.ม.
ราคาฐานรากเสาเข็ม	166,667	บาท
รวมราคาค่าก่อสร้างถังตกตะกอน	556,222	บาท
รวมราคางานโยธา	5,285,809	บาท
รายการคำนวณงานเครื่องจักรและอุปกรณ์		
ระบบเติมอากาศ		
ภาระซีโอดี	1,380	กก./วัน
NOD load	150	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนของตะกอนทิ้ง	241	กก./วัน
สรุปความต้องการออกซิเจน	1,289	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนสำหรับออกแบบ	1,547	กก/วัน
	64	กก/ชม
Surface Aerator ให้ออกซิเจน	1.00	กก/กิโลวัตต์-ชม
กำลังเครื่องเติมอากาศ	64	กิโลวัตต์
เครื่องสูบน้ำจากถัง EQ ไปถัง UASB		
อัตราการไหล	1,000	ลบ.ม/วัน
แรงดัน	15	เมตร
กำลังเครื่อง	2.43	กิโลวัตต์
	3.25	แรงม้า
เครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน		
อัตราการไหล	1,000	ลบ.ม/วัน
แรงดัน	10	เมตร
กำลังเครื่อง	1.62	กิโลวัตต์
	2.17	แรงม้า
รวมจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในระบบ	72.54	กิโลวัตต์

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 2 (ต่อ)

รายการ		หน่วย
การประมาณราคาเครื่องจักร		
ขนาดเครื่องเติมอากาศ	64	กิโลวัตต์
ราคาระบบเติมอากาศ	442,956.81	บาท
ขนาดเครื่องสูบน้ำบ่อหมัก	3.25	แรงม้า
ราคาเครื่องสูบน้ำบ่อหมักไปถังเติมอากาศ	26,610	บาท/เครื่อง
จำนวนเครื่องสูบน้ำ	2	เครื่อง
ราคาเครื่องสูบน้ำบ่อหมักไปถังเติมอากาศ	53,220.20	บาท
ขนาดเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน	2.17	แรงม้า
ราคาเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน	24,599	บาท/เครื่อง
จำนวนเครื่องสูบน้ำ	2	เครื่อง
ราคาเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน	49,198	บาท
เส้นผ่านศูนย์กลางถังตกตะกอน	10.3	เมตร
ราคาเครื่องกวาดตะกอน	298,821	บาท
รวมราคาเครื่องจักร	844,196	บาท
การประมาณราคาพื่ดิน		
ราคาที่ดิน	4,000,000	บาท/ไร่
พื้นที่ของ EQ	111	ตร.ม.
พื้นที่ของ UASB	109	ตร.ม.
พื้นที่ของถังเติมอากาศ	440	ตร.ม.
พื้นที่ของถังตกตะกอน	83	ตร.ม.
รวมพื้นที่หน้าตัด	743	ตร.ม.
เผื่อพื้นที่ระบบ UASB + AS	126	% ของพื้นที่
ต้องการพื้นที่จริง	937	ตร.ม.
รวมราคาค่าที่ดิน	2,342,788	บาท
การประมาณราคางานท่อและวาล์ว		
จากราคางานโยธา	5,285,809	บาท
ราคางานท่อและวาล์ว	20	% ของงานโยธา
ดังนั้น ราคางานท่อ	1,057,162	บาท

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 2 (ต่อ)

รายการ		หน่วย
การประมาณราคางานเหล็กและค่าติดตั้งเครื่องจักร		
จากราคางานเครื่องจักร	844,196	บาท
ราคางานเหล็กและงานติดตั้งเครื่องจักร	30	% ของราคาเครื่องจักร
ดังนั้นราคางานเหล็กและงานติดตั้งเครื่องจักร	253,259	บาท
การประมาณราคางานไฟฟ้า		
จำนวนเครื่องจักรในระบบ	72.54	กิโลวัตต์
ราคางานไฟฟ้า	6,000	บาท/กิโลวัตต์
ดังนั้นราคางานไฟฟ้า	435,248	บาท
ค่า Start Up ระบบบำบัดน้ำเสีย		
ปริมาณเชื้อ Anaerobic สำหรับ UASB	40	% ของปริมาตรบ่อ
จากปริมาตรกักน้ำ UASB	600	ลบ.ม.
ต้องการเชื้อ Anaerobic	240	ลบ.ม.
ราคาค่าเชื้อ Anaerobic	100	
ค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อ Anaerobic	24,000	บาท
ค่าขนเชื้อ	400	บาท/ลบ.ม.
ค่าใช้จ่ายในการขนเชื้อ Anaerobic	96,000	บาท
รวมค่าใช้จ่ายจัดหาเชื้อ Anaerobic	120,000	บาท
ปริมาณเชื้อ Aerobic สำหรับ AS	10	% ของปริมาตรบ่อ
จากปริมาตรถังเติมอากาศ	1,319	ลบ.ม.
ต้องการเชื้อ Aerobic	131.85	ลบ.ม.
ค่าขนเชื้อ	400	บาท/ลบ.ม.
ค่าใช้จ่ายจัดหาเชื้อ Aerobic	52,741	บาท
รวมค่าใช้จ่ายในการ Start up ระบบ	172,741	บาท

ตารางที่ 6.4 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 2

รายการ		หน่วย
ค่าไฟฟ้าเครื่องสูบน้ำจากEQ ไป UASB		
อัตราการไหล	1,000.0	ลบ.ม/วัน
แรงดัน	15	เมตร
กำลังเครื่อง	2.43	กิโลวัตต์
ค่าไฟฟ้า	2.50	บาท/หน่วย
ค่าไฟเครื่องสูบน้ำEQ	145.5	บาท/วัน
ค่าไฟฟ้าระบบเติมอากาศ		
ภาระซีโอดี	1,380	กก./วัน
NOD load	150	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนของตะกอนทิ้ง	240	กก./วัน
สรุปความต้องการออกซิเจน	1,289	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนสำหรับออกแบบ	1,546	กก/วัน
	64	กก/ชม
Surface Aerator ให้ออกซิเจน	1	กก/กิโลวัตต์-ชม
กำลังเครื่องเติมอากาศ	64	กิโลวัตต์
ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	2.50	บาท/หน่วย
ราคาค่าไฟฟ้า	3,867	บาท/วัน
ค่าไฟฟ้าเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน		
อัตราการไหล	1000	ลบ.ม/วัน
แรงดัน	10	เมตร
กำลังเครื่อง	1.62	กิโลวัตต์
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	2.50	บาท/หน่วย
ราคาค่าไฟฟ้า	97	บาท/วัน
ค่าด่าง (UASB)		
อัตราการไหล	1000	ลบม/วัน
ความต้องการด่าง	0	กกด่าง/กก.COD
ความต้องการด่าง	0	มก/ล

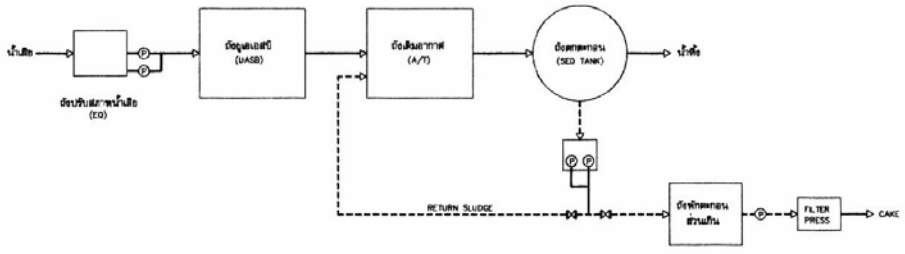
ตารางที่ 6.4 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 2 (ต่อ)

รายการ		หน่วย
ปริมาณด่างที่ใช้	-	กก./วัน
ราคาด่างต่อหน่วย	9	บาท/กก.
ค่าด่าง (UASB)		บาท/วัน
ค่ากรด		
อัตราการไหล	1000	ลบม/วัน
ความต้องการกรด	0	มก/ล
ความเข้มข้นกรด 98%	1796	ก/ล
ปริมาณกรด98%ที่ใช้	-	ลิตร/วัน
ถ.พ. กรด 98%	1,825	กก./ลิตร
ราคากรดต่อหน่วย	2	บาท/กก.
ค่ากรด		บาท/วัน
ค่า N		
อัตราการไหล	1000	ลบม/วัน
ความเข้มข้นCOD	1500	มก/ล
อัตราส่วนCOD:N = 100 :	5	
ดังนั้นต้องการ N	75.00	กก/วัน
ปุ๋ยยูเรียเข้มข้น	46	%
ดังนั้นต้องการปุ๋ยยูเรีย	163.04	กก/วัน
ราคาค่าปุ๋ยยูเรีย	8.75	บาท/กก
ค่าปุ๋ยยูเรียทั้งสิ้น	1,426	บาท/วัน
ค่า P		
อัตราการไหล	1000	ลบม/วัน
ความเข้มข้นCOD	1500	มก/ล
อัตราส่วนCOD:P = 100 :	1	
ดังนั้นต้องการ P	15.00	กก/วัน
ปุ๋ยฟอสเฟตเข้มข้น	19	%
ดังนั้นต้องการปุ๋ยฟอสเฟต	79	กก/วัน
ราคาค่าปุ๋ยฟอสเฟต	17	บาท/กก

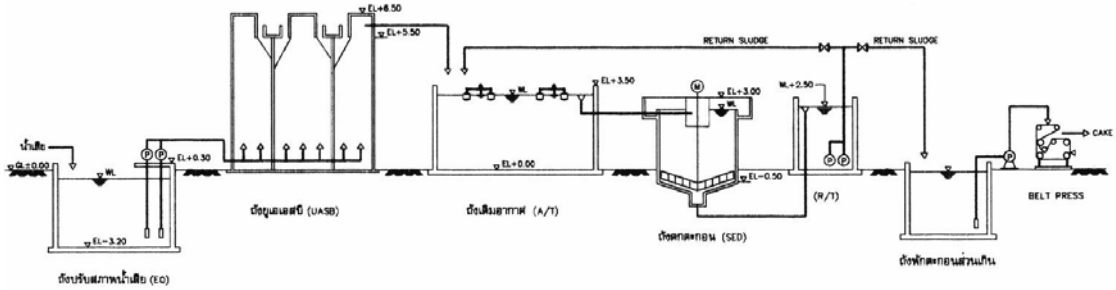
ตารางที่ 6.4 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 2 (ต่อ)

รายการ		หน่วย
ค่าปุ๋ยฟอสเฟตทั้งสิ้น	1,343	บาท/วัน
สรุปค่าไฟฟ้า	4,110	บาท/วัน
สรุปค่าสารเคมี	2,769	บาท/วัน
สรุปราคาเดินระบบ(ไฟฟ้า+สารเคมี)	6,879	บาท/วัน

6.2.2 ตัวอย่างแบบของระบบยูเอเอสบี+ระบบเอเอส



ผังทิศทางการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียทางเลือกที่ 2 ระบบ UASB ร่วมกับ ระบบ AS



ผังแสดงค่าระดับทางชลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียทางเลือกที่ 2 ระบบ UASB ร่วมกับ ระบบ AS

6.3 ระบบบ่อหมัก+ระบบเอเอส

6.3.1 ตัวอย่างการออกแบบระบบบ่อหมัก+ระบบเอเอส(ทางเลือกที่ 3)

ตัวอย่างรายการคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบฯ ของทางเลือกที่ 3 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.5 และตารางที่ 6.6 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียของทางเลือกที่ 3

ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 3 ที่ อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล

รายการ		หน่วย
ข้อมูลออกแบบ		
อัตราไหลน้ำเสียเข้าระบบ	1,000	ลบ.ม./วัน
ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ	3000	มก./ล.
ประสิทธิภาพของระบบ Pre-treatment	50	%
ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ AS	1500	มก./ล.
ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งจากระบบ	120	มก./ล.
<u>บ่อหมักปิดฝา</u>		
ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ	3000	มก./ล.
อัตราไหลน้ำเสียเข้าระบบ	1,000	ลบ.ม./วัน
ภาระซีโอดีเข้าระบบ	3,000	กก/วัน
ภาระซีโอดีของบ่อหมัก	0.5	กก./ลบ.ม.-วัน
ดังนั้นปริมาตรบ่อหมัก	6,000	ลบ.ม.
จะต้องการพื้นที่ทำบ่อ	2,398	ตร.ม.
จะได้ความลึกบ่อ	4	เมตร
ความกว้าง	40.0	เมตร
ความยาว	60.0	เมตร
Free board ของบ่อหมัก	0.5	เมตร
รวมความลึกบ่อหมัก	4.5	เมตร
ปริมาตรบ่อหมักทั้งหมด	7145	ลบ.ม.

ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 3 ที่ อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล (ต่อ)

รายการ		หน่วย
3. ACTIVATED SLUDGE		
3.1 ขนาดถังเติมอากาศ		
อัตราไหลออกแบบเฉลี่ย	1,000	ลบ.เมตร/วัน
ซีโอดีออกแบบ	1,500	มก./ล.
ดังนั้น ภาระซีโอดีเฉลี่ย	1,500	กก./วัน
จากสมการ [Y(So-S)]/[(1/SRT)+Kd]		
ให้ Y	0.50	ก./ก.
X	5000	มก./ล.
SRT	20.00	วัน
สมมติอุณหภูมิของน้ำ, T	40.00	°ซ
kd at 20 °C	0.07	ต่อวัน
kd = kd(20 C)*1.04^(T-20)	0.15	ต่อวัน
So	1,500	มก./ล.
S	120	มก./ล.
สารแขวนลอย	200.00	มก./ล.
FSS	80.00	%
	160	มก./ล.
Xv*t = [Y(So-S)]/[(1/SRT)+Kd] =	3,393	51.46%
Xf*t = SRT*FSS =	3,200	48.54%
X*t	6,593	
HRT	1.32	วัน
	31.6	ชม.
จะได้ปริมาตรถังเติมอากาศ	1,319	ลบ.ม.
3.2 ขนาดของระบบเติมอากาศแบบ Surface Aerator		
สมมติว่าสลัดจ์ต้องทิ้ง	12.3	%
เนื่องจาก ภาระซีโอดีที่ถูกกำจัดเฉลี่ย	1,380	กก./วัน
ดังนั้นสลัดจ์ที่ต้องทิ้ง (MLVSS)	170	กก./วัน
ดังนั้นสลัดจ์ที่ต้องทิ้ง (MLSS)	330	กก./วัน

ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 3 ที่ อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล (ต่อ)

