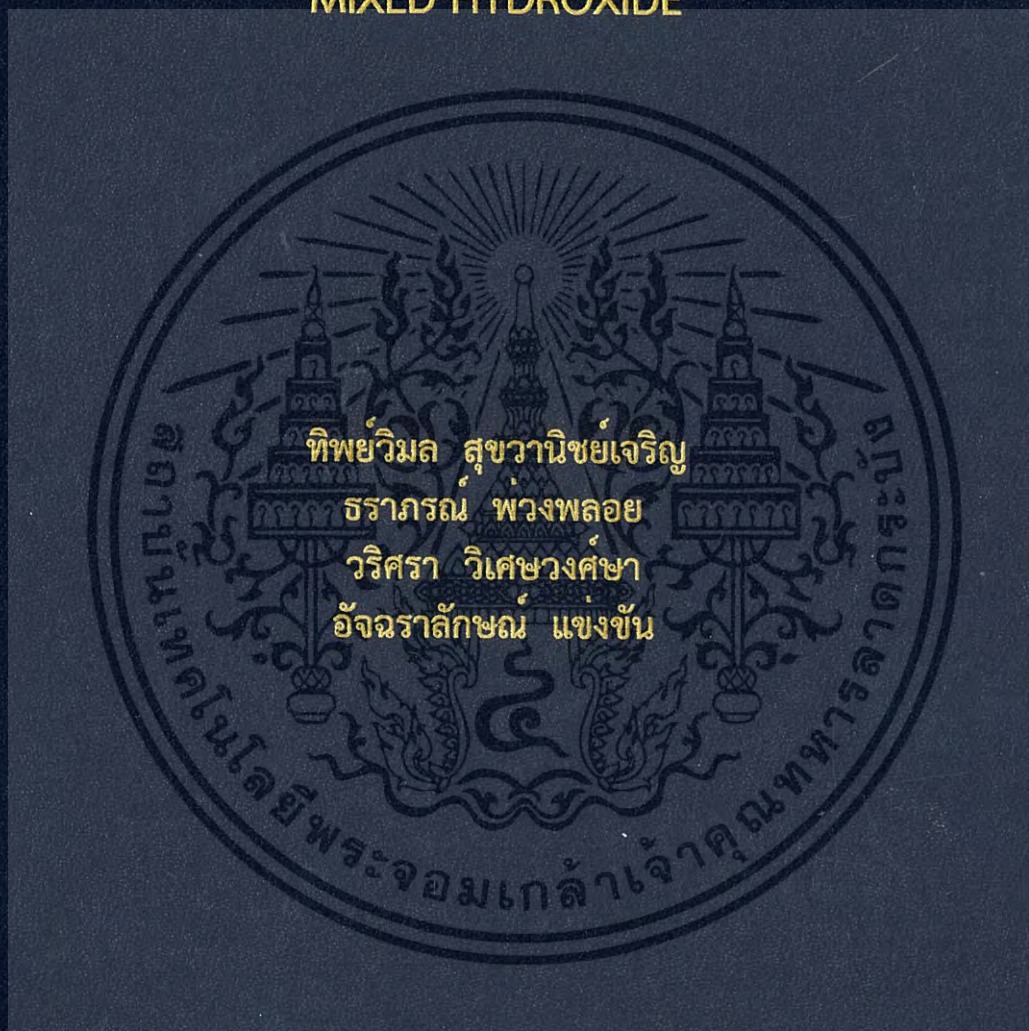


การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16
โดยใช้ไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม

ADSORPTION OF REACTIVE BLACK 5 AND REACTIVE
ORANGE 16 DYES BY USING MAGNESIUM/ALUMINIUM
MIXED HYDROXIDE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16
โดยใช้ไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม

ADSORPTION OF REACTIVE BLACK 5 AND REACTIVE
ORANGE 16 DYES BY USING MAGNESIUM/ALUMINIUM
MIXED HYDROXIDE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADSORPTION OF REACTIVE BLACK 5 AND REACTIVE
ORANGE 16 DYES BY USING MAGNESIUM/ALUMINIUM
MIXED HYDROXIDE



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 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 โดยใช้ไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม

Adsorption of Reactive Black 5 and Reactive Orange 16 dyes by using magnesium/aluminium mixed hydroxide

ชื่อนักศึกษา

นางสาวทิพย์วิมล สุขวานิชย์เจริญ รหัสนักศึกษา 55050670

นางสาวธราภรณ์ พ่วงพลอย รหัสนักศึกษา 55050681

นางสาววิศรา วิเศษวงศ์ษา รหัสนักศึกษา 55050798

นางสาวอัจฉราลักษณ์ แข่งขัน รหัสนักศึกษา 55050873

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช ประธานกรรมการ	
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการ	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 โดยใช้ไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวทิพย์วิมล	สุวานิชย์เจริญ รหัสนักศึกษา 55050670
	นางสาวธราภรณ์	พวงพลอย รหัสนักศึกษา 55050681
	นางสาววิศรา	วิเศษวงศ์ษา รหัสนักศึกษา 55050798
	นางสาวอัจฉราลักษณ์	แข่งขัน รหัสนักศึกษา 55050873
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)	
ภาควิชา	เคมี	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม (MMH) ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมระหว่างแมกนีเซียมคลอไรด์และอลูมิเนียมคลอไรด์ในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ พร้อมกับศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม ได้แก่ พีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมของ MMH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ จากผลการทดลองพบว่าสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ถูกกำจัดได้มากที่สุด เมื่อใช้พีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 เท่ากับ 4 ตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมเป็น 3 ต่อ 1 ปริมาณของตัวดูดซับ MMH อยู่ที่ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ คือ 120 นาที และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าไอโซเทอมที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์มากที่สุด

คำสำคัญ : การดูดซับ ตัวดูดซับ ไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Adsorption of Reactive Black 5 and Reactive Orange 16 dyes by using magnesium/aluminium mixed hydroxide		
Students	Miss Tipwimol Sookwanichjaroen	Student ID	55050670
	Miss Taraporn Puangploy	Student ID	55050681
	Miss Waritsara Wisetwongsa	Student ID	55050798
	Miss Atcharalak Khaengkhan	Student ID	55050873
Degree	Bachelor of Science (B.Sc. Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Dr.Amnat Permsubscul		

Abstract

This special project is intended to study the process for the adsorption of Reactive Black 5 and Reactive Orange 16 dyes on magnesium/aluminium mixed hydroxide (MMH). The MMH adsorbent was prepared by co-precipitation between magnesium chloride and aluminium chloride in ammonium hydroxide. The variables affected of the percentage to adsorption of dyes including the pH of the dye solution, the mole ratio of magnesium to aluminium of MMH adsorbent, adsorbent content, absorption time, temperature to absorb and adsorption isotherm. The results showed that the maximum Reactive Black 5 and Reactive Orange 16 dyes was adsorbed by using the pH of the solution Reactive Black 5 and Reactive Orange 16 dyes at 4, MMH adsorbent with a molar ratio of three per one magnesium to aluminium, the amount of MMH adsorbent at 800 milligrams per liter, absorption time of 120 minutes and adsorption temperature of 30 degrees Celsius. The study of the adsorption isotherm obtained from the experiments was consistent with Langmuir Isotherm.

Keywords : Adsorption, Adsorbent, Magnesium Aluminium mixed Hydroxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย

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

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช และ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ 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

ทิพย์วิมล	สุขวานิชย์เจริญ
ธราภรณ์	พวงพลอย
วรศรา	วิเศษวงศ์ษา
อัจฉราลักษณ์	แข่งขัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	9
2.2.3 การเก็บรักษา	9
2.2.4 ประโยชน์ของแมกนีเซียมคลอไรด์	9
2.3 อลูมิเนียมคลอไรด์	9
2.3.1 ข้อมูลทั่วไปของอลูมิเนียมคลอไรด์	9
2.3.2 การประยุกต์ใช้งาน	10
2.3.3 ข้อควรระวัง	10
2.3.4 ประโยชน์ของอลูมิเนียมคลอไรด์	10
2.4 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	11
2.4.1 ข้อมูลทั่วไปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	11
2.4.2 การประยุกต์ใช้งาน	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3	ข้อควรระวัง	11
2.5	สีantom	11
2.5.1	ลักษณะทางกายภาพของสีantom	11
2.5.2	การแบ่งประเภทสีantom	12
2.5.3	อันตรายที่เกิดจากสีantom	16
2.6	การกำจัดสีantomออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ	17
2.6.1	การตกตะกอนด้วยสารเคมี	17
2.6.2	กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา	17
2.6.3	การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	18
2.6.4	การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน	18
2.6.5	เทคโนโลยีเยื่อแผ่น	19
2.6.6	นาโนฟิลเตรชัน	19
2.6.7	เทคโนโลยีใหม่ ๆ	19
2.7	ไฮดรอกไซด์ผสมของโลหะ	20
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.1	สารเคมี	23
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์	23
3.3	วิธีการทดลอง	24
3.3.1	การเตรียมสารที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ MMH	24
3.3.2	การเตรียมตัวดูดซับ MMH ด้วยวิธีการตกตะกอน	24
3.3.3	การเตรียมกราฟมาตรฐานสีantomรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟ ออเรนจ์ 16	26
3.3.4	การกำจัดสีantomรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 โดยใช้ MMH เป็นตัวดูดซับ	27
3.3.5	การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MMH	35
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	37
4.1	การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MMH	37
4.1.1	ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH	37
4.1.2	โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MMH	39
4.1.3	องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ MMH	41
4.2	การเตรียมกราฟมาตรฐานสีantomรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16	43
4.3.1 ผลของพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16	44
4.3.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH	49
4.3.3 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH	52
4.3.4 ผลของเวลาในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16	55
4.3.5 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16	58
4.4 ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16	61
4.4.1 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 (RB5) ด้วย MMH	61
4.4.2 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 (RO16) ด้วย MMH	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการวิจัย	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก	69

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี	6
2.2 แสดงคุณสมบัติโครงสร้างทางเคมีและสเปกตรัมของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 (RO16)	16
3.1 ความเข้มข้นและปริมาณของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตและอลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MMH	26
3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16	27
3.3 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH	28
3.4 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมของตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16	29
3.5 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16	30
3.6 การศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH	31
3.7 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH	32
3.8 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH	33
4.1 องค์ประกอบของโลหะในตัวดูดซับ MMH ด้วยวิธีวิเคราะห์ XRF	41
4.2 ค่า Absorbance ของสารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16	42
4.3 ผลของพีเอชที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH	44
4.4 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16	49
4.5 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16	52
4.6 ผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16	55
4.7 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16	58
4.8 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรอนตลิชสำหรับสี่อัมรีแอกทีฟแบล็ค 5 62

4.10 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสี่อัมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 63

4.11 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรอนตลิชสำหรับสี่อัมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนผังโครงสร้างของ Layered double hydroxides	20
3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	35
3.2 เครื่องยิวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์	35
3.3 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์	36
3.4 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	36
4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	37
4.2 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ต่าง ๆ	39
4.3 ดิฟแฟรคโทแกรมของไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม	40
4.4 ดิฟแฟรคโทแกรมของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์	40
4.5 ดิฟแฟรคโทแกรมของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์	40
4.6 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	42
4.7 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16	43
4.8 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อมที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ...	45
4.9 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อมที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อมรีแอคทีฟ ออเรนจ์ 16	45
4.10 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อมที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	46
4.11 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อมที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16	46
4.12 ลักษณะโครงสร้างของ MMH	48
4.13 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อมรีแอคทีฟ แบล็ค 5	50
4.14 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อมรีแอคทีฟ ออเรนจ์ 16	50
4.15 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	51
4.16 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16	51
4.17 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อมรีแอคทีฟ แบล็ค 5	53
4.18 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อมรีแอคทีฟ ออเรนจ์ 16	53
4.19 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	54
4.20 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.21	ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นของสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MMH	56
4.22	ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นของสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH	56
4.23	ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MMH	57
4.24	ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH	57
4.25	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความเข้มข้นของสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MMH	59
4.26	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความเข้มข้นของสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH	59
4.27	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MMH	60
4.28	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH	60
4.29	ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับ สีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ด้วย MMH	61
4.30	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับ สีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ด้วย MMH	62
4.31	ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับ สีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ด้วย MMH	63
4.32	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับ สีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ด้วย MMH	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เพื่อเพิ่มอัตราการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของประชากรในประเทศและต่างประเทศ ทำให้มีปริมาณน้ำเสียเพิ่มขึ้น ตามลำดับ ซึ่งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอีกแหล่งหนึ่งที่เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ เนื่องจากมีการใช้สีย้อมในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตจะใช้เกลืออนินทรีย์กรดต่าง และสารลดแรงตึงผิวปริมาณมาก เพื่อทำให้ผ้าติดสีย้อมได้ดียิ่งขึ้น คงทน และมีความมันเงาจากกระบวนการผลิตจึงทำให้อุตสาหกรรมสีย้อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก นอกจากอุตสาหกรรมสิ่งทอแล้วยังมีอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ผลิตน้ำเสียที่มีสีปนเปื้อน ได้แก่ อุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า สิ่งพิมพ์ การถ่ายภาพ พลาสติกและอื่น ๆ มีการคาดการณ์กันว่าปริมาณการใช้สีย้อมจะเพิ่มมากขึ้นทุกปี น้ำเสียที่ปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้จะถูกปนเปื้อนด้วยสีย้อมชนิดต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสีย้อมที่ได้จากการสังเคราะห์มากกว่าสีย้อมจากธรรมชาติ เนื่องจากสีย้อมสังเคราะห์ที่มีการผลิตได้ในปริมาณมากและมีคุณภาพที่แน่นอนกว่า รวมทั้งสีสังเคราะห์ยังหาได้ง่าย และมีราคาถูกกว่าสีย้อมธรรมชาติประเภทเดียวกัน

สีกลุ่มเอโซเป็นกลุ่มสีที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และเป็นกลุ่มสีที่มีการผลิตมากที่สุด ส่งผลให้สีเอโซเป็นสีกลุ่มใหญ่ที่สุดที่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณมาก เนื่องจากสีกลุ่มนี้เป็นสีที่มีราคาถูก ผลิตได้ง่ายในปริมาณมาก มีความเสถียร และมีหลายเฉดสีให้เลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังเป็นสีสว่าง มีความคงตัวในน้ำ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีได้ง่าย มีการกระจายตัวของสีที่สม่ำเสมอ ซึ่งล้วนมีคุณสมบัติที่ดี และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค จึงได้นำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการย้อมสีโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ไนลอน (Nylon) และ อะคริลิก ไฟเบอร์ (Acrylic fibers) ซึ่งสีย้อมกลุ่มนี้มีโครงสร้างที่ซับซ้อน ทำให้สีเหล่านี้มีความคงตัวสูง ทนต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ จึงส่งผลให้สีย้อมตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมปริมาณมาก ด้วยเหตุนี้เองจึงจำเป็นต้องมีการบำบัดสีย้อมที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียด้วยวิธีการต่าง ๆ

ในการบำบัดน้ำเสียนั้นจะอาศัยวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมีโดยในแต่ละวิธีจะมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่แตกต่างกัน การดูดซับเป็นหนึ่งในกระบวนการที่ได้ผลดีที่สุดในการกำจัดสีย้อมและบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งทอ ปัจจุบันถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่ได้รับความนิยมอย่างมากแต่เนื่องจากมีราคาสูง มีข้อจำกัดในการใช้ จึงทำให้มีการวิจัยและสังเคราะห์ตัวดูดซับที่ราคาต่ำ เช่น เกลือดินเหนียว ถ้ำลอย เป็นต้น แต่ก็มีข้อเสียเรื่องความจุในการดูดซับต่ำ

กล่าวคือ ในการดูดซับแต่ละครั้งจะต้องใช้ตัวดูดซับในปริมาณสูง [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น โครงการพิเศษนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสีย โดยการสังเคราะห์ และศึกษาประสิทธิภาพตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม (MMH) ในการกำจัด สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ที่เป็นสีตัวอย่างในสีกลุ่มเอโซ ซึ่งปัจจัย ที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียม ของ MMH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ รวมทั้งหาสภาวะ ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นข้อมูล และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสู่ภาคอุตสาหกรรมในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม (MMH)
- 2) เพื่อศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม ได้แก่ พีเอชของ สารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อ อลูมิเนียมของ MMH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับด้วย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) สังเคราะห์ตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม (MMH) ในอัตราส่วน โดยโมลระหว่างแมกนีเซียมคลอไรด์และอลูมิเนียมคลอไรด์ ตั้งแต่ 0.5 ต่อ 1 ถึง 5 ต่อ 1
- 2) วิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม (MMH) ด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่
 - ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
 - โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MMH ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)
 - องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ MMH ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF)
- 3) ศึกษาผลกระทบที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่
 - พีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ตั้งแต่ 2 ถึง 10
 - อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมของ MMH ตั้งแต่ 0.5 ต่อ 1 ถึง 5 ต่อ 1
 - ปริมาณ MMH ในการดูดซับ ตั้งแต่ 600 ถึง 1200 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ ตั้งแต่ 30 ถึง 70 องศาเซลเซียส
- ไอโซเทอมของการดูดซับว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) หรือไอโซเทอมของฟรุนดลิช (Freundlich Isotherm)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงกระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH
- 2) ทราบถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีกระทบต่อการกำจัดสีย้อม ได้แก่ พีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อลูมินีเยมของ MMH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ
- 3) ทราบถึงไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตัวดูดซับ

2.1.1 ทฤษฎีการดูดซับ [2]

การดูดซับ (Adsorption) หมายถึง การที่โมเลกุลของสารถูกดึงเข้ามาติดผิวของสารดูดซับ หรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับ สารดูดซับ (Adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำจะถูกดูดซับได้ ส่วนสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ แต่จะมีความสัมพันธ์กับแรงตึงผิวและพื้นที่ผิว ดังสมการ (2.1) เมื่อความตึงผิว (Surface tension) หรือพื้นที่ผิว (Surface area) เปลี่ยนไป จะเป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพลังงานอิสระที่ผิว ($\Delta G_{\text{surface}}$)

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

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) [3]

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

การดูดติดผิว (Adsorption) จะเป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็ก ซึ่งละลายอยู่ในน้ำโดยอยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้เรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติด เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) การดูดติดผิวนี้จะเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 3 สถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะแบบของเหลว-ของแข็ง (Liquid –solid interface) ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำ และไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับ และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล 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 (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2. การดูดซับทางเคมี

