



## รายงานการวิจัย

การบำบัดน้ำกากส่าจากการผลิตสุราพื้นบ้านด้วย  
ระบบแอนแอโรบิกและแอโรบิก

Treatment of Molasses Wastewater from liquor producing  
with Anaerobic-Aerobic System

นุชนาฏ นิลออ Nutchanat Ninlaor  
กมลวรรณ โชติพันธ์ Kamonwan Chotipan  
กุนที ประเสริฐสงค์ Kunnatee Prasertsong

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย  
งบประมาณเงินแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2559

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทผลิตภัณฑ์อาหารกว้างไพศาล จำกัด มหาชน และบริษัทห้องเย็น โซติวัฒน์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยจากระบบเอเอสและเม็ดตะกอน จุลินทรีย์จากระบบยูเอเอสบี นางสุพิศ ช่วยหมู่ ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำกากส่า นางสาววาริรัตน์ ขุนทอง ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ ตลอดจนจัดซื้อสารเคมีที่ใช้ในการ วิเคราะห์คุณภาพน้ำ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้สนับสนุน งบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2559 เพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

นุชนาฏ นิลออ  
กมลวรรณ โซติพันธ์  
กุนที ประเสริฐสงค์  
กันยายน 2560



## การบำบัดน้ำกากส่าจากการผลิตสุราพื้นบ้านด้วยระบบแอนแอรอโรบิกและแอรอโรบิก

นุชนาฏ นิลอ<sup>1</sup> กมลวรรณ โชติพันธ์<sup>1</sup> และ กุณที ประเสริฐสงค์<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำกากส่าจากการผลิตสุราพื้นบ้านโดยใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยระบบแอนแอรอโรบิก และจุลินทรีย์แขวนลอยด้วยระบบแอรอโรบิก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์และผลของระยะเวลาเก็บกักต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำกากส่า ในขั้นแรกเป็นการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอรอโรบิก ทำการทดลองโดยเติมน้ำกากส่าและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพแล้วลงในถังสภาวะไร้อากาศ แล้วเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ พีเอช ซีโอดีของแข็งแขวนลอย และความเข้มข้น ที่ระยะเวลาเก็บกักต่าง ๆ จนกระทั่งประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่าเท่ากับร้อยละ 50 พบว่าความเข้มข้นของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมเท่ากับ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาเก็บกักที่สามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 55 เท่ากับ 564 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และความเข้มข้น เท่ากับร้อยละ 55 70 และ 53 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอรอโรบิกแล้วไปบำบัดต่อด้วยกระบวนการแอรอโรบิก โดยใช้ระบบเอสปีอาร์และจุลินทรีย์แขวนลอยจากระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์ ทำการศึกษาโดยหาปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์และระยะเวลาการปฏิบัติกริยาที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอยที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าเท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลา 1 วัฏจักรของระบบ เอสปีอาร์ในขั้นตอน การเติม : การทำปฏิกิริยา : การตกตะกอน : ระบายน้ำออก : ระยะเวลาพัก เท่ากับ 1 : 21 : 2 : 1 : 1 โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเอสเอส ทีดีเอส และความเข้มข้น เท่ากับ ร้อยละ 57 83 45 และ 13 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการบำบัดน้ำกากส่าโดยการใช้กระบวนการ แอนแอรอโรบิกต่อด้วยกระบวนการแอรอโรบิก มีประสิทธิภาพรวมในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ ร้อยละ 81 จากการศึกษาจะเห็นว่ากระบวนการแอนแอรอโรบิกต่อด้วยกระบวนการแอรอโรบิก สามารถบำบัดน้ำกากส่าให้มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลงได้

**คำสำคัญ :** น้ำกากส่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอย ประสิทธิภาพ ระยะเวลาเก็บกัก

<sup>1</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.สิเกา จ.ตรัง

<sup>2</sup> กลุ่มงานโครงการและจัดการตะกอน สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ สำนักงานระบายน้ำ

## Treatment of Molasses Wastewater from liquor producing with Anaerobic-Aerobic System

Nutchanat Ninlaor<sup>1</sup> Kamonwan Chotipan<sup>1</sup> and Kunnatee Prasertsong<sup>2</sup>

### ABSTRACT

The study on efficiency of molasses wastewater treatment from liquor producing with granular and suspended sludge by anaerobic and aerobic system. The purpose was to study effectiveness the concentration of microorganism and effect of hydraulic retention time (HRT). The system was first operated under anaerobic condition. molasses wastewater and acclimatized granular sludge were put in anaerobic reactor. The samples were kept in anaerobic condition and collected them at the difference time to analyzed pH COD TSS and Color, until COD removal efficiency was 50%. The results showed that the concentration of granular sludge was 10,000 mg/L. The hydraulic retention time (HRT) was appropriately maintained at 546 hr. The COD, TSS and color removal efficiencies were 55%, 70% and 53%, respectively. After that, a sequencing batch reactor (SBR) was operated with molasses wastewater at difference HRT and mixed liquor suspended sludge (MLSS). The experimental results indicated that the appropriate MLSS was 5,000 mg/L. The SBR cycle consisted of fill ( 1 h), reaction (21 h), settle (2 h), decant (1 h) and idle periods (1 h). The COD, TSS TDS and color removal efficiencies were 57%, 83% 45% and 13%, respectively. The total COD removal efficiencies was 81%. The results indicated that anaerobic and aerobic systems can be decrease the organic concentration in molasses wastewater.

**Keywords** : Molasses, Granular sludge, Suspended sludge, Efficiency, Hydraulic retention time

---

<sup>1</sup>Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang.

<sup>2</sup> Project and sludge management sub-office Water quality management office Department of drainage and sewerage, Bangkok.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	25
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	26
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	27
บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.....	33
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	55
บรรณานุกรม.....	56
ภาคผนวก.....	59



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 : หลักการทำงานของระบบบำบัดใช้อากาศแบบจุลินทรีย์แขวนลอย.....	9
ตารางที่ 1.2 : หลักการทำงานของระบบบำบัดใช้อากาศแบบจุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง.....	10
ตารางที่ 1.3 : หลักการทำงานของระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบจุลินทรีย์แขวนลอย.....	12
ตารางที่ 1.4 : หลักการทำงานของระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบจุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง.....	13
ตารางที่ 2.1 : การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่เหมาะสม ในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยกระบวนการแอโรบิก.....	31
ตารางที่ 2.2 : พารามิเตอร์ วิธีวิเคราะห์ และรายการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	32
ตารางที่ 3.1 : ลักษณะของน้ำกากส่าก่อนการบำบัด.....	33
ตารางที่ 3.2 : ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอยที่เหมาะสม ในการบำบัดน้ำกากส่า.....	45
ตารางที่ 3.3 : ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยระบบเอสปีอาร์ ที่ปริมาณจุลินทรีย์ต่างๆ.....	46
ตารางที่ 3.4 : ผลการศึกษาระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่า.....	50
ตารางที่ 3.5 : ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยระบบเอสปีอาร์ที่ระยะเวลา การทำปฏิกิริยาต่างๆ.....	51
ตารางที่ 3.6 : ผลการศึกษากการบำบัดน้ำกากส่าด้วยกระบวนการแอนแอโรบิกและแอโรบิก.....	54
ตารางผนวกที่ 1 : ผลการปรับสภาพเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	61
ตารางผนวกที่ 2 : ผลการบำบัดน้ำกากส่าที่ปริมาณเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ.....	62
ตารางผนวกที่ 3 : ผลการบำบัดน้ำกากส่าด้วยเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ.....	63

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 : การหมักส่ำ.....	3
ภาพที่ 1.2 : การกลั่นสุรา.....	3
ภาพที่ 1.3 : วิธีการผลิตสุรา และจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา.....	4
ภาพที่ 1.4 : สูตรโครงสร้างของเมลานอยดิน.....	5
ภาพที่ 1.5 : กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกาศ.....	11
ภาพที่ 1.6 : การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์.....	19
ภาพที่ 1.7 : ลักษณะการทำงานของระบบเอสปีอาร์.....	21
ภาพที่ 2.1 : จุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย.....	27
ภาพที่ 2.2 : ลักษณะถังที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย.....	28
ภาพที่ 3.1 : การปรับสภาพเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	34
ภาพที่ 3.2 : ผลของการปรับสภาพเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	34
ภาพที่ 3.3 : การศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่ำ ด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก.....	36
ภาพที่ 3.4 : ผลการบำบัดน้ำกากส่ำที่ปริมาณเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ.....	36
ภาพที่ 3.5 : การศึกษาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่ำ ด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก.....	37
ภาพที่ 3.6 : ค่าพีเอชของน้ำกากส่ำที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ ในการบำบัด ด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก.....	38
ภาพที่ 3.7 : ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ ในการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก.....	40
ภาพที่ 3.8 : ปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ ในการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก.....	41
ภาพที่ 3.9 : ค่าความขุ่นสีและประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ ในการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก.....	42
ภาพที่ 3.10: การบำบัดน้ำกากส่ำด้วยระบบเอสปีอาร์ที่ปริมาณจุลินทรีย์ต่างๆ.....	44
ภาพที่ 3.11: ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ปริมาณจุลินทรีย์ต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์.....	47
ภาพที่ 3.12: ค่าทีเอสเอสและประสิทธิภาพการกำจัดทีเอสเอสที่ปริมาณจุลินทรีย์ต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์.....	47

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.13: ค่าทีดีเอสและประสิทธิภาพการกำจัดทีดีเอสที่ปริมาณจุลินทรีย์ต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์.....	48
ภาพที่ 3.14: ค่าความเข้มข้นและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอที่ปริมาณจุลินทรีย์ต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์.....	48
ภาพที่ 3.15: การบำบัดน้ำกากส่าด้วยระบบเอสปีอาร์ที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ.....	49
ภาพที่ 3.16: ค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์.....	52
ภาพที่ 3.17: ค่าทีเอสเอสและประสิทธิภาพการกำจัดทีเอสเอสที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์.....	52
ภาพที่ 3.18: ค่าทีดีเอสและประสิทธิภาพการกำจัดทีดีเอสที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์.....	53
ภาพที่ 3.19: ค่าความเข้มข้นและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์.....	53





## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการผลิตสุราพื้นบ้านมีอัตราการขยายตัวที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีการอนุญาตให้สามารถผลิตสุราพื้นบ้านได้ตามกฎหมาย โดยในกระบวนการผลิตสุราพื้นบ้านจะใช้กากน้ำตาล (Molasses) ซึ่งได้จากการผลิตน้ำตาลทรายเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการหมัก โดยในกระบวนการหมักจะเกิดน้ำทิ้งหรือเรียกว่า น้ำกากส่าออกมา ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง มีกลิ่นคล้ายน้ำตาลไหม้ และมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งมาจากคาร์ราเมลของน้ำตาลต่าง ๆ ที่สัมผัสกับความร้อนมากเกินไป โดยกระบวนการนี้ยังทำให้คาร์ราเมลเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันอีกด้วย สารคาร์ราเมลจึงมีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยทั่วไปเรียกสารประกอบนี้ว่า เมลานอยซินน้ำตาล (Tsiopstias et al., 2016) ซึ่งย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก ดังนั้นเมื่อปล่อยน้ำเสียเหล่านี้สู่แหล่งน้ำสาธารณะ ก็จะทำให้แหล่งน้ำนั้นมีสีน้ำตาลและมีความสกปรกสูง ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำ โดยสีน้ำตาลเข้มจะไปบดบังแสงสว่างไม่ให้ส่องลงไปใต้น้ำ ทำให้พืชใต้น้ำสังเคราะห์แสงไม่ได้ และปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำจะลดลง (FitzGibbon et al., 1998) ทำให้คุณภาพน้ำมีค่าต่ำไม่สามารถนำมาอุปโภค บริโภคได้

การบำบัดน้ำกากส่าสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้ราดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น การทำบ่อเก็บกักและลานตาก การทำปุ๋ยหมัก การใช้เป็นอาหารสัตว์ และนำมาเป็นอาหารปลา แต่วิธีการดังกล่าวก็ยังส่งผลกระทบต่อประชาชนในบริเวณใกล้เคียง การกำจัดด้วยวิธีการที่กล่าวมาจึงไม่เหมาะสม นักวิจัยหลายท่านจึงทำการศึกษการบำบัดน้ำกากส่าทางชีวภาพ ซึ่งเป็นการบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก และแอโรบิก เช่น ระบบยูเอเอฟ ระบบยูเอเอสบี ระบบบึงประดิษฐ์ ระบบเอสปีอาร์ เป็นต้น โดยระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิก หรือแบบไม่ใช้อากาศ จะใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ประกอบด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ อาศัยอยู่ด้วยกัน และมีน้ำหนักมาก ทำให้จุลินทรีย์อยู่ในระบบได้โดยไม่ต้องมีตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะ ซึ่งน้ำกากส่าจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนั้นน้ำกากส่าที่ผ่านออกมาจากถังหมักจะมีค่าพีเอชเป็นกลาง และสามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากการผลิตสุราได้ค่อนข้างมากถึงร้อยละ 90 (Satyawali et al., 2008) แต่ความสกปรกของน้ำก็ยังมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนด จึงนิยมทำการบำบัดต่อด้วยด้วยกระบวนการแอโรบิก หรือการใช้อากาศ ซึ่งเป็นการบำบัดที่ได้ประสิทธิภาพค่อนข้างสูง

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจจะใช้ระบบแอนแอโรบิกโดยใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำกากส่า จากนั้นจึงบำบัดต่อด้วยระบบแอโรบิกด้วยระบบเอสปีอาร์โดยใช้จุลินทรีย์แขวนลอยจากระบบ เอเอสแบบกวนสมบูรณ์ โดยในการศึกษาจะหาระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) และปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังบำบัดที่เหมาะสมเพื่อให้การบำบัดน้ำกากส่ามีประสิทธิภาพสูงที่สุด เพื่อให้ น้ำที่ปล่อยออกไปมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด และอาจนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ได้มากขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

## 1.2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1.2.1 สุราพื้นบ้าน

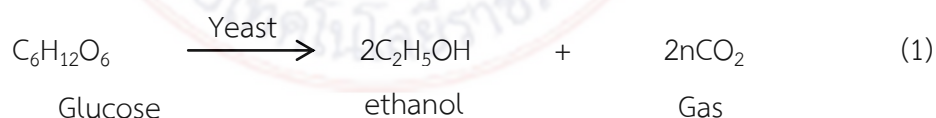
#### 1.2.1.1 ความหมายของสุราพื้นบ้าน

สุราพื้นบ้าน เป็นเครื่องดื่มที่เกิดจากภูมิปัญญาไทยแต่โบราณมีหลายชนิด และเรียกชื่อต่างๆ กัน เช่น อุ กะแช่ สาโท น้ำขาว น้ำแดง น้ำตาลเมา เป็นต้น พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525 ได้ให้ความหมายของคำต่างๆ ไว้ดังนี้ (เจริญ, 2554)

- 1) กะแช่ น้ำเมามากแช่เชื้อ แต่ยังมีได้กลั่นเป็นสุรา
- 2) น้ำขาว หมายถึง น้ำเมาชนิดหนึ่ง ทำด้วยข้าวเหนียวหนึ่งคลูกกับแป้งเหล้าซึ่งเป็นเชื้อหมักไว้จนมีน้ำขุ่นขาว
- 3) น้ำจันท์ หมายถึง เหล้า
- 4) น้ำตาลเมา น้ำตาลมะพร้าว กรองมาใหม่ๆ ยังไม่ได้เคี้ยว เรียกว่าน้ำตาลสดถ้าต้มให้เดือด เรียกว่า น้ำตาลลวกถ้าใส่เปลือกตะเคียน มะเกลือหรือเคี้ยวมะลาหมักไว้ระยะหนึ่งจนมีแอลกอฮอล์กินแล้วเมา เรียกว่า น้ำตาลเมา
- 5) น้ำเมา หมายถึง น้ำที่ต้มแล้วทำให้มีน้ำเมา ได้แก่ สุราและเมรัย เป็นต้น
- 6) เมรัย เมรย น้ำเมาที่เกิดจากการหมักหรือแช่ น้ำเมาที่ไม่ได้กลั่น
- 7) สุรา น้ำเมาที่กลั่นแล้ว
- 8) สุราบาน น้ำเหล้า
- 9) สาโท น้ำขาว น้ำเมาที่ยังไม่ได้กลั่น
- 10) อุ น้ำเมาชนิดหนึ่ง ใช้ปลายข้าวและกลบผสมกับแป้งเชื้อ

#### 1.2.1.2 การผลิตสุราพื้นบ้าน

การหมักแอลกอฮอล์โดยทั่วไปเป็นการหมักโดยใช้ยีสต์ *Saccharomyces sp.* หรือหมักเชื้อกับสารเคมีที่จำเป็น เช่น แอมโมเนีย ฟอสเฟต เป็นการหมักในสภาพที่ไม่ต้องการอากาศ ตามทฤษฎีแล้วยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 51.10 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 48.90 โดยน้ำหนักของน้ำตาล ซึ่งวัตถุดิบในการผลิตคือ ข้าวเหนียว และกากน้ำตาลที่มีความหวานประมาณ 45.55 องศาบริกซ์โดยน้ำหนัก นำมาหมักในถังด้วยอัตราความเข้มข้นที่เหมาะสม (มาลี, 2530) จะได้สมการที่ 1 ดังนี้



กระบวนการผลิตสุราขาวและสุราผสม แบ่งเป็นระบบต่างๆ มีรายละเอียด ดังนี้

1) ระบบการหมักสา เป็นระบบที่นำกากน้ำตาลซึ่งมีความหวาน 45 - 55 องศาบริกซ์ มาเจือจางด้วยน้ำให้ความหวานลดลงเหลือ 18 - 20 องศาบริกซ์ เติมเชื้อยีสต์และสารอาหารอื่น ๆ ที่จำเป็น เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ การหมักจะทำในถังหมักโดยใช้เวลาหมักประมาณ 3 วัน ก็จะได้แอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 10 - 11 โดยปริมาตร ขั้นตอนนี้สิ่งที่ได้เรียกว่า น้ำสา การหมักสา ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 การหมักสา

2) ระบบการกลั่นสุรา เป็นการนำน้ำสาไปกลั่นเพื่อให้ได้น้ำสุราที่มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 1.2 เป็นการกลั่นครั้งแรกได้สุราที่มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 60 - 70 โดยปริมาตร สำหรับทำสุราขาว และเมื่อเอาสุราขาวไปกลั่นซ้ำอีก จะได้สุราขาวสามทับหรือสุราที่มีแอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 95 โดยปริมาตร ใช้สำหรับทำเป็นสุราผสม ซึ่งปัจจุบันระบบการกลั่นเป็นแบบ continuous process โดยใช้ระบบ indirect steam และมีระบบการแยกสารที่ให้โทษต่าง ๆ เช่น fuel oil ออกเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค น้ำสาที่กลั่นแอลกอฮอล์ออกไปแล้วจะได้น้ำเสียที่เกิดขึ้นเรียกว่า น้ำกากสา



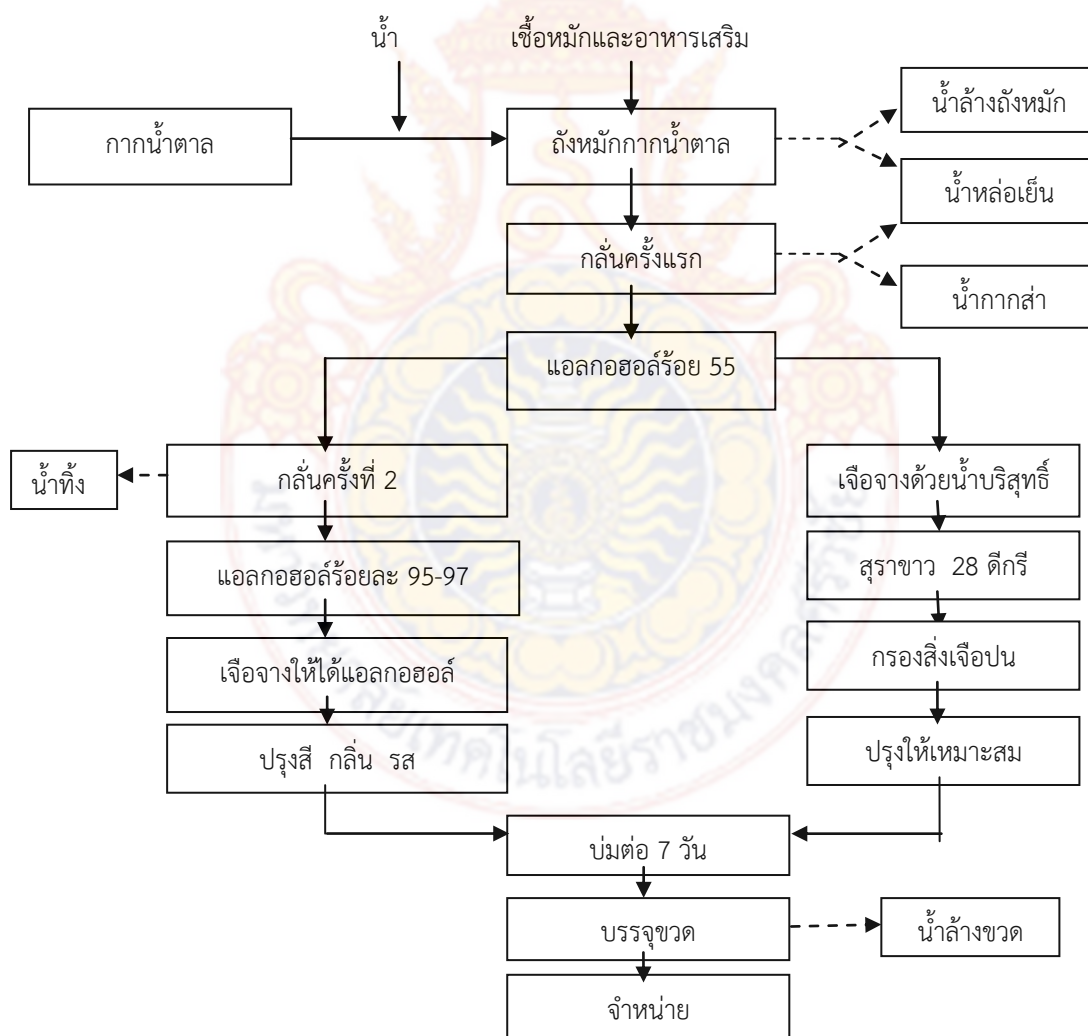
ภาพที่ 1.2 การกลั่นสุรา

3) ระบบการปรุงสุรา มี 2 ลักษณะ คือ

ก) การปรุงสุราขาว เป็นการนำสุราขาวที่มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 60-70 มาเจือจางเป็นสุราขาวที่ตีกรีต่าง ๆ เช่น 28 30 และ 35 ตีกรี โดยเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์ผสมปรุงแต่ง กรองสิ่งเจือปนออก และบ่มในถังรอการบรรจุ

ข) การปรุงสุราผสม เป็นการนำแอลกอฮอล์มาผสมปรุงแต่งโดยเติมส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น สี สมุนไพร เป็นต้น แล้วเจือจางให้มีปริมาณแอลกอฮอล์ที่ตีกรีต่าง ๆ เช่น 30 ตีกรี และ 35 ตีกรี กรองสีเจือปนออก และบ่มในถังรอการบรรจุ

4) ระบบการบรรจุสุรา เป็นการบรรจุน้ำสุราที่ผสมปรุงแต่งลงในขวด ซึ่งมี 3 ขั้นตอน คือ การล้างขวด เป็นการนำขวดมาผ่านการล้างให้สะอาด แล้วบรรจุด้วยเครื่องบรรจุสุราให้ได้ปริมาณตามที่กำหนดและทำการปิดฝา จากนั้นทำการปิดฉลากด้วยเครื่องปิดฉลาก - ปิดแสตมป์สุราที่บรรจุน้ำสุรารวมทั้งปิดฝาแล้วจะเข้าสู่ระบบนี้เพื่อปิดฉลากแสดงชนิดของสุราและเพื่อปิดแสตมป์ การผลิตสุราพื้นบ้าน แสดงดังภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 วิธีการผลิตสุรา และจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา  
แหล่งที่มา : มาลี (2530)