รายการ		หน่วย
ภาระซีโอดีเฉลี่ย	1,380	กก./วัน
เนื่องจาก TKN ของน้ำเสีย	50.00	มก/ล
ดังนั้น NOD load	150	กก./วัน
และ COD load รวมกับ NOD load	1,530	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนของตะกอนทิ้ง	241	กก./วัน
สมมติให้ความต้องการออกซิเจน	120.00	%
ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการทั้งหมด	*1,547*	กก./วัน
สมมติว่า Surface Aerator ให้ออกซิเจนได้	1.00	กก/กิโลวัตต์-ชม.
ต้องการ Surface Aerator	64	กิโลวัตต์
3.3 ขนาดถังตกตะกอน		
อัตราไหลออกแบบ	41.67	ลบ.เมตร/ชม.
คำนวณหาอัตราน้ำล้นผิว	0.50	ม./ชม.
พื้นที่ผิวน้ำของถังตกตะกอน	83.3	ตร.ม.
จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง	10.3	เมตร
การประมาณราคางานโยธา		
บ่อหมัก		
ปริมาตรบ่อหมักทั้งหมด	7145	ลบ.ม.
ปริมาตรดินขุด/ถม	2.5	เท่าของปริมาตรบ่อ
จะได้ปริมาตรดินขุด/ถม	17862	ลบ.ม.
ค่าขุด/ถมดิน	80	บาท
ราคาการก่อสร้างขุดบ่อหมัก	1,428,966	บาท
ค่าปิดฝาบ่อหมักด้วย PE	200	บาท/ตร.ม.
ราคาค่าปิดฝาบ่อหมักด้วย PE	479,516	บาท
รวมราคาค่าก่อสร้างบ่อหมัก	1,908,482	บาท
ถังเติมอากาศ		
จะได้ปริมาตรถังเติมอากาศ	1319	ลบ.ม.
กำหนดความลึกน้ำถังเติมอากาศ	3.00	เมตร

ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 3 ที่ อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล (ต่อ)

รายการ		หน่วย
พื้นที่หน้าตัดถังเติมอากาศ	440	ตร.ม.
ความกว้างของถังเติมอากาศ	21.0	เมตร
ความยาวของถังเติมอากาศ	21.0	เมตร
Free board ถังเติมอากาศ	0.50	เมตร
ถังเติมอากาศลึกทั้งหมด	3.5	เมตร
ความหนาคสล.	0.30	เมตร
จะได้ปริมาตรคสล.ถังเติมอากาศ	219.9	ลบ.ม.
ราคา คสล.	6,600	บาท/ลบ.ม.
ราคาค่าก่อสร้างถังเติมอากาศ (ไม่รวมเสาเข็ม)	1,451,372	บาท
ค่าเสาเข็มฐานราก	2,000	บาท/ตร.ม.
ราคาฐานรากเสาเข็ม	879,025	บาท
รวมราคาค่าก่อสร้างถังเติมอากาศ	2,330,397	บาท
ถังตกตะกอน		
พื้นที่ผิวน้ำของถังตกตะกอน	83.3	ตร.ม.
เส้นผ่านศูนย์กลางถังตกตะกอน	10.30	เมตร
กำหนดความลึกของถังตกตะกอน	3.00	เมตร
ความจุน้ำถังตกตะกอน	*250.00*	ลบ.ม.
Free board	0.50	เมตร
ถังตกตะกอนลึกทั้งหมด	3.50	เมตร
ความหนาคสล.	0.30	เมตร
จะได้ปริมาตรคสล. ถังตกตะกอน	59.02	ลบ.ม.
ราคา คสล.	6,600	บาท/ลบ.ม.
ราคาค่าก่อสร้างถังตกตะกอน (ไม่รวมเสาเข็ม)	389,555	บาท
ค่าเสาเข็มฐานราก	2,000	บาท/ตร.ม.
ราคาฐานรากเสาเข็ม	166,667	บาท
รวมราคาค่าก่อสร้างถังตกตะกอน	556,222	บาท
รวมราคางานโยธา	4,795,101	บาท

ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 3 ที่ อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล (ต่อ)

รายการ		หน่วย
รายการคำนวณเครื่องจักรและอุปกรณ์		
ค่าซีโอดีเข้าบ่อหมัก	3000	มก./ล.
ประสิทธิภาพ	50	%
ค่าซีโอดีเข้า AS	1500	มก./ล.
อัตราการไหล	1000	ลบ.ม/วัน
ระบบเติมอากาศ		
ภาระซีโอดี	1,380	กก./วัน
NOD load	150	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนของตะกอนทิ้ง	241	กก./วัน
สรุปความต้องการออกซิเจน	1,289	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนสำหรับออกแบบ	1,547	กก./วัน
	64.46	กก/ชม
Surface Aerator ให้ออกซิเจน	1.00	กก/กิโลวัตต์-ชม
กำลังเครื่องเติมอากาศ	64	กิโลวัตต์
เครื่องสูบน้ำจากบ่อหมักไปถังเติมอากาศ		
อัตราการไหล	1000	ลบ.ม/วัน
แรงดัน	10	เมตร
กำลังเครื่อง	1.62	กิโลวัตต์
	2.17	แรงม้า
เครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน		
อัตราการไหล	1000	ลบ.ม/วัน
แรงดัน	10	เมตร
กำลังเครื่อง	1.62	กิโลวัตต์
	2.17	แรงม้า
รวมจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในระบบ	71	กิโลวัตต์

ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 3 ที่ อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล (ต่อ)

รายการ		หน่วย
การประมาณราคาเครื่องจักร		
ขนาดเครื่องเติมอากาศ	64	กิโลวัตต์
ราคาระบบเติมอากาศ	442,957	บาท
ขนาดเครื่องสูบน้ำบ่อหมัก	2.17	แรงม้า
ราคาเครื่องสูบน้ำบ่อหมักไปถังเติมอากาศ	24,599	บาท/เครื่อง
จำนวนเครื่องสูบน้ำ	2	เครื่อง
ราคาเครื่องสูบน้ำบ่อหมักไปถังเติมอากาศ	49,198	บาท
ขนาดเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน	2.17	แรงม้า
ราคาเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน	24,599	บาท/เครื่อง
จำนวนเครื่องสูบน้ำ	2	เครื่อง
ราคาเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน	49,198	บาท
เส้นผ่านศูนย์กลางถังตกตะกอน	10.3	เมตร
ราคาเครื่องกวาดตะกอน	298,821	บาท
รวมราคาเครื่องจักร	840,174	บาท
การประมาณราคาพื้ดิน		
ราคาที่ดิน	4,000,000	บาท/ไร่
พื้นที่ของบ่อหมัก	2398	ตร.ม.
พื้นที่ของถังเติมอากาศ	440	ตร.ม.
พื้นที่ของถังตกตะกอน	83	ตร.ม.
รวมพื้นที่หน้าตัด	2920	ตร.ม.
พื้นที่ที่ต้องการจริง	112	%
พื้นที่ที่ต้องการจริง	3260	ตร.ม.
รวมราคาค่าที่ดิน	8,150,857.28	บาท
การประมาณราคางานท่อและวาล์ว		
จากราคางานโยธา	4,795,101	บาท
ราคางานท่อและวาล์ว	20	% ของงานโยธา
ดังนั้น ราคางานท่อ	959,020	บาท

ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 3 ที่ อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล (ต่อ)

รายการ		หน่วย
การประมาณราคางานเหล็กและค่าติดตั้งเครื่องจักร		
จากราคางานเครื่องจักร	840,174	บาท
ราคางานเหล็กและงานติดตั้งเครื่องจักร	30	% ของราคาเครื่องจักร
ดังนั้นราคางานเหล็กและงานติดตั้งเครื่องจักร	252,052	บาท
การประมาณราคางานไฟฟ้า		
จำนวนเครื่องจักรในระบบ	70.92	กิโลวัตต์
ราคางานไฟฟ้า	6,000	บาท/กิโลวัตต์
ดังนั้นราคางานไฟฟ้า	425,545	บาท
ค่า Start Up ระบบบำบัดน้ำเสีย		
ปริมาณเชื้อ Anaerobic สำหรับ บ่อหมัก	10	% ของปริมาตรบ่อ
จากปริมาตรกักน้ำบ่อหมัก	6,000	ลบ.ม.
ต้องการเชื้อ Anaerobic	600	ลบ.ม.
ราคาค่าเชื้อ Anaerobic	100	
ค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อ Anaerobic	60,000	บาท
ค่าขนเชื้อ	400	บาท/ลบ.ม.
ค่าใช้จ่ายในการขนเชื้อ Anaerobic	240,000	บาท
รวมค่าใช้จ่ายจัดหาเชื้อ Anaerobic	300,000	บาท
ปริมาณเชื้อ Aerobic สำหรับ AS	10	% ของปริมาตรบ่อ
จากปริมาตรถังเติมอากาศ	1,319	ลบ.ม.
ต้องการเชื้อ Aerobic	131.85	ลบ.ม.
ค่าขนเชื้อ	400	บาท/ลบ.ม.
ค่าใช้จ่ายจัดหาเชื้อ Aerobic	52,741.50	บาท
รวมค่าใช้จ่ายในการ Start up ระบบ	352,741	บาท

ตารางที่ 6.6 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 3 ที่ อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล

รายการ		หน่วย
ค่าไฟฟ้าเครื่องสูบน้ำจากบ่อหมักไปถังเติมอากาศ		
อัตราการไหล	1,000.0	ลบ.ม/วัน
แรงดัน	10	เมตร
กำลังเครื่อง	1.62	กิโลวัตต์
ค่าไฟฟ้า	2.50	บาท/หน่วย
ค่าไฟเครื่องสูบน้ำEQ	97.0	บาท/วัน
ค่าไฟฟ้าระบบเติมอากาศ		
ภาระซีโอดี	1,380	กก./วัน
NOD load	150	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนของตะกอนทิ้ง	241	กก./วัน
สรุปความต้องการออกซิเจน	1,289	กก./วัน
ความต้องการออกซิเจนสำหรับออกแบบ	1,547	กก/วัน
	64	กก/ชม
Surface Aerator ให้ออกซิเจน	1.00	กก/กิโลวัตต์-ชม
กำลังเครื่องเติมอากาศ	64	กิโลวัตต์
ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	2.50	บาท/หน่วย
ราคาค่าไฟฟ้า	3,867	บาท/วัน
ค่าไฟฟ้าเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน		
อัตราการไหล	1000	ลบ.ม/วัน
แรงดัน	10	เมตร
กำลังเครื่อง	1.62	กิโลวัตต์
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	2.50	บาท/หน่วย
ราคาค่าไฟฟ้า	97.02	บาท/วัน
ค่าด่าง (บ่อหมัก)		
อัตราการไหล	1000	ลบม/วัน

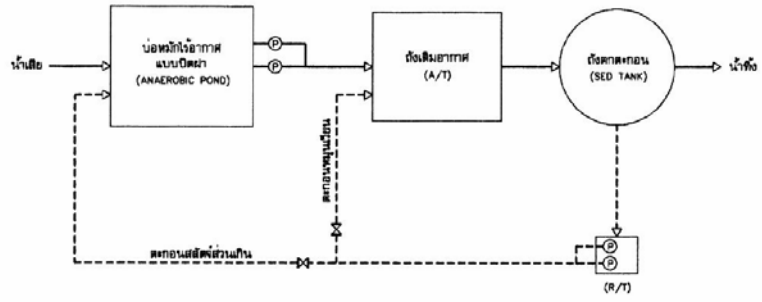
ตารางที่ 6.6 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 3 ที่ อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล (ต่อ)

รายการ		หน่วย
ความต้องการด่าง	0	กก.ด่าง/กก.ซีโอดี
ความต้องการด่าง	0	มก/ล
ปริมาณด่างที่ใช้	-	กก./วัน
ราคาด่างต่อหน่วย	9	บาท/กก.
ค่าด่าง (บ่อหมัก)		บาท/วัน
ค่ากรด		
อัตราการไหล	1000	ลบม/วัน
ความต้องการกรด	0	มก/ล
ความเข้มข้นกรด 98%	1,796	ก/ล
ปริมาณกรด98%ที่ใช้	0	ลิตร/วัน
ถ.พ. กรด 98%	1.83	กก./ลิตร
ราคากรดต่อหน่วย	2	บาท/กก.
ค่ากรด		บาท/วัน
ค่า N		
อัตราการไหล	1000	ลบม/วัน
ความเข้มข้นCOD	1500	มก/ล
อัตราส่วนCOD:N = 100 :	5	
ดังนั้นต้องการ N	75.00	กก/วัน
ปุ๋ยยูเรียเข้มข้น	46	%
ดังนั้นต้องการปุ๋ยยูเรีย	163	กก/วัน
ราคาค่าปุ๋ยยูเรีย	8.75	บาท/กก
ค่าปุ๋ยยูเรียทั้งสิ้น	1,426	บาท/วัน
ค่า P		
อัตราการไหล	1000	ลบม/วัน
ความเข้มข้นCOD	1500	มก/ล
อัตราส่วนCOD:P = 100 :	1	

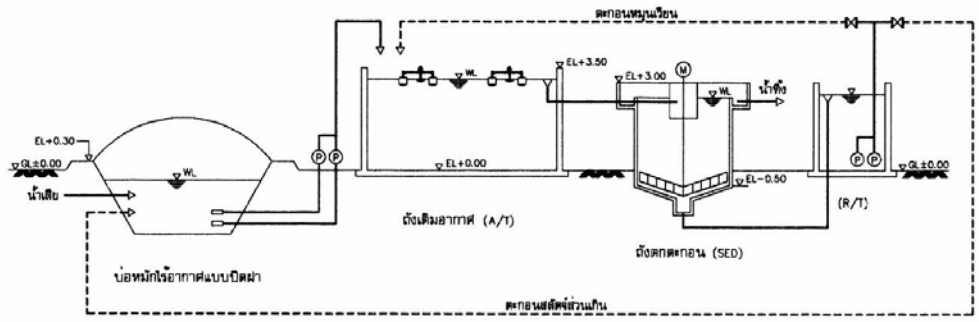
ตารางที่ 6.6 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ทางเลือกที่ 3 ที่ อัตราไหลน้ำเสีย 3000 ลบ.ม./วัน และค่าซีโอดี 1000 มก/ล (ต่อ)

รายการ		หน่วย
ดังนั้นต้องการ P	15.00	กก/วัน
ปุ๋ยฟอสเฟตเข้มข้น	19	%
ดังนั้นต้องการปุ๋ยฟอสเฟต	79	กก/วัน
ราคาค่าปุ๋ยฟอสเฟต	17	บาท/กก
ค่าปุ๋ยฟอสเฟตทั้งสิ้น	1,343	บาท/วัน
สรุปค่าไฟฟ้า	4,061	บาท/วัน
สรุปค่าสารเคมี	2,769	บาท/วัน
สรุปราคาเดินระบบ(ไฟฟ้า+สารเคมี)	6,830	บาท/วัน

6.3.2 ตัวอย่างแบบของระบบบ่อหมัก + เอเอส



ผังแสดงทิศทางการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียทางเลือกที่ 3 ระบบบ่อหมัก ร่วมกับ ระบบ AS



ผังแสดงความลาดชันทางชลศาสตร์ของระบบบัดน้ำเสียทางเลือกที่ 3 ระบบบ่อหมัก ร่วมกับ ระบบ AS

6.4 ระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกิน

หลักการในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การแยกของเสียหรือสิ่งที่ไม่ต้องการออกจากน้ำเสีย ซึ่งหลังจากสามารถแยกของเสียได้แล้ว น้ำส่วนที่เหลือจากการแยกของเสียจะเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว วิธีการนำของเสียออกจากน้ำเสียเรียกว่า วิธีการบำบัดน้ำเสียนั่นเอง โดยส่วนใหญ่แล้วของเสียที่แยกออกจากน้ำนั้น มักจะอยู่ในรูปของของแข็งอยู่เสมอ ยกตัวอย่างเช่น ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย ใช้วิธีการบำบัดแบบชีวภาพ โดยใช้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย จากนั้นจึงแยกแบคทีเรียออกจากน้ำ โดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นว่าในการบำบัดน้ำเสียนั้น สิ่งที่ไม่สามารถมองข้ามได้ คือ ปัญหาตะกอนสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจะต้องมีค่าใช้จ่ายในการจัดการต่อไป ในการจัดการกับตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียนั้น เราสามารถแบ่งขั้นตอนการจัดการตะกอนสลัดจ์ออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

