

การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยจากพื้นที่เทกองด้วย  
กระบวนการเฟนตัน

REMOVAL OF ORGANIC MATTER IN LEACHATE FROM  
CONTROLLED DUMP BY FENTON PROCESS



กীরดี เดชาเลิศ  
ชวลีพร ชอบธรรม  
ณัชฌิษา แสงวิเชียร

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยจากพื้นที่เทกองด้วย  
กระบวนการเฟนตัน

REMOVAL OF ORGANIC MATTER IN LEACHATE FROM  
CONTROLLED DUMP BY FENTON PROCESS



T149324

กิริติ เตชาเลิศ  
ชุลีพร ชอบธรรม  
ณัชฌิชา แสงวิเชียร

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 149324  
วัน เดือน ปี 12 ก.พ. 2561

b. 1288201 X  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

# REMOVAL OF ORGANIC MATTER IN LEACHATE FROM CONTROLLED DUMP BY FENTON PROCESS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
(ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อโครงการพิเศษ	การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยจากพื้นที่เทกองด้วยกระบวนการเฟนตัน		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกิริตี	เดชาเลิศ	รหัสนักศึกษา 56050670
	นางสาวชุลีพร	ชอบธรรม	รหัสนักศึกษา 56050684
	นางสาวณัชฌิชา	แสงวิเชียร	รหัสนักศึกษา 56050689
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อูสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	-		

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยแบบเทกองด้วยกระบวนการเฟนตัน น้ำชะมูลฝอยที่ได้เก็บรวบรวมจากสถานีขนถ่ายและจัดการขยะสนามบินสุวรรณภูมิ สารเคมีเฟนตันที่ใช้คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) และเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ เวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง  $H_2O_2$ :CODเริ่มต้น และความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) น้ำชะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้มีค่า ซีโอดี, บีโอดี และ ของแข็งแขวนลอย เริ่มต้นเท่ากับ 16,339 mg/L, 10,400 mg/L และ 951 mg/L ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าสถานะในการทำปฏิกิริยาที่ pH เท่ากับ 3 เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง  $H_2O_2$ :CODเริ่มต้น เท่ากับ 0.2:1 และความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) เท่ากับ 300 mg/L สามารถลดค่าปริมาณสารอินทรีย์ในรูป ซีโอดี และ บีโอดี ได้เท่ากับ 28.42% และ 20.63% ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าอัตราส่วน  $BOD_5$  ต่อ COD เท่ากับ 0.74 สะท้อนให้เห็นว่าความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพที่เพิ่มขึ้นของน้ำชะมูลฝอยสำหรับการบำบัดทางชีวภาพต่อไป

คำสำคัญ : การเทกองแบบควบคุม, ซีโอดี, บีโอดี, น้ำชะมูลฝอย, เฟนตัน

Title	Removal of Organic Matter in Leachate from Controlled Dump by Fenton Process		
Students	Keeradee Dechalert	Student ID	56050670
	Chuleeporn Chobtham	Student ID	56050684
	Nutnicha Sangvichien	Student ID	56050689
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Asst. Prof. Dr.Usarat Thawornchaisit		
Co-advisor	-		

### Abstract

This special project studied the removal of organic matter in leachate from controlled dump by Fenton process. The leachate used in the study was collected from Suvarnabhumi Airport Waste Management Building. Factors being studied were reaction time, mass ratio of  $H_2O_2$ :initial COD and concentration of ferrous ion. The leachate contains COD of 16,339 mg/L, BOD of 10,400 mg/L and SS of 951 mg/L. Results showed that organic removal efficiency in the forms of COD and  $BOD_5$  was at 28.42% and 20.33% when reaction condition was follow: pH at 3, reaction at 150 min, mass ratio of  $H_2O_2$  to initial COD of 0.2:1 and concentration of ferrous ion at 300 mg/L. At this condition,  $BOD_5$  to COD ratio in the effluent was at 0.74 reflecting enhanced biodegradability of the leachate for further biological treatment.

**Keywords :** Controlled dump, COD, BOD, Leachate, Fenton

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและให้ความอนุเคราะห์กับโครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ดังนี้ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้ความรู้ให้คำแนะนำตลอดการทำโครงการพิเศษ และติดตามตรวจสอบโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ช่วยจัดหาอุปกรณ์ให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์และสารเคมี ที่สำคัญที่สุดขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี สาขาเคมี สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ต่างๆสำหรับทำโครงการพิเศษ และขอบคุณเพื่อนๆที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ คุณอู่แก้ว เอี่ยมสำอาง (บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด) และ คุณอุไรวรรณ จันทะศรี (บริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด สังกัดสุวรรณภูมิ) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการศึกษา

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ ผู้เป็นที่รัก ผู้ให้กำลังใจและให้โอกาสการศึกษาจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการพิเศษนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ทำการศึกษาได้บ้างตามสมควร หากมีข้อเสนอแนะประการใดเพื่อปรับปรุงผลงานให้ดีขึ้น ทางคณะผู้จัดทำขอน้อมรับข้อเสนอแนะและคำติชม ด้วยความยินดีจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

กิริติ            เตชาเลิศ  
ชูลีพร          ชอบรรรม  
ณัชฌิชา        แสงวิเชียร

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์ .....	ณ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 การกำจัดขยะมูลฝอย.....	3
2.2 น้ำชะมูลฝอย.....	4
2.3 กระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอย .....	7
2.3.1 การบำบัดทางชีวภาพ .....	7
2.3.2 การบำบัดทางกายภาพ.....	8
2.3.3 การบำบัดทางเคมี.....	8
2.4 กระบวนการเฟนตัน .....	8
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเฟนตัน .....	10
2.5.1 ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	10
2.5.2 ความเข้มข้นไอออนเหล็ก.....	10
2.5.3 pH.....	10
2.5.4 เวลาในการทำปฏิกิริยา.....	11
2.5.5 ความเป็นต่าง.....	11
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>14</b>
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	14
3.1.1 อุปกรณ์.....	14
3.1.2 สารเคมี.....	14
3.2 น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง.....	15
3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการเฟนตัน.....	16
3.4 การศึกษาระยะผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์.....	17

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $H_2O_2$ :COD <sub>เริ่มต้น</sub> ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์.....	17
3.6 การศึกษาผลของความเข้มข้นเพอร์สไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์.....	18
3.7 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการฟenton ตามสภาวะที่เหมาะสม .....	18
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>19</b>
4.1 คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอย.....	19
4.2 ผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์.....	20
4.3 ผลของอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $H_2O_2$ :COD <sub>เริ่มต้น</sub> ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ .....	21
4.4 ผลของความเข้มข้นเพอร์สไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์.....	23
4.5 คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยหลังการบำบัด .....	25
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>27</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	27
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	27
เอกสารอ้างอิง .....	28
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	30
ภาคผนวก ข ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง.....	38
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ .....	53
ภาคผนวก ง ภาพสถานที่เก็บตัวอย่าง .....	56

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะของน้ำชะมูลฝอย .....	4
2.2 ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากพื้นที่เทกอง .....	6
2.3 วิธีทั่วไปที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย.....	7
3.1 คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ทำการวิเคราะห์ .....	16
4.1 คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากการเทกองมูลฝอย .....	19
4.2 คุณสมบัติน้ำชะมูลฝอยหลังการบำบัด.....	25
ก.1 BOD Measurable with Various Dilution of Sample.....	33
ข.1 Standardization FAS ของน้ำตัวอย่างครั้งที่ 1 .....	39
ข.2 ค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัดของน้ำตัวอย่างครั้งที่ 1 .....	39
ข.3 Standardization FAS ของน้ำตัวอย่างครั้งที่ 2 .....	39
ข.4 ค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัดของน้ำตัวอย่างครั้งที่ 2 .....	40
ข.5 Standardization FAS ของน้ำตัวอย่างครั้งที่ 3 .....	40
ข.6 ค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัดของน้ำตัวอย่างครั้งที่ 3 .....	40
ข.7 Standardization FAS ของน้ำตัวอย่างผสม.....	41
ข.8 ค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัดของน้ำตัวอย่างผสม .....	41
ข.9 ค่า BOD <sub>5</sub> ของน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัด.....	42
ข.10 ค่า SS ของน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัด.....	42
ข.11 Standardization FAS ของระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อการบำบัด COD ในน้ำชะ มูลฝอย ครั้งที่ 1 และ 2 .....	43
ข.12 ผลของระยะเวลาปฏิกิริยาต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ครั้งที่ 1 และ 2 .....	43
ข.13 Standardization FAS ของระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อการบำบัด COD ในน้ำชะ มูลฝอย ครั้งที่ 3 และ 4 .....	44
ข.14 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ครั้งที่ 3 และ 4...	44
ข.15 ผลของระยะเวลาต่อการบำบัด BOD <sub>5</sub> ในน้ำชะมูลฝอย.....	45
ข.16 Standardization FAS ของอัตราส่วนโดยมวลของ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :COD <sub>เริ่มต้น</sub> ต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :COD <sub>เริ่มต้น</sub> = 0.05:1).....	46
ข.17 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :COD <sub>เริ่มต้น</sub> ต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :COD <sub>เริ่มต้น</sub> = 0.05:1).....	46
ข.18 Standardization FAS ของอัตราส่วนโดยมวลของ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :COD <sub>เริ่มต้น</sub> ต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :COD <sub>เริ่มต้น</sub> = 0.1:1, 0.2:1, 0.3:1 และ 0.4:1) .....	47
ข.19 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :COD <sub>เริ่มต้น</sub> ต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :COD <sub>เริ่มต้น</sub> = 0.1:1, 0.2:1, 0.3:1 และ 0.4:1) .....	47
ข.20 ผลของอัตราส่วนโดยมวล H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :COD <sub>เริ่มต้น</sub> ต่อการบำบัด BOD <sub>5</sub> ในน้ำชะมูลฝอย .....	48
ข.21 Standardization FAS ของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูล ฝอย ([Fe <sup>2+</sup> ] = 100 mg/L).....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.22 ผลของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ( $[Fe^{2+}] = 100 \text{ mg/L}$ ) .....	49
ข.23 Standardization FAS ของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูล ฝอย ( $[Fe^{2+}] = 200, 300, 400$ และ $500 \text{ mg/L}$ ) .....	49
ข.24 ผลของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ( $[Fe^{2+}] = 200, 300, 400$ และ $500 \text{ mg/L}$ ).....	50
ข.25 แสดงผลของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่อการบำบัด $BOD_5$ ในน้ำชะมูลฝอย.....	51
ข.26 แสดงค่า COD, $BOD_5$ และ SS ในน้ำชะมูลฝอยหลังการบำบัด.....	52



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 แผนผังการจัดการน้ำชะมูลฝอยที่สถานีขนถ่ายและจัดการขยะสนามบินสุวรรณภูมิ .....	15
3.2 กรอบแผนการดำเนินการศึกษา .....	16
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที่) และค่า COD (mg/L).....	20
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที่) และค่า BOD <sub>5</sub> (mg/L).....	21
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยมวล H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :CODเริ่มต้น และค่า COD (mg/L) 22	22
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยมวล H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :CODเริ่มต้น และค่า BOD <sub>5</sub> (mg/L) 23	23
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O และค่า COD (mg/L).....	24
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O และค่า BOD <sub>5</sub> (mg/L).....	24
ง-1 สถานีขนถ่ายและจัดการขยะ สนามบินสุวรรณภูมิ .....	57
ง-2 สถานีขนถ่ายและจัดการขยะ สนามบินสุวรรณภูมิ .....	57
ง-3 สถานีขนถ่ายและจัดการขยะ สนามบินสุวรรณภูมิ .....	57
ง-4 สถานีขนถ่ายและจัดการขยะ สนามบินสุวรรณภูมิ .....	57
ง-5 จดรวบรวมน้ำชะมูลฝอย (ภาพถ่าย).....	57
ง-6 การเก็บน้ำตัวอย่างลงภาชนะที่จัดเตรียม .....	57

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
AgSO <sub>4</sub>	Silver sulfate
BOD	Biological Oxygen Demand
COD	Chemical Oxygen Demand
Conc.	Concentrate
DO	Dissolved Oxygen
FAS	Ferrous Ammonium Sulfate
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Ferrous Sulfate Heptahydrate
HgSO <sub>4</sub>	Mercuric (II) Sulfate
HNO <sub>3</sub>	Nitric acid
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hydrogen peroxide
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfuric acid
KHP	Potassium Hydrogen Phthalate
NaOH	Sodium Hydroxide
OH•	Hydroxyl radical
pH	Potential of Hydrogen ion
R•	Alkyl radical
rpm	Reverotion per minute
SS	Suspended Solids
TOC	Total Organic Carbon
TSS	Total Suspended Solids

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ขยะมูลฝอยเป็นปัญหาสำคัญในปัจจุบัน โดยรัฐบาลได้มีการประกาศให้เป็นวาระแห่งชาติ เนื่องจากปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 26.19 ล้านตัน ในปี 2557 เป็น 26.85 ล้านตัน ในปี 2558 อีกทั้งสถานที่จัดการขยะมูลฝอยในประเทศไทยกว่า 80% มีการจัดการขยะมูลฝอยไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยสถานที่จัดการขยะมูลฝอยส่วนใหญ่เป็นแบบเทกอง (สำนักงานจัดการกากของเสียและอันตราย กรมควบคุมมลพิษ, 2558) ซึ่งทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลายด้านที่สำคัญ ได้แก่ การปลดปล่อยก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดภาวะโลกร้อน นอกจากนี้คือ การเกิดน้ำชะมูลฝอย (Leachate) ถ้าการบริหารจัดการได้ไม่ดีหรือไม่มีการป้องกันที่เหมาะสม จะส่งผลกระทบต่อดิน แหล่งน้ำผิวดิน และ แหล่งน้ำใต้ดิน

น้ำชะมูลฝอย (Leachate) เกิดจากน้ำที่ไหลซึมผ่านขยะมูลฝอย เช่น น้ำฝน หรือน้ำใต้ดิน และน้ำที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายขยะมูลฝอยทั้งทางชีวภาพและทางเคมี ที่มีการชะล้างมาผสมรวมกัน (Tchobanoglous and Kreith, 2002) น้ำชะมูลฝอยเป็นน้ำเสียที่ไม่ถูกสุขอนามัย ประกอบไปด้วย สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โลหะหนัก และสารพิษต่างๆ ซึ่งจะเป็นแหล่งเพาะพันธุ์และแพร่กระจายของเชื้อโรคต่างๆ เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์และสัตว์ รวมทั้งเกิดผลกระทบในด้านเศรษฐกิจที่รัฐบาลจะต้องจัดงบประมาณขึ้นมา เพื่อจัดการน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นให้ได้ประสิทธิภาพ ในการบริหารจัดการขยะมูลฝอยส่วนมากยังไม่มีการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่เหมาะสม เนื่องจากไม่สามารถจัดการกับปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องหรือคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ดังนั้นน้ำชะมูลฝอยจึงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ จำเป็นต้องมีการบำบัดก่อนที่จะปล่อยออกสู่ธรรมชาติ เพื่อช่วยลดการปนเปื้อนและผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

น้ำชะมูลฝอยจัดเป็นน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (dissolved organic matter, DOM) และสารอนินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ แอมโมเนีย ในปริมาณสูงมาก ด้วยเหตุนี้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพจึงเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่มีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพปริมาณสูงในน้ำเข้าระบบ ทั้งนี้ความยากง่ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพนั้น พิจารณาได้จากอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำเข้าระบบ โดยน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายควรมีอัตราส่วนระหว่างบีโอดีต่อซีโอดีมากกว่า 0.5 (มันสินและมันรักษ์, 2547) ผลการศึกษาค่า  $BOD_5/COD$  ของน้ำชะมูลฝอยจากการฝังกลบขยะ (landfill) พบว่าค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงตามอายุของหลุมฝังกลบ (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Lee, Nikraz and Hung, 2010) โดยหลุมฝังกลบที่ผ่านการใช้งานนาน 15 ปี มีค่าเฉลี่ยของ  $BOD_5/COD$  เท่ากับ  $0.2 \pm 0.14$  (Lee, Nikraz and Hung, 2010) และบางหลุมอาจจะน้อยถึง 0.1 (Li, 2002 และ Li, 1999 อ้างถึงในนฤมล, 2555) นฤมล (2555) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบของเทศบาลภูเก็ต ซึ่งเป็นหลุมฝังกลบที่ผ่านการใช้งานนานกว่า 15 ปี พบว่าน้ำชะมูลฝอยมีสารอินทรีย์ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากในปริมาณสูง ( $COD : 1,250-1,320 \text{ mg/L}$ ;  $BOD_5 : 150-200 \text{ mg/L}$ ) อีกทั้งน้ำชะมูลฝอยมีค่าพีเอชเป็นเบส ( $pH = 8.2-8.5$ ) ด้วยเหตุนี้กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพจึงไม่เหมาะสมที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีลักษณะดังกล่าว นฤมล (2555) และ Lopez et al. (2003) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ของไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเฟ้นต้นในการบำบัดขั้นต้นของน้ำชะมูลฝอย เพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสีย ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการเฟ้นต้นสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสีย ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดี เพิ่มขึ้นเป็น 0.5 (Lopez et al, 2003) ในขณะที่งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ของกระบวนการเฟ้นต้นในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากการเทกองมีการศึกษาค่อนข้างจำกัด โครงการพิเศษนี้จึงได้จัดทำขึ้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการเพิ่มความสามารถในการบำบัดทางชีวภาพของน้ำชะมูลฝอยจากการเทกองด้วยกระบวนการเฟ้นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากการทดลองด้วยกระบวนการเฟ้นต้น

