

สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดนิกเกิล: กรณีศึกษาน้ำเสียที่มี
สภาพอิมัลชันของน้ำมันและไขมัน
THE OPTIMUM CONDITIONS FOR NICKEL
WASTEWATER TREATMENT:
A CASE STUDY WITH EMULSION OF OIL AND GREASE



สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2561 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE OPTIMUM CONDITIONS FOR NICKEL WASTEWATER
TREATMENT:
A CASE STUDY WITH EMULSION OF OIL AND GREASE



A COOPERATIVE EDUCATION 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ACADEMIC YEAR 2018

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดนิเกิล: กรณีศึกษาน้ำเสียที่มีสภาพอิมัลชันของน้ำมันและไขมัน

The Optimum Conditions for Nickel Wastewater Treatment:
a Case Study with Emulsion of Oil and Grease

ชื่อนักศึกษา นางสาว ชิตาภา ขาดิขำนิ รหัสนักศึกษา 58050605
นางสาว ปิ่นธิดา เอี่ยมท้วม รหัสนักศึกษา 58050651
นางสาว วาสนา ตนสาลี รหัสนักศึกษา 58050679

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการคุมสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ประธานกรรมการ	
น.ส.พัชรินทร์ เงินใบอ่อน กรรมการ	Patchornin N.
ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดนิกเกิล: กรณีศึกษาน้ำเสียที่มีสภาพอิมัลชันของน้ำมันและไขมัน		
ชื่อนักศึกษา	นางสาว ชิตาภา ขาดิขานี	รหัสนักศึกษา	58050605
	นางสาว ปิ่นธิดา เอี่ยมท้วม	รหัสนักศึกษา	58050651
	นางสาว วาสนา ตนสาลี	รหัสนักศึกษา	58050679
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		
ปีการศึกษา	2561		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์		

บทคัดย่อ

ในขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรกล เกิดน้ำเสียมีสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงจากสารเคมีและคราบไขมัน เมื่อนำมารวมกับน้ำเสียจากขั้นตอนอื่น ๆ เพื่อทำการบำบัดในระบบบำบัดเดียวกัน ทำให้น้ำเสียหลังการบำบัดมีค่าที่เกินค่ากำหนด สหกิจศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำลายสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงของน้ำเสีย (2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำลายสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงของน้ำเสียด้วยการให้ความร้อนและการดูดซับ และ (3) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว ในการทดลองให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ และตัวดูดซับ 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (GAC), ถ่านกัมมันต์แบบผง (PAC) และทราย โดยรับน้ำเสียจากบ่อล้างคราบไขมัน (จุด A) เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการบำบัด ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่ดีที่สุดในการทำลายสภาพอิมัลชัน คือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 60 นาที โดยใช้ PAC เป็นตัวดูดซับ การเปรียบเทียบราคาพบว่า PAC มีราคาสูงกว่าชนิดอื่น แต่ในการบำบัดนิกเกิลโดยใช้ PAC ให้ประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด ส่วนผลการทำลายสภาพอิมัลชันจากการผสมน้ำจุด A กับน้ำเสียจากบ่อที่มีฟอสเฟต (จุด B) ในอัตราส่วน 1.6:1, 4:1 และ 1:4 แล้วค่อยตกตะกอนของนิกเกิล พบว่าค่านิกเกิลทั้ง 3 อัตราส่วน ปริมาณนิกเกิลไม่เกินค่ากำหนดของบริษัท และเมื่อนำน้ำเสียจากจุด A ทำลายสภาพอิมัลชันตามสภาวะที่เหมาะสมก่อนนำมาผสมกับน้ำจุด B สามารถสกัดน้ำมันและไขมันออกได้ถึง 68.43, 61.79 และ 61.79% ตามลำดับและลดปริมาณนิกเกิลค้างในระบบบำบัดได้ถึงร้อยละ 48.39, 89.36 และ 89.36 % ตามลำดับ

คำสำคัญ : การบำบัดนิกเกิล, น้ำเสียที่มีสภาพอิมัลชันของน้ำมันและไขมัน, ถ่านกัมมันต์, การทำลาย

สภาพอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	The Optimum Conditions for Nickel Wastewater Treatment: a Case Study with Emulsion of Oil and Grease
Students	Miss Chitapa Chatchumni Student ID 58050695 Miss Pinthida lamthuum Student ID 58050651 Miss Wasana Tonsalee Student ID 58050679
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2018
Advisor	Asst.Prof.Krongkeaw Tippayasak

Abstract

In the process of machining, the wastewater has a high emulsion conditions causing from chemicals and grease. When combined with wastewater from other procedures to treat in the same treatment system consequence, wastewater has exceeded values than the set value. Thus, the aims of this cooperative education were to: (1) study the optimum conditions for breaking the stable emulsion condition of wastewater (2) compare the efficiency of the demulsifying condition of wastewater with heating at various temperatures and times. Furthermore, absorption and (3) analyze the amount of nickel (Ni) in the effluent. The 3 types of adsorbents, namely, activated carbon (GAC), powdered activated carbon (PAC) and sand were examined, by receiving wastewater from the degreasing tank (point A). To find the best condition in treatment. The results showed that the optimum conditions for demulsified were: to heat it at 60°C for 60 minutes and using PAC as an adsorbent. For price comparison, it found that PAC is more expensive than other types. But in the removal of Ni, using the PAC to have best significantly grease absorption. As a result, after demulsifying, the mixing of wastewater (point A) and wastewater from phosphate ponds (point B) in the ratio 1.6:1, 4:1 and 1:4, precipitation of nickel was done. It found that the nickel values in all 3 ratios, did not exceed the company's limitations. When removing wastewater from point A, demulsifying according to the appropriate conditions before mixing with wastewater from Point B can remove oil and grease up to 68.43, 61.79 and 61.79% respectively and reduce the amount of nickel in the treatment system up to 48.39, 89.36 and 89.36% respectively.

Keywords: Nickel removal, Wastewater with emulsion of Oil and Grease, Activated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ carbon, Demulsifying เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษาเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือ และได้รับคำปรึกษาดี ๆ จากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการดำเนินโครงการ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบริษัทผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร ที่ให้โอกาสผู้ศึกษาในการทำงานวิจัยให้กับบริษัท ทำให้ผู้ศึกษาได้รับความรู้ และประสบการณ์จากการทำงานจริงซึ่งเป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยในการนำไปพัฒนาตนเองให้มีศักยภาพ ตลอดจนสามารถนำไปปรับใช้ในชีวิตประจำวันได้ ซึ่งในการทำสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ และการสนับสนุนจากทางบริษัทตลอดระยะเวลาในการทำสหกิจศึกษา

- | | | |
|-----------------|-----------------|----------------------------|
| 1. คุณสมชัย | ลิ่มทองสิทธิกุล | ผู้จัดการฝ่ายผลิตแทรกเตอร์ |
| 2. คุณพัชรินทร์ | เงินใบอ่อน | ผู้จัดการส่วนสิ่งแวดล้อม |
| 3. คุณธิตินงค์ | พัฒน์มานนท์ | เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม |
| 4. คุณธณภพ | เลิศมหาฤทธิ | เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม |

และบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนในด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ และมีคุณค่าต่อการทำสหกิจศึกษาในครั้งนี้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนร่วมทุกท่านที่ให้ทั้งความรู้ ข้อมูล รวมไปถึงคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำรายงานเล่มนี้ให้สมบูรณ์

ชิตาภา ขาดิขานี
ปิ่นธิดา เอี่ยมท้วม
วาสนา ดนสาสิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 บริษัทผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร.....	3
2.1.1 นิยามเครื่องจักรกลการเกษตร.....	3
2.1.2 การผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร.....	4
2.1.3 ระบบบำบัดน้ำเสีย.....	4
2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	6
2.2.1 ความเป็นกรดและด่าง (pH).....	6
2.2.2 ความต้องการออกซิเจนทางเคมี.....	7
2.2.3 น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease).....	7
2.3 มันทึปนเปื้อนในน้ำเสีย.....	9
2.3.1 น้ำมันที่ละลายน้ำ.....	9
2.3.2 น้ำมันที่เป็นอิมัลชันและไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสม.....	9
2.3.3 น้ำมันที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสม.....	10
2.3.4 น้ำมันที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสม.....	10
2.4 อิมัลชัน (Emulsion).....	10
2.4.1 หลักการของอิมัลชัน.....	10
2.4.2 ชนิดและลักษณะของอิมัลชัน (Emulsion Classification).....	11
2.4.3 ลักษณะของอิมัลชันโดยทั่วไป.....	12
2.4.4 ส่วนประกอบของอิมัลชัน (Emulsion Component).....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของเจ้าของลิขสิทธิ์ไว้ก่อนออกจำหน่ายให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านวิชาการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.5 กลไกการเกิดอิมัลชัน (Mechanisms of Emulsion).....	13
2.4.6 การใช้ตัวกลางเพื่อทำลายอิมัลชัน (Emulsification)	13
2.4.7 ความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion Stability)	13
2.5 ดิมัลซิไฟเออร์ (DEMULSIFIER).....	14
2.5.1 ลักษณะดิมัลซิไฟเออร์ (Demulsifiers Characteristics).....	14
2.5.2 กลไกของดิมัลซิไฟเคชัน (Mechanism of Demulsification)	15
2.5.3 การแบ่งประเภทของดิมัลซิไฟเออร์ (Demulsifiers Classification).....	15
2.6 ไมเซลล์ (Micelle).....	16
2.6.1 โครงสร้างและรูปร่างของไมเซลล์	16
2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไมเซลล์	17
2.7 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกคูเลชัน (Flocculation).....	18
2.7.1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation).....	18
2.7.2 กลไกโคแอกกูเลชัน	22
2.7.3 การใช้สารช่วงสร้างตะกอน (Coagulation Aid).....	25
2.7.4 การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	26
2.8 นิกเกิล (Nickel).....	27
2.8.1 คุณสมบัติของนิกเกิล.....	27
2.8.2 การนำนิกเกิลมาใช้ประโยชน์	27
2.8.3 ความเป็นพิษของนิกเกิล.....	28
2.8.4 การปนเปื้อนในน้ำเสีย.....	28
2.9 ตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง	30
2.9.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon; AC).....	30
2.9.2 ทราย (Sand).....	32
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	36
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	36
3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	36
3.1.2 สารเคมี.....	36
3.2 วิธีการทดลอง.....	37
3.2.1 จุดเก็บตัวอย่าง.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการทำลายสภาพอิมัลชัน.....	38
3.4 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วยตัวดูดซับ.....	38
3.5 ผลของการทำลายสภาพอิมัลชันต่อการตกตะกอนของนิกเกิล.....	39
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	41
4.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....	41
4.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการทำลายสภาพอิมัลชัน.....	43
4.3 ผลการศึกษาการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วยตัวดูดซับ.....	44
4.4 ผลการศึกษาการทำลายสภาพอิมัลชันต่อการตกตะกอนของนิกเกิล.....	46
4.4.1 ผลการตกตะกอนของนิกเกิลน้ำผสมแบบต่าง ๆ ในสัดส่วนน้ำจืด A : B	48
เป็น 1.6:1	48
4.4.2 ผลการตกตะกอนของนิกเกิลน้ำผสมแบบต่าง ๆ สัดส่วนน้ำจืด A : B	49
เป็น 4:1	49
4.4.3 ผลการตกตะกอนของนิกเกิลน้ำผสมแบบต่าง ๆ สัดส่วนน้ำจืด A : B	51
เป็น 1:4	51
4.5 เปรียบเทียบความคุ้มต่อการลงทุนการบำบัดเบื้องต้นด้วยตัวดูดซับ GAC, PAC.....	52
และ SAND.....	52
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	54
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	54
เอกสารอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก.....	61
ภาคผนวก ข.....	64
ภาคผนวก ค.....	67
ภาคผนวก ง.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดหยดอนุภาคของวีฎภาคภายใน	11
3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดน้ำตัวอย่าง	37
4.1 คุณลักษณะของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์	45
4.2 เปรียบเทียบความคุ้มค่าต่อการลงทุนการบำบัดเบื้องต้นด้วยตัวดูดซับ	52
ค-1 สมบัติน้ำเสียของจุด C และจุด O	67
ค-2 พารามิเตอร์ของการทำลายสภาพอิมัลชันด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ	68
ค-3 ผลของการทำลายสภาพอิมัลชันด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	69
ค-4 พารามิเตอร์ของการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย GAC, PAC และ SAND	71
ค-5 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย GAC	73
ค-6 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย PAC	75
ค-7 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย SAND	77
ค-8 พารามิเตอร์การดูดซับน้ำมันและไขมันของน้ำจากจุด A ผสมกับน้ำจากจุด B ด้วย GAC	79
ค-10 ผลการบำบัดนิกเกิลในน้ำจากจุด A	81
ง-1 ผลของการทำลายสภาพอิมัลชันด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ในเวลา 60 นาที	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากจุด C และ จุด O ปี 2561	42
4.3 ความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) ในน้ำเสียจากจุด C และ จุด O ปี 2561	42
4.4 ความเข้มข้นของสังกะสี (Zn) ในน้ำเสียจากจุด C และ จุด O ปี 2561.....	42
4.5 ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันเฉลี่ยในน้ำจากจุด A ก่อนและหลังทำลายสภาพอิมัลชัน.....	44
4.6 ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันเฉลี่ยจากการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วยตัวดูดซับ	46
4.7 ความเข้มข้นนิกเกิล (Ni) ของการแยกบำบัดนิกเกิลจากจุด B.....	47
4.8 ความเข้มข้นสังกะสี (Zn) ของการแยกบำบัดนิกเกิลจากจุด B.....	47
4.9 ลักษณะตะกอนหลังการบำบัด (24 ชั่วโมง).....	48
4.10 ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำผสมแบบต่าง ๆ ในสัดส่วนน้ำจุด A : B เป็น 1.6:1..	49
4.11 ความเข้มข้นนิกเกิลของน้ำผสมแบบต่าง ๆ ในสัดส่วนน้ำจุด A : B เป็น 1.6:1	49
4.12 ความเข้มข้นไขมันและน้ำมันของน้ำผสมแบบต่าง ๆ ในสัดส่วนน้ำจุด A : B เป็น 4:1	50
4.13 ความเข้มข้นนิกเกิลของน้ำผสมแบบต่าง ๆ ในสัดส่วนน้ำจุด A : B เป็น 4:1.....	50
4.14 ความเข้มข้นไขมันและน้ำมันของน้ำผสมแบบต่าง ๆ ในสัดส่วนน้ำจุด A : B เป็น 1:4.....	51
4.15 ความเข้มข้นนิกเกิลของน้ำผสมแบบต่าง ๆ ในสัดส่วนน้ำจุด A : B เป็น 1:4	52
4.16 น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นสภาวะเหมาะสม และตัวดูดซับต่าง ๆ.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
GAC	ถ่านกัมมันต์ แบบเกล็ด (Granular Activated Carbon)
PAC	ถ่านกัมมันต์ แบบผง (Powder Activated Carbon)
°C	องศาเซลเซียส (Degree Celsius)
pH	ค่าความเป็นกรดและด่าง (Potential of Hydrogen ion)
Ni	นิกเกิล (Nickel)
Zn	สังกะสี (Zinc)
COD	ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ (Chemical Oxygen Demand)
Kem clear	สารรวมตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรมีความสำคัญมากยิ่งขึ้น เกษตรกรนิยมใช้เครื่องจักรกลการเกษตรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งสามารถช่วยทุ่นแรง เพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เพิ่มคุณภาพ และสนับสนุนระบบการผลิตทางการเกษตรอุตสาหกรรม ซึ่งมีบทบาทด้านการใช้งานในภาคเกษตรกรรมของประเทศเป็นสำคัญ เครื่องจักรกลการเกษตรประกอบไปด้วย ชิ้นส่วนต่าง ๆ โดยจะผลิตจากวัสดุที่แตกต่างกันทั้งประเภทและคุณภาพ วัสดุหลักที่จะถูกมาใช้ในการผลิต ได้แก่ วัสดุประเภทโลหะและพลาสติก ซึ่งวัสดุโลหะหลักที่ใช้ คือ เหล็ก ส่วนวัสดุโลหะที่นอกเหนือจากเหล็ก คือ ทองแดง สังกะสี และนิกเกิล (เจษฎา, 2554) รวมทั้งมีการใช้สารเคมี และน้ำมันชนิดต่าง ๆ ซึ่งทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตนั้นมีลักษณะของน้ำเสียจากแต่ละขั้นตอนการผลิตมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกัน

สารเคมีและน้ำมันที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรกลอาจส่งผลให้น้ำเสียจากขั้นตอนนั้นมีสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูง และเมื่อนำมารวมกับน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตอื่น ๆ เพื่อทำการบำบัดในระบบบำบัดเดียวกัน ประสิทธิภาพของการบำบัดอาจลดลงทำให้น้ำเสียหลังการบำบัดมีค่าพารามิเตอร์ที่เกินค่ากำหนด ดังนั้นบริษัทผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรจำเป็นต้องทำการแก้ไขปัญหา เพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพสามารถทำให้ค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียอยู่ในช่วงค่าที่กำหนดได้

ดังนั้น สหกิจศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาน้ำเสียจากบริษัทผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรที่มีสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงส่งผลต่อประสิทธิภาพของการกำจัดนิกเกิล โดยทำการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำลายสภาพอิมัลชันของน้ำเสียด้วยความร้อน ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันและไขมันของตัวดูดซับ และทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นนิกเกิลในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดตามสภาวะการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นในภาคอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการทำลายสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงของน้ำเสีย
- 2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำลายสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงของน้ำเสียด้วยความร้อน และความคุ้มทุนของวิธีการ
- 3) เพื่อศึกษาการทำลายสภาพอิมัลชันด้วยสภาวะที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนของนิกเกิล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำลายสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงของน้ำเสียด้วยความร้อน ซึ่งแปรค่า
 - ความร้อน โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ 40 °C, 60 °C และ 80 °C
 - เวลา โดยกำหนดระยะเวลาในการให้ความร้อนนาน 15, 30 และ 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันและไขมันของตัวดูดซับ โดยแปรชนิดของตัวดูดซับ 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon; PAC), ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (Granular Activated Carbon; GAC) และทราย (Sand) โดยใช้ความร้อนและเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 1
- 3) ศึกษาการทำลายสภาพอิมัลชันด้วยสภาวะที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนของนิกเกิล โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 แบบ ได้แก่
 - แบบแยกบำบัดจากจุด B
 - แบบน้ำผสม A + B ปกติ ในสัดส่วน 1.6:1, 4:1 และ 1:4 โดยปริมาตร
 - แบบผสม A ผ่านสภาวะที่เหมาะสม + B ในสัดส่วน 1.6:1, 4:1 และ 1:4 โดยปริมาตร
 - แบบผสม A + B แล้วผ่านสภาวะที่เหมาะสม ในสัดส่วน 1.6:1, 4:1 และ 1:4 โดยปริมาตร
- 4) พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ได้แก่ ความเป็นกรดและด่าง (pH), ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical oxygen demand; COD), น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) และนิกเกิล (Nickel; Ni)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ปัจจัยที่เหมาะสมในการทำลายสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงของน้ำเสีย และความคุ้มค่าทุนในการบำบัด
- 2) ได้สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดเบื้องต้นด้วยวิธีทางเคมีในการบำบัดนิกเกิล
- 3) สามารถนำสภาวะที่ทำการศึกษามาประยุกต์ใช้ได้ในภาคอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บริษัทผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร

2.1.1 นิยามเครื่องจักรกลการเกษตร (เกษตร, 2554)

เครื่องจักรกลการเกษตร (Agricultural machinery) คือ เครื่องจักรและเครื่องมือที่ใช้ในภาคเกษตรกรรมเกี่ยวกับพืชและสัตว์ โดยมีวัตถุประสงค์การใช้งานเพื่อช่วยทุ่นแรง เพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เพิ่มคุณภาพ แปรสภาพผลผลิตการเกษตร และสนับสนุนระบบการผลิตทางการเกษตรอุตสาหกรรม ซึ่งมีบทบาทด้านการใช้งานในภาคเกษตรกรรมของประเทศเป็นสำคัญ สามารถแบ่งประเภทของเครื่องจักรกลการเกษตรตามพิกัดศุลกากร (Harmonized System: HS Code) และลักษณะการใช้งานโดยทั่วไปของเครื่องจักรกลการเกษตรไทย ได้ดังนี้

1) **แทรกเตอร์ (Tractors)** เป็นเครื่องจักรกลการเกษตรที่มีความสำคัญต่อการทำเกษตรกรรมแผนใหม่ เนื่องจากใช้เป็นแหล่งต้นกำลังหลักสำหรับลากและขับเคลื่อนหรือเครื่องมือการเกษตรอื่น ๆ โดยแทรกเตอร์ที่ใช้ในการเกษตรมีทั้งชนิด 4 ล้อ และ 2 ล้อ ซึ่งแทรกเตอร์ 4 ล้อสามารถแบ่งตามแรงม้าได้ 3 ขนาด คือ ขนาดเล็กต่ำกว่า 15 แรงม้า ขนาดกลาง 18-50 แรงม้า และขนาดใหญ่ 50 แรงม้าขึ้นไป ส่วนแทรกเตอร์ 2 ล้อ เรียกอีกชื่อว่า รถไถเดินตาม (Pedestrian controlled tractors) มีขนาดแรงม้าไม่เกิน 15 แรงม้า

2) **เครื่องเตรียมดิน (Tillage equipment)** เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเกษตรสำหรับการเตรียมดินเพาะปลูก แบ่งเป็นเครื่องเตรียมดินครั้งแรก เช่น ไถหัวหมู (Moldboard plow) ไถจาน (Disk plow) ไถดินดาน (Subsoiler) ไถยกร่อง (Lister) และเครื่องมือเตรียมดินครั้งที่สอง เช่น พรวนจาน (Disk harrow) พรวนซี่สปริง (Spring tooth harrow) คราด (Spike) ลูกกลิ้ง (Land roller) ฟันลาก (Float)

3) **เครื่องปลูก (Planting equipment)** เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางการเกษตร เพื่อกำหนดตำแหน่งปลูกด้วยวิธีการต่าง ๆ ตามกรรมวิธีในการปลูกและเลี้ยงดูต้นไม้นับตั้งแต่เพาะเมล็ดหรือนำต้นที่โตแล้ว หรือส่วนใดส่วนหนึ่งของต้น ได้แก่ หัว กิ่ง ต้นอ่อน ไปปลูกแล้วบำรุงให้เจริญเติบโต เช่น เครื่องหว่านเมล็ด (Spacing drill) เครื่องปลูกพืชหัว (Planters) เครื่องย้ายต้นกล้า/ดำนา (Transplanters) เครื่องปลูกอ้อย (Sugar cane planter)

4) **เครื่องบำรุงรักษา (Crop protection equipment)** เช่น เครื่องสูบน้ำ (Water pumps) เครื่องพ่นยา (Sprays) เครื่องพรุนระหว่างแถว (Cultivator) เครื่องหว่านปุ๋ย (Fertilizer distributors) เครื่องตัดหญ้า (Mowers)

5) **เครื่องเก็บเกี่ยว (Harvesting equipment)** เช่น เครื่องเกี่ยวนวดข้าว (Combine harvester) เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อย (Sugar harvester) เครื่องทำฟ่อนฟาง (Straw or fodder balers) เครื่องนวด (Threshing) เครื่องสี (Hullers and mills) เครื่องเก็บเกี่ยวรากหรือหัวพืช (Root or tuber harvesting)

6) **เครื่องมืออื่น ๆ (Other equipment)** ได้แก่ เครื่องจักรที่ใช้ในงานปศุสัตว์ (Livestock machine) เช่น เครื่องรีดนม (Milking machines) เครื่องเตรียมอาหารสัตว์ (Feeding stuffs) เครื่องเลี้ยงสัตว์ปีก (Poultry keeping) และเครื่องทุ่นแรงที่ทำให้ผลผลิตสำเร็จรูป (Crop

เอกสารนี้... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

processing equipment) เช่น เครื่องคัดแยกขนาด (Grading) เครื่องอบแห้ง (Dryers) เครื่องยก (Conveyors)

2.1.2 การผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร

2.1.2.1 เทคโนโลยีการผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตของอุตสาหกรรมเครื่องจักรกล สามารถแบ่งออกได้ 3 ระดับ

1) เทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัย (High-End Technology) การใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัย จะใช้เครื่องจักรกลที่ผลิตขึ้นส่วนหรือกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องจักรที่มีความละเอียดสูง มีการดูแลและบำรุงรักษาอย่างเป็นระบบ มีการออกแบบทางวิศวกรรม บริษัทส่วนใหญ่ที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตระดับนี้จะเป็นบริษัทที่มีการร่วมทุนกับต่างประเทศ มีการลงทุนสูง และได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากรัฐบาล

2) เทคโนโลยีการผลิตปานกลาง (Middle-End Technology) บริษัทที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตปานกลางส่วนมากจะเป็นผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีความแม่นยำพอสมควร แต่ส่วนมากจะนำเข้าเครื่องจักรจะเป็นการปรับปรุงแก้ไขให้สภาพดีก่อนนำมาใช้งาน

3) เทคโนโลยีการผลิตพื้นฐาน (Low-End Technology) เป็นเทคโนโลยีที่มีความแม่นยำหรือความเที่ยงตรงน้อย ทำให้สามารถผลิตได้เพียงชิ้นส่วนทั่วไปหรือชิ้นงานที่มีราคาต่ำ บริษัทผู้ประกอบการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลการเกษตรและรับจ้างผลิตชิ้นส่วนทั่วไปจะนิยมใช้เทคโนโลยีนี้

2.1.2.2 วัสดุที่ใช้ในการผลิต (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2549)

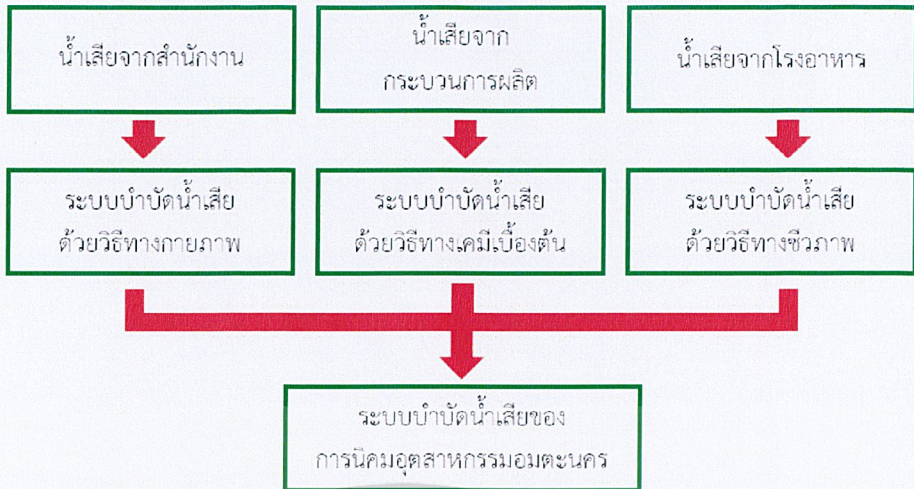
เครื่องจักรกลการเกษตร ประกอบด้วย ชิ้นส่วนต่าง ๆ ซึ่งผลิตจากวัสดุที่มีความแตกต่างกันทั้งประเภทและคุณภาพ วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนจึงต้องถูกเลือกและออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ส่วนมากใช้วัสดุประเภทโลหะและพลาสติก เนื่องจากมีความทนทานเพราะการใช้งานเครื่องจักรกลการเกษตรต้องสัมพันธ์กับภูมิอากาศและภูมิประเทศแบบต่าง ๆ

สัดส่วนของการใช้วัสดุประเภทโลหะในการผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรอยู่ที่ประมาณร้อยละ 90 โดยโลหะส่วนมากที่ใช้ คือ เหล็ก ซึ่งเหล็กที่ใช้มีหลายประเภท เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กอบเหนียว เหล็กหล่อ และเหล็กหล่อเหนียว โลหะอื่นที่นอกเหนือจากเหล็ก ได้แก่ ทองแดง อลูมิเนียม ดีบุก สังกะสี และนิกเกิล ส่วนวัสดุพลาสติกที่ส่วนใหญ่ใช้ คือ อะคริลิก ฟีนอลิก โพลีไวนิล และโพลีเอสเตอร์ เป็นต้น

2.1.3 ระบบบำบัดน้ำเสีย

โดยทั่วไปบริษัทผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรต้องมีการบำบัดน้ำเสียและมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียของบริษัทให้คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ก่อนที่จะระบายน้ำลงสู่ท่อรับน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมและข้อกำหนดอื่นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งระบบบำบัดน้ำของ บริษัทผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรแบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ และระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีเบื้องต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การจัดการน้ำเสียของบริษัทผลิตรถแทรกเตอร์และรถเก็บเกี่ยว

2.1.3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ

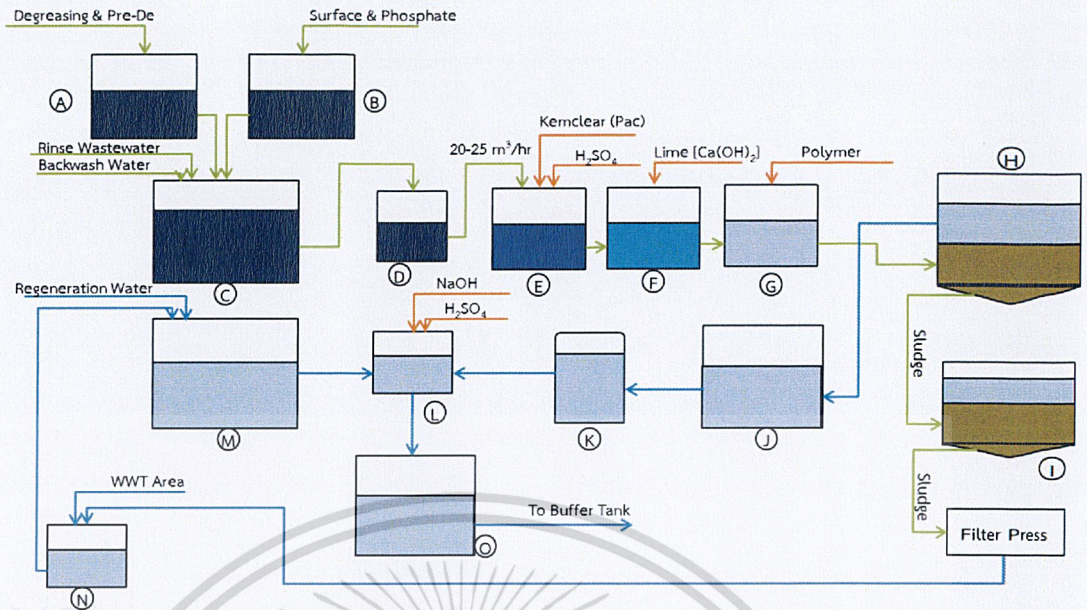
เป็นวิธีการแยกสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสียโดยวิธีที่ใช้ในการบำบัดทางกายภาพ ได้แก่ ตะแกรง (Screen), การตกตะกอน (Sedimentation) และการกรอง (Filtration) ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพนี้ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากสำนักงาน ประกอบไปด้วยน้ำเสียจากอ่างล้างมือ ห้องน้ำ

2.1.3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ

ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพใช้ในการบำบัดน้ำจากโรงอาหาร โดยใช้หลักการทางชีวภาพในการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

2.1.3.3 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีเบื้องต้น

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมีเบื้องต้นในการทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 กระบวนการทางเคมีเบื้องต้นที่บริษัทเลือกใช้ ได้แก่ กระบวนการตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical precipitation), การสร้าง-รวมตะกอนเคมี (Coagulation - Flocculation) และการปรับพีเอช (pH adjustment) ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีเบื้องต้นใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิต ประกอบไปด้วย น้ำเสียจากการเตรียมพื้นผิวชิ้นงานโลหะ น้ำเสียจากการทดสอบรอยร้าว, น้ำเสียจากการพ่นสี และน้ำเสียล้างถังสี (ED)



รูปที่ 2.2 แผนภาพระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีเบื้องต้น

หมายเหตุ : A = Degrease batch wastewater tank (40 m^3) I = Sludge thickener tank (30 m^3)
 B = Phosphate batch wastewater tank (25 m^3) J = Holding tank (30 m^3)
 C = Continuous wastewater tank (105 m^3) K = Double layer filter ($30 \text{ m}^3/\text{hr}$)
 D = Flow control tank L = Final pH adjust tank (6 m^3)
 E = pH adjust tank (10 m^3) M = Neutralization tank (40 m^3)
 F = Coagulation tank (10 m^3) N = Sump pit Tank (3 m^3)
 G = Flocculation tank (6 m^3) O = Discharge Tank (30 m^3)
 H = Sedimentation tank (105 m^3)