- การบำบัดตะกอนสลัดจ์ (Sludge treatment)
- การทิ้งตะกอนสลัดจ์ (Sludge disposal)

สาเหตุที่ต้องมีการบำบัดตะกอนสลัดจ์ก่อนที่จะทำการทิ้งตะกอนสลัดจ์นั้น เนื่องจากหากไม่มีระบบการบำบัดตะกอนสลัดจ์ก่อนนั้น จะพบว่าสลัดจ์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากเนื่องจากยังมีน้ำเป็นส่วนประกอบในตะกอนสลัดจ์ค่อนข้างมาก (มีน้ำ >95%) ทำให้ไม่สามารถขนส่งไปทำการทิ้งได้ง่าย หรืออาจมีค่าใช้จ่ายในการขนย้ายสูงมาก แต่ในทางกลับกันหากมีการบำบัดตะกอนสลัดจ์ก่อนที่จะนำสลัดจ์ไปทิ้ง สามารถทำได้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่ามาก เนื่องจากการคิดราคาค่าใช้จ่ายของการทิ้งตะกอนสลัดจ์จะคิดตามน้ำหนักตะกอนสลัดจ์ที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนบาทต่อตะกอนสลัดจ์ 1 ตัน ซึ่งราคาจะขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการทิ้งตะกอนสลัดจ์ เช่น ตะกอนโลหะหนักจะมีค่าใช้จ่ายในการทิ้งตะกอนสูงกว่าตะกอนชีวภาพ ดังนั้น จึงควรบำบัดตะกอนสลัดจ์ให้มีปริมาณน้ำเหลืออยู่ในน้ำให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย

ในโครงการการจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรม เพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้อากาศนั้น ได้แบ่งขอบเขตของระบบบำบัดออกเป็น 3 ทางเลือก ได้แก่

ทางเลือกที่ 1 การใช้ระบบเอเอสในการบำบัดน้ำเสีย
ทางเลือกที่ 2 การใช้ระบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบเอเอสในการบำบัดน้ำเสีย
ทางเลือกที่ 3 การใช้บ่อหมักไม่ใช้อากาศปิดฝาร่วมกับระบบเอเอสในการบำบัดน้ำเสีย

ในทางเลือกที่ 2 และทางเลือกที่ 3 จะเป็นการนำเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศเข้ามาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจะช่วยให้ตะกอนสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากทางเลือกทั้ง 2 มีปริมาณน้อยกว่าทางเลือกที่ 1 ทำให้สามารถประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ได้มากกว่า

และในทางเลือกที่ 3 นั้น จะไม่มีค่าใช้จ่ายทั้งในส่วนของการบำบัดตะกอนสลัดจ์ที่เกิดขึ้นและการทิ้งตะกอนสลัดจ์เลย เนื่องจากสามารถนำตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นจากระบบเอเอสทิ้งเพื่อย่อยสลายในบ่อหมักได้

6.4.1 การบำบัดตะกอนสลัดจ์จากทางเลือกที่ 1 (ระบบเอเอส)

ตะกอนสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากทางเลือกที่ 1 ได้แก่ ตะกอนสลัดจ์จากระบบเอเอสซึ่งเป็นตะกอนสลัดจ์ของแบคทีเรียประเภทใช้อากาศ โดยขั้นตอนในการบำบัดตะกอนสลัดจ์จากทางเลือกนี้จะทำโดยการรีดน้ำออกจากตะกอนสลัดจ์เพื่อให้ตะกอนสลัดจ์มีความชื้นลดลงหรือแห้งขึ้น โดยไม่ต้องทำการย่อยสลัดจ์อีกเนื่องจากระบบเอเอสที่ทำการออกแบบในโครงการนี้เลือกออกแบบที่ค่าอายุตะกอนสูงประมาณ 20 วัน ดังนั้นตะกอนสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากระบบเอเอสจึงมีความคงตัวและไม่ต้องทำการย่อยอีกแล้วสามารถรีดน้ำออกจากตะกอนสลัดจ์ได้เลย ซึ่งหน่วยบำบัดย่อยในการบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินจากระบบ

เอเอส ได้แก่ ถังพักตะกอนส่วนเกิน เครื่องรีดตะกอนสลัดจ์ และอาคารรีดตะกอน ตัวอย่างรายการคำนวณระบบบำบัดตะกอนสามารถดูได้ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ตัวอย่างรายการคำนวณระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกิน ทางเลือกที่ 1

ลำดับ	รายการ		หน่วย
1	**ตะกอนจาก Anaerobic**		
	ค่าภาระซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	กก./วัน
	ค่า Yield (จริง) ของเชื้อ Anaerobic	0.1	ต่อวัน
	ตะกอนเชื้อ Anaerobic ที่เกิด	-	กก./วัน
	ความเข้มข้นตะกอน Anaerobic	2.5	%
	ปริมาตรตะกอนทิ้งจาก Anaerobic	-	ลบ.ม/วัน
2	**ตะกอนจาก AS**		
	ค่าภาระซีโอดีที่ถูกกำจัด	2,640	กก./วัน
	ค่า Yield (จริง) ของเชื้อ Aerobic	0.16	ต่อวัน
	ตะกอนเชื้อ Aerobic ที่เกิด	429.64	กก./วัน
	FSS ที่เข้าระบบ	40	มก./ล.
	ตะกอน FSS ที่ต้องทิ้ง	120.00	กก./วัน
	รวมตะกอนสลัดจ์ที่ต้องทิ้งจาก AS	549.6	กก./วัน
	ค่า MLSS ในถังเติมอากาศ	5,000	มก./ล.
	อัตรา Return Sludge	100	% น้ำเข้า
	MLSS ก้นถังตกตะกอนมีความเข้มข้น	10,000	มก./ล.
	ปริมาตรตะกอนที่ต้องทิ้งจาก AS	54.96	ลบ.ม./วัน
3	**ตะกอนสลัดจ์ที่ต้องทิ้งทั้งหมด**		
	ตะกอนสลัดจ์จากระบบ Anaerobic	0	กก./วัน
	ตะกอนสลัดจ์จากระบบ AS	549.6	กก./วัน
	ตะกอนสลัดจ์รวม	550	กก./วัน
	ตะกอนสลัดจ์จากระบบ Anaerobic	0.00	ลบ.ม/วัน
	ตะกอนสลัดจ์จากระบบ AS	54.96	ลบ.ม/วัน
	ตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินรวม	54.96	ลบ.ม/วัน
	ความเข้มข้นตะกอนรวม	10,000	มก./ล.

ตารางที่ 6.7 ตัวอย่างรายการคำนวณระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกิน ทางเลือกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ		หน่วย
4	**ขนาดของถังพักตะกอนส่วนเกิน**		
	กำหนดถังพักตะกอนทิ้ง	1.0	วัน
	ขนาดของถังพักตะกอนทิ้ง	54.96	ลบ.ม.
	ความลึกน้ำถังพักตะกอนทิ้ง	4.0	เมตร
	พื้นที่หน้าตัดของถัง	13.7	ตร.ม.
	ความกว้างของถัง	3.7	เมตร
	ความยาวของถัง	3.7	เมตร
	และความสูงของถัง	4.5	เมตร
	กำหนดความหนาผนัง คสล.	0.3	เมตร
	กำหนดความหนาพื้นฐาน	0.35	เมตร
	จะได้ปริมาตร คสล.	28.1	ลบ.ม.
	กำหนดราคา คสล.	6,600	บาท/ลบ.ม.
	ราคาถังพักตะกอนส่วนเกิน (ไม่รวมฐานราก)	185,654	บาท/ลบ.ม.
	กำหนดราคาฐานราก	2,000	บาท/ตร.ม.
	ราคาฐานราก	27,482	บาท
	ราคาถังรวม	213,136	บาท
5	**เครื่องรีดตะกอน Belt Press**		
	Solid Loading rate ของ Belt Press	150	กก./ม.-ชม.
	เวลาการทำงานของ Belt Press	40	ชม./สัปดาห์
	ตะกอนสลัดจ์ที่ต้องทิ้งใน 1 สัปดาห์	3847.48	กก./สัปดาห์
		96.19	กก./ชม.
	ขนาดหน้ากว้างของ Belt Press	0.64	เมตร
	ราคาของ Belt Press		บาท/เมตร
	ราคาของ Belt Press	684,748	บาท
	พื้นที่อาคารรีดตะกอน	9.869	ตร.ม.
	ราคาอาคารรีดตะกอน	75,000	บาท
	ตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินรวม	384.75	ลบ.ม/สัปดาห์
		9.62	ลบ.ม./ชม.
	อัตราสูบตะกอนของเครื่องสูบตะกอน	14.43	ลบ.ม./ชม.
	ขนาดมอเตอร์ของ pump ตะกอน	0.56	กิโลวัตต์

ตารางที่ 6.7 ตัวอย่างรายการคำนวณระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกิน ทางเลือกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ		หน่วย
	ราคาของเครื่องสูบตะกอน		
	ราคาของเครื่องสูบตะกอน	-	บาท
	ราคาค่าไฟฟ้า	2.5	บาท/หน่วย
	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ pump ตะกอน	11.20	บาท/วัน
	ปริมาณน้ำล้างผ้า Belt	6.0	ลบ.ม./ม.-ชม.
	อัตราสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำล้าง Belt	5.77	ลบ.ม./ชม.
	ขนาดของมอเตอร์ pump ล้าง Belt	1.34	กิโลวัตต์
	ราคาเครื่องสูบน้ำ		บาท
	ราคาของเครื่องสูบน้ำ	0	บาท
	ราคาค่าไฟฟ้า	2.5	บาท/หน่วย
	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ pump ล้าง Belt	26.88	บาท/วัน
	โพลิเมอร์		
	กำหนด Dose Polymer	4	กรัม PE /กก.SS
	จากปริมาณตะกอนส่วนเกิน	549.64	กก./วัน
	ต้องใช้ Polymer	2.20	กก./วัน
	กำหนดราคา PE	250.0	บาท/กก.
	ค่าใช้จ่ายในการซื้อโพลิเมอร์	549.64	บาท/วัน
	เตรียมความเข้มข้น PE	1	กก. PE /ลบ.ม. น้ำ
	กำหนดเวลาเก็บ PE	1	วัน
	ต้องใช้ถังเตรียม PE ขนาด	2.20	ลบ.ม.
	ราคาถังเตรียมสารเคมี	27402	บาท
	ราคาของมอเตอร์กวนถัง PE	17320	บาท/เครื่อง
	ขนาดมอเตอร์กวนสารเคมี	1.10	กิโลวัตต์
	ค่าไฟฟ้าในการเดิน PE mixer	21.99	บาท/วัน
	ขนาดของ Pump PE	0.58	ลบ.ม./ชม.
	ราคาของ PE pump		บาท
	ราคาของ PE pump	94411	บาท/เครื่อง
6	**ค่าใช้จ่ายในการทิ้งตะกอน (Disposal)**		
	ตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินรวมก่อนเข้า Belt	54.96	ลบ.ม/วัน
	ความเข้มข้นตะกอนรวม	10,000	มก./ล.

ตารางที่ 6.7 ตัวอย่างรายการคำนวณระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกิน ทางเลือกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ		หน่วย
	% ความเข้มข้นของตะกอนเค้กหลังผ่าน Belt	20.0	%
	ตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินรวมหลังการรีดตะกอน	2.75	ลบ.ม/วัน
		2.75	ตัน/วัน
	กำหนดค่าใช้จ่ายในการทิ้งตะกอนเค้ก	1,000	บาท/ตัน
	ค่าใช้จ่ายในการทิ้งตะกอนเค้ก	2,748	บาท/วัน
	สรุปค่าใช้จ่ายระบบบำบัดตะกอน		
	ค่าลงทุนเบื้องต้น		
	ถังพักตะกอนสลัดจ์	213,136.12	บาท
	เครื่องรีดตะกอนสลัดจ์ (Belt Press)	684,747.77	บาท
	อาคารรีดตะกอน	75,000.00	บาท
	เครื่องสูบตะกอนสลัดจ์	-	บาท
	เครื่องสูบน้ำล้าง Belt	-	บาท
	ถังเตรียมสารเคมี	27,401.96	บาท
	เครื่องกวนสารเคมี	17,320.47	บาท
	เครื่องจ่ายสารเคมี	94,411.49	บาท
	รวมค่าลงทุนเบื้องต้น	1,112,017.82	บาท
	ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ		
	เครื่องสูบตะกอนสลัดจ์	11.20	บาท/วัน
	เครื่องสูบน้ำล้าง Belt	26.88	บาท/วัน
	ค่าไฟฟ้าในการเดิน PE mixer	21.99	บาท/วัน
	ค่าใช้จ่ายในการทิ้งตะกอนเค้ก	2,748.20	บาท/วัน
	ค่าใช้จ่ายในการซื้อโพลิเมอร์	549.64	บาท/วัน
	รวมค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ	3,357.90	บาท/วัน

6.4.2 การบำบัดตะกอนสลัดจ์จากทางเลือกที่ 2 (ระบบยูเอเอสบีและเอเอส)

ตะกอนสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากทางเลือกที่ 2 จะประกอบด้วยตะกอนสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากทั้งระบบเอเอสและระบบยูเอเอสบี แต่เนื่องจากการบำบัดน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศจะเกิดสลัดจ์ส่วนเกินจากการบำบัดน้ำเสียน้อยกว่าระบบบำบัดแบบใช้อากาศ เนื่องจากค่าอัตราการแลกเนื้อหรือค่ายีลด์ (Yield) ของแบคทีเรียไม่ใช้อากาศมีค่าต่ำกว่าแบคทีเรียใช้อากาศนั่นเอง ดังนั้นเมื่อมองภาพรวมของระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ จะพบว่าค่าใช้จ่ายใน

การก่อสร้างและค่าเดินระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ในทางเลือกที่ 2 นี้จะมีค่าต่ำกว่าในทางเลือกที่ 1 โดยขั้นตอนในการบำบัดตะกอนสลัดจ์จากทางเลือกนี้ จะคล้ายกับขั้นตอนที่ 1 ทำโดยการรีดน้ำออกจากตะกอนสลัดจ์เพื่อให้ตะกอนสลัดจ์มีความชื้นลดลงหรือแห้งขึ้น ซึ่งหน่วยบบำบัดย่อยในการบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินได้แก่ ถังพักตะกอนส่วนเกิน เครื่องรีดตะกอนสลัดจ์ และอาคารรีดตะกอน ตัวอย่างรายการคำนวณระบบบำบัดตะกอนสามารถดูได้ดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ตัวอย่างรายการคำนวณระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกิน ทางเลือกที่ 2

