

การบำบัดน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน
ด้วยเปอร์ซัลเฟต/เฟอร์รัสไอออน

PETRO STATION WASTEWATER TREATMENT
BY PERSULFATE/FERROUS ION



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PETRO STATION WASTEWATER TREATMENT
BY PERSULFATE/FERROUS ION



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 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การบำบัดน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมันด้วยเปอร์ซัลเฟต
และเฟอร์รัสไอออน

Petro station wastewater treatment by
persulfate/ferrous ion

ชื่อนักศึกษา

นางสาว กัญชลิตา แสงเดือน รหัสนักศึกษา 58050584

นางสาว ศิริประภา ทองคำ รหัสนักศึกษา 58050682

นางสาว ศุภลักษณ์ ธงเพ็ง รหัสนักศึกษา 58050685

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

คณะ

วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.)



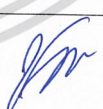
ปีการศึกษา

2561

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(เคมี
สิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการ	
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ นักศึกษา	การบำบัดน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมันด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออน น.ส.กัญชุลิดา แสงเดือน 58050584 น.ส.ศิริประภา ทองคำ 58050682 น.ส.ศุภลักษณ์ ธงเพ็ญ 58050685
ปริญญา ภาควิชา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำมันหล่อลื่นที่มีปริมาณความเข้มข้นของซีโอดีอยู่ประมาณ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ที่มีค่าพีเอชประมาณ 5-6 ซึ่งเป็นการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออน และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออน ร่วมกับการโซนิเคชัน (Sonication) โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ ปริมาณความเข้มข้นเพอร์สไอออน 0.0-0.5 โมล/ลิตร อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของเพอร์สไอออนต่อเปอร์ซัลเฟต 1: 0-1: 5 พีเอช 2-5 และไม่ปรับพีเอช ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 0-60 นาที และระยะเวลาในการใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงในการเกิดปฏิกิริยา 0-40 นาที โดยมีการทำการทดลองกับน้ำกลั่นเพื่อเป็นแบลนด์ และทำการทดลองทั้งหมดซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณความเข้มข้นเพอร์สไอออน 0.4 โมล/ลิตร อัตราส่วนโดยโมลของเพอร์สไอออน:เปอร์ซัลเฟต 1: 1 ค่าพีเอช 3 และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 40 นาที สามารถลดค่าซีโอดีได้มากถึง 95.25 เปอร์เซ็นต์ และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออนร่วมกับการโซนิเคชัน (Sonication) โดยใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงในการเกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาที ทำให้ค่าซีโอดีลดลงได้ถึง 95.05 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตาม น้ำเสียสังเคราะห์จากงานวิจัยชิ้นนี้ก็ยังไม่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้เนื่องจากตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันไว้ที่ 200 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งถ้าหากต้องการลดค่าซีโอดีลงมากกว่านี้จึงจำเป็นต้องทำการบำบัดร่วมกับวิธีอื่น

คำสำคัญ : คลื่นความถี่เหนือเสียง, ซีโอดี, เปอร์ซัลเฟต, เพอร์สไอออน

Title	Petro station wastewater treatment by persulfate/ferrous ion	
Students	Miss Kuncharida Sangdean	Student ID 58050584
	Miss Siraprapa Thongkum	Student ID 58050682
	Miss Supaluk Tongpeng	Student ID 58050685
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	
Academic Year	2018	
Advisor	Assist. Prof. Dr. Chompoonut Chaiyaraksa	

Abstract

The objective of this research was to study the treatment of synthetic wastewater from lubricant with the COD concentration of approximately 10,000 mg/L and pH value of about 5-6. Determining the optimum conditions for the treatment by persulfate/ferrous ion and the treatment by sulfate/ferrous ion together with the sonication process were performed. The study factors were as follows: the amount of ferrous ion 0.0 - 0.5 mole/L the molar ratio of ferrous ions per persulfate 1: 0 - 1: 5, pH 2-6, reaction time 0-60 minutes and sonication time 0-40 minutes. Distilled water was tested to be a blank. Every experiment was repeated three times to find the mean and standard deviation. The results indicated that the amount of ferrous ion 0.04 mole/L the molar ratio of ferrous ions: persulfate 1: 1, pH 3 and reaction time of 40 minutes could reduce COD more than 94%. Furthermore, the results showed that COD value was reduced by more than 94 percent when using sonication time for 30 minutes. However, synthetic wastewater from this research still could not be released into public water because it exceeded the effluent standard (200 mg/L) prescribed by the Department of Industrial Works. Co-treatment of the wastewater with other methods is necessary to meet the effluent standards.

Keyword: COD, ferrous ion, persulfate, sonication, wastewater

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายเป็นอย่างดี ทางผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ได้ให้คำปรึกษาตลอดจนการช่วยเหลือต่าง ๆ และคำแนะนำเพื่อให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณรศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียง คำ คณะกรรมการสอบที่ช่วยชี้แนะข้อบกพร่อง แนวทางการแก้ปัญหา รวมไปถึงการตรวจสอบและติชมโครงการพิเศษเพื่อให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ในการทดลองต่าง ๆ ส่งผลให้การจัดทำโครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา บุคคลในครอบครัว ที่ให้การอบรม เลี้ยงดู ตลอดจนเพื่อนๆ ชั้นปีที่ 4 สาขาเคมีสิ่งแวดล้อมที่คอยเป็นกำลังใจ แนะนำ และเป็นທີ່ปรึกษาที่ดี ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

กัญชลิตา แสงเดือน
ศิริประภา ทองคำ
ศุภลักษณ์ ธงเพ็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 น้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน.....	4
2.1.1 องค์ประกอบของน้ำมัน	4
2.1.2 ผลกระทบของน้ำมัน	7
2.1.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมัน	8
2.1.4 วิธีการกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้ง.....	8
2.2 การใช้เปอร์ซัลเฟตบำบัดน้ำเสีย.....	9
2.2.1 คุณสมบัติของเปอร์ซัลเฟต	9
2.2.2 หลักการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟต	9
2.3 กระบวนการโซนิเคชัน (Sonication).....	10
2.4 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD).....	10
2.4.1 การวิเคราะห์ซีโอดี	11
2.4.2 หลักการวิเคราะห์หาซีโอดีด้วยวิธีไดโครเมต	11
2.4.3 สารอินทรีย์ที่เป็นตัวรบกวนการวิเคราะห์ซีโอดี.....	12
2.4.4 การใช้ประโยชน์จากข้อมูลซีโอดี.....	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	17
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	17
3.1.1 อุปกรณ์.....	17
3.1.2 สารเคมี	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ (ซีโอดี 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร).....	17
3.3 การดำเนินงานวิจัย	18
3.3.1 การบำบัดซีโอดีและสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปอร์ซัลเฟตและเฟอร์รัสไอออน... ..	18
3.3.2 การบำบัดซีโอดีและสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปอร์ซัลเฟตและเฟอร์รัสไอออน... ..	20
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	21
4.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	21
4.2 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเฟอร์รัสไอออน	21
4.2.1 ศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ที่เหมาะสม	21
4.2.2 ศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นของเปอร์ซัลเฟต ($S_2O_8^{2-}$) ที่เหมาะสม.....	22
4.2.3 การศึกษาหาค่าพีเอช (pH) เริ่มต้นที่เหมาะสม	24
4.2.4 การศึกษาหาเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม	25
4.3 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเฟอร์รัสไอออนร่วมกับการโซ นิเคชัน (Sonication).....	27
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	29
5.1 สรุปผลการทดลอง	29
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
บรรณานุกรม.....	30
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณการเตรียมสาร.....	33
ภาคผนวก ข การคำนวณการเตรียมสาร.....	36
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณผลการทดลอง.....	39
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายสารเคมี.....	42
ภาคผนวก จ ภาพประกอบผลการทดลอง.....	44
ภาคผนวก ฉ ตารางผลการทดลองทั้งหมด.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติของน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมันในกรุงเทพมหานคร.....	7
2.2	แสดงมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันในประเทศไทย.....	8
ช-1	ปริมาณเพอร์ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรตที่ใช้.....	37
ช-2	ปริมาณโซเดียมเปอร์ซัลเฟตที่ใช้.....	38
ฉ-1	ผลการทดลองการศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นเพอร์ซัลไอออนที่เหมาะสม (ซีไอดี).....	48
ฉ-2	ผลการทดลองการศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นเปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสม (ซีไอดี).....	50
ฉ-3	ผลการทดลองการศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นเปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสม (ซีไอดี).....	52
ฉ-4	ผลการทดลองการศึกษาหาค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสม (ซีไอดี).....	54
ฉ-5	ผลการทดลองการศึกษาหาเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม (ซีไอดี).....	55
ฉ-6	ผลการทดลองการศึกษาหาเวลาการใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงในการ.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างของเปอร์ซัลเฟต.....9
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เฟอร์สไอออน (โมล/ลิตร) กับประสิทธิภาพการบำบัด (%).....22
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนโมลของเฟอร์สไอออน:เปอร์ซัลเฟต กับประสิทธิภาพการบำบัด(%).....23
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของเฟอร์สไอออน และเปอร์ซัลเฟต (โมล/ลิตร) กับประสิทธิภาพการบำบัด (%).....24
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการบำบัด (%) กับ pH.....25
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการบำบัด (%) กับ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา (นาที)26
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาในการใช้คลื่นความถี่เหนือเสียง ในการเกิดปฏิกิริยา(นาที) กับประสิทธิภาพการบำบัด (%).....28
จ-1	เครื่อง Magnetic stirrer..... 44
จ-2	เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic) 44
จ-3	เครื่องวัดพีเอช (pH meter) 45
จ-4	เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (Digital Balance) 45
จ-5	น้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำมันหล่อลื่นและดีเทอร์เจนท์ เข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร..... 46
จ-6	ชุดการทดลองระบบปั่นกวน โดยเครื่อง Magnetic stirrer..... 46
จ-7	ชุดการทดลองเทคนิคโซนิกเคชัน โดยเครื่อง Ultrasonic cleaner..... 47
จ-8	ชุดการทดลองการกรองตะกอนเหล็กไฮดรอกไซด์ โดยเครื่องกรองสุญญากาศ..... 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถานีบริการน้ำมันถือเป็นธุรกิจปิโตรเคมีรูปแบบหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีสถานีบริการน้ำมันอยู่ในประเทศ ประมาณ 27,185 แห่ง (กระทรวงพลังงาน, 2560) และจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของธุรกิจด้านพลังงานนี้ส่งผลให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การรั่วไหลของน้ำมันจากแหล่งน้ำมันใต้ดิน หรือจากการกระทำของมนุษย์ เช่น อุบัติเหตุจากการขนส่ง (Resitoğlu และคณะ, 2014) การขุดเจาะน้ำมัน หรือการลักลอบปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำ ซึ่งการรั่วไหลส่วนมากมักมีที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ (Pinedo และคณะ, 2013)

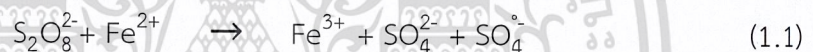
นอกจากนี้ น้ำเสียหรือน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากสถานีบริการน้ำมัน โดยส่วนใหญ่ยังมีการปนเปื้อนน้ำมันปนมากับน้ำทิ้งค่อนข้างสูง ซึ่งสาเหตุมาจากการละลายในเรือของการรักษาความสะอาดและการป้องกันไม่ให้มีน้ำมันปนเปื้อนออกมาสู่ภายนอก โดยน้ำทิ้งเหล่านี้จะมีค่าสารแขวนลอย ซีโอดี ไชมันและน้ำมันสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) และหากเกิดการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง จะทำให้น้ำมันที่ลอยตัวอยู่บนผิวน้ำปกคลุมไปทั่วและเป็นสาเหตุทำให้ออกซิเจนไม่สามารถละลายลงสู่ได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณแหล่งน้ำนั้น และเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำในที่สุด

ดังที่ได้กล่าวไป น้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันส่วนใหญ่จะมีค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) สูง ซึ่งค่าซีโอดี คือ ค่าที่ใช้บ่งบอกถึงความสกปรกของน้ำเสียที่เป็นสากลและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยถ้าค่าซีโอดีมีค่ามากก็หมายความว่าน้ำเสียนั้นมีความสกปรกมากนั่นเอง สำหรับประเทศไทย มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกำหนดให้น้ำทิ้งต้องมีค่าซีโอดีไม่เกิน 200 mg/L (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) ในการบำบัดน้ำที่มีค่าซีโอดีสูงนั้นสามารถทำได้หลายวิธี โดยทั่วไปแบ่งการบำบัดเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการบำบัดขั้นต้น (Primary treatment) เป็นการบำบัดเพื่อแยกทราย กรวด และของแข็งขนาดใหญ่ ออกจากของเหลวหรือน้ำเสีย การบำบัดขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 50-70 และกำจัดสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของบีโอดีได้ ร้อยละ 25-40 ขั้นต่อมาเป็นการบำบัดขั้นที่สอง (Secondary treatment) เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว แต่ยังคงมีของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กและสารอินทรีย์ทั้งที่ละลายและไม่ละลายในน้ำเสียเหลือค้างอยู่ โดยทั่วไปการบำบัดขั้นที่สองหรือเรียกอีกอย่างว่าการบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) จะอาศัยหลักการเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกินสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น Activated sludge (การตกตะกอน) เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียโดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (Ikumi และคณะ, 2014) แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ การลอยตัวของตะกอนในถังตกตะกอน สาเหตุเนื่องมาจาก ตะกอนตกอยู่ในถังถึงตกตะกอนนานเกินไปจนทำให้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีเปลี่ยนสารประกอบไนไตรท์และไนเตรตเป็นแก๊สไนโตรเจน แก๊สที่เกิดขึ้นจะถูกกักอยู่ในตะกอนถ้ามีมากจะ

พาตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ (Asensi และคณะ, 2018) ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการบำบัดขั้นสูง (Advance treatment หรือ Tertiary treatment) เป็นกระบวนการกำจัดสารอาหาร (ไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัส) สี สารแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก และอื่น ๆ ซึ่งยังไม่ได้ถูกกำจัดโดยกระบวนการบำบัด ขั้นที่สอง ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดียิ่งขึ้นเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ได้

นอกจากการบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) แล้วนั้น การใช้สารเคมีเข้ามาช่วย ในการบำบัด (Chemical treatment) ก็เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียลงได้ โดยมีการนำสารออกซิแดนท์เข้ามาใช้ในการบำบัด เช่น สารออกซิแดนท์ที่สามารถนำมาใช้ได้ คือ Fenton's reagent (Pardo และคณะ, 2014) ozonation (Rodriguez และคณะ, 2016) หรือ เปอร์แมงกาเนต (Mahmoodlu และคณะ, 2013) อย่างไรก็ตาม ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาการใช้ Activated persulfate เพิ่มขึ้นเนื่องจากข้อดีหลายประการ เช่น การจัดการที่ง่าย มีความสามารถในการละลายน้ำสูง มีเสถียรภาพสูง และค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างต่ำ

โดยในโครงการพิเศษนี้ เลือกรวมเติมโลหะทรานซิชัน ซึ่ง Fe^{2+} เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด (สมการ (1.1)) เมื่อเปอร์ซัลเฟตถูกกระตุ้น จะเกิดอนุมูลอิสระของซัลเฟต ($SO_4^{\cdot-}$) ขึ้น ซึ่งมีค่า E^0 สูงถึง 2.5 V ซึ่งอนุมูลเปอร์ซัลเฟตเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Lominchar และคณะ, 2017)



มีการใช้เปอร์ซัลเฟตเข้ามาช่วยในการบำบัดน้ำอย่างกว้างขวาง เช่น การกำจัดสาร/ยา Diatrizoate ในน้ำ (Shang และคณะ., 2018) การกำจัดสีสังเคราะห์ Azorubine ในน้ำ (Chakma และคณะ., 2016) และ การกำจัดสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* (Gu และคณะ., 2016) เป็นต้น

ในการบำบัดน้ำเสียที่มีซีโอดีสูงนอกจากการใช้สารออกซิแดนท์ที่รุนแรงแล้ว ในโครงการพิเศษนี้ยังอาศัยเทคนิคโซนิเคชัน (Sonication) ซึ่งเป็นเทคนิคการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงเพื่อทำให้เกิดการสั่นสะเทือนจนกระทั่งเกิดการแตกตัวของอนุภาคที่เรากำลังต้องการให้เกิดการแตกหักเสียหาย ในทางชีววิทยานิยมเอามาใช้ทำให้เซลล์แตก โดยหลักการนั้นมาจากการที่โพรงอากาศในตัวทำละลายถูกกระตุ้นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค และจะเกิดการสั่นอย่างรุนแรง มักใช้คลื่นความถี่สูง (> 20 kHz) ซึ่งนำไปสู่กระบวนการที่เรียกว่า Ultrasonication (Silva และคณะ, 2018) ซึ่งคลื่นอัลตราโซนิคสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (Li และคณะ, 2018) โดยการใช้คลื่นเสียงเพื่อให้เกิดการแตกตัวของพันธะเคมี การสลายตัวที่อุณหภูมิสูงหรือปฏิกิริยาการทำให้เป็นกลาง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรมจากสถานีบริการน้ำมันด้วยเปอร์ซัลเฟต/เพอร์ซัลไอออน และ เปอร์ซัลเฟต/เพอร์ซัลไอออน โดยมีกระบวนการโซนิเคชันร่วมด้วยเพื่อลดค่าซีโอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการลดค่าซีไอดี ด้วยเปอร์ซัลเฟต/เพอร์สไอออน และเปอร์ซัลเฟต/เพอร์สไอออนโดยมีกระบวนการโซนิเคชันร่วมด้วย
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดี ด้วยเปอร์ซัลเฟต/เพอร์สไอออน และเปอร์ซัลเฟต/เพอร์สไอออนโดยมีกระบวนการโซนิเคชันร่วมด้วย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของซีไอดีประมาณ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร
- 1.3.2 เป็นการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยเปอร์ซัลเฟต/เพอร์สไอออนมีตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังต่อไปนี้ คือ
 - อัตราส่วนโดยโมลของ $Fe^{2+}: S_2O_8^{2-}$ คือ 1:0, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5
 - ค่าพีเอช คือ 2, 3, 4, 5 และไม่ปรับพีเอช
 - ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา คือ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที
- 1.3.3 เป็นการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยเปอร์ซัลเฟต/เพอร์สไอออนโดยมีกระบวนการโซนิเคชันร่วมด้วย โดยนำสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 1.3.2 แต่เปลี่ยนจากการเขย่าด้วย Magnetic stirrer มาใช้ Ultrasonication แทน ซึ่งจะศึกษาระยะเวลาดังนี้ คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 นาที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรมของสถานบริการน้ำมัน
- 1.4.2 เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทอื่นที่มีซีไอดีสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน

2.1.1 องค์ประกอบของน้ำมัน

1) ปิโตรเลียม (Petroleum) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ได้มาจากธรรมชาติโดยเกิดจากปฏิกิริยาเคมี และชีวเคมีของสารอินทรีย์ ได้แก่ ซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ในชั้นใต้ดินลึกเป็นระยะเวลาพัน ๆ ปี องค์ประกอบส่วนใหญ่ของปิโตรเลียมได้แก่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทต่างๆ ตั้งแต่โมเลกุลเล็กที่สุดจนถึงพวกโมเลกุลใหญ่ นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ที่มีกำมะถันออกซิเจน และไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบอีกหลายชนิด ทั้งนี้ปิโตรเลียมเป็นได้ทั้ง 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของปิโตรเลียม รวมถึงความร้อนและความดันของสภาพแวดล้อมในการเกิดและการกักเก็บปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน คือ สารประกอบซึ่งมีคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) เป็นองค์ประกอบหลักโดยทั่วไป สารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีมากมายหลายประเภทตามลักษณะของสูตรทางเคมีและโครงสร้างโมเลกุล แต่มี 3 ประเภท ที่มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับปิโตรเลียมคือ

1.1) ประเภทพาราฟิน (Parafin) เป็นอนุกรมของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวและมีโครงสร้างโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นเส้น มีสูตรทางเคมีโดยทั่วไปคือ C_nH_{2n+2} เช่น มีเทน (Methane, CH_4)

1.2) ประเภทแนฟทีน (Naphthene) เป็นอนุกรมของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว และมีโครงสร้างโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นวง มีสูตรทางเคมีทั่วไป คือ C_nH_{2n} เช่น ไซโคลเพนเทนส์ (Cyclopentanes, C_5H_{10})

1.3) ประเภทอโรมาติก (Aromatic) มีโครงสร้างโมเลกุลเชื่อมต่อเป็นวง ไม่อิ่มตัว หรือไม่มีเสถียรภาพ มีสูตรทางเคมีทั่วไปคือ C_nH_{2n-6} เช่น เบนซีน (Benzene, C_6H_6)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่สำคัญอีกประเภทหนึ่ง คือ โอลิฟิน (Olefins or Alkenes) ซึ่งไม่เคยมีอยู่ในน้ำมันดิบเลย แต่จะเกิดขึ้นในกระบวนการแตกตัว (Cracking) ต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการกลั่นสารประกอบในน้ำมันดิบจะมีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน แต่มันจะพบว่าสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดิบแต่ละแหล่งไม่เหมือนกัน ทั้งนี้เพราะสมบัติทางกายภาพ เช่น ความถ่วงจำเพาะ จุดเดือด และจุดหลอมเหลว ขึ้นอยู่กับความยาวหรือขนาดของโมเลกุลของสาร โดยทั่วไปแล้วโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จะมีความหนาแน่นมาก จุดเดือด และจุดหลอมเหลวสูง ดังนั้นน้ำมันที่หนักและหนืดจะมีสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่กว่าอยู่มากเมื่อเทียบกับน้ำมันที่เบาและมีความหนืดน้อยกว่าโดยปกติ น้ำมันดิบจะต้องถูกกลั่นหรือถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นผลผลิตปิโตรเลียมหลากหลาย เพื่อวัตถุประสงค์ของการใช้งาน โดยผลผลิตปิโตรเลียมสามารถถูกแบ่งออกได้ 2 ประเภทหลัก ดังนี้

ประเภทที่ 1 น้ำมันเชื้อเพลิง ได้แก่ พวคน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล ก๊าซ เป็นต้น

ประเภทที่ 2 สารปิโตรเคมี ได้แก่ ตัวทำละลาย ตัวทำพลาสติก ทินเนอร์ เป็นต้น
น้ำมันดิบที่สูบขึ้นมาเมื่อผ่านกระบวนการกลั่นแล้ว จะได้เป็นผลผลิตปิโตรเลียม (petroleum product) ที่หลากหลาย ซึ่งผลผลิตปิโตรเลียมที่ได้จากการกลั่นที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะได้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล เป็นต้น

2) ผลิตรภัณฑ์จากปิโตรเลียม เป็นผลิตรภัณฑ์ที่มีหลากหลายมาก สถาบันปิโตรเลียมของสหรัฐอเมริกาได้ทำการสำรวจและพบว่ามีกว่า 2,000 ชนิดที่ผลิตขึ้นโดยมีข้อกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ กัน ซึ่งสามารถแบ่งผลิตรภัณฑ์เหล่านี้ออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 4 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 ผลิตรภัณฑ์เชื้อเพลิง

ประเภทที่ 2 น้ำมันหล่อลื่นและจาระบี

ประเภทที่ 3 ยางมะตอยและซีเมนต์

ประเภทที่ 4 ผลิตรภัณฑ์อื่น ๆ เช่น ตัวทำละลาย และสารเคมีต่าง ๆ

ผลิตรภัณฑ์เชื้อเพลิงจัดเป็นผลิตรภัณฑ์ที่มีปริมาณมากที่สุด กล่าวคือประมาณร้อยละ 85 ของน้ำมันที่ผลิตได้ ถูกนำมาทำผลิตรภัณฑ์เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ความร้อนสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและบ้านเรือน และนำมาเผาไหม้ให้เกิดพลังงานขับเคลื่อนเครื่องยนต์ กรมธุรกิจพลังงานได้ออกประกาศกำหนดลักษณะและคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อใช้บังคับทั่วราชอาณาจักร รวม 12 ฉบับ คือ 1) ก๊าซปิโตรเลียมเหลว 2) เอทานอลแปลงสภาพ 3) น้ำมันเบนซินพื้นฐาน 4) น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 5) น้ำมันเบนซิน 6) น้ำมันดีเซล 7) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน 8) ไบโอดีเซลชุมชน 9) น้ำมันก๊าด 10) น้ำมันเตา 11) น้ำมันหล่อลื่น และ 12) ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ ซึ่งเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ที่มีจำหน่ายในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันเบนซินหรือแก๊สโซลีน น้ำมันแก๊สโซฮอล์ และน้ำมันดีเซล

2.1) น้ำมันเบนซินหรือแก๊สโซลีน เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ระเหยได้ง่าย ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่น โดยเอาส่วนกลั่นที่เบาซึ่งมีช่วงจุดเดือดประมาณ 30 - 200 องศาเซลเซียสเอามาผสมกันและปรุงแต่งด้วยสารเพิ่มคุณภาพต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น แนฟธา (Naphtha), Isomerate, Reformate และสารเติมแต่ง (Additives) เช่น MTBE (Methyl tertiary butyl ether) เอทานอล เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เบนซินชนิดสันดาปภายในโดยมีหัวเทียนเป็นเครื่องจุดระเบิด (Spark Ignition-internal combustion engine) ความสามารถในการระเหยน้ำมันต้องพอเหมาะกับการเผาไหม้ในกระบอกสูบและต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอเนื่องเครื่องยนต์แต่ละชนิดมีความต้องการออกเทนสูงไม่เท่ากัน ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพน้ำมัน เบนซิน พ.ศ.2553 ได้กำหนดชนิดของน้ำมัน เบนซินออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. น้ำมันเบนซินออกเทน 91 ใช้กับน้ำมันเครื่องยนต์เบนซินที่มีอัตราส่วนกำลังอัดต่ำกว่า

8: 1 ซึ่งได้แก่รถยนต์นั่งขนาดเล็ก รถมอเตอร์ไซค์ เครื่องยนต์ขนาดเล็ก เช่น เครื่องปั่นไฟรดตัดหญ้า
เอกสารถือหรือเครื่องยนต์ปั้มน้ำขนาดเล็กหรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด 2. น้ำมันเบนซินออกเทน 95 เหมาะสมกับเครื่องยนต์เบนซินที่มีอัตราส่วนกำลังอัดสูงกว่าไปใช้

8: 1 ขึ้นไป ซึ่งได้แก่ รถยนต์นั่งทั่วไป รถบรรทุกขนาดเล็ก (เครื่องยนต์เบนซิน)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำมันเบนซิน เมื่อได้รับความร้อนจะสามารถลุกติดไฟได้ ถ้าทำให้น้ำมันระเหยเป็นไอแล้วผสมกับอากาศที่ถูกอัดในกระบอกสูบและจุดด้วยประกายไฟ จะทำให้เกิดการระเบิดได้ เนื่องจากไอโซเมอร์ต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำมัน มีคุณสมบัติต่างกันจึงทำให้ไอโซเมอร์เหล่านั้น ติดไฟไม่พร้อมกัน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นโซ่ตรงจะติดไฟได้ง่ายกว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโซ่กิ่งเล็กน้อย

2.2) น้ำมันแก๊สโซฮอล์ เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์สำหรับใช้ทดแทนน้ำมันเบนซิน มีส่วนผสมระหว่างน้ำมันเบนซินพื้นฐานผสมกับเอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ในอัตราส่วนต่าง ๆ คือ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ อี 10 ออกเทน 91 หรือน้ำมันแก๊สโซฮอล์ อี 10 ออกเทน 95 จะประกอบด้วย น้ำมันเบนซินพื้นฐาน 90 ส่วน กับเอทานอล 10 ส่วน ถ้าเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ อี 20 จะประกอบด้วยน้ำมันเบนซินพื้นฐาน 15 ส่วน กับเอทานอล 85 ส่วน

2.3) น้ำมันดีเซล เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันดิบเช่นเดียวกับน้ำมันเบนซิน ซึ่งเป็นน้ำมันที่เรียกว่า น้ำมันใส หรือ มีช่วงจุดเดือดประมาณ 180 - 370 องศาเซลเซียส น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งเป็นเครื่องแรงอัดสูงและจุดระเบิดเอง ซึ่งการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นจากความร้อนจากแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบโดยไม่ต้องใช้หัวเทียน ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพน้ำมันดีเซล พ.ศ.2553 ได้กำหนดชนิดของน้ำมันดีเซลเป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว สำหรับใช้กับยานยนต์ เช่น รถยนต์ รถบรรทุก เรือประมง เรือโดยสาร รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรกลหนัก ทุกชนิดที่มีรอบหมุนเร็วเกิน 1,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ประเภทนี้จำเป็นต้องใช้น้ำมันที่มีค่าซีเทนสูง มิฉะนั้น เครื่องยนต์จะเดินไม่สะดวก น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทนี้ เรียกว่า น้ำมัน ดีเซลหมุนเร็ว แต่ในตลาดเป็นที่รู้จักกันในชื่อของ น้ำมันโซล่า ในปัจจุบัน มีการจำหน่ายน้ำมัน ดีเซลหมุนเร็ว 2 ชนิด คือ น้ำมันดีเซลหมุนเร็วธรรมดา บี 2 (มีไบโอดีเซล B100 ผสมอยู่ร้อยละ 2 โดยปริมาตร) และ น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว บี 5 (มีไบโอดีเซล B100 ผสมอยู่ร้อยละ 5 โดยปริมาตร)

ประเภทที่ 2 น้ำมันดีเซลหมุนช้า ใช้สำหรับเครื่องยนต์ เช่น เครื่องยนต์ดีเซลขับเคลื่อนกำลัง ที่ติดตั้งอยู่กับ ที่ตามโรงงานต่าง ๆ ซึ่งมีรอบการทำงานต่ำ ประมาณ 500 - 1,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ประเภทนี้ไม่ต้องการน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงมากนัก และการระเหยอาจช้ากว่าได้ ซึ่งในตลาดเป็นที่รู้จักว่า น้ำมันซีไล้ (สิริอร, 2554)

2.4) คุณสมบัติของน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมันในกรุงเทพมหานคร

รายชื่อสถานีบริการน้ำมัน	พารามิเตอร์			
	พีเอช	ค่าซีไอดี (มก./ล.)	ปริมาณสารแขวนลอย (มก./ล.)	ปริมาณน้ำมันและไขมัน (มก./ล.)
ปตท. (PTT)	7.4	251.2	187.6	44.4
เชลล์ (Shell)	7.3	139.4	225.8	54.1
เอสโซ่ (Esso)	6.9	301.6	218.0	31.6
พีที (PT)	6.8	86.0	30.0	36.0
ซัสโก้ (Susco)	7.7	252.0	370.0	119.0
คาลเท็กซ์ (Caltex)	7.4	228.8	181.4	30.8

ที่มา : การนำน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมันกลับมาใช้ประโยชน์โดยการบำบัดด้วย O_3/H_2O_2 (สุโขทัย และคณะ, 2542)

2.1.2 ผลกระทบของน้ำมัน

1) ผลกระทบทางกายภาพ

2.1.1) ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต เมื่อมีการรั่วไหลของน้ำมัน พื้นที่บริเวณนั้นจะถูกปกคลุมไปด้วยน้ำในโดยน้ำมันจะแผ่ออกเป็นบริเวณกว้างตามผิวหน้าน้ำ ทำให้แสงที่ส่องผ่านลงไปใต้น้ำมีปริมาณลดลงซึ่งส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงต่อพืชใต้น้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำลดลง ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในบริเวณนั้น เป็นเหตุให้สัตว์น้ำขาดออกซิเจนโดยเฉพาะพวกแพลงก์ตอนและสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่จำเป็นต่อระบบห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ เหล่านี้เป็นอาหารของสัตว์อื่นในห่วงโซ่อาหารที่สูงกว่า เช่น ปลา ซึ่งจะส่งผลให้จำนวนปลาลดจำนวนลงและกระทบต่อเนื่องกันไปในระบบห่วงโซ่อาหาร นอกจากนี้เมื่อสิ่งมีชีวิตดูดซึมหรือสัมผัสกับพิษของน้ำมันจะก่อให้เกิดความผิดปกติขึ้นกับเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งส่งผลต่อระบบเผาผลาญอาหาร การสืบพันธุ์ การเจริญเติบโตลดลง และพฤติกรรมการกินอาหารเปลี่ยนแปลง

นอกจากนี้คราบของน้ำมันที่เหลือภายหลังจากการระเหยไปแล้ว จะถูกพัดเข้าสู่ชายฝั่ง เช่น ก้อนน้ำในดินจะตกอยู่ตามที่แตกต่างกัน บางส่วนอาจซึมในดินทราย ซึ่งอาจเกิดเป็นทัศนียภาพที่ไม่น่าดู

2) ผลกระทบทางเคมี

2.1) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงเป็นแก๊สที่หนักเบากว่าอากาศ ทำให้สามารถลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศและทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน

2.2) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เป็นแก๊สที่อันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ โดยสามารถจับตัวกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดได้ดีทำให้เม็ดเลือดไม่สามารถรับออกซิเจนได้ ร่างกายจึงรับออกซิเจนไม่เพียงพอจะเกิดอาการเวียนศีรษะ อาเจียน การสูดดมเข้าไปในปริมาณมากและติดต่อกันเป็นเวลานานอาจทำให้หมดสติและเสียชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3) สารตะกั่ว (Pb) เกิดจากสารบางชนิดที่เติมลงไปหรือน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มคุณภาพให้กับน้ำมัน เมื่อถูกเผาไหม้จึงระเหยปนมากับสารอื่น ๆ สารตะกั่วเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อสมอง ไต ระบบประสาท โลหิต และระบบสืบพันธุ์ ในปัจจุบันจึงมีการห้ามไม่ให้ผสมสารที่มีตะกั่วเจือปนลงในน้ำมัน

2.4) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เกิดจากการเผาไหม้ของสารที่มีซัลเฟอร์ผสมอยู่ มีผลต่อกระทบต่อระบบหายใจ เมื่อรวมตัวกับละอองน้ำในอากาศ จะเกิดเป็นฝนกรด ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และทำให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ได้ สำหรับผลกระทบต่อร่างกาย แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำลายเนื้อเยื่อในจมูก ตา และปอด นอกจากนี้ยังทำลายคลอโรฟิลล์ในพืชด้วย

2.5) แก๊สไฮโดรคาร์บอน เกิดจากการเผาไหม้สารไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำมันเป็นแก๊สมีเทน โอของเฮปเทน และน้ำมันเบนซิน มีผลต่อเยื่อดวงตาและก่อให้เกิดการระคายเคืองใน ระบบ หายใจได้

2.1.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากสถานบริการน้ำมัน

ตารางที่ 2.2 แสดงมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากสถานบริการน้ำมันในประเทศไทย

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	หน่วย
ความเป็นกรดต่าง	5.5 - 9	-
ซีไอดี	ไม่เกิน 200	มก./ล.
สารแขวนลอย	ไม่เกิน 60	มก./ล.
น้ำในและไขมัน	ไม่เกิน 15	มก./ล.

