

การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด
โดยตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

REMOVAL OF REACTIVE BLACK 5 DYE AND CONGO
RED BY USING LAYERED DOUBLE HYDROXIDES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด
โดยตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

REMOVAL OF REACTIVE BLACK 5 DYE AND CONGO
RED BY USING LAYERED DOUBLE HYDROXIDES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOVAL OF REACTIVE BLACK 5 DYE AND CONGO RED BY USING LAYERED DOUBLE HYDROXIDES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรดโดยตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

Removal of Reactive black 5 and Congo red by using layered double hydroxides

ชื่อนักศึกษา

นางสาวเกวรินทร์ ศิริวัฒนสกุล 57050381

นางสาวปาไลดา แซ่ลิ้ม 57050458

นายศุภณัฐ เจริญเกียรติกิจ 57050523

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

มหาวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา

2560

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี-อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการคุมสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช ประธานกรรมการ	
ดร.พัชราภรณ์ วีระชนะศักดิ์ กรรมการ	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรดโดยตัวดูดซับ เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเกวรินทร์	ศิริวัฒนสกุล	57050381
	นางสาวปาไลตา	แซ่ลิ้ม	57050458
	นายศุภณัฐ	เจริญเกียรติก้อง	57050523
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH) ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธีการตกตะกอนร่วมระหว่างโลหะประจุ +2 (สังกะสีและแมกนีเซียม) และโลหะประจุ +3 (อะลูมิเนียมและเหล็ก) ร่วมกับศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อร้อยละการกำจัดสารถูกดูดซับ ได้แก่ ชนิดของตัวดูดซับ อัตราส่วนโดยโมลของโลหะใน LDH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า และการแคลไซน์ตัวดูดซับ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ จากการทดลองพบว่าตัวดูดซับ Zn-Fe LDH ที่อัตราส่วน 1:1 ปริมาณตัวดูดซับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้ดีที่สุดในสภาวะที่ใช้เวลา 60 นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราในการเขย่า 50 รอบ/นาที และตัวดูดซับ Mg-Al LDH ที่อัตราส่วน 1:1 ปริมาณตัวดูดซับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดสีย้อมคองโกเรดได้ดีที่สุดในสภาวะที่ใช้เวลา 60 นาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราในการเขย่า 250 รอบ/นาที เมื่อนำตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิดไปทำการแคลไซน์พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมทั้ง 2 สีย้อมแนวโน้มดีขึ้น และจากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ พบว่าไอโซเทอมที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์มากที่สุด

คำสำคัญ : การดูดซับ ตัวดูดซับ เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ รีแอคทีฟแบล็ค 5 คองโกเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Removal of Reactive black 5 and Congo red by using layered double hydroxides		
Students	Ms. Kewarin	Siriwattanasakul	57050381
	Ms. Palita	Saelim	57050458
	Mr. Supanut	Charoenkiatkong	57050523
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2017		
Advisor	Dr.Amnat Permsubscul		

Abstract

This special project studied the process for the adsorption of Reactive Black 5 dye and Congo red on layered double hydroxides (LDH). The LDH adsorbent was prepared by co-precipitation between metal +2 charge (Zinc and Magnesium) and metal +3 charge (Aluminum and Iron). The variables affected on the percentage of adsorption including the type of LDHs adsorbent, mole ratio of metal in LDHs adsorbent, adsorbent content, adsorption time, adsorption temperature, shaking speed, calcination of adsorbent and adsorption isotherm were investigated. The results showed that Zn-Fe LDH at mole ratio 1:1, the amount of adsorbent content 1,500 mg/L, time of 60 minutes, temperature of 30°C, shaking speed at 50 rpm gave maximum removal percentage of Reactive Black 5 and Mg-Al LDH at mole ratio 1:1, the amount of adsorbent content 1,500 mg/L, time of 60 minutes, temperature of 60°C, shaking speed at 250 rpm gave maximum removal percentage of Congo red. LDH adsorbent was calcined of 350°C. The experimental data were well fitted with the Langmuir Isotherm equation.

Keywords : Adsorption, Layered double hydroxides, Reactive Black 5, Congo red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะวิธีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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.พัชราภรณ์ วีระชวณะศักดิ์ ผู้เป็นคณะกรรมการให้กับโครงการพิเศษนี้ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบและแก้ไขเพิ่มเติม เพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา พร้อมทั้งให้คำแนะนำต่าง ๆ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่อำนวยความสะดวก คอยช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษนี้

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

เกวรินทร์

ศิริวัฒน์สกุล

ปาไลตา

แซ่ลิ้ม

ศุภณัฐ

เจริญเกียรติก้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ตัวดูดซับ	5
2.1.1 ทฤษฎีการดูดซับ	5
2.1.2 กระบวนการดูดซับ	5
2.1.3 ชนิดของตัวดูดซับ	8
2.2 เลเซอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์	9
2.3 สีย้อม	11
2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของสีย้อม	11
2.3.2 การแบ่งประเภทสีย้อม	11
2.3.3 อันตรายที่เกิดขึ้นจากสีย้อม	15
2.4 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ	16
2.4.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี	16
2.4.2 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา	16
2.4.3 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	17
2.4.4 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน	17
2.4.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น	18
2.4.6 นาโนฟิลเตรชัน	18
2.4.7 เทคโนโลยีใหม่	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ข้อมูลทั่วไปของสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ LDH	19
2.5.1 แมกนีเซียมคลอไรด์	19
2.5.2 ไอร์ออน(III)คลอไรด์	20
2.5.3 ซิงค์คลอไรด์	21
2.5.4 อะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต	22
2.5.5 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	23
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	28
3.1 สารเคมี	28
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	28
3.3 วิธีการทดลอง	29
3.3.1 การเตรียมสารที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ LDH	29
3.3.2 การเตรียมตัวดูดซับ LDH ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม	30
3.3.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด	31
3.3.4 การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด โดยใช้ LDH เป็นตัวดูดซับ	32
3.3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ LDH	41
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	46
4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ LDH	46
4.1.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ LDH	46
4.1.2 โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ LDH	47
4.1.3 องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ LDH	50
4.1.4 วิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ LDH	50
4.1.5 ความเสถียรต่ออุณหภูมิของตัวดูดซับ LDH	51
4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด	53
4.3 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	55
4.3.1 ผลของชนิดตัวดูดซับ	55
4.3.2 ผลของปริมาณตัวดูดซับ LDH	59
4.3.3 ผลของเวลาในการดูดซับ	60
4.3.4 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับ	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.5 ผลของอัตราเร็วในการเขย่า	63
4.3.6 ผลของอัตราส่วนโดยโมล M^{2+}/M^{3+} ของตัวดูดซับ LDH	64
4.3.7 ผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับ LDH	67
4.4 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5.....	69
4.5 ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด	76
4.4.1 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 (RB5) ด้วย Zn-Fe LDH	76
4.4.2 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมคองโกเรด (CR) ด้วย Mg-Al LDH	78
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	81
5.1 สรุปผลการวิจัย	81
5.2 ข้อเสนอแนะ	83
เอกสารอ้างอิง	84
ภาคผนวก	87
ภาคผนวก ก	88
ภาคผนวก ข	93
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ	95

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี	7
2.2 โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด	15
3.1 ความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายที่ใช้เตรียมตัวดูดซับแต่ละชนิด	31
3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด	32
3.3 การศึกษาผลของชนิดตัวดูดซับ LDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด	33
3.4 สภาวะการทดลองสำหรับศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด	34
3.5 สภาวะการทดลองสำหรับศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด	35
3.6 สภาวะการทดลองสำหรับศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด	36
3.7 สภาวะการทดลองสำหรับศึกษาผลของอัตราเร็วในการเขย่าที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และ คองโกเรด	37
3.8 สภาวะการทดลองสำหรับศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของ M^{2+} : M^{3+} ของตัวดูดซับ LDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อม	38
4.1 องค์ประกอบของโลหะในตัวดูดซับ LDH ด้วยวิธีวิเคราะห์ XRF	50
4.2 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ LDH	51
4.3 ค่าการดูดกลืนของสารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด	53
4.4 ผลของชนิดตัวดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	55
4.5 ผลของปริมาณตัวดูดซับ LDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	59
4.6 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	61
4.7 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	62
4.8 ผลของอัตราเร็วในการเขย่าที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	63
4.9 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของ M^{2+}/M^{3+} ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	64
4.10 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของ Mg-Al LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ต่างๆ และ Mg/Al LDH ที่ผ่านการแคลไซน์	66
4.11 ผลของชนิดตัวดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	69
4.12 การศึกษาตัวแปรกระบวนการที่มีต่อการกำจัดสีย้อม RB5 ด้วยตัวดูดซับ Zn-Fe LDH	71
4.13 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้จริงต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรุנדลิชสำหรับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5	77
4.15 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมคองโกเรด.....	78
4.16 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรุנדลิชสำหรับสีย้อมคองโกเรด	79



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของ Layered double hydroxides	10
3.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์	41
3.2 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	41
3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	42
3.4 เครื่องวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน	42
4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ LDH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	46
4.2 ดิฟแฟรคโทรมิแกรมของตัวดูดซับ LDH Mg-Al Zn-Al และ Zn-Fe ที่อัตราส่วน $M^{2+}:M^{3+}$ เป็น 1:1ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์	47
4.3 ดิฟแฟรคโทรมิแกรมของ Mg-Al LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg-Al 1:1	48
4.4 ดิฟแฟรคโทรมิแกรมของ Zn-Fe LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Zn-Fe 1:1	49
4.5 ดิฟแฟรคโทรมิแกรมของ Zn-Al LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Zn-Al 1:1	49
4.6 กราฟแสดงผล TGA ของตัวดูดซับ Mg-Al LDH (Mg/Al = 1:1).....	52
4.7 กราฟแสดงผล TGA ของตัวดูดซับ Zn-Fe LDH (Zn/Fe = 1:1).....	52
4.8 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5.....	54
4.9 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสีย้อมคองโกเรด	54
4.10 ผลของชนิดตัวดูดซับ LDH ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	56
4.11 ลักษณะโครงสร้างของ LDH.....	57
4.12 โครงสร้างทางเคมีของคองโกเรด.....	58
4.13 ผลของปริมาณตัวดูดซับ LDH ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	60
4.14 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH.....	61
4.15 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH.....	62
4.16 ผลของอัตราการเขย่าในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH.....	63
4.17 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด.....	65
4.18 ดิฟแฟรคโทรมิแกรมของ Mg-Al LDH ที่อัตราส่วนโมลต่างๆ.....	65
4.19 เปรียบเทียบร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรดเมื่อดูดซับด้วย Mg-Al LDH ที่ผ่านการแคลไซน์ และไม่ผ่านการแคลไซน์.....	67
4.20 ดิฟแฟรคโทรมิแกรมของ Mg-Al (1:1) ที่ผ่านการแคลไซน์ 350°C.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 ผลของชนิดตัวดูดซับ LDH ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5.....	69
4.22 โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5.....	70
4.23 ผลของปริมาณตัวดูดซับ Zn-Fe LDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5.....	72
4.24 ผลของเวลาในการดูดซับด้วย Zn-Fe LDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5.....	72
4.25 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับด้วย Zn-Fe LDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5..	73
4.26 ผลของอัตราการในการเขย่าที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ด้วย Zn-Fe LDH...	73
4.27 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Zn/Al ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5.....	74
4.28 เปรียบเทียบร้อยละการกำจัดสีย้อม RB5 เมื่อดูดซับด้วย Zn-Fe LDH ที่ผ่านการแคลไซน์และไม่ผ่านการแคลไซน์.....	75
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ด้วย LDH.....	77
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5.....	78
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วย Mg-Al LDH.....	79
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH.....	80

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทย ถือเป็นประเทศที่มีความเจริญด้านอุตสาหกรรมอย่างมากมีโรงงานอุตสาหกรรมมากมายและหลากหลาย ซึ่งในปัจจุบันอุตสาหกรรมภายในประเทศมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษทางน้ำ ซึ่งสาเหตุหนึ่งเกิดจากการปนเปื้อนของสีย้อม ที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ การผลิตกระดาษ ฟอกหนัง อาหาร และการพิมพ์ สีย้อมที่ถูกเลือกใช้ส่วนใหญ่เป็นสีย้อมที่ได้จากการสังเคราะห์มากกว่าสีย้อมจากธรรมชาติ เนื่องจากสีย้อมสังเคราะห์มีการผลิตและคุณภาพที่แน่นอน ติดทนทาน ละลายน้ำได้ดี และดูดซับได้ง่ายกว่าสีย้อมจากธรรมชาติ รวมถึงหาได้ง่ายและมีราคาที่ถูกกว่า ดังนั้นสีย้อมสังเคราะห์จึงเป็นที่นิยมและถูกเลือกนำมาใช้ในการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอกำลังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัญหาใหญ่ที่เกิดขึ้นก็คือ มลภาวะทางน้ำ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำในปริมาณสูง มีของเสียเกิดขึ้นมากในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการผลิต และมาตรฐานน้ำทิ้งที่รัฐบาลกำหนดมีความเข้มงวดมากขึ้น ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอจำเป็นต้องพัฒนาระบบการบำบัดน้ำทิ้งให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากน้ำทิ้งเพื่อไม่ให้เกินค่าที่รัฐบาลกำหนดไว้ และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนใกล้เคียงให้ได้รับผลกระทบจากสารเคมีที่มาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

สีกลุ่มเอโซ (Azo dye) เป็นสีที่มีโครงสร้างเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่เอโซ ($-N=N-$) อยู่ภายในโครงสร้าง สีกลุ่มเอโซเป็นสีที่มีการสังเคราะห์มาใช้ทางการค้ามากที่สุดกลุ่มหนึ่ง โดยเป็นสารที่ทำให้เกิดสีประเภทหนึ่ง มีอยู่ประมาณ 60-80% ของจำนวนสารที่ทำให้เกิดสีทั้งหมด เนื่องจากสีกลุ่มเอโซ เป็นสีที่มีราคาถูก ผลิตได้ง่ายในปริมาณที่มาก และมีหลายเฉดสีให้เลือกใช้กับงานได้อย่างเหมาะสม แต่สีชนิดนี้มักสลายตัวตามธรรมชาติได้ยาก เนื่องจากมีโครงสร้างสีที่ซับซ้อน มีองค์ประกอบที่หลากหลาย เมื่อตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมก็จะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ การย่อยสลายทางชีวภาพของสีย้อมต่างๆได้ถูกทำการศึกษาทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและปราศจากออกซิเจน แต่ผลการวิจัยพบว่า การสลายตัวทางชีวภาพของสีย้อมมีอัตราต่ำมากและต้องใช้เวลาอันยาวนานในการสลายตัว สำหรับกระบวนการกำจัดสีย้อมและสารอินทรีย์อื่นๆในน้ำทิ้ง ได้แก่ การตกตะกอน (Coagulation) การสลายตัวด้วยแสง (Photocatalytic) การสลายตัวด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrochemical method) การแยกด้วยเมมเบรน (Membrane separation) และการดูดซับ (Adsorption) [1]

การดูดซับเป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถใช้ได้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยถือเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ เนื่องจากใช้พลังงานน้อย และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาไม่แพง ในปัจจุบันมีการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลากหลาย แต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ ถ่านกัมมันต์ แต่ก็ถือว่ายังมีราคาที่สูงและมีข้อจำกัดในการใช้งาน นอกจากนี้ตัวดูดซับจากธรรมชาติ อย่างเช่น ถ้ำกลบ ถ้ำขานอ้อย ที่มีราคาถูกแต่ประสิทธิภาพในการดูดซับยังต่ำ [2]

เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides หรือ LDH) เป็นของแข็งสังเคราะห์ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวกเรียงเป็นชั้นๆ และมีไอออนประจุลบ เช่น Cl^- CO_3^{2-} หรือ NO_3^- กับโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ในระหว่างชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์ เพื่อดุลประจุสุทธิให้เป็นกลาง โดย LDH มีสูตรทั่วไป คือ $[\text{M}^{2+}_{1-x}\text{M}^{3+}_x(\text{OH})_2]^{x+}[(\text{A}^{n-})_{x/n}\cdot m\text{H}_2\text{O}]^{x-}$ เมื่อ M^{2+} และ M^{3+} คือ ไอออนของโลหะที่มีประจุ 2+ และ 3+ ตามลำดับ ซึ่ง LDH ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีประจุลบในสารละลาย [3]

ดังนั้น โครงการนี้จึงมีความสนใจในการพัฒนากระบวนการดูดซับ โดยสังเคราะห์และศึกษาประสิทธิภาพตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH) ที่สังเคราะห์จากเกลือคลอไรด์ของแมกนีเซียม-เหล็ก แมกนีเซียม-อะลูมิเนียม ซิงค์-เหล็ก และซิงค์-อะลูมิเนียม ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และสีย้อมคองโกเรด ซึ่งเป็นสีย้อมตัวอย่างในสีกลุ่มเอโซ่ ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดของประจุบวกในโครงสร้างของตัวดูดซับ ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า ผลของการแคลไซน์ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้ในการดูดซับ และรวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นข้อมูลและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH)
- 2) เพื่อศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม ได้แก่ ชนิดของประจุบวกในโครงสร้าง LDH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้ในการดูดซับ และไอโซเทอมของการดูดซับ รวมถึงเปรียบเทียบตัวดูดซับที่ผ่านการแคลไซน์กับไม่ผ่านการแคลไซน์ด้วย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) สังเคราะห์ตัวดูดซับ LDH ที่ประจุบวกของแมกนีเซียม-เหล็ก (Mg-Fe LDH) แมกนีเซียม-อะลูมิเนียม (Mg-Al LDH) ซิงค์-เหล็ก (Zn-Fe LDH) และซิงค์-อะลูมิเนียม (Zn-Al LDH) ในอัตราส่วนโมล 1:1 ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม

2) วิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH) ที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ LDH ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)
 - องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ LDH ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF)
 - ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ LDH ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
 - วิเคราะห์หาความเสถียรทางความร้อนของตัวดูดซับ LDH ด้วยเครื่องวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)
 - วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ LDH ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number)
- 3) ศึกษาผลกระทบที่มีต่อการกำจัดสี้อมรีแอดคทีฟแบล็ค 5 และสี้อมคองโกเรด โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่
- ชนิดของประจุบวกในโครงสร้างตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH)
 - ปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับ ตั้งแต่ 900 ถึง 1800 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที
 - อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ ตั้งแต่ 30 ถึง 60 องศาเซลเซียส
 - อัตราเร็วในการเขย่าที่ใช้ในการดูดซับ ตั้งแต่ 50 ถึง 250 รอบ/นาที
 - ไอโซเทอมของการดูดซับว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) หรือไอโซเทอมของฟรุนดลิช (Freundlich Isotherm)
 - เปรียบเทียบผลของการดูดซับเมื่อใช้ LDH ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์และแคลไซน์ที่ 350 °C
 - อัตราส่วนโดยโมลของโลหะ (2+) และ (3+) ตั้งแต่ 1:1 ถึง 3:1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงกระบวนการในการกำจัดสี้อมรีแอดคทีฟแบล็ค 5 และสี้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH) แต่ละชนิด
- 2) ทราบถึงผลของประจุบวกของตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH) ที่มีต่อการดูดซับสี้อมรีแอดคทีฟแบล็ค 5 และสี้อมคองโกเรด
- 3) ทราบถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อผลการกำจัดสี้อม ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของโลหะ (2+) และ (3+) ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า ผลของการแคลไซน์ และความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้ในการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ทราบถึงไอโซโทมของการดูดซับสี่อัมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และสี่อัมคองโกเรตด้วยตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH)

1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน									
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	
1. ศึกษาหาข้อมูล ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
2. วางแผนการทดลอง										
3. ทำวิจัยบท 1,2 และ 3										
4. ทำการสังเคราะห์ตัวดูดซับ LDH										
5. เตรียมกราฟมาตรฐานสี่อัมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรต										
6. ตรวจสอบลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของตัวดูดซับ										
7. ทำการทดลองกำจัดสี่อัมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรต โดยใช้ LDH เป็นตัวดูดซับ										
8. วิเคราะห์ผลการทดลอง										
9. สรุป และนำเสนอผลการทดลอง										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตัวดูดซับ (Adsorbent)

2.1.1 ทฤษฎีการดูดซับ [2]

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

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

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

ปริมาณสารถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ความดัน และพลังงานศักย์ของอันตร- กิริยา (Interaction potential energy) ระหว่างสารถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ กับสารดูดซับ ที่อาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง

2.1.2 กระบวนการดูดซับ (Adsorption process) [4]

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

การดูดติดผิว (Adsorption) จะเป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็ก ซึ่งละลายอยู่ในน้ำโดยอยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้เรียกว่าสารถูกดูดซับ ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่าสารดูด ขั้บการดูดติดผิวนี้นี้จะเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะต่าง ๆ ทั้ง 3 สถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ การเขียนเพื่อใช้ประโยชน์อื่นโดยไม่ขออนุญาตเป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแข็ง 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) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ จะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) การดูดซับบนผิวของแข็งแบ่งออกได้ตามแรงดูดซับระหว่างพื้นผิวโมเลกุลเป็น 2 ชนิด

1. การดูดซับทางกายภาพ

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

2. การดูดซับทางเคมี

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 ไอโซเทอมแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm)

ในปี ค.ศ.1880-1941 นักฟิสิกส์-เคมีชาวเยอรมัน ฟินเลย์ ฟรอนด์ลิช (Finlay Freundlich) ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายดังสมการ (2.4)

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

เมื่อ C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการดูดซับที่สมดุล

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

จากสมการฟรอนด์ลิช 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 $\log C_e$ ที่อุณหภูมิคงที่จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกน สามารถนำมาหาค่า k_f ได้ และความชันของกราฟเป็น $1/n$

2.1.3 ชนิดของตัวดูดซับ [5]

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

1. Zeolites

เป็นสารประกอบของอลูมิโนซิลิเกต ประกอบด้วย ซิลิกอน 1 อะตอม และออกซิเจน 4 อะตอม โดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือ 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 นิยมใช้เพื่อดูดซับความชื้นหรือก๊าซที่มีขั้วออกจากก๊าซไฮโดรคาร์บอน

3. Silica gel

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

4. ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

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

2.2 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxide, LDH) [3]

วัสดุที่มีแนวโน้มคล้ายสารประกอบไฮโดรทัลไซต์ (Hydrotalcite-like compounds) หรือเรียกว่า เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides : LDH) มีสูตรทั่วไป คือ $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_x(OH)_2]^{x+} [A^{n-}_{x/n} \cdot mH_2O]^{x-}$ เมื่อ

M^{2+} เป็นไอออนของโลหะประจุ +2 เช่น Mg^{2+} Ni^{2+} หรือ Zn^{2+}

M^{3+} เป็นไอออนของประจุ +3 เช่น Al^{3+} หรือ Fe^{3+}

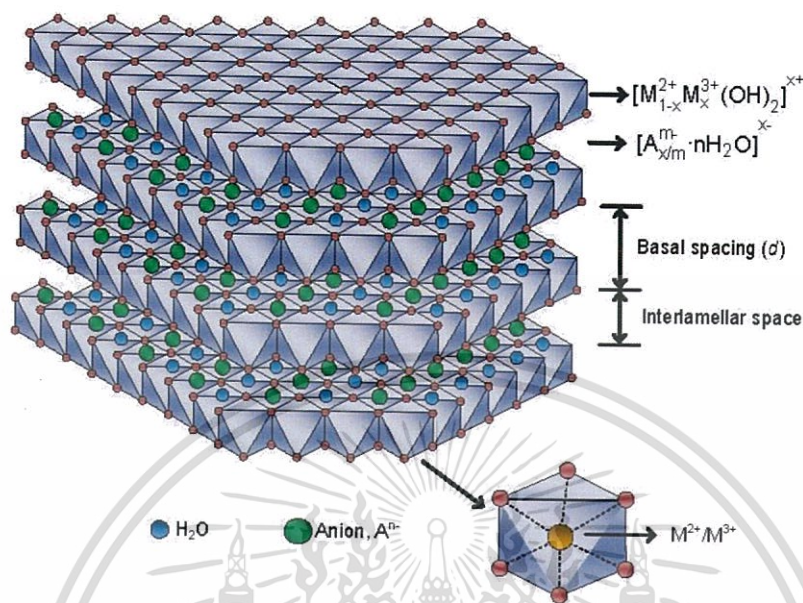
A^{n-} เป็นไอออนลบระหว่างชั้นของแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์ (Interlayer anion)

X คือ อัตราส่วน $M^{3+}/(M^{2+}+M^{3+})$

วัสดุเหล่านี้เป็นแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวกจะเรียงตัวอยู่เป็นชั้น ๆ และมีประจุลบ เช่น CO_3^{2-} Cl^- และ NO_3^- กับโมเลกุลของน้ำอยู่ในระหว่างชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์ เพื่อรักษาประจุโดยรวมให้เป็นกลาง ตามที่แสดงในรูปที่ 2.1 โดยที่ประจุลบกับโมเลกุลของน้ำในระหว่างชั้นสามารถแลกเปลี่ยนประจุลบของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์อื่น ๆ จากน้ำที่ปนเปื้อนได้ แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับได้รับผลกระทบอย่างมากโดยคุณสมบัติของประจุที่พื้นที่ผิวและในระหว่างชั้น โดยทั่วไปแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์มักเป็นประจุลบแบบ Multivalent มากกว่าแบบ Monovalent ยกตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น CO_3^{2-} จะถูกดูดซับแบบพิเศษ และไม่สามารถแลกเปลี่ยนโดยประจุลบอื่น ๆ ได้ แต่เมื่อ A^{n-} เป็น Cl^- และแอมโมเนียจะถูกใช้เป็นตัวตกตะกอนในกระบวนการสังเคราะห์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ Layered double hydroxides [29]