ลำดับ	รายการ		หน่วย
1	**ตะกอนจาก Anaerobic**		
	ค่าภาระซีโอดีที่ถูกกำจัด	1,500	กก./วัน
	ค่า Yield (จริง) ของเชื้อ Anaerobic	0.1	ต่อวัน
	ตะกอนเชื้อ Anaerobic ที่เกิด	150.0	กก./วัน
	ความเข้มข้นตะกอน Anaerobic	2.5	%
	ปริมาตรตะกอนทิ้งจาก Anaerobic	6.00	ลบ.ม/วัน
2	**ตะกอนจาก AS**		
	ค่าภาระซีโอดีที่ถูกกำจัด	1,140	กก./วัน
	ค่า Yield (จริง) ของเชื้อ Aerobic	0.16	ต่อวัน
	ตะกอนเชื้อ Aerobic ที่เกิด	185.53	กก./วัน
	FSS ที่เข้าระบบ	40	มก./ล.
	ตะกอน FSS ที่ต้องทิ้ง	120.00	กก./วัน
	รวมตะกอนสลัดจ์ที่ต้องทิ้งจาก AS	305.5	กก./วัน
	ค่า MLSS ในถังเติมอากาศ	5,000	มก./ล.
	อัตรา Return Sludge	100	% น้ำเข้า
	MLSS ก้นถังตกตะกอนมีความเข้มข้น	10,000	มก./ล.
	ปริมาตรตะกอนที่ต้องทิ้งจาก AS	30.55	ลบ.ม./วัน
3	**ตะกอนสลัดจ์ที่ต้องทิ้งทั้งหมด**		
	ตะกอนสลัดจ์จากระบบ Anaerobic	150	กก./วัน
	ตะกอนสลัดจ์จากระบบ AS	305.5	กก./วัน

ตารางที่ 6.8 ตัวอย่างรายการคำนวณระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกิน ทางเลือกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ		หน่วย
	ตะกอนสลัดจ์รวม	456	กก./วัน
	ตะกอนสลัดจ์จากระบบ Anaerobic	6.00	ลบ.ม/วัน
	ตะกอนสลัดจ์จากระบบ AS	30.55	ลบ.ม/วัน
	ตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินรวม	36.55	ลบ.ม/วัน
	ความเข้มข้นตะกอนรวม	12,462	มก./ล.
4	**ขนาดของถังพักตะกอนส่วนเกิน**		
	กำหนดถังพักตะกอนทิ้ง	1.0	วัน
	ขนาดของถังพักตะกอนทิ้ง	36.55	ลบ.ม.
	ความลึกน้ำถังพักตะกอนทิ้ง	4.0	เมตร
	พื้นที่หน้าตัดของถัง	9.1	ตร.ม.
	ความกว้างของถัง	3.0	เมตร
	ความยาวของถัง	3.0	เมตร
	และความสูงของถัง	4.5	เมตร
	กำหนดความหนาผนัง คสล.	0.3	เมตร
	กำหนดความหนาพื้นฐาน	0.35	เมตร
	จะได้ปริมาตร คสล.	22.5	ลบ.ม.
	กำหนดราคา คสล.	6,600	บาท/ลบ.ม.
	ราคาถังพักตะกอนส่วนเกิน (ไม่รวมฐานราก)	148,750	บาท/ลบ.ม.
	กำหนดราคาฐานราก	2,000	บาท/ตร.ม.
	ราคาฐานราก	18,276	บาท
	ราคาถังรวม	167,026	บาท
5	**เครื่องรีดตะกอน Belt Press**		
	Solid Loading rate ของ Belt Press	150	กก./ม.-ชม.
	เวลาการทำงานของ Belt Press	40	ชม./สัปดาห์
	ตะกอนสลัดจ์ที่ต้องทิ้งใน 1 สัปดาห์	3,188.68	กก./สัปดาห์
		79.72	กก./ชม.
	ขนาดหน้ากว้างของ Belt Press	0.53	เมตร
	ราคาของ Belt Press		บาท/เมตร
	ราคาของ Belt Press	618,868	บาท
	พื้นที่อาคารรีดตะกอน	6.778	ตร.ม.
	ราคาอาคารรีดตะกอน	75,000	บาท

ตารางที่ 6.8 ตัวอย่างรายการคำนวณระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกิน ทางเลือกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ		หน่วย
	ตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินรวม	255.87	ลบ.ม/สัปดาห์
		6.40	ลบ.ม./ชม.
	อัตราสูบตะกอนของเครื่องสูบตะกอน	9.60	ลบ.ม./ชม.
	ขนาดมอเตอร์ของ pump ตะกอน	0.37	กิโลวัตต์
	ราคาของเครื่องสูบตะกอน		
	ราคาของเครื่องสูบตะกอน	-	บาท
	ราคาค่าไฟฟ้า	2.5	บาท/หน่วย
	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ pump ตะกอน	7.45	บาท/วัน
	ปริมาณน้ำล้างผ้า Belt	6.0	ลบ.ม./ม.-ชม.
	อัตราสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำล้าง Belt	4.78	ลบ.ม./ชม.
	ขนาดของมอเตอร์ pump ล้าง Belt	1.11	กิโลวัตต์
	ราคาเครื่องสูบน้ำ		บาท
	ราคาของเครื่องสูบน้ำ	0	บาท
	ราคาค่าไฟฟ้า	2.5	บาท/หน่วย
	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ pump ล้าง Belt	22.28	บาท/วัน
	โพลิเมอร์		
	กำหนด Dose Polymer	4	กรัม PE /กก.SS
	จากปริมาณตะกอนส่วนเกิน	455.53	กก./วัน
	ต้องใช้ Polymer	1.82	กก./วัน
	กำหนดราคา PE	250.0	บาท/กก.
	ค่าใช้จ่ายในการซื้อโพลิเมอร์	455.53	บาท/วัน
	เตรียมความเข้มข้น PE	1	กก. PE /ลบ.ม. น้ำ
	กำหนดเวลาเก็บ PE	1	วัน
	ต้องใช้ถังเตรียม PE ขนาด	1.82	ลบ.ม.
	ราคาถังเตรียมสารเคมี	2,2979	บาท
	ราคาของมอเตอร์กวนถัง PE	16,138	บาท/เครื่อง
	ขนาดมอเตอร์กวนสารเคมี	0.91	กิโลวัตต์
	ค่าไฟฟ้าในการเดิน PE mixer	18.22	บาท/วัน
	ขนาดของ Pump PE	0.48	ลบ.ม./ชม.
	ราคาของ PE pump		บาท
	ราคาของ PE pump	82,950	บาท/เครื่อง

ตารางที่ 6.8 ตัวอย่างรายการคำนวณระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ส่วนเกิน ทางเลือกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ		หน่วย
6	**ค่าใช้จ่ายในการทิ้งตะกอน (Disposal)**		
	ตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินรวมก่อนเข้า Belt	36.55	ลบ.ม/วัน
	ความเข้มข้นตะกอนรวม	12,462	มก./ล.
	% ความเข้มข้นของตะกอนเค้กหลังผ่าน Belt	20.0	%
	ตะกอนสลัดจ์ส่วนเกินรวมหลังการรีดตะกอน	2.28	ลบ.ม/วัน
		2.28	ตัน/วัน
	กำหนดค่าใช้จ่ายในการทิ้งตะกอนเค้ก	1,000	บาท/ตัน
	ค่าใช้จ่ายในการทิ้งตะกอนเค้ก	2,278	บาท/วัน
	สรุปค่าใช้จ่ายระบบบำบัดตะกอน		
	ค่าลงทุนเบื้องต้น		
	ถังพักตะกอนสลัดจ์	167,026.15	บาท
	เครื่องรีดตะกอนสลัดจ์ (Belt Press)	618,868.35	บาท
	อาคารรีดตะกอน	75,000.00	บาท
	เครื่องสูบตะกอนสลัดจ์	-	บาท
	เครื่องสูบน้ำล้าง Belt	-	บาท
	ถังเตรียมสารเคมี	22,978.63	บาท
	เครื่องกวนสารเคมี	16,138.41	บาท
	เครื่องจ่ายสารเคมี	82,950.12	บาท
	รวมค่าลงทุนเบื้องต้น	982,961.67	บาท
	ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ		
	เครื่องสูบตะกอนสลัดจ์	7.45	บาท/วัน
	เครื่องสูบน้ำล้าง Belt	22.28	บาท/วัน
	ค่าไฟฟ้าในการเดิน PE mixer	18.22	บาท/วัน
	ค่าใช้จ่ายในการทิ้งตะกอนเค้ก	2,277.63	บาท/วัน
	ค่าใช้จ่ายในการซื้อโพลิเมอร์	455.53	บาท/วัน
	รวมค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ	2,781.10	บาท/วัน

6.4.3 การบำบัดตะกอนสลัดจ์จากทางเลือกที่ 3 (ระบบบ่อหมัก+ระบบเอเอส)

ในการบำบัดน้ำเสียในทางเลือกที่ 3 นี้ ปัญหาเรื่องการจัดการตะกอนสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจะหมดไปเนื่องจาก สามารถนำตะกอนสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากระบบเอเอสมาทิ้งหรือบำบัดใน บ่อหมักไม่ใช้อากาศได้เลย ดังนั้น ค่าใช้จ่ายต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นค่าลงทุนก่อสร้างระบบบำบัดตะกอนสลัดจ์ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบจึงไม่มี ซึ่งอาจจะมีค่าใช้จ่ายอาจที่เกิดขึ้นได้เพียงค่าเดียว ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการขุดลอกบ่อหมักเมื่อบ่อหมักเต็ม ซึ่งในกรณีดังกล่าวใช้เวลานานมากกว่าที่บ่อหมักจะเต็ม ดังนั้นในการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการขุดลอกบ่อหมักสำหรับโครงการนี้จึงตัดทิ้งไป

บทที่ 7
ระบบการนำกาซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

ระบบการนำกาซมาใช้ประโยชน์มีส่วนประกอบต่างๆดังนี้

- ระบบรวบรวมกาซจากระบบบำบัดไม่ใช้อากาศ
- ระบบท่อส่งกาซและควบคุมความดัน
- การใช้เครื่องยนต์กาซชีวภาพผลิตกระแสไฟฟ้า
- การใช้การชีวภาพสำหรับหัวเผา

7.1 ระบบรวบรวมกาซจากระบบบำบัดไม่ใช้อากาศ

ระบบรวบรวมกาซจากบ่อบำบัดหมายถึง วิธีการรวบรวมกาซที่เกิดขึ้นแล้วหนีขึ้นมาจากน้ำในสภาพฟองเล็กๆ ให้รวมกันเป็นกาซปริมาณมากเพียงพอต่อการนำไปใช้ ดังนั้นจึงมักมุ่งเน้นไปที่ตัวถังปฏิกรณ์ หรือบ่อบำบัด ซึ่งมีการออกแบบมากมายหลายวิธีเช่น

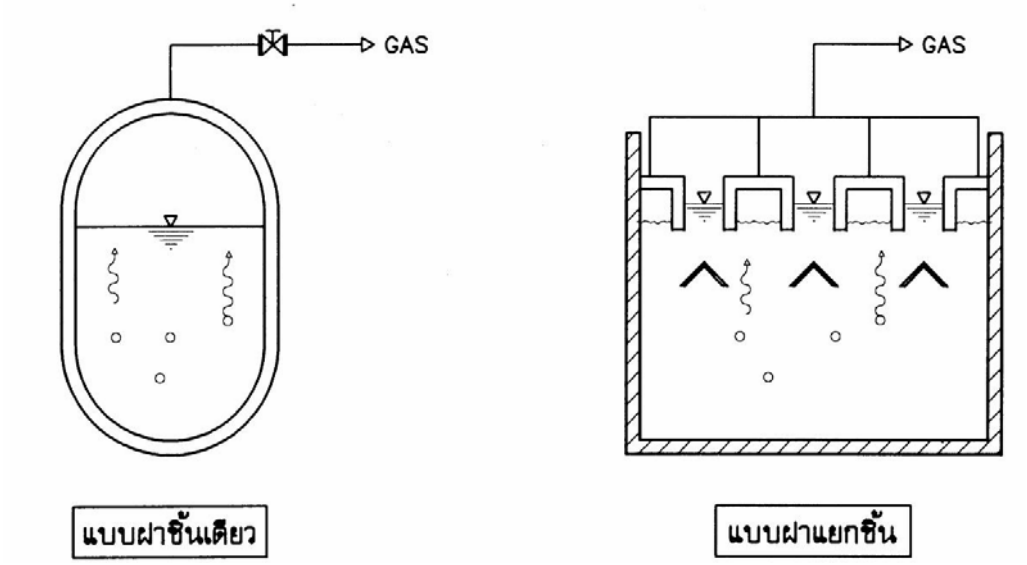
7.1.1 แบบหลังคาคงที่

เป็นการเก็บกาซโดยอาศัยที่ว่างระหว่างเหนือผิวน้ำภายในถังปฏิกรณ์กับฝาถังปฏิกรณ์ที่คงที่ ดังนั้นระบบแบบนี้ต้องการฝาถัง (หรือหลังคา)ที่แข็งแรง ไม่มีรอยรั่ว สามารถรับน้ำหนักตัวเองเมื่อยังไม่มีกาซและรับแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นเมื่อเก็บกาซได้ ส่วนฝาถังดังกล่าวอาจสร้างเป็นชิ้นเดียวกันหรือแยกชิ้นกันก็ได้ ดังรูปที่ 7.1

7.1.2 แบบฝาถังเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ หรือฝาลอย

ลักษณะการเก็บกาซวิธีนี้โดยหลักการคล้ายกับการคว่ำแก้วน้ำครอบกาซที่เกิดขึ้นแล้วปล่อยให้แก้ว (หรือฝาลอย) ลอยขึ้นลงได้ขึ้นอยู่กับปริมาตรกาซที่เก็บอยู่ภายใน การเก็บกาซแบบนี้มักใช้กับถังปฏิกรณ์ขนาดเล็กที่ต้องการให้เก็บกาซได้มากขึ้นแต่ใช้พื้นที่เท่าถังแบบฝาคงที่ และแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงความดันกาซขณะที่มีการใช้กาซ เนื่องจากความดันกาซในระบบขึ้นอยู่กับน้ำหนักฝาถังส่วนที่ลอยอยู่เหนือน้ำ แต่ฝาถังสร้างจากวัสดุ

ที่มีน้ำหนักเบาเช่น เหล็กแผ่น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงส่งผลต่อความดันกาซน้อยมาก การเก็บกาซแบบฝาลอยไม่นิยมสร้างกับถังปฏิกรณ์ที่มีขนาดใหญ่มากเนื่องจากขีดจำกัดด้านเทคนิคในการสร้างโครงสร้างส่วนที่ประคองฝาลอยให้เคลื่อนที่ขึ้นลงได้ ดังนั้นถังเก็บกาซแบบฝาลอยจึงเปลี่ยนรูปแบบจากการอยู่ภายในโครงสร้างเดียวกันกับถังปฏิกรณ์ ไปเป็นถังฝาลอยที่ทำหน้าที่เก็บและรักษาความดันกาซ (Gas Holding Tank) โดยเฉพาะ สร้างเป็นถังแยกต่างหาก ใช้งานร่วมกับถังปฏิกรณ์แบบฝาคงที่เพื่อแก้ปัญหาทั้งเรื่องความดันกาซที่เปลี่ยนแปลงรวดเร็ว และการไหลไม่สม่ำเสมอของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์