2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

2.2.1 ความเป็นกรดและด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอช (pH) เป็นค่าแสดงปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่ใช้บอกสภาพความเป็นกรด-ด่างของสาร โดย pH ย่อมาจาก Potential of the hydrogen ions ซึ่งค่า pH เป็นค่าลอการิทึมปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) มีค่าตั้งแต่ 0 – 14 แสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของ H^+ ในน้ำบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ถ้ามีค่าเท่ากับ 7 ถือว่ามีสภาพเป็นกลาง กล่าวคือ ไม่มีความเป็นกรด-ด่าง ค่า pH น้อยกว่า 7 มีสภาพเป็นกรด และค่า pH มากกว่า 7 ถือว่ามีสภาพเป็นด่าง (สมาร์ท การ์เดน, 2559)

วิธีการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มี 2 วิธี ดังนี้

1) วิธีเปรียบเทียบสี (Colorimetric) เป็นการวัดโดยประมาณความถูกต้อง 0.5 หน่วย pH วัดโดยเติมสารอินดิเคเตอร์ (Indicator solution) ที่เหมาะสมลงในสารละลายที่ต้องการวัดค่า pH จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer) ที่ทราบค่า pH ที่แน่นอน ซึ่งเติมอินดิเคเตอร์ชนิดเดียวกันลงไป หรือใช้กระดาษชุบสารอินดิเคเตอร์ที่เรียกว่า กระดาษลิตมัส (Litmus) จุ่มลงในสารละลายที่ต้องการวัดค่า pH แล้วนำไปเปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ชนิดใช้วัดกรด ชนิดใช้วัดด่าง และชนิดใช้วัดได้ทั้งกรดและด่าง (Universal litmus)

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปัจจุบันไม่นิยมนำมาใช้เพราะความถูกต้องแม่นยำต่ำ และสารอินดิเคเตอร์ (Indicator) ซึ่งแยกเป็น 2 ชนิด สำหรับตรวจสอบความเป็นกรดและด่าง ไม่สะดวกในการนำมาใช้งาน ต่อมา มีการนำอินดิเคเตอร์หลาย ๆ ชนิด ที่เปลี่ยนสีตามค่า pH ต่าง ๆ ผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม ทำให้สามารถบอกค่า pH ละเอียดยิ่งขึ้น เรียกว่า ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ (Universal indicator)

2) วิธีการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (Electrical Potential) วิธีนี้สามารถวัดค่า pH ได้อย่างละเอียดความถูกต้อง 0.01 หน่วย pH โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า pH meter สามารถค่า pH ได้โดยวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่เกิดขึ้นระหว่าง Indicator electrode และ Reference electrode จากนั้นเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เป็นค่า pH โดยแสดงผลเป็นตัวเลขมี 2 ชนิด ได้แก่ สำหรับวัดค่า pH ของน้ำ (Water pH meter) และสำหรับวัดค่า pH ของดิน (Soil pH meter) ปัจจุบันวิธีนี้เป็นที่นิยมเนื่องจากมีความถูกต้องแม่นยำสูง สะดวกในการใช้งาน รวมถึงปัจจุบันราคาถูกลงมาก

2.2.2 ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand; COD)

ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD) เป็นค่าที่วัดถึงปริมาณทั้งหมดของออกซิเจนที่ใช้โดยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ รวมถึงสารอินทรีย์ที่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้

กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) เกิดขึ้นโดยการใช้สารเคมีที่ทำหน้าที่ให้เกิดการรวมตัวกับออกซิเจนหรือเป็นตัวออกซิเด้นซ์ เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate) และโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate) การใช้สารเคมีเป็นตัวชี้วัดทางอ้อมถึงปริมาณของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของออกซิเจนที่ต้องใช้ (พงเดือน, 2558)

2.2.3 น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease)

น้ำมันและไขมันที่อยู่ในน้ำเสียไม่ว่าจะเป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรม คราวเรือนและชุมชน น้ำมันและไขมันทางวิชาอินทรีย์เคมี หมายถึง สารประกอบเอสเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นสารอาหารหลัก แต่ในทางสิ่งแวดล้อม หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ที่สามารถสกัดได้ด้วยตัวละลาย เช่น เฮกเซน อีเทอร์ เป็นต้น (พงเดือน, 2558; วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545)

2.2.3.1 การวิเคราะห์น้ำมันและไขมัน

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำแต่ไม่ได้เป็นการทดสอบหาปริมาณไขมันทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่างซึ่งจะหมายถึง สารประกอบไฮโดรคาร์บอน กรดไขมัน สบู่ ไขมัน ชีมีน น้ำมัน เป็นต้น โดยการสกัดตัวอย่างน้ำด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (Hexane) จากตัวอย่างที่ถูกทำให้เป็นกรดแล้วสารนั้นจะต้องไม่กลายเป็นไอในระหว่างการระเหยตัวอย่างและชั่งน้ำหนัก (ศิริพล และ วราภรณ์, 2554 อ้างถึง กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

วิธีการมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำมันและไขมันมี 3 วิธี ได้แก่

1) วิธีพาร์ทิชัน-ชั่งน้ำหนัก (Partition - Gravimetric method) เป็นการหาปริมาณโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนสกัดน้ำมันและไขมันออกจากตัวอย่างน้ำ จากนั้นแยกตัวทำละลายออกเพื่อนำไประเหยให้เหลือแต่น้ำมันและไขมัน ซึ่งชั่งเป็นน้ำหนักได้

2) วิธีพาร์ทิชัน-อินฟราเรด (Partition - Infrared Method) เป็นการหาปริมาณโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน สกัดน้ำมันและไขมันออกจากตัวอย่างน้ำ จากนั้นแยกตัวทำละลายออกแล้วนำไป
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมควบคุมมลพิษ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดด้วยเครื่อง Infrared spectrometer แบบไล่คลื่นแสง เพื่อวัดปริมาณโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

3) **วิธีซอกซ์เลต (Soxhlet)** เป็นวิธีการหาปริมาณ โดยวิธีนี้ใช้ในกรณีที่ต้องการวัดอย่างมีความสละสลวย ซึ่งสิ่งต่าง ๆ ในน้ำอาจขัดขวางการสกัดด้วยตัวทำละลาย วิธีนี้จะทำให้น้ำมันไขมันแยกตัวจากน้ำ โดยการเติมกรดเกลือ (HCl) หรือกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ให้ได้ค่าความเป็นกรดต่างน้อยกว่า 2 เพื่อปลดปล่อยกรดไขมัน กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมักเป็นสารไม่ละลายน้ำ ซึ่งสามารถกรองออกจากน้ำด้วยกระดาษกรอง เมื่อนำกระดาษกรองไปอบแห้งเพื่อไล่น้ำจะเหลือเฉพาะน้ำมันและไขมันบนกระดาษกรอง จากนั้นจึงใช้ตัวทำละลายสกัดออก และเมื่อนำตัวทำละลายไประเหยให้แห้ง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คือ ปริมาณน้ำมันและไขมัน

2.2.3.2 การกำจัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย

เนื่องจากน้ำมันและไขมันอาจส่งผลเสียต่อการบำบัดน้ำเสีย ทำให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพลดลง จึงจำเป็นต้องทำการกำจัดน้ำมันและไขมันออกให้ได้มากที่สุด ซึ่งวิธีในการกำจัดน้ำมันและไขมันสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 วิธี คือ วิธีกำจัดทางกายภาพ วิธีกำจัดทางเคมี และวิธีกำจัดทางชีวภาพ

1) วิธีกำจัดทางกายภาพ

เป็นวิธีที่ควบคุม กำจัด และเก็บกวาดน้ำมันและไขมันด้วยหลักการทางกลศาสตร์ หรือการใช้อุปกรณ์เครื่องมือ โดยที่แต่ละอุปกรณ์มีหลักการ และประสิทธิภาพในการทำงานแตกต่างกัน และในบางครั้งอาจมีการใช้อุปกรณ์มากกว่า 1 ชนิดในการกำจัดน้ำมัน และไขมัน วิธีการนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นมาตรฐานทั่วไปในการกำจัดน้ำมันและไขมัน เนื่องจากทำได้รวดเร็ว ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ และวิธีการไม่ซับซ้อน วิธีการทางกายภาพมีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ การทำให้ลอยตัวโดยธรรมชาติ การเติมอากาศ และการใช้วัสดุดูดซับ

1.1) **การทำให้ลอยตัวโดยธรรมชาติ** เป็นวิธีการที่อาศัยคุณสมบัติในเรื่องของความถ่วงจำเพาะ ซึ่งน้ำมันและไขมันมีความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่าน้ำ เมื่อมีระยะเวลาในการพักน้ำเสียในถังเพียงพอจะทำให้ไขมันและไขมันลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่ผิวน้ำ โดยจะใช้ถังดักไขมันและเครื่องแยกไขมัน วิธีการนี้เหมาะสมกับแหล่งน้ำเสียที่มีปริมาณน้ำเสียและปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันและไขมันไม่สูง (สุธีลา และคณะ, 2544)

1.2) **การเติมอากาศ** เป็นการเป่าอากาศลงไปในน้ำเสียโดยตรง ทำให้เกิดฟองอากาศพา น้ำมันและไขมันให้ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ โดยฟองอากาศเป็นตัวที่จะพาน้ำมันและไขมันให้ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำได้เร็วยิ่งขึ้น โดยเฉพาะน้ำมันและไขมันที่ไม่สามารถแยกได้ด้วยถังดักไขมันหรือต้องใช้ระยะเวลาในการพักน้ำเสียนานทำให้ถังดักไขมันต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น

1.3) **การใช้วัสดุดูดซับ** เป็นวิธีการทางกายภาพที่ใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำมันและไขมันออกจากน้ำ วัสดุที่จะนำมาใช้อาจทำมาจากเส้นใยสังเคราะห์ หรือเส้นใยพืชที่เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายภายในท้องถิ่น โดยทั่วไปวัสดุดูดซับควรมีคุณสมบัติดังนี้ สามารถลอยตัวอยู่ได้บนน้ำ มีความหนาแน่นต่ำเพื่อให้ลอยตัวบนน้ำได้ และสามารถดูดซับน้ำมันและไขมันไว้ในตัวได้ดี สะดวกต่อการใช้งาน มีขั้นตอนการใช้งานที่ไม่ยุ่งยาก ไม่เป็นพิษ หรือไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2) วิธีการกำจัดทางเคมี

เป็นวิธีการกำจัดน้ำมันและไขมันด้วยการเติมสารเคมีที่ใช้สำหรับแยกน้ำมันและไขมันออกจากน้ำ สารเคมีที่ใช้มีส่วนประกอบของสารลดแรงตึงผิวทำให้ไปทำลายเสถียรภาพของน้ำมันไขมัน โดยไม่ทำร้ายสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีนี้จะให้ความแตกต่างของแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและไขมันกับน้ำลดจนแรงตึงผิวของน้ำมันและไขมันใกล้เคียงกับน้ำ ทำให้น้ำมันและไขมันกระจายตัวและช่วยป้องกันการรวมตัวกันของน้ำมันกับไขมันด้วย ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันและไขมันเกิดการรวมตัวกันกลายเป็นก้อนแล้วตกตะกอนลงในน้ำ แต่วิธีการกำจัดทางเคมีจะก่อให้เกิดมลพิษต่อน้ำได้ต่อไป

3) วิธีการกำจัดทางชีวภาพ

วิธีการกำจัดน้ำมันและไขมันที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพ หรือใช้จุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ รา แบคทีเรีย มาช่วยย่อยสลายน้ำมันและไขมัน โดยปกติแล้วในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีจุลินทรีย์ประเภทต่าง ๆ อาศัยอยู่ จุลินทรีย์เหล่านี้จะดำรงชีวิตอยู่ได้โดยอาศัยอาหารที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ ดังนั้นเมื่ออาศัยหลักการตามธรรมชาติ สารปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสียในรูปของสารอินทรีย์ก็จะกลายเป็นอาหารและถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายต่อไป วิธีการกำจัดทางชีวภาพจึงสามารถแบ่งออกตามลักษณะของปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์ได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ การย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจน และการย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน

3.1) การย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจน เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ซึ่งออกซิเจนส่วนใหญ่ที่จุลินทรีย์นำมาใช้มาจากออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ เมื่อจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์เสร็จจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง ถ้าปริมาณออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพอจุลินทรีย์ก็จะตาย จึงจำเป็นต้องมีการเติมออกซิเจนลงไปใต้น้ำ เหมาะสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอคทีเวเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge process) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed wetland)

3.2) การย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน จะเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน เหมาะสำหรับกระบวนการสัมผัสแบบไร้อากาศ (Anaerobic contact process) บ่อพักไร้อากาศ

2.3 มันทึบปนเปื้อนในน้ำเสีย (มณฑิรา, 2559 อ้างถึง มั่นรักษ์ และมันสิน, 2545)

น้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียมี 4 รูปแบบ คือ

2.3.1 น้ำมันที่ละลายน้ำ

โดยทั่วไปคนมักคิดกันว่า น้ำมันไม่เข้ากับน้ำหรือน้ำมันไม่ละลายน้ำ แท้จริงแล้วน้ำมันสามารถละลายน้ำได้ ซึ่งเมื่อโมเลกุลลดความสามารถในการละลายน้ำ (Solubility) และความสามารถในการระเหย (Volatility) ของน้ำมันจะเพิ่มขึ้น ถ้าน้ำมันเบา (Light oil) จะสามารถละลายน้ำและระเหยได้ดีกว่าน้ำมันหนัก (Heavy oil) ความสามารถในการละลายน้ำของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นตามค่าความไม่อิ่มตัว (Unsaturation) และค่าโพลาริตี (Polarity) ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งปัญหาของน้ำมันที่ละลายน้ำได้นั้นการที่จะตรวจสอบด้วยสายตาจึงเป็นไปได้ยาก เนื่องจากน้ำมันมีลักษณะละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ แต่อาจจจะรับรู้ได้โดยการไต่กลิ่น (พวงเดือน, ม.ป.ป.)

2.3.2 น้ำมันที่เป็นอิมัลชันและไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสม

เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความปั่นป่วน (Turbulence) เช่น เครื่องสูบน้ำ วาล์ว ใบพัด จุดเปลี่ยนขนาดของท่อ ฯลฯ ทำให้เกิดการกระจายของหยดน้ำมันในน้ำจนเกิดเป็นอิมัลชันที่มีหยดน้ำมันขนาดเล็ก โดยพลังงานที่ทำให้เกิดความปั่นป่วนและแรงตึงผิวระหว่างผิวน้ำมันกับน้ำ (Oil-water interfacial tension) มีผลต่อขนาดของหยดน้ำมัน แต่เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเพียงชั่วคราว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อหยุดเขย่าหยดของเหลวเหล่านั้นจะพยายามกลับมารวมตัวกันและแยกชั้นดังเดิม เนื่องจากมีการปรับสภาพเข้าสู่จุดคงสภาพโดยการลดพื้นที่ผิวที่สัมผัสกันให้น้อยที่สุด

2.3.3 น้ำมันที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสม

การที่มีสารลดแรงตึงผิวผสมอยู่ทำให้แรงตึงผิว (Surface tension) ระหว่างน้ำมันกับน้ำลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวโดยใช้พลังงานที่เท่ากัน จะพบว่าพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำมันกับน้ำเพิ่มขึ้นมากทำให้ขนาดของหยดน้ำมันมีขนาดเล็กลงมาก ในส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิกของสารลดแรงตึงผิวทำให้มีประจุไฟฟ้าที่ผิวของหยดน้ำมันเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น และยากต่อการขจัดโดยวิธีทั่วไป (พิมพ์, 2540)

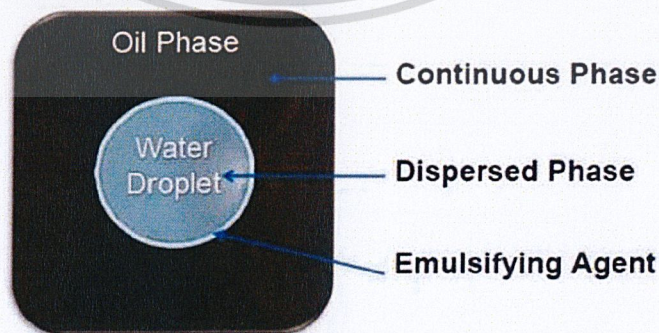
2.3.4 น้ำมันที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสม

การที่มีสารลดแรงตึงผิวผสมอยู่ทำให้แรงตึงผิว (Surface tension) ระหว่างน้ำมันกับน้ำลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวโดยใช้พลังงานที่เท่ากัน จะพบว่าพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำมันกับน้ำเพิ่มขึ้นมากทำให้ขนาดของหยดน้ำมันมีขนาดเล็กลงมาก ในส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิกของสารลดแรงตึงผิวทำให้มีประจุไฟฟ้าที่ผิวของหยดน้ำมันเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น และยากต่อการขจัดโดยวิธีทั่วไป (พิมพ์, 2540)

2.4 อิมัลชัน (Emulsion)

2.4.1 หลักการของอิมัลชัน

อิมัลชัน (Emulsion) หมายถึง สารผสมที่ประกอบด้วยของเหลวตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งปกติไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น น้ำกับน้ำมัน ถ้าต้องผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันจะต้องใช้ตัวทำอิมัลชัน (Emulsifier) เป็นตัวผสมทั้งสองเข้าด้วยกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นถ้ามองด้วยตาเปล่าเห็นลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ถ้านำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เห็นเป็น 2 ภูมิภาค คือ เห็นเป็นหยดเล็ก ๆ เกิดจากการที่ของเหลวชนิดหนึ่งแตกตัวออกมา เรียกว่า ภูมิภาคภายในหรือภูมิภาคกระจายตัว (Internal or dispersed phase) กระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า ภูมิภาคภายนอกหรือส่วนที่ต่อเนื่อง (External or continuous phase) แสดงดังรูปที่ 2.3 โดยทั่วไปหยดของภูมิภาคภายในอาจมีขนาดต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ขนาดที่เล็กกว่า 0.05 ไมครอน จนถึง 25 ไมครอน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งขนาดอนุภาคของภูมิภาคภายในมีผลต่อการกระจายแสงได้ต่างกัน จึงทำให้อิมัลชันมีลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้แตกต่างกัน (Johann, 2006)



รูปที่ 2.3 ระบบของอิมัลชันทั้งสองภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ขนาดหยดอนุภาคของวิภูภาคภายใน

ขนาดของอนุภาค (ไมครอน)	ลักษณะอิมัลชันที่มองเห็น
เล็กกว่า 0.05	โปร่งใส (Transparent)
0.05 – 0.10	ขุ่นหรือโปร่งใส (Translucent)
0.10 – 1.00	สีขาวอมฟ้า
ใหญ่กว่า 1.00	ขุ่นขาวทึบ

ที่มา : มณฑิรา, 2559 อ้างถึง วรธิดา (2556), อูรชา (2554)

2.4.2 ชนิดและลักษณะของอิมัลชัน (Emulsion Classification)

การแบ่งชนิดของอิมัลชันสามารถแบ่งออกได้หลายลักษณะ ดังนี้

2.4.2.1 อิมัลชันตามลักษณะภายนอกที่เห็น ได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) แมคโครอิมัลชัน (Macroemulsion) อนุภาคของวิภูภาคภายในของอิมัลชันจะมีขนาดตั้งแต่ 0.25 – 10 ไมครอน แต่โดยทั่วไปจะมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะส่งผลทำให้เกิดความแตกต่างในค่าดัชนีการหักเหของแสงของทั้งสองวิภูภาค และเกิดการกระจายแสงทำให้มองเห็นสารอิมัลชันชนิดนี้ลักษณะขุ่นขาว อิมัลชันชนิดนี้สามารถแบ่งย่อยได้เป็นอิมัลชันเนื้อหยาบ (Coarse emulsion) เป็นอิมัลชันซึ่งมีอนุภาคของวิภูภาคภายในค่อนข้างใหญ่ และอิมัลชันเนื้อละเอียด (Fine emulsion) ที่มีอนุภาคค่อนข้างเล็กหรือเล็กกว่า 5 ไมครอนลงไป

2) ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) เนื่องจากอนุภาคของวิภูภาคภายในเล็กมาก (ประมาณ 10 – 75 nm) มีค่าน้อยกว่า 1 ใน 4 ของความยาวคลื่นแสงที่สามารถมองเห็นได้ (Visible light) จึงไม่หักเหหรือกระจายแสง แสงจึงสามารถทะลุผ่านได้ ทำให้สามารถมองเห็นอิมัลชันชนิดนี้มีลักษณะโปร่งใส หยดของวิภูภาคภายในมีลักษณะกลมถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มของตัวทำอิมัลชัน มีทั้งอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in oil emulsion: W/O) และอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion: O/W)

2.4.2.2 อิมัลชันตามชนิดของของเหลวที่เป็นวิภูภาคภายในและวิภูภาคภายนอก

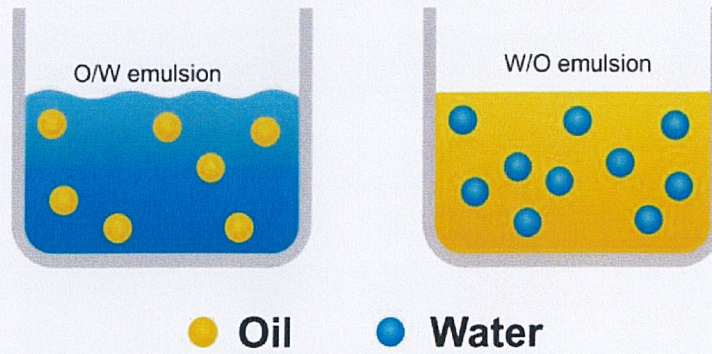
แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1) อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in oil emulsion: W/O) อิมัลชันชนิดนี้จะมีวิภูภาคภายในเป็นน้ำ และวิภูภาคภายนอกเป็นน้ำมัน

2) อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion: O/W) อิมัลชันชนิดนี้จะมีวิภูภาคภายในเป็นน้ำมัน และวิภูภาคภายนอกเป็นน้ำ

3) อิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple emulsion) เป็นอิมัลชันที่มีวิภูภาคภายในซ้อนทับกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิด เช่น Water in oil in water emulsion (W/O/W) หรือ Oil in water in oil emulsion (O/W/O) แต่อิมัลชันเชิงซ้อนสามารถกลับมาเป็นอิมัลชันชนิดธรรมดาได้ เช่น Water in oil in water emulsion (W/O/W) ซึ่งมีน้ำเป็นวิภูภาคภายนอก และน้ำมันเป็นวิภูภาคภายใน ซึ่งมีหยดเล็ก ๆ ของหยดน้ำซ้อนอยู่อีกที่ เมื่อทำให้กลับเป็นอิมัลชันธรรมดาจะกลายเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion: O/W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion: O/W) และอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in oil emulsion: W/O) (Schramm, 1992)

2.4.3 ลักษณะของอิมัลชันโดยทั่วไป

- ลักษณะปรากฏ (Appearance) ส่วนใหญ่อิมัลชันจะมีสีขาวนวล ไม่โปร่งแสง เนื่องจากการกระจายของแสงเกิดจากส่วนของวัฏภาคภายใน (Dispersed phase) แต่ถ้าดัชนีหักเหส่วนของวัฏภาคภายในเท่ากับส่วนของวัฏภาคภายนอก (Continuous phase) จะทำให้อิมัลชันมีลักษณะโปร่งแสงได้แสงได้
- ความหนืด (Viscosity) ของเหลวที่มารวมกันเป็นอิมัลชันมีความหนืดน้อย แต่เมื่อเกิดเป็นอิมัลชันมีความหนืดที่เพิ่มมากขึ้น
- ลักษณะสัมผัส (Feel) ขึ้นกับชนิดและลักษณะของวัฏภาคภายใน (Dispersed phase) และวัฏภาคภายนอก (Continuous phase)
- การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ขึ้นกับส่วนของวัฏภาคภายนอก (Continuous phase) ซึ่งนำไฟฟ้าเมื่อเป็นของเหลวชนิดมีขั้ว (Polar)
- การกระจายตัว (Dispersibility) เป็นสมบัติการกระจายตัวของอิมัลชันในของเหลวโดยขึ้นกับส่วนของวัฏภาคภายนอก (Continuous phase) ถ้าเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion: O/W) จะกระจายตัวได้ในน้ำ และอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in oil emulsion: W/O) กระจายตัวได้ในน้ำมัน

2.4.4 ส่วนประกอบของอิมัลชัน (Emulsion Component)

ส่วนประกอบหลักของรูปแบบอิมัลชันมีส่วนสำคัญ 3 ส่วนหลัก ๆ คือ

2.4.4.1 วัฏภาคน้ำ (Water phase) ได้แก่ น้ำและสารต่าง ๆ ที่อาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ละลายได้ในน้ำ อาจเป็นสารเพิ่มความหนืด สารลดแรงตึงผิว สีที่ละลายน้ำและสารต้านออกซิเดชัน นอกจากนี้ยังเป็นสารที่ออกฤทธิ์อื่นที่ละลายน้ำได้

2.4.4.2 วัฏภาคน้ำมัน (Oil phase) ได้แก่ น้ำมันต่าง ๆ ไขแข็ง สีที่ละลายในน้ำมัน น้ำหอมต่างๆ สารกันเหี่ยว สารลดแรงตึงผิว และสารออกฤทธิ์ต่าง ๆ

2.4.4.3 ตัวทำอิมัลชัน (Emulsifier) ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว คอลลอยด์ที่ชอบน้ำและของแข็งอนุภาคละเอียด ตัวทำอิมัลชันเป็นตัวสำคัญที่จะผสมผสานให้วัฏภาคน้ำและวัฏภาคน้ำมันรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 กลไกการเกิดอิมัลชัน (Mechanisms of Emulsion)

สารผสมระหว่างน้ำและน้ำมันจะไม่สามารถละลายเข้ากันได้ เมื่อถูกนำมาผสมกันจะเกิดการแยกชั้นเป็นสองชั้น เนื่องจากเกิดแรงตึงผิวระหว่างผิวของน้ำและน้ำมันขึ้น แต่เมื่อมีการเขย่า การคนหรือการกวนซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานและเพิ่มพื้นที่ พลังงานที่ใส่เข้าไปจะเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำและน้ำมัน ซึ่งจะทำให้ของเหลวนั้นกระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ ในกันและกัน และมีการเกิดลักษณะของอิมัลชันขึ้น แต่เกิดขึ้นเพียงชั่วคราวเท่านั้น โดยหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ อธิบายว่า การเขย่าจะเพิ่มพลังงานอิสระให้แก่พื้นที่ผิว (Surface free energy) ของเหลวจึงรวมเข้ากันได้ สถานะดังกล่าวจะไม่คงสภาพ เพราะเมื่อหยุดเขย่าหรือหยุดกวนของเหลว ของเหลวก็จะพยายามกลับมารวมตัวและแยกชั้นกันดังเดิม เนื่องจากการปรับสภาวะให้เข้าจุดคงสภาพโดยลดพื้นที่ผิวการสัมผัสระหว่างกันน้อยที่สุด แต่ลักษณะดังกล่าวสามารถเกิดได้อย่างถาวร ถ้ามีการกระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ ในกันและกันของน้ำและน้ำมัน โดยที่ยังคงสภาพอยู่ซึ่งไม่แยกกลับชั้นด้วยการลดแรงตึงผิวของของเหลวทั้งสองได้ ด้วยการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ลงไปก่อนการเขย่า การคนหรือการกวน ดังนั้นการเกิดอิมัลชันได้ต้องอาศัยกระบวนการทั้งสองขั้นตอน คือ

- 1) การทำให้ของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในแตกกระจายเป็นหยดเล็ก ๆ โดยอาศัยการให้พลังงานซึ่งอาจใช้ในรูปแบบของความร้อน (Heat) การเขย่าหรือการกวน (Mechanical agitation) การสั่นสะเทือนโดยคลื่นเสียง (Ultrasonic vibration) หรือไฟฟ้า (Electricity) เป็นต้น
- 2) การทำให้หยดเล็ก ๆ ที่กระจายตัวอยู่คงสภาพอยู่ได้ ซึ่งอาศัยตัวทำอิมัลชันหรือเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ให้มันคงสภาพ

2.4.6 การใช้ตัวกลางเพื่อทำลายอิมัลชัน (Emulsification)

การทำลายอิมัลชัน คือ การทำลายชั้นรอยต่อระหว่างน้ำกับน้ำมัน และลดแรงตึงผิวของทั้งด้านน้ำมันและด้านน้ำ

อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เป็นสารช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับของเหลวอินทรีย์ที่ไม่รวมกับน้ำ เช่น น้ำมัน อิมัลชันส่วนใหญ่ที่พบมีลักษณะเป็นน้ำผสมกับน้ำมัน โดยน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วและน้ำมันเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว โดยที่อิมัลซิไฟเออร์ โมเลกุลมีลักษณะพิเศษโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีขั้วสามารถละลายได้ในน้ำ และส่วนที่ไม่มีขั้วซึ่งสามารถละลายในน้ำมันได้ ทำให้อิมัลซิไฟเออร์หันเหโมเลกุล และดูดซับแทรกตัวอยู่ระหว่างผิวของน้ำกับอนุภาคน้ำมัน โดยลักษณะการหันเหโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์จะขึ้นอยู่กับชนิดของอิมัลชัน หลักการของวิธีนี้ คือ ตัวกลางจะต้องมีลักษณะชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งใช้สำหรับแยกน้ำออกจากน้ำมัน (Water in oil emulsion: W/O) หรือที่มีลักษณะชอบน้ำมัน (Olephilic) ซึ่งใช้สำหรับแยกน้ำมันออกจากน้ำ (Oil in water emulsion: O/W)

2.4.7 ความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion Stability)

การให้อิมัลชันมีความเสถียรคงตัว โดยการรวมของเหลวที่ปกติจะไม่รวมตัวกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปให้เป็นสารเนื้อเดียว ซึ่งส่วนของวัฏภาคภายในจะต้องมีขนาดเล็ก ๆ อยู่ในส่วนของวัฏภาคภายนอก ส่วนใหญ่อิมัลชันมีความคงตัวในการเคลื่อนไหวอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และเมื่อเวลาผ่านไปอิมัลชันจะเกิดการกระจายตัวสารแยกออกจากกัน แต่จะถือว่าอิมัลชันเป็นระบบที่ไม่มี ความคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเป็นประโยชน์ในการค้นคว้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

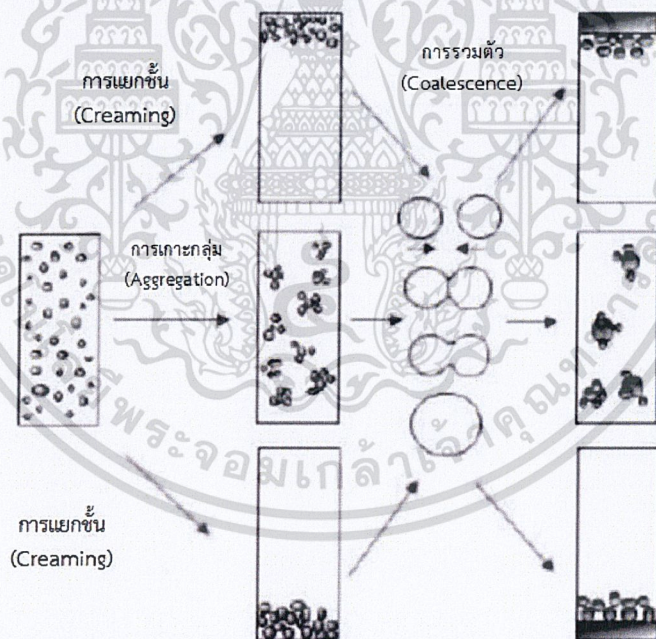
ในเชิงเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic unstable) เนื่องจากความแตกต่างของแรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมันทำให้ระบบเกิดการจัดเรียงตัวใหม่เพื่อลดแรงตึงผิวหรือพลังงานอิสระที่ผิว (Surface free energy) ส่งผลให้ระบบอิมัลชันนั้นไม่มีความคงตัวนำไปสู่การแยกชั้นของอิมัลชัน (Phase separation) (Auflem, 2002) โดยจากรูปที่ 2.5 แสดงถึงกลไกของความไม่คงตัวของอิมัลชัน ซึ่งจะสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1) การแยกชั้น (Creaming) วิกฤตภายในมีการเคลื่อนที่แยกออกจากวิกฤตภายนอก เพราะความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างทั้งสองวิกฤต ทำให้วิกฤตภายในแยกตัวลอยขึ้น

