ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติน้ำเสียอุตสาหกรรมกับระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ

นางสาว ผการัตน์ พรหมอยู่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RELATION BETWEEN INDUSTRIAL WASTEWATER CHARACTERISTICS AND BIOGAS PRODUCTION PROCESSES

Miss Pakarat Promyu

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติน้ำเสียอุตสาหกรรมกับระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ
โดย	นางสาวผการัตน์ พรหมอยู่
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ศรายุทธ ราชู)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เพียรมนกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผการัตน์ พรหมอยู่ : ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติน้ำเสียอุตสาหกรรมกับระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ. (RELATION BETWEEN INDUSTRIAL WASTEWATER CHARACTERISTICS AND BIOGAS PRODUCTION PROCESSES) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.สุธา ขาวเธียร, 137 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่มีปริมาณสารอินทรีย์และของแข็งในน้ำเสียค่อนข้างสูงจำนวน 5 ประเภทได้แก่ อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง อุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูป อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม อุตสาหกรรมสุรา และอุตสาหกรรมกระดาษ รวมถึงคัดเลือกระบบที่มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียแต่ละประเภทอุตสาหกรรม ซึ่งงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานตัวอย่างจำนวน 55 โรงงานมาวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย ในส่วนที่สองทำการรวบรวมข้อมูลเอกสารงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ เพื่อกำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกน้ำเสียที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ และคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ

ผลการคัดเลือกระบบบำบัดด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจพบว่า ระบบชั้นสลัดจ์และระบบมีตัวกลางยึดเกาะเป็นระบบที่มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง กระดาษ และอาหารสำเร็จรูปยกเว้นโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจำนวน 3 โรงงานที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำสามารถรับปริมาณของแข็งแขวนลอยได้มากกว่า สำหรับอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มระบบบำบัดที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ ส่วนอุตสาหกรรมสุราสามารถบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำและระบบชั้นสลัดจ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งแขวนลอยและความเข้มข้นของน้ำเสียจากกระบวนการกลั่นสุรา

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า น้ำเสียอุตสาหกรรมทั้ง 5 ประเภทมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูง และเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....ผการัตน์ พรหมอยู่.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2551

4970443821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: INDUSTRIAL WASTEWATER / BIOGAS / ANAEROBIC TREATMENT / BIOGAS SYSTEM

PAKARAT PROMYU : RELATION BETWEEN INDUSTRIAL WASTEWATER CHARACTERISTICS AND BIOGAS PRODUCTION PROCESSES. THESIS PRINCIPAL ADVISOR : ASSOC. PROF. SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., 137 pp.

The main objective of this research was to study the potential of biogas production from Agro-Industrial wastewaters which had high organic and high solid load in 5 industries including cassava starch, instant foods, palm oil mill, whisky, and Pulp and Paper. The study includes the technology selection for each type of wastewater in different types of industries. The study was divided into two parts. The first part was to collect the wastewater samples from 55 factories for wastewater analysis. The second part was to document the paper and research inside and outside country to set up the benchmark to identify the wastewater that has high potential for biogas production and to select the biogas system that is suitable for the wastewater characteristics using the decision trees technique.

The results for biogas technology selection from the decision trees technique reveals that Anaerobic Sludge blanket Process and Anaerobic Attached Growth Process are suitable technologies for wastewater from cassava starch factories, pulp and paper industries, and instant-food industries except for 3 cassava starch factories industries which had high suspended solid, the Anaerobic Suspended Growth Process is more suitable for wastes with high concentration of solids. As well as, for palm oil industry which the wastewater contains both high suspended solid and oil, the Anaerobic Suspended Growth is the most suitable wastewater treatment system. The wastewater from whisky industries can be treated by Anaerobic Suspended Growth Process and Anaerobic Sludge blanket Process depending on the concentration of wastewater and suspended solid in wastewater before entering the system.

The study can be concluded that the wastewaters from 5 industries have high potential of biogas production and the anaerobic treatment technology is the most suitable system for treating the agro-industrial wastewater.

Department....Environmental Engineering.... Student's signature Pakarat Promyu

Field of study...Environmental Engineering... Principal advisor's signature

Academic year 2008

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ท่านกรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำในเรื่องต่างๆ เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถทำการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำในเรื่องสถิติและวิธีการออกแบบในการคัดเลือกระบบ รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ที่แนะนำและให้ข้อมูลเกี่ยวกับโรงงานต่างๆ ดร.ศรายุทธ ราชู ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขและปรับปรุงวิทยานิพนธ์อย่างดี และคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ให้ความรู้และคำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณโรงงานอุตสาหกรรมทุกโรงงานทั้ง 55 โรงงาน ซึ่งได้อนุเคราะห์น้ำเสีย บริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด บริษัท เอสดี ไบโอซัพพลาย จำกัด บริษัท อาหารสยาม จำกัด บริษัท สุรากระทิงแดง (1988) จำกัด บริษัท เอเชี่ยนน้ำมันปาล์ม จำกัด และบริษัท ไทยเปเปอร์มิลล์ จำกัด ที่ให้ข้อมูลต่างๆ ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียและข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพ

ขอขอบคุณบริษัท โปรเกรสเทคโนโลยีคอนซัลแท็นส์ จำกัด ที่ให้ข้อมูลและแนวคิดเกี่ยวกับการประมาณราคาระบบบำบัดน้ำเสีย วารสารงานวิจัยต่างๆ และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์สำนักงานจนรายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ พี่เอก ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ ด้านทั้งให้ความรู้ ช่วยหาข้อมูลในการทำวิจัย และเป็นกำลังสำคัญในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พี่ตั๊กที่คอยดูแลและแนะนำวารสารต่างๆ ที่เป็นข้อมูลซึ่งเป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัยเป็นอย่างมาก รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่บริษัท โปรเกรสเทคโนโลยีคอนซัลแท็นส์ จำกัด ซึ่งคอยช่วยเหลือทั้งในด้านกำลังกายและเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอดเวลา

ขอขอบคุณ ธน แพท และนพ ที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย และให้ความช่วยเหลือทุกอย่างเท่าที่จะทำได้มาโดยตลอด รวมถึงกำลังใจที่ดีจากเพื่อนๆ ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนส่วนหนึ่งเพื่อการวิจัย

ท้ายที่สุดต้องขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้านและเป็นกำลังใจที่สำคัญแก่ผู้วิจัย คุณความดีอันพึงมีจากการทำงานวิจัยนี้ ขอมอบให้แก่บิดา มารดา ผู้ให้การสนับสนุนการศึกษาแก่บุตรมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวความคิด..... 3

2.1 จุลชีวเคมีของกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน..... 3

2.2 ปัจจัยในการพิจารณาลักษณะสมบัติของน้ำเสียและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการทำงานระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 7

2.2.1 ลักษณะน้ำเสีย..... 7

2.2.2 สภาพแวดล้อมในการเดินระบบ..... 10

2.3 ประเภทระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 13

2.3.1 ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ..... 13

2.3.2 ระบบผสม หรือ ระบบชั้นสลัดจ์ 14

2.3.2.1 ระบบยูเอเอสบี..... 15

2.3.2.2 ถังไร้อากาศแบบแผ่นกั้น..... 16

2.3.2.3 บ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ..... 16

2.3.3 ระบบมีตัวกลางยึดเกาะ..... 17

2.4 ก๊าซชีวภาพ..... 22

2.4.1 ข้อมูลก๊าซชีวภาพ..... 22

2.4.2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ..... 22

2.4.3 คุณสมบัติและประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ..... 22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.5 อุตสาหกรรมที่ทำการศึกษา…….. 24
2.5.1 อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง……. 24
2.5.2 อุตสาหกรรมอาหารแปรรูป..……. 27
2.5.2.1 กระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง…….. 27
2.5.2.2 กระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋อง……. 29
2.5.2.3 นมและผลิตภัณฑ์นม……... 30
2.5.3 อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม…….. 32
2.5.4 อุตสาหกรรมสุรา……... 35
2.5.5 อุตสาหกรรมกระดาษ…… 36
2.5.5.1 กระบวนการผลิตเยื่อ…… 37
2.5.5.2 กระบวนการผลิตกระดาษ…… 38
2.5.5.3 แหล่งกำเนิดมลพิษจากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ…... 39
2.6 วิธีวิเคราะห์การตัดสินใจด้วยต้นไม้ตัดสินใจ…… 42
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม…… 43
2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม
แป้งมันสำปะหลัง…….…… 43
2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม
อาหารแปรรูป…… 44
2.7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม
น้ำมันปาล์ม…….…… 45
2.7.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสุรา…..,…… 45
2.7.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษ
และเยื่อกระดาษ…….…… 46
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย…….. 48
3.1 แผนการวิจัย……. 48
3.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย……... 48
3.2.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ……. 49
3.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย……... 49

หน้า

3.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากน้ำเสียอุตสาหกรรม 6 ประเภทกับเกณฑ์ที่ได้ทำการศึกษา…….. 51
3.4 กำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อสร้างแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees)……...……. 51
3.5 การคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม และทดสอบแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาด้วยการทำกรณีศึกษา…….. 52
3.5.1 การคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม.... 52
3.5.2 ทดสอบแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาด้วยการทำกรณีศึกษา…….. 52
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย…….. 53
4.1 ลักษณะของน้ำเสีย…… 53
4.2 ศักยภาพของน้ำเสียอุตสาหกรรมในการผลิตก๊าซชีวภาพ……. 59
4.2.1 อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง……. 59
4.2.2 อุตสาหกรรมอาหารแปรรูป……... 59
4.2.3 อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม…….. 61
4.2.4 อุตสาหกรรมสุรา……... 61
4.2.5 อุตสาหกรรมกระดาษ…… 62
4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรมกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ…….. 63
4.3.1 ขั้นตอนการสร้างแผนภาพแนวทางการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ…… 67
4.3.2 แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจแนวทางการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ……... 71
4.3.3 วิธีการใช้ต้นไม้ตัดสินใจ……... 73
4.3.4 การใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลช่วยในการคัดเลือกระบบด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจ…….. 75

หน้า

4.4 ผลการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรม 5 ประเภทที่ทำการศึกษา และการทดสอบผลการศึกษาจากการทำกรณีศึกษา…….…….. 77
4.4.1 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง…… 77
4.4.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป…….. 80
4.4.3 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม……. 83
4.4.4 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสุรา……...…….... 84
4.4.5 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษ……..…… 86
4.4.6 การวิเคราะห์การลงทุนก่อสร้างระบบ..... 90
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 94
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 94
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 95
รายการอ้างอิง..... 96
ภาคผนวก..... 102
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรม 6 ประเภท..... 103
ภาคผนวก ข โคดในการเขียนโปรแกรม Microsoft Excel..... 119
ภาคผนวก ค ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยต้นไม้ตัดสินใจ..... 127
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 137

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สารพิษ และสารยับยั้งกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทสารประกอบอินทรีย์..... 8
ตารางที่ 2.2 สารพิษ และสารยับยั้งกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทสารประกอบอนินทรีย์..... 9
ตารางที่ 2.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันฝรั่งด้วยระบบยูเอเอสบี..... 12
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 20
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบข้อเด่นข้อด้อยของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ..... 21
ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ..... 22
ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม.กับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ..... 23
ตารางที่ 2.8 แสดงลักษณะน้ำทิ้งของโรงงานผลิตนม เนยแข็ง โยเกิร์ตและเนยที่ทำจากนม.. 32
ตารางที่ 2.9 ปริมาณการผลิตกระดาษและกระดาษแข็งในปี 2549..... 37
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย..... 49
ตารางที่ 4.1 ลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรม 5 ประเภท..... 56
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสถิติของความเข้มข้นซีโอดี (COD) ของโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่าง 58
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสถิติของความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย (SS) ของโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่าง..... 58
ตารางที่ 4.4 การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 64
ตารางที่ 4.5 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแต่ละประเภท ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ..... 70
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์แต่ละระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 71
ตารางที่ 4.7 ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความเหมาะสมในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม..... 78
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอัตราสูง..... 80

หน้า

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบยูเอเอสบี ถังกรองไร้อากาศแบบตรึงฟิล์ม และบ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ..... 81
ตารางที่ 4.10 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด..... 83
ตารางที่ 4.11 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบยูเอเอสบีโรงงานแป้งมันสำปะหลังแห่งที่ 1 จังหวัดนครราชสีมา และลักษณะน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว..... 84
ตารางที่ 4.12 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบยูเอเอสบีโรงงานแป้งมันสำปะหลังแห่งที่ 2 จังหวัดนครราชสีมา และลักษณะน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว..... 84
ตารางที่ 4.13 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋องและน้ำสับปะรดกระป๋องบริษัท อาหารสยาม (มหาชน) จำกัด……... 87
ตารางที่ 4.14 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ บริษัท เอเชี่ยนน้ำมันปาล์ม จำกัด..... 88
ตารางที่ 4.15 การทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ..... 85
ตารางที่ 4.16 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสุราขาว 40 ดีกรี บริษัท สุรากระทิงแดง (1988) จำกัด..... 90
ตารางที่ 4.17 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกระดาษคราฟท์ บริษัท ไทยเปเปอร์มิลล์ จำกัด..... 93
ตารางที่ 5.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีความเหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียแต่ละประเภทอุตสาหกรรม..... 95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยารีดักซ์ในการบำบัดน้ำเสีย..... 3
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 5
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราการเกิดก๊าซมีเทน..... 10
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน COD : N และภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 11
รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสภาพแวดล้อมและการเดินระบบ
กับอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ..... 13
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างถังปฏิกรณ์ในระบบแบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ..... 14
รูปที่ 2.7 ระบบยูเอเอสบี..... 15
รูปที่ 2.8 ถังไร้อากาศแบบแผ่นกั้นในรูปแบบต่างๆ..... 17
รูปที่ 2.9 ถังกรองไร้อากาศแบบ Upflow Anaerobic Filter…….. 18
รูปที่ 2.10 ถังกรองไร้อากาศแบบ Downflow Anaerobic Filter……. 19
รูปที่ 2.11 ระบบตรึงฟิล์มไร้อากาศ…… 19
รูปที่ 2.12 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังและของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต... 25
รูปที่ 2.13 กระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋องและของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต..... 28
รูปที่ 2.14 กระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋องและของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต... 31
รูปที่ 2.15 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มที่เป็นแบบมาตรฐานและของเสียที่เกิดจาก
กระบวนการผลิต..... 34
รูปที่ 2.16 กระบวนการกลั่นสุราของโรงงานกลั่นขนาดใหญ่..... 36
รูปที่ 2.17 แผนผังกระบวนการผลิตกระดาษ..... 40
รูปที่ 2.18 มลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ..... 41
รูปที่ 2.19 แผนผังต้นไม้ตัดสินใจ..... 42
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงภาพรวมของการทำวิจัย..... 50
รูปที่ 4.1 แสดงการกระจายตัวปริมาณซีโอดี (COD) จากน้ำเสียอุตสาหกรรมตัวอย่างที่
ทำการศึกษา..... 53
รูปที่ 4.2 ภาพขยายการกระจายตัวปริมาณซีโอดี (COD) จากน้ำเสียอุตสาหกรรม
อาหารแปรรูปและกระดาษ..... 54

หน้า

รูปที่ 4.3 แสดงการกระจายตัวปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) จากน้ำเสียอุตสาหกรรมตัวอย่างที่ทำการศึกษา..... 54
รูปที่ 4.4 ภาพขยายการกระจายตัวปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) จากน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปและกระดาษ..... 55
รูปที่ 4.5 แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจการจัดกลุ่มการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็น 3 กลุ่ม..... 72
รูปที่ 4.6 วิธีการเปิดโปรแกรม Microsoft Office Excel..... 75
รูปที่ 4.7 แสดงหน้าจอภาพโปรแกรมพร้อมใช้งาน..... 76
รูปที่ 4.8 แสดงหน้าต่างให้กรอกข้อมูล..... 76
รูปที่ 4.9 หน้าจอภาพแสดงผลการรันโปรแกรม..... 77
รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของน้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลังในขอบเขตความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของแต่ละระบบ..... 78
รูปที่ 4.11 สัดส่วนของจำนวนโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่ทำการสำรวจกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากผลการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจ..... 78
รูปที่ 4.12 การกระจายตัวของน้ำเสียโรงงานอาหารแปรรูปในขอบเขตความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของแต่ละระบบ..... 81
รูปที่ 4.13 สัดส่วนของจำนวนโรงงานอาหารแปรรูปที่ทำการสำรวจกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากผลการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจ..... 81
รูปที่ 4.14 การกระจายตัวของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในขอบเขตความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของแต่ละระบบ.....
รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของน้ำเสียโรงงานกลั่นสุราในขอบเขตความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของแต่ละระบบ..... 85
รูปที่ 4.16 สัดส่วนของจำนวนโรงงานกลั่นสุราที่ทำการสำรวจกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากผลการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจ..... 85

หน้า

รูปที่ 4.17 การกระจายตัวของน้ำเสียโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษในขอบเขตความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของแต่ละระบบ..... 87
รูปที่ 4.18 สัดส่วนของจำนวนโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษที่ทำการสำรวจกับระบบบำบัดน้ำเสีย แบบไม่ใช้ออกซิเจนจากผลการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจ..... 87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยส่งออกสินค้าเกษตรกรรมและสินค้าเกษตรแปรรูปที่หลากหลายเป็นอันดับต้นๆ ของโลก มันสำปะหลัง อาหารแปรรูป ปาล์มน้ำมัน สุรา และกระดาษ เป็นสินค้าที่สร้างรายได้เข้าประเทศจำนวนมากเป็นมูลค่ากว่าพันล้านบาท อุตสาหกรรมเหล่านี้มีแนวโน้มความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณการเกิดน้ำเสียเพิ่มขึ้นเช่นกัน น้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางเกษตรมักมีปริมาณซีโอดี (COD) ตะกอนแขวนลอย (TSS) และสารอินทรีย์ค่อนข้างมาก ทำให้มีโอกาสในการนำน้ำเสียผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีศักยภาพ

ในปัจจุบันก๊าซชีวภาพได้มีบทบาทที่สำคัญต่อภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มสูงขึ้นจึงต้องหาพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงประเภทน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ทั้งนี้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตร และฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นของเสียที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีศักยภาพ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทนร้อยละ 50–70 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 30–50 ซึ่งมีคุณสมบัติติดไฟได้ดีจึงใช้เป็นพลังงานให้ความร้อน อีกทั้งก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูงสามารถทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงได้ ทำให้ช่วยลดต้นทุนการผลิตในด้านพลังงานและค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ในแง่ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมหากน้ำเสียเหล่านี้ไม่ได้รับการจัดการที่ดีจะก่อปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อมที่มีความรุนแรง ดังนั้นเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างของเทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีใช้อยู่ในประเทศไทยได้แก่ ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR) ระบบยูเอเอสบี (UASB) ถังกรองไร้อากาศ (AF) และระบบตรึงฟิล์มไร้อากาศ (AFF) ถังไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (ABR) และบ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon) งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรม และระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีความเหมาะสม เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในด้านการผลิตพลังงานทดแทน และลดปัญหามลพิษที่เกิดจากอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาศักยภาพและความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรม 5 ประเภท ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง อาหารแปรรูป น้ำมันปาล์ม สุรา และกระดาษ

1.2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบก๊าซชีวภาพ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ และข้อจำกัดในการนำน้ำเสียอุตสาหกรรมมาผลิตก๊าซชีวภาพ

1.2.3 ศึกษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสีย โดยเปรียบเทียบทั้งด้านเทคนิค วิศวกรรม และด้านเศรษฐศาตร์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลของโรงงานตัวอย่าง โดยน้ำเสียที่สำรวจเป็นน้ำเสียจริงก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย และน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม 5 ประเภททำการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียที่ห้องปฏิบัติการด้วยวิธีตามมาตรฐาน Standard Method for Examination of Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1998)

ส่วนที่สองเป็นการรวบรวมและทบทวนข้อมูลเอกสารงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ เพื่อกำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกน้ำเสียที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ และระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยนำเกณฑ์ที่ได้เปรียบเทียบกับตัวแปรจริง ที่ใช้ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ได้เกณฑ์ในการพิจารณาลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรม และข้อจำกัดของน้ำเสียในการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ

1.4.2 ได้แนวทางเบื้องต้นในการคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง และสามารถประยุกต์ใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ ที่มีลักษณะสมบัติของน้ำเสียใกล้เคียงกับน้ำเสียที่ทำการศึกษา

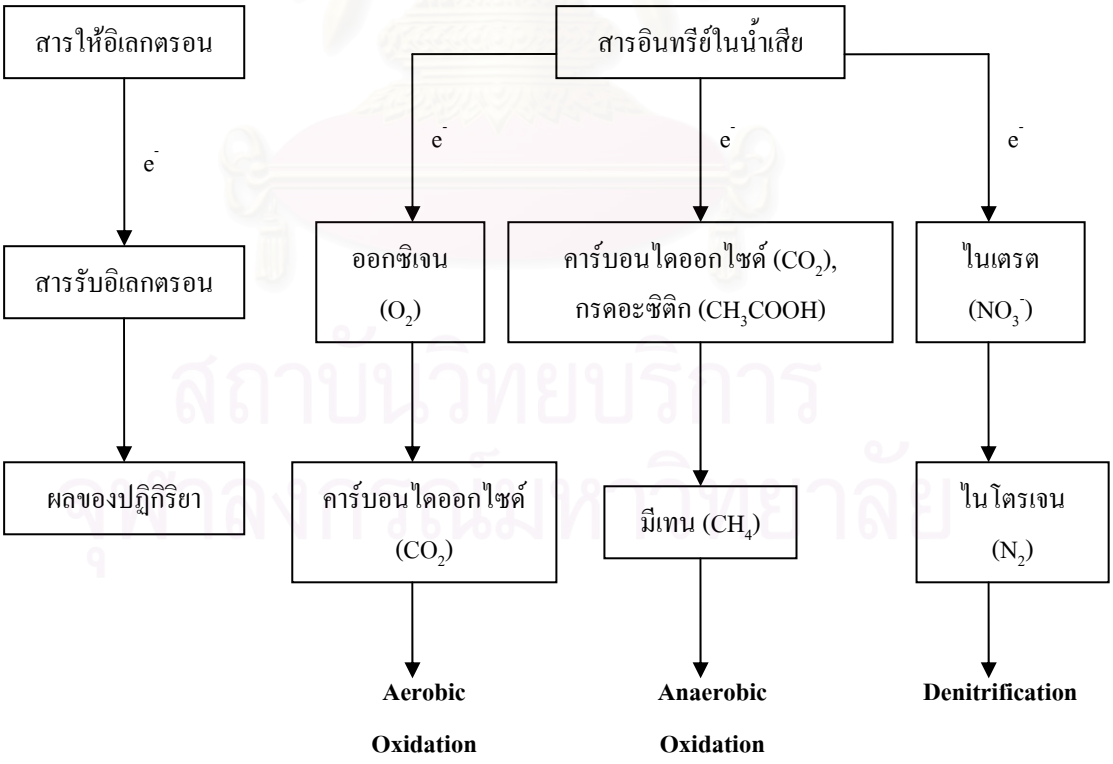
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและแนวความคิด

2.1 จุลชีวเคมีของกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน

กลไกพื้นฐานของปฏิกิริยาการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนมีกลไกพื้นฐานร่วมกัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเลคตรอนระหว่างสารให้อิเลคตรอน (electron donor) คือ สารอินทรีย์ในน้ำเสีย และสารอย่างอื่นที่อยู่ในน้ำเป็นสารรับอิเลคตรอน (electron receptor) เรียกว่าปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชั่น – รีดักชั่น หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ สำหรับปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจนจะใช้ออกซิเจนเป็นสารรับอิเลคตรอน ถ้าสารรับอิเลคตรอนเป็นสารอื่นได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก และไนเตรตจะเป็นปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน (มั่นสิน, 2542: 1-2) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยารีด๊อกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย (มั่นสิน, 2542)

กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีความแตกต่างกับกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ตั้งแต่สารรับอิเลคตรอนจนถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้ สำหรับข้อเด่นข้อด้อยของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสรุปได้ดังนี้

ข้อเด่น

- สามารถทำการบำบัดน้ำเสียที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงได้ดี และประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูง
- ต้องการพลังงานในการเดินระบบน้อยกว่าระบบบำบัดแบบใช้อากาศ และเกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งสามารถใช้เป็นพลังงานได้
- ปริมาณการเกิดสลัดจ์ต่ำ เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนต่ำกว่าแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน สลัดจ์ที่ได้จึงค่อนข้างมีความเสถียรภาพและรีดน้ำออกได้ดี
- สามารถฟื้นฟูระบบหลังจากขาดสารอาหารเป็นระยะเวลานานๆ ได้อย่างรวดเร็ว
- ขนาดถังปฏิกรณ์เล็กกว่าถังปฏิกรณ์ในระบบใช้ออกซิเจน เพราะมีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงกว่า จึงใช้พื้นที่น้อยลง
- คุ้นเคยและปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนรูปของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียได้ดี

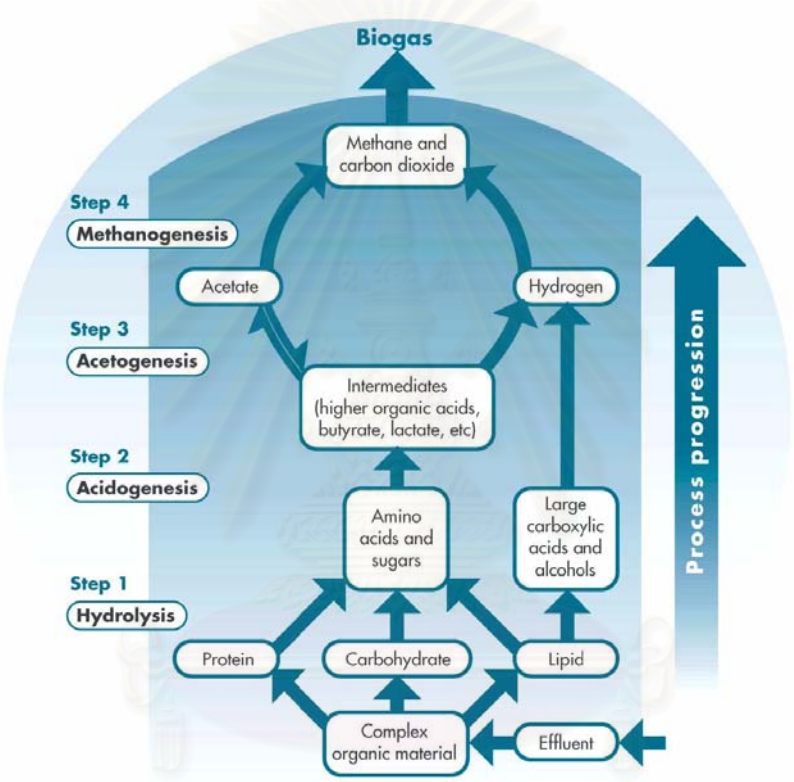
ข้อด้อย

- กำจัดสารอาหารและเชื้อโรคได้ต่ำ โดยเชื้อโรคจะถูกกำจัดได้เพียงบางส่วน ยกเว้นไข่พยาธิสามารถใช้ระบบยูเอเอสบี และอีจีเอสบี กำจัดได้ การกำจัดสารอาหารได้อย่างสมบูรณ์และคุณภาพน้ำทิ้งให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมต้องมีกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนตามมา
- ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นได้ เนื่องจากเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ขณะเดินระบบโดยเฉพาะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ ซึ่งมีส่วนประกอบของซัลไฟด์สูง ปัญหานี้สามารถแก้ไขโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบปิด เพื่อป้องกันกลิ่นเหม็นและเก็บก๊าซชีวภาพ
- ต้องการสภาพความเป็นด่างสูง และสารอาหารเพิ่มเติมสำหรับแบคทีเรียในระบบ เช่น ไอออนของเหล็ก (Fe^{2+}) และนิเกิล (Ni^{2+}) เป็นต้น
- แบคทีเรียสร้างมีเทนในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนไวต่อสารพิษและสารยับยั้ง

กลไกของปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งทุกขั้นตอนเกี่ยวข้องกับแบคทีเรีย 3 กลุ่มคือ Acidogenic bacteria, Acetogenic bacteria และ Methanogenic bacteria ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: Hydrolysis

ขั้นตอน Hydrolysis เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่และซับซ้อนให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลงและละลายน้ำได้ เช่น โปรตีนจะถูกย่อยสลายเป็นกรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรตกลายเป็นน้ำตาล และไขมันกลายเป็นกรดไขมันชนิดยาว เป็นต้น เพื่อให้แบคทีเรียสามารถดูดซึมอาหารเข้าไปในเซลล์ได้ ซึ่งปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นภายนอกเซลล์แบคทีเรียได้ด้วยเอนไซม์ (Extracellular Enzyme) ที่ถูกปล่อยออกมาโดยแบคทีเรียจำพวก Acidogenic เพื่อช่วยเร่งการแตกตัวของโมเลกุล



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Carliell และ Wheatley, 1997)

ขั้นตอนที่ 2: Acidogenesis

ผลผลิตจากขั้นตอน Hydrolysis จะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานให้แก่แบคทีเรียจำพวก Acidogenic เพื่อเปลี่ยนกรดอะมิโน น้ำตาล และกรดไขมันที่ได้จากกระบวนการ Hydrolysis เป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) เช่น กรดอะซิติก (Acetic Acid) กรดโพรพิออนิก (Propionic Acid) กรดบิวทิริก (Butyric Acid) และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งกรดไขมันระเหยที่ผลิตได้ในขั้นตอนนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการคือ ชนิดของสารอาหารที่ผ่านจากขั้นตอนที่ 1 และ hydrogen partial pressure (ppH_2) ตัวอย่างเช่น กลูโคสถูกย่อยสลายเป็นกรด อะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ภายใต้สภาวะ low hydrogen partial pressure ผ่านกระบวน

การ Embeden-Meyerhof แต่ถ้าอยู่ภายใต้สภาวะ high hydrogen partial pressure จะเกิดกรดโพรพิออนิก และกรดบิวทิริกเพิ่มขึ้น ในกรณีของกรดอะมิโนและกรดไขมันก็จะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดไขมันระเหย ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เช่นเดียวกับกระบวนการย่อยสลายกลูโคส โดยชนิดของกรดไขมันระเหยที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมและความดันดังกล่าวข้างต้น

ขั้นตอนที่ 3: Acetogenesis

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยชนิดอื่น ซึ่งกลุ่มแบคทีเรียที่มีบทบาทในขั้นตอน Acetogenesis คือ แบคทีเรียจำพวก Acetogenic เนื่องจากแบคทีเรียในกลุ่มนี้สามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ภายใต้สภาวะ low hydrogen partial pressure ดังแสดงในสมการที่ 2.1 และ 2.2 โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanagenic Organism) สามารถผลิตมีเทนได้จากกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก (Formic Acid) ไฮโดรเจน เมธานอล (Methanol) เมธิลลามิน (Methylamine) แต่ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดโพรพิออนิก และกรดบิวทิริก เป็นสารอาหารในการผลิตมีเทนได้

$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2 \qquad (2.1)$$

$$CH_3\ CH_2CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 3H_2 \qquad (2.2)$$

ขั้นตอนที่ 4: Methanogenesis

แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในขั้นตอน Methanogenesis ประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 ประเภทคือ แบคทีเรียสร้างมีเทนได้จากกรดอะซิติก (Acetolastic Methanogen) และแบคทีเรียสร้างมีเทนจากไฮโดรเจน (Hydrogenotrophic Methanogen) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ช้า และต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมซึ่งมีพีเอชค่อนข้างเป็นกลางอยู่ในช่วง 6.7 – 7.2 ดังนั้นขั้นตอน Methanogenesis จึงเป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ปฏิกิริยาของ Acetolastic Methanogen เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นช้าใช้ระยะเวลาประมาณ 2 – 3 วัน แต่ปริมาณการเกิดมีเทนของปฏิกิริยาได้สูงถึงร้อยละ 70 ของมีเทนทั้งหมดที่เกิดในขั้นตอนนี้

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \qquad (2.3)$$

ในทางกลับกันปฏิกิริยาของ Hydrogenotrophic Methanogen เกิดขึ้นในระยะเวลาเพียง 6 ชั่วโมง และเป็นการเคลื่อนย้ายไฮโดรเจนจากในระบบออกสู่ภายนอกระบบ

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad (2.4)$$

2.2 ปัจจัยในการพิจารณาลักษณะสมบัติของน้ำเสีย และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการทำงานระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้มีประสิทธิภาพ และเกิดก๊าซชีวภาพได้ดีจะต้องพิจารณาลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มไม่ใช้ออกซิเจนในระบบ ซึ่งมีปัจจัยดังนี้

2.2.1 ลักษณะน้ำเสีย

1) ความเข้มข้นของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

ความเข้มข้นของน้ำเสียเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่ใช้ในการพิจารณาการเลือกใช้ประเภทถังปฏิกรณ์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน และความสามารถในการเกิดก๊าซชีวภาพได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นของซีโอดี (COD) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำ และปริมาณน้ำมันและไขมัน เป็นต้น โดยทั่วไปน้ำเสียอุตสาหกรรมจากการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง

- ความเข้มข้นของซีโอดี (COD) ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบไม่ควรต่ำกว่า 1,500 – 2,000 มก./ล. เพื่อที่จะมีปริมาณอาหารมากพอให้จุลชีพในระบบสามารถนำมาใช้เปลี่ยนเป็นพลังงานได้อย่างเพียงพอ (Metcalf & Eddy,2004) รวมถึงการพิจารณาปริมาณซีโอดีในน้ำเสียประกอบกับอัตราการเกิดน้ำเสียของโรงงาน ซึ่งตัวแปรทั้งสองนี้จะถูกใช้ในการคำนวณภาระบรรทุกสารอินทรีย์ซึ่งมีผลต่อการพิจารณาการเลือกใช้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และขนาดของถังปฏิกรณ์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วย

- ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย (SS) เป็นตัวแปรหนึ่งที่ถูกใช้ประเมินความเข้มข้นของน้ำเสีย และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ (Demirel, Yenigun และ Onay, 2005) ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้ออกซิเจน และการพิจารณาในการคัดเลือกระบบ ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่น้ำเสียประกอบด้วยของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากจำนวนมาก จะมีผลในการขัดขวางการสร้างเม็ดแบคทีเรีย (Granules) ในระบบยูเอเอสบี (UASB) จึงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง รวมถึงผลของปริมาณของแข็งแขวนลอยต่อระบบถังกรองไร้อากาศ (AF) ถ้ามีความเข้มข้นสูงมากเกินไปอาจเกิดการอุดตันในชั้นตัวกลาง ทำให้ลดประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศได้เช่นกัน

- ปริมาณน้ำมันและไขมัน (FOG) เป็นสารอินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ต่ำ โดยการย่อยสลายไขมันด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะได้กลีเซอรอล (Glycerol) และกรดไขมันชนิดโมเลกุลยาว (Long chain fatty acids, LCFAs) ซึ่งกรด

ไขมันชนิดโมเลกุลยาวที่ได้จากการย่อยสลาย ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะทำให้ไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน แต่กลีเซอรอลที่ได้พบว่าเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบ (Demirel และคณะ, 2005) ดังนั้นปริมาณไขมันในน้ำเสียจึงมีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทน โดยเฉพาะไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นไขมันที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียสร้างมีเทนในการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งไขมันชนิดนี้มีพิษรุนแรงกว่าไขมันชนิดอิ่มตัว

2) สารยับยั้งและสารพิษ สามารถทำให้กระบวนการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนหยุดชะงักได้ ซึ่งสารพิษแต่ละชนิดให้ผลกระทบกับระบบที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 เช่น กลุ่มเกลือของโลหะที่มักพบในระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้แก่ โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เนื่องจากสารปนเปื้อนกลุ่มนี้มาจากการใช้สารเคมีในควบคุมพีเอชให้แก่ระบบ เป็นต้น น้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารพิษที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจำเป็นจะต้องมีการแยกสารพิษออกจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบ หรือให้เวลาแก่ระบบเพื่อให้แบคทีเรียคุ้นเคยกับสารพิษและปรับตัวได้ทัน

ตารางที่ 2.1 สารพิษ และสารยับยั้งกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทสารประกอบอินทรีย์ (Metcalf & Eddy, 2004)

สารประกอบ	**ความเข้มข้นที่ทำให้ปฏิกิริยาลดลงร้อยละ 50 (มิลลิโมล, millimole)**
1 – Chloropropene	0.1
Nitrobenzene	0.1
Acrolein	0.2
1 – Chloropropane	1.9
Formaldehyde	2.4
Lauric acid	2.6
Ethyl benzene	3.2
Acrylonitrile	4
3 – Chlorol-1, 2-propanediol	6
Crotonaldehyde	6.5
2 – Chloropropionic acid	8
Vinyl acetate	8
Acetaldehyde	10
Ethyl acetate	11

ตารางที่ 2.1 สารพิษ และสารยับยั้งกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทสารประกอบอินทรีย์ (Metcalf & Eddy, 2004) (ต่อ)

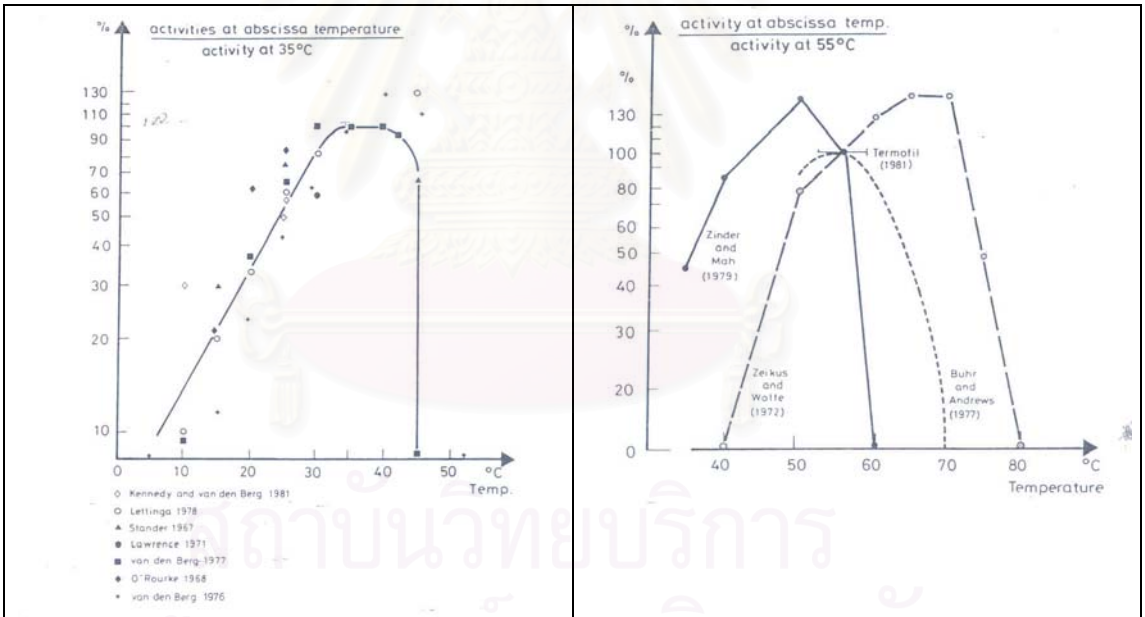
สารประกอบ	**ความเข้มข้นที่ทำให้ปฏิกิริยาลดลงร้อยละ 50 (มิลลิโมล, millimole)**
Acrylic acid	12
Catechol	24
Phenol	26
Aniline	26
Resorclinol	29
Propanol	90

ตารางที่ 2.2 สารพิษ และสารยับยั้งกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทสารประกอบอนินทรีย์ (Metcalf & Eddy,2004)

สารประกอบ	**ความเข้มข้นสารพิษระดับกลาง (มก./ล.)**	**ความเข้มข้นสารพิษระดับรุนแรง (มก./ล.)**
Na^{+}	3,500 – 5,500	8,000
K^{+}	2,500 – 4,500	12,000
Ca^{2+}	2,500 – 4,500	8,000
Mg^{2+}	1,000 – 1,500	3,000
Ammonium-nitrogen, NH^{+}_{4}	1,500 – 3,000	3,000
Sulfide, S^{2-}	200	200
Copper, Cu^{2+}	-	0.5 (soluble) 50 – 70 (total)
Chromium, Cr^{6+}	-	3.0 (soluble) 200 – 250 (total)
Chromium, Cr^{3+}	-	2.0 (soluble) 180 – 420 (total)
Nickel, Ni^{2+}	-	30.0 (total)
Zinc, Zn^{2+}	-	1.0 (soluble)

2.2.2 สภาพแวดล้อมในการเดินระบบ

1) อุณหภูมิ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลาย ช่วงอุณหภูมิที่นิยมใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมี 2 ช่วงคือ ช่วงอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic) ตั้งแต่ 30 – 38 ^{o}C และช่วงอุณหภูมิสูง (Thermophilic) ตั้งแต่ 49 – 57 ^{o}C จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษ (Yilmaz, Yuceer และ Basibuyuk, 2008) และแป้งมันสำปะหลัง (Ahn และ Forster, 2000) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงด้วยถังกรองไร้อากาศที่อุณหภูมิสูง จะมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการทำงานของระบบดีกว่าที่อุณหูมิปานกลาง แต่ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำๆ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและการเกิดก๊าซมีเทนจะไม่แตกต่างกัน กล่าวว่าอุณหภูมิในช่วง 40 – 45 ^{o}C แบคทีเรียยังคงอยู่ได้ แต่อัตราการย่อยสลาย (decay rate) ที่สูงในช่วงอุณหภูมิสูงทำให้ Y_{obs} ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเข้าใกล้ศูนย์จึงยากในการเดินระบบที่อุณหภูมินี้ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและการขยายตัวของก๊าซ (Henze และ Herremoes, 1983) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราการเกิดก๊าซมีเทน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



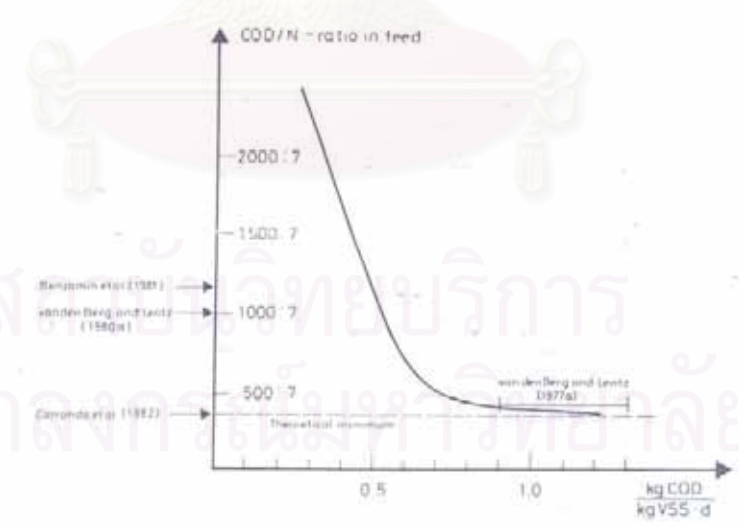
อุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic)	อุณหภูมิสูง (Themophilic)

รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราการเกิดก๊าซมีเทน (Henze และ Herremoes, 1983)

อย่างไรก็ตามอุณหภูมิมีผลต่อการกำจัดของแข็งในระบบด้วย โดยอาศัยหลักการความหนืดของน้ำเสียและความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งความหนืดมีผลโดยตรงกับถังปฏิกรณ์ประเภทระบบมีตัวกลางเกาะยึด จะเห็นได้จากการทำงานของถังกรองไร้อากาศ (AF) และถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) ในฤดูร้อนทำงานได้ดีกว่าฤดูหนาว (Metcalf & Eddy, 2004)

การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความหนืดของน้ำลดลงซึ่งช่วยในเรื่องการกวนผสมได้ดีขึ้น อีกทั้งยังมีส่วนทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า เมื่อเดินระบบถังย่อยไร้อากาศ (Anaerobic Digester) ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเนยแข็ง (Cheese whey) ที่อุณหภูมิ 25 °C และ 35 °C ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.54 และ 1.01 ลบ.ม./ลบ.ม.ของถังปฏิกรณ์-วัน ตามลำดับ ส่วนอัตราการเกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นจาก 0.053 เป็น 0.090 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 10 °C ส่งผลให้ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเกือบ 2 เท่าที่ระยะเวลาในการกักน้ำ (HRT) เท่ากับ 10 วัน (Ghaly, 1996) แต่อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้การจับตัวระหว่างของแข็งลดลง (Mahmoud และคณะ, 2003)

2) ปริมาณสารอาหารที่สำคัญ สำหรับปริมาณความต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเมื่อเทียบกับปริมาณอาหารที่อยู่ในระบบควรมีค่า COD:N:P อย่างน้อย 100:1.1:0.2 (McCarty, 1964 อ้างถึงใน Henze และ Herremoes, 1983) และการปรับสภาพน้ำเสียให้มีสภาพด่างต่อซีโอดี (Alk:COD) ก่อนเข้าสู่ระบบไม่น้อยกว่า 0.2 เพื่อรักษาระดับพีเอชในระบบไม่ให้เพิ่มหรือลดลงอย่างรวดเร็วจนส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียในระบบ จากงานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า น้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีปริมาณสารอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลชีพในระบบ และปริมาณความต้องการอาหารเป็นฟังก์ชันของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Speece และ McCarty, 1964) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน COD : N และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Speece และ McCarty,1964)

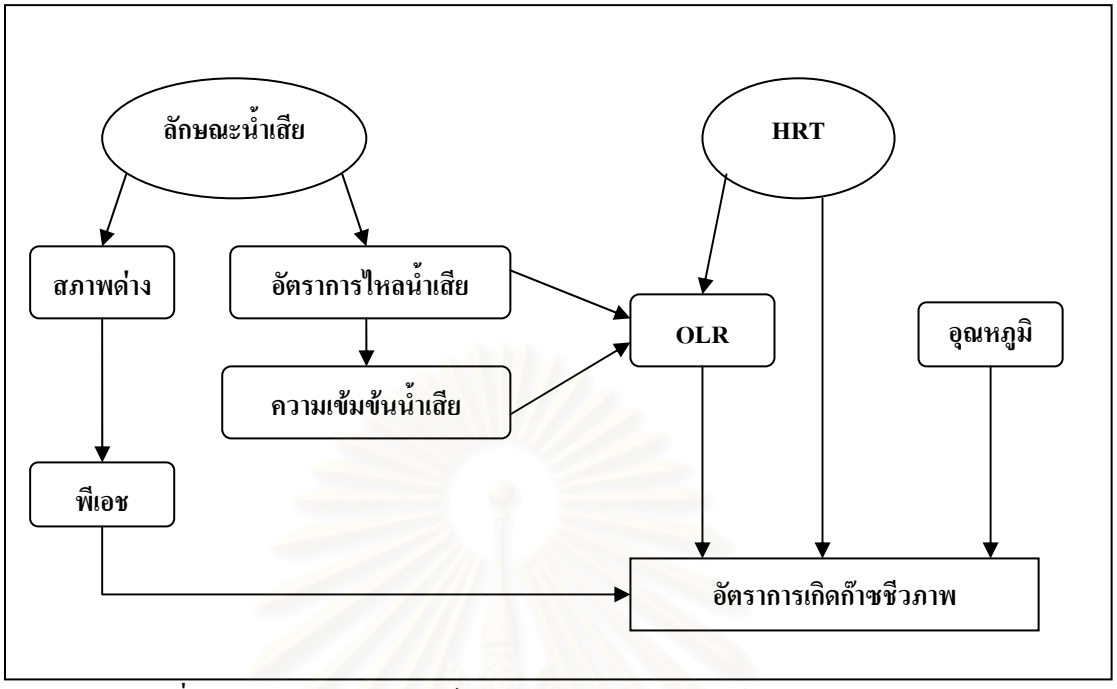
3) พีเอช มีผลกระทบโดยตรงกับการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด และแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งทำให้เกิดสารยับยั้งและเป็นพิษต่อระบบ โดยช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทนประมาณ 6.5 – 8.2 (Speece, 1996) ถ้าค่าพีเอชสูงหรือต่ำกว่าช่วงนี้จะทำให้ลดอัตราการเกิดก๊าซมีเทนลงและประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ตกต่ำอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาการบำบัดบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีค่าพีเอชต่ำอยู่ในช่วง 3.9 – 5.2 ด้วยถังกรองไร้อากาศพบว่า น้ำเสียที่มีการควบคุมพีเอชก่อนเข้าระบบถังกรองไร้อากาศจะสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่าน้ำเสียดิบที่ไม่มีการปรับพีเอช และเติมสารอาหารก่อนเข้าระบบ (สุรพล สายพานิช, 2518)

4) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) เมื่อความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าระบบและอัตราการไหลของน้ำเสียเปลี่ยน จะมีผลต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์และระยะเวลาในการกักน้ำของระบบ ซึ่งตัวแปรทั้งสองตัวนี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพในระบบยูเอเอสบี กล่าวคืออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ทำให้ระยะเวลาในการกักน้ำลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และการเกิดก๊าซชีวภาพลดลงด้วย เนื่องจากความเร็วในการไหลขึ้น (Upflow velocity) ของน้ำที่สูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 2.3 เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันฝรั่งด้วยระบบยูเอเอสบี (Kalyuzhnyi, de los Santos และ Martinez, 1998)

ตารางที่ 2.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันฝรั่งด้วยระบบยูเอเอสบี (Kalyuzhnyi และคณะ, 1998)

ซีโอดี (มก./ล.)	**OLR (กก./ลบ.ม.-วัน)**	**ระยะเวลาในการกักน้ำ (วัน)**	**ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน (ล./ล.-วัน)**	**ความเร็วของน้ำไหลขึ้น (ม./วัน)**	**ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี**
8,300	4.37 - 13.08	1.9 - 0.65	1 - 2.86	0.34 - 0.98	79 - 67.1
13,100	5.24 - 7.28	2.5 - 1.80	1.29 - 1.43	0.25 - 0.35	79.5 – 79.5
18,000	3.0 - 13.89	6 - 1.25	0.91 - 3.94	6 - 1.25	80 - 63.4

ปัจจัยลักษณะสมบัติน้ำเสีย และสภาพแวดล้อมในการเดินระบบ ดังกล่าวข้างต้นมีความสัมพันธ์กับการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสภาพแวดล้อมและการเดินระบบ
กับอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ

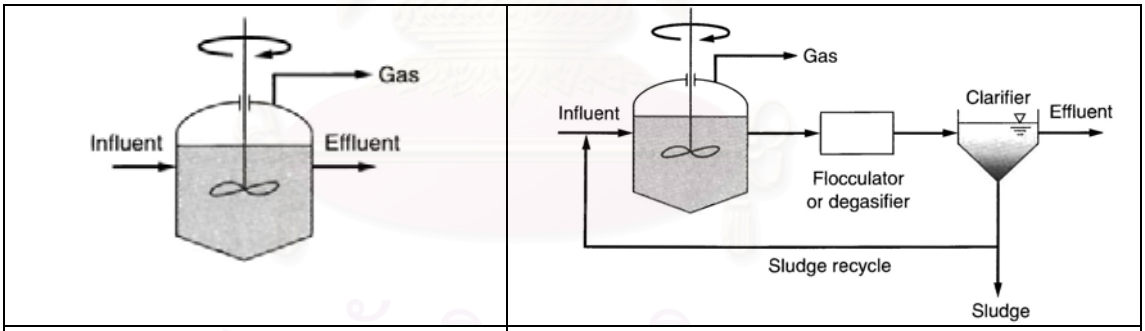
2.3 ประเภทระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรูปแบบของระบบ และลักษณะการทำงาน ซึ่งการเลือกใช้ระบบแต่ละประเภทในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมจะต้องพิจารณาถึงลักษณะของน้ำเสีย ปริมาณการเกิดน้ำเสีย และเงินทุน โดยสามารถแบ่งกลุ่มของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็น 3 กลุ่มคือ ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) ระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) และระบบผสม (Hybrid) หรือระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process)

ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) เป็นระบบที่เหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง สามารถบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์อยู่ในรูปของแข็ง น้ำมันและไขมันปนมากับน้ำเสียเป็นจำนวนมาก ประเภทถังปฏิกรณ์ที่ทำการศึกษาคือ ถังกวนสมบูรณ์ (Completely Stirred Tank Reactor, CSTR) และถังปฏิกรณ์แบบสัมผัส (Anaerobic Contact Reactor)

ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR) เป็นถังปฏิกรณ์ปิดประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นระบบบำบัดไม่ใช้ออกซิเจนที่ใช้จุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายในถังกลมที่ปิดมิดชิดไร้อากาศ โดยมีระยะเวลาในการกักน้ำ (HRT) เท่ากับระยะเวลาในการกักตะกอน (SRT) อยู่ในช่วง 15 – 30 วัน อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) อยู่ระหว่าง 1.0 – 5.0 กก.ซีโอดีต่อลบ.ม.-วัน สำหรับถังปฏิกรณ์แบบสัมผัส (Anaerobic Contact Reactor) จะแตกต่างจากถังกวนสมบูรณ์ (CSTR) คือ มีการเวียนน้ำเข้าระบบ ทำให้มีระยะเวลาในการกักตะกอน (SRT) สูงกว่าระยะเวลาในการกักน้ำ (HRT) ดังนั้นอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) อยู่ระหว่าง 1.0 – 8.0 กก.ซีโอดีต่อลบ.ม.-วัน (Metcalf & Eddy, 2004) ซึ่งสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่าถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (CSTR) เล็กน้อย โดยระบบทั้งสองมีจุดเด่นคือ การกวนผสมภายในถังตลอดเวลา ทำให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับสารอินทรีย์อย่างทั่วถึง ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพได้อีกด้วย ระบบนี้เมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารแขวนลอยในน้ำเสีย จะได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ลอยสู่ด้านบน เหมาะกับน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งสูงหรือสารอินทรีย์ละลายน้ำที่มีความเข้มข้นสูง สำหรับปัญหาที่มักพบในการเดินระบบด้วยถังปฏิกรณ์ประเภทนี้คือ น้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด หรือมีสารที่มีความสามารถในการกัดกร่อนทำให้ใบพัดและอุปกรณ์ภายในของระบบสึกหร่อ โดยถังปฏิกรณ์ทั้งสองชนิดแสดงในรูปที่ 2.6



ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (CSTR)	ถังปฏิกรณ์แบบสัมผัส (Anaerobic Contact Reactor)

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างถังปฏิกรณ์ในระบบแบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Metcalf & Eddy, 2004)

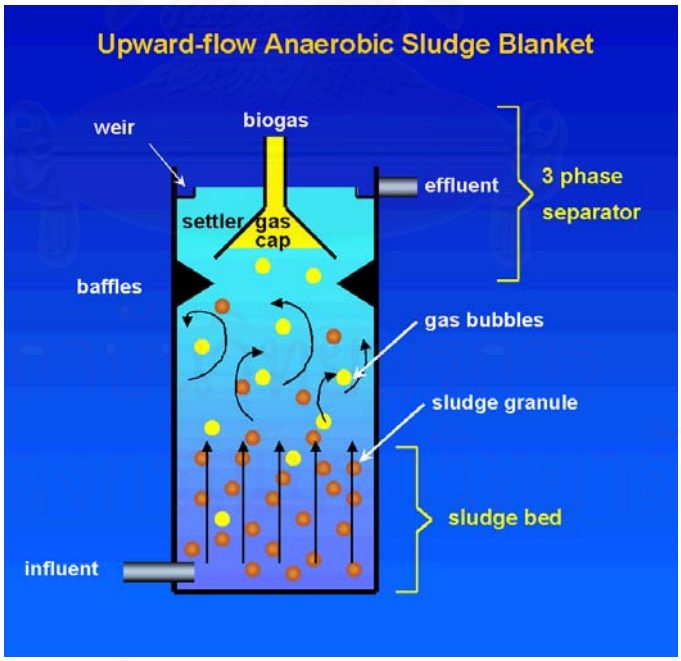
2.3.2 ระบบผสม (Hybrid) หรือ ระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process)

ระบบผสม (Hybrid) หรือ ระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) เป็นระบบที่มีปริมาณตะกอนจุลชีพในระบบค่อนข้างสูงมาก สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง และน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งไม่มากนัก จากการศึกษาพบว่า ระบบนี้มีข้อจำกัดในการกำจัดของแข็ง ดังนั้นปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียไม่ควรเกิน 6,000 มก./ล. ถ้าน้ำเสียมีปริมาณของแข็งที่สูงมากระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำจะมีความเหมาะสมมากกว่า (Metcalf & Eddy, 2004) โดยประเภท

ถังปฏิกรณ์ที่ทำการศึกษาแบ่งเป็น 2 ปรเภทได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบอัตราสูง (High rate) คือ ระบบยูเอเอสบี (UASB) และถังไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (ABR) และระบบบำบัดน้ำเสียแบบอัตราต่ำ (Low rate) คือ บ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon) โดยการทำงานของระบบมีคุณสมบัติดังนี้

2.3.2.1 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB)

ระบบยูเอเอสบี (UASB) มีช่องน้ำเข้าอยู่ด้านล่างของระบบ น้ำเสียจะถูกกระจายจากด้านล่างขึ้นด้านบนโดยไม่ใช้ตัวกลาง แต่แบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดแบคทีเรียขนาดใหญ่ (Granules) จนกระทั่งมีน้ำหนักมากสามารถตกตะกอนได้ดี และเม็ดแบคทีเรีย (Granules) จะลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลัดจ์ โดยน้ำเสียที่ไหลเข้าถังปฏิกรณ์จะสัมผัสกับเม็ดแบคทีเรีย (Granules) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.5 – 2.0 มม.ภายในระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นน้ำและชั้นตะกอน โดยจะมีระบบแยกน้ำใสภายในถังและมีระบบเก็บรวบรวมก๊าซที่ผลิตขึ้นมาได้เพื่อนำออกจากถังดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียชนิดนี้คือ พีเอชควรมากกว่า 6.6 อยู่ภายใต้สภาวะ low hydrogen partial pressure และมีแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_4^+-N) เป็นแหล่งอาหารที่มากเพียงพอ (Speece, 1996)



รูปที่ 2.7 ระบบยูเอเอสบี (UASB) (Field, 2002)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ค่อนข้างสูง เนื่องจากภายในระบบมีความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพสูงถึง 30,000 – 80,000 มก./ล. (Speece,

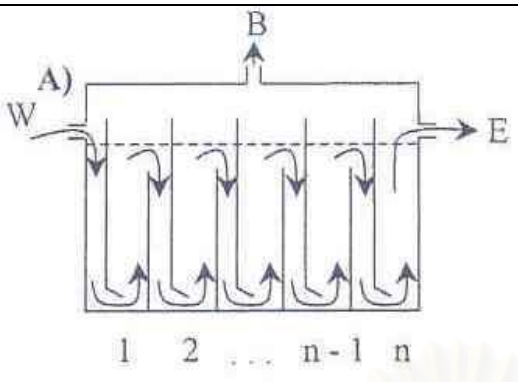
1996) สามารถกักตะกอนส่วนเกินไม่ให้หลุดติดไปกับน้ำทิ้งได้ดีและระยะเวลาในการกักน้ำต่ำ และสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของแป้งและน้ำตาลได้ แต่ไม่เหมาะกับน้ำเสียที่มีโปรตีน น้ำมันและไขมันสูง (Metcalf & Eddy, 2004) อีกทั้งยังประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับวัสดุตัวกลางได้

2.3.2.2 ถังไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic Baffled Reactor หรือ ABR)

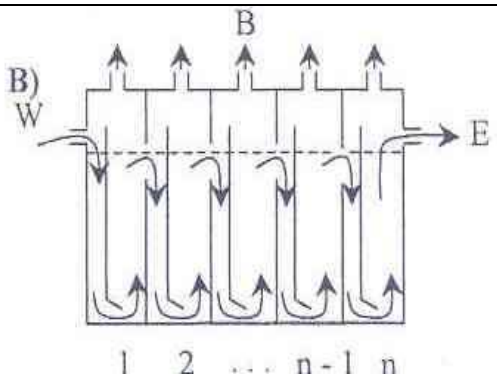
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (ABR) ได้รับการพัฒนาโดย McCarty และคณะ ซึ่งมีลักษณะเป็นถังตามแนวยาวมีแผ่นกั้นน้ำ เพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลตามทิศทางในแนวขึ้นลง หรือซ้ายไปขวาสลับกันไปมาหลายๆ ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ส่วนแบคทีเรียภายในระบบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและตกตะกอนอย่างช้าๆ ในแต่ละห้อง เนื่องจากลักษณะการไหลของน้ำเสียและการเกิดก๊าซ แต่การไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะมีการไหลอย่างช้าๆ เมื่อน้ำเสียไหลไปตามช่องทางที่ออกแบบไว้ภายในบ่อ สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะสัมผัสกับจุลินทรีย์ที่จับตัวกันเป็นฟล๊อคหรือก้อน โดยแบคทีเรียประเภทสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) จะเจริญเติบโตอยู่ด้านในสุดของฟล๊อค ส่วนจุลินทรีย์พวกไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) จะอยู่ที่ด้านนอก ทำให้ระหว่างการเดินทางของน้ำเสียภายในบ่อความสกปรกจะลดลงตามลำดับก่อนออกจากระบบ ซึ่งข้อเด่นของระบบนี้คือความสามารถในการแยกชั้นในการสร้างกรดและสร้างมีเทนอย่างเด่นชัด ทำให้การทำงานของแบคทีเรียแต่ละชนิดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในสภาวะที่เหมาะสม โดยไม่มีปัญหาเรื่องการควบคุมการแยกสถานะ อีกทั้งยังช่วยลดราคาในการก่อสร้างและดำเนินการลง

2.3.2.3 บ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon)

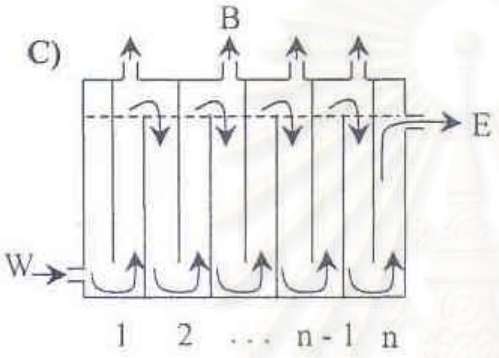
บ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon) เป็นบ่อหมักก๊าซชีวภาพอีกรูปแบบหนึ่ง ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นบ่อดิน ด้านบนคลุมด้วยผืนพลาสติกขนาดใหญ่ เพื่อรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นก่อนนำก๊าซไปใช้ประโยชน์ ถึงแม้ว่าระบบนี้จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียต่ำกว่าแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบอื่นๆ และต้องการพื้นที่มาก เนื่องจากมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำประมาณ 0.5 – 1 กก.ซีโอดีต่อลบ.ม.-วัน แต่ก็เป็นระบบที่มีราคาถูกในการก่อสร้าง



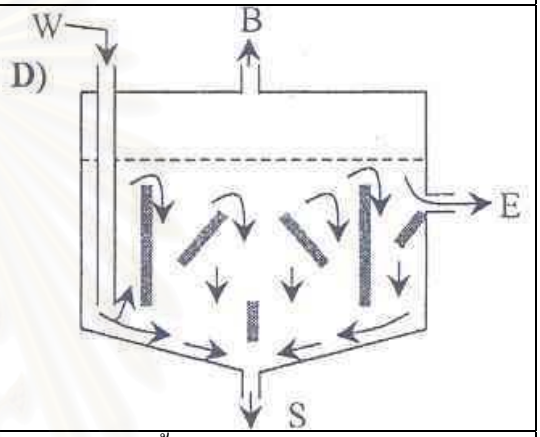
แบบช่องเก็บก๊าซเดี่ยว



แบบช่องเก็บก๊าซแยกห้อง



แบบน้ำไหลในแนวขึ้น – ลง



แบบน้ำไหลในแนวซ้าย – ขวา

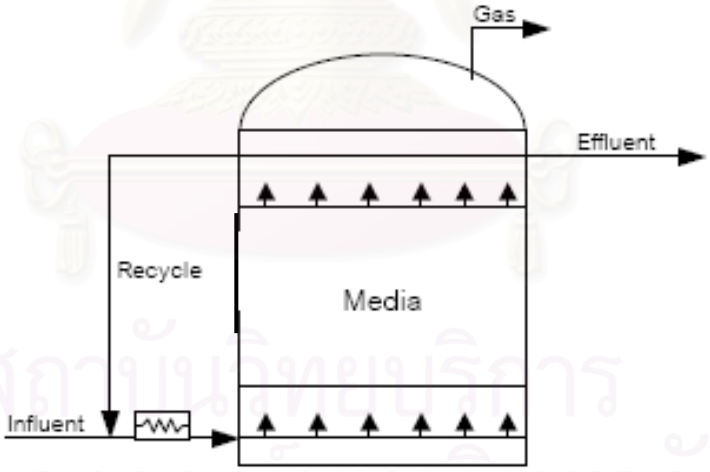
รูปที่ 2.8 ถังไร้อากาศแบบแผ่นกั้นในรูปแบบต่างๆ (Barber และ Stuckey, 1999)

2.3.3 ระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process)

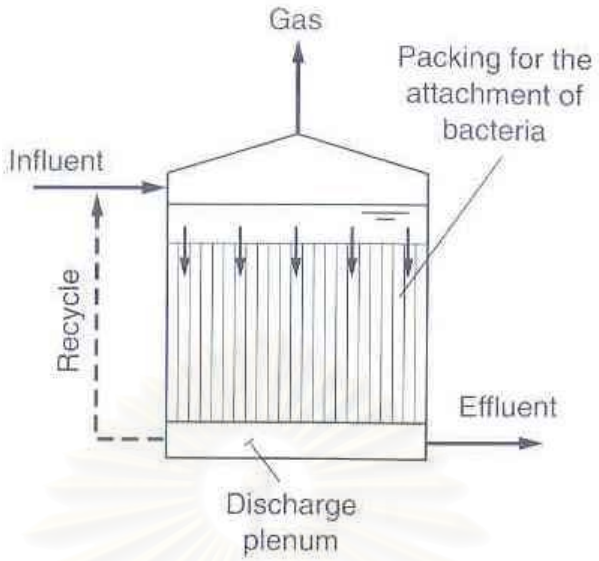
ระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง แต่ไม่เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในรูปของแข็งละลายน้ำ น้ำมันและไขมัน สูง เนื่องจากอาจเกิดการอุดตันของตัวกลางที่อยู่ภายในระบบ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ระบบมีตัวกลางยึดเกาะสามารถกำจัดของแข็งได้บ้าง โดยอาศัยหลักการกรองของชั้นตัวกลางแต่ถ้าของแข็งมีปริมาณสูงมากอาจทำให้ตัวกลางอุดตัน และทำให้แบคทีเรียที่ยึดเกาะตัวกลางมีประสิทธิภาพในการทำงานลดลง จากการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่มีความขุ่นสูงและตะกอนแขวนลอยค่อนข้างมากอยู่ระหว่าง 1,700 – 3,920 มก./ล. ด้วยระบบถังกรองไร้อากาศ (AF) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.6 – 4.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งร้อยละ 94 – 98 (สุรพล สายพานิช, 2518) โดยประเภทถังปฏิกรณ์ที่ทำการศึกษาคือ ถังกรองไร้อากาศ (AF) และระบบตรึงฟิล์มไร้อากาศ (AFF)

หลักการของระบบถังกรองไร้อากาศ (AF) คือ เป็นถังสูงที่มีลักษณะคล้ายถังกรองมีฝาปิดมิดชิด และรูระบายก๊าซภายในบรรจุตัวกลาง เช่น ก้อนหิน พลาสติก และตาข่ายที่มีความพรุนบรรจุ

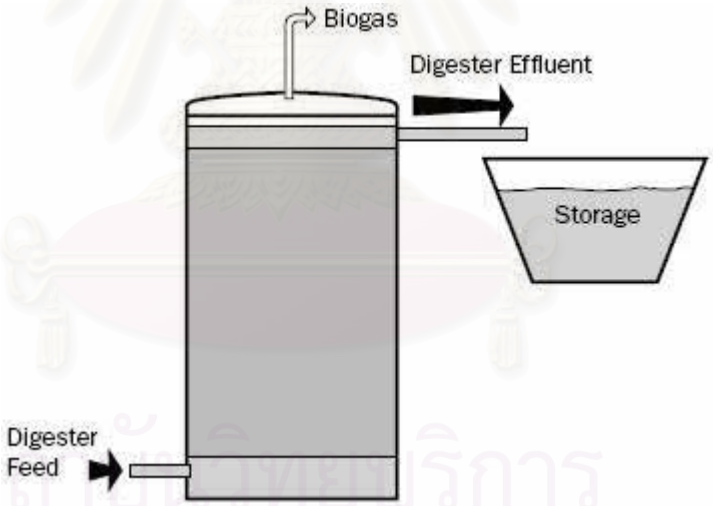
เต็มถังปฏิกรณ์ โดยตัวกลางมีหน้าที่ในการกระจายน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบให้มีความสม่ำเสมอและท่วมตัวกลางอยู่ตลอดเวลา ทำให้น้ำเสียสามารถสัมผัสจุลินทรีย์ที่เกาะตัวกลางได้อย่างทั่วถึง มีทั้งแบบน้ำเสียไหลจากด้านล่างขึ้นข้างบน (Upflow packed filter) และน้ำเสียไหลจากด้านบนลงข้างล่าง (Downflow Anaerobic filter) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10 ตามลำดับ สำหรับถังปฏิกรณ์แบบน้ำเสียไหลจากด้านบนลงล่างสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และตะกอนได้ดีกว่าแบบน้ำเสียไหลจากด้านล่างขึ้นบน แบคทีเรียที่อยู่ภายในถังปฏิกรณ์จะยึดเกาะตัวกลาง และเกาะกันเป็นตะกอนติดกันอยู่ตามช่องว่างระหว่างตัวกลาง เมื่อน้ำเสียไหลผ่านจะทำให้แบคทีเรียทำการย่อยไปทีละน้อยเหมือนผ่านการกรอง ส่วนระบบตรึงฟิล์มไร้อากาศ (AFF) จะแตกต่างจากถังกรองไร้อากาศ (AF) คือ ตัวกลางภายในระบบ (media) ถูกจัดวางอย่างเป็นระเบียบ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 สำหรับผลพลอยได้จากการย่อยสลายคือ ก๊าซชีวภาพจะลอยสู่ด้านบน ซึ่งระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีไม่สูงมากและของแข็งแขวนลอยต่ำ เพราะมีโอกาสเกิดการอุดตันของตัวกลางจากตะกอนแบคทีเรียหรือสารแขวนลอยในน้ำเสีย แต่ระบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ถังตกตะกอน และระยะเวลาในการเริ่มเดินระบบสั้น ถังปฏิกรณ์ประเภทนี้สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 1 – 10 กก.ซีโอดีต่อลบ.ม.-วัน (Lettinga และคณะ, 1983)



รูปที่ 2.9 ถังกรองไร้อากาศแบบ Upflow Anaerobic Filter (Grady, Daigger และ Lim, 1999)



รูปที่ 2.10 ถังกรองไร้อากาศแบบ Downflow Anaerobic Filter (Metcalf & Eddy, 2004)



รูปที่ 2.11 ระบบตรึงฟิล์มไร้อากาศ (AFF) (Ogejo และคณะ, 2007)

สำหรับหลักการทำงาน และความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนทั้ง 3 กลุ่มมีรูปแบบและลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน สามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบข้อเด่นและข้อด้อยของถังปฏิกรณ์แต่ละระบบที่ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ลักษณะการทำงาน	ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ	ระบบผสม	ระบบมีตัวกลางยึดเกาะ
ความเข้มข้นของแบคทีเรียในระบบ	ต่ำ	สูง	สูง
อายุตะกอน (SRT)	ต่ำ	สูง	สูง
น้ำเสียที่มีอนุภาคของแข็งสูง	เหมาะสม	กำจัดอนุภาคของแข็งได้บ้าง	กำจัดอนุภาคของแข็งได้บ้าง
น้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม	เหมาะสม
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย	จำกัด	สูง	สูง
ความทนต่อสารพิษและการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงาน	มีข้อจำกัด เนื่องจากอายุตะกอนต่ำ	มีอายุตะกอนสูงจึงมีเสถียรภาพดี	มีอายุตะกอนสูงจึงมีเสถียรภาพดี
สภาพทางชลศาสตร์ในถังปฏิกรณ์	ใช้เครื่องกวน	ใช้วิธีหมุนเวียนน้ำหรือใช้ก๊าซชีวภาพมาเป่า	ใช้วิธีหมุนเวียนน้ำ
การใช้พลังงาน	ต่ำที่สุด	สูงถ้ามีการหมุนเวียนน้ำ	สูง ถ้าเป็นแบบชั้นตะกอนลอย (FB)

ที่มา : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบริษัท แซน.อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด (2546)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	ข้อดี	ข้อเสีย
ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR) และถังปฏิกรณ์แบบสัมผัส (Anaerobic Contact Reactor)	1. มีการกวนผสมตลอดเวลา ทำให้จุลินทรีย์สามารถสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง 2. เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง	1. ต้องการอุปกรณ์ในการกวนผสม 2. ไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ เพราะอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ ทำให้ราคาแพง
ระบบยูเอเอสบี (UASB)	1. ไม่ต้องใช้สารตัวกลางทำให้ลดค่าใช้จ่ายลง เกิดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินน้อย 2. สามารถรับปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Load) ได้สูงและระยะเวลาในการกักน้ำต่ำ 3. มีความต้องการพลังงานต่ำ จึงประหยัดพลังงานในการเดินระบบ	1. ต้องใช้ระยะเวลาในการเริ่มเดินระบบค่อนข้างนาน จึงต้องดูแลระบบโดยผู้ที่มีความชำนาญ 2. ต้องพยายามควบคุมตะกอนจุลินทรีย์ในระบบไม่ให้หลุดติดไปกับน้ำทิ้งจนปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพน้อยกว่าที่ระบบต้องการ เพื่อรักษาประสิทธิภาพการทำงานที่ดีของระบบ
ถังกรองไร้อากาศ (AF) และระบบตรึงฟิล์มไร้อากาศ (AFF)	1. จุลินทรีย์สามารถอยู่ในระบบได้เป็นเวลานาน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย และการผลิตก๊าซชีวภาพสูง 2. มีความต้านทานต่อน้ำเสียที่มีความเป็นพิษสูงได้ดีกว่าระบบบำบัดด้วยชีวภาพแบบอื่น 3. มีเสถียรภาพที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง และคืนสภาพได้อย่างรวดเร็วหลังจากช่วงที่หยุดเดินระบบ	1. ต้องการเงินลงทุนสูงในการจัดซื้อตัวกลางในระบบ 2. เกิดปัญหาเรื่องการอุดตันและกระจายตัวของตัวกลาง น้ำเสียที่เข้าไม่ควรเป็นน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง หรือมีโอกาสในการตกตะกอนสูง
ถังไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (ABR)	1. ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ เพราะไม่จำเป็นต้องมีถังปฏิกรณ์หลายถัง 2. ออกแบบง่าย และไม่ต้องการกลไกในการกวนผสม 3. ลดปัญหาการอุดตัน และลดการขยายตัวของชั้นสลัดจ์ 4. มีเสถียรภาพสูงในการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์เกินขนาด (Shock load) 5. สามารถเดินระบบได้นานโดยไม่ต้องกำจัดสลัดจ์	1. ต้องการการออกแบบถังปฏิกรณ์ที่ตื้นเพื่อควบคุมระดับน้ำเสียและก๊าซ

2.4 ก๊าซชีวภาพ

2.4.1 ข้อมูลก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพคือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนที่สำคัญ 2 กลุ่มคือ กลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดและกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน ในสภาวะไร้อากาศ อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม แหล่งที่เกิดก๊าซชีวภาพได้แก่ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปสินค้าทางการเกษตร เช่น อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง สกัดน้ำมันปาล์มดิบ และผลไม้กระป๋อง เป็นต้น และฟาร์มเลี้ยงหมู

ก๊าซชีวภาพเมื่อถูกปล่อยสู่บรรยากาศ จะก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกที่ให้ผลรุนแรงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 25 เท่า เพราะก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นหากปล่อยก๊าซชีวภาพทิ้งสู่บรรยากาศจะเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดภาวะเรือนกระจก

2.4.2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายกลายเป็นก๊าซชีวภาพประมาณร้อยละ 80 – 90 ซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ถึงร้อยละ 60 – 70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 28 – 38 และก๊าซอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไอน้ำ และไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น

2.4.3 คุณสมบัติและประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลัก จึงทำให้มีคุณสมบัติจุดติดไฟได้ดีและสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในการให้ความร้อนได้ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในทางทฤษฎีที่สภาวะอุณหภูมิ 0 °C ความดัน 1 บรรยากาศมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (สมพงษ์ ใจมา, 2549)

คุณสมบัติ	ปริมาณ
ค่าความร้อน	21 MJ/m^3 (ที่ปริมาณก๊าซมีเทน 60%)
ความเร็วเปลวไฟ	25 cm/s
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650 °C
อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH_4	600 °C
ค่าความจุความร้อน (C_p)	1.6 kJ/ m^3 - °C
พลังงานจำเพาะ (Energy density)	55.6 kJ/ kg

ก๊าซชีวภาพที่มีปริมาณของก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 60 จะสามารถให้พลังงานความร้อนได้ 21 MJ/m^3 ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงประเภทก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และไฟฟ้าในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมได้ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม.สามารถให้พลังงานความร้อนเทียบเท่าเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม.กับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ชนิดเชื้อเพลิง	**ปริมาณ**	**ราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วย**	**มูลค่าก๊าซชีวภาพ (บาท) ต่อลบ.ม.**
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46 กก.	18.13 บาทต่อกิโลกรัม	8.34
น้ำมันเบนซิน	0.67 ลิตร	42.79 บาทต่อลิตร	28.67
น้ำมันดีเซล	0.60 ลิตร	43.71 บาทต่อลิตร	26.23
น้ำมันเตา	0.55 ลิตร	33.05 บาทต่อลิตร	18.18
ไฟฟ้า	1.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.00 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.60

ก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนในรูปแบบต่างๆ (สมพงษ์ ใจมา, 2549) ดังนี้

- ใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเตา เพื่อผลิตพลังงานความร้อนโดยตรงให้แก่อุปกรณ์ให้ความร้อนในโรงงาน เช่น การนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อต้มไอน้ำในการอบแป้งโดยตรง หรือขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม เป็นต้น
- ใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในผลิตพลังงานกลและผลิตไฟฟ้า
- การผลิตพลังงานร่วม

จากคุณสมบัติและประโยชน์ของก๊าซชีวภาพที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมได้อย่างมากมาย โดยเฉพาะการลดภาระต้นทุนการผลิตในด้านน้ำมันเชื้อเพลิง จะเห็นได้จากตารางที่ 2.7 ถ้านำก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้เองจากน้ำเสียอุตสาหกรรมจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก เนื่องปัจจุบันราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังช่วยลดมลพิษที่จะถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

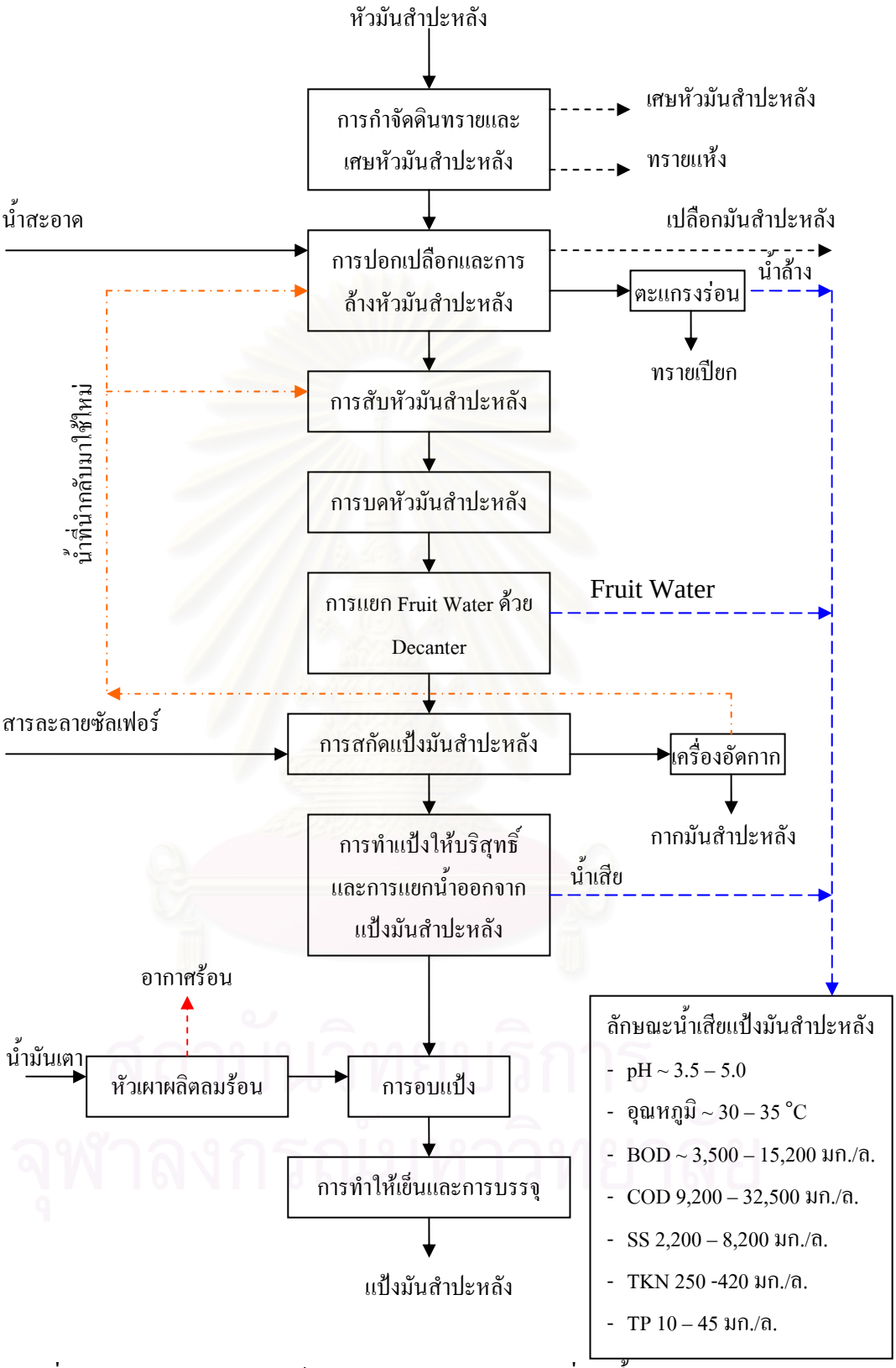
2.5 อุตสาหกรรมที่ทำการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอุตสาหกรรมจำนวน 5 ประเภทได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง อาหารแปรรูป น้ำมันปาล์ม สุรา และกระดาษ ซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ เป็นอุตสาหกรรมที่เกิดปริมาณน้ำเสียมากและสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง ทั้งปริมาณและคุณสมบัติที่น่าจะมีความเหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยได้ทำการทบทวนข้อมูลและเอกสารต่างๆ เบื้องต้นดังนี้

2.5.1 อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทหนึ่ง ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย จะเห็นได้จากมูลค่าการส่งออกของแป้งมันสำปะหลังในปี 2550 เท่ากับ 48,583 ล้านบาททำรายได้ในการส่งออกเป็นลำดับที่ 21 ของสินค้าส่งออกทั้งหมด (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2551) ปัจจุบันมีผู้ประกอบกิจการโรงงานแป้งมันสำปะหลังจำนวน 101 ราย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออก สามารถผลิตมันสำปะหลังได้ประมาณ 26 ล้านตัน (สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร, 2551) ซึ่งหัวมันสำปะหลังสด 1 กิโลกรัมจะได้มันสำปะหลังเส้น 0.40 กิโลกรัม มันสำปะหลังอัดเม็ด 0.37 กิโลกรัม แป้งมันสำปะหลัง 0.20 กิโลกรัม ที่เหลือเป็นกากมัน 0.03 กิโลกรัม (ธีรพล วัฒนโกศล, 2548) ดังนั้นในแต่ละปีสามารถผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ประมาณ 5.2 ล้านตันต่อปี เมื่อคิดเป็นปริมาณการเกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเฉลี่ย 15 – 23 ลบ.ม.ต่อตันแป้ง จะได้ว่าปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อปีสูงถึง 120 ล้านลบ.ม.ต่อปี

หลักการในการผลิตแป้งมันสำปะหลังคือ นำหัวมันสำปะหลังสดไปสกัดเอาแป้งด้วยการใช้น้ำเป็นตัวสกัดซึ่งน้ำที่นำไปสกัดจะถูกแยกออกมา โดยขั้นตอนการทำแป้งให้บริสุทธิ์จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพแป้งมันสำปะหลังที่ได้ ส่วนการแยกโปรตีนและสิ่งเจือต่างๆ ออกจากแป้งมันสำปะหลังจะใช้เครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) ที่มีรอบการหมุนสูง สำหรับกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังและของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนผลิต (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังและของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