รูปที่ 7.1 ลักษณะการเก็บกาซโดยใช้หลังคาคงที่

7.1.3 แบบบอลลูน

การเก็บกาซแบบนี้หลักการเหมือนกับการใช้ถุงพลาสติกขนาดใหญ่ครอบปกคลุมผิวน้ำ แต่ในระบบจริงมักใช้แผ่น HDPE เย็บเป็นรูปคล้ายแคปซูลยาขนาดใหญ่ผ่าซีกตามแนวยาวแล้วคว่ำลงดังรูปที่ 7.2

รูปที่ 7.2 การรวบรวมกาซแบบคลุมด้วยบอลลูน (ฟาร์มหมูใน จ.ราชบุรี)

ระบบรวบรวมกาซแบบนี้ในประเทศไทยมีใช้มากในระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ส่วนการใช้งานกับระบบบำบัดน้ำเสียอื่นๆ ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ราคาค่าก่อสร้างโดยวิธีครอบด้วยบอลลูนมีราคาถูกกว่าการรวบรวมกาซด้วยวิธีอื่นๆ เนื่องจากไม่ต้องการโครงสร้างรับน้ำหนัก ไม่ต้องใช้โครงสร้างประคองการลอยขึ้นลงของบอลลูน สามารถตัดเย็บให้มีขนาดใหญ่แล้วนำมาติดตั้งครอบได้ภายหลัง ง่ายต่อการนำไปใช้กับระบบที่ต้องการปรับปรุงเพิ่มเติมระบบเก็บกาซที่ไม่มีการออกแบบเตรียมไว้ก่อน เช่นระบบบำบัดแบบบ่อผึ่งไม่ใช้อากาศ

7.2 ระบบท่อส่งกาซและควบคุมความดัน

ระบบท่อส่งกาซและควบคุมความดัน หมายถึง อุปกรณ์ทั้งหมดหลังจากระบบรวบรวมกาซจากถังปฏิกรณ์ไปจนถึงก่อนเข้าระบบเผาไหม้ เช่น ถังพักกาซ, ท่อส่งกาซ, พัดลมดูดกาซ, ปล่องเผากาซฯ

7.2.1 ระบบท่อส่งกาซ

ระบบท่อส่งกาซชีวภาพมักเป็นการส่งกาซไปใช้ภายในระยะทางไม่ไกลมากนัก จึงเป็นระบบที่มีแรงดันกาซในท่อต่ำ บางโรงงานอาจไม่จำเป็นต้องใช้พัดลมดูดกาซช่วยสร้างความดันเลย อาศัยเพียงแรงดันจากส่วนเก็บรวบรวมกาซในบ่อบำบัดหรือใช้อุปกรณ์ใช้กาซปลายทาง เช่นอาศัยแรงดูดไอดีของเครื่องยนต์ดึงกาซไปใช้ ดังนั้นระบบท่อส่งกาซจากบ่อบำบัดน้ำเสียจึงมีทั้งระบบท่อส่งจ่าย (มีความดันในเส้นท่อ) และระบบท่อดูด (ความดันในเส้นท่อน้อยกว่าความดันบรรยากาศ) ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้ระบบท่อส่งจ่ายมากกว่าระบบท่อดูด หมายความว่า มักจะวางพัดลมดูดกาซไว้ใกล้แหล่งกำเนิดกาซ แล้วส่งกาซด้วยความดันผ่านท่อไปใช้งานไกล ๆ แทนการติดตั้งพัดลมดูดกาซไว้ที่ปลายทางแล้วดูดกาซเข้ามา ลักษณะเช่นเดียวกันกับการติดตั้งเครื่องสูบน้ำ เหตุที่นิยมใช้เป็นระบบท่อจ่ายเนื่องจาก

- *ระบบท่อส่งส่งกาซไปได้เป็นระยะทางไกลกว่าระบบท่อดูด*
- *สามารถตรวจวัดหาตำแหน่งรอยรั่วได้ง่ายกว่าในระบบท่อส่ง*
- *ระบบท่อส่งให้ความปลอดภัยดีกว่าระบบท่อดูดในกรณีที่ท่อรั่ว ได้*
- *ระบบท่อส่งสามารถควบคุมแรงดันในท่อได้ง่ายกว่า*

7.2.2 ส่วนประกอบของระบบท่อส่งจ่ายกาซและควบคุมความดัน

กาซชีวภาพที่รวบรวมได้จากบ่อบำบัดน้ำเสีย จะต้องถูกส่งผ่านระบบท่อส่งกาซและควบคุมความดันก่อนนำไปใช้งานโดยประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่

- ถังพักกาซ (Gas Holding Tank)
- ถังดักน้ำ (Condensate knock out tank)
- พัดลมดูดกาซ (Gas blower)
- ปล่องเผากาซและชุดจุดไฟอัตโนมัติ
- ระบบควบคุมความดัน

ถังพักกาซ การทำงานเริ่มจากกาซที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปเก็บไว้ในถังพักกาซ ซึ่งถังพักกาซนี้ทำหน้าที่เป็นเพียงถังพักเพื่อลดการกระเพื่อมของปริมาณการเกิดกาซ และการดึงไปใช้ช่วงแรกเท่านั้น ปริมาตรของถังมักใช้เวลากัก 15 นาที -1 ชั่วโมง ของอัตราการเกิดกาซ หากออกแบบให้ถังมีเวลากักนานกว่านี้ ถังจะมีขนาดใหญ่มาก ทำให้ค่าลงทุนสูงขึ้นไม่คุ้มกับประโยชน์ที่ได้รับ เมื่อกาซไหลเข้าไปในถังเก็บกาซจำนวนหนึ่งจนมีความดันถึงตามที่ตั้งไว้ จึงจะเริ่มเดินพัดลมดูดกาซที่ได้ส่งไปใช้งาน

ถังดักน้ำ เนื่องจากกาซชีวภาพในระบบมักมีความชื้นสูงเมื่ออยู่ในท่อขณะที่อุณหภูมิภายนอกลดต่ำลง เช่น เวลากลางคืนอากาศเย็น จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำสะสมอยู่ในท่อ บางส่วนจะไหลมากับกาซที่ดูดไปใช้ ต้องมีการดักน้ำส่วนนี้ออกไปก่อนเข้าไปทำความเสียหายให้กับอุปกรณ์อื่น นอกจากนี้ยังเป็นถังดักน้ำยังช่วยป้องกันความเสียหายที่เกิดจากเหตุฉุกเฉินอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น กรณีอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันกาซในถังพักกาซไม่ทำงานเมื่อความดันต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ (กาซหมด) ถ้าไม่มีถังดักน้ำพัดลมดูดกาซอาจดูดน้ำเข้าไปในระบบสร้างความเสียหายร้ายแรงได้

พัดลมดูดกาซ กรณีที่ต้องการส่งกาซชีวภาพไปใช้เป็นระยะทางไกลๆ จำเป็นต้องมีพัดลมดูดกาซสำหรับเพิ่มความดันในระบบ ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้หลายประเภทตามความดันที่ต้องการ ถ้าต้องการความดันไม่สูงมากสามารถใช้แบบหอยโข่ง (Centrifugal) ได้ ถ้าต้องการแรงดันสูงขึ้นถึงระดับ 350 มิลลิบาร์ ควรใช้พัดลมแบบ Regenerative Turbine หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า Ring Blower หรือใช้พัดลมหอยโข่งแบบหลายขั้น (Multi Stage) หากต้องการแรงดันสูงมากๆ ควรใช้พัดลมประเภท Positive Displacement เช่น แบบโรตารี่ หรือแบบครีบเหวี่ยง (Vane Type)

ปล่องเผากาซ ทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เกิดการเผาไหม้เปลี่ยนกาซมีเทนไปเป็นกาซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อลดอันตรายของความเป็นกาซเรือนกระจกและความเป็นกาซไวไฟ ในกรณีที่นำกาซที่ได้จากบ่อบำบัดน้ำเสียทั้งหมดไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงพลังงานในโรงงาน

ปล่องเผากาซก็ไม่ต้องทำงาน แต่ในกรณีที่มีกาซเหลือ หรือหยุดระบบใช้กาซ ควรจะเผากาซทิ้ง ดังนั้นปล่องเผากาซควรมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะสามารถเผากาซที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด และควรมีระบบจุดด้วยไฟฟ้าเพื่อความสะดวกในการใช้งาน ปล่องเผากาซแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการเผาไหม้ได้แก่ แบบเปิดหรือแบบแท่งเทียน และแบบปิด

ปล่องเผากาซแบบเปิดหรือแบบแท่งเทียน เป็นปล่องเผากาซที่มีข้อดีคือ ราคาถูก สร้างหรือเคลื่อนย้ายได้สะดวก ข้อเสียคือ ต้องการพื้นที่โดยรอบเป็นบริเวณกว้างเพื่อหลบรัศมีความร้อน, ไม่สามารถควบคุมอัตราส่วนผสมของกาซกับอากาศได้ และสามารถมองเป็นเปลวไฟได้ชัดเจน ซึ่งบางครั้งการมองเห็นเปลวไฟได้สร้างความรู้สึกเสมือนว่าไม่ค่อยปลอดภัยแก่ผู้พบเห็นได้เช่นกัน

ปล่องเผากาซแบบปิดนี้มีการเผาไหม้อยู่ภายในปล่อง ที่สามารถควบคุมอัตราส่วนผสมของกาซกับอากาศให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ได้โดยการควบคุมปริมาณลมที่เข้าไปในปล่อง ข้อดีคือควบคุมให้เผากาซได้อย่างหมดจด, สามารถติดตั้งได้ในบริเวณพื้นที่จำกัด ข้อเสียคือมีราคาแพงมากเมื่อเทียบกับปล่องแบบแท่งเทียน

ระบบควบคุมความดัน อุปกรณ์ใช้กาซปลายทางมักต้องการความดันกาซต่ำ แต่ต้องการความดันที่ค่อนข้างคงที่ เช่นเครื่องยนต์กาซแบบสันดาปภายในต้องการความดันกาซก่อนเข้าอุปกรณ์ผสมกาซกับอากาศเพียง 150 มิลลิบาร์เท่านั้น ซึ่งการควบคุมแรงดันกาซทั้งระบบจากพัดลมดูดกาซมาให้ได้พอดีตามที่ต้องการทำได้ลำบาก ดังนั้นจึงใช้วิธีปรับ 2 ขั้น ขั้นแรก ปรับความดันกาซที่ออกจากพัดลมให้เพียงพอสำหรับส่งกาซไปถึงปลายทางที่ความดันสูงกว่าความดันใช้งานเล็กน้อย เป็นการปรับหยาบโดย by pass กาซบางส่วนกลับไปยังท่อดูดของพัดลม เมื่อกาซส่งไปถึงปลายทางแล้ว ที่ปลายทางก่อนเข้าอุปกรณ์ใช้กาซจะมีการปรับขั้นที่สอง โดยใช้วาล์วควบคุมความดัน(Pressure Regulator) ปรับละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ในขั้นตอนนี้ถ้าต้องการความดันที่คงที่มากๆ อาจใช้วาล์วควบคุมความดัน 2 ชุด ต่ออนุกรมกันให้ปรับความดันได้คงที่มากขึ้น

7.3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากกาซชีวภาพ

ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากกาซชีวภาพมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- เครื่องฟอกกาซ (Biogas Scrubber)
- คอมเพรซเซอร์ (เครื่องอัดอากาศ)
- เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า (Generator)
- ชุดควบคุมระบบ (PLC)
- Heat Exchanger

เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ามี 3 ประเภทดังนี้

- เครื่องยนต์ Reciprocating Engine
- ไมโครเทอร์ไบน์ (Microturbine)
- Fuel Cells

เครื่องยนต์ Reciprocating Engine

เครื่องยนต์ Reciprocating Engine เป็นเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้หลักการสันดาปภายในเครื่องยนต์ โดยใช้เชื้อเพลิงได้หลายประเภท เช่น น้ำมัน, กาซ เป็นต้น ผสมกับอากาศก่อนนำเข้าสู่กระบอกสูบของเครื่องยนต์และถูกอัดจนปริมาตรเล็กลงจนมีอุณหภูมิสูง ซึ่งเรียกว่าจังหวะอัด และจะเกิดการเผาไหม้ขึ้นก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นเรียกว่าจังหวะระเบิด การระเบิดจะไปดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ขึ้นลงไปหมุนเพลาข้อเหวี่ยงซึ่งต่ออยู่กับเพลาของเครื่องยนต์และนำไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป

สำหรับกรณีที่ใช้กาซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงจะมีเครื่องยนต์เฉพาะแต่ราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นในการใช้งานจริงในประเทศจึงมักนำเครื่องยนต์ดีเซล มาทำการปรับปรุงสำหรับเพื่อให้ใช้งานกับกาซชีวภาพได้ และทำการสั่งซื้อเฉพาะเครื่องปั่นไฟจากต่างประเทศเท่านั้น ทำให้ราคาโดยรวมของระบบปั่นไฟโดยใช้เครื่องยนต์จึงมีราคาไม่สูงนัก

ตัวอย่างของผู้ผลิตเครื่องปั่นไฟประเภทนี้ ได้แก่ Caterpillar, Waukesha และ Gua Scur นักอุตสาหกรรมจากประเทศจีนก็มีการผลิตเครื่องปั่นไฟประเภทนี้และมีราคาถูกกว่าหลายเท่า

เครื่องยนต์กังหันกาซ (Gas Turbine)

เทคโนโลยีเรื่องกังหันกาซจัดว่าเป็นเทคโนโลยีเก่า เพราะมีชุดกังหันกาซขนาดใหญ่ ใช้กาซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงใช้กันอยู่ตามโรงไฟฟ้าต่างๆ มากมาย แต่ชุดกังหันกาซที่ใช้กาซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ยังมีไม่มากนักและมีขนาดใหญ่ ผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่ำ 3 เมกกะวัตต์ขึ้นไป จึงมีปัญหาเรื่องการจัดหาแหล่งกาซปริมาณมากสำหรับป้อนกังหัน กังหันกาซประเภทนี้จึงใช้สำหรับกาซจากกองขยะที่มีขนาดใหญ่มีกาซจำนวนมาก หลักการทำงานของกังหันกาซคือการจุดระเบิดกาซในห้องสันดาปแล้วให้แรงดันกาซไปเป่ากังหันให้หมุนแล้วต่อแกนหมุนไปหมุนเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ข้อดีของระบบกังหันกาซคือมีประสิทธิภาพสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน จึงมีผู้พยายามสร้างเครื่องยนต์กังหันกาซขนาดเล็กหรือ Micro Gas Turbine ที่มีกำลังการผลิต 50-100 กิโลวัตต์ มาใช้กับแหล่งกำเนินกาซขนาดเล็ก เช่น บ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งขณะนี้ทราบข้อมูลมาว่ามี Micro Gas Turbine จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ขนาด 50 กิโลวัตต์ แต่ใช้กาซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง สำหรับประเทศในเมืองหลวงที่มีระบบท่อส่งกาซธรรมชาติใช้ในครัวเรือนอยู่แล้ว และต้องการเครื่องปั่นไฟเพื่อใช้ในบ้านและใช้พลังงานความร้อนที่เหลือจากกังหันไปใช้เป็นความอบอุ่น ตัวอย่างผู้ผลิตเครื่องปั่นไฟไมโครเทอร์ไบน์ ได้แก่ Capstone และ Honeywell (ดูรูปที่ 7.3)