ที่มา : ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

2.1.4 วิธีการกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้ง

1) การรวมตะกอน (Coagulation) เป็นการเติมสารเคมีที่มีประจุบวกเพื่อนำมาทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของอนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุลบ เพื่อลดแรงผลักระหว่างอนุภาคทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เข้าหากันได้ สารเคมีที่เติม เช่น การเติมเพอริกคลอไรด์ FeCl₃ และสารส้ม (Alum) เป็นต้น

2) การดูดซับ (Adsorption) เป็นการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวถูกดูดซับเดิม เมื่อตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากัน คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมและกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมขึ้นใหม่โดยมีพันธะเคมีที่แข็งแรง แรงที่ใช้ดูดซับเป็นพันธะโคเวเลนต์ มักเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตของสารที่ถูกดูดซับ มีพลังงานกระตุ้น (Activation energy) เกี่ยวข้องกับความร้อนของการดูดซับ นอกจากนั้นอัตราการดูดซับยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่สัมผัสกับตัวดูดซับอีกด้วย (วรวิทย์, 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

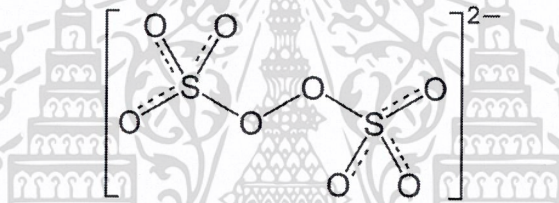
3) การย่อยสลายโดยธรรมชาติ (Biodegradation) เป็นการย่อยสลายโดยธรรมชาติ (Biodegradation) โดยจุลินทรีย์จะทำการพัฒนาและปรับตัว สำหรับการย่อยสลายสารเคมี ซึ่งต้องใช้เวลา นานกว่าจะสามารถย่อยสลายน้ำมันจนหมด

4) การเร่งโดยธรรมชาติ (Bioremediation) เป็นการเพิ่มธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน หรือ ฟอสฟอรัส เพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตและย่อยสลายน้ำมัน ถือเป็นวิธีที่ใช้เวลาน้อยกว่าการย่อยสลายโดยธรรมชาติ

2.2 การใช้เปอร์ซัลเฟตบำบัดน้ำเสีย

2.2.1 คุณสมบัติของเปอร์ซัลเฟต (ชนิดต์, 2558)

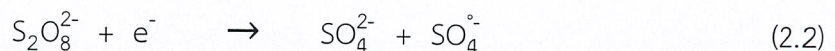
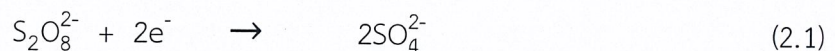
เปอร์ซัลเฟตหรือเปอร์ออกไซด์ซัลเฟต (Persulfate or Peroxydisulfate) มี สูตรโมเลกุล: $S_2O_8^{2-}$ ปริมาณเชิงโมล 192.112 กรัม/โมล



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเปอร์ซัลเฟต

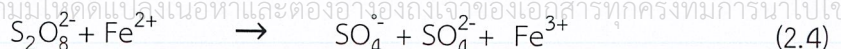
2.2.2 หลักการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟต

Persulfate radical ($SO_4^{\cdot-}$) ($E^\circ = +2.60$ V) ที่เกิดจากการกระตุ้นของ Persulfate anion ($S_2O_8^{2-}$) ด้วยปัจจัยภายนอก (Activator) โดยตัว $S_2O_8^{2-}$ เดิมนั้นมีความสามารถในการบำบัดสูงอยู่แล้ว ($E^\circ = +2.10$ V) ดังสมการที่ (2.1) แต่หากมีการกระตุ้น Persulfate โดยใช้ Activator ให้เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเพียงหนึ่งตัว Persulfate จะเปลี่ยนเป็น Persulfate radical ($SO_4^{\cdot-}$) ดังสมการที่ (2.2) ตัวอย่างการใช้ Activator ได้แก่ การใช้ความร้อน การใช้โลหะทรานซิชัน หรือการใช้ Zero valent iron Fe^0 หรือ Fe^{2+} หรือ คิวคูปัน ดังสมการที่ (2.3) – (2.4)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ Fe⁰ + 1/2 O₂ + H₂O → 2Fe²⁺ + 4OH⁻ ไม่ขอให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.3) ราคา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หลักการสำคัญในการฟื้นฟูน้ำเสียคือการตกตะกอนทางเคมี In situ chemical oxidation (ISCO) สามารถทำปฏิกิริยากับตัวเร่งที่แตกต่างกันที่ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กันมากที่สุดสำหรับ ISCO คือ เปอร์แมงกานेट (MnO_4^-), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และเหล็ก (Fe) (โดยใช้ปฏิกิริยาเฟนตันเป็นตัวขับเคลื่อน, หรือออกซิเดชันที่ได้จากเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เปอร์ซัลเฟต ($S_2O_8^{2-}$) และโอโซน (O_3) เปอร์ซัลเฟตเป็นสารต้านอนุมูลอิสระชนิดใหม่ที่ใช้ใน ISCO เพื่อการฟื้นฟูดินและน้ำได้รับความนิยมน้อยกว่าถึงแม้ว่าการเกิดออกซิเดชันจากซัลเฟตจะมีผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจ ก็มีการตรวจสอบจากผู้วิจัยว่า เปอร์ซัลเฟตไอออน ($S_2O_8^{2-}$) เป็นสารออกซิแดนท์ที่มีศักยภาพสูงในการออกซิเดชัน และเมื่อถูกกระตุ้นสามารถสร้างอนุมูลอิสระซัลเฟต ซึ่งเป็นสารออกซิแดนท์ที่แข็งแกร่งยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงมีความสามารถในการย่อยสลายสารมลพิษหลายชนิดถึงแม้จะมีความเป็นพิษสูงหลังจากทำปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากอนุมูลอิสระซัลเฟต จะถูกกำจัดออกได้ง่าย (Reisner, 2016)

2.3 กระบวนการโซนิเคชัน (Sonication)

กระบวนการโซนิเคชัน (Sonication) เป็นเทคนิคการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงในการทำให้เกิดการสั่นสะเทือนจนกระทบกระเทือนต่ออะไรรู้จักตามที่เราต้องการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเพื่อให้เกิดการแตกหักเสียหาย ในทางชีววิทยานิยมเอามาใช้ทำให้เซลล์แตก เพื่อศึกษาภายในเซลล์ โดยหลักการนั้นมาจากการโพรงอากาศในตัวทำละลายถูกกระตุ้นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก และจะเกิดการสั่นอย่างรุนแรง มักใช้คลื่นความถี่สูง (> 20 kHz) ซึ่งนำไปสู่กระบวนการที่เรียกว่า Ultrasonication คลื่นอัลตราโซนิกยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย การย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยการใช้คลื่นเสียงเพื่อทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะเคมีการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงหรือปฏิกิริยาการวางตัวเป็นกลาง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำห้องค์ประกอบสารอินทรีย์ในตะกอนหลุดออกได้ และกระบวนการการย่อยสลายตะกอนที่เพิ่มขึ้นช่วยลดความเสี่ยงที่มีต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นวิธีที่ง่ายมีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับที่จะนำไปใช้กับตะกอน (Xing และคณะ, 2018)

2.4 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) (เบญจมาภรณ์, 2556)

การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (COD) เป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมอย่างแพร่หลาย โดยค่าซีโอดีจะแสดงให้เห็นถึงปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเพื่อให้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ

2.4.1 การวิเคราะห์ซีโอดี

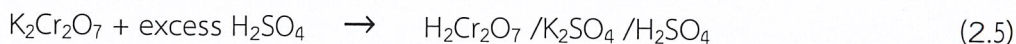
สิ่งสำคัญในการวิเคราะห์ซีโอดี คือปฏิกิริยาออกซิเดชันต้องถูกออกซิไดซ์โดยอาศัยตัวออกซิไดซิงเอเจนต์อย่างแรง (Strong oxidizing agents) เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต, เพอร์ริกซัลเฟต, ด่างทับทิม และโพแทสเซียมไอโอเดต เป็นต้น ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเข้มข้นและมีอุณหภูมิสูง ซึ่งสารเหล่านี้จัดเป็นสารเคมีที่ให้ออกซิเจนได้เหมาะสมที่สุดเนื่องจากสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้เกือบทุกชนิดให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยในการวิเคราะห์หาซีโอดีด้วยสารเคมีดังกล่าวควรเติมสารเคมีให้มากกว่าความต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์และการวัดปริมาณสารเคมีที่เหลือจะทำให้ทราบปริมาณสารเคมีที่ใช้ในปฏิกิริยาออกซิเดชัน ผลปรากฏว่าการวัดโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือสามารถกระทำได้ค่อนข้างง่ายกว่าการวัดสารเคมีตัวอื่น การหาค่าซีโอดีโดยใช้โพแทสเซียมไดโครเมตจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเพราะให้ผลที่น่าเชื่อถือและแน่นอน จึงนับเป็นข้อดีประการหนึ่งของโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหนือกว่าสารเคมีตัวอื่น การวิเคราะห์ซีโอดีด้วยโพแทสเซียมไดโครเมตต้องกระทำภายใต้สภาวะที่มีความเป็นกรดเข้มข้นและอุณหภูมิสูง สารอินทรีย์จึงมีโอกาสกลายเป็นไอระเหยออกไปได้ เพื่อป้องกันการระเหยกลายเป็นไอของสารอินทรีย์ควรใช้ Reflux condenser ซึ่งสามารถดักไอระเหยของสารอินทรีย์และทำให้กลั่นตัวเป็นของเหลวใหม่ เรียกวิธีที่ใช้คอนเดนเซอร์นี้ว่า Open reflux หรืออีกวิธีคือการต้มสารละลายทั้งหมดในหลอดแก้ว (Test tube) ที่ปิดฝาอย่างแน่นหนาเรียกว่าวิธี Closed reflux ในการวิเคราะห์หาซีโอดีจำเป็นต้องใช้ Ag_2SO_4 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างโพแทสเซียมไดโครเมตกับสารอินทรีย์บางชนิด มิฉะนั้นแล้วค่าซีโอดีที่ได้จะต่ำกว่าความเป็นจริง ตัวอย่างของสารอินทรีย์เช่นนี้คือ กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นต้น อีกทั้งยังมีสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถออกซิไดซ์ได้ไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะใด ๆ ก็ตามเช่น Pyridine และ Aromatic hydrocarbon ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีไนโตรเจนอยู่ในวงแหวนเบนซีนด้วย

2.4.2 หลักการวิเคราะห์หาซีโอดีด้วยวิธีไดโครเมต (ไพทูร์ย์, 2553)

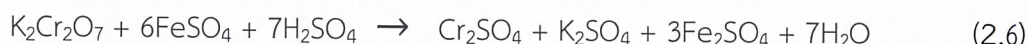
วิธีการวิเคราะห์หาซีโอดีโดยใช้ไดโครเมตเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์มี 3 วิธีดังนี้

1. วิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open reflux method)
2. วิธีรีฟลักซ์แบบปิด/การติเตรด (Closed reflux, Titrimetric method)
3. วิธีรีฟลักซ์แบบปิด/เปรียบเทียบสี (Closed reflux, Colorimetric method)

วิธีที่ 1 เหมาะสำหรับการวิเคราะห์หาซีโอดีในตัวอย่างน้ำเสียหลากหลายชนิดโดยใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำในการวิเคราะห์จำนวนมาก และใช้สารประกอบโลหะต่าง ๆ ในปฏิกิริยาจำนวนมากตามไปด้วย เช่น สารประกอบโลหะที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) คือ ซิลเวอร์ซัลเฟต เพื่อลดความผิดพลาดในการสุ่มและการปิเปตตัวอย่าง ส่วนวิธีที่ 2 และ 3 เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ค่อนข้างประหยัดการใช้สารประกอบโลหะต่าง ๆ ในปฏิกิริยาแต่จะมีความผิดพลาดในการปิเปตตัวอย่างหากตัวอย่างไม่ผสมกันดีเพียงพอเนื่องจากใช้ปริมาณตัวอย่างในการวิเคราะห์น้อยมาก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2560) แต่ก็เหมาะกับตัวอย่างน้ำที่มีสารแขวนลอยที่รวมกันเป็นเนื้อเดียว หลักการทั่วไปและปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง คือเมื่อผสมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตกับกรดซัลฟูริกจะได้สารละลายผสมระหว่างกรดโครมิกและกรดกำมะถันซึ่งสารละลายผสมนี้มีความสามารถในการออกซิไดซ์อย่างแรงในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง



เมื่อเติมสารละลายผสมกรดโครมิกและกรดซัลฟูริกนี้ลงในตัวอย่างที่มีสารประกอบอินทรีย์อยู่จะเกิดการออกซิไดซ์ทำให้ของผสมนี้ร้อน เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะมีสารประกอบโพแทสเซียมไดโครเมตเหลืออยู่ในปฏิกิริยาซึ่งปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลืออยู่นี้จะสามารถหาได้โดยการติเตรตกับสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate, FAS) โดยใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ ดังปฏิกิริยาในสมการ

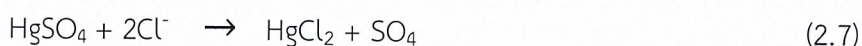


$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับ Fe^{2+} (FAS) ไดโครมิก (H_2CrO_4) จนหมดแล้ว Fe^{2+} จึงทำปฏิกิริยากับเฟอโรอินได้สารประกอบสีน้ำตาลแดงซึ่งเป็นจุดยุติของการไทเทรต

2.4.3 สารอนินทรีย์ที่เป็นตัวรบกวนการวิเคราะห์ซีโอดี

เนื่องจากการวิเคราะห์ซีโอดีมีการใช้ออกซิไดซ์เอเจนต์อย่างแรง ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นจึงทำปฏิกิริยากับรีดิวซิงเอเจนต์ทุกตัวที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำ ปัญหาจึงเกิดขึ้นกับตัวอย่างน้ำที่มีรีดิวซิงเอเจนต์อย่างอื่นนอกเหนือจากสารอนินทรีย์เพราะจะทำให้ค่าซีโอดีที่วัดได้สูงกว่าค่าความเป็นจริง ดังนั้นค่าซีโอดีที่ถูกต้องย่อมหมายถึงค่าซีโอดีที่เกิดจากสารอนินทรีย์เท่านั้น ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำมีสารประกอบอนินทรีย์ที่มีความสามารถในการรีดิวซ์จะรบกวนปฏิกิริยา เช่น ซัลไฟด์ (S^{2-}), เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}), ไนไตรท์ (NO_2^-) และฮาโลเจน (F^- , Br^- , Cl^-) เป็นต้น ค่าซีโอดีที่วิเคราะห์ได้จะมีซีโอดีที่เกิดจากสารอนินทรีย์ที่เป็นรีดิวซิงเอเจนต์รวมอยู่ด้วย ทำให้ค่าซีโอดีที่วัดได้สูงกว่าค่าที่ถูกต้อง ซีโอดีที่เกิดจากสารอนินทรีย์ที่เป็นรีดิวซิงเอเจนต์จะน้อยหรือมากขึ้นอยู่กับปริมาณของรีดิวซิงเอเจนต์ที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำ คลอไรด์เป็นรีดิวซิงเอเจนต์ที่พบในปริมาณสูงกว่าตัวอื่น จึงเป็นไอออนที่สมควรนำมาพิจารณาเป็นพิเศษ การวิเคราะห์ซีโอดีของน้ำเค็มหรือน้ำกร่อยจึงสามารถผิดพลาดได้ง่ายถ้าไม่ให้ความสนใจถึงผลกระทบที่เกิดจากคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำ

การวิเคราะห์ซีโอดีในตัวอย่างน้ำที่มีเฮไลต์ไอออนนี้จะสามารถแก้ไขได้โดยการเติมสารประกอบโลหะที่ใช้ในการป้องกันกรรบกวนจากสารประกอบเฮไลต์ คือ เมอร์คิวริกซัลเฟต (HgSO_4) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



กรณีตัวอย่างน้ำมีไนไตรท์สามารถลดการรบกวนการวิเคราะห์ได้โดยการเติมกรดซัลฟามิก (Sulfamic acid) อย่างไรก็ตามมักพบไนไตรท์น้อยมากในตัวอย่างน้ำส่วนใหญ่ทั้งในน้ำเสียและในน้ำธรรมชาติ ดังนั้นจึงถือว่ามีปริมาณน้อยไม่รบกวนต่อการวิเคราะห์สามารถตัดทิ้งได้ไม่ต้องนำมาพิจารณา (ธนิตกานต์ และคณะ, 2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การใช้ประโยชน์จากข้อมูลซีโอดี

เนื่องจากสมการการเกิดปฏิกิริยาของซีโอดีคล้ายกับซีโอดี คีอสารอินทรีย์ในน้ำถูกออกซิไดซ์จนได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ดังนั้นประโยชน์ของซีโอดีจึงเหมือนกับซีโอดีแต่ต่างกันตรงที่การวิเคราะห์ซีโอดีนั้นใช้จุลชีพในการย่อยสลายส่วนซีโอดีใช้ตัวเติมออกซิเจน (Oxidizer) และใช้เวลาน้อยกว่า ซึ่งข้อมูลซีโอดีมีประโยชน์ดังนี้