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยเก็บรวบรวมมาจากสถานีขนถ่ายและจัดการขยะสนามบินสุวรรณภูมิ โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วงทั้งหมด 3 ครั้ง นำมาผสมรวมเพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษา

2. ศึกษาคุณสมบัติของน้ำตัวอย่าง ได้แก่ SS, COD และ BOD<sub>5</sub> ทั้งก่อนและหลังการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการเฟ้นต้น

3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการเฟ้นต้น ปัจจัยที่ทำการศึกษาหรือตัวแปรต้น ได้แก่

- เวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 30, 60, 120, 150 และ 180 นาที

- อัตราส่วนโดยมวลของ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:CODเริ่มต้น คือ 0.05:1, 0.1:1, 0.2:1, 0.3:1 และ 0.4:1 หรือคิดเป็นความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) เท่ากับ 817, 1,634, 3,268, 4,902 และ 6,536 mg/L

- ความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน (Fe<sup>2+</sup>) คือ 100, 200, 300, 400 และ 500 mg/L  
ตัวแปรตามที่ศึกษา คือ COD และ BOD<sub>5</sub>

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยเบื้องต้น เพื่อให้มีลักษณะเหมาะสมก่อนเข้ากระบวนการบำบัดทางชีวภาพได้

2. ทราบถึงปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการเฟ้นต้น ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การกำจัดขยะมูลฝอย

การดำเนินงานเก็บ ขน กำจัดมูลฝอยในช่วง 20 ปี ที่ผ่านมา ได้มีการดำเนินงานติดตามตรวจสอบการดำเนินงานขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการดำเนินงานบริหารจัดการมูลฝอย ยังพบว่ามีปัญหาในการดำเนินงานที่ไม่ตรงตามหลักเกณฑ์ทางวิชาการในหลายๆด้าน (สำนักงานจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ, 2559) ซึ่งกรมควบคุมมลพิษได้จัดหลักเกณฑ์การดำเนินงานและการบริหารจัดการที่เหมาะสมจากน้อยไปหามาก แบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ

1. การเทกอง (Uncontrolled หรือ Open Dump) เป็นรูปแบบการเทกองมูลฝอยบนพื้นที่โดยไม่มี การควบคุมหรือมีการควบคุมบ้าง และไม่มีความรัดกุมใด ๆ ที่ใช้ในการควบคุมการระบายหรือการปลดปล่อยสารมลพิษและสารปนเปื้อนออกจากสถานที่กำจัดมูลฝอยออกสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งไม่มีมาตรการอย่างเป็นระบบที่จะรองรับการดำเนินงานฝังกลบมูลฝอย ซึ่งจะก่อให้เกิดมลพิษคือ น้ำเสีย การปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ดินปนเปื้อน และการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ( $CH_4$ )

2. การเทกองที่มีการควบคุม (Controlled Dump) เป็นรูปแบบการเทกองที่มีการควบคุมปริมาณ มูลฝอยที่เข้าสู่พื้นที่ รวมถึงมีการบดอัดและกลบทับมูลฝอยบางครั้ง อย่างไรก็ตามรูปแบบการกำจัด ประเภทนี้จะไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างพื้นฐานวิศวกรรมที่จำเป็น แต่จะใช้มาตรการดำเนินงานด้าน วิศวกรรมที่จำเป็นที่ใช้ในการควบคุมการระบายหรือปลดปล่อยสารปนเปื้อนจากสถานที่กำจัดมูลฝอย ออกสู่สิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม ปัญหาที่พบส่วนใหญ่ คือ น้ำเสีย น้ำใต้ดิน และการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ( $CH_4$ )

3. การฝังกลบมูลฝอยเชิงวิศวกรรม (Engineered landfill) เป็นรูปแบบกำจัดมูลฝอยที่มี โครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็น มีการติดตั้งระบบกันซึมในบริเวณบ่อฝังกลบมูลฝอย มีการดำเนินงานต่าง ๆ ในการจัดการมูลฝอยเพื่อให้การฝังกลบเป็นไปตามหลักวิศวกรรมและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาทิ การจذبบันทึกปริมาณมูลฝอยที่เข้าสู่พื้นที่ การควบคุมการจัดวางเซลล์ การควบคุมขนาดหน้างาน ฝังกลบให้เหมาะสม การบดอัดและกลบทับมูลฝอยเป็นระยะ ระบบบำบัดและป้องกันการปนเปื้อน มลพิษที่เกิดขึ้นออกสู่สิ่งแวดล้อม และการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม แต่ยังคงพบปัญหาใน เรื่องของน้ำใต้ดิน การปลดปล่อยก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) อีกด้วย

4. การฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) เป็นรูปแบบการฝังกลบมูลฝอย ที่มีการคำนึงถึงการดำเนินงานตามหลักเกณฑ์ทางวิศวกรรมและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นในด้าน สุขอนามัยและความปลอดภัย ตั้งแต่การคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสม การออกแบบ และมีระบบ โครงสร้างพื้นฐานในสถานที่ มีการติดตั้งระบบกันซึมที่ถูกต้องและได้รับมาตรฐานตามหลักวิศวกรรม มีการดำเนินงานต่าง ๆ ในการจัดการมูลฝอยเพื่อให้การฝังกลบเป็นไปตามหลักวิศวกรรมและไม่ส่งผล กระทบสิ่งแวดล้อม อาทิ การจذبบันทึกปริมาณมูลฝอยที่เข้าสู่พื้นที่ การควบคุมการจัดวางเซลล์ การ ป้องกันมิให้ของเสียอันตรายชุมชนเข้ามากำจัดในบริเวณการจัดการก๊าซจากบ่อฝังกลบอย่างถูก สุขลักษณะ การควบคุมขนาดหน้างานฝังกลบให้เหมาะสม การบดอัดและกลบทับมูลฝอยเป็นรายวัน การป้องกันและจัดการกับเหตุฉุกเฉิน ระบบบำบัดและป้องกันการปนเปื้อนมลพิษที่เกิดขึ้นออกสู่ สิ่งแวดล้อม และการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม ซึ่งการจัดการมูลฝอยในรูปแบบนี้จะพบ มลพิษน้อยมาก และลดปัญหาเรื่องการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 น้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอย คือ น้ำที่ไหลผ่านของเสียที่เป็นของแข็ง เช่น เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า เศษวัตถุ เศษพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร ถ้ำ มูลสัตว์ ซากสัตว์ (อาณัติ, 2553) ที่กำลังอยู่ระหว่างการสลายตัวทางชีวภาพและองค์ประกอบทางเคมีจะถูกชะล้างลงในสารละลาย (Tchobanoglous and Kreith, 2002) ซึ่งลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากหลุมฝังกลบในแต่ละแหล่งจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการจัดเก็บ ดังตารางที่ 2.1

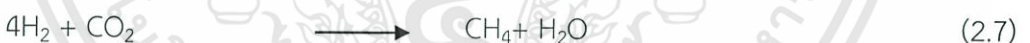
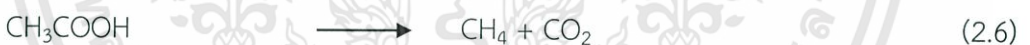
ตารางที่ 2.1 ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ

พารามิเตอร์	ปริมาณ (mg/L)		
	หลุมฝังกลบใหม่ (น้อยกว่า 2 ปี)		หลุมฝังกลบเก่า (มากกว่า 10 ปี)
	อยู่ในช่วง	โดยทั่วไป	
BOD <sub>5</sub>	2,000-30,000	10,000	100-200
TOC	1,500-20,000	6,000	80-160
COD	3,000-60,000	18,000	100-150
Total suspended solid	200-2,000	500	100-400
Organic nitrogen	10-800	200	80-120
Ammonia nitrogen	10-800	200	20-40
Nitrate	5-40	25	5-10
Total phosphorus	50-100	30	5-10
Other phosphorus	4-80	20	4-8
Alkalinity	1,000-10,000	3,000	200-1,000
pH	4.5-7.5	6	6.5-7.5
Total hardness as CaCO <sub>3</sub>	300-10,000	3,500	200-500
Calcium	200-3,000	1,000	100-400
Magnesium	50-1,500	250	50-200
Potassium	20-1,000	300	50-450
Sodium	200-2,500	500	100-200
Chloride	200-3,000	500	100-400
Sulfate	50-1,000	300	20-50
Total iron	50-1,200	60	20-200

ที่มา: สาวีณี, ธนาธร และวิจิตร (2552)

ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบใหม่โดยทั่วไปมีค่า BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 10,000 mg/L ค่า COD เท่ากับ 18,000 mg/L ค่า TSS เท่ากับ 500 mg/L และ pH เท่ากับ 6 เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยที่ได้จากหลุมฝังกลบใหม่นั้นเกิดในขณะที่ยังมีของเสียอยู่ในระยะการเกิดกรด (acid phase) ซึ่งในระยะการเกิดกรดนี้ สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 ระยะ โดยระยะแรกคือ การเกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกแป้ง โปรตีน ไขมัน จะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก (สมการที่ 2.1-2.3) จากนั้นสารประกอบโมเลกุลขนาดเล็ก ที่ได้จากระยะการเกิดไฮโดรไลซิส จะถูกย่อยสลายในระยะที่ 2 คือ การเกิดอะซิโดเจนิซิส (Acidogenesis) ได้เป็นก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) กรดฟอร์มิก ( $HCOOH$ ) กรดอะซิติก ( $CH_3COOH$ ) กรดไขมัน แอลกอฮอล์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) (สมการที่ 2.4) ส่งผลให้มีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำชะมูลฝอยค่อนข้างสูง นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสมการที่ 2.4 จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติก ( $CH_3COOH$ ) (สมการที่ 2.5) ซึ่งเกิดในระยะที่ 3 คือ การเกิดอะซิโตเจนิซิส (Acetogenesis) ทำให้น้ำชะมูลฝอยมีสารละลายกรดอินทรีย์ปริมาณมากส่งผลให้ค่า pH อยู่ในช่วงกรด แต่น้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบเก่ามีค่า  $BOD_5$ , COD และ TSS ค่อนข้างต่ำมากเมื่อเทียบกับหลุมฝังกลบใหม่เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยที่ได้จากหลุมฝังกลบเก่านั้นเกิดในขณะที่ยุทธมูลฝอยอยู่ในระยะการเกิดมีเทน ซึ่งระยะการเกิดมีเทนนี้จุลินทรีย์จะเปลี่ยนกรดอะซิติก ( $CH_3COOH$ ) และ ก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) ที่ได้จากการเกิดอะซิโดเจนิซิส (Acidogenesis) และอะซิโตเจนิซิส (Acetogenesis) เป็นก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) (สมการที่ 2.6-2.7) ทำให้อินทรีย์คาร์บอนในน้ำชะมูลฝอยมีปริมาณลดลงและค่า pH เพิ่มขึ้น



ข้อมูลของ  $BOD_5$  และ COD ของน้ำชะมูลฝอยสามารถนำมาคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างบีโอดีต่อซีโอดี ( $BOD_5/COD$ ) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพในน้ำตัวอย่าง ถ้าค่าที่คำนวณได้อยู่ในช่วง 0.4-0.6 แสดงว่าสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Tchobanogous and Kreith, 2002) น้ำชะมูลฝอยที่ได้จากหลุมฝังกลบใหม่ส่วนใหญ่จะมีค่า  $BOD_5/COD$  เท่ากับ 0.5 จึงเหมาะต่อการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ น้ำชะมูลฝอยที่ได้จากหลุมฝังกลบเก่าส่วนใหญ่จะมีค่า  $BOD_5/COD$  อยู่ในช่วง 0.05-0.2 จะไม่เหมาะสมต่อการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

นอกจากนี้ น้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากการเทกองจะมีคุณลักษณะแตกต่างกับน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากหลุมฝังกลบ ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากพื้นที่เทกอง

พารามิเตอร์	ปริมาณ
pH	8.3±0.1
EC (mS/cm)	30.8±0.5
TDS (g/L)	20±4.5
Alkalinity (mg/L)	12,000±3,500
BOD (mg/L)	2,250±1820
COD (mg/L)	8,400±950
BOD/COD	0.27
TP (mg/L)	34.5±16.0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N (mg/L)	5.9±5.5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	2,200±850
TKN (mg/L)	2,600±1,100
Mn (mg/L)	0.490±0.180
Cr (mg/L)	0.990±0.390
Cd (mg/L)	0.010±0.001
Pb (mg/L)	0.100±0.090
Ni (mg/L)	0.500±0.170
Zn (mg/L)	1.320±0.610
Cu (mg/L)	0.630±0.530
Hg (µg/L)	0.950±0.520

ที่มา: Prechthai, Parkpian and Visvanathan (2007)

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูล BOD<sub>5</sub>, COD และ pH ของน้ำชะมูลฝอยที่ได้จากหลุมฝังกลบดังตารางที่ 2.1 และของน้ำชะมูลฝอยที่ได้จากการเทกองดังตารางที่ 2.2 พบว่ามีค่าแตกต่างกัน โดยค่า BOD<sub>5</sub> และ COD ของน้ำชะมูลฝอยที่ได้จากการเทกองจะมีค่าต่ำกว่าน้ำชะมูลฝอยที่ได้จากหลุมฝังกลบ เนื่องจากการเทกองมูลฝอยทำในพื้นที่เปิด จึงสันนิษฐานว่าความชื้นในอากาศและน้ำฝนไหลผสมรวมกับน้ำชะมูลฝอย ส่งผลให้เกิดการเจือจาง อีกทั้งค่า pH ของน้ำชะมูลฝอยที่ได้จากการเทกองมีค่าสูงกว่าน้ำชะมูลฝอยที่ได้จากหลุมฝังกลบ เนื่องจากกรดอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเป็นก๊าซ

มีเทน (CH<sub>4</sub>) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ส่งผลให้ค่า pH สูงขึ้น (Prechthai, Parkpian and Visvanathan 2007)

## 2.3 กระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

กระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอย แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ การบำบัดทางชีวภาพ, กายภาพ และเคมี ซึ่งทั้ง 3 กระบวนการมีลักษณะการบำบัดและการกำจัดสารปนเปื้อนที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 วิธีทั่วไปที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

กระบวนการบำบัด	การประยุกต์ใช้/การนำไปใช้
<b>ทางชีวภาพ</b>	
Activated Sludge	กำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำชะมูลฝอย
Sequencing batch reactors	กำจัดสารอินทรีย์
Trickling filters	กำจัดสารอินทรีย์
Anaerobic lagoons and contactors	กำจัดสารอินทรีย์
<b>ทางกายภาพ</b>	
Sedimentation/flotation	กำจัดสารแขวนลอย
Filtration	กำจัดสารแขวนลอย
<b>ทางเคมี</b>	
Adsorption	กำจัดสารอินทรีย์
Ion exchange	กำจัดสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ
Neutralization	ควบคุมค่า pH
Precipitation	กำจัดโลหะและแอมโมเนียม
Oxidation	กำจัดสารอินทรีย์และกำจัดความเป็นพิษของสารอนินทรีย์บางชนิด

ที่มา: Tchobanoglous and Kreith (2002)

### 2.3.1 การบำบัดทางชีวภาพ

การบำบัดทางชีวภาพเป็นการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้จุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยเฉพาะสารอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สิ่งปนเปื้อนเหล่านี้จะใช้เป็นอาหารและแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีความสกปรกลดลง (สันทัด, 2557) จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายในน้ำแบ่งออกเป็นแบบที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Organisms) และไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Organisms) ซึ่งอุปสรรคที่พบในการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพมักจะมีมาจกปัญหาในการดำเนินงาน อย่างเช่น การเกิดโฟม, ความเป็นพิษของโลหะ, การขาดแคลนสารอาหาร การที่ค่า pH ไม่เหมาะสม ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการตกตะกอนของสลัดจ์ (บุญชัย, 2549) ส่งผลให้ความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ลดลง อีกทั้งระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพนั้นจะใช้เวลานาน จากงานวิจัยของสายชล (2546) เรื่องประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบเกราะ-กรองไร้ออกซิเจน พบว่าเมื่อระยะเวลาพักเก็บเพิ่มขึ้นระบบจะมีประสิทธิภาพบำบัดเพิ่มขึ้นสามารถบำบัดค่า COD ได้ถึง 60 % แต่ต้องใช้ระยะเวลามากถึง 72 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามลักษณะน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพนั้นควรมีอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีมากกว่า 0.5 ตัวอย่างของระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ Activated Sludge, Sequencing batch reactors, Trickling filters และ Anaerobic lagoons and contactors เป็นต้น