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell)

จัดว่าเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เริ่มเปิดตัวในเชิงพาณิชย์ แต่ยังมีราคาแพงและกำลังการผลิตในระดับตั้งแต่ 1 เมกกะวัตต์ขึ้นไป หลังการทำงานคือการผ่านกาซมีเทนเข้าไปยังเซลเคมีลักษณะคล้ายแคตทาไลติก คอนเวอทเตอร์ ทำให้คาร์บอนและไฮโดรเจนแตกตัวแล้วเกิดกระแสไฟฟ้าจากการไหลของอิเลคตรอนในขั้นตอนดังกล่าว ข้อดีของระบบนี้คือเป็น

ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าที่เงียบมาก ไม่สึกหรอเพราะไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหวและมีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดผลิตกระแสไฟฟ้าประเภทอื่น ข้อเสียคือ ราคาแพงและต้องใช้กาซมีเทนคุณภาพดี มีความสะอาดสูงมาก ตัวอย่างผู้ผลิตเครื่องปั่นไฟ Fuel Cell ได้แก่ ยี่ห้อ Fuel Cell Energy (ดูรูปที่ 7.4)

รูปที่ 7.3 Micro Turbine (Chapman,D.C, 2001)

รูปที่ 7.4 เครื่องปั่นไฟแบบ Fuel Cell (Chapman,D.C, 2001)

7.3.1 การเปรียบเทียบเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 ประเภท

ข้อดีและข้อเสียของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า 3 ประเภทสามารถเปรียบเทียบให้เห็นได้ดังแสดงในตารางที่ 7.1 ส่วนราคาค่าติดตั้ง และค่าบำรุงรักษาของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากกาซชีวภาพแสดงอยู่ในตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.1 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า 3 ประเภท (Wyoming@cornell.edu)

	ข้อดี	ข้อเสีย
Reciprocating Engine	1. เป็นเทคโนโลยีที่ได้พิสูจน์แล้ว 2. นิยมใช้กันแพร่หลาย 3. หาอะไหล่ได้ง่าย 4. ซ่อมแซมง่าย 5. เครื่องขนาดใหญ่ (250 กิโลวัตต์ หรือใหญ่กว่า) ราคาประหยัดกว่า 6. ประสิทธิภาพสูงกว่า Microturbine 7. หาซื้อเครื่องที่ใช้แล้วแต่ยังใช้งานได้ดี	1. ต้องการการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ 2. เสียค่าบำรุงรักษาแพงกว่าแบบอื่น (คิดต่อกิโลวัตต์) 3. เครื่องขนาดเล็ก (เล็กกว่า 250 กิโลวัตต์) มักมีราคาสูง 4. เสียงดังและมีควันดำ
Microturbine	1. เสียงเงียบและไอเสียมีน้อย 2. เสียค่าบำรุงรักษาต่ำ 3. เครื่องขนาดเล็ก (30 กิโลวัตต์) มีจำหน่าย	1. ประสิทธิภาพต่ำกว่า 2. ยังไม่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย 3. เครื่องขนาดใหญ่มีราคาแพง (ขนาด 250 กิโลวัตต์ หรือใหญ่กว่า)
Fuel Cells	1. ประสิทธิภาพสูงสุด 2. มีไอเสียน้อยมาก 3. ไม่มีเสียงดัง	1. ยังไม่เป็นที่รู้จัก 2. เป็นเทคโนโลยีที่ยังไม่วางตลาดอย่างเต็มที่ 3. ราคายังสูงอยู่ 4. ต้องการอุปกรณ์ทำความสะอาดกาซชีวภาพมากกว่าแบบอื่น

ตารางที่ 7.2 ราคาค่าติดตั้ง และค่าบำรุงรักษาคิดเป็นเงินดอลลาร์ต่อกิโลวัตต์ (Wyoming@cornell.edu)

ประเภทของ เครื่องผลิตไฟฟ้า	ขนาดเล็กที่สุดที่มีขาย (กิโลวัตต์)	ค่าติดตั้ง (ดลลาร์/กิโลวัตต์)	ค่าบำรุงรักษา (ดอลลาร์/กิโลวัตต์)
1. Reciprocating			
- Caterpillar	600 หรือมากกว่า	1,175 ±	0.03
- Waukesha	80, 130 และมากกว่า	(2,200 – 3,300) ±	0.03
- Guascor	333 และมากกว่า	700 ±	
- Preventive Maintenance Systems (refurbished)	200 และมากกว่า	500 ±	0.01
2. Microturbine			
- Capstone	30	(1,300 – 1,700) ±	0.02
- Honeywell	75	1,100 ±	ไม่รู้
3. Fuel Cell			
- Fuel Cell Energy	300	4,500 ±	0.01

หมายเหตุ : ควรคิดราคาให้กับโรงเก็บอุปกรณ์ต่างๆ ด้วย

7.3.2 การจ่ายไฟจากเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า

ปัญหาที่ตามมาอย่างหนึ่งของการใช้เครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าคือการเดินสายไฟไปใช้งาน ส่วนมากทางโรงงานมักจะมีระบบสายไฟฟ้าใช้กับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าอยู่แล้ว หากต้องเดินสายไฟแยกสำหรับเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าจะเป็นการเสียค่าใช้จ่ายมาก หรือต้องคอยสลับสวิตซ์ ซึ่งเป็นเรื่องยุ่งยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงใช้วิธีจ่ายไฟจากเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าผสานไปกับสายไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม ซึ่งทำได้ 2 วิธี คือ

7.3.2.1 <u>การจ่ายไฟขนานด้วยอินดักชันมอเตอร์</u>

วิธีการนี้ใช้หลักการที่ว่า เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ามอเตอร์ มอเตอร์จะแปลงเป็นพลังงานกล ในทางกลับกันเมื่อใส่พลังงานกลให้มอเตอร์ มอเตอร์จะเปลี่ยนกลับเป็นพลังงานไฟฟ้าออกมา วิธีนี้จึงใช้มอเตอร์ไฟฟ้าทั่วๆไป (อินดักชันมอเตอร์) ขนาดประมาณ 100 กิโลวัตต์ต่อตรงกับเครื่องยนต์กาซขนาดประมาณ 200 แรงม้า โดยเมื่อเริ่มเดินเครื่องจะป้อนไฟฟ้าจากการไฟฟ้าให้มอเตอร์ทำงานเหมือนการใช้งานทั่วๆ ไป (เพราะต้องใช้มาสร้าง

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในมอเตอร์) ช่วงแรกนี้มอเตอร์จะมีรอบการหมุนที่ 1,450 รอบต่อนาที จากนั้นจึงปล่อยกาซชีวภาพเข้าเครื่องยนต์และเมื่อติดเครื่องยนต์แล้วจะเร่งรอบเครื่องไปที่ 1,510 รอบต่อนาที มอเตอร์ก็จะจ่ายไฟย้อนกลับเข้าไปในสายไฟฟ้าเดิมโดยอัตโนมัติ

ข้อดีของระบบนี้ก็คือ

- ราคาถูก เพราะไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบที่แม่นยำมาก เนื่องจากความถี่ไฟฟ้าที่ได้เกิดจากความถี่ไฟฟ้าของการไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป จึงสามารถปั่นไฟขนานเข้าสายไฟฟ้าได้โดยตรง
- เมื่อเริ่มติดเครื่องยนต์ มอเตอร์ที่ใช้ปั่นไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นมอเตอร์สตาร์ทที่มีกำลังสูงมาก ทำให้ติดเครื่องยนต์ได้ง่าย
- อินดักชันมอเตอร์ขนาดประมาณ 100 ถึง 150 กิโลวัตต์ มีราคาถูก และหากเลิกใช้ผลิตกระแสไฟฟ้ายังสามารถนำมอเตอร์ไปใช้เป็นต้นกำลังอื่นได้
- เนื่องจากเป็นการจ่ายไฟขนานเข้าสายไฟฟ้าเดิมโดยตรง หากเครื่องยนต์กาซชีวภาพขัดข้องก็ยังคงสามารถใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าได้ตามปกติ

การจ่ายไฟโดยวิธีนี้มีข้อจำกัดคือ

- ปัจจุบันยังไม่มีกฎหมายรองรับวิธีการจ่ายไฟขนานเข้าสายไฟฟ้า เพราะการไฟฟ้ามีกฎระเบียบเรื่องห้ามจ่ายไฟขนานกับการไฟฟ้า ยกเว้นต้องปฏิบัติตามระเบียบและมีอุปกรณ์ความปลอดภัยครบตามข้อกำหนด ซึ่งมีราคาสูงมากไม่คุ้มกับการลงทุน ขณะนี้ยังอยู่ในช่วงเจรจาเพื่อขอลดหย่อนค่าอุปกรณ์ต่อเชื่อมทางไฟฟ้าให้มีราคาถูกลง
- ชุดจ่ายไฟแบบนี้ไม่สามารถใช้เป็นระบบผลิตไฟฟ้าฉุกเฉินสำรองกรณีไฟฟ้าของการไฟฟ้าดับได้
- อินดักชั่นมอเตอร์ขนาดใหญ่มีราคาแพงไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ส่วนมากนิยมใช้ที่ขนาด 100-150 กิโลวัตต์ หากมีกาซมากพอต้องใช้ชุดเครื่องยนต์หลายตัวแทนที่จะเป็นเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ชุดเดียว

- หากมีเหตุขัดข้องที่ทำให้เครื่องยนต์ดับโดยผู้ควบคุมไม่ทราบ มอเตอร์จะทำหน้าที่เป็นต้นกำลังหมุนเครื่องยนต์ ซึ่งผิดวัตถุประสงค์และสิ้นเปลืองค่าไฟโดยไม่จำเป็น

7.3.2.2 <u>การจ่ายไฟขนานเข้ากับการไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ซิงโครนัส (Synchronous)</u>
สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณกาซมากพอและไม่ต้องการใช้เครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าชุดเล็กๆ หลายตัวสามารถเลือกใช้ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าแบบไดนาโมแทนได้ ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าแบบนี้ส่วนมากเป็นชุดสำเร็จรูปผลิตจากต่างประเทศ กำลังการผลิตตั้งแต่ 100-2,000 กิโลวัตต์ ซึ่งมีราคาแพงมากจึงยังไม่เป็นที่นิยม เช่นขนาด 100 กิโลวัตต์ ราคา 2.5 –4 ล้านบาท ขนาด 1,000 กิโลวัตต์ ราคา 22 ล้านบาท เป็นต้น เหตุที่มีราคาสูงเนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ใหม่ออกแบบมาสำหรับการใช้งานหนักเดินเครื่องได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง, มีระบบควบคุมความเร็วรอบที่แม่นยำให้เครื่องยนต์เดินเรียบสม่ำเสมอ, มีระบบจ่ายไฟขนานโดยชุดควบคุมความถี่ประกอบมาในชุดอยู่แล้ว และมีความแน่นอนในการเดินเครื่องยนต์สูง หากได้รับการดูแลตามเงื่อนไขจะหยุดเพื่อซ่อมบำรุงเล็กน้อยทั่วไปไม่เกิน 8 วันต่อปี ในกรณีที่เครื่องยนต์มีกำลังการผลิตสูงๆ จำเป็นต้องมีหม้อแปลง แปลงไฟฟ้า 380 โวลท์ ที่ออกจากชุดผลิตกระแสไฟฟ้าไปเป็นไฟฟ้าแรงสูง 22 กิโลโวลท์ เพื่อให้ใช้สายไฟเส้นเล็กส่งไปใช้ได้ระยะทางไกล ส่วนการเชื่อมต่อกับระบบสายส่งของการไฟฟ้ายังคงต้องใช้อุปกรณ์ต่อเชื่อมตามระเบียบดังได้กล่าวมาแล้ว

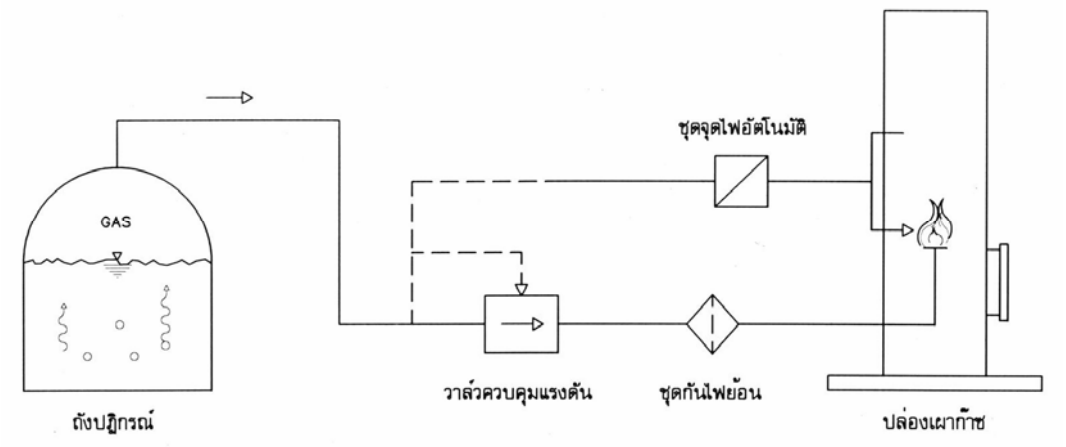
7.4 การใช้กาซสำหรับหัวเผา (Gas Burner)
การใช้ประโยชน์จากกาซชีวภาพโดยตรงที่สามารถกระทำได้ง่ายได้แก่ การใช้กาซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเตาให้กับหม้อไอน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

ในกรณีนี้ โรงงานอุตสาหกรรมต้องมีอุปกรณ์ในการส่งกาซไปให้กับหม้อไอน้ำ ได้แก่ ระบบท่อส่งกาซและควบคุมความดัน ซึ่งในที่นี้หมายความถึง อุปกรณ์ทั้งหมดหลังจาก

ระบบรวบรวมกาซจากถังหมักไปจนถึงหม้อไอน้ำเช่น ถังพักกาซ, ท่อส่งกาซ, พัดลมดูดกาซ, ปล่องเผากาซ ฯ