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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) ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น 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 ไอโซเทอมแบบฟรูนดลิช (Freundlich isotherm)

ในปี ค.ศ.1880-1941 นักฟิสิกส์-เคมีชาวเยอรมัน ฟินเลย์ ฟรูนดลิช (Finlay Freundlich) ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายดังสมการ (2.4)

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

เมื่อ C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการดูดซับที่สมดุล

$k_f, 1/n$ = ค่าคงที่ของสมการฟรูนดลิช ($1^{(1/n)} \text{mg}^{(1-1/n)} \text{g}^{-1}$)

จากสมการฟรูนดลิช เมื่อใส่ลอการิทึม (Logarithm) จะได้สมการที่ 2.5

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

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

2.1.3 ชนิดของตัวดูดซับ [4]

ตัวดูดซับ (Adsorbent) หมายถึง สารที่มีอำนาจดูดซับสารอื่นไว้บนผิวได้ ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะ และความมีขี้ขั้วของผิว สามารถแบ่งสารดูดซับเป็น 2 ชนิดตามลักษณะขี้ขั้วของผิว คือ ชนิดที่มีขี้ขั้ว ได้แก่ ซีโอไลท์ (Zeolites) ซิลิกา เจล (Silica gel) เป็นต้น และชนิดไม่มีขี้ขั้ว ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น

1. Zeolites

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

2. Alumina หรือ Aluminum Oxide

สังเคราะห์ขึ้นโดยกำจัดน้ำออกจากอลูมินาไตรไฮเดรต ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) มีพื้นที่ผิวทั้งหมดประมาณ 150-500 ตารางเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 15-60 อังสตรอม นิยมใช้เพื่อดูดซับความชื้นหรือก๊าซที่มีขี้ขั้วออกจากก๊าซไฮโดรคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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) [5]

2.2.1 ข้อมูลทั่วไปของแมกนีเซียมคลอไรด์

สูตรเคมี : $MgCl_2$

สถานะ : ของแข็ง

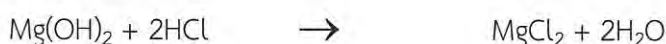
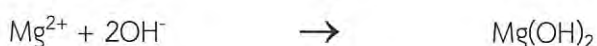
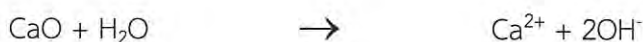
จุดหลอมเหลว ($^{\circ}C$) : 712

จุดเดือด ($^{\circ}C$) : 1465

การละลายน้ำ : ละลาย

ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : กลาง

แมกนีเซียมสามารถถูกสร้างขึ้นได้ในหลายกระบวนการ มีแมกนีเซียมจำนวนมากในน้ำทะเล และสามารถนำมาใช้ได้ ในรูปของแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ผ่านปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การประยุกต์ใช้งาน

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

2.2.3 การเก็บรักษา

- ภาชนะบรรจุที่วางเปล่าของสารนี้อาจเป็นอันตรายได้ เนื่องจากมีกาบสารเคมีตกค้างอยู่ เช่น ไอร์อะเฮย ของเหลว
- ให้สังเกตค่าเตือน และข้อควรระวังทั้งหมดที่ให้ไว้สำหรับสารนี้

2.2.4 ประโยชน์ของแมกนีเซียมคลอไรด์

- เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตอุตสาหกรรมสิ่งทอ
- ใช้เพิ่มความแข็งแรงของอิฐ

2.3 อลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminium chloride) [5]

2.3.1 ข้อมูลทั่วไปของอลูมิเนียมคลอไรด์

สูตรเคมี : $AlCl_3$

สถานะ : ของแข็ง

จุดหลอมเหลว ($^{\circ}C$) : 193

จุดเดือด($^{\circ}C$) : 180

การละลายน้ำ : ละลาย

ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การประยุกต์ใช้งาน

แป้งดับกลิ่นที่มีอลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ซึ่งช่วยลดกลิ่นเท้าได้ดีหรือเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่ระบุว่า Antiperspirant ซึ่งเป็นสารระงับเหงื่อและดับกลิ่นเท้าได้ ทำให้เท้าแห้งและปลอดกลิ่นอีกด้วย

โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์หรือพีเอซี (PAC) สามารถนำไปใช้แทนสารส้มหรืออลูมิเนียมซัลเฟตได้เป็นอย่างดี พีเอซีเป็นของเหลวหรือแบบผง สามารถนำไปใช้ผสมกับน้ำดิบได้ทันทีโดยใช้เครื่องจ่ายสารเคมีที่ไม่มีกากตะกอนตกค้างในถังจ่ายแต่อย่างใด จึงง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้งานอย่างยิ่ง

2.3.3 ข้อควรระวัง

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด
- เก็บในบริเวณที่เย็น และแห้ง
- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ
- เก็บห่างจากการสัมผัสทางแสงแดดโดยตรง แหล่งความร้อน สารที่เข้ากันไม่ได้ เช่น สารออกซิไดซ์ที่รุนแรง และสารที่สามารถเกิดการโพลีเมอร์ได้
- เก็บในบริเวณที่กันน้ำได้ และไม่มีแหล่งจ่ายน้ำ รวมทั้งอ่างล้างหน้า และฝักบัวอาบน้ำ
- ควรเก็บไว้ในปริมาณเล็กน้อย และจัดเก็บให้เป็นระเบียบ
- หมั่นทำความสะอาดบริเวณที่จัดเก็บ เพื่อป้องกันการสะสมของผงฝุ่น
- ภาชนะบรรจุของสารที่เป็นถังเปล่า แต่มีกากสารเคมีตกค้างอยู่ เช่น ไอร์อะเฮย ของเหลว อาจเป็นอันตรายได้
- ชื่อทางการขนส่ง : ALUMINUM CHLORIDE ANHYDROUS
- ประเภทอันตราย : 8
- รหัส UN/NA : 1726
- ประเภทบรรจุหีบห่อ : กลุ่ม II
- ข้อปฏิบัติในการใช้สาร : อย่าหายใจเอาฝุ่น ระวางอย่าให้เข้าตา โคนผิวหนังหรือเสื้อผ้า หลีกเลี่ยงการได้รับสารเป็นเวลานานหรือซ้ำหลายครั้ง

2.3.4 ประโยชน์ของอลูมิเนียมคลอไรด์

สารนี้ใช้เป็นตัวเร่งที่มีฤทธิ์เป็นกรดในการผลิตสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้งเรซินของไฮโดรคาร์บอน เอทิลเบนซีน ไททานเนียมออกไซด์ ใช้ในการผลิตยา ผงซักฟอกที่มีฤทธิ์เป็นต่างเอทิลคลอไรด์ สารเคมีทางการเกษตร ยางบิลทิล พลาสติก สารหล่อลื่น สารเพิ่มความหอม เครื่องสำอาง และให้เป็นตัวเร่งในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในการผลิตอลูมิเนียม ใช้เป็นสารตัวกลางทางเคมีสำหรับสารประกอบอลูมิเนียม ใช้ในการผลิตอลูมิเนียมโบโรไฮไดรด์ และลิเทียมอลูมิเนียมไฮไดรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) [5]

2.4.1 ข้อมูลทั่วไปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

สูตรเคมี : NH_4OH

สถานะ : ของเหลว

จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$) : 36

จุดเดือด($^{\circ}\text{C}$) : -72

สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง : ความร้อน แสงแดด สารที่เข้ากันไม่ได้ และแหล่งจุดติดไฟ

ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : เบส

2.4.2 การประยุกต์ใช้งาน

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

2.4.3 ข้อควรระวัง

การหายใจเข้าไปก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ การหายใจนำสารที่มีความเข้มข้นสูงเข้าไป จะก่อให้เกิดแผลไหม้ น้ำท่วมปอด และอาจตายได้ ความเข้มข้นที่อาจทำให้ตายได้ คือ 5000 mg/L การสัมผัสผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อหลอดอาหาร กระเพาะอาหาร และอาจทำให้เยื่อช่องท้องทะเลหรืออักเสบ เกิดอาการปวดในปาก ออก ท้อง ไอ อาเจียน และหมดสติได้ การสัมผัสลูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง ปวดตา ทำลายตา และอาจทำให้ตาบอด ส่วนการสัมผัสเป็นระยะเวลานาน จะทำลายเนื้อเยื่อ ทางเดินหายใจส่วนบน ตา และผิวหนังได้ สารนี้ทำลายปอด ทรวงอก ตับ ไต และกระเพาะปัสสาวะ

2.5 สีย้อม [6]

2.5.1 ลักษณะทางกายภาพของสีย้อม

สีย้อม คือ ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมวัสดุสิ่งทอ สีย้อมที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียดที่สร้างมาเพื่อดูดซึมหรือดูดซับแสง โดยการทำให้อยู่บนหรือในผิวหน้าของวัตถุแล้วเกิดการแพร่แทรกซึมเข้าสู่ภายในโครงสร้างของวัตถุ เพื่อที่จะทำให้วัตถุนั้นมีสีขึ้นมา สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดจะไม่สามารถละลายน้ำ แต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใย โดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไฮดรอกซิลหรือโควาเลนต์กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีย้อมนั้นมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมที่ต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกัน จะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กันไป ซึ่งสายตาสถาสามารถรับภาพโมเลกุลของสีย้อมต่างโทนสีกัน จะแสดงสีให้เราเห็นสายตาสถาออกมาต่างกันไป ซึ่งความคงทนจะต่างกันไปในแต่ละประเภทและการยึดเกาะของสีประเภทนั้น ๆ

2.5.2 การแบ่งประเภทสีย้อม

โดยทั่วไปแล้วสีย้อมจะต้องมีระบบพันธะพาย (Pi-bond system) และหมู่แทนที่ที่แสดงความเป็นขั้ว (Polar substituent) ที่ทำให้ตัวสีสามารถจะละลายได้ ซึ่งการละลายนี้จะทำให้สีย้อมสามารถแทรกซึมได้ เนื่องจากการละลายจะสามารถทำให้สีแยกตัวออกจากกัน ทำให้เข้าสู่โพรงของเส้นใยได้ ในทางอุดมคติสีที่มีขนาดโมเลกุลเล็กและสามารถละลายได้ดีในตัวกลางจะสะดวกและง่ายต่อการย้อม ในขณะที่สีที่มีขนาดโมเลกุลขนาดใหญ่และไม่ละลายในตัวกลางใด ๆ เมื่อเข้าไปอยู่ในเส้นใยแล้วมีความคงทนที่สูง ในระบบของเคมีฟิสิกส์นั้นสามารถที่จะแบ่งชนิดของสีย้อมตามหมู่ช่วยละลายของสีย้อม (Solubilising group) และไม่แบ่งละเอียด ดังเช่น วิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับการย้อมด้านอื่น ๆ สาเหตุที่แบ่งอย่างนี้ เนื่องจากการศึกษาของเคมีเชิงฟิสิกส์นั้นจะพิจารณาค่าการละลาย และความเป็นอยู่ของสีย้อมในตัวกลางและเส้นใยเท่านั้น 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 ยังมีผลทำให้ความสามารถในการทนสภาวะกรดได้สูงกว่าด้วยตัวอย่างของสีในกลุ่มนี้ ได้แก่ สีไดเร็กต์ สีแอซิด ฯลฯ

สีไดเร็กต์ (Direct dye) หรืออาจเรียกว่า สีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิกที่ทำให้สีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใยและยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นสีสังเคราะห์ชนิดแรกที่สามารถย้อมติดใยฝ้ายโดยตรงไม่ต้องเติมสารช่วยย้อมใด ๆ ปัจจุบันมีการใช้เกลือเข้าช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้การย้อมดีขึ้น สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย ทนแสง เช่น คองโก เรด (Congo Red) เป็นต้น

สีเอซิด (Acid dye) สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์มีประจุลบละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีเอซิดบางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน ไยขนแกะ ไหม และอะคริลิกได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอซิดไม่ทนการซัก ไม่ทนเหงื่อ

สีรีแอคทีฟ (Reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีคุณสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH) ของเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ในสภาพที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอคทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75°C และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ สีรีแอคทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ

1.2 หมู่ที่แสดงประจุบวก (Cationic group) ได้แก่ หมู่เอมีนชนิดทุติยภูมิ (2°Amine) หมู่เอมีนชนิดตติยภูมิ (3°Amine) กลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำจะเกิดการดึงโปรตอนจากโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากอิเล็กตรอนคู่อิสระของอะตอมของไนโตรเจนในหมู่เอมีน ทำให้สีกลุ่มนี้สามารถละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด เพราะว่ามีโปรตอนในระบบมาก ซึ่งหมู่อัลคิลที่เกาะอยู่กับอะตอมของไนโตรเจนยิ่งมากเท่าไร ก็จะทำให้อิเล็กตรอนคู่อิสระของไนโตรเจนมีความหนาแน่นยิ่งขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดึงโปรตอนจากน้ำได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ความเป็นเบสสูงขึ้น ทำให้ตัวสีที่มีค่าต่ำกว่า และสามารถที่จะทนได้สูงขึ้น 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) หมู่ซัลโฟนาไมด์ (Sulphonamide) และหมู่อีเธอร์ (Ether) เมื่อให้พลังงานความร้อนเข้าไปก็จะทำให้พลังงานพันธะระหว่างสีย้อมและน้ำถูกทำลายลงไปด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง สีในกลุ่มนี้ ได้แก่ สีดิสเพอร์ส ฯลฯ

สีดิสเพอร์ส (Disperse dye) มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่กระจายตัวได้ดี นิยมใช้ย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ และอะคริลิก การย้อมจะใช้สารพา (Carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควันทหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนโตรออกไซด์ สีดิสเพอร์สแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (Azo dyes) และสีย้อมแอมมิโน แอน ทราควิโนน (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 ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัวเป็นสี (Coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพเนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอนหรืออะซิเตท สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขัดถู

สีแวต (Vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีแวตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแวตจะถูกรีดิคส์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกไซด์เป็นสีแวต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีแอนทราควิโนอยด์ (Anthraquinoid) และสีอินดิโก (Indigoid)

2.2 หมู่ที่แสดงประจุบวก ได้แก่ หมู่ออนิียม (Onium group) กลุ่มนี้มีประจุบวกติด

กับโครงสร้างสี เมื่อทำการออกซิเดชันตัวสีก็สามารถที่จะปล่อยหมู่ช่วยละลายออกมา ตัวสีจะตกตะกอนในเส้นใย สีอัลเซียนเป็นตัวอย่างของสีกลุ่มนี้ แต่ในปัจจุบันไม่มีการใช้งานแล้ว

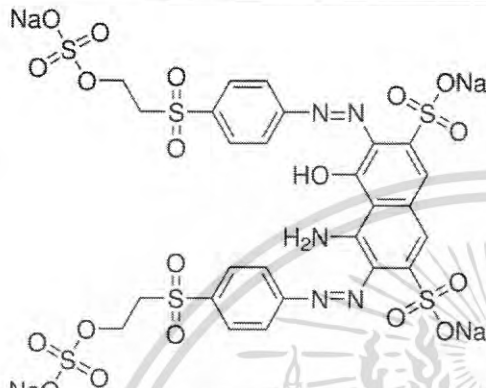
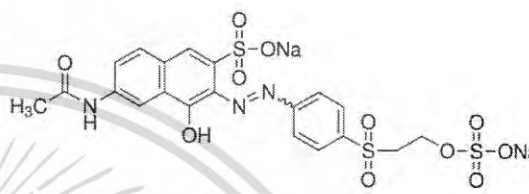
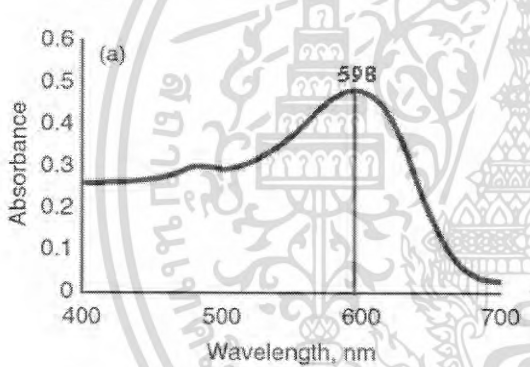
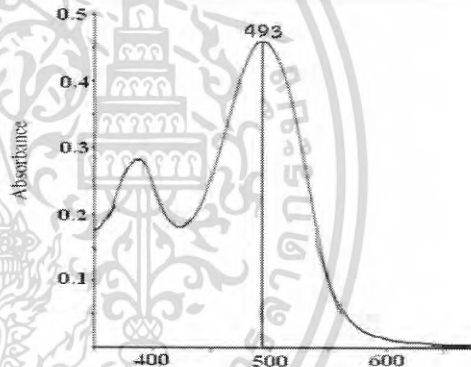
ส่วนใหญ่แล้วสีย้อมที่ปนเปื้อนมาจากน้ำเสียจะมาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง ทำให้มีการพัฒนาทั้งทางด้านกระบวนการผลิต และการแข่งขันสูงขึ้น เพื่อเพิ่มปริมาณสินค้าหรือผลิตภักณ์ให้มากขึ้น น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทุกขั้นตอนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การถักผ้า และการฟอกย้อมก็ตาม โดยวัตถุดิบที่ใช้ เช่น สีย้อมผ้า สารเคมี เป็นต้น บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดละลายน้ำไม่ได้ จึงทำให้น้ำมีสภาพแปรเปลี่ยนไปหรือที่เราเรียกว่า น้ำเสีย เช่น อุณหภูมิสูงขึ้น มีกลิ่น มีสี ตลอดจนทำให้สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำตาย เนื่องจากมีสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณที่สูง ทำให้ขาดออกซิเจน และผลกระทบของน้ำเสียนี้ยังเป็นตัวบ่งชี้ยังการทำงานของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในกระบวนการบำบัดชีวภาพ อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมประเภทที่มีการใช้น้ำและสารเคมีจำนวนมาก ปัญหาใหญ่ที่พบนับว่ามีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม 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 สีแว็ต สีดีสเพอร์ส เป็นต้น ผลเสียที่เกิดขึ้นจากสีนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้ว ยังลดอัตราการนำเข้าสู่ของออกซิเจนที่เข้าสู่ผิวหน้าของแหล่งน้ำ และบดบังปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกลงสู่ผิวน้ำ ทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทำให้สัตว์อาจตายได้ ดังนั้น การวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงาน จึงมีความจำเป็นในการป้องกันปัญหามลพิษที่แหล่งกำเนิด และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย โดยมีการศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบการบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนด

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สีรีแอคทีฟแบบลึกลับ 5 (RB5) และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 (RO16) ซึ่งมีคุณสมบัติโครงสร้างทางเคมีและสเปกตรัมดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติโครงสร้างทางเคมีและสเปกตรัมของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 (RO16) [7]

Reactive Black 5	Reactive Orange 16
$C_{26}H_{21}N_5Na_4O_{19}S_6$	$C_{20}H_{17}N_3O_{11}S_3Na_2$
Molecular Weight : 991.82 g/mol	Molecular Weight : 617.54 g/mol
 <p>The chemical structure of Reactive Black 5 is a complex polyanionic dye. It features a central naphthalene ring system with two sulfonate groups (-SO₃Na) at the 1 and 8 positions. Two azo groups (-N=N-) are attached to the 4 and 5 positions, each linking to a para-substituted benzene ring. Each of these benzene rings has a sulfonate group (-SO₃Na) and a propylsulfonate group (-CH₂CH₂CH₂SO₃Na) attached. Additionally, the naphthalene ring has a hydroxyl group (-OH) at the 6 position and an amino group (-NH₂) at the 7 position.</p>	 <p>The chemical structure of Reactive Orange 16 is a polyanionic dye. It features a central naphthalene ring system with a sulfonate group (-SO₃Na) at the 1 position and a hydroxyl group (-OH) at the 6 position. An azo group (-N=N-) is attached to the 4 position, linking to a para-substituted benzene ring. This benzene ring has a propylsulfonate group (-CH₂CH₂CH₂SO₃Na) and a sulfonate group (-SO₃Na) attached. Additionally, the naphthalene ring has an acetamido group (-NHCOCH₃) at the 7 position.</p>
 <p>(a) Absorbance spectrum of Reactive Black 5. The x-axis is Wavelength (nm) from 400 to 700. The y-axis is Absorbance from 0 to 0.6. The curve shows a broad peak centered at 598 nm with an absorbance of approximately 0.5.</p>	 <p>Absorbance spectrum of Reactive Orange 16. The x-axis is Wavelength (nm) from 400 to 600. The y-axis is Absorbance from 0 to 0.5. The curve shows a peak at 493 nm with an absorbance of approximately 0.45.</p>

2.5.3 อันตรายที่เกิดจากสีย้อม

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครเมียม : ถ้าพอกพูนในร่างกายเกินขนาด จะทำให้เป็นอันตรายมาก เกิดอาการเฉื่อยบพลัน มีอาการเวียนศีรษะ กระจายน้ำอย่างรุนแรง อาเจียน หมดสติ และเสียชีวิตในเวลาต่อมา เนื่องจากไตไม่ทำงาน

สารหนู : ถ้าพอกพูนในร่างกายมาก ๆ จะเกิดอันตรายต่อประสาท เช่น ระบบทางเดินอาหาร ผิดปกติ ตับอักเสบ และเกิดอันตรายต่อวงจรวจรโลหิตที่ไปเลี้ยงหัวใจ อาจทำให้หัวใจวายได้

2.6 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ [8]

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 เพอร์รัสคลอไรด์หรือเฟอร์ เทคนิคนี้สามารถกำจัดสีออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของโมเลกุลสีย้อม ถ้าสีย้อมมีโมเลกุลเล็ก เช่น สีประเภทสีแอสิด สีรีแอคทีฟ เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้ม โมเลกุลของสีจะถูกดูดซับบนอนุภาคของสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้ง จากนั้นทำให้น้ำทิ้งเป็นกลางก่อนปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง แต่วิธีดังกล่าวไม่สามารถทำได้ จึงต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการตกตะกอนให้เป็นอย่างดี โดยใช้อาหารช่วยทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอน 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 ซึ่งส่งผลให้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีเอชของน้ำทิ้งสูงขึ้น ดังนั้นต้องมีการปรับพีเอชให้เป็นกลางก่อนปล่อยทิ้งโดยการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของสีดูดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นประสิทธิภาพการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรุกรุนของถ่านกัมมันต์ เพราะพื้นที่ผิวจำเพาะมากขึ้นนั่นเอง แต่การทำให้โมเลกุลของสีหลุดออกจากผิวของถ่านนั้นทำได้ยาก ต้นทุนการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่จึงสูงมาก เพราะต้องผ่านการเผาและการกำจัดกาก ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง รวมถึงค่าใช้จ่ายในส่วนที่มีการปรับพีเอชก่อนปล่อยออกจากโรงงานด้วย ทำให้เทคนิคนี้ไม่เป็นที่นิยม แม้จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงก็ตาม

2.6.3 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

กระบวนการนี้อาศัยจุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นมาใหม่ที่มีการดูดซับสีย้อม ทำให้สามารถบำบัดสีได้แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

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

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

2.6.4 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone treatment)

โดยทั่วไปโมเลกุลสีย้อมจะมีหมู่โครโมฟอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์เป็นพวกวงแหวนกับพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยว ดังนั้น การที่จะทำลายโมเลกุลของสีนั้นต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวก่อน ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้ กระบวนการกำจัดสีโดยใช้โอโซนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ไม่นานนัก ซึ่งอาจได้รับความนิยมถ้าหากมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งเข้มงวดขึ้น การโอโซนเช่น (Ozonation) เป็นการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำทิ้งอย่างรวดเร็ว เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโมเลกุลของสีย้อมส่วนใหญ่มักประกอบด้วยไนโตรเจน คลอรีนหรือซัลเฟอร์ จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม

2.6.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane technology)

กระบวนการกำจัดสีย้อมด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี และนำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสีบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

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

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

3. ไดนามิก เมมเบรน (Dynamic membrane) ใช้กำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ โดยใช้ตัวรองรับที่มีรูพรุน เช่น เหล็ก แสตนเลส วัสดุคาร์บอนหรือเซรามิก ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาใช้ Hydrous zirconium (IV) oxide และกรดโพลีอะคลิลิก (Zr/PAA) เพื่อปรับปรุงขนาดของรูพรุน กระบวนการนี้สามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 95 หรือมากกว่า

2.6.6 นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration)

ใช้กำจัดสีย้อมประเภทสีรีแอคทีฟที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย เนื่องจากการย้อมสีรีแอคทีฟจะต้องใช้สารอิเล็กโทรไลต์เข้ามาช่วยในการย้อมสี เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเล็กโทรไลต์เหล่านี้ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

2.6.7 เทคโนโลยีใหม่ ๆ (New technology)

เทคโนโลยีใหม่ ๆ มากมายที่เกิดขึ้น มีพื้นฐานตั้งอยู่บนเทคนิคต่าง ๆ กัน แต่มีวัตถุประสงค์เดียวกัน คือ เพื่อลดผลกระทบต่าง ๆ ให้เหลือน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น

1. ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์ ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และมีการนำมาใช้กันอยู่ในโรงงานประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การกำจัดสีย้อมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นสีที่สูงหรือมีสารเจือปนก็ตาม ซึ่งต้นทุนวิธีนี้ต่ำกว่าเทคนิคอื่น ๆ ที่คล้ายกัน ดังนั้นเทคนิคนี้จึงคุ้มค่าต่อการพิจารณาต่อไป

2. ระบบที่มีอิเล็กโทรไลซิส จะต้องใช้พลังงานสูง บางครั้งคลอรีนและไฮดรอกซีเรดิคัลสามารถเกิดขึ้นได้เอง ทำให้เกิดการแตกพันธะอย่างควบคุมไม่ได้ ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์หรือพืชแห้ง

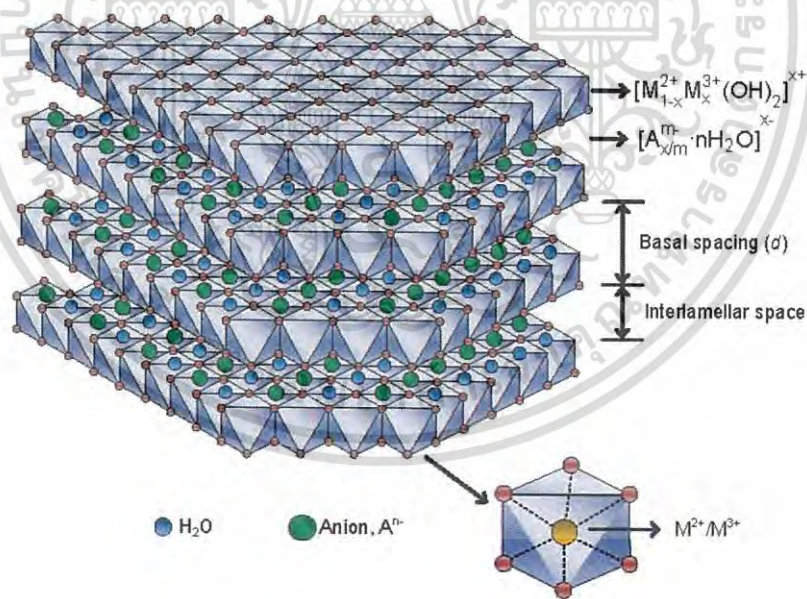
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ผักตบชวา จะมียักษ์ประกอบที่สำคัญ คือ เซลลูโลส มีหมู่ฟังก์ชันไว้แลกเปลี่ยนไอออนหรือโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้

2.7 ไฮดรอกไซด์ผสมของโลหะ (Mixed metal hydroxide : MMH)

วัสดุที่มีแนวโน้มคล้ายสารประกอบไฮโดรทัลไซต์ (Hydrotalcite-like compounds) หรือเรียกว่า ไฮดรอกไซด์ชั้นสอง (Layered double hydroxides : LDHs) มีสูตรทั่วไป คือ $[M_{1-x}^{2+}M_x^{3+}(OH)_2]^{x+} [A^{n-}_{x/n} \cdot mH_2O]^{x-}$ ซึ่ง A^{n-} เป็นวาเลนซ์ของไอออนลบที่ได้รับการพิจารณา

วัสดุเหล่านี้เป็นแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวกจะเรียงตัวอยู่เป็นชั้น ๆ และมีประจุลบ เช่น CO_3^{2-}, Cl^- or NO_3^- กับโมเลกุลของน้ำอยู่ในระหว่างชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์ เพื่อรักษาประจุโดยรวมให้เป็นกลาง ตามที่แสดงในรูปที่ 2.1 โดยที่ประจุลบกับโมเลกุลของน้ำในระหว่างชั้นสามารถแลกเปลี่ยนประจุลบของสารอินทรีย์และสารอินทรีย์อื่น ๆ จากน้ำที่ปนเปื้อนได้ แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับได้รับผลกระทบอย่างมากโดยคุณสมบัติของประจุที่พื้นที่ผิวและในระหว่างชั้น โดยทั่วไปแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์มักเป็นประจุแบบ Multivalent มากกว่าแบบ Monovalent ยกตัวอย่างเช่น CO_3^{2-} จะถูกดูดซับแบบพิเศษ และไม่สามารถแลกเปลี่ยนโดยประจุลบอื่น ๆ ได้ แต่เมื่อ A^{n-} เป็น Cl^- และแอมโมเนียจะถูกใช้เป็นตัวตกตะกอนในกระบวนการสังเคราะห์



รูปที่ 2.1 แผนผังโครงสร้างของ Layered double hydroxides

ในงานวิจัยนี้ ตัวดูดซับที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นเป็นของแข็งของโลหะไฮดรอกไซด์ผสมระหว่างอลูมิเนียมกับแมกนีเซียม (MMH) ซึ่งจะมีโครงสร้างหลัก คือ ไฮดรอกไซด์ชั้นคู่ผสมระหว่างแมกนีเซียมกับอลูมิเนียมที่พื้นผิวและในระหว่างชั้นมีคลอไรด์ไอออนกับน้ำ ต่อไปนี้จะเขียนแทนเป็น MMH ซึ่ง MMH ไม่เพียงแต่จะประกอบด้วยคลอไรด์ไอออน ยังสามารถแทนที่ได้อย่างง่ายดายโดยประจุลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เห็นใบเซอร์เวอชันนี้ กรุณาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่น ๆ แต่อนุภาคนาโนคอลลอยด์ของ MMH มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเล็ก และสามารถแพร่กระจายได้ง่ายในน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของประจุลบอื่น ๆ จะเพิ่มขึ้น ดังนั้น MMH จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นเอกลักษณ์และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุไอออน

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yujiang Li และคณะ [9] ศึกษาการกำจัดสีย้อม Red K-2BP ซึ่งเป็นสีย้อมประเภทแอนไอออนิก โดยกระบวนการที่ใช้เป็นการดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากสารอลูมิเนียมคลอไรด์และแมกนีเซียมคลอไรด์ผสมกับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminum magnesium mixed metal hydroxide, MMH) ซึ่งเตรียมได้จากการตกตะกอนร่วมกัน นำไปวิเคราะห์หาเอกลักษณ์ด้วยเครื่อง XRD TEM โดยกระบวนการจะถูกควบคุมด้วยค่าความเป็นกรดต่าง เวลา ความเข้มข้นของสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับและอุณหภูมิ ซึ่งประสิทธิภาพของการดูดซับได้ดีของ MMH คือช่วงพีเอชของสีย้อมอยู่ที่ 4 ถึง 11 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 4 ชั่วโมง ปริมาณของตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปฏิกริยาที่เกี่ยวข้องจะเป็นการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งจะเกิดบนพื้นผิวและปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกริยาดูดความร้อน โดยตัวดูดซับสามารถที่จะดูดซับสีจากโรงพิมพ์และโรงงานสี มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีอยู่ในช่วงร้อยละ 93.8 ถึง 96.7 ซึ่งทำให้มีค่า COD อยู่ในช่วงร้อยละ 77.9 ถึง 83.6

O. Gulnaz และคณะ [10] ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟด้วย Dried activated sludge โดยสีย้อมรีแอคทีฟที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ รีแอคทีฟแบล็ค 5 พบว่าระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ของ Dried activated sludge ซึ่งจะเกิดการดูดซับจะเกิดได้ดีในช่วง 15 นาทีแรก สามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้ร้อยละ 50 และเมื่อพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 มีค่าเท่ากับ 2.0 4.0 และ 6.0 ค่าความจุในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 จะมีค่าเท่ากับ 74.00 52.00 และ 14.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 มีค่าเท่ากับ 20 35 และ 50 องศาเซลเซียส ค่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 จะมีค่าเท่ากับ 74.00 62.00 และ 47.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 มีค่าเท่ากับ 5.00 100.00 และ 200.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ความจุการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 จะมีค่าเท่ากับ 34.00 74.00 และ 104.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

J-W. Lee และคณะ [11] ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสีย้อมชนิดรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยวิธีการดูดซับและการตกตะกอนด้วยสารเคมี โดยใช้ตัวดูดซับจากผงมะพร้าวผสมกับถ่านกัมมันต์ (PAC) และใช้สารส้มเป็นตัวที่ทำให้ตกตะกอน พบว่า ค่าความจุในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 มีค่าสูงกว่ารีแอคทีฟแบล็ค 5 และความสามารถในการดูดซับขึ้นกับพีเอชของสารละลาย โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมของสาร 100 มิลลิกรัมต่อลิตรของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 โดยพิจารณาการตกตะกอนคิดเป็นร้อยละ 99 และ 80 ตามลำดับ สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (ปริมาณสารที่ใช้ให้ตกตะกอนเท่ากับ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 6) และสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 (ปริมาณสารที่ใช้ให้ตกตะกอน เท่ากับ 350 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 6) โดยที่การตกตะกอนเกิดขึ้นก่อนการกระบวนดูดซับ พบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่า การที่กระบวนดูดซับเกิดก่อนที่จะมีการตกตะกอน แสดงให้เห็นว่าความจุในการดูดซับของ PAC มีค่าสูงขึ้น เมื่อทำให้ตกตะกอนแล้วแยกออกก่อนที่จะนำมาดูดซับ ดังนั้นการประยุกต์ใช้กระบวน การตกตะกอนร่วมกับการดูดซับสามารถกำจัดได้อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งลดปริมาณการใช้สารที่ทำให้ ตกตะกอน สารดูดซับ และสารที่เกิดตะกอนให้น้อยที่สุด

M. Sundrarajan และคณะ [12] ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสีย้อมชนิดรีแอคทีฟที่ใช้แล้ว คือ สีเหลืองและสีฟ้าที่ได้จากกระบวนการย้อมผ้าฝ้าย ด้วยการออกซิไดซ์ด้วยโอโซนในคอลัมน์ปฏิบัติการ ด้วยอัตรา 0.16 กรัมต่อนาที่ ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสี COD และ TOC ซึ่งจากการศึกษาพบว่า สามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟได้ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที สามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟ สีเหลืองและสีฟ้า โดยใช้ปริมาณโอโซน 37.5 และ 36 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การกำจัดสีย้อม รีแอคทีฟที่ใช้แล้วในน้ำทิ้งด้วยวิธีโอโซนชั้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามก็ส่งผลต่อ ค่า COD พบว่า สีเหลืองและสีฟ้ามีค่า COD ที่ระยะเวลาสัมผัสสูงถึง 20 นาทีและ 40 นาที ตามลำดับ โดยใช้ปริมาณโอโซน 65.8 และ 76.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สามารถกำจัด COD ได้ร้อยละ 50 สำหรับสีฟ้าและร้อยละ 48 สำหรับสีเหลือง ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัด TOC กำจัดได้ร้อยละ 51 และ 42 สำหรับสีฟ้าและสีเหลือง ตามลำดับ คุณภาพการย้อมสีก็ไม่ได้รับผลกระทบจากการใช้ซ้ำ ของสองระบบ

เทพฤทธิ บิตฤทธิ [13] ได้ศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟในสารละลายสีย้อม โดยการดูดซับ ด้วยซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว ซึ่งซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ และในการศึกษาใช้สีย้อมรีแอคทีฟ 3 ชนิด ได้แก่ (1) รีแอคทีฟเรด 2 (2) รีแอคทีฟเรด 120 และ (3) รีแอคทีฟเรด 141 จากการศึกษพบว่า เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบอยู่ในช่วง ตั้งแต่ 2.0-10.0 การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟทั้ง 3 ชนิดของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว จะมีประสิทธิภาพดี โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่าร้อยละ 82 89 และ 98 สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟเรด 2 รีแอคทีฟเรด 120 และ รีแอคทีฟเรด 141 ตามลำดับ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5.0 ประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 5.0 และสารดูดซับมีขนาดตั้งแต่ 75-250 ไมโครเมตร พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ ทั้ง 3 ชนิดจะมีค่าลดลง เมื่อสารดูดซับมีขนาดเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบจาก 30-60 องศาเซลเซียส