Zeta potential หรือค่าความต่างศักย์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าบริเวณพื้นผิวกับศักย์ไฟฟ้าในชั้นสารละลาย โดยพีเอชที่มีค่า Zeta potential เท่ากับ 0 จะเรียกว่า Isoelectric Point (IEP) คือจุดที่ประจุลบและประจุบวกมีปริมาณสมดุล ใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติของตัวดูดซับ LDH โดยวัดจากเครื่อง Microelectrophoretic Mobility Detector โดยค่า IEP ของตัวดูดซับ LDH มีค่าประมาณ 9 ซึ่งถ้าตัวดูดซับ LDH อยู่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำกว่าค่า IEP ตัวดูดซับ LDH จะทำหน้าที่รับโปรตอนและกลายเป็นประจุบวก แต่ถ้าตัวดูดซับ LDH อยู่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชสูงกว่าค่า IEP ตัวดูดซับ LDH จะทำหน้าที่ให้โปรตอนและกลายเป็นประจุลบ

ในการทดลองมีการควบคุมพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรดให้เท่ากับ 7 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า IEP จึงทำให้ตัวดูดซับ LDH แสดงประจุบวกที่พื้นผิว จึงสามารถดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรดซึ่งเป็นประจุลบได้

ในงานวิจัยนี้ ตัวดูดซับที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นเป็นเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ของ แมกนีเซียม-อะลูมิเนียม (Mg-Al LDH) ซิงค์-เหล็ก (Zn-Fe LDH) และซิงค์อะลูมิเนียม (Zn-Al LDH) ซึ่งจะมีโครงสร้างหลัก คือ ไฮดรอกไซด์ชั้นคู่ผสมระหว่างโลหะประจุ +2 และโลหะประจุ +3 ที่พื้นผิวและในระหว่างชั้นมีคลอไรด์ไอออนกับน้ำ ซึ่ง LDH ไม่เพียงแต่จะประกอบด้วยคลอไรด์ไอออน ยังสามารถแทนที่ได้ง่ายโดยประจุลบอื่น ๆ แต่อณูภาคนาโนคอลลอยด์ของ LDH มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเล็ก และสามารถแพร่กระจายได้ง่ายในน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของประจุลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่น ๆ จะเพิ่มขึ้น ดังนั้น LDH จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นเอกลักษณ์ และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุไอออน

2.3 สีย้อม [6]

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของสีย้อม

สีย้อม คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมวัสดุสิ่งทอ สีย้อมที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียดที่สร้างมาเพื่อดูดซึมหรือดูดซับแสง โดยการทำให้อยู่บนหรือในผิวหน้าของวัตถุแล้วเกิดการแพร่แทรกซึมเข้าสู่ภายในโครงสร้างของวัตถุ เพื่อที่จะทำให้วัตถุนั้นมีสีขึ้นมา สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดจะไม่สามารถละลายน้ำ แต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใย โดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิกหรือโควาเลนต์กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง สีที่เห็นจากสีย้อมนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้นมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมที่ต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกัน จะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กันไป ซึ่งสายตาสถาสามารถรับภาพโมเลกุลของสีย้อมต่างโทนสีกัน จะแสดงสีให้เราเห็นสายตาสถาออกมาต่างกันไป ซึ่งความคงทนจะต่างกันไปในแต่ละประเภทและการยึดเกาะของสีประเภทนั้น ๆ

2.3.2 การแบ่งประเภทสีย้อม

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

1. สีที่มีหมู่ช่วยละลายถาวร (Permanent solubilising group)

กลุ่มนี้จะมีหมู่ช่วยละลายที่เกาะอยู่บนโครงสร้างสีอย่างถาวร แม้ว่าจะมีการผ่านกระบวนการใด ๆ หมู่ช่วยละลายก็ยังคงอยู่บนโครงสร้างสีหรือแม้กระทั่งสีที่เกาะบนผ้าแล้วก็ตาม แบ่งได้เป็น

1.1 หมู่ที่แสดงประจุลบ (Anionic group) ได้แก่ หมู่ซัลโฟเนต (Sulphonate)

หมู่คาร์บอกซิลเลต (Carboxylate) ฯลฯ ในกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำออกมามักจะแตกตัวออกมาให้เป็นการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอออนลบของตัวสีในน้ำ กลุ่มนี้จะละลายตัวได้ดีในสภาวะเบส จึงทำให้สีกลุ่มนี้เกิดการแตกตัวได้ดียิ่งขึ้น หมู่ซัลโฟเนตนั้นจะให้ความเป็นกรดที่แก่กว่าหมู่คาร์บอกซิลเลต ดังนั้นค่าของตัวสีที่มีหมู่ซัลโฟเนตนั้นจะแตกตัวได้ดีกว่า ยังมีผลทำให้ความสามารถในการทนสภาวะกรดได้สูงกว่าด้วย ตัวอย่างของสีในกลุ่มนี้ ได้แก่ สีไคเร็กซ์ สีแอซิด ฯลฯ

สีไคเร็กซ์ (Direct dye) หรืออาจเรียกว่า สีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้สีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใยและยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นสีสังเคราะห์ชนิดแรกที่สามารถย้อมติดใยฝ้าย โดยตรงไม่ต้องเติมสารช่วยย้อมใด ๆ ปัจจุบันมีการใช้เกลือเข้าช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้การย้อมดีขึ้น สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย ทนแสง เช่น คองโกเรด (Congo Red) เป็นต้น

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

สีรีแอคทีฟ (Reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีคุณสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH^-) ของเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ในสภาวะที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอคทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง $70-75^\circ\text{C}$ และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ สีรีแอคทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ

1.2 หมู่ที่แสดงประจุบวก (Cationic group) ได้แก่ หมู่เอมีนชนิดทุติยภูมิ (2°Amine) หมู่เอมีนชนิดตติยภูมิ (3°Amine) กลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำจะเกิดการดึงโปรตอนจากโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากอิเล็คตรอนคู่อิสระของอะตอมของไนโตรเจนในหมู่เอมีน ทำให้สีกลุ่มนี้สามารถละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด เพราะว่ามีโปรตอนในระบบมาก ซึ่งหมู่อัลคิลที่เกาะอยู่กับอะตอมของไนโตรเจนยิ่งมากเท่าไร ก็จะทำให้อิเล็คตรอนคู่อิสระของไนโตรเจนมีความหนาแน่นยิ่งขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดึงโปรตอนจากน้ำได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ความเป็นเบสสูงขึ้น ทำให้ตัวสีที่มีค่าต่ำกว่า และสามารถที่จะทนได้สูงขึ้น ตัวอย่างของสีกลุ่มนี้ ได้แก่ สีเบสิก เนื่องจากว่าพีเอชของสารละลายจะมีผลต่อการแสดงประจุของสีนั้น ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการแตกตัวออกมา จะเห็นได้ว่าการละลายของสีใน 2 กลุ่มนี้จะเป็นกลไกการละลายด้วยการทำลายพันธะ ดังนั้นการให้ความร้อนเข้าสู่ระบบก็จะทำให้สีนั้นสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น

สีเบสิก (Basic or Cationic dye) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (Organic base) ให้ประจุบวก ละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอน และใยอะคริลิกได้ดี ในขณะที่ย้อม

โมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย 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) เป็นสีที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่กระจายตัวได้ดี นิยมใช้ย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ และอะคริลิก การย้อมจะใช้สารพา (Carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควันทันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนโตรซอกไซด์ สีดิสเพอร์สแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากกลุ่มเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (Azo dyes) และสีย้อมอะมิโน แอนทราควิโนน (Amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทานอลามีน (Ethanalamine; $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

2. สีที่มีหมู่ช่วยละลายชั่วคราว (Temporary solubilising group)

กลุ่มนี้มักจะมีหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ ที่สามารถทำปฏิกิริยาระหว่างย้อมสีแล้วกลายเป็นหมู่ที่ละลายน้ำหรือไม่ก็เป็นหมู่ที่มีมากับตัวสีย้อมเองอยู่แล้ว แต่เมื่อนำมาย้อมบนผ้าแล้ว หมู่เหล่านี้จะถูกทำให้กลายเป็นหมู่ที่ไม่ละลายน้ำเหมือนเดิมหรือไม่ก็ถูกเปลี่ยนรูปใหม่ให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้สีกลุ่มนี้จะมีความคงทนต่อการเปียกสูง แบ่งได้เป็น

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

สีอะโซอิก (Azoic dye) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอล คือ ละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัวเป็นสี (Coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพเนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอนหรืออะซิเตท สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขัดถู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีแว็ต (Vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีแว็ตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแว็ตจะถูกรีดิวส์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็นสีแว็ตสีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีแอนทราควินอยด์ (Antraquinoid) และสีอินดิโก (Indigoid)

2.2 หมู่ที่แสดงประจวบกันได้แก่ หมู่โอเนียม (Onium group) กลุ่มนี้มีประจวบกติดกับโครงสร้างสี เมื่อทำการออกซิเดชันตัวสีก็สามารถที่จะปล่อยหมู่ช่วยละลายออกมา ตัวสีจะตกตะกอนในเส้นใย สีอัลเขียนเป็นตัวอย่างของสีกลุ่มนี้ แต่ในปัจจุบันไม่มีการใช้งานแล้ว

ส่วนใหญ่แล้วสีย้อมที่ปนเปื้อนมาจากน้ำเสียจะมาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง ทำให้มีการพัฒนาทั้งทางด้านกระบวนการผลิต และการแข่งขันสูงขึ้น เพื่อเพิ่มปริมาณสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบในทุกขั้นตอนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การถักผ้า และการฟอกย้อมก็ตาม โดยวัตถุดิบที่ใช้ เช่น สีย้อมผ้า สารเคมี เป็นต้น บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดละลายน้ำไม่ได้ จึงทำให้น้ำมีสภาพแปรเปลี่ยนไปหรือที่เราเรียกว่า น้ำเสีย เช่น อุณหภูมิสูงขึ้น มีกลิ่น มีสี ตลอดจนทำให้สิ่งมีชีวิตที่อยู่น้ำตาย เนื่องจากมีสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณที่สูง ทำให้ขาดออกซิเจน และผลกระทบของน้ำเสียนี้อย่างยิ่งยังเป็นการทำงานของจุลินทรีย์ต่าง 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 สติสเพอร์ส เป็นต้น ผลเสียที่เกิดขึ้นจากสีนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้ว ยังลดอัตราการนำเข้าของออกซิเจนที่เข้าสู่ผิวหน้าของแหล่งน้ำ และบดบังปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกลงสู่ผิวน้ำ ทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทำให้สัตว์อาจตายได้ ดังนั้น การวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงาน จึงมีความจำเป็นในการป้องกันปัญหามลพิษที่แหล่งกำเนิด และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย โดยมีการศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบการบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนด

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และสีย้อมคองโกเรด ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และสีย้อมคองโกเรด [8]

Reactive Black 5	Congo Red
$C_{26}H_{21}N_5Na_4O_{19}S_6$	$C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$
Molecular Weight : 991.82 g/mol	Molecular Weight : 696.665 g/mol

2.3.3 อันตรายที่เกิดจากสีย้อม

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

ตะกั่ว : ระยะแรกจะทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ปวดศีรษะ โลหิตจาง ถ้ามีการสะสมมากขึ้น จะมีอาการอัมพาตที่แขนขา สมองไม่ปกติ เพ้อ ชักกระตุก และหมดสติในเวลาต่อมา

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

โครเมียม : ถ้าพอกพูนในร่างกายเกินขนาด จะทำให้เป็นอันตรายมาก เกิดอาการเฉียบพลัน มีอาการเวียนศีรษะ กระหายน้ำอย่างรุนแรง อาเจียน หมดสติ และเสียชีวิตในเวลาต่อมา เนื่องจากไตไม่ทำงาน

สารหนู : ถ้าพอกพูนในร่างกายมาก ๆ จะเกิดอันตรายต่อประสาท เช่น ระบบทางเดินอาหาร ผิดปกติ ตับอักเสบ และเกิดอันตรายต่ออวัยวะโลหิตที่ไปเลี้ยงหัวใจ อาจทำให้หัวใจวายได้

2.4 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ [9]

เนื่องจากการย้อมผ้าในโรงงานฟอกย้อมนั้นส่วนใหญ่จะเป็นสีย้อมและสารเคมี ซึ่งเหลือตกค้างอยู่ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตและจะถูกปล่อยลงแหล่งน้ำทิ้ง แม้จะมีการโต้เถียงกันว่าสีย้อมไม่ควรถูกจัดให้เป็นสารก่อมลภาวะในน้ำ ตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้สีในน้ำทิ้งไม่เป็นที่น่ารังเกียจ แต่เนื่องจากทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่พึงประสงค์ต่อคนทั่วไป ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมก่อนปล่อยออกจากโรงงานต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อทำการกำจัดสารต่าง ๆ รวมทั้งสีที่ตกค้างก่อน วิธีการบำบัดสีมี ดังนี้

2.4.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical coagulation)

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

2.4.2 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological treatment process)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมถึงค่าใช้จ่ายในส่วนที่มีการปรับพีเอชก่อนปล่อยออกจากโรงงานด้วย ทำให้เทคนิคนี้ไม่เป็นที่นิยม แม้จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงก็ตาม

2.4.3 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

กระบวนการนี้อาศัยจุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นมาใหม่ที่มีการดูดซับสีย้อม ทำให้สามารถบำบัดสีได้ แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

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

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

2.4.4 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone treatment)

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

2.4.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane technology)

กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี และนำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสีบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.4.6 นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration)

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

2.4.7 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 เช่น ผักตบชวา จะมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ เซลลูโลส มีหมู่ฟังก์ชันไวแลกเปลี่ยนไอออนหรือโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้

2.5 ข้อมูลทั่วไปของสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ LDH [7]

2.5.1 แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride) [7]

2.5.1.1 ข้อมูลทั่วไปของแมกนีเซียมคลอไรด์

สูตรเคมี : $MgCl_2$

สถานะ : ของแข็ง

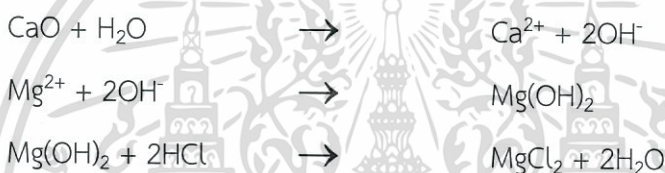
จุดหลอมเหลว ($^{\circ}C$) : 712

จุดเดือด ($^{\circ}C$) : 1465

การละลายน้ำ : ละลาย

ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : กลาง

แมกนีเซียมสามารถถูกสร้างขึ้นได้ในหลายกระบวนการ มีแมกนีเซียมจำนวนมากในน้ำทะเล และสามารถนำมาใช้ได้ในรูปแบบของแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ผ่านปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์



2.5.1.2 การประยุกต์ใช้งาน

เมื่อนำแมกนีเซียมคลอไรด์มาใช้ทางด้านเกษตร จะมีผลต่อการเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์ การสะสมธาตุอาหารแมกนีเซียม แคลเซียม โปแตสเซียม เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส ปริมาณน้ำตาลในใบข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีที่ได้รับสารในระยะวัยพัฒนา และระยะสืบพันธุ์ พบว่าข้าวเจ้าหอมในระยะวัยพัฒนาตอบสนองแมกนีเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 15 mg/L ที่ 7 วันหลังได้รับสาร ทำให้การสะสมน้ำหนักรวมผลผลิต ปริมาณคลอโรฟิลล์ ธาตุอาหาร แมกนีเซียม โปแตสเซียม ทองแดง และแมงกานีสสูงกว่าในต้นข้าวหอมสุพรรณบุรีที่ได้รับสารในระยะสืบพันธุ์ แต่มีการสะสมธาตุแคลเซียมและเหล็กในระยะสืบพันธุ์สูงกว่าระยะวัยพัฒนา การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล พบว่าระยะวัยพัฒนาที่มีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าในระยะสืบพันธุ์ ต้นข้าวในระยะวัยพัฒนาที่อายุ 5 วันหลังได้รับสารความเข้มข้น 15 mg/L เช่นเดียวกับข้าวในระยะสืบพันธุ์อายุ 7 วันหลังได้รับสารความเข้มข้น 10 mg/L พบว่ามีปริมาณน้ำตาลสูงสุด สรุปได้ว่า สารแมกนีเซียมคลอไรด์ที่พ่นให้กับต้นข้าวมีผลทำให้น้ำหนักรวมผลผลิต ปริมาณคลอโรฟิลล์ การสะสมธาตุอาหารแมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก ทองแดง แมงกานีส และปริมาณน้ำตาลในใบข้าวเพิ่มขึ้น

2.5.1.3 การเก็บรักษา

- ภาชนะบรรจุที่ว่างเปล่าของสารนี้อาจเป็นอันตรายได้ เนื่องจากมีกากสารเคมีตกค้างอยู่ เช่น ไอรอะเหย ของเหลว
- ให้สังเกตค่าเตือน และข้อควรระวังทั้งหมดที่ให้ไว้สำหรับสารนี้

2.5.1.4 ประโยชน์ของแมกนีเซียมคลอไรด์

- เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตอุตสาหกรรมสิ่งทอ
- ใช้เพิ่มความแข็งแรงของอิฐ

2.5.2 ไอรอน(III)คลอไรด์ (Iron(III) chloride) [7]

2.5.2.1 ข้อมูลทั่วไปของไอรอน(III)คลอไรด์

สูตรเคมี : FeCl_3

สถานะ : ของแข็ง

จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$) : 674

จุดเดือด($^{\circ}\text{C}$) : 1012

การละลายน้ำ : ละลาย

2.5.2.2 การประยุกต์ใช้งาน

เมื่อนำไอรอน(III)คลอไรด์ ส่วนใหญ่นำมาใช้ในรูปของสารละลายเจือจาง โดยใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน (flocculating agent) และสารตกตะกอน (precipitating agent) ในระบบบำบัดน้ำ โดย FeCl_3 จะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำเกิดเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ซึ่งจะทำหน้าที่ดูดซับของแข็ง ที่มีขนาดเล็กและอนุภาคของคอลลอยด์ FeCl_3 มีประสิทธิภาพที่ดีโดยเฉพาะในการตกตะกอนสารโลหะหนักและซัลไฟด์นอกจากนี้ ในกรณีของน้ำมันและสารโพลีเมอร์ที่ยากต่อการย่อยสลายก็สามารถถูกดูดซับบน $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ได้

2.5.2.3 ข้อควรระวัง

- สารที่เข้ากันไม่ได้ : กรด, เอทิลีนออกไซด์, โพแทสเซียม, โซเดียม
- สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง : ความชื้น
- สารอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : ไฮโดรเจนคลอไรด์ และก๊าซของคลอรีน

2.5.2.4 การเก็บรักษา

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด

- เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ
- ทำความสะอาดให้ทั่วถึงหลังจากสัมผัสกับสารนี้

2.5.2.5 ประโยชน์ของไอรอน(III)คลอไรด์

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

2.5.3 ซิงค์คลอไรด์ (zinc chloride) [7]

2.5.3.1 ข้อมูลทั่วไปของซิงค์คลอไรด์

สูตรทางเคมี : $ZnCl_2$

สถานะ : ของแข็ง

จุดหลอมเหลว ($^{\circ}C$) : 290

การละลายน้ำ : ละลาย

ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : กรด

2.5.3.2 การประยุกต์ใช้งาน

สังกะสีคลอไรด์ใช้เป็นสารกำจัดวัชพืช ใช้ในการควบคุมตะไคร่น้ำที่ขึ้นบนหลังคาบ้านเรือน และที่อยู่อาศัยในบ้านเรือนอื่น ๆ ตลอดแนวเดินเดินรถรั้วและที่ใดก็ตามที่มีตะไคร่น้ำโตขึ้น ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมซิงค์คลอไรด์เป็นตัวทำละลายอิมัลชันได้อย่างดีเยี่ยมและยังสามารถใช้ในการแยกน้ำออกจากน้ำมัน

2.5.3.3 ข้อควรระวัง

- อย่าหายใจเอาฝุ่นของสารเข้าไป
- อย่าสัมผัสผิวหนัง ผิวหนัง และเสื้อผ้า
- หลีกเลี่ยงการสัมผัสเป็นระยะเวลานาน
- ให้ล้างทำความสะอาดร่างกาย ให้ทั่วถึงภายหลังทำการเคลื่อนย้าย

2.5.3.4 การเก็บรักษา

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด
- เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.5 ประโยชน์ของซิงค์คลอไรด์

- ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่
- เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- ใช้ในการผลิตยาสีฟัน
- ใช้ในการกำจัดกลิ่นและควัน

2.5.4 อะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (Aluminium Chloride Hexahydrate) [7]

2.5.4.1 ข้อมูลทั่วไปของอะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต

สูตรเคมี : $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

สถานะ : ของแข็ง

จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$) : 192

จุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$) : 180

การละลายน้ำ : ละลาย

2.6.4.2 การประยุกต์ใช้งาน

นำมาใช้เป็นยาระงับเหงื่อ (Antiperspirants) มักผลิตออกมาในรูปแบบของลูกกลิ้งทาผิว (Roll on) หรือโลชั่น (Lotion) โดยมีความเข้มข้นตั้งแต่ 12% ขึ้นไป และใช้ในกระบวนการตกตะกอนของน้ำต่างๆ เช่น น้ำประปา โดยใช้น้ำดิบจากแม่น้ำ น้ำบาดาล น้ำเสียในอุตสาหกรรม การแยกอนุของแข็งจากสารแขวนลอยในกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ หรือการนำสารที่ยังใช้ประโยชน์ได้กลับมา โดยการตกตะกอนจากน้ำเสียชนิดต่างๆ

2.5.4.3 การเก็บรักษา

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด
- เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้งหลีกเลี่ยงการหายใจ การกลืนกิน การสัมผัสกับผิวหนัง
- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอทำการเคลื่อนย้ายในที่โล่ง

2.5.4.4 ประโยชน์ของอะลูมิเนียมไฮเดรต

สารนี้ใช้เป็นตัวเร่งที่มีฤทธิ์เป็นกรดในการผลิต สารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้ง เรซินของ ไฮโดรคาร์บอน, เอทิลเบนซิน, โททาเนียมออกไซด์ , ใช้ในการผลิตยา ผงซักฟอกที่มีฤทธิ์เป็นด่าง, เอทิลคลอไรด์, สารเคมีทางการเกษตร, ยางบิลทิล, พลาสติก, สารหล่อลื่น , สารเพิ่มความหอมและ เครื่องสำอางและให้เป็นตัวเร่งในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม, ใช้เป็สารละลาย อีเล็กโตรไลต์ในการผลิต อะลูมิเนียม , ใช้เป็นสารตัวกลางทางเคมีสำหรับสารประกอบอะลูมิเนียม, ใช้ในการผลิตอะลูมิเนียมโบโรไรด์ และลิเทียมอะลูมิเนียมไฮไดรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สนับสนุนการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4.5 ข้อควรระวัง

- การกักกร่อนโลหะ : สารนี้ในขณะแห้งจะไม่สามารถกักกร่อนโลหะ แต่ในขณะที่มีความชื้น สารนี้จะมีฤทธิ์กัดกร่อนเหล็ก , เหล็กกล้าไร้สนิม
- สภาพที่ควรหลีกเลี่ยง : ความชื้น, น้ำ
- สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : ไฮโดรเจนคลอไรด์ และกรดไฮโดรคลอริก
- อันตรายจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ : ไม่เกิดขึ้น
- สารนี้ไม่สามารถจุดติดไฟได้ แต่ทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำ เกิดกรดไฮโดรคลอริก และความ ร้อน
- ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความเสถียรคาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์, คิววัน และไอระเหย แต่ทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างรุนแรง

2.5.5 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) [7]

2.5.5.1 ข้อมูลทั่วไปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

สูตรเคมี : NH_4OH

สถานะ : ของเหลว

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

จุดเดือด($^{\circ}\text{C}$) : 36

สภาพที่ควรหลีกเลี่ยง : ความร้อน แสงแดด สารที่เข้ากันไม่ได้ และแหล่งจุดติดไฟ

ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : เบส

2.5.5.2 การประยุกต์ใช้งาน

แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์สามารถใช้งานได้หลากหลาย ทั้งในด้านเป็นสารเคมีที่ใช้ใน ห้องปฏิบัติการ ใช้ในกระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน สิ่งทอ เกสซ์ภัณฑ์ กระดาษ ยาง สารซักฟอก หมึก สารเคมีอินทรีย์ต่าง ๆ ใช้ในงานพัฒนาภาพถ่าย ใช้เป็นปุ๋ย สารทำความสะอาดในบ้านเรือน สารเติมแต่งในอาหาร การสกัดโลหะ และการทำน้ำบริสุทธิ์

2.5.5.3 ข้อควรระวัง

การหายใจเข้าไปก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ การหายใจนำสารที่ ความเข้มข้นสูงเข้าไป จะก่อให้เกิดแผลไหม้ น้ำท่วมปอด และอาจตายได้ ความเข้มข้นที่อาจทำให้ตาย ได้ คือ 5000 mg/L การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อหลอดอาหาร กระเพาะ อาหาร และอาจทำให้เยื่อช่องท้องทะลุหรืออักเสบ เกิดอาการปวดในปาก ออก ท้อง ไอ อาเจียน และหมดสติได้ การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง ปวดตา ทำลายตา และอาจทำให้ตาบอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการสัมผัสเป็นระยะเวลาสั้น จะทำลายเนื้อเยื่อ ทางเดินหายใจส่วนบน ตา และผิวหนังได้ สารนี้ทำลายปอด ทรวงอก ตับ ไต และกระเพาะปัสสาวะ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