1) การรับและการจัดเก็บหัวมันสำปะหลัง

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจะทำการทดสอบปริมาณแป้ง โดยใช้หลักการลอยตัว (Buoyancy) ของหัวมันสำปะหลังในน้ำ เพื่อประมาณราคาซื้อขาย จากนั้นจะนำหัวมันสำปะหลังสดมากองรวมกันไว้บนลานวัตถุดิบ โดยทั่วไปภายใน 24 ชั่วโมงควรนำหัวมันสำปะหลังที่ได้เข้าสู่กระบวนการผลิต เพื่อป้องกันปริมาณแป้งในหัวมันลดต่ำลง

2) การเตรียมหัวมันสำปะหลัง

- การกำจัดเศษดินทรายและเศษหัวมันสำปะหลัง โดยลำเลียงหัวมันสำปะหลังเข้าสู่เครื่องร่อนดินทราย (Sand removal drum) เพื่อกำจัดดินทรายที่ติดมากับมันสำปะหลัง ซึ่งจะมีปริมาณของเสียในรูปดินทราย และเศษหัวมันสำปะหลังประมาณ 20 และ 10 กิโลกรัมต่อตันหัวมันสำปะหลังตามลำดับ ในส่วนของเศษหัวมันสำปะหลังจะถูกส่งไปยังแหล่งกำจัดภายนอก

- การปอกเปลือกและล้างหัวมันสำปะหลัง จะใช้วิธีฉีดน้ำพ่นเป็นฝอย เพื่อทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังที่ปอกเปลือกเรียบร้อยแล้ว

3) การบดหัวมันสำปะหลัง

หัวมันสำปะหลังที่ผ่านการล้างหัวมันแล้วจะถูกส่งไปยังเครื่องสับหัวมัน (Root Chopper) เพื่อสับหัวมันเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 – 2 นิ้ว แล้วส่งไปยังเครื่องบดมัน (Root Rasper) เพื่อที่ได้มันสำปะหลังที่เป็นเม็ดละเอียด และน้ำที่อยู่ในหัวมันสำปะหลัง (Fruit Water) ซึ่งมีกรดไซยานิก (Cyanic Acid) ปนอยู่ด้วย โดยโรงงานแป้งมันสำปะหลังบางแห่งมีขั้นตอนการแยกน้ำที่อยู่ภายในหัวมันสำปะหลังออกจากแป้งด้วยการใช้เครื่อง Decanter ขั้นตอนนี้จะช่วยให้แป้งมีคุณภาพดีขึ้น

4) การสกัดแป้งมันสำปะหลัง

หัวมันที่ผ่านการบดจะส่งมายังเครื่องสกัดที่ต่ออนุกรมกัน (Multi-stage Extractor) ประมาณ 3 – 4 ชุด โดยไม่มีถังพัก เพื่อทำการแยกเซลลูโลสประกอบด้วยเส้นใยและกากมันสำปะหลังออกจากแป้ง การทำงานของเครื่องสกัดจะเป็นเครื่องแยกแป้งแบบหมุนเหวี่ยงรูปกรวย น้ำแป้งจะผ่านเข้ามาสู่เครื่องซึ่งมีการพ่นน้ำเข้ามาในทิศทางสวนทางกับน้ำแป้งที่เข้ามา (Counter Current) เพื่อให้เกิดการแยกตัวระหว่างแป้งและเส้นใย น้ำที่ทำการฉีดพ่นมาจากขั้นตอนการทำแป้งให้บริสุทธิ์ ซึ่งในขั้นนี้จะมีการเติมน้ำกำมะถันเข้ามาด้วย เพื่อยับยั้งโมเลกุลของแป้งกลายเป็นกรดแลคติค เนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์

5) การทำแป้งให้บริสุทธิ์

แป้งที่มีกากมันสำปะหลังผสมอยู่จะถูกส่งไปยังเครื่องกรองและไซโคลน เพื่อแยกกากและรักษาคุณภาพแป้ง ซึ่งในขั้นตอนนี้โรงงานส่วนใหญ่จะใช้ระยะเวลาในการดำเนินการสั้นและติดตั้งเครื่องแยกแป้งต่อกันเป็นชุด เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี หลังจากนั้นส่วนที่เป็น

ของเหลวข้นจะถูกส่งเข้าไปยังเครื่องแยกแป้งชนิดหมุนเหวี่ยง (Centrifugal separator) หรือไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) จะได้น้ำแป้งเข้มข้นแยกออกจากน้ำ

6) การแยกน้ำออกจากแป้ง การอบแห้ง การลดอุณหภูมิ และการบรรจุภัณฑ์

น้ำแป้งข้นจะถูกแยกน้ำออกแล้วส่งเข้าสู่เครื่องอบ ซึ่งใช้หลักการระเหยของน้ำด้วยการใช้ลมร้อนอุณหภูมิประมาณ 200 °C การอบแป้งจะใช้เวลาในการอบไม่นาน เพื่อป้องกันการรวมตัวเป็นก้อน และการเปลี่ยนสภาพ แป้งที่ยังร้อนอยู่จะถูกส่งไปยังไซโคลนเย็น (Cooling Cyclone) เพื่อทำการลดอุณหภูมิลงหลังจากที่แป้งแห้งแล้ว หลังจากนั้นแป้งจะถูกส่งไปยังขั้นตอนบรรจุใส่ถุงต่อไป

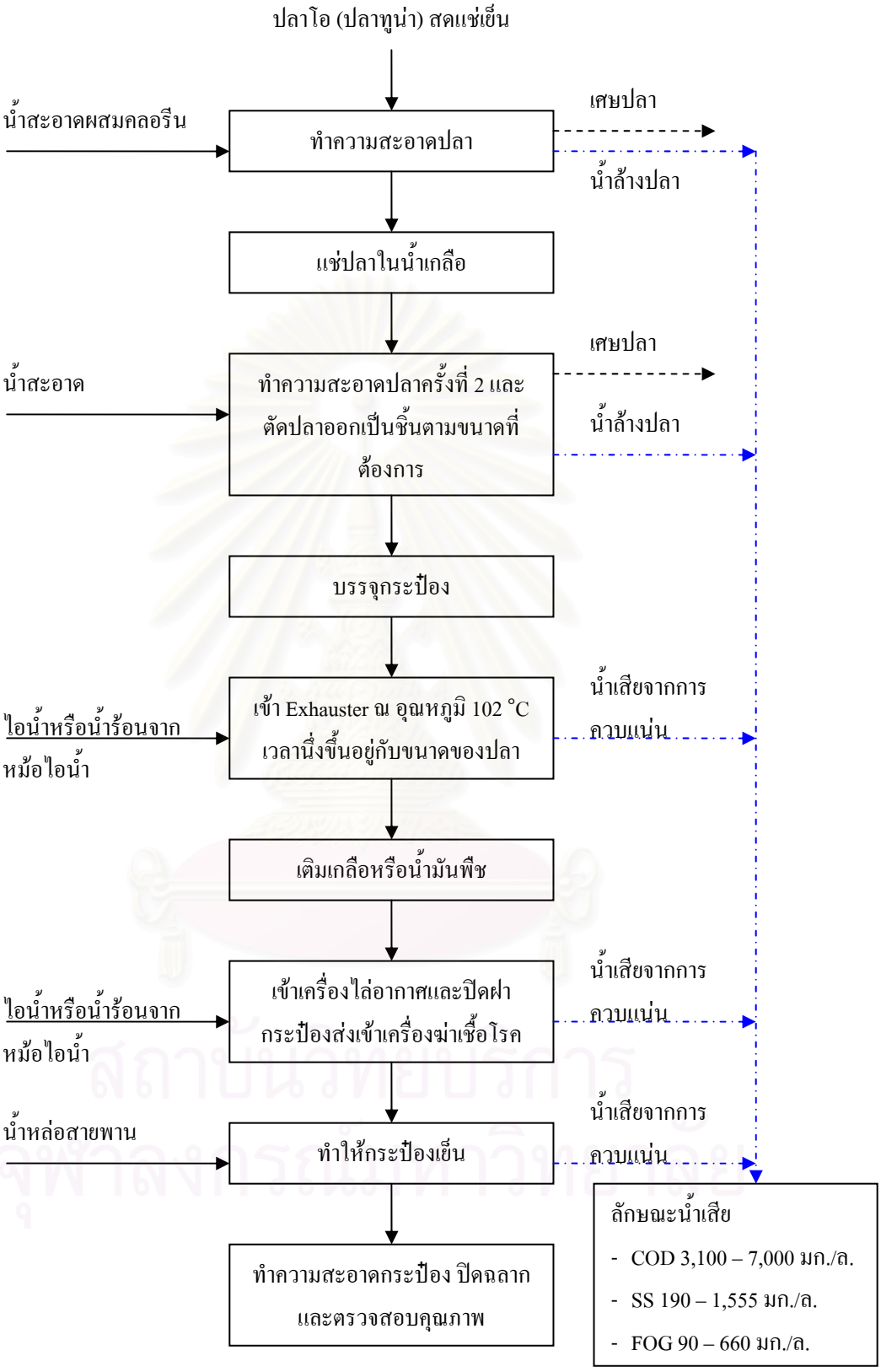
จากรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมี 3 แหล่งคือ ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง การแยกน้ำที่อยู่ภายในหัวมันออกด้วยเครื่อง Decanter และขั้นตอนการทำแป้งให้บริสุทธิ์ โดยปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเฉลี่ย 15 – 23 ลบ.ม.ต่อตันแป้ง คิดเป็นปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อปีสูงถึง 120 ล้านลบ.ม.ต่อปี

2.5.2 อุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยมากที่สุดเมื่อเทียบกับประเภทอุตสาหรรม 6 ประเภทที่ทำการศึกษา ซึ่งจำนวนโรงงานที่เกี่ยวกับอาหารแปรรูปเมื่อสิ้นปี 2550 เท่ากับ 221 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) โดยรายได้จากการส่งออกอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปแบ่งเป็น 3 ชนิดคือ อาหารทะเลกระป๋องและแปรรูปมีมูลค่าการส่งออกสูงสุดเท่ากับ 109,024 ล้านบาท รองลงมาคือ ผลไม้กระป๋องและแปรรูปเท่ากับ 38,319 ล้านบาท นมและผลิตภัณฑ์นมเท่ากับ 4,530 ล้านบาทตามลำดับ (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2551) ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะโรงงานผลิตอาหารแปรรูปได้แก่ โรงงานปลากระป๋อง นม ผลไม้และน้ำผลไม้กระป๋อง

2.5.2.1 <u>กระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง</u>

ปัจจุบันโรงงานผลิตอาหารทะเลกระป๋องที่มีการผลิตในประเทศไทยมากที่สุดคือโรงงานผลิตปลาทูน่ากระป๋อง สำหรับน้ำเสียและของเสียส่วนใหญ่มาจากกระบวนการล้างทำความสะอาดปลา การผ่าเอาไส้ปลา เลาะหนังและกระดูกทิ้ง อีกส่วนหนึ่งเป็นน้ำเสียจากการควบแน่นในกระบวนการนึ่งปลาให้สุกรวมถึงการฆ่าเชื้อโรคด้วยการสเตอริไรซ์ (Sterilization) และน้ำเสียจากการหล่อเย็นในกระบวนการทำให้เย็นเพื่อรักษาคุณภาพอาหาร สำหรับรายละเอียดกระบวนการผลิตและของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋องและของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ)

1) การทำความสะอาดปลาด้วยน้ำผสมคลอรีน ในขั้นตอนนี้ยังไม่ต้องการความประณีตในการทำความสะอาดมากนัก

2) การแช่ปลาในน้ำเกลือ เพื่อขจัดกลิ่นคาวและกลิ่นอื่นๆ ของวัตถุดิบ

3) การทำความสะอาดในขั้นที่ 2 โดยการผ่าท้องเอาไส้ออก แล้วนำไปนึ่งให้สุก เพื่อเลาะหนัง กระดูกและเลือดสีดำออก จากนั้นจึงบรรจุกระป๋องแล้วนำไปเข้าเครื่องชั่งให้ได้มาตรฐาน

4) ปลาที่ได้รับการบรรจุกระป๋องเรียบร้อยแล้วจะส่งเข้าเครื่องนึ่ง (Exhauster) โดยนำไปนึ่งให้สุกที่อุณหภูมิ 102 °C นานประมาณ 15-20 นาที

5) นำไปปรุงแต่งรสตามความต้องการ โดยการเทน้ำที่เกิดจากการนึ่งทิ้ง แล้วใส่เครื่องปรุงต่างๆ เช่น น้ำเกลือ น้ำมันพืช ซอสมะเขือเทศ จากนั้นนำไปปิดฝากระป๋อง

6) การนำกระป๋องที่บรรจุและปิดผนึกเรียบร้อยแล้วเข้าเครื่องฆ่าเชื้อโรค ที่อุณหภูมิประมาณ 117-120 °C โดยใช้เวลานานประมาณ 55 นาที

7) การทำให้เย็น (Cooling) เพื่อถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ในอาหารโดยเร็ว เนื่องจากถ้าปล่อยให้อาหารกระป๋องคลายความร้อนเองโดยธรรมชาติ จะทำให้เกิดผลเสียคือ อาจทำให้เนื้อปลาสุกเกินไป ลักษณะเนื้ออาจเปลี่ยนแปลงไปและเป็นการทำลายคุณค่าทางอาหาร

8) การปิดฉลากและตรวจสอบคุณภาพ โดยทางโรงงานจะมีการสุ่มตรวจสอบคุณภาพก่อนการส่งไปจำหน่าย

2.5.2.2 <u>กระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋อง</u>

สับปะรดเป็นสินค้าเกษตรกรรมที่สำคัญของประเทศ ในปี 2550 สามารถผลิตสับปะรดได้ประมาณ 2.305 ล้านตัน (สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร, 2550) เมื่อผลผลิตมีจำนวนมากกว่าความต้องการทำให้ราคาผลผลิตตกต่ำลง จึงต้องมีการแปรรูปสินค้าเพื่อไม่ให้สินค้าล้นตลาด โรงงานผลิตสับปะรดกระป๋องส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ระยอง กาญจนบุรี และลำปาง สำหรับของเสียและวัสดุที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตสับปะรดและน้ำสับปะรดกระป๋องประมาณ 100 – 150 ตันต่อวัน (พรพรรณ พาณิชย์นำสิน และชินพงศ์ วังใน, 2545) ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตมาจากกระบวนการล้างผลสับปะรดและการบรรจุกระป๋อง รวมถึงน้ำหล่อเย็น โดยกระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋อง (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ) มีรายละเอียดดังนี้

1) สับปะรดที่หักก้านและยอดออกแล้วจะถูกส่งเข้าเครื่องแยกขนาด จากนั้นนำสับปะรดที่คัดแล้วส่งผ่านไปตามสายพานขนาดต่างๆ ผ่านเครื่องฉีดน้ำเพื่อทำความสะอาด ชะล้างฝุ่นละออง และสิ่งสกปรกต่างๆ ออกจากผลแล้วลำเลียงเข้าเครื่องตัดหัวและท้าย ปอกเปลือก และคว้านแกนออก โดยสับปะรดที่ผ่านขั้นตอนนี้จะเป็นรูปทรงกระบอกตรงกลางกลวง

2) สับปะรดที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 จะถูกนำไปล้างทำความสะอาดอีกครั้ง ก่อนที่จะทำการตกแต่งตาหรือเปลือกที่ยังติดค้างอยู่แล้วหั่นสับปะรดเป็นแว่น โดยสับปะรด 1 ลูก จะหั่นได้ประมาณ 8-10 แว่น หลังจากนั้นคัดเลือกแว่นสับปะรดตามสีและขนาด เพื่อส่งบรรจุกระป๋องใส่น้ำเชื่อมพอท่วมชิ้นสับปะรด และชั่งน้ำหนักให้ได้ตามที่ต้องการ

3) นำสับปะรดที่บรรจุกระป๋องเข้าหม้ออบ เพื่อไล่อากาศแล้วปิดผนึกฝา ทำการสเตอริไรซ์ (Sterilization) ฆ่าเชื้อโรค จากนั้นจะต้องทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันไม่ให้สี รสชาติ กลิ่น และเนื้อสับปะรดเปลี่ยนไป โดยการนำสับปะรดที่ผ่านการสเตอริไรซ์ลำเลียงผ่านสายน้ำเย็นนานประมาณ 10 นาที เสร็จแล้วจึงนำไปเป่าลมให้แห้ง ทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 48 ชั่วโมง เพื่อปรับสภาพให้คืนตัวและมีคุณภาพคงที่ ข้อควรระวังในการบรรจุสับปะรดกระป๋องคือ ต้องรักษาค่าพีเอชไม่ให้เกิน 4.0 มิฉะนั้นแบคทีเรียบางชนิดอาจไม่ตายและทำให้กระป๋องบวมพอง

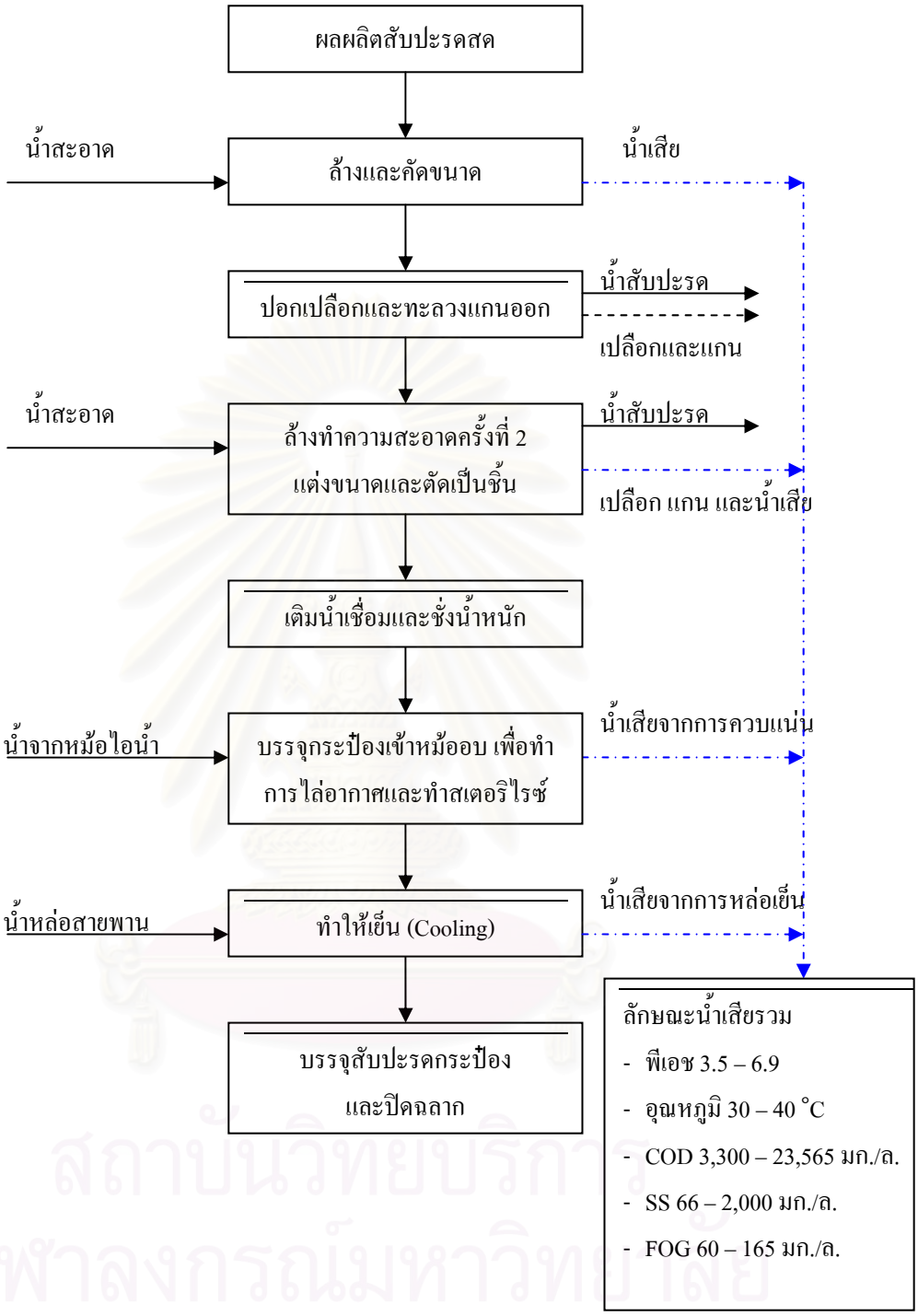
4) ปิดฉลากตามที่ลูกค้าต้องการ จากนั้นบรรจุใส่กล่องลำเลียงเพื่อส่งออกต่อไป

สำหรับกระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋องและของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตดังแสดงในรูปที่ 2.14

2.5.2.3 <u>นมและผลิตภัณฑ์นม</u>

โรงงานผลิตนมและแปรรูปนมในประเทศไทยมีจำนวน 139 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) ในปี 2550 มีมูลค่าการส่งออกประมาณ 4,530 ล้านบาททำรายได้จากการส่งออกเป็นลำดับที่ 93 ของสินค้าส่งออกทั้งหมด (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2551) ซึ่งลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตนม เนยแข็ง และโยเกิร์ตมีปริมาณสารอินทรีย์ ไขมันและน้ำมันค่อนข้างสูงดังแสดงในตารางที่ 2.8 โดยแหล่งกำเนิดน้ำเสียของโรงงานผลิตเนยแข็งและนมสดเกิดจากกระบวนการผลิต และแหล่งอื่นๆ ได้แก่ นมสดที่หก น้ำล้างขวด กระป๋อง เครื่องจักร และน้ำล้างพื้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.14 กระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋องและของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.8 แสดงลักษณะน้ำทิ้งของโรงงานผลิตนม เนยแข็ง โยเกิร์ตและเนยที่ทำจากนม (Omil และคณะ, 2003)

ประเภทโรงงาน	pH	ปริมาณ (มก./ล.)								
		ซีโอดี	บีโอดี	ไขมัน	TN	TP	TS	VS	TSS	VSS
ผลิตนม	5-11	1,750-4,500	1,112-2,300	294-690	43-200	7-100	1,500-5,100	1,093-4,300	278-820	250-635
ผลิตหางนม	4-6	61,250-66,000	-	-	650-2,500	533-650	63,000	57,000	-	2,000
ผลิตเนยแข็ง	7.32	4,430	3,000	754	18	14	-	-	1,100	-
โยเกิร์ตและเนย	-	1,500	1,000	-	63	7.2	-	-	191	-

2.5.3 อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ผลิตจากพื้นที่บริเวณภาคใต้มีจำนวน 49 ราย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยสามารถผลิตผลปาล์มประมาณ 8 ล้านตัน แปรรูปเป็นน้ำมันปาล์มดิบได้ประมาณ 1.3 – 1.4 ล้านตัน เนื่องจากภาวะน้ำมันขาดแคลนทำให้ความต้องการน้ำมันจากพืชใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น จึงส่งผลให้ราคาผลปาล์มสูงขึ้นด้วย (สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร, 2551) โดยมีมูลค่าส่งออกจากสินค้าไขมันและน้ำมันจากพืชและสัตว์ประมาณ 13,028 ล้านบาท ซึ่งอุตสาหกรรมนี้มีแนวโน้มความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากอัตราการขยายตัวการส่งออกที่สูงถึงร้อยละ 72 (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2551) เมื่อมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นทำให้เกิดน้ำเสียเพิ่มขึ้นเช่นกัน

หลักการในการสกัดน้ำมันปาล์มคือ การนำผลปาล์มไปนึ่งด้วยไอน้ำและเข้าเครื่องอัด เพื่อสกัดน้ำมันปาล์มออกมาจากผลปาล์ม แล้วทำการแยกน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยถังตกจมโดยใช้หลักการแรงโน้มถ่วง สำหรับแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมี 3 แหล่งได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการนึ่งผลปาล์ม น้ำเสียจากไฮโดรไซโคลน และน้ำเสียจากการเครื่องแยกสลัดจ์ คิดเป็นปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นประมาณ 3 ตันต่อน้ำมันปาล์มหนึ่งตัน (Borja และ Banks, 1995) หรือเกิดปริมาณน้ำเสียประมาณ 3.9 – 4.2 ล้านลบ.ม.ต่อปี ส่วนของเสียในรูปของแข็งที่เกิดจากกระบวนการผลิตได้แก่ ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม และกากตะกอน โดยขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มมีรายละเอียดดังนี้

1) การเก็บทะลายปาล์มสด

การเก็บรักษาปริมาณน้ำมันในผลปาล์มสดไม่ให้ลดลงและมีคุณภาพดี ควรนำทะลายปาล์มสดเข้ากระบวนการผลิตภายใน 3 วัน เนื่องจากถ้าปล่อยผลปาล์มทิ้งไว้นานปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

2) การนึ่งผลปาล์ม

นำทะลายปาล์มสดเข้าหม้อนึ่งไอน้ำ (Autoclave) ที่มีอุณหภูมิ 130 °C และความดัน 3.1 บาร์ ซึ่งไอน้ำจะถูกป้อนเข้าหม้อนึ่งอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 90 นาที การนึ่งผลปาล์มมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งเอนไซม์ในผลปาล์ม และทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มยุ่ยเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปสกัดน้ำมัน

3) การแยกผลปาล์ม

ทะลายปาล์มที่ผ่านการนึ่งจะช่วยให้ผลปาล์มหลุดออกจากขั้วได้ง่าย ซึ่งการแยกผลปาล์มออกจากทะลายปาล์มจะใช้วิธีนำเข้าเครื่องแยกแบบหมุน (Rotary Drum Thresher) ในขั้นตอนนี้จะก่อให้เกิดทะลายปาล์มเปล่า

4) การย่อยผลปาล์ม

นำผลปาล์มเข้าเครื่องย่อย เพื่อย่อยปาล์มให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีการใช้ไอน้ำช่วยในการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ง่ายขึ้นก่อนส่งเข้าสู่กระบวนการบีบผลปาล์มต่อไป

5) การบีบผลปาล์ม

6) การทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

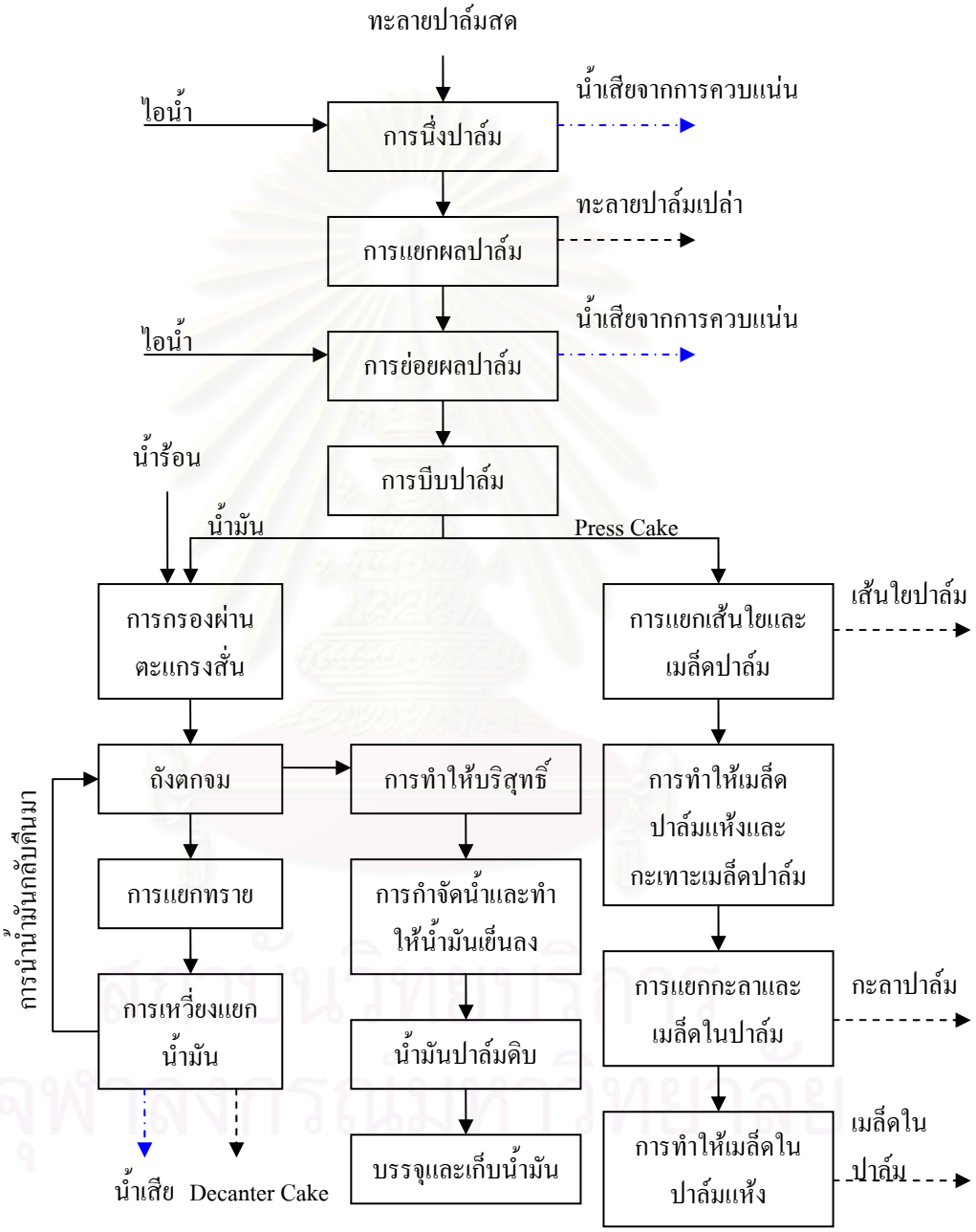
- การกรองน้ำมันดิบด้วยตะแกรงแบบสั่น (Vibrating Screen) เพื่อกรองสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ออกจากน้ำมันปาล์มดิบ

- การแยกของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำมัน จะใช้หลักการแยกน้ำออกจากของแข็งแขวนลอยด้วยแรงโน้มถ่วง โดยน้ำมันปาล์มดิบจะถูกทำให้ร้อนด้วยไอน้ำร้อน ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องการให้มีสัดส่วนน้ำมันร้อยละ 90 และมีน้ำเจือปนร้อยละ 10

- การทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เป็นขั้นตอนแยกของแข็งขนาดเล็กออกจากน้ำมัน ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ โดยใช้เครื่องเหวี่ยงแยกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนและในเครื่องเหวี่ยงแยกนี้จะมีระบบทำความสะอาดอัตโนมัติติดตั้งอยู่ด้วย น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จะเมื่อผ่านขั้นตอนนี้ประมาณ 163 กิโลกรัมต่อหนึ่งตันของทะลายปาล์มสด

- การกำจัดน้ำและทำให้น้ำมันปาล์มเย็นลง โดยน้ำมันปาล์มดิบจะถูกส่งผ่านเข้าระบบระเหยสูญญากาศ เพื่อให้ไอน้ำที่ปนมากับน้ำมันปาล์มระเหยออกไป และทำให้เย็นลงก่อนบรรจุในถังเก็บน้ำมัน

สำหรับแผนผังกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบและของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มที่เป็นแบบมาตรฐานและของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

2.5.4 อุตสาหกรรมสุรา

อุตสาหกรรมกลั่นสุราเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรหนึ่งที่สร้างรายได้ให้แก่ประเทศเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันมีโรงงานกลั่นสุราจำนวน 24 โรงงานซึ่งตั้งกระจายอยู่ทั่วประเทศ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551)

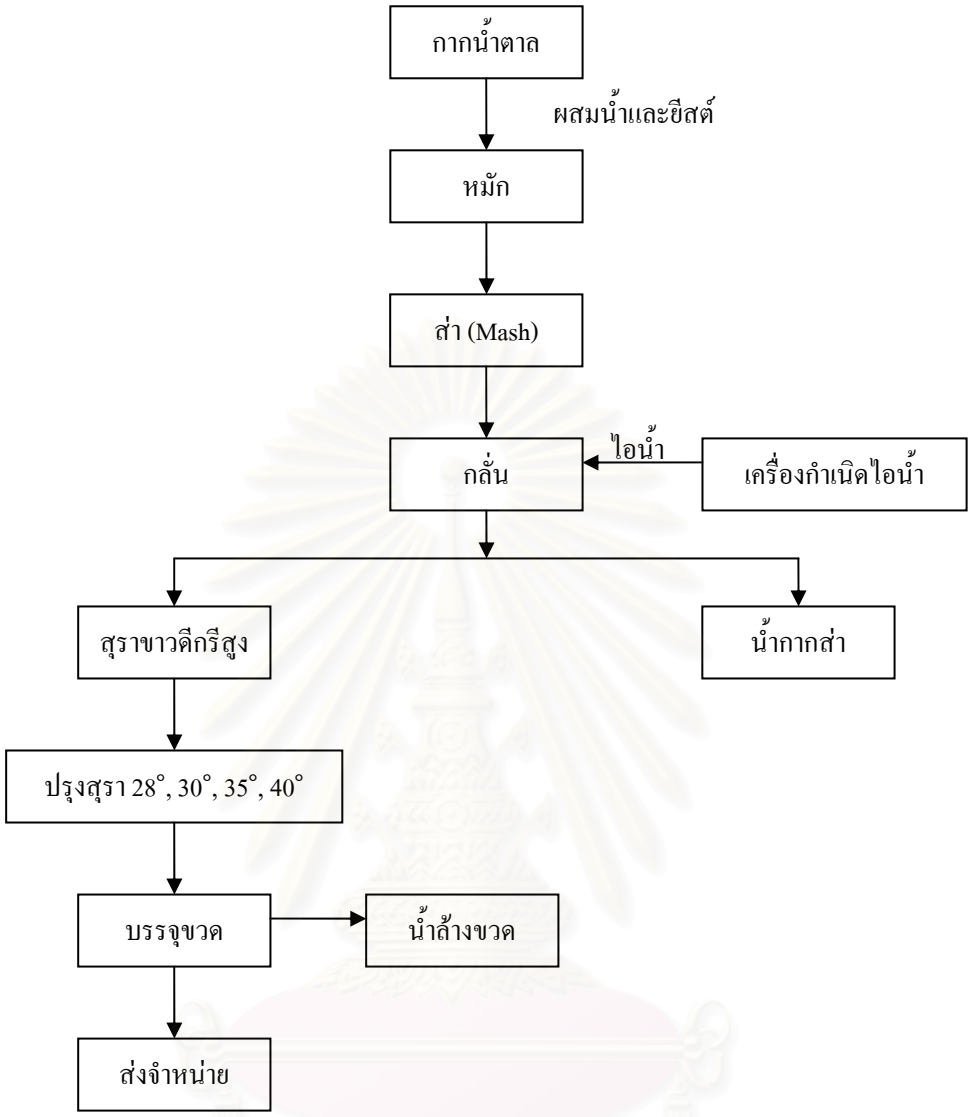
วัตถุดิบที่ใช้ในการกลั่นสุราแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ วัตถุดิบจากข้าวเหนียว วัตถุดิบจากกากน้ำตาล และวัตถุดิบจากน้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลโตนด และน้ำตาลจาก ซึ่งกรรมวิธีในการผลิตจะขึ้นอยู่กับแต่ละชนิดของวัตถุดิบ

กระบวนการผลิตสุรากลั่นประกอบด้วยการหมักส่า การกลั่นสุราด้วยไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) จะได้สุราดีกรีสูงแล้วจึงทำการแบ่งระดับความเข้มข้นของสุราด้วยการปรุงสุราดีกรีต่างๆ ได้แก่ 28°, 30°, 35°และ 40° โดยแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากกระบวนการกลั่นสุราแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ (มาลี วิศวาจารย์, 2531) คือ

- น้ำทิ้งประเภทเข้มข้น เป็นน้ำทิ้งส่วนนี้มีค่าบีโอดีสูงประมาณ 2,500–35,000 กรัมต่อลบ.ม.ประกอบด้วยน้ำล้างถังหมักและน้ำกากส่า แม้ว่าค่าบีโอดีของน้ำทิ้งทั้งสองชนิดจะแตกต่างกันประมาณ 14 เท่า แต่น้ำทิ้งทั้งสองนี้จะถูกนำไปบำบัดรวมกัน (สมศักดิ์ ดำรงเลิศ และมาลี วิศวาจารย์, 2529)
- น้ำทิ้งประเภทเจือจาง เป็นน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีต่ำประมาณ 10-450 กรัมต่อลบ.ม. ได้แก่ น้ำล้างขวด น้ำหล่อเย็น เป็นต้น น้ำทิ้งประเภทนี้ไม่นำมาบำบัดรวมกับน้ำกากส่า เนื่องจากมีค่าบีโอดีแตกต่างกันมากและมีปริมาณสูง

สำหรับกระบวนการผลิตของโรงงานสุรากลั่นขนาดใหญ่และแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากการกลั่นสุราดังแสดงในรูปที่ 2.16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.16 กระบวนการกลั่นสุราของโรงงานกลั่นขนาดใหญ่
(ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549)

2.5.5 อุตสาหกรรมกระดาษ

อุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประเทศ เพราะสามารถสร้างรายได้ในการส่งออกอย่างต่อเนื่อง ในปี 2550 มีมูลค่าการส่งออก 41,178 ล้านบาท (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2551) ซึ่งโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษมีจำนวน 110 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2251) มีกำลังการผลิตประมาณ 4.5 ล้านตันดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ปริมาณการผลิตกระดาษและกระดาษแข็งในปี 2549

ชนิดกระดาษ	กำลังการผลิต (ล้านตัน)	จำนวนผลิตภัณฑ์ (ล้านตัน)
กระดาษคราฟท์	2.673	2.253
กระดาษพิมพ์เขียน	1.264	1.060
เปเปอร์บอร์ด	0.300	0.254
กระดาษหนังสือพิมพ์	0.135	0.131
กระดาษชำระ	0.129	0.097

ที่มา : สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย (ตุลาคม 2549)

2.5.5.1 <u>กระบวนการผลิตเยื่อ</u>

กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ (สำนักงานเทคโนโลยีน้ำและการจัดการมลพิษโรงงาน, 2550) มีรายละเอียดดังนี้

1) การร่อนชิ้นไม้ (Chip Screening) เพื่อคัดขนาดชิ้นไม้ที่มีขนาดพอดีในการนำชิ้นไม้ไปสับ

2) การต้มเยื่อ (Cooking)

ชิ้นไม้ที่สับได้ขนาดแล้วจะถูกส่งไปยังหม้อต้มเยื่อภายในประกอบด้วยสายพานที่มีอุณหภูมิ 130 – 170 ˚C ความดันมากกว่าความดันบรรยากาศ ขณะชิ้นไม้อยู่บนสายพานลิกนินในไม้จะทำปฏิกิริยากับน้ำยาต้มเยื่อ ทำให้ชิ้นไม้ที่ผ่านการต้มเยื่อแล้วจะมีเส้นใยอิสระแยกออกมา โดยการต้มเยื่อมี 2 แบบคือ การต้มเยื่อแบบเดี่ยว และการต้มเยื่อแบบต่อเนื่อง

3) การล้างเยื่อ (Washing)

การล้างเยื่อประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การล้างเยื่อเพื่อล้างของเหลวดำ (Black liquor) ออกจากเยื่อโดยใช้น้ำและสารเคมีน้อยที่สุด รวมถึงรักษาคุณภาพของเยื่อกระดาษที่ได้ ซึ่งของเหลวดำที่ถูกล้างออกไปกับน้ำเสียมีความเป็นพิษสูงต่อแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนการร่อนเยื่อเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการผลิตเยื่อ เนื่องจากเยื่อที่ผ่านการล้างแล้วยังมีสิ่งเจือปนที่เกิดจากเนื้อไม้หลงเหลืออยู่ เช่น ชิ้นไม้สับที่ยังต้มไม่สุก และเส้นใยที่ยังไม่แยกเป็นเส้นใยอิสระ เป็นต้น จะทำการร่อนเยื่อด้วยตะแกรงร่อนเยื่อที่มีรูขนาดต่างกัน

4) การฟอกเยื่อ (Bleaching)

การฟอกเยื่อมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความขาวให้กับเยื่อที่ผลิตได้ ซึ่งการที่จะได้เยื่อกระดาษที่มีความขาวตามต้องการจำเป็นต้องผ่านการฟอกเยื่อหลายขั้นตอน อีกทั้งยังต้องใช้สารเคมีในการฟอกเยื่อหลายตัวได้แก่ คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) ไฮโปรคลอไรด์ (NaOCl และ $Ca(OCl)_2$) การสกัดโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ไฮโดรเจนเปอออกไซด์ (H_2O_2) และออกซิเจน (O_2) เป็นต้น

5) การนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ (Chemical recovery cycle) เป็นการนำสารเคมีที่ถูกใช้ในขั้นตอนการต้มเยื่อนำกลับมาใช้อีกครั้ง

2.5.5.2 <u>กระบวนการผลิตกระดาษ</u>

กระบวนการผลิตกระดาษสามารถแบ่งขั้นตอนการผลิตหลักๆ ได้ 2 ส่วนคือ ขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อ (Stock preparation) และการทำกระดาษ (Sheet forming) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ส่วนการเตรียมน้ำเยื่อ (Stock preparation)

(ก) การเตรียมน้ำเยื่อ (Stock preparation)

- ส่วนที่เป็นเส้นใยสั้น (LBKP) และเส้นใยยาว (NBKP) จากไซโลจะถูกส่งไปยังถังควบคุมความเหนียวของเส้นใย (Chest) แล้วนำไปทำความสะอาดเยื่อ (Cleaner) หลังจากนั้นจะบดเยื่อเข้าด้วยกัน (Refiner) เพื่อเตรียมเยื่อส่งไปยังถังกวนผสมเยื่อ (Mixing chest) ต่อไป

- เยื่อเปียกที่ไม่ผ่านการอบแห้ง (Wet Broke) เป็นเยื่อที่มีคุณสมบัติเหมือนกับเยื่อบริสุทธิ์ จึงส่งไปถังกวนผสมได้โดยไม่ต้องผ่านการทำความสะอาดและบดเยื่อ

(ข) ถังกวนผสมเยื่อ (Mixing chest)

เยื่อในส่วนนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ เยื่อที่ผ่านการเคลือบ OMC (Off Machine Coater) และเยื่อที่ผ่านการอบแห้งแต่ไม่ถูกเคลือบ OMC เยื่อทั้งสองนี้จะถูกรีดน้ำออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้น (Thickener) แล้วถูกส่งไปยังเครื่องทำความสะอาดและกรองสิ่งสกปรกออก จึงจะถูกส่งไปยังถังกวนผสมเยื่อ

(ค) ระบบแยกน้ำออกจากเยื่อ (Save All)

เยื่อทุกชนิดที่จะถูกส่งไปยังถังกวนผสมเยื่อส่วนหนึ่งจะผ่านเข้าสู่เครื่องสูบ (Sweetener Pump) เพื่อทำการแยกน้ำออกจากเยื่อซึ่งน้ำที่ได้จะมี 2 ส่วนคือ น้ำส่วนที่ใส (Clear) และขุ่น (Cloudy) โดยน้ำที่ได้จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนการผลิตส่วนอื่นๆ สำหรับเยื่อที่แยกได้ก็จะส่งไปยังถังกวนผสมต่อไป