### 2.3.2 การบำบัดทางกายภาพ

กระบวนการทางกายภาพเป็นการบำบัดน้ำเสียอย่างง่าย ซึ่งจะแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออก วิธีนี้จะแยกตะกอนได้ประมาณ 50-65% ส่วนการแยกความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ ( $BOD_5$ ) ประมาณ 20-30% เท่านั้น (ภิญโญ, มปป) จึงไม่ประสบความสำเร็จในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง กระบวนการทางกายภาพนี้จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยของกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (บุญชัย, 2549) ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ Screening, Flotation, Sedimentation เป็นต้น

### 2.3.3 การบำบัดทางเคมี

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีสิ่งปนเปื้อนละลายในน้ำ หรือแขวนลอยแต่ไม่สามารถตกตะกอนหรือแยกชั้นได้ง่าย (ณัชชาเรย์, 2555) เช่น โลหะหนัก สารพิษ สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก และสภาพความเป็นกรด-ด่างสูงๆที่ปนเปื้อนอยู่ โดยที่ระบบสามารถทำงานเองได้ ใช้วัสดุ อุปกรณ์ธรรมดาไม่ยุ่งยาก (บุญชัย, 2547) อาศัยการสัมผัสสารเคมีกับน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและสามารถแยกสารปนเปื้อนออกจากน้ำเสีย แต่มีข้อแม้คือ สารเคมีที่เติมลงไปผสมกับน้ำเสียก่อให้เกิดตะกอนเพิ่มขึ้น (ณัชชาเรย์, 2555) ดังนั้นกระบวนการทางเคมีจึงมักใช้ในการบำบัดขั้นต้น ก่อนนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพต่อไป ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางเคมี ได้แก่ Adsorption, Ion exchange, Neutralization, Precipitation และ Oxidation โดยกระบวนการ Oxidation และ Reduction เป็นวิธีการทางเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้จะถูกบำบัดด้วยการเติมสารเคมีลงไปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการรีดิวซ์ (Reduction) หรือเกิดปฏิกิริยาการให้อิเล็กตรอน (Oxidation) ทำให้เลขออกซิเดชันลดลง หรือเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของสารประกอบและสามารถตกตะกอนออกจากน้ำเสียได้ โดยกระบวนการ Oxidation มีด้วยกันหลายวิธี เช่น Ozonation, Advance oxidation process, Alkali chlorination และ Fenton's Process

## 2.4 กระบวนการเฟนตัน

กระบวนการเฟนตัน (Fenton's Process) เป็นกระบวนการที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ในการกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้ไอออนเหล็กได้แก่ เฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งทำหน้าที่เร่งการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ให้เป็นอนุมูลอิสระคือ ไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH\cdot$ ) ในสภาวะที่เป็นกรด ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

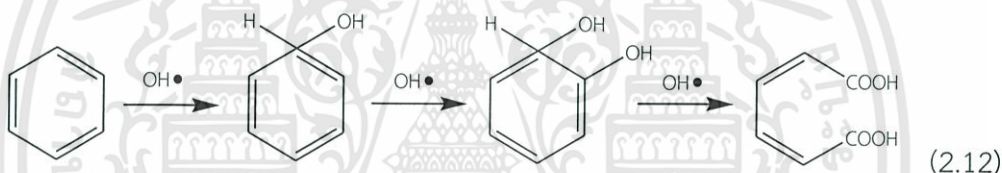


ไฮดรอกซิลแรดิคอล ( $\text{OH}\cdot$ ) จะเป็น non-selective oxidation สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์โดยไม่เลือกหมู่ฟังก์ชัน เมื่อไฮดรอกซิลแรดิคอล ( $\text{OH}\cdot$ ) ที่ได้จากสมการ (2.8) ทำการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (RH) ในน้ำเสียเกิดเป็นน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) และอัลคิลแรดิคอล ( $\text{R}\cdot$ ) โดยจะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป ดังสมการ



ถ้าสารตั้งต้น ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) มากเกินพอและปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไป สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ )

ในสถานะที่มีสารอินทรีย์ (RH) excess  $\text{Fe}^{2+}$  และพีเอชต่ำ ไฮดรอกซิลแรดิคอล ( $\text{OH}\cdot$ ) สามารถออกซิไดซ์สารพวกอะโรมาติก และเฮเตอโรไซคลิกริงได้



นอกจากนี้ไฮดรอกซิลแรดิคอล ( $\text{OH}\cdot$ ) ยังสามารถออกซิไดซ์ตัวเร่งปฏิกิริยา ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ได้ เกิดเป็นเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ดังสมการ

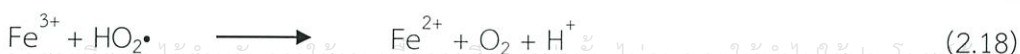
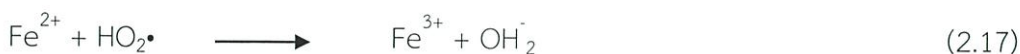
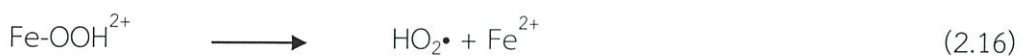
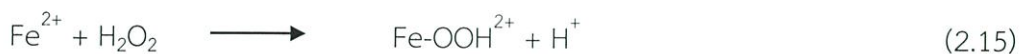


และเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) สามารถออกซิไดซ์อัลคิลแรดิคอล ( $\text{R}\cdot$ ) ได้ ดังสมการ



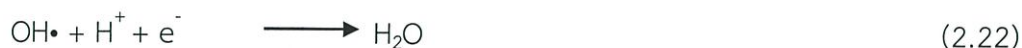
จากสมการ (2.9), (2.13), (2.14) เป็นการแข่งขันกันระหว่าง  $\text{Fe}^{2+}$ , RH และ  $\text{Fe}^{3+}$  ในการใช้ออนุมูลอิสระ  $\text{OH}\cdot$  และ  $\text{R}\cdot$  ของทั้ง 3 ปฏิกิริยามีผลต่อการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ เมื่ออนุมูลอิสระหมดจะทำให้ปฏิกิริยาลิ้นสุดลง

อีกทั้งเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) สามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ได้เช่นเดียวกับเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) แต่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) จะแตกตัวได้น้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) และออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ดังสมการ





เสถียรและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ตกตะกอนลงมาเป็น  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ซึ่งเป็นตัวขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) นอกจากนี้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) จะเกิดการสลายตัวให้ออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) และน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง (นาถ เฉลิมและสุนันทา, 2555)



#### 2.5.4 เวลาในการทำปฏิกิริยา

การเตรียมบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยเฟนตัน ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 120 นาที สามารถลดค่า COD ได้ 60 % (Lopez et al, 2003) อีกทั้ง Atmaca (2008) ได้ทำการศึกษากการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยวิธีการ Electro-fenton ใช้เวลาในการบำบัด 20 นาที สามารถลดค่า COD ได้ถึง 72 % และ Lin and chang (2000) ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วย Electro-fenton oxidation ร่วมกับวิธี Sequencing Batch Reactor ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่สามารถลดค่า COD ได้มากที่สุดคือ 30 นาที จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ แต่ลักษณะน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการศึกษาและสภาวะในการทดลองอาจส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน

#### 2.5.5 ความเป็นต่าง

โดยทั่วไปจะมีความเป็นต่างในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ซึ่งมีคุณสมบัติในการรักษา ค่า pH ไม่ให้เปลี่ยนไปจากเดิมมากนัก จึงมีผลต่อปฏิกิริยาเฟนตัน คือ ทำให้ค่า pH ในการทำปฏิกิริยาไม่เหมาะสมและทำให้ประสิทธิภาพของเฟนตันลดลง เนื่องจากไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $\text{OH}\cdot$ ) ที่เกิดจากเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ถูกทำปฏิกิริยากับไบคาร์บอเนต ( $\text{HCO}_3^-$ ) แทนที่จะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง (ณัชชาเรย์, 2555)

### 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลือพงศ์ (2545) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีสารประกอบอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน ร่วมกับกระบวนการตกตะกอนด้วยแคลเซียม เพื่อลดค่า COD ในน้ำเสีย การบำบัดทำได้โดยใช้อัตราส่วนของเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{Fe}^{2+} : \text{H}_2\text{O}_2$ ) เท่ากับ 1:11.7 และใช้แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) เท่ากับ 7 กรัม ทำหน้าที่เป็นสารปรับสภาพ ที่สภาวะดังกล่าวให้ประสิทธิภาพในการบำบัด COD ได้ถึง 98%

สุเทพ และ วีรนุช (2553) ทำการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการเฟนตันและกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน ผลการทดลองได้สภาวะที่เหมาะสม คือ  $\text{Fe}^{2+}$  เท่ากับ 0.92 g/L  $\text{H}_2\text{O}_2$  เท่ากับ 6.38 g/L และใช้ระยะเวลา เท่ากับ 150 นาที สามารถบำบัด COD ได้ 79.98% ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาเฟนตัน โดย pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วงกรด ซึ่งถ้า pH มีค่าต่ำ จะถูกรบกวนในการนำกลับมาใช้ใหม่ของเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) โดยปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) จะถูกยับยั้ง การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ที่มากเกินไป จะไปทำปฏิกิริยากันเอง และการใส่  $\text{Fe}^{2+}$  ปริมาณมากเกินไป จะทำให้เฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) เปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกไอออน

(Fe<sup>3+</sup>) งานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการบำบัดด้วยเคมีเมื่อเทียบกับระบบชีวภาพให้ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า การบำบัดด้วยเฟนตันจึงเป็นการบำบัดแบบ Pre-Treatment ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดต่อไป

ณัชชาธิริย์ (2555) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยกระบวนการเฟนตัน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการบำบัด COD, BOD, SS, TDS และ FOG ด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ pH, ความเข้มข้นของ FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> และ เวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด COD และ BOD คือ pH เท่ากับ 5 ความเข้มข้นของ FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O เท่ากับ 2.5 g/L ความเข้มข้นของ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> เท่ากับ 0.5 g/L และเวลาในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 20 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพเท่ากับ 83.45% และ 89.68% ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้นได้โดยการใช้แสงยูวีร่วมกับกระบวนการเฟนตัน

นฤมล (2555) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบขยะโดยใช้วิธีเฟนตัน เพื่อหาประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการบำบัดโดยวัดค่า COD ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะขยะคือ pH เท่ากับ 3 อัตราส่วนของเฟอร์รัสไอออน (Fe<sup>2+</sup>) ต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ต่อ COD เท่ากับ 0.2:7:1 สามารถลดค่า COD ได้ถึง 70 % งานวิจัยนี้ยังศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำชะขยะด้วยเฟนตัน คือ 1.) pH ที่ pH เท่ากับ 3 เหล็กจะอยู่ในรูปของ Fe(OH)<sup>+</sup> ซึ่งเป็นรูปที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าเหล็กในรูปอื่นๆ แต่ที่ pH > 3 ไอออนของเหล็กจะเปลี่ยนรูปและเกิดการตกตะกอนในรูปของ Fe(OH)<sub>3</sub> ทำให้ผลิต OH• ได้น้อยลง เช่นเดียวกับ ที่ pH < 3 ปริมาณ H<sup>+</sup> เกิดเป็นจำนวนมากจึงไปทำปฏิกิริยากับ H• เกิดเป็น H<sub>2</sub>O และ OH• จึงเกิดได้น้อยลง 2.) ความเข้มข้นของ Fe<sup>2+</sup> โดยที่ Fe<sup>2+</sup> จะทำให้ปริมาณของ OH• มีมากขึ้นทำให้สารอินทรีย์ในน้ำชะขยะมีค่าต่ำลง แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของ Fe<sup>2+</sup> มากเกินไปจะทำให้การบำบัดอินทรีย์ได้น้อย เนื่องจาก Fe<sup>2+</sup> ส่วนเกินจะเกิดปฏิกิริยาแข่งขันในการแย่งใช้ OH• กับมวลสารในน้ำ จึงควรมีการกำหนดปริมาณความเข้มข้นของ Fe<sup>2+</sup> ไม่เกิน 0.2 เท่าของ COD จะทำให้ได้ประสิทธิภาพ และ 3.) ความเข้มข้น H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> เป็นสารที่ทำให้เกิดไฮดรอกซิลแรดิคัล (OH•) ซึ่งถ้ามีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) มากเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนลอยทำให้กำจัดได้ยาก

นาถ เฉลิมและสุนันทา (2555) ทำการศึกษาเรื่องการทำจัดสีและ COD ในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีด้วยวิธีเฟนตัน เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อปฏิกิริยา คือ pH อัตราส่วนโดยโมลของ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : Fe<sup>2+</sup> และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ผลการทดลองพบว่าที่ pH เท่ากับ 2, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : Fe<sup>2+</sup> เท่ากับ 15:1, ความเร็วของการทวนเท่ากับ 150 รอบ/นาที สามารถกำจัดสีได้ 92.15% ใช้เวลา 60 นาที และการกำจัด COD ได้ 63.90% ใช้เวลา 30 นาที นอกจากนี้พบว่าที่ pH สูงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา Oxidation จะลดลง โดย Fe<sup>2+</sup> จะตกตะกอนลงมาเป็นรูป Fe(OH)<sub>3</sub> ขึ้น ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยา และยังทำให้ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ไม่เสถียรและเกิดการสลายตัวให้ O<sub>2</sub> และ H<sub>2</sub>O

Lopez et al. (2003) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของ Fenton's reagent ในการลดปริมาณสารอินทรีย์ของน้ำชะขยะที่มาจากหลุมฝังกลบทางตอนใต้ของประเทศอิตาลี ก่อนจะบำบัดด้วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของน้ำชะขยะที่ตรวจวัดได้คือ pH = 8.2, COD = 10540 mg/L, BOD<sub>5</sub> = 2300 mg/L, TOC = 3900 mg/L, NH<sub>4</sub>-N = 5210 mg/L, conductivity = 45350 μS/cm, alkalinity = 21470 mg/L.CaCO<sub>3</sub> และ BOD<sub>5</sub>/COD = 0.2 น้ำชะขยะจึงจัดอยู่ในประเภท " old " และไม่ย่อยสลายทางชีวภาพ จึงนำกระบวนการเฟนตัน มาใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ที่ไม่ย่อยสลายทางชีวภาพ ในการทดลองนี้จะใช้ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ปริมาณคงที่ที่ 6,300

mg/L และค่อยๆเพิ่มปริมาณ  $\text{Fe}^{2+}$  ที่ละน้อย ทำให้สภาวะกรด ( $\text{pH} = 3$ ) จึงต้องเติม  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เพิ่มปรับค่า  $\text{pH}$  ของน้ำชะขยะ และใช้ Reaction time 2 ชั่วโมง ผลที่ได้ค่า COD ลดลงสม่ำเสมอ ค่า TOC และ  $\text{H}_2\text{O}_2$  ที่เหลือก็ลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ความเข้มข้น  $\text{Fe}^{2+}$  250 mg/L อัตราส่วนที่เหมาะสมของ  $\text{H}_2\text{O}_2$  ต่อ  $\text{Fe}^{2+}$  คือ 12 : 1 แต่ค่านี้ก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามส่วนประกอบในน้ำชะขยะ และในการทดลองยังเติม  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  และ cation polyelectrolyte เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยา polymerization สามารถลดค่า COD ลงไปได้อีก เมื่อประเมินผลที่ค่า  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นถึง 0.5 ซึ่งทำให้สามารถบำบัดน้ำชะขยะต่อด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

Moravia, Amaral and Lang (2012) ศึกษาการบำบัดน้ำชะขยะด้วย Advanced oxidation processes (AOPs) โดย Fenton's reagent แต่ต้องบำบัดร่วมกับ membrane separation processes (MSP) ซึ่งน้ำชะขยะมีลักษณะเฉพาะ ประกอบด้วยสารอินทรีย์, แอมโมเนีย และส่วนประกอบเป็นพิษ ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดค่า COD 63 %, สี 76 % และ Humic substances 50% สภาวะที่ดีที่สุดในการบำบัดคือ  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{COD}$  raw เท่ากับ 1.7 g,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2$  เท่ากับ 1:5.3,  $\text{pH}$  เท่ากับ 3.8 และ Reaction condition เท่ากับ 115 rpm/28 นาที