G.Xiong-hua และคณะ [10] ได้ทำการเตรียม layered double hydroxides (LDHs) ที่ประกอบด้วย Fe^{3+} , Al^{3+} และ Mg^{2+} ซึ่งถูกเตรียมขึ้นด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม จากผลการวิจัยพบว่า ถ้าอัตราส่วนโดยโมลของ $(Fe+Al)/(Fe+Al+Mg) > 0.33$ จะได้โครงสร้างของ LDH ที่เหมือนกับสารประกอบ hydrotalcite บริสุทธิ์ และพบเฟสของ $Al(OH)_3$ เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของ $(Al)/(Fe+Al+Mg) > 0.30$ และพบโครงสร้างแบบอสัณฐาน เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของ $(Fe)/(Fe+Al+Mg) > 0.33$

O. Gulnaz และคณะ [11] ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟด้วย Dried activated sludge โดยสีย้อมรีแอกทีฟที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ รีแอกทีฟแบล็ค 5 พบว่าระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ของ Dried activated sludge ซึ่งจะเกิดการดูดซับจะเกิดได้ดีในช่วง 15 นาทีแรก สามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 ได้ร้อยละ 50 และเมื่อพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 มีค่าเท่ากับ 2.0 4.0 และ 6.0 ค่าความจุในการดูดซับสีย้อม รีแอกทีฟแบล็ค 5 จะมีค่าเท่ากับ 74.00 52.00 และ 14.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 มีค่าเท่ากับ 20 35 และ 50 องศาเซลเซียส ค่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 จะมีค่าเท่ากับ 74.00 62.00 และ 47.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 มีค่าเท่ากับ 5.00 100.00 และ 200.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ความจุการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 จะมีค่าเท่ากับ 34.00 74.00 และ 104.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

M. Sundrarajan และคณะ [12] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสีย้อมชนิดรีแอกทีฟที่ใช้แล้ว คือ สีเหลืองและสีฟ้าที่ได้จากกระบวนการย้อมผ้าฝ้าย ด้วยการใช้การออกซิไดซ์ด้วยโอโซนในคอลัมน์ปฏิกรณ์ด้วยอัตรา 0.16 กรัมต่อนาที ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสี COD และ TOC ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟได้ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที สามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟสีเหลืองและสีฟ้า โดยใช้ปริมาณโอโซน 37.5 และ 36 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟที่ใช้แล้วในน้ำทิ้งด้วยวิธีโอโซนชั้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ 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 คุณภาพการย้อมสีก็ไม่ได้รับผลกระทบจากการใช้ซ้ำของสองระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X.Liang และคณะ [13] ได้ทำการสังเคราะห์ Mg-Fe layered double hydroxide (LDH) ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Fe เป็น 3:1 ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม และนำ Mg-Fe-LDH ไปทำการกำจัด Pb(II) จากสารละลาย $Pb(NO_3)_2$ จากผลการวิจัยพบว่า Mg-Fe-LDH มีประสิทธิภาพในการกำจัด Pb(II) ได้ดี จลนศาสตร์และไอโซเทอมของการดูดซับ Pb(II) บน Mg-Fe-LDH เป็นแบบ pseudo-second order kinetic model และ Aranovich-Donohue equation ตามลำดับ กลไกของการดูดซับของ Pb(II) บน LDH คาดว่าเกิดจากการเหนี่ยวนำให้เกิดการตกตะกอนที่บริเวณพื้นผิว (surface-induced precipitaton) และการดูดซับทางเคมี (chemical binding adsorption)

S.Mariam และคณะ [14] ได้ทำการสังเคราะห์ layered double hydroxide anionic clay ($ZnAlCO_3$ -LDH) ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Zn/Al เป็น 4:1 ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม จากนั้นนำไปดูดซับสีย้อม Amido Black จากน้ำทิ้งสังเคราะห์ ผลการวิจัยพบว่า $ZnAlCO_3$ -LDH มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Amido Black โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับได้แก่ เวลาในการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ ขนาดอนุภาคตัวดูดซับ อุณหภูมิ และ pH ของสารละลาย ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นแบบ Freundlich Isotherm โดยมีค่า $k_f=3.58$ และ $n=2.5$

I.M. Ahmed และคณะ [15] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับสีย้อม Congo red (CR) ซึ่งเป็นสีย้อมประเภทแอนไอออนิก โดยใช้ Mg-Fe- CO_3 -LDH เป็นตัวดูดซับ ซึ่งได้จากการกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของ Mg-Fe-Cl Layered double hydroxides (LDHs) ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต โดยที่ Mg-Fe-Cl-LDH สังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนและบ่มทิ้งไว้ โดยมีอัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมและเหล็กเป็น 3:1 โดยที่ช่องว่างระหว่างชั้นจะถูกแทนที่ด้วยคาร์บอเนตแล้วนำไปวิเคราะห์หาเอกลักษณ์ด้วยเครื่อง X-ray diffraction (XRD) และ FTIR ทำการศึกษาผลของตัวแปร เช่น ความแตกต่างของ pH ความเข้มข้นของสีย้อม เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ พบว่า Mg-Fe- CO_3 -LDH จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายสีย้อมมี pH ลดลง โดยที่การดูดซับจะเข้าสู่สมดุลที่เวลา 15 นาที เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และไอโซเทอมที่สภาวะสมดุลจะบ่งบอกถึงการดูดซับของสีย้อมบนตัวดูดซับ Mg-Fe- CO_3 -LDH ซึ่งสอดคล้องกับสมการ Langmuir และ Freundlich ซึ่งค่าการดูดซับที่ได้จากสมการ Langmuir ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ดี และค่าความจุการดูดซับอิ่มตัวของสีย้อม Congo red (CR) บนตัวดูดซับ Mg-Fe- CO_3 -LDH เท่ากับ 104.6 มิลลิกรัมต่อกรัม

X.F. Sun และคณะ [16] ศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับฟอสฟอรัส ซึ่งในปัจจุบัน LDH ถูกเลือกใช้เป็นตัวดูดซับสารประกอบแอนไอออนชนิดต่างๆ จากสารละลายจำพวก AsO_4^{3-} , CrO_4^{2-} , PO_4^{3-} และ SeO_3^{2-} ซึ่งไอออนจำพวกนี้มีขนาดใหญ่ สามารถเข้าไปแทนที่ที่อยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นของสารประกอบ LDH ได้ มีโดยใช้ Mg-Fe LDH อัตราส่วนโมล 3:1 ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าการดูดซับมีค่าสูงขึ้นที่เวลาสมดุล 72 ชั่วโมง ไอโซเทอมการดูดซับแสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับฟอสฟอรัสสอดคล้องกับสมการ Freundlich ได้มากกว่าสมการของ Langmuir สัมประสิทธิ์การกระจาย (K_d) แสดงให้เห็นว่าการดูดซับฟอสเฟตจะเกิดขึ้นได้ดีกรณีอยู่ในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมแอนไอออน การดูดซับฟอสเฟตสามารถกำจัดได้โดยการเติม 0.1 M NaOH เพื่อกำจัดฟอสเฟตในสารประกอบ LDH ให้ประสิทธิภาพสูงสุด 73%

ทิพย์วิมล สุขวานิชย์เจริญ และคณะ [3] ได้ศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบบลึค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม (MMH) ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมระหว่างแมกนีเซียมคลอไรด์และอลูมิเนียมคลอไรด์ในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ พร้อมกับศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม ได้แก่ พีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบบลึค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมของ MMH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ จากผลการทดลองพบว่าสีย้อมรีแอกทีฟแบบลึค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ถูกกำจัดได้มากที่สุด เมื่อใช้พีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบบลึค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 เท่ากับ 4 ตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมเป็น 3 ต่อ 1 ปริมาณของตัวดูดซับ MMH อยู่ที่ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ คือ 120 นาที และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าไอโซเทอมที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์มากที่สุด

Y.Li และคณะ [17] ได้ศึกษาการกำจัดสีย้อม RedK-2BP ซึ่งเป็นสีย้อมประเภท Anionic โดยกระบวนการดูดซับด้วยเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์จาก แมกนีเซียมคลอไรด์และอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Mg-Al LDH) ซึ่งตกตะกอนร่วมกันในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ pH ของสารละลายสีย้อม เวลาในการดูดซับ ความเข้มข้นของสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ และอุณหภูมิ ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม RedK-2BP ได้ดีของ Mg-Al LDH คือ ช่วง pH ของสีย้อมระหว่าง 4-11 เวลาในการดูดซับ 4 ชั่วโมง ปริมาณของตัวดูดซับที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุด คือ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยตัวดูดซับสามารถที่จะดูดซับสีจากโรงพิมพ์และโรงงานสี ในช่วงร้อยละ 93.8-96.7 คาดว่าการดูดซับสีย้อม RedK-2BP เกิดขึ้นด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนที่บริเวณพื้นผิวของ LDH

ฉันททัต จังธนาวารกุล และคณะ [18] ได้ศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบบลึค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MFH) ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมระหว่างแมกนีเซียมคลอไรด์และไฮดรอกไซด์ในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ พร้อมกับศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อร้อยละการกำจัดสารถูกดูดซับ ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กของ MFH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า การแคลไซน์ตัวดูดซับ และชนิดของแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ จากผลการทดลองพบว่า สีย้อมรีแอกทีฟแบบลึค 5 และอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลูถูกกำจัดได้มากที่สุด เมื่อใช้ตัวดูดซับ MFH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อเหล็กเป็น 3 ต่อ 1 ปริมาณของตัวดูดซับ MFH 800 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ในเชิงวิชาการเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นว่ามีประโยชน์ในการนำมาใช้ควรแจ้งให้เจ้าของลิขสิทธิ์ทราบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาที่ ตัวดูดซับที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 300 °C และแอนไอออนระหว่างชั้นอินเตอร์เลเยอร์ คือ ไนเตรตไอออน จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าไอโซเทอมที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์มากที่สุด

Zubair, M และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาการดูดซับสีย้อม Eriochrome black T โดยกระบวนการดูดซับด้วย MgAl, CoAl, NiFe เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 3:1 ที่สังเคราะห์จากวิธีการตกตะกอนร่วมและแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 350 °C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ ได้แก่ pH, เวลาที่ใช้ในการดูดซับ, ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม, จลนศาสตร์และกลไกการดูดซับ จากการศึกษาพบว่า pH ที่ดีที่สุดสำหรับตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด คือ 2 และเวลาที่ใช้ในการดูดซับจนเข้าสู่สมดุลคือ 60, 30 และ 60 นาที สำหรับตัวดูดซับ CoAl, MgAl และ NiFe ตามลำดับ และจากการศึกษาไอโซเทอมของตัวดูดซับทั้ง 3 สามารถอธิบายได้โดยไอโซเทอมของแลงเมียร์เนื่องมาจากพฤติกรรมการดูดซับแบบชั้นเดียว(monolayer adsorption behavior) และผลจากการศึกษาในด้านจลนศาสตร์ชี้ให้เห็นว่าพฤติกรรมการดูดซับแบบรวดเร็ว (rapid adsorption behavior) ของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิดนั้นพอดีกับ Psuedo-second order และกลไกการดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิดเป็นแบบแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ซึ่งจะเกิดพันธะเคมีระหว่างสีย้อมกับตัวดูดซับ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด เกรดวิเคราะห์
2. ไอรอนคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด เกรดวิเคราะห์
3. ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด เกรดวิเคราะห์
4. อะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($AlCl_3 \cdot 6H_2O$) บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด เกรดวิเคราะห์
5. คองโกเรด (Congo red) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
6. รีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) บริษัท Sigma Aldrich จำกัด เกรดวิเคราะห์
7. กรดไนตริก (HNO_3) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
8. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
9. ซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
10. น้ำกลั่น

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระจกนาฬิกา
2. ซ้อนตักสาร
3. กรวยแก้ว
4. กระดาษกรองเบอร์ 1 และ 42
5. กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์
6. โกร่งบดสาร
7. แท่งแก้วบดสาร
8. หลอดหยด
9. จุกยางสำหรับดูดสาร
10. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
11. กระจกตวงขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร
12. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
13. ปีกเกอร์ขนาด 50 250 600 และ 1000 มิลลิลิตร

14. ปีเปตขนาด 5 10 25 และ 50 มิลลิลิตร
15. หลอดหยดขวดวัดปริมาตรขนาด 50 250 500 และ 1000 มิลลิลิตร
16. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 100 500 และ 1000 มิลลิลิตร
17. คอนเดนเซอร์
18. อ่างน้ำ
19. ขวดกั่นกลมขนาด 500 มิลลิลิตร
20. ขาดั่งและที่จับบิวเรต
21. เครื่องกวนและแท่งแม่เหล็ก
22. เครื่องซ่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบ 4 ตำแหน่ง
23. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
24. ตู้ดูดควัน
25. ตู้อบ (Oven)
26. เตาเผา (Muffle Furnace)
27. เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (compact shaking incubator)
28. เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, UV-Vis) รุ่น 10S ยี่ห้อ UV Thermo
29. เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) รุ่น D8 Advance ยี่ห้อ Bruker AXS
30. เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) รุ่น SRS 3400 ยี่ห้อ Bruker AXS
31. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น MA10 ยี่ห้อ EVO
32. เครื่องวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) รุ่น Perkin Elmer TGA7

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ LDH

3.3.1.1 สารละลาย $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

- ชั่ง $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ มา 101.66 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น (ใช้เป็น stock solution)

3.3.1.2 สารละลาย $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

- ชั่ง $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ มา 135.07 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น (ใช้เป็น stock solution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 สารละลาย $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

- ชั่ง $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ มา 120.715 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น (ใช้เป็น stock solution)

3.3.1.4 สารละลาย $ZnCl_2$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

- ชั่ง $ZnCl_2$ มา 68.143 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น (ใช้เป็น stock solution)

3.3.1.5 สารละลาย NH_4OH 83% V/V ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

- ตวง conc. NH_4OH มา 830 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.3.2 การเตรียมตัวดูดซับ LDH ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม

ในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมตัวดูดซับ LDH 3 ชนิด ได้แก่ Mg-Al LDH Zn-Fe LDH และ Zn-Al LDH

ตัวอย่าง วิธีการเตรียมตัวดูดซับ Mg-Al LDH ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 1:1

1. ปิเปตสารละลาย $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในปิเปกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

2. ปิเปตสารละลาย $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในปิเปกเกอร์ที่มีสารละลาย $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์อยู่

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 ทำการใสสารละลายผสมในข้อ 3. จากบิวเรตลงในสารละลายข้อ 4. พร้อมทำการปั่นกวน จากนั้นทำการรีฟลักซ์เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

6. เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้ว ทำการกรองตะกอนด้วยชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน โดยล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนมีพีเอชเป็นกลาง

7. อบตะกอนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นแบ่งตะกอนเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเครื่อง XRD และ XRF วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน TGA

8. ส่วนที่สองคือตัวดูดซับ Mg-Al LDH ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 1:1 ซึ่งจะนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด ต่อไป

9. ในการสังเคราะห์ Zn-Fe LDH และ Zn-Al LDH จะใช้วิธีการตกตะกอนร่วมเช่นเดียวกับ Mg-Fe LDH โดยชนิดของสารละลายเกลือโลหะ ความเข้มข้น และปริมาตรที่ใช้ในการสังเคราะห์ LDH แสดงดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นและปริมาณของสารละลายเกลือโลหะที่ใช้ในการเตรียมตัวดูดซับแต่ละชนิด

ตัวดูดซับ LDH	ชนิดของสารละลายเกลือโลหะ							
	MgCl ₂ •6H ₂ O		FeCl ₃ •6H ₂ O		AlCl ₃ •6H ₂ O		ZnCl ₂	
	ความเข้มข้น (M)	ปริมาณ (ml)	ความเข้มข้น (M)	ปริมาณ (ml)	ความเข้มข้น (M)	ปริมาณ (ml)	ความเข้มข้น (M)	ปริมาณ (ml)
Mg-Al	1	50	-	-	1	50	-	-
Zn-Fe	-	-	1	50	-	-	1	50
Zn-Al	-	-	-	-	1	50	1	50

หมายเหตุ อัตราส่วนโดยโมลของโลหะประจุ +2 ต่อโลหะประจุ +3 ใน LDH ทุกชนิดที่เตรียมเป็น 1:1

3.3.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด

1. ชั่งสีย้อมปริมาณ 1.000 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วคนให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 1000 ppm แล้วนำไปบรรจุไว้ในขวดสีชาเพื่อเลี่ยงการดูดซับแสง (ใช้เป็น stock solution I)

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

3. ปิเปตสารละลายตัวอย่างความเข้มข้น 50 ppm จาก stock solution II ตามปริมาณในตารางที่ 3.2 ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำมาตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 592 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5) และความยาวคลื่น 486 นาโนเมตร (สำหรับคองโกเรด) นำผลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานต่อไป

ตารางที่ 3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด

ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมในการเตรียมกราฟมาตรฐาน (mg/L)	ปริมาตรสารละลายสีย้อมที่ความเข้มข้น 50 mg/L ที่ต้องทำการปิเปต (ml)
1	1
2	2
4	4
6	6
8	8

3.3.4 การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด โดยใช้ LDH เป็นตัวดูดซับ

ตอนที่ 1 การศึกษาชนิดของ LDH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด

1. ปิเปตสารละลายจาก stock solution I ความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นเทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. ปรับพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรดด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ หรือปรับด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ ในการทดสอบพีเอชจนได้ค่าเท่ากับ 7

3. เติมตัวดูดซับ LDH ที่สังเคราะห์ได้จากตอน 3.3.2 ปริมาณ 2400 มิลลิกรัมต่อลิตร (สารละลาย 50 มิลลิลิตร จะใช้ปริมาณตัวดูดซับ LDH 1200 มิลลิกรัม) จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

4. เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำสารละลายไปกรองแบบลดความดัน เพื่อนำตัวดูดซับ LDH ออกจากสารละลาย จากนั้นนำสารละลายที่ผ่านการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 592 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5) และความยาวคลื่น 486 นาโนเมตร (สำหรับคองโกเรด) เพื่อให้ทราบความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ

5. สภาวะของการทดลอง เพื่อศึกษาผลของชนิดตัวดูดซับ LDH แสดงดังตาราง 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะการทดลองสำหรับศึกษาผลของชนิดตัวดูดซับ LDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด

ชนิดของสีย้อม	ชนิดของตัวดูดซับ LDH	ปริมาณตัวดูดซับ LDH (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ (°C)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
RB5	Mg-Al	1200	60	30	150
	Zn-Fe				
	Zn-Al				
CR	Mg-Al	1200	60	30	150
	Zn-Fe				
	Zn-Al				

หมายเหตุ : ตัวดูดซับ LDH ที่ใช้ในการทดลอง มีอัตราส่วนโดยโมลของโลหะประจุ +2 ต่อโลหะประจุ +3 เท่ากับ 1:1 และพีเอชของสารละลายสีย้อม เท่ากับ 7

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกชนิดของตัวดูดซับ LDH ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุดจากตอนที่ 1 แล้วทำการเปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับ ตามสภาวะการทดลองที่กำหนดให้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สภาวะการทดลองสำหรับศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด

ชนิดของสีย้อม	ชนิดของตัวดูดซับ LDH	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ (°C)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	900	60	30	150
		1200			
		1500			
		1800			
CR	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	900	60	30	150
		1200			
		1500			
		1800			

หมายเหตุ : ตัวดูดซับ LDH ที่ใช้ในการทดลอง มีอัตราส่วนโดยโมลของโลหะประจุ +2 ต่อโลหะประจุ +3 เท่ากับ 1:1 และพีเอชของสารละลายสีย้อม เท่ากับ 7

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกชนิดตัวดูดซับและปริมาณตัวดูดซับที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด แล้วทำการเปลี่ยนเวลาในการดูดซับตามสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สภาวะการทดลองสำหรับศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด

ชนิดของสีย้อม	ชนิดของตัวดูดซับ LDH	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ (°C)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	30	30	150
			60		
			120		
			180		
CR	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด	30	30	150
			60		
			120		
			180		

หมายเหตุ : ตัวดูดซับ LDH ที่ใช้ในการทดลอง มีอัตราส่วนโดยโมลของโลหะประจุ +2 ต่อโลหะประจุ +3 เท่ากับ 1:1 และพีเอชของสารละลายสีย้อม เท่ากับ 7

ตอนที่ 4 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกำจัดสีย้อม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกชนิดของตัวดูดซับที่ปริมาณตัวดูดซับและเวลาในการดูดซับที่ให้ร้อยละของการกำจัดสูงที่สุด แล้วทำการเปลี่ยนอุณหภูมิของการดูดซับตามสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สภาวะการทดลองสำหรับศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด

ชนิดของสีย้อม	ชนิดของตัวดูดซับ LDH	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ (°C)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	30	150
				45	
				60	
CR	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	30	150
				45	
				60	

หมายเหตุ : ตัวดูดซับ LDH ที่ใช้ในการทดลอง มีอัตราส่วนโดยโมลของโลหะประจุ +2 ต่อโลหะประจุ +3 เท่ากับ 1:1 และพีเอชของสารละลายสีย้อม เท่ากับ 7

ตอนที่ 5 การศึกษาผลของอัตราเร็วในการเขย่าที่มีต่อการกำจัดสีย้อม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกชนิดตัวดูดซับที่ปริมาณตัวดูดซับ เวลาและอุณหภูมิในการดูดซับที่ให้ร้อยละของการกำจัดสูงที่สุด แล้วทำการเปลี่ยนอัตราเร็วในการเขย่าของการดูดซับตามสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สภาวะการทดลองสำหรับศึกษาผลของอัตราเร็วในการเขย่าที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และ คองโกเรด

ชนิดของสีย้อม	ชนิดของตัวดูดซับ LDH	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ (°C)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	50
					150
					250
CR	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	50
					150
					250

หมายเหตุ : ตัวดูดซับ LDH ที่ใช้ในการทดลอง มีอัตราส่วนโดยโมลของโลหะประจุ +2 ต่อโลหะประจุ +3 เท่ากับ 1:1 และพีเอชของสารละลายสีย้อม เท่ากับ 7

ตอนที่ 6 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของโลหะ +2 ต่อโลหะประจุ +3 ของตัวดูดซับ LDH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 5 โดยเลือกสภาวะที่ดีที่สุดในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด แล้วทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของโลหะประจุ +2 ต่อโลหะประจุ +3

ตารางที่ 3.8 สภาวะการทดลองสำหรับศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของ M^{2+} : M^{3+} ของตัวดูดซับ LDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อม

ชนิดของสีย้อม	ชนิดของตัวดูดซับ LDH	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ ($^{\circ}\text{C}$)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)	อัตราส่วนโดยโมลของ M^{2+} : M^{3+}
RB5	เลือกจากตารางที่ 3.3	เลือกจากตารางที่ 3.4	เลือกจากตารางที่ 3.5	เลือกจากตารางที่ 3.6	เลือกจากตารางที่ 3.7	1:1
	ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	2:1
						3:1
CR	เลือกจากตารางที่ 3.3	เลือกจากตารางที่ 3.4	เลือกจากตารางที่ 3.5	เลือกจากตารางที่ 3.6	เลือกจากตารางที่ 3.7	1:1
	ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด	2:1
						3:1

หมายเหตุ : พีเอชของสารละลายสีย้อม เท่ากับ 7

ตอนที่ 7 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

การศึกษาการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด ว่าเป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์หรือฟรุนดลิช มีขั้นตอนการทดลองและการคำนวณดังนี้

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกชนิดของตัวดูดซับ อัตราส่วนโดยโมล $M^{2+}:M^{3+}$ ปริมาณตัวดูดซับ เวลา อุณหภูมิ และอัตราเร็วในการเขย่าที่เหมาะสม จากตอนที่ 1-6 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม เป็น 50 100 200 300 และ 500 mg/L จากนั้นหาความเข้มข้นของสีย้อมที่สมดุล (C_e)

2. คำนวณหาปริมาณของสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่ภาวะสมดุล (q_e) จากสมการที่ (3.1)

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

เมื่อ	q_e	คือ	ปริมาณของสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับ ที่ภาวะสมดุล (mg/g)
	C_i	คือ	ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้น (mg/L)
	C_e	คือ	ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ภาวะสมดุล (mg/L)
	V	คือ	ปริมาตรของสารละลาย (L)
	W	คือ	น้ำหนักของตัวดูดซับ LDH (g)

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

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

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

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

ตอนที่ 8 การศึกษาผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับ LDH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม

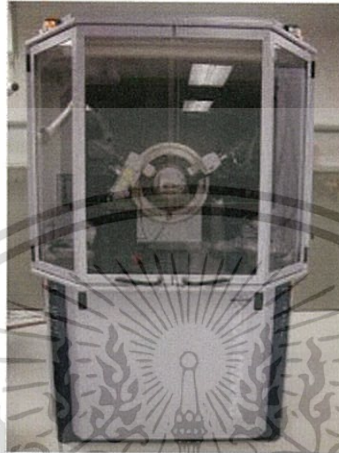
1. นำตัวดูดซับ LDH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ $M^{2+}:M^{3+}$ ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบบลึค 5 และคงโกเรตที่สูงที่สุดมาทำการแคลไซน์ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
2. ตัวดูดซับ LDH ที่ผ่านการแคลไซน์ จะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเทคนิคต่างๆ เช่นเดียวกับ LDH ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์
3. ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของตัวดูดซับ LDH ที่ผ่านการแคลไซน์ เช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1 โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ เวลา และอุณหภูมิในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า และความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นที่เหมาะสม จากนั้นนำมาเปรียบเทียบร้อยละการกำจัดสีย้อมกับตัวดูดซับ LDH ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์