(ง) Stock Approach

เยื่อที่ผ่านการกวนผสมจะถูกส่งไปยังขั้นตอนการเติมสารเคมีต่างๆ เยื่อที่ออกจากถังผสมสารเคมี (Machine Chest) จะส่งผ่านไปยังไซโล (Wire silo) แล้วผ่านการทำสะอาดอีกครั้งก่อนส่งไปยังเครื่องกำจัดฟองออกจากน้ำเยื่อ (Deculator) นำเยื่อที่ได้คุณภาพที่ผ่านการกรองส่งต่อไปยังเครื่องลดขนาดเยื่อ (Attenuator) แล้วส่งไปยังถังเก็บ (Chest)

2) การทำกระดาษในส่วนเครื่องจักรแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

(ก) ส่วนเปียก (Wet End)

ส่วนเปียกคือ ส่วนที่เยื่อมีน้ำประกอบอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งเป็นเยื่อที่ใช้สำหรับขึ้นรูปเป็นกระดาษ โดยเริ่มตั้งแต่ส่วนการจ่ายเยื่อ (Head box) จนถึงส่วนการกดกระดาษ (Press section)

(ข) ส่วนแห้ง (Dry End)

เป็นส่วนที่กระดาษมีความชื้นน้อยลงเกือบเป็นของแข็ง โดยในขั้นตอนนี้แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนย่อยดังนี้

- ส่วนการอบกระดาษ (Drying section) เป็นกรรมวิธีการอบกระดาษให้แห้งด้วยชุดลูกอบให้ความร้อนแก่กระดาษ

- ส่วนการฉาบเคลือบผิวกระดาษ (Size press section) เป็นส่วนที่ทำให้ผิวกระดาษเรียบและเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ โดยนำกระดาษฉาบด้วยน้ำแป้ง

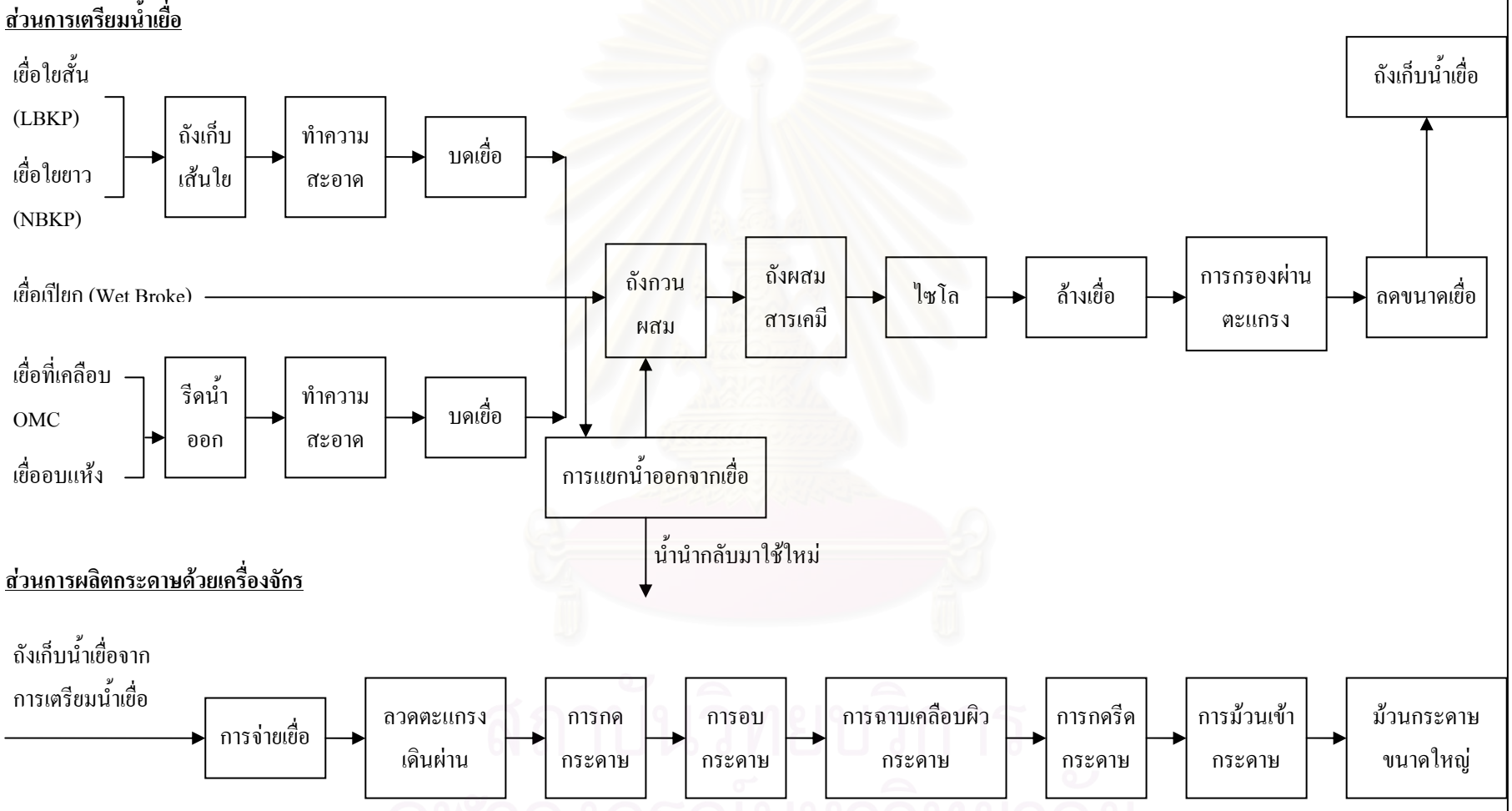
- ส่วนการกดรีดกระดาษ (Calender section) เพื่อให้กระดาษมีความหนาสม่ำเสมอ

- ส่วนระบบนำเข้าม้วน (Reeling section หรือ Pope Reel) เป็นการนำกระดาษเข้าม้วน ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของเครื่องผลิตกระดาษ

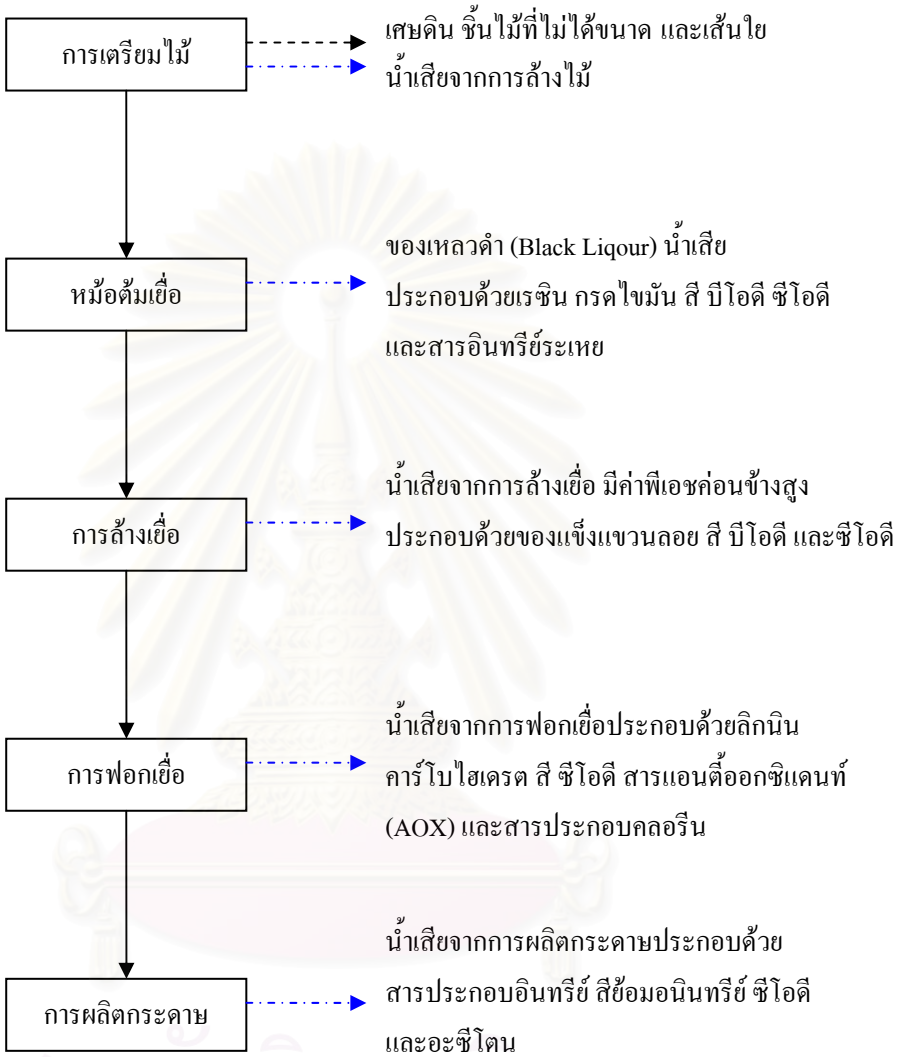
สำหรับแผนผังกระบวนการผลิตกระดาษ (สำนักงานเทคโนโลยีน้ำและการจัดการมลพิษโรงงาน, 2550) ดังแสดงในรูปที่ 2.17

2.5.5.3 <u>แหล่งกำเนิดมลพิษจากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ</u>

จากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษจะเห็นว่า การผลิตกระดาษต้องใช้สารเคมีหลายชนิด และน้ำเป็นจำนวนมาก โดยแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษได้แก่ ขั้นตอนการเตียมชิ้นไม้ เยื่อกระดาษ การล้างกระดาษ คัดขนาด การเตรียมน้ำเยื่อ การเดินเครื่องจักรผลิตกระดาษ และการเคลือบกระดาษ เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนที่เกิดน้ำเสียมากที่สุดคือ การผลิตเยื่อกระดาษ (Chemical pulping) ส่วนขั้นตอนที่น้ำทิ้งมีความเป็นพิษมากที่สุดคือ ขั้นตอนการฟอกเยื่อกระดาษ (Pulp bleaching) สำหรับแผนผังการเกิดมลพิษในขั้นตอนการผลิตเยื่อและกระดาษ (Pokhrel และ Viraraghavan, 2004) ดังแสดงในรูปที่ 2.18



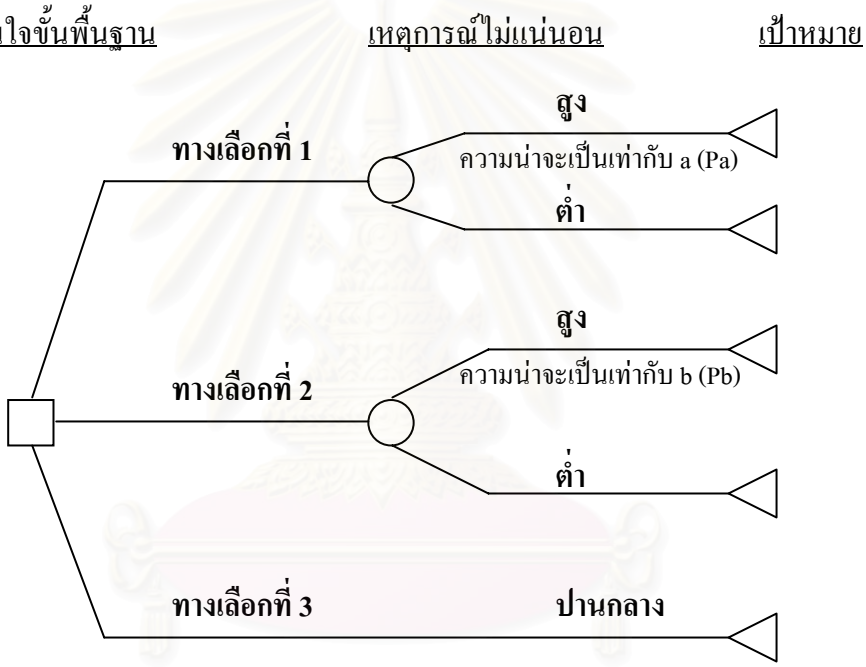
รูปที่ 2.17 แผนผังกระบวนการผลิตกระดาษ (สำนักงานเทคโนโลยีน้ำและการจัดการมลพิษโรงงาน, 2550)



รูปที่ 2.18 มลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ (Pokhrel และ Viraraghavan, 2004)

2.6 วิธีวิเคราะห์การตัดสินใจด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees)

การพิจารณาการจัดหมวดหมู่ (Classification) ด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees) เป็นการแสดงรายละเอียดของข้อมูลที่มีการเชื่อมโยงกันตั้งแต่การตัดสินใจขั้นพื้นฐาน (Primary decision) ผ่านเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอน (Uncertain event) จนกระทั่งถึงเป้าหมายหรือผลลัพธ์ที่ได้ (Final outcome) โดยสร้างเป็นต้นไม้ตัดสินใจ (Golub, 1997: 35-36) ดังแสดงในรูปที่ 2.19 การเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจจะถูกใช้ในการอนุมานแบบอุปนัย (Inductive interference) เช่น การกำหนดราคาสินค้าใหม่ การประเมินความเสี่ยง และการตัดสินใจในการเลือกซื้อสินค้า เป็นต้น



รูปที่ 2.19 แผนผังต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees Daigram) (Golub, 1997)

แผนผังต้นไม้ตัดสินใจสามารถแตกกิ่งจากซ้ายไปขวาหรือบนลงล่าง ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีการเชื่อมโยงกันแตกกิ่งเป็นทอดๆ แต่ละจุดที่ทำการเชื่อมต่อทางเลือกเรียกว่า “โหนด (node)” ส่วนรากของต้นไม้จะอยู่ด้านซ้ายสุดของแผนผังคือ การตัดสินใจขั้นพื้นฐาน และด้านขวาของแผนผังจะเป็นผลลัพธ์ที่ได้

ต้นไม้ตัดสินใจเป็นการจัดกลุ่มตัวอย่างที่อาศัยการจัดหมวดหมู่จากการศึกษา โดยแต่ละกิ่งของรากจะมีเกณฑ์ต่างๆ เพื่อคัดกรองข้อมูลที่จะผ่านไปยังการพิจารณาในโหนดต่อไป ซึ่งอาจแบ่งค่าเป็นช่วง หรือระดับต่างๆ เช่น ระดับสูง ปานกลาง ต่ำ เป็นต้น โดยข้อมูลที่ใช้ในการสร้างต้นไม้ตัดสินใจประกอบด้วยตัวอย่างและคุณลักษณะ โดยคุณลักษณะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

- คุณลักษณะแบ่งพวก (Category attribute) เป็นคุณลักษณะที่กำหนดว่าตัวอย่างที่ทำการศึกษาถูกจัดอยู่พวกไหน (Class) ซึ่งมีเพียงคุณลักษณะเดียวเท่านั้นในแต่ละชุดข้อมูล

- คุณลักษณะไม่แบ่งพวก (Non-category attribute) เป็นคุณลักษณะที่บอกถึงลักษณะต่างๆ ของตัวอย่างที่ทำการศึกษา โดยสามารถมีได้หลายคุณลักษณะในแต่ละชุดข้อมูล

การสร้างต้นไม้ตัดสินใจจะทำการเลือกคุณลักษณะไม่แบ่งพวกที่ละ 1 คุณลักษณะ และกลุ่มตัวอย่างจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยตามค่าคุณลักษณะที่ไม่แบ่งพวกนั้น ในกรณีที่กลุ่มย่อยประกอบไปด้วยตัวอย่างหลายพวก จะต้องทำการแบ่งกลุ่มย่อยนั้นต่อไปด้วยการเลือกคุณลักษณะไม่แบ่งพวกตัวใหม่จนสามารถแบ่งกลุ่มย่อยที่ได้อยู่ในพวกเดียวกัน ซึ่งการเพิ่มของกิ่งจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา และจำนวนของกิ่งที่เกิดขึ้นขึ้นเป็นการเพิ่มแบบฟังก์ชั่นของเลขยกกำลัง (exponential)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

จากการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม 5 ประเภทที่ทำการศึกษาได้แก่ อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง อาหารแปรรูป น้ำมันปาล์ม สุรา และกระดาษ สามารถสรุปได้ดังนี้

2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

สุรพล สายพานิช (2518) ทำการทดลองกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังด้วยถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ขนาด 105 ลิตร มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.6 - 4.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำ 24 และ 56 ชั่วโมง พบว่าถ้าปรับพีเอชและสารอาหารของน้ำทิ้งให้เหมาะสม ระบบถังกรองไร้อากาศจะสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ถึง 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และสามารถทำงานได้ดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยไม่จำเป็นต้องปรับค่าพีเอชและสารอาหาร โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงถึงร้อยละ 94

ธีรพล วัฒนโกศล (2548) ได้ทำการรวบรวมฐานข้อมูลการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศของโรงงานแป้งมันสำปะหลังของประเทศไทยจำนวน 75 โรงงาน พบว่าโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีจำนวน 41 โรงงาน เนื่องจากช่วยลดต้นทุนการผลิต โดยการใช้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เป็นพลังงานทดแทน โดยร้อยละ 61 ของจำนวนโรงงานใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนโดยตรงในการอบแป้งและจำนวนร้อยละ 20 ของโรงงานนำก๊าซชีวภาพ

ไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า และอีก 15 โรงงาน ยังไม่สนใจเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

Colin และคณะ (2007) ได้ทดลองนำถังกรองไร้อากาศแบบแนวราบภายในบรรจุชิ้นไม้ไผ่เป็นตัวกลาง โดยใช้ถังปฏิกรณ์มีขนาด 13 ลิตร ในการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังในประเทศโคลัมเบียที่มีค่าซีโอดีระหว่าง 4,780-5,420 มก./ล. สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุด 11.8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 87 และอัตราในการเกิดก๊าซ 3.7 ล./ล.-วัน โดยปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้เฉลี่ย 0.36 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทนร้อยละ 69-81 ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดร้อยละ 67

2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

พีระพงษ์ ทิพยาทร (2530) ทดลองใช้ระบบยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มสำเร็จรูปจากน้ำนมถั่วเหลืองและน้ำอัดลมซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ และค่าพีเอชประมาณ 9 ซึ่งค่อนข้างสูงและเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดกับไม่มีถังสร้างกรดจะเห็นได้ว่า ระบบแรกมีประสิทธิภาพดีกว่าสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 2.276 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 92 ส่วนระบบที่สองสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.917 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 78 และอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ 14.23 ลิตรต่อวัน

Rico, Garcia และ Fdz-Polanco (1991) ทำการทดลองนำระบบยูเอเอสบีขนาด 4 ลิตร บำบัดน้ำเสียจากการผลิตเนยแข็ง (cheese) ซึ่งมีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 790 - 6,550 มก./ล. และปริมาณของแข็งทั้งหมด 1.12 - 6.38 ก./ล.พบว่า ระบบยูเอเอสบีสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้มากกว่า 45 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีร้อยละ 70 – 80 อีกทั้งได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบระหว่างมีการเติมด่างและไม่มีการเติมด่าง พบว่า เมื่อระบบมีเสถียรภาพแล้วไม่จำเป็นต้องมีการเติมด่างก็สามารถกำจัดซีโอดีได้ใกล้เคียงกัน และปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้ประมาณ 0.33 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด

Kalyuzhnyi, Perez Martinez และ Rodriguez Martinez (1997) ทำการทดลองนำระบบยูเอเอสบีขนาด 3 ลิตร บำบัดน้ำเสียจากการผลิตเนยแข็งและหางนม (Whey) ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นซีโอดีไม่เกิน 77,000 มก./ล. ในห้องปฏิบัติการภายใต้อุณหภูมิ 35 ^{o}C สามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทีรีย์ได้ไม่เกิน 28.5 กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด/ลบ.ม.-วัน และที่อุณหภูมิ 20 – 30 ^{o}C สามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ 9.5 กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด/ลบ.ม.-วันพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 6.5 กก.ซีโอดีที่ถูก

กำจัด/ลบ.ม.-วัน ระบบยูเอเอสบีสามารถทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดประมาณร้อยละ 95

2.7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

Borja และ Banks (1995) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มระหว่างถังกรองไร้อากาศ (AF) และระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน (AFB) พบว่า ระบบทั้งสองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 10 ก.ซีโอดี/ลิตร-วัน ระยะเวลาในการกักน้ำ 6 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าร้อยละ 90 แต่ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดได้ถึง 40 ก.ซีโอดี/ลิตร-วัน ส่วนถังกรองไร้อากาศสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ไม่เกิน 20 ก.ซีโอดี/ลิตร-วัน

Yacob และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาระบบบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศมาเลเซียเป็นระยะเวลา 52 สัปดาห์ ซึ่งมีบ่อบำบัดน้ำเสียทั้งหมด 12 บ่อประกอบด้วยบ่อพักน้ำเพื่อทำการปรับลดอุณหภูมิจำนวน 1 บ่อ บ่อกวนผสมจำนวน 1 บ่อ บ่อหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนจำนวน 4 บ่อๆ ละ 7,500 ลบ.ม.ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำบ่อละ 40 วัน บ่อเขียวจำนวน 2 บ่อ และบ่อเลี้ยงสาหร่ายจำนวน 4 บ่อ รวมระยะเวลาในการกักเก็บน้ำในระบบทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 100 วัน พบว่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 0.5-2.4 ล./นาที-ตร.ม. มีก๊าซมีเทนร้อยละ 35-70 และอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดต่อบ่อหมักไม่ใช้ออกซิเจนเท่ากับ 1,043.1 กก.ต่อวัน ซึ่งมีปริมาณมากกว่าระบบถังย่อยไม่ใช้ออกซิเจนแบบเปิด

Poh และ Chong (2008) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มพบว่า ระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงที่สุดคือ ร้อยละ 98.4 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10.63 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ร้อยละของก๊าซมีเทน 54.2 รองลงมาคือ บ่อหมักไร้อากาศมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 97.8 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ร้อยละของก๊าซมีเทน 54.4 และถังปฏิกรณ์แบบสัมผัสมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 93.3 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.44 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ร้อยละของก๊าซมีเทน 63 ตามลำดับ

2.7.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสุรา

Boopathy และ Tilche (1991) ทดลองใช้ถังไร้อากาศแผ่นกั้นแบบไฮบริด (HABR) ขนาด 165 ลิตร บำบัดน้ำเสียจากโมลาสซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์สูง ค่าซีโอดีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 115,771-990,000 มก./ล. และควบคุมอุณหภูมิที่ 37°C พบว่าที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมด และซีโอดีที่ละลายร้อยละ 70 และ 77 ตามลำดับ อีกทั้งยังผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 5 ลบ.ม./ลบ.ม.ถังปฏิกรณ์-วัน

Kalyuzhnyi และคณะ (2001) ทำการศึกษาเกี่ยวกับน้ำเสียจากโรงงานผลิตไวน์ในประเทศรัสเซีย จะเห็นได้ว่าถ้าในช่วงฤดูกาลผลิตไวน์ซึ่งมีผลผลิตขององุ่นออกมามากน้ำเสียมีความเข้มข้นมากกว่า 10,000 มก.ซีโอดี/ล. ถ้านอกฤดูกาลเก็บเกี่ยวองุ่นน้ำเสียจะมีปริมาณซีโอดีน้อยกว่า 1,000 มก./ล. ทำให้ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตมีเข้มข้นและความแปรปรวนสูงทำให้ไม่เหมาะกับการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน อีกทั้งปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียซึ่งเป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียใช้อากาศมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน

Perez-Garcia และคณะ (2005) ได้ทำการเปรียบเทียบผลของค่าพีเอชน้ำเสียจากโรงกลั่นสุราก่อนเข้าระบบต่อการทำงานของระบบตรึงฟิล์มไม่ใช้ออกซิเจนแบบไหลขึ้นซึ่งมีขนาด 2.4 ลิตร โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ 55°C พบว่าน้ำเสียที่มีการเติมด่างในการเดินระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานของระบบดีกว่าการเติมกรด ซึ่งสามารถกำจัดค่าซีโอดีได้สูงสุดถึงร้อยละ 87.5 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3.2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำ 4 วัน และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.30 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด

Andreottola และคณะ (2005) ได้นำระบบถังปฏิกรณ์แบบ Fixed bed biofilm 2 ขั้นตอน จำนวน 3 ถัง ขนาดถังละ 12.5 ลบ.ม.มาใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตไวน์ โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเต็มรูปแบบซึ่งน้ำเสียมีค่าซีโอดีทั้งหมดประมาณ 6,800-7,150 มก./ล. สามารถกำจัดซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 91 ที่เหลือร้อยละ 10 ไม่สามารถกำจัดได้ เนื่องจากในน้ำเสียมีส่วนประกอบของซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ

Moletta (2005) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นสุราและไวน์ด้วยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 80 – 98 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพประมาณ 500 – 600 ลิตรต่อกก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด และมีสัดส่วนก๊าซมีเทนร้อยละ 60 – 80 ของก๊าซชีวภาพ

2.7.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ

Rajeshwari และคณะ (2000) ศึกษาการเลือกใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงได้แก่ โรงฆ่าสัตว์ โรงงานผลิตน้ำตาลและกลั่นสุรา โรงงานนมและเนยแข็ง โรงงานผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ พบว่าระบบยูเอเอสบี (UASB) และระบบตรึงฟิล์ม (AFF) เป็นระบบที่เหมาะสมกับน้ำเสียประเภทนี้มากกว่าแบบอื่นๆ ทั้งในแง่ความยุ่งยากในการเดินระบบ การใช้พลังงาน และด้านเศรษฐศาสตร์ ส่วนประสิทธิภาพของระบบ

ขึ้นอยู่กับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ระยะเวลาในการกักเก็บตะกอน และปัจจัยอื่นๆ

Buzzini และ Pires (2007) ทดลองใช้ระบบยูเอเอสบีแบบเวียนน้ำกลับบางส่วนในการบำบัดของเหลวดำจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษคราฟท์พบว่า ในช่วงแรกที่เดินระบบไม่มีการเวียนน้ำกลับมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 80 – 86 ที่ระยะเวลาในการกักน้ำ 36 ชั่วโมง เมื่อเริ่มมีการเวียนน้ำประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลงเหลือร้อยละ 75 – 78 แต่สามารถลดระยะเวลาในการกักน้ำจาก 30 ชั่วโมงเหลือเพียง 24 ชั่วโมง

Yilmaz, Yuceer และ Basibuyuk (2008) ได้ทำการเปรียบเทียบการเดินระบบถังกรองไร้อากาศ (AF) ที่อุณหภูมิปานกลาง (35°C) และอุณหภูมิสูง (55°C) ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษพบว่า ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไม่เกิน 8.4ก./ล.-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของถังกรองไร้อากาศทั้งสองอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ถังกรองไร้อากาศที่อุณหภูมิสูงจะมีเสถียรภาพดีกว่าที่อุณหภูมิปานกลางเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

แผนการศึกษาและการทำวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงดังนี้

ช่วงที่ 1 ทำการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลของโรงงานตัวอย่าง ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำเสีย คำนวณภาระซีโอดี (COD load) กระบวนการผลิตในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม และเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียอุตสาหกรรมทั้ง 5 ประเภทคือ อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง อาหารแปรรูป (โรงงานผลิตปลากระป๋อง โรงงานผลไม้และน้ำผลไม้กระป๋อง) น้ำมันปาล์ม สุรา และกระดาษ โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ช่วงที่ 2 รวบรวมและทบทวนข้อมูลเอกสารงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ เพื่อกำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกน้ำเสียที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ และคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียแต่ละประเภทอุตสาหกรรม แล้วนำเกณฑ์ที่ได้เปรียบเทียบกับตัวแปรจริงที่ใช้ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์ที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลกับลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษา และความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์ที่ได้เปรียบเทียบกับตัวแปรจริงที่ใช้ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยมีแผนการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย

ในการศึกษานี้จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง โรงงานผลิตผลไม้และน้ำผลไม้กระป๋อง โรงกลั่นสุรา โรงงานผลิตเบียร์ โรงงานน้ำมันปาล์ม และโรงงานกระดาษ มาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเพื่อให้แน่ใจว่ามีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

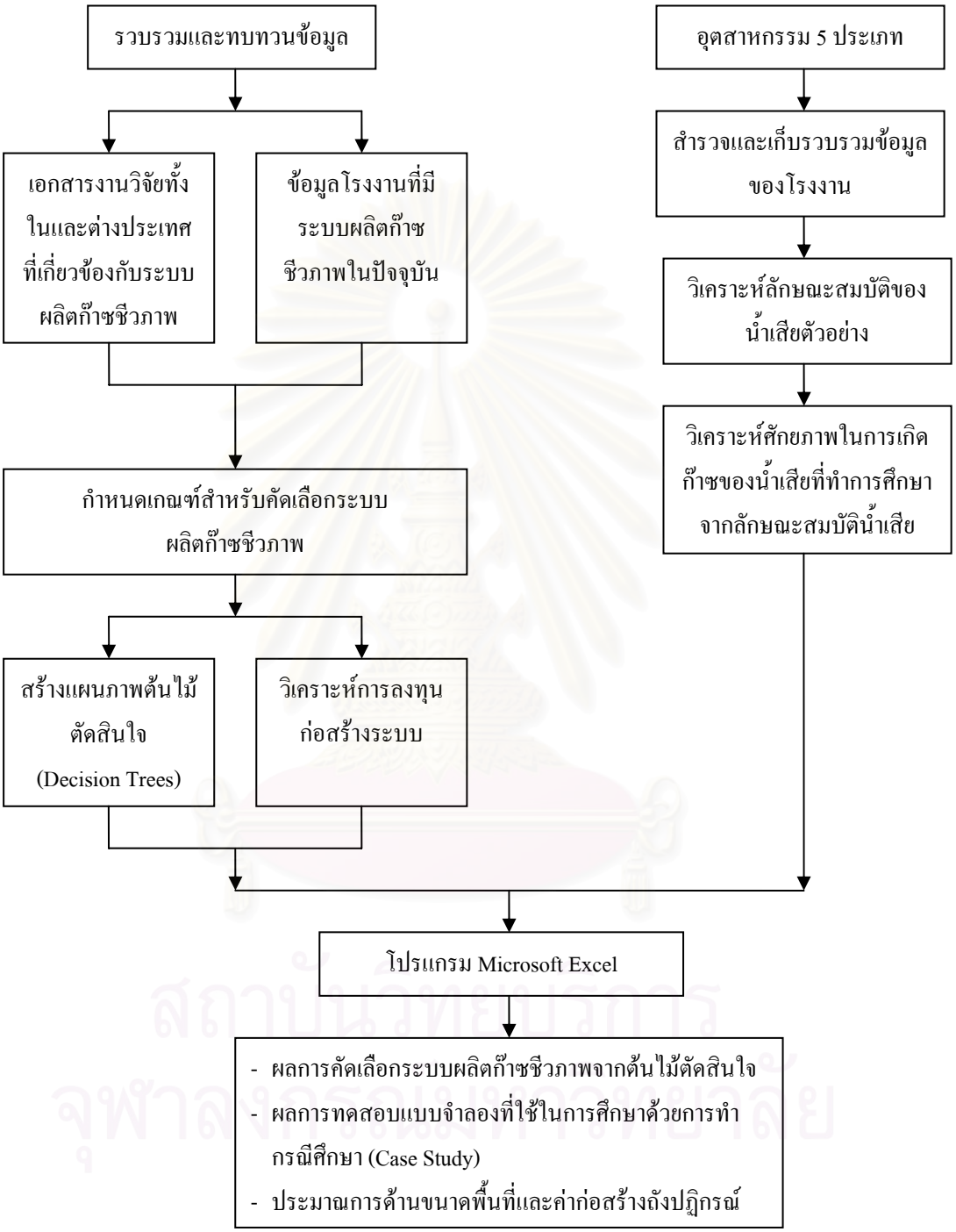
การเก็บตัวอย่างน้ำจะทำการเก็บน้ำเสียตัวอย่างจากโรงงานทั้งหมด 55 โรงงาน โรงงานละ 2 ครั้ง โดยจุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์คือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำแบบผสมรวม ซึ่งจะเก็บตัวอย่างน้ำเสียทุก 1 ชั่วโมง ปริมาตรตัวอย่างน้ำแบบจ้วงครั้งละ 1 ลิตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมงในช่วงที่มีการเดินระบบการผลิต เพื่อใช้ผสมเป็นตัวอย่างน้ำแบบผสมรวม

3.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย

ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ทางกายภาพและทางชีวภาพของน้ำเสียตัวอย่าง ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช การนำไฟฟ้า บีโอดี ซีโอดี ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานสากล (Standard Method for Examination of Wastewater) (APHA, AWWA และ WPCF, 1998) สำหรับอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มและอาหารแปรรูป ทำการวิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำมันเพิ่มเติม ตารางที่ 3.1 แสดงวิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
พีเอช	วิธีไฟฟ้า (Electrometric)
การนำไฟฟ้า	เครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า (Electrode)
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	Gravimetric, dried at 103 -105 ^{o}C
ซีโอดี	รีฟลักซ์แบบปิด (Close Reflux)
บีโอดี	Azide Modification
ทีเคเอ็น	Total Kjeldahl
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	Vanadomolybdic acid
น้ำมันและไขมัน	วิธีการสกัดด้วยกรวยแยก



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงภาพรวมของการทำวิจัย

3.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากน้ำเสียอุตสาหกรรม 5 ประเภทกับเกณฑ์ที่ได้ทำการศึกษา

รวบรวมและทบทวนข้อมูลเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งภายในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการเกิดก๊าซชีวภาพและระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ปัจจัยที่เหมาะสมในการทำให้เกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษา เพื่อกำหนดเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียแต่ละประเภท

3.4 กำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อสร้างแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees)

ขั้นตอนในการกำหนดเกณฑ์ เพื่อช่วยในการคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ มีรายละเอียดดังนี้

1) ทบทวนและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้งในและต่างประเทศที่ใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษา เพื่อกำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees)

2) ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดจริงจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอยู่ในปัจจุบันได้แก่ ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR) ระบบยูเอเอสบี (UASB) ระบบตรึงฟิล์มไร้อากาศ (AFF) ถังไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (ABR) และบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered lagoon) โดยการรวบรวมข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจริง และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากโรงงานตัวอย่างที่มีการใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในปัจจุบัน

3) ประมาณการด้านขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการก่อสร้างระบบ และค่าก่อสร้างถังปฏิกรณ์เบื้องต้น

4) นำเกณฑ์ที่ได้จากการศึกษามาสร้างแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ และโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซล เพื่อง่ายต่อการพิจารณาระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีความเหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียของโรงงานตัวอย่าง

3.5 การคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม และทดสอบแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาด้วยการทำกรณีศึกษา (Case Study)

3.5.1 การคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

ศึกษาผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียตัวอย่างจำนวน 55 โรงงานแล้ว ทำการคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees)

3.5.2 ทดสอบแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาด้วยการทำกรณีศึกษา (Case Study)

รวบรวมข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจริงในปัจจุบัน นำข้อมูลลักษณะน้ำเสียจากโรงงานตัวอย่างที่มีระบบแล้ว มาทดสอบกับแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees) และโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซล (Microsoft Excel) ซึ่งเป็นโปรแกรมช่วยในการตัดสินใจ เพื่อตรวจสอบว่าผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับผลการคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีความเหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียจากโรงงานตัวอย่างที่ยังไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยต้นไม้ตัดสินใจหรือไม่

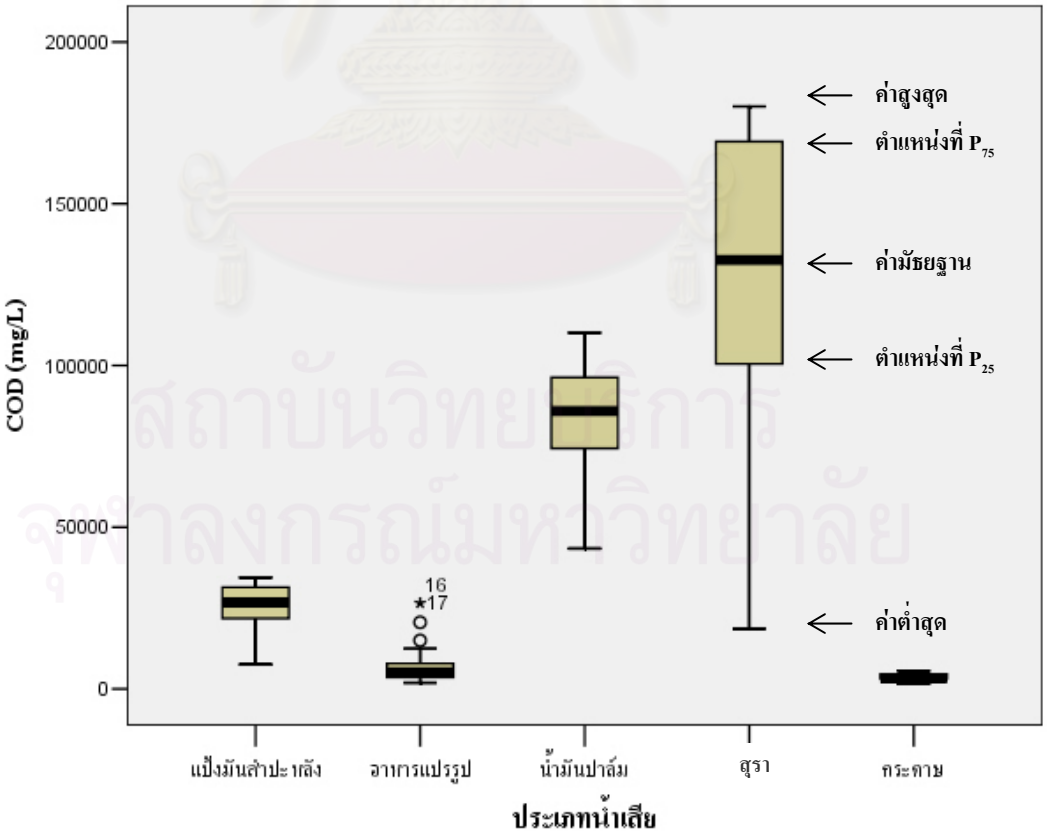
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

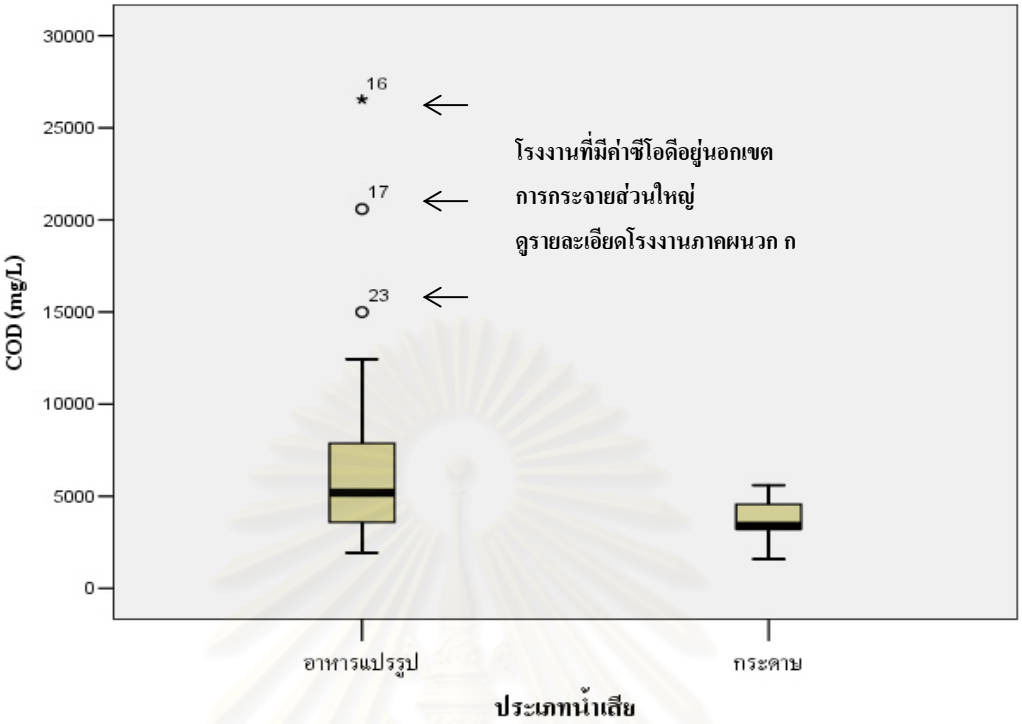
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ลักษณะของน้ำเสีย

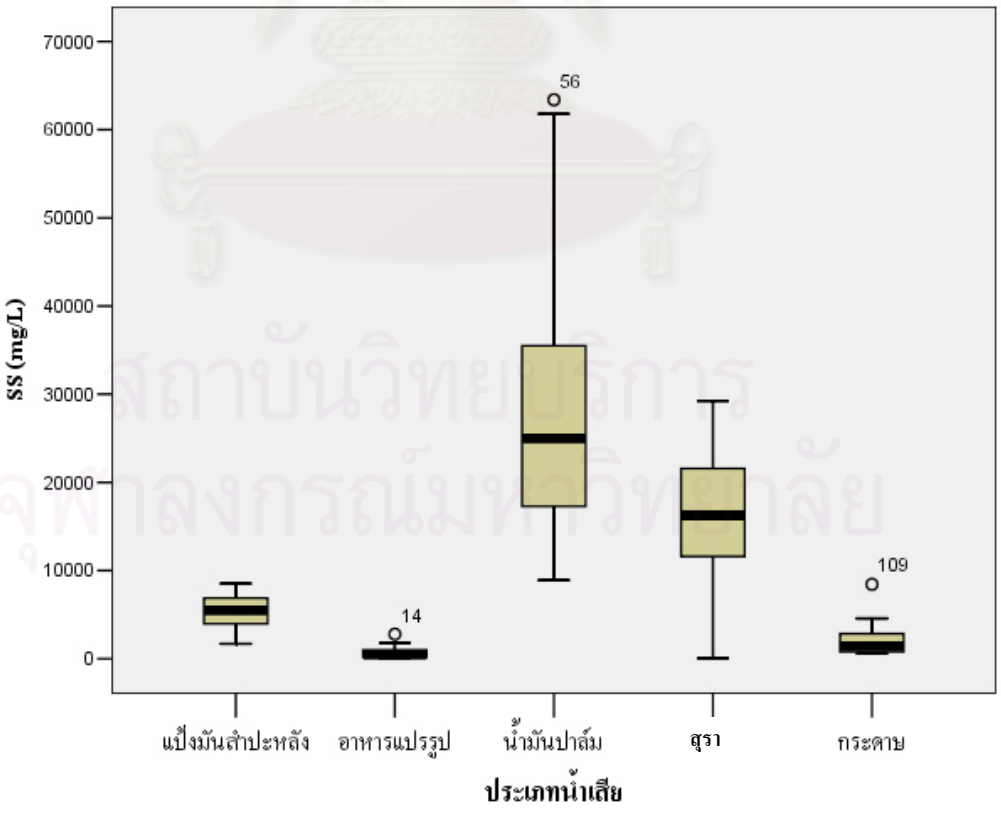
การวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวโน้มของลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร โดยทำการวิเคราะห์น้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรม 6 ประเภทได้แก่ โรงงานแป้งมันสำปะหลังจำนวน 7 โรงงาน โรงงานอุตสาหกรรมสำเร็จรูปจำนวน 15 โรงงาน โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบจำนวน 17 โรงงาน โรงงานกลั่นสุราและเบียร์จำนวน 6 โรงงาน และโรงงานกระดาษจำนวน 9 โรงงาน รูปที่ 4.1 ถึง 4.4 แสดงการกระจายตัวของปริมาณซีโอดี (COD) และของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำเสียตัวอย่างทั้ง 5 ประเภทอุตสาหกรรม และตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะของน้ำเสียในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม



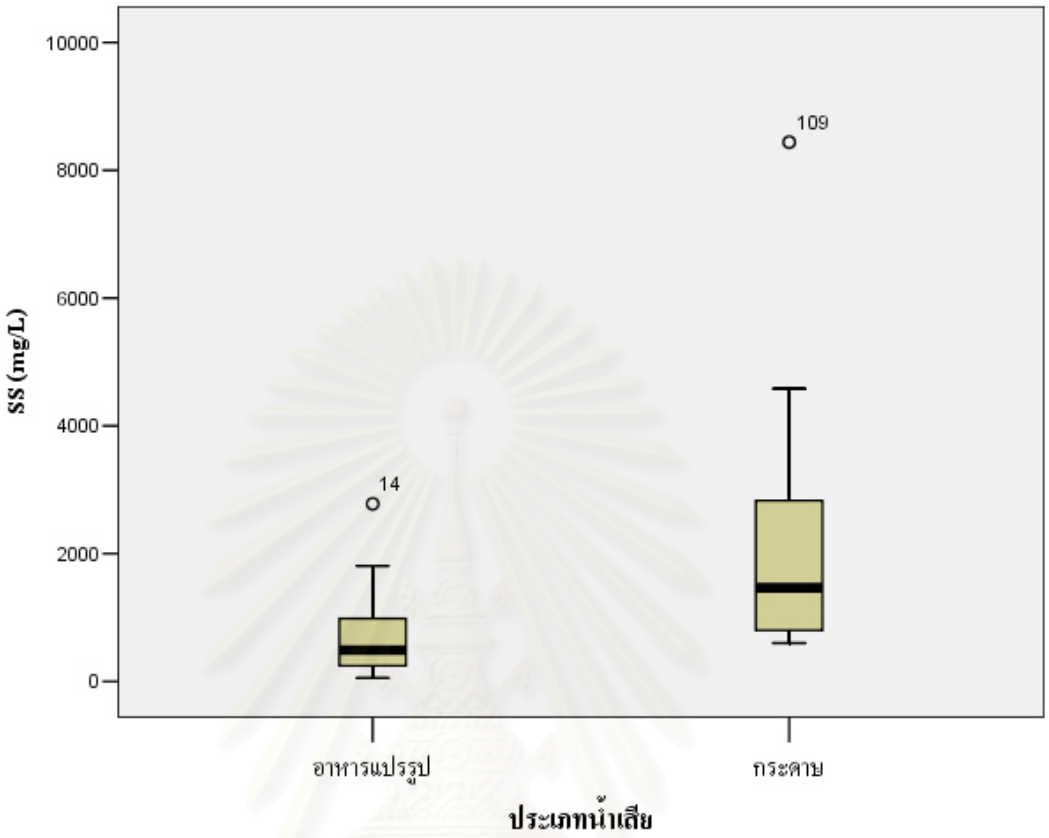
รูปที่ 4.1 แสดงการกระจายตัวปริมาณซีโอดี (COD) จากน้ำเสียอุตสาหกรรมตัวอย่างที่ทำการศึกษา



รูปที่ 4.2 ภาพขยายการกระจายตัวปริมาณซีโอดี (COD) จากน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปและกระดาษ



รูปที่ 4.3 แสดงการกระจายตัวปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) จากน้ำเสียตัวอย่างที่ทำการศึกษา



รูปที่ 4.4 ภาพขยายการกระจายตัวปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) จากน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปและกระดาษ

สำหรับตารางค่าสถิติต่างๆ ของปริมาณค่าซีโอดี (COD) และของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำเสียตัวอย่างจำนวน 55 โรงงานดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ค่าสถิติได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าที่ตำแหน่งของ P_{25} ตำแหน่งของ P_{75} และค่าต่ำสุด ค่าสูงสุดของความเข้มข้นซีโอดีและของแข็งแขวนลอย

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรม 5 ประเภท

ลำดับ	น้ำเสียอุตสาหกรรม		อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี	ซีโอดี	ของแข็งละลาย	ของแข็งแขวนลอย	ทีเคเอ็น	ฟอสฟอรัสทั้งหมด	ซัลไฟด์	ซัลเฟต	น้ำมันและไขมัน
1	แป้งมันสำปะหลัง	ค่าสูงสุด	4,800	5.00	35	4.10	15,185	34,440	12,230	8,520	420	44	*	*	*
		ค่าต่ำสุด	1,500	3.55	30	1.70	3,585	7,550	2,630	1,690	255	13	*	*	*
		ค่าเฉลี่ย	2,815	4.00	32	2.67	11,451	24,230	6,604	5,332	336	33	*	*	*
2	อาหารแปรรูป	ค่าสูงสุด	4,150	12.20	49	6.60	73,125	26,540	18,765	2,780	2,375	345	*	*	1,235
		ค่าต่ำสุด	105	3.28	14	0.49	1,630	1,930	850	52	6	2	*	*	60
		ค่าเฉลี่ย	1,650	5.69	32	2.54	8,197	7,164	4,362	702	261	33	*	*	278
3	น้ำมันปาล์ม	ค่าสูงสุด	1,220	5.10	81	14.81	60,280	110,120	40,145	63,400	1,190	195	*	*	13,800
		ค่าต่ำสุด	157	3.83	50	6.94	28,935	43,390	16,155	8,900	370	86	*	*	1,340
		ค่าเฉลี่ย	442	4.51	67	10.97	43,066	82,897	27,672	29,313	785	128	*	*	6,210
4	สุรา	ค่าสูงสุด	4,000	8.08	92	110.00	60,930	180,070	119,760	29,250	2,920	110	*	*	*
		ค่าต่ำสุด	105	4.15	34	11.6	1,285	18,670	985	60	17	3	*	*	*
		ค่าเฉลี่ย	562	4.96	62	46.18	40,515	122,807	82,651	15,491	1,748	66	*	*	*

- ทุกค่ามีหน่วยเป็น มก./ล. ยกเว้นพีเอชไม่มีหน่วย

* = ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรม 5 ประเภท (ต่อ)

ลำดับ	น้ำเสียอุตสาหกรรม		อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี	ซีโอดี	ของแข็งละลาย	ของแข็งแขวนลอย	ทีเคเอ็น	ฟอสฟอรัสทั้งหมด	ซัลไฟด์	ซัลเฟต	น้ำมันและไขมัน
5	กระดาษ	ค่าสูงสุด	19,500	8.16	42	6.35	2,550	5,600	17,425	8,440	34	9	*	*	*
		ค่าต่ำสุด	3,000	5.33	29	0.58	195	1,590	585	600	17	1	*	*	*
		ค่าเฉลี่ย	8,320	6.77	39	2.65	1,362	3,616	4,271	2,173	27	3	*	*	*

- ทุกค่ามีหน่วยเป็น มก./ล. ยกเว้นพีเอชไม่มีหน่วย

* = ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสถิติของความเข้มข้นซีโอดี (COD) ของโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่าง

ค่าทางสถิติ	น้ำเสียอุตสาหกรรม				
	แป้งมันสำปะหลัง	อาหารแปรรูป	น้ำมันปาล์ม	สุรา	กระดาษ
ค่าเฉลี่ย	24,230	7,164	82,897	122,807	3,616
ค่ามัธยฐาน	26,830	5,190	85,850	132,650	3,380
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8,991	5,461	17,270	55,136	1,118
ตำแหน่งของ P_{25}	19,197.5	3,545	74,340	100,474.5	3,230
ตำแหน่งของ P_{75}	31,635	7,915	96,295	169,200	4,560
จำนวนตัวอย่าง	13	31	36	12	18
ค่าต่ำสุด	7,550	1,930	43,390	18,670	1,590
ค่าสูงสุด	34,440	26,540	110,120	180,070	5,600

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสถิติของความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย (SS) ของโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่าง

ค่าทางสถิติ	น้ำเสียอุตสาหกรรม				
	แป้งมันสำปะหลัง	อาหารแปรรูป	น้ำมันปาล์ม	สุรา	กระดาษ
ค่าเฉลี่ย	5,332	702	29,313	15,491	2,173
ค่ามัธยฐาน	5,500	490	25,000	16,250	1,460
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2,065	615	14,948	8,861	1,914
ตำแหน่งของ P_{25}	3,742.5	246.25	17,275	11,600	800
ตำแหน่งของ P_{75}	5,500	1,017.5	35,500	21,575	2,830
จำนวนตัวอย่าง	13	31	36	12	18
ค่าต่ำสุด	1,690	52	8,900	60	600
ค่าสูงสุด	8,520	2,780	63,400	29,250	8,440

4.2 ศักยภาพของน้ำเสียอุตสาหกรรมในการผลิตก๊าซชีวภาพ

4.2.1 อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

อัตราการไหลของน้ำเสียรวมจำนวน 7 โรงงานที่ได้ทำการสำรวจมีค่าอยู่ระหว่าง 1,500 - 4,800 ลบ.ม.ต่อวัน จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตมีสีขาวขุ่นค่อนข้างเป็นกรดค่าพีเอชประมาณ 4.0 จึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอชให้เป็นกลางก่อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำเสียจากทุกโรงงานมีไม่เพียงพอ เมื่อเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จะเห็นได้จากสัดส่วน COD:N:P น้อยกว่า 100:1.1:0.2 อาจต้องเติมสารอาหารให้แก่น้ำทิ้งเพิ่มเติม สำหรับอุณหภูมิของน้ำเสียอยู่ในช่วง 30 – 35 ^{o}C ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (Mesophillic) จึงไม่ต้องการพลังงานความร้อนเพิ่มในการเดินระบบ และภาระบรรทุกสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 36,000 – 94,000 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งมีปริมาณที่ค่อนข้างสูงจึงเหมาะกับการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน อีกทั้งเป็นน้ำเสียที่ย่อยสลายง่ายทางชีวภาพจะเห็นได้จากสัดส่วนของบีโอดีต่อซีโอดีประมาณ 0.40 – 0.55 จึงมีโอกาสในการเกิดก๊าซมาก

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นว่าปริมาณความเข้มข้นซีโอดี และของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียตัวอย่างของโรงงานแป้งมันสำปะหลังมีการกระจายตัวของข้อมูลเกือบเป็นการกระจายตัวแบบปกติ เนื่องจากค่ามัธยฐานของซีโอดี และของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 26,830 และ 5,500 มก./ล. ตามลำดับ มีค่าน้อยกว่าค่ากึ่งกลางระหว่างค่าที่อยู่ตำแหน่ง P_{25} และ P_{75} เพียงเล็กน้อย ซึ่งปริมาณซีโอดีอยู่ในช่วง 7,550 – 34,440 มก./ล. และของแข็งแขวนลอย 1,690 – 8,520 มก./ล. จากกราฟในรูปที่ 4.1 และ 4.3 ของน้ำเสียตัวอย่างโรงงานผลิตมันสำปะหลังทั้ง 7 โรงงานพบว่า ลักษณะน้ำเสียตัวอย่างโรงงานแป้งมันสำปะหลังมีการกระจายตัวที่เกาะกลุ่มกัน ไม่มีตัวอย่างน้ำเสียที่อยู่นอกเขตการกระจายของข้อมูลส่วนใหญ่

4.2.2 อุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

อุตสาหกรรมอาหารแปรรูปที่ทำการสำรวจได้แก่ โรงงานผลิตนม อาหารกระป๋อง ผลไม้กระป๋อง และน้ำผลไม้ ทำให้อัตราการไหลของน้ำเสียรวมจำนวน 15 โรงงานที่ได้ทำการสำรวจมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และกำลังการผลิตซึ่งอยู่ในช่วง 105 - 4,150 ลบ.ม.ต่อวัน จากตารางที่ 4.1 พบว่าลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมอาหารมีความแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้เช่นกัน น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตส่วนใหญ่ค่อนข้างเป็นกรดค่าพีเอชประมาณ 3.35 – 6.9 ยกเว้นโรงงานผลิตนมที่มีค่าพีเอชค่อนข้างเป็นด่างเท่ากับ 12.17 น้ำเสียโดยรวมของอุตสาหกรรมอาหารยังจำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอชให้เป็นกลางก่อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ มีปริมาณความขุ่นต่ำประกอบด้วยของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 702 มก./ล. แต่

ของแข็งละลายน้ำสูง 3,462 มก./ล. ส่วนปริมาณไขมันและน้ำมันจะแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างอาหารกระป๋องที่มีปริมาณค่อนข้างสูงประมาณ 1,200 มก./ล. กับผลไม้และน้ำผลไม้กระป๋องที่มีปริมาณไขมันและน้ำมันค่อนข้างต่ำ 60 – 120 มก./ล. สำหรับปริมาณสารอาหารที่จำเป็นต่อระบบน้ำเสียของอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่ยังขาดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส แต่ก็มีบางโรงงานที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงคือ อุตสาหกรรมอาหารกระป๋องและนม

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นว่าปริมาณความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียตัวอย่างอยู่ในช่วง 1,930 – 26,540 มก./ล. และของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 52 – 2,780 มก./ล. ในน้ำเสียตัวอย่างของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปมีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบการกระจายตัวแบบไม่ปกติ และเนื่องจากค่ามัธยฐานของซีโอดี และของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 5,190 และ 490 มก./ล.ตามลำดับ มีค่าต่ำกว่าค่ากึ่งกลางระหว่างค่าที่อยู่ตำแหน่ง P_{25} และ P_{75} ซึ่งค่าซีโอดีและของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในช่วงตำแหน่ง P_{25} และ P_{75} คือ 3,545 – 7,915 มก./ล. และ 246 – 1,018 มก./ล.ตามลำดับ จากกราฟในรูปที่ 4.2 และ 4.4 ของน้ำเสียตัวอย่างโรงงานอาหารแปรรูปทั้ง 15 โรงงานพบว่า มีโรงงานผลิตอาหารผลิตน้ำผลไม้และผลไม้กระป๋องที่มีค่าซีโอดีและของแข็งแขวนลอยตกอยู่นอกช่วงการกระจายส่วนใหญ่จำนวน 1 โรงงาน

จากการศึกษาผลงานวิจัยจากต่างประเทศและโรงงานที่มีการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทยพบว่า อุตสาหกรรมอาหารแปรรูปที่มีการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพหรือทำการวิเคราะห์การเกิดก๊าซชีวภาพคือ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตผลไม้และน้ำผลไม้กระป๋อง เนื่องจากมีปริมาณไขมันและน้ำมันต่ำทำให้ไม่จำเป็นต้องทำการกำจัดไขมันและน้ำมันก่อนเข้าระบบ สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตนมมีลักษณะน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกในระดับปานกลางประมาณ 2,000 – 5,000 มก./ล. ส่วนน้ำเสียจากโรงงานผลิตเนยแข็งจะมีความเข้มข้นที่สูงกว่ามากคือ 50,000 – 60,000 มก./ล. แต่น้ำเสียจากการผลิตนมประกอบด้วยไขมันและน้ำมันปนมากับน้ำเสียอยู่ในช่วง 60 – 750 มก./ล. ซึ่งไขมันจากนมถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการกักน้ำเป็นเวลานาน เพื่อให้ไขมันสามารถสัมผัสกับแบคทีเรียได้อย่างทั่วถึง ถ้าในระบบมีปริมาณกรดไขมันชนิดโมเลกุลยาวสะสมอยู่มากจะทำให้เกิดพิษในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Omil และคณะ, 2003) ผลของการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตนมที่มีความเข้มข้นสูงอยู่ในช่วง 2,000 – 30,000 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 55 °C ในถังย่อยไร้อากาศพบว่า คาร์โบไฮเดรตในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายได้ตามปกติไม่ว่าจะน้ำเสียจะมีความเข้มข้นสูงขึ้น แต่การเปลี่ยนรูปของโปรตีนและไขมันจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดโปรตีนและไขมันลดลงตามไปด้วย (Demirel, Yenigun และ Onay, 2005)

4.2.3 อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

อัตราการไหลของน้ำเสียรวมจำนวน 17 โรงงานที่ได้ทำการสำรวจมีค่าอยู่ระหว่าง 157 – 1,220 ลบ.ม.ต่อวันซึ่งมีความแตกต่างกันมากเนื่องจากกำลังการผลิต และขนาดโรงงาน จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตมีสีน้ำตาลขุ่นเข้ม และน้ำเสียค่อนข้างเป็นกรดเช่นเดียวกับน้ำเสียอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง มีค่าพีเอชประมาณ 4.5 ซึ่งจำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอชให้เป็นกลางก่อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อพิจารณาอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีพบว่ามีค่าสูงถึง 0.39 – 0.70 แต่ในน้ำเสียมีน้ำมันปนเปื้อนอยู่สูงเช่นกันมีค่าเท่ากับ 1,340 – 13,800 มก./ล. ซึ่งน้ำเสียจากน้ำมันปาล์มมีปริมาณน้ำมันและไขมันสูงกว่าน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปอยู่มาก ทำให้ยากแก่การย่อยสลายทางชีวภาพจึงต้องมีการกำจัดไขมันและน้ำมันก่อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพราะอาจไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในระบบ ในการนำน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบมาบำบัดด้วยถังย่อยไร้อากาศ (AD) จะเกิดก๊าซชีวภาพประมาณ 28 ลบ.ม.ต่อน้ำเสียหนึ่งตัน มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 65 : 35 (Ma, Toh และ Chua, 1999)

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นว่าน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงรองลงมาจากน้ำเสียอุตสาหกรรมสุรา โดยน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 43,390 – 110,120 มก./ล. และของแข็งแขวนลอย 8,900 – 63,400 มก./ล. ปริมาณความเข้มข้นซีโอดีและของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียตัวอย่างของโรงงานมีการกระจายตัวของข้อมูลเกือบเป็นการกระจายตัวแบบปกติ เนื่องจากค่ามัธยฐานของซีโอดี และของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 85,850 และ 25,000 มก./ล.ตามลำดับ มีค่าซีโอดีที่อยู่กึ่งกลางระหว่างค่าที่อยู่ตำแหน่ง P_{25} และ P_{75} เท่ากับ 85,375 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่าค่ามัธยฐานเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.1 และ 4.3 ของน้ำเสียตัวอย่างโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั้ง 17 โรงงานพบว่า ค่าซีโอดีของกลุ่มตัวอย่างโรงงานมีการกระจายตัวที่เกาะกลุ่มกัน ไม่มีตัวอย่างน้ำเสียที่อยู่นอกเขตการกระจายของข้อมูลส่วนใหญ่ แต่ปริมาณของแข็งแขวนลอยของโรงงานตัวอย่างจำนวน 1 โรงงานมีเท่ากับ 63,400 มก./ล. ซึ่งมีปริมาณสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างอื่นๆ อาจเนื่องมาจากขั้นตอนการทำงานและกำลังการผลิต

4.2.4 อุตสาหกรรมสุรา

อัตราการไหลของน้ำเสียรวมจำนวน 6 โรงงานที่ได้ทำการสำรวจมีค่าอยู่ระหว่าง 105 – 4,000 ลบ.ม.ต่อวัน ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิต จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตมีสีดำเข้มและกลิ่นเหม็น ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานกลั่นสุราและโรงงานผลิตเบียร์มีความแตกต่างกัน ซึ่งน้ำกากส่าจากโรงงานกลั่นสุราค่อนข้างเป็นกรดมีพีเอชประมาณ 4.7 – 6.0 อีกทั้งยังมีความข้นและความสกปรกสูงมากเมื่อเทียบกับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ ที่ทำการศึกษา โดยมีปริมาณ

ของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 60 – 29,250 มก./ล. ของแข็งละลายน้ำได้เท่ากับ 72,527 – 119,720 มก./ล. ค่าซีโอดี 18,670 – 180,070 มก./ล. และค่าบีโอดี 34,500 – 60,930 มก./ล. จากลักษณะน้ำเสียข้างต้นจะเห็นว่า สัดส่วนบีโอดีต่อซีโอดีมีค่าต่ำเพียง 0.26 – 0.47 แสดงว่ามีความสามารถในการถูกย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสียต่ำ อาจส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพต่ำและน้ำเสียค่อนข้างเป็นกรด จึงจำเป็นต้องเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอชก่อนเข้าระบบ แต่ภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ในน้ำเสียค่อนข้างสูง เนื่องจากอัตราการเกิดน้ำเสียในแต่ละวันมีจำนวนมาก ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ต่อวันมีแนวโน้มสูงพอไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตได้

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นว่าน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสุราเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด โดยน้ำเสียจากโรงงานกลั่นสุรามีค่าซีโอดีที่อยู่ระหว่างค่าที่อยู่ตำแหน่ง P_{25} และ P_{75} เท่ากับ 100,474.5 – 169,200 มก./ล. ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ระหว่าง 11,600 – 21,575 มก./ล. จากรูปที่ 4.1 และ 4.3 พบว่า ค่าซีโอดีของน้ำเสียตัวอย่างมีการกระจายข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างคล้ายน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังเกือบเป็นการกระจายตัวแบบปกติ มีค่ามัธยฐานของซีโอดีเท่ากับ 132,650 มก./ล. ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าที่อยู่กึ่งกลางระหว่างค่าที่อยู่ตำแหน่ง P_{25} และ P_{75} เท่ากับ 16,587.5 มก./ล. มีค่าใกล้เคียงค่ามัธยฐานมากซึ่งเท่ากับ 16,250 มก./ล.โดยกลุ่มน้ำเสียตัวอย่างโรงงานกลั่นสุราทั้ง 6 โรงงานพบว่า ลักษณะน้ำเสียตัวอย่างโรงงานมีการกระจายตัวที่เกาะกลุ่มกัน ไม่มีตัวอย่างน้ำเสียที่อยู่นอกเขตการกระจายของข้อมูลส่วนใหญ่

4.2.5 อุตสาหกรรมกระดาษ

อัตราการไหลของน้ำเสียรวมจำนวน 9 โรงงานที่ได้ทำการสำรวจมีค่าอยู่ระหว่าง 3,000 – 19,500 ลบ.ม.ต่อวัน ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตมีเยื่อกระดาษปนมากับน้ำเสียด้วย ทำให้ปริมาณความขุ่นค่อนข้างสูงมีปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 600 – 8,440 มก./ล.จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำเสียมีค่าพีเอชค่อนข้างเป็นกลางประมาณ 6.1 – 7.7 ค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 1,590 – 5,600 มก./ล. และค่าบีโอดี 195 – 2,550 มก./ล.

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นว่าน้ำเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุด โดยน้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษมีปริมาณความเข้มข้นซีโอดีและของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียตัวอย่างของโรงงานมีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นการกระจายตัวแบบไม่ปกติ เนื่องจากค่ามัธยฐานของซีโอดี และของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 3,386.67 และ 1,460 มก./ล. ตามลำดับ มีค่าซีโอดี และของแข็งแขวนลอยที่อยู่กึ่งกลางระหว่างค่าที่อยู่ตำแหน่ง P_{25} และ P_{75} เท่ากับ 3,895 และ 1,815 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่าค่ามัธยฐาน และเมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.2 และ 4.4 ของน้ำเสียตัวอย่างโรงงานทั้ง 9 โรงงานพบว่า ค่าซีโอดีของกลุ่มตัวอย่างโรงงานมีการกระจายตัวที่เกาะกลุ่มกัน ไม่มีตัวอย่างน้ำเสียที่อยู่นอกเขตการกระจายของข้อมูลส่วนใหญ่ แต่ปริมาณ

ของแข็งแขวนลอยของโรงงานตัวอย่างจำนวน 1 โรงงานมีเท่ากับ 8,440 มก./ล. ซึ่งมีปริมาณสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างมากจนอยู่นอกเขตการกระจายตัวขอน้ำเสียตัวอย่างจากโรงงานอื่นๆ

อย่างไรก็ตามจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษเป็นน้ำเสียที่มีความสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ยาก และมีความเป็นพิษสูง ประกอบด้วยสารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Archea) หลากหลายชนิด เช่น น้ำยาฟอกขาวมีส่วนผสมของสารประกอบคลอรีนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) น้ำยาดำ เรซิ่น และแทนนิน เป็นต้น ปัจจุบันจึงนิยมใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนมากกว่าในการบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วยลิกนินและสารเคมีต่างๆ ควบคู่กับระบบแบบน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการฟอกเยื่อกระดาษและผลิตกระดาษ โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียจากน้ำยาดำที่เจือจางแล้ว (Buzzini และ Pires, 2007) Pokhrel และ Viraraghavan (2004) ทำการทบทวนและรวบรวมวิธีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษสรุปได้ว่า ทั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนสามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษได้ ยกเว้นน้ำเสียที่มาจากขั้นตอนการฟอกเยื่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนจะมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากน้ำเสียจากกระบวนการนี้มีความเป็นพิษสูงมากซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารพิษที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจน

4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรมกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรมกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยต้นไม้ตัดสินใจ เพื่อคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร โดยได้ทำการศึกษาทบทวนข้อมูลจากหนังสือและงานวิจัยต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการแบ่งกลุ่มระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน รวมถึงพารามิเตอร์ของลักษณะน้ำเสียและเงื่อนไขการเดินระบบที่เป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานของระบบ ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ และอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ลำดับ	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน	น้ำเสียอุตสาหกรรม	ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบ								การเดินระบบ			ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซ				ลักษณะน้ำเสียออกจากระบบ				รายการอ้างอิง
			pH	COD	TSS	SS	TS	FOG	TKN	TN	HRT (วัน)	OLR	Temp (°C)		ก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ลบ.ม.-วัน)	ร้อยละของก๊าซมีเทน	ก๊าซมีเทน (ลบ.ม./ลบ.ม.-วัน)	ก๊าซมีเทน (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	COD	SS	TSS	TS	
1	AF (ควบคุมพีเอช)	แป้งมันสำปะหลัง	6.7 - 7.2	1,275-8,740		1,700-3,920	3,560-6,800				1	0.6 - 4.0	26 - 30	93 - 97	0.26-2.08	66-72	0.19-1.37	0.36	97-660	22-95			สุรพล สายพานิช (2518)
	AF (ไม่ควบคุมพีเอช)	แป้งมันสำปะหลัง	3.9 - 5.2	7,160		1,700-3,920	3,560-6,800				2.33	1.4	26 - 30	95	0.77	63	0.5	0.35	422	145			
2	AF	แป้งมันสำปะหลัง	5.5	4,030-5,100		1280	3670				0.4	11.87	20-25	87	3.7	69-81	2.59	0.36					Colin และคณะ (2007)
3	2 stage-AD - ไม่ควบคุม pH	น้ำนมที่เหลือจากการผลิตเนยแข็ง (cheese whey)	4.5	72,220			65,930		11,450														Ghaly (1996)
				71,860							10		25	28	0.18	20.2	0.036	0.01	51,820			58,410	
				65,960							20		25	29	0.13	20.2	0.026	0.015	47,010			56,810	
	- ควบคุม pH			71,860							10		25	36	0.54	70.8	0.383	0.08	45,870			37,110	
				65,960							20		25	46	0.39	70.9	0.277	0.11	35,350			36,010	
	- ไม่ควบคุม pH			64,880							10		35	20	0.38	20.1	0.077	0.02	51,640			54,440	
				60,960							20		35	24	0.27	20.2	0.055	0.03	46,210			52,990	
	- ควบคุม pH			64,880							10		35	34	1.01	70.8	0.716	0.15	42,620			34,910	
			5.9-6	60,960							20		35	46	0.81	70.9	0.574	0.24	33,020			33,610	
		กากนม (Dairy manure)	7	74,800			65,870		4,460														
											10		25	16	0.85	60	0.51	0.10	63,010			34,390	
											20		25	21	0.68	59.9	0.408	0.15	59,440			30,020	
											10		35	19	1.22	60	0.732	0.13	60,440			32,210	
											20		35	24	0.92	60	0.552	0.20	56,620			27,770	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ต่อ)

ลำดับ	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน	น้ำเสียอุตสาหกรรม	ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบ								การเดินระบบ			ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซ				ลักษณะน้ำเสียออกจากระบบ				รายการอ้างอิง
			pH	COD	TSS	SS	TS	FOG	TKN	TN	HRT (วัน)	OLR	Temp (°C)		ก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ลบ.ม.-วัน)	ร้อยละของก๊าซมีเทน	ก๊าซมีเทน (ลบ.ม./ลบ.ม.-วัน)	ก๊าซมีเทน (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	COD	SS	TSS	TS	
4	AF	น้ำนมจากห้องปฏิบัติการ	7.98	8,671				1,800			1.85	4.7	37	90.9	3.79	68	2.58	0.55	2,225				Omil และคณะ (2003)
5	AF (Full scale)	ไอศครีม		4,934		1120		610		350	7.5	9	-	70	-	70	-	0.308					Monroy และคณะ (1994)
6	UASB	ผลิตเนยแข็ง																					Rico, Garcia และ Fdz-Polanco (1991)
	- เติมด่าง		7.3	1,700							0.36	4.9	35	97	0.68	80-88	0.54	0.33	50				
	- เติมด่าง		7.2	2,300							0.22	10	35	96	0.80	80-88	0.64	0.29	90				
	- ไม่เติมด่าง		7.3	2,340							0.5	4.6	35	97	0.94	80-88	0.75	0.33	65				
7	บ่อหมักไม่ใช้อากาศ	น้ำมันปาล์ม	4	51,967-62,685							40	-	25	98	0.39	54.4	0.212	0.36	1,204				Yacob และคณะ (2006)
8	AF	น้ำมันปาล์ม	3.5-4.5	1,200-20,000							3.5	10	35	90	0.77	50-75	0.46	0.363	1,000				Boja และ Banks (1995)
	AFB	น้ำมันปาล์ม	3.5-4.5	1,200-20,000							0.25	10	35	90	4.10	50-80	2.46	0.361	800				
	AFB	น้ำมันปาล์ม	3.5-4.5								0.25	40	35	78	-	50-80	-	-	3,000				
9	HABR	Molasses alcohol stillage	6.69	115,771**	33		133		56		11.28	10.26	37	76	2	75.5	1.51	0.19	28,943				Bootpathy และ Tilche (1991)
	HABR	Raw concentrated molasses	6.95	990,000**	353		805		39,700		49.5	20	37	70	4	75	3	0.19	227,700				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ต่อ)

ลำดับ	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน	น้ำเสียอุตสาหกรรม	ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบ								การเดินระบบ			ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซ				ลักษณะน้ำเสียออกจากระบบ				รายการอ้างอิง
			pH	COD	TSS	SS	TS	FOG	TKN	TN	HRT (วัน)	OLR	Temp (°C)		ก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ลบ.ม.-วัน)	ร้อยละของก๊าซมีเทน	ก๊าซมีเทน (ลบ.ม./ลบ.ม.-วัน)	ก๊าซมีเทน (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	COD	SS	TSS	TS	
10	2-stage AF	ไวน์	6.5	8,000-16,000		1,000					0.83-1.58	4.6-11	37	88-98									Moletta (2005)
11	UAFF (เติมกรด)	ไวน์	3.7-7.0	15,500							5.69	1.67	55	85.91	0.72	57.5	0.46	0.32			370		Perez-Gercia และคณะ (2005)
	UAFF (เติมด่าง)	ไวน์	7	15,500							4.04	3.17	55	87.53	1.45	75	0.83	0.30			350		
	UAFF (ควบคุม pH)	ไวน์	7	15,500							0.66	14.35	55	49.65	-	-	-	-			750		
	UAFF	ไวน์	7	15,500							2.5	6.29	55	75.55	2.39	65	1.45	0.31			138		
	FB	ไวน์	7	15,500							0.59	25.26	55	92.47	13.34	71	7.8	0.33			290		
12	AF	กระดาษ	7.0-7.6	1,972-3,536	916-3,100	205				3.7-4.8	0.25	11.38	35	77	2.66	60-70	1.73	0.274					Yuilmaz, Yuceer และ Basibuyuk (2008)
	AF	กระดาษ	7.0-7.6	1,972-3,536	916-3,100	206				3.7-4.8	0.25	12.25	55	80	2.84	60-70	1.85	0.291					
13	UASB	เยื่อและกระดาษ																					Buzzini และ Pires (2007)
	- ไม่มีการเวียนน้ำเข้าระบบ		6.8-7.2	1400						24	1.5	0.93	30	82	1.49	59	0.94	0.225	268				
	- มีการเวียนน้ำเข้าระบบ		6.8-7.2	1410						24	1	1.4	30	78	1.54	59	0.97	0.239	307				

- ทุกค่ามีหน่วยเป็น มก./ล. ยกเว้นพีเอช
- ** = เป็นค่าซีโอดีละลาย (มก./ล.) ซึ่งทำการเจือจาง 12 เท่า ดังนั้น Raw concentrated molasses จะมีความเข้มข้นซีโอดีละลายเท่ากับ 82,500 มก./ล.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.1 ขั้นตอนการสร้างแผนภาพแนวทางการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees)

ในขั้นตอนการสร้างแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ (Decision trees) เพื่อใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร จะต้องทำการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาแต่ละคุณลักษณะของต้นไม้ตัดสินใจ ซึ่งประกอบด้วย 2 คุณลักษณะคือ คุณลักษณะแบ่งพวก และคุณลักษณะไม่แบ่งพวก

สำหรับคุณลักษณะแบ่งพวกในแผนภาพตัดสินใจด้วยต้นไม้ตัดสินใจของงานวิจัย จากการศึกษาทบทวนในบทที่ 2 จะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

- ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process)
- ระบบผสม (Hybrid) หรือระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process)
- ระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process)

ส่วนคุณลักษณะไม่แบ่งพวกในแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ (Decision trees) ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่บอกถึงลักษณะต่างๆ ของน้ำเสียได้อย่างครอบคลุม และความสามารถในการทำงานของแต่ละระบบ จากการศึกษาและทบทวนปัจจัยในการพิจารณาลักษณะสมบัติของน้ำเสีย และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการทำงานระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในบทที่ 2 จะได้พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นคุณลักษณะไม่แบ่งพวกมีรายละเอียดดังนี้

1) <u>ของแข็งแขวนลอย (SS)</u> เป็นตัวแปรแรกที่ใช้ในการคัดเลือกระบบในแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ (Decision trees) เนื่องจากปริมาณของแข็งแขวนลอยสามารถจัดกลุ่มระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นได้ อีกทั้งปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียยังเป็นตัวแปรหนึ่งที่ถูกใช้ในการประเมินความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียได้ ทำให้สามารถประเมินแนวโน้มในการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียชนิดนั้นด้วย จากการศึกษารวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีและการทดลองจากเอกสารงานวิจัยต่างๆ ในบทที่ 2 และตารางที่ 4.4 สามารถสรุปได้ว่า

- ถ้ามีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสูงกว่า 6,000 มก./ล. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) จะมีความเหมาะสมมากกว่าระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) และระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process)

- ส่วนเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาแบ่งกลุ่มระหว่างระบบผสม (Hybrid) หรือระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) และระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) ด้วยปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย ซึ่งตามทฤษฎีแล้วระบบบำบัดทั้ง 2 กลุ่มนี้ไม่เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยสูง เนื่องจากอาจส่งผลให้แบคทีเรียภายในระบบชั้นสลัดจ์ไม่สามารถจับตัวเป็นเม็ดได้ ส่วนระบบมีตัวกลางยึดเกาะของแข็งในน้ำเสียอาจทำให้ตัวกลางภายในระบบเกิดการอุดตัน อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาและรวบรวมผลการทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศ (AF) สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 1,700 – 3,920 มก./ล. พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเกือบร้อยละ 90 ดังนั้นปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ใช้พิจารณาแบ่งกลุ่มระบบบำบัดแบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) ที่ค่าของแข็งแขวนลอยไม่เกิน 4,000 มก./ล. ส่วนระบบผสม (Hybrid) หรือระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) สามารถรับน้ำเสียที่มีค่าของแข็งแขวนลอยไม่เกิน 6,000 มก./ล.

2) <u>ความเข้มข้นซีโอดี (COD)</u> ในน้ำเสีย จะใช้เป็นตัวแปรต่อไปในการพิจารณาแบ่งกลุ่มระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ชัดเจนยิ่งขึ้น และความคุ้มทุนในการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 1,500 มก./ล. ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอาจมีปริมาณไม่มากพอที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในกระบวนการผลิต สำหรับเกณฑ์ของค่าซีโอดีที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มของระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 กลุ่ม จากการศึกษารวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีและการทดลองจากเอกสารงานวิจัยต่างๆ ในบทที่ 2 และตารางที่ 4.4 สามารถสรุปได้ดังนี้

- ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) เป็นเหมาะสมกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูงปริมาณซีโอดีในน้ำเสียไม่ควรน้อยกว่า 8,000 มก./ล. เนื่องจากกระบวนการลักษณะนี้ต้องการเวลาในการกักเก็บน้ำเป็นระยะเวลานาน ถ้าน้ำเสียที่เข้าระบบมีความเข้มข้นต่ำทำให้ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อปริมาตรถังปฏิกรณ์ต่ำไปด้วย ทำให้ขนาดถังปฏิกรณ์มีขนาดใหญ่มากและราคาแพง สำหรับถังปฏิกรณ์แบบถังกวนสมบูรณ์ (CSTR) ความเข้มข้นของน้ำเสียอยู่ในช่วง 8,000 – 50,000 มก./ล. และถังหมักไร้อากาศแบบสัมผัส (Anaerobic Contact reactor) สามารถรับค่าซีโอดีได้มากกว่าถังกวนสมบูรณ์ (CSTR) แต่ไม่เกิน 180,000 มก./ล.