1. สามารถใช้ในการประมาณได้ว่าน้ำตัวอย่างมีแนวโน้มในการย่อยสลายทางชีวภาพได้มากหรือน้อยเพียงใด เมื่อใช้ค่าซีโอดีพิจารณาร่วมกับค่าบีโอดี
2. สามารถใช้ในการประมาณค่าบีโอดีได้อย่างคร่าวๆ ในกรณีที่รู้แหล่งกำเนิดหรือที่มาของตัวอย่างน้ำ การประมาณค่าบีโอดีจากซีโอดีจะทำได้แม่นยำมากขึ้น
3. สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณและออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย
4. สามารถใช้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนัดถ์ (2557) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเทีย่น Slow-release persulfate (PS) ในการบำบัดสารอินทรีย์ที่มีการปนเปื้อนในระยะยาว คุณลักษณะของเทีย่น Slow release persulfate คืออัตราส่วน (1: 3 wt/wt, ซึ่ผึ้ง: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) โดยมีการใช้ร่วมและไม่ใช้ร่วมกับ (Zero-Valent Iron (ZVI) ในอัตราส่วน (1: 4.7 wt/wt, ซึ่ผึ้ง: Fe^0) จากผลการทดลองได้สนับสนุนว่าการใช้เทีย่น Slow-release เปอร์ซัลเฟตร่วมกับ ZVI สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อนในระยะยาวได้

ธนิตกานต์ (2552) ได้ทำการศึกษาการบำบัด COD ของน้ำเสียสังเคราะห์สถานบริการน้ำมัน โดยวิธีการออกซิเดชันแบบเฟ้นต้น น้ำเสียสังเคราะห์มีค่า COD เริ่มต้น 6,000 – 6,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปัจจัยที่ศึกษาคือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของ H_2O_2 : COD สัดส่วนโดยโมลของ H_2O_2 : Fe^{2+} ค่าพีเอชเริ่มต้น และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่า เมื่อสัดส่วนโดยน้ำหนักของ H_2O_2 : COD เพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพในการบำบัด COD เพิ่มขึ้นด้วย สัดส่วนโดยน้ำหนักของ H_2O_2 : COD ที่เหมาะสมคือ 1.0 เมื่อเพิ่มสัดส่วนโดยโมลของ H_2O_2 : Fe^{2+} ค่าประสิทธิภาพในการบำบัด COD เพิ่มขึ้นเช่นกัน สัดส่วนโดยโมลของ H_2O_2 : Fe^{2+} ที่เหมาะสมคือ 5.0 ค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมคือ 4 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 10 นาที เมื่อใช้ในสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด ค่า COD ของน้ำเสีย ลดลงถึง 96.89 %

สิริอร (2554) ได้ทำการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเสี่ยงจากการรั่วไหลของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงและการดำเนินงานในปัจจุบันเพื่อจัดการพื้นที่ปนเปื้อน ทบทวนหลักเกณฑ์และแนวทางในการดำเนินการตรวจสอบและประเมินพื้นที่ปนเปื้อน และหาแนวทางการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนและเทคนิควิธีที่เหมาะสมที่ใช้ในการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนของสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทย ซึ่งผลการศึกษาพบว่า สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน คือ การรั่วไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงจากถังกักเก็บน้ำมันใต้ดิน (Underground storage tank) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพระบบนิเวศ และสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การจัดการพื้นที่ปนเปื้อนยังถูกกำหนดเป็นเพียงแนวทางการจัดการ ไม่ได้มีข้อบังคับทางกฎหมายและบทลงโทษให้ต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด

สุกัญญา (2558) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณความเข้มข้นของซีโอคืออยู่ประมาณ 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ เพื่อนำไปหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดซีโอดีและสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ ปัจจัยต่าง ๆ ที่ศึกษาในกระบวนการเฟ้นต้น ได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน 0.00-0.05 โมล อัตราส่วนโดยโมลของเฟอร์รัสไอออน: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1: 0-1: 5 ค่าพีเอช 2-6 และไม่ทำการปรับพีเอช และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 0-50

นาที่ ระยะเวลาในการให้คลื่นความถี่เหนือเสียงต่อการเกิดปฏิกิริยา 0-40 นาที่ และการทดลองทั้งหมดทำซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณความเข้มข้นของเพอร์สไอออน 0.03 โมล อัตราส่วนโดยโมลของเพอร์สไอออน: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1: 2 ค่าพีเอช 3 ทำให้มีความสามารถในการบำบัดซีโอดีและสีเหมาะสมที่สุดโดยให้ประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และ 97 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Du และคณะ (2018) ได้ศึกษาผลของสนามแม่เหล็กที่ไม่อ่อนแรง (WMF) ต่ออัตราการสลายตัวของซัลฟามेतอกซาโซล (SMX) โดย H_2O_2 และเปอร์ซัลเฟต (PS) ควบคู่กับตัวอย่างเหล็ก Zero-valent (Fe^0) ที่แตกต่างกัน ค่า kobs (ค่าคงที่สมมูล) ของการย่อยสลาย SMX โดย Fe^0/H_2O_2 หรือ Fe^0/PS ถูกเร่งโดยการฉายรังสี WMF ในขณะเดียวกันอัตราการปลดปล่อยของเหล็กที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อมี WMF ซึ่งบ่งชี้ว่าการฉายรังสี WMF สามารถส่งเสริมการกัดกร่อน ในระบบ Fe^0/H_2O_2 และ Fe^0/PS ผลของการศึกษา WMF ต่อจลนพลศาสตร์การย่อยสลายของ SMX โดย Fe^0/H_2O_2 หรือ Fe^0/PS ในช่วง pH เริ่มต้นของระบบ (pH) 3.0–7.0 แม้ว่า WMF จะเร่งการกำจัด SMX โดย Fe^0/H_2O_2 ที่ pH 3.0 และ 4.0 แต่ ที่ pH ที่สูงขึ้นไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงขึ้น ในระบบ Fe^0/PS WMF สามารถส่งเสริมการกำจัด SMX ในช่วง pH ที่ระหว่าง 3.0–7.0 และ kobs ของการกำจัด SMX ขึ้นอยู่กับรูปแบบของ SMX ในน้ำซึ่งบอกว่า SO_4^{2-} สามารถย่อยสลายหรือแยก SMX ที่แยกออกมา ในขณะเดียวกันการตรวจจับของ ROS ได้พิสูจน์ว่า WMF ไม่ได้เปลี่ยนแปลงของ ROS ในระบบ Fe^0/H_2O_2 หรือ Fe^0/PS การย่อยสลาย SMX ได้ดีที่สุด

Yeong และคณะ (2016) ได้ศึกษาการใช้สารซัลเฟตเป็นสารออกซิแดนท์แทนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการสกัดไขมันจากมวลชีวภาพของสาหร่ายขนาดเล็ก เซลล์ Microalgae ที่ pH 3 และมี Ferric chloride 200 mg/L เงื่อนไขที่สามารถกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ คือ ความเข้มข้นของ Persulfate 2 mM และอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 90 °C มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงกว่า 95% ซึ่งสูงกว่าเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5% ที่อุณหภูมิเดียวกัน ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าซัลเฟตมีประสิทธิภาพเพียงพอและราคาถูกลงที่จะทดแทนอนุมูลอิสระที่มีศักยภาพ แต่มีราคาแพง และดูเหมือนว่าการรวมการแข็งตัวของธาตุเหล็กและการสกัดไขมันโดยใช้ซัลเฟตเป็นวิธีการแข่งขันที่สามารถแบ่งเบาภาระกระบวนการสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่าย

Yuan และคณะ (2018) ได้ศึกษาการกำจัดคาบน้ำมันรั่วไหลจากแหล่งอุตสาหกรรมปิโตรเลียม งานวิจัยนี้นำเสนอกระบวนการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของซัลเฟต โดยใช้เปอร์ซัลเฟตภายใต้การกระตุ้นด้วยความร้อนและ Fe^+ ส่งผลทำให้เปอร์ซัลเฟตสลายตัวเป็นอนุมูลซัลเฟต และอนุมูลไฮดรอกซิล ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน ผลของกระบวนการออกซิเดชันอากาศแบบเปียก และกระบวนการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเปอร์ซัลเฟตแบบ

เปี้ยก ต่อการย่อยสลายเมื่อเทียบกับขยะมัน ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเปอร์ซัลเฟตแบบเปี้ยก ปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดปริมาณของน้ำมันลดลงจาก 92.63% เป็น 16.75% ซึ่งยังพบน้ำมันอยู่ในกระบวนการออกซิเดชันอากาศแบบเปี้ยกถึง 70.19% ความเสื่อมโทรมอัตราการเกิดของไฮโดรคาร์บอนในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเปอร์ซัลเฟตแบบเปี้ยก สูงกว่าในกระบวนการออกซิเดชันอากาศแบบเปี้ยกประมาณ 3.38 เท่า จากการวิเคราะห์องค์ประกอบซึ่งบ่งชี้ว่าปริมาณ C และปริมาณ H ของคราบน้ำมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์เหล่านี้บ่งชี้ว่ากระบวนการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเปอร์ซัลเฟตแบบเปี้ยกมีศักยภาพสูงในการสลายตัวของคราบน้ำมันเพื่อปกป้องสิ่งแวดล้อม

Zou และคณะ (2014) ได้ศึกษาการใช้อัลตราซาวด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเปอร์ซัลเฟตและเหล็กในการบำบัดยาปฏิชีวนะ แสดงให้เห็นว่าอัลตราซาวด์อาจนำไปสู่วิธีการที่สำคัญในการย่อยสลายของยาปฏิชีวนะ ผลการศึกษาพบว่าสามารถบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่ช่วง pH 3 - 7 การส่งเสริมประสิทธิภาพของการอัลตราซาวด์ สามารถอธิบายได้ดังนี้ การเร่งความเร็วในการเคลื่อนที่ให้เหล็กการกัดกร่อนโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเพื่อให้ปฏิกิริยาเหล็กเกิดการรวมตัว การถ่ายเทมวลบริเวณพื้นผิวเหล็กจะส่งเสริมให้ปฏิกิริยามีความรุนแรงมาก เป็นผลจากกระบวนการสังเคราะห์สารด้วยคลื่นเสียง (Sonochemical)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

- 3.1.1.1 เครื่องแก้วต่าง ๆ
- 3.1.1.2 หลอดทดลองชนิด borosilicate ขนาด 25×150 มิลลิเมตร พร้อมจุก TFE
- 3.1.1.3 ตะแกรงที่ใส่หลอดทดลอง
- 3.1.1.4 เครื่องกรองแบบลดความดันและกรวยบุชเนอร์
- 3.1.1.5 เตาให้ความร้อน (hot plate)
- 3.1.1.6 กระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร
- 3.1.1.7 นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ Canon รุ่น CT-20
- 3.1.1.8 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (Digital Balance) ยี่ห้อ Denver Instrument Company รุ่น TL-254, USA
- 3.1.1.9 เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ Metrohm รุ่น 827, Switzerland
- 3.1.1.10 เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ยี่ห้อ NDI รุ่น 136H
- 3.1.1.11 ตู้อบ ที่อุณหภูมิ 150 ± 2 องศาเซลเซียส

3.1.2 สารเคมี

- 3.1.2.1 โซเดียมเปอร์ซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) AR Grade บริษัท Carlo Erba, UK
- 3.1.2.2 เฟอรัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) AR Grade บริษัท Unilab, Austratia
- 3.1.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR Grade บริษัท Carlo Erba, UK
- 3.1.2.4 กรดซัลฟูริก (Conc. H_2SO_4) AR Grade บริษัท Fisher Chemical, UK
- 3.1.2.5 โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) AR Grade บริษัท Carlo Erba, UK
- 3.1.2.6 ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) AR Grade บริษัท Carlo Erba, UK
- 3.1.2.7 พรอทซัลเฟต (HgSO_4) AR Grade บริษัท Carlo Erba, UK
- 3.1.2.8 1,10-ฟีแนนโทลีน ($\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}$) AR Grade บริษัท Panreac, E.U.
- 3.1.2.9 แอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) AR Grade บริษัท Loba Chemie, India

3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ (ซีไอที 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร)

ผสมน้ำมันหล่อลื่นและสารละลายทีเทอร์เจนท์ (น้ำยาซักล้าง) ให้ได้ค่าซีไอทีประมาณ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของ ซีไอที (ด้วยวิธี Closed reflux, Titrimetric method) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบนี้

3.3 การดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การบำบัดซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปอร์ซัลเฟตและเฟอร์รัสไอออน

3.3.1.1 การศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนที่เหมาะสม

1. เตรียมบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 6 ใบ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากข้อ 3.2 ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละบีกเกอร์ เป็น 3 ด้วยกรดซัลฟูริก 6 โมลาร์ เพื่อสภาวะทดลอง
3. เติมเฟอร์รัสไอออนในปริมาณ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 โมล/ลิตร และเติมโซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.6 โมล/ลิตร แล้วปั่นกวนเป็นเวลา 40 นาที
4. นำน้ำเสียสังเคราะห์มาทำการปรับสภาพให้ได้พีเอชประมาณ 7.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของเหล็ก จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 60 นาทีเพื่อให้เกิดการตกตะกอนของเหล็ก
5. เมื่อเหล็กเกิดการตกตะกอนแล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศเพื่อกรองตะกอนของเหล็กออกไป
6. จากนั้นนำส่วนของสารละลายใสไปวิเคราะห์หาค่าซีโอดี
7. ทำข้อ 1-6 อีก 2 ซ้ำ
8. ทำการทดลองกับน้ำกลั่นแทนน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อเป็นแบลนด์โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นโซเดียมเปอร์ซัลเฟตเป็น 0.6 โมล/ลิตร พีเอช 3 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที แต่ไม่ทำการเติมเฟอร์รัสไอออนลงไปในการทำปฏิกิริยา

3.3.1.2 การศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นเปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสม

1. เตรียมบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 6 ใบ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากข้อ 3.2 ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละบีกเกอร์เป็น 3 ด้วยกรดซัลฟูริก 6 โมลาร์
3. เติมเฟอร์รัสไอออนในปริมาณที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.1 และเติมอัตราส่วนโดยโมลของเฟอร์รัสไอออน:เปอร์ซัลเฟต 1: 0, 1: 1, 1: 2, 1: 3, 1: 4 และ 1: 5 แล้วนำไปปั่นกวนเป็นเวลา 40 นาที
4. นำน้ำเสียสังเคราะห์มาทำการปรับสภาพให้ได้พีเอชประมาณ 7.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 60 นาที เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของเหล็ก
5. เมื่อเหล็กเกิดการตกตะกอนแล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศเพื่อกรองตะกอนของเหล็กออกไป
6. จากนั้นนำส่วนของสารละลายใสไปวิเคราะห์หาค่าซีโอดี
7. ทำข้อ 1-6 อีก 2 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำการทดลองกับน้ำกลั่นแทนน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อเป็นแปลงค้โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.1 พีเอช 3 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาทีแต่ไม่ทำการเติมโซเดียมเปอร์ซัลเฟต

3.3.1.3 การศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

1. เตรียมบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้ จากข้อ 3.2 ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละบีกเกอร์เป็น 2, 3, 4 และ 5 ด้วยกรดซัลฟูริก 6 โมลาร์และไม่ทำการปรับพีเอช 1 บีกเกอร์
3. เติมเฟอร์รัสไอออนในปริมาณที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.1 และ โซเดียมเปอร์ซัลเฟตในปริมาณที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.2 แล้วนำไปปั่นจนเป็นเวลา 40 นาที
4. นำน้ำเสียสังเคราะห์ปรับสภาพให้ได้พีเอชประมาณ 7.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โมลาร์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 60 นาที เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของเหล็ก
5. เมื่อเหล็กเกิดการตกตะกอนแล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ เพื่อกรองตะกอนของเหล็กออกไป
6. จากนั้นนำส่วนของสารละลายใสไปวิเคราะห์หาค่าซีไอดี
7. ทำข้อ 1-6 อีก 2 ซ้ำ
8. ทำการทดลองกับน้ำกลั่นแทนน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อเป็นแปลงค้โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.1 ปริมาณความเข้มข้นเปอร์ซัลเฟตที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.2 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาทีแต่ไม่ทำการปรับพีเอชเริ่มต้น

3.3.1.4 การศึกษาหาเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม

1. เตรียมบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 7 ใบ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้ จากข้อ 3.2 ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละบีกเกอร์ให้เป็นไปตามที่หาได้จากการทดลอง ในข้อ 3.3.1.3 ด้วยกรดซัลฟูริก 6 โมลาร์
3. เติมเฟอร์รัสไอออนในปริมาณที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.1 และ โซเดียมเปอร์ซัลเฟตในปริมาณที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.2 แล้วนำไปปั่นจนเป็นเวลา 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที
4. นำน้ำเสียสังเคราะห์มาทำการปรับสภาพให้ได้พีเอชประมาณ 7.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 60 นาที เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของเหล็ก
5. เมื่อเหล็กเกิดการตกตะกอนแล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ เพื่อกรองตะกอนของเหล็กออกไป
6. จากนั้นนำส่วนของสารละลายใสไปวิเคราะห์หาค่าซีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารประกอบการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

7. ทำข้อ 1-6 อีก 2 ซ้ำ

8. ทำการทดลองกับน้ำกลั่นแทนน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อเป็นแบบลงค์โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.1 ปริมาณความเข้มข้นเปอร์ซัลเฟตที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.2 และพีเอชตามที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.3 แต่ไม่ทำการปั่นทวน

3.3.2 การบำบัดซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปอร์ซัลเฟตและเฟอร์รัสไอออน

3.3.2.1 การศึกษาหาเวลาการใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงที่เหมาะสม

1. เตรียมบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้จากข้อ 3.2 ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละบีกเกอร์ ให้เป็นไปตามที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.3 ด้วยกรดซัลฟูริก 6 โมลาร์

3. เติมเฟอร์รัสไอออนในปริมาณที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.1 และ โซเดียมเปอร์ซัลเฟตในปริมาณที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.2 นำไปให้คลื่นความถี่เหนือเสียงเป็นเวลา 0, 10, 20, 30 และ 40 นาทีด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic)