3.3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ LDH

ตัวดูดซับ LDH ทั้ง 3 ชนิดที่ได้จากการสังเคราะห์ในตอนต้นที่ 3.3.2 และตัวดูดซับ LDH ที่ผ่านการแคลไซน์จะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

3.3.5.1 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิดด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)



รูปที่ 3.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)

3.3.5.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิดด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)



รูปที่ 3.2 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.3 สัณฐานวิทยาของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)



รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

3.3.5.4 วิเคราะห์เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)



รูปที่ 3.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.5 วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวดูดซับด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารที่ใช้สำหรับการดูดซับไอโอดีน

1.1 สารละลาย HCl 5% W/W ปริมาตร 550 มิลลิลิตร

- ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 70 มิลลิลิตร เทลงในน้ำกลั่นที่มีปริมาตร 550 มิลลิเมตร จากนั้นคนให้เข้ากัน

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

- ชั่ง KIO_3 ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่ง KIO_3 3.5667 ± 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

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

- ละลาย $Na_2S_2O_3$ 24.820 กรัม ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด 75 ± 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Na_2CO_3 0.10 ± 0.01 กรัม เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น

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

- ชั่งไอโอดีน 12.70 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 19.10 กรัม ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2-5 มิลลิลิตร คนให้ของแข็งละลาย ค่อยๆ เติมน้ำทีละน้อย (ครั้งละประมาณ 5 มิลลิลิตร) จนกระทั่งได้สารละลายประมาณ 50-60 มิลลิลิตร ทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง คนเป็นระยะเพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา

1.5 น้ำแป้ง

- ชั่งแป้ง 1 ± 0.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 5-10 ml คนสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 25 ± 5 มิลลิลิตร กวนสารละลายตลอดเวลา แล้วเทสารละลายลงในน้ำกลั่นที่

ต้มเดือด ปริมาตร 1 ลิตร แล้วต้มสารละลายต่อให้เดือดอีก 4-5 นาทีทิ้งให้เย็นแล้วเก็บในขวดเก็บสารแข่วในตัวเย็น น้ำแบ่งที่เตรียมได้จะใช้ภายในวันที่เตรียมเท่านั้น

2. วิธีเทียบมาตรฐานของสารละลาย

2.1 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) - ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2.0 ± 0.01 กรัม เขย่าสารละลายให้เข้ากัน เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยดน้ำแบ่ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

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

3. วิธีการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน

3.1 ชั่งตัวดูดซับ LDH จำนวน 0.0500 กรัม แล้วเทลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

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

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

3.4 ปิเปตสารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว มา 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางทันทีแล้วทำการเขย่า

แรงๆ เป็นเวลา 30 ± 1 วินาที จากนั้นกรองสารละลายผ่านกระดาษกรองพับจีบเบอร์ 42

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

3.6 ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 3.1 ถึงข้อ 3.5 ทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำค่าทั้งหมดมาเฉลี่ยเพื่อหาค่าการดูดซับของไอโอดีน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

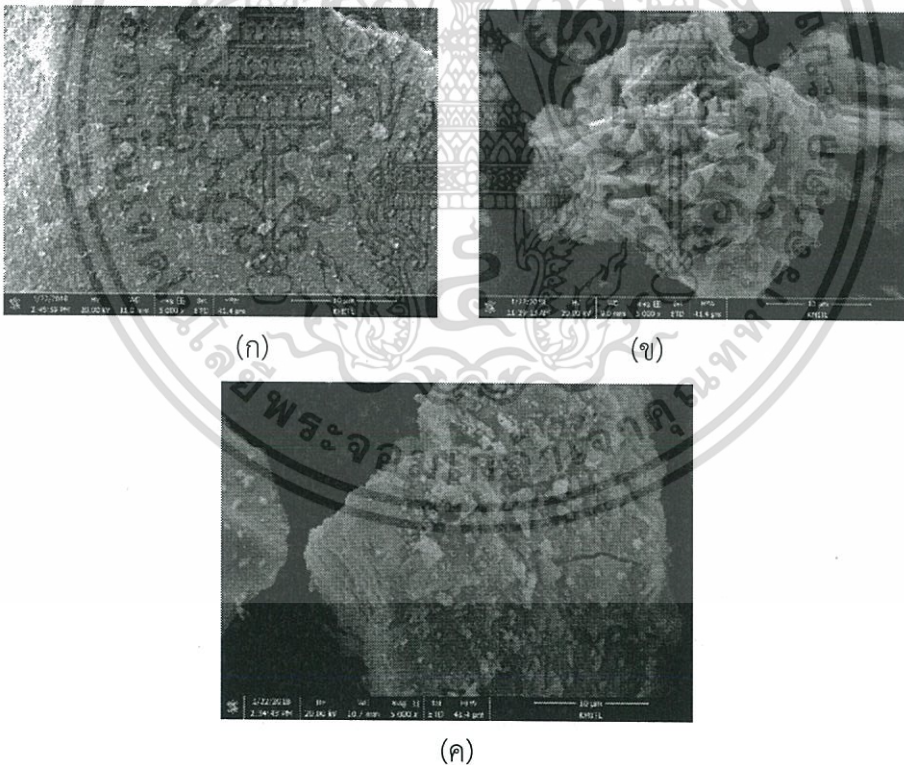
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์และศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับเลเยอร์-ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH) ที่เป็นโลหะผสมแตกต่างกัน 3 ชนิดได้แก่ Mg-Al Zn-Al และ Zn-Fe ในการกำจัดสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด โดยการนำเสนอผลการวิจัยและการอภิปรายผลจะกล่าวถึงคุณสมบัติของ LDH และอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลการกำจัดสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด ได้แก่ ชนิดของตัวดูดซับ ปริมาณของตัวดูดซับ เวลาที่ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า ไอโซเทอมของการดูดซับ อัตราส่วนโดยโมลของ M^{2+}/M^{3+} และผลของการแคลไซน์

4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ LDH ชนิด Mg-Al Zn-Al และ Zn-Fe

4.1.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ LDH



(ก) Mg-Al LDH (ข) Zn-Al LDH (ค) Zn-Fe LDH

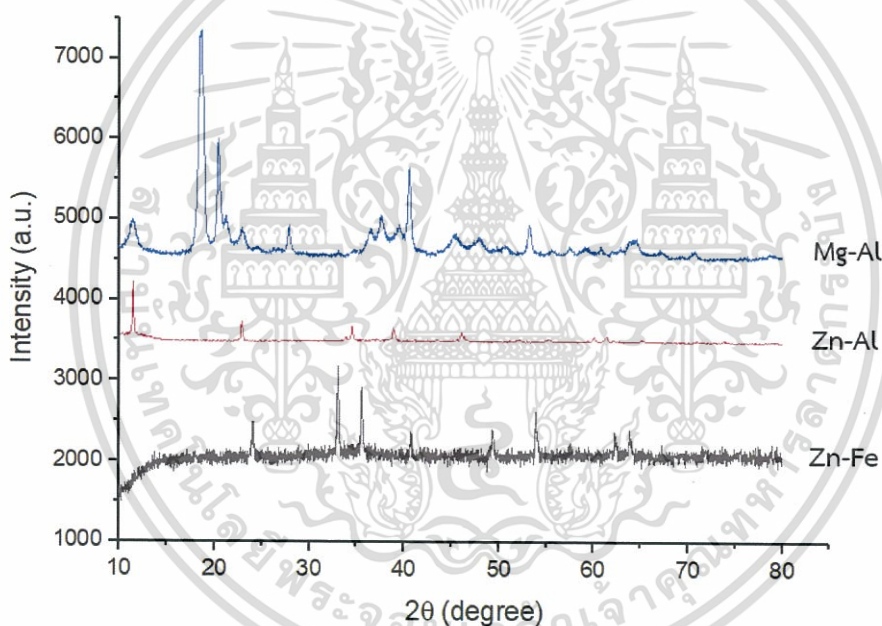
รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ LDH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 5000 เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

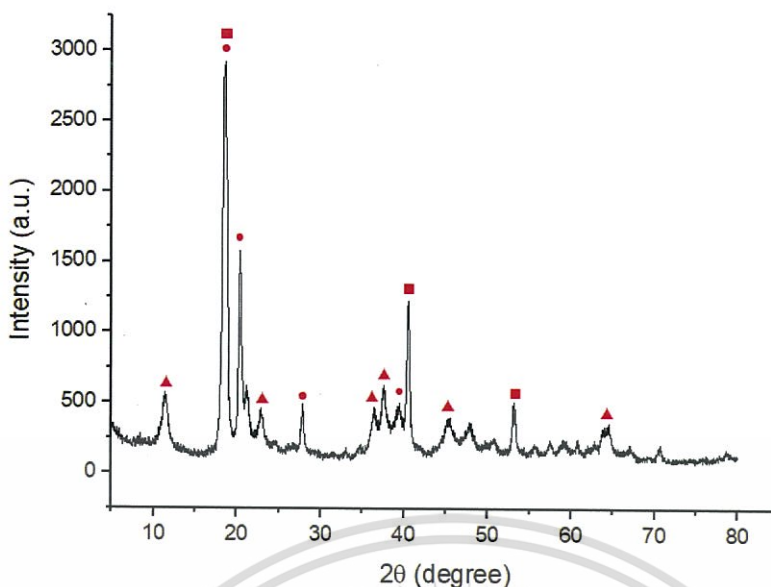
จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ Mg-Al LDH และ Zn-Fe LDH จะมีลักษณะพื้นผิวก่อนข้างขรุขระ บริเวณพื้นผิวมีอนุภาคขนาดเล็กมาปกคลุม ส่วนลักษณะพื้นผิวของ Zn-Al LDH จะมีลักษณะผิวก่อนข้างเรียบ

4.1.2 โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ LDH

ตัวดูดซับ LDH ชนิด Mg-Al Zn-Al และ Zn-Fe ที่อัตราส่วนโดยโมลประจุ +2 และโลหะประจุ +3 ($M^{2+}:M^{3+}$) เป็น 1:1 ได้ถูกนำไปวิเคราะห์โครงสร้างและความเป็นผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ LDH แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ LDH Mg-Al Zn-Al และ Zn-Fe อัตราส่วน $M^{2+}:M^{3+}$ เป็น 1:1 ที่ยังไม่ผ่านการแคลไซน์

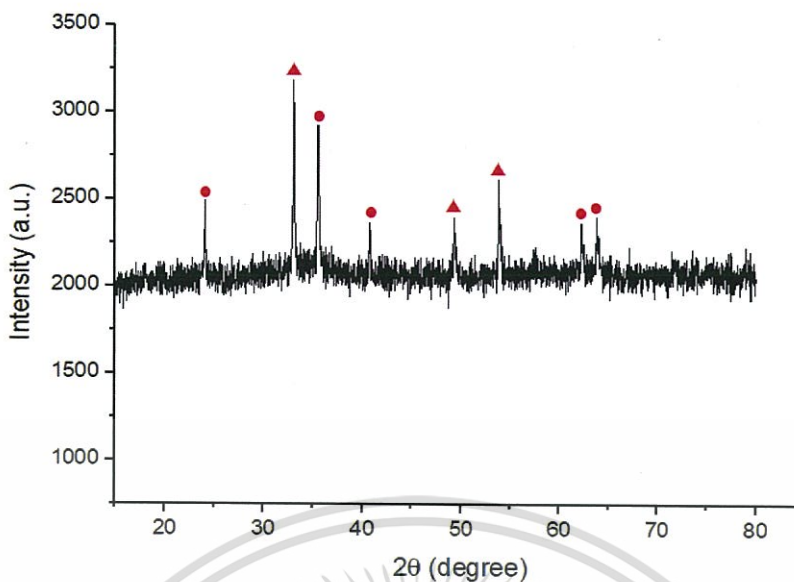


รูปที่ 4.3 ดิฟแฟรคโทแกรมของ Mg-Al LDH อัตราส่วนโดยโมล Mg-Al 1:1 ที่ยังไม่ผ่านการแคลไซน์

(▲) Mg-Al LDH (●) Al(OH)₃ (■) Mg(OH)₂

เมื่อพิจารณาดิฟแฟรคโทแกรมของ Mg-Al LDH ที่อัตราส่วน Mg-Al 1:1 ดังรูปที่ 4.3 พบว่า ตำแหน่งที่ 2θ เท่ากับ 11° 23° 35° 45° และ 62° เป็นพีคเอกลักษณ์ของ Mg-Al LDH ที่มีการจัดเรียงโครงสร้างชั้น (Layer structure) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Teixeira และคณะ [20]

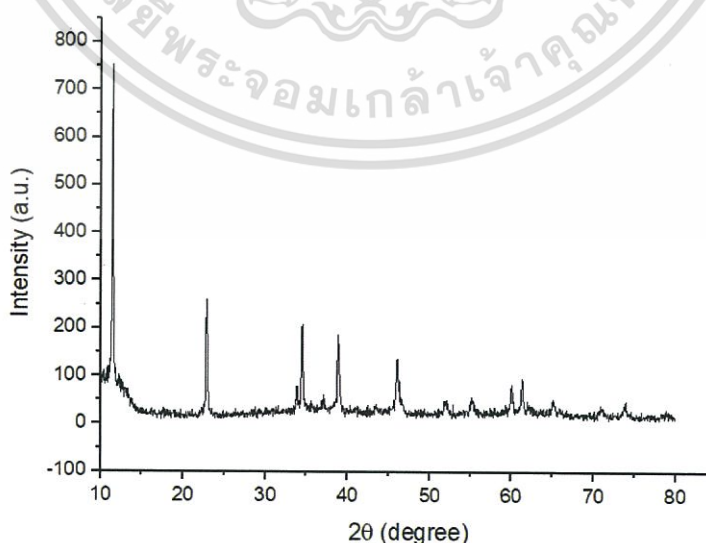
นอกจากนั้นดิฟแฟรคโทแกรมของ Mg-Al LDH (รูปที่ 4.3) ยังพบพีคเอกลักษณ์ของ Al(OH)₃ ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 18° 20° 27° และ 39° พีคเอกลักษณ์ของ Mg(OH)₂ ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 18° 40° และ 52° ซึ่งสอดคล้องกับดิฟแฟรคโทแกรม Al(OH)₃ และ Mg(OH)₂ ในงานวิจัยของ Yanguang และคณะ [21] และงานวิจัยของ Dalai และคณะ [22] ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า Mg-Al LDH 1:1 ที่สังเคราะห์ขึ้นมีโครงสร้างเป็นชั้น แต่มีการปะปนของผลึก Al(OH)₃ และ Mg(OH)₂ อยู่ด้วย



รูปที่ 4.4 ดิฟแฟรคโทแกรมของ Zn-Fe LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Zn-Fe 1:1

(●) Zn-Fe LDH (▲) Fe(OH)₃

จากดิฟแฟรคโทแกรมของ Zn-Fe LDH ในรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนโดยโมล Zn/Fe เท่ากับ 1:1 จะปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 23° 35° 40° 62° และ 63° ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของ Zn-Fe LDH จากงานวิจัยของ Parida และคณะ [23] แต่ไม่ปรากฏพีคที่ 2θ เท่ากับ 11° ซึ่งอาจเป็นเพราะโครงสร้างของ Zn-Fe LDH ไม่เกิดโครงสร้างเป็นชั้นอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่าดิฟแฟรคโทแกรมของ Zn-Fe LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1 มีการปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 33° 49° และ 56° ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของ Fe(OH)₃ ในงานวิจัยของ Nicu และคณะ [24] แสดงให้เห็นว่า Zn-Fe LDH ที่สังเคราะห์ได้มี Fe(OH)₃ เจือปนอยู่



รูปที่ 4.5 ดิฟแฟรคโทแกรมของ Zn-Al LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Zn-Al 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงดิฟแฟรคโทแกรมของ Zn-Al LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Zn-Al 1:1 ซึ่งพบพีคเอกลักษณ์ของ Zn-Al LDH ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 11° 23° 35° 39° 46° และ 60° โดยไม่พบพีคของ $Zn(OH)_2$ และ $Al(OH)_3$ ปะปนมา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tianshan และคณะ [25]

4.1.3 องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ LDH

ตัวดูดซับ LDH ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Mg-Al LDH Zn-Al LDH และ Zn-Fe LDH ที่อัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 และยังไม่ได้ทำการดูดซับ จะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบที่เป็นโลหะด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของโลหะในตัวดูดซับ LDH วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

ชนิดของตัวดูดซับ	Mg (%) โดยโมล	Zn (%) โดยโมล	Al (%) โดยน้ำหนัก	Fe (%) โดยน้ำหนัก	อัตราส่วน โดยโมล $M^{2+}: M^{3+}$
Mg-Al LDH	35.1	-	45.1	-	0.97
Zn-Al LDH	-	33.5	45.7	-	0.98
Zn-Fe LDH	-	37.8	-	50.6	0.94

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ตัวดูดซับ Mg-Al LDH Zn-Al LDH และ Zn-Fe LDH ที่เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมมีอัตราส่วนของโลหะแต่ละชนิดใกล้เคียงกับอัตราส่วนโมลที่กำหนดไว้

4.1.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ LDH ด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน

ตัวดูดซับ Mg-Al LDH Zn-Al LDH และ Zn-Fe LDH ที่อัตราส่วน $M^{2+}:M^{3+}$ เป็น 1:1 ที่ยังไม่ผ่านการดูดซับจะถูกนำไปดูดซับจะถูกนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน ซึ่งแสดงผลวิเคราะห์ในตารางที่ 4.2

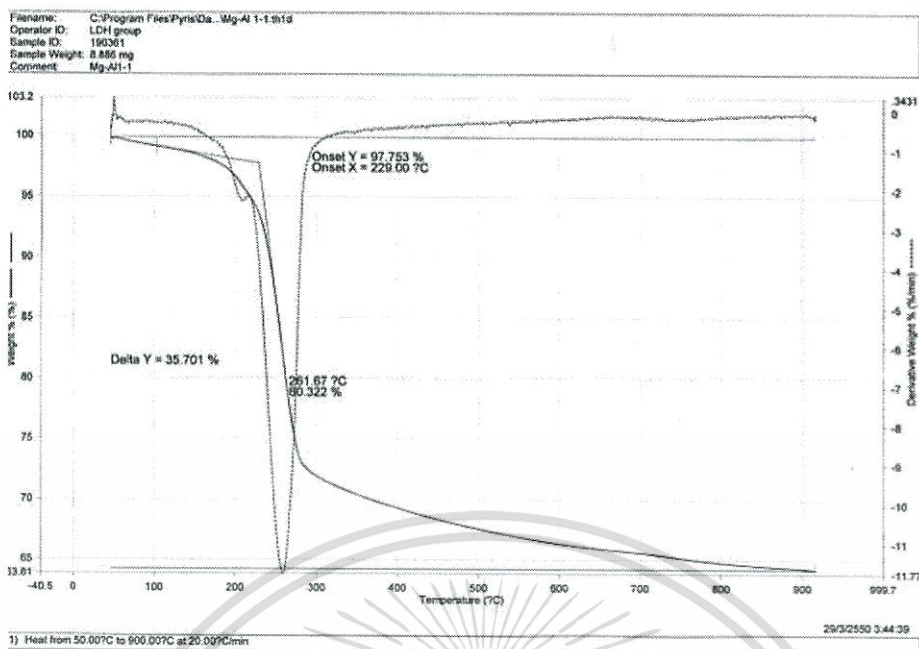
ตารางที่ 4.2 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ Mg-Al LDH Zn-Fe LDH และ Zn-Al LDH ที่อัตราส่วน $M^{2+}:M^{3+}$ เป็น 1:1

ชนิดของตัวดูดซับ LDH	ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ (mg/g)
Mg-Al	1053.27
Zn-Fe	926.37
Zn-Al	329.94

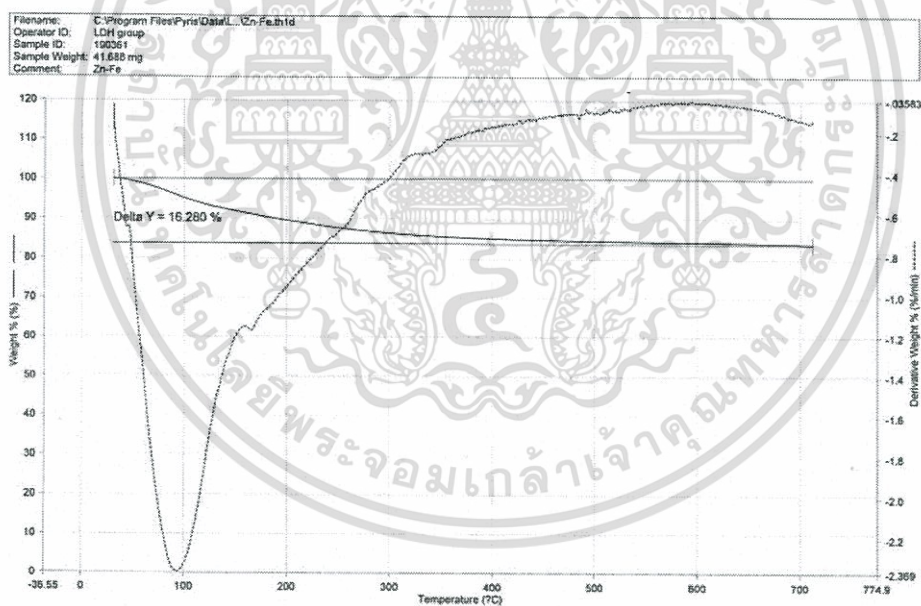
การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ LDH ด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน จะรายงานผลเป็นปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ ($\text{mg I}_2/\text{g}$) ซึ่งจะแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ จากตารางที่ 4.2 LDH ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Mg-Al LDH Zn-Fe LDH และ Zn-Al LDH ที่มีแอนไอออนเป็น Cl^- ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al Zn/Fe และ Zn/Al เท่ากับ 1:1 พบว่า ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ Mg-Al LDH > Zn-Fe LDH > Zn-Al LDH ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าตัวดูดซับ Mg-Al LDH มีพื้นที่ผิวมากกว่า Zn-Fe LDH และ Zn-Al LDH

4.1.5 ความเสถียรต่ออุณหภูมิของตัวดูดซับ LDH

เนื่องจากโครงงานพิเศษนี้มีการศึกษาผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับ LDH ที่มีต่อการกำจัดสี ย้อมดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบตัวดูดซับ LDH ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวดูดซับที่อุณหภูมิใด จึงได้ใช้เทคนิค TGA (Thermogravimetric analysis) มาทำการวิเคราะห์อุณหภูมิที่ตัวดูดซับ LDH เกิดการสลายตัว ดังนั้นจึงได้นำตัวดูดซับ Mg-Al LDH และ Zn-Fe LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al และ Zn/Fe เท่ากับ 1:1 ที่ยังไม่ได้ทำการดูดซับมาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน แสดงผลดังรูป 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผล TGA ของตัวดูดซับ Mg-Al LDH (Mg/Al = 1:1)



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผล TGA ของตัวดูดซับ Zn-Fe LDH (Zn/Fe = 1:1)

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับน้ำหนักของตัวดูดซับ LDH ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยที่น้ำหนักที่สูญเสียไปในช่วงก่อน 200 องศาเซลเซียสนั้นเป็นการสูญเสียของน้ำและคลอไรด์หลังจากนั้นในช่วงอุณหภูมิประมาณ 200-261.67 องศาเซลเซียสของตัวดูดซับ Mg-Al LDH (รูปที่ 4.6) จะเป็นการที่โครงสร้างของตัวดูดซับเกิดการพังทลายและในส่วนของตัวดูดซับ Zn-Fe LDH (รูปที่ 4.7) เกิดการสูญเสียน้ำในช่วงอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียสและมีการเอกซอร์มเป็นเอกซอร์มที่สวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

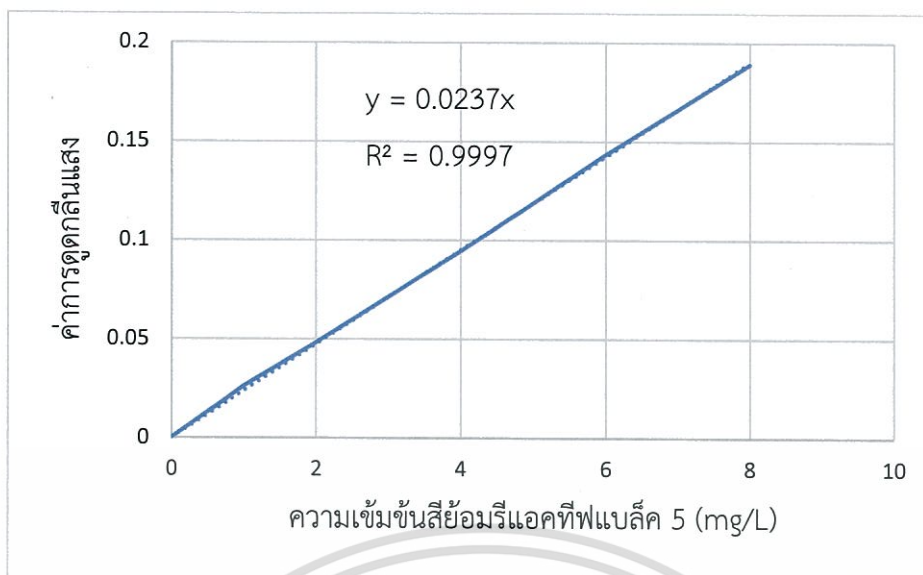
พังทลายของโครงสร้างตัวดูดซับในช่วงอุณหภูมิประมาณ 165-175 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าตัวดูดซับ LDH นั้นสามารถทนความร้อนได้ถึงประมาณ 261.67 องศาเซลเซียสสำหรับตัวดูดซับ Mg-Al และที่อุณหภูมิประมาณ 175 องศาเซลเซียสสำหรับตัวดูดซับ Zn-Fe ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการแคลไซน์ตัวดูดซับ LDH ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสนั้นมีความเหมาะสมเนื่องจากตัวดูดซับ LDH เกิดการพังทลายของโครงสร้างในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด

4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และสีย้อมคองโกเรด

จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และสีย้อมคองโกเรดที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 8 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5) และความยาวคลื่น 486 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมคองโกเรด) ซึ่งค่าการดูดกลืนแสง แสดงผลในตารางที่ 4.3 และได้นำไปสร้างกราฟมาตรฐานในรูปที่ 4.8 และ 4.9

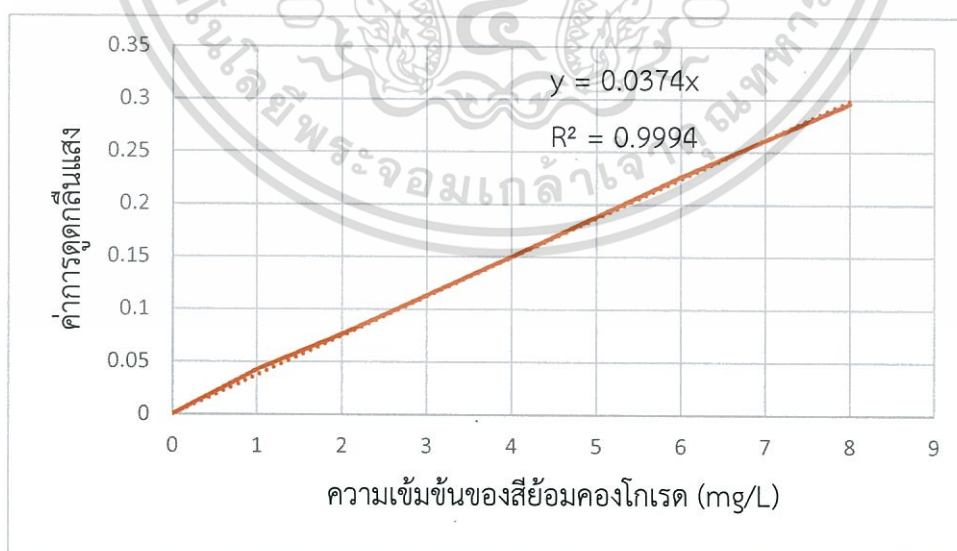
ตารางที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด

ความเข้มข้นของสารละลาย ที่ได้ในการเตรียม กราฟมาตรฐาน (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสงของ สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	ค่าการดูดกลืนแสงของ สีย้อมคองโกเรด
1	0.0261	0.0424
2	0.0481	0.0763
4	0.0944	0.1503
6	0.1432	0.2262
8	0.1889	0.2962



รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 กับค่าการดูดกลืนแสง พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยมีค่า $R^2 = 0.9997$ ซึ่งเป็นไปตามสมการ $y = 0.0237x$ เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสง และ x คือ ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (mg/L) กราฟมาตรฐานที่ได้จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ที่เหลืออยู่ หลังจากผ่านกระบวนการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ LDH ต่อไป



รูปที่ 4.9 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสีย้อมคองโกเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดกับค่าการดูดกลืนแสง พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยมีค่า $R^2 = 0.9994$ ซึ่งเป็นไปตามสมการ $y = 0.0374x$

เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสง และ x คือ ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด (mg/L) กราฟมาตรฐานที่ได้จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของสีย้อมคองโกเรดที่เหลืออยู่ หลังจากผ่านกระบวนการดูดซับสีย้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ LDH ต่อไป

4.3 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

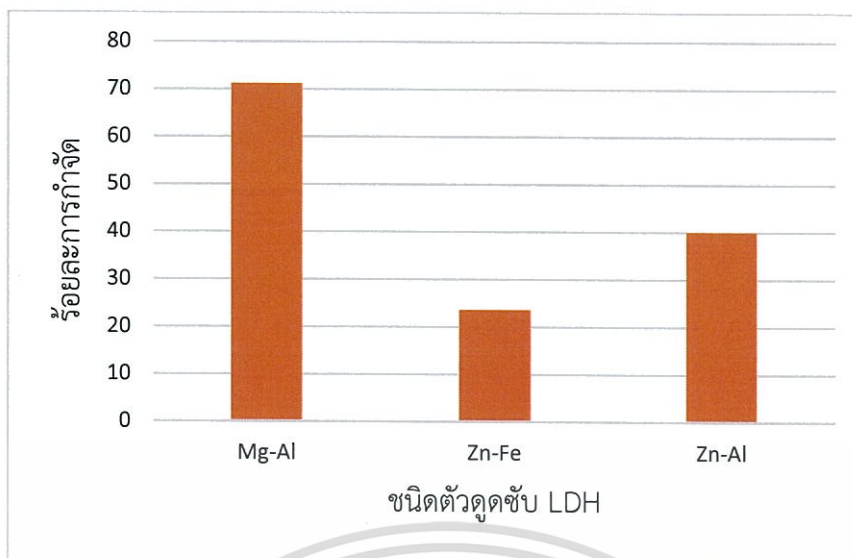
ในการศึกษาผลกระทบที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ LDH ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดของตัวดูดซับ LDH ปริมาณของตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า ไอโซเทอมของการดูดซับ อัตราส่วนโดยโมล M^{2+}/M^{3+} ของ LDH และผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับ

4.3.1 ผลของชนิดตัวดูดซับ

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล M^{2+}/M^{3+} เป็น 1:1 ชนิดต่างๆ คือ Mg-Al LDH Zn-Fe LDH และ Zn-Al LDH เวลาในการดูดซับ 60 นาที พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 7 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 100 mg/L ปริมาณตัวดูดซับ LDH 1200 mg/L ที่อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด แสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.4 ผลของชนิดตัวดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ชนิดของสีย้อม	ชนิดของตัวดูดซับ LDH	ความเข้มข้นสีย้อม คงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการดูดซับสีย้อม
Congo Red	Mg-Al	31.05	71.10
	Zn-Fe	82.16	23.54
	Zn-Al	64.49	39.98



รูปที่ 4.10 ผลของชนิดตัวดูดซับ LDH ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรต

และรูปที่ 4.10 พบว่า ร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรตเมื่อดูดซับด้วย Mg-Al LDH มีค่าสูงกว่า Zn-Fe และ Zn-Al โดยกำจัดสีย้อมคองโกเรตได้ร้อยละ 71.10 ดังนั้น Mg-Al LDH จึงเป็นตัวดูดซับที่เหมาะสมสำหรับกำจัดสีย้อมคองโกเรต

ในการกำจัดสีย้อมชนิดประจุลบ (anionic dye) เช่น คองโกเรต และรีแอคทีฟแบล็ค 5 จะอาศัยหลักการดูดซับ (Adsorption) โดยตัวดูดซับ LDH ซึ่งเป็นสารชนิด Hydrotalcite มีสูตรโครงสร้างคือ $[M^{2+}_{1-x} M^{3+}_x(OH)_2]^{x+} [A^{n-}_x \cdot mH_2O]^{x-}$

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

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

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

และ x จะมีค่าระหว่าง 0.2-0.33 [27]

โดยสูตรโครงสร้างของ LDH เขียนแทนได้เป็น Sur-OH เมื่อ Sur แทนพื้นผิวของตัวดูดซับ LDH ซึ่งพีเอชที่มี Zeta potential = 0 จะเรียกว่า Isoelectric point (IEP) ค่า Isoelectric point จะใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติของตัวดูดซับ LDH โดยวัดจากเครื่อง Microelectrophoretic Mobility Detector โดยตัวดูดซับ LDH มีค่า Isoelectric point อยู่ที่ 10.9 ถ้าตัวดูดซับ LDH อยู่ในสารละลายที่มีพีเอชต่ำกว่าค่า Isoelectric point ตัวดูดซับ LDH จะทำหน้าที่รับโปรตอนและกลายเป็นประจุบวก ตามสมการที่ 4.1 [17]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าตัวดูดซับ LDH อยู่ในสารละลายที่มีพีเอชสูงกว่าค่า Isoelectric point ตัวดูดซับ LDH จะทำหน้าที่ให้โปรตอนและกลายเป็นประจุลบ ตามสมการที่ 4.2

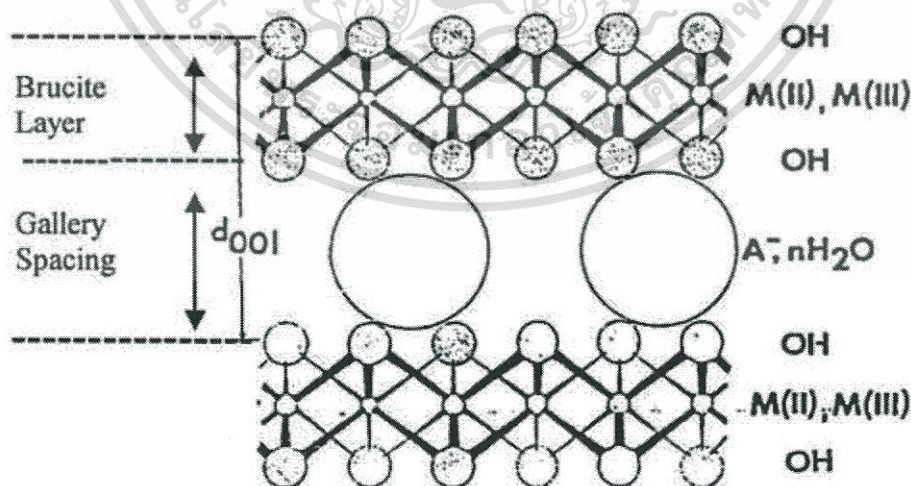


ในการทดลองมีการควบคุมพีเอชของสารละลายสีย้อมให้เท่ากับ 7 ซึ่งต่ำกว่าค่า IEP ดังนั้นตัวดูดซับ LDH จึงแสดงประจุบวกที่พื้นผิว ตามสมการ 4.1 โดยกลไกการดูดซับระหว่าง LDH กับสีย้อมชนิด anionic อาจเป็นไปได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 : สีย้อมชนิด anionic (Dye^-) จะเข้าไปดูดซับกับพื้นผิวของ LDH ที่แสดงประจุบวก (Sur-OH_2^+) ด้วยแรงดึงดูดระหว่างไอออน ดังสมการที่ 4.3



กรณีที่ 2 : เนื่องจาก LDH เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นชั้น ๆ ของไฮดรอกไซด์ (Hydroxide layer) โดยมีไอออนของโลหะที่มีประจุ +2 อยู่ในช่อง Octahedral โดยโลหะที่มีประจุ +2 บางส่วนจะถูกแทนที่ด้วยโลหะที่มีประจุ +3 ทำให้ประจุสุทธิบนพื้นผิวของไฮดรอกไซด์เป็นประจุบวก และระหว่างชั้นจะถูกดุลประจุด้วยไอออนที่มีประจุลบ (Interlayer anion) ซึ่งแทรกตัวอยู่ เช่น CO_3^{2-} , Cl^- หรือ NO_3^- ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ลักษณะโครงสร้างของ LDH [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ LDH อยู่ในสารละลาย Interlayer anion บางส่วนสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในสารละลาย และไอออนลบอื่นจะเข้าไปแทนที่ได้ ดังนั้น กลไกการดูดซับของสีย้อมชนิด anionic กับ LDH จึงเป็นแบบการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion exchange) ซึ่ง Cl^- เป็น Interlayer anion ของ LDH จะแพร่ออกจาก LDH เข้าไปในสารละลาย ส่วนสีย้อมที่เป็นประจุลบ (Dye⁻) จะเข้าไปแทนที่ ดังสมการที่ 4.4



โดยจากผลการทดลองในรูปที่ 4.15 จะเห็นว่า Mg-Al LDH ดูดซับสีย้อมคองโกเรตได้มากที่สุด เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ Mg-Al LDH สูงกว่าของ Zn-Fe และ Zn-Al LDH (ตารางที่ 4.2) จึงทำให้เกิดการดูดซับระหว่างสีย้อมคองโกเรตกับพื้นที่ผิวของ Mg-Al LDH ที่แสดงประจวบกันได้มากที่สุดด้วย

เมื่อพิจารณาดีฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ Mg-Al LDH Zn-Al LDH และ Zn-Fe LDH ที่อัตราส่วน $\text{Mg}^{2+} : \text{M}^{3+}$ เป็น 1:1 (รูปที่ 4.2) พบว่าระยะห่างระหว่าง layer (d-spacing) เท่ากับ 3.83 Å 3.79 Å และ 3.87 Å ตามลำดับ ซึ่งการดูดซับสีย้อมสามารถเกิดขึ้นได้ในช่องว่างระหว่าง layer โดยกลไก anion exchange คองโกเรตเป็นสีย้อมที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ (รูปที่ 4.12) และมีมวลโมเลกุลสูง



รูปที่ 4.12 โครงสร้างทางเคมีของคองโกเรต (สูตรโมเลกุล : $\text{C}_{32}\text{H}_{22}\text{N}_6\text{Na}_2\text{O}_6\text{S}_2$) [8]

ดังนั้นคองโกเรตจึงเข้าไปในช่องว่างระหว่าง layer และเกิดแรงดึงดูดระหว่างพื้นผิว LDH ที่มีประจวบกับหมู่ SO_3^- ของคองโกเรต ถ้าช่องว่างระหว่าง layer มีขนาดแคบเกินไป สีย้อมคองโกเรตจะเข้าไปแลกเปลี่ยนไอออนกับ interlayer anion ได้ยาก จึงเกิดการดูดซับได้น้อย แต่ถ้าช่องว่างระหว่าง layer กว้างเกินไป คองโกเรตสามารถเข้าไปในช่องว่างระหว่าง layer ได้ แต่เกิดการดึงดูดที่ไม่แข็งแรงระหว่างพื้นผิว LDH ที่มีประจวบกับหมู่ SO_3^- ซึ่งมีโอกาสที่คองโกเรตจะถูกคายซับ (desorb) ออกจากช่องว่างระหว่าง layer ของ LDH ได้ จึงส่งผลให้เกิดการกำจัดสีย้อมได้น้อย ด้วย

เหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น Mg-Al LDH ซึ่งมี d-spacing ปานกลาง จึงดูดซับสีย้อมคองโกเรดได้ดีกว่า Zn-Al LDH ที่มี d-spacing น้อยที่สุด และ Zn-Fe ที่มี d-spacing มากที่สุด โดย Mg-Al LDH สามารถกำจัดสีย้อมคองโกเรดได้สูงสุดถึงร้อยละ 71.10 เมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับ LDH 1200 mg/L อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส

อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที และเวลาในการดูดซับ 60 นาที จึงนำ Mg-Al LDH ไปศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรดต่อไป

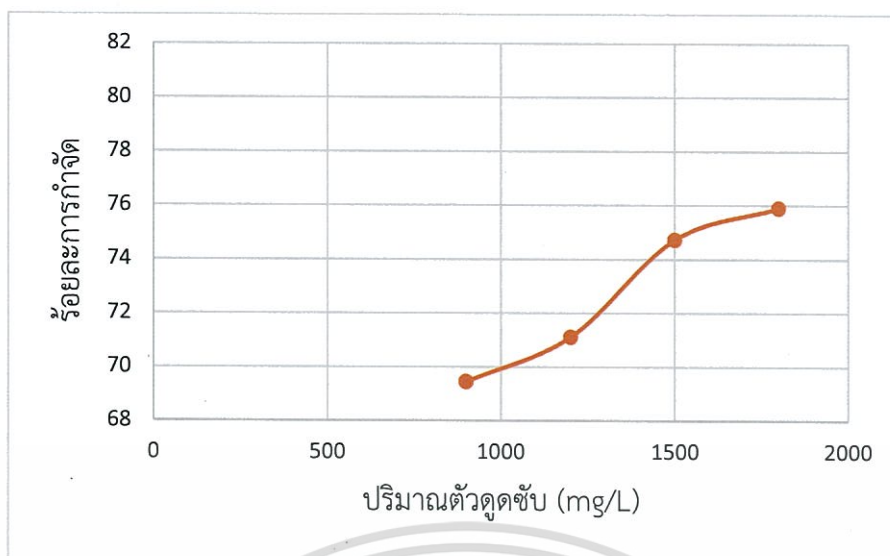
4.3.2 ผลของปริมาณตัวดูดซับ LDH

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรด โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวดูดซับ Mg-Al LDH (1:1) เป็น 900, 1200, 1500 และ 1800 mg/L เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 7 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 100 mg/L ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด แสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณตัวดูดซับ LDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรดโดยใช้ตัวดูดซับ Mg-Al LDH

ชนิดของสีย้อม	ตัวดูดซับ LDH	ปริมาณตัวดูดซับ LDH (mg/L)	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
Congo Red	Mg-Al	900	35.57	69.44
		1200	33.64	71.10
		1500	25.07	74.71
		1800	28.06	75.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลของปริมาณตัวดูดซับ LDH ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรต

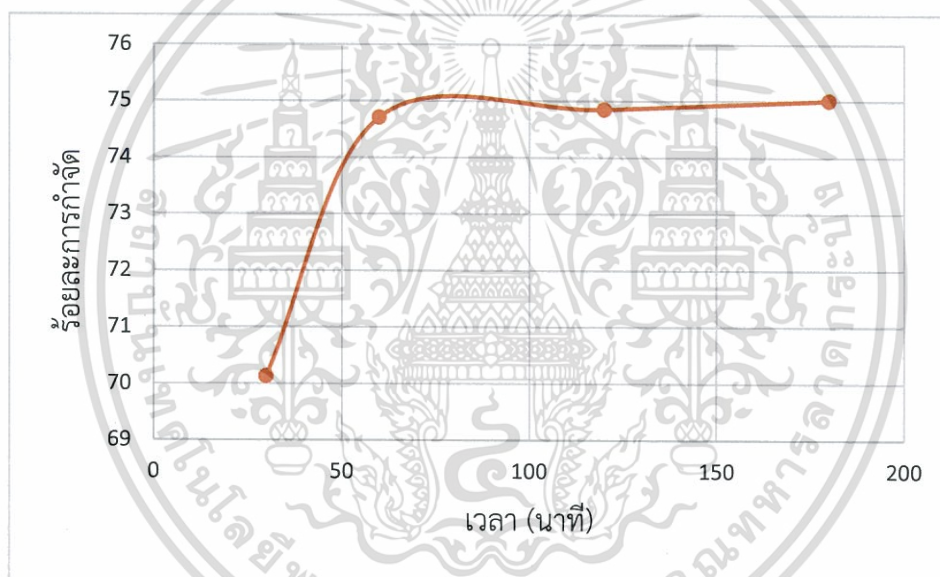
จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ Mg-Al LDH สำหรับดูดซับสีย้อมคองโกเรต จาก 900 mg/l เป็น 1500 mg/l ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับนั้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับดูดซับสีย้อม ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น ซึ่งสีย้อมที่เป็นประจุลบสามารถเข้าไปแทนที่ interlayer anion มากขึ้นด้วย เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจาก 1500 mg/l เป็น 1800 mg/l พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มคงที่ อาจเป็นไปได้ว่าสีย้อมได้ถูกดูดซับไปจนถึงปริมาณที่สมดุลแล้ว จึงทำให้พบว่าการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับที่มากกว่า 1500 mg/l ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของร้อยละการกำจัดสารละลายสีย้อมอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นปริมาณตัวดูดซับ 1500 mg/l จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมคองโกเรตด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH โดยให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรต ที่ร้อยละ 74.71

4.3.3 ผลของเวลาในการดูดซับ

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรต โดยเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการดูดซับ เป็น 30, 60, 120 และ 180 นาที ด้วยตัวดูดซับ ตัวดูดซับ Mg-Al LDH (Mg/Al 1:1) ปริมาณของตัวดูดซับ LDH ที่ใช้คือ 1500 mg/L พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 7 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 100 mg/L ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และสีย้อมคองโกเรต แสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.6 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด โดยใช้ตัวดูดซับ Mg-Al LDH

ชนิดของสีย้อม	ตัวดูดซับ LDH	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสี ย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด สีย้อม
Congo Red	Mg-Al	30	29.81	70.13
		60	25.07	74.71
		120	25.61	74.85
		180	25.44	75.01



รูปที่ 4.14 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH

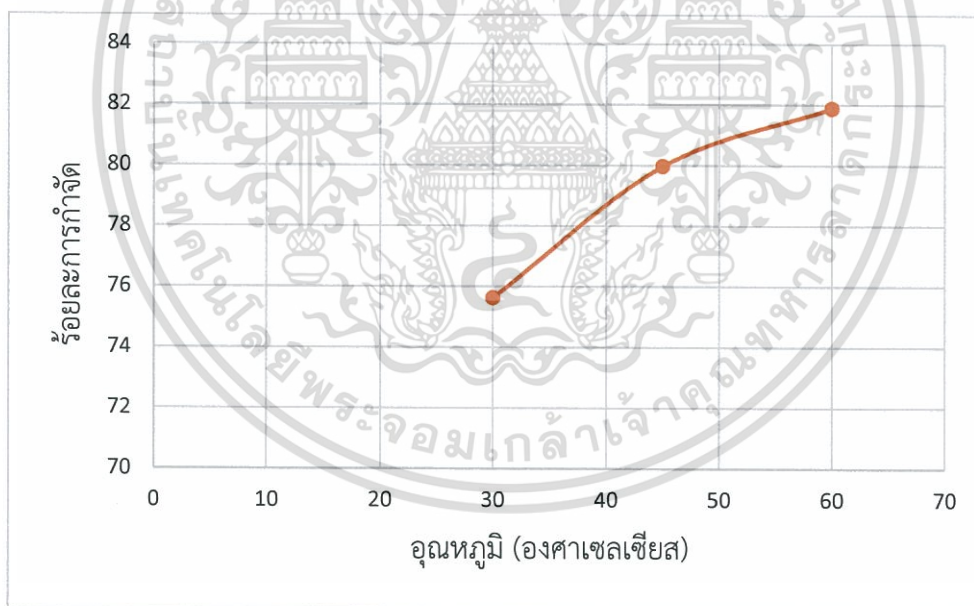
จากรูปที่ 4.14 เป็นการดูดซับสีย้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH พบว่าในช่วงเวลาของการดูดซับ 30 ถึง 60 นาทีร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 60 นาที ร้อยละการกำจัดมีแนวโน้มคงที่ เพราะเมื่อใช้เวลานานขึ้นตัวดูดซับ LDH สามารถดูดซับสารถูกดูดซับได้ดีจนเกือบเข้าสู่ภาวะสมดุล โดยที่เวลา 60 นาที สามารถกำจัดสีย้อมคองโกเรดได้ร้อยละ 74.71 ดังนั้นที่เวลาการดูดซับ 60 นาที จึงเป็นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับคองโกเรดด้วย Mg-Al LDH เพราะเป็นเวลาที่การดูดซับเข้าสู่สมดุลแล้ว

4.3.4 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับ

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรด โดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการดูดซับเป็น 30, 45, 60 องศาเซลเซียส ด้วยดูดซับ Mg-Al LDH (Mg/Al 1:1) เวลาในการดูดซับ 60 นาที โดยพีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 7 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 100 mg/L ปริมาณตัวดูดซับ LDH 1500 mg/L อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด แสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรดโดยใช้ตัวดูดซับ Mg-Al LDH

ชนิดของสารถูกดูดซับ	ตัวดูดซับ LDH	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
Congo Red	Mg-Al	30	25.07	74.71
		45	19.85	79.97
		60	17.96	81.88



รูปที่ 4.15 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับมากขึ้น ร้อยละในการกำจัดสีย้อมคองโกเรดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ 60 องศาเซลเซียส จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมคองโกเรด โดยสามารถกำจัดสีย้อมคองโกเรดได้ถึงร้อยละ 81.88 เนื่องจากปฏิกิริยาการดูดซับเป็นการสร้างพันธะเคมีระหว่างไอออนลบของสีย้อมคองโกเรดกับตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

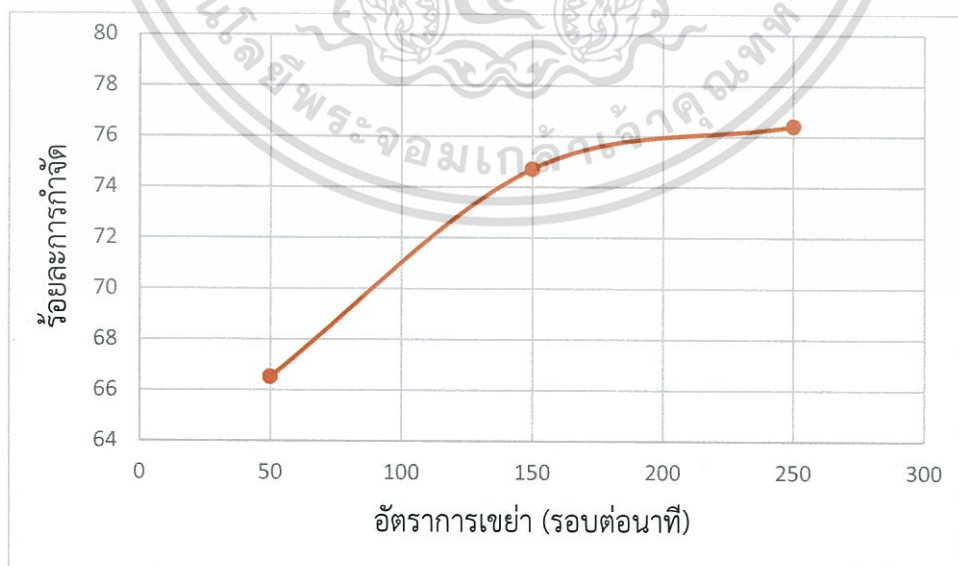
ดูดซับ Mg-Al LDH ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับดียิ่งขึ้น