## 1.2.2 น้ำกากสำ

### 1.2.2.1 ลักษณะของน้ำกากสำ

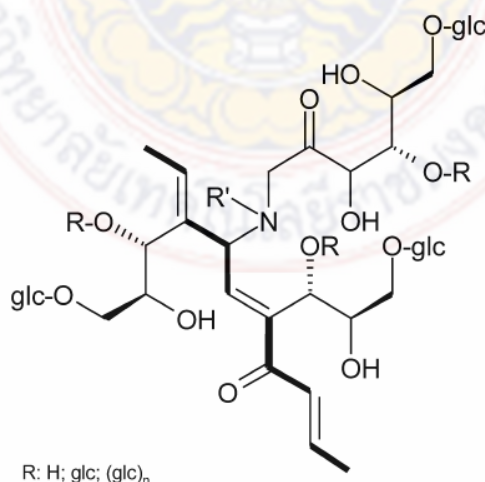
น้ำกากสำเป็นน้ำเสียที่ได้มาจากการผลิตสุราพื้นบ้าน ซึ่งใช้กากน้ำตาลและข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบในการผลิต มาจากขั้นตอนการกลั่นสุรา น้ำกากสำจะอยู่ในรูปของเหลวสีน้ำตาล โดยมีสารอาหารสำหรับพืชในปริมาณเพียงพอที่จะนำไปเป็นปุ๋ยหรืออาหารได้

สีน้ำตาลเข้มในน้ำกากสำ เกิดจากสองสาเหตุ คือ เกิดจากสีของคาราเมลในน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่เหลือในกากน้ำตาลที่ยีสต์ไม่ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ เป็นสารที่ไม่มีธาตุไนโตรเจน และเกิดจากสารเมลานอยดิน ดังภาพที่ 1.4 ซึ่งเป็นสารที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการรวมตัวระหว่างน้ำตาลชนิดต่าง ๆ กับกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ภายใต้อุณหภูมิสูง โดยผ่านกระบวนการปฏิกิริยาบราวน์นิ่ง (Browning Reaction) ซึ่งมีสีเหลืองถึงน้ำตาลเข้ม และมีผลทำให้กากน้ำตาลและน้ำกากสำมีสีน้ำตาลเข้มด้วย สารนี้เป็นสารที่ย่อยสลายได้ยาก จึงเป็นปัญหาในการกำจัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้พบว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตที่แตกต่างกันก็ทำให้ได้น้ำเสียน้ำกากสำที่มีสีและอัตราส่วน บีโอดีต่อซีโอดี (BOD/COD) แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนี้

1) วัตถุดิบเป็นกากน้ำตาล จะมีน้ำกากสำสีเข้ม และมีค่า BOD/COD ต่ำ อยู่ระหว่าง 0.33 – 0.5 แสดงว่าน้ำเสียนีมีส่วนประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก อยู่สูง

2) วัตถุดิบเป็นข้าวเหนียว จะมีน้ำกากสำสีขุ่น และมีค่า BOD/COD สูงกว่าอยู่ระหว่าง 0.5 – 0.73 แสดงว่าน้ำเสียนีมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่ง่ายต่อการย่อยสลายทางชีวภาพอยู่สูง

3) วัตถุดิบเป็นน้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลจากหรือน้ำตาลโตนด น้ำเสียน้ำกากสำจะมีสีน้ำตาลใส และมีสภาพเป็นกรดสูง (ค่า pH อยู่ระหว่าง 1.85 – 3.18) และมีค่า BOD/COD สูงมากอยู่ระหว่าง 0.61 – 0.78 แสดงว่าน้ำเสียนีมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ง่ายต่อการสลายทางชีวภาพอยู่สูง (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 1.4 สูตรโครงสร้างของเมลานอยดิน

### 1.2.2.2 ประโยชน์ของน้ำกากส่า

#### 1) การใช้น้ำกากส่าโดยตรงทางเกษตร (Direct Agricultural Use)

เนื่องจากน้ำกากส่ามีคุณค่าอาหารหลัก (N, P, K) อยู่บ้าง จึงนำไปใช้โดยตรงทางการเกษตร โดยการบรรทุกรถไปใส่ในนาข้าว และพืชผลต่าง ๆ ล่วงหน้าในฤดูแล้งในอัตราส่วนที่เหมาะสม เมื่อฝนตก ทำการไถโดยรอบให้น้ำเสียคลุกเคล้าในดิน แม้ค่า pH ในน้ำกากส่าจะเป็นกรดบ้างก็ตาม แต่ในดินมี Buffering Capacity แล้วประกอบกับปริมาณน้ำกากส่าที่ใช้ก็น้อย จึงไม่ทำให้เกิดผลเสียหายต่อพืช อัตราส่วนการใช้น้ำกากส่าสดประมาณ 10–50 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ของนาข้าว แล้วแต่ชนิดของข้าว นอกจากนั้นยังมีการใช้กับพืชผักสวนครัว ไม้ประดับ ไม้ผล และไม้ยืนต้น ก็พบว่าได้ผลดี ปัญหาโลหะหนักและสารพิษในน้ำกากส่าและกากส่าแห้งมีในระดับต่ำมากจนไม่เกิดผลเสียหายต่อพืช และแม้ว่าจะใช้น้ำกากส่าในอัตราส่วนสูงเป็น 4 – 5 เท่าของอัตราปกติก็ไม่พบว่าเกิดปัญหากับพืชแต่อย่างใด ตรงกันข้ามกลับได้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น

#### 2) การใช้น้ำกากส่าราดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น (Road Spray)

วิธีนี้เป็นไปตามความต้องการของท้องถิ่น น้ำกากส่าในรถบรรทุกขนาด 12 ลูกบาศก์เมตร จะราดถนนได้ไกล 0.5 กิโลเมตร สำหรับถนนกว้าง 8 เมตร ไม่มีฝุ่นและปัญหากลิ่นเหม็น เพราะน้ำกากส่าสดจะมีกลิ่นหอมของน้ำตาลไหม้ จะแห้งภายใน 3 - 4 ชั่วโมง ข้อเสีย คือ ใช้ได้เฉพาะฤดูแล้ง

#### 3) การใช้น้ำกากส่าในการเลี้ยงปลา (Fish Farming)

ได้นำน้ำกากส่าไปทดลองในบ่อเลี้ยงปลาชนิดจุ่มจำนวน 12 บ่อ แต่ละบ่อมีขนาดยาว 20 ม. กว้าง 10 เมตร ลึก 1 เมตร ใช้น้ำกากส่าอัตราส่วนต่าง ๆ และพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมทำให้ปลาเจริญเติบโตมากที่สุดอยู่ที่ 600 พีพีเอ็ม โดยปริมาตร หรือประมาณ 1.0 ลูกบาศก์เมตรน้ำกากส่าต่อ 2 อาทิตย์ สำหรับบ่อเลี้ยงปลาขนาด 1 ไร่ ลึก 1.0 เมตร หากใช้น้ำกากส่ามากกว่านี้ จะทำให้ระดับออกซิเจนละลายลดลงจนเป็นอันตรายต่อปลาได้ น้ำกากส่าจะเป็นสารอินทรีย์ที่จะใช้เลี้ยงสัตว์ขนาดเล็กๆ พวกแพลงค์ตอน ซึ่งจะเป็อาหารแก่ปลาอีกต่อหนึ่ง

#### 4) การใช้น้ำกากส่าทำปุ๋ยหมัก (Composting)

น้ำกากส่าสดหรือผ่านการหมักแบบไร้ออกซิเจนมาแล้วอาจนำมาใช้ในการทำปุ๋ยหมักได้ วิธีการทำปุ๋ยหมัก ได้แก่ การนำเอาเศษพืช เช่น ชานอ้อย เปลือก ขุยมะพร้าว ขี้เลื่อย และผักตบชวา มากองไว้ แล้วเติมสารยูเรีย เชื้อจุลินทรีย์ไปอินิค แล้วฉีदन้ำกากส่าไปบนกองเศษพืช แล้วใช้รถแทรกเตอร์ไถกองเศษพืชนี้ให้คลุกเคล้ากันอย่างสม่ำเสมอ การหมักใช้เวลา 1 เดือน เชื้อจุลินทรีย์จะทำลายสารอินทรีย์ต่างๆ ให้สลายตัวไป และทำให้เกิดพลังงานความร้อน 60 – 70 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำระเหยไปได้มาก พืช 1 ตัน จะระเหยน้ำกากส่าได้วันละ 280 ลิตร ดังนั้นวิธีนี้จะไม่มีการสูญเสียไหลล้นลงแหล่งน้ำสาธารณะได้ เพราะจะเป็นการระเหยน้ำให้หมดไป (สมหวัง, 2549)

### 1.2.3 การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดหรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไป หรือเหลือน้อยที่สุดให้ได้มาตรฐานที่กำหนดและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม น้ำเสียจากแหล่งต่างกันจะมี

คุณสมบัติไม่เหมือนกัน ดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำเสียและขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียมีดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.)

### 1.2.3.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

#### 1) กระบวนการทางกายภาพ (physical process)

กระบวนการทางกายภาพ เป็นการบำบัดน้ำเสียอย่างง่ายซึ่งจะแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออก วิธีนี้จะแยกตะกอนได้ประมาณร้อยละ 50 - 65 และจะแยกความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ (BOD) ได้ประมาณร้อยละ 20 - 30 เท่านั้น วิธีการต่าง ๆ ในกระบวนการนี้มีหลายวิธี เช่น การดักด้วยตะแกรง (screening) เป็นการแยกเศษขยะต่าง ๆ ที่มากับน้ำเสีย เช่น เศษไม้ ถุงพลาสติก กระดาษ ตะแกรงมีหลายขนาด การดักด้วยตะแกรงจึงเป็นการแยกขั้นต้นแรกในการบำบัดน้ำเสีย การตัดย่อย (combination) คือ การใช้เครื่องตัดทำลายเศษขยะขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง การกวาด (skimming) เป็นการกำจัดน้ำมันและไขมันโดยทำการดักหรือกวาดออกจากน้ำเสีย การทำให้ลอย (floating) จะใช้กับตะกอนที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ การตกตะกอน (sedimentation) เป็นการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียโดยอาศัยหลักการเรื่องแรงโน้มถ่วง ซึ่งจะใช้กับตะกอนที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.)

#### 2) กระบวนการทางเคมี (chemical process)

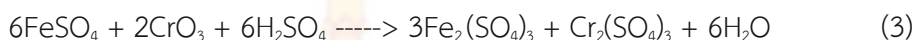
เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยการแยกสารต่าง ๆ หรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่บำบัด เช่น โลหะหนัก สารพิษ สภาพความเป็นกรดต่างสูง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ด้วยการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไป เพื่อให้เข้าไปทำปฏิกิริยา ซึ่งจะมีประโยชน์ในการแยกสาร แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ เมื่อเติมสารเคมีลงในน้ำเสียแล้ว ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูง ตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางเคมีดังนี้

ก) การทำให้เกิดตะกอน (precipitation) อาศัยหลักการเติมสารเคมีลงไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดกลุ่มตะกอนตกลงมา โดยทั่วไปสารแขวนลอยจะมีประจุลบ ดังนั้นสารเคมีที่เติมลงไปจึงเป็นประจุบวกเพื่อทำให้เป็นกลาง การแยกด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน ดังนั้นวิธีนี้จะเลือกใช้ต่อเมื่อไม่สามารถแยกได้โดยกระบวนการทางชีวภาพหรือกายภาพ และโดยส่วนมากสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนจะละลายน้ำ เช่น เกลือของสารประกอบต่าง ๆ เช่น เกลืออะลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม ( $Al_2(SO_4)_3$ ) เกลือเหล็ก ( $FeCl_3$ ,  $FeSO_4$ ) และเกลือของแคลเซียม ( $Ca(OH)_2$ ) ส่วนเกลือที่นำมาช่วยในการเกิดตะกอนได้ดียิ่งขึ้นนี้เป็นสารประกอบของ กลุ่ม Activated ของ Silica และ Polyelectrolytes (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.)

ข) การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (chemical oxidation) อาศัยหลักการเสียอิเล็กตรอนของอะตอม ให้แก่สารเคมีที่เติมลงไป ในน้ำเสียโดยสารเคมีนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ส่วนมากวิธีนี้จะนิยมใช้เปลี่ยนโมเลกุลของโลหะที่เป็นพิษ เช่น การเปลี่ยน  $Fe^{2+}$  ซึ่งมีพิษมากไปเป็นสาร  $Fe^{3+}$  ซึ่งมีพิษน้อย ด้วยคลอรีน ดังแสดงในสมการที่ 2 ต่อไปนี้



ค) การเกิดรีดักชันทางเคมี (chemical reduction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน วิธีการนี้เป็นการเปลี่ยนสภาพของสารพิษไปเป็นสารที่มีอันตรายน้อยลง อะตอมหรือ อีออนของสารพิษจะรับอิเล็กตรอนจากสารเคมีที่เติมลงไปซึ่งมีสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) เช่น การเปลี่ยน  $Cr^{6+}$  ซึ่งมีพิษมากไปเป็น  $Cr^{3+}$  ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ( $FeSO_4$ ) ในสภาพที่เป็นกรด ดังแสดงในสมการที่ 3 ต่อไปนี้



ง) การสะเทิน (neutralization) เป็นการเปลี่ยนค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของน้ำเสียให้มีฤทธิ์เป็นกลาง (pH = 7) ถ้าต้องการปรับค่าน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด (pH < 7) ในน้ำเสียให้สูงขึ้นต้องเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนกรณีถ้าต้องการปรับน้ำเสียมฤทธิ์เป็นด่าง (pH > 7) ให้มีค่า pH ต่ำลงจะต้องเติมกรด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก กรดเกลือและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.)

### 3) กระบวนการทางชีววิทยา (Biological Process)

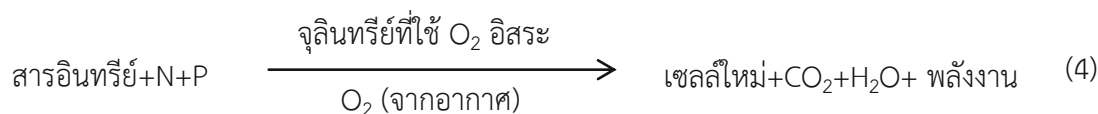
สิริรัตน์, ปราโมทย์ (2548) ได้กล่าวว่า การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (biodegradable organic compound) โดยจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารและสารตั้งต้นในกระบวนการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต และการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ (new cell) และได้ผลผลิตเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) น้ำ ( $H_2O$ ) และสารตกค้างซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (non-biodegradable residual) โดยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท

ก) กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (aerobic wastewater treatment) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องอาศัยออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen) หรือออกซิเจนอิสระ ซึ่งมีข้อดี คือ มีสารที่ต้องการออกซิเจนเหลืออยู่ในน้ำทิ้งปริมาณเล็กน้อย (ประมาณร้อยละ 10 ของสารอินทรีย์ตั้งต้น) โดยสารอินทรีย์ตั้งต้นส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นตะกอนส่วนเกิน (excess sludge) ในรูปของมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ (bacterial biomass) คิดเป็นปริมาณ COD ประมาณร้อยละ 60 ของ COD ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียที่ใช้อากาศ (aerobic bacteria) สามารถจำแนกได้เป็น 2 ขั้นตอน ตามลำดับดังนี้ คือ

ขั้นตอนที่ 1 เป็นกระบวนการนำสารอินทรีย์ หรือสารอาหารเข้าไปในเซลล์ โดยจุลินทรีย์จะส่งเอนไซม์ ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกาะติดที่ผนังเซลล์เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารโมเลกุลเล็กที่จะสามารถซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ได้

ขั้นตอนที่ 2 เป็นกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์จุลินทรีย์ เพื่อที่จะผลิตพลังงานไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ และการสร้างเซลล์ใหม่ โดยเขียนอยู่ในรูปของสมการที่ 4 โดยรวมได้ดังนี้





เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกเปลี่ยนรูปมาเป็นจุลินทรีย์ เซลล์ใหม่จะรวมตัวกันเป็นฟล็อก (biological flocculation) ก็จะมีน้ำหนักมากขึ้น และแยกออกจากน้ำเสียได้ง่ายด้วยการตกตะกอน และการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ จำแนกตามประเภทของจุลินทรีย์ได้ 2 ประเภท คือ

- ระบบบำบัดที่จุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในระบบ (suspended system) เช่น บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond) บ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) และระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) เป็นต้น โดยหลักการทำงานของระบบบำบัดของจุลินทรีย์แขวนลอย ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 หลักการทำงานของระบบบำบัดใช้อากาศแบบจุลินทรีย์แขวนลอย

ระบบ	หลักการทำงาน
บ่อแอโรบิก	เป็นบ่อที่มีแบคทีเรียและสาหร่ายแขวนลอยอยู่ เป็นบ่อที่มีความลึกไม่มากนัก เพื่อให้ออกซิเจนกระจายทั่วทั้งบ่อและมีสภาพเป็นแอโรบิกตลอดความลึก โดยอาศัยออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และการเติมอากาศที่ผิวหน้า และยังสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ส่วนหนึ่งโดยอาศัยแสงแดดอีกด้วย
บ่อเติมอากาศ	เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเติมออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศ ที่ติดตั้งแบบทุ่นลอยหรือยึดติดกับแท่นก็ได้ เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียในรูปของค่าบีโอดี ได้ร้อยละ 80 - 95 โดยเครื่องเติมอากาศนอกจากจะทำหน้าที่เพิ่มออกซิเจนในน้ำแล้วยังทำให้เกิดการกวนผสมของน้ำในบ่อด้วย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงภายในบ่อ
ระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์	ประกอบด้วยถังเติมอากาศ ถังตกตะกอน และระบบสูบตะกอนย้อนกลับ เครื่องเติมอากาศที่ติดตั้งอยู่ในถังเติมอากาศจะเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำเสียเพื่อทำให้จุลินทรีย์นำออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำเสียและการเจริญเติบโต น้ำตะกอนจากถังเติมอากาศจะนำเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำที่บำบัดแล้ว น้ำส่วนใสที่ไหลล้นออกจากถังตกตะกอนจะนำไปฆ่าเชื้อโรคก่อนระบายลงคูคลอง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ก้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปยังถังเติมอากาศเพื่อรักษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ให้เหมาะสม อีกส่วนหนึ่งซึ่งเป็นตะกอนส่วนเกินจะต้องนำไปกำจัดทิ้งด้วยระบบกำจัดตะกอนต่อไป

แหล่งที่มา: สิริรัตน์ และปราโมทย์ (2548)

- ระบบบำบัดที่จุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง หรือ ระบบฟิล์มตรึง (fixed film system) เช่น ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) และระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor) เป็นต้น โดยหลักการทำงานของระบบบำบัดของจุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 หลักการทำงานของระบบบำบัดใช้อากาศแบบจุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง

ระบบ	หลักการทำงาน
ระบบโปรยกรอง	เป็นระบบที่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่บนผิวตัวกลาง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้วจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านชั้นของตัวกลาง จุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่บนตัวกลางจะใช้ออกซิเจนทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย น้ำที่ผ่านระบบจะถูกส่งไปเข้าถังตกตะกอนสุดท้ายเพื่อแยกสลัดจ์ออกให้ได้น้ำทิ้งที่สามารถระบายทิ้งได้
ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ	มีหลักการในการบำบัดน้ำเสียและมีส่วนประกอบเหมือนกับระบบโปรยกรอง โดยมีความแตกต่างอยู่ที่ตัวกลางที่ใช้เป็นที่พักอาศัยของจุลินทรีย์ ระบบแผ่นหมุนชีวภาพจะประกอบด้วยแผ่นรูปทรงกลมที่ขนานกันหลาย ๆ อัน ยึดติดตั้งฉากอยู่ด้วยแกนหมุน ณ จุดกึ่งกลางของแผ่น ส่วนประกอบทั้งหมดวางอยู่ในถังที่มีแกนหมุน ซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำในถังเล็กน้อย โดยมีส่วนของแผ่นจมน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 40 จุลินทรีย์จะขยายพันธุ์และเกาะอยู่บนผิวของแผ่นที่หมุนอยู่ การหมุนของแกนหมุนทำให้จุลินทรีย์สัมผัสน้ำเสียและเกิดการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย การกำจัดสารอินทรีย์ส่งผลให้ฟิล์มชีวภาพบนแผ่นหมุนมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันการหมุนของแผ่นจะทำให้เกิดแรงเฉือนและทำให้ฟิล์มชีวภาพหลุดออกจากแผ่น ดังนั้นการหมุนของแผ่นจึงเป็นทั้งการสร้างฟิล์มชีวภาพและการลดความหนาของฟิล์มไปด้วย นอกจากนี้การหมุนของแผ่นขึ้นมาเหนือผิวน้ำยังเป็นการถ่ายเทออกซิเจนในอากาศจากภายนอกถึงเข้าไปสู่ระบบอีก

ที่มา: สิริรัตน์ และปราโมทย์ (2548)

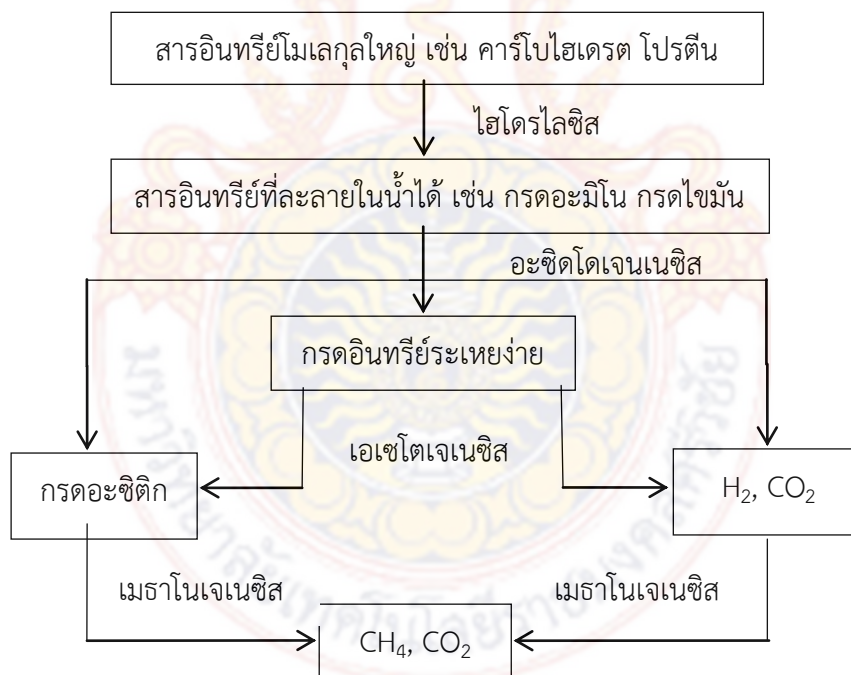
ข) กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic wastewater treatment) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์จะอาศัยสารประกอบอื่นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen) หรือออกซิเจนอิสระ มีข้อดี คือ ให้ตะกอนส่วนเกินในปริมาณน้อยและมีความเสถียรมากกว่า (more stable) กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ ดังนั้นกลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจน สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังภาพที่ 1.5

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยอาศัยเอนไซม์ที่ถูกส่งออกมาจากเซลล์ เพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการสร้างกรด (acidogenesis) โดยแบคทีเรียสร้างกรด ซึ่งจะเปลี่ยนผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในขั้นตอนที่ 1 ไปเป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid; VFA)

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย (acetogenesis) โดยแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิค (acetogenic bacteria) จะเปลี่ยนกรดไขมันระเหยไปเป็นผลผลิตสำคัญในการสร้างก๊าซมีเทน ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการสร้างมีเทน (methanogenesis) โดยผลผลิตที่ได้จากแบคทีเรียสร้างกรดในขั้นตอนที่ 3 จะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (methanogenic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนนี้ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ชนิดแรก คือ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน (hydrogenotrophic bacteria) โดยได้คาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์และได้พลังงานจากไฮโดรเจน ชนิดที่สอง คือ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากกรดอะซิติก (acetotrophic bacteria) ซึ่งใช้อะซิติกเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน



ภาพที่ 1.5 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกาศ

จากกลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกาศทั้ง 4 ขั้นตอนสรุปได้ว่า ในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกาศอาศัยการทำงานของแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่สร้างกรด และกลุ่มที่สร้างมีเทน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องรักษาสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่องของแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่ม หากการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งเปลี่ยนไป ก็จะมี