Santos et al. (2014) ทำการศึกษาการรวมกระบวนการทางชีวภาพ และทางเคมีในการบำบัด Winery wastewater เป็นน้ำเสียที่มีระดับสารอินทรีย์สูง ส่งผลให้ค่า COD, BOD และของแข็งแขวนลอย (SS) มีค่าสูง ซึ่งในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพจะเลือกใช้ยีสต์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่ *Filobasidium* sp. และ *Cryptococcus laurentii* สามารถกำจัด COD และ Total polyphenols (TPP) ได้ แต่ค่าที่ได้ก็ยังมีค่าเกินกว่าที่กฎหมายกำหนดจึงต้องเพิ่มขึ้นตอนการบำบัด งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Fenton's reagent คือกระบวนการบำบัดทางเคมี ในการปฏิบัติมีความซับซ้อนต่ำ และประสิทธิภาพในการบำบัดสูง โดยใช้ ความเข้มข้น  $\text{H}_2\text{O}_2$  เริ่มต้น เท่ากับ 39.2 mM และ อัตราส่วนโดยโมลของ  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{Fe}^{2+}$  เท่ากับ 15:1 การรวม *C.laurentii*-Fenton's reagent ในการบำบัด Winery wastewater สามารถลดค่า COD 98 % และค่า TPP 96 %

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น ML204/01 ยี่ห้อ Mettler Toledo ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์
2. เครื่องเขย่า รุ่น Aoo7454 ยี่ห้อ Gallenkamp สหราชอาณาจักร
3. ตู้อบ รุ่น 725F ยี่ห้อ Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
4. ตู้บ่ม BOD รุ่น JSBI-420C ยี่ห้อ JSR ประเทศเกาหลีใต้
5. เครื่องวัด DO (DO meter) รุ่น 5000-115V ยี่ห้อ JSI ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. เครื่องเติมอากาศ รุ่น 8500 ยี่ห้อ General
7. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
8. ตู้ดูดควัน (Hood)
9. เครื่องทำความเย็น รุ่น ACE CA-1111 ยี่ห้อ EylaCool
10. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
11. ชุดกรองลดความดัน รุ่น A-3S ยี่ห้อ EYELA ประเทศญี่ปุ่น
12. ไมโครปิเปต
13. คีมคีบ (Forcep)
14. ตะแกรงสำหรับตั้งหลอดทดลอง
15. ปริมาณเครื่องแก้ว

##### 3.1.2 สารเคมี

1. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) บริษัท Carlo Erba
2. เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) บริษัท Carlo Erba
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Carlo Erba
4. โพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) AR grade บริษัท Lobachemie
5. เมอร์คิวรีซัลเฟต ( $HgSO_4$ ) AR grade บริษัท Lobachemie
6. ซิลเวอร์ซัลเฟต ( $AgSO_4$ ) บริษัท Carlo Erba
7. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ( $Fe (NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) AR grade บริษัท Lobachemie
8. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาลเตต ( $HOOC_6H_4COOK$ ) บริษัท Technical
9. 1-10 ฟีนานโทรลินโมโนไฮเดรต ( $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$ ) บริษัท Carlo Erba
10. แบเรียมซัลเฟต ( $BaSO_4$ ) บริษัท Carlo Erba
11. แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) บริษัท Carlo Erba
12. แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ) บริษัท Carlo Erba
13. เฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) AR grade บริษัท Lobachemie
14. โพแทสเซียม ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $KH_2PO_4$ ) บริษัท Carlo Erba

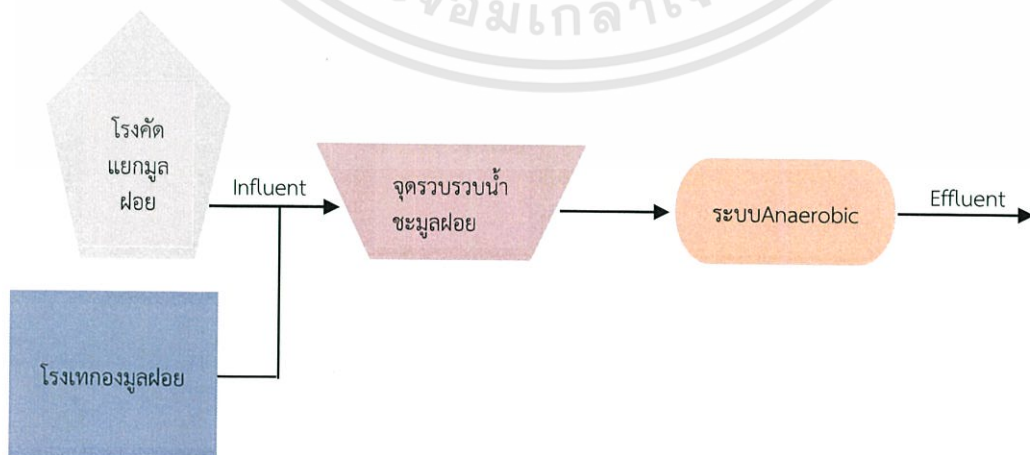
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. ไตโปแทสเซียมฟอสเฟต ( $K_2HPO_4$ ) บริษัท Carlo Erba
16. ไตโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ ) AR grade บริษัท Fisher Scientific
17. แอมโมเนียมคลอไรด์ ( $NH_4Cl$ ) RPE grade บริษัท Carlo Erba
18. กลูโคส ( $C_2H_{12}O_6$ ) AR grade บริษัท Carlo Erba
19. กลูตามิก ( $C_5H_9NO_4$ ) AR grade บริษัท Carlo Erba
20. กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$  conc.) AR grade บริษัท QRèC®
21. กรดไนตริก ( $HNO_3$  conc.) AR grade บริษัท QRèC®
22. กระดาษกรองใยแก้ว GF/C grade บริษัท Whatman
23. กระดาษกรอง 42 grade บริษัท Whatman
24. น้ำกลั่น

### 3.2 น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลองรวบรวมจากบ่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอย (รูปที่ 3.1) ซึ่งเป็นบ่อรวบรวมน้ำที่เกิดจากการเทกองมูลฝอย ณ สถานีขนถ่ายและจัดการขยะสนามบินสุวรรณภูมิ (Suvarnabhumi Airport Waste Management Building) อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ (รูปที่ 3.1, ง-5) ซึ่งสถานีขนถ่ายและจัดการขยะสนามบินสุวรรณภูมินั้นตั้งอยู่บริเวณเส้นทางก่อนเข้าอาคารผู้โดยสารและอยู่ใกล้กับโรงบำบัดน้ำเสีย ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง (Grab Sampling) (รูปที่ ง-6) ครั้งละ 8 ลิตร จำนวน 3 ครั้ง ในช่วงเดือนกันยายน 2559 ได้แก่ 12 กันยายน 2559, 19 กันยายน 2559 และ 26 กันยายน 2559 และทำการรักษาสภาพน้ำตัวอย่างที่  $4^\circ C$  ก่อนนำไปวิเคราะห์สมบัติของน้ำ โดยพารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำตัวอย่าง จะนำตัวอย่างน้ำ ปริมาตร 7.5 ลิตร ในแต่ละครั้ง มาผสมรวมเพื่อใช้เป็นตัวอย่างน้ำในการศึกษาต่อไป

น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการศึกษาเก็บรวบรวมมาจากสถานีขนถ่ายและจัดการขยะสนามบินสุวรรณภูมิ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ณ จุดรวบรวมน้ำชะมูลฝอย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการจัดการน้ำชะมูลฝอยที่สถานีขนถ่ายและจัดการขยะสนามบินสุวรรณภูมิ

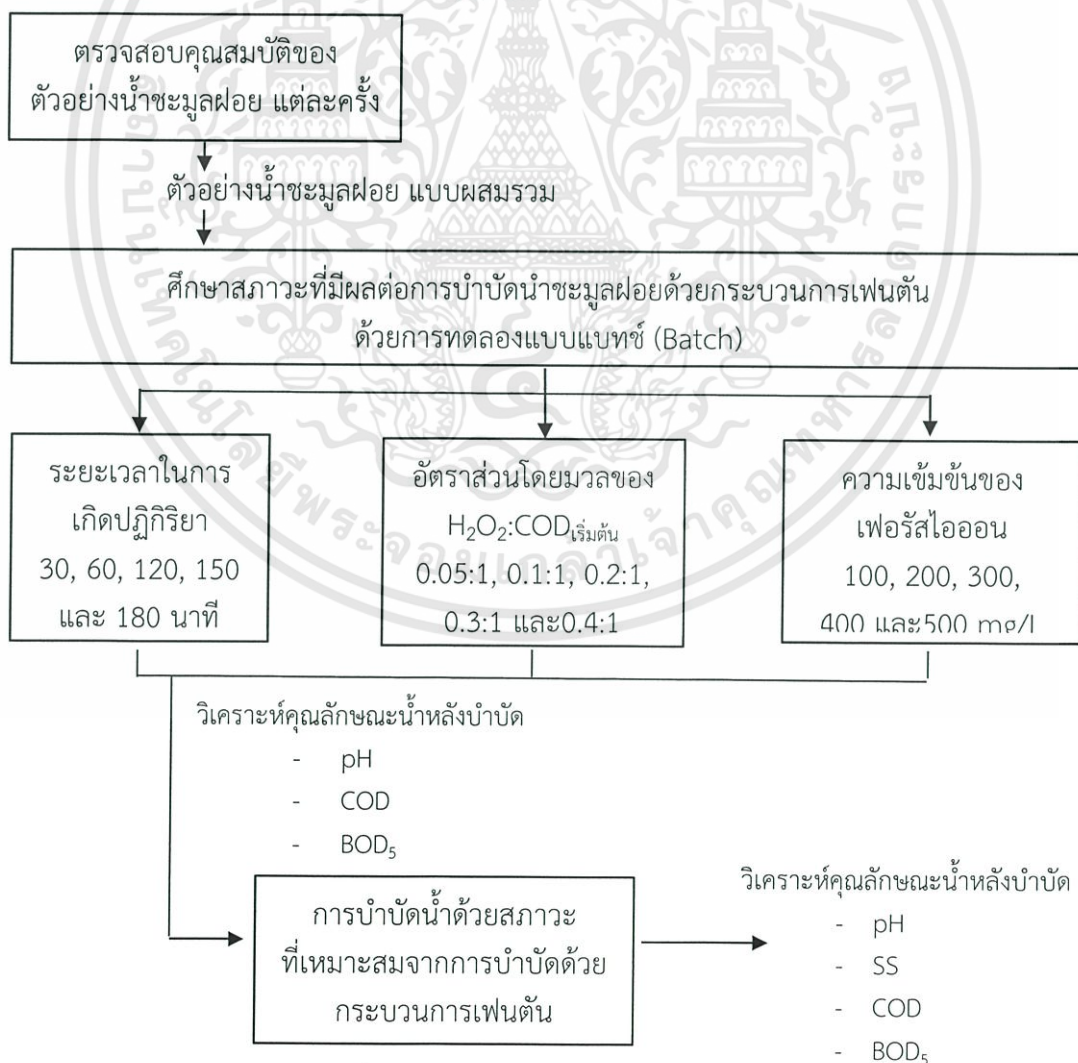
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ทำการวิเคราะห์

คุณสมบัติที่วิเคราะห์	เครื่องมือ/วิธีการวิเคราะห์
อุณหภูมิ (Temperature)	เทอร์โมมิเตอร์
ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	เครื่องวัดค่าพีเอช (pH Meter)
สารแขวนลอย (Suspended Solids, SS)	Standard Method 2540 D. dried at 103-105°C
ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	Standard Method 5220 C. Closed Reflux, Titrimetric Method
ค่าบีโอดี (5 วันที่อุณหภูมิ 20 °C Biochemical Oxygen Demand : BOD <sub>5</sub> )	Standard Method 5210 B. 5-Day BOD Test

### 3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการเฟนตัน

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษหาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการเฟนตัน มีกรอบแผนการดำเนินการศึกษาดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กรอบแผนการดำเนินการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การศึกษาผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

1. ตวงตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยในหัวข้อ 3.2 ลงในพลาสติก 100 มิลลิลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างให้เท่ากับ 3 ด้วย 40% กรดซัลฟิวริก
2. เติมสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ลงในขวดรูปชมพู่ใน ข้อ 1 โดยกำหนดความเข้มข้นของ  $Fe^{2+}$  ในตัวอย่างน้ำให้เท่ากันคือ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในน้ำตัวอย่าง กำหนดให้อัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2:COD_{เริ่มต้น}$  คงที่เท่ากัน คือ 3,267 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
5. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ปรับพีเอชของสารละลายเป็นเบสด้วย 40% โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้เฟอร์รัสไอออนเปลี่ยนรูปและตกตะกอน แล้วตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรองด้วยเครื่องกรองลดความดัน โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42
6. วิเคราะห์สมบัติของน้ำที่ผ่านการบำบัด ได้แก่ COD และ  $BOD_5$
7. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง
8. ทำการทดลองซ้ำ แต่แปรค่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 60, 120, 150 และ 180 นาที ตามลำดับ

### 3.5 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $H_2O_2:COD_{เริ่มต้น}$ ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

1. ตวงตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยในหัวข้อ 3.2 ลงในพลาสติก 100 มิลลิลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างให้เท่ากับ 3 ด้วย 40% กรดซัลฟิวริก
2. เติมสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ปริมาตร 0.54 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ใน ข้อ 1 โดยกำหนดความเข้มข้นของ  $Fe^{2+}$  ในตัวอย่างน้ำให้เท่ากันคือ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในน้ำตัวอย่าง กำหนดให้อัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2:COD_{เริ่มต้น}$  เท่ากับ 0.05:1 คือ 736 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.4
5. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ปรับพีเอชของสารละลายเป็นเบส ด้วย 40% โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้เฟอร์รัสไอออนเปลี่ยนรูปและตกตะกอน แล้วตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรองด้วยเครื่องกรองลดความดัน โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42
6. วิเคราะห์สมบัติของน้ำที่ผ่านการบำบัด ได้แก่ COD และ  $BOD_5$
7. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง
8. ทำการทดลองซ้ำ แต่แปรค่าอัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2:COD_{เริ่มต้น}$  เป็น 0.1:1, 0.2:1, 0.3:1 และ 0.4:1 ตามลำดับ

### 3.6 การศึกษาผลของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

1. ตวงตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยในหัวข้อ 3.2 ลงในพลาสติก 100 มิลลิลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างให้เท่ากับ 3 ด้วย 40% กรดซัลฟิวริก
2. เติมสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ปริมาตร 0.54 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ใน ข้อ 1 โดยกำหนดความเข้มข้นของ  $Fe^{2+}$  ในตัวอย่างน้ำให้เท่ากันคือ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในน้ำตัวอย่าง โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2$ :CODเริ่มต้น ที่เหมาะสมจากข้อ 3.5
4. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.4
5. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ปรับพีเอชของสารละลายเป็นเบส ด้วย 40% โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้เฟอร์รัสไอออนเปลี่ยนรูปและตกตะกอน แล้วตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรองด้วยเครื่องกรองลดความดัน โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42
6. วิเคราะห์สมบัติของน้ำที่ผ่านการบำบัด ได้แก่ COD และ  $BOD_5$
7. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง
8. ทำการทดลองซ้ำ แต่แปรค่าความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต เป็น 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

### 3.7 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการเฟนตันตามสภาวะที่เหมาะสม

นำตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยในข้อ 3.2 มาบำบัดด้วยกระบวนการเฟนตัน โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2$ :CODเริ่มต้น ที่เหมาะสมจากข้อ 3.5 ความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนที่เหมาะสมจากข้อ 3. และระยะเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.4 ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงสุด ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัด โดยพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ได้แก่ pH, SS, COD,  $BOD_5$

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการเฟนตัน สารเคมีเฟนตันที่ใช้ คือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) กับ เฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ เวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยมวลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ต่อ COD เริ่มต้น และความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) สามารถอธิบายผลได้ ดังนี้

#### 4.1 คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอย

ผลการตรวจวิเคราะห์สมบัติของตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยซึ่งเก็บรวบรวมจากบ่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอยของสถานีขนถ่ายและจัดการขยะสนามบินสุวรรณภูมิทั้ง 3 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากการเทกองมูลฝอย

พารามิเตอร์	วันที่เก็บตัวอย่าง			
	12 ก.ย. 2559	19 ก.ย. 2559	26 ก.ย. 2559	15 ก.ค. 2559 <sup>1/</sup>
Temp ( $^{\circ}C$ ) <sup>2/</sup>	29.5	29.2	28.8	N/A
pH <sup>2/</sup>	3.79	4.90	4.52	4.76
SS (mg/L)	1,447±46	1,809±199	2,036±91	4,910
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	8,840±679	8,700±622	10,400±1,612	5,200
COD (mg/L)	17,526±2,023	18,867±487	15192±0	13,780
BOD <sub>5</sub> :COD <sup>3/</sup>	0.50	0.46	0.69	0.38

<sup>1/</sup>ข้อมูลอ้างอิงจากบริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด สังกัดสุวรรณภูมิ