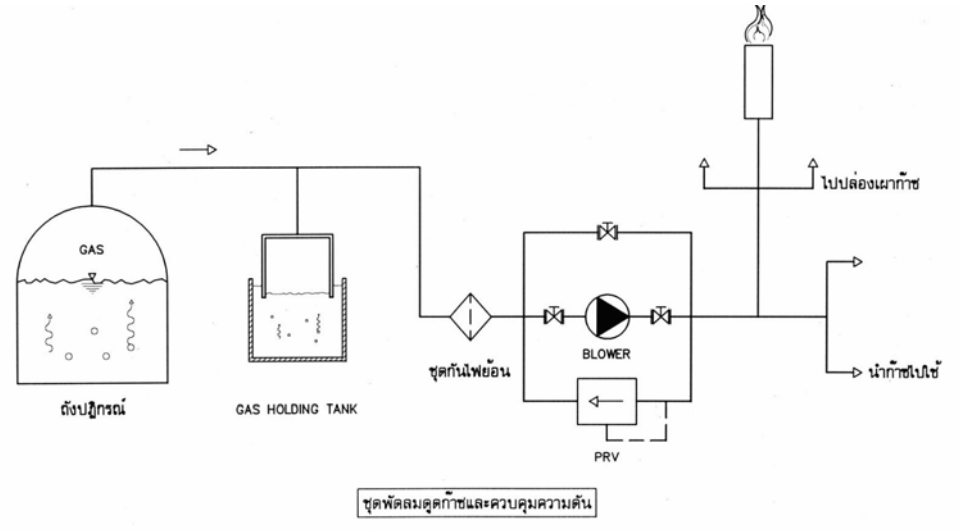
การออกแบบระบบท่อส่งกาซและควบคุมความดันต้องสัมพันธ์กับปริมาณกาซที่เกิดขึ้น, ลักษณะและอุปกรณ์ปลายทางที่ใช้กาซ เช่นระบบเผากำจัดกาซ ระบบหัวเผาของหม้อไอน้ำ หรือระบบเครื่องยนต์ เป็นต้น ถ้าระบบผลิตกาซได้มากพออย่างต่อเนื่องและมีความดันในระบบสามารถเผาเพื่อกำจัดกาซได้โดยตรง โดยไม่ต้องใช้พัดลมดูดกาซดังแผนภาพรูปที่ 7.5

ยกตัวอย่างเช่น แรงดันของกาซ 15 ซม.น้ำ พอเพียงในการขับดันให้กาซชีวภาพไหลไปตามท่อ 150 มม. เป็นระยะทาง 2-3 ไมล์ ถ้าต้องการขนส่งไปให้ไกลกว่า 2-3 ไมล์ หรือใช้ท่อเล็กกว่า 150 มม. ต้องมีการเก็บกักกาซ (ใช้ Bladder Tank) และเพิ่มแรงดันให้กาซด้วยเครื่องอัดอากาศ (Compressor)



รูปที่ 7.5 ระบบเผากำจัดกาซ

ในกรณีที่ต้องส่งกาซไปใช้เป็นระยะทางไกล และต้องการแรงดันปลายทางก่อนเข้าระบบเผาไหม้สูง จำเป็นต้องมีพัดลมดูดกาซทำงานร่วมกับระบบเผากำจัดกาซ ดังรูปที่ 7.6 ทั้งนี้ระบบเผากำจัดกาซต้องสามารถรองรับปริมาณกาซที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้เผื่อกรณีที่ไม่มีการใช้กาซปลายทาง



รูปที่ 7.6 ระบบส่งกาซแบบมีพัดลมเพิ่มความดันในระบบ

บทที่ 8
ข้อแนะนำในการใช้ประโยชน์จากกาซชีวภาพ

การเดินระบบบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศนั้น นอกจากได้ประโยชน์ในการประหยัดพลังงานในการเดินระบบเนื่องจากไม่ต้องใช้พลังงานในการเติมอากาศแล้ว ยังมีผลพลอยได้คือกาซชีวภาพจากระบบไม่ใช้อากาศซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น

- การเผาโดยตรงเพื่อให้เกิดความร้อนและนำความร้อนที่ได้ไปใช้งาน
- ใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ
- ใช้เป็นพลังงานในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ต่างๆ
- ใช้เป็นพลังงานในการปั่นไฟฟ้า

สำหรับในรายงานฉบับนี้จะพิจารณาการนำกาซชีวภาพไปใช้ 2 ทาง ที่มีความเป็นไปได้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมคือ

- ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในระบบบำบัดน้ำเสียและภายในโรงงาน
- ทดแทนน้ำมันดีเซลที่ใช้กับหม้อไอน้ำ

สำหรับวิธีวิเคราะห์โครงการจะพิจารณา 4 วิธีคือ

1. มูลค่าโครงการปัจจุบัน (Net Present Value)
2. อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return , IRR)
3. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)
4. จุดคุ้มทุน

8.1 ข้อกำหนดและข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางการเงิน

ข้อกำหนดและข้อมูลสำหรับการคำนวณการวิเคราะห์ทางการเงินในการนำกาซชีวภาพไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า แสดงได้ดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 ข้อกำหนดการคำนวณการวิเคราะห์การเงินในการนำกาซชีวภาพไปใช้งานสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า

รายการ	ข้อกำหนด	หน่วย
ข้อกำหนดการออกแบบ		
ประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ	50	%
ข้อมูลกาซชีวภาพ		
ซีโอดี 1 กก.ให้กาซชีวภาพ	0.5	ลบ.ม/กกซีโอดี
กาซชีวภาพ 1 ลบ.ม เทียบเท่าน้ำมันดีเซล	0.6	ลิตร/ลบ.ม.กาซ
ข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ทางการเงิน		
อายุโครงการ	3.00	ปี
ดอกเบี้ยของเงินลงทุน	6.00	%
ราคาค่าไฟฟ้า	2.00	บาท/กิโลวัตต์
ข้อกำหนดงานเครื่องกลไฟฟ้า		
ไฟฟ้าที่ได้จากกาซชีวภาพ	1.20	กิโลวัตต์-ชม./ลบ.ม
ระยะเวลาเดินเครื่องปั่นไฟใน 1 วัน	10	ชม/วัน
เวลาการเดินเครื่องปั่นไฟใน 1 ปี	300	วัน/ปี
ค่าเดินระบบและค่าซ่อมบำรุง(จากมูลค่าเครื่องจักร)	10	%
สมการค่าเครื่องปั่นไฟ	2,143	a
Y = a X + b	234,286	b
(X = ขนาดเครื่องปั่นไฟ)		
อัตราค่าออกแบบและอื่นๆ (คิดจากค่าระบบปั่นไฟฟ้า)	50	%

โดยข้อกำหนดนี้จะใช้เป็นข้อมูลประกอบการคำนวณต่างๆ ในรายงานฉบับนี้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาข้อสรุปต่างๆ ที่จะกล่าวต่อไปในรายงาน ขอให้ผู้อ่านตระหนักว่าการสรุปดังกล่าวอยู่บนข้อกำหนดนี้

- ***ราคาระบบปั่นไฟ***

ค่าเครื่องปั่นไฟพร้อมอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากการสอบถามผู้ใช้งานและข้อมูลจากบริษัทผู้จัดทำชุดเครื่องปั่นไฟที่มีการใช้งานจริงอยู่ในปัจจุบัน โดยมีรายละเอียดของชุดผลิตกระแสไฟฟ้าแสดงดังกล่าวแสดงได้ได้ดังตารางที่ 8.2 และสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเครื่องปั่นไฟกับราคาด้วยสมการดังนี้

$$Y = 2{,}150\,X + 240{,}000$$

โดย

Y = ราคาชุดปั่นไฟ (บาท)

X = ขนาดเครื่องปั่นไฟ (กิโลวัตต์)

ตารางที่ 8.2 ต้นทุนราคาชุดเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าจากกาซชีวภาพ

ลำดับที่	ขนาด (KVA)	เครื่องยนต์	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ราคา (บาท)
1	60	Isuzu-6000	จีน	360,000
2	120	EK-100	จีน	500,000
3	150	Benz-15000	จีน	550,000

หมายเหตุ : รวมราคาตู้ควบคุมไฟฟ้า,ชุดควบคุมอัตราส่วนกาซและความเร็วรอบ พร้อมค่าติดตั้ง

ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณกาซชีวภาพที่เกิดขึ้น จะสามารถคำนวณหาขนาดเครื่องปั่นไฟฟ้าที่ต้องการได้ และเมื่อนำมาประกอบกับสมการความสัมพันธ์ดังกล่าว จะทำให้ทราบเงินลงทุนเบื้องต้นซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ทางการเงินต่อไป

8.2 จุดคุ้มทุนในการนำกาซชีวภาพผลิตกระแสไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ทางการเงิน(รายงานฉบับกลาง 2545) พบว่าปริมาณน้ำเสียที่จุดคุ้มทุนในการนำกาซชีวภาพผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่าซีโอดีของน้ำเสีย แต่จะมีค่าภาระซีโอดีที่จุดคุ้มทุนคงที่ ตามแต่ละประเภทน้ำเสียหรือประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบไม่ใช้อากาศนั้นเอง สำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อมแสดงดังตารางที่ 8.3

ตารางที่ 8.3 ปริมาณน้ำเสียที่จุดคุ้มทุนที่ซีโอดีค่าต่างๆ (รายงานฉบับกลาง, 2545)

ลำดับที่	ซีโอดี (มก./ล.)	ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)	ภาระซีโอดี (กก./วัน)
1	500	2442	1221
2	1000	1221	1221
3	2000	610	1221
4	3000	407	1221

จากตารางที่ 8.3 จะเห็นได้ว่า จุดคุ้มทุนสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อมในการนำกาซชีวภาพมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ภาระซีโอดีประมาณ 1,200 กก/วัน

8.3 ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนจากการใช้กาซชีวภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า

8.3.1 ค่าใช้จ่ายในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกาซชีวภาพ

ค่าใช้จ่ายในการนำกาซชีวภาพไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าประกอบด้วยเงินลงทุนในเบื้องต้น,ค่าเดินระบบและค่าซ่อมบำรุง สำหรับเงินลงทุนในเบื้องต้นนี้จะคิดเฉพาะครื่องปั่นไฟพร้อมอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากบริษัทผู้จัดทำชุดเครื่องปั่นไฟที่มีการใช้งานจริงอยู่ในปัจจุบัน

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเครื่องปั่นไฟกับราคาโดยมีสมการคือ

$$Y = 2{,}150\,X + 240{,}000$$

โดย

Y = ราคาชุดปั่นไฟ (บาท)

X = ขนาดเครื่องปั่นไฟ (กิโลวัตต์)

ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณกาซชีวภาพที่เกิดขึ้น จะสามารถคำนวณหาขนาดเครื่องปั่นไฟฟ้าที่ต้องการได้ และเมื่อนำมาประกอบกับสมการความสัมพันธ์ดังกล่าว จะทำให้ทราบเงินลงทุนเบื้องต้นซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ทางการเงินต่อไป

ปริมาณกาซชีวภาพที่ผลิตได้จากการบำบัดน้ำเสีย ประเมินได้จากสมการดังนี้

$$Vg = So \times eff \times F \times 0.5 \times 10^{-5}$$

โดยที่ Vg = ปริมาณกาซชีวภาพที่ได้ ($ม^3$/วัน)

So = COD ของน้ำเสีย (มก./ล.)

eff = ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบไม่ใช้อากาศ, %

สำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม (eff = 50%) $Vg = 25\,So\,F \times 10^{-5}$

เนื่องจาก กาซชีวภาพ 20 $ม^3$/วันสามารถเดินเครื่องปั่นไฟได้ = 1 kW

$\therefore$ จะได้ $X = Vg/20$

เนื่องจาก $Y = 2{,}150X + 240{,}000$

$\therefore$ $Y = 107.5\,Vg + 240{,}000$

สำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหาร $Y = 0.045\,So\,F + 240{,}000$

สมมติให้เครื่องปั่นไฟทำงาน = 12 ชม/วัน

∴ ต้องใช้เครื่องปั่นไฟอีก 1 ชุด เพื่อพลัดกันทำงานให้ครบ 24 ชม. ราคาชุดปั่นไฟจึงต้องเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว

ดังนั้น สำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม Y = 0.06 So F + 480,000

8.3.2 ผลตอบแทนจากการใช้กาซชีวภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ผลตอบแทนรายปีการนำกาซชีวภาพมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับอุตสากรรมฟอกย้อม สามารถแสดงได้ด้วยสมการดังนี้

$$Ae = 0.180 \times C \times F$$

หรือ $$Ae = 180\ L$$

โดย Ae = ผลตอบแทนของโครงการนำกาซชีวภาพไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า (บาท/ปี)
C = ความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสีย (มก./ล)
F = ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม/วัน)
L = ภาระซีโอดี (กก./วัน)

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ทำให้สะดวก สำหรับการประมาณรายได้ของโครงการจากการผลิตกระแสไฟฟ้าเบื้องต้นในแต่ละปี

8.4 ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนจากการใช้กาซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ

ผลตอบแทนในการนำกาซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้หม้อไอน้ำสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อม สามารถนำมาสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

Ab = 0.585 x C x F

หรือ Ab = 585 L

โดย Ab = ผลตอบแทนของโครงการนำกาซชีวภาพไปใช้ในหม้อไอน้ำ (บ./ปี)
C = ความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสีย (มก./ล)
F = ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม/วัน)
L = ภาระซีโอดี (กก./วัน)

อย่างไรก็ตาม จากเหตุผลที่ไม่สะดวกในการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบการนำกาซชีวภาพไปใช้ในหม้อไอน้ำ ทำให้การพิจารณาจุดคุ้มทุนไม่สามารถทำได้ แต่การทราบผลตอบแทนที่เกิดขึ้นในการนำกาซชีวภาพไปใช้ในหม้อไอน้ำทำให้พิจารณาได้ว่า ถ้าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการจัดสร้างโครงการนำกาซชีวภาพไปใช้ในหม้อไอน้ำ มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าผลตอบแทนจากโครงการก็มีความเป็นไปได้ในการลงทุนนั่นเอง

8.5 การเปรียบเทียบผลตอบแทนในการนำกาซชีวภาพไปใช้ผลิตไฟฟ้ากับใช้ในหม้อไอน้ำ

จากข้อมูลสมการโดยรวมของผลตอบแทนในการนำกาซชีวภาพไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้ากับใช้ในหม้อไอน้ำคือ

Ae = 180 L

Ab = 585 L

โดย

Ae = ผลตอบแทนของโครงการนำกาซชีวภาพไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า (บาท/ปี)
Ab = ผลตอบแทนของโครงการนำกาซชีวภาพไปใช้ในหม้อไอน้ำ (บาท/ปี)
L = ภาระซีโอดี (กก./วัน)

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าผลตอบแทนในการนำกาซชีวภาพไปใช้ในหม้อไอน้ำ (Ab) จะได้ผลตอบแทนดีกว่านำไปผลิตไฟฟ้า (Ae) ถึง 3.25 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตไฟฟ้ามีการสูญเสียพลังงานระหว่างการผลิตมากนั่นเอง

8.6 ข้อแนะนำในการใช้กาซชีวภาพผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 8.2 ว่า สำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อมจุดคุ้มทุนในการใช้กาซชีวภาพสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ ภาระซีโอดี 1,200 กก./วัน และเมื่อพิจารณาในรายละเอียดของประเภทโรงงานในอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่มีลักษณะน้ำเสียจากการรวบรวมแสดงได้ดังตาราง 8.4

ตารางที่ 8.4 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด

ประเภทโรงงาน	ลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด			
	pH	BOD มก./ล.	COD มก./ล.	SS มก./ล.
โรงงานฟอกย้อมด้ายและผ้าถัก	8.0-9.7	110-180	300-650	40-60
โรงงานฟอกย้อมผ้าทอ	12.0	400-500	1,200-2,100	150-400