4.3.5 ผลของอัตราเร็วในการเขย่า

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรด โดยเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการเขย่าในการดูดซับเป็น 50 150 และ 250 รอบ/นาที ด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH (Mg-Al 1:1) พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 7 ปริมาณของตัวดูดซับเท่ากับ 1500 mg/L เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ 60 องศาเซลเซียสสำหรับสีย้อมคองโกเรด ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ 100 mg/L ซึ่งความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด แสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.8 ผลของอัตราเร็วในการเขย่าที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด

ชนิดของสารถูกดูดซับ	ตัวดูดซับ LDH	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด
Congo Red	Mg-Al	50	38.47	66.52
		150	25.07	74.71
		250	27.11	76.41



รูปที่ 4.16 ผลของอัตราการเขย่าในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ

Mg-Al LDH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

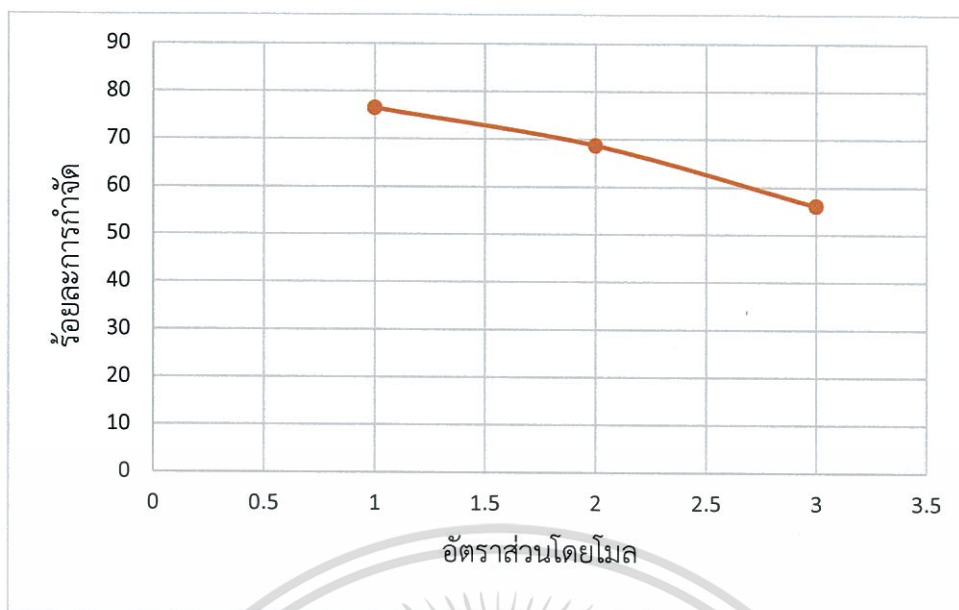
จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการเขย่าสารละลายสีย้อมกับตัวดูดซับจาก 50 เป็น 150 และ 250 รอบ/นาที ร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรดที่ได้จะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นอัตราเร็วในการเขย่าในการดูดซับที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมที่เหมาะสมคือ 250 รอบ/นาที โดยสามารถกำจัดสีย้อมคองโกเรด ได้มากที่สุดถึงร้อยละ 76.41 เนื่องจากเมื่ออัตราเร็วในการเขย่าเพิ่มขึ้น ทำให้โมเลกุลของสีย้อมและตัวดูดซับชนกันมากขึ้น ส่งผลให้พลังงานจลน์ของสารในระบบเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิจึงสูงขึ้น เนื่องจากการดูดซับระหว่างสีย้อมคองโกเรดกับ Mg-Al LDH เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน นอกจากนั้นอัตราการเขย่าที่เพิ่มขึ้นยังช่วยทำให้ ตัวดูดซับ LDH จะเกิดการกระจายตัวในสารละลายได้ดีและทั่วถึง ส่งผลให้ ตัวดูดซับ LDH สัมผัสกับสีย้อมได้มากและทำให้สีย้อมเกิดการแพร่เข้าไปในชั้นอินเทอร์เลเยอร์ของ LDH ได้ง่ายขึ้นด้วย ร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรดจึงมีค่าสูงขึ้น

4.3.6 ผลของอัตราส่วนโดยโมล M^{2+}/M^{3+} ของตัวดูดซับ LDH

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH ที่เตรียมขึ้นมา ด้วยอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ตั้งแต่ 1:1 2:1 และ 3:1 พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 7 ปริมาณของตัวดูดซับเท่ากับ 1500 mg/L เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ 60 องศาเซลเซียส อัตราในการเขย่า 250 รอบ/นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ 100 mg/L ซึ่งความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด แสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.17

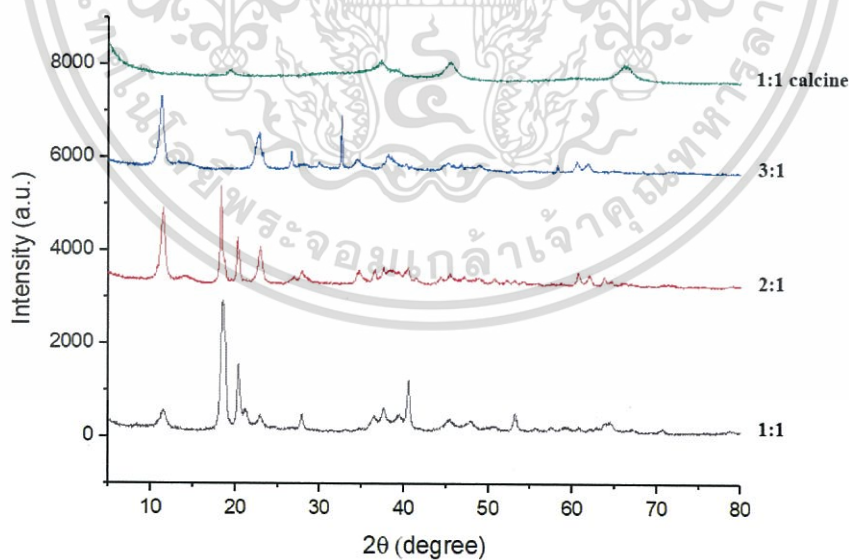
ตารางที่ 4.9 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ชนิดของสีย้อม	ตัวดูดซับ LDH	อัตราส่วนโดยโมล ($M^{2+}:M^{3+}$)	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
Congo Red	Mg-Al	1:1	27.11	76.41
		2:1	40.33	68.62
		3:1	54.48	56.05



รูปที่ 4.17 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al จาก 1:1 เป็น 3:1 เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของ Mg มีมากขึ้นจะทำให้ Mg ที่มีมากเกินไปเกิดการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างของ LDH ซึ่งสอดคล้องกับผลดีฟแฟรคโทแกรมของ Mg-Al LDH ที่อัตราส่วนโดยโมลต่างๆ ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ดีฟแฟรคโทแกรมของ Mg-Al LDH ที่อัตราส่วนโมลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.23 เมื่อทำการเปรียบเทียบดิฟแฟรคโทแกรมของ Mg-Al LDH ที่อัตราส่วน Mg/Al ต่างๆ กัน ได้แก่ 1:1 2:1 และ 3:1 พบว่าตำแหน่งที่ 2 θ เท่ากับ 11° 23° 35° 45° และ 62° เป็นพีคเอกลักษณ์ของ Mg-Al LDH ที่มีการจัดเรียงโครงสร้างชั้น (Layer structure) เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบพีคเอกลักษณ์ของ Al(OH)₃ ตำแหน่งที่ 2 θ เท่ากับ 18° 20° 27° และ 39° รวมทั้งพีคเอกลักษณ์ของ Mg(OH)₂ ที่ตำแหน่ง 2 θ เท่ากับ 18° 40° และ 52° ของ Mg/Al ที่อัตราส่วน 2:1 และ 3:1 ในขณะที่ Mg/Al ที่อัตราส่วน 1:1 นั้น ไม่ปรากฏพีคตำแหน่งที่ 2 θ เท่ากับ 18° และ 20° ซึ่งเป็นดิฟแฟรคโทแกรม Al(OH)₃ และ Mg(OH)₂ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า Mg-Al LDH 1:1 2:1 และ 3:1 ที่สังเคราะห์ขึ้นมีโครงสร้างเป็นชั้น แต่มีการปะปนของผลึก Al(OH)₃ และ Mg(OH)₂ อยู่ด้วย

เมื่อนำ Mg-Al LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เป็น 1:1 2:1 และ 3:1 และ Mg/Al 1:1 ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับด้วยเทคนิคดูดซับไอโอดีน แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.10

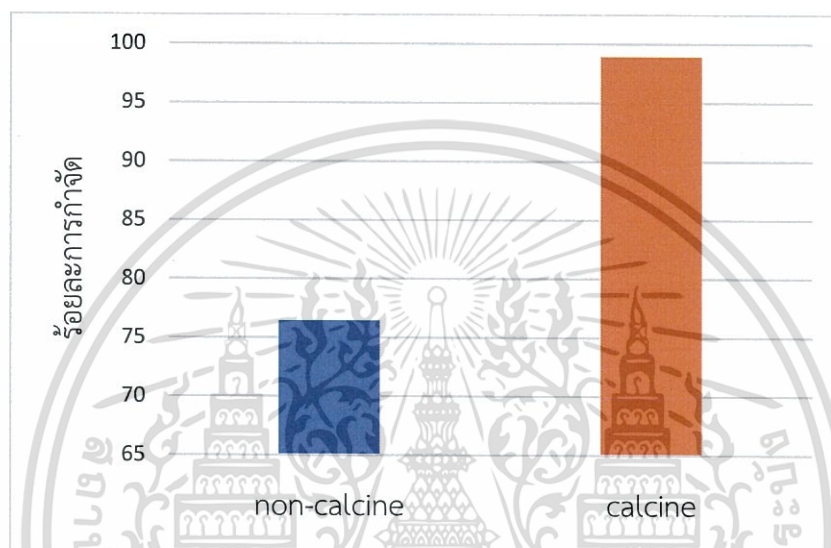
ตารางที่ 4.10 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นที่ผิวของ Mg-Al LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ต่างๆ และ Mg/Al LDH ที่ผ่านการแคลไซน์

อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของ Mg-Al LDH	ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ (mg/g)
1:1	1053.27
2:1	748.71
3:1	469.53
1:1 (Calcine 350°C)	1243.62

เมื่อพิจารณาปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับบน Mg-Al LDH ที่อัตราส่วน Mg/Al ต่างๆ ซึ่งแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ จะเห็นได้ว่า Mg-Al LDH ที่อัตราส่วน Mg/Al 1:1 มีพื้นที่ผิวมากกว่า Mg-Al LDH ที่มีอัตราส่วน Mg/Al 2:1 และ 3:1 ตามลำดับ ดังนั้น Mg-Al LDH ที่อัตราส่วน Mg/Al 1:1 จึงสามารถกำจัดสีย้อมคองโกเรตได้มากที่สุดถึงร้อยละ 76.41

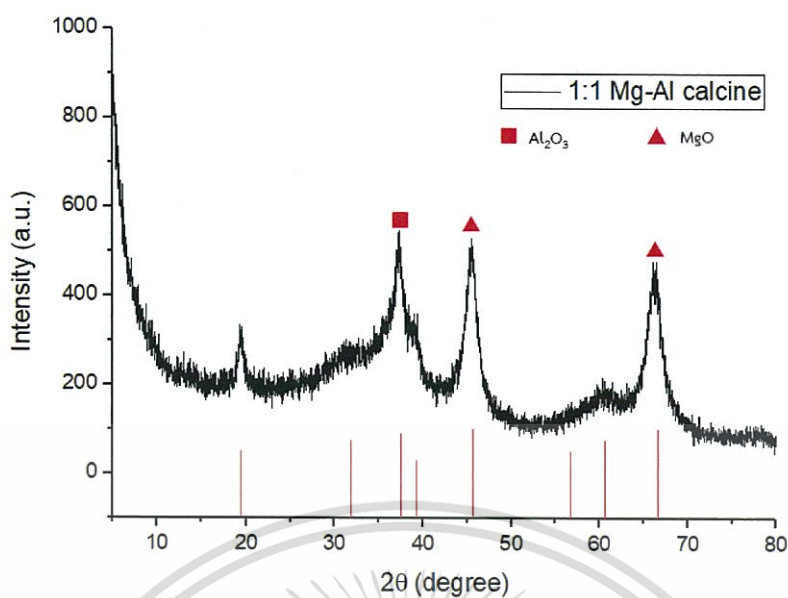
4.3.7 ผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับ LDH

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรต ด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH ที่ผ่านและไม่ผ่านการแคลไซน์ ที่เตรียมขึ้นมาด้วยอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 1:1 พีเอชที่ใช้ในการดูดซับ เท่ากับ 7 ปริมาณของตัวดูดซับเท่ากับ 1500 mg/L เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ 60 องศาเซลเซียส อัตราในการเขย่า 250 รอบ/นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ 100 mg/L ซึ่งร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรต แสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรตเมื่อดูดซับด้วย Mg-Al LDH ที่ผ่านการแคลไซน์และไม่ผ่านการแคลไซน์

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า Mg-Al LDH ที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 350 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าตัวดูดซับที่ไม่ผ่านการแคลไซน์ มีผลให้ค่าร้อยละการกำจัดมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากการแคลไซน์ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยจะทำให้โครงสร้างของ LDH เกิดการพังทลาย ทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมีมากขึ้น ดังผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยวิธีการดูดซับไอโอดีน จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วน Mg/Al 1:1 Mg-Al (Calcined 350 °C) มีปริมาณการดูดซับไอโอดีนมากกว่า Mg-Al LDH ที่ไม่แคลไซน์ โดย Mg-Al LDH (Calcined 350 °C) สามารถกำจัดสีย้อมคองโกเรตได้สูงที่สุดถึงร้อยละ 98.86



รูปที่ 4.20 ดิฟแฟรคโทแกรมของ Mg-Al (1:1) ที่ผ่านการแคลไซน์ 350 °C

จากรูปที่ 4.20 จะสังเกตได้ว่า 1:1 Mg-Al LDH ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับดิฟแฟรคโทแกรมของ Mg-Al ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์ (รูปที่ 4.3) พบว่าไม่ปรากฏพีคเอกลักษณ์ที่แสดงโครงสร้างเป็นชั้นของ Mg-Al LDH แต่จะปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 46° และ 67° ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของ MgO และพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 38° ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของ Al_2O_3 ซึ่งเกิดขึ้นจากการนำ Mg-Al LDH ไปทำการแคลไซน์ ส่งผลให้โครงสร้างของ Mg-Al LDH เกิดการพังทลายลงจากโครงสร้างเดิมที่มีลักษณะเป็นชั้นๆ ซึ่งส่งผลต่อขนาดและความเป็นผลึกของตัวดูดซับ

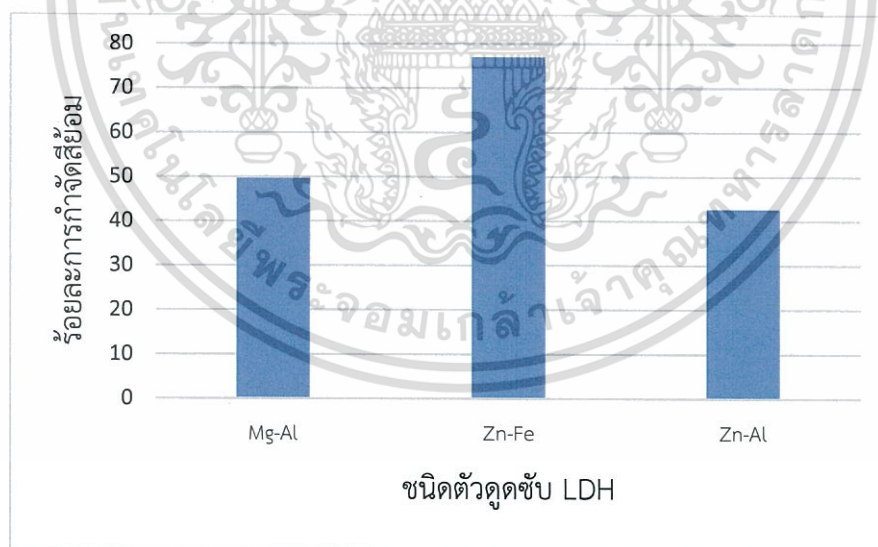
4.4 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5

จากตอนที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า Mg-Al LDH เป็นตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ดังนั้นจึงนำ Mg-Al LDH มากำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 เปรียบเทียบกับตัวดูดซับ Zn-Fe LDH และ Zn-Al LDH ที่สภาวะในการดูดซับคือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม 100 mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 1200 mg/L เวลาในการดูดซับ 60 นาที อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 แสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.26

ตารางที่ 4.11 ผลของชนิดตัวดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5

ชนิดของสีย้อม	ชนิดของตัวดูดซับ LDH	ความเข้มข้นสีย้อม คงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการดูดซับสีย้อม
RB5	Mg-Al	57.91	49.60
	Zn-Fe	26.24	77.01
	Zn-Al	65.83	42.70

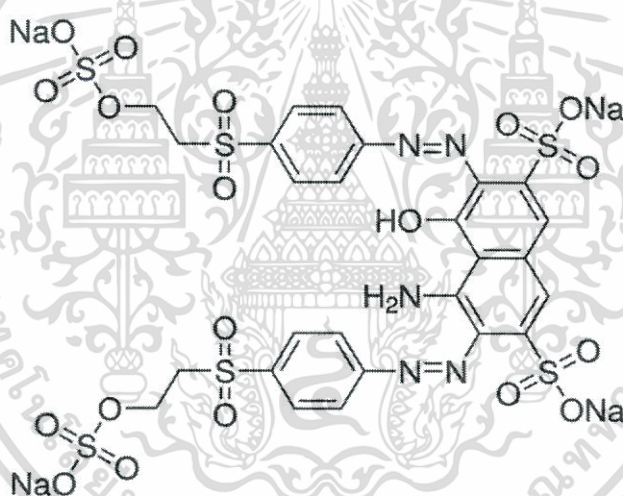
หมายเหตุ : ตัวดูดซับ LDH มีอัตราส่วนโดยโมล $M^{2+} : M^{3+} = 1:1$



รูปที่ 4.21 ผลของชนิดตัวดูดซับ LDH ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5

จากรูปที่ 4.21 พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 เมื่อดูดซับด้วย Zn-Fe LDH มีค่าสูงกว่า Mg-Al LDH และ Zn-Al LDH โดยกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้ร้อยละ 77.01 ดังนั้น Zn-Fe LDH จึงเป็นตัวดูดซับที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยมีกลไกการดูดซับเช่นเดียวกับการดูดซับคองโกเรตด้วย Mg-Al LDH

จากโครงสร้างทางเคมีของรีแอคทีฟแบล็ค 5 ในรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่ารีแอคทีฟแบล็ค 5 เป็นสีย้อมที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ มีมวลโมเลกุลสูงและความเป็นขั้วสูงกว่าคองโกเรต เนื่องจากมีหมู่ SO_3^- มากกว่า จึงเกิดความเกาะของหมู่ SO_3^- ดังนั้นสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 จึงเคลื่อนที่เข้าไปในช่องว่างระหว่าง layer ที่กว้างได้มากกว่าที่แคบกว่า ดังนั้นสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 จึงดูดซับในช่องว่างระหว่าง layer ของ Zn-Fe LDH (d-spacing 15.34 \AA) ได้ดีกว่า Mg-Al LDH (d-spacing 8.24 \AA) และ Zn-Al LDH (d-spacing 5.21 \AA) และความเป็นโมเลกุลที่มีขั้วมากของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 จึงสามารถเกิดแรงดึงดูดระหว่างไอออนที่พื้นผิวของ LDH ที่เป็นประจุบวก (Sur-OH_2^+) ได้ดีกว่าสีย้อมคองโกเรตด้วย



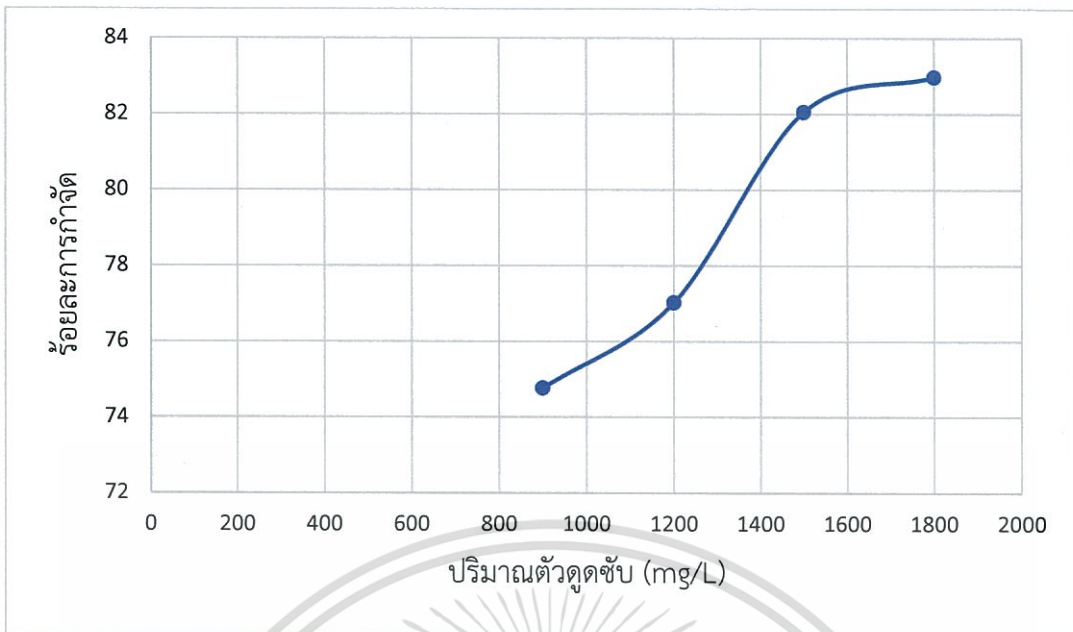
รูปที่ 4.22 โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (สูตรโมเลกุล : $\text{C}_{26}\text{H}_{21}\text{N}_5\text{Na}_4\text{O}_{19}\text{S}_6$)

ทำการศึกษามูลของตัวแปรกระบวนการที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ Zn-Fe LDH เช่นเดียวกับการศึกษาการกำจัดคองโกเรตด้วย Mg-Al LDH ดังแสดงสถานะและผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.23-4.27

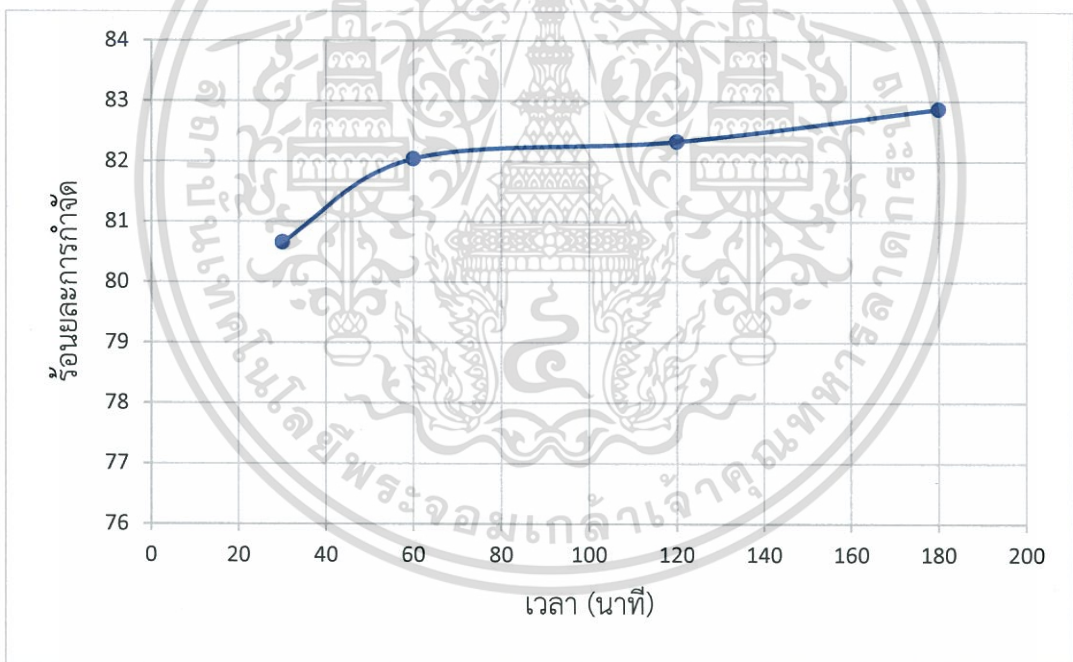
ตารางที่ 4.12 การศึกษาตัวแปรกระบวนการที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบบสีค 5 ด้วยตัว ดูดซับ Zn-Fe LDH

การทดลอง ที่	ปริมาณตัว ดูดซับ Zn- Fe LDH (mg/L)	เวลาในการ ดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิ การดูดซับ (°C)	อัตราการ เขย่า (rpm)	อัตราส่วน Zn : Fe	ร้อยละการ กำจัดสี ย้อม RB5
1	900	60	30	150	1:1	74.76
2	1200					77.01
3	1500					82.04
4	1800					82.96
5	1500	30	30	150	1:1	80.66
6		120				82.33
7		180				82.87
8	1500	60	45	150	1:1	80.10
9			60			76.44
10	1500	60	30	50	1:1	86.43
11				250		73.14
12	1500	60	30	50	2:1	75.16
13					3:1	69.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