<sup>2/</sup>พารามิเตอร์วัดทันทีในภาคสนาม

<sup>3/</sup>ได้จากการคำนวณ

จากตารางที่ 4.1 พบว่า pH ของน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการศึกษามีสภาพเป็นกรด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $4.40 \pm 0.56$  เมื่อเปรียบเทียบกับค่า pH ของน้ำชะมูลฝอยจากพื้นที่เทกอง (ตารางที่ 2.2) พบว่าตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการศึกษามีค่า pH ต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการพักน้ำชะมูลฝอยก่อนเข้าระบบบำบัด ประกอบกับไม่มีการเติมอากาศให้กับระบบจึงทำให้จุลินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นกรดอินทรีย์ อย่างไรก็ตามพบว่า pH ที่เป็นกรดจัดเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วยกระบวนการเฟนตัน ในน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ศึกษามีปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) เฉลี่ยเท่ากับ  $1,764 \pm 297$  mg/L ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าข้อมูลอ้างอิงจากบริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด สังกัดสุวรรณภูมิ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความแตกต่างของระดับความลึกที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างในการศึกษาทั้งสองครั้ง เมื่อพิจารณาปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการศึกษาพบว่ามีค่า BOD<sub>5</sub> และ COD โดยเฉลี่ยเท่ากับ  $9,313 \pm 944$  mg/L และ  $17,195 \pm 1,860$  mg/L ตามลำดับ ผลการคำนวณอัตราส่วนของ BOD ต่อ COD (BOD<sub>5</sub>/COD) พบว่ามีค่าในช่วง 0.46-0.69 ซึ่งจัดว่ามีคุณลักษณะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้กับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเมื่อวันที่ 15 ก.ค. 2559 พบว่าตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยในเดือนกรกฎาคม มีค่า BOD<sub>5</sub>/COD เท่ากับ

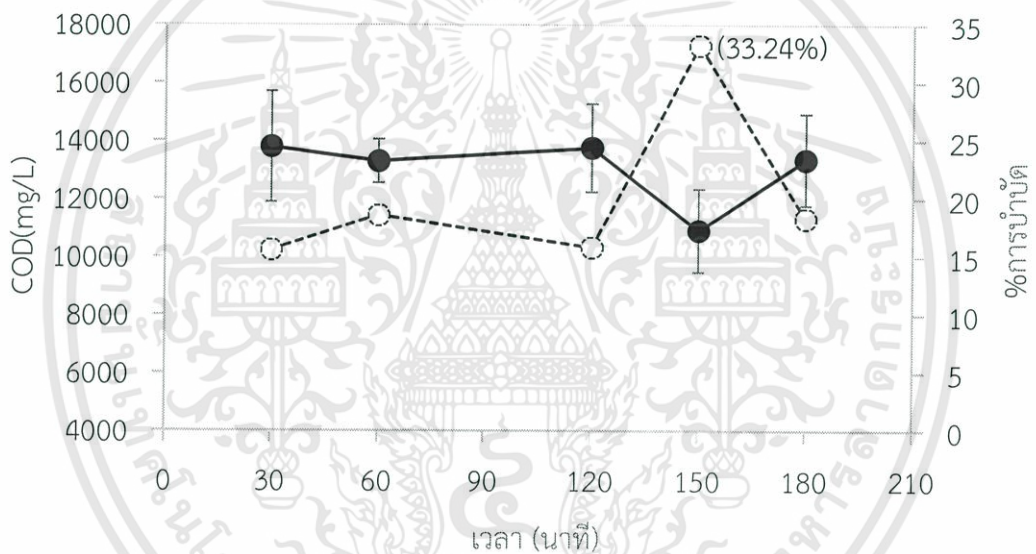
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นจำเป็นต้องเผยแพร่ข้อมูล

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.38 แสดงให้เห็นว่าน้ำชะมูลฝอยในวันดังกล่าวมีคุณลักษณะในการย่อยสลายทางชีวภาพต่ำกว่า ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในเดือนกันยายน ความแตกต่างดังกล่าวอาจเป็นผลจากในช่วงเดือนกันยายน ที่สถานีขนถ่ายและจัดการขยะไม่มีกิจกรรมการคัดแยกขยะเพราะอยู่ในช่วงการเปลี่ยนบริษัทที่รับผิดชอบการจัดการมูลฝอยของสนามบินสุวรรณภูมิทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์มากขึ้นในน้ำชะมูลฝอย

#### 4.2 ผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

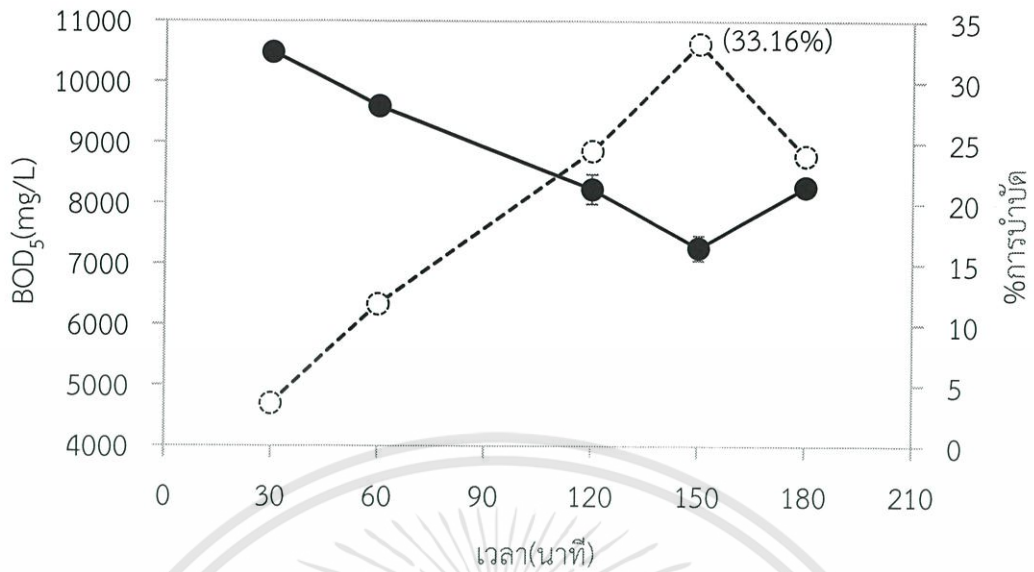
ในการศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ด้วย กระบวนการเฟนตัน โดยแปรผันเวลาจาก 30 นาทีเป็น 60, 120, 150 และ 180 นาที ตามลำดับ กำหนดให้ pH ของน้ำตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 3 อัตราส่วนโดยมวลของ  $\text{H}_2\text{O}_2$ :COD เริ่มต้น เท่ากับ 0.2:1 และปริมาณเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) เท่ากับ 300 mg/L คิดเป็นอัตราส่วนโดยมวล  $\text{Fe}^{2+}$ : $\text{H}_2\text{O}_2$  เท่ากับ 1:11 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.2



รูปที่ 4.1 ผลของระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อค่าซีโอดีในน้ำที่ผ่านการบำบัด (●) และ ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (○) ด้วยกระบวนการเฟนตัน

จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการศึกษาลดลง ดังจะเห็นได้จาก COD ในน้ำชะมูลฝอยมีค่าลดลงจากเริ่มต้น 16,339 mg/L เหลือ 13,791, 13,300, และ 13,756 mg/L เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มจาก 30 นาที เป็น 120 นาที คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด COD ระหว่าง 15.59% ถึง 18.60% ความสามารถในการกำจัด COD มีค่าสูงสุดเท่ากับ 33.24% เมื่อใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที เนื่องจากสามารถเกิดไฮดรอกซิลแรดิคัล ( $\text{OH}\cdot$ ) ได้ในปริมาณมากและมีเวลาออกซิไดซ์สารอินทรีย์มากพอ (สุเทพ และวีรณู, 2553) แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบำบัดเป็น 180 นาที เปอร์เซ็นต์การกำจัด COD มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการบำบัดที่เวลา 150 นาที ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากเกินไปจะทำให้ไฮดรอกซิลแรดิคัล ( $\text{OH}\cdot$ ) ไปออกซิไดซ์เฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) แทนสารอินทรีย์ที่อยู่ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



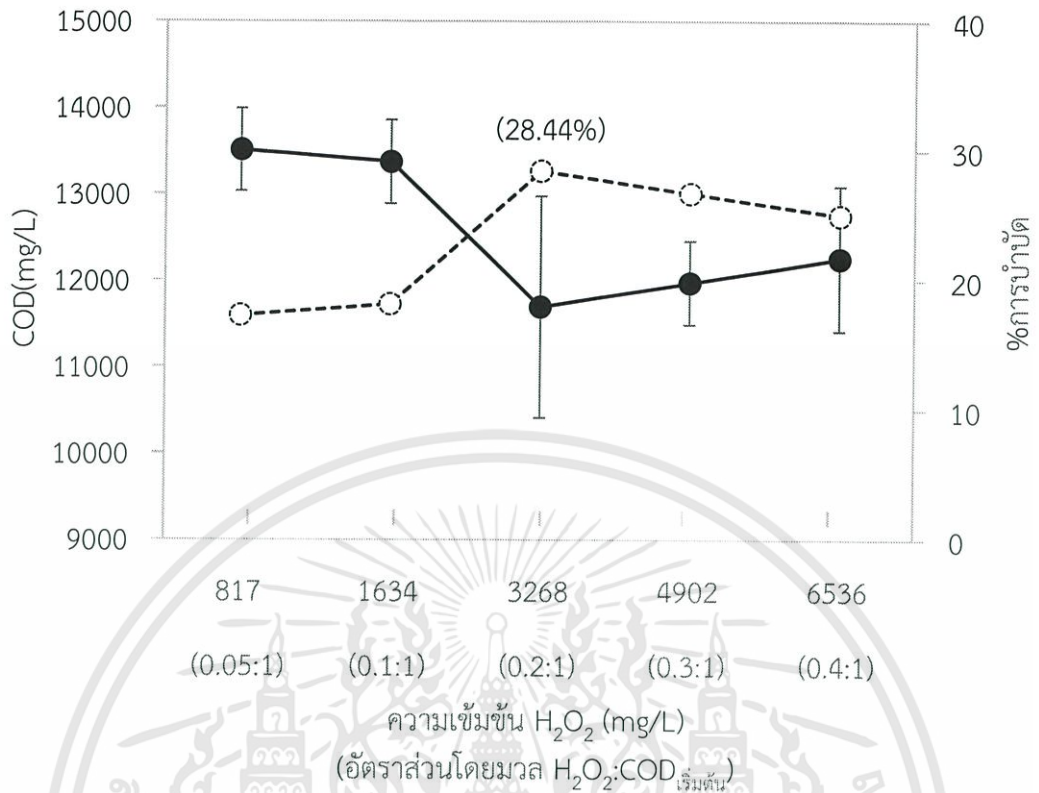
รูปที่ 4.2 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาทื) ต่อ ค่า BOD<sub>5</sub> (●, mg/L) และ ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (---○---)

เมื่อพิจารณาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อ ปริมาณสารอินทรีย์วัดในรูป BOD<sub>5</sub> พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในรูป BOD<sub>5</sub> มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง จากเริ่มต้น 10,870 mg/L เหลือ 10,490, 9600, 8,230 และ 7,265 mg/L เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มจาก 30, 60, 120 และ 150 นาที ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> สูงสุดที่ 33.16% เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน 150 นาที ในขณะที่การเพิ่มเวลาเป็น 180 นาที ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง

ผลการคำนวณอัตราส่วน BOD<sub>5</sub> ต่อ COD โดยใช้ข้อมูลจากระยะเวลาที่บำบัดสารอินทรีย์ให้ มีประสิทธิภาพสูงสุด พบว่า BOD<sub>5</sub>/COD ในน้ำที่บำบัดนาน 150 นาที มีค่าเท่ากับ 0.67 แสดงให้เห็นว่าน้ำชะมูลฝอยที่บำบัดด้วยกระบวนการเฟ้นต้นมีคุณลักษณะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ จากผลการศึกษาข้างต้นจึงเลือกเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่ 150 นาที เพื่อใช้ในการศึกษาอัตราส่วน โดยมวลระหว่าง H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:COD<sub>เริ่มต้น</sub> ที่เหมาะสมต่อไป

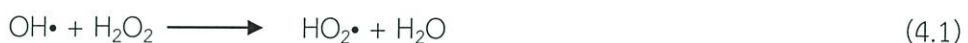
#### 4.3 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:COD<sub>เริ่มต้น</sub> ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

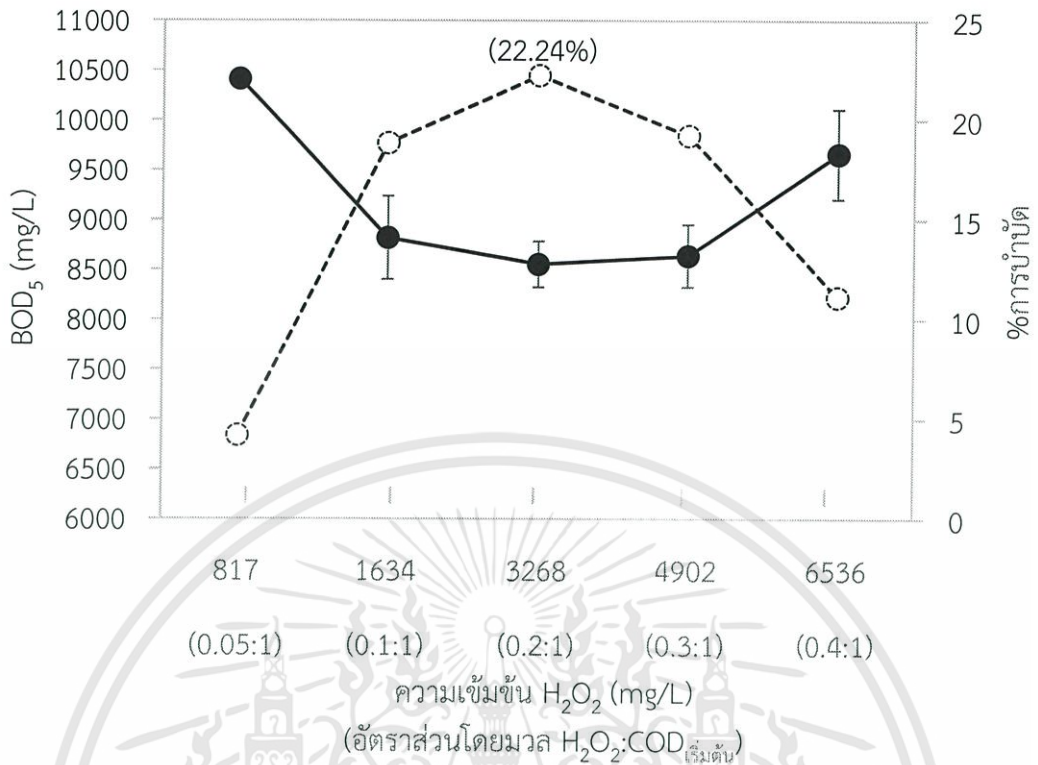
การบำบัดสารอินทรีย์ด้วยการแปรผันอัตราส่วนโดยมวลของ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:COD<sub>เริ่มต้น</sub> จาก 0.05:1 เป็น 0.1:1, 0.2:1, 0.3:1 และ 0.4:1 ตามลำดับ กำหนดให้ pH ของน้ำตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 3 ปริมาณเพอร์ซัลเฟต (Fe<sup>2+</sup>) เท่ากับ 300 mg/L และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 150 นาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 ถึง 4.4



รูปที่ 4.3 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:COD<sub>เริ่มต้น</sub> ต่อค่าซีโอดีในน้ำที่ผ่านการบำบัด (●—) และประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (---○---) ด้วยกระบวนการเฟ้นต้น

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:COD<sub>เริ่มต้น</sub> จะส่งผลให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการศึกษาลดลง เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:COD<sub>เริ่มต้น</sub> เท่ากับ 0.2:1 สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้มากที่สุด คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 28.44% เนื่องจากมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ที่เพียงพอต่อปริมาณสารอินทรีย์ในระบบ นอกจากนี้พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนโดยมวลของ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:COD<sub>เริ่มต้น</sub> เป็น 0.3:1 และ 0.4:1 ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงเนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ที่มากเกินไปจะไปแย่งสารอินทรีย์ในการใช้ไฮดรอกซิลแรดิคัล (OH•) (ดังสมการที่ 4.1) (นฤมล, 2555) อีกทั้งเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) เพิ่มถึงระดับหนึ่งก็จะมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด เพราะไฮดรอกซิลแรดิคัล (OH•) ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นน้ำ (H<sub>2</sub>O) และออกซิเจน (O<sub>2</sub>) (ณัชชารีย์, 2555)