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. น้ำกลั่น
4. แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรตวิเคราะห์
5. สีย้อมสังเคราะห์รีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) บริษัท Sigma Aldrich จำกัด เกรตวิเคราะห์
6. สีย้อมสังเคราะห์รีแอคทีฟออเรนจ์ 16 (RO16) บริษัท Sigma Aldrich จำกัด เกรตวิเคราะห์
7. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรตวิเคราะห์
8. อลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Ajax Finechem จำกัด เกรตวิเคราะห์

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กรวยแก้ว
2. กระจกนาฬิกา
3. กระดาษกรองเบอร์ 2
4. กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์
5. กระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร
6. โกร่งบดสาร
7. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
8. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 250 500 และ 1000 มิลลิลิตร
9. จุกยางสำหรับขวดสาร
10. ซ้อนตักสาร
11. แท่งแก้วคนสาร
12. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
13. ปีกเกอร์ขนาด 50 250 และ 600 มิลลิลิตร
14. ปิเปตขนาด 5 10 25 และ 50 มิลลิลิตร
15. หลอดหยด
16. เครื่องกวนและแท่งแม่เหล็ก
17. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบ 4 ตำแหน่ง
18. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. ตู้ดูดควัน
20. ตู้อบ (Oven)
21. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Water bath shaking)
22. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น MA10 ยี่ห้อ EVO
23. เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, UV-Vis) รุ่น 10S ยี่ห้อ UV Thermo
24. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) รุ่น D8 Advance ยี่ห้อ Bruker AXS
25. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) รุ่น SRS 3400 ยี่ห้อ Bruker AXS

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ MMH

- 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 $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
 - ชั่ง $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ มา 120.75 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 MMH ด้วยวิธีการตกตะกอน

ในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมตัวดูดซับ MMH ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมของ $MgCl_2$ และ $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ต่าง ๆ กันดังนี้

- 3.3.2.1 นำ $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 0.5:1 (MMH-0.5)
- 3.3.2.2 นำ $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 1:1 (MMH-1.0)
- 3.3.2.3 นำ $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 2:1 (MMH-2.0)
- 3.3.2.4 นำ $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 3:1 (MMH-3.0)
- 3.3.2.5 นำ $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 4:1 (MMH-4.0)
- 3.3.2.6 นำ $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 5:1 (MMH-5.0)

ตัวอย่าง วิธีการเตรียมตัวดูดซับ MMH-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 $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 33.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.67 โมลาร์
3. นำสารละลาย $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ผสมกับ $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 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. พร้อมทำการปั่นกวน จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนอย่างสมบูรณ์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
6. เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้ว ทำการกรองตะกอนด้วยชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน โดยล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนมีพีเอชเป็นกลาง
7. อบตะกอนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นแบ่งตะกอนเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเครื่อง XRD และ XRF พร้อมทั้งวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM
8. ส่วนที่สองคือตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 0.5:1 ซึ่งจะนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ต่อไป
9. ทำซ้ำข้อ 1-8 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al โดยใช้ความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตและอลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MMH

ตัวดูดซับ	อัตราส่วนโดย โมล Mg/Al	MgCl ₂ •6H ₂ O		AlCl ₃ •6H ₂ O	
		ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (ml)	ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (ml)
MMH-0.5	0.5:1	0.33	50	0.67	50
MMH-1.0	1:1	0.50	50	0.50	50
MMH-2.0	2:1	0.67	50	0.33	50
MMH-3.0	3:1	0.75	50	0.25	50
MMH-4.0	4:1	0.80	50	0.20	50
MMH-5.0	5:1	0.83	50	0.17	50

หมายเหตุ ความเข้มข้นของสารละลาย MgCl₂•6H₂O และ AlCl₃•6H₂O ตามตาราง จะใช้จาก stock solution

3.3.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16

1. ชั่งสีย้อมตัวอย่างปริมาณ 1.000 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วคนให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีย้อมตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 1000 ppm แล้วนำไปบรรจุไว้ในขวดสีชาเพื่อป้องกันการดูดซับแสง (ใช้เป็น stock solution I)

2. ปิเปตสารละลายสีย้อมตัวอย่างจาก stock solution I ปริมาตร 12.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีย้อมตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 50 ppm (ใช้เป็น stock solution II)

3. ปิเปตสารละลายสีย้อมตัวอย่างความเข้มข้น 50 ppm จาก stock solution II ตามปริมาตรในตารางที่ 3.2 ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำมาตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 598 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5) และความยาวคลื่น 493 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16) นำผลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16

ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมที่ได้ใน การเตรียมกราฟมาตรฐาน (mg/L)	ปริมาตรสารละลายสีย้อมความเข้มข้น 50 mg/L ที่ต้องทำการปิเปต (ml)
1	1
2	2
4	4
6	6
8	8

3.3.4 การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 โดยใช้ MMH

เป็นตัวดูดซับ

ตอนที่ 1 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีย้อม

1. ปิเปตสารละลายสีย้อมจาก stock solution I ความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้น 200 ppm จากนั้นเทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. ปรับพีเอชของสารละลายสีย้อมด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ หรือปรับด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ในการทดสอบพีเอชจนได้ค่าเท่ากับ 2
3. เติมตัวดูดซับ MMH ที่สังเคราะห์ได้จากตอน 3.3.2 ปริมาณ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (สารละลายสีย้อม 250 มิลลิลิตร จะใช้ปริมาณตัวดูดซับ MMH 200 มิลลิกรัม) จากนั้นนำไปเขย่าด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที
4. เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำสารละลายสีย้อมไปกรองแบบลดความดัน เพื่อนำตัวดูดซับ MMH ออกจากสารละลายสีย้อม จากนั้นนำสารละลายสีย้อมที่ผ่านการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 598 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5) และความยาวคลื่น 493 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16) เพื่อให้ทราบความเข้มข้นสีย้อมที่เหลือ
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนพีเอชในการทดสอบตามสภาวะที่กำหนดในตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบบสี 5 และรีแอคทีฟ
ออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH

การทดลอง	ชนิดสีย้อม	พีเอชของสารละลายสีย้อม	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของ MMH	ปริมาณตัวดูดซับ MMH (mg/L)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)
1	RB5	2	2:1	800	60	30
2		4				
3		6				
4		8				
5		10				
1	RO16	2	2:1	800	60	30
2		4				
3		6				
4		8				
5		10				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมของตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสียอม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกพีเอชที่ให้ร้อยละของการกำจัดสียอมสูงที่สุดจากตอนที่ 1 แล้วทำการเปลี่ยนตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมของตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสียอมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16

การทดลอง	ชนิดสียอม	พีเอชของสารละลายสียอม	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของ MMH	ปริมาณตัวดูดซับ MMH (mg/L)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)
1	RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสียอมสูงที่สุด	0.5:1	800	60	30
2			1:1			
3			2:1			
4			3:1			
5			4:1			
6			5:1			
1	RO16	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสียอมสูงที่สุด	0.5:1	800	60	30
2			1:1			
3			2:1			
4			3:1			
5			4:1			
6			5:1			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสีข้อม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกพีเอชและตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียม ที่ให้ร้อยละของการกำจัดสีข้อมสูงที่สุดจากตอนที่ 1 และ 2 แล้วทำการเปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับ MMH ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสีข้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16

การทดลอง	ชนิดสีข้อม	พีเอชของสารละลายสีข้อม	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของ MMH	ปริมาณตัวดูดซับ MMH (mg/L)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)
1	RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีข้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีข้อมสูงที่สุด	600	60	30
2		3.3	3.4	800		
3		การกำจัด	การกำจัด	1000		
4		สีข้อมสูงที่สุด	สีข้อมสูงที่สุด	1200		
1	RO16	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีข้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีข้อมสูงที่สุด	600	60	30
2		3.3	3.4	800		
3		การกำจัด	การกำจัด	1000		
4		สีข้อมสูงที่สุด	สีข้อมสูงที่สุด	1200		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 4 การศึกษาผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกพีเอช เลือกตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วน โดยโมลแมกนีเซียมต่อลูมิเนียมที่เหมาะสม เลือกปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุดจากตอนที่ 1 2 และ 3 แล้วทำการเปลี่ยนเวลาในการดูดซับ ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอดทีฟแบล็ค 5 และ รีแอดทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH

การทดลอง	ชนิดสีย้อม	พีเอชของสารละลายสีย้อม	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของ MMH	ปริมาณตัวดูดซับ MMH (mg/L)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)
1	RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	30	30
2					60	
3					120	
4					180	
1	RO16	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	30	30
2					60	
3					120	
4					180	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 5 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสียอม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกพีเอช เลือกตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วน โดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมที่เหมาะสม เลือกปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมและเวลาที่ให้ร้อยละของการกำจัดสียอมสูงที่สุดจากตอนที่ 1 2 3 และ 4 แล้วทำการเปลี่ยนอุณหภูมิของการดูดซับตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสียอมรีแอดทีฟแบล็ค 5 และรีแอดทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH

การทดลอง	ชนิดสียอม	พีเอชของสารละลายสียอม	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของ MMH	ปริมาณตัวดูดซับ MMH (mg/L)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)
1	RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสียอมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสียอมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสียอมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสียอมสูงที่สุด	30
2						50
3						70
1	RO16	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสียอมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสียอมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสียอมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสียอมสูงที่สุด	30
2						50
3						70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 6 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

การศึกษาการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ว่าเป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์หรือฟรุนดลิช มีขั้นตอนการทดลองและการคำนวณดังนี้

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกพีเอช อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของ MMH ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม จากตอนที่ 1-3 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมทั้ง 2 ชนิด เป็น 100 200 300 และ 500 mg/L ทำการดูดซับเป็นเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C จากนั้นหาความเข้มข้นของสีย้อมที่สมดุล (C_e) ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH

การทดลอง	ชนิดสีย้อม	พีเอชของสารละลายสีย้อม	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของ MMH	ปริมาณตัวดูดซับ MMH (mg/L)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นของสีย้อม (mg/L)
1	RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้	100
2		ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	200
3							300
4							500
1	RO16	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้	100
2		ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	200
3							300
4							500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำนวณหาปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับบน MMH ที่ภาวะสมดุล (q_e) จากสมการที่ (3.1)

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

เมื่อ	q_e	คือ	ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับบน MMH ที่ภาวะสมดุล (mg/g)
	C_i	คือ	ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น (mg/L)
	C_e	คือ	ความเข้มข้นสีย้อมที่ภาวะสมดุล (mg/L)
	V	คือ	ปริมาตรของสารละลายสีย้อม (L)
	W	คือ	น้ำหนักของตัวดูดซับ MMH (g)

3. นำค่า q_e และ C_e ของแต่ละความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 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

3.3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MMH

ตัวดูดซับ MMH ที่ได้จากการสังเคราะห์ในตอนต้นที่ 3.3.2 จะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

3.3.5.1 สัณฐานวิทยาของตัวดูดซับ MMH ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)



รูปที่ 3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

3.3.5.2 วัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer)



รูปที่ 3.2 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.3 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MMH ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)



รูปที่ 3.3 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)

3.3.5.4 วิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ MMH ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)



รูปที่ 3.4 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

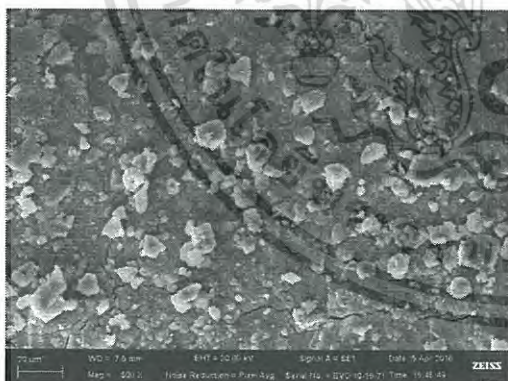
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์และศึกษาประสิทธิภาพตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของอลูมิเนียมและแมกนีเซียม (MMH) ในการกำจัดสีของรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 โดยการนำเสนอผลการวิจัยและการอภิปรายผลจะกล่าวถึงคุณสมบัติของ MMH และอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกำจัดสีของรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ได้แก่ พีเอชของสารละลายสีย้อมที่เหมาะสมต่อการดูดซับ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมของ MMH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

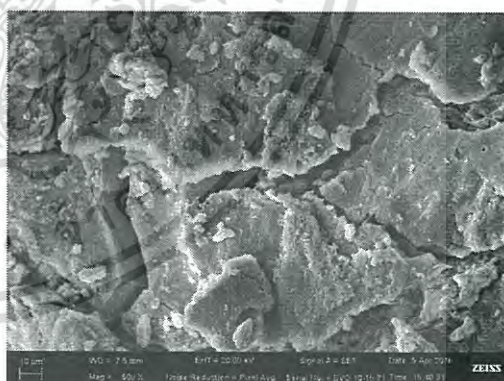
4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MMH

4.1.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH

ตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 0.5:1 และ 3:1 ที่ยังไม่ได้อัดซับสีย้อม จะถูกนำมาตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 500 1500 และ 3500 เท่า จะแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบที่ 4.1



(ก)

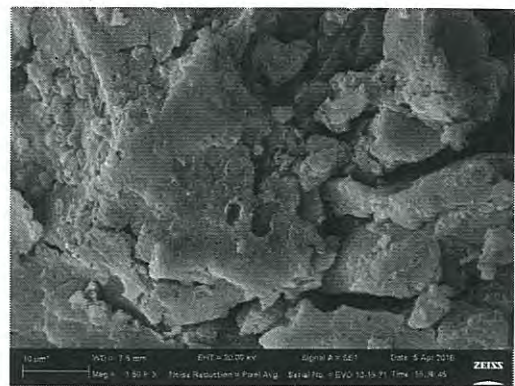


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH จากล่องจูลทรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

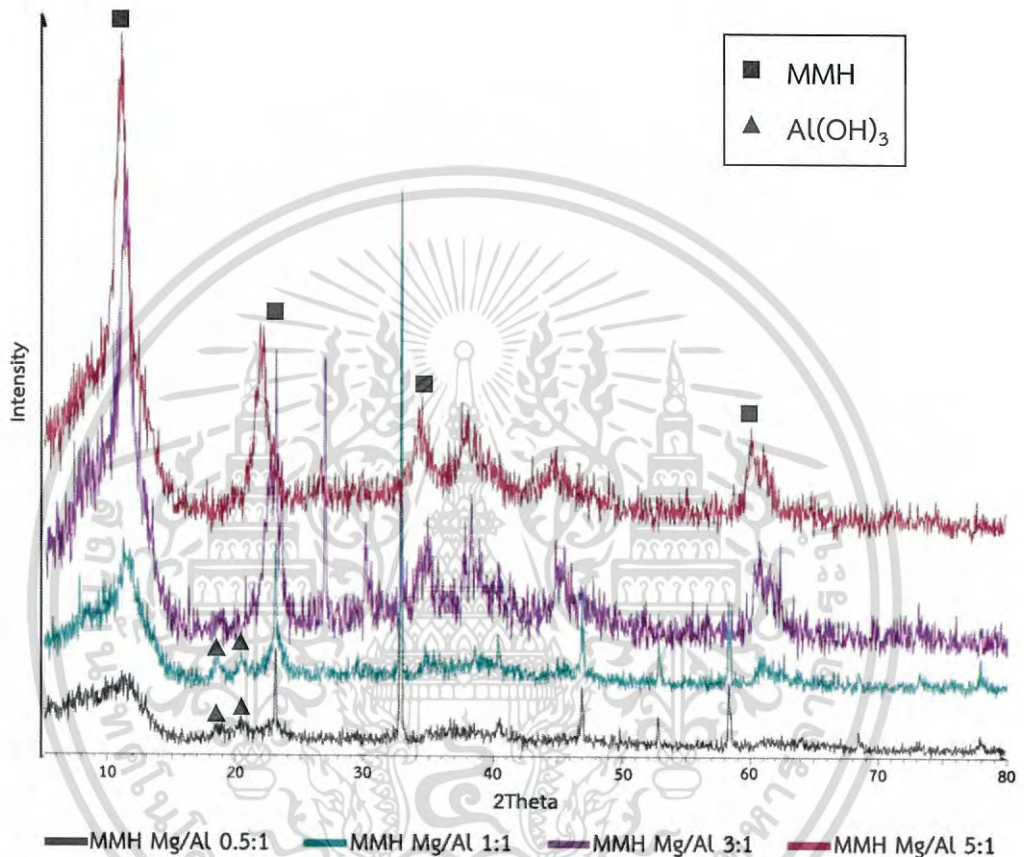
- (ก) และ (ข) เป็นลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 0.5:1 และ 3:1 (กำลังขยาย 500 เท่า)
- (ค) และ (ง) เป็นลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 0.5:1 และ 3:1 (กำลังขยาย 1500 เท่า)
- (จ) และ (ฉ) เป็นลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 0.5:1 และ 3:1 (กำลังขยาย 3500 เท่า)

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นได้ว่า ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH ทั้งสองอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al จะมีลักษณะขรุขระ ผิวไม่เรียบ ดังที่แสดงในรูป (ก) ถึง (ฉ) โดยพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 3:1 จะมีรูพรุนชัดเจนกว่าที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 0.5:1 และยิ่งพบอีกว่าขนาดของผลึกของตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 3:1 จะมีขนาดใหญ่กว่าที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 0.5:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

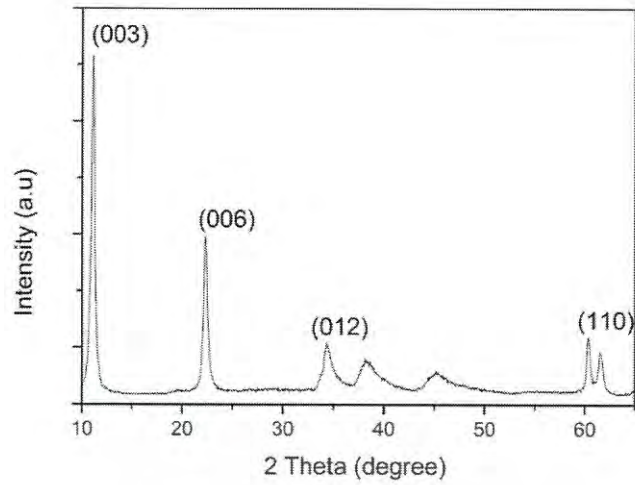
4.1.2 โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MMH

ตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 0.5:1 1:1 3:1 และ 5:1 จะถูกนำไปวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MMH แสดงในรูปที่ 4.2 สำหรับดิฟแฟรคโทแกรมของ $Mg(OH)_2$ และ $Al(OH)_3$ แสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

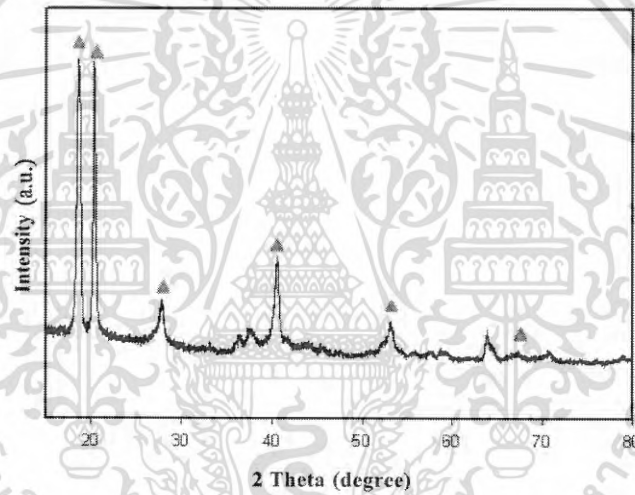


รูปที่ 4.2 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ต่าง ๆ

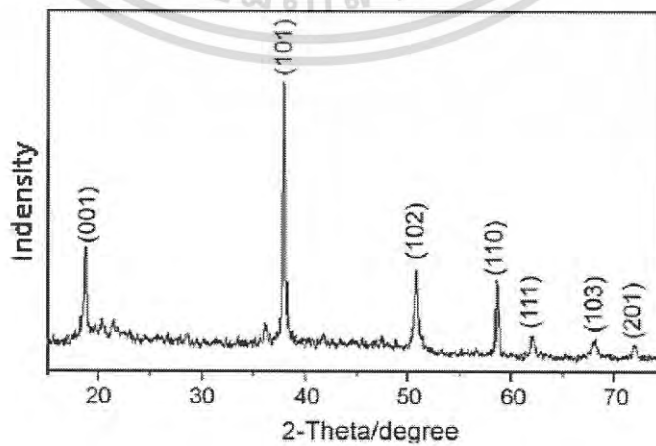
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ดิฟแฟรคโทแกรมของไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม [14]



รูปที่ 4.4 ดิฟแฟรคโทแกรมของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al(OH)₃) [15]



รูปที่ 4.5 ดิฟแฟรคโทแกรมของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Mg(OH)₂) [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้พิมพ์เอกสารฉบับนี้เป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากดิฟแฟรคโทแกรมในรูปแบบที่ 4.2 MMH แสดงให้เห็นว่า ทุกอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al จะปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 10° 22° 35° 40° และ 60° ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของ MMH (เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.3) โดยจะสังเกตได้ว่า เมื่ออัตราส่วนโดยโมล Mg/Al น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 จะปรากฏพีคเอกลักษณ์ของ $Al(OH)_3$ เกิดขึ้นด้วยที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 18° และ 20° (เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.4) แสดงให้เห็นว่า เมื่อสังเคราะห์ MMH โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ Mg น้อยกว่าหรือเท่ากับ Al จะเกิด MMH ผสมกับ $Al(OH)_3$ เมื่ออัตราส่วนโดยโมล Mg/Al มากกว่า 1 พีคเอกลักษณ์ของ $Al(OH)_3$ จะค่อย ๆ ลดลงและหายไป โดยที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เป็น 3:1 และ 5:1 จะไม่พบพีคของ $Al(OH)_3$ นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่า ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al มากกว่า 1 จะไม่พบพีคของ $Mg(OH)_2$ (เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.5) แสดงให้เห็นว่า ตัวดูดซับ MMH ที่สังเคราะห์ได้ ไม่มีการเจือปนของ $Mg(OH)_2$ อยู่เลย

4.1.3 องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ MMH

ตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 0.5:1 1:1 และ 3:1 ที่ยังไม่ได้ดูดซับ สีย้อมจะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบที่เป็นโลหะด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) จะแสดงผลวิเคราะห์ทั้งหมดในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของโลหะในตัวดูดซับ MMH ด้วยวิธีวิเคราะห์ XRF

อัตราส่วน โดยโมล Mg/Al (ที่ กำหนด)	MgO (%) โดย น้ำหนัก	Al ₂ O ₃ (%) โดย น้ำหนัก	CuO (%) โดย น้ำหนัก	SiO ₂ (%) โดย น้ำหนัก	CaO (%) โดย น้ำหนัก	Fe ₂ O ₃ (%) โดย น้ำหนัก	Mg (%) โดย โมล	Al (%) โดย โมล	อัตราส่วน โดยโมล Mg/Al (จากผล วิเคราะห์)
0.5:1	35.9	80.1	1.45	0.505	0.236	0.214	21.7	58.5	0.41:1
1:1	43.3	45.0	0.293	0	0.149	0.203	26.1	23.82	1.21:1
3:1	76.7	28.2	0.282	0.247	0	0.272	41.22	14.93	3.07:1

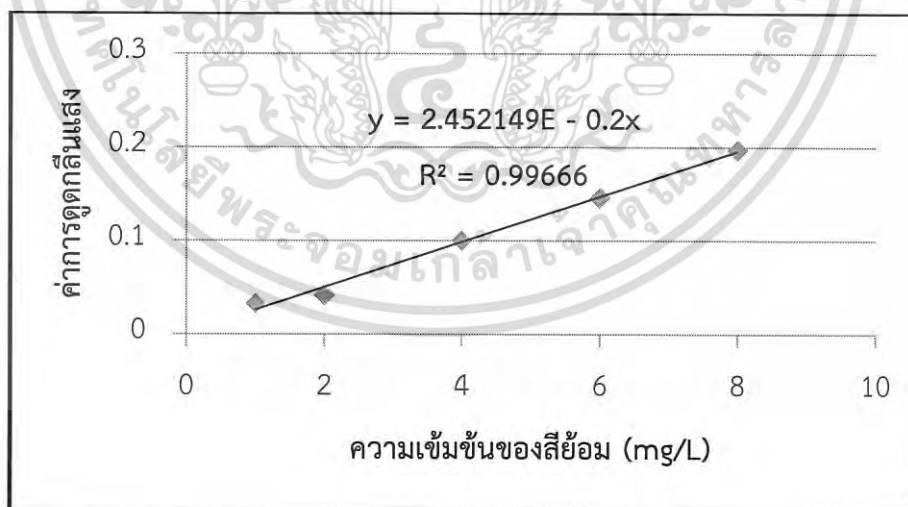
จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอน และตรวจวัดด้วย XRF มีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ที่กำหนดไว้

4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16

จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 8 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 598 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5) และความยาวคลื่น 493 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16) ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงจะแสดงผลในตารางที่ 4.2 และได้นำไปสร้างกราฟมาตรฐานในรูปที่ 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.2 ค่า Absorbance ของสารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16

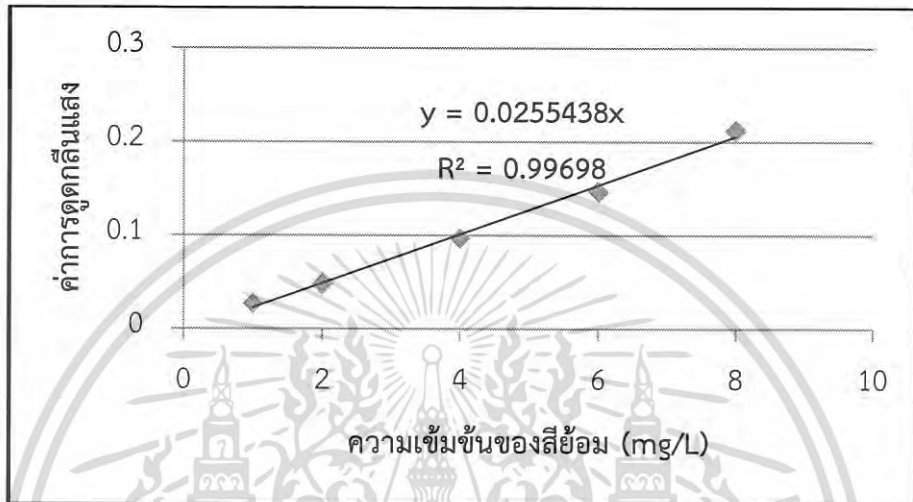
ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมที่ได้ในการเตรียมกราฟมาตรฐาน (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16
1	0.033	0.027
2	0.042	0.048
4	0.100	0.097
6	0.146	0.147
8	0.197	0.212



รูปที่ 4.6 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 กับค่าการดูดกลืนแสง พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง โดยมีค่า $R^2 = 0.99666$ ซึ่งเป็นไปตามสมการ $y = 2.452149E - 02x$ เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนแสง และ x คือความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (mg/L) กราฟมาตรฐานที่ได้จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ที่เหลืออยู่ หลังจากผ่านกระบวนการการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MMH ต่อไป



รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 กับค่าการดูดกลืนแสง พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง โดยมีค่า $R^2 = 0.99698$ ซึ่งเป็นไปตามสมการ $y = 0.0255438x$ เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนแสง และ x คือความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 (mg/L) กราฟมาตรฐานที่ได้จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ที่เหลืออยู่ หลังจากผ่านกระบวนการการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH ต่อไป

4.3 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16

ในการศึกษาผลกระทบที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ พีเอชของสารละลายสีย้อม อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของ MMH ปริมาณของตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ จะแสดงผลในหัวข้อที่ 4.3.1 ถึง 4.3.6

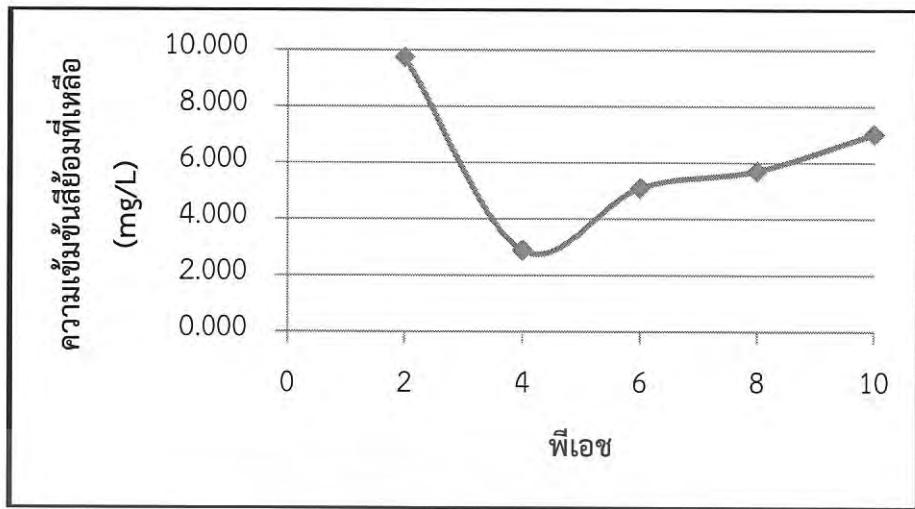
4.3.1 ผลของพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และ รีแอกทีฟออเรนจ์ 16

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 โดยเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายสีย้อมเป็น 2 4 6 8 และ 10 ทำการดูดซับด้วย MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 2:1 ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 800 mg/L เวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อม คือ 60 นาที โดยใช้สีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 mg/L ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ และร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 แสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.8 ถึง 4.11

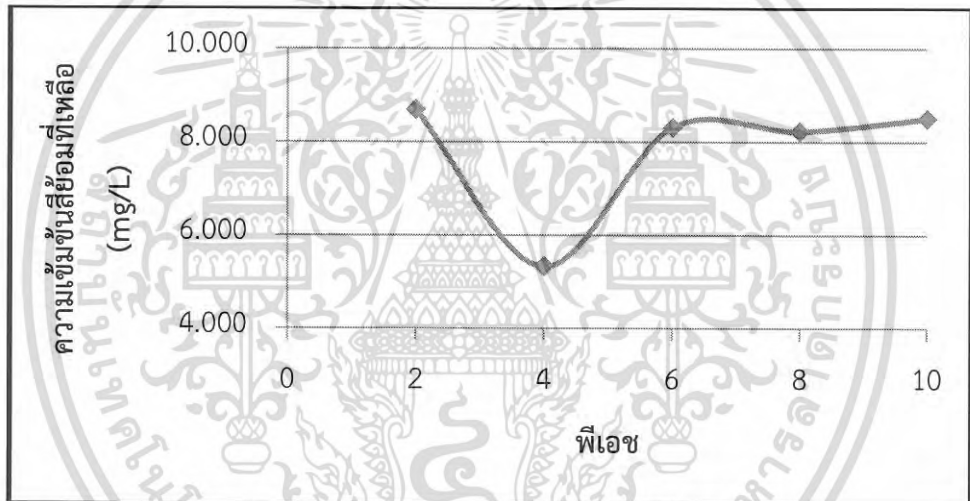
ตารางที่ 4.3 ผลของพีเอชที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 (RB5) และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 (RO16) ด้วยตัวดูดซับ MMH

ชนิดสีย้อม	พีเอชของสารละลายสีย้อม	ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
RB5	2	9.747	95.13
	4	2.895	98.55
	6	5.098	97.45
	8	5.709	97.15
	10	7.014	96.49
RO16	2	8.691	95.65
	4	5.324	97.34
	6	8.299	95.85
	8	8.221	95.89
	10	8.495	95.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

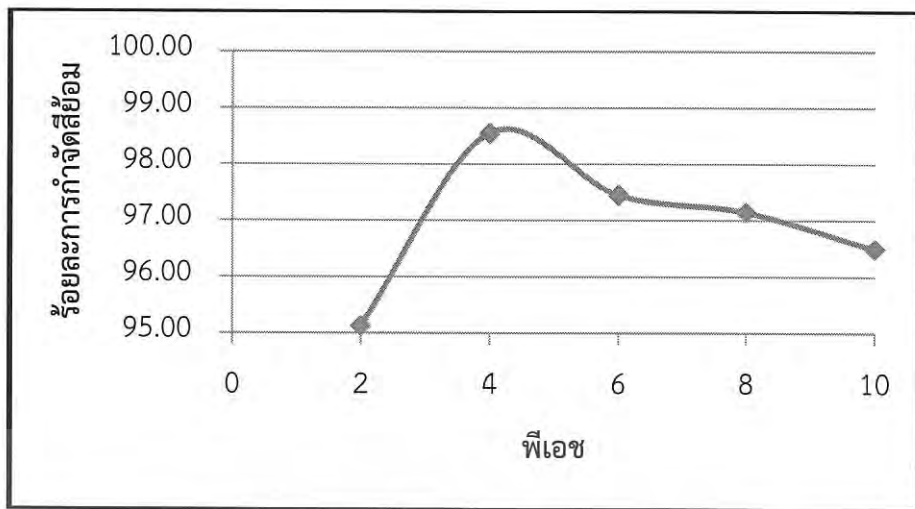


รูปที่ 4.8 ผลของฟืเอชสารละลายน้ีสีย้อมที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของน้ีสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5

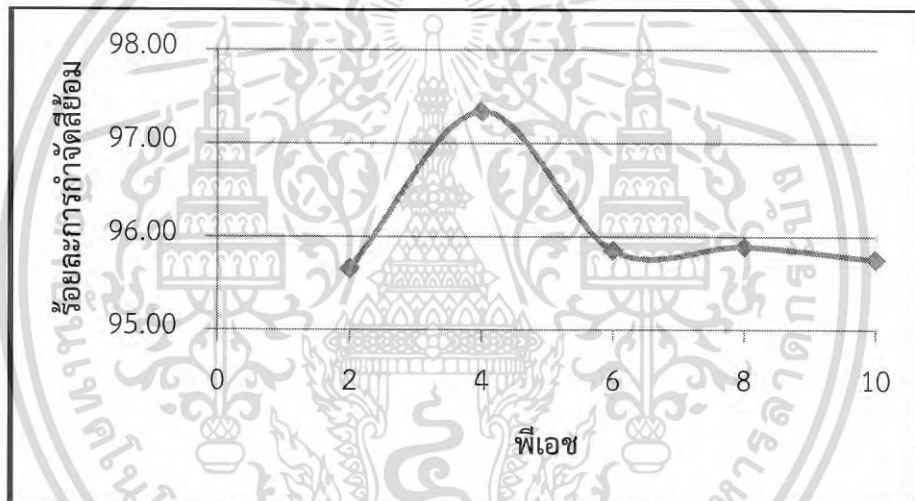


รูปที่ 4.9 ผลของฟืเอชสารละลายน้ีสีย้อมที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของน้ีสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อมที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5



รูปที่ 4.11 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อมที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 จะเห็นได้ว่า เมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ที่เหลืออยู่หลังการดูดซับมีแนวโน้มลดลง โดยที่พีเอชเท่ากับ 4 จะมีความเข้มข้นของสีย้อมคงเหลือต่ำที่สุด แต่เมื่อเพิ่มพีเอชมากกว่า 4 ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.10 ที่แสดงร้อยละของการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ที่พีเอชเท่ากับ 4 จะมีร้อยละของการกำจัดสีย้อมสูงสุดถึงร้อยละ 98.55 และรูปที่ 4.11 แสดงร้อยละของการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 สูงสุดถึงร้อยละ 97.34 แต่เมื่อสารละลายมีพีเอชมากกว่า 4 ร้อยละการกำจัดสีย้อมจะมีแนวโน้มลดลง ดังนั้น ที่พีเอชเท่ากับ 4 จึงเป็นสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการกำจัดสีย้อมจะอาศัยการเกิดการดูดซับระหว่างตัวดูดซับ MMH กับสีย้อมรีแอคทีฟแบบลึค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ซึ่งตัวดูดซับ MMH เป็นสารชนิด Hydrotalcite และเป็นคอลลอยด์ชนิดหนึ่ง มีสูตรโครงสร้างคือ $[Mg_6Al_2(CO)_{10}(OH)_{16}H_2O]^{2-}$ โดยเขียนแทนเป็น Sur-OH เมื่อ Sur แทนพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH ซึ่งพีเอชที่มี Zeta potential = 0 จะเรียกว่า Isoelectric point (IEP) ค่า Isoelectric point จะใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติของตัวดูดซับ MMH โดยวัดจากเครื่อง Microelectrophoretic Mobility Detector โดยตัวดูดซับ MMH มีค่า Isoelectric point อยู่ที่ 10.9 ถ้าตัวดูดซับ MMH มีพีเอชต่ำกว่าค่า Isoelectric point ตัวดูดซับ MMH จะทำหน้าที่รับโปรตอนและกลายเป็นประจุบวก ตามสมการที่ 4.1 [9]