- ระบบผสม (Hybrid) หรือระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) และระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) ทั้งสองระบบสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณซีโอดีสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาพบว่า ระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic

Attached Growth Process) สามารถรับปริมาณซีโอดีสูงสุดประมาณ 60,000 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 98.3 และระบบผสม (Hybrid) หรือระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) สามารถรับปริมาณซีโอดีสูงสุดไม่เกิน 115,000 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 76

3) น้ำมันและไขมันในน้ำเสีย (FOG) โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนไม่สามารถรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของน้ำมันและไขมันที่สูงได้ เนื่องจากปริมาณน้ำมันและไขมันที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดพิษและยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ดังนั้นน้ำเสียที่ถูกนำมาบำบัดด้วยระบบไม่ใช้ออกซิเจนจำเป็นต้องมีการกำจัดน้ำมันและไขมันออกก่อน อย่างไรก็ตามระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช่ออกซิเจนบางกลุ่มสามารถรับน้ำเสียที่มีปริมาณน้ำมันและไขมันได้บ้าง สำหรับเกณฑ์ของค่าซีโอดีที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มของระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 กลุ่ม จากการศึกษารวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของน้ำมันและไขมันของระบบบำบัดน้ำเสียพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) และระบบผสม (Hybrid) แบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon) สามารถรับน้ำเสียที่มีปริมาณน้ำมันและไขมันได้สูงกว่าระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) และระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) แต่ไม่มีการระบุความเข้มข้นที่สามารถรับได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ตั้งเกณฑ์ปริมาณน้ำมันและไขมันในการจัดกลุ่มระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 กลุ่ม จากการรวบรวมข้อมูลการทดลองจากเอกสารงานวิจัยต่างๆ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มดังนี้

- ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันต่ำ ได้แก่ ระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) และระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) ซึ่งน้ำเสียมีความเข้มข้นน้ำมันและไขมันไม่เกิน 1,000 มก./ล. (Leal และคณะ (2006), Caixeta, Cammarota และ Xavier (2002) และ Omil และคณะ (2003))

- ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันสูง ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) และระบบผสม (Hybrid) แบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon)

4) <u>อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR)</u> เป็นตัวแปรที่ใช้พิจารณาในด้านการทำงานของถังปฏิกรณ์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนแต่ละประเภท ซึ่งอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์นี้จะช่วยการคัดเลือกถังปฏิกรณ์ที่มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียตามความสามารถในการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของน้ำเสีย รวมถึงเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย เพราะอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะเป็นตัวกำหนดขนาดของถังปฏิกรณ์ที่ได้ทำให้มีเรื่องความต้องการใช้พื้นที่ในการก่อสร้างและราคาค่าก่อสร้างเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแต่ละประเภท ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแต่ละประเภทที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

แหล่งข้อมูล	**ประเภทถังปฏิกรณ์**	**อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก./ลบ.ม.-วัน)**	**ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี**
Lettinga และคณะ (1983)	UASB	20	78.5 – 80
	AF	7 – 8	64 – 75
ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ บริษัท แซน.อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด (2546)	Anaerobic Contact reactor	1 – 6	80 – 95
	Upflow filter	1 – 10	80 – 95
	Downflow filter	5 – 15	75 – 88
	UASB	5 – 20	75 – 85
	Covered lagoon	0.5 – 1.0	50 – 85
Metcalf & Eddy (2004)	CSTR	1 – 5	-
	Anaerobic Contact reactor	1 – 8	-
	UASB	12 – 20	90 – 95
Barber และ Stuckey (1999)	ABR	2.7 – 17.62	55 – 99
Boopathy และ Tilche (1991)	ABR	20	70
Colleran และคณะ (1992)	AF	4 – 9	-
Speece (1996)	UASB	10	> 95
Wesley (2000)	Anaerobic Contact reactor	2.5	90

จากการพิจารณาผลการศึกษาอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนทั้ง 3 กลุ่มที่ทำการศึกษา จะได้เกณฑ์ที่ใช้พิจารณาอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของแต่ละระบบดังแสดงในตารางที่ 4.6

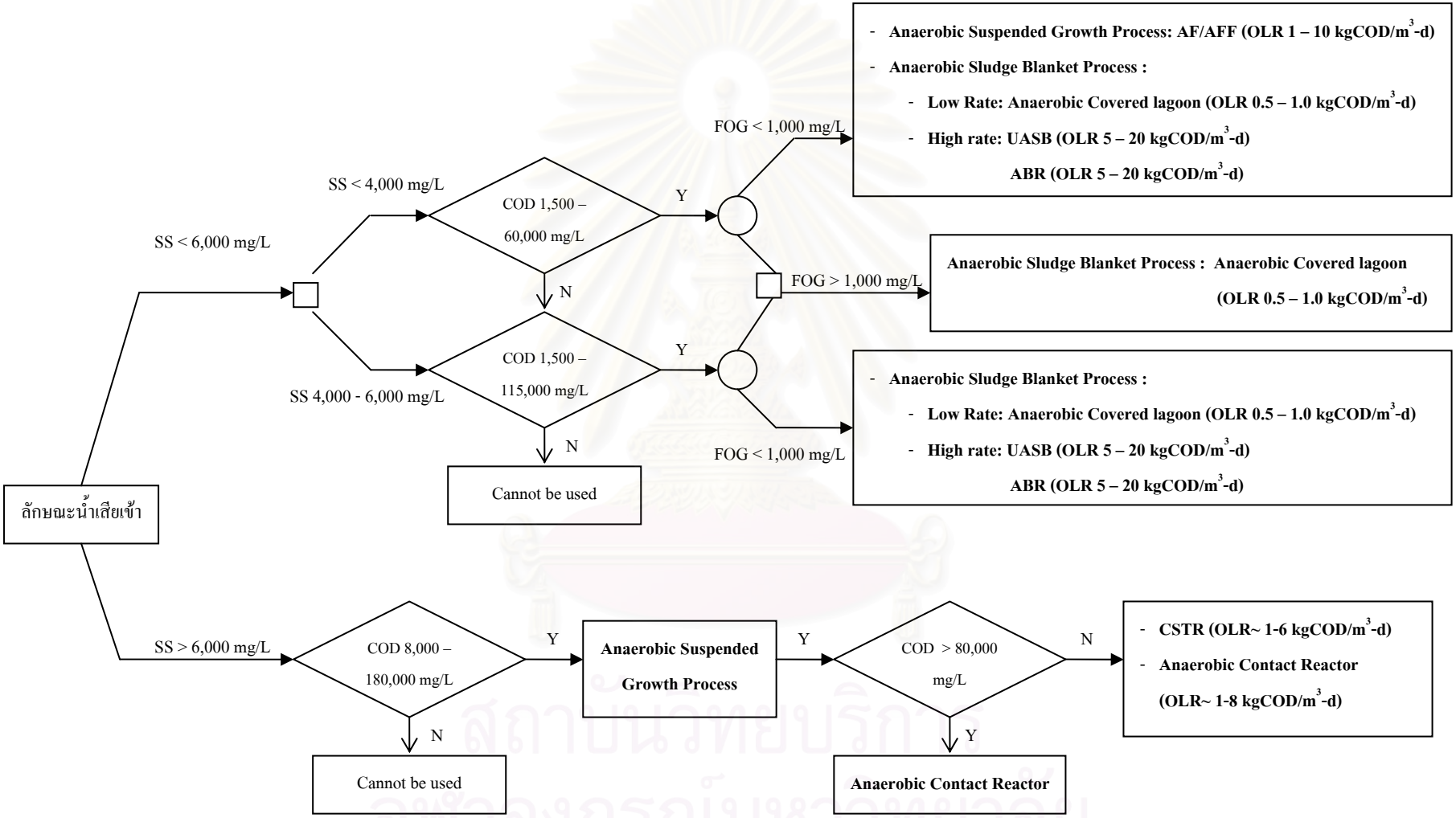
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์แต่ละระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ระบบบำบัดน้ำเสีย	**อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก./ลบ.ม.-วัน)**
ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process)	
Anaerobic Contact reactor	1 – 8
CSTR	1 – 5
ระบบผสม (Hybrid) หรือ ระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process)	
Anaerobic covered lagoon	0.5 – 1.0
UASB	5 – 20
ABR	2 – 20
ระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process)	
AF/AFF	1 – 10

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่านมาได้ใช้พารามิเตอร์หลักทั้ง 4 ตัวแปรคือ ปริมาณความเข้มข้นของซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอย (SS) ปริมาณน้ำมันไขมัน (FOG) และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ แต่ใช้ในการพิจารณาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนระหว่างการบำบัดแบบอัตราสูงและอัตราต่ำ ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไวน์และกลั่นสุรา (Moletta, 2005)

4.3.2 แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจแนวทางการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees)

แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจสร้างมาจากข้อมูลที่ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยต่างๆ จะมีข้อมูลเข้าเป็นลักษณะน้ำเสียจากโรงงานตัวอย่างที่ยังไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ จะถูกนำพิจารณาจัดกลุ่มระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย แล้วนำเกณฑ์ในหัวข้อ 4.3.1 สร้างเป็นต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และสร้างโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซลตามตรรกศาสตร์ที่ได้จากต้นไม้ตัดสินใจตามวิธีการใช้ต้นไม้ตัดสินใจในหัวข้อที่ 4.3.3 และ 4.3.4



รูปที่ 4.5 แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจการจัดกลุ่มการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็น 3 กลุ่ม

4.3.3 วิธีการใช้ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees)

การใช้แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees) ในการเลือกกลุ่มระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นในด้านเทคนิคที่มีความเหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียที่นำมาพิจารณามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ได้ โดยพารามิเตอร์แรกที่นำมาพิจารณาทางเลือกคือ ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย (SS) ซึ่งในแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจได้แบ่งกลุ่มของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียออกเป็น 2 ทางเลือกคือ

- ทางเลือกที่ 1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) มีปริมาณน้อยกว่า 6,000 มก./ล. จะถูกแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกมีปริมาณน้อยกว่า 4,000 มก./ล. และช่วงที่สองมีปริมาณอยู่ในช่วง 4,000 - 6,000 มก./ล.
- ทางเลือกที่ 2 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) สูง มีปริมาณมากกว่า 6,000 มก./ล.

เมื่อน้ำเสียตัวอย่างผ่านการพิจารณาปริมาณของแข็งแขวนลอยแล้ว จะถูกนำมาพิจารณาความเข้มข้นซีโอดีต่อไป

2) ความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสียเป็นพารามิเตอร์ต่อมาที่จะพิจารณาว่าน้ำเสียตัวอย่างนี้สามารถมาใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียในทางเลือกที่ผู้ตัดสินใจได้เลือกมาหรือไม่ ซึ่งความเข้มข้นของน้ำเสียจะแบ่งเป็นช่วงของค่าซีโอดีที่ระบบบำบัดน้ำเสียในแต่ละกลุ่มมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ดีดังนี้

- ทางเลือกที่ 1 จะมีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 1,500 – 60,000 มก./ล.
- ทางเลือกที่ 2 จะมีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 1,500 – 115,000 มก./ล.
- ทางเลือกที่ 3 จะมีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 8,000 – 180,000 มก./ล.

ในกรณีการตัดสินใจในพารามิเตอร์แรกผู้ตัดสินใจได้เลือกทางเลือกที่ 1 คือน้ำเสียมีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อยกว่า 4,000 มก./ล. แต่ปริมาณซีโอดีมีค่ามากกว่า 60,000 มก./ล. แสดงว่าทางเลือกที่ 1 อาจไม่เหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียตัวอย่างที่นำมาพิจารณา ซึ่งน้ำเสียตัวอย่างนั้นจะตกมายังทางเลือกที่ 2 แทน เนื่องจากทางเลือกที่ 1 และ 2 สามารถพิจารณาเชื่อมต่อกันได้ ส่วนในกรณีที่น้ำเสียตัวอย่างมีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากกว่า 6,000 มก./ล. ผู้ตัดสินใจได้เลือกทางเลือกที่ 3 แต่ปริมาณซีโอดีมีค่าต่ำกว่า 8,000 มก./ล. ทำให้ทางเลือกที่ 3 ก็ไม่เหมาะสมกับน้ำเสียตัวอย่างนี้ ซึ่งกรณีนี้ผู้ตัดสินใจต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ควบคู่ด้วย ซึ่งมีวิธีการแก้ไขปัญหานี้อาทิเช่น การกำจัดของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบทำให้สามารถบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียในกลุ่มระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) ระบบผสม (Hybrid) หรือระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) แทน และการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของน้ำเสียก่อนเข้าระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) เป็นต้น ถ้าพิจารณาในทางเศรษฐศาสตร์และการดำเนินการแล้วคุ้มทุน

3) เมื่อผ่านการพิจารณาของแข็งแขวนลอย (SS) และความเข้มข้นน้ำเสียแล้ว พารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาตัวต่อไปคือ น้ำมันและไขมันในน้ำเสีย ซึ่งจะเป็นโหนดสุดท้ายที่จะแสดงผลลัพธ์ในการตัดสินใจของแต่ละทางเลือก โดยปริมาณน้ำมันและไขมันในแต่ละทางเลือกจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ น้ำเสียที่มีปริมาณน้ำมันและไขมันสูง และน้ำเสียที่มีปริมาณน้ำมันและไขมันต่ำ (ปริมาณน้ำมันและไขมันไม่เกิน 1,000 มก./ล.)

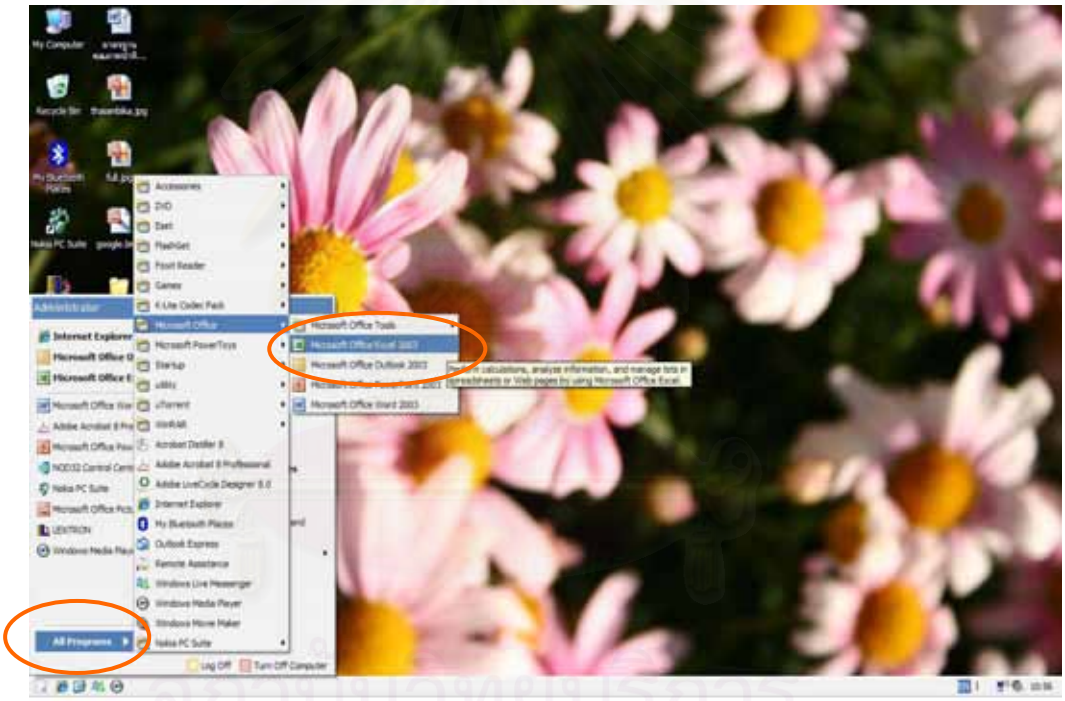
ในกรณีที่ผู้ตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ 1 คือน้ำเสียมีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำกว่า 4,000 มก./ล. ความเข้มข้นน้ำเสียอยู่ในช่วง 1,500 – 60,000 มก./ล. ถ้าปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำเสียมีปริมาณน้อยกว่า 1,000 มก./ล. ผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้คือ สามารถเลือกใช้ได้ทั้ง 2 ระบบได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียในกลุ่มระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) และระบบผสม (Hybrid) หรือระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) แต่ถ้าน้ำเสียมีปริมาณน้ำมันและไขมันสูงกว่า 1,000 มก./ล. สามารถใช้ถังปฏิกรณ์แบบบ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon) สำหรับอีกทางเลือกหนึ่ง ถ้าปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่เกิน 6,000 มก./ล. และความเข้มข้นน้ำเสียอยู่ในช่วง 1,500 – 115,000 มก./ล. ผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้คือ ระบบผสม (Hybrid) หรือระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) ซึ่งระบบบำบัดประเภทนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณน้ำมันและไขมันได้ขึ้นอยู่กับลักษณะถังปฏิกรณ์ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ น้ำเสียที่มีปริมาณน้ำมันและไขมันต่ำกว่า 1,000 มก./ล. จะเป็นระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) แบบอัตราสูงได้แก่ ระบบยูเอเอสบี (UASB) และถังไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (ABR) แต่ถ้าน้ำเสียที่มีปริมาณน้ำมันและไขมันทั้งสูงและต่ำสามารถใช้ถังปฏิกรณ์แบบบ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon) ได้ทั้งสองกรณี ส่วนกรณีที่เลือกทางเลือกที่ 2 ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) เป็นระบบที่สามารถบำบัดน้ำเสียที่สามารถรองรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของน้ำมันและไขมันได้

4) ในกรณีที่ผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จากแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจออกมาได้ทั้ง 2 กลุ่มคือ กลุ่มระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) และระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) หรือระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) ยังต้องนำไปพิจารณาเพื่อเลือกชนิดถังปฏิกรณ์ที่เหมาะสมกับพื้นที่ต้องการใช้ก่อสร้างระบบ ซึ่งการพิจารณาอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ของแต่ละระบบสามารถใช้ตัดสินใจได้ในเบื้องต้น ส่วนการคัดเลือกถังปฏิกรณ์ในกลุ่มระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) จะทำคัดเลือกประเภทถังปฏิกรณ์ด้วยความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสียอีกครั้ง เนื่องจากถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (CSTR) มีข้อจำกัดในเรื่องประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ทำให้ความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสมมีค่าซีโอดีไม่ควรสูงกว่า 80,000 มก./ล.

4.3.4 การใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซล (Microsoft Excel) ช่วยในการคัดเลือกระบบด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees)

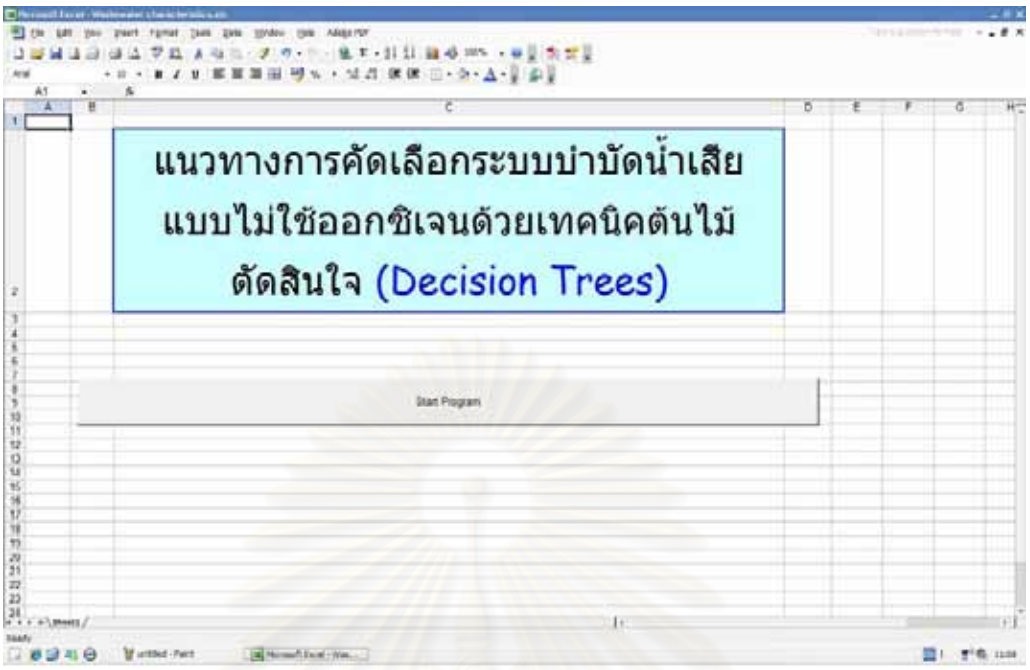
โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซล (Microsoft Excel) เป็นหนึ่งในชุดโปรแกรมไมโครซอฟท์ออฟฟิศ (Microsoft Office) ซึ่งโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลมีคุณสมบัติเด่นได้แก่ ความสามารถจัดการข้อมูลเกี่ยวกับตารางข้อมูลได้ การจัดรูปแบบข้อมูล แผนภูมิรูปภาพต่างๆ และใช้สูตรฟังก์ชั่นต่างๆ ในการคำนวณได้ โดยวิธีการใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซลช่วยในการคัดเลือกระบบด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) กดที่ปุ่ม “Start” ที่มุมล่างซ้ายของจอภาพ และเลือกหัวข้อ “All Program” ⟶ “Microsoft Office” ⟶ “Microsoft Office Excel 2003” ดังแสดงในรูปที่ 4.6



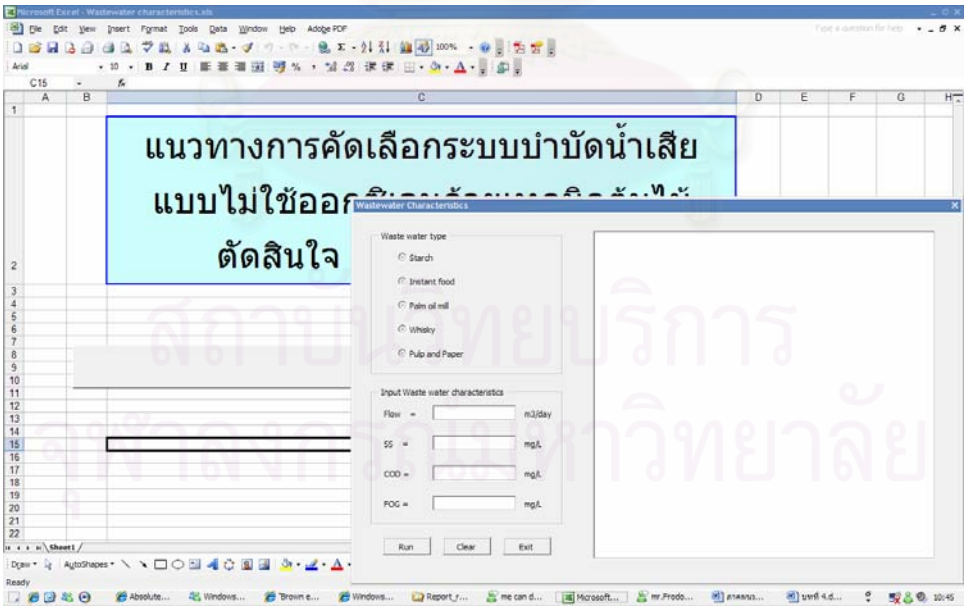
รูปที่ 4.6 วิธีการเปิดโปรแกรม Microsoft Office Excel

2) เมื่อเข้าโปรแกรม Microsoft Office Excel และเลือกไฟล์แล้ว หน้าจอจะปรากฏดังแสดงในรูปที่ 4.7 แสดงว่าโปรแกรมพร้อมใช้งาน



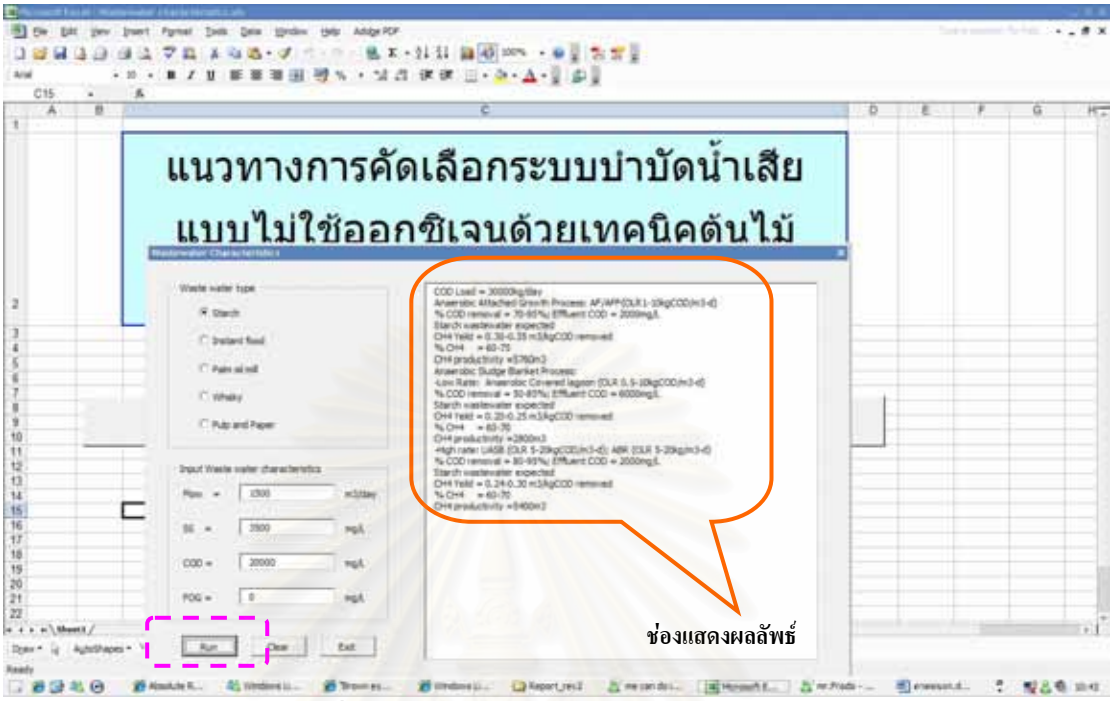
รูปที่ 4.7 แสดงหน้าจอภาพโปรแกรมพร้อมใช้งาน

3) เมื่อคลิก “Start Program” หน้าจอจะแสดงหน้าต่างใหม่ดังรูปที่ 4.8 และให้เติมค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ ประเภทน้ำเสียอุตสาหกรรม (Wastewater type) อัตราการเกิดน้ำเสีย (Flow) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ค่าซีโอดี (COD) น้ำมันและไขมัน (FOG)



รูปที่ 4.8 แสดงหน้าต่างให้กรอกข้อมูล

4) เมื่อเติมค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียตัวอย่างที่ต้องการทำการศึกษาตามพารามิเตอร์ที่กำหนดแล้วคลิก “Run” ผลลัพธ์ที่ได้คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมจะแสดงในช่องทางด้านขวามือ ดังแสดงในรูปที่ 4.9



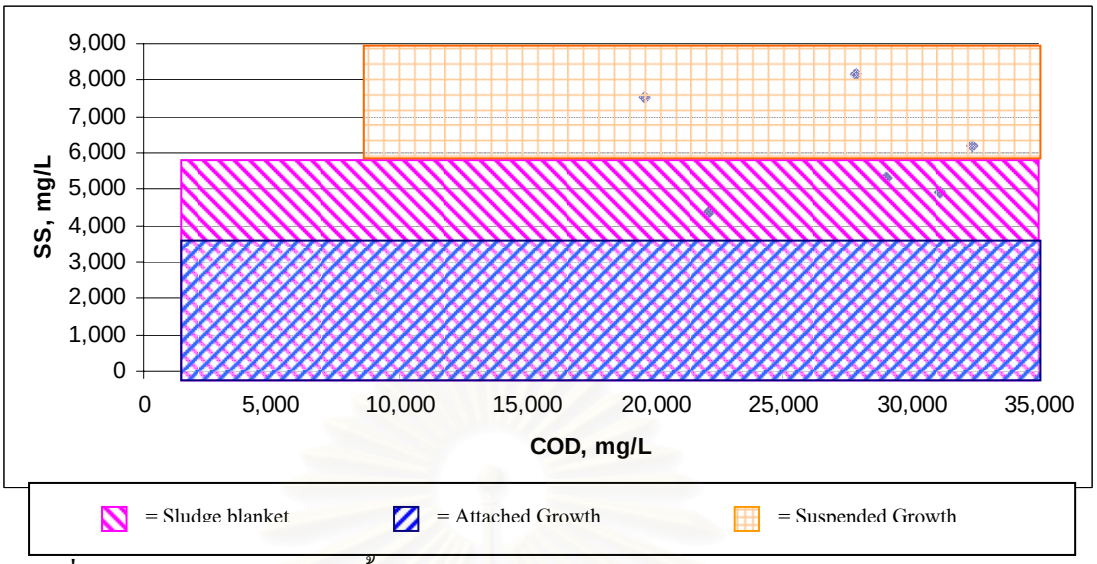
รูปที่ 4.9 หน้าจอภาพแสดงผลการรันโปรแกรม

4.4 ผลการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรม 5 ประเภทที่ทำการศึกษา และการทดสอบผลการศึกษาจากการทำกรณีศึกษา

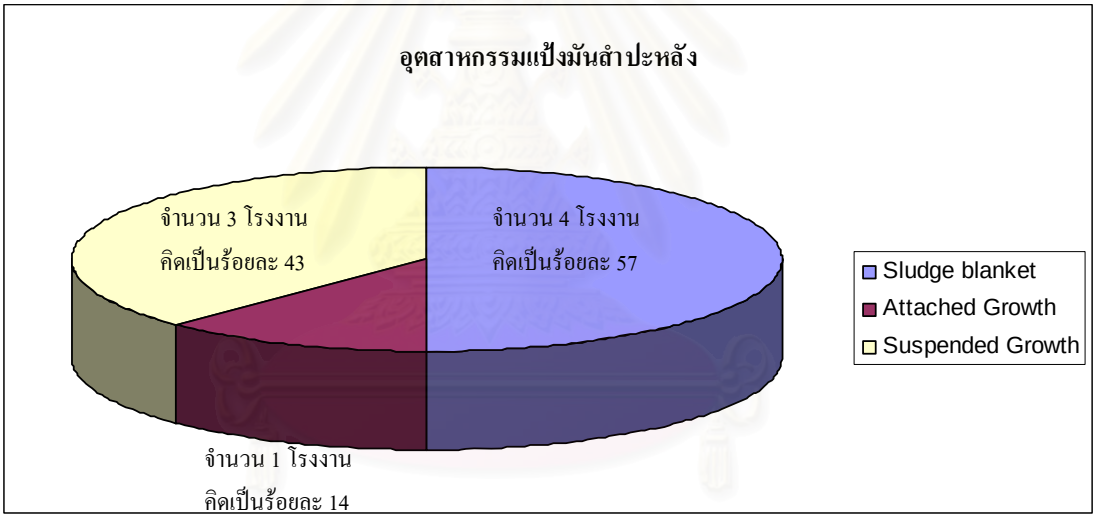
การตัดสินใจพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจำนวน 5 ประเภทที่ทำการศึกษาด้วยแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ (Decision trees) โดยผลการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม มีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 น้ำเสียอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

ผลการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจกับน้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่ทำการสำรวจจำนวน 7 โรงงานดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่า สามารถใช้ระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) ได้มากที่สุดจำนวน 4 โรงงานคิดเป็นร้อยละ 57 ของโรงงานตัวอย่าง รองลงมาคือระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) จำนวน 3 โรงงานคิดเป็นร้อยละ 43 ของโรงงานตัวอย่าง และระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) จำนวน 1 โรงงานคิดเป็นร้อยละ 14 ของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งมีความเหมาะสมน้อยที่สุด เนื่องจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยสูงและตกตะกอนได้ดี อาจทำให้เกิดการอุดตันของตัวกลางภายในระบบ



รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของน้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลังในขอบเขตความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของแต่ละระบบ



รูปที่ 4.11 สัดส่วนของจำนวนโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่ทำการสำรวจกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากผลการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจ

ผลจากแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจแนะนำว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบชั้นสลัดจ์มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพแล้วในปัจจุบัน และอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้ระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) แบบระบบยูเอเอสบี โดยมีรายละเอียดดังนี้

โรงงานแป้งมันสำปะหลังบริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด มีปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเฉลี่ย 4,000 ลบ.ม.ต่อวัน ลักษณะน้ำเสียดังแสดงในตารางที่ 4.7 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของ

โรงงานคือ ระบบยูเอเอสบี มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 – 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาในการกักน้ำ 5 วันพบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีประมาณร้อยละ 99 ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นประมาณ 2 ลบ.ม./ลบ.ม.ถังปฏิกรณ์-วัน คิดเป็นปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนที่ได้ 0.24 ลบ.ม.ต่อ กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด

ตารางที่ 4.7 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังบริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด*

พารามิเตอร์	น้ำเสียดิบเฉลี่ย	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด
พีเอช	3.7-4.5	-
ค่าซีโอดี (มก./ล.)	20,000-30,000	300-500
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	600-2,000	-

- * ข้อมูลจากการสัมภาษณ์นาย ภาสกร สูงมูล ตำแหน่งผู้จัดการทั่วไปบริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด เมื่อวันที่ 29 มิถุนายน 2550

โรงงานแป้งมันสำปะหลังแห่งที่ 1 จังหวัดนครราชสีมา น้ำเสียจากกระบวนการผลิตมีอัตราการไหลเฉลี่ย 1,143 ลบ.ม.ต่อวัน และอัตราการไหลสูงสุด 1,825 ลบ.ม.ต่อวัน ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 45,054 กิโลกรัมต่อวัน ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานคือ ระบบยูเอเอสบี เมื่อเริ่มเดินระบบในระยะแรกปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้มีไม่มากจึงทำการเผาทิ้ง ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 18,087 ลบ.ม.ต่อวัน โดยมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพประมาณ 0.40 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงถึงร้อยละ 99 ซึ่งลักษณะน้ำเสียและผลการเดินระบบยูเอเอสบีดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบยูเอเอสบีโรงงานแป้งมันสำปะหลังแห่งที่ 1 จังหวัดนครราชสีมา และลักษณะน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว

พารามิเตอร์	น้ำเสียดิบ		น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด	
	ปริมาณ	ค่าเฉลี่ย	ปริมาณ	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	3.45 – 5.02	3.96	6.79 – 7.95	7.28
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	10 – 940	332	218 – 3,330	2,070
กรดไขมันระเหย (มก./ล.)	1,542 – 6,570	3,764	76 – 684	138
ค่าซีโอดี (มก./ล.)	18,000 – 82,900	38,612	132 – 1,057	437

โรงงานแป้งมันสำปะหลังแห่งที่ 2 จังหวัดนครราชสีมา น้ำเสียจากกระบวนการผลิตมีอัตราการไหลเฉลี่ย 1,662 ลบ.ม.ต่อวัน ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 38,333 กิโลกรัมต่อวัน ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานคือ ระบบยูเอเอสบี มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 15,594 ลบ.ม.ต่อวัน โดยมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.41 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงถึงร้อยละ 96 ซึ่งลักษณะน้ำเสียดังแสดงในตารางที่ 4.9

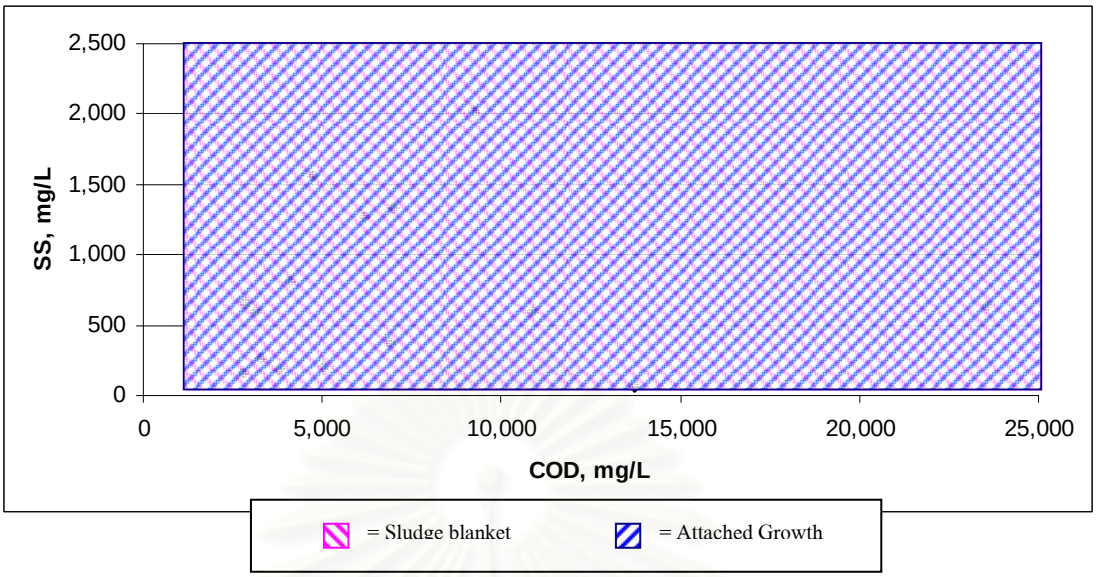
ตารางที่ 4.9 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบยูเอเอสบีโรงงานแป้งมันสำปะหลังแห่งที่ 2 จังหวัดนครราชสีมาแห่งที่ 2 และลักษณะน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว

พารามิเตอร์	น้ำเสียดิบ		น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด	
	ปริมาณ	ค่าเฉลี่ย	ปริมาณ	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	4.1 – 4.4	4.25	6.9 – 7.9	7.6
ค่าซีโอดี (มก./ล.)	7,670 – 35,775	23,297	358 – 2,664	868

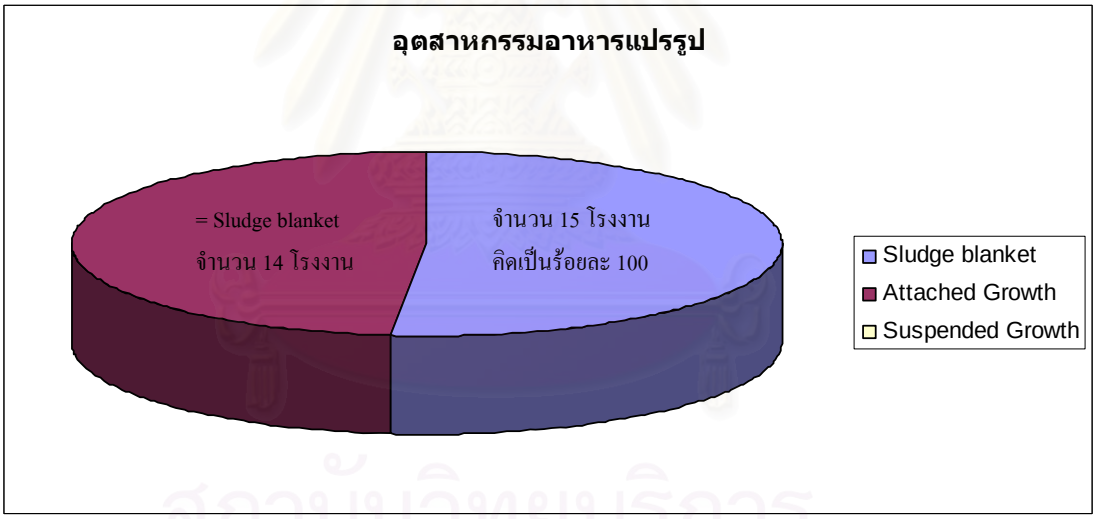
สำหรับประสิทธิภาพของระบบ และเกณฑ์ที่ได้จากต้นไม้ตัดสินใจสอดคล้องกับระบบบำบัดปัจจุบันที่มีการใช้งานจริงในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่มีระบบแล้ว ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนก็จะอยู่ในช่วงเดียวกันกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการใช้งานแล้วพบว่า ระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 96 – 99 ในการบำบัดน้ำเสียจากแป้งมันสำปะหลัง โดยมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนเฉลี่ย 0.24 – 0.30 ลบ.ม.ต่อกก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด และสัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 60 – 70

4.4.2 น้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

ผลการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจกับน้ำเสียโรงงานอาหารแปรรูปที่ทำการสำรวจจำนวน 15 โรงงานดังแสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13 พบว่า สามารถใช้ระบบผสม (Hybrid) หรือระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) ได้ทุกโรงงานที่ทำการศึกษา แต่มีโรงงานผลิตกะทิและเครื่องดื่มน้ำผลไม้กระป๋องจำนวน 1 โรงงานซึ่งมีปริมาณน้ำมันและไขมันเฉลี่ย 1,235 มก./ล. ทำให้ระบบผสมแบบบ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อมีความเหมาะสม และระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) จำนวน 14 โรงงานคิดเป็นร้อยละ 93 ของโรงงานตัวอย่าง



รูปที่ 4.12 การกระจายตัวของน้ำเสียโรงงานอาหารแปรรูปในขอบเขตความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของแต่ละระบบ



รูปที่ 4.13 สัดส่วนของจำนวนโรงงานอาหารแปรรูปที่ทำการสำรวจกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากผลการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจ

จากรูปที่ 4.13 ไม่มีโรงงานที่สามารถใช้ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) ได้ เนื่องจากน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ ถ้าใช้ถังกวนสมบูรณ์หรือถังปฏิกรณ์แบบสัมผัส จะทำให้อัตราส่วนของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อปริมาตรถังปฏิกรณ์ต่ำ ส่งผลให้ราคาค่าก่อสร้างระบบแพงมาก เมื่อคิดเทียบกับค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่อภาระบรรทุกของน้ำเสีย (loading) ที่ต้องบำบัด

ผลจากแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจแนะนำว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชั้นสลัดจ์ และระบบมีตัวกลางยึดเกาะมีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียอาหารแปรรูป ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลโรงงานสับปะรดบรรจุกระป๋อง และน้ำสับปะรดกระป๋องของบริษัท อาหารสยาม (มหาชน) จำกัด จังหวัดชลบุรี มีอัตราการเกิดน้ำเสียประมาณ 4,200 – 4,500 ลบ.ม.ต่อวัน ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานคือ ระบบยูเอเอสบีขนาด 3,000 ลบ.ม. อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 7.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาในการกักน้ำ 18.5 ชั่วโมงพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 90 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นประมาณ 4,400 ลบ.ม.ต่อวัน คิดเป็นอัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่ประมาณ 0.22 ลบ.ม.ต่อกก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋องและน้ำสับปะรดกระป๋อง บริษัท อาหารสยาม (มหาชน) จำกัด*

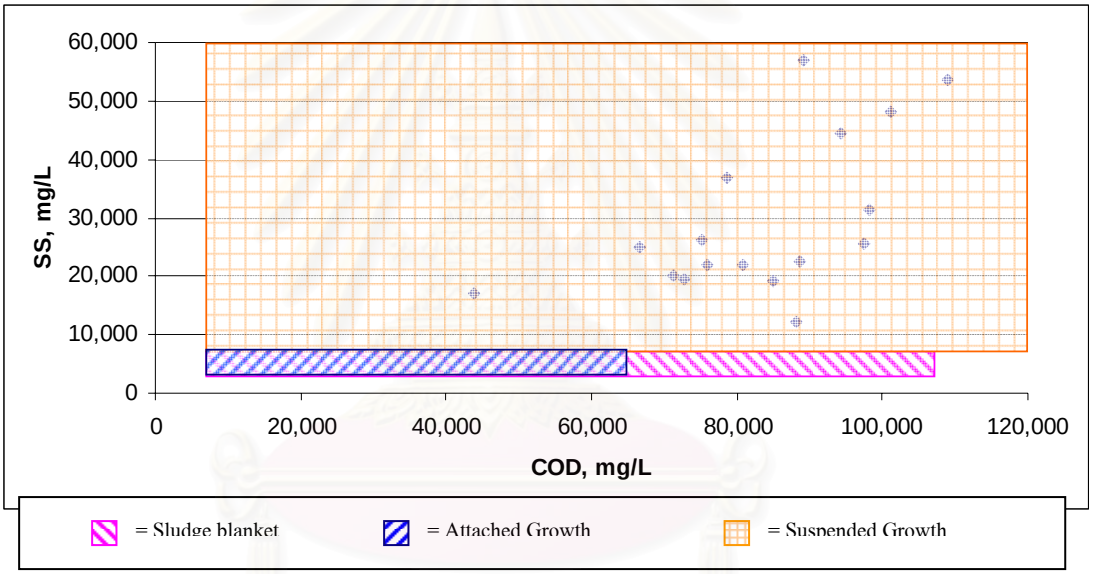
พารามิเตอร์	น้ำเสียดิบเฉลี่ย	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด
พีเอช	3.08	-
ค่าซีโอดี (มก./ล.)	34,000	110
ค่าบีโอดี (มก./ล.)	11,000	12
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	1,320	-

- * ข้อมูลจากการสัมภาษณ์นาย คำรณ นิยมทรัพย์ ตำแหน่งวิศวกรสิ่งแวดล้อมบริษัท อาหารสยาม (มหาชน) จำกัด เมื่อวันที่ 2 กรกฎาคม 2550

สำหรับประสิทธิภาพของระบบ และเกณฑ์ที่ได้จากต้นไม้ตัดสินใจสอดคล้องกับระบบบำบัดปัจจุบันที่มีการใช้งานจริงในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหารแปรรูปที่มีระบบแล้ว ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนก็จะอยู่ในช่วงเดียวกันกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการใช้งาน และจากผลการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียอาหารแปรรูปพบว่า ระบบยูเอเอสบี (UASB) และถังกรองไร้อากาศ (AF) มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 96 – 98 อัตราการเกิดก๊าซมีเทน 0.29 – 0.33 ลบ.ม/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด และสัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 68 – 88 และถังกรองไร้อากาศ (AF) มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 70 – 91 อัตราการเกิดก๊าซมีเทน 0.31 – 0.55 ลบ.ม/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด และสัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 68 – 70 เนื่องจากสามารถบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงและมีปริมาณน้ำเสียมากในระยะเวลาสั้นได้

4.4.3 น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

ผลจากการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจกับน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจำนวน 17 โรงงานพบว่า ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) เป็นทางเลือกที่ความเหมาะสมที่สุดสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดังทั้ง 17 โรงงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 เนื่องจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีความเข้มข้นน้ำเสีย น้ำมันและไขมันสูงมาก ซึ่งระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) และระบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอย และน้ำมันสูงได้ เนื่องจากแบคทีเรียภายในระบบชั้นสลัดจ์ไม่สามารถสร้างตัวเป็นเม็ดได้ และอาจเกิดการอุดตันของตัวกลางในระบบมีตัวกลางยึดเกาะ



รูปที่ 4.14 การกระจายตัวของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในขอบเขตความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของแต่ละระบบ

ผลจากแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจแนะนำว่า ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำมีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบบริษัท เอเชี่ยนน้ำมันปาล์ม จำกัด จังหวัดกระบี่ มีอัตราการเกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเฉลี่ย 300 ลบ.ม./วัน และอัตราการไหลสูงสุด 500 ลบ.ม./วัน ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานคือถังกวนสมบูรณ์ (CSTR) ขนาด 2,200 ลบ.ม.อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาในการกักน้ำ 7 วันพบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีประมาณร้อยละ 60 ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นประมาณ 6,000 ลบ.ม.ต่อวัน คิดเป็นอัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่ได้เท่ากับ 0.25 ลบ.ม.ต่อกก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบบริษัท เอเชี่ยนน้ำมันปาล์ม จำกัด*

พารามิเตอร์	น้ำเสียดิบเฉลี่ย	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด
พีเอช	4.0	-
ค่าซีโอดี (มก./ล.)	80,000	10,000
ค่าบีโอดี (มก./ล.)	50,000	1,000
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	10,000	-
ไขมันและน้ำมัน	4,950	-