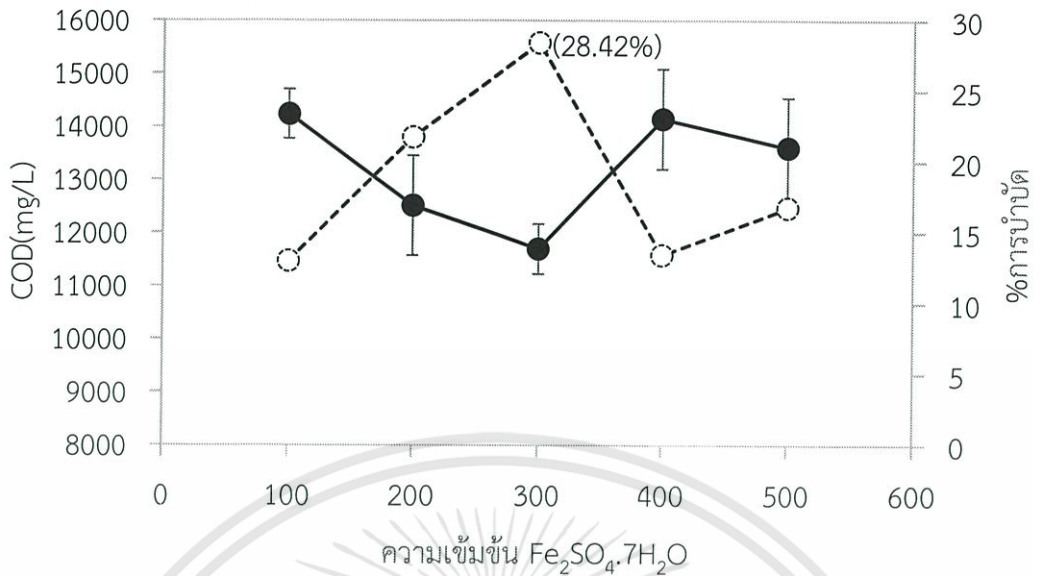
รูปที่ 4.4 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2$ :COD เริ่มต้น ต่อ ค่า BOD<sub>5</sub> (●—●, mg/L) และ ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (---○---)

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง  $H_2O_2$ :COD เริ่มต้น พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ ค่า BOD<sub>5</sub> มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2$ :COD เริ่มต้น เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.4 ที่ อัตราส่วน 0.2:1 สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้มากที่สุด คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 22.24 % ซึ่งมีแนวโน้มการลดลงของปริมาณสารอินทรีย์เช่นเดียวกับค่า COD ดังรูปที่ 4.3

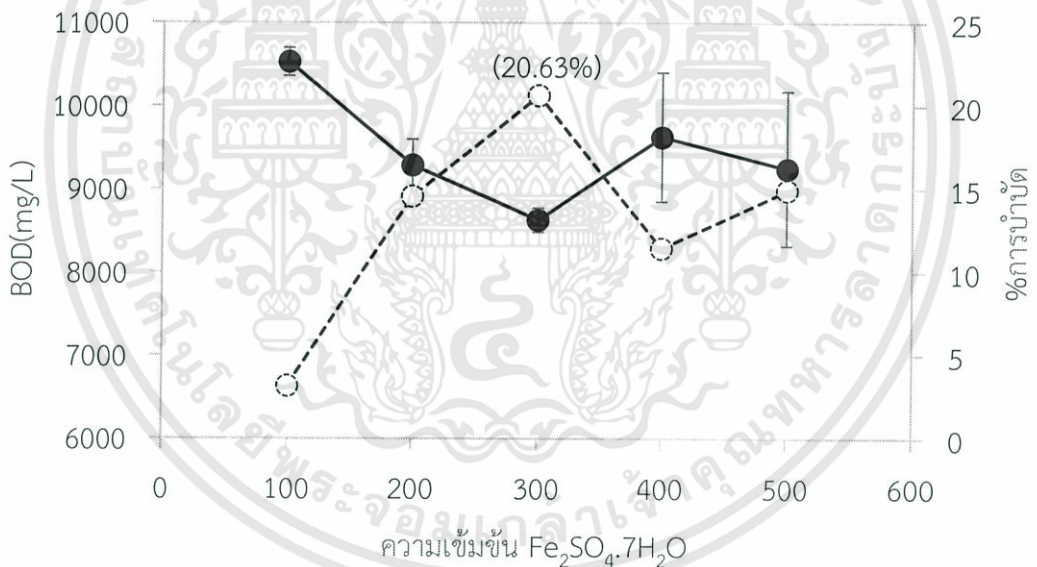
เมื่อคำนวณอัตราส่วน BOD<sub>5</sub>/COD มีค่าเท่ากับ 0.73 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเทียบกับอัตราส่วน BOD<sub>5</sub>/COD ของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพและที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพถูกออกซิไดซ์ด้วยไฮดรอกซิลแรดิคัล ( $OH\cdot$ ) จากผลการศึกษาลำดับ จึงเลือกอัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2$ :COD เริ่มต้น เท่ากับ 0.2:1 เพื่อใช้ในการศึกษาความเข้มข้นเพอร์สไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อไป

#### 4.4 ผลของความเข้มข้นเพอร์สไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

การลดปริมาณสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการเพนตัน โดยแปรผันความเข้มข้นเพอร์สไดออกไซด์ จาก 100 mg/L เป็น 200, 300, 400 และ 500 mg/L ตามลำดับ กำหนดให้ pH ของน้ำตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 3 อัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2$ :COD เริ่มต้น เท่ากับ 0.2:1 และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 150 นาที ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5 ถึง 4.6



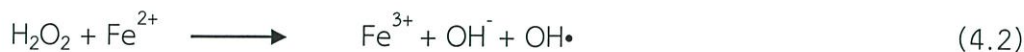
รูปที่ 4.5 ผลของความเข้มข้น  $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$  ต่อค่าซีโอดีในน้ำที่ผ่านการบำบัด (●) และประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (○) ด้วยกระบวนการเฟนตัน



รูปที่ 4.6 ผลของความเข้มข้น  $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$  ต่อ ค่า BOD<sub>5</sub> (● , mg/L) และประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (○)

จากรูปที่ 4.5 พบว่าประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปของค่า COD จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) จาก 100 mg/L ถึง 300 mg/L เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) ทำให้ปริมาณไฮดรอกซิลแรดิคัล ( $OH\cdot$ ) ที่ผลิตได้จากปฏิกิริยาเฟนตันในสมการที่ (4.2) มีมากขึ้นทำให้สารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการศึกษามีค่าต่ำลง (นฤมล, 2555) ที่ความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) เท่ากับ 300 mg/L สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้มากที่สุด คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 28.42% เนื่องจากความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) น้อยอยู่ในช่วง 250-500 mg/L ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ (Lopez et al., 2003) แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) มากขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง เนื่องจากความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ที่มากเกินไปจะไปทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลแรดิคัล ( $\text{OH}\cdot$ ) (สมการที่ 4.3) จึงทำให้มีปริมาณไฮดรอกซิลแรดิคัล ( $\text{OH}\cdot$ ) ไม่เพียงพอต่อการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในระบบ (Lopez et al., 2003)



เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ต่อการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของ  $\text{BOD}_5$  พบว่าค่า  $\text{BOD}_5$  มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.6 ที่ความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) เท่ากับ 300 mg/L สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้มากที่สุด คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 20.63% การเพิ่มความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ในระบบส่งผลกระทบต่อลักษณะเดียวกันกับที่พบในผลการกำจัด COD

เมื่อคำนวณอัตราส่วน  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  มีค่าเท่ากับ 0.74 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเทียบกับอัตราส่วน  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  ของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพและที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพถูกออกซิไดซ์ด้วยไฮดรอกซิลแรดิคัล ( $\text{OH}\cdot$ ) ซึ่งค่าที่เพิ่มขึ้นมีค่ามากกว่า 0.5 จึงสามารถบำบัดทางชีวภาพได้ต่อไป

#### 4.5 คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยหลังการบำบัด

ในการทดลองบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการเฟนตัน โดยใช้ปัจจัยที่ดีที่สุดในการทดลอง คือเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 150 นาที อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{COD}$  เริ่มต้น เท่ากับ 0.2:1 และความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน เท่ากับ 300 mg/L ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยหลังการบำบัด

พารามิเตอร์	ปริมาณ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
SS (mg/L)	350±37	63.20
$\text{BOD}_5$ (mg/L)	8,627±145	20.63
COD (mg/L)	11,696±471	28.42
$\text{BOD}_5/\text{COD}$	0.74	-

จากตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณสารแขวนลอย (SS) ในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณลดลงมากถึง 63.20% สันนิษฐานว่าเกิดจากเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เปลี่ยนรูปเป็นเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) จากการปรับ pH ให้เป็นเบส ซึ่งเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) จะสามารถตกตะกอนสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสียได้ อีกทั้งค่า  $\text{BOD}_5$  และ COD ที่ได้หลังการบำบัดมีค่าลดลงเท่ากับ 8,627±145 mg/L และ 11,696±471 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด BOD และ COD เท่ากับ 20.63% และ 28.42% ตามลำดับ ทั้งนี้ประสิทธิภาพการบำบัด COD มีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัด BOD ความแตกต่างของค่าดังกล่าวเป็นผลมาจากข้อจำกัดในการระบุชนิดของสารอินทรีย์ของพารามิเตอร์ทั้งสอง คือ COD และ BOD โดยที่ค่า COD บวกถึงสารอินทรีย์ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพส่วนค่า BOD เป็นค่าที่แสดงถึงการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพเท่านั้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD มีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัด BOD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการเฟนตัน เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย สารเคมีเฟนตันที่ใช้คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) กับเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ เวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2$ :COD เริ่มต้น และความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) จากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ทำการศึกษาในการทำปฏิกิริยาเฟนตัน ได้แก่ 30, 60, 120, 150 และ 180 นาที พบว่าที่ระยะเวลา 150 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป COD และ  $BOD_5$  สูงที่สุด สามารถลดค่า COD และ  $BOD_5$  ได้เท่ากับ 33.24 % และ 33.16 % ตามลำดับ

2. การเพิ่มอัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2$ :COD เริ่มต้น ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเฟนตัน จาก 0.05:1 เป็น 0.1:1, 0.2:1, 0.3:1 และ 0.4:1 สามารถลดค่า COD ของน้ำชะมูลฝอย คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้เท่ากับ 17.31, 18.16, 28.44, 26.72 และ 25.01% ตามลำดับ อีกทั้งยังสามารถลดค่า  $BOD_5$  ของน้ำชะมูลฝอย คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้เท่ากับ 4.2, 18.86, 22.24, 19.23 และ 11.13% ตามลำดับ โดยที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง  $H_2O_2$ :COD เริ่มต้น เท่ากับ 0.2:1 สามารถลดค่า COD และ  $BOD_5$  ได้สูงสุด

3. การเพิ่มความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเฟนตัน จาก 100 mg/L เป็น 200, 300, 400 และ 500 mg/L พบว่าที่ความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน เท่ากับ 300 mg/L มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด สามารถลดค่า COD และ  $BOD_5$  ได้เท่ากับ 28.42 % และ 20.63% ตามลำดับ

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยปฏิกิริยาเฟนตันคือ สภาพความเป็นกรด-ด่าง ควรมี pH เท่ากับ 3 ซึ่งใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที โดยใช้อัตราส่วน  $H_2O_2$ :COD เริ่มต้น เท่ากับ 0.2:1 และใช้ความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) เท่ากับ 300 mg/L สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ลงได้ โดยคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 28.42 % จะได้อัตราส่วน  $BOD_5$ :COD เท่ากับ 0.74 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพต่อไป

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำน้ำชะมูลฝอยที่มีคุณสมบัติ  $BOD_5$  ต่อ COD น้อยกว่า 0.5 มาใช้ในการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการเฟนตัน

2. ควรมีการศึกษาวิธีการกำจัดตะกอนเหล็กที่เกิดขึ้นหลังการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการเฟนตัน

3. ควรให้มีการศึกษาวิเคราะห์ตรวจหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) และ เฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) ที่เหลือจากการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการเฟนตัน

4. ควรศึกษาการนำน้ำชะมูลฝอยที่บำบัดด้วยกระบวนการเฟนตันไปบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- ณัชชาธิ์ ธนกรจิตติพัฒน์. (2555). *การบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารด้วยกระบวนการเฟนตัน*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.
- นฤมล ประดิษฐ์. (2555). *การบำบัดน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบด้วยวิธีเฟนตัน*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- นาถ ภูวงศ์ผา, เฉลิม เรืองวิริยะชัย และสุนันทา เลาว์ณย์ศิริ. (2555). การกำจัดสีและซีไอทีในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 40, 1272-1284.
- บุญชัย วิจิตรเสถียร. (2549). *การบำบัดน้ำชะมูลฝอยชุมชนด้วยวิธีการทางเคมี* (รายงานวิจัย). นครราชสีมา: สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ภิญโญ พานิชพันธ์. (มปป). *การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพ*. ค้นเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2559, จาก [http://www.il.mahidol.ac.th/emedial/ecology/chapter3/chapter3\\_water13.htm](http://www.il.mahidol.ac.th/emedial/ecology/chapter3/chapter3_water13.htm).
- มันสิน ตันกุลเวศม์ และมันรัช ตันกุลเวศม์. (2547). *เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์. (2545). *การบำบัดน้ำเสียที่มีสารไฮโดรคาร์บอนด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน ร่วมด้วยการตกตะกอนของเกลือซัลเฟต* (รายงานการวิจัย). สงขลา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สันทัต ศิริอนันต์ไพบลูย์. (2557). *ระบบบำบัดน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- สายชล มือขุนทด. (2546). ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบถังเกรอะ-กรองไร้ออกซิเจน. *วารสารวิจัย มข.*, 8, 53-65.
- สาวิณี สนั่นไหว, ธนาธร แผ้วศรี และวิจิตรา กุลสัมพันธ์. (2552). *การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยเคมีไฟฟ้า*. โครงการพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ. (2558). *รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2558*. ค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2559, จาก [http://www.pcd.go.th/public/Publications/print\\_report.cfm?task=wst\\_annual\\_58](http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_report.cfm?task=wst_annual_58)
- สำนักงานจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ. (2559). *การประเมินสมรรถนะการดำเนินงานฝังกลบมูลฝอย*. ค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2559, จาก [http://www.pcd.go.th/public/Publications/print\\_waste.cfm?task=ManualJunk3PCD](http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_waste.cfm?task=ManualJunk3PCD)
- สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์ และวีระนุช บุญรุ่ง. (2553). *การกำจัดสารอินทรีย์และสีด้วยกระบวนการเฟนตันและกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพมหานคร.

อาณัติ ต๊ะปินตา. (2553). *ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย*. กรุงเทพฯ: บริษัทแอกทีฟ  
พรีนซ์ จำกัด.

Atmaca E. (2008). Treatment of landfill leachate by using electro-Fenton method. *Journal of Hazardous Materials*, 163, 109-114.

Lee A.K., Nikra H., Hung Y.T. (2010). Influence of Waste Age on Landfill Leachate Quality. *international journal of environmental science and development*. 1, 347-350.

Lin S., Chang C. (2000). Treatment of landfill leachate by combined electro-fenton oxidation and sequencing batch reactor method. *Pergamon*, 34, 4243-4249.

Lopez A., Pagano M., Volpe A., Claudio Di Pinto A. (2003). Fenton's pre-treatment of mature landfill leachate. *Chemosphere*, 54, 1005-1010.

Moravia W., Amaral M., Lange L.. (2012). Evaluation of landfill leachate treatment by advanced oxidative process by Fenton's reagent combined with membrane separation system. *Waste Management*, 33, 89-101.

Prechthai T., Parkpian P., Visvanathan C. (2007). Assessment of heavy metal contamination and its mobilization from municipal solid waste open dumping site. *Journal of Hazardous Materials*, 156, 86-94.

Santos C., Lucas M., Dias A., Bezerra R., Peres J., Sampaio A. (2014). Winery wastewater treatment by combination of *Cryptococcus laurentii* and Fenton's reagent. *Chemosphere*, 117, 53-58.