4. นำน้ำเสียสังเคราะห์มาทำการปรับสภาพให้ได้พีเอชประมาณ 7.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 60 นาที เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของเหล็ก

5. เมื่อเหล็กเกิดการตกตะกอนแล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ เพื่อกรองตะกอนของเหล็กออกไป

6. จากนั้นนำส่วนของสารละลายใสไปวิเคราะห์หาค่าซีโอดี

7. ทำข้อ 1-6 อีก 2 ซ้ำ

8. ทำการทดลองกับน้ำกลั่นแทนน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อเป็นแบบลงค์โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.1 ปริมาณความเข้มข้นเปอร์ซัลเฟตที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.2 และพีเอชตามที่หาได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1.3 แต่ไม่ให้คลื่นความถี่เหนือเสียง

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำมันหล่อลื่น ที่มีค่าพีเอช (pH) 5-6 และมีค่าซีไอดีประมาณ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีขั้นตอนการศึกษาคือ การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออน และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออนร่วมกับการโซนิเคชัน (Sonication) โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของเพอร์สไอออนต่อเปอร์ซัลเฟต พีเอช และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ดังนี้

4.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้น้ำมันหล่อลื่น 50 มิลลิลิตร และดีเทอร์เจนท์ 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 10 ลิตร (เตรียมสำหรับใช้ทั้งการทดลอง) ซึ่งผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าซีไอดี $12,224 \pm 0.00$ มิลลิกรัม/ลิตร

4.2 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออน

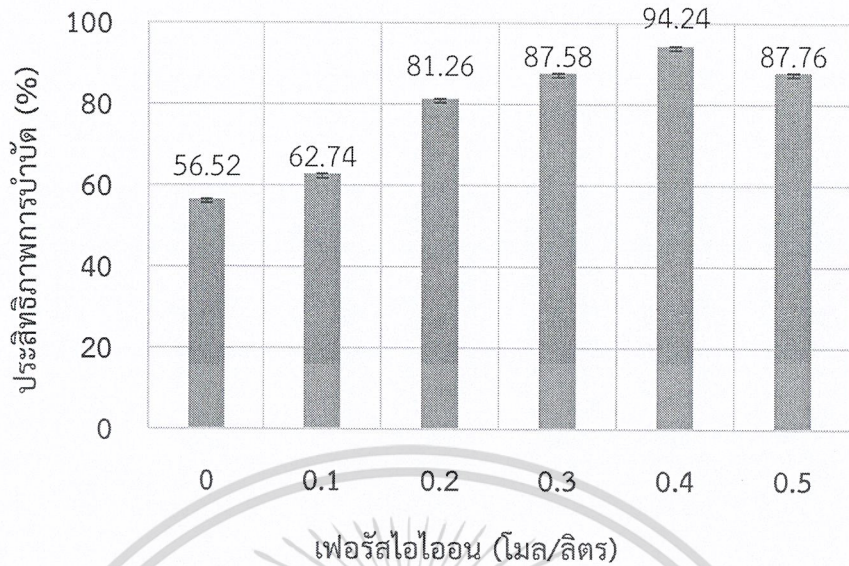
4.2.1 ศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นของเพอร์สไอออน (Fe^{2+}) ที่เหมาะสม

การศึกษหาปริมาณเพอร์สไอออน (Fe^{2+}) ที่เหมาะสม สามารถทำได้โดยแปรผันความเข้มข้นของเพอร์สไอออน คือ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 โมล/ลิตร โดยเติมเปอร์ซัลเฟตในปริมาณเท่ากัน คือ 0.6 โมล/ลิตร ทำการทดลองกับน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นที่พีเอช 3 และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 40 นาที พบว่าสามารถบำบัดค่าซีไอดีจาก $12,224 \pm 0.00$ มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ $5,314.4 \pm 0.00$, $4,555.20 \pm 0.00$, $2,277.60 \pm 0.00$, $1,518.40 \pm 0.00$, 703.5 ± 0.00 และ $1,496.60 \pm 0.00$ มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 56.52 ± 0.00 , 62.74 ± 0.00 , 81.37 ± 0.00 , 87.58 ± 0.00 , 94.24 ± 0.00 และ 87.76 ± 0.00 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.1 พบว่า แม้ไม่มีการเติมเพอร์สไอออนในการบำบัด แต่ก็สามารถลดค่าซีไอดีลงได้ อาจเป็นผลมาจากการที่เปอร์ซัลเฟตแตกตัวให้อนุมูลอิสระของซัลเฟตได้เอง ถึงแม้จะไม่มีเพอร์สไอออนที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยากก็ตาม และเมื่อเติมเพอร์สไอออนในช่วง 0.1–0.2 โมล/ลิตร ทำให้เพอร์สไอออนเข้าไปทำปฏิกิริยากับเปอร์ซัลเฟตเกิดเป็นซัลเฟตเรดิคัลประสิทธิภาพการบำบัดจึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณเพอร์สไอออนเข้าไป 0.3–0.4 โมล/ลิตร พบว่าเกิดอนุมูลอิสระซัลเฟตมากขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดจึงดีมากขึ้นอีก และให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 0.4 โมล/ลิตร แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเติมปริมาณความเข้มข้นเพอร์สไอออนมากกว่า 0.4 โมล/ลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเกินไปจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเพอร์สไอออนจะยับยั้งการเกิดซัลเฟตเรดิคัลและทำให้เกิดเพอร์สไอออนและซัลเฟตไอออนขึ้นมาแทน (Lee และคณะ., 2009; Vicente และคณะ., 2011) ตามสมการ

(4.1) ซึ่งทั้งคู่ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัด

ไม่ว่การณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





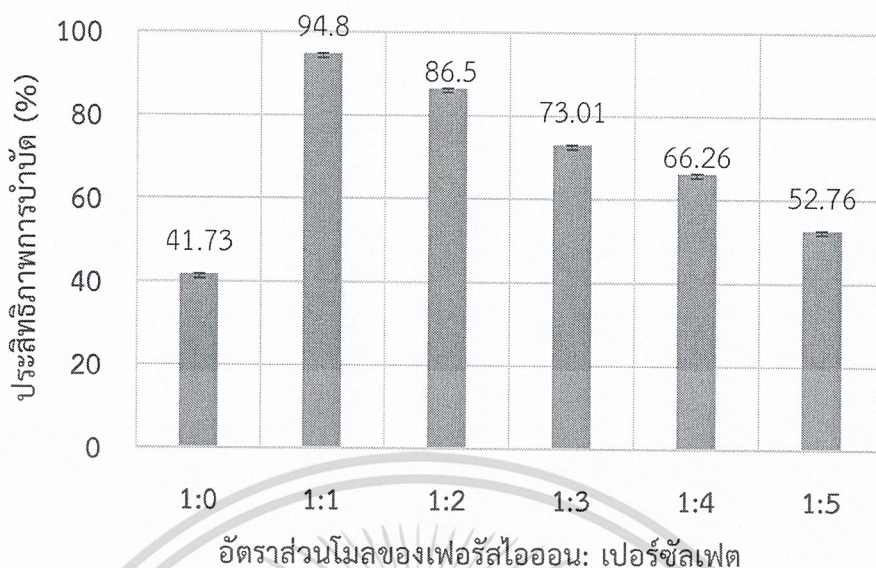
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟอร์รัสไอออน (โมล/ลิตร) กับประสิทธิภาพการบำบัด (%)

ส่วนการใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อทำเป็นแบลนด์โดยใช้ปริมาณเปอร์ซัลเฟตเป็น 0.6 โมล/ลิตร พีเอช 3 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที แต่ไม่มีการเติมเฟอร์รัสไอออนลงไป ในปฏิกิริยา พบว่าก่อนทำปฏิกิริยาน้ำกลั่นมีปริมาณซีโอติน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้และหลังจากทำปฏิกิริยาปริมาณของซีโอติ้ก็น้อยมากจนไม่สามารถตรวจสอบพบได้ซึ่งถือได้ว่าไม่มีผลกับปริมาณของซีโอติที่ได้จากการทดลอง

4.2.2 ศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นของเปอร์ซัลเฟต ($S_2O_8^{2-}$) ที่เหมาะสม

จากการศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของเปอร์ซัลเฟตที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำมันหล่อลื่น ได้ทำการทดลองแปรผันอัตราส่วนโดยโมลของเฟอร์รัสไอออน : เปอร์ซัลเฟต ดังนี้ คือ 1: 0, 1: 1, 1: 2, 1: 3, 1: 4 และ 1: 5 ตามลำดับ โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนที่หาได้จากการทดลองในข้อ 4.2.1 พีเอช 3 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที พบว่า สามารถบำบัดซีโอตินในน้ำเสียสังเคราะห์ลดลงจาก $11,250.58 \pm 0.00$ มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ $6,555.40 \pm 0.00$, 584.65 ± 0.00 , $1,518.40 \pm 0.00$, $3,036.80 \pm 0.00$, $3,796.00 \pm 0.00$ และ $5,314.4 \pm 0.00$ มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 41.73 ± 0.00 , 94.80 ± 0.00 , 86.50 ± 0.00 , 73.01 ± 0.00 , 66.26 ± 0.00 และ 52.76 ± 0.00 ตามลำดับ ซึ่งจากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า แม้ไม่ได้ทำการเติมเปอร์ซัลเฟตลงในปฏิกิริยาค่าซีโอติ้ก็น้อยลงถึง 41.73% เป็นผลมาจากเฟอร์รัสไอออนสามารถเกิดการออกซิเดชันกับสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้เป็นบางส่วน ตามสมการที่ (4.2) และ (4.3) (มณฑา, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $R^{n+} + Fe^{3+}$ oxidation ศึกษา \rightarrow นั้น $R^{n+} + Fe^{2+}$ ให้นำไปใช้ประโยชน์ (4.2) การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม $R^{n+} + Fe^{2+}$ oxidation ต้องอ้างอิงถึง $R^{n+} + Fe^{3+}$ เอกสารทุกครั้งที่มีกา (4.3) ใช้

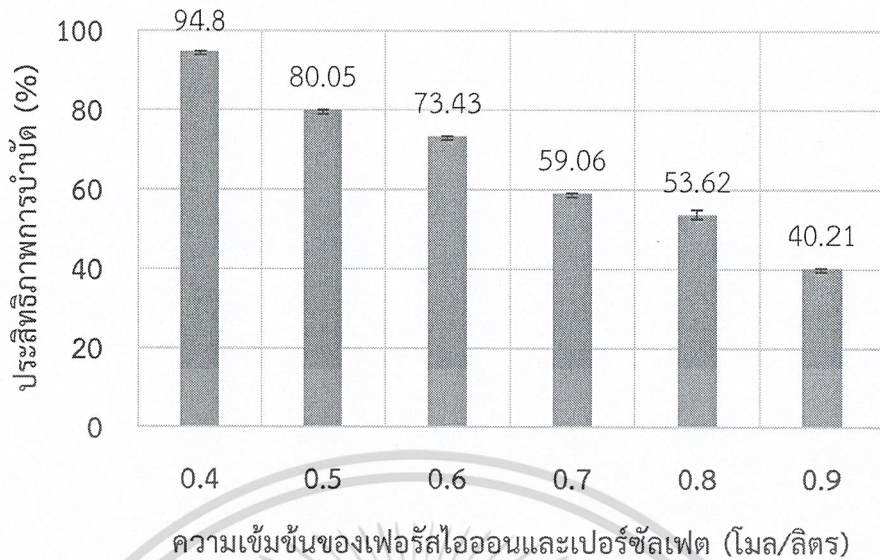


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนโมลของเฟอร์รัสไอออน:เปอร์ซัลเฟต กับ ประสิทธิภาพการบำบัด (%)

เมื่อทำการเติมเปอร์ซัลเฟตลงไปในอัตราส่วน 1: 1 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มขึ้นและให้ผลดีที่สุด เนื่องจากเหล็กจะทำการกระตุ้นเปอร์ซัลเฟตให้เกิดซัลเฟตเรดิคัล ตามสมการที่ (1.1) ซึ่งอนุมูลเปอร์ซัลเฟตหรือซัลเฟตเรดิคัลเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อทำการเติมเปอร์ซัลเฟตมากขึ้นจนมากเกินไป 1: 2-1: 5 โมล จะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่อย ๆ ลดลงเป็นผลมาจากการที่เปอร์ซัลเฟตไปทำปฏิกิริยากับซัลเฟตเรดิคัลเกิดเป็นซัลเฟตแอนไอออนและเปอร์ซัลเฟตเรดิคัลซึ่งทำให้ความสามารถในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ลดลง ดังสมการที่ (4.4) (Yu และคณะ., 2004; Drzewicz และคณะ., 2012; Shih และคณะ., 2012; Moghaddam และคณะ., 2014)



เมื่อทราบถึงอัตราส่วนโมลของเฟอร์รัสไอออน:เปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสม คือ 1: 1 แล้วนั้น ผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพิ่มความเข้มข้นของทั้งเฟอร์รัสไอออนและเปอร์ซัลเฟตในอัตราส่วน 1: 1 โดยแปรผันค่าความเข้มข้น ดังนี้ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 โมล/ลิตร



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของเพอร์ซัยไดออกไซด์และเพอร์ซัยลเฟต (โมล) กับประสิทธิภาพการบำบัด (%)

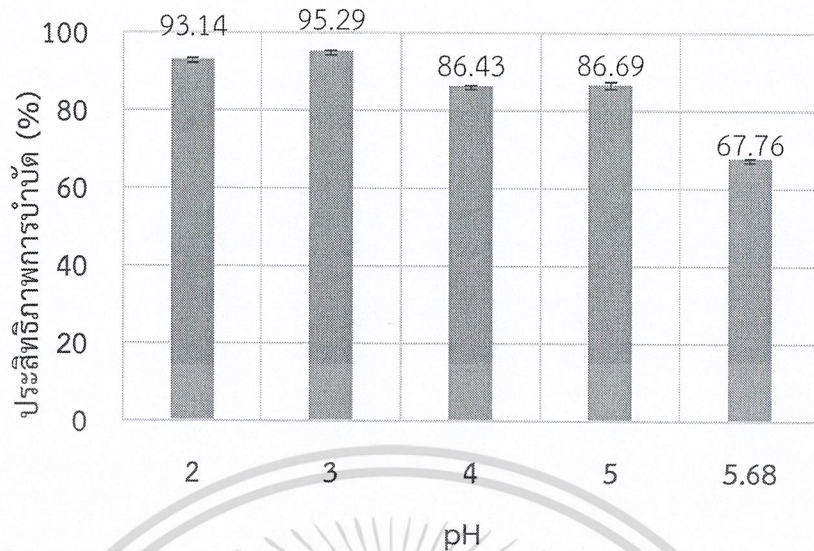
จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ถึงแม้จะทำการเพิ่มความเข้มข้นของเพอร์ซัยไดออกไซด์และเพอร์ซัยลเฟตในอัตราส่วนที่เหมาะสม (1: 1) แล้วก็ตาม แต่ประสิทธิภาพการบำบัดกลับลดลง สาเหตุเพราะเป็นการเติมสารเคมีที่มากเกินไป ดังสมการที่ (4.1) และ (4.4) เพอร์ซัยไดออกไซด์และเพอร์ซัยลเฟตไอออนจะไปยับยั้งการเกิดซัลเฟตเรดิคัลส่งผลให้ไม่สามารถเกิดการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสีย จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง

ส่วนการใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อทำเป็นแบลนด์โดยปรับพีเอชเป็น 3 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาทีแต่ไม่มีการเติมเพอร์ซัยลเฟตและเพอร์ซัยไดออกไซด์ลงในปฏิกิริยาพบว่าก่อนทำปฏิกิริยาน้ำกลั่นมีปริมาณซีโอติน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้และหลังจากทำปฏิกิริยาปริมาณของซีโอติก็ยังน้อยมากจนไม่สามารถตรวจสอบพบได้ซึ่งถือได้ว่าไม่มีผลกับปริมาณของซีโอติที่ได้จากการทดลอง

4.2.3 การศึกษาหาค่าพีเอช (pH) เริ่มต้นที่เหมาะสม

จากการศึกษาหาค่าพีเอช (pH) เริ่มต้นที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ น้ำมันหล่อลื่นได้ทำการแปรผันค่าพีเอช (pH) ที่ 2, 3, 4, 5 และไม่ทำการปรับพีเอช โดยใช้ความเข้มข้นของเพอร์ซัยไดออกไซด์ที่เหมาะสมจากข้อ 4.2.1 ค่าความเข้มข้นของเพอร์ซัยลเฟตที่เหมาะสมจากข้อ 4.2.2 และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 40 นาที สามารถลดค่าซีโอติจาก $12,454.81 \pm 0.00$ มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 854.74 ± 36.37 , 586.55 ± 10.68 , $1,689.60 \pm 0.00$, $3,478.28 \pm 86.69$ และ $4,015.51 \pm 0.00$ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 93.14 ± 0.29 , 95.29 ± 0.09 , 86.43 ± 0.00 , 72.07 ± 0.70 และ 67.76 ± 0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ตามลำดับ



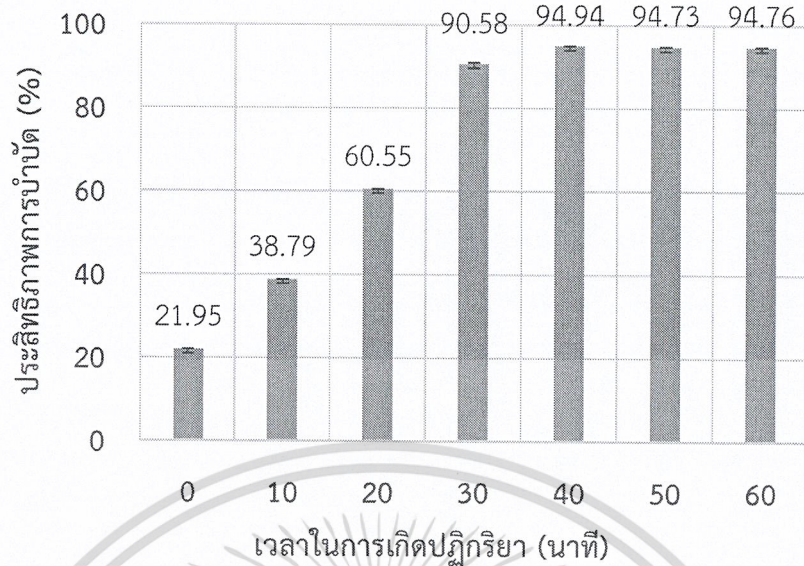
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการบำบัด (%) กับ pH