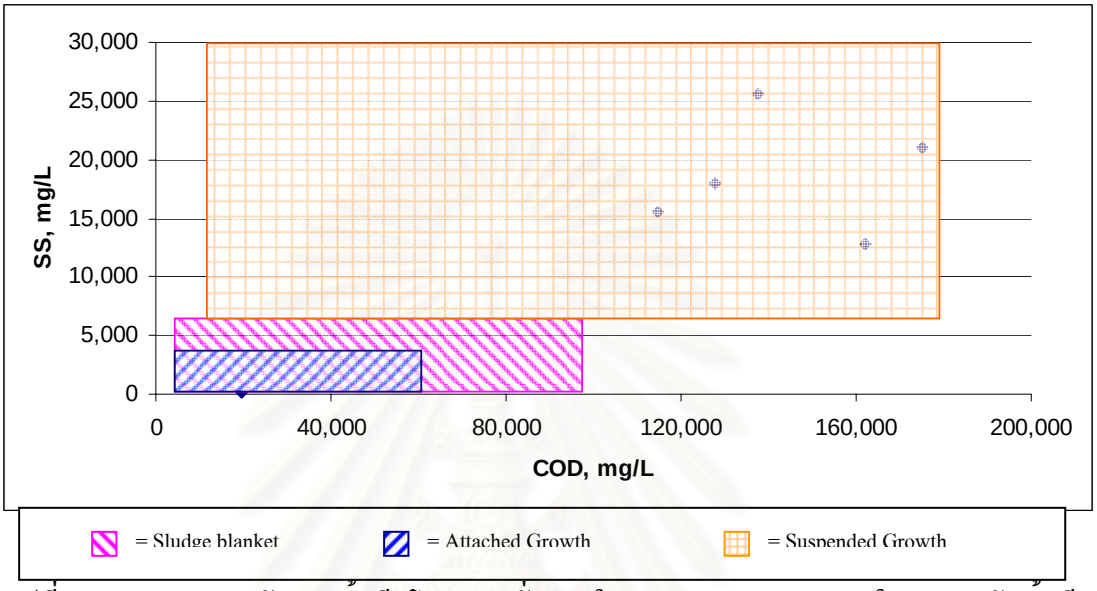
- * ข้อมูลจากการสัมภาษณ์นาย เจษฎา โชติวัฒนศักดิ์ ตำแหน่งวิศวกรฝ่ายสิ่งแวดล้อม เมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2550

สำหรับประสิทธิภาพของระบบ และเกณฑ์ที่ได้จากต้นไม้ตัดสินใจสอดคล้องกับระบบบำบัดปัจจุบันที่มีการใช้งานจริงในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันที่มีระบบแล้ว ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนก็จะอยู่ในช่วงเดียวกันกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการใช้งานแล้วพบว่า ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR) และถังปฏิกรณ์แบบสัมผัส (Anaerobic Contact Reactor) มีความเหมาะสมมากกว่าระบบบำบัดประเภทอื่น โดยถังกวนสมบูรณ์มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 60 – 80 อัตราการเกิดก๊าซมีเทน 0.25 ลบ.ม/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด และสัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 60 – 63 และถังย่อยไร้อากาศแบบสัมผัส (Anaerobic Contact Reactor) มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 93 สัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 63 ในกรณีที่จะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) หรือตัวกลางในการยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) จะต้องทำการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นในการกำจัดของแข็งแขวนลอย น้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบทั้งสองประเภท

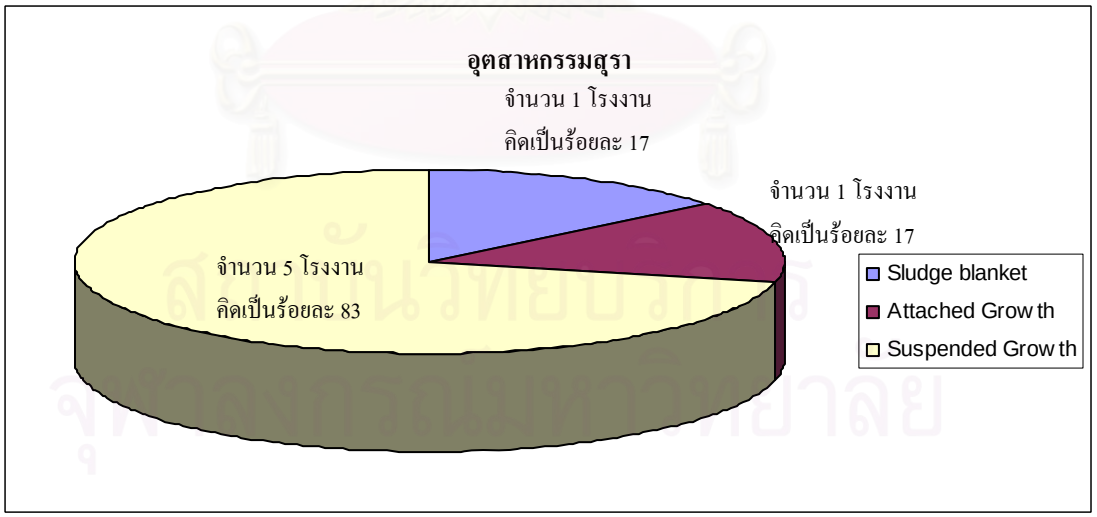
4.4.3 น้ำเสียอุตสาหกรรมสุรา

ผลจากการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจกับน้ำเสียจากโรงงานกลั่นสุราที่ทำการสำรวจจำนวน 6 โรงงานดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16 พบว่า ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานกลั่นสุราจำนวน 5 โรงงานคิดเป็นร้อยละ 83 ของโรงงานตัวอย่าง รองลงมาคือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) และตัวกลางในการยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) มีจำนวนเท่ากันคือ จำนวน 1 โรงงานคิดเป็นร้อยละ 17 ของโรงงาน

ตัวอย่าง ในกรณีของน้ำเสียจากการกลั่นสุราเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงมาก และมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายยากอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ต้องมีระยะเวลาในการกักน้ำและระยะเวลาในการกักตะกอนนานกว่าการบำบัดน้ำเสียชนิดอื่นๆ และมีการผลิตเป็นฤดูกาล ทำให้ระบบต้องมีความหยืดหยุ่นสูงในการขาดอาหารเป็นเวลานาน



รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของน้ำเสียโรงงานกลั่นสุราในขอบเขตความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของแต่ละระบบ



รูปที่ 4.16 สัดส่วนของจำนวนโรงงานกลั่นสุราที่ทำการสำรวจกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากผลการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจ

ผลจากแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจแนะนำว่า ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำมีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากการกลั่นสุรา ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลโรงงานกลั่นสุรา บริษัท

สุรากระทิงแดง (1988) จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร อัตราการเกิดน้ำเสียเฉลี่ย 600 ลบ.ม.ต่อวัน ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานคือ ถังปฏิกรณ์แบบสัมผัส (Anaerobic Contact Tank) ขนาด 40,000 ลบ.ม.อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาในการกักน้ำ 60 – 80 วัน พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีประมาณร้อยละ 40 - 60 และอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ 0.81 ลบ.ม.ก๊าซชีวภาพ/ลบ.ม.ถังปฏิกรณ์-วัน คิดเป็นอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.675 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด และอัตราการเกิดก๊าซมีเทน 0.324 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด มีลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสุราขาว 40 ดีกรี บริษัท สุรากระทิงแดง (1988) จำกัด*

พารามิเตอร์	น้ำเสียดิบเฉลี่ย	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด
พีเอช	4.0 – 5.0	-
ค่าซีโอดี (มก./ล.)	80,000 – 120,000	40,000 – 60,000
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	10,000 – 30,000	-

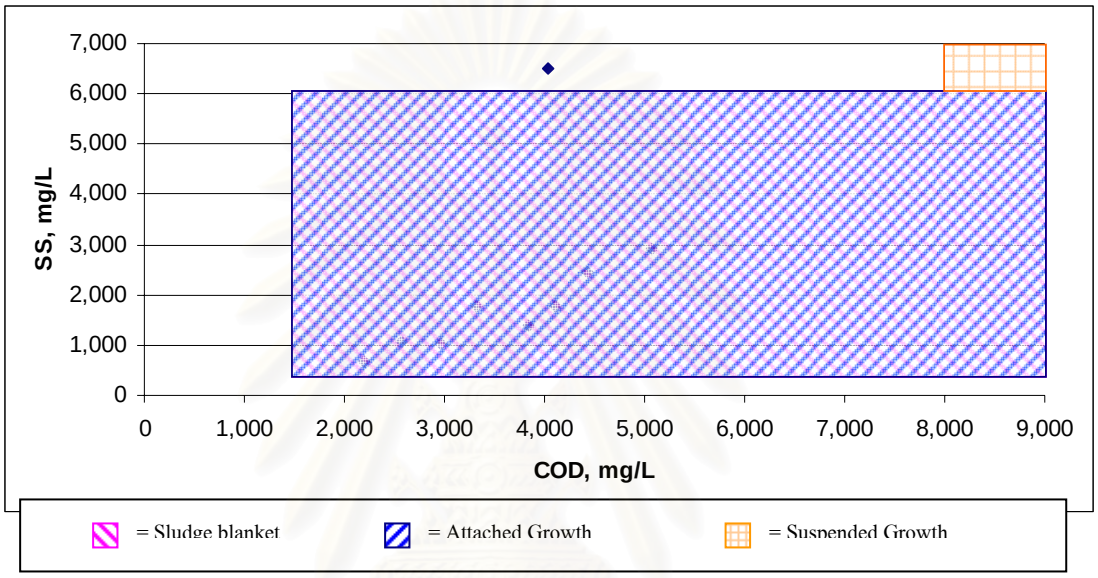
- * ข้อมูลจากการสัมภาษณ์นาย พิศาล นะนุ่น ตำแหน่งหัวหน้าหน่วยแก๊สชีวภาพและขจัดน้ำทิ้ง บริษัท สุรากระทิงแดง (1988) จำกัด เมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน 2550

สำหรับประสิทธิภาพของระบบ และเกณฑ์ที่ได้จากต้นไม้ตัดสินใจสอดคล้องกับระบบบำบัดปัจจุบันที่มีการใช้งานจริงในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานกลั่นสุราที่มีระบบแล้ว ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนก็จะอยู่ในช่วงเดียวกันกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการใช้งานพบว่า น้ำเสียจากโรงงานกลั่นสุราในประเทศไทยเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง และสารอินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงไปด้วย แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ทำการศึกษา ซึ่งถังปฏิกรณ์แบบสัมผัสที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการกลั่นสุรามีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียร้อยละ 60 – 80 และอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ 0.20 – 0.32 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด

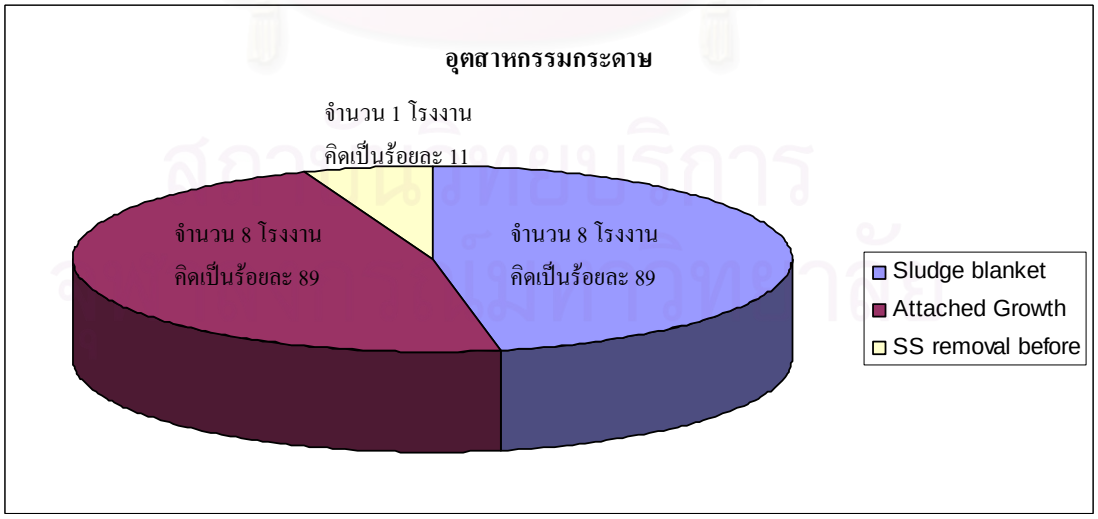
4.4.5 น้ำเสียอุตสาหกรรมกระดาษ

ผลจากการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจกับน้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษจำนวน 9 โรงงานที่ทำการสำรวจดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าทั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached Growth Process) และระบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Sludge Blanket Process) มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจำนวน 8 โรงงาน

คิดเป็นร้อยละ 89 ของโรงงานตัวอย่าง มีเพียง 1 โรงงานเท่านั้นที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงกว่า 6,000 มก./ล. แต่ความเข้มข้นซีโอดีน้อยกว่า 8,000 มก./ล. ทำให้ไม่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 ระบบจำเป็นต้องมีการกำจัดของแข็งแขวนลอยออกก่อน สำหรับการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไม่ใช้ออกซิเจนไม่สามารถนำน้ำเสียรวมมาบำบัดได้หมด เนื่องจากน้ำเสียมีสารพิษและสารยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนเป็นจำนวนมาก จึงมีเพียงน้ำเสียจากกระบวนการล้างเยื่อซึ่งเป็นน้ำเสียความเข้มข้น และสารพิษต่ำที่สามารถบำบัดด้วยกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนได้



รูปที่ 4.17 การกระจายตัวของน้ำเสียโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษในขอบเขตความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของแต่ละระบบ



รูปที่ 4.18 สัดส่วนของจำนวนโรงงานอาหารแปรรูปที่ทำการสำรวจกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากผลการใช้โปรแกรมในการคัดเลือกระบบด้วยต้นไม้ตัดสินใจ

จากรูปที่ 4.18 ไม่มีโรงงานที่สามารถใช้ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Anaerobic Suspended Growth Process) ได้ เนื่องจากน้ำเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ ถ้าใช้ถังกวนสมบูรณ์หรือถังปฏิกรณ์แบบสัมผัส จะทำให้อัตราส่วนของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อปริมาตรถังปฏิกรณ์ต่ำ ส่งผลให้ราคาค่าก่อสร้างระบบแพงมาก เมื่อคิดเทียบกับค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่อภาระบรรทุกของน้ำเสีย (loading) ที่ต้องบำบัด

ผลจากแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจแนะนำว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชั้นสลัดจ์ และระบบมีตัวกลางยึดเกาะมีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตกระดาษ ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลโรงงานผลิตกระดาษคราฟท์บริษัท ไทยเปเปอร์มิลล์ จำกัด จังหวัดระยอง มีปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเฉลี่ย 5,280 ลบ.ม.ต่อวัน ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานคือถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบีขนาด 3,300 ลบ.ม.อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.36 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และระยะเวลาในการกักน้ำ 15 ชั่วโมงพบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีประมาณร้อยละ 82 ซึ่งอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ 0.515 ลบ.ม.ก๊าซชีวภาพ/ลบ.ม.ถังปฏิกรณ์-วัน และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่ได้ 0.265 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกระดาษคราฟท์ บริษัท ไทยเปเปอร์มิลล์ จำกัด*

พารามิเตอร์	น้ำเสียดิบเฉลี่ย	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด
พีเอช	6.4	-
ค่าซีโอดี (มก./ล.)	850	150
ค่าบีโอดี (มก./ล.)	400	-

- * ข้อมูลจากการสัมภาษณ์นาย วิทยา งามสกุล ตำแหน่งผู้ดูแลระบบ บริษัท ไทยเปเปอร์มิลล์ จำกัด เมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม 2550

สำหรับประสิทธิภาพของระบบ และเกณฑ์ที่ได้จากต้นไม้ตัดสินใจสอดคล้องกับระบบบำบัดปัจจุบันที่มีการใช้งานจริงในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษที่มีระบบแล้ว ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนก็จะอยู่ในช่วงเดียวกันกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการใช้งานพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบยูเอเอสบี (UASB) และถังกรองไร้อากาศ (AF) เป็นระบบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 78 – 82 อัตราการเกิดก๊าซมีเทน 0.23 – 0.27 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด สัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 60 สำหรับถังกรองไร้อากาศมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 77 – 88 อัตรา

การเกิดก๊าซมีเทน 0.27 – 0.29 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด สัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 60 – 70 ระบบทั้งสองสามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมีค่าใกล้เคียงกัน

ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรทั้ง 5 ประเภทอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษาในด้านเทคนิคด้วยต้นไม้ตัดสินใจสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความเหมาะสมในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม

ลำดับ	ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละของโรงงานที่ใช้ระบบ	ข้อจำกัดของน้ำเสียและระบบ
1	แป้งมันสำปะหลัง	Anaerobic Sludge Blanket Process	57	-
		Anaerobic Attached Growth Process	14	น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นน้ำเสียที่มีโอกาสตกตะกอนได้สูง อาจทำให้เกิดการอุดตันของตัวกลาง
		Anaerobic Suspended Growth Process	43	-
2	อาหารแปรรูป - ผลิตภัณฑ์นม - ผลไม้กระป๋อง - อาหารกระป๋อง	Anaerobic Sludge Blanket Process	100	น้ำเสียจากโรงงานอาหารกระป๋องและนม ควรมีการกำจัดน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสียก่อน เพื่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบและอัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่สูงขึ้น
		Anaerobic Attached Growth Process	93	
3	น้ำมันปาล์ม	Anaerobic Suspended Growth Process	100	ควรมีการกำจัดน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสียให้มากที่สุดก่อนเข้าระบบ เพื่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบและอัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4.14 ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความเหมาะสมในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม (ต่อ)

ลำดับ	ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละของโรงงานที่ใช้ระบบ	ข้อจำกัดของน้ำเสียและระบบ
4	กลั่นสุรา	Anaerobic Suspended Growth Process	83	ควรเพิ่มระยะเวลาในการกักน้ำ และระยะเวลาในการกักตะกอนให้นานขึ้นกว่าการบำบัดน้ำเสียชนิดอื่นๆ เนื่องจากน้ำเสียจากการกลั่นสุรามีความเข้มข้นสูงมาก เพื่อให้แบคทีเรียสามารถสัมผัสกับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ดีขึ้น
		Anaerobic Sludge Blanket Process	17	-
		Anaerobic Attached Growth Process	17	-
5	กระดาษ	Anaerobic Sludge Blanket Process	89	น้ำเสียรวมจากกระบวนการผลิตกระดาษเป็นน้ำเสียที่ประกอบด้วยสารพิษที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนสูง ดังนั้นมีเพียงน้ำเสียที่มาจากกระบวนการล้างเยื่อที่สามารถนำมาบำบัดด้วยระบบนี้ได้
		Anaerobic Attached Growth Process	89	
		Cannot be used -Anaerobic Sludge Blanket Process -Anaerobic Attached Growth Process -Anaerobic Suspended Growth Process	11	ต้องมีการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบจึงสามารถบำบัดน้ำเสียด้วยระบบ Anaerobic Sludge Blanket Process และ Anaerobic Attached Growth Process ได้

4.4.6 การวิเคราะห์การลงทุนก่อสร้างระบบ

จากตารางที่ 4.14 ในการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความเหมาะสมในด้านเทคนิคมีประสิทธิภาพเท่าเทียมกัน ดังนั้นปัจจัยที่จะเลือกระบบที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ปัจจัยทางด้าน

เศรษฐศาสตร์ ซึ่งการประเมินและคัดเลือกระบบที่มีความเหมาะสมในด้านเศรษฐศาสตร์ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณามีดังนี้

- ความต้องการพื้นที่มีปัจจัยหลายตัวแปรที่มีผลต่อการพิจารณาคัดเลือกระบบ เช่น ราคาที่ดิน ทำเลที่ตั้งโรงงาน และการใช้ประโยชน์ที่ดินของโรงงาน (Land use) เป็นต้น ตัวอย่างความสัมพันธ์ความต้องการพื้นที่กับประเภทระบบบำบัดน้ำเสียแบบน้ำเสียอัตราสูงและและระบบบำบัดอัตราต่ำ ซึ่งจะส่งผลในการเดินระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในกรณีที่พื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานมีพื้นที่น้อย และราคาที่ดินสูงระบบบำบัดแบบอัตราสูง เช่น ระบบยูเอเอสบี (UASB) ระบบถังไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (ABR) และระบบถังกรองไร้อากาศ (AF) เป็นต้น ซึ่งมีอัตราภาระบรรทุกสูงจะช่วยให้ขนาดของถังปฏิกรณ์ลดลง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนในการใช้พื้นที่ แต่ว่าราคาค่าก่อสร้างระบบอาจยุ่งยากมากกว่าถ้าเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบอัตราสูง แต่ถ้าเป็นพื้นที่นอกเขตชานเมือง ราคาที่ดินไม่แพง เมื่อเทียบระบบกันแล้วระบบบำบัดน้ำเสียอัตราต่ำคือ บ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon) น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีกว่าในกรณีนี้

- สำหรับค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียและบำรุงรักษานั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งระบบที่มีค่าใช้จ่ายมากที่สุดคือ ระบบยูเอเอสบี เนื่องจากเป็นระบบที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนในการเดินระบบ ค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องสูบน้ำเสียเพื่อจ่ายน้ำเข้าระบบ และราคาค่าเม็ดแบคทีเรียในระบบ (Seeds) มีราคาค่อนข้างแพง และต้องใช้ในปริมาณสูง เพราะเป็นระบบที่ต้องการความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพในระบบค่อนข้างสูง รองลงมาคือ บ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon) และถังกรองไร้อากาศแบบตรึงฟิล์ม (AFF) ตามลำดับ สำหรับถังกรองไร้อากาศแบบตรึงฟิล์ม (AFF) จะมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำที่กว่าระบบแบบยูเอเอสบีและบ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถรักษาตะกอนจุลชีพให้อยู่ในระบบได้ดี และราคาค่าแบคทีเรียในระบบ (Seeds) ชนิดนี้มีราคาถูกกว่าเม็ดแบคทีเรีย (Granules) ที่ใช้ในระบบยูเอเอสบีอยู่มาก ส่วนบ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon) แม้ว่าแบคทีเรียในระบบจะมีราคาถูกมาก แต่ต้องใช้ปริมาณเป็นจำนวนมากทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในด้านการขนส่งสูงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบ ในกรณีที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างระบบบำบัดอัตราสูงด้วยกันผลจากการศึกษาของ Rajeshwari และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทอัตราสูง (High rate) ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นสูง ได้แก่ การผลิตนมและเนยแข็ง กลั่นสุรา โรงฆ่าสัตว์ และกระดาษ เป็นต้น ในด้านเศรษฐศาสตร์ซึ่งมีตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาคือ ความยากง่ายในการควบคุมระบบ ปริมาณการใช้พลังงาน ราคาค่าลงทุนในการก่อสร้างระบบ ความต้องการพื้นที่ และค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (Rajeshwari และคณะ, 2000) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอัตราสูง (Rajeshwari และคณะ, 2000)

ตัวแปร	การจัดเรียงลำดับ
ความต้องการทักษะในการเดินระบบ	Fixed film < UASB < RBC < Fluidized bed
การใช้พลังงาน	UASB < Fixed film < EGSB < Fluidized bed < RBC
เงินลงทุน การใช้ที่ดิน และ ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา	RBC < Fixed film < UASB < EGSB < Fluidized bed

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาในส่วนของการลงทุนก่อสร้างถังปฏิกรณ์ และขนาดพื้นที่ก่อสร้างซึ่งเป็นการลงทุนหลักในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ระบบสูบน้ำ ระบบท่อ และระบบไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านทั้งอุปกรณ์ที่เลือกใช้ และค่าใช้จ่ายในการวางท่อ

ตัวอย่างการเปรียบเทียบด้านการลงทุนก่อสร้างถังปฏิกรณ์และขนาดพื้นที่ โดยทำการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสีย 3 ระบบคือ ระบบยูเอเอสบี (UASB) ระบบถังกรองไร้อากาศแบบตรึงฟิล์ม (AFF) และบ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon) ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ซึ่งทำการยกตัวอย่างน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องก่อนเข้าระบบ 1 ตัวอย่าง ซึ่งน้ำเสียที่เข้ามาทั้ง 3 ระบบมีลักษณะน้ำเสียดังนี้

- อัตราการไหลน้ำเสีย (Q) เท่ากับ 2,000 ลบ.ม./วัน
- ค่าบีโอดี (BOD) เท่ากับ 2,000 มก./ล.
- ค่าซีโอดี (COD) เท่ากับ 4,000 มก./ล.
- ค่าพีเอชน้ำเสียอยู่ในช่วง 3.5 – 4
- อุณหภูมิประมาณ 35 – 37 °C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบปัจจัยทางด้านด้านการลงทุนก่อสร้างถังปฏิกรณ์ และขนาดพื้นที่ของ ระบบยูเอเอสบี (UASB) ระบบถังกรองไร้อากาศแบบตรึงฟิล์ม (AFF) และบ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon)

ตัวแปร	UASB	AFF	Anaerobic Covered Lagoon
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	6	4.725	1
พื้นที่ในการก่อสร้าง (ตร.ม.)	140	230	1,450
ขนาดถังปฏิกรณ์ (ลบ.ม.)	1,350	1,750	8,000
อัตราส่วนพื้นที่ : ปริมาตรถัง	0.10	0.13	0.18
ราคาค่าก่อสร้างระบบต่อหน่วยภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (บาท/กก.ซีโอดี)	870	1,640	110
ความต้องการพื้นที่ : ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (ตร.ม./กก.ซีโอดี)	0.02	0.03	0.18

จากการประมาณราคาเบื้องต้นค่าก่อสร้างต่อหน่วยภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของทั้ง 3 ระบบในตารางที่ 4.16 พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon) มีมูลค่าการลงทุนน้อยที่สุดเท่ากับ 110 บาท/กก.ซีโอดี เนื่องจากเป็นบ่อดินทำให้ก่อสร้างได้ง่าย แต่ใช้พื้นที่มากที่สุด รองลงมาคือ ระบบยูเอเอสบี (UASB) และระบบถังกรองไร้อากาศแบบตรึงฟิล์ม (AFF) ซึ่งมีมูลค่าเท่ากับ 870 และ 1,640 บาท/กก.ซีโอดีตามลำดับ เมื่อพิจารณาราคาค่าก่อสร้างระบบของถังกรองไร้อากาศแบบตรึงฟิล์ม (AFF) ที่มีมูลค่าสูง เนื่องจากเป็นระบบที่ต้องอาศัยตัวกลาง (Media) บรรจุอยู่ภายในถังปฏิกรณ์ เพื่อให้แบคทีเรียยึดเกาะมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีราคาแพง แม้ว่าระบบถังกรองไร้อากาศแบบตรึงฟิล์ม (AFF) จะมีขนาดถังปฏิกรณ์ไม่แตกต่างจากระบบยูเอเอสบี (UASB) มากนัก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่ทำการศึกษา เป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของน้ำเสีย และปริมาณตะกอนแขวนลอยสูง ยกเว้นอุตสาหกรรมกระดาษที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำเสียอุตสาหกรรมอื่นๆ และมีพีเอชค่อนข้างเป็นกรดอยู่ในช่วง 4 – 6.5 ยกเว้นโรงงานผลิตนม เบียร์ และกระดาษที่มีพีเอชสูง

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมแปรรูปทางการเกษตรได้แก่ ลักษณะน้ำเสียซึ่งมีตัวแปรหลักคือ ความเข้มข้นและสารพิษในน้ำเสีย และสภาพแวดล้อมในการเดินระบบซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพคือ อุณหภูมิ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และสารอาหารที่ต้องการเพิ่มเติมในระบบ

3. น้ำเสียจากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง เป็นน้ำเสียที่มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้สูง

4. น้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป เป็นน้ำเสียที่มีลักษณะน้ำเสียแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและกระบวนการผลิต สำหรับโรงงานผลิตที่เกี่ยวกับผลไม้แปรรูปเป็นน้ำเสียที่มีปริมาณไขมันและน้ำมันปนมากับน้ำเสียน้อย ยกเว้นน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารกระป๋องและนมจะมีปริมาณน้ำมันและไขมันปนมากับน้ำเสียสูงกว่า แต่มีปริมาณไม่มากเหมือนกับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

5. น้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ เป็นน้ำเสียที่มีอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีสูงอยู่ในช่วง 0.4 – 0.7 เป็นน้ำเสียที่มีความย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายถ้ามีการกำจัดน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด

6. น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสุรา เป็นน้ำเสียที่มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพต่ำ แต่อัตราการเกิดน้ำเสียและน้ำเสียมีความเข้มข้นสูงมาก ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้มีปริมาณสูงตามไปด้วย

7. น้ำเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นน้ำเสียที่มีความเข้นข้นต่ำ แต่ปริมาณของแข็งในน้ำสูง และประกอบด้วยสารพิษและสารยับยั้งที่เป็นอันตรายต่อกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน ดังนั้นจึง

สามารถใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนบำบัดน้ำเสียได้ในบางส่วนคือ น้ำเสียจากกระบวนการล้างเยื่อ

8. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีความเหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียแต่ละประเภทอุตสาหกรรมจากเกณฑ์การคัดเลือกระบบด้วยแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees) สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีความเหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียแต่ละประเภทอุตสาหกรรม

ประเภทน้ำเสียอุตสาหกรรม	ลักษณะน้ำเสีย (มก./ล.)		ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	ร้อยละของก๊าซมีเทน
	COD	SS				
แป้งมันสำปะหลัง	9,230-29,055	2,250-5,320	ระบบผสมหรือระบบชั้นสลัดจ์	70 – 95	0.24 – 0.30	60 – 70
อาหารแปรรูป	1,930-26,540	52-2,780	ระบบผสมหรือระบบชั้นสลัดจ์	70 – 95	0.29 – 0.33	64 – 88
	1,930-26,540	52-2,780	ระบบมีตัวกลางยึดเกาะ	70 – 95	0.31 – 0.35	68 – 70
น้ำมันปาล์ม	43,390-110,120	8,900-63,400	ระบบเติบโตแขวนลอย	60 – 90	0.25	60
สุรา	18,670 – 180,000	60-29,250	ระบบเติบโตแขวนลอย	60 – 80	0.20-0.32	60
กระดาษ	1,590-56,000	600-8,440	ระบบผสมหรือระบบชั้นสลัดจ์	70 – 95	0.23 – 0.27	60
			ระบบมีตัวกลางยึดเกาะ	70 – 95	0.27 – 0.29	60 – 70

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ มาผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตต่อไป

5.2.2 นำแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees) เป็นเกณฑ์เบื้องต้นในการช่วยตัดสินใจในด้านเทคนิคเพื่อคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน อย่างไรก็ตามการพิจารณาเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียจะต้องวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ควบคู่ไปด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การค้าภายใน, กรม. สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร. 2551. สรุปสถานการณ์สินค้าเกษตรเดือนพฤษภาคม และแนวโน้มเดือนมิถุนายน 2551 [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.dit.go.th/agriculture/product/trend.htm [20 มิถุนายน 2551]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2549. การศึกษาวิจัยหลักเกณฑ์และเงื่อนไขการพิจารณาอนุญาตโรงงานสุรากลั่น. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เจรจาการค้าระหว่างประเทศ, กรม. (ม.ป.ป.). อุตสาหกรรมอาหารแปรรูป [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.thaifta.com/thaifta/Portals/0/File/vol3Ch_1_Can.doc [21 กรกฎาคม 2551]

ธีรพล วัฒนโกศล. 2548. ฐานข้อมูลระบบผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พาณิชย์, กระทรวง. ศูนย์ข้อมูลการค้าระหว่างประเทศ. 2551. การค้าระหว่างประเทศของไทยในระยะ 5 เดือนแรกของปี 2551 [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://otp.moc.go.th/modules/-datacenter [3 กรกฎาคม 2551]

พาณิชย์, กระทรวง. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2551. การส่งออกสินค้าสำคัญของไทยเรียงตามมูลค่า ปี 2546 – 2550 (มกราคม - ธันวาคม) [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www2.ops3.moc.go.th/export/recode_export_rank/report.asp [3 กรกฎาคม 2551]

พีรพงษ์ ทิพยาทร. 2530. การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำโดยระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรพรรณ พาณิชย์นำสิน และ ชินพงศ์ วังใน. 2545. ผลของกรดโพรพิออนิกต่อการย่อยสลายในกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพของถังหมักเปลือกสับปะรดที่อุณหภูมิปานกลาง [ระบบออนไลน์]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี : สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ. แหล่งที่มา : http://www.kmutt.ac.th/rippc/pron27.htm [20 กรกฎาคม 2551]

มาลี วิศวาจารย์. 2531. การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. สำนักงานเทคโนโลยีน้ำและการจัดการมลพิษโรงงาน. 2550. คู่มือการควบคุมและป้องกันมลพิษอากาศสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ. (ม.ป.ท.)

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2549. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพเชิงเศรษฐนิเวศน์อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง. (ม.ป.ท.).

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2549. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพเชิงเศรษฐนิเวศน์อุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม. (ม.ป.ท.).

สุรพล สายพานิช. 2518. การใช้เครื่องกรองวิธีแอนแอโรบิคเพื่อกำจัดน้ำเสียจากโรงงานทำแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมพงษ์ ใจมา. 2549. การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ [ระบบออนไลน์]. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. แหล่งที่มา : http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/documents.php [4 สิงหาคม 2551]

สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ และ มาลี วิศวาจารย์. 2529. การศึกษาและวิเคราะห์สถานภาพและความต้องการในงานวิจัยแบะพัฒนาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรมจากของเสียในโรงงานสุราในประเทศไทย. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรุณี ศุภสินสาธิต. 2539. ก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสียโรงเบียร์ด้วยระบบ UASB. วารสารสิ่งแวดล้อม 1 (5) : 30-36.

อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และคณะ. 2551. คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมยางพารา. กรุงเทพมหานคร : ดี เอ็ม พริ้นติ้ง.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2551. ข้อมูลโรงงานตามประเภทอุตสาหกรรม [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/data/-Download_ fac2.asp [23 กรกฎาคม 2551]

ภาษาอังกฤษ

Ahn, J.H., and Forster, C.F. 2002. A comparison of mesophilic and Thermophilic anaerobic upflow filters treating paper-pulp-liquors. Journal of Process Biochemistry 38 : 257-262.

Ahn, J.H., and Forster, C.F. 2000. Kinetic analyses of the operation of mesophilic and thermophilic anaerobic filter treating a simulated starch wastewater. Journal of Process Biochemistry 36 : 19-23.

Andreottola, G., Foladori, P., Nadelli, P., and Denicolo, A. 2005. Treatment of winery wastewater in a full-scale fixed bed biofilm reactor. Journal of Water Science and Technology 51 (1) : 71-79.

APHA, AWWA, WPCF. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington, DC. : American Public Health Association.

Barber, W.P., and Stuckey, D.C. 1999. The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: a review. Journal of Water Resource 33 (7) : 1559-1578.

Boopathy, R., and Tilche, A. 1991. Anaerobic digestion of high strength molasses wastewater using hybrid anaerobic baffled reactor. Journal of Water Resource 25 (7) : 785-790.

Borja, R., and Banks, C.J. 1995. Comparison of anaerobic filter an anaerobic fluidized bed reactor treating palm oil mill effluent. Journal of Process biochemistry 30 (6) : 511-521.

Buzzini, A.P., Gianotti, E.P., and Pires, E.C. 2005. UASB performance for bleached and unbleached kraft pulp synthetic wastewater treatment. Journal of Chemosphere. 59 : 55-61.

Buzzini, A.P., and Pires, E.C. 2007. Evaluation of a upflow anaerobic sludge blanket reactor with partial recirculation of effluent used to treat wastewaters from pulp and paper plants. Journal of Bioresource Technology. 98 : 1838-1848.

Carliell, C.M., and Wheatley, A.D. 1997. Metal and phosphate speciation during anaerobic digestion of phosphorus rich sludge. Journal of Water Science and Technology 36 (6-7) : 191-200.

Caixeta, C.E.T., Cammarota, M.C., and Xavier, M.F. 2002. Slaughterhouse wastewater treatment: Evaluation of a new three-phase separation system in a UASB reator. Journal of Bioresource Technology 81 : 61-69.

Chrobak, R., and Ryder, R. 2005. Comparison of anaerobic treatment alternatives for brandy distillery process water. Journal of Water Science and Technology 51 (1) : 175-181.

Colin, X., Farinet, J.L., Rojas, O., and Alazard, D. 2007. Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support. Journal of Bioresource Technology 98 : 1602-1607.

Demirel, B., Yenigun, O., and Onay, T.T. 2005. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. Journal of Process biochemistry 40 : 2583-2595.

Field, J. 2002. Anaerobic granular sludge bed reactor technology [Online]. Available from : http://www.uasb.org/discover/agsb.htm [2008, July 14]

Ghaly, A.E. 1996. A comparative study of anaerobic digestion of acid cheese whey and dairy manure in a two-stage reactor. Journal of Bioresource Technology 58 : 61-72.

Grady, C.P.L., Daigger, G.T., and Lim, H.C. 1999. Biological wastewater treatment. 2nd ed. New York : Marcel Dekker.

Golub, A.L. 1997. Decision analysis : an integrated approach. Canada: John Wiley & Sons.

Henze, M., and Harremoes, P. 1983. Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors-a Literature Review. Journal of Water Science and Technology 15 : 1-101.

Kalyuzhnyi, S., de los Santos, L.E. and Martinez, J.R. 1998. Anaerobic treatment of raw and preclarified potato-maize wastewaters in a UASB reactor. Journal of Bioresource Technology 66 : 195-199.

Kalyuzhnyi, S.V., Gladchenko, M.A., Sklyar, V.I., Kizimenko, Ye.S., and Shcherbakov, S.S. 2001. Psychrophilic one- and two-step systems for pre-reatment of winery waste water. Journal of Water Science and Technology 44 (4) : 23-31.

Kalyuzhnyi, S.V., Martinez, E.P., and Martinez, J.R. 1997. Anaerobic treatment of high-strength cheese whey wastewaters in laboratory and pilot UASB- reactors. Journal of Water Science and Technology 60 : 59-65.

Komatsu, T., Hanaki, K., and Matsuo, T. 1991. Prevention of lipid inhibition in anaerobic processes by introducing a two-phase system. Journal of Water Science and Technology 23 : 1189-1200.

Leal, K., Chacin, E., Behling, E., Gutierez, E., and Fernandez, N. 1998. A mesophilic digestion of brewery wastewater in an unheated anaerobic filter. Journal of Bioresource Technology 41: 1173-1178.

Leal, R., Freire, D, Cammarota, M.C., Geraldo, L., and Anna, S.Jr. 2006. Effect of emzymatic hydrolysis oa anaerobic treatment of dairy wastewater. Journal of Process biochemistry 40: 2583-2595.

Lettinga, G., et al. 1983. Design operation and economy of anaerobic treatment. Journal of Water Science and Technology 15 : 177-195.

Ma, A.N., Toh, T.S., and Chua, N.S. 1999. Renewable energy from oil palm industry. Malasia Oil Palm Growers' Council p. 113-126.

Mahmoud, N., Zeeman, G., Gijzen, H., and Lettinga, G. 2003. Solids removal in upflow anaerobic reactors, a review. Journal of Bioresource Technology 90 : 1-9.

Marchaim, U. 1992. Biogas process for sustainable development [Online]. Israel: Agriculture and Consumer Protection. Available from : http://www.fao.org/docrep/t0541e/T0541E00.HTM [2008, July 14]

Metcalf & Eddy. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4th ed. New York : McGraw-Hill.

Moleta, R. 2005. Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion. Journal of Water Science and Technology 51 (1) : 137-144.

Ogejo, J.A., Wen, Z., Ignosh, J. Bendfeldt, E., and Collins, E.R. Jr. 2007. Biomethane Technology [Online]. Virginia State University: Virginia Tech. Available from: http//www.ext.vt.edu/pubs/ageng/442-881/442-881.htm [2008, September 22]

Omil, F., Garrido, J.M., Arrojo, B., and Mendez, R. 2003. Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale. Journal of Water Research 37 : 4099-4108.

Pandey, A., Radhika, L.G., and Ramakrishna, S.V. 1990. Start-up in anaerobic treatment of natural-rubber effluent. Journal of Biological Wastes. 33 : 143-147.

Parr, J. 2006. Anaerobic treatment of municipal wastewater: How appropriate is it for low-income countries? [Online]. Available from : http://www.lboro.ac.uk/well/resources/fact-sheets/-fact-sheets-htm/Anaerobic%20treatment.htm [2008, July 14]

Pirez-Garcia, M., Romero-Garcia, L.I., Rodriguez-Cano, R., and Sales-Marquez, D. 2005. High rate anaerobic thermophilic technologies for distillery wastewater treatment. Journal of Water Science and Technology 51(1) : 191-198.

Pirez-Garcia, M., Romero-Garcia, L.I., Rodriguez-Cano, R., and Sales-Marquez, D. 2005. Effect of the pH influent condition thermophilic treatment of wine-distillery wastewater. Journal of Water Science and Technology 51 (1) : 183-189.

Poh, P.E., and Chong, M.F. 2008. Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment. Online Journal of Bioresource Technology [Online]. Available from : ScienceDirect

Pokhel, D., and Viraraghavan, T. 2004. Treatment of pulp and paper mill wastewater – a review. Journal of Science of the Total Environment 33 : 37-58.

Rajeshwari, K.V., Balakrishnan, A., Kansal, A., Lata, K., and Kishore, V.V.N. 2000. State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews. 4 : 135-156.

Rico, J.L., Garcia, P.A., and Fdz-Polanco, F. 1991. Anaerobic treatment of cheese-production wastewater using a UASB reactor. Journal of Bioresource Technology 37 : 271-276.

Seghezzo, L., Zeeman, G., van Lier, J.B., Hamelers, H.V.M., and Lettinga, G. 1998. A review: The anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. Journal of Bioresource Technology 65 : 175-190.

Speece, R.E. 1996. Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters. Tennessee : Archae Press.

Speece, R.E., and McCarty, P.L. 1964. Nutrient Requirements and Biological Solids Accumulation in Anaerobic Digestion. Advances in Water Pollution Research 2 : 305-322.

Uyanik, S. 2003. A novel anaerobic reactor: Spilt fed anaerobic baffled reactor. Journal of Engineering Environmental Science 27 : 339-345.

Yacob, S., Hassan, M.A., Shirai, Y., Wakisaka, M., and Subash, S. 2006. Baseline study of methane emission from anaerobic ponds of palm oil mill effluent treatment. Journal of Science of the Total Environment 366 : 187-196.