ผลต่อการทำงานของแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบได้ ตัวอย่างเช่น กรณีที่ระบบได้รับสารอาหารหรือปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นมากกว่าปกติ แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดก็จะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น มีการสร้างกรดอินทรีย์และผลผลิตต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนซึ่งมีความสามารถในการเจริญเติบโตต่ำกว่า ไม่สามารถย่อยสลายกรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นได้ทัน ก็จะมีปริมาณกรดอินทรีย์สะสมเพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าระบบไม่มีกำลังบำบัดเพียงพอ ค่าพีเอชของระบบที่ลดลงก็จะไปมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน จนอาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง หรือการทำงานของระบบล้มเหลวได้ในที่สุด การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลักเช่นเดียวกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ คือ

- ระบบบำบัดที่จุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในระบบ (Suspended system) เช่น บ่อแอนแอโรบิก ถังย่อยแบบสัมผัส ระบบหมักแบบ UASB ระบบหมักแบบ EGSB เป็นต้น โดยหลักการทำงานของระบบไร้ออกซิเจนแบบ Suspended system ดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 หลักการทำงานของระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบจุลินทรีย์แขวนลอย

ระบบ	หลักการทำงาน
บ่อแอนแอโรบิก	ทำงานโดยอาศัยแบคทีเรียที่ลอยกระจายตัวอยู่ในบ่อ แบคทีเรียในระบบจะมีความเข้มข้นต่ำต้องใช้เวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์นานระหว่าง 5 - 45 วัน ทำให้ต้องใช้พื้นที่บ่อใหญ่มาก หากต้องการรวบรวมก๊าซชีวภาพมาใช้ต้องคลุมด้วยพลาสติก เช่น PVC, HDPE
ถังย่อยแบบสัมผัส	ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ ถังย่อยแบบสัมผัสนี้อาจเป็นถังปฏิกรณ์แบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่ก็ได้ แต่นิยมใช้แบบที่มีการหมุนเวียนตะกอน
ระบบหมักแบบ UASB	ลักษณะการทำงานของบ่อ UASB คือน้ำเสียจะถูกสูบเข้าก้นถัง ตะกอนแบคทีเรียที่ก้นถังแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่าง (Sludge Bed) เป็นตะกอนเม็ด เป็นแบคทีเรียชนิดเส้นใยยาวเกาะกันแน่น มีความหนาแน่นสูง ส่วนชั้นที่ 2 เรียกว่า Sludge Blanket เป็นแบคทีเรียตะกอนเบาช่วงบนของถังหมักจะมีอุปกรณ์แยกก๊าซชีวภาพและตะกอนแบคทีเรีย (Gas - Solid Separator)
ระบบหมักแบบ EGSB	ระบบ EGSB ปรับปรุงมาจากระบบ UASB โดยให้มีอัตราน้ำไหลขึ้นสูงประมาณ 3 - 10 เมตรต่อชั่วโมง ทำให้ชั้นนอน (Sludge Bed) มีการขยายตัวมากกว่าระบบ UASB ช่วยทำให้มีการสัมผัสระหว่างน้ำเสียและเม็ดแบคทีเรียได้ทั่วถึง การบำบัดน้ำเสียจึงมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบ UASB รูปตัดของ EGSB การย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นมีเทน เกิดขึ้นภายในชั้นสลัดจ์นอน (Sludge Bed) ความสูงของชั้นสลัดจ์นอน ขึ้นอยู่กับความสูงของถังหมัก ซึ่งมักมีค่าอยู่ในช่วง 7 - 14 เมตร

แหล่งที่มา: สิริรัตน์ และปราโมทย์ (2548), กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

- ระบบบำบัดที่จุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง หรือ ระบบฟิล์มตรึง fixed film system เช่น ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ระบบชั้นลอยตัวไร้ออกซิเจน (Anaerobic Fluidized Bed) ระบบหมักแบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic Baffled Reactor) เป็นต้น โดยหลักการทำงานของระบบไร้ออกซิเจนแบบจุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง (fixed film system) แสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 หลักการทำงานของระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบจุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง

ระบบ	หลักการทำงาน
ถังกรองไร้อากาศ	ระบบนี้ได้ถูกพัฒนาให้มีความสามารถในการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีขึ้นจากถังหมักที่อาศัยการทำงานของตะกอน จุลินทรีย์แขวนลอยในน้ำเสีย มาเป็นแบบระบบที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะกับตัวกลางแสดงให้เห็นถึงลักษณะทั่วไปของเครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศ
ระบบชั้นลอยตัวไร้ออกซิเจน	ระบบนี้เป็นระบบที่ได้พัฒนามาจากระบบถังกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) มีการดัดแปลงระบบ โดยเปลี่ยนตัวกลางที่เป็นชนิดติดอยู่กับที่ มาใช้ตัวกลางที่สามารถเคลื่อนไหวได้และมีพื้นที่ผิวมาก ๆ ซึ่งตัวกลางดังกล่าวจะเป็นทราย, Anthracite , Activated Carbon หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีขนาดใกล้เคียงเม็ดทราย การทำงานของระบบจะทำให้ตัวกลางมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาจึงไม่เกิดการอุดตัน และระบบยังมีพื้นที่ผิวของฟิล์มจุลินทรีย์ต่อหน่วยปริมาตรมากกว่าถังกรองไร้ออกซิเจนอีกด้วย ซึ่งทำให้ระบบสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่า
ระบบหมักแบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น	ระบบน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะเป็นถัง หรือบ่อดินที่มีแผ่นกั้นขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ การไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะมีลักษณะไหลขึ้นลงสลับกันหลายครั้ง โดยมีความเร็วในการไหลขึ้นลงประมาณ 0.2 - 0.4 เมตรต่อชั่วโมง ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพจะคล้ายกับระบบ UASB ระบบนี้สามารถใช้กับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง แต่ระบบมีขนาดใหญ่ทำให้ต้องใช้พื้นที่มากกว่าระบบ UASB

ที่มา: สิริรัตน์ และปราโมทย์ (2548), กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

#### .4) กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (physical-chemical process)

เป็นกระบวนการที่ต้องมีอุปกรณ์ช่วยมากกว่ากระบวนการที่กล่าวมา ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้ในขั้นตอนสุดท้ายในการบำบัดน้ำเสีย ที่ผ่านกระบวนการในขั้นตอนอื่นแล้ว เช่น

ก) การดูดซับด้วยถ่าน (carbon adsorption) การดูดซับด้วยผงถ่านเป็นกระบวนการที่ใช้ผงถ่านดูดซับเอาสารเคมี (สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์) บางชนิดที่ละลายอยู่ในน้ำเสียไว้หลังจากแยกเอาผงถ่านออกแล้วจะได้น้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานระบายออกจากโรงงานได้ ผงถ่านที่นำมาดูดซับสี สารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ เป็นผงถ่านที่มีขนาดเล็ก 0.1 มิลลิเมตรผ่านการเผาในเตาที่มีออกซิเจนจนร้อนแดงเพื่อไล่สารพวกไฮโดรคาร์บอน แล้วนำมาแอกติเวท (Activate) ด้วยก๊าซ (Oxidizing Gas) จนโครงสร้างพรุนไปทั่ว จากนั้นนำมาแยกขนาดผงถ่านพวกนี้เมื่อนำมาใช้

คล้ายวัสดุกรองในถังกรอง โดยปล่อยให้ น้ำเสียที่ต้องการกำจัดไหลผ่านถังกรองผ่านช้า ๆ เพื่อให้เกิดการดูดซับได้เต็มที่ น้ำที่ผ่านการกรองนี้แล้วจะระบายทิ้งหรือนำกลับมาใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ ส่วนตัวผงถ่านที่หมดประสิทธิภาพการดูดซับแล้ว สามารถนำกลับมาล้างด้วยสารเคมีเพื่อปรับคืนสภาพ แล้วนำมาใช้ใหม่ได้ ทำซ้ำ ๆ เช่นนี้ไปจนกว่าผงถ่านนั้นจะหมดสภาพไปจริง ๆ ในกรณีนี้ใช้ได้กับการดูดซับที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีติดแน่นกับผงถ่าน หากในระหว่างการกรองหรือดูดซับเกิดปฏิกิริยาเคมีติดแน่นกับผงถ่านก็ไม่สามารถนำมาปรับคืนสภาพได้ต้องนำไปกำจัดด้วยการเผาต่อไป (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.)

ข) การแลกเปลี่ยนประจุ การค้นพบสารสังเคราะห์ประเภทเรซิน (Synthetic Resin) ซึ่งมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุได้ดี นับได้ว่ามีประโยชน์ต่อการทำน้ำสะอาด และการบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะการกำจัดเอาพวกโลหะหนัก เช่น เหล็กและโครเมียม หรือพวกสารอาหาร เช่น ไนโตรเจน แอมโมเนีย และฟอสเฟต ออกจากน้ำทิ้ง และป้องกันไม่ให้อาหารเกิดขึ้นมากเกินไป นอกจากนี้สารอาหารที่ถูกเรซินจับไว้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก ส่วนตัวเรซินสังเคราะห์เมื่อใช้งานหมดประสิทธิภาพแล้ว นำกลับมาปรับคืนสภาพ (Regenerate) ด้วยกรดเกลือ (HCl) หรือเกลือแกง (NaCl) แล้วนำมาใช้ใหม่ได้ การปรับคืนสภาพสามารถทำได้หลายครั้งมาก ทำให้อายุการใช้งานของเรซินนานถึง 3 - 4 ปี บางชนิดอาจมีอายุมากกว่านั้นก็เป็นได้หากถูกสังเคราะห์มาด้วยวัสดุที่แข็งแรง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีแลกเปลี่ยนประจุได้ผลรวดเร็ว ใช้พื้นที่น้อย ประสิทธิภาพสูง อาจได้ผลพลอยได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่ เช่น การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการเคลือบผิวด้วยโครเมียม น้ำเสียจะเป็นพวกกรดโครมิกที่ไม่บริสุทธิ์ ผ่านเข้ามายังเรซินเปลี่ยนประจุบวก แล้วจะได้กรดโครมิกที่บริสุทธิ์ออกมา เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.)

### 1.2.3.2 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย สามารถแบ่งออกได้ตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1) การบำบัดขั้นเตรียมการ (preliminary treatment) และการบำบัดขั้นต้น (primary treatment) เป็นการบำบัดเพื่อแยกทราย กรวด และของแข็งขนาดใหญ่ออกจากของเหลวหรือน้ำเสีย โดยเครื่องจักร อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วยตะแกรงหยาบ (coarse screen) ตะแกรงละเอียด (fine screen) ถังตกทราย (grit chamber) ถังตกตะกอนเบื้องต้น (primary settling tank) และเครื่องกำจัดไขมัน (skimming devices)

2) การบำบัดขั้นที่สอง (secondary treatment) เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว แต่ยังคงมีของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กและสารอินทรีย์ทั้งที่ละลายและไม่ละลายในน้ำเสียเหลือค้างอยู่โดยทั่วไปการบำบัดขั้นที่สองหรือเรียกอีกอย่างว่าการบำบัดทางชีวภาพ จะอาศัยหลักการเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกินสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งโดยใช้ถังตกตะกอนทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีขึ้น จากนั้นจึงผ่านเข้าระบบฆ่าเชื้อโรค เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคปนเปื้อนก่อนจะระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือนำกลับไปใช้ประโยชน์

3) การบำบัดขั้นสูง (advance treatment หรือ tertiary treatment) เป็นกระบวนการกำจัดสารอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) สารแขวนลอยที่ตกตะกอนยากและอื่น ๆ ซึ่งยังไม่ได้ถูกกำจัดโดยกระบวนการบำบัดขั้นที่สอง ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดียิ่งขึ้นเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ ได้นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเติบโตผิดปกติของสาหร่ายที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดน้ำเน่า แก๊ซปัญหาความน่ารังเกียจของแหล่งน้ำอันเนื่องจากสีและแก๊ซปัญหาอื่น ๆ ที่ระบบบำบัดขั้นที่สองสามารถกำจัดได้ (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.)

### 1.2.3.3 ข้อดีและข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกและแอโรบิก

1) ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการแบบแอนแอโรบิก (บริษัท แชน. อี. 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด, 2546)

ก) ข้อดีของกระบวนการแบบแอนแอโรบิก

- ประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ เพราะไม่ต้องการใช้อากาศในการทำงานของจุลินทรีย์

- สามารถผลิตก๊าซมีเทน นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

- สามารถรับภาระบรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นได้ (Shock Load) โดยไม่ทำให้ระบบล้มเหลว แต่ต้องใช้เวลาในการปรับตัวเล็กน้อย

- ใช้พื้นที่ในการสร้างถังปฏิกรณ์น้อยกว่าระบบบำบัดแบบแอโรบิก

- มีอัตราการสร้างตะกอนจุลินทรีย์ต่ำมาก ทำให้ลดปัญหาการบำบัดตะกอน

- ความต้องการอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส น้อยกว่าระบบบำบัดแบบแอโรบิก

- จุลินทรีย์สามารถทำงานได้ดีหลังจากที่มีการหยุดทำงานไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยไม่ต้องมีการเลี้ยงจุลินทรีย์ใหม่ เนื่องจากมีอัตราการตายของจุลินทรีย์ต่ำ

- สามารถลดความเป็นพิษในน้ำเสียได้ โดยให้จุลินทรีย์นั้นคุ้นเคยกับสารพิษก่อน

- ระบบมีความคงตัวสูง

ข) ข้อเสียของกระบวนการแบบแอนแอโรบิก

- ใช้เวลานานในการเริ่มต้นเดินระบบ เนื่องจากอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ต่ำ

- เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็น

- น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วยังมีสารอินทรีย์อยู่สูงกว่าค่ามาตรฐานตามที่กรมโรงงานกำหนด ดังนั้นจึงต้องมีการบำบัดด้วยระบบอื่นเป็นขั้นตอนต่อไป

## 2) ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการแบบแอโรบิก

### ก) ข้อดีของกระบวนการแบบแอโรบิก

- สามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูง ทำให้สามารถระบายน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือท่อระบายได้โดยไม่ผิดกฎหมาย
- ต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างระบบน้อย
- ไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นจากกระบวนการบำบัด

### ข) ข้อเสียของกระบวนการแบบแอโรบิก

- จำเป็นต้องมีการตกตะกอนขั้นต้น
- เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำและปานกลาง
- ระบบต้องทำงานบำบัดอย่างต่อเนื่อง ไม่สามารถหยุดทำงานเป็นเวลาระยะยาวได้
- ปัจจุบันมีอัตราการบำบัดต่ำกว่าระบบไม่ใช้อากาศ
- มีอุปกรณ์เครื่องจักรมาก จึงต้องการการบำรุงรักษา และมีการสึกหรอของเครื่องจักรมาก
- มีตะกอนส่วนเกินออกมามาก ซึ่งจะเป็นปัญหาต่อไปในการกำจัดตะกอน
- สิ้นเปลืองพลังงานในการเติมอากาศ

## 1.2.4 ปัญหาการจัดการน้ำกากส่า

การบำบัดน้ำกากส่าโดยวิธีทางกายภาพ ทางชีววิทยา ทางเคมี ทางกายภาพ-เคมี และการนำไปใช้ประโยชน์ ยังพบปัญหาต่างๆ คือ

1.2.4.1 การจัดการน้ำกากส่าโดยการทิ้งให้ระเหยบนดินจะต้องใช้พื้นที่มาก และเสี่ยงต่อการปนเปื้อนลงสู่น้ำใต้ดินสูงตลอดจนสามารถทำได้ในฤดูแล้งเท่านั้น

1.2.4.2 การบำบัดทางเคมีโดยการเติมสารเคมีให้ตกตะกอน (Chemical Coagulation) เป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำกากส่าสูง แต่จะทำให้เกิดของเสียจากตะกอนสารเคมีในปริมาณมากซึ่งจะต้องนำไปบำบัดต่อเนื่องจากไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และค่าใช้จ่ายในการบำบัดค่อนข้างสูงเนื่องจากราคาของสารเคมี

1.2.4.3 การเผาเป็นกระบวนการบำบัดน้ำกากส่าทางกายภาพ-เคมีที่ต้องใช้เชื้อเพลิงเพื่อนำมาผลิตเป็นพลังงานในการเผาปริมาณมาก จึงเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเตาเผาอีกด้วย

1.2.4.4 การบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำกากส่า ได้แก่ ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ระบบ Aerated Lagoon ระบบ Anaerobic Pond โดยได้มีการนำเอาน้ำกากส่ามาหมักในถังหมักชีวภาพ เพื่อจะใช้ก๊าซมีเทนมาใช้แทนน้ำมันเตา และจะสามารถลดค่าบีโอดีได้สูงถึงร้อยละ 90 ซึ่งจะนำมาบำบัดต่อในกระบวนการเลี้ยงตะกอนเร่งซึ่งเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากจะต้องมีการใช้พลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องกลในระบบ



เต็มอากาศ โดยที่น้ำกาฬน้ำที่ผ่านการบำบัดก็ยังมีสีเข้มอยู่และค่าบีโอดีก็ยังคงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรมอยู่ ซึ่งระบบนี้เป็นระบบที่ค่อนข้างยุ่งยาก ต้องอาศัยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการควบคุมการทำงานของระบบ

1.2.4.5 การบำบัดสีน้ำกาฬน้ำโดยการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการฟอกสีน้ำกาฬน้ำก็เป็นวิธีการบำบัดสีน้ำกาฬน้ำที่มีประสิทธิภาพแต่ก็พบปัญหาคือไม่สามารถที่จะควบคุมประสิทธิภาพในการฟอกสีน้ำกาฬน้ำให้คงที่ได้ในระยะยาวซึ่งก็เนื่องมาจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ทำให้ความสามารถในการบำบัดสีลดลง

1.2.4.6 ในประเทศไทยก็มีการจัดการกับปัญหาน้ำกาฬน้ำโดยนำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การนำไปทำปุ๋ยหมัก การนำไปใช้เป็นอาหารปลาทางอ้อม การนำไปรดถนน ลูกรังเพื่อลดฝุ่น การนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ ซึ่งในวิธีข้างต้นดังกล่าวเป็นวิธีการจัดการน้ำกาฬน้ำที่ไม่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบันทั้งทางเศรษฐกิจและปริมาณน้ำกาฬน้ำที่มีปริมาณมากขึ้นในปัจจุบัน

## 1.2.5 การบำบัดน้ำกาฬน้ำ

กาฬน้ำในโรงงานผลิตแอลกอฮอล์และสุราเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงโดยเป็นน้ำเสียกาฬน้ำ และน้ำล้างถังหมักสุรา ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนลงสู่แม่น้ำลำคลอง จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะเป็นน้ำทิ้งเสียก่อน โดยการแยกสิ่งสกปรกต่าง ๆ ลดปริมาณสารอินทรีย์ ตลอดจนลดปริมาณความเข้มข้นของน้ำกาฬน้ำให้มีค่าลดลงจนอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหา โดยการบำบัดน้ำกาฬน้ำของโรงงานสุรากลั่นที่มีการใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท

### 1.2.5.1 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นบ่อเปิดจำนวน 2-4 บ่อเรียงกันแบบอนุกรม น้ำเสียกาฬน้ำสดที่มีสี มีความเป็นกรด อุณหภูมิสูง และมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนมากถูกบ่อนเข้าบ่ออย่างต่อเนื่อง เนื่องจากน้ำเสียกาฬน้ำสดมีค่าพีเอชต่ำ โรงงานส่วนใหญ่จึงสูบน้ำเสียจากบ่อเก็บกักบ่อสุดท้าย ซึ่งมีค่าพีเอชสูงหมุนเวียนมาที่จุดระบายน้ำเสียเข้าระบบบำบัด เพื่อปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็นกลางทำให้ประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิ บีโอดี ซีโอดี ดีขึ้น และจากผลการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียในบ่อสุดท้ายพบว่ายังมีค่า บีโอดี ซีโอดี และสารแขวนลอยสูงมากถึง 78 – 6,250 320 – 119,990 และ 45 – 43,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง น้ำเสียจึงไม่สามารถระบายสู่สิ่งแวดล้อมได้และถูกเก็บกักในบ่อ ซึ่งในฤดูแล้งเกษตรกรที่มีพื้นที่เพาะปลูกใกล้เคียงโรงงานจะขอน้ำเสียในบ่อสุดท้ายไปใช้เพื่อการเกษตร ส่วนในฤดูฝนน้ำเสียในระบบบำบัดก็มีโอกาสไหลล้นออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ เช่นกันถ้าไม่มีการป้องกันที่ดี (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ม.ป.ป.)

### 1.2.5.2 ระบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ร่วมกับระบบบ่อหมัก

โรงงานหลายแห่ง มีระบบการบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ร่วมกับระบบบ่อหมักเพื่อนำเอาก๊าซชีวภาพที่ได้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัด UASB ยังคงมีความสกปรกสูงมากจึงต้องบำบัดต่อด้วยระบบบ่อหมัก ซึ่งน้ำเสียในบ่อสุดท้ายยังคงมีสีดำเข้ม และค่าซีโอดี สูงมาก ทำให้ไม่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม โรงงานจึงเก็บกักในบ่อบำบัดและนำน้ำเสียบางส่วนไปใช้ในการทำปุ๋ยหมักและนำไปแจกจ่ายให้เกษตรกรใช้เพื่อการเกษตร (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ม.ป.ป.)

### 1.2.5.3 ระบบถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกับระบบบ่อหมัก

โรงงานบางแห่งใช้ระบบถังหมัก เพื่อบำบัดน้ำเสียและได้ก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ม.ป.ป.)

### 1.2.5.4 ระบบเตาเผา

เมื่อน้ำกากส่าออกจากหอกั่นแล้วจะถูกทำให้เข้มข้นโดยส่งไปยัง slop evaporator plant เพื่อระเหยน้ำออก แล้วจึงส่งเข้าเตาเผา เพื่อผลิตไอน้ำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป น้ำที่ระเหยได้จากเตาเผาสามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตได้อีก เมื่อน้ำเสียถูกป้อนเข้าเตาเผาแล้วจะได้ by-product เป็นเถ้าลอยและเถ้าหนักที่ก้นเตา (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ม.ป.ป.)