2) การเกาะกลุ่ม (Aggregation) อนุภาคในวิกฤตภายในเคลื่อนที่เข้าหากันโดยเกาะกลุ่มกัน เนื่องจากการชนกัน

3) การรวมตัว (Coalescence) อนุภาคในวิกฤตภายในเคลื่อนที่เข้าหากัน ซึ่งฟิล์มที่ล้อมรอบอนุภาคเกิดการฉีกขาด ทำให้อนุภาคภายในเกิดการรวมตัวจนเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

การทำให้ระบบอิมัลชันมีความเสถียรคงตัวสามารถทำได้สองวิธี คือ การใช้เครื่องมือกล เช่น เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่ใช้เพื่อกระจายและลดขนาดอนุภาคของวิกฤตภายใน ซึ่งนำไปสู่การลดการแยกชั้น (Creaming) การเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เช่น สารอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งสามารถช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมัน ส่งผลให้ระบบอิมัลชันมีความเสถียรมากขึ้น



รูปที่ 2.5 กลไกความไม่คงตัวของอิมัลชัน (Auflem, 2002)

2.5 ดิมัลซิไฟเออร์ (Demulsifier)

2.5.1 ลักษณะดิมัลซิไฟเออร์ (Demulsifiers Characteristics)

ดิมัลซิไฟเออร์ (Demulsifiers) หรืออิมัลชัน เบรกเกอร์ (Emulsion breakers) เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติในการแยกอิมัลชัน (Emulsion) ที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

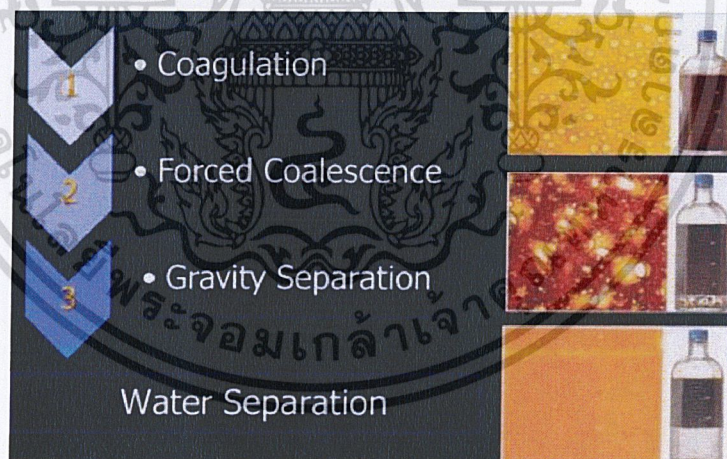
ปกติสารติมลธิไฟเออร์มีความเข้มข้นต่ำทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการแยกน้ำออกจากน้ำมันดิบ และป้องกันการเกาะตัวของผิวผนังของน้ำมัน

2.5.2 กลไกของติมลธิไฟเออร์ (Mechanism of Demulsification)

อิมัลชันในน้ำมันดิบประกอบด้วยของเหลวเป็นหลัก เช่น น้ำ หรือ ตะกอนอื่น ๆ ด้วยความต้องการให้อิมัลชันมีความคงตัว ฉะนั้นจึงต้องเติมสารติมลธิไฟเออร์หรือตัวทำลายอิมัลชัน เป็นตัวช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมันดิบที่สัมผัสกัน ซึ่งเกิดเป็นกลไกของสารติมลธิไฟเออร์ขึ้น โดยการเลือกใช้สารติมลธิไฟเออร์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็วจะช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมันที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากรูปที่ 2.6 แสดงกลไกการทำงานของติมลธิไฟเออร์ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ (Ben Mahmud, 2009)

- การดูดซึมหรือการจับตัวกันของอนุภาค (Adsorption and coagulation - flocculation) สารติมลธิไฟเออร์จะเข้าไปแทนที่ระหว่างน้ำที่มีการสัมผัสกับน้ำมันโดยการดูดซับ หรือจับอนุภาคของน้ำมารวมตัวกัน
- การรวมตัวเกาะกลุ่มกัน (Coalescence) น้ำกับน้ำมันเกิดการรวมตัวกัน เมื่อสารติมลธิไฟเออร์เข้ามาแทนที่การสัมผัสของน้ำ อนุภาคของน้ำก็จะรวมตัวเกาะกลุ่มกัน
- การแยกชั้น (Channel formation) หลังจากน้ำมีการรวมตัวเกาะกลุ่มกัน ก็จะมีการแยกชั้นเกิดขึ้น โดยน้ำที่รวมตัวเกาะกลุ่มกันจะแยกออกจากน้ำมันดิบ

นอกจากกลไกของติมลธิไฟเออร์ที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีปัจจัยหลักอื่น ๆ ที่มีผลต่อปริมาณสารติมลธิไฟเออร์ และความเร็วในการแยกชั้นน้ำออกจากน้ำมันดิบ ตัวอย่างเช่น เวลา อุณหภูมิ ข้อมูลองค์ประกอบสารเคมี และความปั่นป่วนระหว่างทำปฏิกิริยา



รูปที่ 2.6 กลไกของติมลธิไฟเออร์ (Ben Mahmud, 2009)

2.5.3 การแบ่งประเภทของติมลธิไฟเออร์ (Demulsifiers Classification)

ส่วนผสมของสารติมลธิไฟเออร์ที่นำมาใช้ขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำมันดิบของแหล่งผลิตน้ำมันดิบ นั้น ๆ ประเภทของสารติมลธิไฟเออร์ชนิดลดแรงตึงผิวแบ่งได้ 3 ชนิดหลัก ๆ ได้แก่

- นอนไอออนนิค (Nonionic) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะไม่แตกตัวจึงไม่มีประจุ คุณสมบัติของสารกลุ่มนี้แตกต่างกันไป ตั้งแต่ละลายน้ำได้ จนไม่ละลายน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แอนไอออนิก (Anionic) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะแตกตัว และให้ส่วนหัวมีประจุเป็นลบ
- แคทไอออนิก (Cationic) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะแตกตัว และให้ส่วนหัวมีประจุเป็นบวก

2.6 ไมเซลล์ (Micelle)

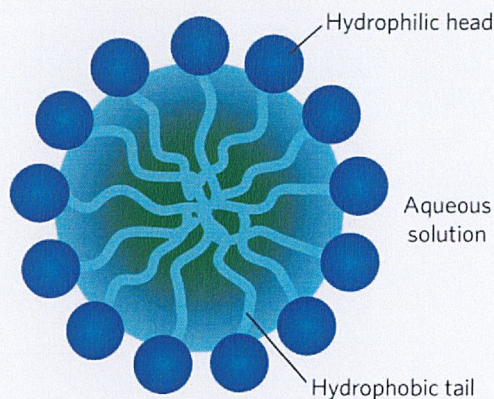
2.6.1 โครงสร้างและรูปร่างของไมเซลล์

ไมเซลล์ (Micelle) เป็นโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยส่วนที่มีขั้ว (Hydrophilic head) และไม่มีขั้ว (Hydrophobic tail) หรือชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ซึ่งส่วนที่ไม่มีขั้วของโมเลกุลหันเข้าหากันเองแล้วหันส่วนที่มีขั้วเข้าสู่ภาคน้ำ (พรเพ็ญ, 2548) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ไมเซลล์ประกอบขึ้นจากสารที่เรียกว่า ฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) ซึ่งเป็นสารประเภทไขมันที่เป็นส่วนประกอบหลักของเยื่อหุ้มเซลล์ในสิ่งมีชีวิต ฟอสโฟลิปิดในธรรมชาติเมื่อมีสภาวะที่เหมาะสม จะเกิดการจัดเรียงโครงสร้างเป็นไมเซลล์ขึ้น เนื่องจากส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำของสารจะหนีห่างออกจากน้ำ และส่วนมีขั้วที่เข้ากันได้กับน้ำจะหันออกมาด้านนอก (Chosana, 2009) โดยเกิดจากการที่โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเริ่มจับกันเองเป็นกลุ่มก้อน เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นเท่ากับหรือสูงกว่า¹ ความเข้มข้นวิกฤตของเกิดไมเซลล์ ไมเซลล์เป็นสภาวะที่อยู่ใต้อสมดุลย์ระหว่างการเป็นโมเลกุลเดี่ยว ๆ และการจับกลุ่มของโมเลกุลสารลดแรงตึงผิว โครงสร้างแบบไมเซลล์ เช่น เคซีน (Casein) ในน้ำนม การละลายน้ำของสบู่ (ปิยะวรรณ, 2554)

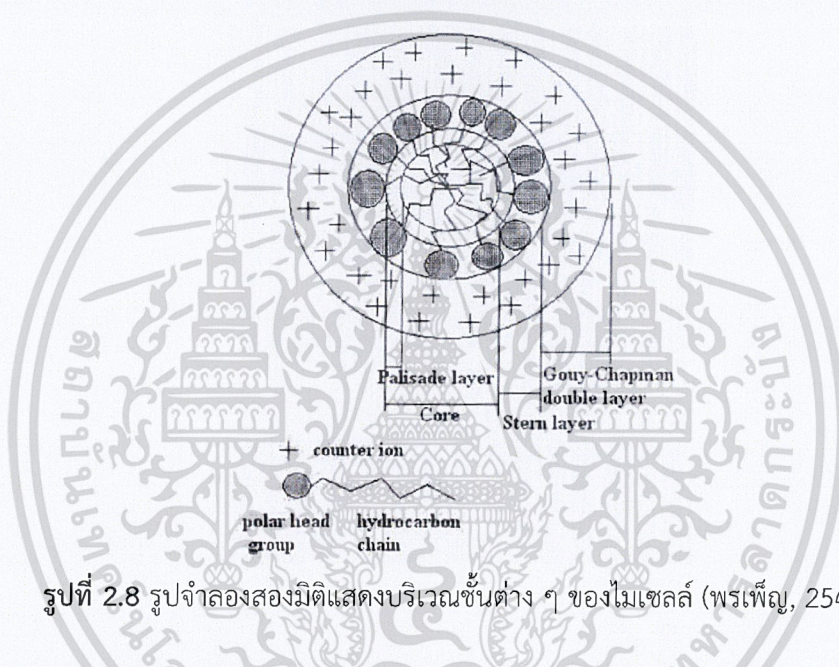
ผิวของไมเซลล์จะมีประจุเช่นเดียวกับประจุของสารลดแรงตึงผิวที่จับกันเป็นไมเซลล์ โครงสร้างของไมเซลล์ที่มีประจุมักมีลักษณะเป็นทรงกลม ซึ่งแบ่งโครงสร้างนี้เป็นชั้นต่าง ๆ ได้ตามสภาพขั้วของชั้นนั้น ๆ ประกอบด้วยส่วนชั้นในของทรงกลมที่ไม่มีขั้วเป็นบริเวณของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน สารไม่มีขั้วที่ไม่ละลายในน้ำหลายชนิดสามารถมาละลายอยู่ในบริเวณนี้ของไมเซลล์ บริเวณที่ไม่มีขั้วนี้หุ้มด้วยบริเวณของชั้นที่มีขั้ว โดยบริเวณที่มีสภาพขั้วนี้สามารถแบ่งได้เป็นชั้นต่าง ๆ คือ Stern layer, Gouy-Chapman layer และ Palisade layer ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ปริมาณโมเลกุลของน้ำที่ปรากฏในโครงสร้างไมเซลล์จะลดลงเรื่อย ๆ จากผิวนอกของไมเซลล์เข้าสู่บริเวณชั้นในทรงกลม ในส่วนแกนกลางของไมเซลล์จะไม่พบโมเลกุลของน้ำเลย โดยมีรายงานว่าแกนกลางนี้มีค่า Dielectric constant ประมาณ 2.1^4 สำหรับบริเวณผิวนอกของไมเซลล์ที่ยังมีโมเลกุลของน้ำแทรกตัวอยู่ มีชื่อเฉพาะเรียกว่า Palisade layer (พรเพ็ญ, 2548)

หมายเหตุ :¹ ความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ หมายถึง ความเข้มข้นที่สารลดแรงตึงผิวเริ่มจับกันเป็นไมเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของไมเซลล์ (Micelle) (Matteo, 2010)



รูปที่ 2.8 รูปจำลองสองมิติแสดงบริเวณชั้นต่าง ๆ ของไมเซลล์ (พรเพ็ญ, 2548)

2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไมเซลล์

พบว่า การเกิดไมเซลล์นั้นขึ้นกับคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการเตรียม สารลดแรงตึงผิวที่มีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนยาวเอื้อต่อการเกิดไมเซลล์ เมื่อเทียบกับสารที่มีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนสั้น โดยสังเกตจากการลดแรงตึงผิวที่มีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนสั้น การเติมเกลือลงในสารละลายของสารลดแรงตึงผิวมีผลทำให้ความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ต่ำลง ซึ่งแสดงว่าระบบมีการเกิดไมเซลล์ได้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกลือช่วยลดแรงผลักระหว่างประจุของส่วนที่มีขั้วบนโมเลกุลสารลดแรงตึงผิว ทำให้จับกันเป็นไมเซลล์ได้ดีขึ้น และจำนวนโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวที่จับกันในแต่ละไมเซลล์เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเกลือที่เติมลงไป

ส่วนการเติมแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กทำให้ค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์สูงขึ้นเนื่องจากแอลกอฮอล์ไปลดพันธะไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic bonding) แต่ถ้าเติมแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลยาว (Long chain alcohol) จะทำให้ความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ลดลง นอกจากนี้ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ และโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวมีผลต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

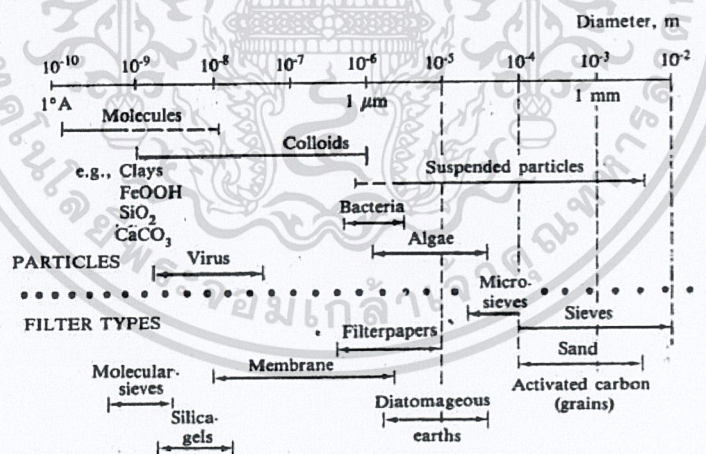
ลักษณะรูปร่าง และจำนวนโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวในแต่ละไมเซลล์ โดยรูปร่างของไมเซลล์สามารถเปลี่ยนจากทรงกลมไปเป็นทรงรี หรือทรงกระบอก เป็นต้น (พรเพ็ญ, 2548)

2.7 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกคูเลชัน (Flocculation)

2.7.1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation)

กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) เป็นกระบวนการประสานคอลลอยด์ ซึ่งเป็นสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ช้ามากคอลลอยด์โดยทั่วไปมีขนาดอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1 ไมครอนเมตร (10^{-6} ถึง 10^{-3} มิลลิเมตร) (รูปที่ 2.9) ซึ่งไม่สามารถแยกตัวออกจากน้ำได้โดยวิธีตกตะกอนตามธรรมชาติ เนื่องจากอนุภาคของคอลลอยด์มีขนาดเล็กเกินไป หลักการ คือ การเติมสารโคแอกกูแลนต์ (Coagulant) เช่น สารส้ม ลงไปในน้ำเสียทำให้คอลลอยด์หลาย ๆ อนุภาคจับตัวกันเป็นกลุ่ม เรียกว่า ฟล็อก (Floc) จนมีน้ำหนักมาก และสามารถตกตะกอนลงมาได้รวดเร็ว สารโคแอกกูแลนต์ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวประสานให้อนุภาคมารวมตัวกันเป็นฟล็อก (กรีน วอเตอร์ ทริท, 2558)

นอกจากนี้อนุภาคคอลลอยด์เมื่ออยู่ในน้ำมีประจุประจำตัว โดยพวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) มีประจุบวก เช่น สารอินทรีย์ สบู่ หรือสารจำพวก Detergent ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มักมีประจุเป็นลบ เช่น อนุภาคของดินเหนียว และเนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคเหล่านั้นมีเสถียรภาพสูง ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่าง ๆ รวมตัวกันและจับกันเป็นก้อนมีขั้นตอน 2 ขั้นตอน ได้แก่ การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ (Destabilization) และฟล็อกคูเลชัน (Flocculation) (พรศักดิ์, ม.ป.ป. อ้างถึง มั่นสิน, 2537)



รูปที่ 2.9 การจำแนกขนาดของสารต่าง ๆ ในน้ำ (มั่นสิน, 2537)

2.7.1.1 การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของอนุภาคคอลลอยด์

เสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ แรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์มีมากกว่าแรงดึงดูด ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพและแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ถ้าแรงดึงดูดสูงกว่าแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์จะไม่มีเสถียรภาพและไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ (พรศักดิ์, ม.ป.ป. อ้างถึง มั่นสิน, 2542) การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถทำได้โดยอาศัยกลไก 4 แบบ (วิโรจน์, 2544) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

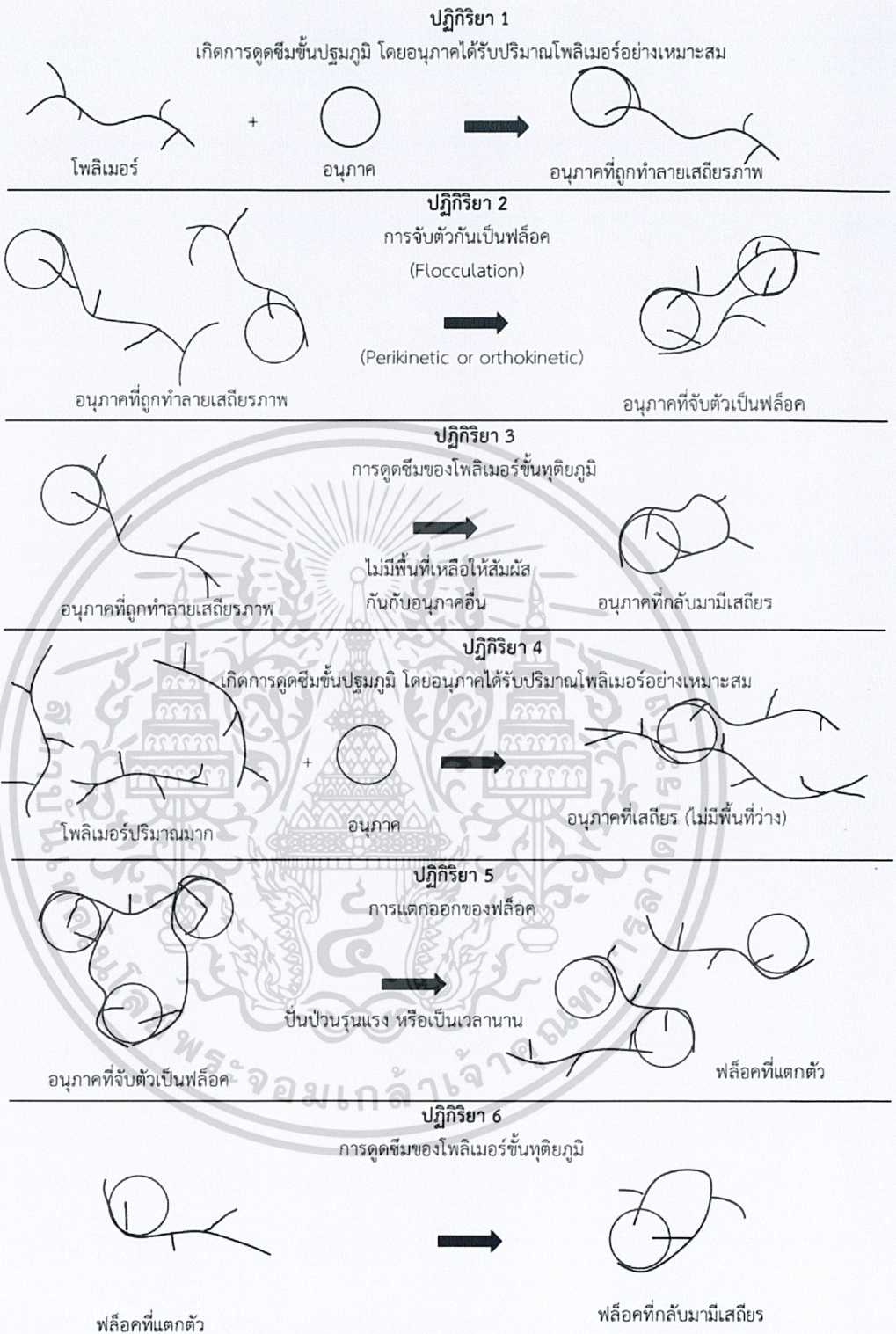
1) กลไกการลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse layer) เป็นการทำลายเสถียรภาพทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ โดยการลดค่าศักย์ไฟฟ้า (Zeta potential) ลง (รูปที่ 2.11) โดยการเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุอนุภาคคอลลอยด์ เป็นผลให้อนุภาคคอลลอยด์สามารถเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันได้มากขึ้น จนกระทั่งแรงแวนเดอร์วาลส์สามารถเอาชนะแรงผลักระหว่างอนุภาคได้ จึงทำให้อนุภาคคอลลอยด์สามารถรวมตัวกันตกตะกอนได้

2) กลไกการดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and charge neutralization) โดยใส่สารเคมีที่มีประจุตรงข้ามกับประจุของอนุภาคคอลลอยด์ และสามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ เป็นการลดศักย์ไฟฟ้าที่ผิวและชั้นกระจายของคอลลอยด์ ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพนั่นเอง

3) กลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (Sweep coagulation) เช่น การใส่สารส้มให้เกิดผลึกอลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ $Al(OH)_3$ เหมือนวันสีขาว เพื่อให้อนุภาคมาเกาะแล้วรวมกันเป็นฟล็อกได้ ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรก คือ ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม (Optimum dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้โคแอกกูแลนต์จำนวนมากจึงจะเกิดแอกกูเลชันได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้โคแอกกูแลนต์น้อยกว่า เหตุผล คือ น้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม โคแอกกูเลชันอาจไม่เกิดได้ดีเท่าที่ควร การใช้โคแอกกูแลนต์ปริมาณสูงก็เพื่อสร้างผลึกจำนวนมากสำหรับเป็นสารเป่าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูง โอกาสสัมผัสย่อมมีมาก จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป่าสัมผัสจากภายนอกมากเท่ากับกรณีแรก

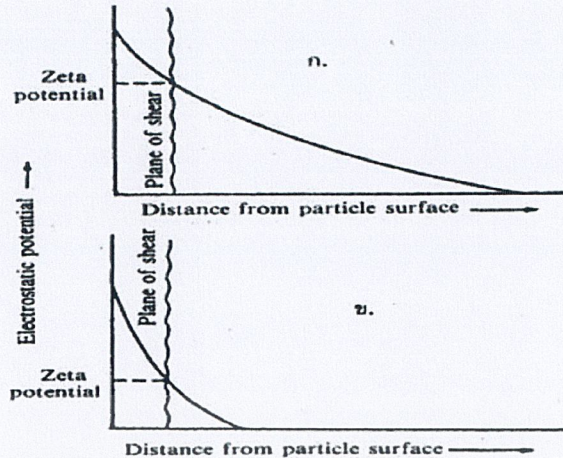
4) กลไกสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ (Polymer bridging) โดยใช้สารโพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ลงไป ในน้ำ ซึ่งโมเลกุลของสารโพลิเมอร์สามารถเกาะติดกับโมเลกุลของอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง และดึงเอาอนุภาคคอลลอยด์ให้ตกตะกอนลงมาพร้อมกับสารโพลิเมอร์ได้ ดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบเชื่อมด้วยโพลิเมอร์ (Polymer bridging) (Stumm and Morgan, 1962)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การจำแนกขนาดของสารต่าง ๆ ในน้ำ (มันลิน, 2537)
 (ก) ก่อนเติมไอออน (ข) หลังจากการเติมไอออนแล้ว (มันลิน, 2542)

2.7.1.2 ฟลอคคูเลชัน (Flocculation) หรือวิธีที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่หมดเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อน วิธีการสร้างสัมผัสให้อนุภาคมีหลายวิธี ดังนี้

1) การทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสัมผัสเกิดขึ้น ซึ่งวิธีที่นิยมคือ การกวนน้ำในแต่ละจุด ให้มีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน ทำให้อนุภาคมีการเคลื่อนที่ไม่เท่ากัน จึงเกิดการสัมผัสขึ้น แต่การเคลื่อนที่ที่ต้องไม่เร็วเกินไปจนทำให้ฟลอคแตกออกได้

2) การสัมผัสระหว่างอนุภาคเกิดขึ้น เนื่องจากการตกตะกอนที่มีอัตราไม่เท่ากันของ อนุภาคต่าง ๆ ฟลอคคูเลชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการตกตะกอนทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สามารถสร้างฟลอคคูเลชันแบบนี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทางปฏิบัติอนุภาคที่มีขนาดดังกล่าวอาจเกิดฟลอคคูเลชันมาก่อนแล้วครั้งหนึ่ง เมื่อมาถึงการตกตะกอนจึงเกิดฟลอคคูเลชันอีกในขณะที่มีการตกตะกอน

3) ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟลอคคูเลชันอาจเกิดขึ้นโดยการสร้างสัมผัสแบบ ²Orthokinetic flocculation แต่อาจเกิดขึ้นช้าเนื่องจากโอกาสสัมผัสน้อย วิธีแก้ไขอาจกระทำดังนี้

3.1) ใช้ถังกรองทรายแบบกรองเร็วหรือถังกรองแบบ 2 ชั้น ชั้นกรองช่วยเพิ่มอัตราการสัมผัส และยังบังคับให้อนุภาคต่างๆเคลื่อนที่เข้ามาชิดกันด้วย เรียกว่า กรองสัมผัส (Contact filtration) แต่เนื่องจากช่องว่างในชั้นกรองมีจำกัด วิธีนี้จึงใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร การใช้กรวดขนาดเล็กแทนทรายอาจเพิ่มปริมาตรช่องว่างได้ แต่เป็นการลดพื้นที่สัมผัส ดังนั้นจึงอาจได้ผลในทางฟลอคคูเลชันไม่ดีเท่าชั้นทราย

3.2) ใช้อนุภาคที่จับตัวกันเป็นฟลอคแล้วเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ ในทางปฏิบัติสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ ทำให้ฟลอคจับตัวกันเป็นชั้นสลัดจ์ (Sludge blanket) และบังคับให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ผ่านชั้นสลัดจ์ อีกวิธีหนึ่ง คือ นำเอาฟลอคกลับคืนมาผสมกับอนุภาคคอลลอยด์ จากนั้นจึงสร้างสัมผัสตามแบบ Orthokinetic flocculation ไปตามปกติ

ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนแต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัส

อาจใช้วิธีการกรองได้เช่นกัน แต่สารกรองที่ใช้ควรมีขนาดใหญ่เท่าทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

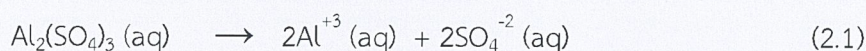
หมายเหตุ: ²Orthokinetic flocculation หมายถึง การสัมผัสหรือการชนกันของอนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของของเหลวจำนวนมาก เช่น การกวน

2.7.2 กลไกโคแอกกูเลชัน

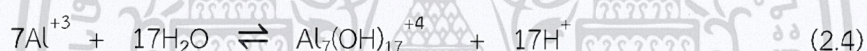
2.7.2.1 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม

สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากสามารถใช้ได้ดีกับน้ำมันดิบจากแหล่งต่าง ๆ และหาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่แพงมากนัก

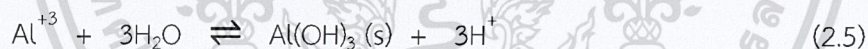
สารส้ม (Aluminium sulfate; Alum) มีสูตรโมเลกุล $Al_2(SO_4)_3 \cdot XH_2O$ โดยปกติ X มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำจะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ ดังปฏิกิริยา



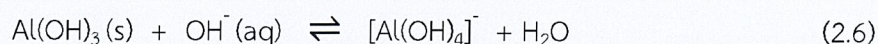
เมื่อเติมสารส้มในน้ำ อลูมิเนียมไอออนจาก $Al_2(SO_4)_3$ จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำได้ $Al(H_2O)_6^{+3}$ หรือ Al^{+3} ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของ Al^{+3} จะเกิดขึ้นทันทีโดยลิแกนด์ (Ligands) ชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะ OH^- จะเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex substance) ระหว่างอลูมิเนียมกับไฮดรอกไซด์ไอออน (พรตักดิ์, ม.ป.ป. อ้างถึง Hannah *et al.*, 1967) ดังสมการต่อไปนี้



ในกรณีที่ความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (Saturation point) ไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไปจนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึก $Al(OH)_3$



ผลของปฏิกิริยาที่จะเกิดการดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์ คือ สารคอมเพล็กซ์ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างไฮโดรไลซิสจาก Al^{+3} ถึง $Al(OH)_3$ สารคอมเพล็กซ์อาจมีประจุลบหรือบวกก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ กล่าวคือ ถ้าพีเอชของน้ำสูงกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้า (Zero point of charge) ของ $Al(OH)_3 (s)$ จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบ เช่น $Al(OH)_4^-$, $Al(OH)_5^{2-}$ ถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่าจะสะเทินทางไฟฟ้าของ $Al(OH)_3 (s)$ ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวก เช่น $Al(OH)^{+2}$, $Al(OH)_2^+$, $Al_7(OH)_{17}^{+4}$, $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$



สารส้มที่เติมลงในน้ำจะเกิดการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ด้วยกลไกหลักดังนี้ (รูปที่ 2.10) (บุษราภรณ์ และสุภัทตรา, 2551 อ้างถึง Amirtharjah and Mill, 1982)

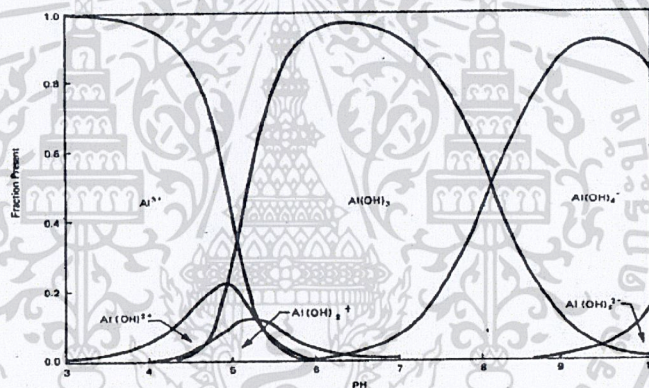
1) กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption and Charge Neutralization) เกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวก ไปทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่มีประจุเป็นลบให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้อนุภาคสัมผัสให้อนุภาครวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอน ด้วยน้ำหนักของอนุภาคเพียงลำพัง กลไกแบบนี้มีข้อดี คือ ไม่เปลืองสารส้มและให้ตะกอนที่สามารถอัดตัวได้ง่าย ทำให้แห้งหรือรีดเอาน้ำออก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

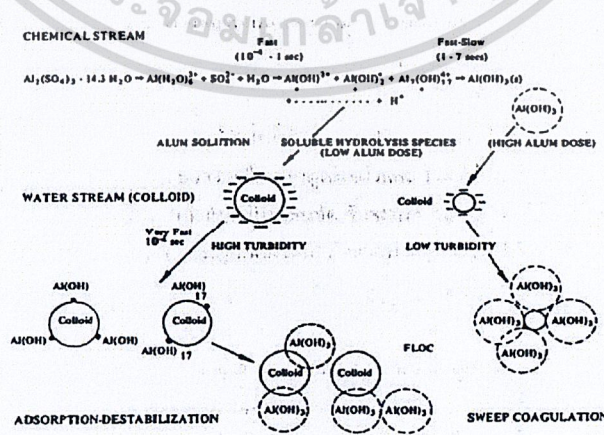
ได้ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่าย แต่มีช่วงความเหมาะสมที่แคบ ทำให้ควบคุมการทำงานได้ยาก เพราะสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะต้องพอเหมาะเท่านั้น ถ้าหากมีปริมาณต่ำเกินไปโคแอกกูเลชันจะไม่เกิด แต่ถ้าสูงเกินไปสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดติดผิวอนุภาคมาก ทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุบวกและเกิดเสถียรภาพขึ้นอีก