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าที่ pH 2-3 ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง และให้ผลดีที่สุดที่ pH 3 เป็นผลมาจากเฟอร์รัสไอออนและเปอร์ซัลเฟตมีความเสถียรมาก แต่เมื่อค่า pH สูงขึ้นจะส่งผลให้เฟอร์รัสไอออนหรือเหล็กตกตะกอนอยู่ในรูปเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ซึ่งไม่มีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ ประสิทธิภาพการบำบัดและความสามารถในการเกิดการออกซิเดชันจึงลดลง

ส่วนการใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อทำเป็นแบลนด์ โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2.1 ปริมาณความเข้มข้นของเปอร์ซัลเฟตที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2.2 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาทีแต่ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น พบว่าก่อนทำปฏิกิริยาน้ำกลั่นมีปริมาณซีโอติน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ และหลังจากทำปฏิกิริยาปริมาณของซีโอติก็ยังมีย่อยมากจนไม่สามารถตรวจสอบพบได้ ซึ่งถือได้ว่าไม่มีผลกับปริมาณของซีโอติที่ได้จากการทดลอง

4.2.4 การศึกษาหาเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม

การศึกษาหาเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ น้ำมันหล่อลื่น ได้ทำการทดลองโดยแปรผันเวลาในการเกิดปฏิกิริยา คือ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2.1 ปริมาณความเข้มข้นของเปอร์ซัลเฟตที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2.2 และ ค่าพีเอช (pH) เริ่มต้นที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 4.2.3 พบว่าสามารถลดค่าซีโอติจาก $11,458.11 \pm 0.00$ มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ $8,943.55 \pm 0.00$, $7,013.15 \pm 0.00$, $4,520.20 \pm 0.00$, $1,079.40 \pm 46.24$, 580.19 ± 0.00 , 604.33 ± 11.63 และ 600.83 ± 6.69 ซึ่งสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 21.95 ± 0.00 , 38.79 ± 0.00 , 60.55 ± 0.00 , 90.58 ± 0.40 , 94.94 ± 0.00 , 94.73 ± 0.10 และ 94.76 ± 0.05 ตามลำดับ ซึ่งได้มีการนำไปใช้



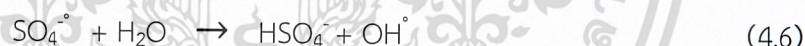
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการบำบัด (%) กับ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา (นาที)

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้นานมากขึ้น 0-40 นาที จะทำให้แนวโน้มประสิทธิภาพในการบำบัดสูงมากขึ้นด้วย เนื่องมาจากระยะเวลาที่นานขึ้นทำให้ ซัลเฟตเรดิคัลเกิดการออกซิเดชันกับสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้นานมากขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น 50-60 นาที ประสิทธิภาพการบำบัดก็จะเริ่มคงที่และให้ผลที่ไม่ต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

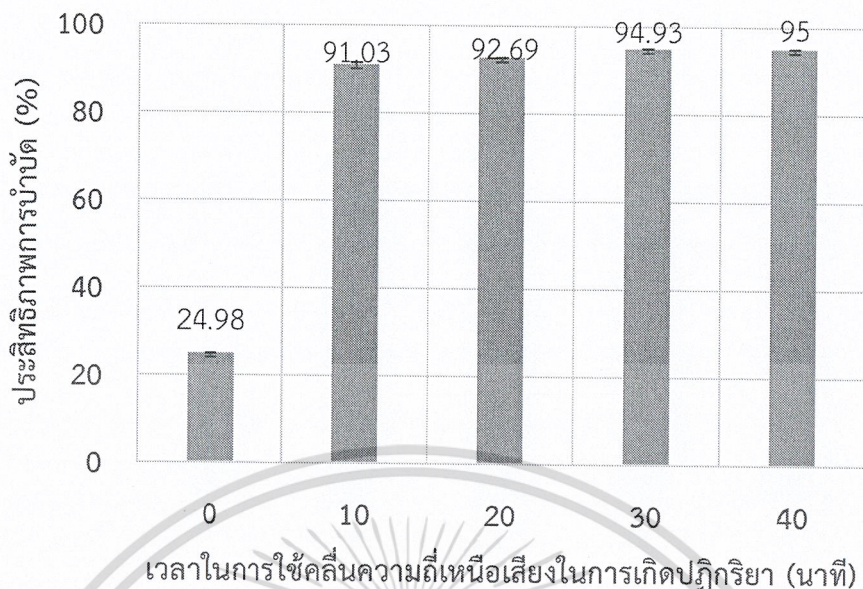
ส่วนการใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อทำเป็นแบลนด์ โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นเพอร์สไดออกไซด์ที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2.1 ปริมาณความเข้มข้นของเปอร์ซัลเฟตที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2.2 และ pH 3 พบว่าก่อนทำปฏิกิริยาน้ำกลั่นมีปริมาณซีโอดีน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ และหลังจากทำปฏิกิริยาปริมาณของซีโอดีก็ยังมีน้อยมากจนไม่สามารถตรวจสอบพบได้ ซึ่งถือได้ว่าไม่มีผลกับปริมาณของซีโอดีที่ได้จากการทดลอง

4.3 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออนร่วมกับการโซนิเคชัน (Sonication)

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออนร่วมกับการโซนิเคชัน (Sonication) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น โดยทำการแปรผันเวลาการใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงในการเกิดปฏิกิริยา คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 นาที โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นเพอร์สไอออนที่หาได้จากการทดลองในข้อ 4.2.1 ปริมาณความเข้มข้นของเปอร์ซัลเฟตที่หาได้จากการทดลองในข้อ 4.2.2 และ ค่าพีเอช (pH) เริ่มต้นที่เหมาะสมที่หาได้จากการทดลองในข้อ 4.2.3 พบว่าสามารถลดค่าซีไอได้ดีจาก $11,923.74 \pm 0.00$ มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ $8,945.00 \pm 0.00$, $1,069.93 \pm 48.13$, 871.11 ± 0.00 , 604.41 ± 7.30 , และ 596.30 ± 7.01 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 24.98 ± 0.00 , 91.03 ± 0.41 , 92.69 ± 0.00 , 94.93 ± 0.07 และ 95.00 ± 0.06 ตามลำดับ ซึ่งจากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงเข้ามาช่วยในการเกิดปฏิกิริยาแม้จะใช้เวลาเพียง 10 นาที แต่ก็ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงถึง 91.03 ± 0.41 เปอร์เซ็นต์ และให้ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ 20-40 นาที เป็นเหตุผลมากจากการที่คลื่นความถี่เหนือเสียงนี้ก็สามารถกระตุ้นเปอร์ซัลเฟตให้แตกตัวเป็นซัลเฟตเรดิคัลได้เช่นเดียวกับเพอร์สไอออน ดังสมการที่ (4.5) นอกจากนั้นซัลเฟตเรดิคัลที่เกิดขึ้นยังสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำแล้วเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล ดังสมการที่ (4.6) (Yang และคณะ., 2015) ซึ่งเรดิคัลทั้งคู่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง



ซึ่งจากรูปที่ 4.6 ยังสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มเวลาเป็น 30-40 นาที ประสิทธิภาพในการบำบัดยังมีแนวโน้มคงที่และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาในการใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงในการเกิดปฏิกิริยา (นาที) กับ ประสิทธิภาพการบำบัด (%)

ส่วนการใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อทำเป็นแบลงค์ โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นเพอร์สไอออนที่หาได้จากการทดลองในข้อ 4.2.1 ปริมาณความเข้มข้นของเปอร์ซัลเฟตที่หาได้จากการทดลองในข้อ 4.2.2 และ ค่าพีเอช (pH) เริ่มต้นที่เหมาะสมที่หาได้จากการทดลองในข้อ 4.2.3 แต่ไม่ให้เกิดคลื่นความถี่เหนือเสียง พบว่าก่อนทำปฏิกิริยาน้ำกลั่นมีปริมาณซีโอติน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ และหลังจากทำปฏิกิริยาปริมาณของซีโอติก็ยังมีย่อยมากจนไม่สามารถตรวจสอบพบได้ ซึ่งถือได้ว่าไม่มีผลกับปริมาณของซีโอติที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำมันหล่อลื่น ที่มีค่าพีเอช 5-6 และค่าซีโอดี ประมาณ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออน และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออนร่วมกับการโซนิเคชัน (Sonication) โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของเพอร์สไอออนต่อเปอร์ซัลเฟต พีเอช และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

5.1.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออน พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของเพอร์สไอออน คือ 0.4 โมล/ลิตร อัตราส่วนของเพอร์สไอออนต่อเปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสม คือ 1:1 พีเอช (pH) 3 และใช้ระยะเวลาการบำบัด 40 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่า 94.00%

5.1.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออนร่วมกับการโซนิเคชัน (Sonication) พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของเพอร์สไอออน คือ 0.4 โมล/ลิตร อัตราส่วนของเพอร์สไอออนต่อเปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสม คือ 1:1 พีเอช (pH) 3 และใช้ระยะเวลาในการให้คลื่นความถี่เหนือเสียง 30 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่า 94.00%

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดด้วยเปอร์ซัลเฟตและเพอร์สไอออนร่วมกับการโซนิเคชัน (Sonication) เพราะแต่ละกระบวนการอาจมีการใช้สภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกัน

5.2.2 หลังการทำปฏิกิริยาจะเกิดตะกอนของเหล็กจำนวนมาก ซึ่งควรมีการกำจัดที่ถูกต้อง เช่น การเติม Binding Agent ที่เหมาะสม

5.2.3 งานวิจัยชิ้นนี้ยังไม่สามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีค่าซีโอดีต่ำกว่า 200 มิลลิกรัม/ลิตร ตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากสถานบริการน้ำมันจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ ดังนั้นเพื่อจะลดค่าซีโอดีให้ต่ำลงอาจจะต้องผ่านการบำบัดในขั้นแรก (Primary treatment) มาก่อน

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2560. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง.

[Online]. Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s7

กระทรวงพลังงาน. 2560. รายชื่อผู้ประกอบการ ข้อมูลสถานบริการ การจัดหาและจำหน่าย.

[Online]. Available : <http://www.eppo.go.th/index.php/th/petroleum/oil/link-doeb>

ชนิตต์ โชคเจริญรัตน์. 2558. “การศึกษาการใช้เปอร์ซัลเฟตที่ถูกเพิ่มประสิทธิภาพโดยการควบคุมการปล่อยในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันที่จุดกำเนิด (ISCO) เพื่อบำบัดสารเคมีตกค้าง.” สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เบญจมาภรณ์ แสงสุข. 2556. “ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสง UV 254 จากเครื่องมือวิเคราะห์แบบต่อเนื่องกับปริมาณสารอินทรีย์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนิตกานต์ วิริยนะวัตร, พันธกานต์ ธนะเสน และรัตนทิ พุ่มเกิด. 2552. “การบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์จากสถานบริการน้ำมันด้วยวิธีเฟนตัน.” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. 2553. การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียเบื้องต้น. สำนักวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงาน.

มณฑา ประดิษฐขำ. 2550. “การปรับปรุงกระบวนการก่อนบำบัดน้ำเสียทางเคมีของโรงงานผลิตเคมีภัณฑ์โดยเฟนตันออกซิเดชัน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. 2558. “ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ.” คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร.

สุกัญญา โปร่งรักษ์. 2558. “การบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเยื่อกระดาษด้วยกระบวนการเฟนตันโฟโต-เฟนตัน และโซโน-เฟนตัน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุโขทัย เตชะวณิช และอุบลวรรณ ยอดแสง. 2542. “การนำน้ำเสียจากสถานบริการน้ำมันบริการน้ำมันกลับมาใช้ประโยชน์โดยการบำบัดด้วย O_3/H_2O_2 ”. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สิริอร ศรีธธาสมบุรณ์. 2554. “แนวทางการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินจากการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนของสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทย.” วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Asensia, E. Alemanyb, E. Secoc, A. and Ferrera, J. 2018. “Characterization of activated sludge settling properties with a sludge collapse-acceleration stage.” *Separation and Purification Technology*. 209: 32–41.
- Chakma, S. Praneeth, S. and Moholkar, V. S. 2016. “Mechanistic investigations in sono-Hybrid (Ultrasound/Fe²⁺/UVC) techniques of persulfate activation for degradation of azorubine.” *Ultrasonics Sonochemistry*. 38 : 652-663.
- Du, J. Guo, W. Che, D. and Ren, N. 2018. “Weak magnetic field for enhanced oxidation of sulfamethoxazole by Fe⁰/H₂O₂ and Fe⁰/persulfate: Performance, mechanisms, and degradation pathways”. *Chemical Engineering Journal*. 351 : 532–539.
- Gu, N. Wu, Y. Gao, J. Meng, X. Zhao, P. Qin, H. and Wang, K. 2016. “Microcystis aeruginosa removal by in situ chemical oxidation using persulfate activated by Fe²⁺ ions.” *Ecological Engineering*. 99 : 290–297.
- Ikumi, D. S. Harding, T. H. and Ekama, G. A. 2014. “Biodegradability of wastewater and activated sludge organics in anaerobic digestion.” *water research*. 56 : 267-279.
- Li, W. Yu, N. Liu, Q. Li, Y. Ren, N. and Xing, D. 2018. “Enhancement of the sludge disintegration and nutrients release by a treatment with potassium ferrate combined with an ultrasonic process.” *Science of the Total Environment*. 635 : 699–704.
- Lominchar, M.A. Santos, A. Miguel, de E. and Romero, A. 2017. “Remediation of aged diesel contaminated soil by alkaline activated persulfate.” *Science of the Total Environment*. 622–623 : 41–48.
- Mahmoodlu, G. M. Hassanizadeh, S. M, and Hartog, N. 2013. “Evaluation of the kinetic oxidation of aqueous volatile organic compounds by permanganate.” *Science of the Total Environment*. 485–486 : 755–763
- Pardo, F. Rosas, J. M. Santos, A. and Romero, A. 2014. “Remediation of a biodiesel blend-contaminated soil by using a modified Fenton process.” *Environment Science Pollution Research*. 21(21) : 12198–12207.
- Pinedo, J. Ibáñez, R. Lijzen, J. P. A. and Irabien, Á. 2013. “Assessment of soil pollution based on total petroleum hydrocarbons and individual oil substances.” *Journal of Environmental Management*. 130 : 72-79.
- Reisner, T. 2016. “APPLICATION OF PERSULFATE FOR WATER AND WASTEWATER TREATMENT.” Master’s thesis, Department of chemical engineering,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Resitoglu, I. A. Altinisik, K. and Keskin, A. 2014. "The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems." *Clean Techn Environ Policy*. 17 : 15–27.
- Rodriguez, J. García, A. Poznyak, T. and Chairez, I. 2016. "Phenanthrene degradation in soil by ozonation: Effect of morphological and physicochemical properties." *Chemosphere*. 169 : 53-61.
- Yeong, H. S. Sung, M. OH, Y. K. and Han, J. I. 2015. "Lipid extraction from microalgae cell using persulfate-based oxidation." *Bioresource Technology*. 200 : 1073-1075.
- Shang, W. Dong, Z. Li, M. Song, X. Zhang, M. Jiang, C. and FeiyunSun. 2018. "Degradation of diatrizoate in water by Fe(II)-activated persulfate oxidation." *Chemical Engineering Journal*. 361 : 1333-1344.
- Silva, K.C.G. and Sato, A.C.K. 2018. "Sonication technique to produce emulsions: The impact of ultrasonic power and gelatin concentration." *Ultrasonics Sonochemistry*. 52 : 286-293.
- Vicente, F. Santos, A. Romero, A. and Rodriguez, S. 2010. "Kinetic study of diuron oxidation and mineralization by persulphate: Effects of temperature, oxidant concentration and iron dosage method". *Chemical Engineering Journal*. 170 : 127–135.
- Yang, Q. Zhong, Y. Zhong, H. Li, X. Du, W. Li, X. Chen, R. and Zeng, G. 2009. "A novel pretreatment process of mature landfill leachate with ultrasonic activated persulfate: Optimization using integrated Taguchi method and response surface methodology." *Process Safety and Environmental Protection*. 98 : 268–275.
- Yu, X. Y. Bao, Z. C. and Barker, J. R. 2003. "Free Radical Reactions Involving Cl^\cdot , Cl_2^\cdot and SO_4^\cdot in the 248 nm Photolysis of Aqueous solution Containing $\text{S}_2\text{O}_8^\cdot$ and Cl^- ." *The journal of physics chemistry*. 108 : 295-308.
- Yuan, X. Guan, R. Wu, Z. Jiang, L. Li, Y. Chen, X. and Zeng, G. 2018. "Effective treatment of oily scum via catalytic wet persulfate oxidation process activated by Fe^{2+} ." *Journal of Environmental Management*. 217 : 411-415.
- Zou, X. Zhou, T. Mao, J. and Wu, X. 2014. "Synergistic degradation of antibiotic sulfadiazine in a heterogeneous ultrasound-enhanced Fe^0 /persulfate Fenton-like system." *Chemical Engineering Journal*. 257 : 36–44.

