

การกำจัดสีย้อมคองโกเรด โดยใช้คอมโพสิตของแมกนีเซียม-
อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์
และไคโตซานเป็นตัวดูดซับ

REMOVAL OF CONGO RED DYE BY Mg-AL LAYERED
DOUBLE HYDROXIDE (LDH)/CHITOSAN COMPOSITE
AS ADSORBENT



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2565
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOVAL OF CONGO RED DYE BY Mg-Al LAYERED
DOUBLE HYDROXIDE (LDH)/CHITOSAN COMPOSITE
AS ADSORBENT



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

ACADEMIC YEAR 2022




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การกำจัดสีย้อมคองโกเรด โดยใช้คอมโพสิตของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม
 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์และไคโตซานเป็นตัวดูดซับ
 Removal of Congo red dye by Mg-Al Layered Double
 Hydroxide (LDH)/Chitosan composite as adsorbent

ชื่อนักศึกษา นางสาวณิชารีย์ วิษณุารมย์ รหัสประจำตัว 62050287
 นางสาวปิยาพัชร พฤกษทลกุล รหัสประจำตัว 62050306

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
 ภาควิชา เคมี
 ปีการศึกษา 2565
 อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี-
 อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการ	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การกำจัดสีย้อมคองโกเรด โดยใช้คอมโพสิตของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์และไคโตซานเป็นตัวดูดซับ			
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณิชารีย์	วิษญารมย์	รหัสประจำตัว	62050287
	นางสาวปิยาพัชร	พฤกษ์พลกุล	รหัสประจำตัว	62050306
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)			
ภาควิชา	เคมี			
คณะ	วิทยาศาสตร์			
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)			
ปีการศึกษา	2565			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อานาจ เพิ่มทรัพย์สกุล			

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพและกลไกการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MgAl-LDH) ที่สังเคราะห์โดยวิธีการตกตะกอนร่วมและทำการปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซาน (CLDH) พร้อมกับศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ LDH/Chitosan พีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของสีย้อม เวลาในการดูดซับ ไอโซเทอมของการดูดซับ และการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ ผลการทดลองพบว่า CLDH สามารถดูดซับสีย้อมคองโกเรดได้มากกว่า MgAl-LDH และ Chitosan เพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีพื้นที่ผิวที่สูงขึ้น ตัวดูดซับ CLDH ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg:Al เป็น 2:1 สามารถกำจัดสีย้อมคองโกเรดได้ดีที่สุดในสภาวะ pH ของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 4 ปริมาณตัวดูดซับ 1000 mg/L เวลาในการดูดซับ 120 นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ไอโซเทอมของการดูดซับ CLDH พบว่ามีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรุนดลิช และการนำกลับมาใช้ใหม่โดยกระบวนการฟื้นฟูตัวดูดซับ CLDH ทั้ง 4 รอบพบว่าความสามารถในการดูดซับจะลดลงเรื่อยๆตามจำนวนรอบในการดูดซับ

คำสำคัญ : การดูดซับ คองโกเรด ตัวดูดซับ แมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ ไคโตซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Removal of Congo red dye by Mg-Al Layered Double Hydroxide (LDH)/Chitosan composite as adsorbent		
Students	Miss. Nicharee Vichayarom	Student ID	62050287
	Miss. Piyapach Priksatonkul	Student ID	62050306
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
School	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2022		
Advisor	Dr. Amnat Permsubscul		

Abstract

This special project investigated the efficiency and removal mechanism of congo red dye by using magnesium-aluminum hydroxide layered double hydroxide (MgAl-LDH) adsorbent that synthesized by co-precipitation method and modifying the properties with chitosan (CLDH) and the variables that affected the percentage of dye removal were also studied such as mole ratio of Mg:Al, pH of dye solution, adsorbent content, dye concentration, adsorption time, adsorption isotherm and the reuse of the adsorbent. The results showed that CLDH have more capacity for adsorb congo red dye than MgAl-LDH and chitosan because of the higher surface area. The CLDH with the ratio of Mg:Al of 2:1 has the highest efficiency for congo red dye removal at the pH of the dye solution of 4, the sorbent content of 1000 mg/L, the adsorption time of 120 minutes, and the temperature of 30 °C. The experimental data were well fitted with the Frundlich isotherm. In the 4 cycles of CLDH sorbent regeneration process, it was found that the adsorption capacity gradually decreased with the number of adsorption cycles.