2) กลไกแบบกวาด (Sweep Coagulation) ในกรณีความเข้มข้นของสารส้มเกินพอจนปฏิกิริยา ดำเนินต่อไปจนได้ $Al(OH)_3$ ดังสมการที่ 2.4 การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไกนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมสารส้มเป็นจำนวนมากพอ จนมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว ซึ่งทำให้ผลึกของ $Al(OH)_3$ ซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาค และทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียวไม่แสดงอิทธิพลทางประจุไฟฟ้า จึงทำหน้าที่สร้างเป้าสัมผัสอนุภาคคอลลอยด์จนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เพียงลำพัง

3) กลไกโคแอกกูเลชันแบบร่วม (Combination Coagulation) เป็นการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุและแบบกวาด โดยที่ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองนั้นไม่เด่นชัด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณสารส้มเพิ่มสูงขึ้นกว่ากลไกการทำลาย เสถียรภาพแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ แต่จะใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่ากลไกแบบกวาด



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มและค่าพีเอช (Committee AWWA. Report, 1971)



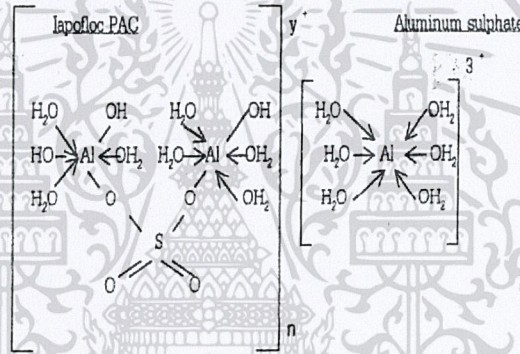
รูปที่ 2.13 กลไกในการสร้างโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม (Amirtharjah and Mill, 1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.2 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์

โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) มีสูตรทั่วไป คือ $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ ดังรูปที่ 2.13 เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันตั้งแต่ ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา โดยเป็นที่นิยมใช้ในประเศญี่ปุ่นและบางประเทศในทวีปยุโรป PACl เตรียมขึ้นโดยอลูมิเนียมที่เป็น Al_2O_3 ทำปฏิกิริยากับ HCl ที่อุณหภูมิสูงเพื่อรวมตัวเป็น $AlCl_3$ หลังจากนั้นจะทำปฏิกิริยากับเบสที่อุณหภูมิและความดันสูงเพื่อให้รวมตัวเป็นอลูมิเนียมโพลีเมอร์ ซึ่งเมื่อเติมสารส้มลงไปในการละลายนี้ สารส้มจะไปลดความเข้มข้นของ Al_2O_3 ให้เหลือ 10 – 11% และเติมซัลเฟตลงไปเพื่อไปทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอลูมิเนียม 2 อะตอมที่ทำหน้าที่เป็นพอลินิวเคลียร์ (Nuclear) ของไอออนเชิงซ้อน

เมื่อ PACl ละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันทีเป็นอลูมิเนียมเชิงซ้อนมากมาย ซึ่งตัวที่ประสิทธิภาพมากที่สุด คือ $[Al_{13}O_4(OH)_{24}]^{+7}$ หรือ Al^{+13} ซึ่งการรวมตัวเป็นอลูมิเนียมตัวนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการรวมตัวของด่างกับสารละลายอลูมิเนียม, ชนิดและความเข้มข้นของด่าง, ความเข้มข้นของสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์, อุณหภูมิซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือ ปริมาณของด่างที่เติมลงไปและระดับของความเปกกลาง (พรศักดิ์, ม.ป.ป. อ้างถึง Kaeding, 1992)

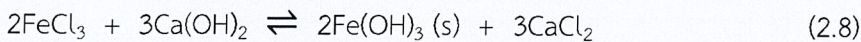
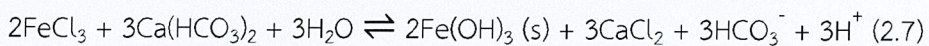


รูปที่ 2.14 โครงสร้างทางเคมีของ Lapofloc PACl และ Alum (Viraraghavan and Wimmer, 1988)

2.7.2.3 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยเฟอริกคลอไรด์

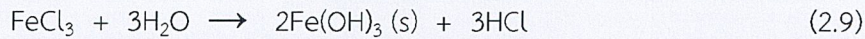
เฟอริกคลอไรด์ (Ferric chloride) มีสูตรทางเคมีว่า $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ หรือ $FeCl_3$ anhydrous มีลักษณะผลึกสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลหรือเหลือง เป็นเม็ดสีเขียวหรือดำ และมีรูปสารละลายสีน้ำตาลแกมเหลือง ปกติจะละลายน้ำได้ดีและเติมน้ำมันดิบในรูปของสารละลาย สารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะได้ตะกอนเฟอริกไฮดรอกไซด์ $[Fe(OH)_3]$

เฟอริกคลอไรด์เป็นสารเคมีที่แตกตัวในน้ำ รูปแบบของสารประกอบหลักเมื่อละลายน้ำนั้นจะมีประจุบวก สามารถทำให้เป็นกลางได้โดยใช้ประจุลบที่เกิดจากของแข็งในน้ำตะกอน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุของการรวมกลุ่มของตะกอนเฟอริกคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับ Bicarbonate alkalinity ในน้ำตะกอน และเปลี่ยนรูปเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์กับ Bicarbonate alkalinity ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

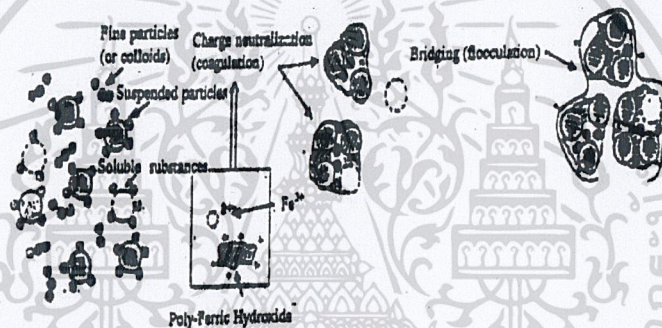
การสร้างโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มไม่อาจได้ผลดีมากนักกับน้ำที่มีสีเข้ม กรณีเช่นนี้เฟอริกคลอไรด์ให้ผลดีกว่า เมื่อเติมเฟอริกคลอไรด์ให้กับน้ำ มีผลึกเฟอริกไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น ดังนี้



ข้อดีอีกประการหนึ่งของสารเคมีชนิดนี้ คือ สามารถสร้างโคแอกกูเลชันกับน้ำที่มี H_2S ได้ดี เฟอริกคลอไรด์จะทำหน้าที่เป็นสารสร้างตะกอนในกระบวนการตกตะกอนได้ทั้ง 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 Coagulation เฟอริกคลอไรด์นี้ทำหน้าที่สะเทินประจุบนผิวของอนุภาคต่างๆ ทั้งที่แขวนลอย และละลายอยู่ในน้ำให้กลายเป็นกลางโดยการดูดซับประจุ และทำปฏิกิริยากับประจุบนผิวของอนุภาคนั้น ๆ ซึ่งเป็นผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคอ่อนลง และอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น เกิดเป็นตะกอนเล็ก ๆ ขนาดระหว่าง $10^{-9} - 10^{-7}$ เมตร

ขั้นตอนที่ 2 Flocculation เฟอริกคลอไรด์จะทำหน้าที่รวมตะกอนเล็กๆซึ่งเกิดขึ้นจากขั้นตอนที่ 1 ให้เป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งขนาดมากกว่า 10^{-7} เมตร ถือเป็นขนาดของตะกอนที่ใหญ่และหยาบทำให้ง่ายต่อขบวนการแยกตะกอนออกจากน้ำในกระบวนการต่อไป



รูปที่ 2.15 กระบวนการ Coagulation และ Flocculation ของ FeCl_3

2.7.3 การใช้สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulation Aid)

โพลิเมอร์สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1) โพลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส (Cellulose), เจลาติน (Gelatin) และแป้ง (Starch)

2) โพลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งได้มีการสังเคราะห์โพลิเมอร์ขึ้นอย่างสมบูรณ์และนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางใน ค.ศ.1979 Polyacrylamide ที่สร้างขึ้นจาก Monomer ที่รวมกันเป็นสายโซ่ยาว จำนวนโมเลกุลจะประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณเป็นล้านหน่วยแสดงดังรูปที่ 2.14

องค์ประกอบและรูปแบบด้านกายภาพของโพลิเมอร์มีรูปร่างเป็นโซ่ยาว (Long chain) เป็นสารเคมีชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ได้จากมอนอเมอร์หลาย ๆ อันรวมกัน หรือสามารถเพิ่มสารเคมีลงไปเพื่อเพิ่มหน้าที่ของมอนอเมอร์ซึ่งเป็นตัวแบ่งประเภทของโพลิเมอร์ ดังนั้นมอนอเมอร์จึงเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโพลิเมอร์ แขนของมอนอเมอร์ค่อนข้างกว้างจึงใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์โพลิเมอร์ เช่น acrylamide สารอินทรีย์สังเคราะห์โพลิเมอร์สามารถแบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้

- Cationic polymer มีประจุบวกบนส่วนของสารอินทรีย์ ระดับของประจุบนโพลิเมอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนไอออนของ Nitrogen groups มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพตะกอนซึ่งมีประจุ

เอกสารนี้ลับ ตัวอย่างเช่น polydiallyldimethylammonium (PDADMA, cat-floc) สารรวมตะกอน ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภท Cationic เตรียมได้โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสารเคมีชนิด non-ionic-polyacrylamide หรือเป็นการรวม Cationic monomer ด้วย Acrylamide polymer ชนิด Cationic polymer จะนิยมให้ในงานปรับสภาพตะกอน เนื่องจากของแข็งในน้ำตะกอนมีประจุลบ

- **Anionic polymer** มีประจุลบบนส่วนนี้เป็นสารอินทรีย์ จำนวนประจุจะขึ้นกับจำนวนกลุ่มของ Acrylamide ที่ละลายใน Acrylic acid ตัวอย่างเช่น Polyacrylamide acid (PAA), Hydrolyzed polyacrylamide (HPAM) และ Polystyrene sulfonate (PSS) สารรวมตะกอนประเภท anionic มีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อละลายน้ำและทำให้เกิดกลุ่ม amide group (NH_2) หรือเกิดจากการรวมกลุ่มของ anionic monomer จนเป็น acrylamide polymer

- **Nonionic polymer** เป็นพวกที่ไม่ละลายน้ำ แต่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมอนุภาคของตะกอนให้เกิดการรวมกลุ่มกันได้ดี ในทางปฏิบัติอาจเกิดจากการรวมตัวกันของอนินทรีย์โพลิเมอร์ (Inorganic polymer) และสารอินทรีย์โพลิเมอร์ (Organic polymer) ขึ้นจะเพิ่มความแข็งแรงของ Floc



รูปที่ 2.16 รูปร่างโพลิเมอร์ประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณล้านหน่วย (USEPA, 1979)

2.7.4 การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน

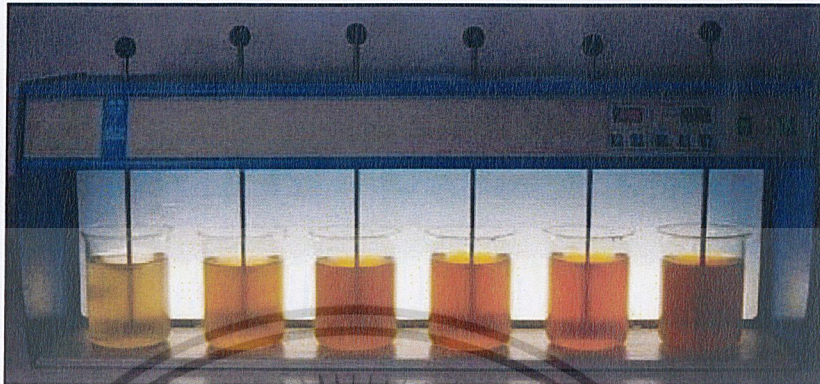
ในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชันนั้น จำเป็นต้องรู้ชนิดและปริมาณสารที่เหมาะสมตลอดจนสภาวะต่าง ๆ ที่ช่วยเอื้ออำนวยต่อกลไกโคแอกกูเลชัน ซึ่งได้แก่ ระดับพีเอชของน้ำ ความเร็วแกรเดียนท์ และระยะเวลาในการกวนน้ำ ความกัวหน้าของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโคแอกกูเลชันยังไม่สามารถจะชี้กำหนดและควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วได้อย่างสมบูรณ์ จึงได้มีผู้พยายามพัฒนาวิธีการควบคุมโคแอกกูเลชันนอกเหนือจากการทดลองจาร์เทสต์ ได้แก่ วิธีการควบคุมโดยวัดศักย์ไฟฟ้า (Zeta potential), การควบคุมโดยวิเคราะห์หาสารโคแอกกูแลนท์ที่เหลือ (Residual coagulant analysis) และการควบคุมโดยการหาความสามารถในการกรอง (Filterability) เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะแค่การทดลองจาร์เทสต์และการหาความสามารถในการกรอง (พรตักดิ์, ม.ป.ป. อ้างถึง มั่นสิน, 2537)

2.7.4.1 หลักการทำจาร์เทสต์ (Jar Test)

จาร์เทสต์เป็นวิธีที่ใช้มาตั้งแต่ดั้งเดิม และปัจจุบันยังใช้อย่างกว้างขวาง จาร์เทสต์เป็นวิธีทดสอบอย่างง่าย ๆ โดยทำการทดลองในปิกเกอร์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับความเร็วรอบได้ ส่วนมากมักมีใบพัดกวนน้ำ 6 ใบ การทดลองแต่ละครั้งจะเลือกชนิดของสารโคแอกกูแลนต์และกำหนดสภาวะต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง ความเร็วรอบ ระยะเวลาการกวนน้ำและระยะเวลาในการตกตะกอนไว้ค่าหนึ่งจึงทำการทดลองโดยแปรเปลี่ยนเป็นปริมาณสารโคแอกกูแลนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การแจ้งให้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ นั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำคำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนระดับพีเอชอาจแปรเปลี่ยนหรือคงที่ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์จากนั้นได้ค่าประมาณ ชนิดของสารโค แอกกูแลนต์และระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดโคแอกกูเลชัน ในการทดลองควรทำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมยิ่งขึ้น (บางกอกวอเตอร์เทค, 2559 อ้างถึง ชัยฤทธิ์, 2530)



รูปที่ 2.17 อุปกรณ์จาร์เทสต์ (Puneet, 2005)

2.7.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำจาร์เทสต์

การใช้สารเคมีสร้างตะกอน โดยคำนึงถึงความเข้มข้นและชนิดของสารเคมี ค่า pH ที่เหมาะสม การเติมและการควบคุมความเป็นต่าง ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดตะกอน การกวน ไม่ว่าจะเป็นการกวนช้าหรือการกวนเร็ว และการทดสอบอื่น ๆ เช่น ค่า Zeta potential (Electrophoretic mobility) โดยก่อนทำการจาร์เทสต์ควรวิเคราะห์น้ำตัวอย่างเบื้องต้น เช่น pH ความขุ่น ความเป็นต่าง เป็นต้น (บางกอกวอเตอร์เทค, 2559)

2.8 นิกเกิล (Nickel)

2.8.1 คุณสมบัติของนิกเกิล (สุรงค์, 2542 ; กิตติพันธุ์, 2551)

นิกเกิลเป็นโลหะที่มีความมันวาวสีขาวยเงิน มีความเหนียวและอ่อนตัวสูง สามารถขึ้นรูปเย็นได้ง่าย มีความคล้ายคลึงกับเหล็กด้านความแข็งแรง มีคล้ายคลึงกับทองในเรื่องความต้านทานการกัดกร่อน และมีความคล้ายกับทองแดงในด้านการเกิดสารประกอบออกไซด์ ซึ่งจะไม่เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องแต่จะเกิดเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 700 – 800 °C นอกจากนี้นิกเกิลสามารถสารละลายกับโลหะอื่นได้ง่าย และให้สารละลายของแข็งที่มีความเหนียว

2.8.2 การนำนิกเกิลมาใช้ประโยชน์

แร่นิกเกิลที่สำคัญจะอยู่ในรูปของซัลไฟด์ ซึ่งมักจะปะปนอยู่กับแร่ทองแดง โคบอลต์ และแร่โลหะที่อยู่ในกลุ่มของแพลทินัม วิธีการถลุงแร่นิกเกิลจะเริ่มจากการเตรียมแร่นิกเกิลที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งอาจทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะของแร่ เช่น การแยกโดยใช้แม่เหล็ก และการลอยแร่ ในประเทศไทยยังไม่มีโรงงานผลิตโลหะนิกเกิลจึงต้องพึ่งพาการนำเข้าโลหะนิกเกิลจากต่างประเทศเพียงอย่างเดียว

นิกเกิลบริสุทธิ์จะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ใช้ผสมกับน้ำมันเบนซิน ใช้ในงานชุบโลหะ และใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิค แต่ส่วนใหญ่ของนิกเกิลจะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยนำไปผสมกับโลหะ อื่นๆ เพื่อใช้ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่น ๆ เป็นโลหะอัลลอยด์ ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าผสม รวมทั้งยังสามารถใช้ในงานที่ต้องทนการกัดกร่อนสูง ๆ และใช้เคลือบผิวเหล็ก (Anne M. H., 2017)

2.8.3 ความเป็นพิษของนิกเกิล

นิกเกิลสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายผ่านทางหายใจ ผิวหนัง และทางเดินอาหาร ภาวะพิษของนิกเกิลเกิดได้จากการรับสัมผัสทางการหายใจและจากการประกอบอาชีพเป็นหลัก โดยความสามารถในการถูกดูดซึมขึ้นกับความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบนิกเกิล ซึ่งสารประกอบของนิกเกิลที่มีพิษมากที่สุด คือ นิกเกิลคาร์บอนิล (Nickel carbonyl) เนื่องจากเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ดี ซึ่งจะถูกดูดซึมได้ดีกว่าสารประกอบที่ละลายน้ำได้ไม่ดี

การได้รับสัมผัสนิกเกิลคาร์บอนิลผ่านทางหายใจ จะทำให้เกิดอาการไข้ ไอ เจ็บหน้าอก ปวดศีรษะ หลังจาก 12 – 36 ชั่วโมง อาจเกิดภาวะปอดอักเสบเฉียบพลัน ซึ่งสามารถทำให้เสียชีวิตจากสภาวะการหายใจล้มเหลว และสารประกอบของนิกเกิลสามารถก่อให้เกิดมะเร็งปอด มะเร็งโพรงจมูก และโรคมะเร็งต่อมน้ำนมได้ด้วย ในการได้รับสัมผัสนิกเกิลที่บริเวณผิวหนังอาจก่อให้เกิดผื่นแพ้จากการสัมผัส เกิดภาวะผิวหนังอักเสบเป็นผื่นสัมผัส (Contact dermatitis) และถ้าได้รับสัมผัสจากการดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนของนิกเกิลอาจจะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง และท้องเสีย

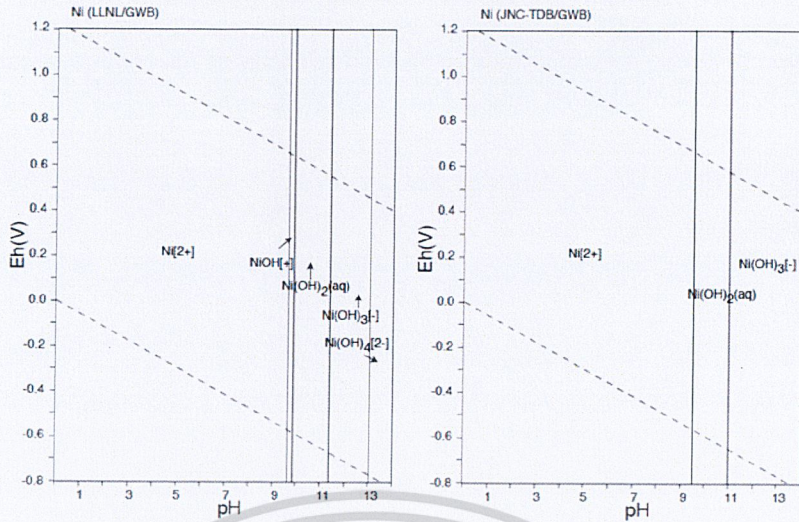
2.8.4 การปนเปื้อนในน้ำเสีย

น้ำเสียที่มีนิกเกิลเป็นองค์ประกอบเกิดได้จากหลายแหล่ง แหล่งกำเนิดที่สำคัญของนิกเกิลในน้ำเสีย คือ โรงงานอุตสาหกรรม โดยมักจะอยู่ในรูปของสารประกอบละลายน้ำที่มีความคงตัวสูง สำหรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว ก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต้องมีการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์โดยอ้างอิงตามค่ากำหนดคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งค่ากำหนด คือ ต้องไม่เกิน 1.0 mg/L (การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2560) โดยการบำบัดน้ำเสียที่มีนิกเกิลปนเปื้อนสามารถทำได้โดยอาศัยกระบวนการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายกระบวนการรวมกัน ในการเลือกกระบวนการการบำบัดจะเลือกจากความเหมาะสมในแง่ต่าง ๆ คือ ลักษณะ หรือคุณสมบัติของน้ำเสียก่อนบำบัด คุณภาพน้ำทิ้งที่ต้องการ พื้นที่ที่ต้องใช้ในการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ความง่ายและความปลอดภัยของระบบ และความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งการบำบัดน้ำเสียที่มีนิกเกิลเป็นองค์ประกอบโดยทั่วไปจะมีวิธีการดังต่อไปนี้

1) การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)

การตกตะกอนทางเคมีเป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะของสารละลายที่ละลายได้ให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายโดยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี โลหะหนักในน้ำเสียมักอยู่ในรูปของสารละลายทำให้ไม่สามารถกำจัดออกจากน้ำได้ด้วยวิธีตกตะกอนเพียงอย่างเดียว จะเป็นที่ยอมรับต้องทำให้เกิดการตกตะกอนของแข็งก่อน จากนั้นจึงทำให้ตะกอนของแข็งรวมกันเป็นกลุ่มเพื่อทำให้แยกออกจากน้ำได้ ในการตกตะกอนโลหะหนักทำให้เกิดตะกอนโลหะหนักที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช ซึ่งจะทำให้โลหะหนักถูกชะละลายออกมาจากน้ำเสียได้ ดังนั้นในการตกตะกอนโลหะหนักแต่ละชนิดจะต้องคำนึงถึงค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโลหะนิกเกิลในน้ำเสียอยู่ที่ 9 – 10 ไม่มีการละลายกลับ (วัลย์รัตน์, 2549) สารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับพีเอช ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

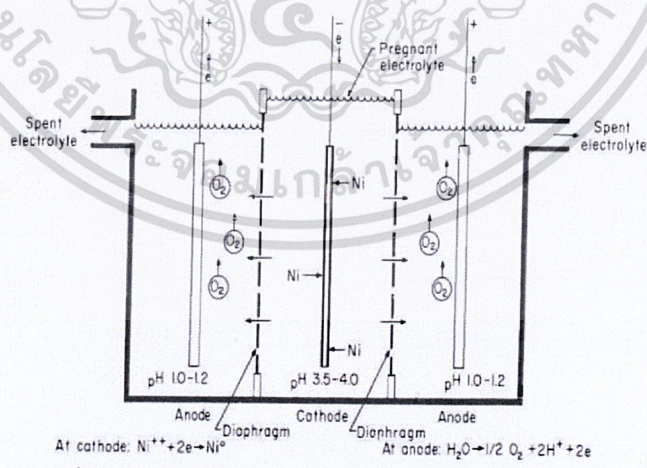
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 Eh-pH diagrams ของระบบ Ni-O-H ที่ $\Sigma n_i = 10-10$, 298.15 K, 105 Pa. (Geological Survey of Japan., 2005)

2) การแยกด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery)

วิธีการแยกโลหะออกจากน้ำเสียด้วยไฟฟ้าจัดเป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุด โดยไอออนของโลหะจะเกิดการรีดักชันที่ขั้วของแคโทด โดยขั้วแอโนดมักจะทำด้วยโลหะที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยา โดยขั้วแคโทดมักจะทำด้วยเหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิม และแผ่นผ้าคาร์บอน และขั้วแอโนดมักจะทำด้วยแพลทินัม ไทเทเนียม เคลือบรูทีเนียมออกไซด์ ตะกั่ว และแกรไฟต์ การแยกด้วยไฟฟ้าจะทำได้ดีกับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง เพื่อให้ประสิทธิภาพในการแยกเกิดได้ดีขึ้น ปัจจัยที่สำคัญของวิธีการนี้อีกข้อ คือ พื้นที่ของแคโทดและแอโนด และอัตราการเคลื่อนย้ายมวล ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการเข้าเกาะของโลหะหนัก



รูปที่ 2.19 เซลล์ไดอะแฟรมของนิกเกิล (David, 2017)

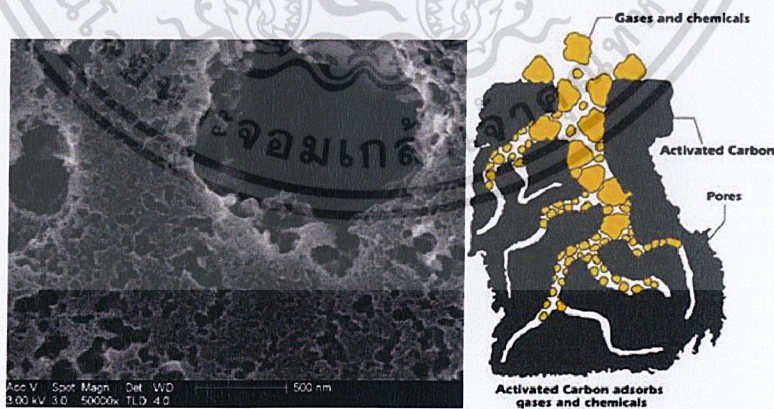
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง

2.9.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon; AC)

ถ่านกัมมันต์ มีลักษณะเหมือนแกรไฟต์ (Graphite) และเพชรเพราะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกัน แต่สิ่งที่ต่างกัน คือ AC มีรูปร่างแบบ Random imperfect structure ซึ่งมีรูพรุนมากมาย ทำให้ AC มีพื้นที่ผิวจำนวนมาก และมีความสามารถในการดูดซับสูง ซึ่ง AC สามารถผลิตได้วัสดุธรรมชาติ เช่น ถ่านหิน ไม้ กะลามะพร้าว เป็นต้น (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3274, 2547) โดยมีพื้นที่ผิวอยู่ในช่วงประมาณ 500-1400 ตารางเมตร/กรัมของถ่านกัมมันต์ (วจน์สิริ, 2539 อ้างถึง Cheremisinoff and Ellerbusch, 1978) สำหรับลักษณะโดยทั่วไปของ AC เมื่อพิจารณาจากภาพขยายของภาพตัดตามรูปที่ 2.18 จะสามารถแบ่งรูพรุนออกได้เป็นสองขนาด คือ รูพรุนใหญ่ (Macropores) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1000 Å และรูพรุนจิ๋ว (Micropores) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 10-1000 Å ส่วนใหญ่ที่บริเวณผิวนอกของ AC จะประกอบไปด้วยรูพรุนใหญ่

กระบวนการกรองน้ำของ AC จึงแบ่งได้เป็นสองวิธีหลัก คือ การกรองเชิงฟิสิกส์และการกรองเชิงเคมี ในการกรองเชิงฟิสิกส์นั้นสารกรองคาร์บอนจะทำหน้าที่เป็นเสมือนกับเยื่อเลือกผ่าน กล่าวคือ โมเลกุลของสารต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำ ที่มีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างเม็ดหรือรูพรุนของเม็ดคาร์บอน จะไม่สามารถหลุดออกมาได้ ในขณะที่ในการกรองเชิงเคมีนั้น ในระหว่างที่โมเลกุลน้ำจะไหลผ่านรูพรุนของเม็ดคาร์บอน สารต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำซึ่งมีโมเลกุลเล็กกว่าสารข้างต้นจะถูกจับไว้ที่ผนังด้านในของเม็ดคาร์บอนนั้น ๆ น้ำที่ได้จากการกรองโดยใช้ AC จึงสะอาดปราศจากสารเหล่านี้ เมื่อสารกรองคาร์บอนทำการกรองน้ำเพื่อขจัดสารต่าง ๆ แล้วนั้นสารต่างก็ถูกสะสมให้เม็ดและช่องว่างระหว่างคาร์บอน เมื่อสารเหล่านั้นมีจำนวนมากพอ สารกรองก็จะไม่สามารถกรองน้ำได้อีกต่อไป เนื่องจากสารกรองเกิดการอิ่มตัวหรืออีกนัยหนึ่งคือ สารกรองไม่สามารถดูดซับสารต่าง ๆ ได้อีก อายุการทำงานของสารกรองจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำก่อนการกรองว่ามีสารเจือปนมากน้อยเพียงใด (วอเตอร์ เซ็นเตอร์, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.20 ภาพขยายของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) (เฟรช โปรดักส์, 2558)

ถ่านกัมมันต์แบ่งตามลักษณะทางกายภาพโดยอาศัยขนาดได้สองประเภท คือ แบบผง (Power Activated Carbon; PAC) และแบบเกล็ด (Granular Activated Carbon; GAC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (Granular Activated Carbon; GAC) แอคทีเวเต็ด คาร์บอนแบบเกล็ดโดยปกติขนาดอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 5.0 มิลลิเมตร ใช้กับของเหลว (Liquid) และก๊าซ (Gas) มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดทรายกรองน้ำ แข็ง เปราะและเบากว่าทราย มักนำมาใช้เป็นสารกรองในบ่อกกรองได้ ซึ่งอาจจะใช้แทนถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite coal) GAC ไม่เพียงแต่สามารถกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่ คอลลอยด์ และความขุ่นได้ แต่ยังสามารถกำจัดสารอินทรีย์ (Organic compound), ฆ่าเชื้อโรค รส สี กลิ่นหรือแม้กระทั่งสารพิษต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ

2) ถ่านกัมมันต์แบบผง (Power Activated Carbon; PAC) ถ่านกัมมันต์แบบผงเป็นการนำ GAC มาบดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น มีขนาดประมาณ 10-50 ไมครอนหรือน้อยกว่า โดยส่วนใหญ่ใช้กับของเหลว ลักษณะเช่นนี้ทำให้ PAC คล้ายกับสารเคมีอื่น ๆ ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา การเติม PAC อาจกระทำพร้อมกับการเติมโคแอกกูแลนต์ก็ได้ คาร์บอนที่ใช้แล้วจะรวมอยู่กะตะกอนแขวนลอยในน้ำกลายเป็นฟล็อก ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยการตกตะกอนหรือการกรอง ด้วยเหตุนี้คาร์บอนผงจึงนิยมเติมก่อนขบวนการกรองน้ำ ในกรณีที่มีน้ำมีสีและมีความขุ่นต่ำ (ไทยพีกัน, 2547)



รูปที่ 2.21 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) (ไฟโตเทคโนโลยี, 2562)

กรรมวิธีที่ใช้สามารถฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ทำได้หลายวิธี ได้แก่ กรรมวิธีทางความร้อน กรรมวิธีทางเคมี และกรรมวิธีทางชีวภาพ ซึ่งกรรมวิธีที่ใช้เป็นที่แพร่หลาย คือ กรรมวิธีทางความร้อน โดยอาศัยเตาเผา ซึ่งกรรมวิธีทางความร้อนแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้ (วจนสิริ, 2539 อ้างถึง Chermisinoff and Ellerbusch, 1978)

- ก. ถ่านกัมมันต์ที่หมดประสิทธิภาพแล้วจะถูกรวมกับน้ำเป็นของเหลวขุ่น (Slurry) แล้วถูกนำเข้าสู่ระบบฟื้นฟูสภาพโดยการสูบเข้าไป
- ข. แยกถ่านกัมมันต์ออกจากน้ำ
- ค. นำถ่านกัมมันต์ที่แยกน้ำแล้วส่งเข้าเตาเผาซึ่งควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจน ที่อุณหภูมิประมาณ 1600-1800 °F จนโมเลกุลของสิ่งสกปรกในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ระเหยออกมาเป็นไอและถูกเผาทำลายตัวไป
- ง. เมื่อถ่านกัมมันต์ออกจากเตาเผาในขณะร้อนจัด จะถูกทำให้เย็นโดยการจุ่มลงในน้ำ (Water Quenching)
- จ. เมื่อถ่านกัมมันต์ในถังจุ่ม (Quench Tank) เย็นตัวลงแล้ว นำไปล้างแยกเศษถ่านออกแล้วนำไปเก็บไว้เตรียมใช้งาน

ในขั้นตอนทั้งหมดของการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์จะใช้เวลารวมทั้งสิ้นประมาณ 30 นาที และมีอัตราการสูญเสียถ่านคุดติดเนื่องจากกระบวนการฟื้นฟูสภาพได้ 2-10 %