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณการเตรียมสาร

1. การวิเคราะห์หาซีโอดีด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux, Titrimetric Method) เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) หลอดย่อยสลาย (Digestion Vessels) ใช้แก้วที่ทำด้วยบอโรซิลิเกต (Borosilicate Culture tube) ขนาด 16x100 mm ที่มีฝาเกลียวชนิดทีเอฟอี (Tetrafluoroethylene; TFE)
- 2) ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 150 ± 2 องศาเซลเซียส การใช้ตู้ต้องแน่ใจว่าการอบ 2 ชั่วโมงที่ 150 องศาเซลเซียส จะไม่ทำให้ฝาหลอดแก้วเกิดความเสียหาย
- 3) ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) 50 มิลลิลิตร
- 4) ปิเปตต์ (Transfer Pipette)
- 5) ถังมือกันกรด
- 6) ปีกเกอร์
- 7) ขวดรูปชมพู่

สารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไดโครเมต (primary standard potassium solution) เข้มข้น 0.1 นอร์มัล
 - นำโพแทสเซียมไดโครเมต อบแห้งใน 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักโพแทสเซียมไดโครเมต มา 4.903 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร เติมปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม ทิ้งให้ละลายและปล่อยให้เย็นจึงเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 มิลลิลิตร
- 2) สารละลายกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid reagent)
 - เติมสารละลายซิลเวอร์ซัลเฟต 22 กรัม ลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2.5 ลิตร แล้วทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟต เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลาย
- 3) สารละลายเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ (Ferroun indicator solution)
 - ละลาย 1,10 -ฟีแนนโทนไลน์โมโนไฮเดรต 1.485 กรัม และเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น และทำการปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
- 4) สารละลายมาตรฐานทุติยภูมิเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) เข้มข้น 0.10 นอร์มัล
 - ชั่งสารละลายเฟอร์รัส (II) แอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) ชั่งสารละลายไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต 39.2 กรัม ในน้ำกลั่นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทำให้อุ่นแล้วเจือจาง 1000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ก่อนใช้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไดโครเมต

- 5) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลตความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจน จำนวน 4.250 กรัม ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสและทำให้เย็นในโถอบแห้งแล้วละลายในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้มีซีไอดีเท่ากับ 5000 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร หรือมีค่าเท่ากับ 11.76 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อมิลลิกรัม

ขั้นตอนการวิเคราะห์

- 1) ล้างหลอดแก้วและฝาด้วยกรดซัลฟูริก 20% ก่อนใช้ทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อน นำตัวอย่างน้ำมา 2.5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง 1 หลอดต่อ 1 ตัวอย่าง (จะต้องเจือจางหรือไม่ขึ้นกับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง (สำหรับแปลงค่าให้ใส่น้ำกลั่นหลอดละ 2.5 มิลลิลิตร กรณีที่ต้องการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานให้เจือจางสาร KHP (เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร) ให้มีความเข้มข้นไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนที่จะนำมาใช้ (หลักการเจือจางจะใช้ขวดวัดปริมาตรปิเปตต์น้ำมา 50 เติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร เรียกว่าเป็นการเจือจาง 2 เท่า)
- 2) เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 1.5 มิลลิลิตร
- 3) เติมสารละลายกรดซัลฟูริกที่เติมซิลเวอร์ซัลเฟต จำนวน 3.5 มิลลิตร ทุก ๆ หลอดทดลอง โดยค่อยๆใส่ให้กรดไหลไปตามข้างหลอดไปอยู่ด้านล่าง (ควรสวมถุงมือเพื่อป้องกันความร้อนขณะเขย่า)
- 4) นำหลอดแก้วไปอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 150 ± 2 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 5) เมื่อหลอดแก้วทุกหลอดเย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง ให้เทสารในหลอดแก้วแต่ละหลอดลงในขวดวัดปริมาตร หยอดอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง
- 6) บันทึกปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าซีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี (mgO}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

- เมื่อ A = ปริมาณ FAS ที่ใช้ไทเทรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)
 B = ปริมาณ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)
 N = ความเข้มข้นของ FAS (นอร์มัล)
 V = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณการเตรียมสาร

ข.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์น้ำมัน เข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร

ตัวอย่างน้ำเสียได้มาจากการสังเคราะห์โดยการนำน้ำมันหล่อลื่น 5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายดีเทอร์เจนท์ 10 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากัน และทำการเจือจางให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

ข.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ (MW.= 40)

ในสารละลาย 1,000 มิลลิลิตร เนื้อสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมล = 6×40 กรัม

ในสารละลาย 500 มิลลิลิตร เนื้อสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมล = $(6 \times 40 \times 500) / 1000$ กรัม
= 120 กรัม

ดังนั้น ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 120 กรัม แล้วปรับปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์

ข.3 การเตรียมสารละลายกรดซัลฟูริก 6 โมลาร์ (MW.= 98, S.G. = 1.83, 96% w/w)

ในสารละลาย 1,000 มิลลิลิตร ต้องการให้มีเนื้อกรดซัลฟูริก 6 โมล = 1×98 กรัม

มีเนื้อกรด 96 กรัม จากสารละลาย = 100 กรัม

มีเนื้อกรด 1×98 กรัม จากสารละลาย = $(100 \times 1 \times 98) / 96$ กรัม

กรดซัลฟูริก 1.83 กรัม ในปริมาตร = 1 มิลลิลิตร

กรดซัลฟูริก $(100 \times 1 \times 98) / 96$ กรัม ในปริมาตร = $(100 \times 1 \times 98) / (96 \times 1.83)$ มิลลิลิตร
= 55.78 มิลลิลิตร

ซัลฟูริก 1 โมล ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ดวงซัลฟูริกเข้มข้น = 55.78 มิลลิลิตร

ซัลฟูริก 6 โมล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ดวงซัลฟูริกเข้มข้น = $(55.78 \times 6 \times 100) / 1,000$ มิลลิลิตร
= 33.5 มิลลิลิตร

ดังนั้น ดวงซัลฟูริกมา 33.5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดซัลฟูริก 6 โมลาร์

ข.4 การเตรียมเฟอร์รัสไอออน

เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 278.006 กรัม มีเฟอร์รัสไอออน = 55.845 กรัม

เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 1.000 กรัม มีเฟอร์รัสไอออน = $(55.845 \times 1.000) / 278.006$ กรัม
= 0.2009 กรัม

จาก $n = g/MW$

ดังนั้น $n = 0.2009 / 55.845$ โมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สืบ = 0.0036 รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟอร์รัสไอออน 0.0036 โมล ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต = 1.000 กรัม

$$\begin{aligned} \text{เฟอร์รัสไอออน } 0.01 \text{ โมล ใช้เฟอร์รัสเพตเฮปตะไฮเดรต} &= (1.000 \times 0.01) / 0.0036 && \text{กรัม} \\ &= 2.7778 && \text{กรัม} \\ \text{สารละลายในบีกเกอร์ } 100 \text{ มิลลิลิตร มีเฟอร์รัสไอออน} &= 0.01 && \text{กรัม} \\ \text{สารละลายในบีกเกอร์ } 1,000 \text{ มิลลิลิตร มีเฟอร์รัสไอออน} &= (0.01 \times 1,000) / 100 && \text{กรัม} \\ &= 0.1 && \text{โมล/ลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น เฟอร์รัสไอออน 0.01 โมล/ลิตร จะต้องชั่งเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรตมา 2.7778 กรัม

ตารางที่ ข-1 ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรตที่ใช้

ความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน (โมล/ลิตร)	ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (กรัม)
0.1	2.7778
0.2	5.5556
0.3	8.3333
0.4	11.1111
0.5	13.8889

ข.5 การเตรียมโซเดียมเปอร์ซัลเฟต

$$\begin{aligned} \text{โซเดียมเปอร์ซัลเฟต } 238.09 \text{ กรัม เฟอร์รัสเพตไอออน} &= 192.112 && \text{กรัม} \\ \text{โซเดียมเปอร์ซัลเฟต } 1.000 \text{ กรัม เฟอร์รัสเพตไอออน} &= (192.112 \times 1.000) / 238.09 && \text{กรัม} \\ &= 0.8069 && \text{กรัม} \end{aligned}$$

$$\text{จาก } n = g/MW$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } n &= 0.8069 / 192.112 \text{ โมล} \\ &= 0.0042 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เฟอร์รัสเพตไอออน } 0.0042 \text{ โมล ใช้โซเดียมเปอร์ซัลเฟต} &= 1.000 && \text{กรัม} \\ \text{เฟอร์รัสเพตไอออน } 0.01 \text{ โมล ใช้โซเดียมเปอร์ซัลเฟต} &= (1.000 \times 0.01) / 0.0042 && \text{กรัม} \\ &= 2.3810 && \text{กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{สารละลายในบีกเกอร์ } 100 \text{ มิลลิลิตร มีเฟอร์รัสไอออน} &= 0.01 && \text{กรัม} \\ \text{สารละลายในบีกเกอร์ } 1,000 \text{ มิลลิลิตร มีเฟอร์รัสไอออน} &= (0.01 \times 1,000) / 100 && \text{กรัม} \end{aligned}$$

$$= 0.1 \text{ โมล/ลิตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม้ว่า ดังนั้น เฟอร์รัสไอออน 0.01 โมล/ลิตร จะต้องชั่งเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรตมา 2.3810 กรัม นำไปใช้

ตาราง ข-2 ปริมาณโซเดียมเปอร์ซัลเฟตที่ใช้

เฟอร์สไอออน : เปอร์ซัลเฟต ไอออน	ความเข้มข้นเปอร์ซัลเฟต ไอออน (โมล/ลิตร)	ปริมาตรที่ใช้ (กรัม)
1: 1	0.1	2.3809
1: 2	0.2	4.7619
1: 3	0.3	7.1427
1: 4	0.4	9.5238
1: 5	0.5	11.9048



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณผลการทดลอง

ค.1 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นซีไอทีในน้ำเสียสังเคราะห์น้ำมันก่อนการบำบัด

- นอร์มัลลิตี

$$\text{ครั้งที่ 1} = 0.00 - 1.57 = 1.57 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 1.57 - 3.14 = 1.57 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 3.14 - 4.71 = 1.57 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{เฉลี่ย} = 1.57 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{นอร์มัลลิตี} = \frac{\text{ml } 0.1 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0.1}{\text{ml FAS}} = \frac{1.5 \times 0.1}{1.57} = 0.0955$$

- แบลงค์

$$\text{ครั้งที่ 1} = 0.00 - 1.40 = 1.40 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 1.40 - 2.80 = 1.40 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 2.80 - 4.20 = 1.40 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{เฉลี่ย} = 1.40 \text{ มิลลิลิตร}$$

- น้ำเสียสังเคราะห์น้ำมันเจือจางความเข้มข้นลง 50 เท่า

$$\text{ครั้งที่ 1} = 5.05 - 5.65 = 0.6 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 5.65 - 6.25 = 0.6 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 6.25 - 6.85 = 0.6 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{เฉลี่ย} = 0.6 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ซีไอที} &= \frac{(A-B) \times N \times 8,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}} = \frac{(1.40-0.6) \times 0.0955 \times 8,000}{2.500} \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} \\ &= 244.48 \times 50 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} \\ &= 12,224 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณหาปริมาตรความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนที่เหมาะสม

- นอร์มัลลิตี

$$\text{ครั้งที่ 1} = 0.00 - 1.58 = 1.58 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 1.58 - 3.16 = 1.58 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 3.16 - 4.74 = 1.58 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{เฉลี่ย} = 1.57 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{นอร์มัลลิตี} = \frac{\text{ml } 0.1 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0.1}{\text{ml FAS}} = \frac{1.5 \times 0.1}{1.58} = 0.0949$$

- แบลงค์

$$\text{ครั้งที่ 1} = 0.00 - 1.40 = 1.40 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 1.40 - 2.80 = 1.40 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 2.80 - 4.20 = 1.40 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{เฉลี่ย} = 1.40 \text{ มิลลิลิตร}$$

- ปริมาณความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออน 0.4 โมล

$$\text{ครั้งที่ 1} = 0.00 - 1.35 = 1.35 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 1.35 - 2.70 = 1.35 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 2.70 - 4.10 = 1.40 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้นตัดครั้งที่ 3 ออก ใช้ครั้งที่ 1 และ 2 ปริมาตร 1.35 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{ซีไอดี} &= \frac{(A-B) \times N \times 8,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}} = \frac{(1.40 - 1.35) \times 0.0949 \times 8,000}{2.500} && \text{มิลลิกรัม/ลิตร} \\ &= 15.184 \times 50 && \text{มิลลิกรัม/ลิตร} \\ &= 759.2 && \text{มิลลิกรัม/ลิตร} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หมายเหตุ เป็นการตัดข้อมูลที่สงสัยออกโดยทดสอบ Q-test
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีเหตุแต่สงสัยและต้องอยู่ใต้อาณัติของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเฟอร์รัสไอออนต่อเปอร์ซัลเฟตไอออน

- นอร์มัลลิตี

$$\text{ครั้งที่ 1} = 0.00 - 1.58 = 1.58 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 1.58 - 3.16 = 1.58 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 3.16 - 4.74 = 1.58 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{เฉลี่ย} = 1.57 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{นอร์มัลลิตี} = \frac{\text{ml } 0.1 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0.1}{\text{ml FAS}} = \frac{1.5 \times 0.1}{1.58} = 0.0949$$

- แบลงค์

$$\text{ครั้งที่ 1} = 0.00 - 1.45 = 1.45 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 1.45 - 2.90 = 1.45 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 2.90 - 4.35 = 1.45 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{เฉลี่ย} = 1.45 \text{ มิลลิลิตร}$$

- อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเฟอร์รัสไอออนต่อเปอร์ซัลเฟตไอออน 1: 1

$$\text{ครั้งที่ 1} = 2.50 - 3.55 = 1.50 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 3.55 - 4.90 = 1.35 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 4.90 - 6.35 = 1.40 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{เฉลี่ย} = 1.43 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ซีไอดี} = \frac{(A-B) \times N \times 8,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}} = \frac{(1.45 - 1.43) \times 0.0949 \times 8,000}{2.500} \text{ มิลลิกรัม/ลิตร}$$

$$= 6.0736 \times 50 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร}$$

$$= 303.68 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายสารเคมี

1. ตัวอย่างการคำนวณการใช้เฟอร์รัสไอออน

- เฟอร์รัสไอออนใช้ไป 0.04 โมล ได้มาจากเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 11.1111 กรัม ในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร (ราคา AR grade 750 บาท/กิโลกรัม หรือ 0.75 บาท/กรัม)

$$\text{ราคาเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (AR grade)} = 11.1111 \times 0.75 = 8.3333 \text{ บาท}$$

ดังนั้น ในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 8.3333 บาท (AR grade) ถ้าน้ำเสีย 10 ลิตร จะใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 833.33 บาท (AR grade) และถ้าน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 83,333 บาท (AR grade)

2. ตัวอย่างการคำนวณการใช้เปอร์ซัลเฟตไอออน

- เปอร์ซัลเฟตไอออนใช้ไป 0.04 โมล ได้มาจากโซเดียมเปอร์ซัลเฟต 9.5238 กรัม ในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร (ราคา AR grade 1,030/กิโลกรัม หรือ 1.03 บาท/กรัม)

$$\text{ราคาโซเดียมเปอร์ซัลเฟต (AR grade)} = 9.5238 \times 1.03 = 9.8095 \text{ บาท}$$

ดังนั้น ในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 9.8095 บาท (AR grade) ถ้าน้ำเสีย 10 ลิตร จะใช้โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 980.95 บาท (AR grade) และถ้าน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 98,095 บาท (AR grade)

3. ตัวอย่างการคำนวณการใช้กรดซัลฟูริกในการปรับพีเอช

- กรดซัลฟูริก 6 โมลาร์ ใช้ปรับพีเอชจากประมาณ 6 เป็น 3 ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร ในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร จากภาคผนวก ข.3 ดวงซัลฟูริกเข้มข้นมา 33.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดซัลฟูริก 6 โมลาร์ (ราคา AR grade กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% ราคา 156 บาท/ลิตร หรือ 0.156 บาท/มิลลิลิตร)

$$\text{ราคากรดซัลฟูริก (100 มิลลิลิตร) (AR grade)} = 33.5 \times 0.156 = 5.2260 \text{ บาท}$$

$$\text{ราคากรดซัลฟูริก (0.15 มิลลิลิตร) (AR grade)} = (0.15 \times 5.2260) / 100 = 0.0078 \text{ บาท}$$

ดังนั้น ในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้กรดซัลฟูริก 0.0078 บาท (AR grade) ถ้าน้ำเสีย 10 ลิตร จะใช้กรดซัลฟูริก 0.78 บาท (AR grade) และถ้าน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้กรดซัลฟูริก 78 บาท (AR grade)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตัวอย่างการคำนวณการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอช

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ ใช้ปรับพีเอชจากประมาณ 3.00 เป็น 7.50 ปริมาตร 14.5 มิลลิลิตร ในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร จากภาคผนวก ข.2 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 240 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ (ราคา AR grade โซเดียมไฮดรอกไซด์ ราคา 290 บาท/กิโลกรัม หรือ 0.29 บาท/กรัม)

$$\text{ราคาโซเดียมไฮดรอกไซด์ (1,000 มิลลิลิตร) (AR grade)} = 240 \times 0.29 = 69.6000 \text{ บาท}$$

$$\text{ราคาโซเดียมไฮดรอกไซด์ (14.5 มิลลิลิตร) (AR grade)} = (14.5 \times 69.6) / 1000 = 1.0092 \text{ บาท}$$