### 1.2.5.5 การบำบัดน้ำกากส่าด้วยระบบเอสปีอาร์

การทำงานของระบบ จะเป็นแบบถังเติมอากาศถังเดียวสามารถทำหน้าที่ทั้งการเติมอากาศเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์และทำหน้าที่แยกตะกอนด้วยการตกตะกอนภายในถังเดียว โดยถังปฏิบัติการจะไม่มีน้ำไหลเข้าและไม่มีน้ำไหลออกอย่างต่อเนื่องแต่จะมีการกวนอย่างสมบูรณ์ตัวทำปฏิกิริยาและผลจากปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วจะเริ่มด้วยการเติมสารละลายที่มีตัวทำปฏิกิริยาให้เต็มถังเสียก่อนแล้วจึงทำการกวนอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นสารละลายภายในถังจึงมีส่วนประกอบและความเข้มข้นสม่ำเสมอ เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งถัง โดยปกติความเข้มข้นของสารในถังจะมีการแปรเปลี่ยนไปตามเวลา หลังจากถึงเวลาที่กำหนดไว้หรือได้ผลผลิตจากปฏิกิริยาที่ต้องการแล้วจึงทำการเทผลผลิตจากถังปฏิกิริยานี้ออกเป็นอันเสร็จสมบูรณ์ของปฏิกิริยาชนิดนี้

ระบบ SBR เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีจุลินทรีย์อยู่ในลักษณะแขวนลอยโดยมลสารในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโต ส่วนพลังงานก็จะถูกใช้ในการดำเนินชีวิตสรุปลแล้วมลสารซึ่งส่วนใหญ่ก็คือ สารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นมวลจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักมากกว่าน้ำสามารถแยกออกได้ง่ายโดยกระบวนการตกตะกอน การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และลักษณะการทำงานของระบบเอสปีอาร์ มีรายละเอียด ดังนี้

### 1) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

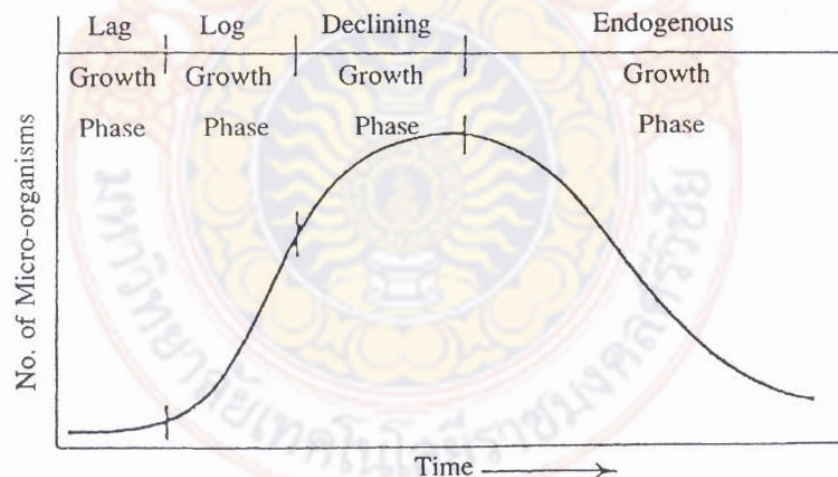
จุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ที่ทำงานแบบกะ สามารถแบ่งการเจริญเติบโต ออกเป็น 4 ช่วง ดังภาพที่ 1.6 โดยแต่ละช่วงมีการเจริญเติบโต ดังนี้

**ช่วงที่ 1** มีอัตราการเพิ่มจุลินทรีย์ต่ำ (Lag growth phase) เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมและสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

**ช่วงที่ 2** จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็ว (Log growth phase) เนื่องจากมีปริมาณอาหารมาก ลักษณะของจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตเป็นเซลล์อิสระไม่รวมเป็นฟล็อกที่ดี ถ้าระบบบำบัดน้ำเสียทำงานอยู่ในช่วงนี้ ตะกอนเร่งจะตกตะกอนไม่ดีทำให้น้ำที่ออกจากระบบบำบัด (Effluent) มีความขุ่น เนื่องจากมีตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมาจำนวนมากทำให้น้ำออกมีค่าบีโอดีสูง

**ช่วงที่ 3** การเจริญของจุลินทรีย์จะลดลง (Decline growth phase) เนื่องจากมีอาหารเหลืออยู่จำกัด จุลินทรีย์จะเกาะกันเป็นกลุ่มเป็นฟล็อกที่ดีตกตะกอนได้ง่ายและน้ำออกมีคุณภาพดีและใส ช่วงนี้จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้ควบคุมการบำบัดน้ำเสียโดยรักษาอัตราส่วนของอาหารและปริมาณจุลินทรีย์ให้มีความพอเหมาะ

**ช่วงที่ 4** จุลินทรีย์จะขาดอาหารและตาย (Endogenous growth phase) ในช่วงนี้จะมีอาหารเหลืออยู่น้อยหรือไม่มีอาหารเหลืออยู่เลย ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์ได้นำอาหารที่เก็บสะสมไว้ในจนหมดก็จะตายและเซลล์แตก (Lysis) กลายเป็นอาหารของจุลินทรีย์ต่อไป แต่ในที่สุดจุลินทรีย์ก็จะลดลงจนหมด



ภาพที่ 1.6 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

### 2) ลักษณะการทำงานของระบบเอสปีอาร์

ระบบ SBR มีทั้งระบบที่เป็นถังปฏิกรณ์แบบเดี่ยว (single tank) ซึ่งเหมาะกับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะการไหลไม่ต่อเนื่อง และระบบหลายถัง (multiple tank) ซึ่งเหมาะกับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอัตราการไหลแบบต่อเนื่อง ในการศึกษาในครั้งนี้จะทำการศึกษาระบบ SBR แบบถังเดี่ยวการทำงานของระบบ SBR ใน 1 วัฏจักร (Cycle) มีการทำงาน 5 ช่วงดังนี้

### ช่วงที่ 1 ช่วงการเติมน้ำเสีย (Fill period)

เป็นช่วงที่ต้องมีการเตรียมความพร้อมของถัง ถ้าเริ่มบำบัดน้ำเสียเป็นครั้งแรก โดยที่ภายในถังจะต้องมีตะกอนจุลินทรีย์อยู่ โดยจะเริ่มจากการสูบน้ำเสียเข้าถังซึ่งในถังมีน้ำที่มีตะกอนจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ในวัฏจักร (Cycle) ก่อนหน้า ระดับน้ำเสียในถังจะเพิ่มจาก 25 จนถึง 100 % ของความจุถัง ใช้เวลาประมาณร้อยละ 25 ของหนึ่งรอบวัฏจักร และสามารถเลือกได้ว่าจะให้มีการกวนแต่การเติมอากาศจะมีหรือไม่ก็ได้

### ช่วงที่ 2 ช่วงการเกิดปฏิกิริยา (React period)

เป็นช่วงเวลาการเกิดปฏิกิริยาซึ่งจะมีการเติมอากาศเพื่อให้ออกซิเจนกับจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอาหารในน้ำเสีย โดยใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) เป็นองค์ประกอบ และอาศัยการกวนเพื่อให้จุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับสารอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำได้อย่างทั่วถึงใช้เวลาประมาณร้อยละ 35 ของหนึ่งรอบวัฏจักร

### ช่วงที่ 3 ช่วงการตกตะกอน (Settle period)

การตกตะกอนจะเกิดขึ้นในถังเดียวกับถังเติมอากาศโดยการหยุดการเติมอากาศเพื่อให้ได้ตะกอนแยกตัวจากของเหลวที่เป็นน้ำใส (Supernatant) ส่วนประสิทธิภาพการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับลักษณะของกลุ่มตะกอนที่เกิดขึ้น ใช้เวลาประมาณร้อยละ 20 ของหนึ่งรอบวัฏจักร ระยะเวลาของการตกตะกอนไม่ควรยาวนานเกินไปเพราะจะทำให้ตะกอนลอย

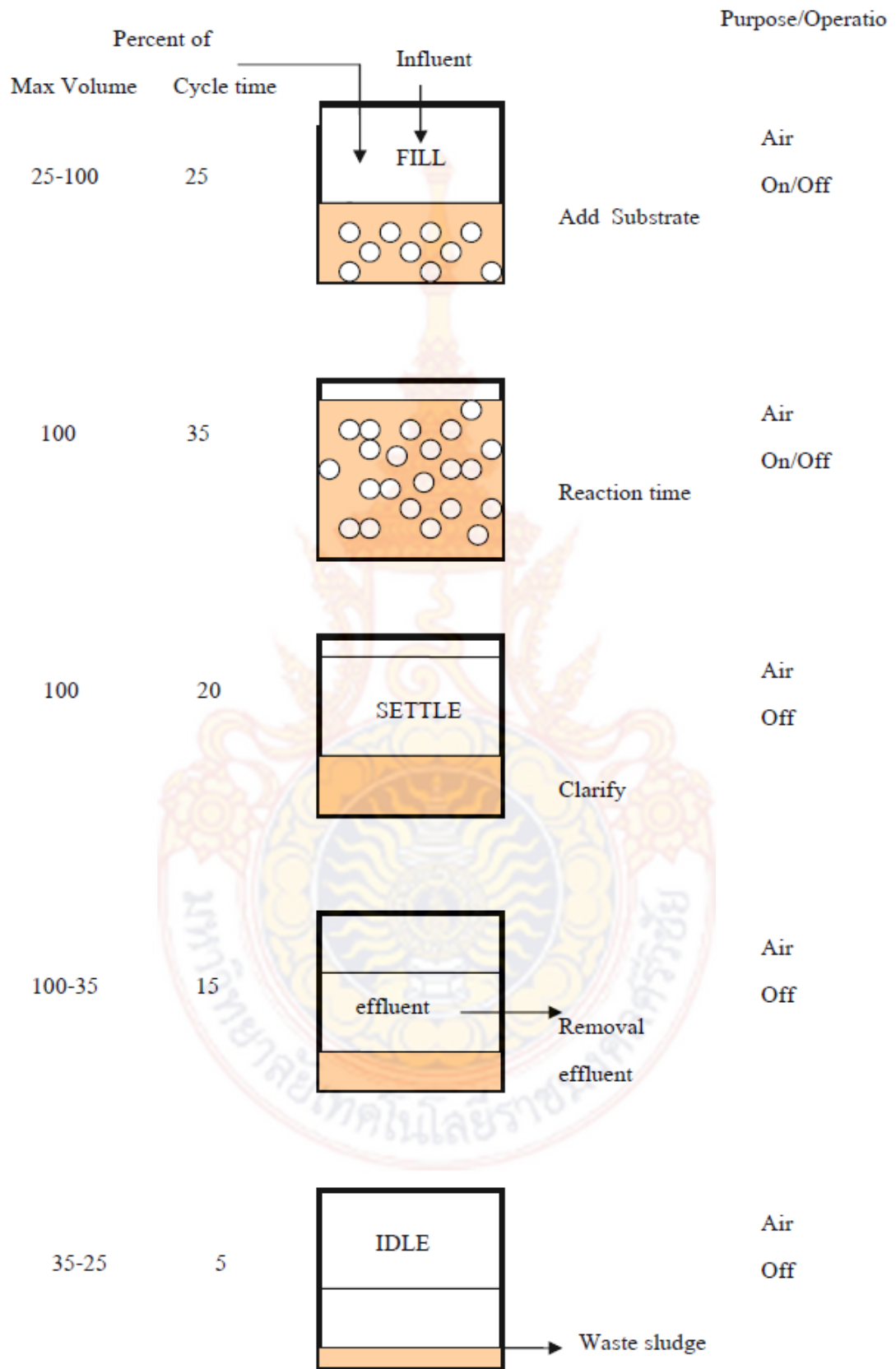
### ช่วงที่ 4 ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Decant period)

เป็นการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วในส่วนที่เป็นน้ำใสออกจากถังปฏิกิริยาจนเหลือแต่น้ำตะกอน (Mixed liquor) ปริมาณเท่ากับช่วงก่อนที่มีการเติมน้ำเสีย และระยะเวลาที่ใช้ในการระบายก็ไม่ควรนานเกินไปเพราะจะทำให้ค่า DO ลดต่ำลงนานเกินไป ซึ่งจะเป็นผลเสียต่อตะกอนจุลินทรีย์ ใช้เวลาประมาณร้อยละ 30 ของหนึ่งรอบวัฏจักร

### ช่วงที่ 5 ช่วงพัก (Idle period)

เป็นการเว้นช่วงเวลาให้ถังปฏิกิริยาได้มีการทำงานครบวัฏจักรจนสมบูรณ์ก่อนที่จะเริ่มวัฏจักรต่อไป ซึ่งระยะพักนี้จะมีหรือไม่ก็ได้ โดยอาจจะมีไว้ในกรณีมีปัญหาเกิดขึ้นหรือข้อบกพร่องที่ต้องทำการแก้ไข อาจจะมีการกำจัดตะกอนส่วนเกิน (Exceed Sludge) ด้วยก็ได้ ใช้เวลาประมาณร้อยละ 5 ของหนึ่งรอบวัฏจักร (ขวัญเนตร, 2551)

เมื่อถังปฏิกิริยาทำงานครบ 5 ช่วงแล้วถือว่าทำงานเป็น 1 วัฏจักร จะเป็นเวลาเริ่มตั้งแต่สูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบจนถึงช่วงพัก ซึ่งเวลาทั้งหมดในวัฏจักรจะใช้เวลาประมาณ 3-24 ชั่วโมง หรือเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสียนั้นๆ ในขณะที่ระบบ SBR แบบหลายถังจะมีเวลาที่ใช้ในการบำบัดซึ่งเป็นเวลารวมตั้งแต่ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill period) ของถังแรกไปจนถึงปลายช่วงพัก/ถ่ายสลัดจ์ (Idle period) ของถังสุดท้ายและการกำจัดตะกอนออกจากถังปฏิกิริยาก็เป็นสิ่งสำคัญในระบบ SBR ซึ่งโดยมากแล้วจะระบายตะกอนออกจากถังในช่วงตกตะกอน โดยลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบเอสบีอาร์ ดังภาพที่ 1.7



ภาพที่ 1.7 ลักษณะการทำงานของระบบเอสปีอาร์

### 3) ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสปีอาร์

#### ก) ข้อดีของระบบเอสปีอาร์

- ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสำหรับสร้างระบบค่อนข้างต่ำ เนื่องจากไม่มีการหมุนเวียนตะกอน โดยตะกอนจะถูกรักษาอยู่ในถังปฏิกรณ์เสมอ จึงไม่จำเป็นต้องมีถังตกตะกอน และปั๊มสูบตะกอน
- ระบบ SBR เป็นระบบที่ใช้พื้นที่น้อยเนื่องจากถังปฏิกริยาใบเดียวทำหน้าที่เป็นทั้งถังเติมอากาศและถังตกตะกอน ซึ่งทำให้ช่วยประหยัดพื้นที่
- สามารถควบคุมให้เกิด Nitrification, Denitrification และ phosphorus Removal ได้โดยไม่ต้องเติมสารเคมี แต่อาศัยการควบคุมวัฏจักรของการบำบัดจึงเป็นระบบที่สามารถบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้
- น้ำตะกอนจะไม่หลุดออกจากระบบ (wash out) เนื่องจากน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกทิ้งให้ตกตะกอนในสภาพที่ค่อนข้างนิ่ง ทำให้น้ำที่ออกจากระบบค่อนข้างใส
- ในช่วงการเติมน้ำเสียปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำ หรืออยู่ในสภาวะแอนอกซิก (Anoxic-Fill) จึงทำให้ในช่วงการเกิดปฏิกริยา ออกซิเจนสามารถละลายลงไปได้มากทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศมีค่าสูง
- เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถปรับเปลี่ยนเวลาของขั้นตอนการทำงานของระบบเพื่อให้เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละชนิด
- ไม่จำเป็นต้องมีการหมุนเวียนตะกอน เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์ อยู่ในถังปฏิกริยาตลอดเวลาเนื่องจากระบบ SBR เป็นระบบที่ทำงานโดยอาศัยช่วงของเวลาเป็นการกำหนดช่วงเวลาการทำงานและไม่ได้ทำงานอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเมื่อน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดไม่ได้คุณภาพไม่ได้มาตรฐานก็สามารถกักเก็บไว้จนกว่าจะได้คุณภาพตามต้องการจึงค่อยระบายทิ้ง
- ระบบ SBR เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบ Activated Sludge เช่น การเพิ่มขึ้นของ Hydraulic loading และ BOD loading รวมถึงสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เส้นใยได้ โดยการปรับเปลี่ยนการทำงานในช่วงเติมน้ำเสียเข้าระบบ
- เป็นระบบที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนจึงไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ควบคุมระบบที่มีความรู้สูง
- ถังปฏิกริยาในระบบ SBR มีลักษณะเหมือนถังพักน้ำ ในระหว่างช่วงเติมน้ำเสียจึงสามารถรับภาระฉับพลัน (shock load) ของบีโอดี และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของระบบจะมีคุณภาพดี

#### ข) ข้อเสียของระบบเอสปีอาร์

- จำเป็นต้องมีการควบคุมระดับตะกอนในถังปฏิกริยาเพื่อรักษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรีย

- การทำงานของระบบต้องเป็นระบบอัตโนมัติ ซึ่งการทำงานของอุปกรณ์วัดคุมต่างๆ ต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง และต้องมีการควบคุมดูแลสถานะการทำงานของระบบตลอดเวลา

### 1.2.6 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

สุจยา (ม.ป.ป.) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายเกลียวทองในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสุราแช่พื้นบ้าน โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสาหร่ายเกลียวทอง ที่ความหนาแน่นเริ่มต้นของสาหร่ายร้อยละ 10 20 และ 30 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานสุราแช่พื้นบ้านเมื่อตกตะกอนด้วยสารส้มแล้วมีค่าซีไอดี เท่ากับ 680 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนียไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 9.850 มิลลิกรัม/ลิตร ไนโตรทรีมีค่าเท่ากับ 0.192 มิลลิกรัม/ลิตร และฟอสฟอรัสทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 5.635 มิลลิกรัม/ลิตร จากผลการศึกษาความหนาแน่นของสาหร่ายที่แตกต่างกันพบว่า ความหนาแน่นของสาหร่ายร้อยละ 30 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสุราแช่พื้นบ้านได้ดีที่สุด เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีไอดีร้อยละ 86.03 แอมโมเนียไนโตรเจน ร้อยละ 52.74 ไนเตรทไนโตรเจน ร้อยละ 41.41 และฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 52.55 นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาปริมาณของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทองในน้ำเสียจากโรงงานสุราแช่พื้นบ้านในสภาพกลางแจ้งพบว่า ปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมคือ  $\text{NaHCO}_3$  7 กรัม/ลิตร  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.4 กรัม/ลิตร  $\text{NaNO}_3$  1.3 กรัม/ลิตร และปุ๋ย NPK 0.6 กรัม/ลิตร เมื่อทดลองเพาะเลี้ยงด้วยสูตรดังกล่าวเป็นเวลา 22 วัน นำสาหร่ายไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการทางโปรตีน พบว่ามีโปรตีนร้อยละ 41.0 ส่วนการเพาะเลี้ยงที่ไม่มีการเติมสารอาหารมีโปรตีนร้อยละ 28.8

สิวลี (2541) ศึกษาการนำระบบบำบัดแบบชีวภาพและวิธีแบบเคมีมาบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา หรือน้ำกากส่า ซึ่งเป็นของเหลือจากการกลั่นสุรา ในการทดลองนี้จะใช้น้ำกากส่า 2 ชนิด คือ น้ำกากส่าสดหรือน้ำกากส่าที่ออกจากหมักแล้วและยังไม่ได้ผ่านขบวนการบำบัดมาก่อน และน้ำกากส่าหมักหรือน้ำกากส่าที่นำมาจากบ่อหมักไร่อากาศ จากโรงงานแสงโสมและโรงงานไทยแอลกอฮอล์ ผลการศึกษา พบว่า น้ำกากส่าสดโรงงานแสงโสมเมื่อตกตะกอนด้วยเฟอริกคลอไรด์ สารส้ม และปูนขาว สามารถลดความเข้มข้นได้ร้อยละ 90.0 89.0 และ 93.0 ตามลำดับ น้ำกากส่าหมักโรงงานแสงโสม เมื่อตกตะกอนด้วยเฟอริกคลอไรด์ สารส้ม และปูนขาว สามารถลดความเข้มข้นได้ร้อยละ 98.7 97.5 และ 93.6 ตามลำดับ เมื่อนำน้ำกากส่าสดและน้ำกากส่าหมักที่เติมอากาศและเชื้อจุลินทรีย์เป็นเวลา 96 ชั่วโมง แล้วตกตะกอนด้วยปูนขาวและเฟอริกคลอไรด์ พบว่าความเข้มข้นลดลงร้อยละ 97.3 และ 99.6 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นด้วยสารเคมีขึ้นนั้นเป็นเพราะเชื้อจุลินทรีย์ที่เติมลงไปมีกิจกรรมบางอย่างต่อโมเลกุลของสีในน้ำกากส่าทำให้โครงสร้างโมเลกุลเปลี่ยนไปในแนวทางที่ช่วยให้การตกตะกอนด้วยสารเคมีดีขึ้น

สันทิต และคณะ (2541) ทดลองใช้ระบบบำบัดสีน้ำกากส่าโดยอาศัยกระบวนการทางชีวภาพร่วมกับกระบวนการทางเคมีในการลดค่าบีโอดี ซีไอดี และความเข้มข้นน้ำกากส่า โดยจะมีหน่วย SCBA-A ที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยเติมอากาศเบื้องต้นให้แก่กากส่าก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีววิทยา ค่า Sludge Volume ที่หน่วยนี้เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ค่าซีไอดีและความเข้มข้นไม่

สามารถบำบัดในหน่วยนี้ อย่างไรก็ตามทั้งในหน่วยบำบัด SCBA-B และ SCBAA ค่า Sludge Volume จะเพิ่มขึ้นเป็น 350-400 มิลลิลิตรต่อลิตร ค่าซีไอดีของน้ำเสียที่ออกจากหน่วย SCBA-B และ SCBA-C จะลดลงร้อยละ 44 และ 22.9 ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นลดลงร้อยละ 25 และ 13.3 ตามลำดับ ความเข้มข้นน้ำกากส่าใน 2 หน่วยนี้สามารถทำให้ตกตะกอนด้วยสารเคมีได้ง่าย

สันทัด (2543) ได้มีศึกษาการนำเอาระบบชีวภาพโดยเฉพาะระบบไร้อากาศและกระบวนการทางเคมีมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำกากส่า ซึ่งน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองได้มาจากบ่อหมักโรงงาน แสงโสม ขนาด 67,200 ลูกบาศก์เมตร ที่เวลาเก็บกักเท่ากับ 220 วัน พบว่าสามารถลดค่าบีโอดีและซีไอดีลงเท่ากับร้อยละ 90 และ 46 ตามลำดับ แต่ความเข้มข้นก็ยังคงอยู่และได้มีการทดลองนำเอากระบวนการเติมอากาศมาใช้เป็นระบบบำบัดขั้นต้นและนำเอากระบวนการบำบัดเคมีมาใช้ในการบำบัดต่อโดย สารเคมีที่ใช้เพื่อช่วยในการตกตะกอนคือ CaO และ FeCl<sub>3</sub> พบว่าสีในน้ำกากส่าสามารถใช้ CaO ช่วยในการลดความเข้มข้นได้และน้ำกากส่าหมักสามารถใช้ FeCl<sub>3</sub> ช่วยในการลดความเข้มข้นได้เช่นกัน

ทรงพล (2544) ได้ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดสีและซีไอดีของน้ำกากส่า ด้วยระบบยูเอเอสพีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศจำนวนสองคอลัมน์ ซึ่งภายในคอลัมน์จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอธิลีนที่แตกต่างกัน การทดลองจะใช้คอลัมน์จำนวน 2 ชุดที่ทำด้วยวัสดุพีวีซีใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร และสูง 2800 มิลลิเมตร โดยภายในคอลัมน์ที่หนึ่ง จะบรรจุตัวกลางโพลีเอธิลีนรูปวงแหวนที่มีพื้นที่ผิว 187 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตรตัวกลาง ในขณะที่ภายในคอลัมน์ที่สอง จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอธิลีนรูปทรงกลมที่มีพื้นที่ผิว 135 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร ตัวกลาง และกำหนดให้ความสูงของชั้นตัวกลางภายในคอลัมน์ทั้งสองสูงเท่ากัน คือ 1.25 เมตร และทำการป้อนน้ำเสียกากส่าเป็นแบบไหลขึ้นที่อัตราสูบ 7.5 ลิตรต่อวัน โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าซีไอดีของน้ำกากส่าเป็น 3,500 และ 4,500 ซึ่งคิดเป็นอัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมซีไอดี/ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีของคอลัมน์ที่หนึ่งเท่ากับร้อยละ 58 และร้อยละ 65 และสำหรับคอลัมน์ที่สอง จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี เท่ากับร้อยละ 55 และร้อยละ 65 ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมซีไอดี/ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ และคอลัมน์ที่ 1 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 41 และร้อยละ 45 สำหรับคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 45 และ 51

อำนาจ (2546) ได้ศึกษาความสามารถในการกำจัดสีน้ำกากส่า โดยใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นโคแอกูแลนต์ ร่วมกับวัสดุเหลือทิ้ง คือ แกลบเผา ซิลิกาอะลูมินา และถ่านลอย ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 และ 200 เมช สำหรับใช้เป็นแกนเกาะในกระบวนการโคแอกูเลชัน ทดลองโดยใช้จารุเทสโดยใช้อัตราการกวนเร็วที่ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที อัตราการกวนช้าที่ 20 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และเวลาในการรวมตะกอน 1 ชั่วโมง น้ำกากส่าที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ประเภท คือ น้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดโดยบำบัดทางชีวภาพ โดยการเก็บกักในบ่อระยะเวลา 392 วัน ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเจือจางด้วยน้ำ 5 เท่า มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 8.1 - 8.3 ค่าตะกอนแขวนลอยอยู่ระหว่าง 200-500 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าซีไอดีอยู่ระหว่าง 4,600 - 4,900 มิลลิกรัม/ลิตร และ ค่าความเข้มข้นประมาณ 900-1,200 เอสยู และน้ำกากส่าที่ไม่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเจือจางด้วยน้ำ 5 เท่า มีค่าตะกอนแขวนลอยอยู่ระหว่าง 900-1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าซีไอดีอยู่ระหว่าง 16,000-17,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าความเข้มข้นประมาณ 1,300 -1,500 เอสยู และปรับค่าพี



เอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 8.1-8.3 ผลการทดลองโดยใช้น้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดทางชีวภาพพบว่า การใช้ปริมาณโพสโละลูมิเนียมคลอไรด์ 8 กรัม/ลิตร สามารถกำจัดซีไอได้ร้อยละ 94.64 มีชั้นตะกอนร้อยละ 85 และกำจัดค่าซีไอดีร้อยละ 82.78 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โพสโละลูมิเนียมคลอไรด์ ร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งที่เหมาะสมคือ การใช้โพสโละลูมิเนียมคลอไรด์ 8 กรัม/ลิตร ร่วมกับเถ้าลอยขนาด 200 เมช ปริมาณ 30 กรัม/ลิตร สามารถกำจัด ซีไอได้ร้อยละ 92.16 มีชั้นตะกอนร้อยละ 40 กำจัดค่าซีไอดีร้อยละ 81.35 และเสียค่าใช้จ่าย 86.6 บาท/ลูกบาศก์เมตร น้ำกากส่า ส่วนผลการศึกษาน้ำกากส่าที่ไม่ผ่านระบบบำบัดทางชีวภาพ พบว่า การใช้ปริมาณโพสโละลูมิเนียมคลอไรด์ 10 กรัม/ลิตร สามารถกำจัดซีไอได้ร้อยละ 65.89 มีชั้นตะกอนร้อยละ 42 และกำจัดค่าซีไอดีร้อยละ 29.90 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โพสโละลูมิเนียมคลอไรด์ ร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งที่เหมาะสมคือ การใช้โพสโละลูมิเนียมคลอไรด์ 10 กรัม/ลิตร ร่วมกับเถ้าลอยขนาด 200 เมช ปริมาณ 10 กรัม/ลิตร สามารถกำจัดซีไอได้ 60.66 มีชั้นตะกอนร้อยละ 22 กำจัดค่าซีไอดีร้อยละ 25.89 และเสียค่าใช้จ่าย 165.2 บาท/ลูกบาศก์เมตร

กุลยา และอรวรรณ (2549) มีจุดประสงค์เพื่อรักษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสุราแช่พื้นบ้านโดยใช้ถังปฏิกริยาอุเอเอชเอฟ (UAHF : Upflow Anaerobic Hybrid Filter) และศึกษาผลของเวลาเก็บกักน้ำเสียที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของถังอุเอเอชเอฟ โดยในการทดลองได้ใช้แบบจำลองอะคริลิคในทรงกระบอกขนาด 7.08 ลิตร ภายในบรรจุตัวกลางพลาสติก น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสุราแช่พื้นบ้าน ซึ่งควบคุมค่า ซีไอดีของน้ำเข้าประมาณ 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร และควบคุมให้มีระยะเวลาเก็บกักที่ 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุดโดยจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดี ซีไอดีละลาย เจตาห์ลไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวมโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 91.5 90.3 43.9 และ 35.4 ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 2,000 มิลลิลิตร/วัน และปริมาณมีเทนโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 57.58 ผลการศึกษาสรุปได้ว่า เมื่อถังอุเอเอชเอฟมีระยะเวลาในการเก็บกักเพิ่มขึ้นมากกว่า 18 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ จะมีค่าสูงขึ้นด้วย

กุนที (2549) ใช้อะซีโตนเจนิกแบคทีเรียในการดูดซับสารเมลานอยดินจากน้ำกากส่า จากการศึกษาประสิทธิภาพการฟอกสีน้ำกากส่าสังเคราะห์ น้ำกากส่าสดและน้ำกากส่าหมัก พบว่าในระบบที่มีการเติมกลูโคส 30 กรัม เชื่อมีความสามารถในการฟอกสีในวันที่ 6 ของการทดลอง เท่ากับร้อยละ 45.6 41.4 และ 55.3 ตามลำดับ และอะซีโตนเจนิกแบคทีเรียมีความสามารถฟอกสีน้ำกากส่าหมักได้ดีกว่าน้ำกากส่าสด โดยน่าจะมีสาเหตุเนื่องมาจากค่าความสกปรกของน้ำกากส่าหมักนั้นมีความสกปรกที่ต่ำกว่าน้ำกากส่าสดจึงทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อในน้ำกากส่าหมักดีกว่าน้ำกากส่าสดทำให้มีความสามารถในการฟอกสีน้ำกากส่าหมักได้ดีกว่า

### 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแอนแอโรบิกและแอโรบิก

1.3.2 เพื่อศึกษาระยะเวลาเก็บกักน้ำและปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับวิศวกร และนักวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมในการศึกษาการทำงานของถังบำบัด

1.4.2 เป็นแนวทางแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานวิจัย เพื่อนำไปใช้กับระบบบำบัดจริงเมื่อเกิดปัญหาขึ้นในลักษณะเดียวกัน

1.4.3 ข้อมูลที่ได้ไปออกแบบสร้างถังบำบัดน้ำเสียให้กับผู้ผลิตสุราพื้นบ้าน โดยต้นทุนในการสร้างถังบำบัดน้ำเสียมีค่าไม่สูงมากนัก



## บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่องการบำบัดน้ำจากจากการผลิตสุราพื้นบ้านด้วยระบบแอนแอร์โรบิกและแอโรบิก มีวัตถุประสงค์ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

### 2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

2.1.1 เครื่องและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เช่น ตู้บลมร้อน ตู้ดูดความชื้น อ่างควบคุมอุณหภูมิ สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ป้อนดูดสุญญากาศ ถ้วยระเหย กระดาษกรอง GF/C ชุดกรอง

2.1.2 เครื่องแก้ว เช่น ปีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ บิวเรต ปิเปต แท่งแก้วคน หลอดซีไอดี กระบอกตวง ขวดปรับปริมาตร

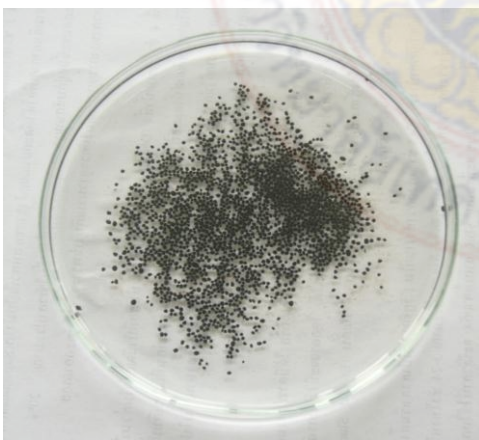
2.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ซีไอดี และน้ำกลั่น

### 2.2 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

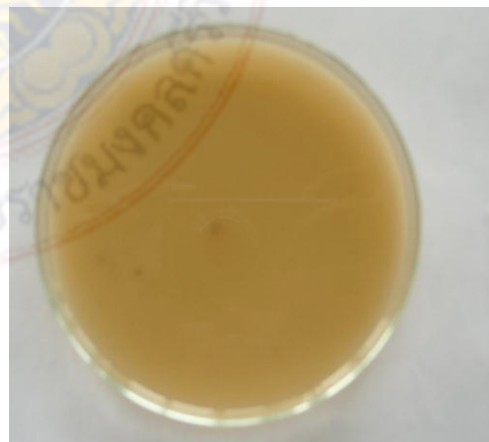
จุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียแสดงดังภาพที่ 2.1 เป็นจุลินทรีย์ที่มาจาก 2 แหล่ง คือ

2.2.1 ตะกอนเม็ดจุลินทรีย์จากระบบบยูเอเอสบี บริษัทห้องเย็นโซติวัฒน์ จำกัด นำมาใช้ในการบำบัดแบบไม่เติมอากาศ เป็นจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นเม็ดแล้ว ขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร นำมาล้างน้ำให้สะอาด ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ดังภาพที่ 2.1ก

2.2.2 ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยจากระบบเอเอส บริษัทผลิตภัณฑ์อาหารกว้างไพศาล จำกัด มหาชน นำมาใช้ในการบำบัดแบบเติมอากาศต่อจากการบำบัดแบบไม่เติมอากาศ มีสีน้ำตาล และรวมตัวกันอยู่เป็นกลุ่ม ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอย ดังภาพที่ 2.1ข



ภาพที่ 2.1ก เม็ดตะกอนจุลินทรีย์



ภาพที่ 2.1ข ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอย

ภาพที่ 2.1 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

### 2.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

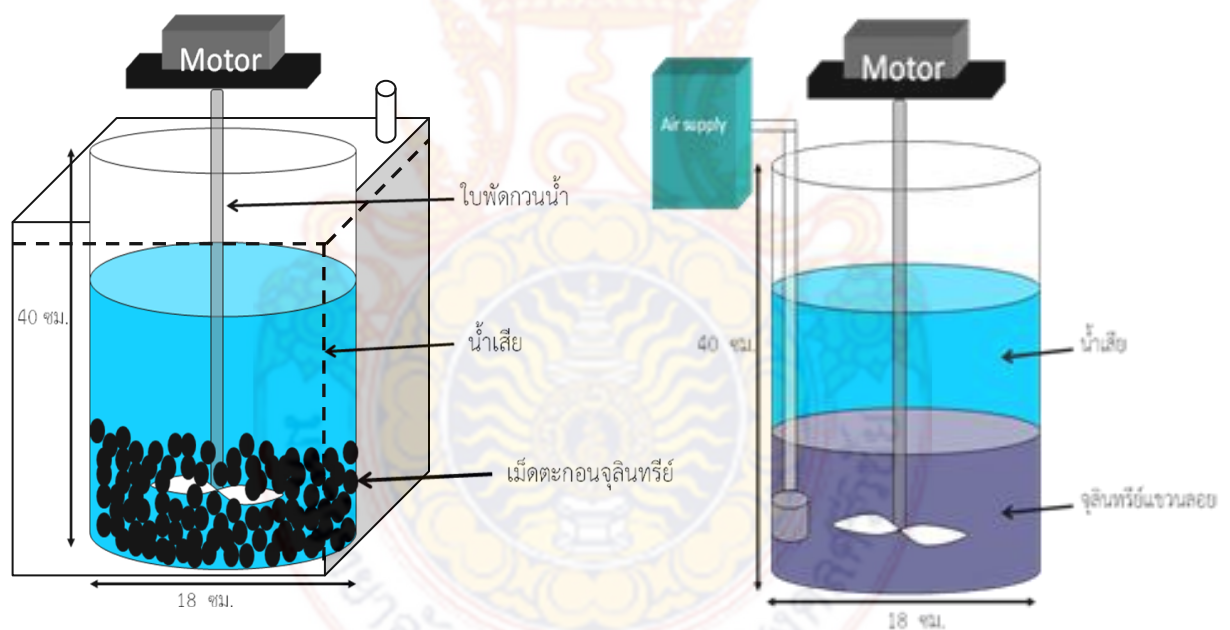
น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำกากส่าที่เกิดขึ้นจากการกลั่นสุราพื้นบ้าน หมู่ที่ 8 ตำบลนาหมื่นศรี จังหวัดตรัง

### 2.4 ถังบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ถังที่ใช้ในการทดลอง มีปริมาตร 10 ลิตร แบ่งเป็น 2 ชนิด ดังภาพที่ 2.2

2.4.1 ถังแอนแอโรบิก เป็นถังระบบปิด ประกอบด้วยถังทรงกลมขนาด 10 ลิตร ซึ่งหุ้มด้วยฉนวนเพื่อไม่ให้สัมผัสกับอากาศภายนอก มีรูระบายอากาศข้างบน และมีใบพัดกวนน้ำ ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศ ประกอบด้วยมอเตอร์ที่ควบคุมใบพัดสำหรับกวนให้น้ำเสียผสมกับจุลินทรีย์ ลักษณะของถังดังภาพที่ 2.2ก

2.4.2 ถังแอโรบิก เป็นถังระบบเปิด ใช้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ ภายในถังมีปั๊มเติมอากาศและหัวเติมอากาศ ลักษณะของถังดังภาพที่ 2.2ข



ภาพที่ 2.2ก ถังแอนแอโรบิก

ภาพที่ 2.2ข ถังแอโรบิก

ภาพที่ 2.2 ลักษณะถังที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

## 2.5 วิธีดำเนินการทดลอง

### 2.5.1 การศึกษาลักษณะของน้ำกากสำ

เก็บตัวอย่างน้ำเสีย ซึ่งเป็นน้ำเสียจากกลุ่มชาวบ้านที่รวมตัวกันผลิตผลิตภัณฑ์สุราพื้นบ้านนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช ซีไอดี ของแข็งแขวนลอย และความเข้มข้นสี ตาม Standard Method for Examination of Water and Wastewater 21<sup>st</sup> Edition, 2005 เพื่อทราบถึงลักษณะของน้ำกากสำก่อนการบำบัด

### 2.5.2 การบำบัดน้ำกากสำด้วยกระบวนการแอนแอรอบิก

#### 2.5.2.1 การปรับสภาพเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

การปรับสภาพจุลินทรีย์ ทำการศึกษาในขวดพลาสติกขนาด 5 ลิตร ที่มีฝาปิดสนิท และมีการเจาะรูข้างขวดด้านบน นำสายยางมาต่อกับรูที่เจาะเพื่อระบายก๊าซที่เกิดขึ้น เริ่มต้นด้วยการเติมเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ลงในขวดปริมาณ 2 ลิตร แล้วเติมน้ำกากสำที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 3 ลิตร นำไปวางไว้ในที่มืด จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำกากสำไปวิเคราะห์ค่าซีไอดี สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เมื่อค่าซีไอดีลดลงจากค่าซีไอดีเริ่มต้น จึงค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นของน้ำกากสำเป็นร้อยละ 30 60 จนกระทั่งใช้ความเข้มข้นของน้ำกากสำร้อยละ 100 จากนั้นนำจุลินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพแล้วไปใช้ในการทดลอง

#### 2.5.2.2 การศึกษาปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำ

กากสำ

ทำการทดลองในถังแอนแอรอบิก ขนาด 10 ลิตร ที่มีฝาปิด โดยเริ่มต้นเติมจุลินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพแล้วในข้อ 2.5.2.1 ลงในถังบำบัดจำนวน 5 ถัง โดยแต่ละถังจะใช้ปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ต่างกัน คือ 0.5 1 1.5 2 และ 2.5 ลิตร จากนั้นเติมน้ำกากสำตามลงไปในแต่ละถังจนได้ปริมาตรสุดท้าย คือ 8 ลิตร แล้วทำการปิดฝาถังให้สนิท เปิดใบพัดกวนให้จุลินทรีย์ย่อยสลาย สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำกากสำ เมื่อครบ 480 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์ค่าซีไอดี จากนั้นพิจารณาว่าน้ำในถังใดมีค่าซีไอดีลดลงมากที่สุด เพื่อเลือกปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสม นำไปทดลองในขั้นตอนที่ 2.5.2.3 ต่อไป การศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากสำ

#### 2.5.2.3 การศึกษาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากสำ

ทำการทดลองในถังแอนแอรอบิก ขนาด 10 ลิตร ที่มีฝาปิด โดยเริ่มต้นเติมจุลินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพแล้วในข้อ 2.5.2.1 ลงในถังบำบัดจำนวน 5 ถัง โดยแต่ละถังจะใช้ปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เท่ากันทุกถัง ที่ได้จากข้อ 2.5.2.2 จากนั้นเติมน้ำกากสำลงไปในแต่ละถังจนได้ปริมาตรสุดท้าย คือ 8 ลิตร แล้วทำการปิดฝาถังให้สนิท เปิดใบพัดกวนให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำกากสำ เก็บตัวอย่างน้ำกากสำในชั่วโมงที่ 24 48 72... ไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช ซีไอดี ของแข็งแขวนลอย และความเข้มข้นสี จนกระทั่งประสิทธิภาพการ

กำจัดซีโอดีมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 50 นำน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอโรบิกแล้วไปบำบัดต่อด้วยกระบวนการแอโรบิก

### 2.5.3 การบำบัดน้ำกากส่าด้วยกระบวนการแอโรบิก

#### 2.5.3.1 การปรับสภาพจุลินทรีย์แขวนลอย

การปรับสภาพจุลินทรีย์แขวนลอยจากระบบเอเอส โดยใช้ระบบ SBR ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

- 1) การเติมน้ำเสีย : เติมน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก ปริมาตร 300 ลิตร ลงในถังที่มีจุลินทรีย์ 100 ลิตร ทำเช่นเดียวกัน จำนวน 3 ถัง
- 2) การทำปฏิกิริยา : เติมอากาศและกวนให้น้ำเสียและจุลินทรีย์เกิดความคุ้นเคยและปรับสภาพได้ ใช้เวลา 19 ชั่วโมง ซึ่งการเติมอากาศต้องมีค่า DO > 2
- 3) การตกตะกอน : หยุดการเติมอากาศและการกวนรอให้จุลินทรีย์ตกตะกอนและแยกชั้น โดยระยะเวลาที่ใช้ในการตกตะกอน ขึ้นอยู่ที่จุลินทรีย์ว่าจะตกตะกอนเร็วหรือช้า
- 4) ระบายน้ำออก : ระบายน้ำที่อยู่ส่วนบนออก นำไปวิเคราะห์หาค่า
- 5) ระยะเวลาพัก : พักถังที่ใช้ในการทดลองเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนการดำเนินการต่อไป
- 6) วิเคราะห์ค่าซีโอดีของน้ำกากส่าหลังปรับสภาพจุลินทรีย์ว่ามีค่าลดลงหรือไม่
- 7) จากนั้นนำจุลินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพให้คุ้นเคยกับน้ำกากส่าแล้วไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

#### 2.5.3.2 การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอยที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่า

นำการทดลองหาปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ โดยใช้ระบบ SBR ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

- 1) การเติม : ทำการทดลอง 5 ชุดการทดลอง โดยเติมน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก ลงในถังที่ใช้ในการทดลอง ขนาด 10 ลิตร จำนวน 5 ถัง โดยในแต่ละถังเติมจุลินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพในข้อ 2.5.3.1 เท่ากับ 2 3 4 5 และ 6 ลิตร จากนั้นเติมน้ำกากส่าลงไปให้แต่ละถังมีปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 8 ลิตร
- 2) การทำปฏิกิริยา : เติมอากาศและกวนให้น้ำเสียและจุลินทรีย์ทำปฏิกิริยา กัน ใช้เวลา 19 ชั่วโมง หาค่า MLSS เริ่มต้น และหลังผ่านการบำบัด
- 3) การตกตะกอน : หยุดการเติมอากาศและกวน รอให้จุลินทรีย์ตกตะกอนและแยกชั้น โดยระยะเวลาที่ใช้ในการตกตะกอน ขึ้นอยู่ที่จุลินทรีย์ว่าจะตกตะกอนเร็วหรือช้า
- 4) ระบายน้ำออก : ระบายน้ำที่อยู่ส่วนบนออก ใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาค่า เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัด ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ซีโอดี (COD)

ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และของแข็งละลายน้ำ (TDS) และความขุ่นสี (Color)

5) ระยะเวลาพัก : พักถังที่ใช้ในการทดลอง เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนการดำเนินการต่อไป

#### ตารางที่ 2.1 การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยกระบวนการแอโรบิก

ชุดการทดลอง	น้ำกากส่า (ลิตร)	จุลินทรีย์ (ลิตร)
1	6	2
2	5	3
3	4	4
4	3	5
5	2	6

#### 2.5.3.3 การศึกษาระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่า

เมื่อทราบปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 2.5.3.2 แล้วให้หาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมโดยใช้ระบบ SBR ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

1) การเติม : ทำการทดลอง 5 ชุดการทดลอง โดยเติมน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการแอโรบิก ลงในถังที่ใช้ในการทดลอง ขนาด 10 ลิตร จำนวน 5 ถัง ที่มีปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่เหมาะสม ซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 2.5.3.2 โดยให้แต่ละถังมีปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 8 ลิตร

2) การทำปฏิกิริยา : เติมหากาสและกวนในถังที่ใช้ในการทดลอง จำนวน 5 ถัง ให้น้ำเสียและจุลินทรีย์ทำปฏิกิริยากัน ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 17 19 21 23 และ 25 ชั่วโมง หาค่า MLSS เริ่มต้น และหลังผ่านการบำบัด

3) การตกตะกอน : หยุดการเติมหากาสและกวน รอให้จุลินทรีย์ตกตะกอนและแยกชั้น โดยระยะเวลาที่ใช้ในการตกตะกอน ขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ว่าจะตกตะกอนเร็วหรือช้า

4) ระบายน้ำออก : ระบายน้ำที่อยู่ส่วนบนออก ใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาค่า เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัด ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ของแข็งละลายน้ำ (TDS) และความขุ่นสี (Color)

5) ระยะเวลาพัก : พักถังที่ใช้ในการทดลอง เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนการดำเนินการต่อไป

#### 2.5.4 รายการและวิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

รายการและวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ นั้นใช้วิธีวิเคราะห์ตามหนังสือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA-AWWA, 1998) และคู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2544) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ วิธีวิเคราะห์ และรายการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	แอนแอโรบิก	แอโรบิก
พีเอช	Electrical pH meter	/	/
ซีโอดี	Closed Reflux, Titrimetric Method	/	/
เอสเอส	Dried at 103-105°C	/	/
ทีดีเอส	Dried at 103-105°C	-	/
ความขุ่นสี	Spectrophotometer	/	/





### บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาการบำบัดน้ำกากส่าจากการผลิตสุราที่บ้านด้วยระบบแอนแอร์บิกและแอร์บิก  
ดังนี้

#### 3.1 การศึกษาลักษณะของน้ำกากส่า

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำกากส่า ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของน้ำกากส่าก่อนการบำบัด

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์
พีเอช	3.43
ซีไอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	84,444
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	55,000
ความเข้มข้น (เอสยู)	1,370

จากลักษณะของน้ำกากส่าก่อนการบำบัด ตารางที่ 3.1 น้ำกากส่ามีความเข้มข้นเท่ากับ 1,370 เอสยู เนื่องจากกระบวนการผลิตสุราที่บ้าน มีการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ และมีการหมัก รวมทั้งต้องใช้ความร้อนในการกลั่นสุรา น้ำกากส่าที่เหลือทิ้งจากการผลิตจึงมีสารอินทรีย์และความร้อนสูง ไม่สามารถปล่อยทิ้งได้ทันที จึงต้องเก็บน้ำเสียไว้ในถังขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการหมักแบบไม่ใช้อากาศ ส่งผลให้พีเอชมีค่าเป็นกรด และมีค่าซีไอดีสูง ส่วนความเข้มข้น และปริมาณของแข็งแขวนลอย ที่มีในน้ำเสีย เกิดจากการที่กากน้ำตาลได้รับความร้อนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาและให้สารสีน้ำตาล ซึ่งได้แก่ สารเมลานอยดิน จึงส่งผลให้น้ำเสียมีสีน้ำตาลเข้ม และมีสารอินทรีย์ รวมถึงตะกอนแขวนลอยต่างๆ

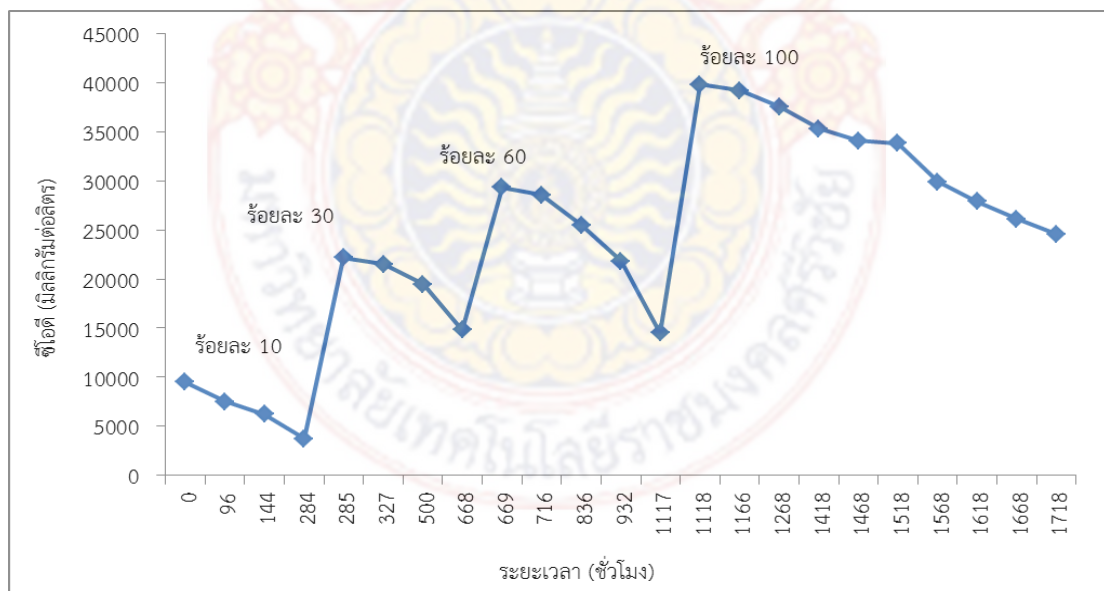
#### 3.2 การบำบัดน้ำกากส่าด้วยกระบวนการแอนแอร์บิก