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 ททราย (Sand) (ศิริชัย และชาญเดช, 2538)

ททราย เป็นตัวอย่างหนึ่งของวัสดุจำพวก สสารแบบเม็ด (Granular matter) ตามธรรมชาติแล้ว ททรายเกิดจากหินที่ถูกย่อยเป็นเม็ดละเอียด ซึ่งหมายถึงททรายทั่ว ๆ ไปที่เราพบเห็นตามชายหาด แต่ถ้าตามความหมายของวิชาตะกอนศาสตร์ (Sedimentology) หมายถึงเม็ดวัตถุตะกอนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 2.000 - 0.063 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วยวัตถุที่เป็นเศษหิน เศษแร่ขนาดเล็ก มีลักษณะร่วนซุยไม่เกาะติดกัน พื้นที่ผิวน้อยซึ่งมีประมาณ $130-200 \text{ cm}^2/\text{g}$

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 สุนทรชীন (2542) ศึกษาวิธีการแยกน้ำมันมะพร้าวออกจากน้ำกะทิ ในขั้นตอนการแยกหัวกะทิออกจะทำด้วยเครื่องแยกครีม ซึ่งใช้การรวมตัวของไขมันในหัวกะทิและแยกน้ำบางส่วนออกที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นทำลายสภาพอิมัลชันด้วยการเพิ่มอุณหภูมิ โดยจะปรับอัตราการป้อนน้ำกะทิเข้าเครื่องแยกครีมให้เร็วขึ้น หรือปรับขนาดท่อทางออกของหัวกะทิให้กว้างขึ้น จะทำให้ได้ปริมาณหัวกะทิมากขึ้นและความเข้มข้นของน้ำมันน้อยลง แสดงให้เห็นว่าปริมาณหัวกะทิสัมพันธ์กับความเข้มข้นของน้ำมันในหัวกะทิ ทำให้สามารถใช้ปริมาณหัวกะทิในการปรับสภาวะของเครื่องแยกครีม โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการรวมตัวของไขมันจะต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำลายสภาพอิมัลชัน คือ 80 องศาเซลเซียส จะได้ผลผลิตไขมันร้อยละ 98 และน้ำมันมะพร้าวที่แยกได้มีลักษณะใส ไม่มีสี มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ มีค่ากรดไขมันอิสระน้อยกว่าร้อยละ 0.1 และมีองค์ประกอบกรดไขมันใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตจากมะพร้าวแห้ง จัดเป็นน้ำมันคุณภาพดี สามารถใช้บริโภคได้โดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธี

2.10.2 ต่อตระกูล (2545) ศึกษาถึงการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดโดยพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของถ่านกัมมันต์ที่ใช้และเวลาสัมผัสต่อการทำงานของระบบต้นแบบ โดยใช้น้ำที่ผ่านการกรองทรายเป็นน้ำเข้าระบบ ในการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์รุ่น CGC-11 เหมาะสมที่จะใช้งานมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่รุ่น BG-816 เพราะราคาใช้จ่ายต่อหน่วยในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำต่ำกว่า ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำแตกต่างกันเล็กน้อย จากการศึกษาถึงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีไม่แตกต่างจาก 30 นาที เพราะว่าเวลาสัมผัส 20 นาทีเพียงพอที่จะทำให้ออกซิเจนในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เกิดได้ และเวลาสัมผัส 20 นาทีมีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยต่ำกว่า จากการเดินระบบพบว่าสามารถลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคได้ประมาณร้อยละ 25 ของความต้องการคลอรีนในกระบวนการฆ่าเชื้อโรค และยังสามารถลดปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นได้สูงสุดประมาณร้อยละ 65 เพราะวาระบบกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นสารตั้งต้นของการเกิดสารไตรฮาโลมีเทน

2.10.3 ชุสิทธิ์ (2547) ศึกษาการขจัดน้ำมันในอิมัลชันโดยเทคนิคอินดิวิจัวร์โพลเทชัน ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขจัดน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำขึ้นกับชนิดของสารลดแรงตึงผิว โดยชนิดของอิเล็คโทรไลต์ที่ใช้ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (ทวิน 80), สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (ซีเทบ), สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (SDS) และสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่างซีเทบกับทวิน 80 ที่อัตราส่วน 2:8 5:5 และ 8:2 ซึ่งภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขจัดน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำขึ้นกับชนิดของสารลดแรงตึงผิวและปริมาณของอิเล็คโทรไลต์ เช่น ทวิน 80 1 ซีเอ็มซีและอลูมิเนียมซัลเฟต เอกสารนี้ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลของ pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ 7 ในขณะที่เมื่อใช้เอสดีเอส pH ที่เหมาะสมที่ 4 โดยารค่าไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้อัตราการไหลของอากาศ 8 มิลลิลิตรต่อวินาที ขนาดของฟองอากาศในช่วง 615–688 ไมโครเมตร และเวลาในการไหลที่ 20 นาที ประจวบจากอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มีผลในการทำลายเสถียรภาพของน้ำมันอิมัลชันที่มีความเสถียร จากผลเห็นว่าสามารถขจัดน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำที่มีเสถียรภาพออกจากอิมัลชันของน้ำเสียได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์

2.10.4 สิริพร (2551) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (SDS) ประจุลบ (CTAB) และไม่มีประจุ (Tween20) ที่ทำการเตรียมค่าความเข้มข้นเท่ากับ 1 ซีเอ็มซี โดยประยุกต์ใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการอินดิวิชแอรีโพลเทชัน (MIAF) เปรียบเทียบกับกระบวนการอินดิวิชแอรีโพลเทชัน (IAF) และกระบวนการโคแอกกูเลชัน สำหรับการประยุกต์ใช้กระบวนการ IAF สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, CTAB และ Tween20 อยู่ที่เวลาการเติมอากาศ 30 นาที และอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.3, 0.3 และ 0.5 ลิตร/นาที โดยให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 33.33%, 74.44%, และ 25.00% ตามลำดับ ในขณะที่กระบวนการโคแอกกูเลชัน ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, CTAB และ Tween20 เท่ากับ 61.82%, 59.77% และ 37.66% ซึ่งได้จากพีเอช 8 และความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 400, 200 และ 150 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้ ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียตัวอย่างขนาดอนุภาคน้ำมันและประจุที่เกิดขึ้นบนผิวนั้น เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพการบำบัดที่แตกต่างกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณากระบวนการ MIAF ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ในงานทดลองนี้พบว่าความเข้มข้นของสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 300 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.3 ลิตร/นาที และเวลาการเติมอากาศ 30 นาที โดยสามารถลดค่าซีโอดีได้สูงสุด 75%

2.10.5 กุณฑณี (2554) ศึกษาถึงกระบวนการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว โดยทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ขนาด 250 มิลลิลิตร กระบวนการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วนี้จะทำการศึกษาที่สภาวะอุณหภูมิ 410-450 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30-60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว 1-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณสารตั้งต้นจำนวน 20 กรัม ใช้การทดลองแบบแฟกทอเรียลสองระดับศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันและองค์ประกอบที่ดีที่สุด โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatography (DGC) สภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว คือ อุณหภูมิ 410 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 46 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.12 โดยน้ำหนัก ซึ่งในภาวะการทดลองข้างต้นจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันร้อยละ 78.42 โดยน้ำหนัก แก๊สไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 16.84 โดยน้ำหนัก กากของแข็งร้อยละ 4.74 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีปริมาณแวนฟา ร้อยละ 33.26 โดยน้ำหนัก เคโรซีนร้อยละ 19.70 โดยน้ำหนัก ดีเซลร้อยละ 32.25 โดยน้ำหนัก โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวร้อยละ 5.37 โดยน้ำหนัก และพบว่ามีหมู่ฟังก์ชันหลักเป็นพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเมื่อเทียบกับหมู่ฟังก์ชันหลักในน้ำมันเบนซินนอกเทน 95 แล้วพบว่าไม่มีหมู่แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนที่คล้ายกัน

2.10.6 มณฑิรา (2559) ศึกษาการแยกน้ำออกจากน้ำมันดิบด้วยสารดีมัลซิไฟเออร์จำพวก แอนไอออนิก 2 ชนิด ได้แก่ DMO86133 และ DMO86338 โดยการศึกษาประสิทธิภาพการแยกชั้น

เอกสารนี้ แอนไอออนิก 2 ชนิด ได้แก่ DMO86133 และ DMO86338 โดยการศึกษาประสิทธิภาพการแยกชั้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำออกจากน้ำมันดิบด้วยวิธี Bottle test นอกจากนั้น ยังทำการศึกษาปริมาณของน้ำมันดิบที่แยกน้ำ ออกแล้ว โดยศึกษาจากค่าสิ่งเจือปนและน้ำด้วยวิธีหมุนเหวี่ยงหนักศูนย์กลาง โดยทำการแยกน้ำออก จากน้ำมันดิบสองชนิด ได้แก่ น้ำมันดิบชนิดหนักปานกลาง (26.15° API) และน้ำมันดิบชนิดหนัก (17.07° API) ซึ่งความเข้มข้นของสารดีมัลซิไฟเออร์ที่ศึกษาอยู่ในช่วง 500 ถึง 100ppm DMO86133 ที่ความเข้มข้น 300 ppm จะเหมาะสมกับน้ำมันดิบชนิดปานกลาง ในขณะที่ DMO86338 ที่ความเข้มข้น 300 ppm จะเหมาะสมกับน้ำมันดิบชนิดหนัก ที่ความเข้มข้นของสารดีมัลซิไฟเออร์ที่ต่ำกว่า 300 ppm ส่งผลให้การแยกน้ำมีประสิทธิภาพต่ำและน้ำมันที่ได้มีปริมาณค่อนข้าง ต่ำ อาจเพราะปริมาณของสารดีมัลซิไฟเออร์ไม่เพียงพอต่อปริมาณน้ำมันดิบ แต่ที่ความเข้มข้นของ สารดีมัลซิไฟเออร์ที่สูงกว่า 300 ppm ส่งผลให้การแยกน้ำมีประสิทธิภาพต่ำและน้ำมันที่ได้ปริมาณต่ำ สาเหตุน่าจะมาจากเมื่อความเข้มข้นของสารดีมัลซิไฟเออร์สูง ความสามารถในการดูดซับจับอนุภาค น้ำของสารดีมัลซิไฟเออร์จะลดลง

2.10.7 Guillermo J. Rincón and Enrique J. La Motta. (2014) ศึกษาการบำบัดน้ำ เสียบริเวณท้องเรือด้วยวิธี Electro-coagulation (EC) โดยเน้นบำบัดอิมัลชันและโลหะหนัก ซึ่ง อิมัลชันสังเคราะห์ประกอบด้วยน้ำมันและจาระบี 5,000 mg/L, ทองแดง 5 mg/L, นิกเกิล 1.5 mg/L และสังกะสี 2.5 mg/L ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า EC มีประสิทธิภาพมากในการกำจัด น้ำมันและไขมัน สำหรับการกำจัดน้ำมันและไขมันนั้นได้รับการบำบัดที่ดีที่สุดและประหยัดต้นทุน คือ ใช้อิเล็กโทรด Carbon steel และอิเล็กโทรดอะลูมิเนียมผสมที่เวลาน้อยกว่า 1 L/min และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.6 A/cm² น้ำมันที่ปล่อยออกมาชั้นสุดท้ายและความเข้มข้นของไขมันก่อน การกรองจะน้อยกว่า 10 mg/L เสมอ สำหรับการกำจัดโลหะหนักจะใช้อิเล็กโทรดที่มีอลูมิเนียมและ Carbon steel ผสมกัน อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที การรีไซเคิลน้ำทิ้งและ 7.5 แอมป์ผลิต ประสิทธิภาพการกำจัดสังกะสี 99% ทองแดงและนิกเกิลนั้นยากต่อการกำจัดและประสิทธิภาพการ กำจัด 70% นั้นทำได้สำเร็จ

2.10.8 Rafeah Wahi. et al. (2014) ศึกษาการดูดซับน้ำมันที่เป็นอิมัลชันโดยนำเปลือก ตันสาครมาเป็นตัวดูดซับในน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (POME) ซึ่งจะนำเปลือกตันสาครมาผ่าน กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน ในอัตราส่วนของเปลือกสาครต่อกรดสเตียริก (SB:SA) 1:1, 4:1 และ 7:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5, 10 และ 15; และเวลา 1, 4.5 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ วิเคราะห์ พารามิเตอร์เหล่านี้โดยใช้การออกแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต (CCD) ของการตอบสนองพื้นผิว (RSM) ได้ ค่า R-squared ที่ปรับแล้วของ 0.9509 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการถดถอยเหมาะสมกับข้อมูลได้ดี การทดสอบคุณสมบัติทางไฮโดรโฟบิซิตี FTIR และ SEM ได้ทำการศึกษาลักษณะของเปลือกตันสาคร พบว่ากระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันช่วยเพิ่มความสามารถในการกักน้ำของเปลือกสาครได้ 42.2% และ ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันใน POME 50.2% แบบจำลองการทำงานสองปัจจัย (2FI) ที่ พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขในการเตรียม SB:SA 1:1 ตัวเร่งปฏิกิริยา 15% และเวลาในการไหล ย้อน 8 ชั่วโมง ESB ที่จ่าย ESB ด้วยประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันสูงสุดถึง 95.52% ใน POME การ สร้างเอสเทอร์ฟิเคชันของ SB ประสบความสำเร็จในการปรับปรุงการดูดซับน้ำมันสำหรับการกำจัด น้ำมันอิมัลชันใน POME

2.10.9 Zawawi Daud. et al. (2015) ศึกษาและตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการ โคแอกกูเลชันและฟล็อกคูเลชันในการกำจัดของแข็งแขวนลอย, สี, ซีไอดี, น้ำมันและไขมันออกจากน้ำ เสียไปโอดีเซล ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมซัลเฟต, PACl, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FeCl_3 และ Fe_2SO_4 ในการบำบัดน้ำเสียไปโอติเซลศึกษาโดยใช้วิธีจาร์เทสต์ พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของ PACl เท่ากับ 300 mg/L อะลูมิเนียมเท่ากับ 500 และ 300 mg/L FeCl_3 ปริมาณที่เหมาะสมเท่ากับ 350 และ 300 mg/L และ Fe_2SO_4 ปริมาณที่เหมาะสมเท่ากับ 450 และ 300 mg/L จะเห็นได้ว่าแนวโน้มการกำจัดของแข็งแขวนลอย, สี, ซีโอดี, น้ำมันและไขมัน มีความคล้ายคลึงกัน แต่ PACl มีความโดดเด่นมากที่สุดในเรื่องของปริมาณที่เหมาะสมเพียง 300 mg/L จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้บำบัดน้ำเสียไปโอติเซล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) เครื่องวัดซีโอดี (COD) ยี่ห้อ Aqua lytic รุ่น AL200
- 2) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น SC72
- 3) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น pH71
- 4) เครื่องทำความร้อน (Heater) ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น CAT#11-502-49H
- 5) เครื่องย่อยซีโอดี (COD) ยี่ห้อ Aqua lytic รุ่น AL125
- 6) เครื่องวัดปริมาณนิเกิลในน้ำ ยี่ห้อ Hanna Instruments รุ่น HI96740
- 7) อ่างน้ำร้อน (Water bath)
- 8) เครื่องปั่นกวน พร้อมแท่งแม่เหล็ก ยี่ห้อ Hanna Instruments รุ่น HI190M-2
- 9) ขวดแก้วสีชา (Bottle) ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 10) อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง
- 11) ถังผสมน้ำตัวอย่าง
- 12) เครื่องจาร์ เทสต์ (Jar test) ยี่ห้อ Twister รุ่น JR06-A
- 13) นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ Junso รุ่น JS309
- 14) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precision balance รุ่น BSA3202S-CW
- 15) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo
- 16) เครื่องกรองลดความดัน
- 17) ตู้อบ (Oven)
- 18) กระดาษกรองเบอร์ 1
- 19) เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.1.2 สารเคมี

- 1) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; H_2SO_4)
- 2) Kem clear 5%
- 3) ปูนขาว (Lime; $Ca(OH)_2$)
- 4) พอลิเมอร์ 5% (Polymer)
- 5) เฮกเซน (Hexane)
- 6) COD Reagent Vario HR
- 7) โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate; Na_2SO_4)
- 8) ถ่านกัมมันต์ แบบเกล็ด (Granular activated carbon; GAC)
- 9) ถ่านกัมมันต์ แบบผง (Powder activated carbon; PAC)
- 10) ทราย (Sand)

- 11) ฟาธาเลต ฟอสเฟต (Phthalate-Phosphate) บริษัท Hanna Instruments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 12) 0.3% PAN บริษัท Hanna Instruments
- 13) EDTA บริษัท Hanna Instruments
- 14) Zinc Test Kit บริษัท Hanna Instruments

3.2 วิธีการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ ต้องทบทวนสมบัติของน้ำเสีย ณ จุดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 2.2 นอกจากนี้ยังต้องมีการศึกษาถึงข้อมูล คุณลักษณะของวัสดุและสารเคมีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ แบบเกล็ด และแบบผง

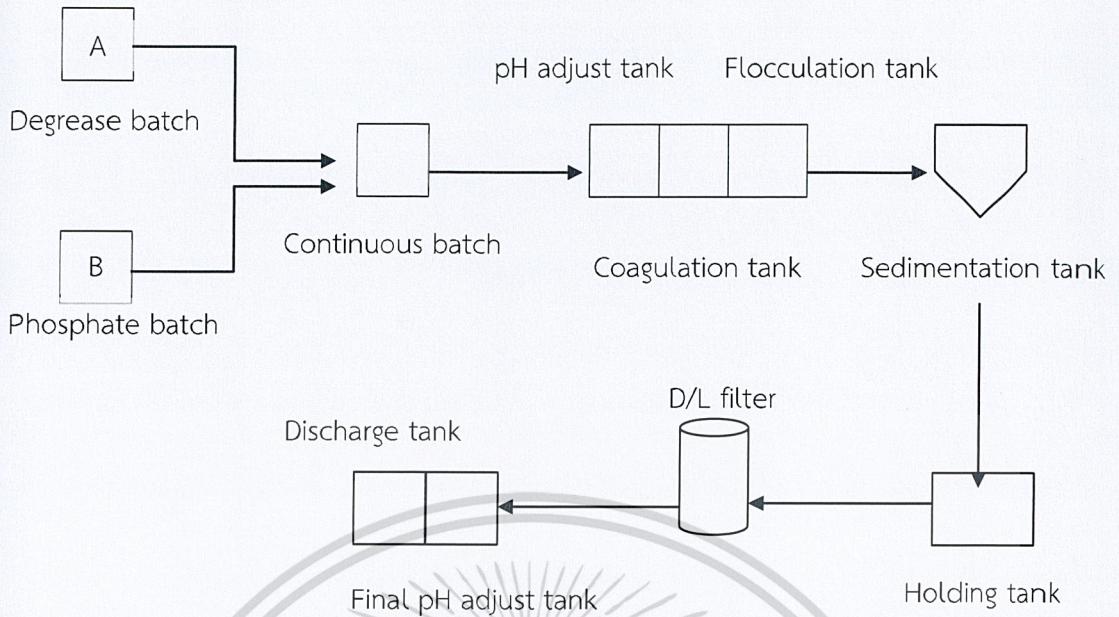
3.2.1 จุดเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บจาก Degrease batch wastewater tank และ Phosphate batch wastewater tank ของระบบบำบัดน้ำเสีย จุดเก็บตามตำแหน่งในแผนภาพดังรูปที่ 3.1 โดยจุด A เก็บปริมาตร 8,000 มิลลิลิตร และจุด B ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร เก็บแบบจ้วง (Grab samples)

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดน้ำตัวอย่าง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/อ้างอิง
ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)	Electrometric measurement
ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ (COD)	Titrimetric method
น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease)	Partition – gravimetric method
ปริมาณนิกเกิล (Ni)	Adaptation of photometric method (0.0000 – 1.000 g/L)
ปริมาณสังกะสี (Zn)	Test kit (0.0 – 5.0 mg/L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนผังของระบบบำบัดน้ำเสีย

A คือ จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ได้จากกระบวนการ Degrease & Pre-degrease

B คือ จุดเก็บน้ำตัวอย่างที่ได้จากกระบวนการ Surface & phosphate

3.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการทำลายสภาพอิมัลชัน

นำน้ำตัวอย่างที่ใช้ศึกษาโดยเก็บจากจุด A ไปทำลายสภาพอิมัลชันด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ เพื่อให้ค่าพารามิเตอร์ไขมันและน้ำมันเป็นไปตามข้อกำหนดของบริษัท

- 1) นำน้ำตัวอย่างจากจุด A ใส่บีกเกอร์ 4 บีกเกอร์ บีกเกอร์ละ 500 มิลลิลิตร
- 2) จากข้อ 1 นำบีกเกอร์ที่ 2-4 ไปอังไอน้ำในที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 15, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ ให้นำบีกเกอร์ใบที่ 1 เป็นน้ำที่อุณหภูมิห้องใช้เป็นชุดควบคุม
- 3) นำน้ำทั้ง 4 บีกเกอร์ไปสกัดหาความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันโดยใช้เฮกเซนเป็นสารสกัด
- 4) ทำเช่นเดิมแต่เปลี่ยนจาก 40°C เป็น 60 และ 80°C ตามลำดับ

3.4 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วยตัวดูดซับ

- 1) ชั่ง GAC 0.5 กรัม
- 2) นำน้ำตัวอย่างจากจุด A ใส่บีกเกอร์ที่ 1 เป็นชุดควบคุม และนำน้ำตัวอย่างจากจุด A หลังผ่านสภาวะที่เหมาะสม ใส่บีกเกอร์ที่ 2 ปริมาตรบีกเกอร์ละ 60 มิลลิลิตร
- 3) นำบีกเกอร์ที่ 1 และ 2 ไปปั่นกวนบนเครื่องปั่นกวนด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที เท GAC ที่ชั่งไว้ลงในทั้งสองบีกเกอร์ จับเวลาปั่นกวน 30 นาที สังเกตผล
- 4) ทำเช่นเดิมแต่เปลี่ยนจาก GAC เป็น PAC และ Sand ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ผลของการทำลายสภาพอิมัลชันต่อการตกตะกอนของนิกเกิล

การศึกษาการทำลายสภาพอิมัลชันด้วยสภาวะที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนของนิกเกิล ได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ แบบแยกบำบัดจากจุด B แบบน้ำผสม A + B ปกติ แบบผสม A ผ่านสภาวะที่เหมาะสม + B และแบบผสม A + B แล้วผ่านสภาวะที่เหมาะสม ศึกษาโดยนำน้ำจากการทดลองทั้ง 4 แบบไปทำการตกตะกอนนิกเกิลโดยวิธีจาร์ เทสต์ (Jar test) จากนั้นนำไปผ่านการเติมอากาศ และไม่เติมอากาศ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดนิกเกิล และการลอยตัวของตะกอน เป็นการตรวจสอบว่าไขมันและน้ำมันในน้ำจากจุด A รบกวนการตกตะกอนของนิกเกิล และมีผลต่อการลอยตัวของตะกอน เพื่อให้ค่าพารามิเตอร์นิกเกิลเป็นไปตามค่ากำหนดของบริษัท

ก. การแยกบำบัดนิกเกิลจากบ่อ B

1. นำน้ำตัวอย่างจากจุด B ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร วัดค่าพีเอช และปรับพีเอชน้ำตัวอย่างให้เท่ากับ 6 โดยใช้กรดซัลฟิวริก จากนั้นแบ่งใส่ 2 บีกเกอร์ บีกเกอร์ละ 500 มิลลิลิตร
2. นำไปกวนเร็วด้วยเครื่องจาร์ เทสต์ ที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เติม 1 มิลลิลิตรของ Kem clear 5% จากนั้นเติมปูนขาวจนได้พีเอชของสารละลายผสมอยู่ระหว่าง 10.0-10.5 ของแต่ละบีกเกอร์ จากนั้นปั่นกวนต่อเป็นเวลา 1-2 นาที
3. ปรับความเร็วการปั่นกวนให้เหลือที่ 50 รอบต่อนาที เติมพอลิเมอร์ 5% บีกเกอร์ละ 4 มิลลิลิตร ปั่นกวนเป็นเวลา 1-2 นาที แล้วทำการปิดใบปั่นกวน สังเกตผลการตกตะกอน
4. นำน้ำตัวอย่างในบีกเกอร์ที่ 1 ไปเติมอากาศด้วยหัวฟู่เป็นเวลา 10 นาที ทั้งทั้งสองบีกเกอร์ไว้ข้ามคืน สังเกตผล

ข. การตกตะกอนนิกเกิลของน้ำผสม A + B ปกติ

1. ผสมน้ำ A + B ในสัดส่วน 1.6:1, 4:1 และ 1:4 โดยปริมาตร
2. เติมสารและทำเช่นเดียวกับ ก. ในข้อ 1 - 4

ค. การตกตะกอนนิกเกิลของน้ำจากจุด A โดยผ่านการทำลายสภาพอิมัลชันแล้วจึงผสมกับน้ำจากจุด B

1. ผสมน้ำ A ที่ผ่านสภาวะที่เหมาะสม และน้ำ B ในสัดส่วน 1.6:1, 4:1 และ 1:4 โดยปริมาตร
2. เติมสารและทำเช่นเดียวกับ ก. ในข้อ 1 - 4

ง. การตกตะกอนนิกเกิลของน้ำจากจุด A โดยผ่านการทำลายสภาพอิมัลชันแล้วจึงผสมกับน้ำจากจุด B

1. ผสมน้ำ A และน้ำ B ในสัดส่วน 1.6:1, 4:1 และ 1:4 โดยปริมาตร แล้วนำไปผ่านสภาวะที่เหมาะสม
2. เติมสารและทำเช่นเดียวกับ ก. ในข้อ 1 - 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

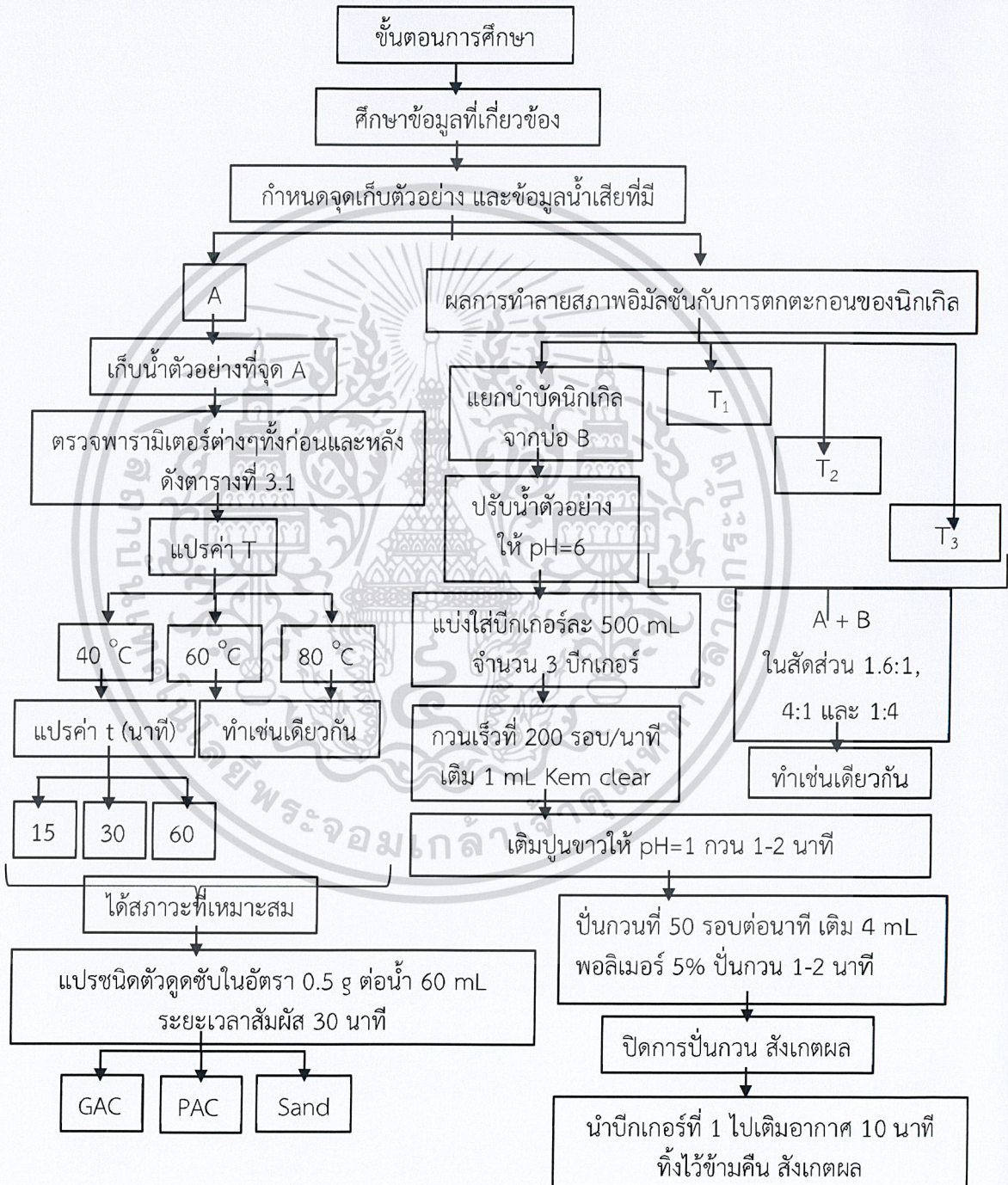
สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แสดงดังรูปที่ 3.2

ซึ่งผลการทำลายสภาพอิมัลชันกับการตกตะกอนของนิกเกิลใช้อักษรย่อดังนี้

แบบที่ I (T₁) บำบัดรวมปกติ

แบบที่ II (T₂) บำบัดน้ำจากจุด A โดยผ่านการทำลายสภาพอิมัลชันแล้วผสมกับน้ำจากจุด B

แบบที่ III (T₃) ผสมน้ำจากจุด A และ B ก่อนแล้วจึงนำไปทำลายสภาพอิมัลชัน



รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัย เรื่อง สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดนิเกิล: กรณีศึกษาน้ำเสียที่มีสภาพอิมัลชันของน้ำมันและไขมัน โดยใช้กระบวนการให้ความร้อนและตัวดูดซับ ผลที่ได้จากการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ผลการทบทวนคุณสมบัติของน้ำเสีย ณ จุดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการทำลายสภาพอิมัลชัน ผลการศึกษาการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วยตัวดูดซับ และผลการศึกษาการทำลายสภาพอิมัลชันต่อการตกตะกอนของนิเกิล รวมถึงการเปรียบเทียบความคุ้มค่าการลงทุนระหว่างการบำบัดเบื้องต้นด้วยตัวดูดซับ GAC, PAC และ Sand

4.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานทางบริษัทมีการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่จำเป็น เช่น pH, COD, Oil & Grease, Ni และ Zn โดยการว่าจ้างห้องปฏิบัติการของเอกชน ในปี 2561 พบว่าค่า pH และ COD มีค่าไม่เกินค่ากำหนดของบริษัท ยกเว้นกรณีบริษัทที่กำลังการผลิตสูงในบางเดือน เช่น ค่าน้ำมันและไขมันในเดือนพฤษภาคม และสังกะสี (Zn) ในเดือนมีนาคมมีค่าเกินค่ากำหนดของบริษัท รวมถึงค่านิเกิล (Ni) ในน้ำจุด C (Influence) เกินค่ากำหนดของบริษัทในบางช่วง แม้ว่าน้ำเสียจากบริษัทยังคงต้องเข้าไปบำบัดด้วยระบบบำบัดส่วนกลางของอมตะนคร แต่เพื่อให้ค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดเป็นไปตามค่ากำหนดของบริษัทในการทำสหกิจศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดนิเกิลด้วยการตกตะกอน ให้น้ำเสียที่ออกจากจุด O (Effluence) มีค่าผ่านค่ากำหนดของบริษัทคือ ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.5 mg/L

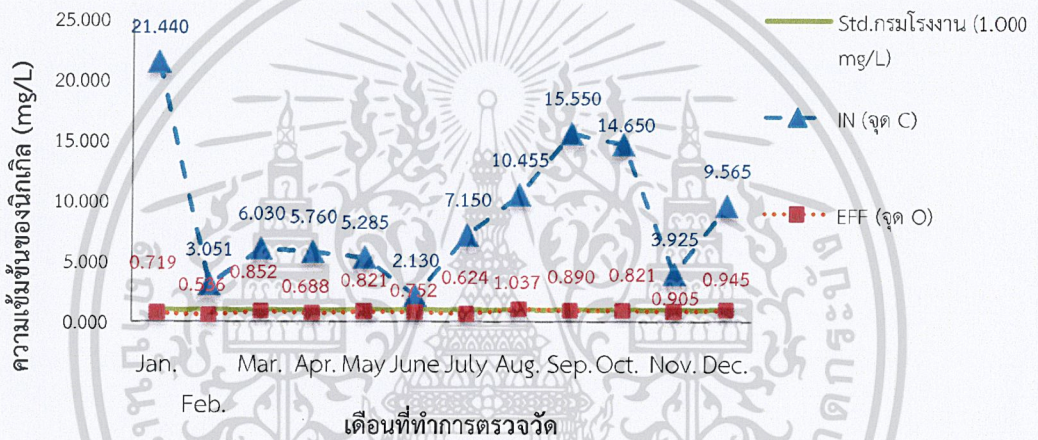


รูปที่ 4.1 ค่าซีโอดี (COD) ในน้ำเสียจากจุด C และจุด O ปี 2561 (n=1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากจุด C และจุด O ปี 2561 (n=1)



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) ในน้ำเสียจากจุด C และจุด O ปี 2561 (n=1)



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของสังกะสี (Zn) ในน้ำเสียจากจุด C และ จุด O ปี 2561 (n=1)

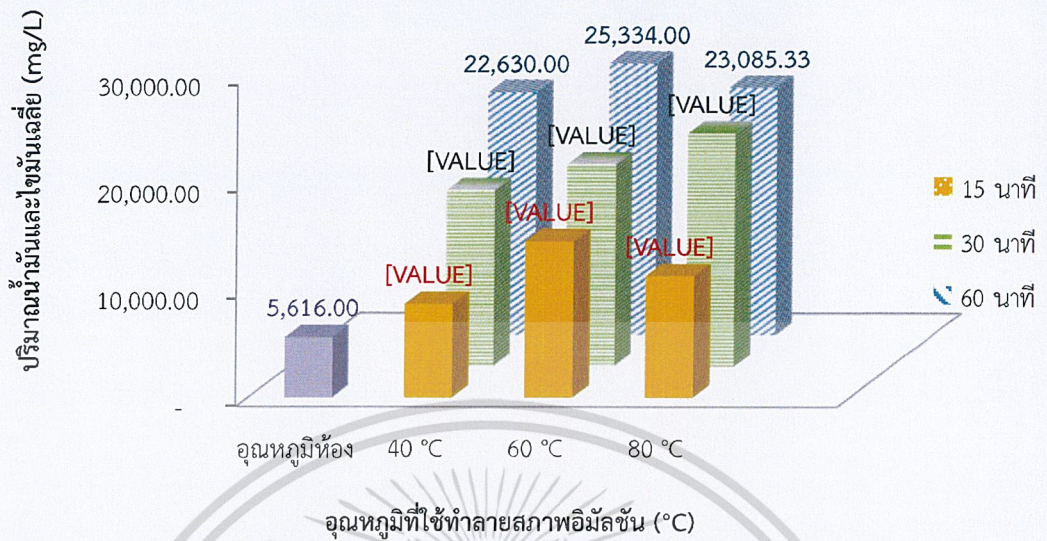
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันและไขมันในน้ำเสียเป็นผลมาจากกระบวนการ Degrease & Pre-degrease ทำให้มีน้ำมัน กันสนิมและน้ำมันหล่อลื่นเจือปนลงในน้ำ ส่งผลให้น้ำเสียมีความเข้มข้นน้ำมันและไขมันสูง อีกทั้ง น้ำมันและไขมันที่เจือปนในน้ำ นอกจากนี้ยังมีสภาพความอิมัลชันสูงรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับน้ำไม่เกิดการแยกชั้นแม้ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน ส่วนในกระบวนการ Surface & phosphate ของบริษัท เป็นกระบวนการเตรียมพื้นที่ผิวโลหะ ทำให้เกิดนิกเกิลและสังกะสีเจือปนในน้ำเสียจำนวนมาก จากรูปที่ 4.1-4.4 พบว่าค่า COD, น้ำมันและไขมัน, นิกเกิลและสังกะสีมีความสอดคล้องไปในทางเดียวกัน เช่น COD สูง ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันสูง นิกเกิลและสังกะสีตะกอนได้ไม่ดีเหลือค่างในระบบมาก แต่ในกรณี COD ต่ำ ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันต่ำ นิกเกิลและสังกะสีตะกอนได้ดีกว่าและเหลือค่างในระบบน้อย เห็นได้ชัดว่าเมื่อความเข้มข้นน้ำมันและไขมันในน้ำเสียมากส่งผลต่อการตกตะกอน นิกเกิลที่น้อยลง ดังนั้นสหกิจศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดนิกเกิล กรณีน้ำเสียที่มีสภาพอิมัลชันของน้ำมันและไขมัน

4.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการทำลายสภาพอิมัลชัน

จากการศึกษาผลการทำลายสภาพอิมัลชันของน้ำจากจุด A โดยใช้น้ำเดียวกันทั้งหมด กรณีที่สกัดน้ำมันและไขมันจากน้ำจุด A ที่ไม่ได้ทำลายสภาพอิมัลชันหรือชุดควบคุม พบว่าเฮกเซนไม่สามารถสกัดไมเซลล์ (Micelle) ออกมาจากน้ำได้ น้ำมันและไขมันยังคงกระจายตัวอยู่ในชั้นน้ำ ไม่เกิดการละลายเข้าสู่ชั้นเฮกเซน ทำให้ได้ค่าน้ำมันและไขมันเพียง 5,616 mg/L แต่เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 15 นาที เพื่อทำลายสภาพอิมัลชันที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C แล้วนำไปสกัดน้ำมันและไขมันด้วยเฮกเซนคล้ายชุดควบคุม พบว่าสามารถสกัดน้ำมันและไขมันในชั้นเฮกเซนได้เพิ่มขึ้น 55.52%, 159.54% และ 101.92% ตามลำดับ แสดงว่าการเพิ่มอุณหภูมิช่วยทำลายสภาพอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 60 °C สามารถทำลายสภาพอิมัลชันได้ดี เมื่อเพิ่มเวลามากขึ้นถึง 60 นาที ช่วยให้เกิดการสกัดน้ำมันและไขมันออกมาได้มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.5 ที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 60 นาที เป็นสภาวะที่มีการทำลายสภาพอิมัลชันและสกัดน้ำมันและไขมันในน้ำจากจุด A ได้เพิ่มถึง 351.1%

ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันที่สูงขึ้นอาจเกิดจากการที่สภาพอิมัลชันถูกทำลายด้วยความร้อน สังเกตได้จากสภาพน้ำเสียหลังผ่านการเพิ่มอุณหภูมิมิฝ้าของน้ำมันและไขมันบาง ๆ ปรากฏบริเวณผิวของน้ำเสีย ดังนั้นจึงพบความเข้มข้นของไขมันและน้ำมันสูงขึ้นเมื่อผ่านสภาวะที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นระยะเวลา 60 นาที ถึงแม้ในการทำลายสภาพอิมัลชันของน้ำเสีย ความร้อนสามารถทำลายสภาพอิมัลชันได้ แต่ยังไม่สามารถแยกน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสียได้ รวมถึงค่าน้ำมันและไขมันยังไม่ผ่านค่ากำหนดของบริษัท จึงมีการศึกษาการบำบัดโดยใช้ตัวดูดซับในการดูดซับน้ำมันและไขมัน



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันเจือปนในน้ำจากจุด A ก่อนและหลังทำลายสภาพอิมัลชัน (n=3)

4.3 ผลการศึกษาการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วยตัวดูดซับ

จากการศึกษาการดูดซับน้ำมันและไขมันของน้ำจากจุด A โดยใช้น้ำเดียวกันกับการทดลอง 3.3 ที่ผ่านทำลายสภาพอิมัลชันด้วยสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้ GAC, PAC และ Sand เป็นตัวดูดซับ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำลายสภาพอิมัลชันคือ อุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลา 60 นาที มาทำการศึกษาการดูดซับน้ำมันและไขมัน เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวมีความเข้มข้นน้ำมันและไขมันที่สกัดได้สูงสุด

จากการทดลองเมื่อน้ำจากจุด A โดยไม่ได้ทำลายสภาพอิมัลชันหรือชุดควบคุมนำไปดูดซับน้ำมันและไขมันโดยใช้ GAC, PAC และ Sand ซึ่ง Sand ที่ผู้วิจัยเลือกนำมาใช้ในการศึกษารั้งนี้ เป็น Sand ชนิดละเอียดปานกลาง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.0 – 3.0 มิลลิเมตร เป็นตัวดูดซับประเภทมีขั้ว โดยผลการศึกษาพบว่าน้ำมันและไขมันยังคงกระจายตัวอยู่ในชั้นน้ำ ตัวดูดซับไม่สามารถดูดซับได้ ในการศึกษารั้งนี้และไม่เกิดการละลายเข้าสู่ชั้นเฮกเซนเมื่อนำไปสกัด ทำให้ได้ค่าน้ำมันและไขมัน 4,082.00, 3,389.33 และ 4,751.33 mg/L ตามลำดับ ดังแสดงตารางที่ ค-4 - ค-6 น้ำจากจุด A เมื่อนำไปผ่านสภาวะที่เหมาะสมสามารถสกัดปริมาณน้ำมันและไขมันได้มากถึง 25,334 mg/L แต่เมื่อนำไปดูดซับน้ำมันและไขมันต่อโดยใช้ GAC, PAC และ Sand พบว่าสามารถสกัดน้ำมันและไขมันในชั้นเฮกเซนได้ลดลงถึง 4.71%, 77.35% และ 27.31% ตามลำดับ แสดงว่า PAC สามารถดูดซับน้ำมันและไขมันที่ออกมาได้ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.6

ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันที่น้อยลงเกิดจากการที่น้ำเสียที่ถูกทำลายสภาพอิมัลชันด้วยความร้อนในสภาวะที่เหมาะสมดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น ส่งผลต่อสภาพขั้วของน้ำมันและไขมันเกิดการเปลี่ยนแปลงจากมีขั้วเป็นไม่มีขั้วทำให้คุณสมบัติในการละลายน้ำน้อยลง ความเป็นอิมัลชันถูกทำลาย น้ำมันและไขมันในสภาพไม่มีขั้วจะถูกดูดซับได้ดีด้วยตัวดูดซับที่ไม่มีขั้ว จะเห็นได้ว่า Sand ซึ่งเป็นตัวดูดซับที่มีขั้วดูดซับน้ำมันและไขมันได้น้อยสุด เมื่อเทียบกับตัวดูดซับจำพวกถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซัฟท์ไม่มีขี้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 แบบพบว่า PAC สามารถดูดซับไขมันและน้ำมันได้มากกว่าเมื่อเทียบกับ GAC เนื่องจาก PAC เป็นตัวดูดซับที่ไม่มีขี้ทำให้สามารถจับกับน้ำมันและไขมันที่ผ่านการทำลายสภาพอิมัลชันจนกลายเป็นพวกไม่มีขี้ได้ดีกว่า Sand และมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากกว่า GAC ดังแสดงตารางที่ 4.1 ทำให้สามารถดูดซับน้ำมันและไขมันได้มากกว่า

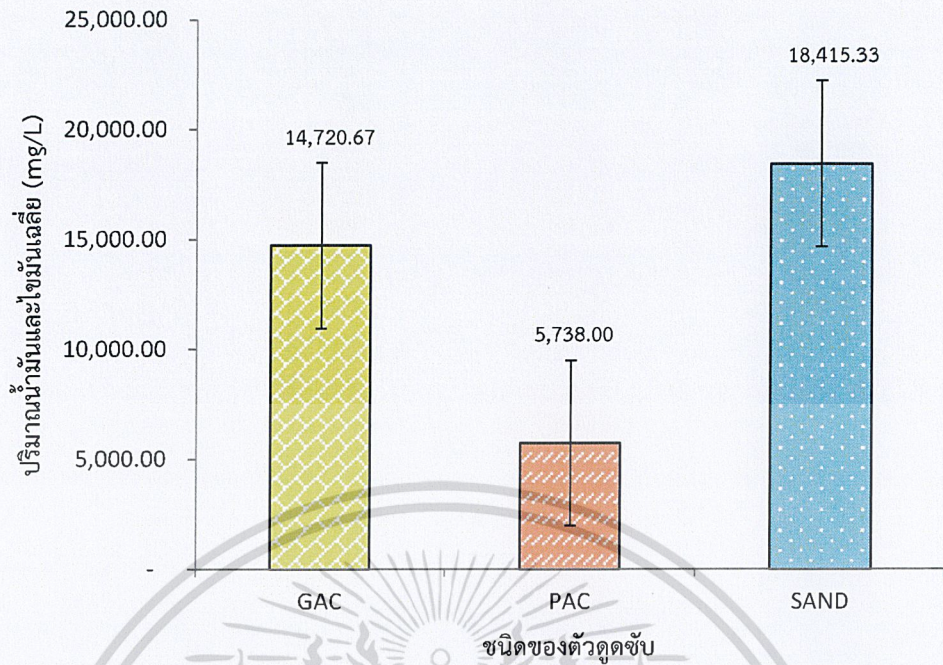
จากการทดลองสรุปได้ว่า การดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย PAC สามารถดูดซับน้ำมันและไขมันได้ดีกว่า GAC และ Sand เพราะ PAC เป็นตัวดูดซับที่ไม่มีขี้ทำให้สามารถจับกับน้ำมันและไขมันที่ผ่านการทำลายสภาพอิมัลชันจนกลายเป็นพวกไม่มีขี้ได้ดีกว่า Sand รวมถึง PAC มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสมากกว่า GAC แต่อย่างไรก็ตามค่าน้ำมันและไขมันยังไม่ผ่านค่ากำหนดของบริษัท ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์

คุณลักษณะ	GAC	PAC
ลักษณะทั่วไป	สีดำ ปราดจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้	สีดำ ปราดจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้
³ ค่าไอโอดีน (mg/g)	ไม่น้อยกว่า 600	ไม่น้อยกว่า 600
พื้นที่ผิว (m ² /g)	300-500	600-1,000
ความหนาแน่นปรากฏ (g/cm ³)	ไม่น้อยกว่า 0.20	0.20 – 0.75
ความชื้น	ไม่เกิน 8 %	-
ความแข็ง	ไม่น้อยกว่า 70 %	-
ขนาด	0.5-4.0 มิลลิเมตร	10-50 ไมครอน
ราคา	40-60 บาท/กิโลกรัม	80-100 บาท/กิโลกรัม

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 900 – 2547 กระหรวงอุตสาหกรรม

หมายเหตุ : ³ค่าไอโอดีน (Iodine number) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร



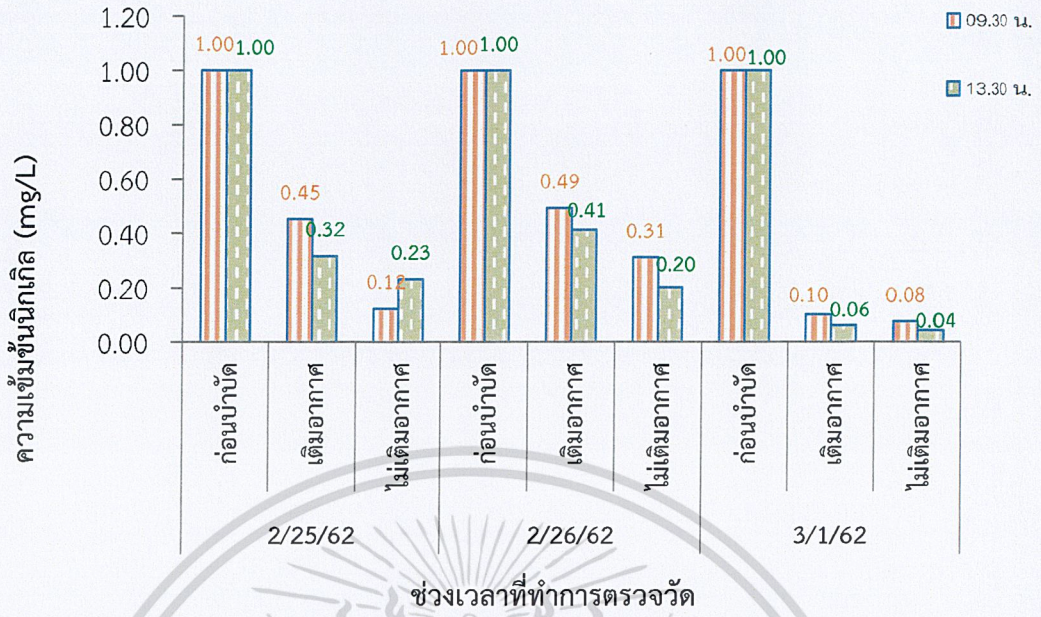
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันเฉลี่ยจากการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วยตัวดูดซับ (n=3)

4.4 ผลการศึกษาการทำลายสภาพอิมัลชันต่อการตกตะกอนของนิกเกิล

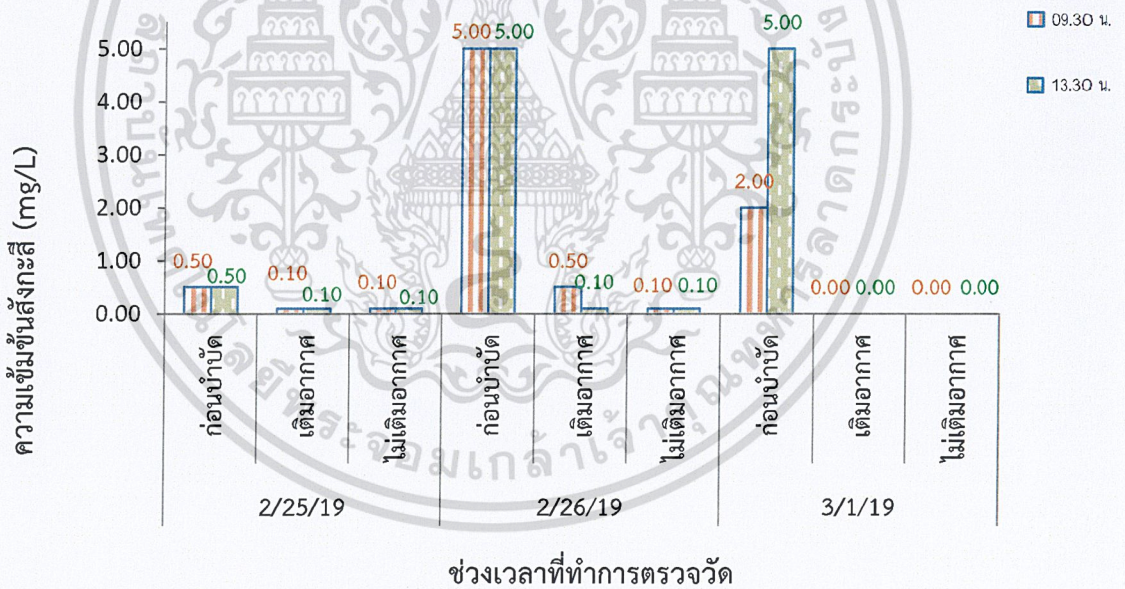
การศึกษการทำลายสภาพอิมัลชันด้วยสภาวะที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนของนิกเกิล ผู้วิจัยได้ทำการเก็บน้ำตัวอย่างขึ้นมาใหม่ และได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ แบบแยกบำบัดน้ำจุด B, แบบ T₁, T₂ และ T₃

เมื่อผู้วิจัยได้ทำการแยกบำบัดน้ำจุด B ที่ได้มาจากกระบวนการ Surface & phosphate ภายในบริษัท ซึ่งกระบวนการดังกล่าวส่งผลทำให้น้ำเสียมีความเข้มข้นนิกเกิลและสังกะสีสูง เมื่อนำมาบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนแยกออกจากน้ำจุด A พบว่า ค่านิกเกิลไม่เกินค่าที่กำหนดของบริษัทที่ 0.5 mg/L และค่าสังกะสีไม่เกินค่าที่กำหนดของบริษัทที่ 2.5 mg/L ดังรูปที่ 4.7-4.8 ทุกค่า โดยกรณีไม่แยกบำบัดโดยผสมน้ำจากจุด A และ B ตามปกติ พบว่า ความเข้มข้นของนิกเกิลและสังกะสีไม่ผ่านค่าที่กำหนดของบริษัทดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 จึงได้ข้อสรุปว่าปริมาณน้ำมันและไขมันส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลและสังกะสีออกจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



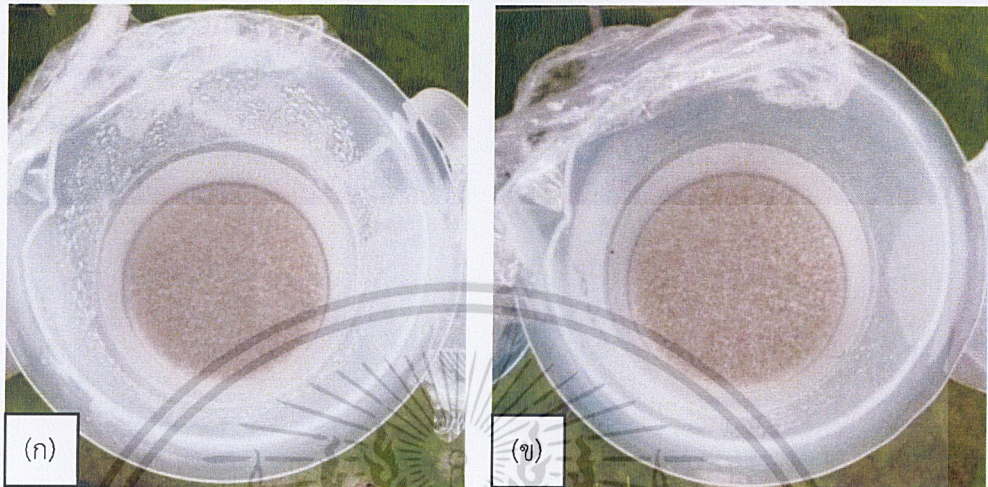
รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นนิกเกิล (Ni) ของการแยกบำบัดนิกเกิลจากจุด A (n=1)



รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นสังกะสี (Zn) ของการแยกบำบัดนิกเกิลจากจุด A (n=1)

หลังจากบำบัดแล้วทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง พบว่าทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศไม่พบการลอยของตะกอน ตะกอนของทั้งแบบเติมและไม่เติมอากาศมีลักษณะไม่แตกต่างกัน คือ มีสีขาว จมตัวแบบอัดแน่น ขนาดประมาณ 0.1 – 1 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และหลังการบำบัดทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ค่านิกเกิลและสังกะสีแบบไม่เติมอากาศมีค่าน้อยกว่าแบบเติมอากาศ เนื่องจากการเติมอากาศเอกสารนี้ ทำให้ตะกอนหรือฟล็อกที่จมอยู่ด้านล่างเกิดการฟุ้งกระจายขึ้นมา กุญแจเติมอากาศทำให้เกิดการแตกการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของฟล็อก เมื่อฟล็อกแตกตัวนิกเกิลและสังกะสีแทนที่จะตกตะกอนเป็นของแข็งตกลงรวมเป็นตะกอน กลับมีบางส่วนหลุดออกมาจากฟล็อกทำให้ค่านิกเกิลและสังกะสีที่วัดได้หลังการบำบัดแบบเติมอากาศ มีค่ามากกว่าแบบไม่เติมอากาศ แสดงดังรูปที่ 4.7-4.8



รูปที่ 4.9 ลักษณะตะกอนหลังการบำบัด (24 ชั่วโมง)

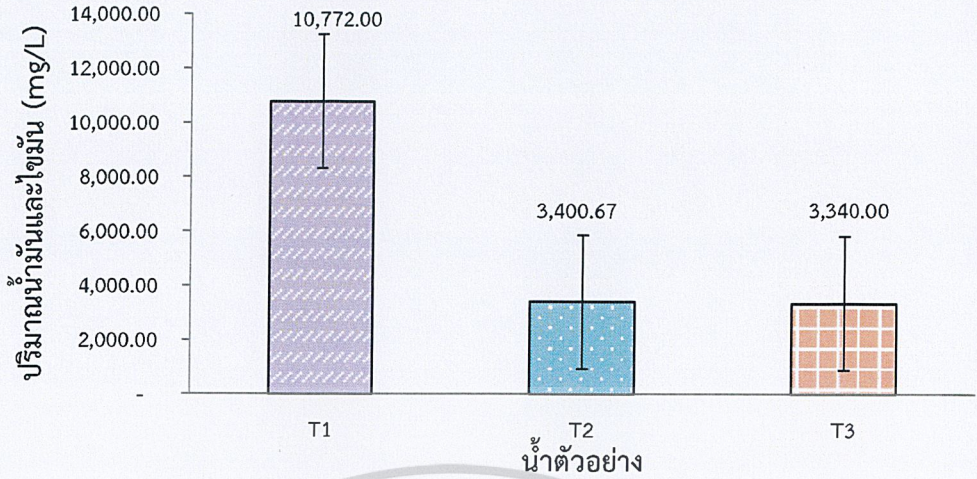
(ก.) เติมอากาศ (ข) ไม่เติมอากาศ

4.4.1 ผลการตกตะกอนของนิกเกิลน้ำผสมแบบต่าง ๆ ในสัดส่วนน้ำจืด A : B เป็น 1.6:1

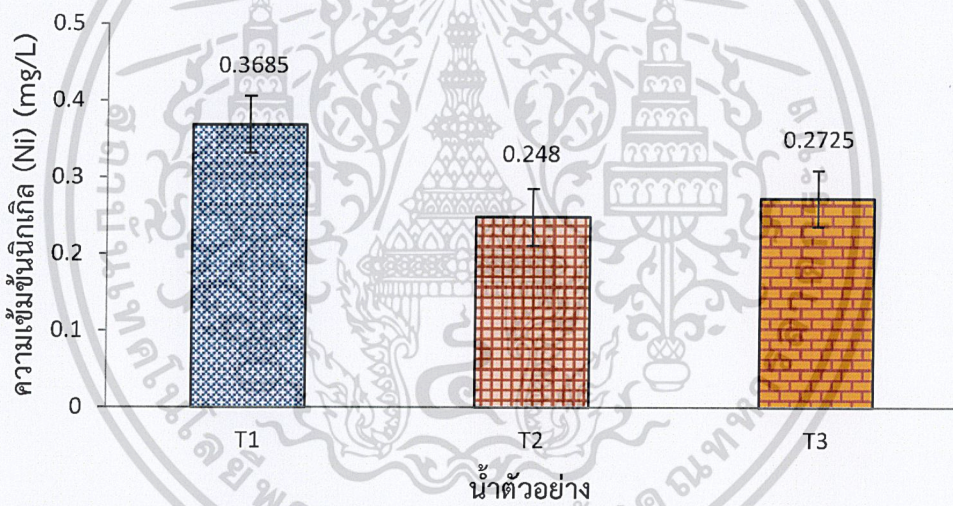
ในระบบบำบัดของบริษัทมีการบำบัดโดยผสมน้ำจากจุด A 40 m³ และน้ำจากจุด B 25 m³ คิดเป็นสัดส่วน 1.6:1 แล้วจึงนำน้ำผสมไปผ่านกระบวนการปรับสภาพและตกตะกอนเพื่อทำการบำบัดต่อไป เมื่อทำการศึกษาการทำลายสภาพอิมัลชันต่อการตกตะกอนของนิกเกิลของน้ำผสมแบบต่าง ๆ ได้แก่ T₁, T₂ และ T₃ ผู้วิจัยจึงทำการผสมน้ำจากจุด A และ B ในสัดส่วน 1.6:1 ตามระบบบำบัดจริง โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในการทำลายสภาพอิมัลชันคือ อุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลา 60 นาที และใช้ PAC ที่เป็นตัวดูดซับ

เมื่อนำน้ำผสมดังกล่าวมาทำการสกัดด้วยเฮกเซนโดยวิธีคล้ายกันทั้งหมด พบว่าสามารถสกัดไขมันและน้ำมันของน้ำผสม T₁ ได้มากถึง 10,772 mg/L แต่เมื่อน้ำผสมในสัดส่วนเดียวกันของแบบ T₂ และ T₃ สามารถสกัดน้ำมันและไขมันในชั้นเฮกเซนได้ลดลงถึง 68.43% และ 68.99% ตามลำดับ แสดงว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่ 60 °C เป็นเวลา 60 นาที แล้วดูดซับด้วย PAC ช่วยลดความเข้มข้นน้ำมันและไขมันในน้ำเสียดังแสดงในรูปที่ 4.10 น้ำผสมแบบ T₂ สามารถลดนิกเกิลค้างในระบบได้มากถึง 48.39% และไม่เกินค่ากำหนดของบริษัทดังแสดงในรูปที่ 4.11 ในที่นี้ไม่ได้กล่าวถึงการตกตะกอนของสังกะสีเนื่องจากไม่มีปัญหาการตกตะกอน และค่าที่ตรวจวัดได้หลังการบำบัดมีค่าเพียง 0-0.1 mg/L ซึ่งต่ำกว่าค่ากำหนดของบริษัทมาก และจากการทดลองกล่าวได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนของนิกเกิลคือ น้ำผสมแบบ T₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำผสมแบบต่าง ๆ สัดส่วนน้ำจุด A : B เป็น 1.6:1 (n=3)



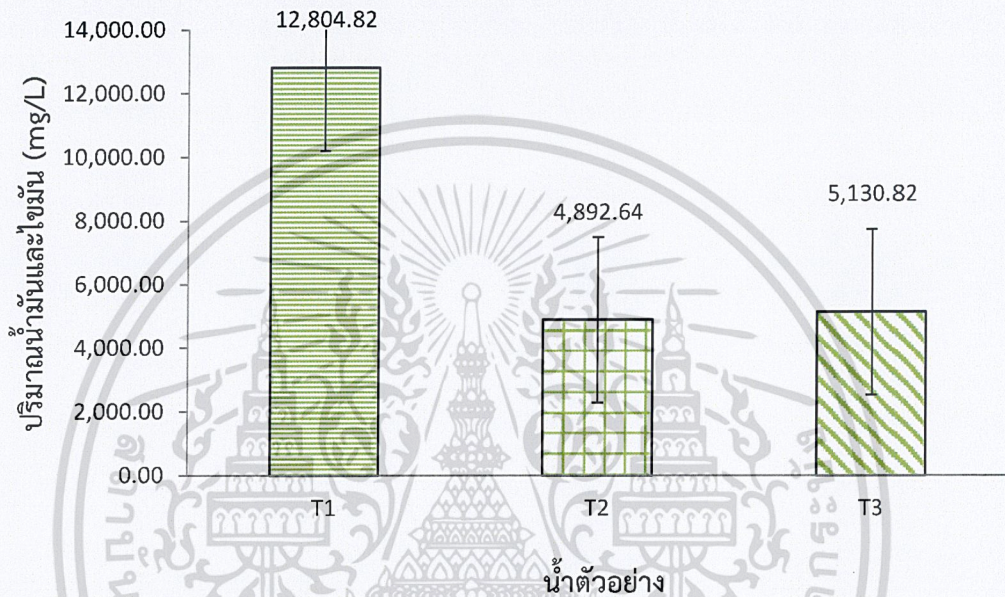
รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นนิกเกิลของน้ำผสมแบบต่าง ๆ ในสัดส่วนน้ำจุด A : B เป็น 1.6:1 (n=3)

4.4.2 ผลการตกตะกอนของนิกเกิลน้ำผสมแบบต่าง ๆ สัดส่วนน้ำจุด A : B เป็น 4:1

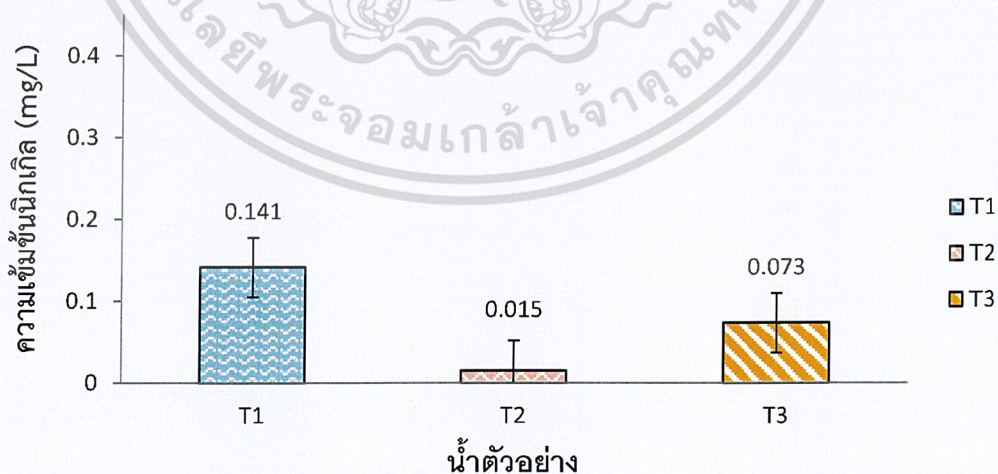
ในการเดินระบบบำบัดของบริษัทสัดส่วนผสมของน้ำจากจุด A และจุด B ไม่เป็นไปตามสัดส่วน 1.6:1 ทั้งหมด ซึ่งปริมาณน้ำเสียในแต่ละจุดขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตในแต่ละวันของบริษัททำให้สัดส่วนในการผสมเปลี่ยนแปลงตลอด ในการศึกษาผลการตกตะกอนของนิกเกิลน้ำผสมแบบต่าง ๆ ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดสัดส่วน A : B เป็น 4:1 คือ ในกรณีที่น้ำจากจุด B หมดหรือเกือบหมด ทำให้ปริมาตรน้ำจากจุด B ที่เข้าระบบบำบัดน้อยกว่าปกติ น้ำที่เข้าระบบบำบัดจึงเป็นน้ำจากจุด A เป็นหลัก โดยสภาวะที่เหมาะสมในการทำลายสภาพอิมัลชันที่ใช้คือ อุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลา 60 นาที และใช้ PAC ที่เป็นตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำน้ำผสมดังกล่าวไปทำการสกัดน้ำมันและไขมันด้วยเฮกเซน พบว่าน้ำผสมแบบ T_1 ได้ค่าความเข้มข้นน้ำมันและไขมันมากถึง 12,804.82 mg/L แต่ในน้ำผสม T_2 และ T_3 สามารถสกัดน้ำมันและไขมันโดยใช้เฮกเซนด้วยวิธีที่คล้ายกันลดลงถึง 61.79% และ 59.93% ตามลำดับ แสดงว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่ 60 °C เป็นเวลา 60 นาที แล้วดูดซับด้วย PAC วิธีนี้ยังคงสามารถช่วยลดความเข้มข้นน้ำมันและไขมันในน้ำเสียได้ดังแสดงในรูปที่ 4.12 อีกทั้งหลังการบำบัดของน้ำผสมทั้ง 3 แบบในสัดส่วน A : B เป็น 4:1 มีค่าความเข้มข้นนิกเกิลไม่เกินค่ากำหนดของบริษัท คือ 0.5 mg/L โดยแบบ T_2 สามารถลดนิกเกิลค้างในระบบได้มากถึง 89.36% ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 ความเข้มข้นไขมันและน้ำมันของน้ำผสมแบบต่าง ๆ ในสัดส่วนน้ำจืด A : B เป็น 4:1 (n=3)



รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นนิกเกิลของน้ำผสมแบบต่าง ๆ ในสัดส่วนน้ำจืด A : B เป็น 4:1 (n=3)

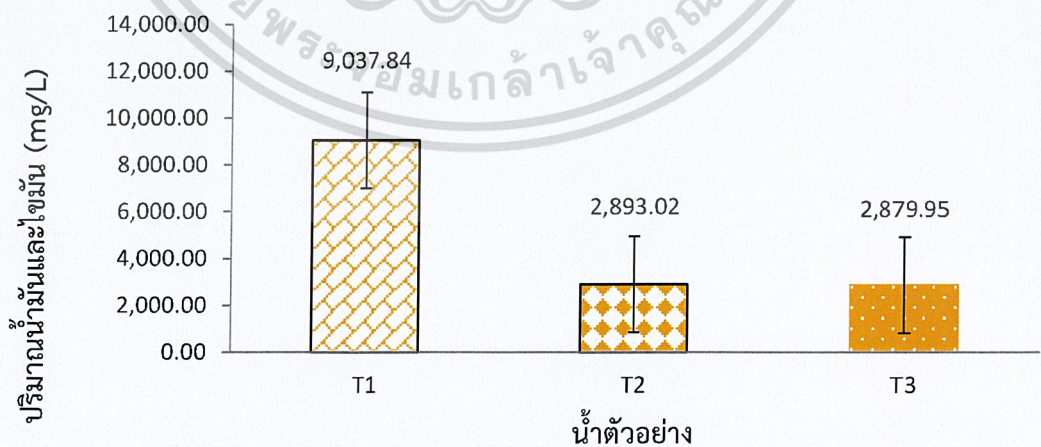
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลการตกตะกอนของนิกเกิลน้ำผสมแบบต่าง ๆ สัดส่วนน้ำจุด A : B เป็น 1:4

ในการเดินระบบบำบัดของบริษัทสัดส่วนผสมของน้ำจุด A และจุด B ไม่เป็นไปตามสัดส่วน 1.6:1 ทั้งหมดดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น ในการศึกษาผลการตกตะกอนของนิกเกิลน้ำผสมแบบต่าง ๆ ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดสัดส่วน A : B เป็น 1:4 คือ ในกรณีที่น้ำจากจุด A หหมดหรือเกือบหมด ทำให้ปริมาตรน้ำจากจุด A ที่เข้าระบบบำบัดน้อยกว่าปกติ น้ำที่เข้าระบบบำบัดจึงเป็นน้ำจากจุด B เป็นหลัก โดยสภาวะที่เหมาะสมในการทำลายสภาพอิมัลชันที่ใช้คือ อุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลา 60 นาที และใช้ PAC ที่เป็นตัวดูดซับ

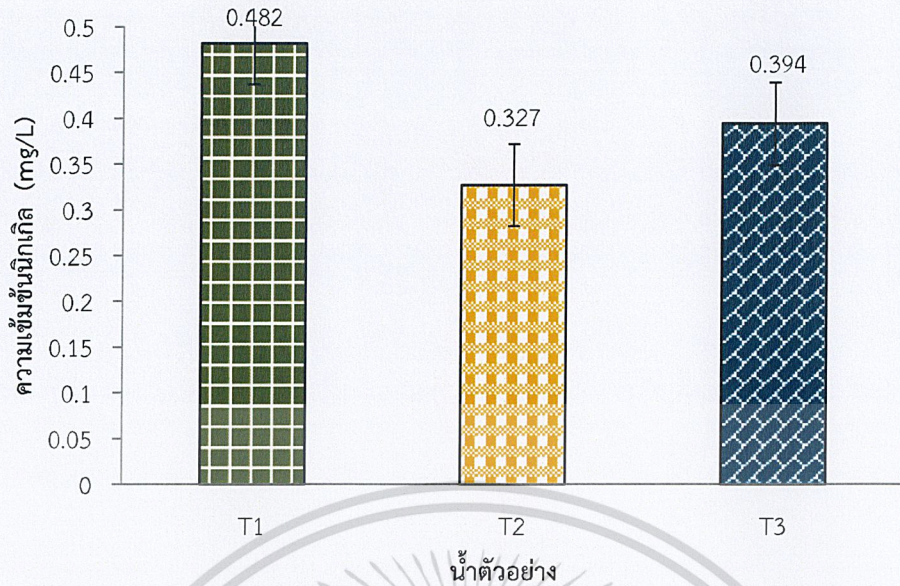
เมื่อนำน้ำผสมดังกล่าวไปทำการสกัดน้ำมันและไขมันโดยใช้เฮกเซนด้วยวิธีที่คล้ายกันทั้งหมด พบว่าน้ำผสมแบบ T₁ ได้รับความเข้มข้นน้ำมันและไขมันมากถึง 9,037.84 mg/L แต่ในน้ำผสมสัดส่วนเดียวกันแบบ T₂ และ T₃ สามารถสกัดน้ำมันและไขมันได้ลดลงถึง 67.99% และ 68.13% ตามลำดับ แสดงว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่ 60 °C เป็นเวลา 60 นาที แล้วดูดซับด้วย PAC วิธีนี้ยังคงสามารถช่วยลดความเข้มข้นน้ำมันและไขมันในน้ำเสียได้ดังแสดงในรูปที่ 4.14 อีกทั้งหลังการบำบัดของน้ำผสมทั้ง 3 แบบในสัดส่วน A:B เป็น 1:4 มีค่าความเข้มข้นนิกเกิลไม่เกินค่ากำหนดของบริษัทที่ 0.5 mg/L โดยแบบ T₂ สามารถลดนิกเกิลค้างในระบบได้มากถึง 32.16% ดังแสดงในรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนน้ำจากจุด A และ B เป็น 1:4 การทำลายสภาพอิมัลชันน้ำจุด A ก่อนการผสมกับน้ำจุด B ไม่ทำให้นิกเกิลที่เหลือในระบบต่างจากกรณีที่รวมทั้ง 2 จุด แล้วทำการทำลายสภาพอิมัลชัน เนื่องจากน้ำจากจุด A มีปริมาณต่ำกว่า B มาก

ดังนั้นควรมีการศึกษาและควบคุมสัดส่วนน้ำที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดให้เหมาะสมต่อไป เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมัน และลดนิกเกิลที่ดีที่สุด หากทำตามวิธีตามที่ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง ค่านิกเกิลในระบบก็ไม่เกินค่ากำหนด และถ้าน้ำที่ถูกควบคุมในอัตราส่วน 1.6:1 นั้นมีค่าที่ไม่เกินค่ากำหนด ผู้ดูแลระบบควรควบคุมการนำน้ำเข้าระบบให้อยู่ในอัตราส่วน 1.6:1 อย่างคงที่ให้ตลอด



รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นไขมันและน้ำมันของน้ำผสมแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในสัดส่วนน้ำจุด A : B เป็น 1:4 (n=3) ภาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ความเข้มข้นนิเกิลของน้ำผสมแบบต่าง ๆ ในสัดส่วนน้ำจุด A : B เป็น 1:4 (n=3)

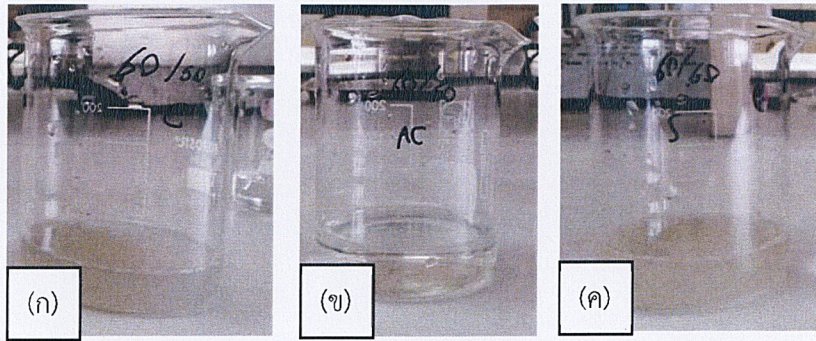
4.5 เปรียบเทียบความคุ้มค่าต่อการลงทุนการบำบัดเบื้องต้นด้วยตัวดูดซับ GAC, PAC และ Sand

ในการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นด้วยวิธีการให้ความร้อน และผ่านตัวดูดซับซึ่งได้แก่ GAC, PAC และ Sand พบว่า พบว่า Sand มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันและไขมันน้อยที่สุด และ PAC มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันและไขมันให้เหลือในระบบได้ดีกว่า GAC เนื่องจาก Sand ดูดซับน้ำมันและไขมันทำให้สกัดได้ในชั้นเฮกเซนลดลงเพียง 27.31% ส่วน PAC สามารถดูดซับน้ำในและไขมันทำให้การสกัดได้จากชั้นเฮกเซนลดลงถึง 77.35% ในขณะที่ GAC ลดได้เพียง 47.89% เมื่อเทียบกับน้ำเดียวกับที่ผ่านสภาวะที่เหมาะสมเช่นเดียวกันแต่ไม่ใช้ตัวดูดซับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากการเปรียบเทียบราคาของ GAC, PAC และ Sand พบว่า PAC มีที่ค่อนข้างสูงกว่าราคาของ GAC และ Sand มีราคาถูกที่สุด จากรูปที่ 4.16 น้ำหลังการผ่านการดูดซับด้วย PAC ไสกว่าตัวดูดซับตัวอื่นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความคุ้มค่าต่อการลงทุนการบำบัดเบื้องต้นด้วยตัวดูดซับ

ตัวดูดซับ	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ปริมาณที่ใช้ (กรัม/ลิตร)	วิธีและเทคนิคในการ แยก	ประสิทธิภาพบำบัด น้ำมันและไขมัน
PAC	80-100	8.33	ยาก	77.35%
GAC	40-60	8.33	ง่าย	41.89%
Sand	≈0.15	8.33	ง่าย	27.31%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นสภาวะเหมาะสม และตัวดูดซับต่าง ๆ
 (ก) ดูดซับโดย GAC (ข) ดูดซับโดย PAC (ค) ดูดซับโดย Sand



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

สหกิจศึกษานี้เป็นการศึกษาการทำลายสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงของน้ำเสียจากบริษัทผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการกำจัดนิกเกิล โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการทำลายสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูง โดยทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของการทำลายสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงของน้ำเสียโดยใช้ความร้อน เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำลายสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงของน้ำเสียที่อุณหภูมิต่างๆ และเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ จากผลการวิจัยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการทำลายสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงของน้ำเสีย คือวิธีให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C นานเวลา 60 นาที และใช้ PAC เป็นตัวดูดซับ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเทียบความคุ้มค่าระหว่างการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นด้วยตัวดูดซับ พบว่า PAC มีราคาสูงที่สุด แต่ PAC มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุด

การศึกษาก่อนการตกตะกอนนิกเกิลโดยนำน้ำผสมในอัตราส่วนแบบต่าง ๆ พบว่า น้ำเสียผสมจากบ่อ Degrease batch wastewater และ Phosphate batch wastewater ในอัตราส่วน 1.6:1, 4:1 และ 1:4 ทั้ง 3 อัตราส่วน เมื่อทำลายสภาพความเป็นอิมัลชันคงตัวสูงก่อนทั้งแบบ T₁, T₂ และ T₃ มีค่านิกเกิลในน้ำที่ออกจากระบบบำบัดไม่เกินค่ากำหนดของบริษัท และเมื่อศึกษาการปฏิบัติงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเสียแบบต่าง ๆ พบว่า T₂ ใช้พลังงานในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำเสียน้อยกว่า T₃

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรทำการศึกษาการทำลายสภาพอิมัลชันวิธีอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด เช่น การเติมอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุตรงข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์, เป็นต้น,
- 2) ควรศึกษาตัวดูดซับตัวอื่นเพิ่มเติมหรือ PAC ที่ทำจากอย่างอื่น เพื่อหาตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีที่สุด และคุ้มค่าแก่การลงทุน
- 3) ควรมีการศึกษาถึงการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ หรือวิธีการกำจัดถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว
- 4) การนำวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้ในระบบจริง อาจต้องมีการออกแบบระบบใหม่ หรือเพิ่มอุปกรณ์บางส่วน และตัว PAC มีราคาที่สูง ต้องศึกษารายละเอียดมากขึ้น
- 5) ควรศึกษาการนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ ของกากตะกอนจากระบบบำบัด เช่น การดึงเอาโลหะหนักหรือองค์ประกอบสำคัญที่อยู่ในกากตะกอนกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้ง โดยคำนึงถึงร้อยละการกลับคืน และความคุ้มค่าในการลงทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กฤษณี ปิ่นเวหา. 2554. การแยกสลายด้วยความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยา เอพซีซี ใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กิตติพันธ์ บางยี่ขัน. 2551. โลหะกับการพัฒนาประเทศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐาน 1 สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.
- การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 2560. ประกาศการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย เรื่อง กำหนดมาตรฐานทั่วไปในการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางในนิคมอุตสาหกรรม พ.ศ. 2560. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 23 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: <http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER6/DRAWER064/GENERAL/DATA0000/00000026.PDF>
- กรรณิการ์ สิริสิงห. 2525. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. ประยูรวงศ์. กรุงเทพฯ.
- เจษฎา อุดมกิจมงคล. 2554. อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตร (Agricultural Machinery). สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ชวลีกร ชุกกลิน. 2547. การขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียโดยอินดิทซ์แอร์โฟลเทชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ต่อตระกูล วัฒนวรกิจกุล. 2545. การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะวรรณ ภูสินแก่น. 2554. ไมเซลล์. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 เมษายน 2562, สืบค้นจาก: <https://krukoongchemistry.wordpress.com>
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3274 พ.ศ.2547. 2547, 30 กันยายน. ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 121 ตอนที่ 79ง.
- บริษัทกรีน วอเตอร์ ทรีท จำกัด. 2558. กระบวนการทางเคมีที่ใช้บำบัดน้ำเสีย. ระบบบำบัดน้ำเสีย. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: <https://www.greenwatertreat.com/15414825>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บริษัทไทยพีแก๊ส จำกัด. 2547. ความรู้เกี่ยวกับสารกรองน้ำ แอตติเวท คาร์บอน. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: <https://www.marinewatersupply.com>
- บริษัทบางกอกวอเตอร์เทค จำกัด. 2559. ปฏิบัติการสร้างตะกอน (Coagulation) ด้วยวิธี Jar Test. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: <http://waterbangkok.com>
- บุษราภรณ์ ชูทับทิม และสุภัทตรา นัชนารถ. 2551. การลดความขุ่นของน้ำที่เกิดจากตะกอนดินกระจายตัวในแหล่งน้ำแบบยั่งยืน : กรณีศึกษาในแหล่งน้ำชลประทาน จังหวัดสระแก้ว. รายงานผลการวิจัยของสำนักวิจัยและพัฒนา. กลุ่มงานดินด้านวิทยาศาสตร์ ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ สำนักงานวิจัยและพัฒนา. กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- พิมพ์ สีสภาพพิสิฐ. 2540. อิมัลชันทางเครื่องสำอาง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ โอ.เอส. พรินติ้ง เฮาส์.
- พรเพ็ญ วีระวัฒนกันนธ์. 2548. การเกิดปฏิกิริยาเคมีในสารละลายไมเซลล์. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์การแพทย์. 19(2). 167-171
- พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. ม.ป.ป. กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกคูเลชัน (Flocculation). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: https://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=441
- พงเดือน ชุ่มศิริ. ม.ป.ป.. น้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ในสิ่งแวดล้อมกับห้องปฏิบัติการ. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: <http://www.mnre.go.th/reo08/th/view/?file>
- พงเดือน ชุ่มศิริ. 2558. การวิเคราะห์ค่าซีไอที. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 14 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: <http://www2.diw.go.th/Research>
- มณฑิรา โลสุพิมาน. 2559. การศึกษาการแยกน้ำออกจากน้ำมันดิบด้วยสารดิมัลซิไฟเออร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- มันสิน ตันกุลเวศม และ มั่นรักษ์ ตันกุลเวศม. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วจน์สิริ ประยูรพรหม. 2539. **ขนาดรูพรุนที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์เม็ด สำหรับการกำจัดสีจาก น้ำเสียโรงงานย้อมผ้า**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิโรจน์ ทรัพย์ทรัพย์. 2544. **การศึกษาการกำจัดความขุ่นของแม่น้ำแม่กลอง บริเวณเหนือเขื่อนวชิราลงกรณ์ โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วัลย์รัตน์ จันทรวงศ์. 2542. **การบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ**. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 9(2): 4-8.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2545. **คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. คณะกรรมการวิชาการสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2545-2546.
- วอเตอร์ เซ็นเตอร์. ม.ป.ป. **สารกรองต่างๆ**. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 13 มีนาคม 2562, สืบค้นจาก: <http://watercenter77.simplesite.com/432511747>
- ศิริชัย โพธิ์ตาปนะ และ ชาญเดช พิเศษฐ์ไพบูลย์. 2538. **ทรายทำแบบหล่อโลหะ: งานหล่อโลหะและทำแบบไม้**. ฝ่ายปฏิบัติการเทคนิค 1, สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมจักรกลและโลหะการ, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ศิริพล กำแพงทอง และ วราภรณ์ โตสิงห์. 2554. **น้ำมันและไขมัน**. คู่มือทดสอบตัวอย่างน้ำห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี). กรุงเทพฯ: สำนักงานปลัดกระทรวงกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2549. **แผนยุทธศาสตร์เทคโนโลยีวัสดุแห่งชาติ พ.ศ. 2550 – 2559**. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 5 เมษายน 2562, สืบค้นจาก: <http://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2007/20070410-mtec-strategy-plan-2007-2016.pdf>
- สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2542. **การแยกน้ำมันมะพร้าวจากน้ำกะทิ**. วารสารวิทยาศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์. 33(3). 444-451.
- สุธีรา ตูลยะเสถียร, โกศล วงศ์สุวรรณ และสถิต วงศ์สุวรรณ. 2544. **มลพิษสิ่งแวดล้อม (ปัญหาสังคมไทย)**. กรุงเทพฯ: รวมสาสน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมาร์ท การ์เด้น. 2559. **ค่ากรด-เบส**. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 14 มกราคม 2562, สืบค้นจาก:
<https://www.thailandsmartgarden.com>

สุรางค์ อนุกุล. 2542. **ปฏิบัติการเคมีคุณภาพวิเคราะห์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สิริพร เลิศจินตนาการ. 2551. **การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องในรูปอิมัลชันด้วยกระบวนการทำให้ลอยตัวร่วมกับกระบวนการโคแอกกูเลชัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Anne M. H. 2017. **Nickel Basic Facts**. [Online]. Retrived February 12, 2019. Available : <https://www.thoughtco.com/nickel-facts-606565>.

APHA, AWWA, WEF. 2012. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22nd ed. Washington, DC: American Public Health Association.

Auflem, I.H. 2002. **Influence of asphaltene aggregation and pressure on crude oil emulsion stability**. Doctor's thesis, Department of Chemical Engineering, Graduate School, Norwegian University of science and technology.

Ben Mahmud, A. 2009. **Basics on demulsifiers and deoilers technical**. Tripoli, Libya: Mabruk Oil Operations.

Chosana Thanabhumi. 2009. **Micelle**. [Online]. Retrived April 19, 2019. Available: <https://www.proz.com/kudoz/english-to-thai/chemistry-chem-sci-eng/3601835-micelle.html>

Greenwood, Norman N.; Earnshaw, Alan. 1997. **Chemistry of the Elements**. 2nd ed. United Kingdom: Butterworth-Heinemann.

Guillermo J.Rincón and Enrique J.La Motta. 2014. Simultaneous removal of oil and grease, and heavy metals from artificial bilge water using electro-coagulation/flotation. **Journal of Environmental Management**. (144), 42-50.

Johann Sjoblom. 2006. **Emulsions and emulsion stability**. 2nd ed. Florida, United States: Taylor & Francis Group.

Rafeah Wahi. *et al.* 2014. Esterification of M. sagu bark as an adsorbent for removal of emulsified oil. **Journal of Environmental Chemical Engineering**; (2): 324-331. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่คัดลอกมาโดยไม่มีการแก้ไข
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zawawi Daud. *et al.* 2015. Suspended Solid, Color, COD and Oil and Grease Removal from Biodiesel Wastewater by Coagulation and Flocculation Processes. *Procedia – Social and Behavioral Sciences.* (195), 2407-2411.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก






ก-1 เคมเคลียร์ (Kemclear)

ชื่อทางการค้า		การทำงานกับสารเคมีอย่างปลอดภัย		SDS No.
		Kemclear -305		230
ชื่อทางเคมี		ส่วนประกอบสำคัญ	จุดวาบไฟ	UN No.
Chemical Name		Component	Flash Point	None
N/A		N/A	N/A	Storage Class 12
การใช้ประโยชน์		ข้อมูลด้านความเสถียรและปฏิกิริยา	ประเภทวัตถุอันตราย	อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล
USE		Stability and Reactivity	Type of Material Hazard	Personal Protective Equipment
เป็นสารรวมตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย		สารที่เข้ากันไม่ได้ strong oxidizing เช่น H ₂ O ₂ Br, Chromic Acid	ของเหลวไม่ติดไฟ	
เบอร์ติดต่อกรณีฉุกเฉิน		การป้องกันและระงับอัคคีภัย	อันตรายต่อสุขภาพ	
Case Emergency Contact		Fire and Explosion Prevention	Health Hazard	
เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย 1004		สารเคมีที่เหมาะสม น้ำ และ CO ₂	กลิ่น	ไม่มีข้อมูล
เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม 2405			รสชาติ	ไม่มีข้อมูล
ขั้นตอนปฏิบัติเมื่อสารเคมีหกหรือไหล			ระบบทางเดิน	ไม่มีข้อมูล
Chemical spill and Leak control Method			หายใจ	ไม่มีข้อมูล
ใช้วัสดุดูดซับของเหลว และรวบรวมลงในภาชนะที่เหมาะสม ติดสติ๊กเกอร์ระบุชื่อสารเคมี และรวบรวมไว้เพื่อส่งกำจัดต่อไป			ผิวหนัง	ไม่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานกับสารเคมีอย่างปลอดภัย		SDS No.	
		230	
ชื่อทางการค้า Kemclear -305		UN No.	None
		Storage Class	12
การขนย้ายและการจัดเก็บ Handing and Storage		การปฐมพยาบาลเบื้องต้น First Aid	
จัดเก็บในภาชนะประเภท PE ที่ปิดสนิท		ผิวหนัง ล้างด้วยน้ำปริมาณมากๆ ดวงตา ล้างด้วยน้ำปริมาณมากๆ กลืนกิน ล้างปากด้วยน้ำสะอาด ดื่มน้ำตามมากๆ และรีบไปพบแพทย์	
การจัดการสารเคมีที่ใช้แล้ว Used Chemical Management		กสิณกิน ล้างปากด้วยน้ำสะอาด ดื่มน้ำตามมากๆ และรีบไปพบแพทย์ ระบบทางเดินหายใจ ไม่มีข้อมูล	
ภาชนะ	ส่งคืนผู้จำหน่าย		
สารเคมี หมดอายุ	รวบรวมใส่ภาชนะที่เหมาะสม และปิดฝาให้สนิท เขียนชื่อสารเคมีลงในสติกเกอร์สีขาว และจัดเก็บใน ห้องขยะปนเปื้อน		

n-2 COD Reagent Vario HR

การทำงานกับสารเคมีอย่างปลอดภัย		SDS No.	
		448	
ชื่อทางการค้า COD Reagent Vario HR		UN No.	-
		Storage Class	6.1
ชื่อทางเคมี Chemical Name	ส่วนประกอบสำคัญ Companent	จุดวาบไฟ Flash Point	 <p>ภาพสารเคมี Chemical Picture</p>
N/A	Sulfuric Acid (7664-93-9) 60-70% Mercury sulfate (7783-35-9) 0.1-1% Disilver (1+)Sulfate (10294-26-5) 0.1-1% Potassiumdichromate (7783-35-9) 0.1-0.3%	N/A	
การใช้ประโยชน์ USE	ข้อมูลด้านความเสถียรและปฏิกิริยา Stability and Reactivity	ประเภทวัตถุอันตราย Type of Material Hazard	อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล Personal Protective Equipment
ใช้สำหรับวิเคราะห์ COD ในน้ำ เสีย	หลีกเลี่ยงการโดนความร้อนแรง สารที่เข้ากันไม่ได้ : แอมโมเนีย สารประกอบ อัลคาลีน อัลคาลีน กรด โลหะ สารประกอบ ฮาโลเจน สารที่เผาไหม้ได้ สารละลายอินทรีย์ ไนไตรต์ เปอร์ออกไซด์	 สารที่ติดไฟ	 แว่นตาชนิดสารเคมี  ถุงมือป้องกันระดับอันตราย  (กรณีมีสารพิษ) หรือ โนไคร (กรณี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานกับสารเคมีอย่างปลอดภัย		SDS No.	
		448	
ชื่อทางการค้า		UN No.	
COD Reagent Vario HR		-	
		Storage Class	
		6.1	
เบอร์ติดต่อกรณีฉุกเฉิน Case Emergency Contact	การป้องกันและระงับอัคคีภัย Fire and Explosion Prevention	อันตรายต่อสุขภาพ Health Hazard	
เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย 1004 เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม 2405	คาร์บอนไดออกไซด์ ทราย ผงดับเพลิง ห้ามใช้น้ำ	กลืนกิน กัดกร่อนอย่างรุนแรง ถ่ายเป็นเลือด บาดเจ็บ	
ขั้นตอนปฏิบัติเมื่อสารเคมีหกั่วไหล Chemical spill and Leak control Method		ดวงตา กัดกร่อนอย่างรุนแรง	
		ระบบทางเดินหายใจ หายใจติดขัด ไอ ทำลายเนื้อเยื่อ	
		ผิวหนัง กัดกร่อนผิวหนังอย่างรุนแรง ทำลายผิวหนังและเนื้อเยื่อ	
การขนย้ายและการจัดเก็บ Handing and Storage		การปฐมพยาบาลเบื้องต้น First Aid	
การทำงานทำในที่ที่มีการระบายอากาศที่ดี เปิดภาชนะด้วยความระมัดระวัง จัดเก็บในที่เย็น หลีกเลี่ยงโลหะ ความชื้น ความร้อน น้ำ และสิ่งกีดขวางที่จัดเก็บ และอนุญาตให้เฉพาะผู้เชี่ยวชาญใช้งานเท่านั้น		ผิวหนัง ล้างด้วยน้ำเปล่าจำนวนมาก รีบไปพบแพทย์	
การจัดการสารเคมีที่ใช้แล้ว Used Chemical Management		ดวงตา เปิดเปลือกตาและล้างด้วยน้ำสะอาดจำนวนมากอย่างน้อย 15 นาที	
ภาชนะ	ทั้งเป็นประเภทภาชนะปนเปื้อน	กลืนกิน ห้ามทำให้อาเจียน ล้างปากด้วยน้ำสะอาด และดื่มน้ำ 1-2 แก้ว รีบนำไปพบแพทย์	
สารเคมี หมดอายุ	ทั้งเป็นขยะอันตราย	ระบบทางเดินหายใจ ให้ออกอากาศบริสุทธิ์และรีบไปพบแพทย์	

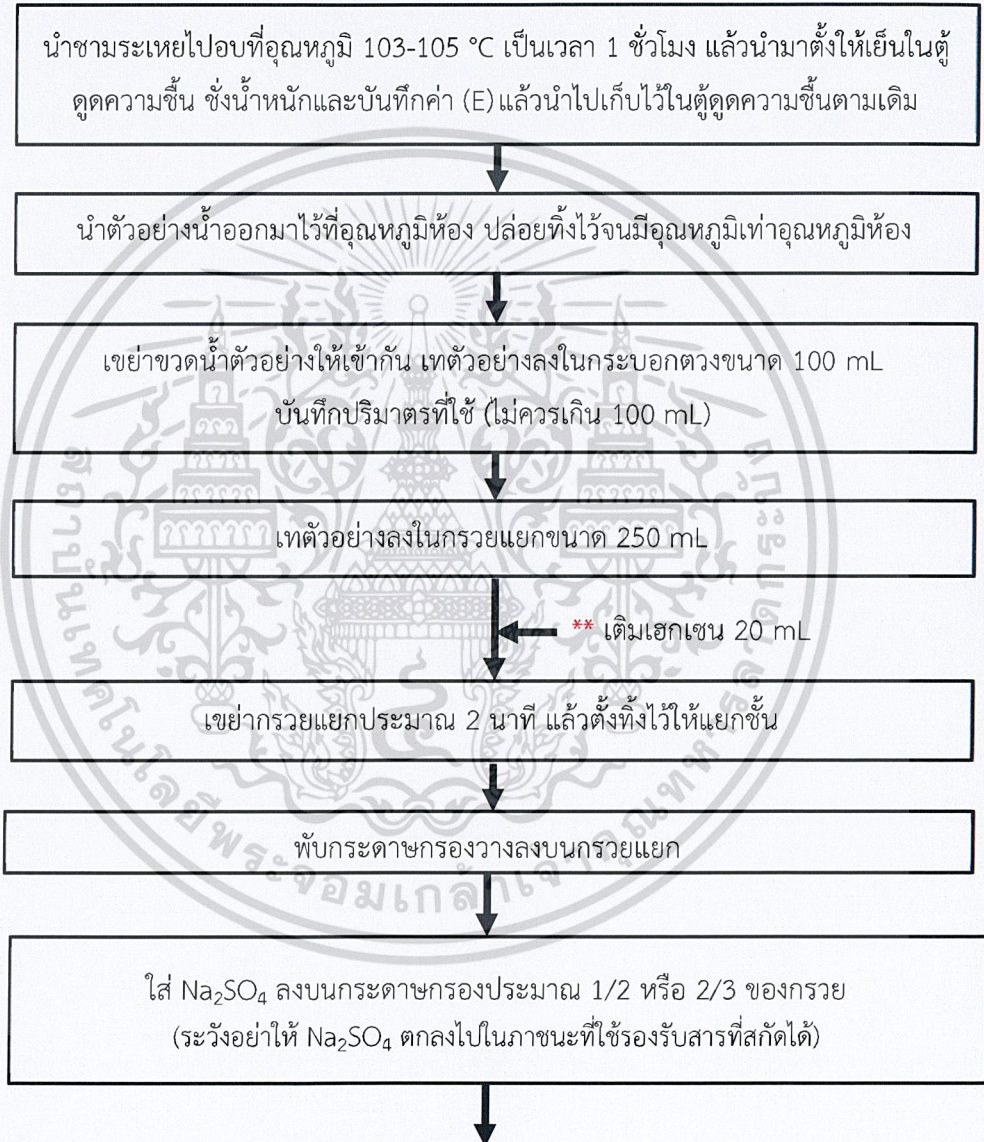
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