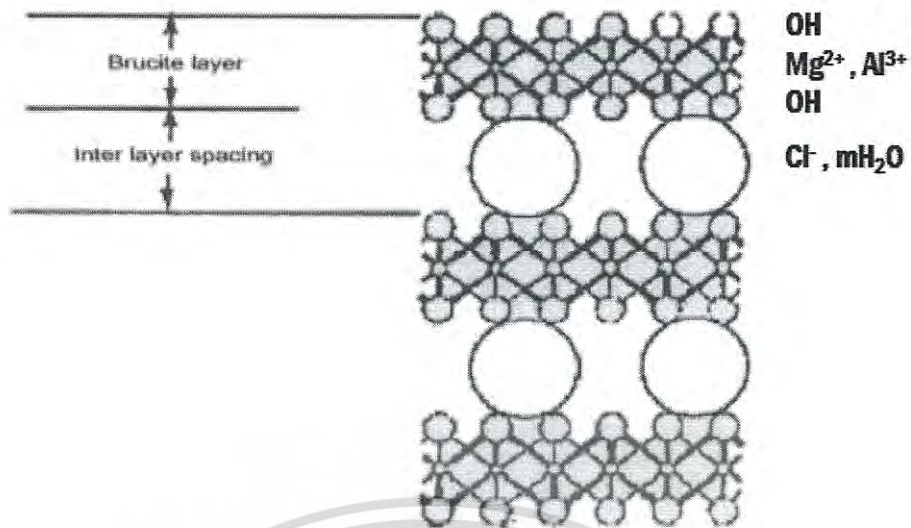
แต่ถ้าตัวดูดซับ MMH มีพีเอชสูงกว่าค่า Isoelectric point ตัวดูดซับ MMH จะทำหน้าที่ให้โปรตอนและกลายเป็นประจุลบ ตามสมการที่ 4.2



ในการทดลองมีการควบคุมพีเอชของสารละลายให้น้อยกว่า 10 ซึ่งต่ำกว่าค่า Isoelectric point ดังนั้น ตัวดูดซับ MMH จึงแสดงประจุบวกที่พื้นผิว ตามสมการ 4.1 โดยกลไกการดูดซับระหว่าง MMH กับสีย้อม อาจเป็นไปได้ 2 กรณี กรณีแรก สีย้อมจะแตกตัวเป็นไอออนลบ (Dye⁻) และเข้าไปดูดซับกับ MMH ที่แสดงประจุบวก (Sur-OH₂⁺) ด้วยแรงดึงดูดของไอออน ดังสมการที่ 4.3

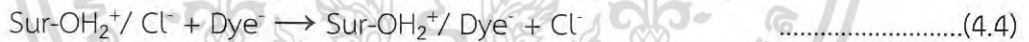


กรณีที่ 2 เนื่องจาก MMH เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นชั้น ๆ ของไฮดรอกไซด์ (Hydroxide layer) โดยมีไอออนของโลหะที่มีประจุ +2 อยู่ในช่อง Octahedral โดยโลหะที่มีประจุ +2 บางส่วนจะถูกแทนที่ด้วยโลหะที่มีประจุ +3 ทำให้ประจุสุทธิบนพื้นผิวของไฮดรอกไซด์เป็นประจุบวก และระหว่างชั้นจะถูกดุลประจุด้วยไอออนที่มีประจุลบ ซึ่งแทรกตัวอยู่ Interlayer anion เช่น CO_3^{2-} , Cl^- หรือ NO_3^- ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ลักษณะโครงสร้างของ MMH [17]

เมื่อ MMH อยู่ในสารละลาย Interlayer anion บางส่วนสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในสารละลาย และไอออนอื่นจะเข้าไปแทนที่ได้ ดังนั้น กลไกการดูดซับของสีย้อมกับ MMH จึงเป็นแบบการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion exchange) โดย Cl^- ซึ่งเป็น Interlayer anion ของ MMH จะแพร่ออกจาก MMH เข้าไปในสารละลาย และสีย้อมที่เป็นประจุลบ (Dye) จะเข้าไปแทนที่ ดังสมการที่ 4.4



จะเห็นได้จากการทดลองว่า สารละลายสีย้อมทั้ง 2 ชนิด ที่มีพีเอชเท่ากับ 4 จะมีประสิทธิภาพของการดูดซับเกิดขึ้นสูงที่สุด แต่ที่พีเอชต่ำกว่า 4 และมากกว่า 4 ร้อยละการดูดซับจะลดลงเล็กน้อย เนื่องจากที่พีเอชต่ำกว่า 4 MMH อาจเกิดการแตกตัว (Dissolution) ได้ เป็นผลจากปริมาณ H^+ ในสารละลายที่มากเกินไป จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับ OH^- ของชั้นไฮดรอกไซด์ และที่พีเอชมากกว่า 4 สีย้อมที่เป็นประจุลบ (Dye) จะเกิดการแข่งขันกับ OH^- ในสารละลาย มีการเข้าไปแทนที่ Cl^- ที่เป็น Interlayer anion ของ MMH จึงทำให้เกิดการดูดซับสีย้อมลดลง [9]

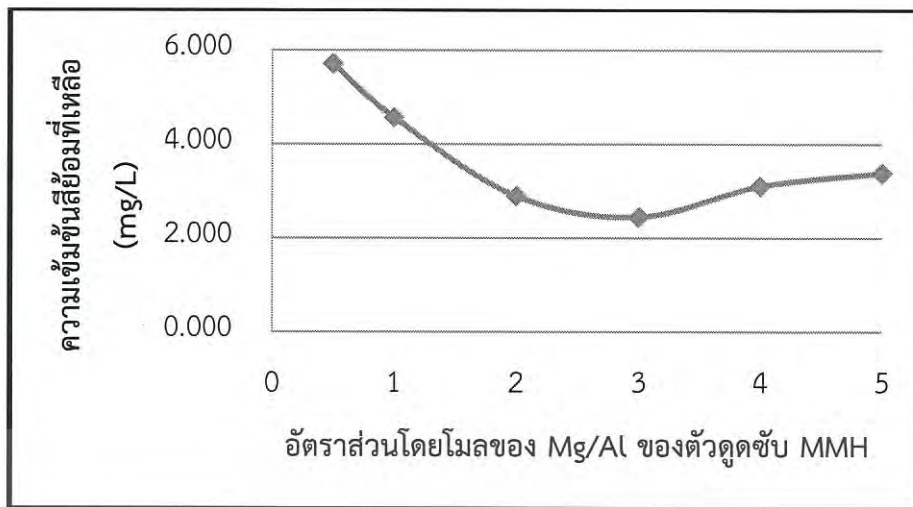
4.3.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH ที่เตรียมขึ้นมาด้วยอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ตั้งแต่ 0.5:1 ถึง 5:1 เวลาในการดูดซับ 60 นาที โดยพีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 4 ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 200 mg/L ปริมาณตัวดูดซับ MMH 800 mg/L ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 แสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.13 ถึง 4.16

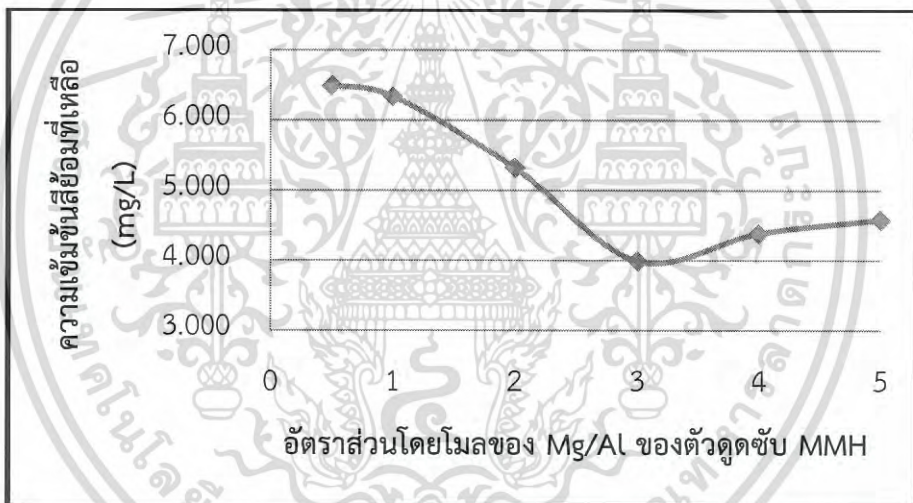
ตารางที่ 4.4 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม Reactiveแบล็ค 5 (RB5) และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 (RO16)

ชนิดของสีย้อม	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
RB5	0.5 : 1	5.709	97.15
	1 : 1	4.567	97.72
	2 : 1	2.895	98.55
	3 : 1	2.447	98.78
	4 : 1	3.099	98.45
	5 : 1	3.385	98.31
RO16	0.5 : 1	6.499	96.75
	1 : 1	6.342	96.83
	2 : 1	5.324	97.34
	3 : 1	3.993	98.00
	4 : 1	4.385	97.81
	5 : 1	4.580	97.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

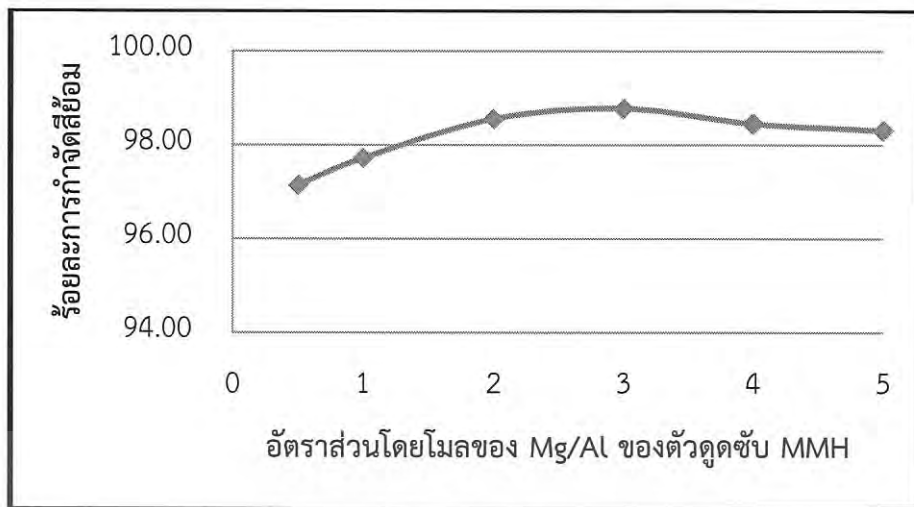


รูปที่ 4.13 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อมรีแอกทีฟแบบสี 5

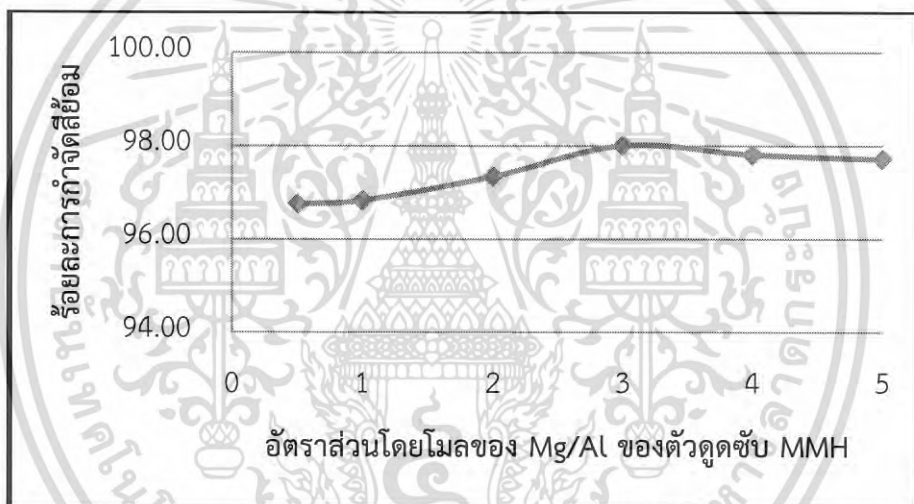


รูปที่ 4.14 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ที่มีผลต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5



รูปที่ 4.16 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16

จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al จาก 0.5:1 เป็น 3:1 ปริมาณสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ที่เหลืออยู่หลังการดูดซับ จะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al เป็น 3:1 ปริมาณสีย้อมที่เหลือต่ำที่สุด แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al มากกว่า 3:1 ปริมาณสีย้อมที่เหลืออยู่จะมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.15 และ 4.16 ซึ่งการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al เท่ากับ 3 จะมีร้อยละการกำจัดสูงสุด คือ 98.78 และ 98.00 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตกตะกอนร่วมกันระหว่างแมกนีเซียมกับอลูมิเนียมในไฮดรอกไซด์นั้น แมกนีเซียมจะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ โดยอลูมิเนียมจะทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะตะกอนของแมกนีเซียมให้อยู่ร่วมกัน จากรูป 4.15 และ 4.16 จะสังเกตได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของแมกนีเซียมจะมีผลทำให้ในผลึกของ MMH มีแมกนีเซียมมากขึ้น ส่งผลให้ขนาดของผลึก MMH ใหญ่ขึ้น และทำให้มีรูพรุนมากกว่า MMH ที่เตรียมจากแมกนีเซียมที่มีปริมาณน้อย จึงส่งผลให้มีการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al มากกว่า 3 การดูดซับสีย้อมจะมีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากแมกนีเซียมมีปริมาณมากไป จึงรวมกันเป็นกลุ่มก้อนและกระจุกตัวรวมกันบนผิวของอลูมิเนียม ทำให้พื้นที่ผิวและรูพรุนมีขนาดลดลง ประสิทธิภาพการดูดซับจึงลดลงด้วย

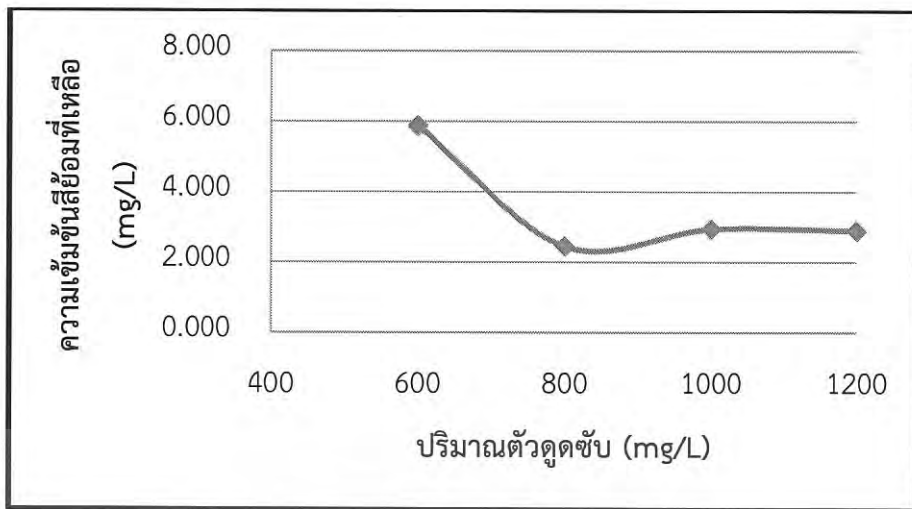
4.3.3 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH

ในการทดลองนี้ จะทำการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวดูดซับ MMH เป็น 600 800 1000 และ 1200 mg/L ด้วยตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 3:1 พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 4 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ คือ 60 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม เท่ากับ 200 mg/L ทำการดูดซับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ และร้อยละการกำจัดสีย้อม แสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.17 ถึง 4.20

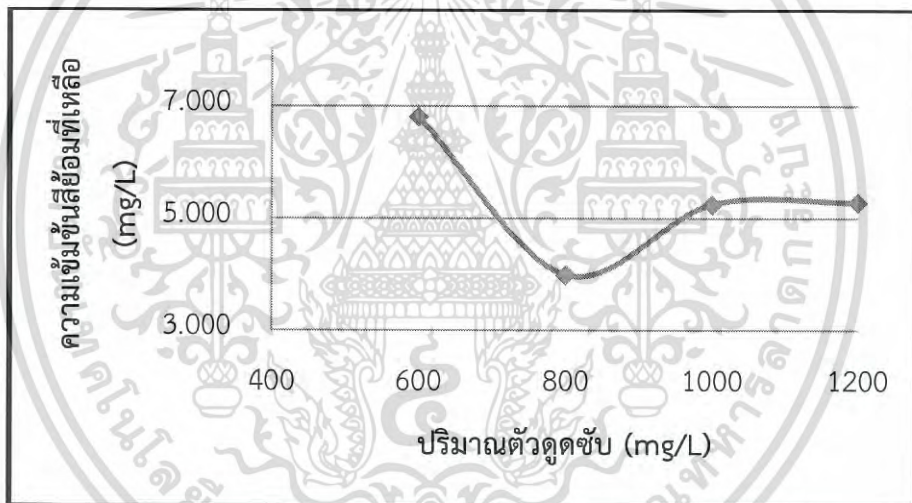
ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 (RB5) และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 (RO16)

ชนิดของสีย้อม	ปริมาณตัวดูดซับ MMH (mg/L)	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
RB5	600	5.872	97.06
	800	2.447	98.78
	1000	2.936	98.53
	1200	2.895	98.55
RO16	600	6.812	96.59
	800	3.993	98.00
	1000	5.246	97.38
	1200	5.285	97.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

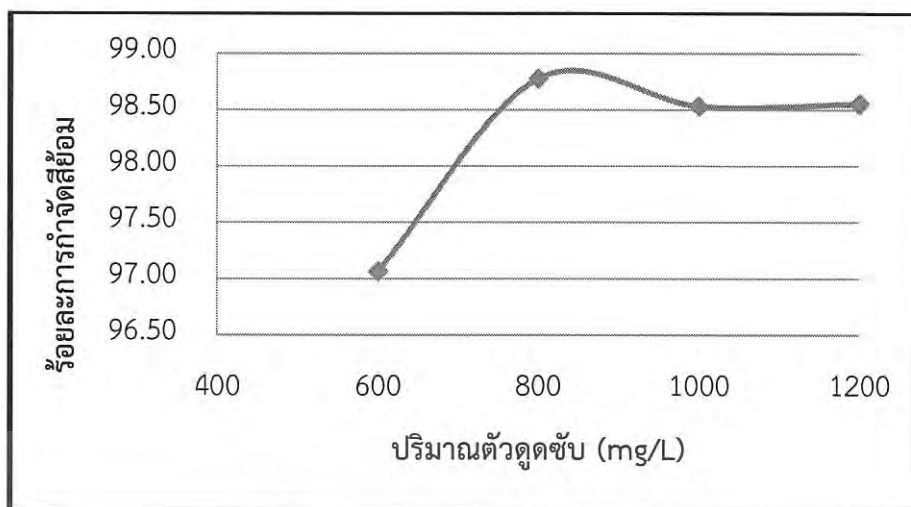


รูปที่ 4.17 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อความเข้มข้นของสิ่งสกปรกที่เหลือนของสีย้อมรีแอคทีฟแบบลิค 5

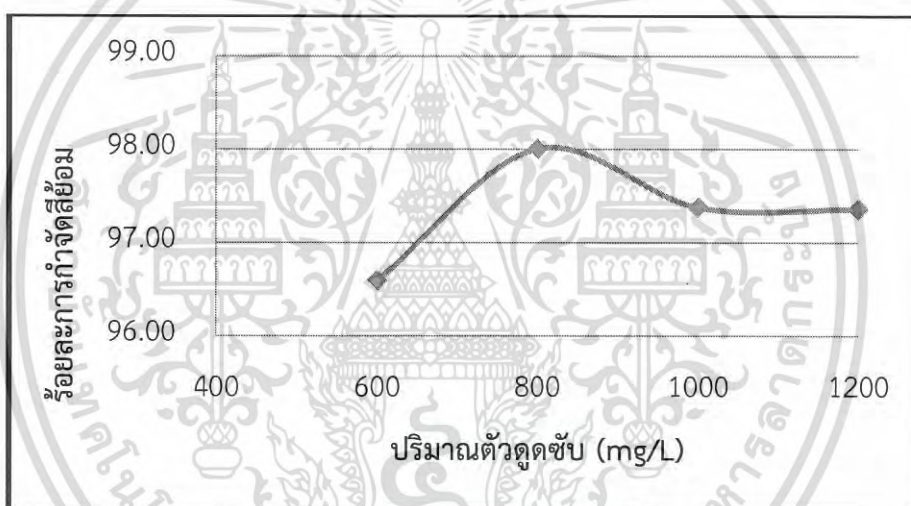


รูปที่ 4.18 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อความเข้มข้นของสิ่งสกปรกที่เหลือนของสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5



รูปที่ 4.20 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับ MMH ในช่วง 600 ถึง 800 mg/L ความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับตัวดูดซับ ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น และสีย้อมที่เป็นประจุลบจะเข้าไปแทนที่ Interlayer anion ได้มากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.19 และ 4.20 ร้อยละการกำจัดสีย้อมที่เพิ่มขึ้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ตามลำดับ

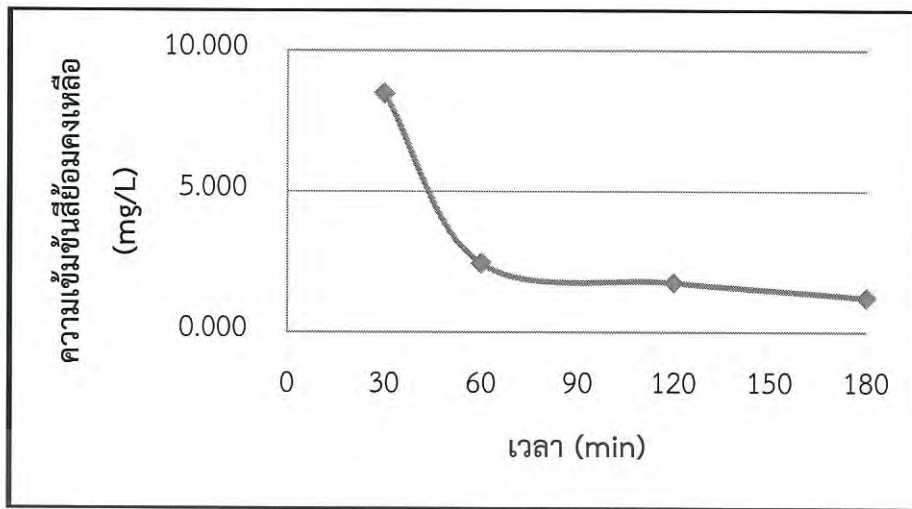
เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ MMH จาก 800 เป็น 1200 mg/L พบว่า ร้อยละการกำจัดสีย้อม ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มคงที่ อาจเป็นไปได้ว่าสีย้อมได้ถูกดูดซับจนถึงสมดุลแล้ว การเพิ่มปริมาณ MMH เกินกว่า 800 mg/L ไม่ส่งผลให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมเพิ่มขึ้น [18] ดังนั้นปริมาณ MMH ที่ใช้ในการดูดซับเท่ากับ 800 mg/L เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่จะกำจัดสีย้อมทั้ง 2 ชนิดได้สูงสุด โดยกำจัด สีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ได้ร้อยละ 98.78 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ได้ร้อยละ 98.00

4.3.4 ผลของเวลาในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16

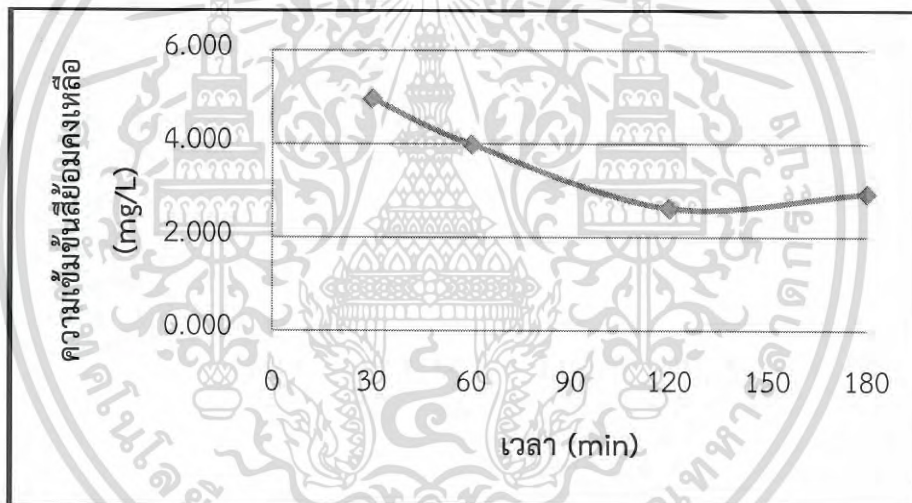
ในการทดลองนี้ จะทำการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการดูดซับเป็น 30 60 120 และ 180 นาที ด้วยตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วน โดยโมล Mg/Al เท่ากับ 3:1 พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 4 ปริมาณของตัวดูดซับ MMH เท่ากับ 800 mg/L ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเป็น 200 mg/L อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ และร้อยละการกำจัดสีย้อมทั้ง 2 ชนิด แสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.21 ถึง 4.24

ตารางที่ 4.6 ผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 (RB5) และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 (RO16)

ชนิดของ สีย้อม	เวลา (min)	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
RB5	30	8.482	95.76
	60	2.447	98.78
	120	1.754	99.12
	180	1.223	99.39
RO16	30	4.972	97.51
	60	3.993	98.00
	120	2.623	98.69
	180	2.936	98.53

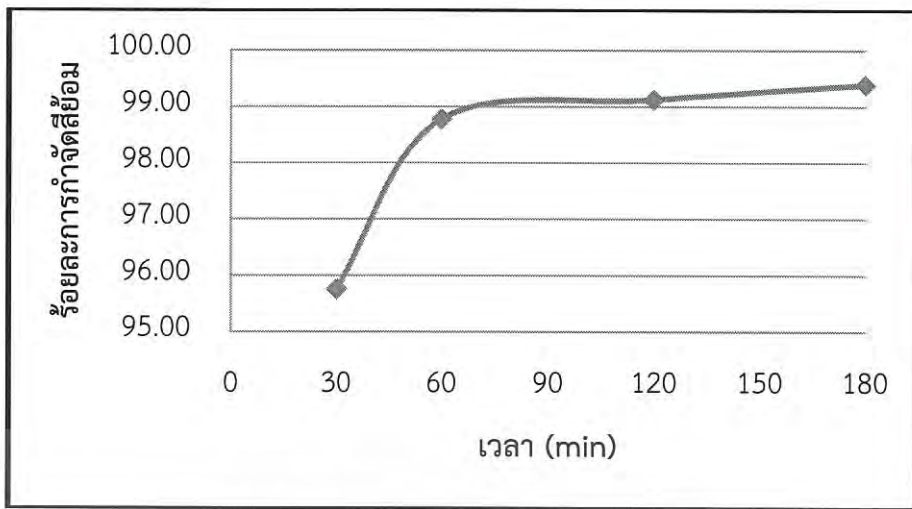


รูปที่ 4.21 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นของซีอีเอ็มรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MMH

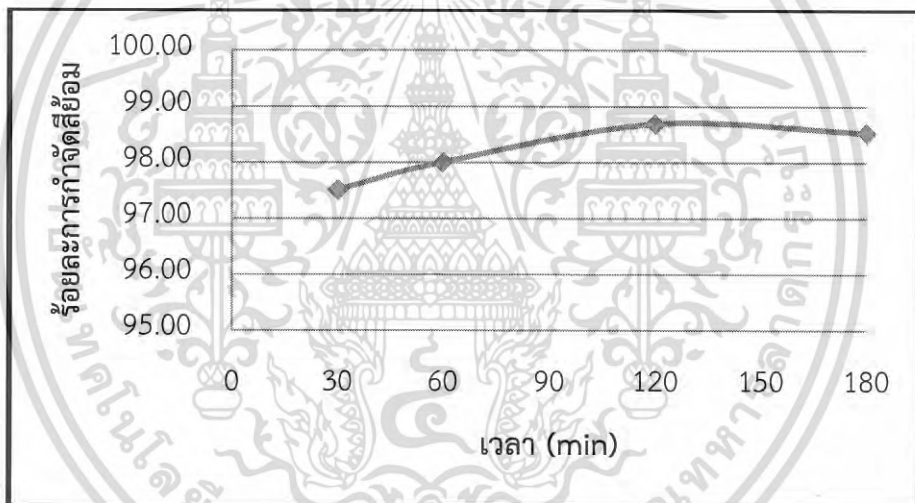


รูปที่ 4.22 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อความเข้มข้นของซีอีเอ็มรีแอคทีฟฟอเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MMH



รูปที่ 4.24 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH

จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 จะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาของการดูดซับอยู่ในช่วง 30 ถึง 120 นาที ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือมีแนวโน้มลดลงหรือกล่าวได้ว่า ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.23 และ 4.24) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจมาจากตัวดูดซับ MMH มีพื้นที่ผิวมากและมีลักษณะรูพรุนที่ชัดเจน ทำให้เมื่อใช้เวลานานขึ้น สีย้อมจะสามารถเข้าไปดูดซับกับตัวดูดซับ MMH ได้ดีขึ้นเกือบเข้าสู่ภาวะสมดุล แต่เมื่อเวลาหลังจาก 120 นาที จนถึง 180 นาที พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มคงที่ ดังนั้นเวลาที่เริ่มเข้าสู่สมดุล คือ 120 นาที จึงถือเป็นเวลาที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

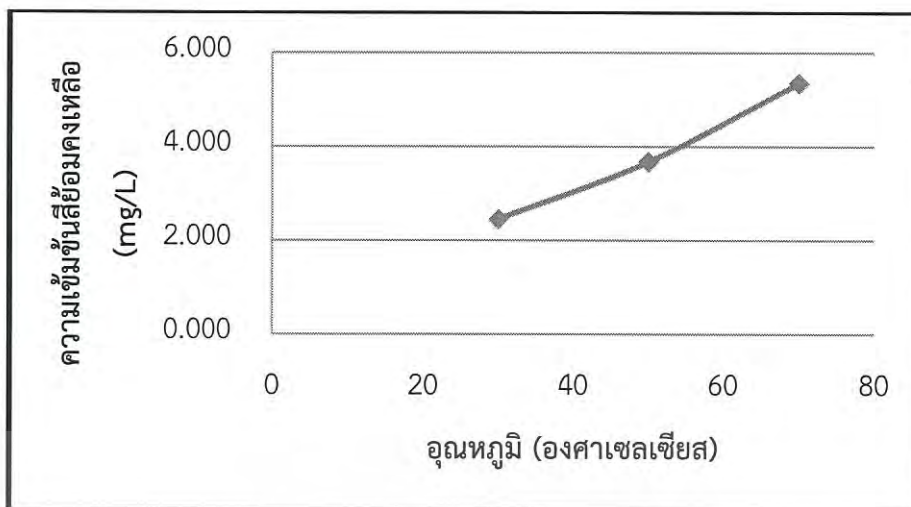
ในการกำจัดสีย้อม โดยสามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ได้ถึงร้อยละ 99.12 และรีแอกทีฟอเรนจ์ 16 ได้ถึงร้อยละ 98.69

4.3.5 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟอเรนจ์ 16

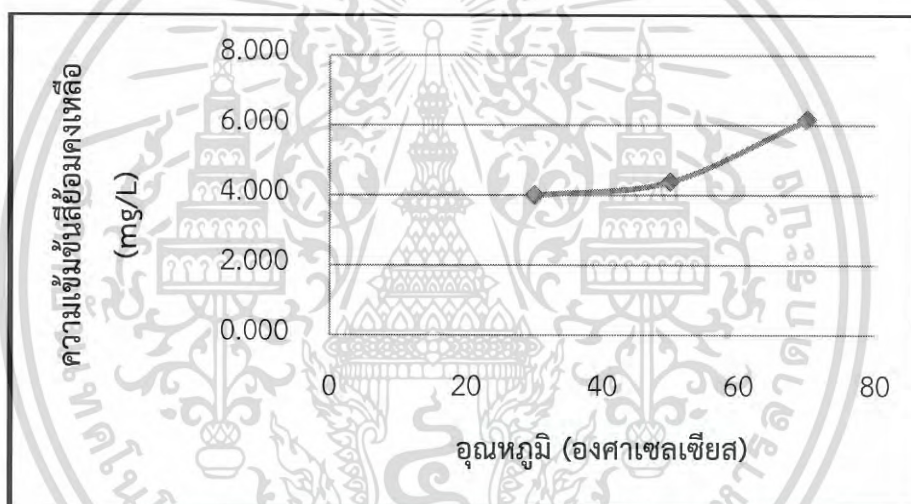
ในการทดลองนี้ จะทำการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟอเรนจ์ 16 โดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ในการดูดซับเป็น 30 50 และ 70 องศาเซลเซียส ด้วยตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 3:1 พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 4 เวลาที่ใช้ในการดูดซับคือ 60 นาที ปริมาณของตัวดูดซับ MMH เท่ากับ 800 mg/L ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเป็น 200 mg/L ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ และร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟอเรนจ์ 16 แสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.25 ถึง 4.28

ตารางที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 (RB5) และ รีแอกทีฟอเรนจ์ 16 (RO16)

ชนิดของสีย้อม	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
RB5	30	2.447	98.78
	50	3.670	98.16
	70	5.342	97.33
RO16	30	3.993	98.00
	50	4.385	97.81
	70	6.146	96.93

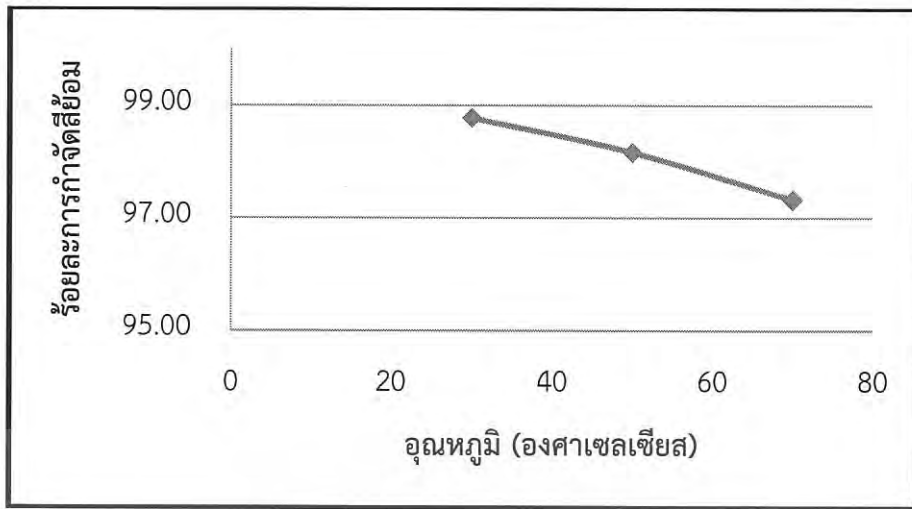


รูปที่ 4.25 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MMH

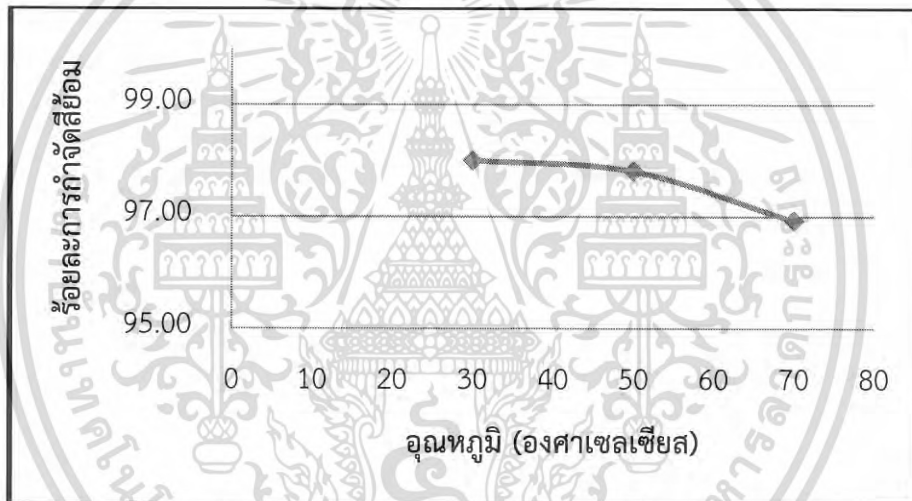


รูปที่ 4.26 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MMH



รูปที่ 4.28 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH

จากรูปที่ 4.25 และ 4.26 จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือกล่าวได้ว่า ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 4.27 และ 4.28 อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม โดยสามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ได้ถึงร้อยละ 98.78 และ 98.00 ตามลำดับ เนื่องจากกลไกการดูดซับเกิดขึ้นระหว่างประจุบวกบนพื้นผิวของ MMH และประจุลบของสีย้อม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ประจุลบของสีย้อมจะมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปดูดซับกับ MMH ได้ยากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16