ดังนั้น ในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0092 บาท (AR grade) ถ้าน้ำเสีย 10 ลิตร จะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10.092 บาท (AR grade) และถ้าน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10,092 บาท (AR grade)

5. ตัวอย่างการคำนวณการเตรียมน้ำสังเคราะห์

- น้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากภาคผนวก ข.1 น้ำมันหล่อลื่น 5 มิลลิลิตร ดีเทอร์เจนท์ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร จะได้น้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร (ดีเทอร์เจนท์ราคา 48 บาท/ลิตร 0.048 บาท/มิลลิลิตร)

$$\text{ราคา ดีเทอร์เจนท์ (100 มิลลิลิตร)} = (100 \times 0.048) / 1000 = 0.0048 \text{ บาท}$$

ดังนั้นในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้ดีเทอร์เจนท์ 0.0048 บาท

6. ตัวอย่างการคำนวณค่าไฟฟ้าในการใช้เครื่องอัลตราโซนิก

- จากเครื่องอัลตราโซนิก ขนาด 10 ลิตร 200 วัตต์ ใช้เวลาในการทดลองเป็นเวลา 30 นาที

$$\text{กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)} = (\text{กำลังไฟฟ้า(วัตต์)} / 1,000) \times \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า}$$

$$= (200 / 1000) \times 1$$

$$= 0.2000 \text{ กิโลวัตต์}$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)} = \text{กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)} \times \text{เวลา (ชั่วโมง)}$$

$$= 0.2 \times 0.5$$

$$= 0.1000 \text{ หน่วย}$$

จากอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก $0.1000 \times 3.2484 = 0.3248$ บาท

จากอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง $0.1000 \times 3.1751 = 0.3175$ บาท

จากอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ $0.1000 \times 3.1751 = 0.3175$ บาท

หมายเหตุ 1. ราคาสารเคมี มาจาก บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด ณ วันที่ 1 มีนาคม 2562

2. อัตราค่าไฟฟ้ามาจากการไฟฟ้านครหลวง

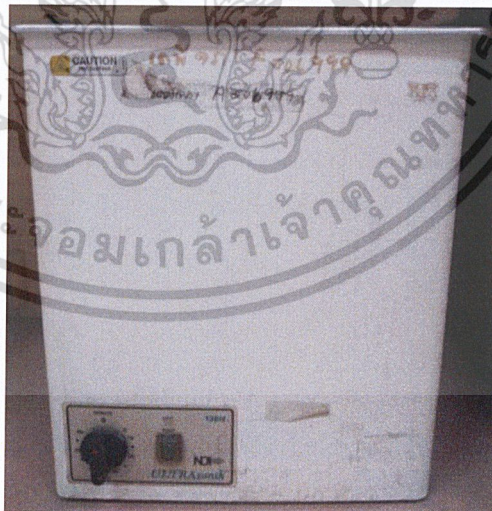
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ภาพประกอบการทดลอง



รูปที่ จ-1 เครื่อง Magnetic stirrer



รูป จ-2 เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป จ-3 เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

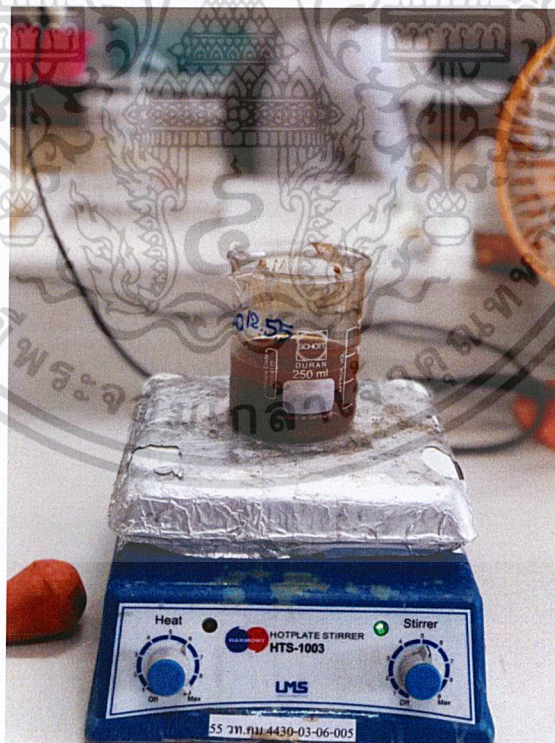


รูป จ-4 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (Digital Balance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

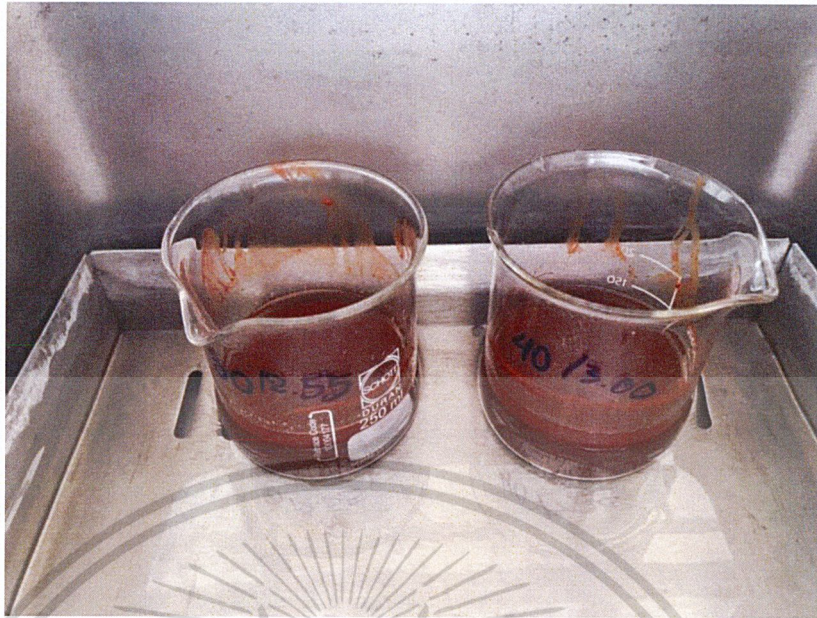


รูป จ-5 น้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำมันหล่อลื่นและดีเทอร์เจนท์ เข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร



รูป จ-6 ชุดการทดลองระบบปั่นกวน โดยเครื่อง Magnetic stirrer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป จ-7 ชุดการทดลองเทคนิคโซนิเคชัน โดยเครื่อง Ultrasonic cleaner



รูป จ-8 ชุดการทดลองการกรองตะกอนเหล็กไฮดรอกไซด์ โดยเครื่องกรองสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ตารางผลการทดลองทั้งหมด

ตารางที่ ฉ-1 ผลการทดลองการศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นเฟอร์สไอออนที่เหมาะสม (ซีไอดี)

ครั้งที่	ความเข้มข้น เฟอร์สไอออน (โมล/ลิตร)	ปริมาณ ซีไอดี (มก./ล.)	ครั้งที่	ความเข้มข้น เฟอร์สไอออน (โมล/ลิตร)	ปริมาณ ซีไอดี (มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด
1	น้ำกลั่นก่อน การบำบัด	0.00	1	0.0	5,314.4	56.52
2		0.00	2		5,314.4	56.52
3		0.00	3		5,538.6	54.69
ค่าเฉลี่ย		0.00	ค่าเฉลี่ย		5,314.4	56.52
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
1	น้ำเสียสังเคราะห์ ก่อนการบำบัด	12,224.00	1	0.1	4,555.2	62.74
2		12,224.00	2		4,555.2	62.74
3		13,111.83	3		4,555.2	62.74
ค่าเฉลี่ย		12,224.00	ค่าเฉลี่ย		4,555.2	62.74
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
1	น้ำกลั่นหลัง การบำบัด (Blank)	0.00	1	0.2	2,277.6	81.37
2		0.00	2		2,314.6	81.07
3		0.00	3		2,277.6	81.37
ค่าเฉลี่ย		0.00	ค่าเฉลี่ย		2,277.6	81.37
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
หมายเหตุ เส้นคาดสีดำ เป็นการตัดข้อมูลที่สงสัยออกโดยการทดสอบ Q-test

ครั้งที่	ความเข้มข้น เฟอรัสไอออน (โมล/ลิตร)	ปริมาณ ซีไอดี (มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด
1	0.3	1,518.4	87.58
2		1,518.4	87.58
3		1,518.4	87.58
ค่าเฉลี่ย		1,518.4	87.58
SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	0.00
1	0.4	759.2	93.79
2		703.5	94.24
3		703.5	94.24
ค่าเฉลี่ย		703.5	94.24
SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	0.00
1	0.5	1,496.6	87.76
2		1,496.6	87.76
3		1,496.6	87.76
ค่าเฉลี่ย		1,496.6	87.76
SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-2 ผลการทดลองการศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นเปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสม (ซีโอดี)

ครั้งที่	ความเข้มข้น เปอร์ซัลเฟต (โมล/ลิตร)	ปริมาณ ซีโอดี (มก./ล.)	ครั้งที่	ความเข้มข้น เปอร์ซัลเฟต (โมล/ลิตร)	ปริมาณ ซีโอดี (มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด
1	น้ำกลั่นก่อน การบำบัด	0.00	1	1: 1	584.65	94.80
2		0.00	2		584.65	94.80
3		0.00	3		584.65	94.80
ค่าเฉลี่ย		0.00	ค่าเฉลี่ย		584.65	94.80
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
1	น้ำเสียสังเคราะห์ ก่อนการบำบัด	11,250.58	1	1: 2	1,518.4	86.50
2		11,250.58	2		1,518.4	86.50
3		11,145.43	3		1,518.4	86.50
ค่าเฉลี่ย		11,250.58	ค่าเฉลี่ย		1,518.4	86.50
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
1	น้ำกลั่นหลัง การบำบัด (Blank)	0.00	1	1: 3	3,036.8	73.01
2		0.00	2		3,036.8	73.01
3		0.00	3		3,036.8	73.01
ค่าเฉลี่ย		0.00	ค่าเฉลี่ย		3,036.8	73.01
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
1	1: 0	6,832.8	1	1: 4	3,796	66.26
2		6,555.4	2		3,796	66.26
3		6,555.4	3		3,512	68.78
ค่าเฉลี่ย		6,555.4	ค่าเฉลี่ย		3,796	66.26
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
เปอร์เซ็นต์การบำบัด		41.73				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ความเข้มข้น เปอร์ซัลเฟต (โมล)	ปริมาณ ซีโอดี (มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด
1	1: 5	5,314.4	52.76
2		5,314.4	52.76
3		5314.4	52.76
ค่าเฉลี่ย		5,314.4	52.76
SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	0.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓-3 ผลการทดลองการศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นเปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสม (ซีโอดี)

ครั้งที่	ความเข้มข้น เปอร์ซัลเฟต (โมล/ลิตร)	ปริมาณ ซีโอดี (มก./ล.)	ครั้งที่	ความเข้มข้น เปอร์ซัลเฟต (โมล/ลิตร)	ปริมาณ ซีโอดี (มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด
1	น้ำกลั่นก่อน การบำบัด	0.00	1	0.6	2,963.2	73.43
2		0.00	2		2,963.2	73.43
3		0.00	3		2,963.2	73.43
ค่าเฉลี่ย		0.00	ค่าเฉลี่ย		2,963.2	73.43
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
1	น้ำเสียสังเคราะห์ ก่อนการบำบัด	11150.50	1	0.7	4,324.0	61.22
2		11150.50	2		4,565.3	59.06
3		11150.50	3		4,565.3	59.06
ค่าเฉลี่ย		11150.50	ค่าเฉลี่ย		4,565.3	59.06
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
1	น้ำกลั่นหลัง การบำบัด (Blank)	0.00	1	0.8	5,185.6	53.49
2		0.00	2		5,014.4	55.03
3		0.00	3		5,315.3	52.33
ค่าเฉลี่ย		0.00	ค่าเฉลี่ย		5,171.8	53.62
SD		0.00	SD		150.93	1.35
%RSD		0.00	%RSD		2.92	2.52
1	0.5	2,224.4	1	0.9	6667.2	87.58
2		2,056.8	2		6667.2	87.58
3		2,224.4	3		6667.2	87.58
ค่าเฉลี่ย		2,224.4	ค่าเฉลี่ย		6667.2	87.58
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-4 ผลการทดลองการศึกษาหาค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสม (ซีโอดี)

ครั้งที่	พีเอช	ปริมาณ ซีโอดี (มก./ล.)	ครั้งที่	พีเอช	ปริมาณ ซีโอดี (มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด
1	น้ำกลั่นก่อน	0.00	1	2	884.80	92.90
2	การบำบัด	0.00	2		865.10	93.05
3	(ไม่ปรับพีเอช: 4.37)	0.00	3		814.01	93.46
ค่าเฉลี่ย		0.00	ค่าเฉลี่ย		854.74	93.14
SD		0.00	SD		36.37	0.29
%RSD		0.00	%RSD		4.26	0.31
1	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อน	12,454.81	1	3	590.11	95.26
2	การบำบัด	12,454.81	2		574.55	95.39
3	(ไม่ปรับพีเอช: 5.68)	12,454.81	3		595.00	95.22
ค่าเฉลี่ย		12,454.81	ค่าเฉลี่ย		586.55	95.29
SD		0.00	SD		10.68	0.09
%RSD		0.00	%RSD		1.82	0.09
1	น้ำกลั่นหลังการบำบัด	0.00	1	4	1,689.60	86.43
2	Blank	0.00	2		1,545.45	87.59
3	(ไม่ปรับพีเอช: 4.37)	0.00	3		1,689.60	86.43
ค่าเฉลี่ย		0.00	ค่าเฉลี่ย		1,689.60	86.43
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
1	น้ำเสียสังเคราะห์หลัง	4,015.51	1	5	3379.20	72.87
2	การบำบัด	4,015.51	2		3540.15	71.58
3	(ไม่ปรับพีเอช: 5.68)	4,015.51	3		3515.49	71.77
ค่าเฉลี่ย		4,015.51	ค่าเฉลี่ย		3478.28	72.07
SD		0.00	SD		86.69	0.70
%RSD		0.00	%RSD		2.49	0.97
เปอร์เซ็นต์การบำบัด		67.76				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๕-5 ผลการทดลองการศึกษาหาเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม (ซีโอดี)

ครั้งที่	เวลาในการเกิดปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณซีโอดี (มก./ล.)	ครั้งที่	เวลาในการเกิดปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณซีโอดี (มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์การบำบัด
1	น้ำกลั่นก่อนการบำบัด	0.00	1	10	7,434.50	35.12
2		0.00	2		7,013.15	38.79
3		0.00	3		7,013.15	38.79
ค่าเฉลี่ย		0.00	ค่าเฉลี่ย		7,013.15	38.79
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
1	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการบำบัด	10,514.44	1	20	4,520.20	60.55
2		11,458.11	2		4,520.20	60.55
3		11,458.11	3		4,520.20	60.55
ค่าเฉลี่ย		11,458.11	ค่าเฉลี่ย		4,520.20	60.55
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
1	น้ำกลั่นหลังการบำบัด (Blank)	0.00	1	30	1,115.40	90.27
2		0.00	2		1,027.25	91.03
3		0.00	3		1,095.55	90.44
ค่าเฉลี่ย		0.00	ค่าเฉลี่ย		1,079.40	90.58
SD		0.00	SD		46.24	0.40
%RSD		0.00	%RSD		4.28	0.44
1	0	8,943.5	1	40	580.19	94.94
2		8,943.5	2		580.19	94.94
3		8,943.5	3		611.50	94.66
ค่าเฉลี่ย		8,943.5	ค่าเฉลี่ย		580.19	94.94
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
เปอร์เซ็นต์การบำบัด		21.95				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	เวลาในการ เกิดปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณซีโอดี (มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด
1	50	601.44	94.75
2		594.41	94.81
3		617.13	94.61
ค่าเฉลี่ย		604.33	94.73
SD		11.63	0.10
%RSD		1.92	0.11
1	60	594.53	94.81
2		607.85	94.70
3		600.11	94.76
ค่าเฉลี่ย		600.83	94.76
SD		6.69	0.06
%RSD		1.11	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-6 ผลการทดลองการศึกษาหาเวลาการใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม

ครั้งที่	เวลาในการเกิดปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณซีโอดี (มก./ล.)	ครั้งที่	เวลาในการเกิดปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณซีโอดี (มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์การบำบัด
1	น้ำกลั่นก่อนการบำบัด	0.00	1	10	1,014.47	91.49
2		0.00	2		1,094.54	90.82
3		0.00	3		1,100.79	90.77
ค่าเฉลี่ย		0.00	ค่าเฉลี่ย		1,069.93	91.03
SD		0.00	SD		48.13	0.40
%RSD		0.00	%RSD		4.50	0.44
1	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการบำบัด	12,101.55	1	20	871.11	92.69
2		11,923.74	2		871.11	92.69
3		11,923.74	3		871.11	92.69
ค่าเฉลี่ย		11,923.74	ค่าเฉลี่ย		871.11	92.69
SD		0.00	SD		0.00	0.00
%RSD		0.00	%RSD		0.00	0.00
1	น้ำกลั่นหลังการบำบัด	0.00	1	30	596.65	95.00
2		0.00	2		605.44	94.92
3		0.00	3		611.13	94.87
ค่าเฉลี่ย		0.00	ค่าเฉลี่ย		604.41	94.93
SD		0.00	SD		7.30	0.07
%RSD		0.00	%RSD		1.21	0.07
1	0	9,011.00	1	40	599.00	94.98
2		8,945.00	2		601.55	94.96
3		8,945.00	3		588.33	95.07
ค่าเฉลี่ย		8,945.00	ค่าเฉลี่ย		596.30	95.00
SD		0.00	SD		7.01	0.06
%RSD		0.00	%RSD		1.18	0.06
เปอร์เซ็นต์การบำบัด		24.98				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้