##### 3.2.1 การปรับสภาพเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

การปรับสภาพเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ใช้เวลาปรับสภาพทั้งหมด 1,718 ชั่วโมง มีผลการวิจัย  
ดังภาพที่ 3.1 และ 3.2



ภาพที่ 3.1 การปรับสภาพเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์

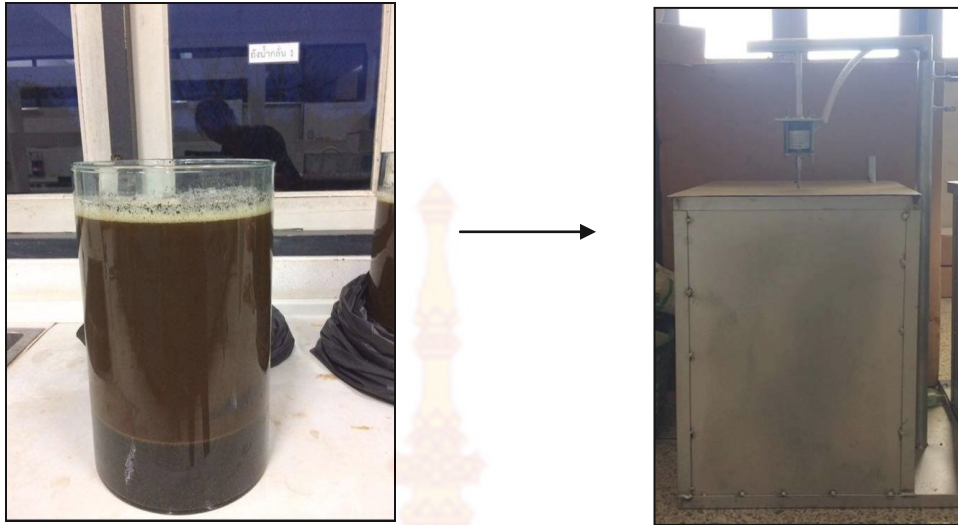


ภาพที่ 3.2 ผลของการปรับสภาพเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ระยะเวลาต่างๆ

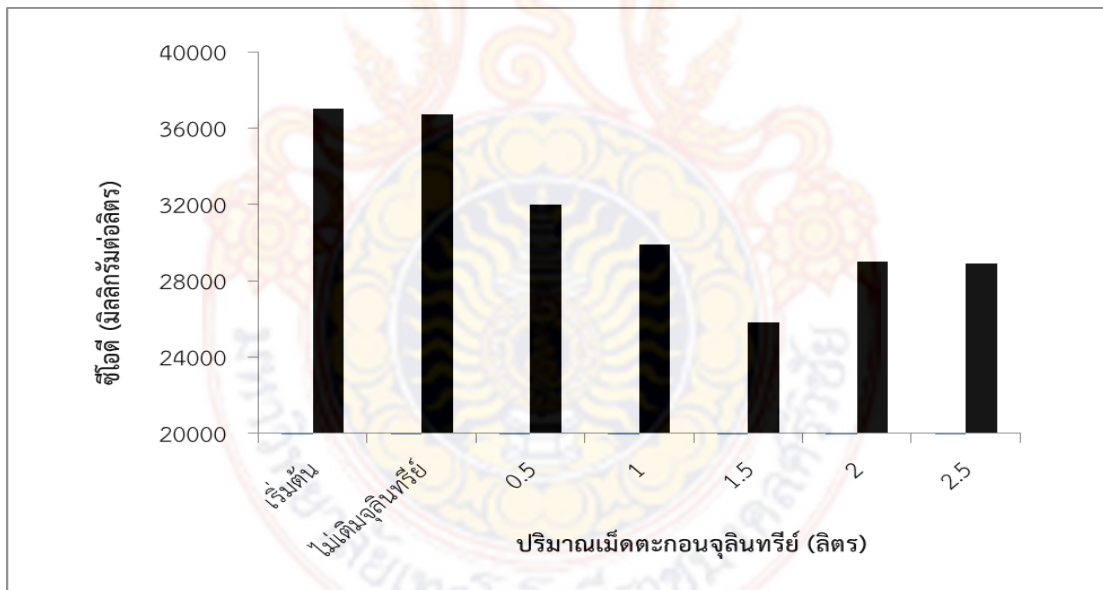
จากการศึกษาพบว่าเมื่อความเข้มข้นซีโอดีของน้ำกากสำเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ก็มากขึ้นไปด้วย คือ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 น้ำกากสำมีค่าความเข้มข้นของซีโอดี 9,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้เวลาในการปรับสภาพให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ย่อยสลายน้ำกากสำจนมีค่าซีโอดีลดลงร้อยละ 50 เป็นเวลา 284 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของน้ำกากสำร้อยละ 30 มีค่าความเข้มข้นของซีโอดี 22,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลาในการปรับสภาพเป็นเวลา 383 ชั่วโมง ในขณะที่ความเข้มข้นของน้ำกากสำร้อยละ 60 มีค่าความเข้มข้นของซีโอดี 29,300 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลาในการปรับสภาพ 448 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้นของน้ำกากสำร้อยละ 100 น้ำกากสำมีค่าความเข้มข้นของซีโอดี 39,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องใช้เวลาในการปรับสภาพ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ 600 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาจากการที่เม็ดตะกอนจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์จนมีความสกปรกในรูปซีโอดีลดลงประมาณร้อยละ 50 แสดงว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เริ่มมีความคุ้นเคยในการย่อยสลายน้ำกากสำ โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ใช้เวลาในการปรับสภาพทั้งหมด 1,718 ชั่วโมง หรือประมาณ 72 วัน ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เป็นจุลินทรีย์จากระบบไม่เติมอากาศ จุลินทรีย์จึงมีอัตราการเจริญเติบโตและย่อยสลายสารอินทรีย์ช้า (Sponza et al., 2002) ดังนั้นเมื่อน้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้นของซีโอดีมากขึ้น จึงต้องใช้เวลาในการย่อยสลายมากขึ้นตามไปด้วย

### 3.2.2 การศึกษาปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากสำ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากสำด้วยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยการหาปริมาณความเข้มข้นของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากสำ ผลการศึกษา พบว่าการทดลองในถังที่เติมเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ปริมาณ 1.5 ลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกากสำจนได้ปริมาตรสุดท้าย 8 ลิตร มีค่าซีโอดีเริ่มต้น 37,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความเข้มข้นของจุลินทรีย์เท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร เมื่อปล่อยให้อยู่ในสภาวะไร้อากาศ เป็นระยะเวลา 480 ชั่วโมง จะเห็นว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายน้ำกากสำได้มากที่สุด ทำให้ค่าซีโอดีมีค่าน้อยกว่าถังการทดลองอื่นๆ โดยมีค่าซีโอดีเท่ากับ 25,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ถังการทดลองที่ไม่มีการเติมเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีค่าซีโอดีลดลงเพียงเล็กน้อย และความเข้มข้นของซีโอดีในถังอื่นๆ ที่เติมเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 0.5 1 2 และ 2.5 ลิตร มีค่าซีโอดีเท่ากับ 32,000 29,900 29,000 และ 28,900 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากสำได้ดีที่สุด คือ ปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 1.5 ลิตร หรือ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร การศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากสำแสดงดังภาพที่ 3.3 และ 3.4 โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะต้องมีปริมาณของจุลินทรีย์ต่อความสกปรกของน้ำเสียในรูปของสารอินทรีย์ที่เหมาะสมกัน ซึ่งจะส่งผลทำให้จุลินทรีย์มีความสามารถในการย่อยสลายได้ดี หากปริมาณจุลินทรีย์ต่อสารอินทรีย์มีมากหรือน้อยเกินไป จุลินทรีย์ก็จะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีเท่าที่ควร



ภาพที่ 3.3 การศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าด้วย  
กระบวนการแอนแอโรบิก



ภาพที่ 3.4 ผลการบำบัดน้ำกากส่าที่ปริมาณเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ

### 3.2.3 การศึกษาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่า

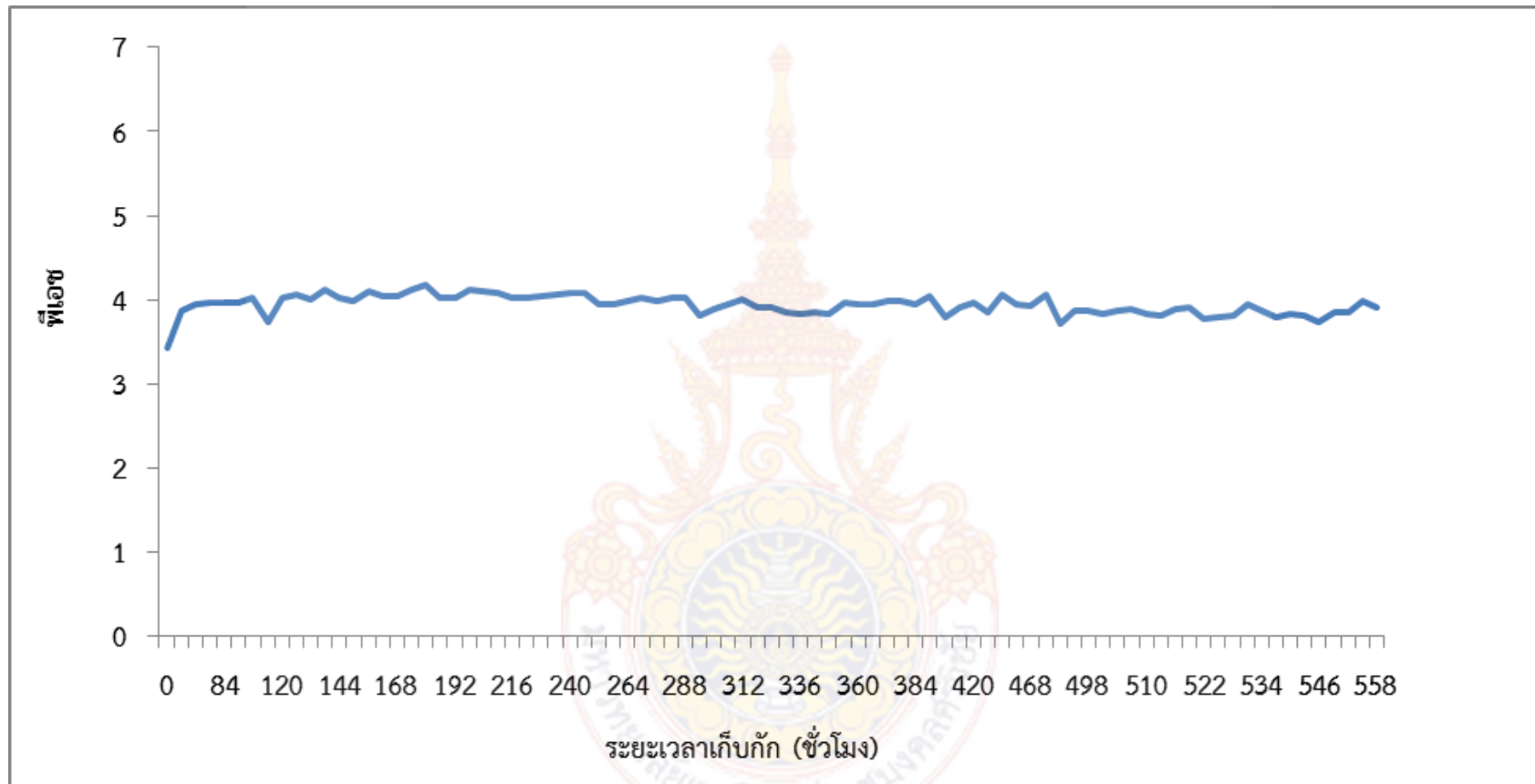
การศึกษาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่า โดยใช้ปริมาณจุลินทรีย์ในถังบำบัด 1.5 ลิตร หรือที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ 10 กรัมต่อลิตร ดังภาพที่ 3.5 ประสิทธิภาพในการบำบัดพิจารณาจากการเก็บตัวอย่างน้ำกากส่าในช่วงโม่งต่าง ๆ มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พีเอช ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และความเข้มข้น ผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 3.5 การศึกษาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก

#### 3.2.3.1 พีเอช (pH)

จากผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชของน้ำกากส่าในภาพที่ 3.6 จะเห็นว่าค่าพีเอชของน้ำกากส่าที่เก็บตัวอย่างในแต่ละระยะเวลาเก็บกักไม่มีความแตกต่างกันมาก โดยจะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 3.43 – 4.07 ซึ่งอยู่ในช่วงพีเอชที่เป็นกรด เนื่องจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศทำให้เกิดกรดขึ้นในระบบ โดยสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติกหรือกรดไขมันระเหยง่าย (Elmitwalli et al., 2007) รวมทั้งน้ำกากส่าที่นำมาศึกษาก็มีสภาพกรดอยู่เดิมจากการหมักในกระบวนการผลิตสุราพื้นบ้าน ส่งผลให้มีค่าพีเอชต่ำ



ภาพที่ 3.6 ค่าพีเอชของน้ำากาส่าที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ ในการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก

### 3.2.3.2 ซีโอดี

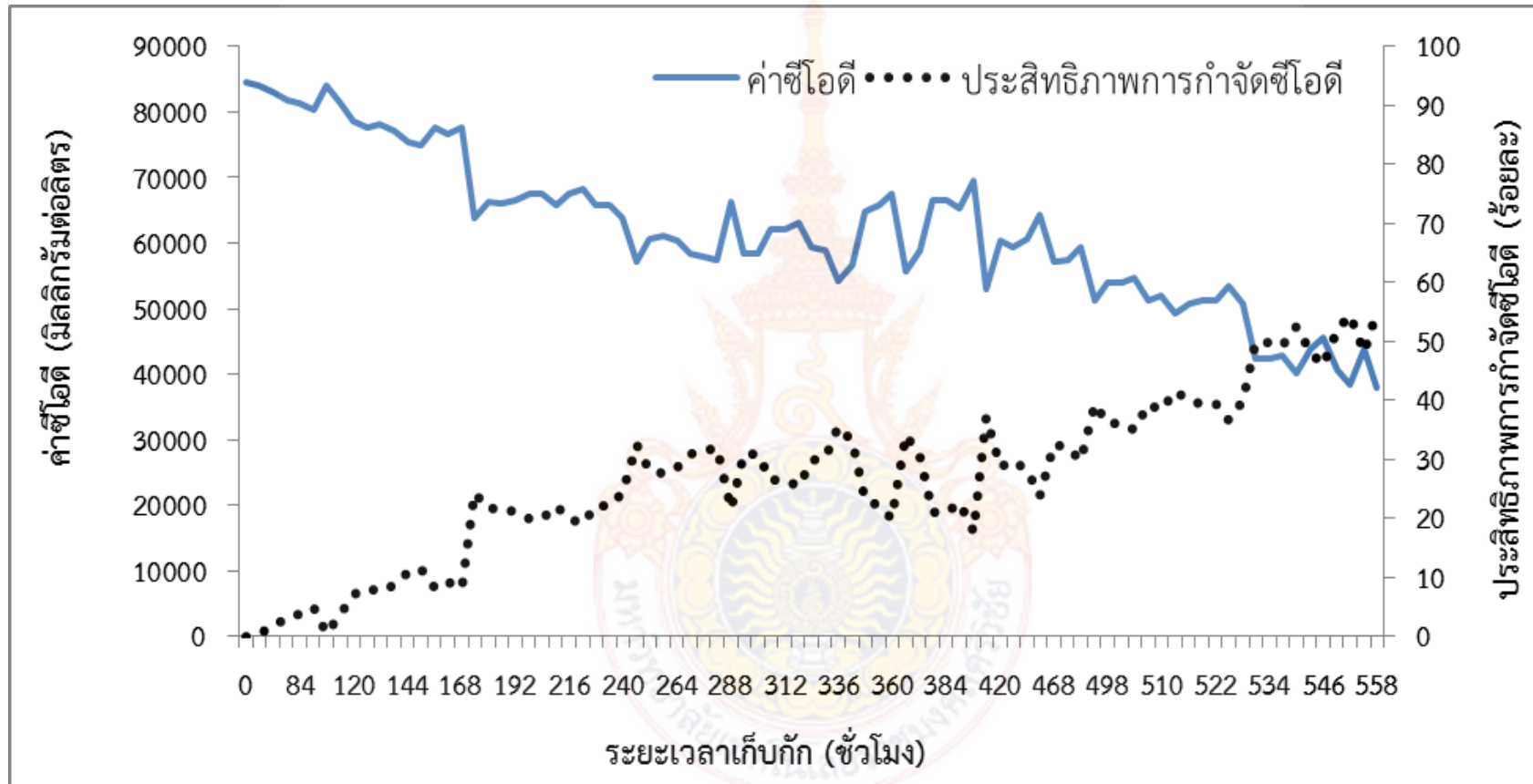
จากการศึกษาการลดลงของค่าซีโอดีในน้ำกากส่าโดยใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จากภาพที่ 3.7 พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 564 ชั่วโมง ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีร้อยละ 54.59 โดยสามารถลดลงเหลือร้อยละ 50 ในชั่วโมงที่ 540 ซึ่งค่าซีโอดีในการทดลองอยู่ระหว่าง 38,000 – 84,444 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งการกำจัดซีโอดีจะค่อย ๆ ลดลงตามระยะเวลาเก็บกักที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้น จะทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังบำบัดมีระยะเวลาสัมผัสกับน้ำกากส่าได้ดีขึ้น โดยในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ให้เล็กลง แต่จะเกิดการย่อยสลายอย่างช้าๆ ค่าซีโอดีจึงไม่ได้ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากขั้นตอนการผลิตสุราใช้วัตถุดิบ คือ น้ำตาลโตนด เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน จะทำให้เกิดการรวมตัวระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโน มีผลทำให้สารอินทรีย์ในน้ำกากส่าย่อยสลายได้ยาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ *Pirsaheba et al.*, (2015) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้การลดลงของค่าซีโอดียังเกิดจากการดูดซับของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์อีกด้วย (Battimelli et al., 2010)

### 3.2.3.3 ค่าของแข็งแขวนลอย (TSS)

จากการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยหรือทีเอสเอสในน้ำกากส่า พบว่าค่าทีเอสเอสมีค่าอยู่ระหว่าง 16,500 – 55,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งในระยะเวลาเก็บกักช่วงแรกที่ชั่วโมงที่ 0 – 96 พบว่าค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะน้ำกากส่าที่ได้จากกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์จะมีสารอินทรีย์ที่มาจากวัตถุดิบปะปนอยู่ จึงทำให้จุลินทรีย์เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำกากส่า เมื่อค่าซีโอดี หรือสารอินทรีย์ในน้ำกากส่ามีค่าน้อยลงจึงส่งผลให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงไปด้วย เนื่องจากสารแขวนลอยก็เป็นสาเหตุหนึ่งของความสกปรกของน้ำกากส่าในรูปของค่าซีโอดี และหลังจากชั่วโมงที่ 96 การย่อยสลายของสารแขวนลอยจะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง เพราะเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้นสารแขวนลอยในน้ำกากส่าเกิดการตกตะกอน จะเห็นได้ว่าในขณะที่ค่าซีโอดีลดลงเหลือร้อยละ 55 ในชั่วโมงที่ 564 ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 645 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในชั่วโมงที่ 564 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยมีค่าเท่ากับร้อยละ 70 ดังรูปที่ 3.8

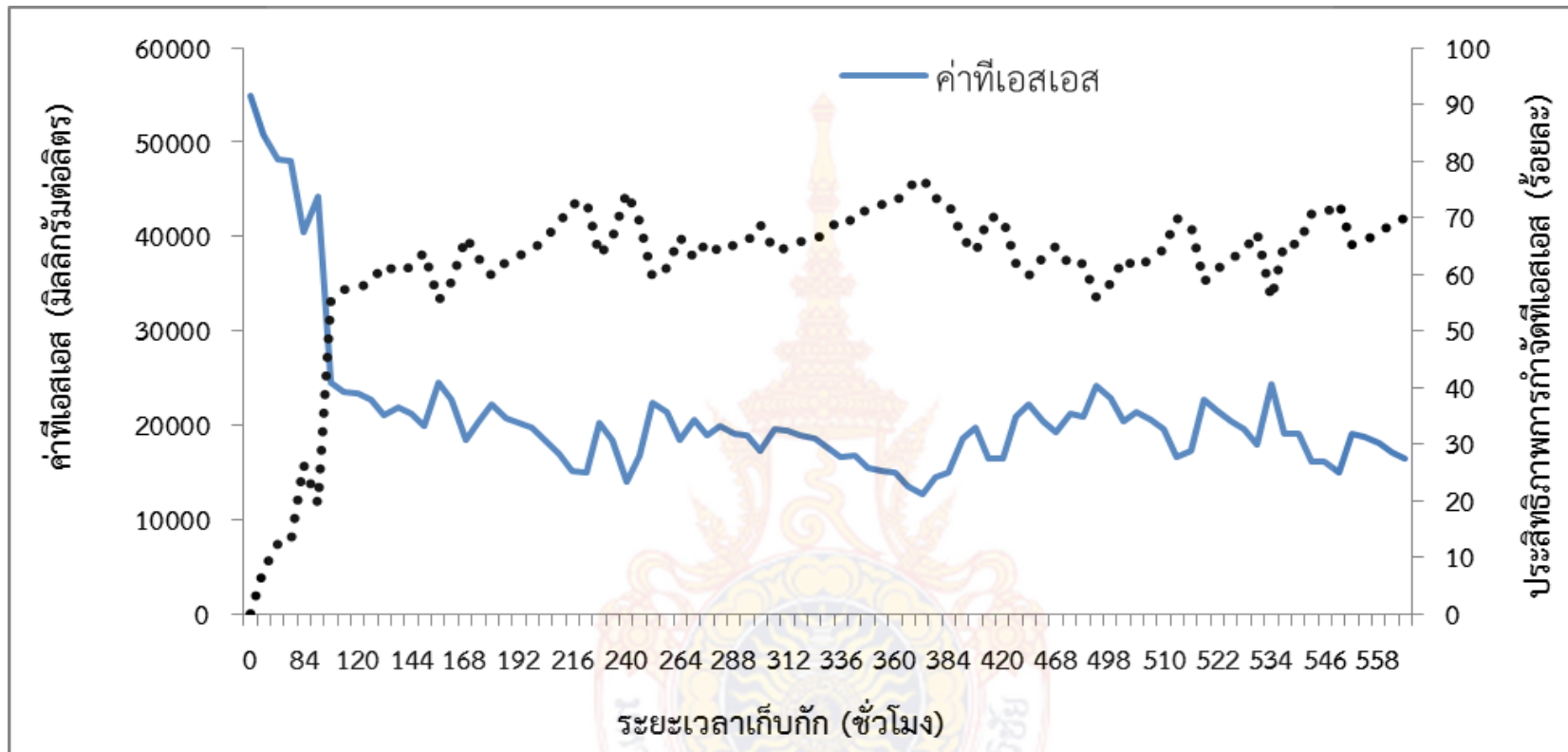
### 3.2.3.4 ความเข้มข้น

จากการศึกษาการกำจัดสีในน้ำเสียจากการผลิตสุราที่บ้านด้วยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จากภาพที่ 3.9 พบว่าค่าความเข้มข้นของน้ำกากส่าจะมีค่าความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 642-1,370 เอสยู จากรูปจะเห็นว่าสีของน้ำกากส่าจะค่อย ๆ ลดลง โดยจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มเป็นสีน้ำตาล เป็นเพราะจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้สีของน้ำซึ่งมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบมีปริมาณน้อยลง (Uzal et al., 2003) ดังนั้นการลดลงของค่าซีโอดีจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการลดลงของความเข้มข้นด้วยเช่นกัน โดยการลดลงของสีในน้ำกากส่าเกิดจากการที่จุลินทรีย์ไปย่อยสลายหรือทำลายโครงสร้างทางเคมีของสารเมลานอยดิน ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลเข้ม (Chandra et al., 2008) เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ชั่วโมงที่ 564 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 53