Tchobanoglous, G., Kreith F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management*. USA : The McGraw-Hill Companies, Inc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

## วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

### สารแขวนลอย

#### วิธีการทดลอง

##### 1. การเตรียมกระดาศกรองตัวอย่าง

1.1 ประกอบชุดกรองสุญญากาศ คีบกระดาศกรองวางลงในชุดกรอง เปิดเครื่องและฉีดด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อยจนกระดาศกรองเปียก เพื่อให้กระดาศกรองแนบกับถ้วยกรอง

1.2 ล้างกระดาศกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 20 mL จากนั้นเปิดชุดกรองสุญญากาศ และทิ้งน้ำล้าง

1.3 คีบกระดาศกรองออกจากชุดกรองแล้วนำไปวางลงในกระจกนาฬิกาที่ระบุหมายเลขไว้

1.4 นำกระจกนาฬิกาพร้อมกระดาศกรอง ไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C อย่างน้อย 1 ชั่วโมง และนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเพื่อทิ้งให้เย็น

1.5 นำกระจกนาฬิกาพร้อมกระดาศกรองมาชั่งหาน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักไว้

1.6 ทำซ้ำข้อ 1.4-1.5 จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ หรือความแตกต่างของการชั่งครั้งล่าสุดกับการชั่งครั้งที่ผ่านมาแตกต่างกันไม่เกิน 0.0005 g หรือ 4% ขึ้นอยู่กับว่าค่าใดจะน้อยกว่ากัน จากนั้นจึงเก็บกระจกนาฬิกา พร้อมกระดาศกรองไว้ในตู้ดูดความชื้นจนกระทั่งใช้งาน

##### 2. การทดสอบตัวอย่าง

2.1 ประกอบชุดกรองสุญญากาศ คีบกระดาศกรองจากข้อ 1.5 วางลงในชุดกรองเปิดเครื่อง และฉีดด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อยจนกระดาศกรองเปียก เพื่อให้กระดาศกรองแนบกับถ้วยกรองกุช

2.2 ผสมตัวอย่างน้ำ (ที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง) ให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2.3 เขย่าตัวอย่างน้ำแล้วตวงตัวอย่างด้วยขวดวัดปริมาตร 25 mL เปิดเครื่อง และเทตัวอย่างน้ำที่ตวงไว้ลงสู่กระดาศกรอง พร้อมกับใช้น้ำกลั่นฉีดล้างภายในรอบๆ กระบอกตวง 2 ครั้งๆ ละประมาณ 10 mL แล้วเทลงสู่กระดาศกรองกรองจนแห้ง

2.4 คีบกระดาศกรองออกจากชุดกรองแล้วนำไปวางลงในกระจกนาฬิกาอันเดิม

2.5 นำกระจกนาฬิกาพร้อมกระดาศกรอง ไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C

2.6 นำกระจกนาฬิกาพร้อมกระดาศกรองมาชั่งหาน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่ได้

2.7 ทำตามข้อ 2.5-2.6 จนได้น้ำหนักคงที่หรือความแตกต่างของการชั่งครั้งล่าสุดกับการชั่งครั้งที่ผ่านมาแตกต่างกันไม่เกิน 0.0005 g หรือ 4% ขึ้นอยู่กับว่าค่าใดจะน้อยกว่ากัน

##### 3. การคำนวณ

$$\text{ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 10^6}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (mL)}}$$

โดย A = น้ำหนักกระดาศกรองและสารแขวนลอยในน้ำตัวอย่าง (g)

B = น้ำหนักกระดาศกรอง (g)

#### 4. การควบคุมคุณภาพ

ควบคุมคุณภาพโดยใช้สารมาตรฐาน แบริยมซัลเฟต ความเข้มข้น 500 mg/L

4.1 ชั่งแบริยมซัลเฟต 25 mg ละลายในน้ำกลั่น ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL จะได้ความเข้มข้น 500 mg/L

4.2 นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมได้มาทำการทดสอบตามขั้นตอนการทดสอบตัวอย่าง เกณฑ์การยอมรับ :  $\pm 10\%$  ของค่าจริง โดยพิจารณาจาก % ความถูกต้อง ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{ ความถูกต้อง} = \frac{\text{ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์} \times 100}{\text{ค่าจริง}}$$



# บีโอดี ( Biological Oxygen Demand: BOD)

## วิธีการทดลอง

### 1.การทดสอบตัวอย่าง

#### วิธีทำให้เจือจาง ( Dilution Method )

ใช้ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีความสกปรกสูง (มีค่า BOD มากกว่า 7 mg/L) จำเป็นจะต้องทำให้ตัวอย่างน้ำมีความสกปรกเจือจางลง โดยใช้น้ำผสมเจือจาง (dilution water) และควรทำหลายๆ ความเข้มข้น (อย่างน้อย 2 ความเข้มข้น) เช่น ถ้าน้ำตัวอย่างมีการปนเปื้อนสูง สกปรก สีดำคล้ำ ให้ทดสอบตามวิธีที่ 2 และเลือกทำ dilution ที่ 10-100 %

#### 1.1 การเตรียมน้ำผสมเจือจาง ( Dilution water )

เติมอากาศให้มียอกซิเจนละลายอิ่มตัว อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ( มีค่า DO อยู่ระหว่าง 8-9 mg/L)

#### 1.2 วิธีเลือกอัตราส่วนในการผสมเจือจาง

เนื่องจากการทดสอบค่า BOD อาศัยปฏิกิริยาทางชีวเคมีโดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวการย่อยสลาย สภาวะแวดล้อมจะมีผลต่อการทดสอบมากทำให้ค่า BOD มีความผันแปรสูง การทดสอบตัวอย่างต่างๆจึงควรผสมเจือจางหลายๆความเข้มข้น (ไม่ควรน้อยกว่า 2 ความเข้มข้น) ส่วนอัตราส่วนการผสมเจือจางอาจประมาณตามชนิดของตัวอย่างตามตารางที่ ก.1 จากสถิติข้อมูลเดิม หรือจากค่าความเข้มข้นโดยประมาณ (ดูตารางที่ ก.1 จากค่า Chemical Oxygen Demand) ของตัวอย่างน้ำเสียที่ต้องการทดสอบ

ตารางที่ ก.1 BOD Measurable with Various Dilution of Sample

Using percent mixtures	
% Dilution	Range of BOD mg/L
0.01	50,000 – 70,000
0.02	10,000 – 35,000
0.05	4,000 – 14,000
0.1	2,000 – 7,000
0.2	1,000 – 3,500
0.5	400 – 1,400
1.0	200 – 700
2.0	100 – 350
5.0	40 - 140
10.0	20 – 70
20.0	10 – 35
50.0	4 – 14
100	0 - 7

### 1.3 ขั้นตอนการทดสอบวิธีทำให้เจือจาง

- ค่อย ๆ ริน dilution water ที่ได้จากข้อ 1.2 ลงในกระบอกตวงขนาด 1,000 mL ประมาณ 500 mL โดยให้น้ำค่อย ๆ ไหลลงตามข้างกระบอกตวง
- ปรับคุณภาพให้เหมาะกับการดำรงชีวิตของ จุลชีพ โดยเติมสารละลายอาหาร ฟอสเฟตบัพเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และไอร์ออน (III) คลอไรด์อย่างละ 1 mL ต่อน้ำกลั่น 1 L
- เติมตัวอย่างน้ำตามส่วนที่คำนวณได้จากตารางที่ ก.1 เช่น 50 mL (5%)
- เติม dilution water ลงจนครบ 1,000 mL
- กวนให้เข้ากันโดยใช้แท่งพลาสติกเสียบจุกยางไว้ที่ปลายชักขึ้นลงเบาๆ ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ ประมาณ 20 ครั้ง
- ค่อย ๆ รินสารละลายที่ผสมเข้ากันดีแล้วนี้ใส่ลงในขวด BOD ที่แห้งสะอาดจนเต็ม 3 ขวด ปิดจุกให้สนิท ขวดหนึ่งนำไปทดสอบหาค่า  $DO_0$  อีกสองขวดนำไปเก็บใน incubator ที่อุณหภูมิ  $20 \pm 3^\circ C$  เป็นเวลา 5 วัน ก่อนเก็บ ให้ตรวจดูน้ำหล่อที่ปากขวดและใช้ฝาพลาสติก (BOD Cap) ครอบป้องกันน้ำระเหยและป้องกันการสูญเสียออกซิเจน
- หลังจาก incubate ที่อุณหภูมิ  $20 \pm 3^\circ C$  ครบ 5 วันแล้ว นำมาหาค่า  $DO_5$  ตัวอย่างที่ใช้ได้จะต้องมีค่าออกซิเจนละลายเหลืออยู่อย่างน้อย 1 mg/L และมีการใช้ออกซิเจน ไปอย่างน้อย 2 mg/L

## 2. การคำนวณ

วิธีทำให้เจือจาง

$$BOD (mg/L) = \frac{(DO_0 - DO_5) \times 100}{P}$$

$DO_0$  = ค่า DO ของตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้วในวันแรก

$DO_5$  = ค่าเฉลี่ย DO ของตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้วเก็บใน incubator 5 วัน

P = เปอร์เซนต์ของตัวอย่างที่ใช้ (เช่น 5%, 10%)

## 3. การควบคุมคุณภาพ

ควบคุมคุณภาพผลการทดสอบโดยใช้ กลูโคส-กรดกลูตามิก (Glucose Glutamic Acheck) เนื่องจากน้ำกลั่นที่ใช้อาจมีสารปนเปื้อนอยู่โดยเฉพาะทองแดงซึ่งจะทำให้หัวเข็มมีประสิทธิภาพลดลง มีผลทำให้ค่า BOD ที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง ควรตรวจสอบโดยใช้สารอินทรีย์บริสุทธิ์ที่ทราบค่าแล้ว ซึ่งได้แก่ กลูโคสและกรดกลูตามิก กลูโคสออกซิไดซ์ได้ง่ายแต่ไม่คงที่ ใช้กับหัวเข็มทั่วไป แต่สำหรับกรดกลูตามิกนั้นอัตราการออกซิไดซ์จะคงที่และมีสมบัติคล้ายน้ำเสียจากชุมชน

3.1 นำสารละลายกลูโคส-กรดกลูตามิก 20 mL ใส่กระบอกตวงขนาด 1000 mL และนำมาทดสอบตามข้อ 1.3 จากนั้นนำมาหาค่าออกซิเจนที่ใช้ไป (oxygen depletion) โดยมีค่ามาตรฐาน เท่ากับ  $198 \pm 30.5$  mg/L

3.2 การตรวจสอบคุณภาพน้ำผสมเจือจาง (dilution water control)

นำน้ำผสมเจือจางมาทดสอบหาค่าบีโอดี โดยเติมน้ำตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่หัวเชื้อลงในขวด 3 ขวดแล้วทดสอบหาค่าบีโอดีตามข้อ 3.1 ถ้าคุณภาพน้ำดี จะให้ค่า  $DO_0 - DO_5$  ไม่ควรลดมากกว่า 0.2 mg/L

#### 4. การตรวจเพื่อควบคุมคุณภาพ

ตรวจสอบการลดลงของออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนคงเหลือ เมื่อผ่านการบ่มมาเป็นระยะเวลา 5 วัน ต้องมีค่าออกซิเจนลดลง ( $DO_0 - DO_5$ ) อย่างน้อย 2.0 mg/L และค่าออกซิเจนที่เหลืออยู่อย่างน้อย 1.0 mg/L



# ซีโอดี ( Chemical Oxygen Demand, COD)

## โดยวิธีกลั่นกลับคืนแบบปิด (closed reflux method)

### วิธีการทดลอง

#### 1. Standardization

standardize สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตไทเทรนต์ (FAS) ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ย่อยสลาย โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เปิดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ย่อยสลาย ปริมาตร 2.5 mL ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
- 2) เทสารละลายในข้อ 1.1 ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 mL
- 3) เปิด conc.H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ปริมาตร 7.5 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ทิ้งไว้ให้เย็น
- 4) หยดสารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด
- 5) ไตเตรตด้วยสารละลาย FAS

Molarity ของสารละลาย FAS =  $\frac{\text{ปริมาตรของสารละลาย K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ (mL) ที่นำมาไตเตรต} \times 0.1}{\text{ปริมาตรของ FAS (mL) ที่ใช้ไตเตรต}}$

#### 2. การทดสอบตัวอย่าง

- 1) ใส่น้ำตัวอย่างในหลอดทดลองที่ล้างด้วย 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- 2) เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ย่อยสลาย ปริมาตร 2.5 mL ลงในหลอดทดลองที่มีน้ำตัวอย่าง
- 3) จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริก ปริมาตร 3.5 mL ปิดฝาแล้วเขย่าสารละลายให้เข้ากัน
- 4) นำหลอดทดลองใส่ในตุ๋บ ตั้งอุณหภูมิ 150 °C ย่อยนาน 2 ชั่วโมง
- 5) เมื่อครบเวลานำหลอดทดลองออกจากตุ๋บ ตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 6) เทสารละลายในหลอดทดลองลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 mL
- 7) หยดสารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วไตเตรต โดยใช้ 0.10 M สารละลาย FAS เป็น titrant เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียว (Blue green) เป็นสีน้ำตาลแดง (Reddish brown)
- 8) ทุกครั้งต้องทำ Blank โดยทำเหมือนตัวอย่าง แต่ให้ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่าง

#### 3. การคำนวณ

$$\text{COD as mg /L} = \frac{(A-B) \times M \times 8000}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (mL)}}$$

โดย A = ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบบล่งค์ (Blank)

B = mL ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง (Sample)

M = Molality ของ FAS

8000 = milliequivalent weight ของออกซิเจน  $\times 1000 \text{ mL/L}$

#### 4. การควบคุมคุณภาพ

ควบคุมคุณภาพโดยใช้สารมาตรฐาน KHP ความเข้มข้น 10,000 mg/L

- 1) ชั่ง KHP 85 mg (อบที่ 110 °C นาน 1 ชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 10 mL ด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร (สารละลายนี้จะให้ค่า COD = 10,000 mg/L)
- 3) นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมได้มาทำการทดสอบตามขั้นตอนการทดสอบตัวอย่าง

เกณฑ์การยอมรับ :  $\pm 10\%$  ของค่าจริง โดยพิจารณาจาก ความถูกต้อง ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{ ความถูกต้อง} = \frac{\text{ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์}}{\text{ค่าจริง}}$$





ภาคผนวก ข  
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

#### 1. คุณสมบัติน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัด

ตาราง ข.1 Standardization FAS ของน้ำตัวอย่างครั้งที่ 1

ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
1	0.00	2.30	2.30
2	2.30	4.65	2.35
3	4.65	6.85	2.20

หมายเหตุ ปริมาตร  $K_2Cr_2O_7$  ที่ใช้ในการ Standardize คือ 2.5 mL

ตาราง ข.2 ค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัดของน้ำตัวอย่างครั้งที่ 1

ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
Blank 1	0.00	1.30	1.30
Blank 2	1.30	2.60	1.30
Blank 3	2.60	3.95	1.35
1	3.95	4.20	0.25
2	4.20	4.45	0.25
3	4.45	4.90	0.45

- หมายเหตุ
1. น้ำตัวอย่างครั้งที่ 1 เก็บเมื่อวันที่ 12 กันยายน 2559
  2. ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ 2.5 mL
  3. เจือจาง 50 เท่า

ตาราง ข.3 Standardization FAS ของน้ำตัวอย่างครั้งที่ 2

ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
1	0.00	2.35	2.35
2	2.35	4.70	2.35
3	4.70	7.10	2.40

หมายเหตุ ปริมาตร  $K_2Cr_2O_7$  ที่ใช้ในการ Standardize คือ 2.5 mL

ตาราง ข.4 ค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัดของน้ำตัวอย่างครั้งที่ 2

ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
Blank 1	7.10	8.55	1.45
Blank 2	8.55	9.70	1.15
Blank 3	9.70	11.15	1.45
1	18.05	18.30	0.25
2	18.30	18.55	0.25
3	18.55	18.75	0.20

- หมายเหตุ
1. น้ำตัวอย่างครั้งที่ 2 เก็บเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2559
  2. ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ 2.5 mL
  3. เจือจาง 50 เท่า

ตาราง ข.5 Standardization FAS ของน้ำตัวอย่างครั้งที่ 3

ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
1	0.00	2.45	2.45
2	2.45	4.65	2.20
3	4.65	6.95	2.30

- หมายเหตุ ปริมาตร  $K_2Cr_2O_7$  ที่ใช้ในการ Standardize คือ 2.5 mL

ตาราง ข.6 ค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัดของน้ำตัวอย่างครั้งที่ 3

ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
Blank 1	6.95	8.20	1.25
Blank 2	8.20	9.50	1.30
Blank 3	9.50	10.65	1.15
1	17.00	17.35	0.35
2	17.35	17.70	0.35
3	17.70	18.05	0.35

- หมายเหตุ
1. น้ำตัวอย่างครั้งที่ 3 เก็บเมื่อวันที่ 26 กันยายน 2559
  2. ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ 2.5 mL
  3. เจือจาง 50 เท่า

ตาราง ข.7 Standardization FAS ของน้ำตัวอย่างผสม

ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
1	0.00	2.35	2.35
2	2.35	4.85	2.50
3	4.85	7.20	2.35

หมายเหตุ ปริมาตร  $K_2Cr_2O_7$  ที่ใช้ในการ Standardize คือ 2.5 mL

ตาราง ข.8 ค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัดของน้ำตัวอย่างผสม

ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
Blank 1	7.20	8.50	1.30
Blank 2	8.50	9.75	1.25
Blank 3	9.75	10.90	1.15
1	16.85	17.10	0.25
2	17.10	17.35	0.25
3	17.35	17.60	0.25

- หมายเหตุ
1. น้ำตัวอย่างผสม เมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2559
  2. ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ 2.5 mL
  3. เจือจาง 50 เท่า

ตาราง ข.9 ค่า BOD<sub>5</sub> ของน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัด

วันที่เก็บตัวอย่างน้ำ	ช่วงการเจือจาง	DO <sub>0</sub> (mg/L)	DO <sub>5</sub> (mg/L)	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
12-ก.ย.-59	0.10%	9.19	0.09	0.09
	0.05%	9.15	4.49	4.97
	0.02%	9.24	6.92	7.02
19-ก.ย.-59	0.10%	9.37	0.09	0.06
	0.05%	9.41	4.84	5.28
	0.02%	9.40	6.81	6.84
26-ก.ย.-59	0.10%	9.21	0.06	0.07
	0.05%	9.16	3.39	4.53
	0.02%	9.06	6.44	6.53
น้ำตัวอย่างผสม	0.10%	9.41	0.08	0.08
	0.05%	9.33	3.54	4.25
	0.02%	8.53	6.00	5.70