Yilmaz, T., Yuceer, A., and Basibuyuk, M. 2008. A comparison of the performance of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating papermill wastewater. Journal of Bioresource Technology 99 : 156-163.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรม 6 ประเภท

ตาราง ก.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)
1	บริษัท โซนิส สตาร์ช เทคโนโลยี่ จำกัด	1	3,900	4.45	33	2.1	4,370	10,910	3,260	2,720	220	13
		2	3,900	3.66	33	1.7	2,800	7,550	2,000	1,690	290	12
	ค่าเฉลี่ย						**3,585**	**9,230**	**2,630**	**2,205**	**255**	**13**
2	บริษัท แป้งมันกาฬสินธุ์ จำกัด	1	2,500	3.63	35	2.2	15,370	27,840	6,560	5,470	300	52
		2	2,500	3.70	35	2.71	15,000	34,440	7,100	4,400	370	36
	ค่าเฉลี่ย						**15,185**	**31,140**	**6,830**	**4,935**	**335**	**44**
3	บริษัท จันทบุรีสตาร์ช จำกัด	1	3,000	4.30	30	2.40	10,220	21,820	6,920	3,090	270	29
		2	3,000	3.75	30	2.36	11,790	22,370	4,470	5,670	240	37
	ค่าเฉลี่ย						**11,005**	**22,095**	**5,695**	**4,380**	**255**	**33**

ตาราง ก.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)
4	บริษัท อุดรเพิ่มผล จำกัด	1	2,000	3.58	33	2.7	11,300	26,670	5,490	3,960	360	35
		2	2,000	3.91	33	3.20	16,500	31,440	7,450	6,680	360	46
	ค่าเฉลี่ย						**13,900**	**29,055**	**6,470**	**5,320**	**360**	**41**
5	บริษัท อุตสาหกรรมแป้งมันราชสีมา จำกัด	1	3,000	4.10	30	3.7	16,300	28,910	7,320	7,840	460	28
		2	3,000	3.55	30	2.38	10,340	26,830	5,780	8,520	320	36
	ค่าเฉลี่ย						**13,320**	**27,870**	**6,550**	**8,180**	**390**	**32**
6	บริษัท ที เอช แพลเล็ท จำกัด	1	4,800	4.05	30	2.5	7,650	11,330	5,090	6,900	290	24
	ค่าเฉลี่ย						**7,650**	**11,330**	**5,090**	**6,900**	**290**	**24**
7	บริษัท ชัยภูมิสตาร์ช จำกัด	1	1,500	4.32	30	4.1	12,300	32,220	10,640	6,880	430	40
		2	1,500	5.00	34	2.7	13,050	32,660	13,820	5,500	410	38
	ค่าเฉลี่ย						**12,675**	**32,440**	**12,230**	**6,190**	**420**	**39**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน
1	บริษัท อำพลฟู้ดส์โพรเซสซิ่ง จำกัด ผลิตกระทิและเครื่องดื่มผลไม้	1	600	5.20	34	0.89	6,800	10,480	3,880	2,780	67	10	1,490
		2	600	4.86	35	0.54	4,400	7,960	2,200	1,260	50	8	980
	ค่าเฉลี่ย						**5,600**	**9,220**	**3,040**	**2,020**	**59**	**9**	**1,235**
2	บริษัท วีแอนด์เคสับปะรดกระป๋อง จำกัด ผลิตสับปะรดกระป๋อง	1	1,000	3.42	32	0.92	12,950	26,540	4,830	690	39	12	100
		2	1,000	3.28	32	0.71	9,400	20,590	4,210	590	45	1	86
	ค่าเฉลี่ย						**11,175**	**23,565**	**4,520**	**640**	**42**	**7**	**93**
3	บริษัท ยูนิคอร์ด จำกัด ผลิตปลาทูน่ากระป๋อง	1	4,000	6.94	39	5.67	3,050	4,400	2,920	1,300	460	23	600
		2	4,000	6.71	40	5.74	3,560	5,080	2,750	1,810	320	29	720
	ค่าเฉลี่ย						**3,305**	**4,740**	**2,835**	**1,555**	**390**	**26**	**660**
4	บริษัท ไวต้าฟู้ดแฟคทอรี่ (1989) จำกัด ผลิตเครื่องดื่มแปรรูปจากผลไม้	1	1,600	4.21	36	4.3	2,380	5,190	1,370	240	31	11	428
		2	1,600	5	35	4	3,010	4,880	2,400	170	19	7	550
	ค่าเฉลี่ย						**2,695**	**5,035**	**1,885**	**205**	**25**	**9**	**489**

ตาราง ก.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน
5	บริษัท สยามราชบุรี อุตสาหกรรม จำกัด ผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้	1	250	6.27	31	2.58	8,600	12,440	10,470	52	6	2	-
		2	250	6.40	30	2	7,500	15,000	8,800	80	5	1.3	-
	ค่าเฉลี่ย						**8,050**	**13,720**	**9,635**	**66**	**6**	**1.5**	**-**
6	บริษัท ทิปโก้ฟู้ดส์ (ประเทศไทย) จำกัด ผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้กระป๋อง	1	2,680	3.98	36	3.6	5,800	11,090	7,050	490	31	1	90
		2	2,680	3.93	36	2.02	6,150	10,670	4,750	710	47	6	47
	ค่าเฉลี่ย						**5,975**	**10,880**	**5,900**	**600**	**39**	**4**	**69**
7	บริษัท ปราณบุรีโฮเตอิ จำกัด ผลิตอาหารและผลไม้กระป๋อง	1	800	4.06	35	0.8	2,930	4,300	3,360	250	25	1	120
		2	800	3.55	35	0.71	1,860	3,260	1,490	130	28	2	70
	ค่าเฉลี่ย						**2,395**	**3,780**	**2,425**	**190**	**27**	**2**	**95**
8	บริษัท อุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องไทย จำกัด ผลิตสับปะรดกระป๋อง	1	2,000	3.90	35	1.1	3,350	6,000	3,620	410	38	4	130
		2	2,000	3.50	35	1.2	5,550	7,780	4,460	350	75	1	165
	ค่าเฉลี่ย						**4,450**	**6,890**	**4,040**	**380**	**57**	**3**	**148**

ตาราง ก.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน
9	บริษัท สยามอุตสาหกรรมการเกษตรสับปะรดและอื่นๆ จำกัด (มหาชน) ผลิตสับปะรดกระป๋อง	1	2,500	4.00	34	0.54	2,260	3,400	670	270	22	4	60
		2	2,500	3.95	34	0.77	2,340	3,220	1,030	270	28	3	72
	ค่าเฉลี่ย						**2,300**	**3,310**	**850**	**270**	**25**	**3**	**66**
10	บริษัท ตรังชัวร์ จำกัด ผลิตเนื้อปลาบดแช่แข็งและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล	1	640	7.01	14	6.6	4,110	7,380	4,430	1,200	490	53	90
		2	640	6.87	12	3.4	4,350	6,550	3,350	1,470	460	36	75
	ค่าเฉลี่ย						**4,230**	**6,965**	**3,890**	**1,335**	**475**	**45**	**90**
11	บริษัท โชติวัฒน์อุตสาหกรรมการผลิต จำกัด ผลิตปลาทูน่ากระป๋อง	1	2,400	6.48	32	4.07	2,390	3,300	1,650	720	350	22	-
		2	2,400	6.50	35	2.15	2,230	4,850	1,980	900	240	13	-
	ค่าเฉลี่ย						**2,310**	**4,075**	**1,815**	**810**	**295**	**18**	**-**
12	บริษัท สยามชัยอาหารสากล จำกัด ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง	1	1,800	6.17	49	2.01	3,250	6,000	4,400	1,480	240	14	-
		2	1,800	6.75	50	4.37	3,660	6,420	2,630	1,050	84	12	-
	ค่าเฉลี่ย						**3,455**	**6,210**	**3,515**	**1,265**	**162**	**13**	**-**

ตาราง ก.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน
13	บริษัท ไทยผลิตภัณฑ์สับปะรดและผลไม้อื่น ๆ จำกัด ผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้และผลไม้แปรรูป	1	1,200	7.37	23	0.5	1,670	3,500	1,520	920	250	7	60
		2	1,200	4.06	25	0.49	1,750	2,180	510	410	220	6	75
	ค่าเฉลี่ย						**1,710**	**2,840**	**1,015**	**665**	**136**	**7**	**60**
14	บริษัท แดรี่พลัส จำกัด ผลิตนมสดพร้อมดื่มยูเอชที	1	1,450	12.14	48	3.42	1,360	1,930	2,380	88	56	4	100
		2	1,450	12.20	40	4.34	1,900	3,680	1,540	240	81	4	75
	ค่าเฉลี่ย						**1,630**	**2,805**	**1,960**	**164**	**69**	**4**	**88**
15	บริษัท ทรอปิคอล แคนนิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ผลิตอาหารทะเลแปรรูปบรรจุกระป๋อง	1	1,500	6.56	22	3.72	1,220	2,480	1,700	400	180	12	-
		2	1,500	6.72	24	1.24	2,290	3,760	1,870	790	280	15	-
	ค่าเฉลี่ย						**1,755**	**3,120**	**1,785**	**595**	**230**	**14**	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน
1	บริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จำกัด	1	375	4.65	74	13.8	60,720	102,000	35,400	34,700	530	150	5,400
		2	375	4.58	78	13.3	43,700	100,420	18,310	61,800	1,120	200	-
	ค่าเฉลี่ย						**52,210**	**101,210**	**26,855**	**48,250**	**825**	**175**	**5,400**
2	บริษัท ไทยทาโลว์แอนด์ออยล์ จำกัด	1	352	5.00	80	13.1	63,750	107,760	22,750	51,100	840	160	6,050
		2	352	4.60	80	13.91	56,810	110,120	32,710	56,400	1,430	180	-
	ค่าเฉลี่ย						**60,280**	**108,940**	**27,730**	**53,750**	**1,135**	**170**	**6,050**
3	บริษัท สหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)	1	475	5.00	61	10.9	58,330	91,890	30,820	32,350	480	98	7,950
		2	475	4.62	62	11.8	44,060	104,420	32,330	30,200	980	82	-
	ค่าเฉลี่ย						**51,195**	**98,155**	**31,575**	**31,275**	**730**	**90**	**7,950**
4	บริษัท ศรีเจริญปาล์มออยล์ จำกัด	1	515	5.00	60	10.7	38,750	80,000	22,010	25,900	500	88	4,500
		2	515	4.59	61	10.65	27,600	53,330	25,310	24,100	840	120	-
	ค่าเฉลี่ย						**33,175**	**66,665**	**23,660**	**25,000**	**670**	**104**	**4,500**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน
5	บริษัท สยามโมเดิร์นปาล์ม จำกัด	1	452	5.00	78	8.7	44,870	96,660	32,750	20,750	640	120	3,600
		2	452	4.64	76	9.93	36,700	80,800	30,920	24,300	500	110	-
	ค่าเฉลี่ย						**40,785**	**88,730**	**31,835**	**22,525**	**570**	**115**	**3,600**
6	บริษัท เอส.พี.โอ.อะโกรอินดัสตรีส์ จำกัด	1	480	5.00	80	13.5	54,730	88,880	23,450	50,640	900	170	4,600
		2	480	4.56	81	14.81	46,000	89,460	15,070	63,400	1,480	160	-
	ค่าเฉลี่ย						**50,365**	**89,170**	**19,260**	**57,020**	**1,190**	**165**	**4,600**
7	บริษัท ตรังน้ำมันปาล์ม จำกัด	1	380	5.00	62	9.7	29,370	43,390	18,830	19,600	340	80	3,250
		2	380	4.00	61	9.2	28,500	44,440	23,900	14,400	620	100	-
	ค่าเฉลี่ย						**28,935**	**43,915**	**21,365**	**17,000**	**480**	**90**	**3,250**
8	บริษัท นามหงส์น้ำมันปาล์ม จำกัด	1	365	4.63	62	11.6	44,370	74,120	27,630	29,300	620	150	2,770
		2	365	4.20	63	12.61	47,000	77,570	40,520	14,400	760	120	-
	ค่าเฉลี่ย						**45,685**	**75,845**	**34,075**	**21,850**	**690**	**135**	**2,770**

ตาราง ก.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน
9	บริษัท ยูนิปาล์มอินดัสทรี จำกัด	1	1,035	3.83	70	9.15	47,880	78,990	23,970	16,150	560	96	8,100
		2	1,035	4.40	70	10.3	33,250	66,670	26,940	23,130	760	100	-
	ค่าเฉลี่ย						**40,565**	**72,830**	**25,455**	**19,640**	**660**	**98**	**8,100**
10	บริษัท ท่าฉางสวนปาล์มน้ำมันอุตสาหกรรม จำกัด	1	221	4.46	81	12.1	41,000	99,000	35,510	35,500	980	90	6,300
		2	221	4.38	80	13.11	43,500	95,930	44,780	15,450	880	150	-
	ค่าเฉลี่ย						**42,250**	**97,465**	**40,145**	**25,475**	**930**	**120**	**6,300**
11	ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด	1	480	5.00	62	13.5	57,000	97,590	19,330	54,000	760	226	4,710
		2	480	4.47	62	12.3	55,880	91,110	34,790	34,700	990	150	-
	ค่าเฉลี่ย						**56,440**	**94,350**	**27,060**	**44,350**	**875**	**188**	**4,710**
12	บริษัท ล่ำสูง (ประเทศ) จำกัด (มหาชน)	1	195	3.97	65	10.1	33,670	82,570	21,820	22,800	420	120	6,900
		2	195	4.30	62	11	38,250	87,260	39,210	15,450	480	120	-
	ค่าเฉลี่ย						**35,960**	**84,915**	**30,515**	**19,125**	**450**	**120**	**6,900**

ตาราง ก.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน
13	สหกรณ์นิคมหลังสวน จำกัด	1	1,220	3.98	52	7.2	34,500	72,720	16,490	25,700	1,400	170	13,800
		2	1,220	3.88	50	7.8	31,750	88,890	17,860	18,400	640	130	-
	ค่าเฉลี่ย						**33,125**	**80,805**	**17,175**	**22,050**	**1,020**	**150**	**13,800**
14	บริษัท สวีอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด	1	240	4.26	54	7.9	31,250	83,030	16,880	19,700	110	82	9,500
		2	240	3.84	54	6.94	32,500	59,380	15,430	20,200	630	90	-
	ค่าเฉลี่ย						**31,875**	**71,205**	**16,155**	**19,950**	**370**	**86**	**9,500**
15	บริษัท ทักษิณอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม (1993) จำกัด	1	272	4.65	75	9.5	50,000	90,000	25,930	42,300	1,150	160	1,340
		2	272	4.50	74	10.22	46,000	60,400	30,790	10,000	250	90	-
	ค่าเฉลี่ย						**48,000**	**75,200**	**28,360**	**26,150**	**700**	**125**	**1,340**
16	บริษัท สุขสมบูรณ์ น้ำมันปาล์ม จำกัด	1	157	4.39	70	10.3	58,500	74,560	19,420	43,870	1,250	240	4,950
		2	157	4.48	72	11.6	50,620	82,420	30,270	29,600	1,040	150	-
	ค่าเฉลี่ย						**54,560**	**78,490**	**24,845**	**36,735**	**1,145**	**195**	**4,950**

ตาราง ก.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน
17	บริษัท กรีน กลอรี่ จำกัด	1	240	4.45	62	10.1	29,130	84,440	28,590	8,900	530	98	5,600
		2	240	4.50	63	10.3	40,500	92,000	32,040	15,230	830	140	-
	ค่าเฉลี่ย						**34,815**	**88,220**	**30,315**	**12,065**	**680**	**119**	**5,600**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมสุรา

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)
1	โรงงานสุราบางยี่ขัน	1	1,200	5.70	32	1.21	1,300	20,400	620	135	20	2
		2	1,200	5.18	35	1.1	1,270	18,670	1,350	60	14	3
	ค่าเฉลี่ย						**1,285**	**19,535**	**985**	**98**	**17**	**3**
2	บริษัท องค์การสุรา กรมสรรพสามิต จำกัด (ฉะเชิงเทรา)	1	600	4.00	48	32	44,500	124,800	96,400	21,150	2,350	77
		2	600	4.30	48	37	45,370	130,900	87,020	14,800	1,880	62
	ค่าเฉลี่ย						**44,935**	**127,850**	**91,710**	**17,975**	**2,115**	**70**
3	บริษัท สีมาธุรกิจ จำกัด	1	576	5.00	45	79	49,000	105,600	118,920	29,250	3,010	110
		2	576	4.86	46	110	69,280	169,680	111,770	22,000	2,830	110
	ค่าเฉลี่ย						**59,140**	**137,640**	**115,345**	**25,625**	**2,920**	**110**
4	บริษัท ยูไนเต็ดไวน์เนอรี่ แอนด์ ดิสทิลเลอร์ จำกัด	1	105	5.00	92	27	34,500	95,349	63,333	11,900	1,213	40
		2	105	6.90	90	17.4	45,475	134,400	81,720	19,100	1,890	44
	ค่าเฉลี่ย						**39,988**	**114,875**	**72,527**	**15,500**	**1,552**	**42**

ตาราง ก.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมสุรา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)
5	บริษัท นทีชัย จำกัด	1	550	4.66	64	75	65,000	170,000	118,950	24,200	3,190	130
		2	550	4.41	62	100	56,860	180,070	120,570	17,700	1,450	90
	ค่าเฉลี่ย						**60,930**	**175,035**	**119,760**	**20,950**	**2,320**	**110**
6	บริษัท แสงโสม จำกัด (นครปฐม)	1	340	4.85	90	35.5	45,000	168,720	111,190	11,300	1,480	70
		2	340	4.63	92	18.1	39,600	155,100	79,970	14,300	1,650	54
	ค่าเฉลี่ย						**42,300**	**161,910**	**95,580**	**12,800**	**1,565**	**62**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมกระดาษ

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)
1	บริษัท ปัญจพล พัลพ์ อินดัสตรี้ จำกัด (มหาชน)	1	19,500	5.47	39	1.4	950	1,590	1,670	730	17	1
		2	19,500	7.87	40	1.1	870	3,560	1,180	1,390	48	2
	ค่าเฉลี่ย						**910**	**2,575**	**1,425**	**1,060**	**33**	**1.5**
2	บริษัท โรงงานกระดาษบ้านกลาง จำกัด	1	4,900	7.20	38.5	3.49	1,080	3,360	4,190	2,830	22	0
		2		6.46	37	3.2	1,370	3,280	1,400	710	30	11
	ค่าเฉลี่ย						**1,225**	**3,320**	**2,795**	**1,770**	**26**	**6**
3	บริษัท ไทยเคนเปเปอร์ จำกัด (มหาชน) (กาญจนบุรี)	1	3,000	6.76	41	2.7	2,280	3,360	3,020	1,530	22	1
		2	3,000	6.10	40	3.1	2,370	4,330	3,490	1,240	42	6
	ค่าเฉลี่ย						**2,325**	**3,845**	**3,255**	**1,385**	**32**	**4**
4	บริษัท อินเตอร์แปซิฟิคเปเปอร์ จำกัด	1	3,000	5.33	41	2.8	2,500	4,560	2,850	2,240	34	2
		2	3,000	6.94	40	6.35	2,600	5,600	32,000	3,600	34	3
	ค่าเฉลี่ย						**2,550**	**5,080**	**17,425**	**2,920**	**34**	**3**

ตาราง ก.6 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมกระดาษ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)
5	บริษัท เอเซียคราฟเปเปอร์ จำกัด	1	10,000	5.81	42	2.94	2,300	4,970	4,520	2,280	40	10
		2	10,000	6.76	40	2.7	1,760	3,230	4,270	1,270	17	8
	ค่าเฉลี่ย						**2,030**	**4,100**	**4,395**	**1,775**	**29**	**9**
6	บริษัท มหาชัยคราฟ์เปเปอร์ จำกัด	1	3,500	6.80	38	4.5	640	2,600	5,600	600	14	4
		2	3,500	6.70	40	4.81	840	1,780	5,460	720	20	1
	ค่าเฉลี่ย						**740**	**2,190**	**5,530**	**660**	**17**	**2**
7	บริษัท ไทยเคนเปเปอร์ จำกัด (มหาชน) (ปราจีนบุรี)	1	8,500	6.25	40	3.4	1,550	5,310	3,410	2,850	34	3
		2	9,804	6.32	39.17	2.17	1,250	3,560	2,710	2,040	22	1
	ค่าเฉลี่ย						**1,400**	**4,435**	**3,060**	**2,445**	**28**	**2**
8	บริษัท สยามคราฟท์ อุตสาหกรรม จำกัด	1	13,440	6.92	39	2.32	1,240	2,590	2,430	800	28	1
		2	13,440	7.01	40	1.85	1,430	3,330	2,910	1,270	25	1
	ค่าเฉลี่ย						**1,335**	**2,960**	**2,670**	**1,035**	**27**	**1**

ตาราง ก.6 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมกระดาษ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้า (ms/cm)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)
9	บริษัท นอร์สเค้สคู้ด จำกัด	1	10,000	7.60	40	1.51	950	4,670	1,860	8,440	22	1
		2	10,000	8.11	39	1.37	870	3,400	1,270	4,580	28	1
	ค่าเฉลี่ย						**910**	**4,035**	**1,565**	**6,510**	**25**	**1**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

โคดในการเขียนโปรแกรม Microsoft Excel

```
Private Sub cmdClear_Click()
   ClearForm
End Sub
Private Sub ClearForm()
If ActiveSheet.Name <> "sheet1" Then Worksheets("sheet1").Activate
For Each o In Controls
 Select Case TypeName(o)
 Case "TextBox", "OptionButton"
  o.Value = ""
 End Select
Next o
txtSS.SetFocus
End Sub
Private Sub cmdExit_Click()
   Unload Me
End Sub
Private Sub cmdRun_Click()
   SS1
End Sub
Private Sub SS1()
   If txtSS.Value < 4000 Then
      If txtCOD.Value > 1500 And txtCOD.Value < 60000 Then
         If txtFOG.Value < 1000 Then
            txtRes.Text = _
            "COD Load = " & CODLoad() & "kg/day                                    " & _
            "Anaerobic Attached Growth Process: AF/AFF(OLR1-10kgCOD/m3-d)" & _
            "% COD removal = 70-95%; Effluent COD = " & CODeff2(txtCOD) & "mg/L" & _
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            typeC4(obSta, obInf, obPP) & _"Anaerobic Sludge Blanket Process:" & _
            "   -Low Rate:  Anaerobic Covered lagoon (OLR 0.5-10kgCOD/m3-d)" & _
            "% COD removal = 50-85%; Effluent COD = " & CODeff3(txtCOD) & "mg/L" & _
            typeC3(obSta, obInf, obPP) & _
            "   -High rate: UASB (OLR 5-20kgCOD/m3-d); ABR (OLR 5-20kg/m3-d)" & _
            "% COD removal = 80-95%; Effluent COD = " & CODeff2(txtCOD) & "mg/L" & _
            typeC2(obSta, obInf, obPP)
        ElseIf txtFOG.Value >= 1000 Then
            txtRes.Text = _"COD Load = " & CODLoad() & "kg/day " & _
            "Anaerobic Sludge Blanket Process:  Anaerobic Covered lagoon (OLR 0.5-1.0kg/m3-
d)" & _"% COD removal = 50-85%; Effluent COD = " & CODeff3(txtCOD) & "mg/L" & _
            typeC3(obSta, obInf, obPP)
        End If
      Else
      COD1
      End If
   Else
   SS2
   End If
End Sub
Private Sub SS2()
   If txtSS.Value >= 4000 And txtSS.Value < 6000 Then
      COD1
   Else
   SS3
   End If
End Sub
Private Sub SS3()
   If txtSS.Value >= 6000 Then
      If txtCOD.Value >= 8000 And txtCOD.Value < 180000 Then
         If txtCOD.Value > 80000 Then
```

```
            txtRes.Text = _
            "COD Load = " & CODLoad() & "kg/day                    " & _
            "Anaerobic Contact Reactor" & _
            typeC5(obSta, obPalm, obWhi)
        ElseIf txtCOD.Value <= 80000 Then
            txtRes.Text = _
            "COD Load = " & CODLoad() & "kg/day                    " & _
            "CSTR (OLR~1-6kgCOD/m3-d)" & _
            "Anaerobic Contact Reactor (OLR~1-8kgCOD/m3-d)" & _
            typeC5(obSta, obPalm, obWhi)
        End If
    Else
    txtRes.Text = _
    "Cannot be use" & _
    typeC1
    End If
  Else
  txtRes.Text = _
  "Please in put SS, COD and FOG"
  End If
End Sub
Private Sub COD1()
If txtCOD.Value >= 1500 And txtCOD.Value < 115000 Then
        If txtFOG.Value < 1000 Then
            txtRes.Text = _
            "COD Load = " & CODLoad() & "kg/day                    " & _
            "Anaerobic Sludge Blanket Process:" & _
            "   -Low Rate:  Anaerobic Covered lagoon (OLR 0.5-10kgCOD/m3-d)" & _
            "% COD removal = 50-85%; Effluent COD = " & CODeff3(txtCOD) & "mg/L" & _
            typeC3(obSta, obInf, obPP) & _
            "   -High rate: UASB (OLR 5-20kgCOD/m3-d); ABR (OLR 5-20kg/m3-d)" & _
```

```
            "% COD removal = 80-95%; Effluent COD = " & CODeff2(txtCOD) & "mg/L" & _
            typeC2(obSta, obInf, obPP)
        ElseIf txtFOG.Value >= 1000 Then
            txtRes.Text = _
            "COD Load = " & CODLoad() & "kg/day                                    " & _
            "Anaerobic Sludge Blanket Process:  Anaerobic Covered lagoon (OLR 0.5-1.0kg/m3-
d)" & _"% COD removal = 50-85%; Effluent COD = " & CODeff3(txtCOD) & "mg/L" & _
            typeC3(obSta, obInf, obPP)
        End If
Else
    txtRes.Text = _
    "Cannot be use" & _
    typeC1
End If
End Sub
Public Function CODLoad() As Long
    CODLoad = (txtFlo * txtCOD) / 1000
End Function
Public Function CODeff2(ByVal txtCOD As Long) As Long
    CODeff2 = txtCOD * (1 - 0.9)
End Function
Public Function CODeff3(ByVal txtCOD As Long) As Long
    CODeff3 = txtCOD * (1 - 0.7)
End Function
Public Function CODeff51(ByVal txtCOD As Long) As Long
    CODeff51 = txtCOD * (1 - 0.8)
End Function
Public Function CODeff52(ByVal txtCOD As Long) As Long
    CODeff52 = txtCOD * (1 - 0.6)
End Function
```

```
Public Function CH4pro2(ByVal obSta As Boolean, ByVal obInf As Boolean, ByVal obPP As
Boolean) As Long
    If obSta = True Or obInf = True Then
    CH4pro2 = txtCOD * 0.3 * 0.9
    ElseIf obPP = True Then
    CH4pro2 = txtCOD * 0.25 * 0.8
    End If
End Function
Public Function CH4pro3(ByVal obSta As Boolean, ByVal obInf As Boolean, ByVal obPP As
Boolean) As Long
    If obSta = True Or obInf = True Or obPP = True Then
    CH4pro3 = txtCOD * 0.2 * 0.7
    End If
End Function
Public Function CH4pro4(ByVal obSta As Boolean, ByVal obInf As Boolean, ByVal obPP As
Boolean) As Long
    If obSta = True Then
    CH4pro4 = txtCOD * 0.32 * 0.9
    ElseIf obInf = True Then
    CH4pro4 = txtCOD * 0.31 * 0.9
    ElseIf obPP = True Then
    CH4pro4 = txtCOD * 0.27 * 0.8
    End If
End Function
Public Function CH4pro5(ByVal obSta As Boolean, ByVal obPalm As Boolean, ByVal obWhi
As Boolean) As Long
    If obSta = True Then
    CH4pro5 = txtCOD * 0.3 * 0.8
    ElseIf obPalm = True Then
    CH4pro5 = txtCOD * 0.25 * 0.6
    ElseIf obWhi = True Then
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    CH4pro5 = txtCOD * 0.32 * 0.6
    End If
End Function
Public Function typeC1() As String
    typeC1 = _
    "This wastewater is not suitable treatment by Anaerobic Treatment Process or" & _
    "The Anaerobic Treatment Process is not the suitable system for treating this wastewater" & _
    "Cause:" & _
    "-COD concentrations lower than 1,500 mg/L may produce insuficient" & _
    " quantities of  Methane to heat for production process" & _
    "-COD concentration greater than  180,000 mg/L are need to pre-treatment" & _
    " due to failure system."
End Function
Public Function typeC2(ByVal obSta As Boolean, ByVal obInf As Boolean, ByVal obPP As
Boolean) As String
    If obSta = True Then
    typeC2 = _"Starch wastewater expected" & _
    "CH4 Yeild = 0.24-0.30 m3/kgCOD removed" & _
    "% CH4     = 60-70" & _
    "CH4 productivity =" & CH4pro2(obSta, obInf, obPP) & "m3"
    ElseIf obInf = True Then
    typeC2 = _"Instant-food wastewater expected" & _
    "CH4 Yeild = 0.29-0.33 m3/kgCOD removed" & _
    "% CH4     = 64-88" & _
    "CH4 productivity =" & CH4pro2(obSta, obInf, obPP) & "m3"
    ElseIf obPP = True Then
    typeC2 = _"Pulp and Paper wastewater expected" & _
    "CH4 Yeild = 0.23-0.27 m3/kgCOD removed" & _
    "% CH4     = 60" & _
    "CH4 productivity =" & CH4pro2(obSta, obInf, obPP) & "m3"
    End If
```

```
End Function
Public Function typeC3(ByVal obSta As Boolean, ByVal obInf As Boolean, ByVal obPP As
Boolean) As String
   If obSta = True Then
   typeC3 = _"Starch wastewater expected" & _
   "CH4 Yeild = 0.20-0.25 m3/kgCOD removed" & _
   "% CH4     = 60-70" & _
   "CH4 productivity =" & CH4pro3(obSta, obInf, obPP) & "m3"
   ElseIf obInf = True Then
   typeC3 = _"Instant-food wastewater expected" & _
   "CH4 Yeild = 0.20-0.27 m3/kgCOD removed" & _
   "% CH4     = 64-88" & _
   "CH4 productivity =" & CH4pro3(obSta, obInf, obPP) & "m3"
   ElseIf obPP = True Then
   typeC3 = _"Pulp and Paper wastewater expected" & _
   "CH4 Yeild = 0.20 m3/kgCOD removed" & _
   "% CH4     = 60" & _
   "CH4 productivity =" & CH4pro3(obSta, obInf, obPP) & "m3"
   End If
End Function
Public Function typeC4(ByVal obSta As Boolean, ByVal obInf As Boolean, ByVal obPP As
Boolean) As String
   If obSta = True Then
   typeC4 = _"Starch wastewater expected" & _
   "CH4 Yeild = 0.30-0.35 m3/kgCOD removed" & _
   "% CH4     = 60-75" & _
   "CH4 productivity =" & CH4pro4(obSta, obInf, obPP) & "m3"
   ElseIf obInf = True Then
   typeC4 = _"Instant-food wastewater expected" & _
   "CH4 Yeild = 0.31-0.35 m3/kgCOD removed" & _
   "% CH4     = 68-70" & _
```

```
    "CH4 productivity =" & CH4pro4(obSta, obInf, obPP) & "m3"
    ElseIf obPP = True Then
    typeC4 = _"Pulp and Paper wastewater expected" & _
    "CH4 Yeild = 0.27-0.29 m3/kgCOD removed" & _
    "% CH4     = 60-70" & _
    "CH4 productivity =" & CH4pro4(obSta, obInf, obPP) & "m3"
    End If
End Function
Public Function typeC5(ByVal obSta As Boolean, ByVal obPalm As Boolean, ByVal obWhi As
Boolean) As String
    If obSta = True Then
    typeC5 = _"Starch wastewater expected" & _
     "% COD removal = 60-90%;    Effluent COD = " & CODeff51(txtCOD) & "mg/L" & _
    "CH4 Yeild = 0.24-0.30 m3/kgCOD removed" & _
    "% CH4     = 60-70" & _
    "CH4 productivity =" & CH4pro5(obSta, obPalm, obWhi) & "m3"
    ElseIf obPalm = True Then
    typeC5 = _"Palm oil mill wastewater expected" & _
    "% COD removal = 60%;   Effluent COD = " & CODeff52(txtCOD) & "mg/L" & _
    "CH4 Yeild = 0.25 m3/kgCOD removed" & _
    "% CH4     = 60-70" & _
    "CH4 productivity =" & CH4pro5(obSta, obPalm, obWhi) & "m3"
    ElseIf obWhi = True Then
    typeC5 = _"Whisky wastewater expected" & _
    "% COD removal = 60-80%;    Effluent COD = " & CODeff52(txtCOD) & "mg/L" & _
    "CH4 Yeild = 0.20-0.32 m3/kgCOD removed" & _
    "% CH4     = 60" & _
    "CH4 productivity =" & CH4pro5(obSta, obPalm, obWhi) & "m3"
    End If
End Function
```

ภาคผนวก ค
ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยต้นไม้ตัดสินใจ

ตาราง ค.1 ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังด้วยต้นไม้ตัดสินใจ

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	ซีโอดี (มก./ล.)	TSS (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	ประเภทระบบบำบัด	ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)
1	บริษัท โซนิส สตาร์ช เทคโนโลยี่ จำกัด	3,900	9,230	2,630	2,205	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.24 – 0.30 0.30 – 0.35
2	บริษัท แป้งมันกาฬสินธุ์ จำกัด	2,500	31,140	6,830	4,935	Anaerobic Sludge Blanket Process	80 – 95	0.24 – 0.30
3	บริษัท จันทบุรีสตาร์ช จำกัด	3,000	22,095	5,695	4,380	Anaerobic Sludge Blanket Process	80 – 95	0.24 – 0.30
4	บริษัท อุดรเพิ่มผล จำกัด	2,000	29,055	6,470	5,320	Anaerobic Sludge Blanket Process	80 – 95	0.24 – 0.30
5	บริษัท อุตสาหกรรมแป้งมันราชสีมา จำกัด	3,000	27,870	6,550	8,180	Anaerobic Suspended Growth Process	60 – 90	0.24 – 0.30
6	บริษัท ที เอช แพลเล็ท จำกัด	4,800	11,330	5,090	6,900	Anaerobic Suspended Growth Process	60 – 90	0.24 – 0.30
7	บริษัท ชัยภูมิสตาร์ช จำกัด	1,500	32,440	12,230	6,190	Anaerobic Suspended Growth Process	60 – 90	0.24 – 0.30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.2 ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปด้วยต้นไม้ตัดสินใจ

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	COD (มก./ล.)	TDS (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)
	ประเภทผลิตภัณฑ์ได้แก่ เครื่องดื่มน้ำผักผลไม้แปรรูป และผลไม้กระป๋อง								
1	บริษัท อำพลฟู้ดส์ โพรเซสซิ่ง จำกัด	600	9,220	3,040	2,020	1,235	Anaerobic Sludge Blanket Process : Covered lagoon	50 – 85	0.20 – 0.25
2	บริษัท วีแอนด์เค สับปะรดกระป๋อง จำกัด	1,000	23,565	4,520	640	93	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35
3	บริษัท ไวต้าฟู้ดแฟคทอรี่ (1989) จำกัด	1,600	5,035	1,885	205	489	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35
4	บริษัท สยามราชบุรี อุตสาหกรรม จำกัด	250	13,720	9,635	66	*	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35
5	บริษัท ทิปโก้ฟู้ดส์ (ประเทศไทย) จำกัด	2,680	10,880	5,900	600	69	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35
6	บริษัท อุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องไทย จำกัด	2,000	6,890	4,040	380	148	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.2 ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	COD (มก./ล.)	TDS (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)
7	บริษัท สยามอุตสาหกรรมการเกษตรสับปะรดและอื่นๆ จำกัด	2,500	3,310	850	270	66	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35
8	บริษัท ไทยผลิตภัณฑ์สับปะรดและผลไม้อื่นๆ จำกัด	1,200	2,840	1,015	665	60	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35
	ประเภทผลิตภัณฑ์ได้แก่ ปลาทูน่ากระป๋อง อาหารทะเลแช่แข็ง และอาหารกระป๋องแปรรูป								
9	บริษัท ยูนิคอร์ด จำกัด	4,000	4,740	2,835	1,555	660	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35
10	บริษัท ปราณบุรีโฮเตอิ จำกัด	800	3,780	2,425	190	95	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35
11	บริษัท ตรังชัวร์ จำกัด	640	6,965	3,890	1,335	90	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35
12	บริษัท โชติวัฒน์อุตสาหกรรมการผลิต จำกัด	2,400	4,075	1,815	810	*	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35

ตาราง ค.2 ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	COD (มก./ล.)	TDS (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)
13	บริษัท สยามชัยอาหาร สากล จำกัด	1,800	6,210	3,515	1,265	*	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35
14	บริษัท ทรอปิคอล แคนนิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	1,500	3,120	1,785	595	*	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35
	ประเภทผลิตภัณฑ์ได้แก่ ผลิตภัณฑ์นม								
15	บริษัท แดรี่พลัส จำกัด	1,450	2,805	1,960	164	88	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.29 – 0.33 0.31 – 0.35

* - ปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำผลไม้มีปริมาณน้อยมากจึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.3 ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มด้วยต้นไม้ตัดสินใจ

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	COD (มก./ล.)	TDS (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)
1	บริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จำกัด	375	101,210	26,855	48,250	5,400	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
2	บริษัท ไทยทาโลว์ แอนด์ออยล์ จำกัด	352	108,940	27,730	53,750	6,050	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
3	บริษัท สหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)	475	98,155	31,575	31,275	7,950	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
4	บริษัท ศรีเจริญปาล์มออยล์ จำกัด	515	66,665	23,660	25,000	4,500	Anaerobic Suspended Growth Process : CSTR, Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
5	บริษัท สยามโมเดิร์นปาล์ม จำกัด	452	88,730	31,835	22,525	3,600	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
6	บริษัท เอส.พี.โอ.อะโกรอินดัสตรีส์ จำกัด	480	89,170	19,260	57,020	4,600	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
7	บริษัท ตรังน้ำมันปาล์ม จำกัด	380	43,915	21,365	17,000	3,250	Anaerobic Suspended Growth Process : CSTR, Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
8	บริษัท นามหงส์น้ำมันปาล์ม จำกัด	365	75,845	34,075	21,850	2,770	Anaerobic Suspended Growth Process : CSTR, Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25

ตาราง ค.3 ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	COD (มก./ล.)	TDS (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)
9	บริษัท ยูนิปาล์มอินดัสทรี จำกัด	1,035	72,830	25,455	19,640	6,500	Anaerobic Suspended Growth Process : CSTR, Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
10	บริษัท ท่าฉางสวนปาล์มน้ำมันอุตสาหกรรม จำกัด	221	97,465	40,145	25,475	7,100	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
11	ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด	480	94,350	27,060	44,350	4,710	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
12	บริษัท ล่ำสูง (ประเทศ) จำกัด (มหาชน)	195	84,915	30,515	19,125	6,900	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
13	สหกรณ์นิคมหลังสวน จำกัด	1,220	80,805	17,175	22,050	13,800	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
14	บริษัท สวีอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด	240	71,205	16,155	19,950	9,500	Anaerobic Suspended Growth Process : CSTR, Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
15	บริษัท ทักษิณ น้ำมันปาล์ม (1993) จำกัด	272	75,200	28,360	26,150	1,340	Anaerobic Suspended Growth Process : CSTR, Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.3 ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	COD (มก./ล.)	TDS (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)
16	บริษัท สุขสมบูรณ์ น้ำมันปาล์ม จำกัด	157	78,490	24,845	36,735	4,950	Anaerobic Suspended Growth Process : CSTR, Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25
17	บริษัท กรีน กลอรี่ จำกัด	240	88,220	30,315	12,065	6,250	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 90	0.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.4 ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมสุราด้วยต้นไม้ตัดสินใจ

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	COD (มก./ล.)	TDS (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)
1	โรงงานสุราบางยี่ขัน	1,200	19,535	985	98	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	60 – 80 60 – 80	0.30 – 0.32 0.30 – 0.32
2	บริษัท องค์การสุรา กรมสรรพสามิต จำกัด (ฉะเชิงเทรา)	600	127,850	91,710	17,975	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 80	0.20 – 0.32
3	บริษัท สีมาธุรกิจ จำกัด	576	137,640	115,345	25,625	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 80	0.20 – 0.32
4	บริษัท ยูไนเต็ดไวน์เนอรี่ แอนด์ ดิสทิลเลอร์ จำกัด	105	114,875	72,527	15,500	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 80	0.20 – 0.32
5	บริษัท นทีชัย จำกัด	550	175,035	119,760	20,950	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 80	0.20 – 0.32
6	บริษัท แสงโสม จำกัด (นครปฐม)	340	161,910	95,580	12,800	Anaerobic Suspended Growth Process : Anaerobic Contact Reactor	60 – 80	0.20 – 0.32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.5 ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมกระดาษด้วยต้นไม้ตัดสินใจ

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	COD (มก./ล.)	TDS (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)
1	บริษัท ปัญจพล พัลพ์ อินดัสตรี้ จำกัด (มหาชน)	19,500	2,575	1,425	1,060	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.23 – 0.27 0.27 – 0.29
2	บริษัท โรงงานกระดาษบ้านกลาง จำกัด	4,900	3,320	2,795	1,770	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.23 – 0.27 0.27 – 0.29
3	บริษัท ไทยเคนเปเปอร์ จำกัด (มหาชน) (กาญจนบุรี)	3,000	3,845	3,255	1,385	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.23 – 0.27 0.27 – 0.29
4	บริษัท อินเตอร์แปซิฟิคเปเปอร์ จำกัด	3,000	5,080	17,425	2,920	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.23 – 0.27 0.27 – 0.29
5	บริษัท เอเซียคราฟเปเปอร์ จำกัด	10,000	4,100	4,395	1,775	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.23 – 0.27 0.27 – 0.29
6	บริษัท มหาชัยคราฟเปเปอร์ จำกัด	3,500	2,190	5,530	660	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.23 – 0.27 0.27 – 0.29
7	บริษัท ไทยเคนเปเปอร์ จำกัด (มหาชน) (ปราจีนบุรี)	8,500	4,435	3,060	2,445	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.23 – 0.27 0.27 – 0.29

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.5 ผลจากการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมกระดาษด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	อัตราการไหล (ลบ.ม/วัน)	COD (มก./ล.)	TDS (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)
8	บริษัท สยามคราฟท์ อุตสาหกรรม จำกัด	13,440	2,960	2,670	1,035	Anaerobic Sludge Blanket Process Anaerobic Attached Growth Process	80 – 95 70 – 95	0.23 – 0.27 0.27 – 0.29
9	บริษัท นอร์สเค้สคู้ด จำกัด	10,000	4,035	1,565	6,510	ต้องกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยออกก่อนจึงสามารถใช้ - Anaerobic Sludge Blanket Process - Anaerobic Attached Growth Process	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวผการัตน์ พรหมอยู่ เกิดวันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ.2525 ที่โรงพยาบาลเชียงคำ จังหวัดพะเยา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547 ปัจจุบันทำงานเป็นวิศวกรสิ่งแวดล้อมที่บริษัท โปรเกรสเทคโนโลยีคอนซัลแท็นส์ จำกัด ที่อยู่ปัจจุบัน 130/2 ถนนศักดาบรรณกิจ หมู่ที่ 15 ตำบลหย่วน อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา 56110

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย