

การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และโบรโมไทมอลบลู
โดยใช้แมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

ADSORPTION OF REACTIVE BLACK 5 DYE AND
BROMOTHYMOL BLUE BY USING
Mg-Fe LAYERED DOUBLE HYDROXIDES



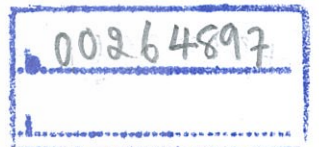
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และโบรโมไทมอลบลู
โดยใช้แมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

ADSORPTION OF REACTIVE BLACK 5 DYE AND
BROMOTHYMOLO BLUE BY USING
Mg-Fe LAYERED DOUBLE HYDROXIDES



ฉันททัต จักรนารกุล
ณัฐวดี วงศ์มะภัย
อนัญญา สัตยศักดิ์วงศ์



TB00039

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADSORPTION OF REACTIVE BLACK 5 DYE AND
BROMOTHYMOL BLUE BY USING
Mg-Fe LAYERED DOUBLE HYDROXIDES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และ โบรโมไทมอลบลู โดยใช้
แมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

Adsorption of Reactive Black 5 Dye and Bromothymol
Blue by using Mg-Fe Layered Double Hydroxides

ชื่อนักศึกษา

นายฉันททัต จังธนากรกุล รหัสนักศึกษา 56050473

นางสาวณัฐวดี วงศ์มะภัย รหัสนักศึกษา 56050488

นางสาวอนัญญา สัตยศักดิ์วงศา รหัสนักศึกษา 56050647

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี


ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี ประธานกรรมการ	
ดร.ณัฐธิดา นุ่มวงศ์ กรรมการ	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และ โบรโมโทมอลบลู โดยใช้ แมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์		
ชื่อนักศึกษา	นายฉันททัต	จันทนารกุล	รหัสนักศึกษา 56050473
	นางสาวณัฐวดี	วงศ์มะภัย	รหัสนักศึกษา 56050488
	นางสาวอนัญญา	สัตยศักดิ์วงศ์	รหัสนักศึกษา 56050647
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมโทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MFH) ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมระหว่างแมกนีเซียมคลอไรด์และโอโรอนคลอไรด์ในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ พร้อมกับศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อร้อยละการกำจัดสารถูกดูดซับ ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กของ MFH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า การแคลไซน์ตัวดูดซับ และชนิดของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ จากผลการทดลองพบว่า สีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมโทมอลบลูถูกกำจัดได้มากที่สุด เมื่อใช้ตัวดูดซับ MFH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กเป็น 3 ต่อ 1 ปริมาณของตัวดูดซับ MFH 800 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบต่อนาที ตัวดูดซับที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 300 องศาเซลเซียส และแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ คือ ไนเตรตไอออน จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าไอโซเทอมที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์มากที่สุด

คำสำคัญ : การดูดซับ ตัวดูดซับ แมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ รีแอกทีฟแบล็ค 5 โบรโมโทมอลบลู

Title	Adsorption of Reactive Black 5 Dye and Bromothymol Blue by using Mg-Fe Layered Double Hydroxides
Students	Mr. Chantat Jangthanavorakul Student ID 56050473 Miss Natvadee Wongmapai Student ID 56050488 Miss Ananya Sattayasakwongsa Student ID 56050647
Degree	Bachelor of Science (B.Sc. Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Dr.Amnat Permsubscul

Abstract

This special project is intended to study the process for the adsorption of Reactive Black 5 dye and Bromothymol Blue on Mg-Fe layered double hydroxides (MFH). The MFH adsorbent was prepared by co-precipitation between magnesium chloride and iron chloride in ammonium hydroxide. The variables affected on the percentage of adsorption are including the mole ratio of magnesium to iron of MFH adsorbent, adsorbent content, adsorption time, adsorption temperature, shaking speed, calcination of adsorbent, interlayer anion type and adsorption isotherm. The results showed that the maximum removal of Reactive Black 5 dye and Bromothymol Blue was found by using MFH adsorbent with a mole ratio of magnesium to iron with 3:1, the amount of MFH adsorbent at 800 mg/L, adsorption time of 60 minutes, adsorption temperature of 30°C, shaking speed at 150 rpm, MFH adsorbent was calcined of 300°C and interlayer anion type was nitrate ion. The experimental data were well fitted with the Langmuir Isotherm equation.

Keywords : Adsorption, Adsorbent, Mg-Fe layered double hydroxides, Reactive Black 5, Bromothymol Blue

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย

ขอขอบพระคุณ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา เอื้อเฟื้อเอกสารต่าง ๆ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี และ ดร.ณัฐธิดา นุ่มวงศ์ ผู้เป็นคณะกรรมการให้กับโครงการพิเศษนี้ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบและแก้ไขเพิ่มเติม เพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์สาขาเคมีทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา พร้อมทั้งให้คำแนะนำต่าง ๆ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาคเคมีทุกท่านที่อำนวยความสะดวก คอยช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณมารดา-บิดาที่ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดู และอบรมสั่งสอน เป็นกำลังใจสำคัญ รวมทั้งเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอบคุณเพื่อน ๆ รวมถึงบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวมาที่คอยช่วยเหลือต่าง ๆ คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ฉันทัด

ณัฐวดี

อนัญญา

จิ่งธนาวรกุล

วงศ์มะภัย

สตัยศักดิ์วงศา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ตัวดูดซับ	4
2.1.1 ทฤษฎีการดูดซับ	4
2.1.2 กระบวนการดูดซับ	4
2.1.3 ชนิดของตัวดูดซับ	7
2.2 แมกนีเซียมคลอไรด์	8
2.2.1 ข้อมูลทั่วไปของแมกนีเซียมคลอไรด์	8
2.2.2 การประยุกต์ใช้งาน	8
2.2.3 การเก็บรักษา	8
2.2.4 ประโยชน์ของแมกนีเซียมคลอไรด์	8
2.3 ไอร์ออนคลอไรด์	9
2.3.1 ข้อมูลทั่วไปของไอร์ออนคลอไรด์	9
2.3.2 การประยุกต์ใช้งาน	9
2.3.3 ข้อควรระวัง	9
2.3.4 การเก็บรักษา.....	9
2.3.5 ประโยชน์ของไอร์ออนคลอไรด์	9
2.4 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	10
2.4.1 ข้อมูลทั่วไปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	10
2.4.2 การประยุกต์ใช้งาน	10
2.4.3 ข้อควรระวัง	10
2.5 สีย้อม	10
2.5.1 ลักษณะทางกายภาพของสีย้อม	10
2.5.2 การแบ่งประเภทสีย้อม	11
2.5.3 อันตรายที่เกิดขึ้นจากสีย้อม	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2.5.3 อันตรายที่เกิดจากสีย้อม การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6	การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ	15
2.6.1	การตกตะกอนด้วยสารเคมี	15
2.6.2	กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา	15
2.6.3	การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	16
2.6.4	การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน	16
2.6.5	เทคโนโลยีเยื่อแผ่น	16
2.6.6	นาโนฟิลเตรชัน	17
2.6.7	เทคโนโลยีใหม่ ๆ	17
2.7	อินดิเคเตอร์.....	17
2.8	เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์	20
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	24
3.1	สารเคมี	24
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์	24
3.3	วิธีการทดลอง	25
3.3.1	การเตรียมสารที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ MFH	25
3.3.2	การเตรียมตัวดูดซับ MFH ด้วยวิธีการตกตะกอน	25
3.3.3	การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์ โบรโมไทมอลบลู	27
3.3.4	การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู โดยใช้ MFH เป็นตัวดูดซับ	28
3.3.5	การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MFH	38
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	42
4.1	การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MFH	42
4.1.1	ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MFH	42
4.1.2	โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MFH	44
4.1.3	องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ MFH	46
4.1.4	ความเสถียรต่ออุณหภูมิของตัวดูดซับ MFH	46
4.1.5	วิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MFH	48
4.2	การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์ โบรโมไทมอลบลู	49
4.3	กลไกการดูดซับ	51
4.4	ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และ อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	53
4.3.1	ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของตัวดูดซับ MFH	53
4.3.2	ผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH	56
4.3.3	ผลของเวลาในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์ โบรโมไทมอลบลู	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4	ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	62
4.3.5	ผลของอัตราเร็วในการเขย่าที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	65
4.3.6	ผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับ MFH	68
4.3.7	ผลของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์	70
4.4	ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	72
4.4.1	ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) ด้วย MFH	72
4.4.2	ไอโซเทอมการดูดซับอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB) ด้วย MFH	74
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	77
5.1	สรุปผลการวิจัย	77
5.2	ข้อเสนอแนะ	78
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	81



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี	5
2.2 อินดิเคเตอร์ และช่วง pH ของการเปลี่ยนสี	18
3.1 ความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตและไอร์ออนคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตที่ใช้ในการสังเคราะห์หัวดูดซับ MFH	27
3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ..	28
3.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กของตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	29
3.4 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	30
3.5 การศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH	31
3.6 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH	32
3.7 การศึกษาผลของอัตราเร็วในการเหวี่ยงที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH	33
3.8 การศึกษาผลของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลูด้วยตัวดูดซับ MFH	34
3.9 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MMH	35
3.10 การการศึกษาผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	37
4.1 องค์ประกอบของโลหะในตัวดูดซับ MFH ด้วยวิธีวิเคราะห์ XRF	46
4.2 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ MFH	48
4.3 ค่า Absorbance ของสารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	49
4.4 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	53
4.5 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	56
4.6 ผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	59
4.7 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	62
4.8 ผลของอัตรารอบเหวี่ยงที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	65
4.9 ผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และ	

อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	68
4.10 ผลของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟ แบล็ค 5 และ อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	70
4.11 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	72
4.12 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรุนดลิชสำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	73
4.13 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับอินดิเคเตอร์ โบรโมไทมอลบลู	74
4.14 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรุนดลิชสำหรับอินดิเคเตอร์ โบรโมไทมอลบลู	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติโครงสร้างทางเคมีและสเปกตรัมของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5)	14
2.2 แสดงคุณสมบัติโครงสร้างทางเคมีและสเปกตรัมของโบรโมไทมอลบลู (BTB)	19
2.3 แผนผังโครงสร้างของ Layered double hydroxides	20
3.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์	38
3.2 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	38
3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	39
3.4 เครื่องวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน	39
4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MFH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	42
4.2 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ต่าง ๆ	44
4.3 ดิฟแฟรคโทแกรมของไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับเหล็ก	44
4.4 ดิฟแฟรคโทแกรมของไอร์รอนไฮดรอกไซด์	45
4.5 ดิฟแฟรคโทแกรมของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์	45
4.6 กราฟแสดงผล TGA ของตัวดูดซับ MFH	47
4.7 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	49
4.8 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของอินดิเคเตอร์ โบรโมไทมอลบลู	50
4.9 ลักษณะโครงสร้างของ MFH	52
4.10 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อมรีแอคทีฟ แบล็ค 5	54
4.11 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของอินดิเคเตอร์ โบรโมไทมอลบลู	54
4.12 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	55
4.13 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดอินดิเคเตอร์ โบรโมไทมอลบลู	55
4.14 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อมรีแอคทีฟ แบล็ค 5	57
4.15 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของอินดิเคเตอร์ โบรโมไทมอลบลู	57
4.16 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	58
4.17 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดอินดิเคเตอร์ โบรโมไทมอลบลู	58
4.18 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH	60
4.19 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นของอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.20	ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH	61
4.21	ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH	61
4.22	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH	63
4.23	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความเข้มข้นของอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH	63
4.24	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH	64
4.25	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการกำจัดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH	64
4.26	ผลของอัตราเร็วในการเหวี่ยงในการดูดซับที่มีผลต่อความเข้มข้นของ สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH	66
4.27	ผลของอัตราเร็วในการเหวี่ยงในการดูดซับที่มีผลต่อความเข้มข้นของ อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH	66
4.28	ผลของอัตราเร็วในการเหวี่ยงในการดูดซับที่มีผลต่อร้อยละการกำจัด สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH	67
4.29	ผลของอัตราเร็วในการเหวี่ยงในการดูดซับที่มีผลต่อร้อยละการกำจัด อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH	67
4.30	ผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับที่มีผลต่อความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	69
4.31	ผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	69
4.32	ผลของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ที่มีผลต่อความเข้มข้นของสีย้อม รีแอคทีฟแบล็ค และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	71
4.33	ผลของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม รีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู	71
4.34	ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับ สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วย MFH	73
4.35	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับ สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วย MFH	74
4.36	ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับ อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วย MFH	75
4.37	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับ อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วย MFH	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น โครงการนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม โดยการสังเคราะห์และศึกษาประสิทธิภาพตัวดูดซับแมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MFH) ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ที่เป็นสีตัวอย่างในสีกลุ่มเอโซ่ และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กของ MFH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า ผลของการแคลไซน์ ชนิดของ แอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้ในการดูดซับ และรวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นข้อมูลและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสู่ภาคอุตสาหกรรมในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MFH)
- 2) เพื่อศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กของ MFH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า ชนิดของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ และไอโซเทอมของการดูดซับ รวมถึงเปรียบเทียบตัวดูดซับ MFH ที่ผ่านการแคลไซน์กับไม่ผ่านการแคลไซน์ด้วย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) สังเคราะห์ตัวดูดซับแมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MFH) ในอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแมกนีเซียมและเหล็ก ตั้งแต่ 0.5:1 ถึง 5:1
- 2) วิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับแมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MFH) ด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่
 - โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MFH ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)
 - องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ MFH ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF)
 - ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MFH ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
 - วิเคราะห์หาความเสถียรทางความร้อนของตัวดูดซับ MFH ด้วยเครื่องวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)
 - วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MFH ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number)
- 3) ศึกษาผลกระทบที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่
 - อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กของ MFH ตั้งแต่ 0.5:1 ถึง 5:1
 - ปริมาณ MFH ในการดูดซับ ตั้งแต่ 600 ถึง 1200 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาทีนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ ตั้งแต่ 30 ถึง 60 องศาเซลเซียส
- อัตราเร็วในการเขย่าที่ใช้ในการดูดซับ ตั้งแต่ 50 ถึง 250 รอบ/นาที
- ชนิดของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ของ MFH ได้แก่ คลอไรด์ไอออน และ ไนเตรตไอออน
- ไอโซเทอมของการดูดซับว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm หรือไอโซเทอมของฟรุนดลิช (Freundlich Isotherm)
- เปรียบเทียบผลของการดูดซับเมื่อใช้ MFH ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์และแคลไซน์ที่ 300 °C

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงกระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MFH)
- 2) ทราบถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อการจัดสีย้อม ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กของ MFH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า ผลของการแคลไซน์ และผลของชนิดแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์
- 3) ทราบถึงไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตัวดูดซับ (Adsorbent)

2.1.1 ทฤษฎีการดูดซับ [3]

การดูดซับ (Adsorption) หมายถึง การที่โมเลกุลของสารถูกดึงเข้ามาติดผิวของสารดูดซับ หรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับ สารดูดซับหรือตัวดูดซับ (Adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำจะถูกดูดซับได้ ส่วนสารที่มี พลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ แต่จะมีความสัมพันธ์กับแรงตึงผิวและพื้นที่ผิว ดังสมการ (2.1) เมื่อความตึงผิว (Surface tension) หรือพื้นที่ผิว (Surface area) เปลี่ยนไป จะเป็นผลทำให้เกิดการ เพิ่มขึ้นหรือลดลงของพลังงานอิสระที่ผิว ($\Delta G_{\text{surface}}$)

$$\Delta G_{\text{surface}} = \gamma A \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ $\Delta G_{\text{surface}}$ = พลังงานอิสระที่ผิว
 γ = ความตึงผิว
 A = พื้นที่ผิว

ปริมาณสารถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ความดัน และพลังงานศักย์ของอันตรกิริยา (Interaction potential energy) ระหว่างสารถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซกับ สารดูดซับ ที่อาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง

2.1.2 กระบวนการดูดซับ (Adsorption process) [4]

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสาร ที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็งหรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดจับเรียกว่าสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับ เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent)

การดูดติดผิว (Adsorption) จะเป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็ก ซึ่งละลายอยู่ในน้ำโดยอยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้เรียกว่าสารถูกดูดซับ ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่าสารดูด ซักการดูดติดผิวนี้จะเป็นการดูดติดแบบประหว่งสถานะต่าง ๆ ทั้ง 3 สถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ และ ของแข็ง ซึ่งมีได้ทั้งแบบของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และของเหลว-ของแข็ง โดย ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะแบบของเหลว-ของแข็ง (Liquid –solid interface) ในการดูดติดผิวโมเลกุล ของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำ และไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุล ของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับ และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อย เพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

ประเภทของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) การดูดซับบนผิวของแข็งแบ่งออกได้ตามแรงดูดซับระหว่างพื้นผิวโมเลกุลเป็น 2 ชนิด

1. การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุล สารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2. การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมี ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือ ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) ซึ่งการดูดซับทางกายภาพ และทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50-400 กิโลจูลต่อโมล
2. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5. การดูดซับบนแก๊ส-ของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดเฉพาะบางระบบ
6. พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7. รูปแบบชั้นของการดูดซับ	monolayerและmultilayer	monolayer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ในปี ค.ศ.1916 เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่ายที่สุด โดยมีสมมติฐานคือ 1) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption) 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวน และตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน 3) ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากัน และคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน จากการศึกษาไอโซเทอมของแลงเมียร์ที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลายได้ดังสมการ (2.2)

$$q_e = (q_m K C_e) / (1 + K C_e) \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$1/q_e = (1 + K C_e) / (q_m K C_e)$$

$$1/q_e = (1/q_m K C_e) + (1/q_m)$$

$$1/q_e = (K/C_e) + (1/q_m) \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

- เมื่อ q_e = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (mg/g)
 C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (mg/l)
 q_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่สูงสุด (mg/g)
 K = ค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์ (l/mg)

ทำการหาค่า q_e และ C_e จากนั้นคำนวณและพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกน สามารถนำมาหาค่า $1/C_e$ ได้ และความชันของกราฟเป็นค่า K ตามสมการที่ (2.3)

2.1.2.2 ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช (Freundlich isotherm)

ในปี ค.ศ.1880-1941 นักฟิสิกส์-เคมีชาวเยอรมัน ฟินเลย์ ฟรุนดลิช (Finlay Freundlich) ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายดังสมการ (2.4)

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

- เมื่อ C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการดูดซับที่สมดุล
 $k_f, 1/n$ = ค่าคงที่ของสมการฟรุนดลิช ($1^{(1/n)} \text{ mg}^{(1-1/n)} \text{ g}^{-1}$)

จากสมการฟรุนดลิช เมื่อใส่ลอการิทึม (Logarithm) จะได้สมการที่ 2.5

$$\log q_e = \log k_f + (1/n) \log C_e \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ที่อุณหภูมิคงที่ จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกน สามารถนำมาหาค่า k_f ได้ และความชันของกราฟเป็น $1/n$

2.1.3 ชนิดของตัวดูดซับ [5]

ตัวดูดซับ (Adsorbent) หมายถึง สารที่มีอำนาจดูดซับสารอื่นไว้บนผิวได้ ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะ และควมมีขั้วของผิว สามารถแบ่งสารดูดซับเป็น 2 ชนิดตามลักษณะขั้วของผิว คือ ชนิดที่มีขั้ว ได้แก่ ซีโอไลท์ (Zeolites) ซิลิกา เจล (Silica gel) เป็นต้น และชนิดไม่มีขั้ว ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น

1. Zeolites

เป็นสารประกอบของอลูมิโนซิลิเกต ประกอบด้วย ซิลิกอน 1 อะตอม และออกซิเจน 4 อะตอม โดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติพบในประเทศญี่ปุ่นและประเทศไคล์เคียง นิยมใช้ในการดูดซับความชื้น กลิ่น เพื่อทำให้น้ำบริสุทธิ์รวมทั้งแยกไอออนของแอมโมเนียหรือธาตุของโลหะหนักออกจากน้ำ และชนิดสังเคราะห์มีความจำเพาะในการดูดซับสูงมาก สามารถดูดซับสารที่ขนาดเล็กกว่า 4 อังสตรอม

2. Alumina หรือ Aluminum Oxide

สังเคราะห์ขึ้นโดยกำจัดน้ำออกจากอลูมินาไตรไฮเดรต ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) มีพื้นที่ผิวทั้งหมดประมาณ 150-500 ตารางเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 15-60 อังสตรอม นิยมใช้เพื่อดูดซับความชื้นหรือก๊าซที่มีขั้วออกจากก๊าซไฮโดรคาร์บอน

3. Silica gel

สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยากำจัดน้ำออกจาก Silicic acid หรือปฏิกิริยาระหว่าง Sodium silicate กับ Sulfuric acid ในทางการค้ามี 2 แบบ คือ แบบ A มีพื้นที่ผิวประมาณ 650 ตารางเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 2-3 อังสตรอม แบบ B มีพื้นที่ผิวประมาณ 450 ตารางเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 7 อังสตรอม นิยมใช้เพื่อดูดความชื้นออกจากก๊าซต่าง ๆ

4. ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

สังเคราะห์ขึ้นจากวัสดุต่าง ๆ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ถ่าน ถ่านหิน กะลา ตาลโตนด ฯลฯ ในทางการค้ามี 4 แบบ คือ แบบผงมีขนาดอนุภาคประมาณ 15-25 ไมครอน นิยมใช้เพื่อกำจัดสีออกจากผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การผลิตน้ำตาลทรายขาว การผลิตน้ำดื่ม ฯลฯ แบบเม็ดมีขนาดอนุภาคประมาณ 4-6 มิลลิเมตร นิยมใช้เพื่อดูดซับก๊าซหรือของเหลวได้ เช่น ใช้ในการฟอกอากาศให้บริสุทธิ์ ใช้ในการกำจัดซัลเฟอร์ออกจากก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ ฯลฯ แบบโมเลกุลาร์ซีฟ (Molecular sieve) มีความจำเพาะในการดูดซับสูงมาก เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กและสม่ำเสมอ ลักษณะทั่วไปอาจเป็นผงหรือเป็นเม็ดก็ได้ มักใช้เพื่อดูดซับก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซออกซิเจนออกจากอากาศและแบบไฟเบอร์ สังเคราะห์ขึ้นโดยเลือกสารตั้งต้นเป็น Phenolic resin, Polyacrylic resin, Viscous rayon ลักษณะทั่วไปคล้ายตาข่ายที่มีช่องว่างกว้างประมาณ 7-15 ไมครอน นิยมใช้ผลิตหน้ากากหรือใช้ในกระบวนการนำสารละลายที่ใช้แล้วนำกลับใช้ใหม่

2.2 แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride) [6]

2.2.1 ข้อมูลทั่วไปของแมกนีเซียมคลอไรด์

สูตรเคมี : MgCl_2

สถานะ : ของแข็ง

จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$) : 712

จุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$) : 1465

การละลายน้ำ : ละลาย

ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : กลาง

แมกนีเซียมสามารถถูกสร้างขึ้นได้ในหลายกระบวนการ มีแมกนีเซียมจำนวนมากในน้ำทะเล และสามารถนำมาใช้ได้ในรูปแบบของแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) ผ่านปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์



2.2.2 การประยุกต์ใช้งาน

เมื่อนำแมกนีเซียมคลอไรด์มาใช้ทางด้านเกษตร จะมีผลต่อการเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์ การสะสมธาตุอาหารแมกนีเซียม แคลเซียม โปแตสเซียม เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส ปริมาณน้ำตาลในใบข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีที่ได้รับสารในระยะพัฒนาภาค และระยะสีบพันธุ์ พบว่าข้าวเจ้าหอมในระยะพัฒนาภาคตอบสนองแมกนีเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 15 mg/L ที่ 7 วันหลังได้รับสาร ทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งมวลชีวภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ธาตุอาหาร แมกนีเซียม โปแตสเซียม ทองแดง และแมงกานีสสูงกว่าในต้นข้าวหอมสุพรรณบุรีที่ได้รับสารในระยะสีบพันธุ์ แต่มีการสะสมธาตุแคลเซียมและเหล็กในระยะสีบพันธุ์สูงกว่าระยะพัฒนาภาค การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล พบว่าระยะพัฒนาภาคมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าในระยะสีบพันธุ์ ต้นข้าวในระยะพัฒนาภาคที่อายุ 5 วันหลังได้รับสารความเข้มข้น 15 mg/L เช่นเดียวกับข้าวในระยะสีบพันธุ์อายุ 7 วันหลังได้รับสารความเข้มข้น 10 mg/L พบว่ามีปริมาณน้ำตาลสูงสุด สรุปได้ว่า สารแมกนีเซียมคลอไรด์ที่พ่นให้กับต้นข้าวมีผลทำให้น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ การสะสมธาตุอาหารแมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก ทองแดง แมงกานีส และปริมาณน้ำตาลในใบข้าวเพิ่มขึ้น

2.2.3 การเก็บรักษา

- ภาชนะบรรจุที่ว่างเปล่าของสารนี้อาจเป็นอันตรายได้ เนื่องจากมีกากสารเคมีตกค้างอยู่ เช่น ไอร์ระเหย ของเหลว
- ให้สังเกตค่าเตือน และข้อควรระวังทั้งหมดที่ให้ไว้สำหรับสารนี้

2.2.4 ประโยชน์ของแมกนีเซียมคลอไรด์

- เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตอุตสาหกรรมสิ่งทอ
- ใช้เพิ่มความแข็งแรงของอิฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ไอร์ออน(III)คลอไรด์ (Iron(III) chloride) [6]

2.3.1 ข้อมูลทั่วไปของไอร์ออน(III)คลอไรด์

สูตรเคมี : FeCl_3
 สถานะ : ของแข็ง
 จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$) : 674
 จุดเดือด($^{\circ}\text{C}$) : 1012
 การละลายน้ำ : ละลาย

2.3.2 การประยุกต์ใช้งาน

เมื่อนำไอร์ออน(III)คลอไรด์ ส่วนใหญ่นำมาใช้ในรูปของสารละลายเจือจาง โดยใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน (flocculating agent) และสารตกตะกอน (precipitating agent) ในระบบบำบัดน้ำ โดย FeCl_3 จะทำปฏิกิริยากับความเป็นต่างในน้ำเกิดเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ซึ่งจะทำหน้าที่ดูดซับของแข็ง ที่มีขนาดเล็กและอนุภาคของคอลลอยด์ FeCl_3 มีประสิทธิภาพที่ดีโดยเฉพาะในการตกตะกอนสารโลหะหนักและซัลไฟด์นอกจากนี้ใน กรณีของน้ำมันและสารโพลีเมอร์ที่ยากต่อการย่อยสลายก็สามารถถูกดูดซับบน $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ได้

2.3.3 ข้อควรระวัง

- สารที่เข้ากันไม่ได้ : กรด, เอทิลีนออกไซด์, โพแทสเซียม, โซเดียม
- สภาพที่ควรหลีกเลี่ยง : ความชื้น
- สารอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : ไฮโดรเจนคลอไรด์ และฟุม/ก๊าซของคลอรีน

2.3.4 การเก็บรักษา

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด
- เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้ง
- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ
- ทำความสะอาดให้ทั่วถึงหลังจากสัมผัสกับสารนี้

2.3.5 ประโยชน์ของไอร์ออน(III)คลอไรด์

- ใช้เป็นสารในการเป็นสารสีเลด
- ใช้ในการทำเคมีวิเคราะห์ทางเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
- ใช้เป็นสารในการบำบัดน้ำ เช่น ลดปริมาณสารแขวนลอย กำจัดสี ลดค่า BOD COD
- ใช้เป็นสารขจัดกลิ่น

2.4 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) [6]

2.4.1 ข้อมูลทั่วไปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

สูตรเคมี : NH_4OH

สถานะ : ของเหลว

จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$) : -72

จุดเดือด($^{\circ}\text{C}$) : 36

สถานะที่ควรหลีกเลี่ยง : ความร้อน แสงแดด สารที่เข้ากันไม่ได้ และแหล่งจุดติดไฟ

ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : เบส

2.4.2 การประยุกต์ใช้งาน

แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์สามารถใช้งานได้หลากหลาย ทั้งในด้านเป็นสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ใช้ในกระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน สิ่งทอ เกสซ์ภัณฑ์ กระจก ยาง สารซักฟอก หมึก สารเคมีอินทรีย์ต่าง ๆ ใช้ในงานพัฒนาภาพถ่าย ใช้เป็นปุ๋ย สารทำความสะอาดในบ้านเรือน สารเติมแต่งในอาหาร การสกัดโลหะ และการทำน้ำบริสุทธิ์

2.4.3 ข้อควรระวัง

การหายใจเข้าไปก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ การหายใจนำสารที่ความเข้มข้นสูงเข้าไป จะก่อให้เกิดแผลไหม้ น้ำท่วมบอด และอาจตายได้ ความเข้มข้นที่อาจทำให้ตายได้ คือ 5000 mg/L การสัมผัสผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อหลอดอาหาร กระจกอาหาร และอาจทำให้เยื่อของท้องทะเลหรืออวัยวะ เกิดอาการปวดในปาก ออก ท้อง ไอ อาเจียน และหมดสติได้ การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง ปวดตา ทำลายตา และอาจทำให้ตาบอด ส่วนการสัมผัสเป็นระยะเวลานาน จะทำลายเนื้อเยื่อ ทางเดินหายใจส่วนบน ตา และผิวหนังได้ สารนี้ทำลายปอด ทรวงอก ตับ ไต และกระจกประสาท

2.5 สีย้อม [7]

2.5.1 ลักษณะทางกายภาพของสีย้อม

สีย้อม คือ ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมวัสดุสิ่งทอ สีย้อมที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียดที่สร้างมาเพื่อดูดซึมหรือดูดซับแสง โดยการทำให้อยู่บนหรือในผิวหน้าของวัตถุแล้วเกิดการแพร่แทรกซึมเข้าสู่ภายในโครงสร้างของวัตถุ เพื่อที่จะทำให้วัตถุนั้นมีสีขึ้นมา สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดจะไม่สามารถละลายน้ำ แต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใย โดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิกหรือโควาเลนต์กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง สีที่เห็นจากสีย้อมนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้นมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมที่ต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง $400\text{-}700$ นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกัน จะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กันไป ซึ่งสายตาสถาสามารถรับภาพโมเลกุลของสีย้อมต่างโทนสีกัน จะแสดงสีให้เราเห็นสายตาสถาออกมาต่างกันไป ซึ่งความคงทนจะต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การแบ่งประเภทสีย้อม

โดยทั่วไปแล้วสีย้อมจะต้องมีระบบพันธะพาย (π -bond system) และหมู่แทนที่ที่แสดงความเป็นขั้ว (Polar substituent) ที่ทำให้ตัวสีสามารถจะละลายได้ ซึ่งการละลายนี้จะทำให้สีย้อมสามารถแทรกซึมได้ เนื่องจากการละลายจะสามารถทำให้สีแยกตัวออกจากกัน ทำให้เข้าสู่โพรงของเส้นใยได้ ในทางอุณหพลศาสตร์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กและสามารถละลายได้ดีในตัวกลางจะสะดวกและง่ายต่อการย้อม ในขณะที่สีที่มีขนาดโมเลกุลขนาดใหญ่และไม่ละลายในตัวกลางใด ๆ เมื่อเข้าไปอยู่ในเส้นใยแล้วมีความคงทนที่สูง ในระบบของเคมีฟิสิกส์นั้นสามารถที่จะแบ่งชนิดของสีย้อมตามหมู่ช่วยละลายของสีย้อม (Solubilising group) และไม่แบ่งละเอียด ดังเช่น วิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับการย้อมด้านอื่น ๆ สาเหตุที่แบ่งอย่างนี้ เนื่องจากว่าการศึกษาของเคมีเชิงฟิสิกส์นั้นจะพิจารณาค่าการละลายและความเป็นอยู่ของสีย้อมในตัวกลางและเส้นใยเท่านั้น จึงสามารถที่จะแบ่งออกเป็น

1. สีที่มีหมู่ช่วยละลายถาวร (Permanent solubilising group)

กลุ่มนี้จะมีหมู่ช่วยละลายที่เกาะอยู่บนโครงสร้างสีอย่างถาวร แม้ว่าจะมีการผ่านกระบวนการใด ๆ หมู่ช่วยละลายก็ยังคงอยู่บนโครงสร้างสีหรือแม้กระทั่งสีที่เกาะบนผ้าแล้วก็ตาม แบ่งได้เป็น

1.1 หมู่ที่แสดงประจุลบ (Anionic group) ได้แก่ หมู่ซัลโฟเนต (Sulphonate)

หมู่คาร์บอกซิลเลต (Carboxylate) ฯลฯ ในกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำออกมามักจะแตกตัวออกมาให้เป็นไอออนลบของตัวสีในน้ำ กลุ่มนี้จะละลายตัวได้ดีในสภาวะเบส จึงทำให้สีกลุ่มนี้เกิดการแตกตัวได้ดียิ่งขึ้น หมู่ซัลโฟเนตนั้นจะให้ความเป็นกรดที่แก่กว่าหมู่คาร์บอกซิลเลต ดังนั้นค่าของตัวสีที่มีหมู่ซัลโฟเนตนั้นจะแตกตัวได้ดีต่ำกว่า ยังมีผลทำให้ความสามารถในการทนสภาวะกรดได้สูงกว่าด้วยตัวอย่างของสีในกลุ่มนี้ได้แก่ สีไดเร็กต์ สีแอซิด ฯลฯ

สีไดเร็กต์ (Direct dye) หรืออาจเรียกว่า สีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้สีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบนิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใยและยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นสีสังเคราะห์ชนิดแรกที่สามารถย้อมติดใยฝ้ายโดยตรงไม่ต้องเติมสารช่วยย้อมใด ๆ ปัจจุบันมีการใช้เกลือเข้ามาช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้การย้อมดีขึ้น สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย ทนแสง เช่น คองโก เรด (Congo Red) เป็นต้น

สีแอซิด (Acid dye) สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์มีประจุลบละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีแอซิดบางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน ใยขนแกะ ไหม และอะคลริกได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีแอซิดไม่ทนการซัก ไม่ทนเหงื่อ

สีรีแอกทีฟ (Reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีคุณสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH^-) ของเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ในสภาวะที่เป็นด่างกลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอกทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง $70-75^\circ\text{C}$ และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิปกติ สีรีแอกทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ

1.2 หมู่ที่แสดงประจุบวก (Cationic group) ได้แก่ หมู่เอมีนชนิดทุติยภูมิ

(2°Amine) หมู่เอมีนชนิดตติยภูมิ (3°Amine) กลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำจะเกิดการตั้งโปรตอนจากโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากอิเล็กตรอนคู่อิสระของอะตอมของไนโตรเจนในหมู่เอมีน ทำให้สีกลุ่มนี้สามารถ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด เพราะว่ามีโปรตอนในระบบมาก ซึ่งหมู่อัลคิลที่เกาะอยู่กับอะตอมของไนโตรเจนยิ่งมากเท่าไร ก็จะทำให้ไฮลิคตรอนคู่อิสรของไนโตรเจนมีความหนาแน่นยิ่งขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดึงโปรตอนจากน้ำได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ความเป็นเบสสูงขึ้น ทำให้ตัวสีที่มีค่าต่ำกว่าและสามารถที่จะทนได้สูงขึ้น ตัวอย่างของสีกลุ่มนี้ ได้แก่ สีเบสิก เนื่องจากว่าพีเอชของสารละลายจะมีผลต่อการแสดงประจุของสีนั้น ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการแตกตัวออกมา จะเห็นได้ว่าการละลายของสีใน 2 กลุ่มนี้จะเป็นกลไกการละลายด้วยการทำลายพันธะ ดังนั้นการให้ความร้อนเข้าสู่ระบบก็จะทำให้สีนั้นสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น

สีเบสิก (Basic or Cationic dye) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (Organic base) ให้ประจุลบ ละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอน และใยอะคริลิกได้ดี ในขณะที่ย้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติ เพราะจะไม่ทนการซักและแสง

1.3 หมู่ที่ไม่แสดงประจุ (Non-ionic group) ในกลุ่มนี้จะแตกต่างจาก 2 กลุ่มแรก ซึ่งเป็นสีมีความว่องไวต่อพีเอชของสารละลายมากกว่า ในขณะที่สีกลุ่มนี้จะว่องไวต่ออุณหภูมิของสารละลายมากกว่า เนื่องจากสีกลุ่มนี้ไม่มีหมู่ที่แสดงประจุใด ๆ บนโครงสร้าง แต่จะมีหมู่ที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy) หมู่เอมีนปฐมภูมิ (1° Amine) หมู่ซัลโฟนามิด (Sulphonamide) และหมู่อีเธอร์ (Ether) เมื่อให้พลังงานความร้อนเข้าไปก็จะทำให้พลังงานพันธะระหว่างสีย้อมและน้ำถูกทำลายลงไปด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง สีในกลุ่มนี้ ได้แก่ สีดีสเพอร์ส ฯลฯ

สีดีสเพอร์ส (Disperse dye) มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่กระจายตัวได้ดี นิยมใช้ย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ และอะคริลิก การย้อมจะใช้สารพา (Carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง สีดีสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควันทันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนโตรซอกไซด์ สีดีสเพอร์สแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากหมู่เคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (Azo dyes) และสีย้อมอะมิโน แอนทราควิโนน (Amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทานอลามีน (Ethanalamine; $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

2. สีที่มีหมู่ช่วยละลายชั่วคราว (Temporary solubilising group)

กลุ่มนี้มักจะมีหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ ที่สามารถทำปฏิกิริยาระหว่างย้อมสีแล้วกลายเป็นหมู่ที่ละลายน้ำหรือไม่ก็เป็นหมู่ที่มีมากับตัวสีย้อมเองอยู่แล้ว แต่เมื่อนำมาย้อมบนผ้าแล้ว หมู่เหล่านี้จะถูกทำให้กลายเป็นหมู่ที่ไม่ละลายน้ำเหมือนเดิมหรือไม่ก็ถูกเปลี่ยนรูปใหม่ให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้สีกลุ่มนี้จะมีความคงทนต่อการเปียกสูง แบ่งได้เป็น

2.1 หมู่ที่แสดงประจุลบ ได้แก่ ฟีนอกไซด์ (Phenoxide) ซัลเฟต (Sulphate) กลุ่มนี้ก็เช่นเดียวกับหมู่ประจุลบที่ถาวรในแง่ของความสามารถละลายได้ในสภาวะเบส โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมู่ฟีนอกไซด์ที่สามารถละลายได้ในเบสแก่ เช่น สารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่านั้น ตัวอย่างของสีที่ใช้หมู่ฟีนอกไซด์เป็นหมู่ช่วยละลายขณะย้อม ได้แก่ สีวัต สีอะโซอิก ฯลฯ ในขณะที่หมู่ซัลเฟตนั้นมีความเป็นกรดที่สูงกว่า จึงสามารถละลายในสภาวะที่เป็นเบสอ่อนกว่าฟีนอกไซด์ โดยที่สามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นกลางได้ สีในกลุ่มนี้ ได้แก่ สีโซลูบิไลซ์วัต (Solubilised Vat dyes)

สีอะโซอิก (Azoic dye) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอล คือ ละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

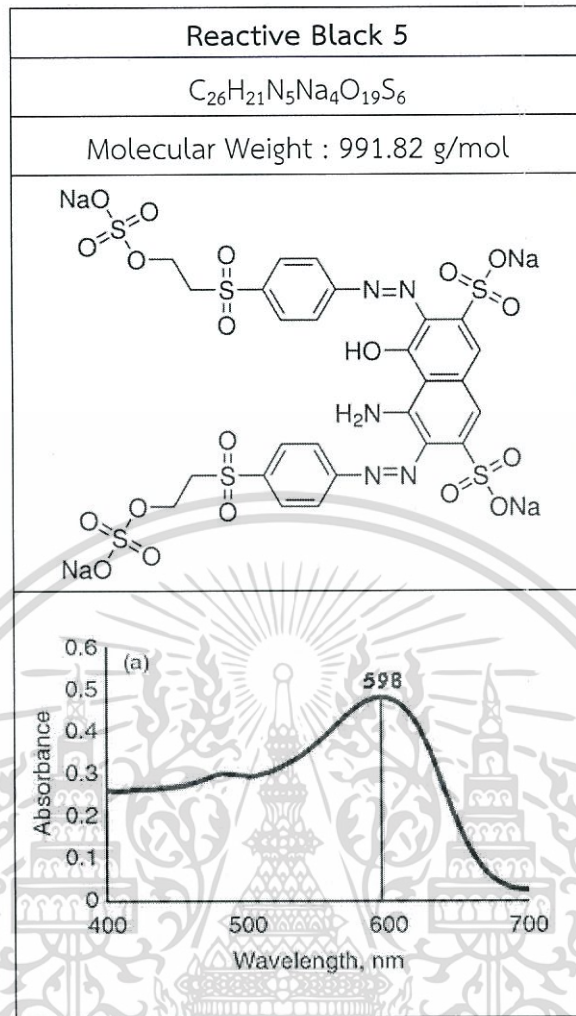
เป็นสี (Coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพเนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอนหรืออะซิเตท สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขัดถู

สีแว้ต (Vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีแว้ตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแว้ตจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็นสีแว้ต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีแอนทราควินอยด์ (Antraquinoid) และสีอินดิโก (Indigoid)

2.2 หมู่ที่แสดงประจวบกันได้แก่ หมู่ออนเนียม (Onium group) กลุ่มนี้มีประจวบกับติดกับโครงสร้างสี เมื่อทำการออกซิเดชันตัวสีก็สามารถที่จะปล่อยหมู่ช่วยละลายออกมา ตัวสีจะตกตะกอนในเส้นใย สีอัลเซียนเป็นตัวอย่างของสีกลุ่มนี้ แต่ในปัจจุบันไม่มีการใช้งานแล้ว

ส่วนใหญ่แล้วสีย้อมที่ปนเปื้อนมาจากน้ำเสียจะมาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง ทำให้มีการพัฒนาทั้งทางด้านกระบวนการผลิต และการแข่งขันสูงขึ้น เพื่อเพิ่มปริมาณสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบในทุกขั้นตอนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การถักผ้า และการฟอกย้อมก็ตาม โดยวัตถุดิบที่ใช้ เช่น สีย้อมผ้า สารเคมี เป็นต้น บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดละลายน้ำไม่ได้ จึงทำให้น้ำมีสภาพแปรเปลี่ยนไปหรือที่เราเรียกว่า น้ำเสีย เช่น อุณหภูมิสูงขึ้น มีกลิ่น มีสี ตลอดจนทำให้น้ำมีชีวิตที่อยู่ในน้ำตาย เนื่องจากมีสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณที่สูง ทำให้ขาดออกซิเจน และผลกระทบของน้ำเสียนี้ยังเป็นตัวบ่งชี้การทำงานของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในกระบวนการบำบัดชีวภาพ อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมประเภทที่มีการใช้น้ำและสารเคมีจำนวนมาก ปัญหาใหญ่ที่พบบ่อยว่ามีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม คือ การปล่อยน้ำเสียลงสู่สิ่งแวดล้อม น้ำเสียที่ออกมาประกอบด้วย สี ค่า BOD ค่า COD กรด-ด่าง สารแขวนลอย ความร้อน และอื่น ๆ ซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดการทำลายทัศนียภาพ มวลสารส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมนั้นมาจากกระบวนการย้อมสี (Dyeing) และการตกแต่งสำเร็จ (Finishing) โดนส่วนมากแล้ว มวลสารเหล่านี้และสีบางประเภทสามารถบำบัดได้ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมีทั่ว ๆ ไป แต่มีสีบางประเภทที่ไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมีทั่ว ๆ ไป ซึ่งสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลายชนิด เช่น สีรีแอคทีฟ สีเอซิด สีเบสิก สีไดเรกต์ สีแว้ต สีดิสเพอร์ส เป็นต้น ผลเสียที่เกิดขึ้นจากสีนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้วยังลดอัตราการนำเข้าของออกซิเจนที่เข้าสู่ผิวหน้าของแหล่งน้ำ และลดปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกลงสู่ผิวน้ำ ทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทำให้สัตว์อาจตายได้ ดังนั้น การวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงาน จึงมีความจำเป็นในการป้องกันปัญหามลพิษที่แหล่งกำเนิด และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย โดยมีการศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบการบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนด

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สีย้อมรีแอคทีฟแบบล็ค 5 (RB5) ซึ่งมีคุณสมบัติโครงสร้างทางเคมีและสเปกตรัมดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติโครงสร้างทางเคมีและสเปกตรัมของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) [8]

2.5.3 อันตรายที่เกิดจากสีย้อม

ส่วนใหญ่แล้วสีย้อมนั้นจะใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมากเป็นอันดับหนึ่ง ซึ่งสีย้อมที่ใช้นั้นเป็นสีสังเคราะห์จากสารเคมีทั้งสิ้น ซึ่งส่วนประกอบของสีย้อมนั้นจะเป็นพวกโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว พรอท สารหนู และโครเมียม เป็นต้น ซึ่งเป็นสีที่ไม่สามารถรับประทานได้ แต่พบว่ามีคนนำสีย้อมเหล่านี้ไปใช้ในการบริโภคโดยใช้เป็นสีผสมอาหาร ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกาย ถ้าหากได้รับปริมาณมากสะสมเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้ อันตรายจากโลหะในสีย้อม ได้แก่

ตะกั่ว : ระยะแรกจะทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ปวดศีรษะ โลหิตจาง ถ้ามีการสะสมมากขึ้น จะมีอาการอัมพาตที่แขนขา มองไม่ปกติ เพื่อ ชักกระตุก และหมดสติในเวลาต่อมา

พรอท : ผู้ที่ได้รับสารนี้เข้าไปในจำนวนที่ถึงขีดอันตรายแล้ว จะเกิดอาการเฉียบพลันขึ้น เช่น คลื่นไส้ ท้องเดิน ปวดมวนท้องอย่างรุนแรง ถ้าเป็นเรื้อรังจะมีอาการเหงือกบวมแดงคล้ำ เนื้อบริเวณเหงือกตาย ฟันจะหลุดออกง่าย ผู้ป่วยจะเบื่ออาหาร อ่อนเพลีย และน้ำหนักลด

โครเมียม : ถ้าพอกพูนในร่างกายเกินขนาด จะทำให้เป็นอันตรายมาก เกิดอาการเฉียบพลัน มีอาการเวียนศีรษะ กระหายน้ำอย่างรุนแรง อาเจียน หมดสติ และเสียชีวิตในเวลาต่อมา เนื่องจากไต

ไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารหนู : ถ้าพอกพูนในร่างกายมาก ๆ จะเกิดอันตรายต่อประสาท เช่น ระบบทางเดินอาหาร ผิดปกติ ตับอักเสบ และเกิดอันตรายต่อวงจรโลหิตที่ไปเลี้ยงหัวใจ อาจทำให้หัวใจวายได้

2.6 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ [9]

เนื่องจากการย้อมผ้าในโรงงานพอกย้อมนั้นส่วนใหญ่จะเป็นสีย้อมและสารเคมี ซึ่งเหลือตกค้างอยู่ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตและจะถูกปล่อยลงแหล่งน้ำทิ้ง แม้จะมีการโต้เถียงกันว่าสีย้อมไม่ควรถูกจัดให้เป็นสารก่อมลภาวะในน้ำ ตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้สีในน้ำทิ้งไม่เป็นที่น่ารังเกียจ แต่เนื่องจากทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่พึงประสงค์ต่อคนทั่วไป ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานพอกย้อมก่อนปล่อยออกจากโรงงานต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อทำการกำจัดสารต่าง ๆ รวมทั้งสีที่ตกค้างก่อน วิธีการบำบัดสีมี ดังนี้

2.6.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical coagulation)

เป็นกระบวนการกำจัดสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมักใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นก่อนกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา สารตกตะกอนที่นิยมใช้ คือ ปูนขาว สารส้ม เพอร์รัสคลอไรด์หรือเพอร์ เทคนิคนี้สามารถกำจัดสีออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของโมเลกุลสีย้อม ถ้าสีย้อมมีโมเลกุลเล็ก เช่น สีประเภทสีแอสิด สีรีแอคทีฟ เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้ม โมเลกุลของสีจะถูกดูดซับบนอนุภาคของสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้ง จากนั้นทำให้น้ำทิ้งเป็นกลางก่อนปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง แต่วิธีดังกล่าวไม่สามารถทำได้ จึงต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการตกตะกอนให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอน เช่น โพลีอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์ที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งจะส่งผลเสียต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน

2.6.2 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological treatment process)

การดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการดูดซับที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย สามารถใช้กำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของของเสียที่จะถูกดูดซับต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 g/mol ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรมสีจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 400 g/mol และสูงกว่า 1200 g/mol ดังนั้นก่อนการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์จะต้องมีการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสมก่อน โดยการไฮโดรไลซิสด้วยปูนขาว ซึ่งต้องใช้ปูนขาวปริมาณมากในการปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 10-11 ซึ่งส่งผลให้พีเอชของน้ำทิ้งสูงขึ้น ดังนั้นต้องมีการปรับพีเอชให้เป็นกลางก่อนปล่อยทิ้งโดยการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของสีดูดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นประสิทธิภาพการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรูพรุนของถ่านกัมมันต์ เพราะพื้นที่ผิวจำเพาะมากขึ้นนั่นเอง แต่การทำให้โมเลกุลของสีหลุดออกจากผิวของถ่านนั้นทำได้ยาก ต้นทุนการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่จึงสูงมาก เพราะต้องผ่านการเผาและการกำจัดกาก ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง รวมถึงค่าใช้จ่ายในส่วนที่มีการปรับพีเอชก่อนปล่อยออกจากโรงงานด้วย ทำให้เทคนิคนี้ไม่เป็นที่นิยม แม้จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

กระบวนการนี้อาศัยจุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นมาใหม่ที่มีการดูดซับสีย้อม ทำให้สามารถบำบัดสีได้ แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

ระบบที่ 1 คือ ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ในการทำลาย กิน ดูดซับหรือเปลี่ยนรูปของมวลสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ให้มีค่าความสกปรกลดลง

ระบบที่ 2 คือ ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) ดัดแปลงจากการบำบัดน้ำเสียแบบที่มีอากาศและไม่มีอากาศรวมกัน โดยเพิ่มเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ ระบบนี้คล้ายกับระบบตะกอนเร่ง จะต่างกันเพียงบ่อนี้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ขุดจากพื้นดินโดยตรง คุณภาพของน้ำเมื่อผ่านกระบวนการนี้จะมีค่า BOD ลดลงประมาณร้อยละ 30-50

2.6.4 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone treatment)

โดยทั่วไปโมเลกุลสีย้อมจะมีหมู่โครโมฟอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์เป็นพวกวงแหวนกับพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยว ดังนั้น การที่จะทำลายโมเลกุลของสีนั้นต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวก่อน ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้ กระบวนการกำจัดสีโดยใช้โอโซนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ไม่นานนัก ซึ่งอาจได้รับความนิยมถ้าหากมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งเข้มงวดขึ้น การโอโซนขั้น (Ozonation) เป็นการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำที่อย่างรวดเร็ว เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโมเลกุลของสีย้อมส่วนใหญ่มักประกอบด้วยไนโตรเจน คลอรีนหรือซัลเฟอร์ จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม

2.6.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane technology)

กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี และนำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสีบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) ใช้ในการกำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่ถูกปล่อยออกจากหม้อย้อมหลังจากผ่านการล้าง โดยใช้กำจัดสีย้อมประเภทสีซัลเฟอร์ สีแควด และสีอะโซอิกที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้ายและวิสคอส (Viscose) ส่วนสีดิสเพอร์สที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทโพลีเอสเตอร์ โดยสีย้อมดิสเพอร์สที่ผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2. ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse osmosis) เหมาะสำหรับใช้กำจัดไอออนสีย้อม และโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ เป็นกระบวนการที่จะต้องผ่านเยื่อแผ่น 2 ชั้นตอน คือ เยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำกร่อย (Brackish Water) และที่บรรจุน้ำทะเล (Sea Water) ซึ่งเยื่อแผ่นแรก จะสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 90 ความเข้มข้นของสีที่เหลือจะถูกส่งผ่านไปยังเยื่อแผ่นที่สอง และสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 94 อย่างไรก็ตาม สีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทฝ้ายไม่สามารถใช้กระบวนการนี้ได้

3. ไดนามิก เมมเบรน (Dynamic membrane) ใช้กำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ โดยใช้ตัวรองรับที่มีรูพรุน เช่น เหล็ก แสตนเลส วัสดุคาร์บอนหรือเซรามิก ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hydrous zirconium (IV) oxide และกรดโพลีอะคลีลิก (Zr/PAA) เพื่อปรับปรุงขนาดของรูพรุน กระบวนการนี้สามารถกำจัดได้ถึงร้อยละ 95 หรือมากกว่า

2.6.6 นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration)

ใช้กำจัดสีย้อมประเภทสีรีแอกทีฟที่ใช้อยู่เส้นใยฝ้าย เนื่องจากการย้อมสีรีแอกทีฟจะต้องใช้ สารอิเล็กโทรไลต์เข้ามาช่วยในการย้อมสี เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเล็กโทรไลต์เหล่านี้ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

2.6.7 เทคโนโลยีใหม่ ๆ (New technology)

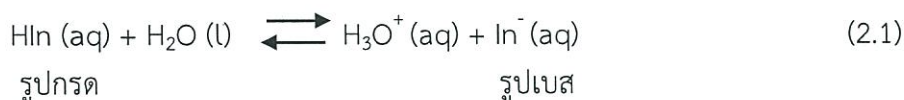
เทคโนโลยีใหม่ ๆ มากมายที่เกิดขึ้น มีพื้นฐานตั้งอยู่บนเทคนิคต่าง ๆ กัน แต่มีวัตถุประสงค์ เดียวกัน คือ เพื่อลดผลกระทบต่าง ๆ ให้เหลือน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น

1. ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์ ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และมีการนำมาใช้กันอยู่ในโรงงาน ประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การกำจัดสีย้อม อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นที่สูงหรือมีสารเจือปนก็ตาม ซึ่งต้นทุนวิธีนี้ต่ำกว่าเทคนิคอื่น ๆ ที่คล้ายกัน ดังนั้นเทคนิคนี้จึงคุ้มค่าต่อการพิจารณาต่อไป

2. ระบบที่มีอิเล็กโทรไลซิส จะต้องใช้พลังงานสูง บางครั้งคลอรีนและไฮดรอกซีเรดิคัล สามารถเกิดขึ้นได้เอง ทำให้เกิดการแตกพันธะอย่างควบคุมไม่ได้ ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์หรือพืชแห้ง เช่น ผักตบชวา จะมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ เซลลูโลส มีหมู่ฟังก์ชันไว้แลกเปลี่ยนไอออนหรือ โมเลกุลของสารอินทรีย์ได้

2.7 อินดิเคเตอร์ [2]

อินดิเคเตอร์ หมายถึง สารที่ใช้ออกความเป็นกรด-เบสของสารละลาย โดยสารประกอบที่สามารถเปลี่ยนสีได้ที่ pH เฉพาะตัว จะถูกนำมาใช้เป็นอินดิเคเตอร์ อินดิเคเตอร์นั้นเป็นสารอินทรีย์ อาจมีความเป็นกรดหรือเบสอ่อนๆ ซึ่งสามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปได้ เมื่อ pH ของ สารละลายเปลี่ยน โดยมี HIn แทนสูตรของอินดิเคเตอร์ ในสารละลายที่มี H₃O⁺ มาก เนื่องจากการ เติมกรดลงในสารละลายตามหลักของเลอชาเตอลิเอร์สมดุลจะเลื่อนมาทางซ้าย ในสารละลายที่มี OH⁻ มาก เนื่องจากการเติมเบสลงในสารละลาย สมดุลจะเลื่อนไปทางขวามากขึ้น เพราะ OH⁻ ไปทำ ปฏิกิริยากับ H₃O⁺ ทำให้ [H₃O⁺] ลดลง เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น [In⁻] จึงเพิ่มขึ้น เมื่ออินดิเคเตอร์อยู่ในสารละลายจะเกิดสมดุลดังสมการที่ (2.1)



สีของอินดิเคเตอร์ที่ปรากฏ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ HIn และ In⁻ ในสารละลาย การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ H₃O⁺ ในสารละลาย จะทำให้สมดุลนี้ถูกรบกวน รวมทั้งความเข้มข้นของ HIn และ In⁻ เปลี่ยนแปลงไปด้วย อินดิเคเตอร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ส่วนใหญ่อยู่ในรูป สารละลายที่มีน้ำหรือแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายโดยปกติจะใช้ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และใช้เพียง 2-3 หยดก็สามารถสังเกตสีได้ชัดเจน อินดิเคเตอร์แต่ละชนิดเปลี่ยนสีได้ในช่วง pH ที่มีค่าเฉพาะ และแตกต่างกัน เช่น เมทิลออเรนจ์ เปลี่ยนสีที่ pH 3.2-4.4 (แดง- เหลือง) ซึ่งหมายความว่า

ที่ pH 3.2 หรือต่ำกว่า 3.2 จะมีสีแดง

ที่ pH 4.4 หรือสูงกว่า 4.4 จะมีสีเหลือง

ที่ pH ระหว่าง 3.2 ถึง 4.4 จะมีสีส้ม ซึ่งเป็นสีผสมระหว่างสีแดงกับสีเหลือง

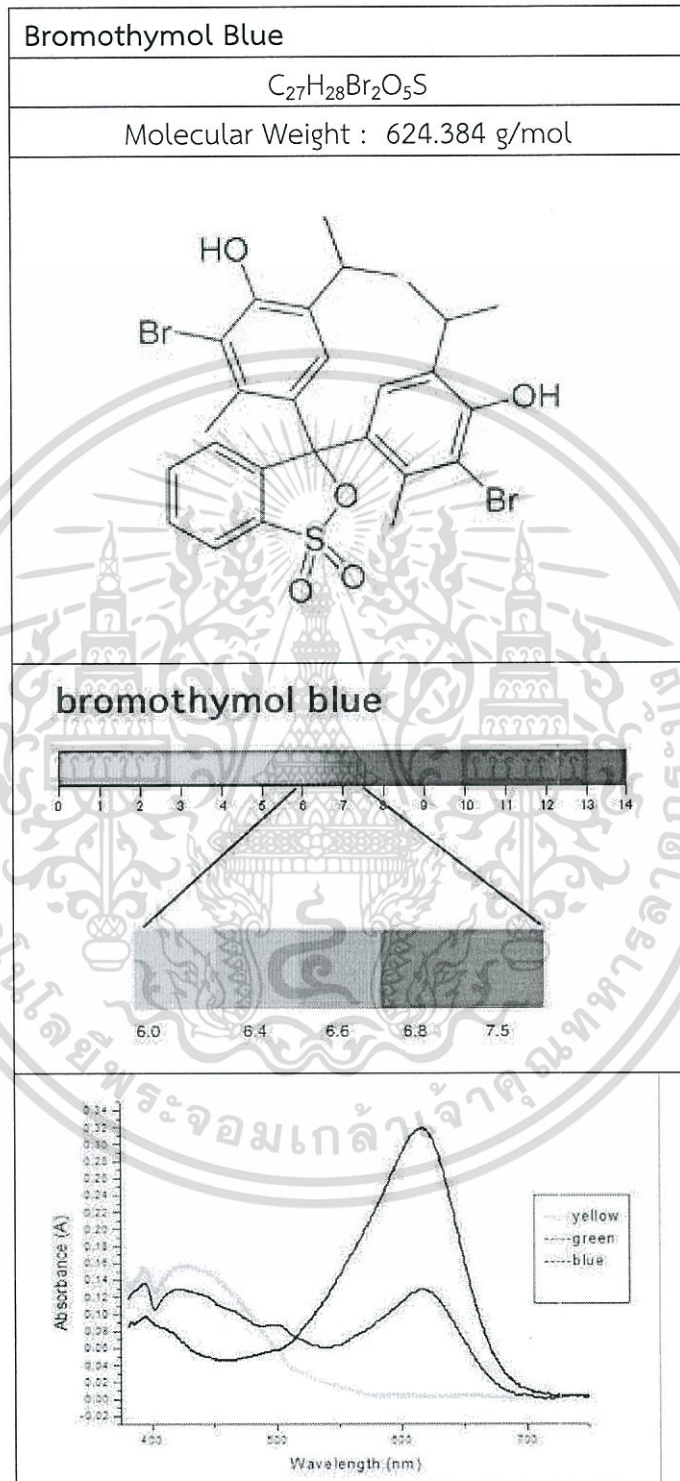
ตัวอย่างอินดิเคเตอร์ และช่วง pH ของการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อินดิเคเตอร์ และช่วง pH ของการเปลี่ยนสี

อินดิเคเตอร์	ช่วง pH ที่เปลี่ยนสี	สีที่เปลี่ยน
ไทมอลบลู*(กรด)	1.2-2.8	แดง-เหลือง
โบรโมฟีนนอลบลู	3.0-4.6	เหลือง-น้ำเงิน
คองโกเรด	3.0-5.0	น้ำเงิน-แดง
เมทิลออเรนจ์	3.2-4.4	แดง-เหลือง
โบรโมครีซอลกรีน	3.8-5.4	เหลือง-น้ำเงิน
เมทิลเรด	4.2-6.3	แดง-เหลือง
อะโซลิตมิน(ลิตมัส)	5.0-8.0	แดง-น้ำเงิน
โบรโมครีซอลเพอร์เฟิล	5.2-6.8	เหลือง-ม่วง
โบรโมไทมอลบลู	6.0-7.6	เหลือง-น้ำเงิน
ครีซอลเรด	7.0-8.8	เหลือง-แดง
ฟีนอลเรด	6.8-8.4	เหลือง-แดง
ไทมอลบลู*(เบส)	8.0-9.6	เหลือง-น้ำเงิน
ฟีนอล์ฟทาลีน	8.3-10.0	ไม่มีสี-ชมพู
ไทมอล์ฟทาลีน	9.4-10.6	ไม่มีสี-น้ำเงิน
อะลิซาลินเยลโล อาร์	10.1-12.0	เหลือง-แดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB) ซึ่งมีคุณสมบัติโครงสร้างทางเคมีและสเปกตรัมดังรูปที่ 2.2



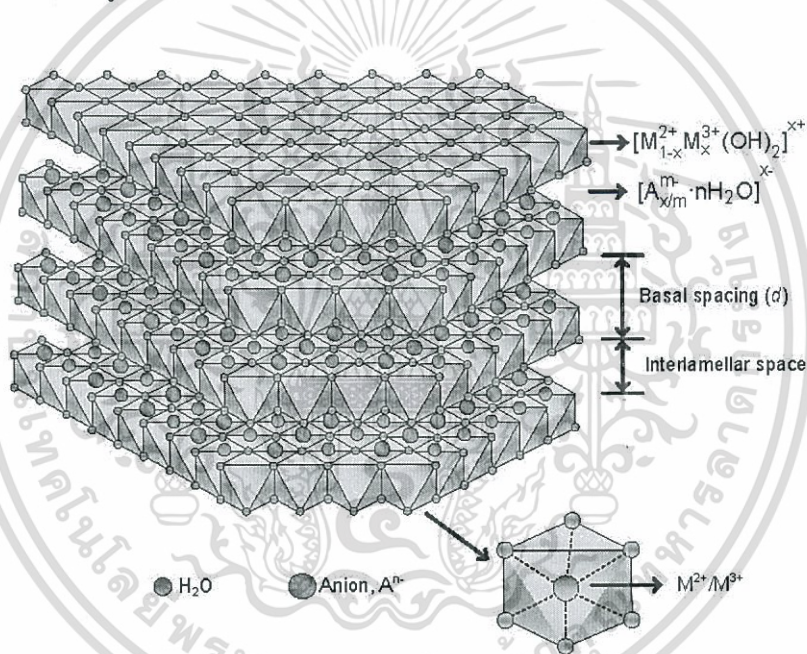
รูปที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติโครงสร้างทางเคมีและสเปกตรัมของโบรโมไทมอลบลู (BTB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxide, LDH) [10]

วัสดุที่มีแนวโน้มคล้ายสารประกอบไฮดรทัลไซต์ (Hydrotalcite-like compounds) หรือเรียกว่า เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides : LDHs) มีสูตรทั่วไป คือ $[Mg^{2+}_{1-x}Al^{3+}_x(OH)_2]^{x+} [A^{n-}_{x/m} \cdot nH_2O]^{x-}$ ซึ่ง A^{n-} เป็นวาเลนซ์ของไอออนลบที่ได้รับการพิจารณา

วัสดุเหล่านี้เป็นแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวกจะเรียงตัวอยู่เป็นชั้น ๆ และมีประจุลบ เช่น CO_3^{2-} , Cl^- or NO_3^- กับโมเลกุลของน้ำอยู่ในระหว่างชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์ เพื่อรักษาประจุโดยรวมให้เป็นกลาง ตามที่แสดงในรูปที่ 2.3 โดยที่ประจุลบกับโมเลกุลของน้ำในระหว่างชั้นสามารถแลกเปลี่ยนประจุลบของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์อื่น ๆ จากน้ำที่ปนเปื้อนได้ แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับได้รับผลกระทบอย่างมากโดยคุณสมบัติของประจุที่พื้นที่ผิวและในระหว่างชั้น โดยทั่วไปแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์มักเป็นประจุลบแบบ Multivalent มากกว่าแบบ Monovalent ยกตัวอย่างเช่น CO_3^{2-} จะถูกดูดซับแบบพิเศษ และไม่สามารถแลกเปลี่ยนโดยประจุลบอื่น ๆ ได้ แต่เมื่อ A^{n-} เป็น Cl^- และแอมโมเนียจะถูกใช้เป็นตัวตกตะกอนในกระบวนการสังเคราะห์



รูปที่ 2.3 แผนผังโครงสร้างของ Layered double hydroxides

ในงานวิจัยนี้ ตัวดูดซับที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นเป็นเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ของเหล็กกับแมกนีเซียม (MFH) ซึ่งจะมีโครงสร้างหลัก คือ ไฮดรอกไซด์ชั้นคู่ผสมระหว่างแมกนีเซียมกับเหล็กที่พื้นผิวและในระหว่างชั้นมีคลอไรด์ไอออนกับน้ำ ต่อไปนี้จะเขียนแทนเป็น MFH ซึ่ง MFH ไม่เพียงแต่จะประกอบด้วยคลอไรด์ไอออน ยังสามารถแทนที่ได้ง่ายโดยประจุลบอื่น ๆ แต่อนุภาคนาโนคลอไรด์ของ MFH มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเล็ก และสามารถแพร่กระจายได้ง่ายในน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของประจุลบอื่น ๆ จะเพิ่มขึ้น ดังนั้น MFH จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นเอกลักษณ์และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุไอออน

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

G.Xiong-hua และคณะ [11] ในปีค.ศ.2003 ได้ทำการเตรียม layered double hydroxides (LDHs) ที่ประกอบด้วย Fe^{3+} , Al^{3+} และ Mg^{2+} ซึ่งถูกเตรียมขึ้นด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม จากผลการวิจัยพบว่าถ้าอัตราส่วนโดยโมลของ $(Fe+Al)/(Fe+Al+Mg) > 0.33$ จะได้โครงสร้างของ LDH ที่เหมือนกับสารประกอบ hydrotalcite บริสุทธิ์ และพบเฟสของ $Al(OH)_3$ เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของ $(Al)/(Fe+Al+Mg) > 0.30$ และพบโครงสร้างแบบอสัณฐาน เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของ $(Fe)/(Fe+Al+Mg) > 0.33$

O. Gulnaz และคณะ [12] ในปีค.ศ.2006 ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟด้วย Dried activated sludge โดยสีย้อมรีแอกทีฟที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ รีแอกทีฟแบล็ค 5 พบว่าระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ของ Dried activated sludge ซึ่งจะเกิดการดูดซับจะเกิดได้ดีในช่วง 15 นาทีแรก สามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ได้ร้อยละ 50 และเมื่อพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 มีค่าเท่ากับ 2.0 4.0 และ 6.0 ค่าความจุในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 จะมีค่าเท่ากับ 74.00 52.00 และ 14.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 มีค่าเท่ากับ 20 35 และ 50 องศาเซลเซียส ค่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 จะมีค่าเท่ากับ 74.00 62.00 และ 47.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 มีค่าเท่ากับ 5.00 100.00 และ 200.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ความจุการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 จะมีค่าเท่ากับ 34.00 74.00 และ 104.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

M. Sundrarajan และคณะ [13] ในปีค.ศ.2007 ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสีย้อมชนิดรีแอกทีฟที่ใช้แล้ว คือ สีเหลืองและสีฟ้าที่ได้จากกระบวนการย้อมผ้าฝ้าย ด้วยการออกซิโดซ์ด้วยโอโซนในคอลัมน์ปฏิกรณ์ ด้วยอัตรา 0.16 กรัมต่อนาที ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสี COD และ TOC ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟได้ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที สามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟสีเหลืองและสีฟ้า โดยใช้ปริมาณโอโซน 37.5 และ 36 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟที่ใช้แล้วในน้ำทิ้งด้วยวิธีโอโซนชั้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามก็ส่งผลต่อค่า COD พบว่า สีเหลืองและสีฟ้ามีค่า COD ที่ระยะเวลาสัมผัสสูงถึง 20 นาทีและ 40 นาทีตามลำดับ โดยใช้ปริมาณโอโซน 65.8 และ 76.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สามารถกำจัด COD ได้ร้อยละ 50 สำหรับสีฟ้าและร้อยละ 48 สำหรับสีเหลือง ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัด TOC กำจัดได้ร้อยละ 51 และ 42 สำหรับสีฟ้าและสีเหลือง ตามลำดับ คุณภาพการย้อมสีก็ไม่ได้รับผลกระทบจากการใช้ซ้ำของสองระบบ

X.Liang และคณะ [14] ในปีค.ศ.2009 ได้ทำการสังเคราะห์ Mg-Fe layered double hydroxide (LDH) ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Fe เป็น 3:1 ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม และนำ Mg-Fe-LDH ไปทำการกำจัด Pb(II) จากสารละลาย $Pb(NO_3)_2$ จากผลการวิจัยพบว่า Mg-Fe-LDH มีประสิทธิภาพในการกำจัด Pb(II) ได้ดี จลนศาสตร์และไอโซเทอมของการดูดซับ Pb(II) บน Mg-Fe-LDH เป็นแบบ pseudo-second order kinetic model และ Aranovich-Donohue equation ตามลำดับ กลไกของการดูดซับของ Pb(II) บน LDH คาดว่าเกิดจากการเหนี่ยวนำให้เกิดการตกตะกอนที่บริเวณพื้นผิว (surface-induced precipitaton) และการดูดซับทางเคมี (chemical binding adsorption)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ต่อ 1 ปริมาณของตัวดูดซับ MMH อยู่ที่ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ คือ 120 นาที และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าไอโซเทอมที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์มากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. กรดไนตริก (HNO_3) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรตวิเคราะห์
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรตวิเคราะห์
3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรตวิเคราะห์
4. โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) บริษัท Italmar จำกัด เกรตวิเคราะห์
5. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรตวิเคราะห์
6. ไอโอดีน (I_2) บริษัท Italmar จำกัด เกรตวิเคราะห์
7. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) บริษัท Italmar จำกัด เกรตวิเคราะห์
8. แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) บริษัท SDFCL จำกัด เกรตวิเคราะห์
9. ไอร์ออน(III)คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) บริษัท QRèC จำกัด เกรตวิเคราะห์
10. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรตวิเคราะห์
11. สีย้อมสังเคราะห์รีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) บริษัท Sigma Aldrich จำกัด เกรตวิเคราะห์
12. อินดิเคเตอร์โบรมโทไมมอลบลู (Bromothymol Blue : BTB) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรตวิเคราะห์
13. แมกนีเซียมไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) บริษัท SDFCL จำกัด เกรตวิเคราะห์
14. ไอร์ออน (III) ไนเตรตไนนะไฮเดรต ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) บริษัท QRèC จำกัด เกรตวิเคราะห์
15. น้ำกลั่น
16. น้ำแข็ง

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระจกนาฬิกา
2. ช้อนตักสาร
3. กรวยแก้ว
4. กระดาษกรองเบอร์ 1 และ 42
5. กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์
6. โกร่งบดสาร
7. แท่งแก้วบดสาร
8. หลอดหยด
9. จุกยางสำหรับดูดสาร
10. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
11. กระจกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร
12. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
13. ปีกเกอร์ขนาด 50 250 และ 600 มิลลิลิตร
14. ปีเปตขนาด 5 10 25 และ 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. หลอดหยดขวดวัดปริมาตรขนาด 50 250 500 และ 1000 มิลลิลิตร
16. เครื่องกวนและแท่งแม่เหล็ก
17. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบ 4 ตำแหน่ง
18. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
19. ตู้ดูดควัน
20. ตู้อบ (Oven)
21. เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (compact shaking incubator)
22. เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, UV-Vis) รุ่น 10S ยี่ห้อ UV Thermo
23. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) รุ่น D8 Advance ยี่ห้อ Bruker AXS
24. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) รุ่น SRS 3400 ยี่ห้อ Bruker AXS
25. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น MA10 ยี่ห้อ EVO
26. เครื่องวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) รุ่น Perkin Elmer TGA7

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ MFH

- 3.3.1.1 สารละลาย $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
 - ชั่ง $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ มา 101.66 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น (ใช้เป็น stock solution)
- 3.3.1.2 สารละลาย $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
 - ชั่ง $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ มา 135.07 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น (ใช้เป็น stock solution)
- 3.3.1.3 สารละลาย NH_4OH 83% V/V ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร
 - ตวง conc. NH_4OH มา 830 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.3.2 การเตรียมตัวดูดซับ MFH ด้วยวิธีการตกตะกอน

ในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมตัวดูดซับ MFH ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมของ $MgCl_2$ และ $FeCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ต่าง ๆ กันดังนี้

- 3.3.2.1 นำ $MgCl_2$ ผสม $FeCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe = 0.5:1 (MFH-0.5)
- 3.3.2.2 นำ $MgCl_2$ ผสม $FeCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe = 1:1 (MFH-1.0)
- 3.3.2.4 นำ $MgCl_2$ ผสม $FeCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe = 3:1 (MFH-3.0)
- 3.3.2.6 นำ $MgCl_2$ ผสม $FeCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe = 5:1 (MFH-5.0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง วิธีการเตรียมตัวดูดซับ MFH-0.5

1. ปิเปตสารละลาย $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 16.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.33 โมลาร์
2. ปิเปตสารละลาย $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 33.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.67 โมลาร์
3. นำสารละลาย $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ผสมกับ $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ คนให้เข้ากัน แล้วบรรจุลงในบิวเรต
4. ตวงสารละลาย NH_4OH 83% V/V ต่อ H_2O อัตราส่วน 5 ต่อ 1 โดยปรับให้มีพีเอชอยู่ในช่วงระหว่าง 9.5 ถึง 10 ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
5. ค่อย ๆ ทำการไซสารละลายผสมในข้อ 3. จากบิวเรตลงในสารละลายข้อ 4. พร้อมทำการปั่นกววน จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนอย่างสมบูรณ์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
6. เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้ว ทำการกรองตะกอนด้วยชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน โดยล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนมีพีเอชเป็นกลาง
7. อบตะกอนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นแบ่งตะกอนเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเครื่อง XRD และ XRF วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน TGA พร้อมทั้งวิเคราะห์หาปริมาณสารดูดซับบนตัวดูดซับ MFH
8. ส่วนที่สองคือตัวดูดซับ MFH ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 0.5:1 ซึ่งจะนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และโบรโมโทมอลบลู ต่อไป
9. ทำซ้ำข้อ 1-8 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe โดยใช้ความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตและไอร์ออน(III)คลอไรด์เฮกซะไฮเดรตที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MFH

ตัวดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe	MgCl ₂ •6H ₂ O		FeCl ₃ •6H ₂ O	
		ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (ml)	ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (ml)
MFH-0.5	0.5:1	0.33	50	0.67	50
MFH-1.0	1:1	0.50	50	0.50	50
MFH-3.0	3:1	0.75	50	0.25	50
MFH-5.0	5:1	0.83	50	0.17	50

หมายเหตุ ความเข้มข้นของสารละลาย MgCl₂•6H₂O และ FeCl₃•6H₂O ตามตาราง จะใช้จาก stock solution

3.3.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และโบรโมไทมอลบลู

1. ชั่งสารถูกดูดซับตัวอย่างปริมาณ 1.000 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วคนให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 1000 ppm แล้วนำไปบรรจุไว้ในขวดสีชาเพื่อเลี่ยงการดูดซับแสง (ใช้เป็น stock solution I)
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจาก stock solution I ปริมาตร 12.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 50 ppm (ใช้เป็น stock solution II)
3. ปิเปตสารละลายตัวอย่างความเข้มข้น 50 ppm จาก stock solution II ตามปริมาณในตารางที่ 3.2 ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำมาตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 598 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5) และความยาวคลื่น 453 นาโนเมตร (สำหรับอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู) นำผลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานต่อไป

ตารางที่ 3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และโบรโมไทมอลบลู

ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ได้ใน การเตรียมกราฟมาตรฐาน (mg/L)	ปริมาตรสารถูกดูดซับที่ความเข้มข้น 50 mg/L ที่ต้องทำการปิเปต (ml)
1	1
2	2
4	4
6	6
8	8

3.3.4 การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และโบรโมไทมอลบลู โดยใช้ MFH

เป็นตัวดูดซับ

ตอนที่ 1 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กของตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมและอินดิเคเตอร์

1. ปิเปตสารละลายจาก stock solution I ความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 200 ppm จากนั้นเทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. ปรับพีเอชของสารละลายสีย้อมและอินดิเคเตอร์ด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ หรือปรับด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ ในการทดสอบพีเอชจนได้ค่าเท่ากับ 7

3. เติมตัวดูดซับ MFH ที่สังเคราะห์ได้จากตอน 3.3.2 ปริมาณ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (สารละลาย 50 มิลลิลิตร จะใช้ปริมาณตัวดูดซับ MFH 40 มิลลิกรัม) จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

4. เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำสารละลายไปกรองแบบลดความดัน เพื่อนำตัวดูดซับ MFH ออกจากสารละลาย จากนั้นนำสารละลายที่ผ่านการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 598 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5) และความยาวคลื่น 453 นาโนเมตร (สำหรับอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู) เพื่อให้ทราบความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่เหลือ

5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนแปลงตัวดูดซับ MFH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็ก ต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กของตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และโบรโมไทมอลบลู

ชนิดของสารดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของ MFH	ปริมาณตัวดูดซับ MFH (mg/L)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
สีย้อม RB5	0.5:1	800	60	30	150
	1:1				
	3:1				
	5:1				
อินดิเคเตอร์ BTB	0.5:1	800	60	30	150
	1:1				
	3:1				
	5:1				

หมายเหตุ : พีเอชของสารละลายสารดูดซับ เท่ากับ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อการกำจัดสีส้มและอินดิเคเตอร์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ MFH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็ก ที่ให้ร้อยละของการกำจัดสีส้มและอินดิเคเตอร์สูงที่สุดจากตอนที่ 1 แล้วทำการเปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับ MFH ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อการกำจัดสีส้มรีแอคทีฟแบล็ค 5 และโบรโมไทมอลบลู

ชนิดของสาร ถูกดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของ MFH	ปริมาณ ตัวดูดซับ MFH (mg/L)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราเร็วใน การเขย่า (รอบ/นาที)
สีส้ม RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละ การกำจัด สูงที่สุด	600	60	30	150
		800			
		1000			
		1200			
อินดิเคเตอร์ BTB	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละ การกำจัด สูงที่สุด	600	60	30	150
		800			
		1000			
		1200			

หมายเหตุ : พีเอชของสารละลายสารถูกดูดซับ เท่ากับ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสี้อมและอินดิเคเตอร์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ MFH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กที่เหมาะสม เลือกปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุดจากตอนที่ 1 และ 2 แล้วทำการเปลี่ยนเวลาในการดูดซับตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และโบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH

ชนิดของสารถูกดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของ MFH	ปริมาณตัวดูดซับ MFH (mg/L)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
สี้อม RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงสุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงสุด	30	30	150
			60		
			120		
			180		
อินดิเคเตอร์ BTB	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงสุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงสุด	30	30	150
			60		
			120		
			180		

หมายเหตุ : พีเอชของสารละลายสารถูกดูดซับ เท่ากับ 7

ตอนที่ 4 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมและอินดิเคเตอร์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ MFH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กที่เหมาะสม เลือกปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมและเวลาที่ให้ร้อยละของการกำจัดสูงที่สุดจากตอนที่ 1 2 และ 3 แล้วทำการเปลี่ยนอุณหภูมิของการดูดซับตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH

ชนิดของสารถูกดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของ MFH	ปริมาณตัวดูดซับ MFH (mg/L)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
สีย้อม RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	30	150
				45	
				60	
อินดิเคเตอร์ BTB	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	30	150
				45	
				60	

หมายเหตุ : พีเอชของสารละลายสารถูกดูดซับ เท่ากับ 7

ตอนที่ 5 การศึกษาผลของอัตราเร็วในการเขย่าที่มีผลต่อการกำจัดสีส้มและอินดิเคเตอร์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ MFH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กที่เหมาะสม เลือกปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม เวลาและอุณหภูมิที่ให้ร้อยละของการกำจัดสูงที่สุดจากตอนที่ 1 2 3 และ 4 แล้วทำการเปลี่ยนอัตราเร็วในการเขย่าของการดูดซับตามที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การศึกษาผลของอัตราเร็วในการเขย่าที่มีผลต่อการกำจัดสีส้มรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH

ชนิดของสารถูกดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของ MFH	ปริมาณตัวดูดซับ MFH (mg/L)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
สีส้ม RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	50
					150
					250
อินดิเคเตอร์ BTB	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	50
					150
					250

หมายเหตุ : พีเอชของสารละลายสารถูกดูดซับ เท่ากับ 7

ตอนที่ 6 การเปรียบเทียบชนิดของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม และ อินดิเคเตอร์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ MFH ที่มีอัตราส่วนโดยโมล แมกนีเซียมต่อเหล็กที่เหมาะสม เลือกปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม เวลา อุณหภูมิและอัตราเร็วในการเขย่าที่ให้ร้อยละของการกำจัดสูงที่สุดจากตอนที่ 1 2 3 4 และ 5 แล้วทำการเปลี่ยนแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ของตัวดูดซับเป็น NO_3^- ตามที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การศึกษาผลของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม รีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH

ชนิดของสารถูกดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของ MFH	ปริมาณตัวดูดซับ MFH (mg/L)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)	แอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์
สีย้อม RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	Cl^-
						NO_3^-
อินดิเคเตอร์ BTB	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	Cl^-
						NO_3^-

หมายเหตุ : พีเอชของสารละลายสารถูกดูดซับ เท่ากับ 7 และ MFH ที่มี Cl^- เป็นแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ สังเคราะห์จาก $\text{MgCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ และ $\text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ สำหรับ NO_3^- ที่เป็นแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ สังเคราะห์จาก $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

ตอนที่ 7 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

การศึกษาการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลูด้วยตัวดูดซับ MFH ว่าเป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์หรือฟรุนดลิช มีขั้นตอนการทดลองและการคำนวณดังนี้

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของ MFH ปริมาณตัวดูดซับ เวลา อุณหภูมิ และอัตราเร็วในการเขย่าที่เหมาะสม จากตอนที่ 1-5 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมและอินดิเคเตอร์ เป็น 100 200 300 และ 500 mg/L จากนั้นหาความเข้มข้นของสีย้อมที่สมดุล (C_e) ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และโบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH

ชนิดของสารดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของ MFH	ปริมาณตัวดูดซับ MFH (mg/L)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารดูดซับ (mg/L)
สีย้อม RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	100
						200
						300
						500
อินดิเคเตอร์ BTB	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	100
						200
						300
						500

หมายเหตุ : พีเอชของสารละลายสารดูดซับ เท่ากับ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำนวณหาปริมาณของสารที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ MFH ที่ภาวะสมดุล (q_e) จากสมการที่ (3.1)

$$q_e = (C_i - C_e)V / W \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

เมื่อ	q_e	คือ	ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ MFH ที่ภาวะสมดุล (mg/g)
	C_i	คือ	ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับเริ่มต้น (mg/L)
	C_e	คือ	ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่ภาวะสมดุล (mg/L)
	V	คือ	ปริมาตรของสารละลาย (L)
	W	คือ	น้ำหนักของตัวดูดซับ MFH (g)

3. นำค่า q_e และ C_e ของแต่ละความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่ถูกดูดซับ มาพล็อตกราฟตามความสัมพันธ์ของสมการแลงเมียร์ (สมการที่ 3.2) และสมการฟรุนดลิช (สมการที่ 3.3)

$$1/q_e = (K/C_e) + (1/q_m) \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\log q_e = \log k_f + (1/n)\log C_e \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

4. ตรวจสอบกราฟที่พล็อตตามสมการที่ (3.2) และ (3.3) ว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เข้าใกล้ 1 หรือไม่ การดูดซับจะเป็นไปตามไอโซเทอมที่มีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากที่สุด

ตอนที่ 8 การศึกษาผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมและอินดิเคเตอร์ ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของ MFH ปริมาณตัวดูดซับ เวลา อุณหภูมิ อัตราเร็วในการเขย่า และความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้นที่เหมาะสม จากตอนที่ 1-5 และ 7 แล้วทำการแคลไซน์ตัวดูดซับที่อุณหภูมิ 300 °C ดังแสดงในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 การศึกษาผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับ MFH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมโทมอลบลู

ชนิดของสารดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของ MFH	ปริมาณตัวดูดซับ MFH (mg/L)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารดูดซับ (mg/L)	อุณหภูมิในการแคลไซน์ตัวดูดซับ MFH (°C)
สีย้อม RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.9 ที่ให้	-
	ร้อยละการกำจัดสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสูงสุด	300
อินดิเคเตอร์ BTB	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.9 ที่ให้	-
	ร้อยละการกำจัดสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสูงสุด	300

หมายเหตุ : พีเอชของสารละลายสารดูดซับ เท่ากับ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MFH

ตัวดูดซับ MFH ที่ได้จากการสังเคราะห์ในตอนต้นที่ 3.3.2 จะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

3.3.5.1 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MFH ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)



รูปที่ 3.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)

3.3.5.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ MFH ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)



รูปที่ 3.2 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)

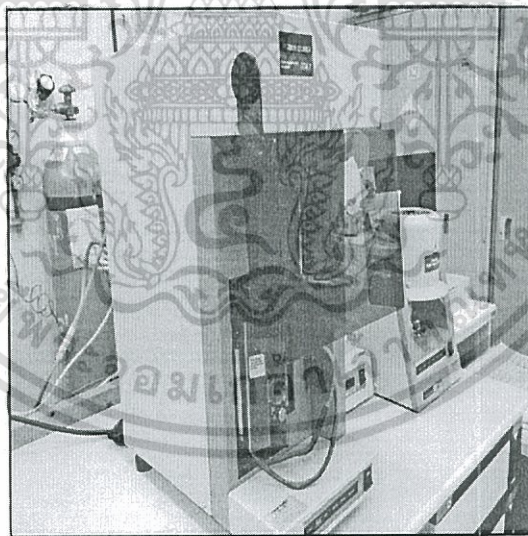
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.3 สันฐานวิทยาของตัวดูดซับ MFH ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)



รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

3.3.5.4 วิเคราะห์เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)



รูปที่ 3.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.5 วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MFH ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารที่ใช้สำหรับการดูดซับไอโอดีน

1.1 สารละลาย HCl 5% W/W ปริมาตร 550 มิลลิลิตร

- ตวง conc.HCl จำนวน 70 มิลลิลิตร เทลงในน้ำกลั่นที่มีปริมาตร 550 มิลลิลิตร จากนั้นคนให้เข้ากัน

1.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) 0.100 นอร์มัล (normal, N) ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

- ชั่ง KIO_3 ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จำนวน 3.5667 ± 0.1 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.3 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) 0.100 นอร์มัล (normal, N) ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

- ละลาย $Na_2S_2O_3$ 24.820 กรัม ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด 75 ± 25 มิลลิลิตร เติม Na_2CO_3 0.10 ± 0.01 กรัม เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น

1.4 สารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.100 ± 0.001 นอร์มัล (normal, N) ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

- ชั่งไอโอดีน 12.70 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดต์ (KI) 19.10 กรัม ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2-5 มิลลิลิตร คนให้ของแข็งละลาย ค่อยๆ เติมน้ำทีละน้อย (ครั้งละประมาณ 5 มิลลิลิตร) จนกระทั่งได้สารละลายประมาณ 50-60 มิลลิลิตร ทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง คนเป็นระยะเพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดสี

1.5 น้ำแป้ง

- ชั่งแป้ง 1 ± 0.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 5-10 ml คนสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 25 ± 5 มิลลิลิตร กวนสารละลายตลอดเวลา แล้วเทสารละลายลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือด ปริมาตร 1 ลิตร แล้วต้มสารละลายต่อให้เดือดอีก 4-5 นาทีทิ้งให้เย็นแล้วเก็บในขวดเก็บสารแขวนลอยในตู้เย็น น้ำแป้งที่เตรียมได้จะใช้ภายในวันที่เตรียมเท่านั้น

2. วิธีเทียบมาตรฐานของสารละลาย

2.1 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

- ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไอโอไดต์ (KI) 2.0 ± 0.01 กรัม เขย่าสารละลายให้เข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยดน้ำแบ่ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

2.2 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน

- ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วเมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยดน้ำแบ่ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน

3. วิธีการวิเคราะห์

3.1 ชั่งตัวดูดซับ MFH จำนวน 0.0500 กรัม แล้วเทลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2 ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% โดยน้ำหนัก มา 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางแล้วเขย่าเบาๆ

3.3 เปิดจุกยางออก แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยเตาให้ความร้อน (ทำการทดลองในตู้ดูดควัน) แล้วต้มให้เดือดประมาณ 30 ± 2 นาที จากนั้นยกขวดรูปชมพู่ออกจากเตาให้ความร้อน แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.4 ปิเปตสารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว มา 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางทันทีแล้วทำการเขย่าแรงๆ เป็นเวลา 30 ± 1 วินาที จากนั้นกรองสารละลายผ่านกระดาษกรองพับจีบเบอร์ 42

3.5 ปิเปตสารละลายที่กรองได้จากข้อ 3.4 มา 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) จากนั้นหยดน้ำแบ่ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ทำการไทเทรตต่อจนสารละลายใสไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

3.6 โดยทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 3.1 ถึงข้อ 3.5 ทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำค่าทั้งหมดมาเฉลี่ยเพื่อหาค่าการดูดซับของไอโอดีน

บทที่ 4

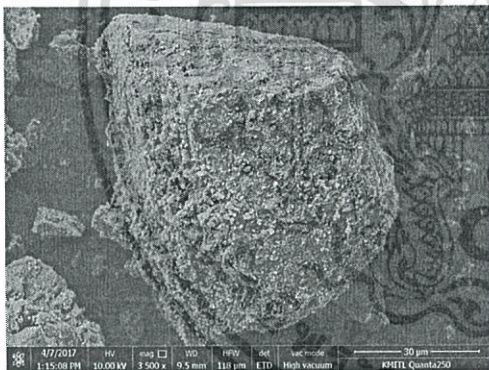
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์และศึกษาประสิทธิภาพตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและเหล็ก (MFH) ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู โดยการนำเสนอผลการวิจัยและการอภิปรายผลจะกล่าวถึงคุณสมบัติของ MFH และอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กของ MFH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า ผลของการแคลไซน์ และผลของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

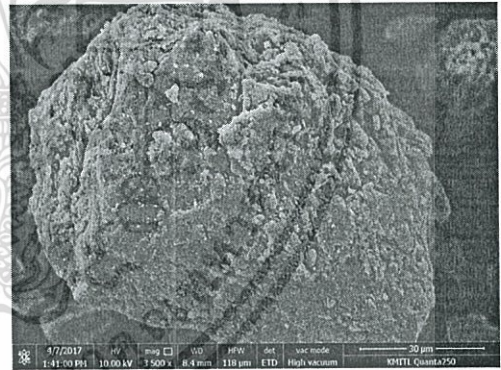
4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MFH

4.1.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MFH

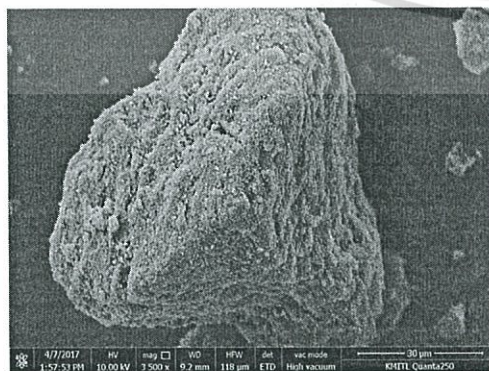
ตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 0.5:1, 3:1, 5:1 และ 3:1 ที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 300 องศาเซลเซียส ที่ยังไม่ได้ผ่านการดูดซับ จะถูกนำมาตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 3500 และ 5000 เท่า ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 4.1



(ก)



(ข)

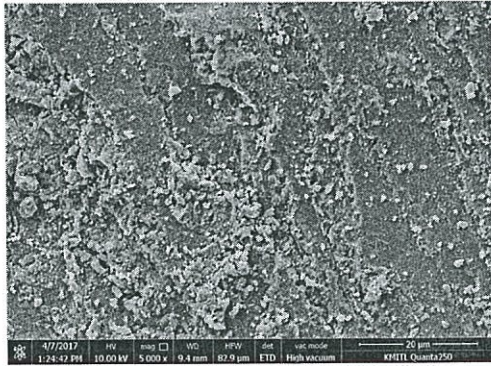


(ค)

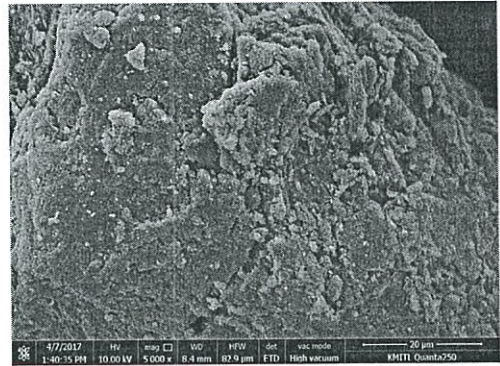


(ง)

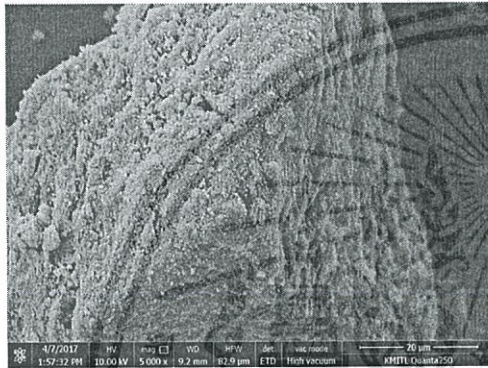
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)

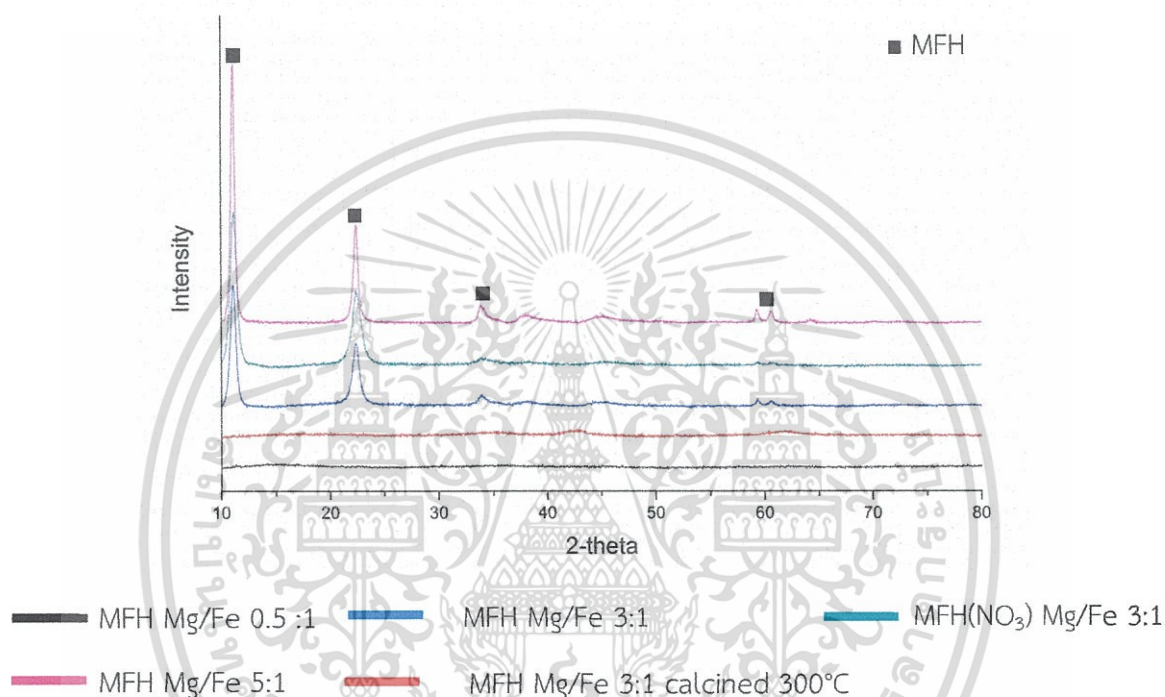
รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MFH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

- (ก) (ข) (ค) และ (ง) เป็นลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 0.5:1, 3:1, 5:1 และ 3:1 ที่แคลไซน์ 300°C (กำลังขยาย 3500 เท่า)
 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) เป็นลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 0.5:1, 3:1, 5:1 และ 3:1 ที่แคลไซน์ 300°C (กำลังขยาย 5000 เท่า)

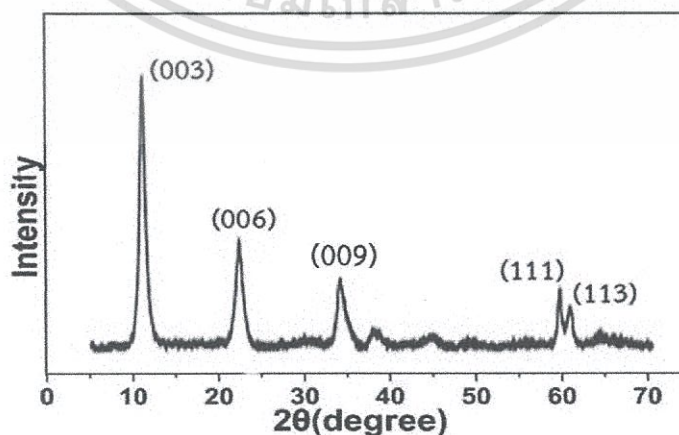
จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นได้ว่า ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe 0.5:1 จะมีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบ ขรุขระเล็กน้อย, Mg/Fe 3:1 มีลักษณะพื้นผิวขรุขระ ไม่เรียบ, Mg/Fe 5:1 พื้นผิวมีอนุภาคขนาดเล็กมากปกคลุม ทำให้พื้นผิวมีลักษณะเรียบขึ้น และ Mg/Fe 3:1 ที่แคลไซน์ 300°C มีลักษณะพื้นผิวขรุขระ ไม่เรียบ มากกว่า Mg/Fe 3:1 ดังที่แสดงในรูป (ก) ถึง (ข) โดยพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 3:1 ที่แคลไซน์ 300°C จะมีพื้นผิวขรุขระมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนโดยโมลอื่นๆ

4.1.2 โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MFH

ตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 0.5:1 3:1 5:1 MFH3:1(NO₃) และ MFH 3:1 ซึ่งถูกนำไปแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จะถูกนำไปวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MFH แสดงในรูปที่ 4.2 สำหรับดิฟแฟรคโทแกรมของ Fe(OH)₃ และ Mg(OH)₂ แสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

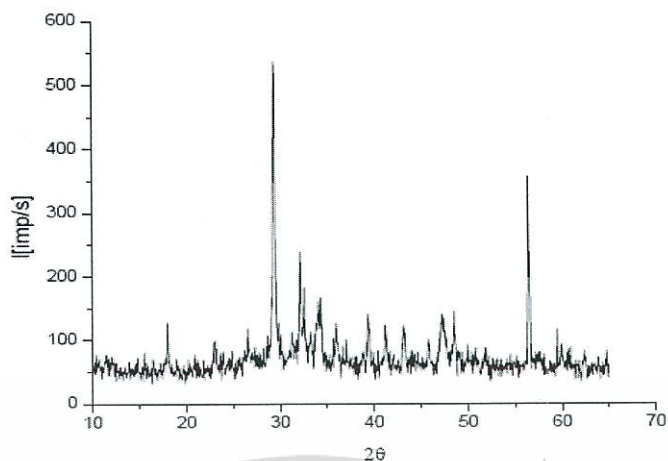


รูปที่ 4.2 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ต่าง ๆ

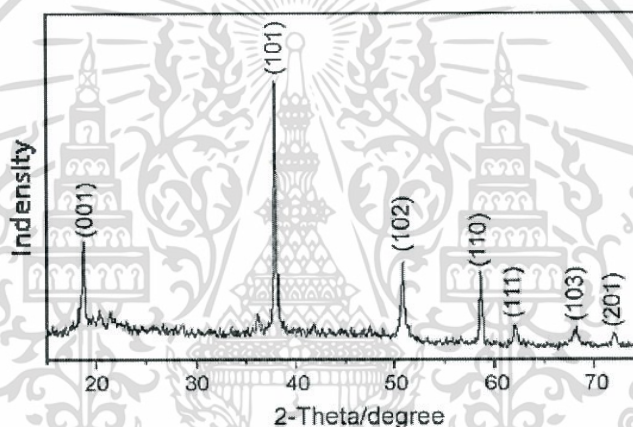


รูปที่ 4.3 ดิฟแฟรคโทแกรมของไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับเหล็ก [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ดิฟแฟรคโทแกรมของไอรอนไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) [21]



รูปที่ 4.5 ดิฟแฟรคโทแกรมของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) [22]

จากดิฟแฟรคโทแกรมในรูปที่ 4.2 MFH แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 3:1 5:1 และ $\text{MFH}(\text{NO}_3)$ ที่อัตราส่วน 3:1 จะปรากฏพิกที่ตำแหน่ง 2 Theta เท่ากับ 11° 22° 33° และ 60° ซึ่งเป็นพิกเอกลักษณ์ของ MFH (เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.3) โดยจะสังเกตได้ว่า ที่อัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 0.5:1 และ 3:1 ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จะไม่ปรากฏพิกของ MFH เนื่องจากตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 0.5 มีปริมาณของเหล็กมากกว่าแมกนีเซียมจึงไม่ปรากฏพิกที่แสดงความเป็นผลึกของ MFH และตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 3:1 ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ไม่ปรากฏพิกเอกลักษณ์ที่แสดงความเป็นผลึกของ MFH แต่ปรากฏพิกที่ตำแหน่ง 2 Theta เท่ากับ 43 และ 62 ซึ่งเป็นพิกของ MgO เนื่องจากเมื่อนำตัวดูดซับ MFH 3:1 ไปทำการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โครงสร้างของตัวดูดซับ MFH จะถูกทำลายลง ทำให้ไม่เห็นพิกที่แสดงความเป็นผลึก นอกจากนี้ยังพบว่าดิฟแฟรคโทแกรมของ MFH ไม่ปรากฏพิกเอกลักษณ์ของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ และ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า MFH ที่สังเคราะห์ได้ ไม่มีการปะปนของสารประกอบ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ และ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ในโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ MFH

ตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 0.5:1 1:1 3:1 และ 5:1 ที่ยังไม่ได้ดูดซับสารถูกดูดซับ จะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบที่เป็นโลหะด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.1

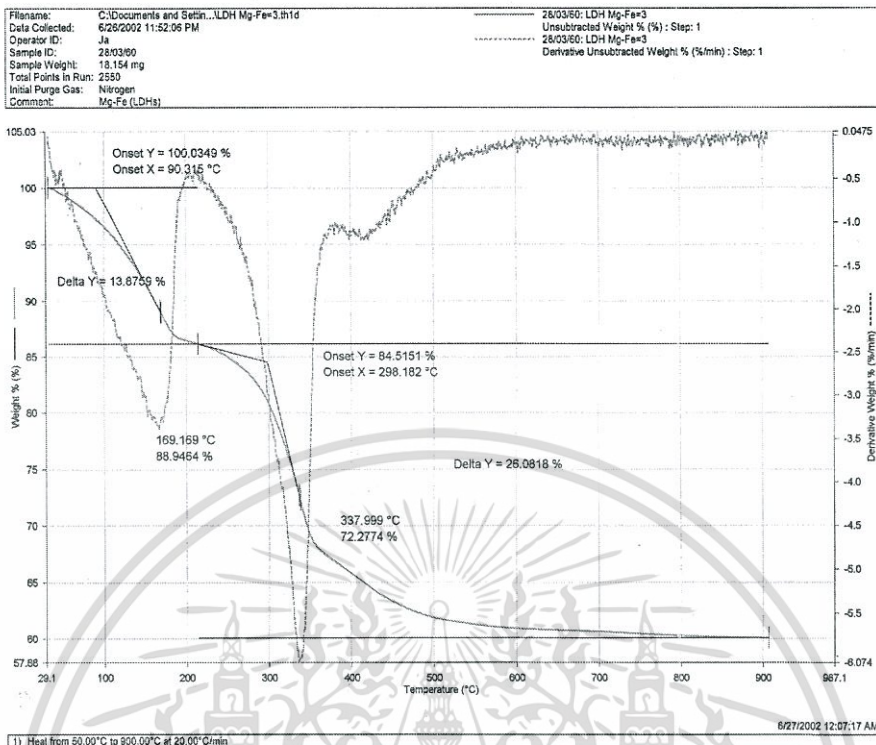
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของโลหะในตัวดูดซับ MFH วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

อัตราส่วน โดยโมล Mg/Fe (ที่กำหนด)	MgO (%) โดย น้ำหนัก	Fe ₂ O ₃ (%) โดย น้ำหนัก	Mg (%) โดยโมล	Fe (%) โดยโมล	อัตราส่วนโดย โมล Mg/Fe (จากผล วิเคราะห์)
0.5:1	9.35	90.6	0.23	1.13	0.2:1
1:1	22.7	77.1	0.56	0.96	0.58:1
3:1	56.8	43.0	1.41	0.53	2.66:1
5:1	68.5	31.3	1.72	0.37	4.60:1

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ตัวดูดซับ MFH ที่เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมและตรวจวัดปริมาณของ Mg และ Fe ด้วยเทคนิค XRF ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 3:1 และ 5:1 มีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนโดยโมลที่กำหนดไว้ ส่วนกรณีอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 0.5:1 และ 1:1 มีค่าอัตราส่วนโดยโมลน้อยกว่าที่กำหนดไว้

4.1.4 ความเสถียรต่ออุณหภูมิของตัวดูดซับ MFH

เนื่องจากตัวดูดซับ MFH จะต้องนำไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค BET ซึ่งในการวิเคราะห์จำเป็นต้องให้ความร้อนกับตัวดูดซับที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการเตรียมตัวอย่าง จึงต้องตรวจสอบว่าตัวดูดซับ MFH จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสหรือไม่ จึงใช้เทคนิค TGA ในการหาอุณหภูมิการสลายตัวของตัวดูดซับ MFH ก่อน ดังนั้นตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 3:1 ที่ยังไม่ได้ดูดซับสารถูกดูดซับจะถูกนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) แสดงผลวิเคราะห์ในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผล TGA ของตัวดูดซับ MFH

จากรูปที่ 4.6 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียไปกับอุณหภูมิ โดยน้ำหนักที่สูญเสียไปในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่เกิดจากการสลายตัวของน้ำและคลอไรด์ และในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 230-337.99 องศาเซลเซียส โครงสร้างของ MFH ได้พังทลายแล้ว เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำหนักอย่างมาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า MFH ทนอุณหภูมิได้สูงสุดประมาณ 337.99 องศาเซลเซียส จึงแสดงให้เห็นว่าตัวดูดซับ MFH ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค BET ได้ เพราะถ้านำตัวดูดซับไปให้ความร้อนที่ 300 องศาเซลเซียส จะทำให้โครงสร้างพังทลาย พื้นที่ผิวจำเพาะที่วิเคราะห์ได้จะเกิดความผิดพลาดเพราะไม่ใช่พื้นที่ผิวจำเพาะที่แท้จริง ดังนั้นจึงเลือกใช้เทคนิคการดูดซับไอโอดีนในการหาพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับ MFH แทน

4.1.5 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MFH ด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน

ตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 0.5:1 1:1 3:1 5:1 3:1 (calcine@300 องศาเซลเซียส) และ 3:1 (ไนเตรตไอออน) ที่ยังไม่ได้ผ่านการดูดซับจะถูกนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน ซึ่งแสดงผลวิเคราะห์ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ MFH

อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของ MFH	ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ (mg/g)
0.5:1	696.56
1:1	931.77
3:1	1005.15
5:1	912.17
3:1 (calcine 300°C)	1234.03
3:1 (NO ₃ ⁻)	1144.12

การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MFH ด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน จะรายงานผลเป็น ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (mg I₂/g) ซึ่งจะแปรผันตรงกับพื้นที่ผิว ของตัวดูดซับ จากตารางที่ 4.2 MFH ที่มีแอนไอออนเป็น Cl⁻ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เป็น 0.5:1, 1:1, 3:1 และ 5:1 พบว่ามีปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับเป็น 696.56, 931.77, 1012.69 และ 912.17 mg/g ตามลำดับ โดย MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เป็น 3:1 มีค่าการดูดซับไอโอดีน สูงสุด จึงมีพื้นที่ผิวสูงสุดด้วย

เมื่อเทียบตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เป็น 3:1 ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์ และ ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าการดูดซับไอโอดีนเป็น 1012.69 และ 1234.03 mg/g ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าตัวดูดซับ MFH ที่ผ่านการแคลไซน์จะมีพื้นที่ผิวสูงกว่า MFH ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจาก MFH ที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 300 องศาเซลเซียส จะเกิดการพังทลายของโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างเดิมที่เป็นชั้นๆ มีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งส่งผลต่อ ขนาดผลึก และความเป็นผลึกของตัวดูดซับ

เมื่อนำตัวดูดซับ MFH ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เป็น 3:1 แต่มีแอนไอออนระหว่างชั้น อินเตอร์เลเยอร์ต่างกัน ไปวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนพบว่า MFH ที่มี Cl⁻ เป็นแอนไอออน ให้ค่าการ ดูดซับไอโอดีน 1005.15 mg/g ขณะที่ MFH ที่มี NO₃⁻ เป็นแอนไอออน ให้ค่าการดูดซับไอโอดีน 1144.12 mg/g ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า MFH ที่มี NO₃⁻ เป็นแอนไอออน มีพื้นที่ผิวมากกว่า MFH ที่มี Cl⁻ เป็นแอนไอออน โดยแอนไอออนจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีประจุ บวก เพื่อดุลประจุ ถ้าแอนไอออนมีขนาดโมเลกุลใหญ่ก็จะทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นของโลหะ ไฮดรอกไซด์ห่างจากกันมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อความเป็นผลึกที่อาจจะลดลง จึงทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูด ซับเพิ่มขึ้น โดย NO₃⁻ มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า Cl⁻ ดังนั้นจึงทำให้ MFH ที่มี NO₃⁻ เป็นแอนไอออน ระยะห่างระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์มากกว่า MFH ที่มี Cl⁻ เป็นแอนไอออน

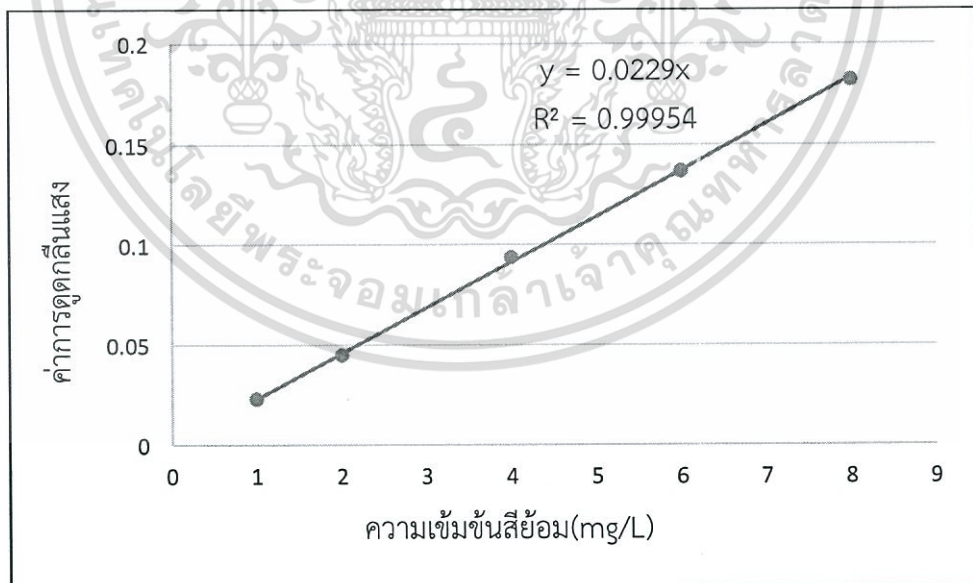
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู

จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลูที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 8 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 598 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5) และความยาวคลื่น 453 นาโนเมตร (สำหรับอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู) ซึ่งค่าการดูดกลืนแสง จะแสดงผลในตารางที่ 4.3 และได้นำไปสร้างกราฟมาตรฐานในรูปที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.3 ค่า Absorbance ของสารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู

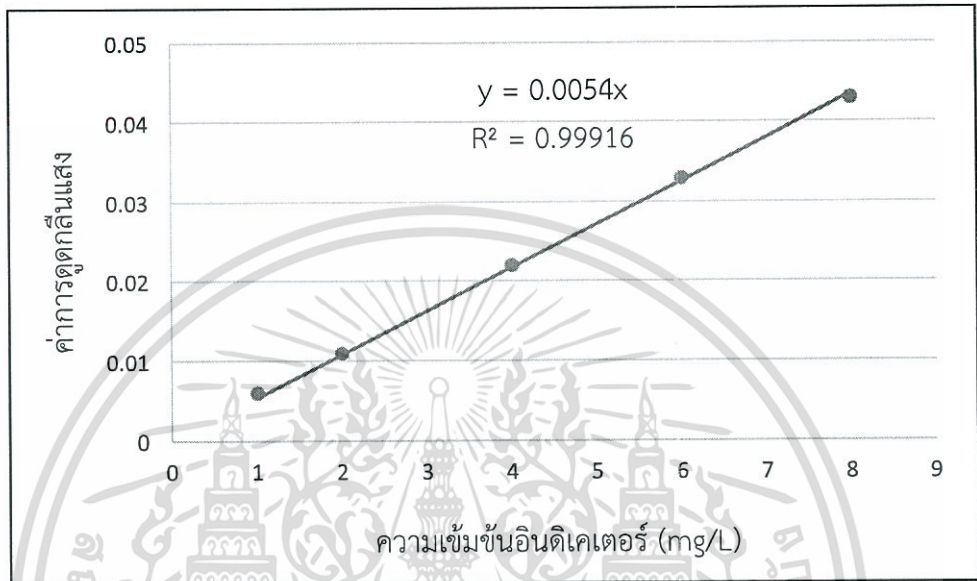
ความเข้มข้นของสารละลาย ที่ได้ในการเตรียม กราฟมาตรฐาน (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสงของ สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	ค่าการดูดกลืนแสงของ อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู
1	0.023	0.006
2	0.045	0.011
4	0.094	0.022
6	0.137	0.033
8	0.182	0.043



รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 กับค่าการดูดกลืนแสง พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง โดยมีค่า $R^2 = 0.99954$ ซึ่งเป็นไปตามสมการ $y = 0.0229x$ เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนแสง และ x คือความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 (mg/L) กราฟมาตรฐานที่ได้จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ที่เหลืออยู่ หลังจากผ่านกระบวนการการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH ต่อไป



รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู กับค่าการดูดกลืนแสง พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง โดยมีค่า $R^2 = 0.99916$ ซึ่งเป็นไปตามสมการ $y = 0.0054x$ เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนแสง และ x คือความเข้มข้นของสารละลายอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (mg/L) กราฟมาตรฐานที่ได้จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ที่เหลืออยู่ หลังจากผ่านกระบวนการการดูดซับอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH ต่อไป

4.3 กลไกการดูดซับ

ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบบลึค 5 และ อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH จะอาศัยหลักการดูดซับ (Adsorption) โดยตัวดูดซับ MFH เป็นสารชนิด Hydrotalcite มีสูตรโครงสร้างคือ $[M^{2+}_{1-x} M^{3+}_x(OH)_2]^{x+} [A^{n-}_{x/n} \cdot mH_2O]^{x-}$

เมื่อ M^{2+} คือ divalent cation (เช่น Mg^{2+} หรือ Zn^{2+})

M^{3+} คือ trivalent cation (เช่น Al^{3+} หรือ Fe^{3+})

A^{n-} คือ interlayer anion (เช่น CO_3^{2-} , Cl^- , NO_3^-)

และ x จะมีค่าระหว่าง 0.2-0.33 [23]

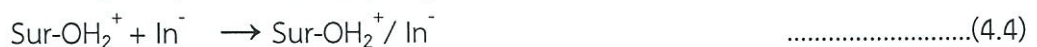
โดยสูตรโครงสร้างของ MFH เขียนแทนได้เป็น Sur-OH เมื่อ Sur แทนพื้นผิวของตัวดูดซับ MFH ซึ่งพีเอชที่มี Zeta potential = 0 จะเรียกว่า Isoelectric point (IEP) ค่า Isoelectric point จะใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติของตัวดูดซับ MFH โดยวัดจากเครื่อง Microelectrophoretic Mobility Detector โดยตัวดูดซับ MFH มีค่า Isoelectric point อยู่ที่ 10.9 ถ้าตัวดูดซับ MFH อยู่ในสารละลายที่มีพีเอชต่ำกว่าค่า Isoelectric point ตัวดูดซับ MFH จะทำหน้าที่รับโปรตอนและกลายเป็นประจุบวก ตามสมการที่ 4.1 [24]



แต่ถ้าตัวดูดซับ MFH อยู่ในสารละลายที่มีพีเอชสูงกว่าค่า Isoelectric point ตัวดูดซับ MFH จะทำหน้าที่ให้โปรตอนและกลายเป็นประจุลบ ตามสมการที่ 4.2

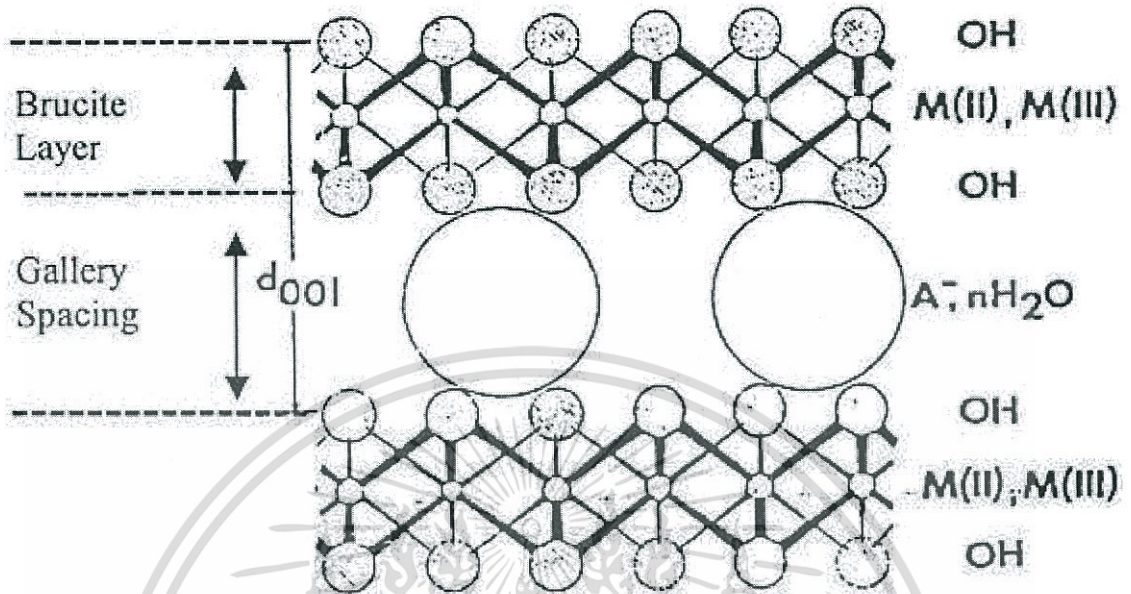


ในการทดลองมีการควบคุมพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบบลึค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลูให้เท่ากับ 7 ซึ่งต่ำกว่าค่า Isoelectric point ดังนั้น ตัวดูดซับ MFH จึงแสดงประจุบวกที่พื้นผิว ตามสมการ 4.1 โดยกลไกการดูดซับระหว่าง MFH กับสีย้อมรีแอคทีฟแบบลึค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู อาจเป็นไปได้ 2 กรณี กรณีแรก สีย้อมรีแอคทีฟแบบลึค 5 จัดเป็นสีย้อมที่มีประจุลบ (Dye⁻) ส่วนโบรโมไทมอลบลูเป็นกรดอ่อน เมื่ออยู่ในสารละลายจะแตกตัวเป็นอนุมูลกรด ซึ่งมีประจุลบ (In⁻) ดังนั้นสีย้อมที่มีประจุลบ (Dye⁻) และอนุมูลกรดของอินดิเคเตอร์ (In⁻) จะเข้าไปดูดซับกับ MFH ที่แสดงประจุบวก (Sur-OH₂⁺) ด้วยแรงดึงดูดระหว่างไอออน ดังสมการที่ 4.3 และ 4.4



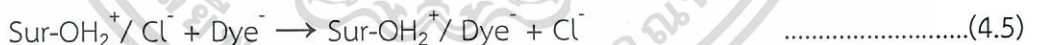
กรณีที่ 2 เนื่องจาก MFH เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นชั้น ๆ ของไฮดรอกไซด์ (Hydroxide layer) โดยมีไอออนของโลหะที่มีประจุ +2 อยู่ในช่อง Octahedral โดยโลหะที่มี ประจุ +2 บางส่วน จะถูกแทนที่ด้วยโลหะที่มีประจุ +3 ทำให้ประจุสุทธิบนพื้นผิวของไฮดรอกไซด์เป็นประจุบวก และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างชั้นจะถูกดูลประจุด้วยไอออนที่มีประจุลบ (Interlayer anion) ซึ่งแทรกตัวอยู่ เช่น CO_3^{2-} , Cl^- หรือ NO_3^- ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ลักษณะโครงสร้างของ MFH [25]

เมื่อ MFH อยู่ในสารละลาย Interlayer anion บางส่วนสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในสารละลาย และไอออนลบอื่นจะเข้าไปแทนที่ได้ ดังนั้น กลไกการดูดซับของสีย้อมรีแอกทีฟแบบลิค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลูกับ MFH จึงเป็นแบบการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion exchange) ซึ่ง Cl^- เป็น Interlayer anion ของ MFH จะแพร่ออกจาก MFH เข้าไปในสารละลาย ส่วนสีย้อมที่เป็นประจุลบ (Dye⁻) และอนุมูลกรดของอินดิเคเตอร์ (In⁻) จะเข้าไปแทนที่ ดังสมการที่ 4.5 และ 4.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และ อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู

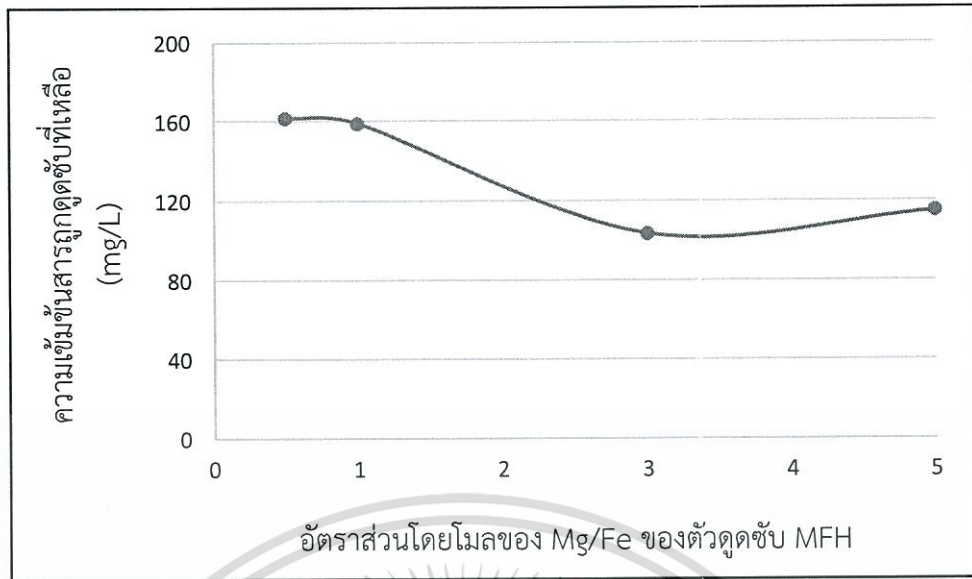
ในการศึกษาผลกระทบที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของ MFH ปริมาณของตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า ผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับ และผลของชนิดแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ จะแสดงผลในหัวข้อที่ 4.4.1 ถึง 4.4.7

4.4.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของตัวดูดซับ MFH

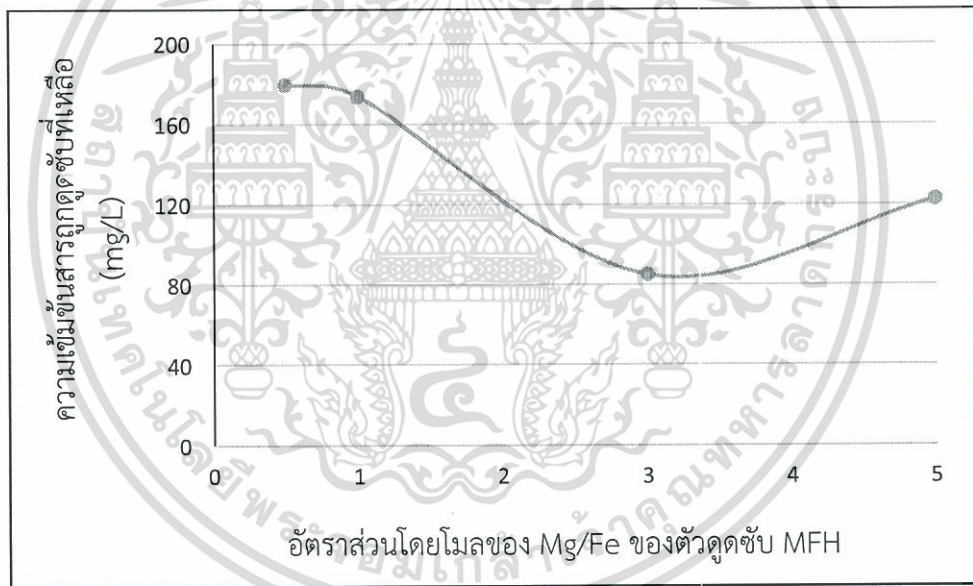
ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH ที่เตรียมขึ้นมาด้วยอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ตั้งแต่ 0.5:1, 1:1, 3:1 และ 5:1 เวลาในการดูดซับ 60 นาที โดยพีเอชของสารถูกดูดซับเท่ากับ 7 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ 200 mg/L ปริมาณตัวดูดซับ MFH 800 mg/L ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู แสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.10 ถึง 4.13

ตารางที่ 4.4 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของตัวดูดซับ MFH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB)

ชนิดของสารถูกดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ของตัวดูดซับ MFH	ความเข้มข้นคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด
RB5	0.5 : 1	161.35	19.33
	1 : 1	158.75	20.63
	3 : 1	103.20	48.40
	5 : 1	114.55	42.73
BTB	0.5 : 1	179.30	10.35
	1 : 1	173.60	13.20
	3 : 1	84.75	57.63
	5 : 1	122.5	38.75

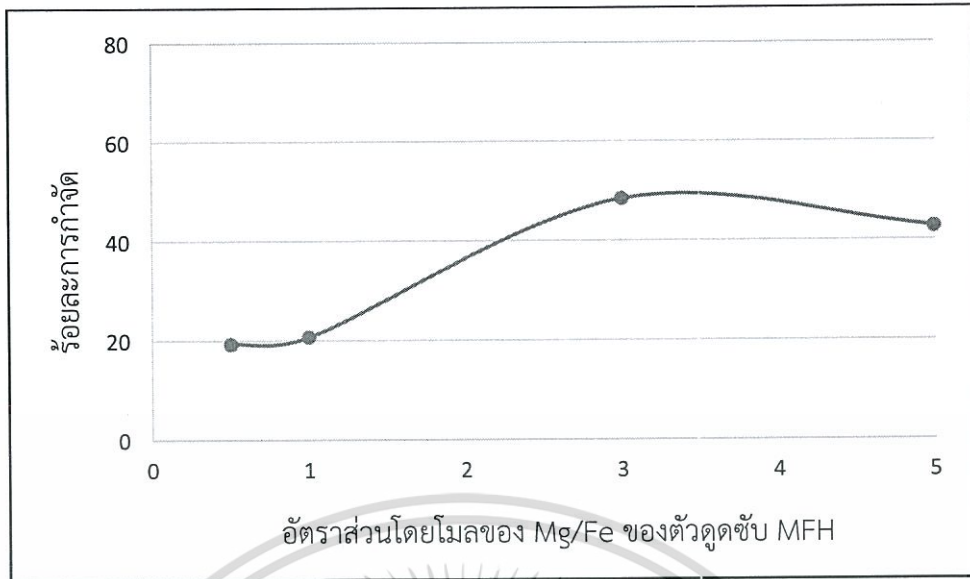


รูปที่ 4.10 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

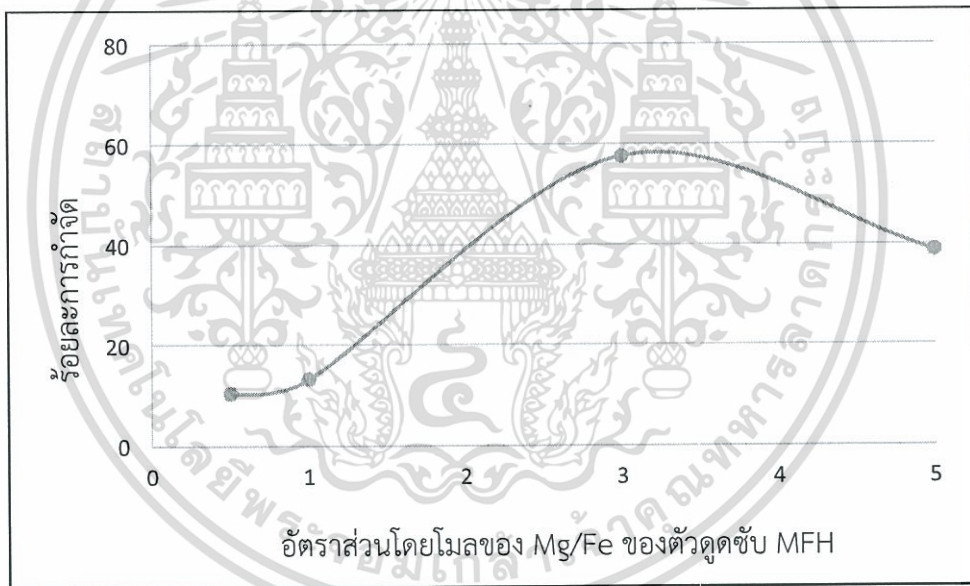


รูปที่ 4.11 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือของอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5



รูปที่ 4.13 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ที่มีต่อร้อยละการกำจัดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Fe จาก 0.5:1 เป็น 3:1 ปริมาณสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ที่เหลืออยู่หลังการดูดซับ จะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Fe เป็น 3:1 ปริมาณสารถูกดูดซับ จะเหลือต่ำที่สุด แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Fe มากกว่า 3:1 ปริมาณสารถูกดูดซับที่เหลืออยู่จะมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.12 และ 4.13 ซึ่งการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Fe เท่ากับ 3 จะมีร้อยละการกำจัดสูงสุด คือ 48.40 และ 57.63 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

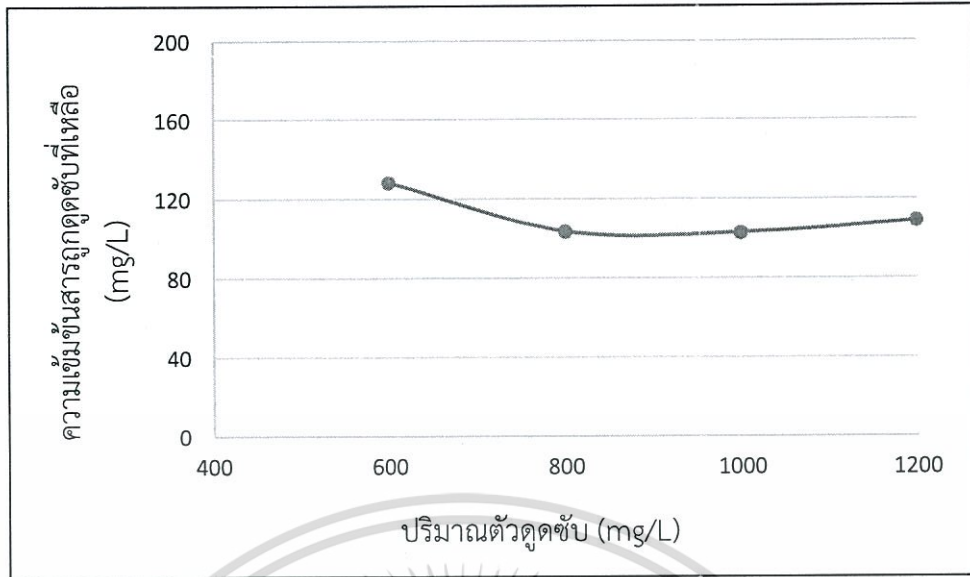
ในการตกตะกอนร่วมกันระหว่างแมงनीเซียมกับเหล็กในไฮดรอกไซด์นั้น แมงनीเซียมจะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ โดยเหล็กจะทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะตะกอนของแมงनीเซียมให้อยู่ร่วมกัน จากภาพถ่าย SEM ในรูปที่ 4.1 จะสังเกตได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของแมงनीเซียมจะมีผลทำให้ในผลึกของ MFH มีแมงनीเซียมมากขึ้น ส่งผลให้ขนาดของผลึก MFH ใหญ่ขึ้น และทำให้มีรูพรุนมากกว่า MFH ที่เตรียมจากแมงनीเซียมที่มีปริมาณน้อย จึงส่งผลให้มีการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Fe มากกว่า 3 การดูดซับสารถูกดูดซับจะมีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากแมงनीเซียมมีปริมาณมากไป จึงรวมกันเป็นกลุ่มก้อนและกระจุกตัวรวมกันบนผิวของเหล็ก ทำให้พื้นที่ผิวและรูพรุนมีขนาดลดลง ประสิทธิภาพการดูดซับจึงลดลงด้วย

4.4.2 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH

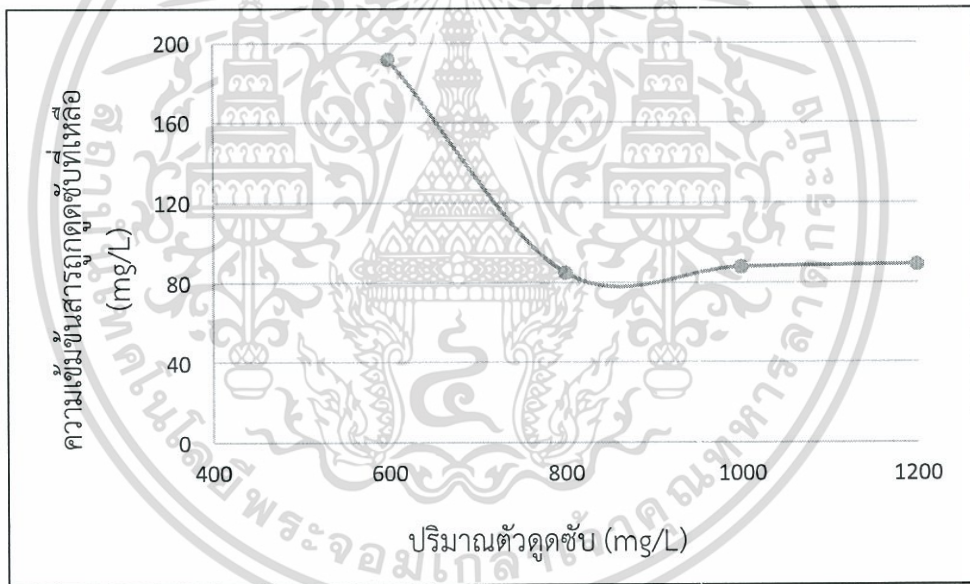
ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวดูดซับ MFH เป็น 600, 800, 1000 และ 1200 mg/L ด้วยตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 3:1 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที พีเอชของสารถูกดูดซับ เท่ากับ 7 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ 200 mg/L ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู แสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.14 ถึง 4.17

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB)

ชนิดของสารถูกดูดซับ	ปริมาณตัวดูดซับ MFH (mg/L)	ความเข้มข้นคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด
RB5	600	127.95	36.03
	800	103.20	48.40
	1000	102.60	48.70
	1200	108.45	45.78
BTB	600	130.45	34.78
	800	84.75	57.63
	1000	87.80	56.10
	1200	89.15	55.43

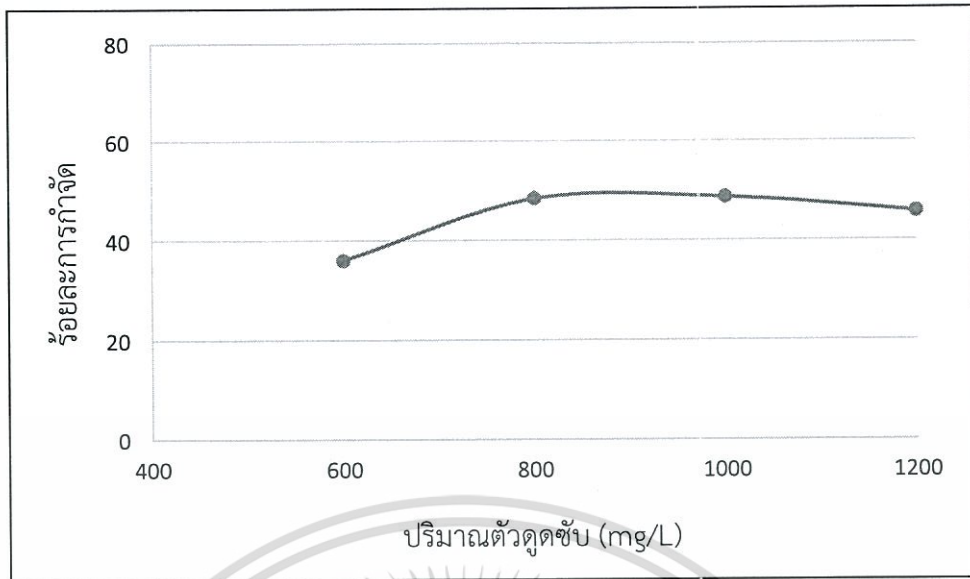


รูปที่ 4.14 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือของสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5

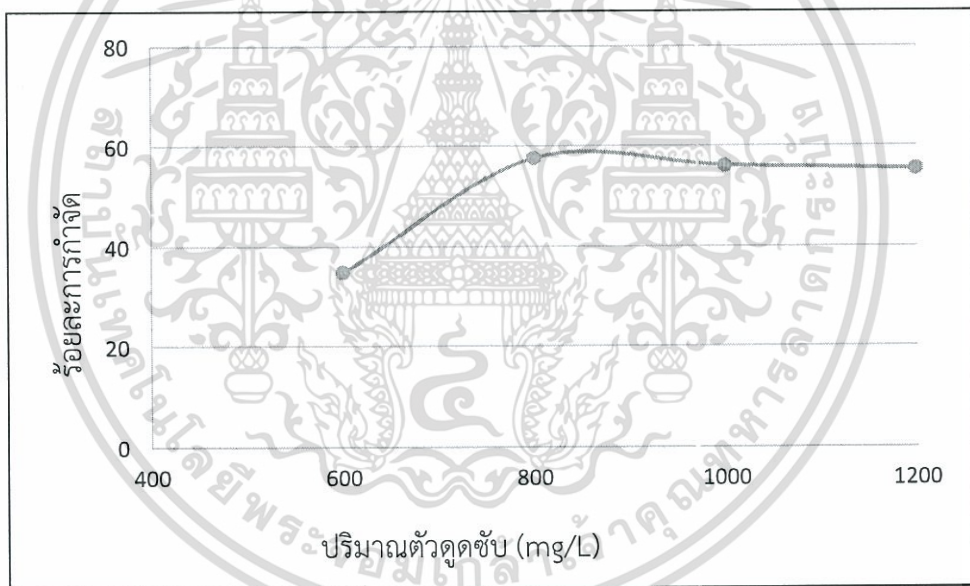


รูปที่ 4.15 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือของอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสี้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5



รูปที่ 4.17 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH ที่มีต่อร้อยละการกำจัดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู

จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับ MFH ในช่วง 600 ถึง 800 mg/L ความเข้มข้นคงเหลือของสี้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับตัวดูดซับ ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น และสารถูกดูดซับที่เป็นประจุลบจะเข้าไปแทนที่ Interlayer anion ได้มากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.16 และ 4.17 ร้อยละการกำจัดที่เพิ่มขึ้นของสี้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ MFH จาก 800 เป็น 1200 mg/L พบว่า ร้อยละการกำจัดสารถูกดูดซับทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มคงที่ อาจเป็นไปได้ว่าสารถูกดูดซับได้ถูกดูดซับจนถึงสมดุลแล้ว การเพิ่มปริมาณ MFH เกินกว่า 800 mg/L ไม่ส่งผลให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณ MFH ที่ใช้ในการดูดซับเท่ากับ 800 mg/L เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่จะกำจัดสารถูกดูดซับทั้ง 2 ชนิดได้สูงสุด โดยกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้ร้อยละ 48.40 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลูได้ร้อยละ 57.63

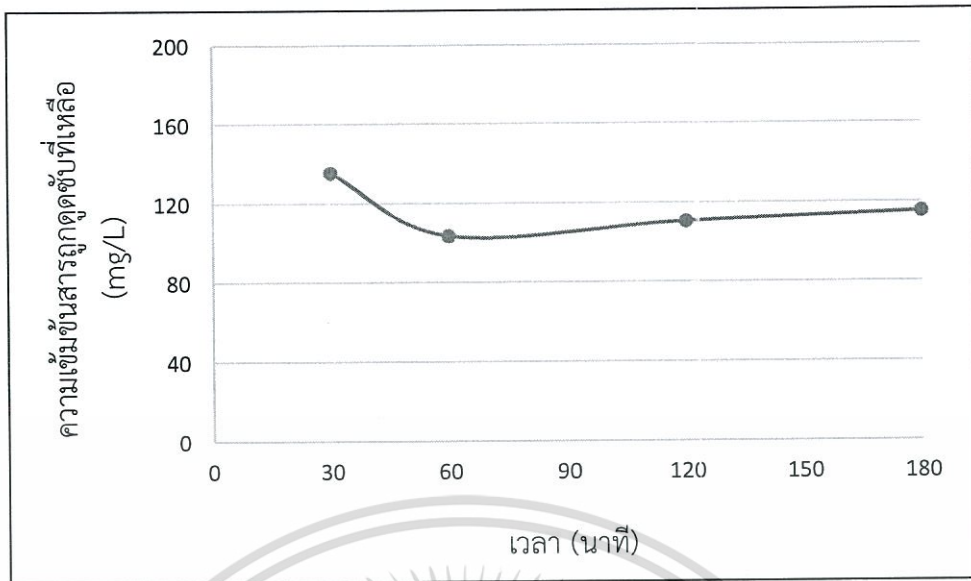
4.4.3 ผลของเวลาในการดูดซับ

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการดูดซับเป็น 30, 60, 120 และ 180 นาที ด้วยตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 3:1 พีเอชของสารถูกดูดซับเท่ากับ 7 ปริมาณของตัวดูดซับ MFH เท่ากับ 800 mg/L ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ 200 mg/L ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู แสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.18 ถึง 4.21

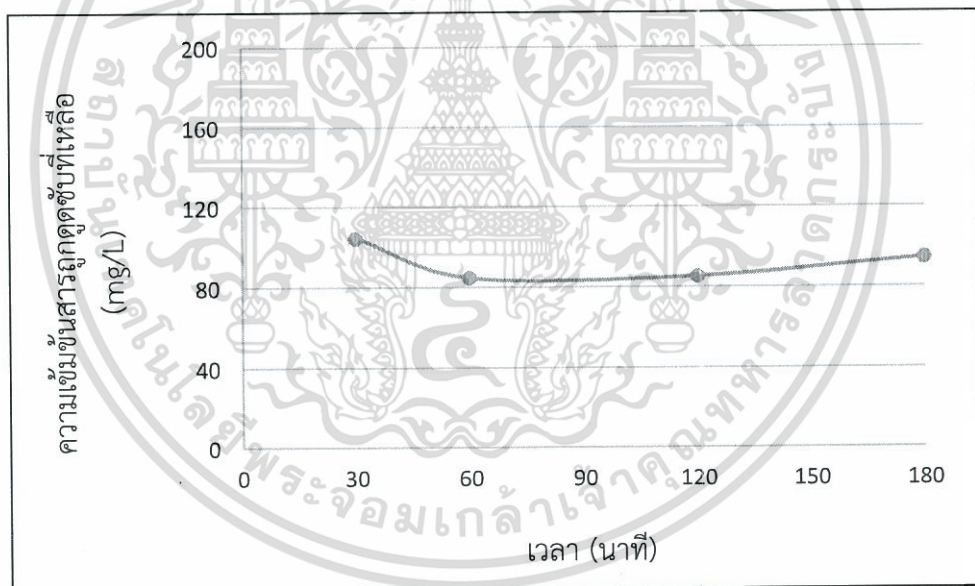
ตารางที่ 4.6 ผลของเวลาที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB)

ชนิดของสารถูกดูดซับ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด
RB5	30	135.40	32.30
	60	103.20	48.40
	120	110.20	44.90
	180	114.90	42.55
BTB	30	104.25	47.88
	60	84.75	57.63
	120	85.35	57.33
	180	94.30	52.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

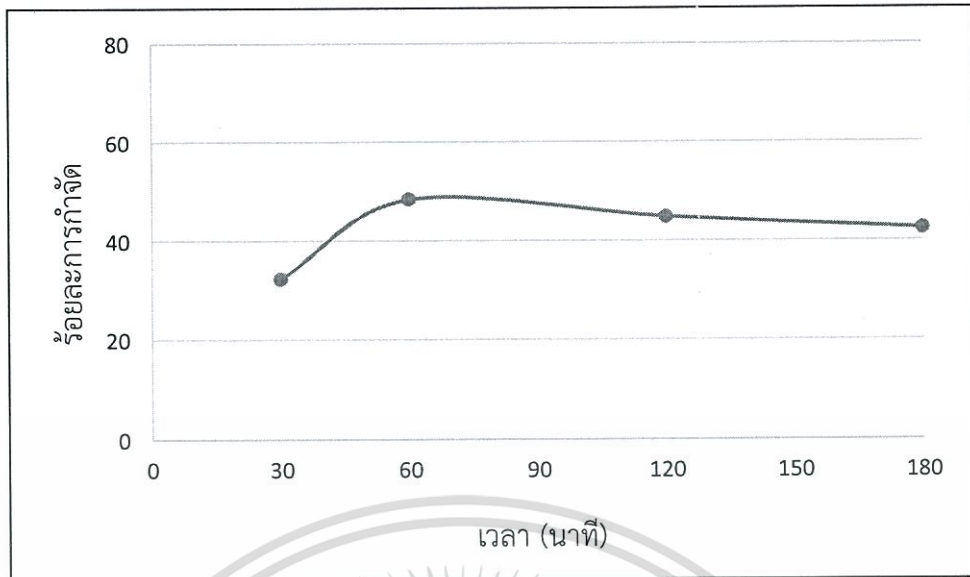


รูปที่ 4.18 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นที่เลือดของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH

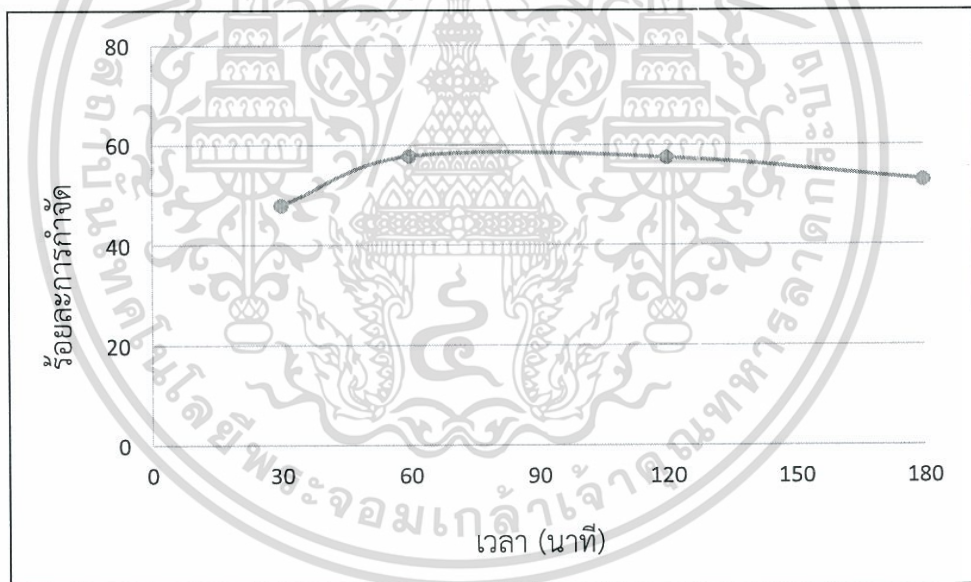


รูปที่ 4.19 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นที่เลือดของอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH



รูปที่ 4.21 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH

จากรูปที่ 4.18 และ 4.19 จะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาของการดูดซับอยู่ในช่วง 30 ถึง 60 นาที ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่เหลือมีแนวโน้มลดลงหรือกล่าวได้ว่า ร้อยละการกำจัดสารถูกดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.20 และ 4.21) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจมาจากตัวดูดซับ MFH มีพื้นที่ผิวมาก และมีลักษณะรูพรุนที่ชัดเจน ทำให้เมื่อใช้เวลานานขึ้น สารถูกดูดซับจะสามารถเข้าไปดูดซับกับตัวดูดซับ MFH ได้ดีขึ้นเกือบเข้าสู่สภาวะสมดุล แต่เมื่อเวลาหลังจาก 60 นาที จนถึง 180 นาที พบว่า ร้อยละการกำจัดสารถูกดูดซับมีแนวโน้มคงที่ ดังนั้นเวลาที่เริ่มเข้าสู่สมดุล คือ 60 นาที จึงถือเป็นเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เหมาะสมในการกำจัดสารถูกดูดซับ โดยสามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้ถึงร้อยละ 48.40 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ได้ถึงร้อยละ 57.63

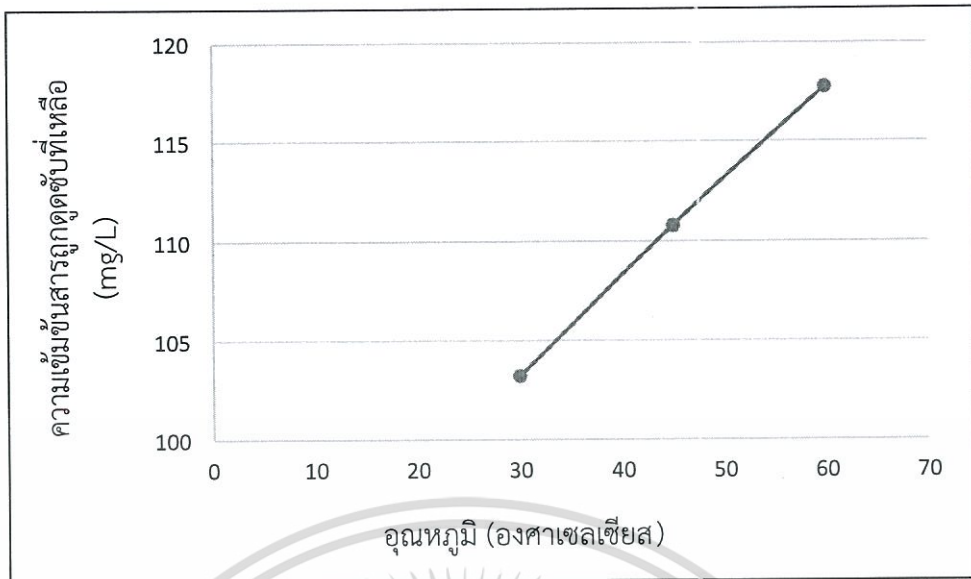
4.4.4 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับ

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู โดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการดูดซับเป็น 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส ด้วยตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 3:1 พีเอชของสารถูกดูดซับเท่ากับ 7 ปริมาณของตัวดูดซับ MFH เท่ากับ 800 mg/L เวลาที่ใช้ในการดูดซับเท่ากับ 60 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ 200 mg/L อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู แสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.22 ถึง 4.25

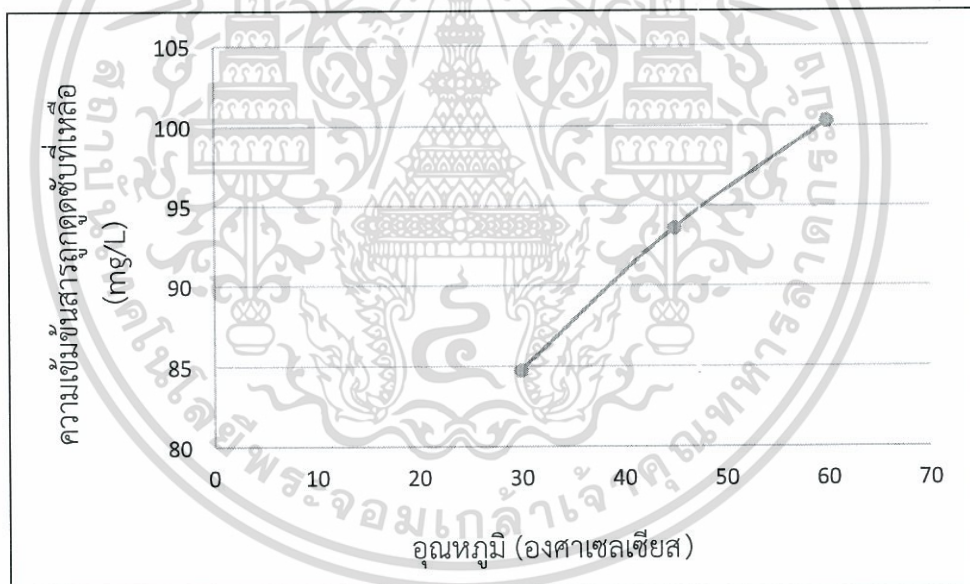
ตารางที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB)

ชนิดของสารถูกดูดซับ	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด
RB5	30	103.20	48.40
	45	110.80	44.60
	60	117.75	41.13
BTB	30	84.75	57.63
	45	93.60	53.20
	60	100.30	49.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