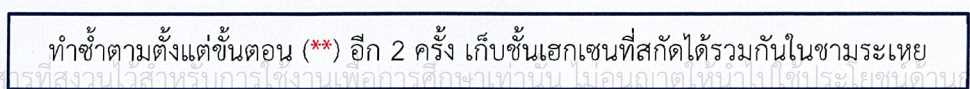
ข-1 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำ (Oil and Grease)

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณไขมันและน้ำมันในที่นี้จะใช้วิธี Partition – Gravimetric method ใช้วิเคราะห์ไขมันและน้ำมันในน้ำและน้ำเสียจากโรงงาน แหล่งชุมชน น้ำทิ้งจากอาคาร ที่มีปริมาณไขมันและน้ำมันโดยความเข้มข้นต่ำสุดของการทดสอบตั้งแต่ 5 mg/L ขึ้นไป (APHA-AWWA, 2012)

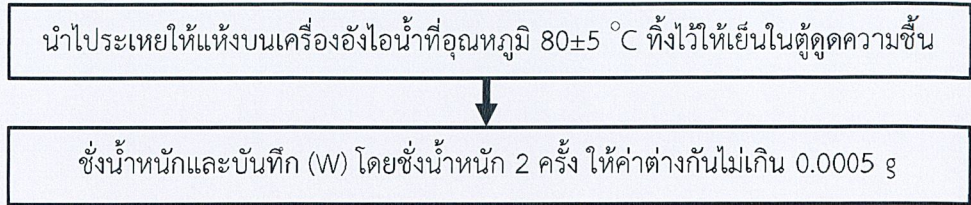
ขั้นตอนการวิเคราะห์



ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำ (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



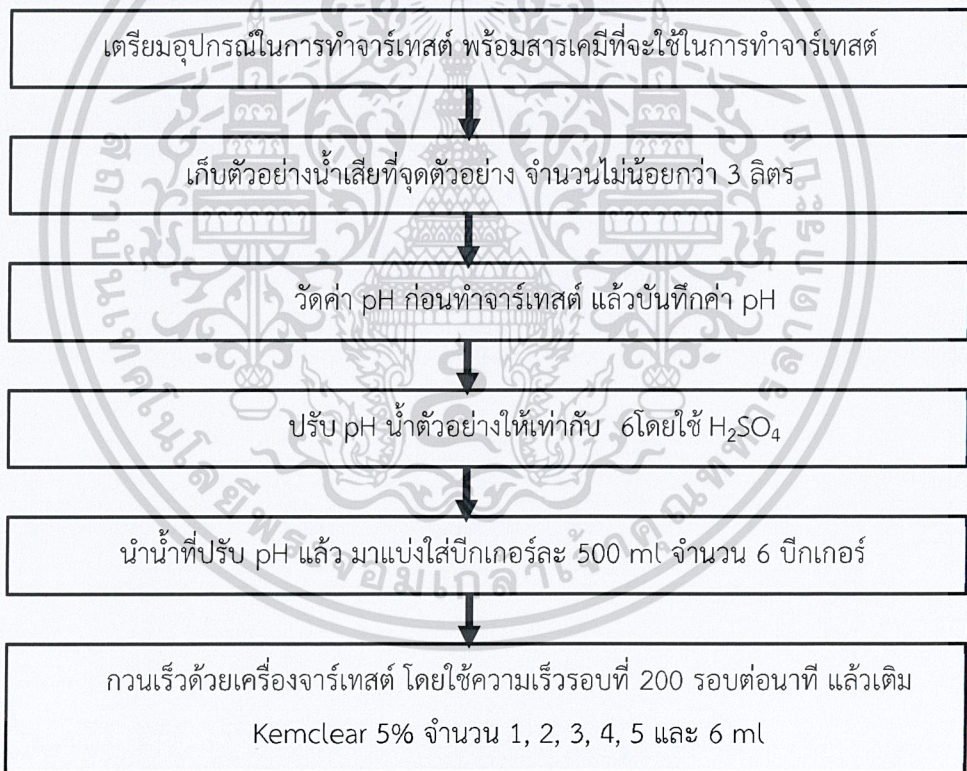
การคำนวณหาปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำ

$$\text{ไขมันและน้ำมัน} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(W-E) \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (mL)}}$$

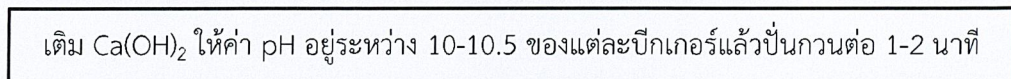
โดยที่ E = น้ำหนักชามระเหยเปล่า

W = น้ำหนักชามระเหย + ไขมันและน้ำมันในตัวอย่าง (กรัม)

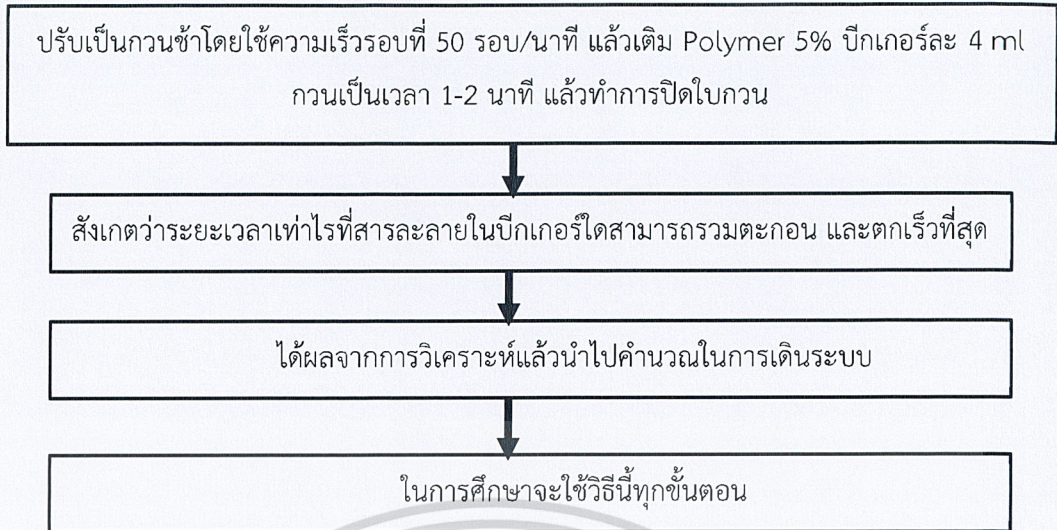
ข-2 การทดสอบตกตะกอนทางเคมีของน้ำโดยวิธีจาร์เทสต์ (Jar Test)



การทดสอบตกตะกอนทางเคมีของน้ำโดยวิธีจาร์เทสต์ (Jar Test) (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ค-1 สมบัติของน้ำเสียจุด C และจุด O

ตารางที่ ค-1 สมบัติน้ำเสียของจุด C และจุด O (n=1)

พารามิเตอร์	ค่ากำหนดตามกฎหมาย	ค่ากำหนดของบริษัท		ปี พ.ศ. 2561											
				ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
pH	5.5-9.0	5.5-9.0	จุด C	10.7	9.2	9.4	9.0	9.1	8.9	10.1	8.8	10.2	10.1	8.4	8.7
			จุด O	7.6	7.3	7.1	7.2	7.6	7.6	7.5	7.0	7.5	7.3	7.3	7.5
COD (mg/L)	750	375	จุด C	557	367	435	345	274	238	441	324	437	393	430	237
			จุด O	230	104	142	81	81	144	86	138	115	160	253	96
Oil & Grease (mg/L)	10	5	จุด C	79.50	27.00	43.17	15.67	36.80	12.00	29.00	43.50	56.80	107.00	21.20	25.00
			จุด O	2.00	2.00	1.50	0.33	1.00	0.57	1.00	0.80	3.40	1.50	7.60	1.00
Zn (mg/L)	5	2.5	จุด C	2.651	2.703	76.1	14.52	19.5	13.95	7.15	65.92	25.05	21.65	106	29.6
			จุด O	1.569	1.395	4.035	0.813	1.331	0.97	0.624	0.772	0.665	0.91	1.095	0.905
Ni (mg/L)	1	0.5	จุด C	21.440	3.051	6.030	5.760	5.285	2.130	7.150	10.455	15.550	14.650	3.925	9.565
			จุด O	0.719	0.536	0.852	0.688	0.821	0.752	0.624	1.037	0.890	0.905	0.821	0.945

ที่มา: Wastewater quality monitoring report 2018 จากบริษัทผู้รับวิเคราะห์

ค-2 ผลของการทำลายสภาพพอลิเมอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

ตารางที่ ค-2 พารามิเตอร์ของการทำลายสภาพพอลิเมอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

ลำดับที่	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาให้ ความร้อน (min)	pH	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)	COD (mg/L)
1	อุณหภูมิห้อง	-	9.94	2.08	≥5	≥15,000
2	40	15	9.85	2.00	≥5	≥15,000
3	40	30	9.92	1.93	≥5	≥15,000
4	40	60	9.92	1.91	≥5	≥15,000
5	60	15	9.87	1.90	≥5	≥15,000
6	60	30	9.90	1.84	≥5	≥15,000
7	60	60	9.92	1.81	≥5	≥15,000
8	80	15	9.93	1.92	≥5	≥15,000
9	80	30	9.89	1.92	≥5	≥15,000
10	80	60	9.90	1.89	≥5	≥15,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 ผลของการทำลายสภาพอิมัลชันด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

ลำดับ ที่	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาให้ ความร้อน (min)		น้ำหนักขาม ระเหย (g)	น้ำหนักขามระเหย+ ไขมัน (g)	ปริมาณไขมัน (mg/L)	ปริมาณไขมันเฉลี่ย (mg/L)	S.D.	C.V. (%)
1	อุณหภูมิห้อง	-	ครั้งที่ 1	43.0261	43.3091	5,660.00	5,616.00	85.02	1.51
			ครั้งที่ 2	58.4377	58.7136	5,518.00			
			ครั้งที่ 3	51.4593	51.7428	5,670.00			
2	40	15	ครั้งที่ 1	41.5630	42.0106	8,952.00	8,734.00	201.70	2.31
			ครั้งที่ 2	67.3281	67.7558	8,554.00			
			ครั้งที่ 3	45.6321	46.0669	8,696.00			
3	40	30	ครั้งที่ 1	60.9326	61.7473	16,294.00	16,442.00	133.69	0.81
			ครั้งที่ 2	62.6728	63.5005	16,554.00			
			ครั้งที่ 3	63.7742	64.5981	16,478.00			
4	40	60	ครั้งที่ 1	57.9892	59.1136	22,488.00	22,630.00	138.17	0.61
			ครั้งที่ 2	47.4910	48.6229	22,638.00			
			ครั้งที่ 3	56.7392	57.8774	22,764.00			
5	60	15	ครั้งที่ 1	71.3855	72.1353	14,996.00	14,576.00	433.59	2.97
			ครั้งที่ 2	56.1017	56.8318	14,602.00			
			ครั้งที่ 3	58.4829	59.1894	14,130.00			

ตารางที่ ค-3 ผลของการทำลายสภาพอิมัลชันด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ลำดับ ที่	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาให้ ความร้อน (min)		น้ำหนักขาม ระเหย (g)	น้ำหนักขามระเหย+ ไขมัน (g)	ปริมาณไขมัน (mg/L)	ปริมาณไขมันเฉลี่ย (mg/L)	S.D.	C.V. (%)
6	60	30	ครั้งที่ 1	68.6349	69.5727	18,756.00	18,860.67	97.17	0.52
			ครั้งที่ 2	48.7883	49.7357	18,948.00			
			ครั้งที่ 3	71.4834	72.4273	18,878.00			
7	60	60	ครั้งที่ 1	47.1261	48.4138	25,754.00	25,334.00	366.15	1.45
			ครั้งที่ 2	118.1326	119.3909	25,166.00			
			ครั้งที่ 3	65.4391	66.6932	25,082.00			
8	80	15	ครั้งที่ 1	75.4256	76.0000	11,488.00	11,340.00	130.05	1.15
			ครั้งที่ 2	115.9017	116.4661	11,288.00			
			ครั้งที่ 3	42.4553	43.0175	11,244.00			
9	80	30	ครั้งที่ 1	37.7346	38.8305	21,918.00	21,748.00	202.47	0.93
			ครั้งที่ 2	112.1777	113.2539	21,524.00			
			ครั้งที่ 3	43.6153	44.7054	21,802.00			
10	80	60	ครั้งที่ 1	64.0704	65.2134	22,860.00	23,085.33	204.76	0.89
			ครั้งที่ 2	108.9358	110.0926	23,136.00			
			ครั้งที่ 3	52.4812	53.6442	23,260.00			

ค-3 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย GAC, PAC และ Sand

ตารางที่ ค-4 พารามิเตอร์ของการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย GAC, PAC และ Sand

ลำดับที่	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาให้ความร้อน (min)	ตัวดูดซับ	pH	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)	COD (mg/L)
1	อุณหภูมิห้อง	-	PAC	9.93	0.646	3	185
			GAC	9.95	≥1.000	≥5	≥15,000
			ทราย	9.86	≥1.000	≥5	≥15,000
2	40	15	PAC	9.78	0.556	1	181
			GAC	9.87	≥1.000	≥5	≥15,000
			ทราย	9.90	≥1.000	≥5	≥15,000
3	40	30	PAC	9.85	0.487	1	149
			GAC	9.83	≥1.000	≥5	≥15,000
			ทราย	9.99	≥1.000	≥5	≥15,000
4	40	60	PAC	9.96	0.495	1	187
			GAC	9.94	≥1.000	≥5	≥15,000
			ทราย	9.98	≥1.000	≥5	≥15,000
5	60	15	PAC	9.97	0.415	1	192
			GAC	9.92	≥1.000	≥5	≥15,000
			ทราย	9.87	≥1.000	≥5	≥15,000

ตารางที่ ค-4 พารามิเตอร์ของการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย GAC, PAC และ Sand (ต่อ)

ลำดับที่	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาให้ความร้อน (min)	ตัวดูดซับ	pH	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)	COD (mg/L)
6	60	30	PAC	9.98	0.452	1	141
			GAC	9.94	≥1.000	≥5	≥15,000
			ทราย	9.89	≥1.000	≥5	≥15,000
7	60	60	PAC	9.95	0.391	1	153
			GAC	9.88	≥1.000	≥5	≥15,000
			ทราย	9.91	≥1.000	≥5	≥15,000
8	80	15	PAC	9.96	0.398	1	226
			GAC	9.88	≥1.000	≥5	≥15,000
			ทราย	9.90	≥1.000	≥5	≥15,000
9	80	30	PAC	9.93	0.451	1	229
			GAC	9.94	≥1.000	≥5	≥15,000
			ทราย	9.97	≥1.000	≥5	≥15,000
10	80	60	PAC	9.96	0.427	1	185
			GAC	9.91	≥1.000	≥5	≥15,000
			ทราย	9.89	≥1.000	≥5	≥15,000

ตารางที่ ค-5 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย GAC

ลำดับ ที่	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาให้ ความร้อน (min)		น้ำหนักขาม ระเหย (g)	น้ำหนักขามระเหย+ ไขมัน (g)	ปริมาณไขมัน (mg/L)	ปริมาณไขมันเฉลี่ย (mg/L)	S.D.	C.V. (%)
1	อุณหภูมิห้อง	-	ครั้งที่ 1	113.5555	113.7656	4,202.00	4,082.00	105.83	2.59
			ครั้งที่ 2	41.5630	41.7651	4,042.00			
			ครั้งที่ 3	111.5755	111.7756	4,002.00			
2	40	15	ครั้งที่ 1	113.2163	113.6126	7,926.00	7,926.00	36.00	0.45
			ครั้งที่ 2	71.3855	71.7836	7,962.00			
			ครั้งที่ 3	110.0181	110.4126	7,890.00			
3	40	30	ครั้งที่ 1	71.3850	72.1279	14,858.00	14,666.67	379.13	2.58
			ครั้งที่ 2	75.4256	76.1712	14,912.00			
			ครั้งที่ 3	71.4374	72.1489	14,230.00			
4	40	60	ครั้งที่ 1	37.7347	38.4763	14,832.00	15,045.33	449.70	2.99
			ครั้งที่ 2	111.3264	112.1045	15,562.00			
			ครั้งที่ 3	36.7592	37.4963	14,742.00			
5	60	15	ครั้งที่ 1	47.1265	47.6481	10,432.00	10,910.67	441.53	4.05
			ครั้งที่ 2	43.7932	44.3583	11,302.00			
			ครั้งที่ 3	47.6582	48.2081	10,998.00			

ตารางที่ ค-5 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย GAC (ต่อ)

ลำดับ ที่	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาให้ ความร้อน (min)		น้ำหนักขาม ระเหย (g)	น้ำหนักขามระเหย+ ไขมัน (g)	ปริมาณไขมัน (mg/L)	ปริมาณไขมันเฉลี่ย (mg/L)	S.D.	C.V. (%)
6	60	30	ครั้งที่ 1	43.0257	43.7074	13,634.00	13,392.00	333.17	2.49
			ครั้งที่ 2	56.0931	56.7696	13,530.00			
			ครั้งที่ 3	46.5288	47.1794	13,012.00			
7	60	60	ครั้งที่ 1	47.4904	48.1815	13,822.00	14,720.67	778.53	5.29
			ครั้งที่ 2	46.4253	47.1848	15,190.00			
			ครั้งที่ 3	46.8739	47.6314	15,150.00			
8	80	15	ครั้งที่ 1	114.6847	115.1754	9,814.00	9,677.33	146.89	1.52
			ครั้งที่ 2	55.8935	56.3783	9,696.00			
			ครั้งที่ 3	114.6392	115.1153	9,522.00			
9	80	30	ครั้งที่ 1	100.1094	100.7071	11,954.00	12,248.67	346.23	2.83
			ครั้งที่ 2	65.4832	66.0913	12,162.00			
			ครั้งที่ 3	100.8472	101.4787	12,630.00			
10	80	60	ครั้งที่ 1	114.9959	115.6789	13,660.00	13,613.33	296.76	2.18
			ครั้งที่ 2	55.4247	56.1189	13,884.00			
			ครั้งที่ 3	115.8361	116.5009	13,296.00			

ตารางที่ ค-6 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย PAC

ลำดับ ที่	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาให้ ความร้อน (min)		น้ำหนักขาม ระเหย (g)	น้ำหนักขามระเหย+ ไขมัน (g)	ปริมาณไขมัน (mg/L)	ปริมาณไขมันเฉลี่ย (mg/L)	S.D.	C.V. (%)
1	อุณหภูมิห้อง	-	ครั้งที่ 1	111.8432	112.0146	3,428.00	3,389.33	66.97	1.98
			ครั้งที่ 2	121.3265	121.4921	3,312.00			
			ครั้งที่ 3	112.5432	112.7146	3,428.00			
2	40	15	ครั้งที่ 1	104.1522	104.1696	348.00	460.67	120.67	26.19
			ครั้งที่ 2	57.9892	58.0115	446.00			
			ครั้งที่ 3	110.1602	110.1896	588.00			
3	40	30	ครั้งที่ 1	68.6359	68.9552	6,386.00	6,396.67	200.21	3.13
			ครั้งที่ 2	47.1261	47.4362	6,202.00			
			ครั้งที่ 3	69.7351	70.0652	6,602.00			
4	40	60	ครั้งที่ 1	67.3255	67.7285	8,060.00	8,055.33	69.12	0.86
			ครั้งที่ 2	64.0704	64.4765	8,122.00			
			ครั้งที่ 3	66.7593	67.1585	7,984.00			
5	60	15	ครั้งที่ 1	64.0701	64.3017	4,632.00	4,741.33	97.68	2.06
			ครั้งที่ 2	64.7311	64.9721	4,820.00			
			ครั้งที่ 3	65.8931	66.1317	4,772.00			

ตารางที่ ค-6 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย PAC (ต่อ)

ลำดับ ที่	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาให้ ความร้อน (min)		น้ำหนักขาม ระเหย (g)	น้ำหนักขามระเหย+ ไขมัน (g)	ปริมาณไขมัน (mg/L)	ปริมาณไขมันเฉลี่ย (mg/L)	S.D.	C.V. (%)
6	60	30	ครั้งที่ 1	98.8988	99.2145	6,314.00	6,474.67	233.09	3.60
			ครั้งที่ 2	65.7893	66.1264	6,742.00			
			ครั้งที่ 3	98.5241	98.8425	6,368.00			
7	60	60	ครั้งที่ 1	62.6730	62.9744	6,028.00	5,738.00	466.39	8.13
			ครั้งที่ 2	45.3974	45.6967	5,986.00			
			ครั้งที่ 3	61.4384	61.6984	5,200.00			
8	80	15	ครั้งที่ 1	104.3663	104.5572	3,818.00	4,215.33	456.51	10.83
			ครั้งที่ 2	54.3285	54.5342	4,114.00			
			ครั้งที่ 3	103.5937	103.8294	4,714.00			
9	80	30	ครั้งที่ 1	106.0846	106.4078	6,464.00	6,700.00	239.06	3.57
			ครั้งที่ 2	111.4392	111.7863	6,942.00			
			ครั้งที่ 3	105.9731	106.3078	6,694.00			
10	80	60	ครั้งที่ 1	116.9730	117.3502	7,544.00	7,679.33	184.89	2.41
			ครั้งที่ 2	45.6732	46.0534	7,604.00			
			ครั้งที่ 3	116.9578	117.3523	7,890.00			

ตารางที่ ค-7 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วย Sand

ลำดับ ที่	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาให้ ความร้อน (min)		น้ำหนักขาม ระเหย (g)	น้ำหนักขามระเหย+ ไขมัน (g)	ปริมาณไขมัน (mg/L)	ปริมาณไขมันเฉลี่ย (mg/L)	S.D.	C.V. (%)
1	อุณหภูมิห้อง	-	ครั้งที่ 1	105.5016	105.7366	4,700.00	4,751.33	44.56	0.94
			ครั้งที่ 2	60.9326	61.1713	4,774.00			
			ครั้งที่ 3	103.5076	103.7466	4,780.00			
2	40	15	ครั้งที่ 1	117.1771	117.6225	8,908.00	9,590.00	824.30	8.60
			ครั้งที่ 2	68.6349	69.1027	9,356.00			
			ครั้งที่ 3	117.9072	118.4325	10,506.00			
3	40	30	ครั้งที่ 1	41.5604	42.4191	17,174.00	17,456.00	259.93	1.49
			ครั้งที่ 2	37.7346	38.6189	17,686.00			
			ครั้งที่ 3	42.5937	43.4691	17,508.00			
4	40	60	ครั้งที่ 1	58.4331	59.2339	16,016.00	15,944.67	488.92	3.07
			ครั้งที่ 2	54.7652	55.5849	16,394.00			
			ครั้งที่ 3	58.8627	59.6339	15,424.00			
5	60	15	ครั้งที่ 1	75.4258	76.0134	11,752.00	11,687.33	176.14	1.51
			ครั้งที่ 2	76.8431	77.4342	11,822.00			
			ครั้งที่ 3	75.6395	76.2139	11,488.00			

ตารางที่ ค-7 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันด้วยทราย (ต่อ)

ลำดับ ที่	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาให้ความ ร้อน (min)		น้ำหนักขาม ระเหย (g)	น้ำหนักขามระเหย+ ไขมัน (g)	ปริมาณไขมัน (mg/L)	ปริมาณไขมันเฉลี่ย (mg/L)	S.D.	C.V. (%)
6	60	30	ครั้งที่ 1	97.6867	98.6315	18,896.00	19,167.33	235.92	1.23
			ครั้งที่ 2	53.9142	54.8783	19,282.00			
			ครั้งที่ 3	95.6853	96.6515	19,324.00			
7	60	60	ครั้งที่ 1	113.1194	114.1525	20,662.00	18,415.33	1,961.67	10.65
			ครั้งที่ 2	66.4371	67.3142	17,542.00			
			ครั้งที่ 3	113.7004	114.5525	17,042.00			
8	80	15	ครั้งที่ 1	68.1849	68.7323	10,948.00	10,687.33	475.94	4.45
			ครั้งที่ 2	70.3261	70.8749	10,976.00			
			ครั้งที่ 3	67.9854	68.4923	10,138.00			
9	80	30	ครั้งที่ 1	105.5588	106.188	12,584.00	13,097.33	506.16	3.86
			ครั้งที่ 2	42.4982	43.1538	13,112.00			
			ครั้งที่ 3	103.9575	104.6373	13,596.00			
10	80	60	ครั้งที่ 1	112.8096	113.5362	14,532.00	14,427.33	255.61	1.77
			ครั้งที่ 2	54.7624	55.4931	14,614.00			
			ครั้งที่ 3	112.5036	113.2104	14,136.00			

ค-4 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันของน้ำจากจุด A ผสมกับน้ำจากจุด B ด้วย GAC

ตารางที่ ค-8 พารามิเตอร์การดูดซับน้ำมันและไขมันของน้ำจากจุด A ผสมกับน้ำจากจุด B ด้วย GAC

น้ำตัวอย่าง	pH	pH เฉลี่ย	Ni (mg/L)	Ni เฉลี่ย (mg/L)	Zn (mg/L)	COD (mg/L)	COD เฉลี่ย (mg/L)
น้ำจุด A	9.92	9.92	1.000	1.0000	≥5.0	≥15,000	≥15,000
	9.92		1.000		≥5.0	≥15,000	
	9.92		1.000		≥5.0	≥15,000	
น้ำจุด B	8.28	8.28	1.000	1.0000	1.0	3,790	3,787
	8.28		1.000		1.0	3,700	
	8.29		1.000		1.0	3,870	
T ₁	10.36	10.36	0.353	0.3685	2.0	10,830	10,600
	10.36		0.346		2.0	10,660	
	10.35		0.391		2.0	10,310	
T ₂	8.43	8.43	0.247	0.2480	1.0	3,370	3,123
	8.42		0.249		1.0	3,090	
	8.43		0.247		1.0	2,910	
T ₃	8.45	8.43	0.251	0.2725	0.5	3,720	3,593
	8.42		0.298		0.5	3,400	
	8.43		0.247		0.5	3,660	

ตารางที่ ค-9 ผลการดูดซับน้ำมันและไขมันของน้ำจากจุด A ผสมกับน้ำจากจุด B ด้วย GAC

น้ำตัวอย่าง		น้ำหนักขามระเหย (g)	น้ำหนักขามระเหย+ ไขมัน (g)	ปริมาณไขมัน (mg/L)	ปริมาณไขมันเฉลี่ย (mg/L)	S.D.	C.V. (%)
น้ำจุด A	ครั้งที่ 1	62.6731	63.8913	24,364	24,374.67	35.23	0.14
	ครั้งที่ 2	115.3420	116.563	24,414			
	ครั้งที่ 3	72.1561	73.3734	24,346			
น้ำจุด B	ครั้งที่ 1	47.4917	47.9443	9,052	9,052.67	43.00	0.48
	ครั้งที่ 2	47.1261	47.5766	9,010			
	ครั้งที่ 3	112.1150	112.57	9,096			
T ₁	ครั้งที่ 1	107.243	107.781	10,770	10,772.00	5.29	0.05
	ครั้งที่ 2	118.135	118.674	10,778			
	ครั้งที่ 3	84.1239	84.6623	10,768			
T ₂	ครั้งที่ 1	111.916	112.084	3,372	3,400.67	25.79	0.76
	ครั้งที่ 2	105.503	105.674	3,422			
	ครั้งที่ 3	115.114	115.285	3,408			
T ₃	ครั้งที่ 1	104.368	104.534	3,326	3,340.00	22.54	0.67
	ครั้งที่ 2	117.1780	117.346	3,366			
	ครั้งที่ 3	63.0821	63.2485	3,328			

ค-5 ผลการบำบัดนิกเกิลในน้ำจากจุด A

ตารางที่ ค-10 ผลการบำบัดนิกเกิลในน้ำจากจุด A

วัน/เดือน/ปี	ค่ากำหนด	เวลาเก็บตัวอย่าง	25/2/2562			26/2/2562			1/3/2562		
			ก่อนบำบัด	หลังบำบัด (24 ชม.)		ก่อนบำบัด	หลังบำบัด (24 ชม.)		ก่อนบำบัด	หลังบำบัด (24 ชม.)	
				เต็มอากาศ	ไม่เต็มอากาศ		เต็มอากาศ	ไม่เต็มอากาศ		เต็มอากาศ	ไม่เต็มอากาศ
pH	5.5-9.0	09.30 น.	6.34	9.71	9.87	9.53	10.44	10.63	7.11	9.64	9.92
		13.30 น.	6.62	8.95	9.74	7.18	9.64	9.71	7.54	9.9	10.22
Ni (mg/L)	0.5	09.30 น.	≥1	0.453	0.124	≥1	0.494	0.311	≥1	0.101	0.075
		13.30 น.	≥1	0.318	0.233	≥1	0.413	0.201	≥1	0.063	0.044
Zn (mg/L)	2.5	09.30 น.	0.5	0.1	0.1	≥5	0.5	0.1	2	0	0
		13.30 น.	0.5	0.1	0.1	≥5	0.1	0.1	≥5	0	0
COD	375	09.30 น.	3,596	3,212	2,984	3,725	3,645	3,148	3,879	3,694	3,169
		13.30 น.	3,451	3,178	3,065	3,700	3,556	3,089	3,694	3,498	3,248

ภาคผนวก ง

การทดลองตามสถิติ

ง-1 การคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean; \bar{X})

ค่าเฉลี่ย หมายถึง การหารผลรวมของข้อมูลทั้งหมดด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด

$$\text{สูตรที่ใช้ } \bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$\sum x$ คือ ผลบวกของข้อมูลทุกค่า

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ตัวอย่างการคำนวณ

ตารางที่ ง-1 ผลของการทำลายสภาพอิมัลชันด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ในเวลา 60 นาที

ครั้งที่	น้ำหนักไขมันและน้ำมัน (mg/L)	น้ำหนักไขมันและน้ำมันโดยเฉลี่ย (mg/L)
1	25,754.00	25,334.00
2	25,166.00	
3	25,082.00	

$$\bar{X} = \frac{25,754 + 25,166 + 25,082 \text{ mg/L}}{3}$$

$$\bar{X} = 25,334 \text{ mg/L}$$

ดังนั้น ค่าน้ำหนักไขมันและน้ำมันโดยเฉลี่ย เท่ากับ 25,334 mg/L

ง-2 การคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; S.D.)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ ค่าที่ใช้แสดงความแม่นยำของการทดลองซ้ำหลายๆครั้ง (ค่าที่บอกถึงค่าที่วัดได้อยู่ห่างไกลจากค่าเฉลี่ยมากเท่าใด)

$$\text{สูตรที่ใช้ } S.D. = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

เมื่อ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x คือ ข้อมูล (ตัวที่ 1, 2, 3, ..., n)

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

ใช้ค่าจากตารางที่ ง-1

$$S.D. = \sqrt{\frac{(25,754-25,334)^2 + (25,166-25,334)^2 + (25,082-25,334)^2}{3-1}}$$

$$S.D. = 366.15$$

ดังนั้น ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 366.15

ง-3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation; C.V.)

ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน คือ อัตราส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลชุดนั้น หากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันมีค่าน้อยแสดงว่ามีความเที่ยงสูง หรือการวัดซ้ำมีความเที่ยง (Reproducibility of replicates) ตามมาตรฐานการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันน้อยกว่า 5% แสดงว่ายอมรับได้

สูตรที่ใช้
$$C.V. = \frac{S.D.}{\bar{X}} \times 100$$

เมื่อ C.V. คือ สัมประสิทธิ์ความแปรผัน

S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

ตัวอย่างการคำนวณ

ใช้ค่าจากตารางที่ ง-1

$$C.V. = \frac{366.15}{25,334} \times 100$$

$$C.V. = 1.45 \%$$

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน เท่ากับ 1.45 %

ง-4 การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error)

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ คือ ผลต่างระหว่างค่าที่แท้จริงกับค่าที่ได้จากการวัดหารด้วยค่าที่แท้จริง

สูตรที่ใช้
$$\% \text{Relative error} = \left| \frac{X_{\text{mea}} - X_t}{X_t} \right| \times 100$$

เมื่อ X_t คือ ค่าที่แท้จริง (True value)

X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measure value)

ตัวอย่างการคำนวณ

ใช้ค่าจากรูปที่ 4.4

$$\begin{aligned} \% \text{Relative error} &= \left| \frac{25,334 - 5,616}{5,616} \right| \times 100 \\ &= 351.10 \% \end{aligned}$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ เท่ากับ 351.10 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้