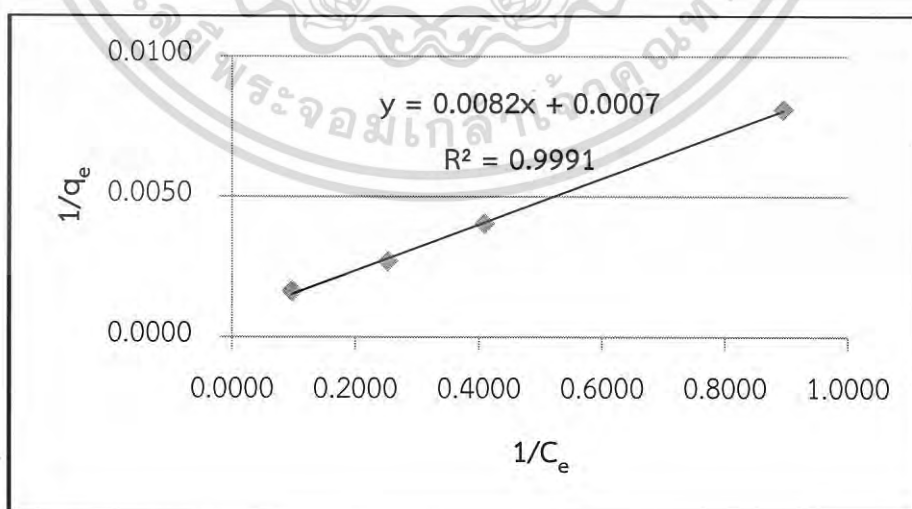
ทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (C_i) เป็น 100 200 300 และ 500 mg/L ด้วยตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 3:1 พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 4 เวลาที่ใช้ในการดูดซับคือ 120 นาที ปริมาณของตัวดูดซับ MMH เท่ากับ 800 mg/L อุณหภูมิที่ใช้ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือที่สมดุล (C_e) ปริมาณสีย้อมบนตัวดูดซับ MMH ที่สมดุล (q_e) รวมถึงค่าต่าง ๆ สำหรับพล็อตกราฟความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ (สมการที่ 3.2) และฟรุนดลิช (สมการที่ 3.3) แสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

4.4.1 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) ด้วย MMH

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของสีย้อม	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$1/q_e$ (g/mg)	$1/C_e$ (L/mg)
RB5	100	1.117	123.60	0.0081	0.8953
	200	2.447	246.94	0.0040	0.4087
	300	3.956	370.06	0.0027	0.2528
	500	10.236	612.21	0.0016	0.0977

นำค่า $1/q_e$ และ $1/C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.29 สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วย MMH

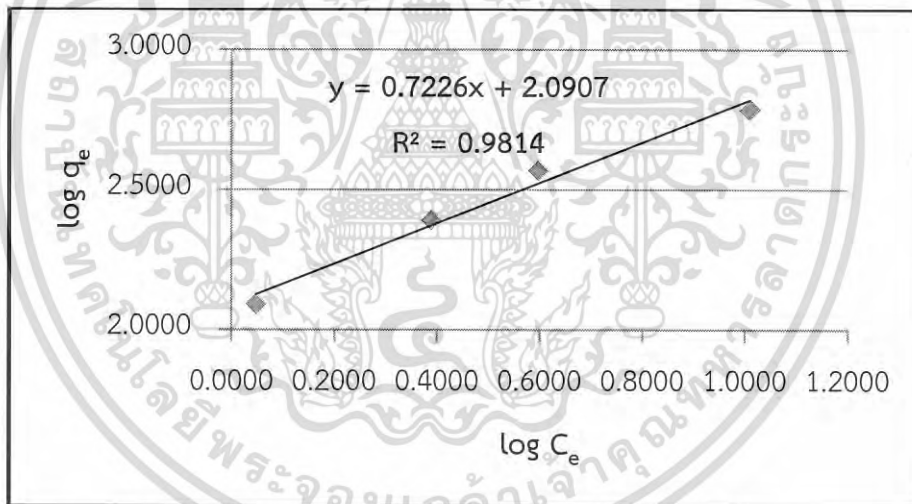
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.28 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ จะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.0082x + 0.0007$ และมีค่า $R^2 = 0.9991$ โดยค่าคงที่ $K = 0.0082$ และปริมาณสีย้อมบนตัวดูดซับ MMH (q_m) = 1426 mg/g

ตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรุนดลิชสำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของสีย้อม	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log q_e$	$\log C_e$
RB5	100	1.117	123.60	2.0920	0.0481
	200	2.447	246.94	2.3926	0.3886
	300	3.956	370.06	2.5683	0.5972
	500	10.236	612.21	2.7869	1.0101

นำค่า $\log q_e$ และ $\log C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.30 สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วย MMH

จากรูปที่ 4.29 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของไอโซเทอมฟรุนดลิชจะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.7226x + 2.0907$ และมีค่า $R^2 = 0.9814$ โดยค่าคงที่ $1/n = 0.7226$ และ $k_f = 123.22$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

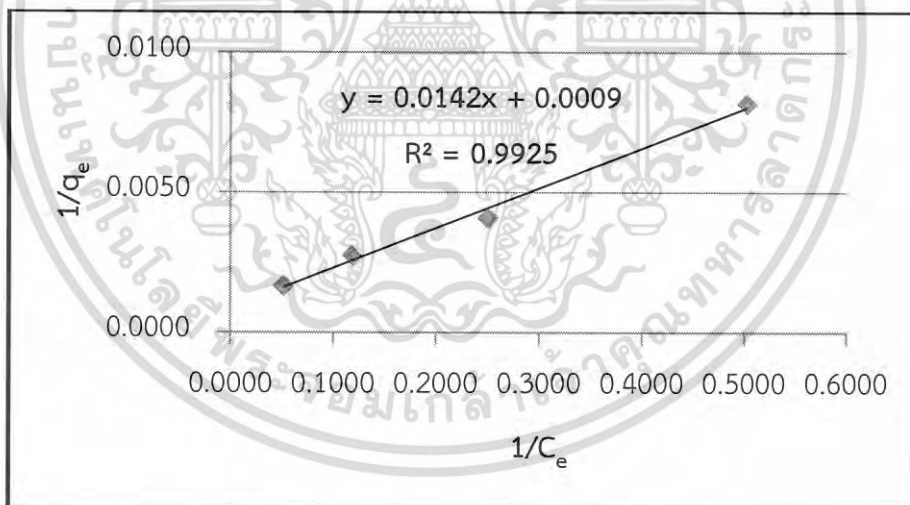
จากกราฟไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรุนดลิช พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.9991 และ 0.9814 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของแลงเมียร์มีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของฟรุนดลิช ทำให้การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MMH นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์

4.4.2 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 (RO16) ด้วย MMH

ตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16

ชนิดของสีย้อม	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$1/q_e$ (g/mg)	$1/C_e$ (L/mg)
RO16	100	1.990	122.51	0.0082	0.5025
	200	3.993	245.01	0.0041	0.2504
	300	8.431	364.46	0.0027	0.1186
	500	19.339	600.83	0.0017	0.0517

นำค่า $1/q_e$ และ $1/C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.31 สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วย MMH

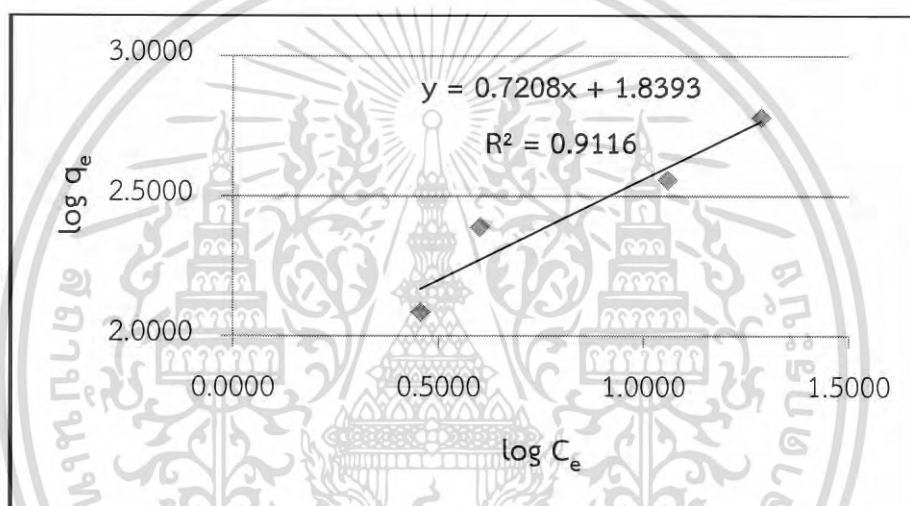
จากรูปที่ 4.30 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ จะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.0142x + 0.0009$ และมีค่า $R^2 = 0.9925$ โดยค่าคงที่ $K = 0.0142$ และปริมาณสีย้อมบนตัวดูดซับ MMH (q_m) = 111 mg/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรอนดลิชสำหรับสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16

ชนิดของสีย้อม	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log q_e$	$\log C_e$
RO16	100	2.858	121.43	2.0843	0.4560
	200	3.993	245.01	2.3892	0.6013
	300	11.431	360.71	2.5572	1.0581
	500	19.339	600.83	2.7787	1.2864

นำค่า $\log q_e$ และ $\log C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.32 สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรอนดลิช สำหรับการดูดซับ สีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วย MMH

จากรูปที่ 4.31 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของไอโซเทอมฟรอนดลิชจะได้รับความสัมพันธ์เป็น สมการเส้นตรง $y = 0.7208x + 1.8393$ และมีค่า $R^2 = 0.9116$ โดยค่าคงที่ $1/n = 0.7208$ และ $k_f = 69.07$

จากกราฟไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรอนดลิช พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.9925 และ 0.9116 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของแลงเมียร์มีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของฟรอนดลิช ทำให้การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับ MMH นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของ แลงเมียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม (MMH) โดยศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ได้แก่ พีเอชของสารละลายสีย้อม อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมของตัวดูดซับ MMH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1) จากการศึกษาผลของพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 จะเห็นได้ว่า เมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น ปริมาณสีย้อมที่เหลืออยู่หลังการดูดซับจะมีแนวโน้มลดลง และที่พีเอชเท่ากับ 4 ปริมาณสีย้อมคงเหลือจะต่ำสุด โดยมีร้อยละของการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 เท่ากับ 98.55 และ 97.34 ตามลำดับ

2) จากการศึกษาตัวดูดซับ MMH ที่เตรียมจากแมกนีเซียมกับอลูมิเนียมในไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแมกนีเซียม ปริมาณสีย้อมที่เหลืออยู่หลังการดูดซับจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และที่อัตราส่วนแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมเท่ากับ 3:1 ร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 จะสูงที่สุด คือ ร้อยละ 98.78 และ 98.00 ตามลำดับ

3) จากการศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับ MMH ความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 มีแนวโน้มลดลง เพราะการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของการดูดซับ ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณของตัวดูดซับ MMH เท่ากับ 800 mg/L สามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ได้สูงสุดถึงร้อยละ 98.78 และ 98.00 ตามลำดับ

4) จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 พบว่าเวลาของการดูดซับอยู่ในช่วง 30 ถึง 120 นาที ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปหลัง 120 นาที พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนเกือบคงที่ เพราะเมื่อใช้เวลานานขึ้น ตัวดูดซับ MMH สามารถดูดซับสีย้อมได้ดีจนเกือบจะเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เวลา 180 นาที ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีค่าใกล้เคียงกับ 120 นาที แต่เนื่องจากใช้เวลานานกว่าจึงเลือกใช้เวลา 120 นาที โดยสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 มีร้อยละการกำจัด คือ 99.12 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 มีร้อยละการกำจัด คือ 98.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการดูดซับเพิ่มขึ้น อัตราการเคลื่อนที่ของประจุลบจะเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลง ดังนั้น อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม โดยสามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ได้สูงสุดถึงร้อยละ 98.78 และ 98.00 ตามลำดับ

6) จากการศึกษาไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรุนดลิชของสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.9991 และ 0.9814 ตามลำดับ ส่วนสีย้อมรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.9925 และ 0.9116 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของแลงเมียร์ทั้งสองสีย้อมมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของฟรุนดลิช ทำให้การดูดซับทั้งสองสีย้อมด้วยตัวดูดซับ MMH นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MMH ควรปรับพีเอชด้วยกรดไนตริกเข้มข้น ไม่ควรใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นเพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยาที่รุนแรง
- 2) นำสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ไปทดลองกับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยสีย้อมปนเปื้อนออกมา
- 3) หลังจากทำการดูดซับสีย้อมแล้ว ควรใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) แทนการกรองแบบลดความดัน
- 4) ควรนำตัวดูดซับ MMH ไปบดละเอียดและทำการร่อนด้วยตะแกรงก่อนนำไปส่งวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ขนาดของตัวดูดซับ MMH ใกล้เคียงกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Subuntith, N., Orawan, S., and Verapong V. **Amido black treatment by precipitation with aluminum chloride and adsorption with activated carbon or soil.** Science Journal, 9 (2012) 18-29.
- [2] **ทฤษฎีการดูดซับ.** [online]. Available : http://archive.lib.cmu.ac.th/ful/T/2551/chem0451sk_ch1.pdf.
- [3] **ปรารถนา. กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process).** [online]. Available : <https://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/>.
- [4] **บุญชัย ตระกูลมหชัย. ตัวดูดซับ (absorbent).** [online]. Available : http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=77&i2=17/.
- [5] **ศูนย์ข้อมูลวัสดุอันตรายและเคมีภัณฑ์.** [online]. Available : <http://gammaco.com/gammaco/th/3090065/>.
- [6] **สีย้อม.** [online]. Available : https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/20130226130929.pdf
- [7] **Sigma Aldrich.** [online]. Available : <http://www.sigmaaldrich.com/>.
- [8] **ร้อยเอกหญิง รัชนิย์ รุกขชาติ. การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ.** [online]. Available : http://www.navy.mi.th/science/BrithDay46/Brithday_data/biology.htm.
- [9] Yujiang, Li., Baoyu, Gao., Tao, Wu., Biao, Wang., and Xia Li. **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.
- [10] Gulnaz, O., Kaya, A., and Dincer, S. **The reuse of dried activated sludge for adsorption of reactive dye.** Hazardous Materials, 134 (2006) 190-196.
- [11] Lee, J-W., Choi, S-P., Thiruvengkatachari, R., Shim, W-G., and Moon, H. **Evaluation of the performance of adsorption and coagulation processes for the maximum removal of reactive dyes.** Dyes and Pigments, 69 (2006) 196-203.
- [12] Sundrarajan, M., Vishnu, G., and Joseph. **Ozonation of light-shaded exhausted reactive dye bath for reuse.** Dyes and Pigments, 75 (2007) 273-278.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] เทพฤทธิ์ ปิติฤทธิ์. 2544. “การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟในสารละลายสีย้อมโดยการดูดซับด้วยซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [14] Ming, Z., Bin, G., June, F., Anne, E-C., and Jeffery, L-U. **Self-assembly of needle-like layered double hydroxide (LDH) nanocrystals on hydrochar: characterization and phosphate removal ability.** RSC Advances, 4 (2014) 28171-28175.
- [15] Hee Young, C., Do Hyeong, K., No-Kuk, P., Tae Jin, L., Misook, K., Won Gun, L., Heun Duk, K., and Jun Woo, P. **Removal of Sodium Contained in $Al(OH)_3$ Synthesized by Bayer Process.** Clean Technology, 18 (2012) 63-68.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Zhu, M-X., Li, Y-P., and Xin, H-X. **Sorption of anionic dye by uncalcined and calcined layered double hydroxide.** Journal of Hazardous Materials, 120 (2005) 163-171.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

1) การหาปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์และอลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต้องชั่งในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

MMH

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

- โดย g คือ จำนวนสารที่ต้องชั่ง (g)
 MW คือ มวลโมเลกุลของสาร (g)
 C คือ สัดส่วนจำนวนโมลของสารที่เราใช้
 V คือ ปริมาตรของสารละลายที่เราต้องการเตรียม (ml)

- การหาปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MMH

$$\begin{array}{l} \text{สูตร} \quad \frac{\text{น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{\text{มวลโมเลกุลของแมกนีเซียมคลอไรด์}} = \frac{CV}{1000} \\ \frac{\text{น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{203.31} = \frac{1 \times 500}{1000} \\ \text{น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง} = 101.655 \end{array}$$

- การหาปริมาณอลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MMH

$$\begin{array}{l} \text{สูตร} \quad \frac{\text{น้ำหนักของอลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{\text{มวลโมเลกุลของอลูมิเนียมคลอไรด์}} = \frac{CV}{1000} \\ \frac{\text{น้ำหนักของอลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{241.43} = \frac{1 \times 500}{1000} \\ \text{น้ำหนักของอลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง} = 120.715 \end{array}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การหาร้อยละการกำจัดสีย้อม Reactive Black 5 และ Reactive Orange 16

ตัวอย่าง ค่าความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้นเท่ากับ 200 mg/L เมื่อทำการดูดซับแล้วมีความเข้มข้นของสีย้อมคงเหลือเท่ากับ 9.747 mg/L

$$\text{สูตร} \quad \text{ร้อยละการกำจัดสีย้อม} = \frac{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นที่เหลือ}}{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละการกำจัดสีย้อม} = \frac{200 - 9.747}{200} \times 100$$

$$\text{ร้อยละการกำจัดสีย้อม} = 95.1265$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้