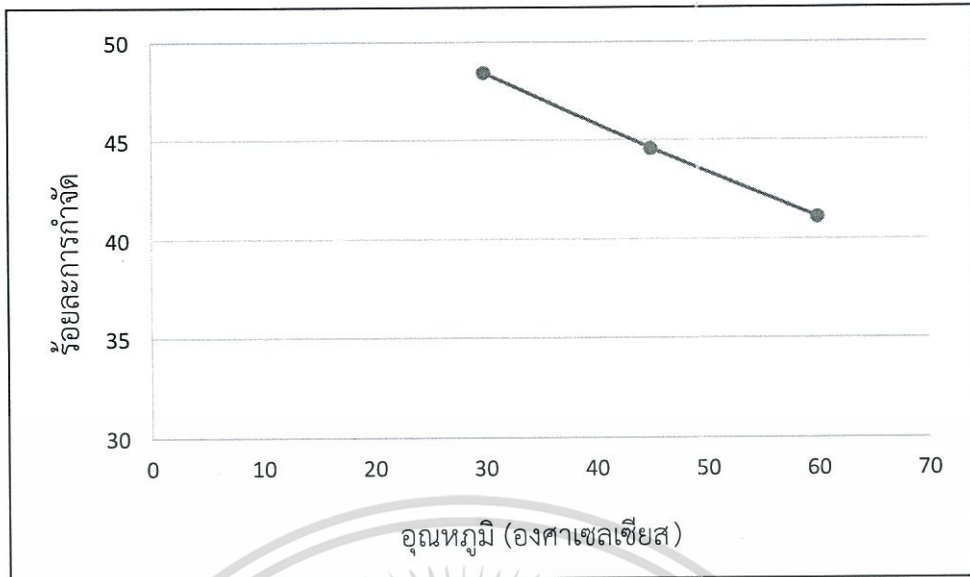


รูปที่ 4.22 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH

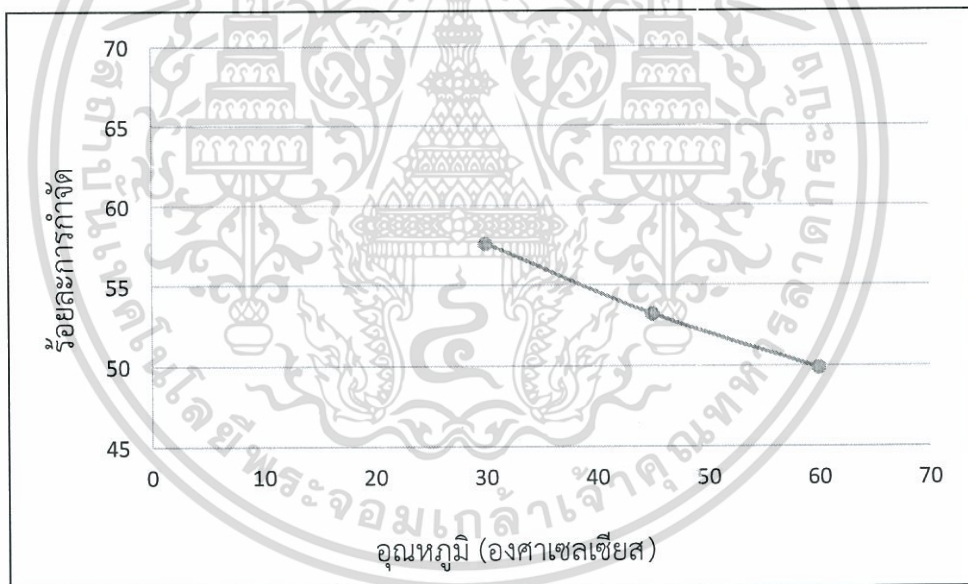


รูปที่ 4.23 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือของอินดิเคเตอร์ โบโรโมไทมอลบลูด้วยตัวดูดซับ MFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH



รูปที่ 4.25 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH

จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่เหลือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือกล่าวได้ว่า ร้อยละการกำจัดสารถูกดูดซับมีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 4.24 และ 4.25 อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดสารถูกดูดซับ โดยสามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ได้ถึงร้อยละ 48.40 และ 57.63 ตามลำดับ เนื่องจากปฏิกิริยาการดูดซับเป็นการสร้างพันธะเคมีระหว่างไอออนลบของสีย้อมและอินดิเคเตอร์กับตัวดูดซับ MFH เป็นปฏิกิริยาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คายความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้น้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง

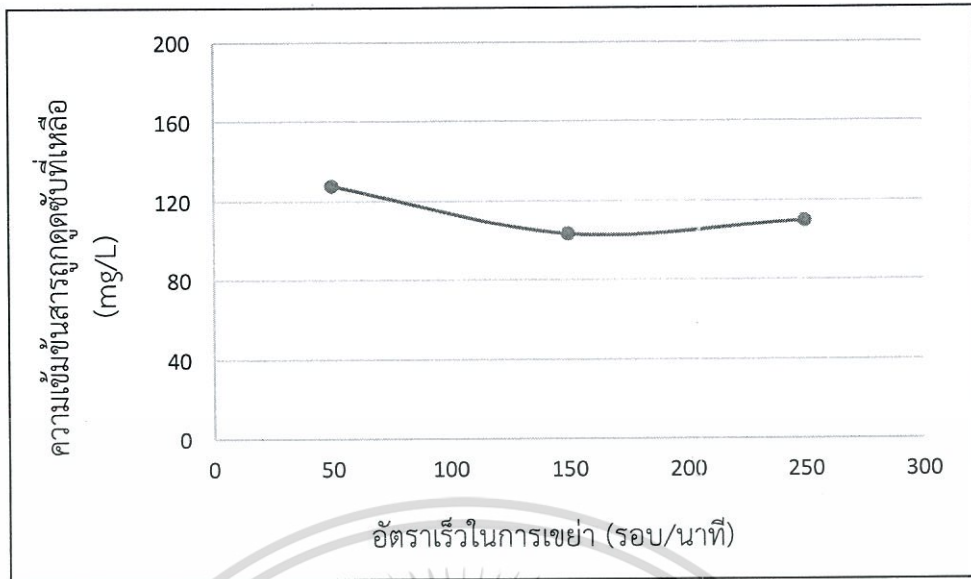
4.3.5 ผลของอัตราเร็วในการเขย่า

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู โดยเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการเขย่าในการดูดซับเป็น 50, 150 และ 250 รอบ/นาที ด้วยตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 3:1 พีเอชของสารถูกดูดซับเท่ากับ 7 ปริมาณของตัวดูดซับ MFH เท่ากับ 800 mg/L เวลาที่ใช้ในการดูดซับเท่ากับ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ 200 mg/L ซึ่งความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู แสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.26 ถึง 4.29

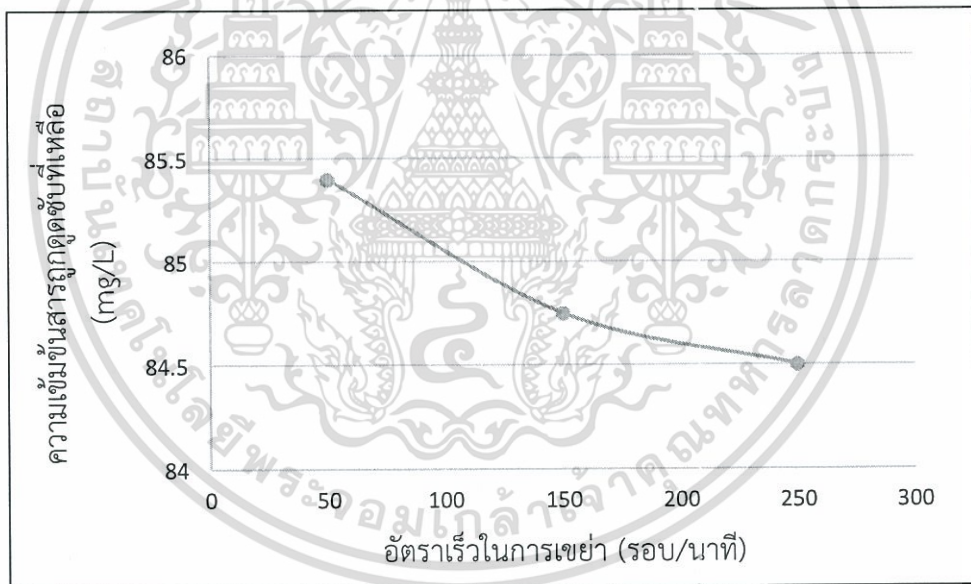
ตารางที่ 4.8 ผลของอัตราเร็วในการเขย่าที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 (RB5) และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB)

ชนิดของสารถูกดูดซับ	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด
RB5	50	127.60	36.20
	150	103.20	48.40
	250	109.50	45.25
BTB	50	85.40	57.30
	150	84.75	57.63
	250	84.50	57.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

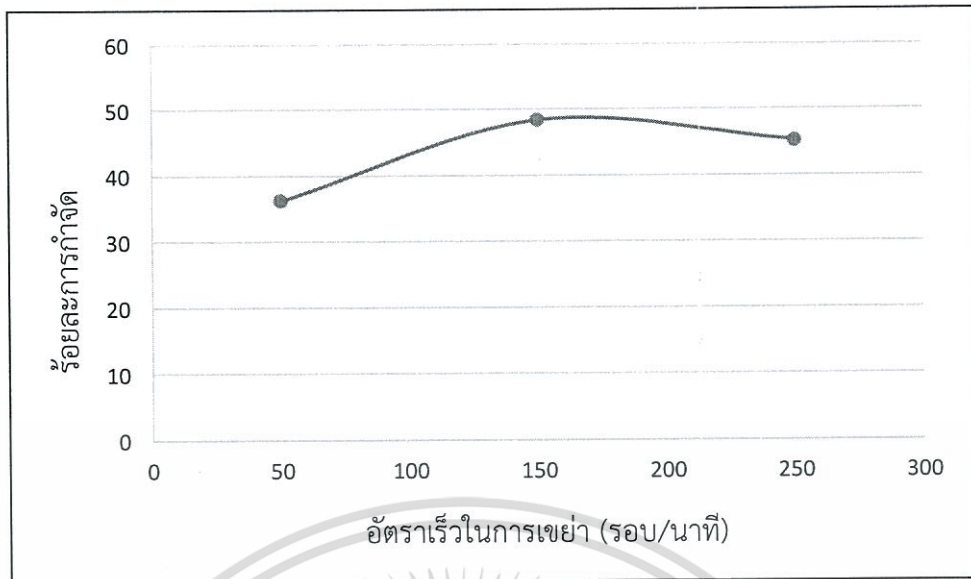


รูปที่ 4.26 ผลของอัตราเร็วในการว่ายน้ำในการดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH

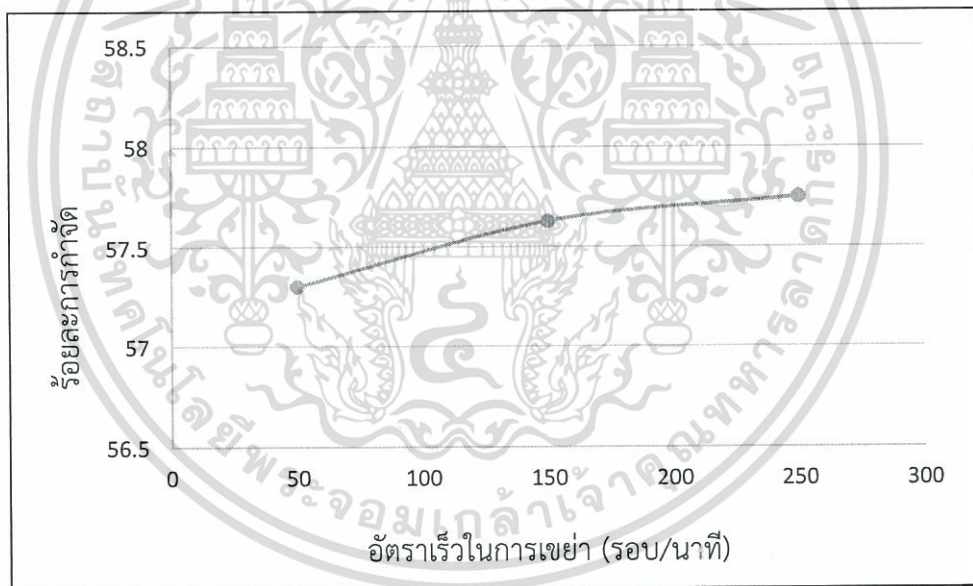


รูปที่ 4.27 ผลของอัตราเร็วในการว่ายน้ำในการดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือของอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลูด้วยตัวดูดซับ MFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ผลของอัตราเร็วในการเขย่าในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH



รูปที่ 4.29 ผลของอัตราเร็วในการเขย่าในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH

จากรูปที่ 4.26 และ 4.27 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการเขย่าจาก 50 เป็น 150 รอบ/นาที ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่เหลือมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับร้อยละการกำจัดที่เพิ่มขึ้น ในรูปที่ 4.28 และ 4.29 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการเพิ่มอัตราเร็วในการเขย่า จะเป็นการเพิ่มการกระจายตัวของตัวดูดซับ MFH ในสารละลายได้อย่างทั่วถึง ทำให้ตัวดูดซับ MFH สัมผัสกับสีย้อมและอินดิเคเตอร์ได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซับให้สูงขึ้น และนอกจากนี้การเพิ่มอัตราเร็วในการเขย่า เป็นการช่วยให้สีย้อมและอินดิเคเตอร์ เกิดการแพร่เข้าไปในชั้นอินเทอร์เลเยอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในชั้นเรียนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ MFH ได้สะดวกยิ่งขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการเขย่าจาก 150 เป็น 250 รอบ/นาที พบว่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่เหลือมีแนวโน้มคงที่ ซึ่งทำให้ร้อยละการกำจัดคงที่ด้วย การเพิ่มอัตราเร็วในการเขย่าให้มากกว่าอัตราเร็วที่เหมาะสม (150 รอบ/นาที) ไม่ได้ช่วยให้ตัวดูดซับกระจายตัวในสารละลายเพิ่มขึ้น เพราะตัวดูดซับกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงแล้ว ดังนั้นอัตราเร็วในการเขย่าที่ 150 รอบ/นาที จึงเป็นอัตราเร็วที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และ โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH โดยสามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้ถึงร้อยละ 48.40 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ได้ถึงร้อยละ 57.63

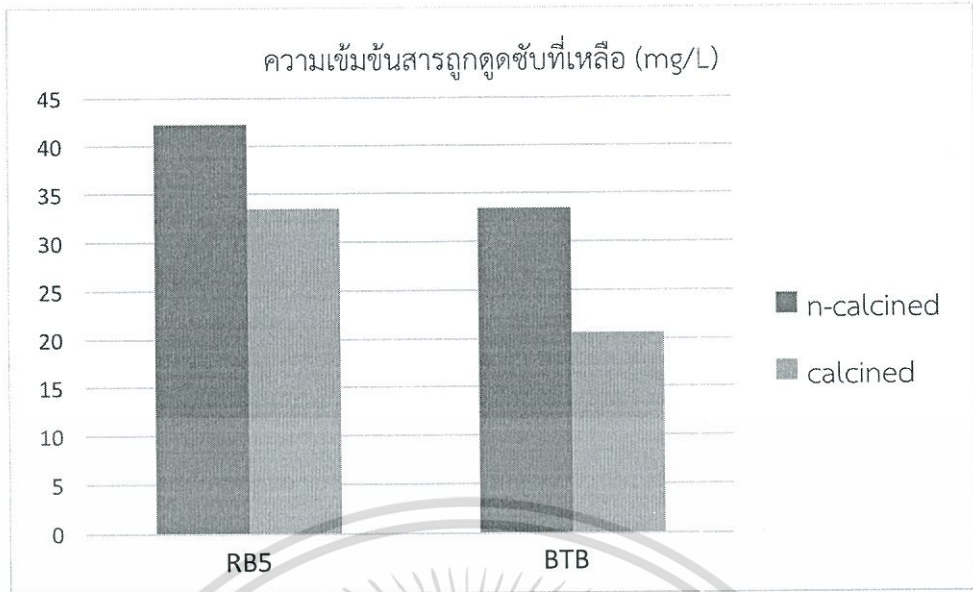
4.4.6 ผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับ MFH

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB) ด้วยตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 3:1 พีเอชของสารถูกดูดซับเท่ากับ 7 ปริมาณของตัวดูดซับ MFH เท่ากับ 800 mg/L เวลาที่ใช้ในการดูดซับเท่ากับ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 100 mg/L โดยจะทำการทดลองเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะไม่ทำการแคลไซน์ตัวดูดซับ และอีกส่วนหนึ่ง จะทำการแคลไซน์ที่ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู แสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.30 ถึง 4.31

ตารางที่ 4.9 ผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB)

ชนิดของสารถูกดูดซับ	อุณหภูมิแคลไซน์ (°C)	ความเข้มข้นคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด
RB5	-	42.25	57.75
	300	33.50	66.50
BTB	-	33.50	66.50
	300	20.65	79.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค (RB5) และ อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB)



รูปที่ 4.31 ผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) และ อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB)

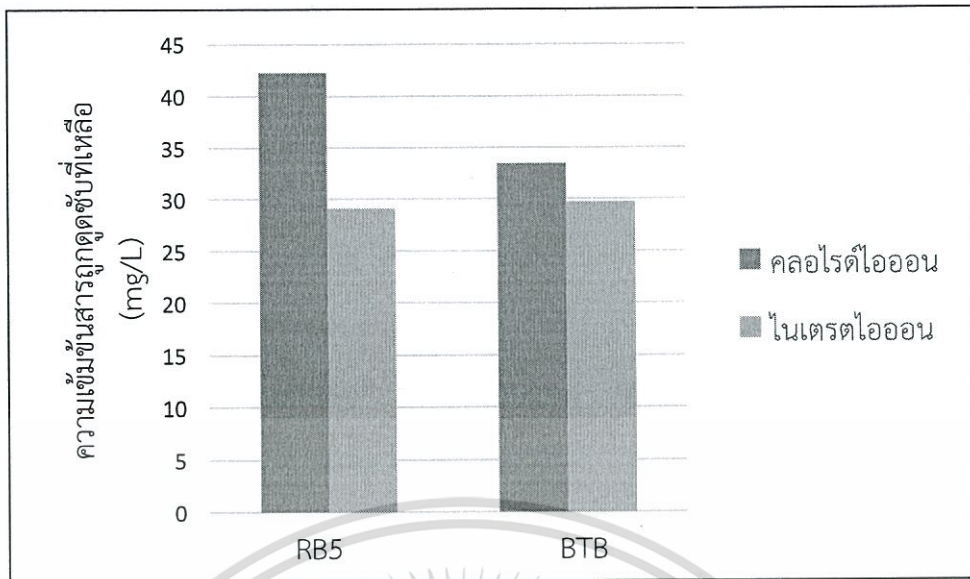
จากรูปที่ 4.30 จะเห็นได้ว่า ตัวดูดซับที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 300 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าตัวดูดซับที่ไม่ผ่านการแคลไซน์ จึงทำให้ความเข้มข้นที่เหลือของ RB5 และ BTB ลดลงมากกว่า ร้อยละการกำจัดจึงสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.31 เนื่องจากการแคลไซน์ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยโครงสร้างของ MFH เกิดการพังทลายทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมีมากขึ้น ซึ่งการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ที่ผ่านการเอ็กซเรย์แคลไซน์ที่ 300 องศาเซลเซียส จะมีร้อยละการกำจัดสูงสุด คือ 66.50 และ 79.35 ตามลำดับไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.7 ผลของชนิดแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ของตัวดูดซับ MFH

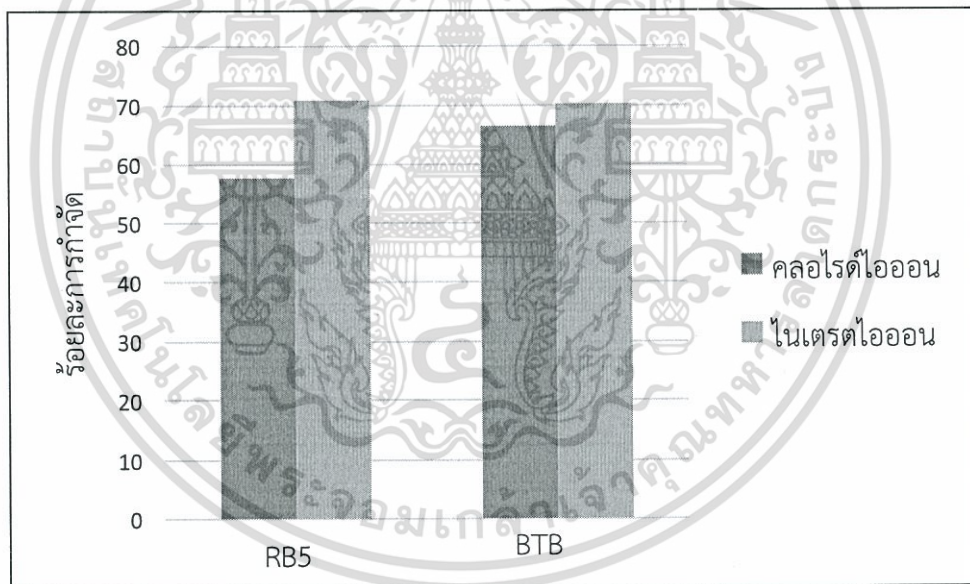
ในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และ อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู โดยใช้ MFH ที่มีคลอไรด์ไอออน (Cl^-) และ ไนเตรตไอออน (NO_3^-) เป็น แอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ ซึ่งตัวดูดซับ MFH มีอัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 3:1 พีเอชของสารถูกดูดซับเท่ากับ 7 ปริมาณของตัวดูดซับ MFH เท่ากับ 800 mg/L เวลาที่ใช้ในการดูดซับเท่ากับ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 100 mg/L ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู แสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.32 ถึง 4.33

ตารางที่ 4.10 ผลของชนิดแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) และ อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB)

ชนิดของสารถูกดูดซับ	ชนิดของแอนไอออน	ความเข้มข้นคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด
RB5	Cl^-	42.25	57.75
	NO_3^-	29.15	70.85
BTB	Cl^-	33.50	66.50
	NO_3^-	29.75	70.25



รูปที่ 4.32 ผลของชนิดแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค (RB5) และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB)



รูปที่ 4.33 ผลของชนิดแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB)

จากรูปที่ 4.32 จะเห็นได้ว่า เมื่อเปลี่ยนแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ระหว่างคลอไรด์และไนเตรตไอออน พบว่าตัวดูดซับที่ใช้ไนเตรตไอออน ให้ค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่เหลือลดลงเมื่อเทียบกับคลอไรด์ไอออน ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.33 เนื่องจากไนเตรตไอออนมีขนาดไอออนที่ใหญ่กว่าคลอไรด์ไอออน ทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์กว้างขึ้น จึงส่งผลให้โมเลกุลของสีย้อมและอินดิเคเตอร์เข้าไปแลกเปลี่ยนไอออนได้มากขึ้น ซึ่งการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู กรณีใช้ในเตรตไอออน มีร้อยละการกำจัดสูงสุด คือ 70.85 และ 70.25 ตามลำดับ

4.5 ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู

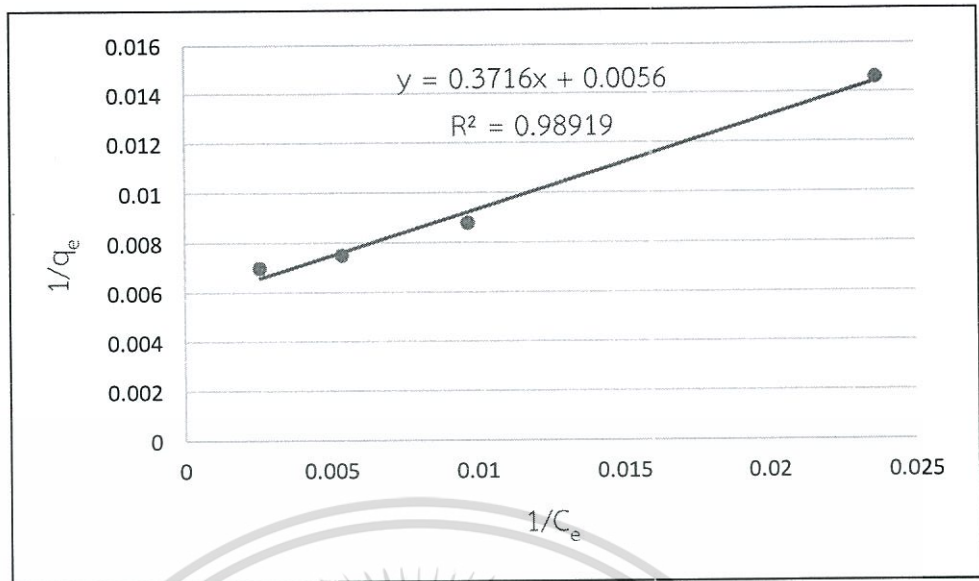
ทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ (C_i) เป็น 100 200 300 และ 500 mg/L ด้วยตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe เท่ากับ 3:1 พีเอชของสารถูกดูดซับเท่ากับ 7 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ คือ 60 นาที ปริมาณของตัวดูดซับ MFH เท่ากับ 800 mg/L อุณหภูมิที่ใช้ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเขย่า เท่ากับ 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นสารถูกดูดซับคงเหลือที่สมดุล (C_e) ปริมาณสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับ MFH ที่สมดุล (q_e) รวมถึง ค่าต่าง ๆ สำหรับพล็อตกราฟความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ (สมการที่ 3.2) และฟรุนดลิช (สมการที่ 3.3) แสดงในตารางที่ 4.11 ถึง 4.14 ตามลำดับ

4.5.1 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) ด้วย MFH

ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของสารถูกดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$1/q_e$ (g/mg)	$1/C_e$ (L/mg)
RB5	100	42.25	68.26	0.0146	0.0237
	200	103.20	113.08	0.0088	0.0097
	300	185.60	133.33	0.0075	0.0054
	500	378.20	143.29	0.0070	0.0026

นำค่า $1/q_e$ และ $1/C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.34 สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5