Keywords : Adsorption, Congo red, Adsorbent, Magnesium-Aluminum layered double hydroxide, Chitosan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาและความร่วมมือของบุคคลหลายๆ ฝ่าย

ขอขอบพระคุณ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ผู้เป็นที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา เอื้อเพื่อเอกสารต่างๆ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ได้เป็นอย่างดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากรและ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ผู้เป็นคณะกรรมการให้กับโครงการพิเศษนี้ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบและแก้ไขเพิ่มเติม เพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา พร้อมทั้งให้คำแนะนำต่างๆ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่อำนวยความสะดวก คอยช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณมารดา-บิดาที่ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอน เป็นกำลังใจสำคัญ รวมทั้งเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอบคุณเพื่อนๆ รวมทั้งบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมาที่คอยช่วยเหลือต่างๆ คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ณิชารีย์ วิชญารมย์
ปิยาพัชร พฤกษ์ชลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ตัวดูดซับ	6
2.1.1 ทฤษฎีการดูดซับ	6
2.1.2 กระบวนการดูดซับ	6
2.1.3 ชนิดของตัวดูดซับ	10
2.2 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์	11
2.3 สีย้อม	12
2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของสีย้อม	12
2.3.2 การแบ่งประเภทสีย้อม	13
2.3.3 อันตรายที่เกิดจากสีย้อม	17
2.4 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ	17
2.4.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี	17
2.4.2 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา	18
2.4.3 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	18
2.4.4 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน	19
2.4.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น	19
2.4.6 นาโนฟิลเตรชัน	19
2.4.7 เทคโนโลยีใหม่	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ไคโตซาน	20
2.5.1 คุณสมบัติของไคตินและไคโตซาน	22
2.5.2 การใช้ประโยชน์ไคตินและไคโตซาน	23
2.6 ข้อมูลทั่วไปของสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ LDH	25
2.6.1 แมกนีเซียมคลอไรด์	25
2.6.2 อะลูมิเนียมคลอไรด์	26
2.6.3 โซเดียมคาร์บอเนต	27
2.6.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์	28
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	36
3.1 สารเคมี	36
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	35
3.3 วิธีการทดลอง	38
3.3.1 การเตรียมตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม.....	38
3.3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมคองโกเรด.....	39
3.3.3 การกำจัดสีย้อมคองโกเรดใช้ MgAl-LDH/Chitosan เป็นตัวดูดซับ.....	40
3.3.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan.....	45
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	50
4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ	50
4.1.1 โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan.....	50
4.1.2 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan	53
4.1.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan.....	56
4.1.4 ความเสถียรต่ออุณหภูมิของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan	58
4.1.5 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน	60
4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมคองโกเรด.....	63
4.3 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	64
4.3.1 ผลของพีเอชของสารละลายสีย้อม	64
4.3.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan	68
4.3.3 ผลของปริมาตรตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.4 ผลของเวลาในการดูดซับ	72
4.3.5 ไอโซเทอมของการดูดซับสี่อ้อมคองโกเรต.....	73
4.3.6 การนำกลับมาใช้ใหม่ของตัวดูดซับ CLDH	76
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	79
5.1 สรุปผลการวิจัย	79
5.2 ข้อเสนอแนะ	80
เอกสารอ้างอิง	81
ภาคผนวก	87
ภาคผนวก ก	88
ภาคผนวก ข	92
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี	8
2.2 สมบัติหลักของไคโตซาน	23
3.1 ปริมาณของเกลือโลหะที่ใช้ในการสังเคราะห์ Mg:Al-LDH/Chitosan ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ต่างๆ เมื่อกำหนดให้ปริมาณ Chitosan คงที่	39
3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสีย้อมคองโกเรด	40
3.3 สภาวะการทดลองในการศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	41
3.4 สภาวะในการทดลองผลของชนิดตัวดูดซับ ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	41
3.5 สภาวะการทดลองผลของปริมาณตัวดูดซับ CLDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	42
3.6 สภาวะการทดลองผลของเวลา ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	42
3.7 สภาวะการทดลองผลของความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมและไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมคองโกเรด	43
3.8 สภาวะการทดลองการนำตัวดูดซับ CLDH กลับมาใช้ใหม่	44
4.1 ระยะห่างระหว่างระนาบอะตอมของตัวดูดซับ MgAl-LDH และ CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1.....	52
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของตัวดูดซับ CLDH วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM- EDS	55
4.3 การสิ้นของหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่นต่างๆของ CLDH (2:1) ก่อนการดูดซับและ CLDH (2:1) ที่ผ่าน การฟื้นฟูสภาพ (regeneration)	58
4.4 อุณหภูมิการสลายตัวของตัวดูดซับ MgAl-LDH, Chitosan และ CLDH.....	60
4.5 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อ อะลูมิเนียม 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1	61
4.6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสีย้อมคองโกเรด	63
4.7 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อมที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)	64
4.8 ผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ CLDH ที่มีต่อการ กำจัดสีย้อมคองโกเรด	69
4.9 ผลของปริมาณตัวดูดซับ CLDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด.....	71
4.10 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)	72
4.11 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีผู้ฝ่าฝืนจะดำเนินการดำเนินคดีตามกฎหมายต่อไป