ข้อแนะนำในการใช้กาซชีวภาพผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อม จึงมีดังนี้

- ***สำหรับโรงงานฟอกย้อมผ้าทอ*** ควรพิจารณาการนำกาซชีวภาพไปใช้เมื่อมีปริมาณน้ำเสียสูงกว่า ***600 – 1,000 ลบ.ม/วัน***

- ***โรงงานฟอกย้อมด้ายและผ้าถัก*** อาจไม่เหมาะที่จะใช้ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศเนื่องจากมีซีโอดีของน้ำเสียต่ำเกินไป

สำหรับโรงงานที่มีความเป็นไปได้ในการนำกาซชีวภาพไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว(ภาระสารอินทรีย์สูงกว่า 1,200 กก./วัน) และอยากจะทราบผลตอบแทนต่างๆ สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$NPV_t = 340\ X - 415{,}000 \quad (8.1)$$

$$IRR_t = 40\ Ln(X) - 269 \quad (8.2)$$

$$PP_t = 547X^{-0.42} \quad (8.3)$$

โดย NPV_t = มูลค่าปัจจุบันของโครงการ (บาท)

IRR_t = อัตราผลตอบแทนการลงทุน (%)

PP_t = ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)

X = ภาระซีโอดี (กก/วัน)

เมื่อแทนค่าภาระซีโอดีของน้ำเสียโรงงานลงไปในสมการ จะได้ข้อมูลทางการเงินในเบื้องต้นเพื่อประกอบการตัดสินใจลงทุนต่อไป อย่างไรก็ตาม ต้องตระหนักว่าสมการดังกล่าวนี้เป็นผลมาจากข้อจำกัดที่กำหนดในการวิเคราะห์ทางการเงิน ซึ่งจะทำให้การนำสมการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ถ้าทางโรงงานมีแนวคิดในการนำกาซชีวภาพไปใช้สำหรับหม้อไอน้ำ โดยเฉพาะถ้าระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศไม่ไกลจากหม้อไอน้ำ จะทำให้มีความเป็นไปได้มากกว่าที่จะนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า เพราะการนำกาซชีวภาพไปใช้ผลิตไฟฟ้าจะมีการสูญเสียมากกว่าการใช้ในหม้อไอน้ำ

8.7 การใช้สมการวิเคราะห์ทางการเงิน

จากข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานที่ทำการสำรวจ สามารถนำไปคำนวณหาผลตอบแทนทางการเงินได้ตามตัวอย่างการคำนวณ(รายละเอียดการคำนวณดูได้จากรายงานฉบับกลาง, 2545) และทดลองนำข้อมูลของโรงงานเบื้องต้นมาใช้สูตรที่สรุปในหัวข้อ 8.6 ด้วย โดยสามารถสรุปเปรียบเทียบผลตอบแทนทางการเงินได้ดังตารางที่ 8.5

ตารางที่ 8.5 ค่าวิเคราะห์ทางการเงินที่หาจากสมการ

โรงงาน	ปริมาณน้ำเสีย	ซีโอดี (มก./ล.)	ภาระซีโอดี (กก/วัน)	NPV (บาท)	IRR (%)	PP (เดือน)
T1	2,500	3,000	7,500	2,129,343	83.7	12.9
T2	2,500	1,400	3,500	772,863	53.5	17.7
T3	2,300	400	920	-102,067	-	-
T4	500	1,700	850	-125,805	-	-
T5	1,000	600	600	-210,585	-	-

จากตารางที่ 8.5 จะเห็นได้ว่าสมการที่นำมาใช้สามารถใช้พิจารณาความคุ้มทุนได้ด้วยในเบื้องต้น โดยจะเห็นได้ว่าโรงงาน T3 - T5 มีค่า NPV ติดลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่คุ้มค่ากับการลงทุน การนำสมการดังกล่าวไปใช้ในสำหรับการประเมินผลตอบแทนในการนำกาซชีวภาพไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่มีรายละเอียดการดำเนินงานตามข้อกำหนดที่ตั้งไว้สามารถทำได้อย่างดี

จากตารางที่ 8.5 จะเห็นได้ว่า โรงงาน T1 ควรพิจารณาการนำกาซชีวภาพไปใช้อย่างยิ่ง โดยถ้าพิจารณาการใช้กาซชีวาภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่ามีมีค่าโครงการในปัจจุบันประมาณ 2 ล้านบาท และคิดเป็นผลตอบแทนการลงทุนสูงถึง 85 %/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 ปี

สำหรับบางโรงงานที่มีข้อมูลต่างๆ เปลี่ยนไปจากข้อกำหนด จะใช้หลักดังกล่าวตามที่กล่าวมาในรายงานนี้และสามารถดูรายละเอียดได้มากขึ้นในรายงานฉบับกลาง ในการหาสมการความสัมพันธ์ต่างๆ ที่เหมาะสมกับโรงงานนั้นได้ ซึ่งจะช่วยให้การพิจารณาในการนำกาซชีวภาพไปใช้เป็นไปอย่างสะดวกรวดเร็ว

เอกสารอ้างอิง

1. Alphenaar, A. (1994) “Anaerobic Granular Sludge: Characterization, and Factors Affecting its Functioning”, Ph.D Thesis, Wageningen agricultural Univ., Wageningen, the Netherlands.
2. 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
3. Arceivala ,S.J et al (1970) “Waste Stabilization Ponds : Design, Construction and Operation in India” CPHERI, Nagpur, India
4. Athanospoulos, N. (1990). Biological Wastes, 32, 161.
5. Atlas R.M. Principles of Microbiology. St. Louise: Mosby, 1995.
6. Australian Greenhouse Office (1998) "Methane Capture and Use" Waste Management Workbook
7. Barnett, A., Pyle, L. and Subramanian, S.K (1978) “Biogas Technology in the Third World: A Multidisciplinary Review”, IDRC, Ottawa, Ontario, Canada.
8. Barton, L.L, Editor (1995) “Sulfate Reducing Bacteria”, Plenum Press, New York, London
9. Bull,M.A ,Sterritt,R.M and Lester,J.N (1984) "Developments in Anaerobic treatment of High Strength Industrial Wastewaters" Chem.Eng.Res.Des. 62,203-213
10. Chapman,D.C (2001) "Anaerobic Digestion Options for Perry, NY" Perry Project- Anaerobic Digestion
11. Cheynoweth, D.P. and Isaacson, R (1987), Editors “Anaerobic Digestion of Biomass”, Elseveir Applied Science, London and New York.
12. De Souza, M.E. Editor (1986) “Anaerobic Treatment in Tropical Countries”, Water Science and Technology,V.18, no.12
13. De Zueew, W.J.(1988). Proceedings of GASMAT.Workshop, Wageningen, Netherlands
14. 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
15. Erickson, L.E. and Fung, D.Y-C Co Editors (1988) “Handbook on Anaerobic Fermentations”, Marcel Dekker, Inc, New York, Basel
16. 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.
17. Fenchel, T. and Finlay, B.J (1995) “Ecology and Evolution in Anoxic Worlds”, Oxford Univ. Press.

18. Florencio, L. (1994) “The Fate of Methanol in Anaerobic Bioreactors”, Doctor Thesis, Wageningen agricultural Univ., Wageningen, the Netherlands.
19. GTZ "Anaerobic Processes for the Treatment of municipal and Industrial Wastewater and Waste: an Overview" (no date printed)
20. 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 Elseveir Biomedical Press, Amsterdam, New York-Oxford
21. 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
22. Hulshoff Pol, L.W., de Zueew, W.J., Velzebeboer, C.T.M., and Lettinga, G. (1983). Water Science and Technology, 15, 291.
23. International Energy Agency (2001) "Systems and Markets Overview of Anaerobic Digestion"
24. Kalogo,Y and Verstracte,W (1999) "Development of Anaerobic Sludge Bed (ASB) Reactor Technologies for Domestic Wastewater Treatment: Motive and Perspectives" World Journal of microbiology &Biotechnology, 15,523-534
25. Killilea, J.E , Colleran, E and Scahill ,C (2000) "Establishing Procedures for Design, Operation and Maintenance of Sewage Sludge Anaerobic Treatment Plants" Wat.Sci.and Tech 41 ,3, 305-312
26. Klingler ,B. "Environmental Aspects of Biogas Technology" German Biogas Association, pp.1-12
27. Kranert, M. and Hillebrecht k. (2000) "Anaerobic Digestion of Organic Wastes-Process Parameters and Balances in Practice" University of Applied Sciences Braunschweig/Wolfenbuttel, Germany
28. Lettinga, G., et al. Editors (1987) “Granular Anaerobic Sludge; Microbiology and Technology”, Proceedings of the GMSMAT Workshop, Lunteren, the Netherlands, 25-27 Oct.1987. Wageningen agricultural Univ., Wageningen, the Netherlands
29. 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.
30. Madigan T.M., Martinko J.M. and Parker J. *Brock* Biology of Microorganisms. 8th ed. USA.: Prentice Hall International, 1997.
31. 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.
32. Mara, D (1997) “Design Manual for Waste Stabilization Ponds in India” Lagoon Technology International Ltd.,Newton House ,Newton Road, Reeds LS7 4DN ,England

33. McCarty, P.L (1964) "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals" Public Works.
34. Metcalf & Eddy Inc (1991) " Wastewater Engineering Treatment ,Disposal and Reuse " 3 rd. Edition ,McGraw-Hill Inc.
35. Pipijin, P., and Verstraete, W. (1985). Hannover Industrie Abwasser Tagung, Hanover, Germany.
36. Qasim , Syed R. (1999) " Wastewater Treatment Plants : Planning ,Design and Operation " CBS Publishing Japan Ltd.
37. 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"
38. Seghezzo,L et al (1998) "A Review: The Anaerobic Treatment of Sewage in UASB and EGSB Reactors" Bioresource Technology , 65,175-190
39. Sell ,D. "Bioelectrochemical Fuel Cells" VCH-Herr Schmidt-REED/REHM.10, pp.5-10
40. Shieh, W.K and Li, A.Y (1987) "High Rate Anaerobic Treatment of Industrial Wastewaters" Global Bioconversions,V.3 , D.L Wise (Editor) CRC Press ,Florida, USA
41. Speece, R.E (1996) "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters", Archae Press, Nashville, Tennessee
42. Speece,R.E (1983) "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater Treatment" Environ.Sci.Technol.,17 ,9, 416A-427A
43. Sreekrishnan,T.R and Ali, M "New Developments in Bioreactor Design for Biomethanation Process"
44. 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, WalesSept.1979 Applied Science Publishers Ltd., London
45. Stukenberg,J.R et al (1992) "Egg-Shaped Digesters: From Germany to the U.S " Water Environment & Technology ,April, pp.42-51
46. Thai Environmental Engineering Journal Vol. 15 No.2
47. Thaveesri, J (1994) "Granulation in UASB Reactor: General Introduction" Ph.D 's Thesis , Univ.of Gent, Belgium
48. The Biogas Technology in China, BRTC, China (1989)
49. UNEP (1993) "The Textile Industry and the Environment " UN publication, ISBN 92-807-1367-1
50. USEPA (1996) "Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry " EPA/625/R-96/004 Sept. 1996

51. van den Berg ,L and Kennedy,K.J (1982) "Dairy Waste Treatment with Anaerobic Stationary Fixed Film Reactors" Anaerobic Treatment of wastewaters in Fixed Film Reactors
52. van Haandel, A.C and Lettinga, G (1994) "Anaerobic Sewage Treatment: a practical Guide for Regions with a Hot Climate", John Wiley & Sons.
53. Van Wambeke,M., Grusenmeyer,S., Verstraete,W., and Longly,R.(1990). Process Biochemistry, pp.181
54. Vieira,S.M and Garcia Jr.,A.D (1992) in Manila, J.F. and Pohland, F.G. (1992)
55. Visser, A.,Gao, Y and Lettinga, G (1992) "Anaerobic Treatment of Synthetic Sulfate containing Wastewater under Thermophilic Conditions" Wat.Sci.Tech., 25, 193-202
56. Widdel F. (1988.) Microbiology and ecology of sulfate- and sulfur-reducing bacteria. In Widdel F. (ed.), Biology of anaerobic microorganisms, pp. 469-585.
57. World Bank group (1998) " Textiles, Pollution Prevention and Abatement Handbook "
58. Wyoming@cornell.edu (AnAerobics Feasibility Report)
59. Zehnder, A.J.B. Editor (1988) "Biology of Anaerobic Microorganisms", A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons.
60. Zhang , R. (2001) "Biology and Engineering of Animal Wastewater Lagoons", University of California Davis pp. 1-7
61. Zoutberg ,G.R and Frankin ,R (1996) "Anaerobic Treatment of Chemical and Brewery Wastewater with a New Type of Anaerobic Reactor; the Biobed EGSB Reactor" Water Quality International '96 V.2 Singapore, June 1996

ภาษาไทย

1. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2538) "โครงการจัดทำแผนหลักการจัดการน้ำเสียชุมชนและกิจกรรมต่างๆในพื้นที่แหล่งน้ำสำคัญทั่วประเทศ", รายงานฉบับสมบูรณ์
2. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2544) "โครงการการจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้ออกซิเจน", รายงานเบื้องต้น
3. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2544) "โครงการการจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้ออกซิเจน", รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 1
4. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2545) "โครงการการจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้ออกซิเจน", รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 2
5. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2543) "การศึกษาวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนหลักของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในการลดปัญหามลพิษทางน้ำจากภาคอุตสาหกรรม", รายงานฉบับสมบูรณ์
6. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2543) "การศึกษาวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนหลักของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในการลดปัญหามลพิษทางน้ำจากภาคอุตสาหกรรม", รายงานภาคผนวก
7. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2540) "โครงการศึกษาเพื่อประเมินปริมาณสารมลพิษอุตสาหกรรมทางน้ำจากภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย", รายงานฉบับสมบูรณ์ รายงานหลัก
8. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2540) "โครงการศึกษาเพื่อประเมินปริมาณสารมลพิษอุตสาหกรรมทางน้ำจากภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย", รายงานฉบับสมบูรณ์ ภาคผนวก
9. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2541) "โครงการศึกษาปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อมโรงงานที่ก่อปัญหามลพิษในพื้นที่วิกฤต", รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 1 รายงานหลัก
10. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2541) "โครงการศึกษาปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อมโรงงานที่ก่อปัญหามลพิษในพื้นที่วิกฤติ", รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 2 ภาคผนวก
11. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2541) "โครงการศึกษาปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อมโรงงานที่ก่อปัญหามลพิษในพื้นที่วิกฤติ", รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 2 ภาคผนวก
12. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2543) "การประยุกต์ใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ในการจัดการมลพิษในโรงงาน"
13. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2543) "การประยุกต์ใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ในการจัดการมลพิษในโรงงาน"

14. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544), " การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ", สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
15. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2542) , "เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1,2" , พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
16. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2544) " คู่มือการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าและฟอกย้อม"
17. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2540) " รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม"
18. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน , กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2542) "คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม"
19. โสภา ชินเวชกิจวานิชย์ และ มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์(2543) "ความสำคัญของสภาพด่างในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ" การประชุมวิชาการประจำปีระดับชาติ ครั้งที่ 13 สวสท.'43