ตาราง ข.10 ค่า SS ของน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัด

วันที่เก็บตัวอย่างน้ำ	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (g)		ปริมาตรสารแขวนลอย (mg/L)
		ก่อน	หลัง	
12-ก.ย.-59	1	31.8552	31.8908	1424
	2	33.6421	33.6796	1500
	3	53.0163	53.0518	1420
19-ก.ย.-59	1	52.2685	52.3192	2028
	2	33.6399	33.6839	1760
	3	48.8874	48.9284	1640
26-ก.ย.-59	1	33.6375	33.6875	2000
	2	53.0138	53.063	1968
	3	48.1772	48.2307	2140
น้ำตัวอย่างที่ผสม	1	33.6314	33.6556	968
	2	52.2615	52.2859	976
	3	53.0105	53.0332	908

หมายเหตุ ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ คือ 25 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

ตาราง ข.11 Standardization FAS ของระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ครั้งที่ 1 และ 2

ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
1	0.00	2.45	2.45
2	2.45	4.95	2.50
3	4.95	7.45	2.50

- หมายเหตุ 1. ปริมาตร FAS ใช้ในการคำนวณ COD ครั้งที่ 1 และ 2  
2. ปริมาตร  $K_2Cr_2O_7$  ที่ใช้ในการ Standardize คือ 2.5 mL

ตาราง ข.12 ผลของระยะเวลาปฏิกิริยาต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ครั้งที่ 1 และ 2

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
Blank	1	7.45	8.75	1.30
	2	8.75	10.10	1.35
	3	10.10	11.45	1.35
30	1	14.10	14.70	0.60
	2	14.70	15.25	0.55
60	1	15.25	15.70	0.45
	2	15.70	16.25	0.55
120	1	16.25	16.85	0.60
	2	16.85	17.30	0.45
150	1	17.30	18.05	0.75
	2	18.05	18.70	0.65
180	1	18.70	19.25	0.55
	2	19.25	19.85	0.60

- หมายเหตุ 1. ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ 2.5 mL  
2. เจือจาง 50 เท่า

ตาราง ข.13 Standardization FAS ของระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อการบำบัด COD ในน้ำชะ  
มูลฝอย ครั้งที่ 3 และ 4

ครั้งที่	ปริมาณ FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
1	0.00	2.25	2.25
2	2.25	4.55	2.30
3	4.55	6.85	2.30

- หมายเหตุ 1. ปริมาตร FAS ใช้ในการคำนวณ COD ครั้งที่ 3 และ 4  
2. ปริมาตร  $K_2Cr_2O_7$  ที่ใช้ในการ Standardize คือ 2.5 mL

ตาราง ข.14 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ครั้งที่ 3 และ 4

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ครั้งที่	ปริมาณ FAS (mL)		
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
Blank	1	6.85	8.2	1.35
	2	8.20	9.50	1.30
	3	9.50	10.85	1.35
30	3	15.80	16.25	0.45
	4	16.25	16.70	0.45
60	3	16.70	17.25	0.55
	4	17.25	17.85	0.60
120	3	17.85	18.40	0.55
	4	18.40	18.85	0.45
150	3	18.85	19.55	0.70
	4	19.55	20.15	0.60
180	3	20.15	20.70	0.55
	4	20.70	21.15	0.45

- หมายเหตุ 1. ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ 2.5 mL  
2. เจือจาง 50 เท่า

ตาราง ข.15 ผลของระยะเวลาต่อการบำบัด BOD<sub>5</sub> ในน้ำชะมูลฝอย

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ครั้งที่	DO <sub>0</sub> (mg/L)	DO <sub>5</sub> (mg/L)
30	1	9.16	3.91
	2	9.40	4.20
	3	9.13	3.98
	4	9.26	3.97
60	1	9.20	4.35
	2	9.17	4.46
	3	9.11	4.27
	4	9.02	4.22
120	1	9.20	5.04
	2	9.42	5.48
	3	9.89	5.67
	4	9.67	5.53
150	1	9.38	5.61
	2	9.21	5.64
	3	9.48	5.94
	4	9.53	5.88
180	1	9.49	5.43
	2	9.28	5.14
	3	9.56	5.36
	4	9.32	5.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ผลของอัตราส่วนโดยมวล $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}}$ ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

ตาราง ข.16 Standardization FAS ของอัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}}$  ต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ( $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}} = 0.05:1$ )

ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
1	0.00	2.40	2.40
2	2.40	4.80	2.40
3	4.80	7.25	2.45

- หมายเหตุ 1. ปริมาตร FAS ใช้ในการคำนวณ อัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}}$  เท่ากับ 0.05:1  
2. ปริมาตร  $K_2Cr_2O_7$  ที่ใช้ในการ Standardize คือ 2.5 mL

ตาราง ข.17 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}}$  ต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ( $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}} = 0.05:1$ )

อัตราส่วนโดยมวลของ $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}}$	ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
Blank	1	7.25	8.65	1.40
	2	8.65	10.05	1.40
	3	10.05	11.40	1.35
0.05:1	1	14.25	14.85	0.60
	2	14.85	15.40	0.55
	3	15.40	15.95	0.55

- หมายเหตุ 1. ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ 2.5 mL  
2. เจือจาง 50 เท่า

ตาราง ข.18 Standardization FAS ของอัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}}$  ต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ( $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}} = 0.1:1, 0.2:1, 0.3:1$  และ  $0.4:1$ )

ครั้งที่	ปริมาณ FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
1	0.00	2.35	2.35
2	2.35	4.75	2.40
3	4.75	7.15	2.40

- หมายเหตุ 1. ปริมาณ FAS ใช้ในการคำนวณ อัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}}$  เท่ากับ 0.1:1, 0.2:1, 0.3:1 และ 0.4:1  
2. ปริมาณ  $K_2Cr_2O_7$  ที่ใช้ในการ Standardize คือ 2.5 mL

ตาราง ข.19 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}}$  ต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ( $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}} = 0.1:1, 0.2:1, 0.3:1$  และ  $0.4:1$ )

อัตราส่วนโดยมวลของ $H_2O_2:COD_{\text{เริ่มต้น}}$	ครั้งที่	ปริมาณ FAS (mL)		
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
Blank	1	7.15	8.45	1.30
	2	8.45	9.80	1.35
	3	9.80	11.15	1.35
0.1:1	1	13.60	14.10	0.50
	2	14.10	14.65	0.55
	3	14.65	15.20	0.55
0.2:1	1	15.20	15.85	0.65
	2	15.85	16.40	0.55
	3	16.40	17.10	0.70
0.3:1	1	17.10	17.70	0.60
	2	17.70	18.30	0.60
	3	18.30	18.95	0.65
0.4:1	1	18.95	19.55	0.60
	2	19.55	20.10	0.55
	3	20.10	20.75	0.65

- หมายเหตุ 1. ปริมาณน้ำตัวอย่างที่ใช้ 2.5 mL  
2. เจือจาง 50 เท่า

ตาราง ข.20 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2:COD_{เริ่มต้น}$  ต่อการบำบัด  $BOD_5$  ในน้ำชะมูลฝอย

อัตราส่วนโดยมวลของ $H_2O_2:COD_{เริ่มต้น}$	ครั้งที่	$DO_0$ (mg/L)	$DO_5$ (mg/L)
0.05:1	1	9.70	4.53
	2	9.37	4.16
	3	9.53	4.29
0.1:1	1	9.14	4.49
	2	9.62	5.31
	3	9.85	5.58
0.2:1	1	9.53	5.37
	2	9.29	4.90
	3	9.71	5.43
0.3:1	1	9.62	5.12
	2	9.16	4.91
	3	9.46	5.25
0.4:1	1	9.11	4.43
	2	9.38	4.29
	3	9.08	4.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ผลของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

ตาราง ข.21 Standardization FAS ของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ( $[Fe^{2+}] = 100 \text{ mg/L}$ )

ครั้งที่	ปริมาณ FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
1	0.00	2.50	2.50
2	2.50	4.95	2.45
3	4.95	7.45	2.50

หมายเหตุ 1. ปริมาณ FAS ใช้ในการคำนวณ ความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนที่ความเข้มข้น 100 mg/L  
2. ปริมาณ  $K_2Cr_2O_7$  ที่ใช้ในการ Standardize คือ 2.5 mL

ตาราง ข.22 ผลของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ( $[Fe^{2+}] = 100 \text{ mg/L}$ )

ความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน $[Fe^{2+}]$ ( $\mu\text{L}$ )	ครั้งที่	ปริมาณ FAS (mL)		
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
Blank	1	7.45	8.85	1.40
	2	8.85	10.25	1.40
	3	10.25	11.65	1.40
100	1	16.05	16.55	0.50
	2	16.55	17.05	0.50
	3	17.05	17.60	0.55

หมายเหตุ 1. ปริมาณน้ำตัวอย่างที่ใช้ 2.5 mL  
2. เจือจาง 50 เท่า

ตาราง ข.23 Standardization FAS ของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย ( $[Fe^{2+}] = 200, 300, 400$  และ  $500 \text{ mg/L}$ )

ครั้งที่	ปริมาณ FAS (mL)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
1	0.00	2.45	2.45
2	2.45	4.95	2.50
3	4.95	7.35	2.40

หมายเหตุ 1. ปริมาณ FAS ใช้ในการคำนวณ ความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนที่ความเข้มข้น 200, 300, 400 และ 500 mg/L

2. ปริมาณ  $K_2Cr_2O_7$  ที่ใช้ในการ Standardize คือ 2.5 mL

ตาราง ข.24 ผลของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่อการบำบัด COD ในน้ำชะมูลฝอย  
 ( $[\text{Fe}^{2+}] = 200, 300, 400$  และ  $500 \text{ mg/L}$ )

ความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน $[\text{Fe}^{2+}]$ ( $\mu\text{L}$ )	ครั้งที่	ปริมาตร FAS (mL)		
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	สุทธิ
Blank	1	7.35	8.75	1.40
	2	8.75	10.15	1.40
	3	10.15	11.55	1.40
200	1	14.40	15.10	0.70
	2	15.10	15.70	0.60
	3	15.70	16.30	0.60
300	1	16.30	17.00	0.70
	2	17.00	17.65	0.65
	3	17.65	18.35	0.70
400	1	18.35	18.95	0.60
	2	18.95	19.45	0.50
	3	19.45	19.95	0.50
500	1	19.95	20.55	0.60
	2	20.55	21.15	0.60
	3	21.15	21.65	0.50

หมายเหตุ 1. ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้  $2.5 \text{ mL}$   
 2. เจือจาง 50 เท่า

ตาราง ข.25 ผลของความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่อการบำบัด BOD<sub>5</sub> ในน้ำชะมูลฝอย

ความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน [Fe <sup>2+</sup> ] (μL)	ครั้งที่	DO <sub>0</sub> (mg/L)	DO <sub>5</sub> (mg/L)
100	1	9.21	3.86
	2	9.20	3.94
	3	9.35	4.17
200	1	8.91	4.12
	2	8.88	4.40
	3	9.19	4.53
300	1	8.87	4.51
	2	8.60	4.25
	3	9.47	5.24
400	1	8.93	3.95
	2	9.12	4.75
	3	9.16	4.07
500	1	9.02	4.82
	2	9.33	4.21
	3	9.72	5.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. คุณสมบัติน้ำชะมูลฝอยหลังการบำบัด

ปัจจัยที่ดีที่สุดในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย คือ เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที อัตราส่วนโดยมวลระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อสารอินทรีย์เริ่มต้น ( $H_2O_2$ :CODเริ่มต้น) เท่ากับ 0.2:1 และความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน เท่ากับ 300 mg/L ได้ค่า COD, BOD<sub>5</sub> และ SS ดังตาราง ข-10

ตาราง ข.26 แสดงค่า COD, BOD<sub>5</sub> และ SS ในน้ำชะมูลฝอยหลังการบำบัด

พารามิเตอร์		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
COD	ปริมาตร FAS ที่ใช้ (mL)	0.70	0.65	0.70	
	ค่า COD (mg/L)	228	245	228	
	เจือจาง 50 เท่า (mg/L)	11424	12240	11424	
BOD <sub>5</sub>	DO <sub>0</sub> (mg/L)	8.87	8.60	9.47	
	DO <sub>5</sub> (mg/L)	4.51	4.25	5.24	
	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	8720	8700	8460	
SS	น้ำหนักกระตาชกร (g)	ก่อน	52.2668	40.9079	-
		หลัง	52.2762	40.916	-
	ปริมาตรสารแขวนลอย (mg/L)	376	324	-	

- หมายเหตุ
1. ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการหาค่า COD คือ 2.5 mL
  2. เจือจาง 50 เท่า
  3. ความเข้มข้น FAS ที่ใช้ คือ 0.1020 M
  4. ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการหาค่า SS คือ 25 mL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### ตัวอย่างการคำนวณ

#### ตัวอย่างการคำนวณปริมาณ $H_2O_2$ ที่ใช้ในการทดลอง

อัตราส่วนโดยมวลของ  $H_2O_2$  : COD เท่ากับ 0.05 : 1

หมายความว่า ค่า COD 1 g ต้องใช้  $H_2O_2$  0.05 g

$$\begin{aligned} \text{ถ้า ค่า COD เริ่มต้น } 16,339 \text{ mg/L} \text{ ต้องใช้ } H_2O_2 & \frac{0.05 \text{ g} \times 16,339 \text{ mg/L}}{1 \text{ g}} \\ & = 816.95 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

ดังนั้น น้ำตัวอย่าง 1,000 mL ต้องใช้  $H_2O_2$  816.95 mg

$$\begin{aligned} \text{ถ้า น้ำตัวอย่าง } 50 \text{ mL} \text{ ต้องใช้ } H_2O_2 & \frac{50 \text{ mL} \times 816.95 \text{ mg}}{1000 \text{ mL}} \\ & = 40.8475 \text{ mg} \end{aligned}$$

เนื่องจาก มีสารละลาย  $H_2O_2$  30 % w/w ความหนาแน่น 1.11 g/mL

แสดงว่า จะมีเนื้อสาร  $H_2O_2$  30 g ในสารละลาย 100 g

$$\begin{aligned} \text{ถ้า ต้องการเนื้อสาร } H_2O_2 \text{ } 40.85 \text{ mg} \text{ จะต้องชั่งสารละลาย } & \frac{40.85 \text{ mg} \times 100 \text{ g}}{30 \text{ g}} \\ & = 136.1667 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตร } H_2O_2 \text{ เท่ากับ } & \frac{136.17 \text{ mg} \times 1 \text{ g}}{1.11 \text{ g/mL} \times 10^3 \text{ mg}} = 0.1227 \text{ mL} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น ในน้ำตัวอย่างที่มีค่า COD 16,339 mg/L ปริมาตร 50 mL ต้องปิเปต  $H_2O_2$  เท่ากับ 0.12 mL

#### ตัวอย่างการคำนวณปริมาณ $Fe^{2+}$ ที่ใช้ในการทดลอง

จากการเตรียม Stock Ferrous Sulfate Heptahydrate ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 0.5 mol/L

ซึ่ง เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (Ferrous Sulfate Heptahydrate,  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 139 g

ละลายในน้ำกลั่น เติม Conc.  $H_2SO_4$  ปริมาตร 10 mL ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นและปรับปริมาตรเป็น

1000 mL ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

(มวลโมเลกุลของ  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  เท่ากับ 278.02 g/mol, มวลโมเลกุลของ  $Fe^{2+}$  เท่ากับ 55.85 g/mol)

กำหนดความเข้มข้นของ  $Fe^{2+}$  เท่ากับ 100 mg/L

จาก Stock  $Fe^{2+}$  27,925 mg/L ปริมาตร 50 mL

ต้องการความเข้มข้น  $Fe^{2+}$  100 mg/L ในน้ำตัวอย่าง 50 mL

จากสูตร  $C_1V_1 = C_2V_2$

$$27,925 \text{ mg/L} \times V_1 = 100 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{27,925 \text{ mg/L}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_1 = 0.1791 \text{ mL}$$

เพราะฉะนั้น ในน้ำตัวอย่าง 50 mL ต้องปิเปต จาก Stock  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.5 mol/L ปริมาตร 0.18 mL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง สถานที่เก็บตัวอย่าง

### 1. รูปสถานที่เก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอย



ง-1.



ง-2.



ง-3.



ง-4.

รูปที่ ง-1 ถึง ง-4 สถานีขนถ่ายและจัดการขยะ สนามบินสุวรรณภูมิ



ง-5



ง-6

รูปที่ ง-5 จุตรรวบรวมน้ำชะมูลฝอย (ภาพซ้าย)

รูปที่ ง-6 การเก็บน้ำตัวอย่างลงภาชนะที่จัดเตรียม (ภาพขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้