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรอนด์ลีชสำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)	75
4.13 ผลของการนำ CLDH กลับมาใช้ใหม่ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของ Layered double hydroxides	12
2.2 โครงสร้างทางเคมีของ Congo red	16
2.3 ตัวอย่างปริมาณไคตินจากแหล่งต่างๆ	21
2.4 การผลิตไคโตซานหลังการ deacetylation ของไคตินหลังการบำบัดด้วย alkaline	21
2.5 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน	22
3.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)	45
3.2 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)	45
3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	46
3.4 Thermogravimetric Analyzer (TGA)	46
3.5 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR)	47
4.1 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MgAl-LDH, Chitosan และ CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1	50
4.2 เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างระนาบอะตอมของตัวดูดซับ MgAl-LDH และ CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1	52
4.3 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ (ก) CLDH (1:1), (ข) CLDH (2:1), (ค) CLDH (3:1), (ง) CLDH (4:1) และ (จ) MgAl-LDH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 5000 เท่า	53
4.4 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ (ก) CLDH (1:1), (ข) CLDH (2:1), (ค) CLDH (3:1), (ง) CLDH (4:1) และ (จ) MgAl-LDH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10000 เท่า	54
4.5 FTIR spectrum ของตัวดูดซับ CLDH ในอัตราส่วน Mg:Al 1:1 ถึง 4:1 เปรียบเทียบกับ MgAl-LDH และ Chitosan	56
4.6 FTIR spectrum ของตัวดูดซับ CLDH (2:1) เปรียบเทียบกับ CLDH (2:1) ที่ผ่านกระบวนการ Regeneration	57
4.7 กราฟแสดงผล TGA ของตัวดูดซับ CLDH ในอัตราส่วน 1:1 ถึง 4:1, MgAl-LDH และ Chitosan	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 เปรียบเทียบปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับของตัวดูดซับ MgAl-LDH และ CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg:Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, และ CLDH (2:1) ที่ผ่านกระบวนการ Regeneration	62
4.9 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสีย้อมคองโกเรด	63
4.10 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อมที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)	65
4.11 ลักษณะโครงสร้างของ MgAl-LDH	66
4.12 โครงสร้างของ MgAl-LDH ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย Chitosan	67
4.13 คาดลักษณะการดูดซับสีย้อมคองโกเรดของตัวดูดซับของ MgAl-LDH ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย Chitosan	68
4.14 ผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ CLDH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด เปรียบเทียบกับ MgAl-LDH และ Chitosan	70
4.15 ผลของปริมาณตัวดูดซับ CLDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	71
4.16 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)	73
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)	74
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ และ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)	75
4.19 การเปรียบเทียบร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด เมื่อดูดซับด้วย CLDH (2:1) ที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่จำนวน 4 รอบ	77
4.20 การเปรียบเทียบร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด เมื่อดูดซับด้วย CLDH (2:1) และ MgAl-LDH ที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่จำนวน 4 รอบ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มที่จะขยายตัวขึ้นเรื่อยๆ ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมเกิดขึ้นเพื่อรองรับความต้องการต่างๆ แต่เนื่องจากการขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมทั้งมลพิษทางอากาศ มลพิษทางดิน โดยเฉพาะมลพิษทางน้ำ ซึ่งสาเหตุหนึ่งที่สำคัญของปัญหามลพิษทางน้ำคือการปนเปื้อนของสีย้อมที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ การผลิตกระดาษ ฟอกหนัง อาหาร และการพิมพ์ โดยสีย้อมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมสังเคราะห์ และส่วนใหญ่สีย้อมสังเคราะห์จะถูกเลือกใช้มากกว่าสีย้อมธรรมชาติเนื่องจากมีราคาถูกกว่า ให้สีที่สดสมำเสมอ สามารถนำสีเหล่านี้มาผสมเพื่อให้ได้สีที่ต้องการ และหาซื้อได้ง่าย ดังนั้นสีย้อมสังเคราะห์จึงเป็นที่นิยมและถูกนำมาใช้ในการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอ นับได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้สูงจึงมีโรงงานอุตสาหกรรมมากมายทั้งขนาดใหญ่และขนาดย่อมกระจายตัวอยู่หลายพื้นที่ ก่อให้เกิดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมปริมาณมาก เนื่องจากต้องใช้น้ำในกระบวนการผลิตเกือบทุกขั้นตอนซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาที่อาจทำให้ระบบนิเวศเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเพื่อรักษาสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้นทำให้โรงงานจำเป็นต้องพัฒนาระบบบำบัดน้ำทิ้งให้มีประสิทธิภาพได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อให้ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนบริเวณใกล้เคียงจากสารเคมีที่มาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