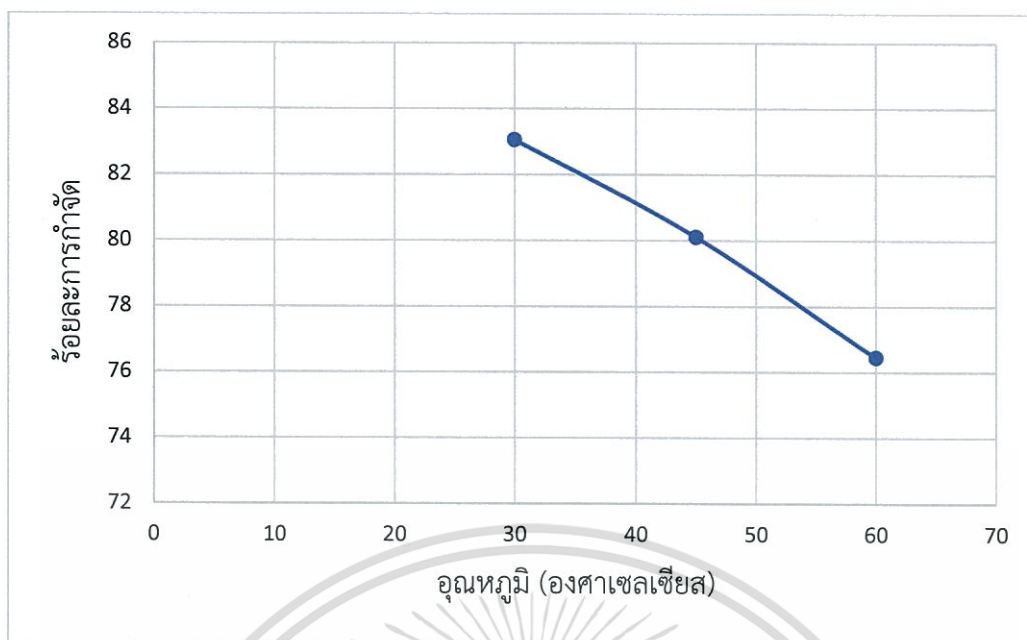


รูปที่ 4.23 ผลของปริมาณตัวดูดซับ Zn-Fe LDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5

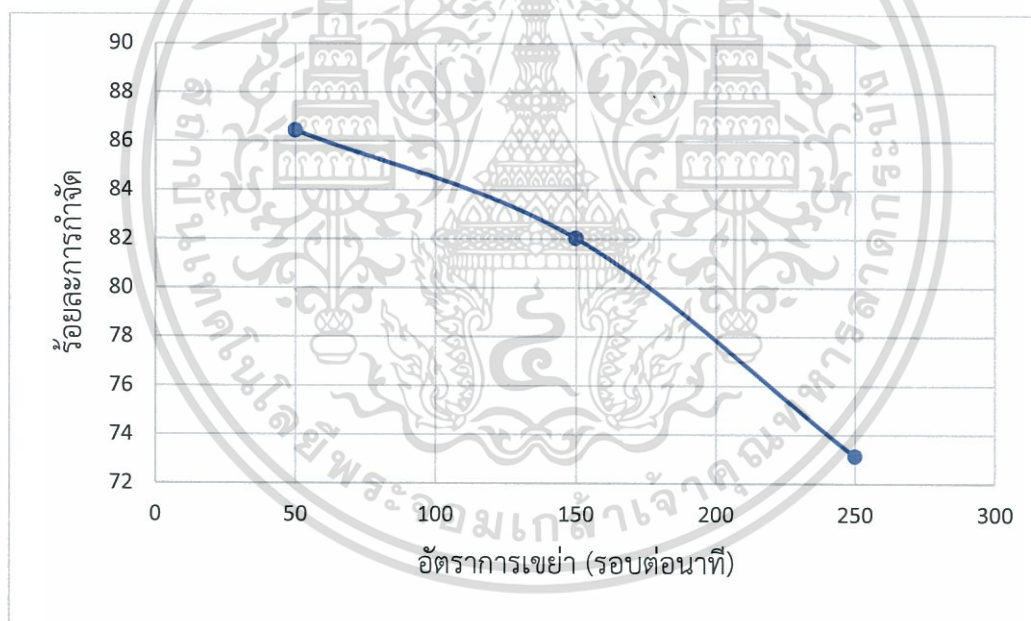


รูปที่ 4.24 ผลของเวลาในการดูดซับด้วย Zn-Fe LDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

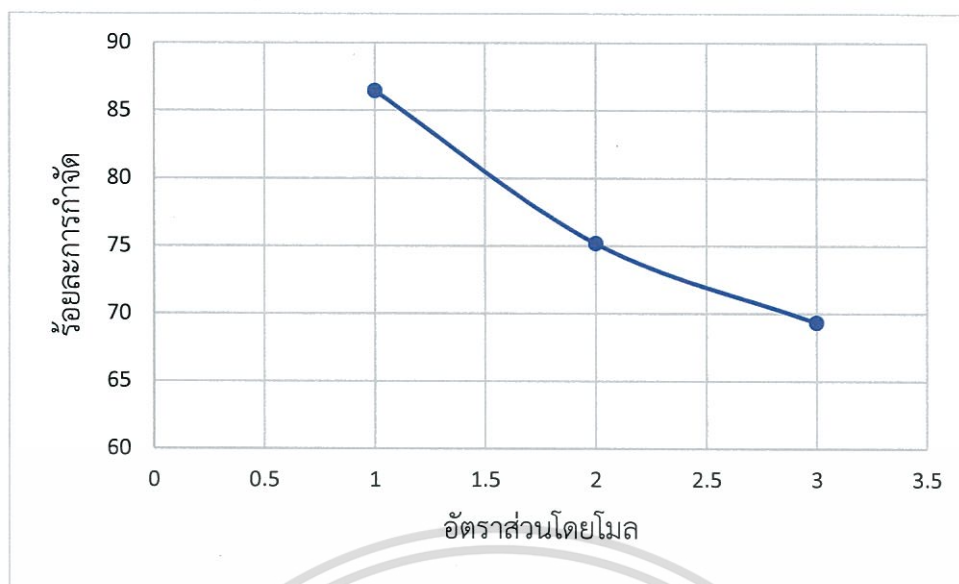


รูปที่ 4.25 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับด้วย Zn-Fe LDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5



รูปที่ 4.26 ผลของอัตราการใช้ในการเขย่าที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วย Zn-Fe LDH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ผลของอัตราส่วนโดยโมล Zn/Fe ที่มีต่อการกำจัดสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

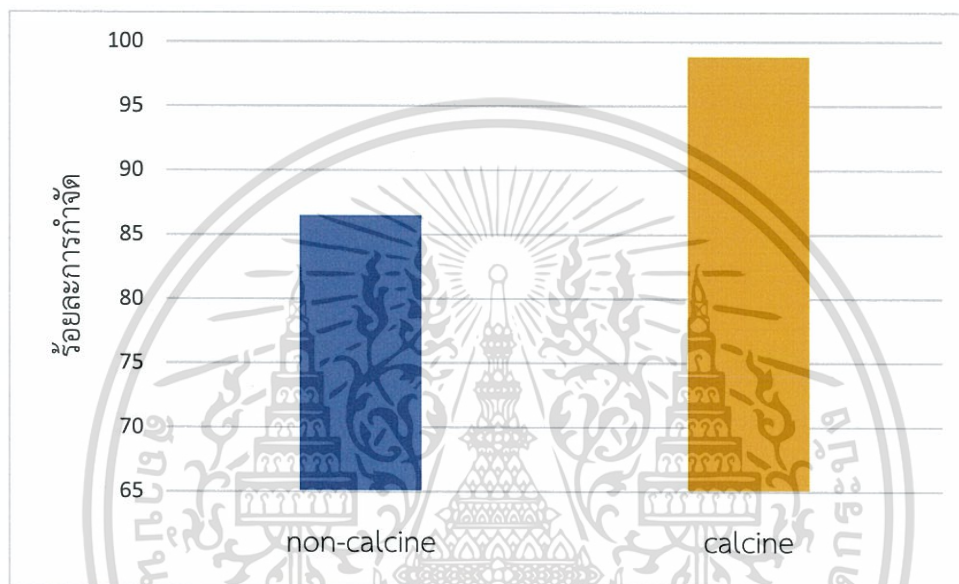
จากรูปที่ 4.23 ถึง 4.27 จะเห็นได้ว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการกำจัดสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 นั้นคือการใช้ตัวดูดซับ Zn-Fe LDH ปริมาณ 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาในการดูดซับ 60 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่าสารละลายสี้อม 50 รอบต่อนาที และอัตราส่วนโดยโมล Zn/Fe 1:1 โดยกำจัดสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้ร้อยละ 86.43

สำหรับปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ และอัตราส่วนโดยโมลของ Zn/Fe ที่เหมาะสมกับการกำจัดสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 เป็นสภาวะเดียวกับการกำจัดสี้อมคองโกเรดด้วย Mg-Al LDH แต่พบว่าอุณหภูมิในการดูดซับที่ 30 องศาเซลเซียส ให้ผลการกำจัดสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งตรงกันข้ามกับอุณหภูมิการดูดซับที่เหมาะสมของการกำจัดสี้อมคองโกเรดด้วย Mg-Al LDH (ซึ่งคือ 60 องศาเซลเซียส) เนื่องจากปฏิกิริยาการดูดซับเป็นการสร้างพันธะเคมีระหว่างไอออนลบของสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 กับตัวดูดซับ Zn-Fe LDH ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยาการดูดซับเกิดขึ้นได้น้อยลงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น

นอกจากนั้นอัตราการเขย่าสารละลายสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 กับตัวดูดซับ Zn-Fe LDH ที่ 50 รอบต่อนาที ให้ผลการกำจัดสี้อมดีกว่าที่อัตราการเขย่าที่สูงขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับอัตราการเขย่าที่เหมาะสมของสารละลายสี้อมคองโกเรด กับ Mg-Al LDH (ซึ่งคือ 250 รอบ/นาที) ซึ่งน่าจะเกิดจากอัตราเร็วในการเขย่าเพิ่มขึ้น ทำให้ตัวดูดซับ LDH เกิดการกระจายตัวได้ดีและทั่วถึง แต่เนื่องจากการดูดซับระหว่างสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 กับ Zn-Fe LDH เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นเมื่อเพิ่ม

อัตราเร็วในการเขย่าพลังงานที่ปล่อยออกมาจึงสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นจึงทำให้เกิดการดูดซับได้น้อยลง

เมื่อนำตัวดูดซับ Zn-Fe LDH ที่ไม่ได้ผ่านการแคลไซน์ และแคลไซน์ที่ 350 องศาเซลเซียส แล้วนำไปกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1500 mg/L เวลาในการดูดซับ 60 นาที อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 50 รอบ/ นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 100 mg/L แสดงผลการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 เมื่อดูดซับด้วย Zn-Fe LDH ที่ผ่านการแคลไซน์ และไม่ผ่านการแคลไซน์

จากรูปที่ 4.28 จะเห็นได้ว่า ตัวดูดซับ Zn-Fe LDH ที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 350 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้ดีกว่า Zn-Fe LDH ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์ เนื่องจากการแคลไซน์ส่งผลให้โครงสร้างของ LDH เกิดการพังทลายลง ทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมากขึ้น โดย Zn-Fe LDH ที่อัตราส่วน Zn/Fe 1:1 ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์ มีค่าปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ 926.37 mg/g เมื่อนำ Zn-Fe ไปแคลไซน์ พบว่าปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับสูงขึ้นเป็น 1104.03 mg/g ดังนั้น Zn-Fe LDH ที่ผ่านการแคลไซน์ จึงมีพื้นที่ผิวสูงกว่า และดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้มากกว่า Zn-Fe LDH ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์

4.5 ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด

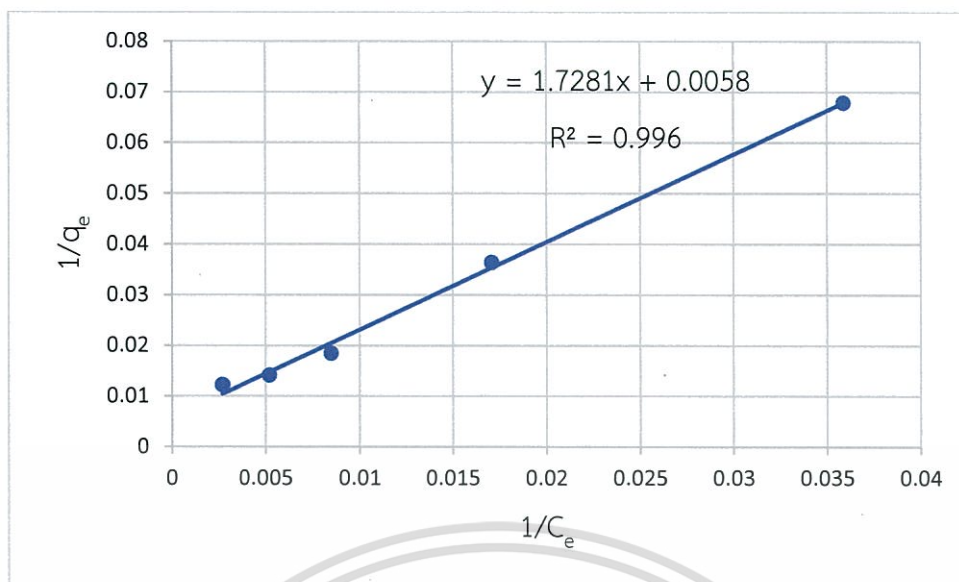
ทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ (C_i) เป็น 50 100 200 300 และ 500 mg/L ด้วยตัวดูดซับ Zn-Fe LDH สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และตัวดูดซับ Mg-Al LDH สำหรับสีย้อมคองโกเรด ปริมาณของตัวดูดซับ LDH เท่ากับ 1500 mg/L เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และ 60 องศาเซลเซียส สำหรับสีย้อมคองโกเรด อัตราในการเขย่า 50 รอบ/นาที สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และ 250 รอบ/นาที สำหรับสีย้อมคองโกเรด ที่อัตราส่วนโดยโมล Zn/Fe และ Mg/Al เป็น 1:1 พีเอชของสารถูกดูดซับเท่ากับ 7 ซึ่งความเข้มข้นสารถูกดูดซับที่เหลือที่สมดุล (C_e) ปริมาณสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับ LDH ที่สมดุล (q_e) รวมถึงค่าต่างๆ สำหรับพล็อตกราฟความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ (สมการ 2.2) และฟรุนดลิช (สมการที่ 3.3) แสดงในตารางที่ 4.13

4.4.1 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) ด้วย Zn-Fe LDH

ตารางที่ 4.13 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของสารถูกดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$1/q_e$ (g/mg)	$1/C_e$ (L/mg)
Reactive Black 5	50	27.86	14.76	0.0678	0.0359
	100	58.64	27.57	0.0363	0.0171
	200	118.33	54.45	0.0184	0.0085
	300	193.29	71.14	0.0141	0.0052
	500	376.98	82.01	0.0122	0.0027

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



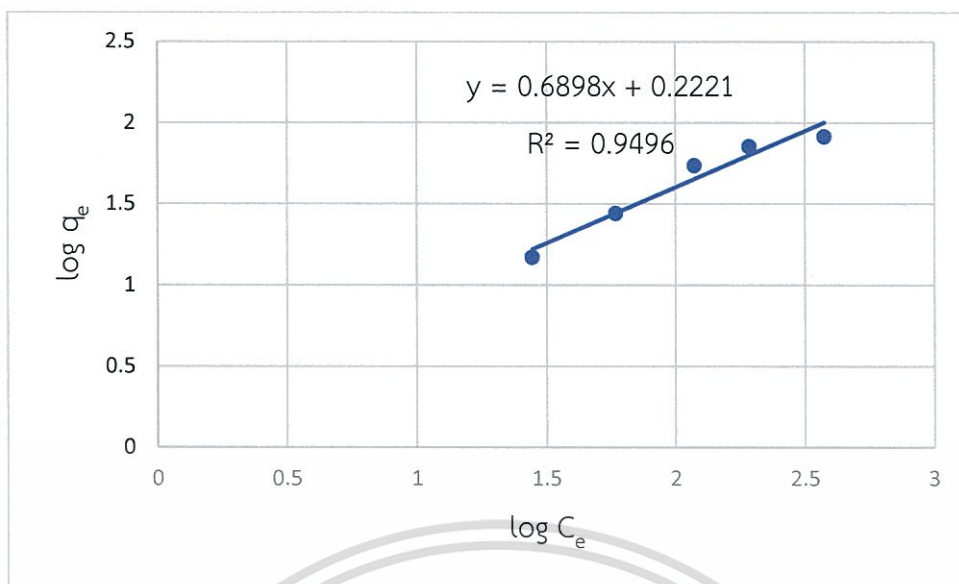
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับ สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วย LDH

จากรูปที่ 4.29 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ จะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 1.781x - 0.0058$ และมีค่า $R^2 = 0.996$ โดยค่าคงที่ $K = 1.781$ และปริมาณสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับ Zn-Fe LDH (q_m) = 123.26

ตารางที่ 4.14 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรอนดลิชสำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของสารถูกดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log q_e$	$\log C_e$
RB5	50	27.86	14.74	1.1691	1.4450
	100	58.64	27.57	1.4405	1.7682
	200	118.33	54.45	1.7360	2.0731
	300	193.29	71.14	1.8521	2.2862
	500	376.98	82.01	1.9139	2.5763

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



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรอนดลิช สำหรับการดูดซับ สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

จากรูปที่ 4.30 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของไอโซเทอมฟรอนดลิชจะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.6898x + 0.2221$ และมีค่า $R^2 = 0.9496$ โดยค่าคงที่ $1/n = 0.6898$ และ $k_f = 1.6676$

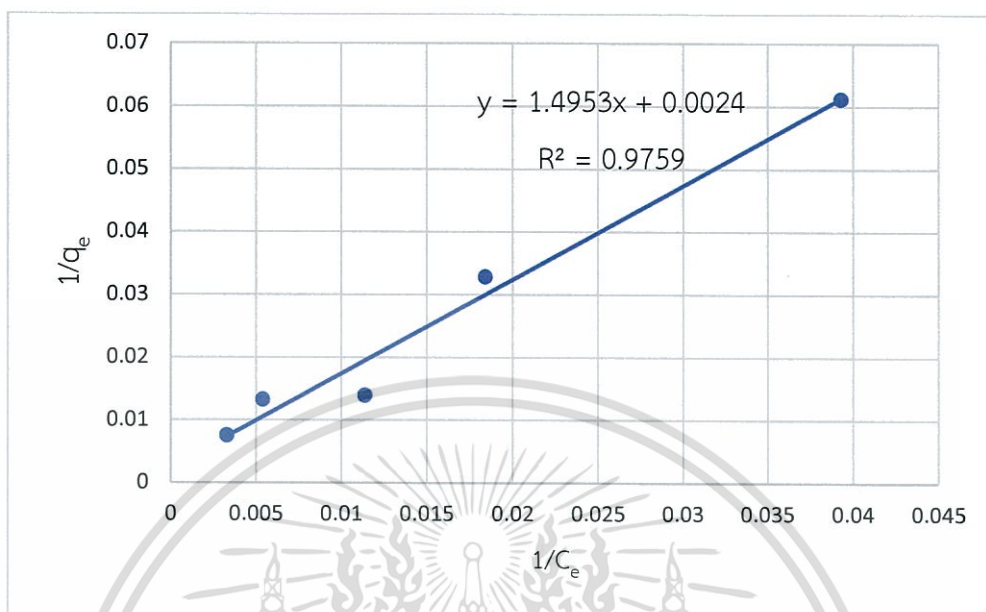
จากกราฟไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรอนดลิช พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.996 และ 0.9496 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของแลงเมียร์มีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของฟรอนดลิชทำให้การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ Zn-Fe LDH นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ ซึ่งเป็นการดูดซับทางเคมี

4.4.2 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมคองโกเรด (CR) ด้วย Mg-Al LDH

ตารางที่ 4.15 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมคองโกเรด

ชนิดของสารถูกดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$1/q_e$ (g/mg)	$1/C_e$ (L/mg)
CR	50	25.47	16.38	0.0611	0.0393
	100	54.25	30.50	0.0328	0.0184
	200	87.71	74.86	0.0139	0.0114
	300	186.24	75.74	0.0132	0.0054
	500	299.13	133.91	0.0075	0.0033

นำค่า $1/q_e$ และ $1/C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.36 สำหรับ สีย้อมคองโกเรด



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับ สีย้อมคองโกเรด ด้วย Mg-Al LDH

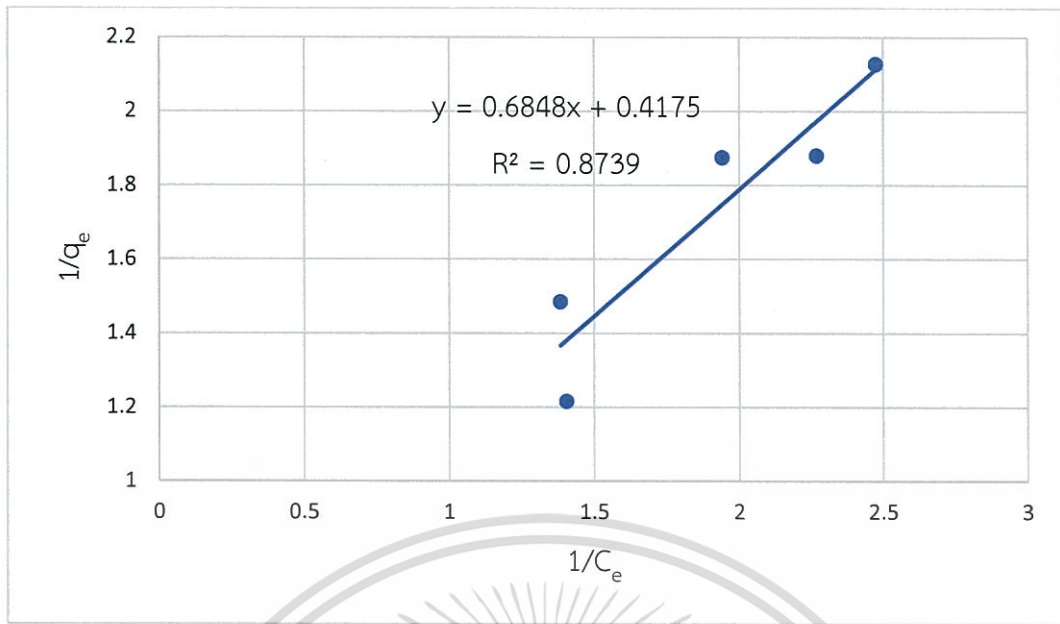
จากรูปที่ 4.31 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ จะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 1.4953x + 0.0024$ และมีค่า $R^2 = 0.9759$ โดยค่าคงที่ $K = 1.4953$ และปริมาณสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับ Mg-Al LDH (q_m) = 153.41

ตารางที่ 4.16 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรุนดลิชสำหรับสีย้อมคองโกเรด

ชนิดของสารถูกดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log q_e$	$\log C_e$
CR	50	25.47	16.38	1.2143	1.4060
	100	54.25	30.50	1.4843	1.3847
	200	87.71	74.86	1.8742	1.9430
	300	186.24	75.74	1.8793	2.2701
	500	299.13	133.91	2.1268	2.4759

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับ สีย้อมคองโกเรต ด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH

จากรูปที่ 4.32 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของไอโซเทอมฟรุนดลิชจะได้ความสัมพันธ์เป็น สมการเส้นตรง $y = 0.6848x + 0.4175$ และมีค่า $R^2 = 0.8739$ โดยค่าคงที่ $1/n = 0.6848$ และ $k_f = 2.6152$

จากกราฟไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรุนดลิช พบว่า R^2 เท่ากับ 0.9759 และ 0.8739 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของแลงเมียร์มีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของฟรุนดลิช ทำให้การดูดซับสีย้อมคองโกเรตด้วยตัวดูดซับ Mg-Al LDH นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ซึ่งเป็นการดูดซับทางเคมี

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และสีย้อมคองโกเรต ด้วยตัวดูดซับ LDH เป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของและงานวิจัยของ Venkata Subbaiah Munagapati และคณะ [26]

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ โดยศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และสีย้อมคองโกเรด ได้แก่ ชนิดของตัวดูดซับ ปริมาณของตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า อัตราส่วนโดยโมลของ M^{2+}/M^{3+} ผลของการแคลไซน์ รวมถึงไอโซเทอมของการดูดซับ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1) จากการศึกษาตัวดูดซับ LDH ที่เตรียมจากโลหะ +2 และโลหะ +3 ต่างชนิดกัน พบว่าตัวดูดซับ Zn-Fe LDH เหมาะสมสำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และตัวดูดซับ Mg-Al LDH เหมาะสำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรด

2) จากการศึกษาผลของปริมาณของตัวดูดซับ LDH พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับ LDH ร้อยละการกำจัดของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และสีย้อมคองโกเรด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพราะการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของการดูดซับ ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณ LDH มากกว่า 1500 mg/L สารจะถูกดูดซับจนเริ่มเข้าสู่สมดุล ทำให้ร้อยละการกำจัดมีแนวโน้มคงที่ โดยที่ปริมาณตัวดูดซับ LDH 1500 mg/L เป็นปริมาณที่เหมาะสมให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด อยู่ที่ร้อยละ 82.04 และ 74.71 ตามลำดับ

3) จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด พบว่าในช่วงเวลาของการดูดซับ 30 ถึง 60 นาทีร้อยละการกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 60 นาที ร้อยละการกำจัดมีแนวโน้มคงที่ เพราะเมื่อใช้เวลานานขึ้นตัวดูดซับ LDH สามารถดูดซับสารถูกดูดซับได้ดีจนเกือบเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยที่เวลา 60 นาที สามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้ร้อยละ 82.04 และกำจัดสีย้อมคองโกเรดได้ร้อยละ 74.71

4) จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด ในส่วนของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการดูดซับเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ร้อยละในการกำจัดลดลงดังนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 คือ 30 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละการกำจัดอยู่ที่ ร้อยละ 82.04 ส่วนสีย้อมคองโกเรด พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการดูดซับเพิ่มขึ้น

มีผลทำให้ร้อยละในการกำจัดเพิ่มขึ้น ดังนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรต คือ 60 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละการกำจัดอยู่ที่ ร้อยละ 81.88

5) จากการศึกษาผลของอัตราเร็วในการเขย่าที่ผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และสีย้อมคองโกเรต พบว่าเมื่ออัตราเร็วในการเขย่าของการดูดซับในช่วง 50 ถึง 250 รอบ/นาที ร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 มีแนวโน้มลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราในการเขย่า โดยร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 สูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 86.43 ที่อัตราการเขย่า 50 รอบ/นาที ส่วนร้อยละในการกำจัดสีย้อมคองโกเรตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราเร็วในการเขย่า โดยร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรตสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 76.41 ที่อัตราการเขย่า 250 รอบ/นาที

6) จากการศึกษาตัวดูดซับ LDH ที่สังเคราะห์ที่อัตราส่วนโดยโมลแตกต่างกัน พบว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง M^{2+}/M^{3+} มีผลให้ร้อยละในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรตลดลง โดยอัตราส่วนโดยโมลที่ให้ร้อยละในการกำจัดสูงสุด คือ อัตราส่วน 1:1 ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรต อยู่ที่ร้อยละ 86.43 และ 76.41 ตามลำดับ

7) จากการศึกษาผลของการแคลไซน์ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรต พบว่าเมื่อทำการแคลไซน์ตัวดูดซับที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรต มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับตัวดูดซับที่ไม่ผ่านการแคลไซน์ เพราะว่าเมื่อตัวดูดซับ LDH ผ่านการแคลไซน์ทำให้โครงสร้างเกิดการพังทลาย ส่งผลให้ตัวดูดซับ LDH มีพื้นที่ผิวมากขึ้น ดังนั้น ตัวดูดซับที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 350 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละการกำจัด สีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรต ได้สูงสุดถึงร้อยละ 98.79 และ 98.86 ตามลำดับ

8) จากการศึกษาไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรุนดลิชของสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.996 และ 0.9496 ตามลำดับ ส่วนสีย้อมคองโกเรต พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.9759 และ 0.8739 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของแลงเมียร์ของสารถูกดูดซับทั้งสองชนิดมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของฟรุนดลิช ทำให้การดูดซับสารถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับ LDH นี้ สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรนำสภาวะที่ดีที่สุดในการดูดซับสีย้อมทั้ง 2 สีมาทดลองใช้จริงกับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยสีย้อมปนเปื้อนออกมา
- 2) ควรเพิ่มเวลาในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ LDH เพื่อให้ LDH มีโครงสร้างเป็นผลึกมากขึ้น และไม่มีผลึกแปลกปลอมเจือปน
- 3) ในขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับ LDH ควรใช้เตาปฏิกรณ์ (Reactor) แทนการรีฟลักซ์ (Reflux) เนื่องจากสามารถสภาวะต่างๆในขั้นตอนการสังเคราะห์ได้อย่างแม่นยำ
- 4) เปลี่ยนชนิดของสารประกอบโลหะคลอไรด์ (Cl^-) เป็นสารประกอบโลหะชนิดอื่นเช่น ไนเตรต (NO_3^-) หรือ คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) เพื่อนำมาใช้ในการทดลองการดูดซับ
- 5) ควรศึกษาไอโซเทอม Dubinin-Radushkevich (D-R) เพื่อหาค่าพลังงานดูดซับอิสระว่ามีค่าอยู่ในช่วงใด ซึ่งบ่งบอกว่าเป็น การดูดซับทางกายภาพ หรือ ทางเคมีได้ ในกรณีที่ค่า R^2 ของไอโซเทอม แลงเมียร์และฟรุนดลิชมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] สีย้อม. [online]. Available : <http://www.tpa.or.th>
- [2] ทฤษฎีการดูดซับ. [online]. Available : http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/chem0451sk_ch1.pdf.
- [3] ทิพย์วิมล สุขวานิชย์เจริญและคณะ. 2558. “การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 โดยใช้ไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม.” โครงการพิเศษ สาขาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] ประรณนา. กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process). [online]. Available : <https://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/>.
- [5] บุญชัย ตระกูลมหชัย. ตัวดูดซับ (absorbent). [online]. Available : http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=77&i2=17/.
- [6] สีย้อม. [online]. Available : https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/20130226130929.pdf
- [7] ศูนย์ข้อมูลวัสดุอันตรายและเคมีภัณฑ์. [online]. Available : <http://gammaco.com/gammaco/th/3090065/>.
- [8] Sigma Aldrich. [online]. Available : <http://www.sigmaaldrich.com/>.
- [9] ร้อยเอกหญิง รัชนิย์ รุกขชาติ. การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ. [online]. Available : http://www.navy.mi.th/science/BrithDay46/Brithday_data/biology.htm.
- [10] Guo, X.H., Li, S.P., Hou, W.G., Han, S.H., Hu, J.F., and Li, D.Q. Layered double hydroxides with hydrotalcite-type structure containing Fe³⁺, Al³⁺ and Mg²⁺. Chem.Res.Chinese U, 19 (2003) 211-215
- [11] Gulnaz, O., Kaya, A., and Dincer, S. The reuse of dried activated sludge for adsorption of reactive dye. Hazardous Materials, 134 (2006) 190-196.
- [12] Sundrarajan, M., Vishnu, G., and Joseph. Ozonation of light-shaded exhausted reactive dye bath for reuse. Dyes and Pigments, 75 (2007) 273-278.
- [13] Xuefeng, L., Wangua, H., and Jie,X. Sorption of Pb (II) on Mg-Fe layered double hydroxide. Chinese Journal of Chemistry, 27 (2009) 1981-1988.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Sumari, S.M., Yamin, Y., and Zaini, H. **Adsorption of anionic amido black dye by layered double hydroxide , ZnAlCO₃-LDH.** The Malaysian Journal of Analytical Sciences , 13 (2009) 120-128
- [15] Ahmed, I.M., and Gasser, M.S. **Adsorption study of anionic reactive dye from aqueous solution to Mg-Fe-CO₃ layered double hydroxide (LDH)** Applied Surface Science, 259 (2012) 650-656.
- [16] Xiaofeng, S., Tsuyoshi, I., Masahiko, S., Takaya, H., Koichi, Y., and Kenji, A. **Adsorption of phosphate by calcinated Mg-Fe layered double hydroxide.** Journal of Water and Environment Technology, 11 (2013) 111-120.
- [17] Yujiang, L., Baoyu, G., Tao, W., Biao, W., and Xia L. **Adsorption properties of aluminum magnesium mixed hydroxide for the model anionic dye Reactive Brilliant Red K-2BP.** Journal of Hazardous Materials, 164 (2009) 1098-1104.
- [18] ฉันททัต จักรณาวรกุล, ณัฐวดี วงศ์มะภักย์ และ อนัญญา สัตยศักดิ์วงศา. 2559. “การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และโบรโมโทมอลบลูโดยใช้แมกนีเซียม-เหล็ก เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์” โครงการพิเศษ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [19] Zubair, M., Jarrah, N., Manzar, M.S, Al-Harathi, M., Daud, M., Mu’azu, N.D. and Haladu, S.A. **Adsorption of eriochrome black T from aqueous phase on MgAl-, CoAl- and NiFe- calcined layered double hydroxides: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies.** Journal of Molecular Liquids, 230 (2017) 344-352.
- [20] Teixeira, T.P.F., Aquino, S.F., Pereira, S.I., and Dias, A. **Use of calcined layered double hydroxides for the removal of color and organic matter from textile effluents: Kinetics, equilibrium and recycling studies.** Brazilian Journal of Chemical Engineering, 31 (2014) 19-26.
- [21] Yanguang, C., Shuli, C., Qiqi, W., Hongjing, H., Jia, L., Yue, K., Wei, K., Haiying, W., Shuyu, H., Hua, S., Jiaojing, Z. **Optimization of crystal growth of sub-micron ZSM-5 zeolite prepared by using Al(OH)₃ extracted from fly ash as an aluminum source.** Journal of Hazardous Materials, 349 (2018) 18-26.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [22] Dalai, J., Xiaoyun, G., Xiaojing, Y., Gaosong, D., Hongliang, Z. and Kuihong, Y. **Hydrothermal synthesis and characterization of hexagonal Mg(OH)₂ nano-flake as a flame retardant.** *Materials Chemistry and Physics*, 112 (2008) 962–965.
- [23] K.M. Parida, Lagnamayee Mohapatra. **Carbonate intercalated Zn/Fe layered double hydroxide: A novel photocatalyst for the enhanced photo degradation of azo dyes.** *Chemical Engineering Journal*, 179 (2012) 131– 139.
- [24] Nicu, M., Ionascu, L., Turcanu, C., Dragolici, F. and Rotarescu, G.H. **Study of radioactive precipitates cemented matrix by the XRD phase identification.** *Romanian Reports in Physics*, 65 (2013) 1505-1511.
- [25] Tianshan, X., Yanshan, G., Zhang, Z., Ahmad, U., Xingru, Y., Xi, Z., Zhanhu, G. and Qiang, W. **Adsorption of acid dye from dye wastewater by Zn₂Al-NO₃ LDH and the resource of adsorbent sludge as nanofilter for polypropylene.** *Journal of Alloys and Compounds*, 587 (2014) 99-104
- [26] Venkata Subbaiah Munagapati, Vijaya Yarramuthi, Yeji Kim, Kwon Min Lee, Dong-Su Kim. **Removal of anionic dyes (Reactive Black 5 and Congo Red) from aqueous solutions using Banana Peel Powder as an adsorbent.** *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148 (2018) 601–607.
- [27] Frederick, L.T., Godwin, A.A. and Ray, L.F. **Iodine removal using LDH technology.** *Chemical Engineering Journal*, 296 (2016) 300-309.
- [28] 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.
- [29] Safraz, M., Shakir, I. **Recent advances in layered double hydroxides as electrode materials for high-performance electrochemical energy storage devices.** *Energy storage journal*, 13 (2017) 103-122.

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1) การคำนวณปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ ไอร์รอน(III)คลอไรด์ และอะลูมิเนียมคลอไรด์ ที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ LDH

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

โดย g คือ ปริมาณสารที่ต้องชั่ง (g)

MW คือ มวลโมเลกุลของสาร (g)

C คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการ (M)

V คือ ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการเตรียม (ml)

ตัวอย่าง ต้องการเตรียมสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ 1M ปริมาตร 500 ml

สารละลายซิงค์คลอไรด์ 1M ปริมาตร 500 ml

สารละลายไอร์รอน(III)คลอไรด์ 1M ปริมาตร 500 ml

สารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1M ปริมาตร 500 ml

- การหาปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ LDH

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

$$\text{น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง} = 101.655 \text{ กรัม}$$

- การหาปริมาณซิงค์คลอไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ LDH

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad & \frac{\text{น้ำหนักของซิงค์คลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{\text{มวลโมเลกุลของซิงค์คลอไรด์}} = \frac{CV}{1000} \\ & \frac{\text{น้ำหนักของซิงค์คลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{\quad} = \frac{1 \times 500}{1000} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 136.27 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 1000 ยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{น้ำหนักของซิงค์คลอไรด์ที่ต้องชั่ง} = 68.14 \text{ กรัม}$$

- การหาปริมาณไอออน(III)คลอไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ LDH

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

$$\text{น้ำหนักของไอออน(III)คลอไรด์ที่ต้องชั่ง} = 135.15 \text{ กรัม}$$

- การหาปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ LDH

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad \frac{\text{น้ำหนักของอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{\text{มวลโมเลกุลของอะลูมิเนียมคลอไรด์}} &= \frac{CV}{1000} \\ &= \frac{1 \times 500}{1000} \\ \frac{\text{น้ำหนักของอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{240.93} &= \end{aligned}$$

$$\text{น้ำหนักของอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง} = 120.47 \text{ กรัม}$$

2) การหาร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด

ตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 100 mg/L เมื่อทำการดูดซับแล้วมีความเข้มข้นของสารถูกดูดซับคงเหลือเท่ากับ 60.94 mg/L

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad \text{ร้อยละการกำจัด} &= \frac{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นที่เหลือ}}{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}} \times 100 \\ \text{ร้อยละการกำจัด} &= \frac{100 - 60.94}{100} \times 100 \\ \text{ร้อยละการกำจัด} &= 37.68 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การหาปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ (q_e)

ตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 100 mg/L เมื่อทำการดูดซับแล้วมีความเข้มข้นของสารถูกดูดซับคงเหลือเท่ากับ 60.94 mg/L ปริมาตรของสารละลายสารถูกดูดซับเท่ากับ 0.05 L และปริมาณตัวดูดซับ LDH เท่ากับ 0.0750 g

$$\text{สูตร} \quad (C_i - C_e) V = (q_e - q_i) W \quad ; \quad q_i = 0$$

$$q_e = \frac{(C_i - C_e) V}{W}$$

$$q_e = \frac{(100 - 60.94) (0.05)}{0.0750}$$

$$q_e = 26.04 \text{ mg/g}$$

โดย q_e คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่สมดุล (mg/g)

q_i คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับเริ่มต้น (mg/g)

C_i คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเริ่มต้น (mg/L)

C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (mg/L)

V คือ ปริมาตรของสารถูกดูดซับ (L)

W คือ ปริมาณตัวดูดซับ LDH (g)

4) การหาพื้นที่ผิวตัวดูดซับ LDH จากการดูดซับไอโอดีน

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

ตัวอย่าง ไทเทรต $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ด้วยสารละลาย KIO_3 0.10M ปริมาตร 25 ml

และปริมาตรของไทแทรนต์ (Na_2SO_3) ที่ใช้เท่ากับ 25.65 ml

$$\text{สูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(0.10 \text{ M}) (25 \text{ ml}) = C_2 (25.65 \text{ ml})$$

$$C_2 = 0.0975 \text{ M}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย	C_1	คือ ความเข้มข้นของสารละลาย KIO_3 (mol/L,M)
	V_1	คือ ปริมาตรของสารละลาย KIO_3 (ml)
	C_2	คือ ความเข้มข้นของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ (mol/L,M)
	V_2	คือ ปริมาตรของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ (ml)

4.2) หาความเข้มข้นของไอโอดีนแบลงค์



ตัวอย่าง ไทเทรต I_2 ปริมาตร 25 ml ด้วยสารละลาย Na_2SO_3 0.0975 M

ปริมาตรของไทเทรนต์ ($Na_2S_2O_3$) ที่ใช้เท่ากับ 41.3 ml

สูตร

$$\frac{1}{2} C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$C_2 = \frac{(0.0975 \text{ M})(41.3 \text{ ml})}{2 (25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = 0.0805 \text{ M}$$

โดย	C_1	คือ ความเข้มข้นของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ (mol/L,M)
	V_1	คือ ปริมาตรของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ (ml)
	C_2	คือ ความเข้มข้นของสารละลาย I_2 (mol/L,M)
	V_2	คือ ปริมาตรของสารละลาย I_2 (ml)

4.3) หาความเข้มข้นของไอโอดีนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ Mg-Al LDH (Calcine 1:1)

ตัวอย่าง Mg-Al LDH (Calcine) ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al เท่ากับ 1:1 ใช้ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 0.0500 กรัม ในสารละลาย I_2 ปริมาตร 25 ml ไทเทรตกับสารละลาย $Na_2S_2O_3$ 0.0975 M ปริมาตรของไทเทรนต์ ($Na_2S_2O_3$) ที่ใช้เท่ากับ 36.25 ml

สูตร

$$\frac{1}{2} C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$C_2 = \frac{(0.0975 \text{ M})(36.25)}{2 (25 \text{ ml})}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_2 = 0.0707 \text{ M}$$

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

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นไอโอดีนที่เปลี่ยนแปลง} &= \text{ความเข้มข้นไอโอดีนแบลงค์} - \text{ความเข้มข้นไอโอดีนที่ใช้ไป} \\ &= 0.0805 - 0.0707 \\ &= 0.0098 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

ในสารละลาย 1000 ml มีจำนวนโมลของไอโอดีนเท่ากับ 0.0101 mol

ในสารละลาย 25 ml มีจำนวนโมลของไอโอดีนเท่ากับ 0.245×10^{-3} mol

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นกรัม} \quad \text{mol} &= \frac{\text{g}}{\text{MW}} \\ \text{g} &= (0.245 \times 10^{-3} \text{ mol}) (253.80 \text{ g/mol}) \\ \text{g} &= 0.0622 \text{ g} \\ &= 62.20 \text{ mg} \end{aligned}$$

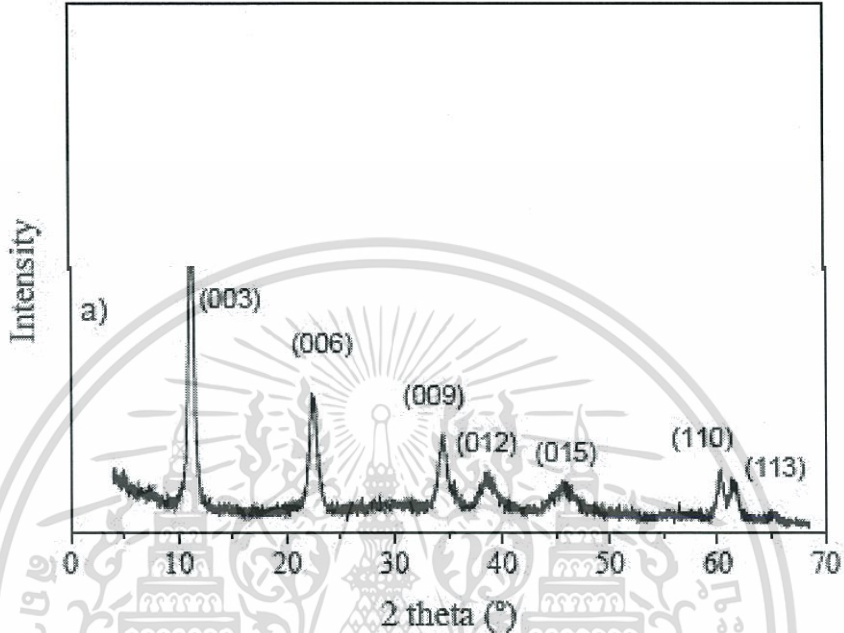
ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ LDH

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad & \frac{\text{ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ}}{\text{ปริมาณตัวดูดซับ LDH}} \quad \text{หน่วย mg/g} \\ &= \frac{62.20}{0.0500} \\ &= 1243.62 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

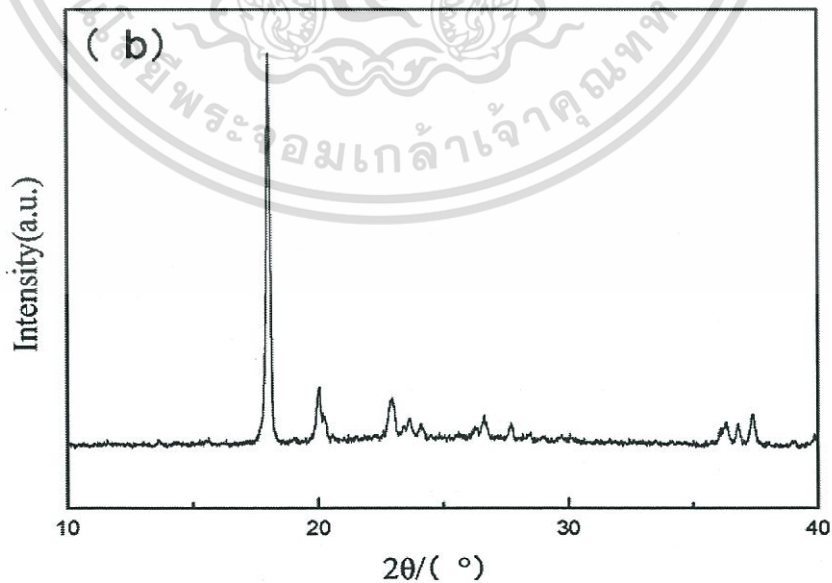
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ดิฟแฟรคโทแกรมของสารต่างๆจากงานวิจัยที่อ้างอิง

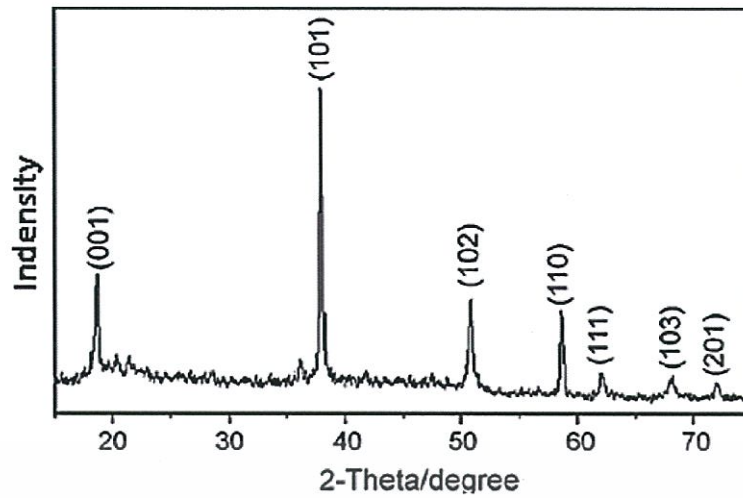


รูปที่ ข.1 ดิฟแฟรคโทแกรมของ Mg-ALDH จากงานวิจัยของ Teixeira และคณะ [20]

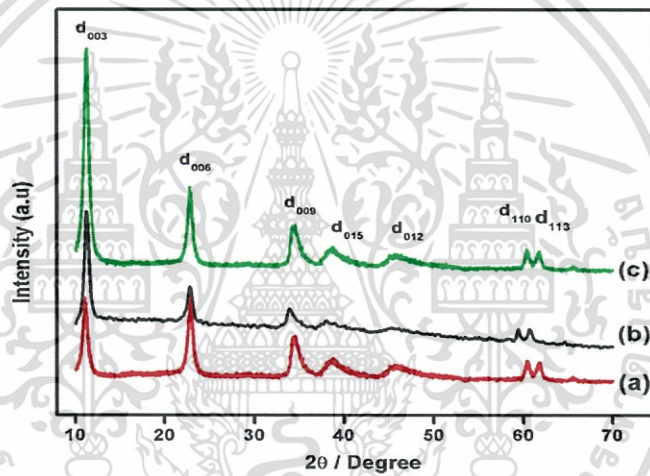


รูปที่ ข.2 ดิฟแฟรคโทแกรมของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ [21]

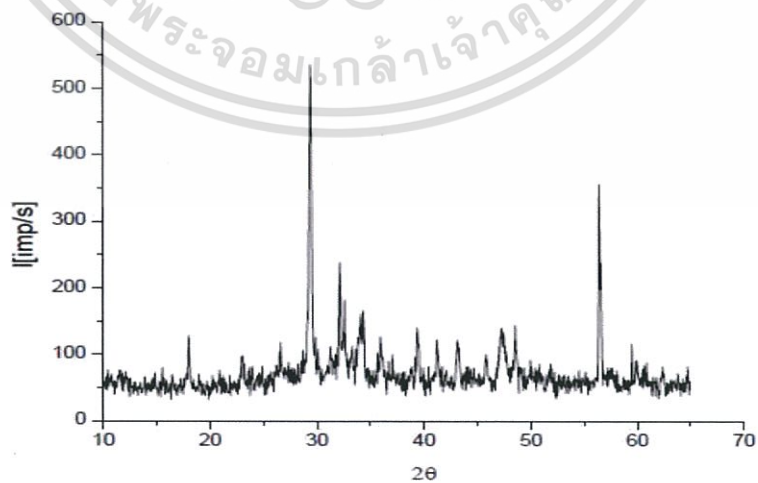
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 ดิฟแฟรคโทแกรมของ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ [22]



รูปที่ ข.4 ดิฟแฟรคโทแกรมของ Zn/Fe-Cl LDH จากงานวิจัยของ Parida และคณะ [23]



รูปที่ ข.5 ดิฟแฟรคโทแกรมของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 20 เดือน มิถุนายน พ.ศ 2561

ข้าพเจ้า นางสาวเกวรินทร์	ศิริวัฒนสกุล	รหัสประจำตัว 57050381
นางสาวปาลิตา	แช่ลิ้ม	รหัสประจำตัว 57050458
นายศุภณัฐ	เจริญเกียรติก้อง	รหัสประจำตัว 57050523

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การกำจัดสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรดโดยตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

ชื่อภาษาอังกฤษ Removal of Reactive black 5 and Congo red by using layered double hydroxides

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความ

ซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 2.64 %

ลงชื่อ เกวรินทร์ ศิริวัฒนสกุล

ลงชื่อ ปาลิตา แช่ลิ้ม

ลงชื่อ ศุภณัฐ เจริญเกียรติก้อง

(นางสาวเกวรินทร์ ศิริวัฒนสกุล)

(นางสาวปาลิตา แช่ลิ้ม)

(นายศุภณัฐ เจริญเกียรติก้อง)

นักศึกษา

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ ของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

(ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้