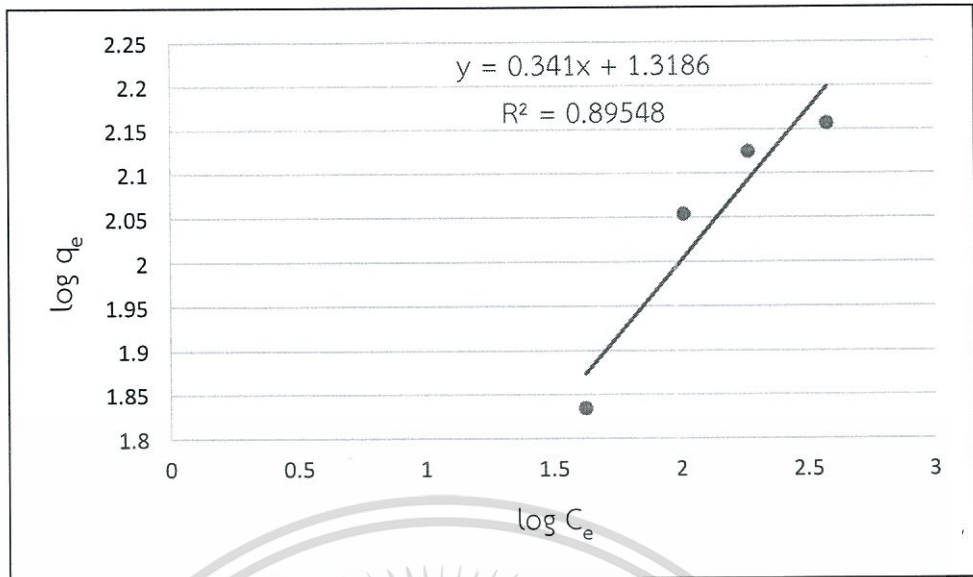
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับ สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วย MFH

จากรูปที่ 4.34 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ จะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.3716x + 0.0056$ และมีค่า $R^2 = 0.98919$ โดยค่าคงที่ $K = 0.3716$ และปริมาณสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับ MFH (q_m) = 177.55 mg/g

ตารางที่ 4.12 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรอนดลิชสำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของสารถูกดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log q_e$	$\log C_e$
RB5	100	42.25	68.26	1.8341	1.6258
	200	103.20	113.08	2.0534	2.0137
	300	185.60	133.33	2.1249	2.2686
	500	378.20	143.29	2.1562	2.5777

นำค่า $\log q_e$ และ $\log C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.35 สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรอนดลิช สำหรับการดูดซับ สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วย MFH

จากรูปที่ 4.35 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของไอโซเทอมฟรอนดลิชจะได้รับความสัมพันธ์เป็น สมการเส้นตรง $y = 0.341x + 1.3186$ และมีค่า $R^2 = 0.89548$ โดยค่าคงที่ $1/n = 0.3410$ และ $k_f = 20.92$

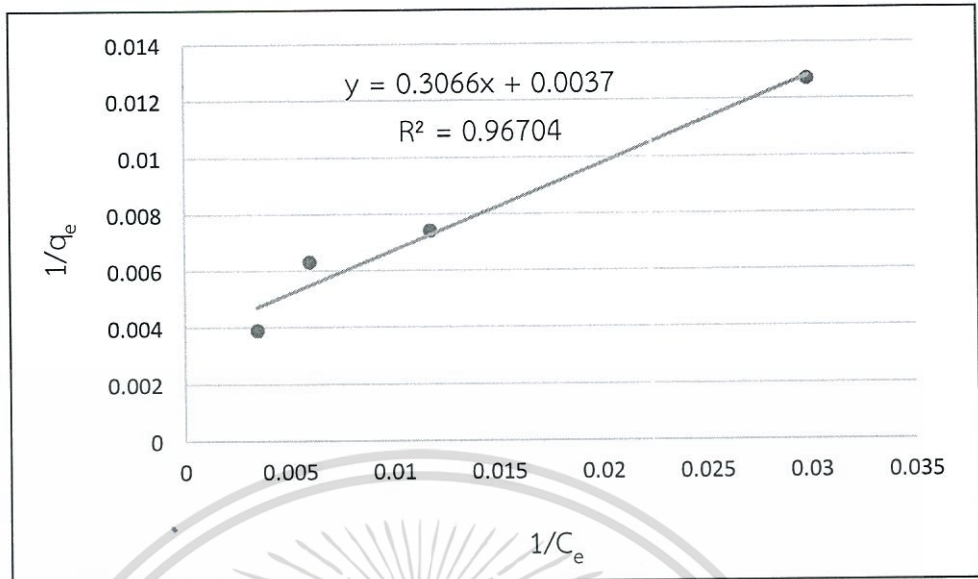
จากกราฟไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรอนดลิช พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.98919 และ 0.89548 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของแลงเมียร์มีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของฟรอนดลิช ทำให้การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MFH นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์

4.5.2 ไอโซเทอมการดูดซับอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู (BTB) ด้วย MFH

ตารางที่ 4.13 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับอินดิเคเตอร์ โบรโมไทมอลบลู

ชนิดของ สารถูกดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$1/q_e$ (g/mg)	$1/C_e$ (L/mg)
BTB	100	33.50	78.61	0.0127	0.0299
	200	84.75	135.59	0.0074	0.0118
	300	165.70	157.63	0.0063	0.0060
	500	285.70	255.12	0.0039	0.0035

นำค่า $1/q_e$ และ $1/C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.36 สำหรับอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู เอกสารนี้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอน การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



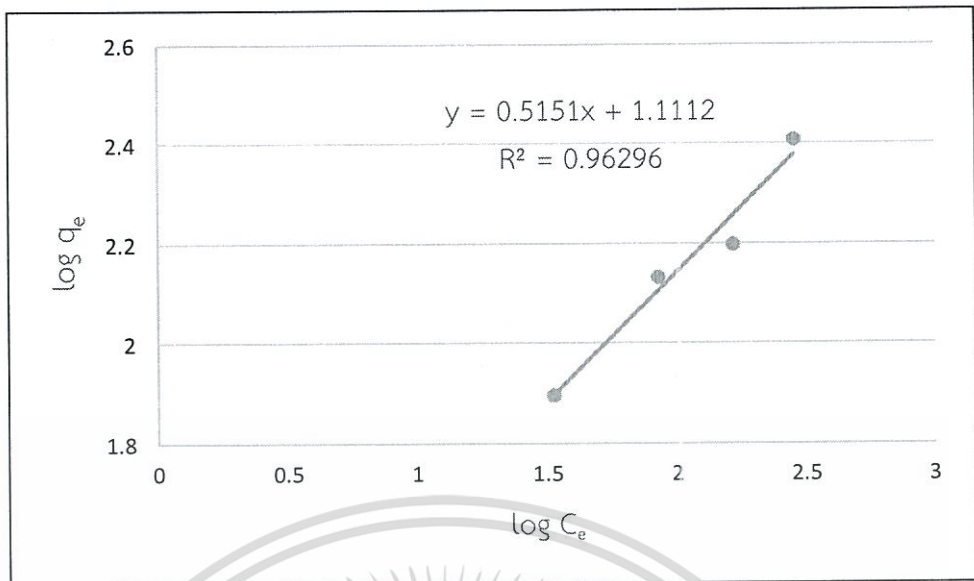
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วย MFH

จากรูปที่ 4.36 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ จะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.3066x + 0.0037$ และมีค่า $R^2 = 0.96704$ โดยค่าคงที่ $K = 0.3066$ และปริมาณสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับ MFH (q_m) = 280.05 mg/g

ตารางที่ 4.14 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรุนดลิชสำหรับอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู

ชนิดของสารถูกดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log q_e$	$\log C_e$
BTB	100	33.50	78.61	1.8955	1.5250
	200	84.75	135.59	2.1322	1.9281
	300	165.70	157.63	2.1976	2.2193
	500	285.70	255.12	2.4067	2.4559

นำค่า $\log q_e$ และ $\log C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.37 สำหรับอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู



รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วย MFH

จากรูปที่ 4.37 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของไอโซเทอมฟรุนดลิชจะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.5151x + 1.1112$ และมีค่า $R^2 = 0.96296$ โดยค่าคงที่ $1/n = 0.5151$ และ $k_f = 12.96$

จากกราฟไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรุนดลิช พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.96704 และ 0.96296 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของแลงเมียร์มีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของฟรุนดลิช ทำให้การดูดซับอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับ MFH เป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maria, C.A. และคณะ [18] และงานวิจัยของ Sadik, R. และคณะ [19]

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับเหล็ก (MFH) โดยศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กของตัวดูดซับ MFH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า ผลของการแคลไซน์ และผลของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเทอร์เลเยอร์ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1) จากการศึกษาตัวดูดซับ MFH ที่เตรียมจากแมกนีเซียมกับเหล็กในไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแมกนีเซียม ร้อยละการกำจัดสารถูกดูดซับจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Fe มากกว่า 3 ร้อยละการกำจัดจะมีแนวโน้มลดลง และที่อัตราส่วนแมกนีเซียมต่อเหล็กเท่ากับ 3:1 ร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู จะสูงที่สุด คือ ร้อยละ 48.40 และ 57.63 ตามลำดับ

2) จากการศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MFH พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับ MFH ร้อยละการกำจัดของสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของการดูดซับ ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณ MFH มากกว่า 800 mg/L สารถูกดูดซับจนถึงจุดสมดุลแล้วร้อยละการกำจัดจะมีแนวโน้มคงที่ โดยที่ปริมาณของตัวดูดซับ MFH เท่ากับ 800 mg/L สามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ได้สูงสุดถึงร้อยละ 48.40 และ 57.63 ตามลำดับ

3) จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู พบว่าเวลาของการดูดซับในช่วง 30 ถึง 60 นาที ร้อยละการกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปหลัง 60 นาที พบว่าร้อยละการกำจัดมีแนวโน้มคงที่ เพราะเมื่อใช้เวลานานขึ้นตัวดูดซับ MFH สามารถดูดซับสารถูกดูดซับได้ดีจนเกือบจะเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยที่เวลา 60 นาทีสามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ได้สูงสุดถึงร้อยละ 48.40 และ 57.63 ตามลำดับ

4) จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการดูดซับเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ร้อยละการกำจัดมีแนวโน้มลดลง ดังนั้น อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดสารถูกดูดซับ โดยสามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ได้สูงสุดถึงร้อยละ 48.40 และ 57.63 ตามลำดับ

5) จากการศึกษาผลของอัตราเร็วในการเขย่าที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู พบว่าเมื่ออัตราเร็วในการเขย่าของการดูดซับในช่วง 50 ถึง 150 รอบ/นาที ร้อยละการกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก การเพิ่มอัตราเร็วในการเขย่าจะเพิ่มโอกาสของสารถูกดูดซับในการสัมผัสกับสารดูดซับทำให้ ร้อยละการกำจัดเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราเร็วในการเขย่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า 150 รอบ/นาที่ พบว่าร้อยละการกำจัดมีแนวโน้มคงที่ ดังนั้น อัตราเร็วในการเขย่าที่ 150 รอบ/นาที่ ให้อัตราการกำจัด สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ได้สูงสุดถึงร้อยละ 48.40 และ 57.63 ตามลำดับ

6) จากการศึกษาผลของการเคลือบที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู พบว่าเมื่อทำการเคลือบตัวดูดซับที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับตัวดูดซับที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ เพราะว่าเมื่อตัวดูดซับ MFH ผ่านการเคลือบทำให้โครงสร้างเกิดการพังทลายส่งผลให้ตัวดูดซับ MFH มีพื้นที่ผิวมากขึ้น ดังนั้น ตัวดูดซับที่ผ่านการเคลือบที่ 300 องศาเซลเซียส ให้อัตราการกำจัด สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ได้สูงสุดถึงร้อยละ 66.5 และ 79.35 หรือ 78.05 mg/g และ 94.46 mg/g ตามลำดับ

7) จากการศึกษาผลของชนิดแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู พบว่าเมื่อเปลี่ยนแอนไอออนจากคลอไรด์ไอออนเป็นไนเตรตไอออน ให้อัตราการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวดูดซับที่ใช้คลอไรด์ไอออน เนื่องจากไนเตรตไอออนมีขนาดไอออนที่ใหญ่กว่าคลอไรด์ไอออน ทำให้ระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์กว้างขึ้น จึงส่งผลให้การดูดซับมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้น ตัวดูดซับ MFH ที่ใช้ในไนเตรตไอออน ให้อัตราการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ได้สูงสุดถึงร้อยละ 70.85 และ 70.25 ตามลำดับ

8) จากการศึกษาไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรุนดลิชของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.98919 และ 0.89548 ตามลำดับ ส่วนอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.96704 และ 0.96296 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของแลงเมียร์ของสารดูดซับทั้งสองชนิดมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของฟรุนดลิช ทำให้การดูดซับสารดูดซับด้วยตัวดูดซับ MFH นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรศึกษาผลของพีเอชเพื่อดูประสิทธิภาพของสารดูดซับ ทั้งในสภาวะกรดและเบส
- 2) นำสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ไปทดลองกับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยสีย้อมและอินดิเคเตอร์ปนเปื้อนออกมา
- 3) นำสารดูดซับไปดูดซับแอนไอออนชนิดอื่นๆ เช่น SO_4^{2-} , PO_4^{3-} เป็นต้น
- 4) ควรศึกษาไอโซเทอม Dubinin-Radushkevich (D-R) เพื่อหาค่าพลังงานดูดซับอิสระว่ามีค่าอยู่ในช่วงใด ซึ่งบ่งบอกว่าเป็น การดูดซับทางกายภาพ หรือ ทางเคมีได้ ในกรณีที่มีค่า R^2 ของไอโซเทอมแลงเมียร์และฟรุนดลิชมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] สีส้อม. [online]. Available : <http://www.tpa.or.th>
- [2] อินดิเคเตอร์. [online]. Available : <http://www.vcharkarn.com/lesson/1451>
- [3] ทฤษฎีการดูดซับ. [online]. Available : http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/chem0451sk_ch1.pdf.
- [4] บรรณานา. กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process). [online]. Available : <https://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/>.
- [5] บุญชัย ตรีภุมหัย. ตัวดูดซับ (absorbent). [online]. Available : http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=77&i2=17/.
- [6] ศูนย์ข้อมูลวัตถุดิบอันตรายและเคมีภัณฑ์. [online]. Available : <http://gammaco.com/gammaco/th/3090065/>.
- [7] สีส้อม. [online]. Available : https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/20130226130929.pdf
- [8] Sigma Aldrich. [online]. Available : <http://www.sigmaldrich.com/>.
- [9] ร้อยเอกหญิง รัชนิยา รุกขชาติ. การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ. [online]. Available : http://www.navy.mi.th/science/BrithDay46/Brithday_data/biology.htm.
- [10] ทิพย์วิมล สุขวานิชย์เจริญ. 2558. “การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 โดยใช้ไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [11] Guo, X.H., Li, S.P., Hou, W.G., Han, S.H., Hu, J.F., and Li, D.Q. Layered double hydroxides with hydrotalcite-type structure containing Fe^{3+} , Al^{3+} and Mg^{2+} . Chem.Res.Chinese U, 19 (2003) 211-215
- [12] Gulnaz, O., Kaya, A., and Dincer, S. The reuse of dried activated sludge for adsorption of reactive dye. Hazardous Materials, 134 (2006) 190-196.
- [13] Sundrarajan, M., Vishnu, G., and Joseph. Ozonation of light-shaded exhausted reactive dye bath for reuse. Dyes and Pigments, 75 (2007) 273-278.
- [14] Xuefeng, L., Wangua, H., and Jie,X. Sorption of Pb (II) on Mg-Fe layered double hydroxide. Chinese Journal of Chemistry, 27 (2009) 1981-1988.
- [15] Sumari, S.M., Yamin, Y., and Zaini, H. Adsorption of anionic amido black dye by layered double hydroxide , ZnAlCO₃-LDH. The Malaysian Journal of Analytical Sciences , 13 (2009) 120-128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] Ahmed, I.M., and Gasser, M.S. Adsorption study of anionic reactive dye from aqueous solution to Mg-Fe-CO₃ layered double hydroxide (LDH) Applied Surface Science, 259 (2012) 650-656.
- [17] Xiaofeng, S., Tsuyoshi, I., Masahiko, S., Takaya, H., Koichi, Y., and Kenji, A. Adsorption of phosphate by calcinated Mg-Fe layered double hydroxide. Journal of Water and Environment Technology, 11 (2013) 111-120.
- [18] Maria, C.A., Mihaela, S., Doina, H. and Marcel, I.P. Layered double hydroxides as adsorbents for anionic dye removal from aqueous solutions. Environmental Engineering and management Journal, 14 (2015) 381-388.
- [19] Sadik, R., Lahkale, R., Hassaine, N., Diouri, M. and Sabbar, E.M. Removal of textile dye by mixed oxide-LDH : kinetics, isotherms of the adsorption and retention mechanisms studies. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 8 (2014) 28-36.
- [20] Tao, W., Lili, M. and Haizeng, W. Adsorption of fluoride on Mg/Fe layered double hydroxides material prepared via hydrothermal process. Publishing journals,book & databases, 5 (2015) 23246-23254.
- [21] Nicu, M., Ionascu, L., Turcanu, C., Dragolici, F. and Rotarescu, G.H. Study of radioactive precipitates cemented matrix by the XRD phase identification. Romanian Reports in Physics, 65 (2013) 1505-1511.
- [22] Dalai, J., Xiaoyun, G., Xiaojing, Y., Gaosong, D., Hongliang, Z. and Kuihong, Y. Hydrothermal synthesis and characterization of hexagonal Mg(OH)₂ nano-flake as a flame retardant. Materials Chemistry and Physics, 112 (2008) 962-965.
- [23] Frederick, L.T., Godwin, A.A. and Ray, L.F. Iodine removal using LDH technology. Chemical Engineering Journal, 296 (2016) 300-309.
- [24] Yujia, L., Baoyu, G., Tao, W., Biao, W., and Xia L. Adsorption properties of aluminum magnesium mixed hydroxide for the model anionic dye Reactive Brilliant Red K-2BP. Journal of Hazardous Materials, 164 (2009) 1098-1104.
- [25] Kuang, Y., Zhao, L., Zhang, S., Zhang, F., Dong, M., and Xu, S. Morphologies, Preparations and Application of Layered Double Hydroxide Micro/Nanostructures. Materials, 3 (2010) 5220-5235.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

- 1) การคำนวณปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์และไอร์ออน(III)คลอไรด์ที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MFH

$$\text{สูตร} \quad \frac{g}{MW} = \frac{CV}{1000}$$

โดย g คือ ปริมาณสารที่ต้องชั่ง (g)
 MW คือ มวลโมเลกุลของสาร (g)
 C คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการ (M)
 V คือ ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการเตรียม (ml)

ตัวอย่าง ต้องการเตรียมสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ 1M ปริมาตร 500 ml. และ สารละลายไอร์ออน(III) คลอไรด์ 1M ปริมาตร 500 ml.

- การหาปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MFH

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad & \frac{\text{น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{\text{มวลโมเลกุลของแมกนีเซียมคลอไรด์}} = \frac{CV}{1000} \\ & \frac{\text{น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{203.30} = \frac{1 \times 500}{1000} \\ & \text{น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง} = 101.655 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

- การหาปริมาณไอร์ออน(III)คลอไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MFH

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad & \frac{\text{น้ำหนักของไอร์ออน(III)คลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{\text{มวลโมเลกุลของไอร์ออน(III)คลอไรด์}} = \frac{CV}{1000} \\ & \frac{\text{น้ำหนักของไอร์ออน(III)คลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{270.30} = \frac{1 \times 500}{1000} \\ & \text{น้ำหนักของไอร์ออน(III)คลอไรด์ที่ต้องชั่ง} = 135.15 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การหาร้อยละการกำจัดสีของ Reactive Black 5 และ Bromothymol blue

ตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 200 mg/L เมื่อทำการดูดซับแล้วมีความเข้มข้นของสารถูกดูดซับคงเหลือเท่ากับ 103.20 mg/L

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad \text{ร้อยละการกำจัด} &= \frac{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นที่เหลือ}}{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}} \times 100 \\ \text{ร้อยละการกำจัด} &= \frac{200-103.20}{200} \times 100 \\ \text{ร้อยละการกำจัด} &= 48.40 \end{aligned}$$

3) การหาปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (q_e)

ตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 200 mg/L เมื่อทำการดูดซับแล้วมีความเข้มข้นของสารถูกดูดซับคงเหลือเท่ากับ 103.20 mg/L ปริมาตรของสารละลายสารถูกดูดซับเท่ากับ 0.05 L และปริมาณตัวดูดซับ MFH เท่ากับ 0.0428 g

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad (C_i - C_e) V &= (q_e - q_i) W ; q_i = 0 \\ q_e &= \frac{(C_i - C_e) V}{W} \\ q_e &= \frac{(200 - 103.20) (0.05)}{0.0428} \\ q_e &= 113.08 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

โดย q_e คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่สมดุล (mg/g)
 q_i คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับเริ่มต้น (mg/g)
 C_i คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเริ่มต้น (mg/L)
 C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (mg/L)
 V คือ ปริมาตรของสารถูกดูดซับ (L)
 W คือ ปริมาณตัวดูดซับ MFH (g)

4) การหาพื้นที่ผิวตัวดูดซับMFH จากการดูดซับไอโอดีน

4.1) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)

ตัวอย่าง ไทเทรต $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ด้วยสารละลาย KIO_3 0.10M ปริมาตร 25ml
และปริมาตรของไทแทรนต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ใช้เท่ากับ 24.8 ml

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ (0.10 \text{ M}) (25 \text{ ml}) &= C_2(24.8 \text{ ml}) \\ C_2 &= 0.100 \text{ M} \end{aligned}$$

โดย C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย KIO_3 (mol/L,M)
 V_1 คือ ปริมาตรของสารละลาย KIO_3 (ml)
 C_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mol/L,M)
 V_2 คือ ปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ml)

4.2) หาความเข้มข้นของไอโอดีนแบบลงค์



ตัวอย่าง ไทเทรต I_2 ปริมาตร 50ml ด้วยสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.10M
ปริมาตรของไทแทรนต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ใช้เท่ากับ 43.6ml

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad \frac{1}{2} C_1V_1 &= C_2V_2 \\ C_2 &= \frac{(0.10 \text{ M}) (43.6 \text{ ml})}{2 (50 \text{ ml})} \\ C_2 &= 0.0436 \text{ M} \end{aligned}$$

โดย C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mol/L,M)
 V_1 คือ ปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ml)
 C_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย I_2 (mol/L,M)
 V_2 คือ ปริมาตรของสารละลาย I_2 (ml)

4.3) หาความเข้มข้นของไอโอดีนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับMFH

ตัวอย่าง MFH ที่อัตราส่วนโดยโมลของMg/Fe เท่ากับ 3 ใช้ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 0.0505 กรัม ในสารละลาย I₂ ปริมาตร 50ml ไทเทรตกับสารละลาย Na₂S₂O₃ 0.10M ปริมาตรของไทเทรนต์ (Na₂S₂O₃) ที่ใช้เท่ากับ 39.6ml

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad \frac{1}{2} C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ C_2 &= \frac{(0.10 \text{ M}) (39.6 \text{ ml})}{2 (50 \text{ ml})} \\ C_2 &= 0.0396 \text{ M} \end{aligned}$$

โดย C₁ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย Na₂S₂O₃ (mol/L,M)
 V₁ คือ ปริมาตรของสารละลาย Na₂S₂O₃ (ml)
 C₂ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย I₂ (mol/L,M)
 V₂ คือ ปริมาตรของสารละลาย I₂ (ml)

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นไอโอดีนที่เปลี่ยนแปลง} &= \text{ความเข้มข้นไอโอดีนแบลงค์} - \text{ความเข้มข้นไอโอดีนที่ใช้ไป} \\ &= 0.0436 - 0.0396 \\ &= 0.004 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

ในสารละลาย 1000 ml มีจำนวนโมลของไอโอดีนเท่ากับ 0.004 mol

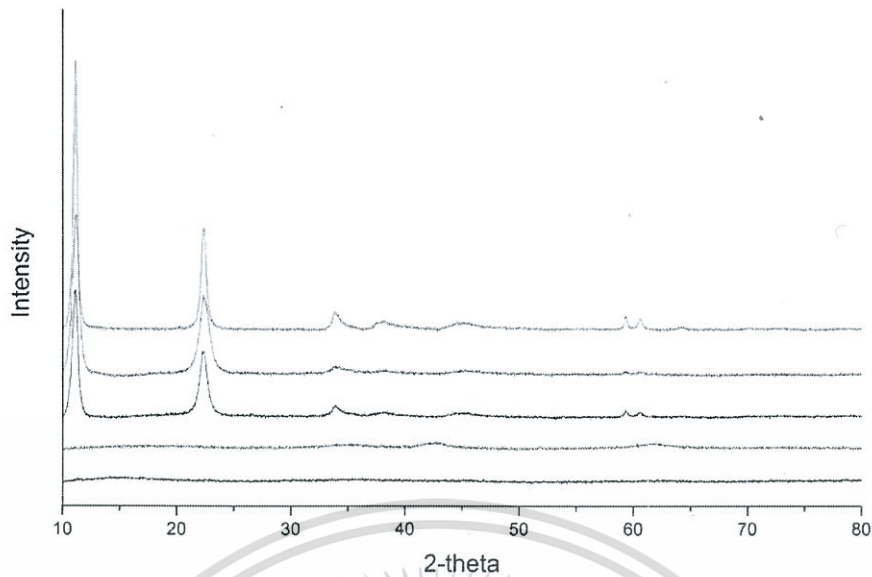
ในสารละลาย 50 ml มีจำนวนโมลของไอโอดีนเท่ากับ 0.0002 mol

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นกรัม} \quad \text{mol} &= \frac{\text{g}}{\text{MW}} \\ \text{g} &= (0.0002 \text{ mol}) (253.80 \text{ g/mol}) \\ \text{g} &= 0.05076 \text{ g} \\ &= 50.76 \text{ mg} \end{aligned}$$

ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับMFH

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad & \frac{\text{ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ}}{\text{ปริมาณตัวดูดซับ MFH}} && \text{หน่วย mg/g} \\ &= \frac{50.76}{0.0505} \\ &= 1,005.1485 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MFH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Fe ต่าง ๆ

การคำนวณหา d-spacing

ตัวอย่าง กราฟเส้นบนสุดปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 2-theta เท่ากับ 11.16° ซึ่งเป็นระนาบของ d (003) กำหนดให้ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ เท่ากับ 1.542 อังสตรอม และลำดับการสะท้อน เท่ากับ 1

สมการของ Bragg 's Law

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

$$d = \frac{n\lambda}{2\sin\theta}$$

$$d = \frac{(1)(1.542)}{2\sin(5.58)}$$

$$d = 7.929 \text{ \AA}$$

- โดย
- n คือ ลำดับของการสะท้อน
 - λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ (อังสตรอม,Å)
 - d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ (อังสตรอม,Å)
 - θ คือ มุมตกกระทบ (degree)