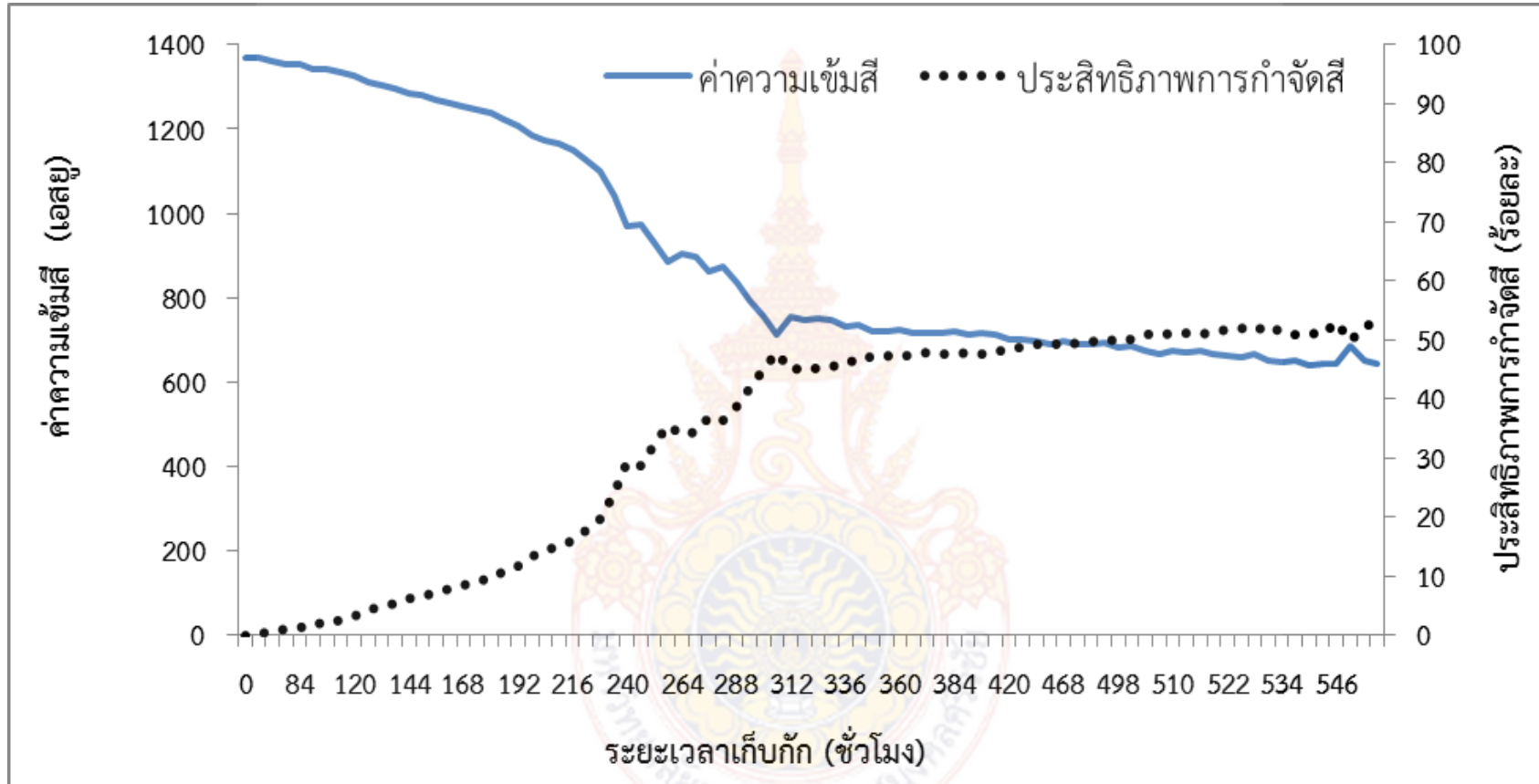


ภาพที่ 3.7 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ ในการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก





ภาพที่ 3.8 ปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ ในการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอรอบิก



ภาพที่ 3.9 ค่าความชื้นและประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ  
ในการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำจากสาจากการผลิตสุราพื้นบ้านด้วย เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 564 ชั่วโมง จุลินทรีย์สามารถย่อยสลาย สารอินทรีย์ในน้ำจากสาได้ แต่ค่าความสกปรกของน้ำจากสายังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามกฎหมาย กำหนด และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า หากระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้น การบำบัดน้ำจากสาก็มี แนวโน้มดีขึ้น ดังนั้นจึงต้องนำน้ำจากสาที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศแล้ว ไปบำบัดต่อเพื่อให้ คุณภาพน้ำ มีค่าเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด

### 3.3 การบำบัดน้ำจากสาด้วยกระบวนการแอโรบิก

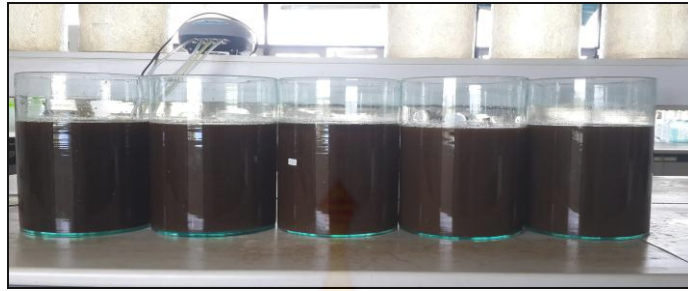
#### 3.3.1 การปรับสภาพจุลินทรีย์แขวนลอย

การปรับสภาพจุลินทรีย์แขวนลอยด้วยระบบเอสปีอาร์ จากการทดลอง พบว่า 1 วัฏจักร ของระบบเอสปีอาร์ ใช้เวลาทั้งหมด 24 ชั่วโมง โดยใช้เวลาในแต่ละขั้นตอน ดังนี้ การเติม : การทำ ปฏิกริยา : การตกตะกอน : ระบายน้ำออก : ระยะเวลาพัก เท่ากับ 1 : 19 : 2 : 1 : 1 และน้ำจากสามีค่า ซีไอดีลดลงร้อยละ 30 แสดงว่าจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำจากสา ทำให้น้ำเสียมีความ สกปรกน้อยลง และการที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ เนื่องจากจุลินทรีย์มีการปรับสภาพ ให้คุ้นเคยกับน้ำจากสา

#### 3.3.2 การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอยที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำ จากสา

การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอยที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำจากสาด้วย ระบบเอสปีอาร์ แสดงดังภาพที่ 3.10 พบว่า 1 วัฏจักร ของระบบเอสปีอาร์ทุกชุดการทดลอง ใช้ เวลาทั้งหมด 24 ชั่วโมง โดยใช้เวลาในแต่ละขั้นตอน ดังนี้ การเติม : การทำปฏิกริยา : การ ตกตะกอน : ระบายน้ำออก : ระยะเวลาพัก เท่ากับ 1 : 19 : 2 : 1 : 1 ผลการศึกษาและประสิทธิภาพใน การกำจัดซีไอดี ทีเอสเอส ทีดีเอส และความเข้มข้น ดังตารางที่ 3.2 3.3 และภาพที่ 3.11-3.14

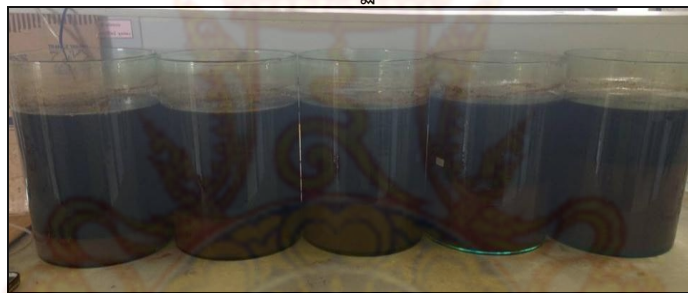
จากการทดลองจะใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกริยา หรือระยะเวลาที่จุลินทรีย์เกิดการย่อย สลายสารอินทรีย์เท่ากันทุกชุดการทดลอง จากผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชของน้ำจากสาทุกชุดการ ทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 7.47-7.69 และชุดการทดลองที่ใช้จุลินทรีย์แขวนลอย 5 ลิตร สามารถ บำบัดน้ำจากสาได้ดีที่สุด มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี ทีเอสเอส ทีดีเอส และสี เท่ากับ ร้อย ละ 44 35 79 และ 26 ตามลำดับ โดยในชุดการทดลองนี้พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของ จุลินทรีย์เท่ากับ 5,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะเห็นว่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์หลังการบำบัดมีค่า สูงกว่าก่อนการบำบัด ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วทำให้น้ำเสียมีความ สกปรกลดลง ขณะเดียวกันจุลินทรีย์ก็จะได้รับพลังงานจากการย่อยสลายไปใช้ในการแบ่งเซลล์ เพื่อ เพิ่มปริมาณ จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์มีมากขึ้น



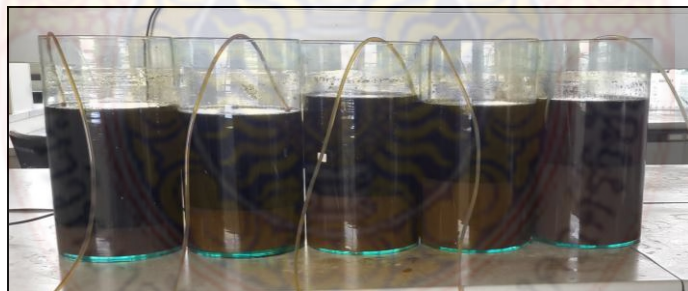
การเติม



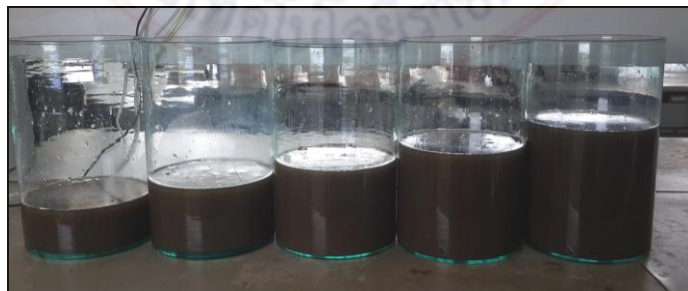
การทำปฏิกิริยา



การตกตะกอน



ระบายน้ำออก



ระยะพัก

ภาพที่ 3.10 การบำบัดน้ำกากส่าด้วยระบบเอสปีอาร์ที่ปริมาณจุลินทรีย์ต่างๆ

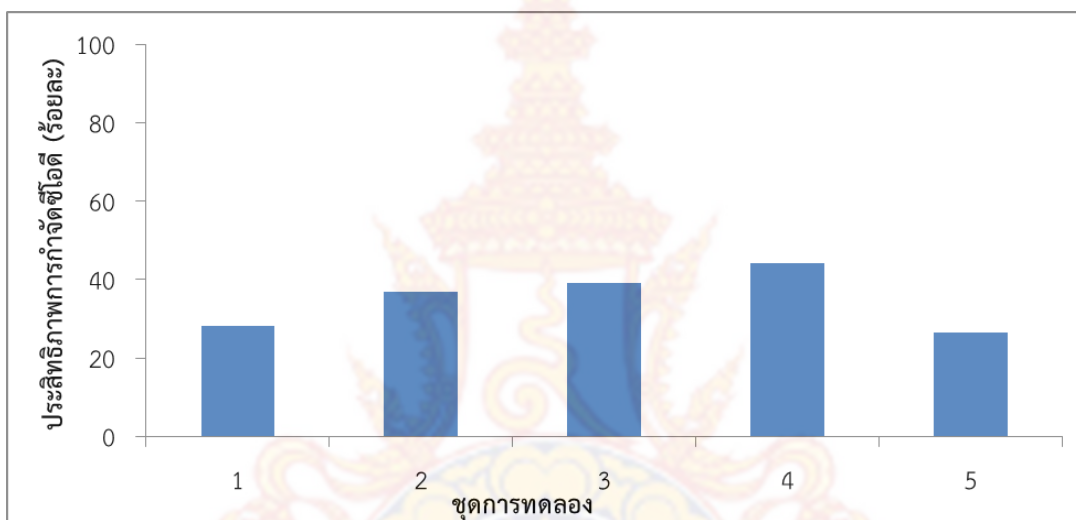
ตารางที่ 3.2 ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอยที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่า

ชุดการทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ (ลิตร)	ปริมาณน้ำกากส่า (ลิตร)	ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ก่อนการบำบัด (มก./ล.)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์หลังการบำบัด (มก./ล.)
	0	8			
1	2	6	19	2,600	2,800
2	3	5	19	3,300	4,000
3	4	4	19	4,100	4,600
4	5	3	19	5,000	5,500
5	6	2	19	5,500	6,300

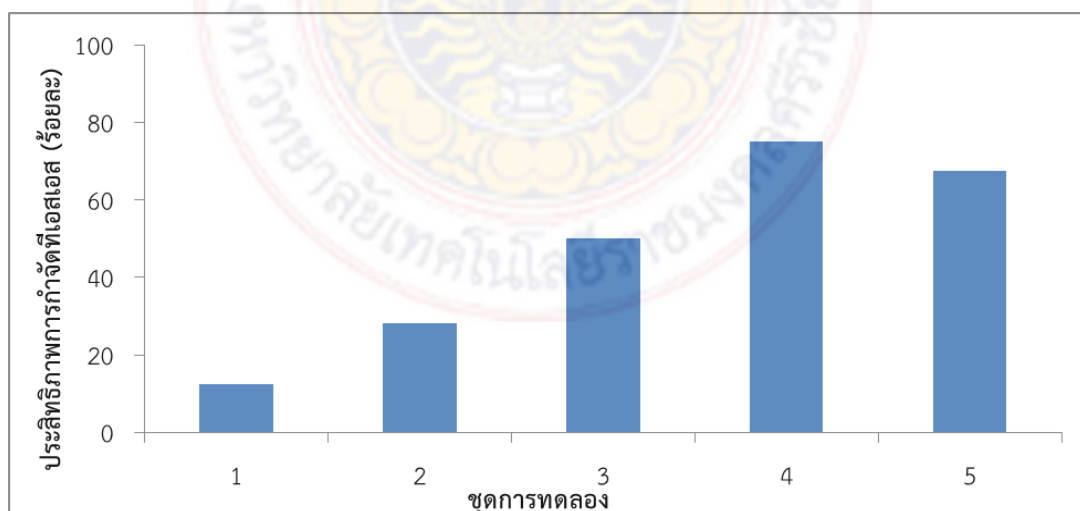
ตารางที่ 3.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยระบบเอสปีอาร์ที่ปริมาณจุลินทรีย์ต่างๆ

ชุดการทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ (ลิตร)	ปริมาณน้ำกากส่า (ลิตร)	พีเอช	ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (ร้อยละ)	ทีเอสเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดทีเอสเอส (ร้อยละ)	ทีดีเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดทีดีเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (เอชยู)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)
	0	8	7.05	38,587		16,000		41,000		775	
1	2	6	7.47	27,709	28	14,000	13	36,000	12	700	10
2	3	5	7.53	24,400	37	11,500	28	31,000	24	625	19
3	4	4	7.59	23,480	39	8,000	50	27,000	34	675	13
4	5	3	7.61	21,577	44	4,000	75	25,000	39	575	26
5	6	2	7.69	28,370	26	5,200	68	29,000	29	625	19

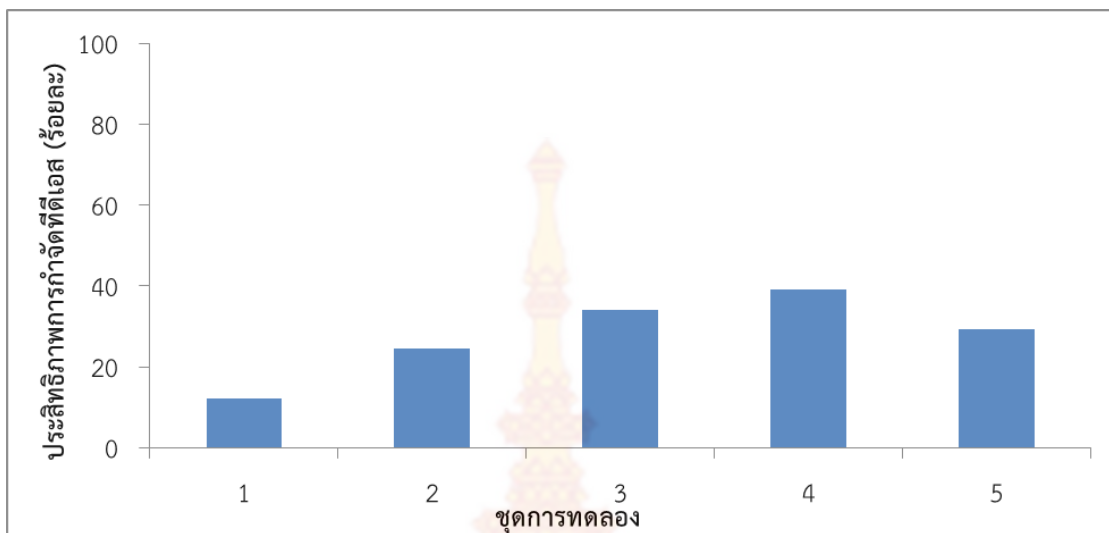
นอกจากนี้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จะต้องมีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่อปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่เหมาะสม จึงจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจากการทดลองเมื่อใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 2 3 4 ลิตร จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีก็ยังมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่อปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์มากเกินไป ในขณะที่เมื่อใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 6 ลิตร จะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่อปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์น้อยเกินไป จึงทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าค่อนข้างต่ำ จากภาพที่ 3.11-3.14 จะเห็นว่าค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูปของทีเอสเอส ทีดีเอส และซีไอดี ก็มีค่าลดลงเช่นเดียวกับซีไอดี



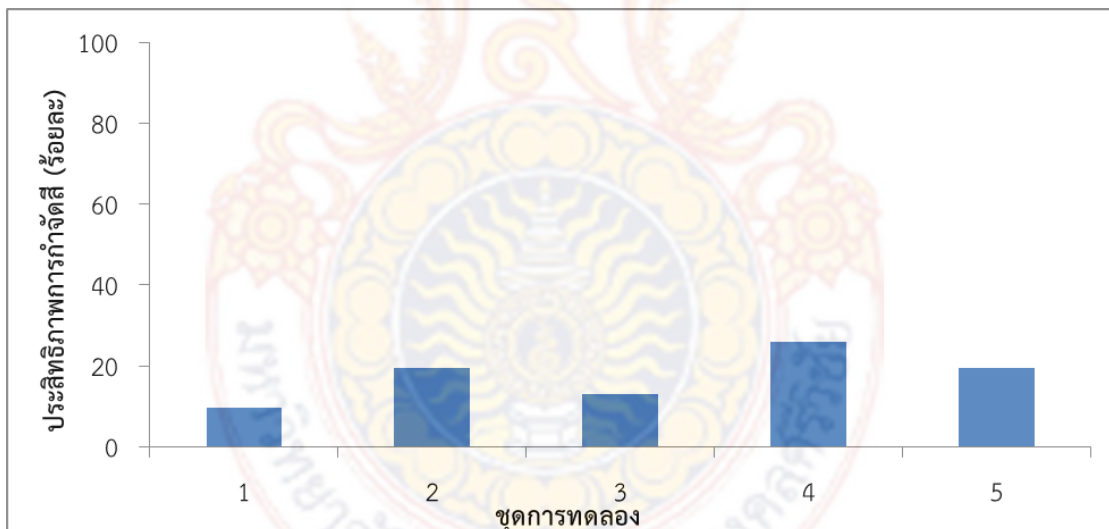
ภาพที่ 3.11 ค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่ปริมาณจุลินทรีย์ต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์



ภาพที่ 3.12 ค่าทีเอสเอสและประสิทธิภาพการกำจัดทีเอสเอสที่ปริมาณจุลินทรีย์ต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์



ภาพที่ 3.13 ค่าที่ติเอสและประสิทธิภาพการกำจัดที่ติเอสที่ปริมาณจูลินทรีย์ต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์

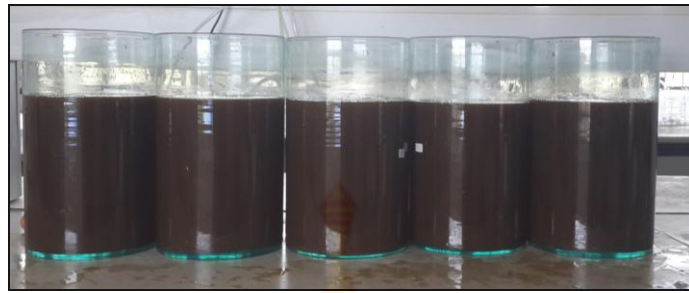


ภาพที่ 3.14 ค่าความเข้มสีและประสิทธิภาพการกำจัดซีที่ปริมาณจูลินทรีย์ต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์

### 3.3.3 การศึกษาระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่า

การศึกษาระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยระบบเอสปีอาร์ แสดงดังภาพที่ 3.15 โดยระยะเวลา 1 วัฏจักร ของระบบเอสปีอาร์ในแต่ละชุดการทดลองจะแตกต่างกัน เนื่องจากในขั้นตอนการทำปฏิกิริยามีระยะเวลาที่ต่างกัน ผลการศึกษา และประสิทธิภาพ ในการกำจัดซีไอที ทีเอสเอส ทีดีเอส และความเข้มสี ดังตารางที่ 3.4 3.5 และภาพที่ 3.16-3.19

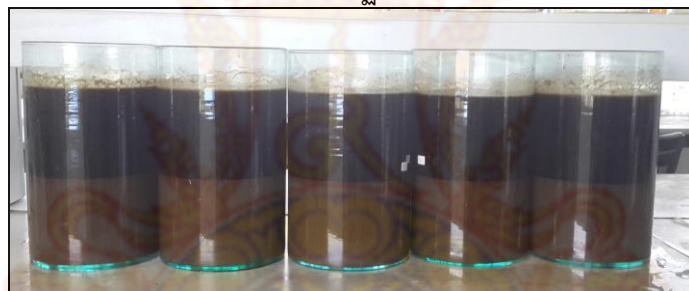




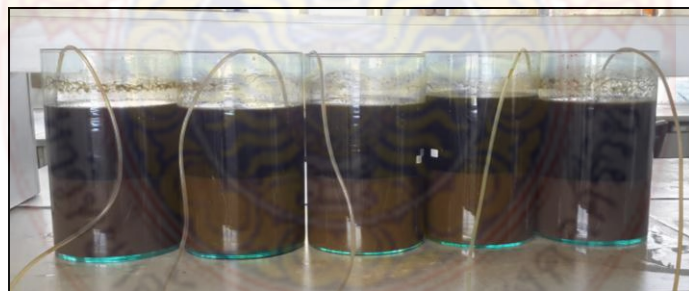
การเติม



การทำปฏิกิริยา



การตกตะกอน



ระบายนํ้าออก



ระยะพัก

ภาพที่ 3.15 การบำบัดน้ำกากส่าด้วยระบบเอสปีอาร์ที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ

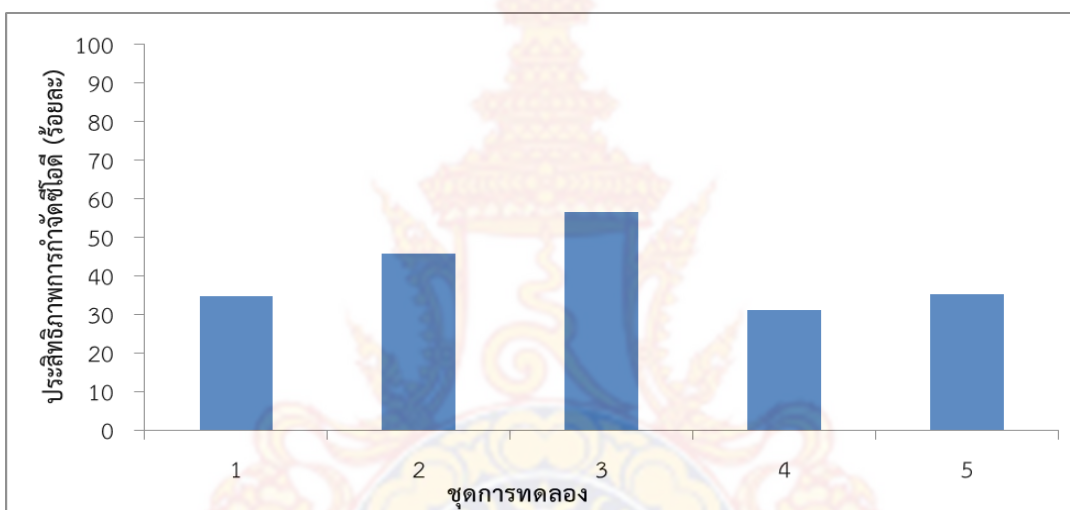
ตารางที่ 3.4 ผลการศึกษาระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่า

ชุดการทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ (ลิตร)	ปริมาณน้ำกากส่า (ลิตร)	การเติม : การทำปฏิกิริยา : การตกตะกอน : ระบายน้ำออก : ระยะเวลาพัก	ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ก่อนการบำบัด (มก./ล.)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์หลังการบำบัด (มก./ล.)
	0	8				
1	5	3	1 : 17 : 2 : 1 : 1	22	4,800	5,600
2	5	3	1 : 19 : 2 : 1 : 1	24	4,883	5,700
3	5	3	1 : 21 : 2 : 1 : 1	26	4,917	6,020
4	5	3	1 : 23 : 2 : 1 : 1	28	5,167	6,267
5	5	3	1 : 25 : 2 : 1 : 1	30	4,950	6,483

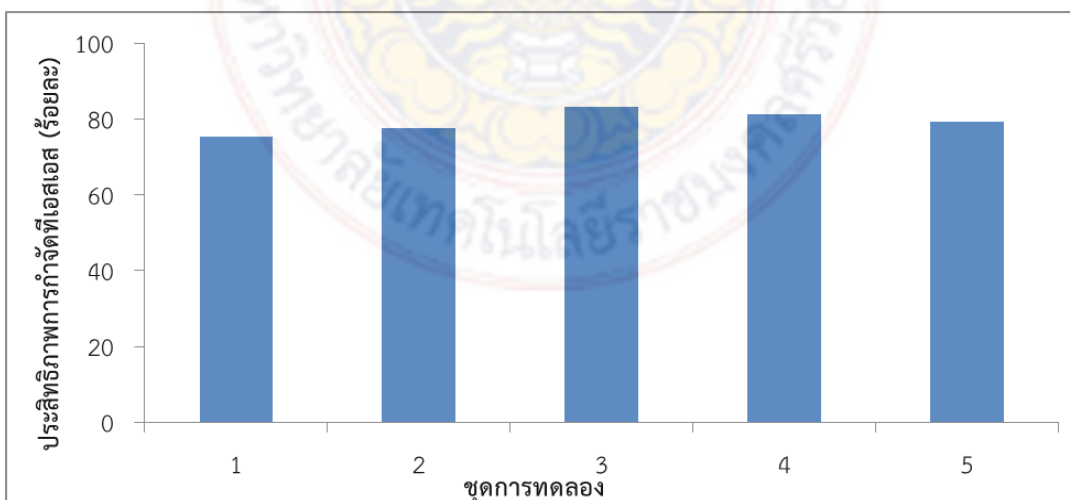
ตารางที่ 3.5 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยระบบเอสปีอาร์ที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	พีเอช	ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (ร้อยละ)	ทีเอสเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดทีเอสเอส (ร้อยละ)	ทีดีเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดทีดีเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (เอสยู)	ประสิทธิภาพการกำจัดซี (ร้อยละ)
		7.08	37,848		16,833		39,000		775	
1	17	7.59	24,675	35	4,167	75	30,000	23	725	6
2	19	7.63	20,520	46	3,766	78	26,167	33	708	9
3	21	7.63	16,416	57	2,833	83	21,500	45	675	13
4	23	7.76	26,026	31	3,166	81	22,400	43	675	13
5	25	7.86	24,513	35	3,500	79	22,800	42	690	11

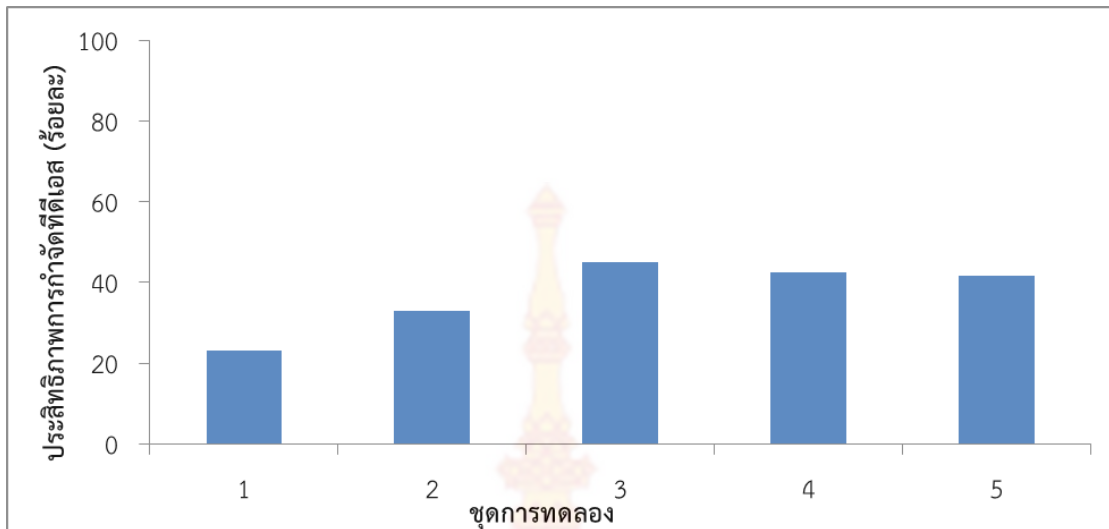
จากการทดลองเมื่อใช้ปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่เหมาะสม ซึ่งได้มาจากการทดลองในข้อ 3.2.3 โดยในแต่ละชุดการทดลองจะมีปริมาณจุลินทรีย์เท่ากับ 5 ลิตร หรือที่ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองจะเห็นว่าในชุดการทดลองที่มีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 21 ชั่วโมง สามารถบำบัดน้ำกากสาได้ดีที่สุด มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.59-7.86 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเอสเอส ทีดีเอส และสี เท่ากับ ร้อยละ 57 83 45 และ 13 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์จะต้องอาศัยระยะเวลาในการสัมผัสกันระหว่างจุลินทรีย์และน้ำกากสาเพื่อให้เกิดการย่อยสลายได้มากที่สุด หากระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดค่อนข้างต่ำ เพราะจุลินทรีย์มีเวลาในการย่อยสลายน้อย ทำให้สิ่งสกปรกยังคงค้างอยู่ในน้ำเสียมาก



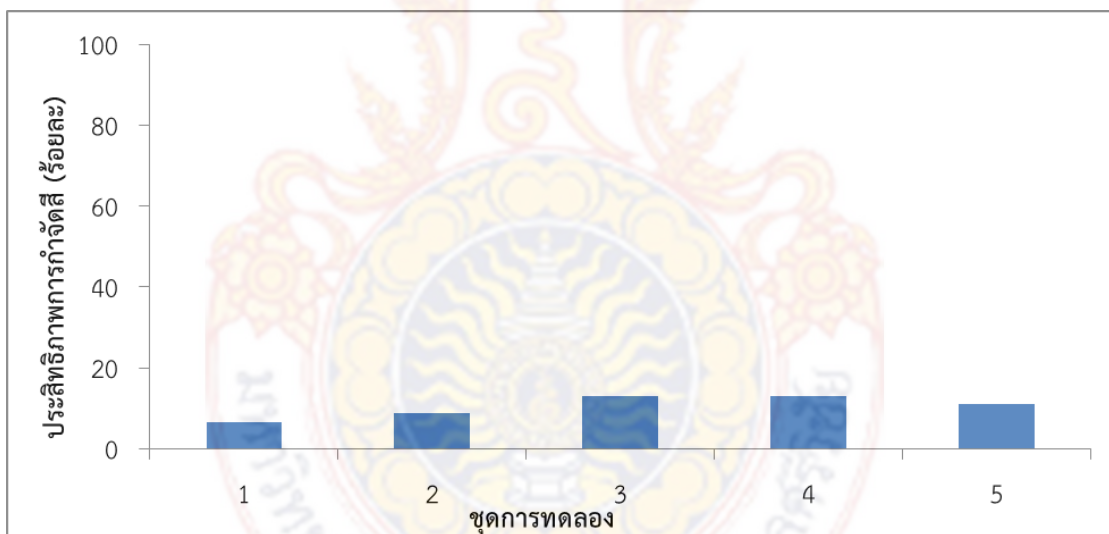
ภาพที่ 3.16 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์



ภาพที่ 3.17 ค่าทีเอสเอสและประสิทธิภาพการกำจัดทีเอสเอสที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์



ภาพที่ 3.18 ค่าทีดีเอสและประสิทธิภาพการกำจัดทีดีเอสที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์



ภาพที่ 3.19 ค่าความเข้มข้นและประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ ในการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์

จากการทดลองจะเห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาระหว่างจุลินทรีย์และสารอินทรีย์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ทำให้จุลินทรีย์เกิดการย่อยสารอินทรีย์ได้ดี

ดังนั้นการบำบัดน้ำจากจากการผลิตสุราที่บ้านด้วยกระบวนการแอนแอโรบิกต่อด้วยกระบวนการแอโรบิก สามารถบำบัดน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง โดยต้องมีปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ และระยะเวลาที่จุลินทรีย์ทำปฏิกิริยาหรือย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เหมาะสม ดังตารางที่ 3.6 โดยต้องใช้ระยะเวลาในการบำบัดโดยระบบแอนแอโรบิก 564 ชั่วโมง และระบบแอโรบิก 21 ชั่วโมง ประสิทธิภาพรวมในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ ร้อยละ 81

ตารางที่ 3.6 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำจากสาด้วยกระบวนการแอนแอโรบิกและแอโรบิก

	ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การกำจัดซีโอดี (ร้อยละ)	ความเข้มข้นของ จุลินทรีย์ (มก./ล.)	ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)
น้ำจากสาเริ่มต้น	84,444			
น้ำจากสาหลังผ่าน กระบวนการแอนแอโรบิก	38,000	55	10,000	564
น้ำจากสาหลังผ่าน กระบวนการแอโรบิก	16,416	81	5,000	21

จากผลการศึกษา สามารถนำสภาวะที่เหมาะสมของปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์และระยะเวลาเก็บกักที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำจากสาในชุมชนได้ เพื่อเป็นการช่วยลดความสกปรกหรือความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และลดกลิ่นเหม็นจากน้ำจากสาได้

## บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 4.1 สรุปผลการวิจัย

4.1.1 การศึกษาการบำบัดน้ำจากสาจากการผลิตสุราที่บ้านด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก โดยใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำจากสา มีความเข้มข้นของจุลินทรีย์เท่ากับ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร และระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมที่ จุลินทรีย์ใช้ในการบำบัดน้ำจากสาจนค่าซีโอดีลดลงเหลือร้อยละ 55 จากค่าซีโอดีเริ่มต้น อยู่ที่ 564 ชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 55 70 และ 53 ตามลำดับ

4.1.2 การบำบัดน้ำจากสาที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอโรบิกแล้วมาบำบัดต่อ ด้วยกระบวนการแอโรบิก พบว่าปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมเท่ากับ 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร และระยะเวลา 1 วัฏจักร ของระบบเอสปีอาร์ เท่ากับ 26 ชั่วโมง โดยมีระยะเวลาใน ขั้นตอน การเติม : การทำปฏิกิริยา : การตกตะกอน : ระบายน้ำออก : ระยะเวลาพัก เท่ากับ 1 : 21 : 2 : 1 : 1 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี ทีเอสเอส ทีดีเอส และความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 57 83 45 และ 13 ตามลำดับ

4.1.3 ประสิทธิภาพรวมในการกำจัดซีโอดีในน้ำจากสาจากการผลิตสุราที่บ้านด้วย กระบวนการแอนแอโรบิกต่อด้วยกระบวนการแอโรบิก มีค่าเท่ากับร้อยละ 81

### 4.2 ข้อเสนอแนะ

การบำบัดน้ำจากสาด้วยกระบวนการแอนแอโรบิกต่อด้วยกระบวนการแอโรบิกมี ประสิทธิภาพสูง แต่อย่างไรก็ตามน้ำจากสาเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง ดังนั้นน้ำที่ผ่านการ บำบัดแล้วจึงยังมีความสกปรกเกินเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด จึงควรหาวิธีการในการบำบัดด้วย กระบวนการอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น การดูดซับ การใช้สารเคมีในการตกตะกอน ฯลฯ

## บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. ม.ป.ป. ระบบบำบัดน้ำเสีย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.pcd.go.th> (4 ตุลาคม 2558).
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553. เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในประเทศไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.diw.go.th> (5 พฤษภาคม 2560).
- กุนที ประเสริฐสงค์. 2549. การบำบัดน้ำกากส่าด้วยอะเซโตเจนิกแบคทีเรียโดยระบบเอสปีอาร์. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- กุลยา สาริชีวิน และอรวรรณ ชื่นคุ้ม. 2549. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสุราแช่ที่บ้าน. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ขวัญเนตร สมบัติสมภพ. 2551. การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอสปีอาร์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 18 (3) : 96-103.
- เจริญ เจริญชัย. 2554. การผลิตสุรากลั่นชุมชน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://surathai.wordpress.com> (29 กันยายน 2558).
- ทรงพล ครามโกมุต. 2544. การกำจัดสีจากน้ำเสียกากส่าโดยใช้ระบบยูเอเอสพีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บริษัท แชน. อี. 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด. 2546. คู่มือฝึกอบรมการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์, กรุงเทพฯ.
- มันสิน ตันทูลเวศม์. 2544. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์ บริษัท แชน อี. 68 แล็บ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- มาลี วิชาจารย์. 2530. การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ม.ป.ป. การศึกษาสำรวจโรงงานสุรากลั่น. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www2.diw.go.th> (10 พฤษภาคม 2560).
- สมหวัง วิทยาปัญญานนท์. 2549. การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่า และการประชาสัมพันธ์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.budmgt.com> (29 กันยายน 2558).
- สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ และ ปราโมทย์ เชี่ยวชาญ. 2548. ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.stou.ac.th> (3 ตุลาคม 2558).
- สิวลี โปร่งทอง. 2541. ประยุกต์ใช้วิธีทางเคมีและชีวภาพในการบำบัดน้ำกากส่าจาก โรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.



- สุจยา ฤทธิศร. มปป. การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเกลียวทองเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสุราแช่พื้นบ้าน. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- อำนาจ ฐิตศิริวิริยะ. 2546. การกำจัดสีน้ำากาสาระหว่างการใช้โพไลอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับ แกลบเผา หรือซิลิกาอะลูมินา หรือถ้ำลอย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- APHA, AWWA and WFF. 2005. Standard Method for Examination of Water and Wastewater. 21st ed. American Public Health Association, Washington DC, USA.
- Battimelli, A., Loisel, D., Garcia-Bernet, D., Carrere, H., and Delgenes, J., 2010. Combined ozone pretreatment and biological processes for removal of colored and biorefractory compounds in wastewater from molasses fermentation industries. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 85 : 968-975.
- Chandra, R., Bharagava, R.N., Rai, V., 2008. Melanoidins as major colourant in sugarcane molasses based distillery effluent and its degradation. *Bioresource Technology*. 99 : 4648-4660.
- Elmitwalli, T.A., Otterpohl, R., 2007. Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Research*. 41 : 1379-1387.
- FitzGibbon, F. Singh, D., McMullan, G., Marchant, R., 1998. The effect of phenolic acids and molasses spentwash concentration on distillery wastewater remediation by fungi. *Process Biochemistry*. 8 : 799-803.
- Pirsaheba, M., Rostamifar, M., Mansouri, A.M., Zinatizadeh, A.A.L. and Sharafie, K. 2015. Performance of an anaerobic baffled reactor (ABR) treating high strength baker's yeast manufacturing wastewater. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 47 : 137-148.
- Satyawali, Y., and Balakrishnan, M., 2008. Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal : A review. *Journal of Environmental Management*. 86 : 481-497.
- Sponza, D.T., 2002. Simultaneous granulation, biomass retainment and carbon tetrachloride (CT) removal in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB). *Process Biochemistry*. 37 : 1091-1101.
- Tsiopstias, C., Banti, D.C., and Samaras, P., 2016. Experimental study of degradation of molasses wastewater by biological treatment combined with ozonation. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 91 : 857-864.

Uzal, N., Gokcay, C.F., and Demirer, G.N., 2003. Sequential (anaerobic/aerobic) biological treatment of malt whisky wastewater. *Process Biochemistry*. 39 : 279-286.



ภาคผนวก



ตารางผนวกที่ 1 ผลการปรับสภาพเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์

ความเข้มข้นของน้ำกากส่า	ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ร้อยละ10	0	9,500
	96	7,500
	144	6,250
	284	3,750
ร้อยละ30	285	22,200
	327	21,500
	500	19,450
	668	14,800
ร้อยละ60	669	29,300
	716	28,550
	836	25,480
	932	21,800
	1117	14,500
ร้อยละ100	1118	39,800
	1166	39,200
	1268	37,540
	1418	35,280
	1468	34,100
	1518	33,830
	1568	29,900
	1618	27,870
	1668	26,120
1718	24,600	

ตารางผนวกที่ 2 ผลการบำบัดน้ำกากส่าที่ปริมาณเม็ตตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ

ปริมาณจุลินทรีย์ (ลิตร)	ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ไม่เติมจุลินทรีย์	37,000
0.5	32,000
1	29,900
1.5	25,800
2	29,000
2.5	28,900



ตารางผนวกที่ 3 ผลการบำบัดน้ำกากส่าด้วยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	พีเอช	ซีไอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การกำจัด ซีไอดี (ร้อยละ)	ทีเอสเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การกำจัด ทีเอสเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (เอสยู)	ประสิทธิภาพ การกำจัดสี (ร้อยละ)
0	3.43	84444	0.0	55000	0.0	1370	0.0
24	3.87	83988	0.5	50789	7.7	1367	0.2
48	3.94	83075	1.6	48237	12.3	1361	0.7
72	3.97	81705	3.2	47981	12.8	1355	1.1
84	3.96	81249	3.8	40478	26.4	1352	1.3
96.	3.97	80336	4.9	44230	19.6	1342	2.0
108	4.02	83988	0.5	24501	55.5	1343	2.0
114.	3.73	81249	3.8	23480	57.3	1335	2.6

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	พีเอช	ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	ทีเอสเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การจัด ทีเอสเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (เอสยู)	ประสิทธิภาพ การจัด (ร้อยละ)
120	4.01	78510	7.0	23353	57.5	1327	3.1
126	4.06	77597	8.1	22715	58.7	1311	4.3
132	4.00	78054	7.6	21005	61.8	1303	4.9
138	4.11	77141	8.6	21821	60.3	1294	5.5
144	4.03	75315	10.8	21183	61.5	1286	6.1
150	3.99	74858	11.4	19907	63.8	1279	6.6
156	4.10	77597	8.1	24501	55.5	1270	7.3
162	4.04	76684	9.2	22664	58.8	1263	7.8
168	4.03	77597	8.1	18376	66.6	1253	8.5

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	พีเอช	ซีไอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การจัด ซีไอดี (ร้อยละ)	ทีเอสเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การจัด ทีเอสเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (เอสยู)	ประสิทธิภาพ การจัด (ร้อยละ)
174	4.11	63904	24.3	20418	62.9	1245	9.1
180	4.17	66186	21.6	22204	59.6	1238	9.6
186	4.03	65958	21.9	20800	62.2	1222	10.8
192	4.03	66642	21.1	20162	63.3	1209	11.8
198	4.11	67555	20.0	19780	64.0	1186	13.4
204	4.10	67555	20.0	18325	66.7	1173	14.4
210	4.07	65729	22.2	17023	69.0	1164	15.0
216	4.02	67555	20.0	15186	72.4	1149	16.1
222	4.02	68240	19.2	14930	72.9	1127	17.7



ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	พีเอช	ซีไอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การกำจัด ซีไอดี (ร้อยละ)	ทีเอสเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การกำจัด ทีเอสเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (เอสยู)	ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
228	4.04	65729	22.2	20213	63.2	1102	19.6
234	4.06	65729	22.2	18452	66.5	1041	24.0
240	4.08	63904	24.3	14037	74.5	969	29.3
246	4.09	57057	32.4	16845	69.4	975	28.8
252	3.95	60708	28.1	22332	59.4	926	32.4
258	3.94	61165	27.6	21439	61.0	884	35.5
264	3.99	60252	28.6	18376	66.6	905	33.9
270	4.02	58426	30.8	20494	62.7	898	34.5
276	3.99	57970	31.4	18886	65.7	864	36.9

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	พีเอช	ซีไอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การจัด ซีไอดี (ร้อยละ)	ทีเอสเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การจัด ทีเอสเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (เอสยู)	ประสิทธิภาพ การจัด (ร้อยละ)
282	4.01	57513	31.9	19856	63.9	872	36.4
288	4.02	66186	21.6	19142	65.2	836	39.0
294	3.82	58426	30.8	18886	65.7	795	42.0
300	3.88	58426	30.8	17227	68.7	753	45.0
306	3.95	62078	26.5	19652	64.3	713	48.0
312	4.00	62078	26.5	19397	64.7	755	44.9
318	3.91	62991	25.4	18886	65.7	748	45.4
324	3.90	59339	29.7	18631	66.1	751	45.2
330	3.85	58883	30.3	17687	67.8	748	45.4

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	พีเอช	ซีไอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การกำจัด ซีไอดี (ร้อยละ)	ทีเอสเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การกำจัด ทีเอสเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (เอสยู)	ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
336	3.83	54318	35.7	16589	69.8	732	46.6
342	3.85	56600	33.0	16845	69.4	735	46.4
348	3.84	64816	23.2	15441	71.9	722	47.3
354	3.97	65729	22.2	15160	72.4	720	47.4
360	3.95	67555	20.0	15058	72.6	724	47.2
366	3.95	55687	34.1	13578	73.5	717	47.7
384	3.94	58883	30.3	15007	72.7	715	47.8
390	4.03	66642	21.1	18580	66.2	716	47.7
396	3.80	66642	21.1	19805	64.0	719	47.5

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	พีเอช	ซีไอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การจัด ซีไอดี (ร้อยละ)	ทีเอสเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การจัด ทีเอสเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (เอสยู)	ประสิทธิภาพ การจัด (ร้อยละ)
408	3.91	65273	22.7	16462	70.1	714	47.9
420	3.96	69381	17.8	16538	69.9	716	47.7
432	3.84	52949	37.3	20928	61.9	713	48.0
444	4.05	60252	28.6	22204	59.6	703	48.7
456	3.95	59339	29.7	20367	63.0	703	48.7
468	3.92	60708	28.1	19269	65.0	696	49.2
480	4.07	64360	23.8	21183	61.5	691	49.6
492	3.72	57057	32.4	20928	61.9	698	49.1
495	3.87	57513	31.9	24246	55.9	690	49.6

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	พีเอช	ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	ทีเอสเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การกำจัด ทีเอสเอส (ร้อยละ)	ความขุ่นสี (เอสยู)	ประสิทธิภาพ การกำจัดสี (ร้อยละ)
498	3.87	59339	29.7	22842	58.5	689	49.7
501	3.83	51123	39.5	20469	62.8	693	49.4
504	3.86	53862	36.2	21311	61.3	682	50.2
507	3.88	53862	36.2	20545	62.6	685	50.0
510	3.82	54774	35.1	19575	64.4	673	50.9
513	3.80	51123	39.5	16589	69.8	667	51.3
516	3.89	52036	38.4	17355	68.4	673	50.9
519	3.91	49297	41.6	22715	58.7	669	51.2
522	3.77	50666	40.0	21490	60.9	673	50.9

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	พีเอช	ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	ทีเอสเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การกำจัด ทีเอสเอส (ร้อยละ)	ความขุ่นสี (เอสยู)	ประสิทธิภาพ การกำจัดสี (ร้อยละ)
525	3.78	51123	39.5	20418	62.9	665	51.5
528	3.81	51123	39.5	19652	64.3	663	51.6
531	3.94	53405	36.8	17865	67.5	659	51.9
534	3.86	50666	40.0	24425	55.6	666	51.4
537	3.8	42450	49.7	19014	65.4	650	52.6
540	3.83	42450	49.7	19065	65.3	649	51.3
543	3.80	42907	49.2	16079	70.8	653	50.9
546	3.74	40168	52.4	16079	70.8	640	51.2
549	3.86	43820	48.1	15058	72.6	644	50.9

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	พีเอช	ซีไอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การจัด ซีไอดี (ร้อยละ)	ทีเอสเอส (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การจัด ทีเอสเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (เอสยู)	ประสิทธิภาพ การจัด (ร้อยละ)
552	3.85	45645	45.9	19142	65.2	643	53.1
555	3.98	40624	51.9	18708	66.0	686	49.9
558	3.91	38342	54.6	18121	67.1	653	52.3
561	3.83	43820	48.1	17049	69.0	642	53.1
564	3.88	38000	55.0	16500	70.0	642	53.1