สีกลุ่มเอโซ่ (Azo dye) เป็นสีย้อมอินทรีย์สังเคราะห์กลุ่มใหญ่มีโครงสร้างเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่เอโซ่ ($-N=N-$) อยู่เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างโมเลกุล เป็นสีย้อมที่ถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์มากที่สุด สีย้อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีหลายชนิด สีย้อมเอโซ่ถือว่าเป็นสีย้อมที่มีการสังเคราะห์มาใช้ในทางการค้ามากที่สุดเนื่องจากเป็นสีที่นิยมใช้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมชนิดต่าง ๆ ถึง 60-70% ของสีย้อมทั้งหมด เพราะมีราคาถูกค่อนข้างต่ำ สังเคราะห์ได้ง่าย และมีหลายเฉดสีให้เลือกใช้ แต่ข้อเสียคือใช้เวลานานในการสลายตัวเนื่องจากมีโครงสร้างซับซ้อน เมื่อเข้าสู่ร่างกาย จะสามารถถูกรีดิวซ์โดยเอ็นไซม์เอโซรีดักเตส (azoreductases) ซึ่งมีอยู่ในเซลล์ตับ เซลล์ไต ผิวหนัง และแบคทีเรียในลำไส้เล็กของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เกิดเป็นสารอะโรมาติกเอมีน ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับเซลล์ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดเป็นเซลล์มะเร็งได้ และเมื่อตกค้างในสิ่งแวดล้อมก็จะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ [1-3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การออกซิเดชันรีดักชัน การตกผลึก การแลกเปลี่ยนไอออน การระเหย การกรองผ่านเยื่อกรองแบบผันกลับ และการดูดซับด้วยตัวดูดซับ สำหรับการดูดซับเป็นเทคนิคหนึ่งที่ยิยมในการกำจัดสีย้อม เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีประสิทธิภาพสูงแต่มีต้นทุนต่ำ รวมทั้งสามารถนำตัวดูดซับมาผ่านกระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ซึ่งตัวดูดซับที่นิยมใช้ คือ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) แต่ยังมีราคาที่สูงและมีข้อจำกัดในการใช้งาน นอกจากนี้ตัวดูดซับจากธรรมชาติอย่างเช่น ถ้ำกลบ ถ้ำชานอ้อย ที่มีราคาถูกแต่ประสิทธิภาพการดูดซับต่ำ [4-5]

เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides หรือ LDH) หรือที่เรียกว่า แอนไอออนิกเคลย์ (anionic clay) คล้ายสารประกอบไฮโดรทัลไซต์ (hydrotalcite-like) เป็นสารประกอบอนินทรีย์สังเคราะห์ที่มีโครงสร้างเป็นชั้น (inorganic lamellar compound) ที่ประกอบด้วยชั้นคลายบรูไซต์ที่มีประจุบวกและประจุลบและโมเลกุลของสารละลายในบริเวณระหว่างชั้น มีสูตรทั่วไป คือ $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_x(OH)_2]^{x+} [A^{n-}_{x/n} \cdot mH_2O]^{x-}$ เมื่อ M^{2+} คือ ไอออนของโลหะที่มีประจุ +2 เช่น Mg^{2+} Cu^{2+} Zn^{2+} และ M^{3+} คือ ไอออนของโลหะที่มีประจุ +3 เช่น Al^{3+} Fe^{3+} และมีไอออนประจุลบ เช่น Cl^- CO_3^{2-} หรือ NO_3^- ซึ่งแทนด้วย A^{n-} กับโมเลกุลของน้ำที่แทรกอยู่ในระหว่างชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์ (interlayer) เพื่อดุลประจุสุทธิให้เป็นกลาง ด้วยคุณสมบัติที่ปรับค่าได้มาก และการแลกเปลี่ยนแอนไอออนในโครงสร้างได้ง่ายมักทำงานร่วมกับธาตุประจุบวกแสดงให้เห็นถึงการใช้งานในด้านต่างๆ ได้หลากหลาย ซึ่ง LDH ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีประจุลบในสารละลาย โดยไอออนประจุลบกับโมเลกุลของน้ำจะแลกเปลี่ยนกับประจุลบของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์อื่นๆ จากน้ำที่ปนเปื้อน แต่เนื่องจากโครงสร้างของ LDH มีความไม่เสถียร สามารถถูกทำลายได้ง่าย จึงเป็นข้อจำกัดในการนำกลับมาใช้ซ้ำ ดังนั้นการปรับปรุง LDH ให้มีความแข็งแรงขึ้นมีความเสถียรมากขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ซ้ำ ซึ่งได้มีการใช้ graphene, humic acid, biochar และ chitosan ในการปรับปรุง LDH [6,7]

ไคโตซาน (Poly- β -(1-4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose) เป็นพอลิแซคคาไรด์สายตรงนับว่าเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส ไคโตซานได้มาจากการ deacetylation ของไคติน ซึ่งมีมากในเปลือกของกุ้งและปู ไคโตซานจัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูงชนิดหนึ่ง ด้วยคุณสมบัติเป็น cationic substance ย่อยสลายได้ในชีวภาพ ปัจจุบันมีการนำไคโตซานไปประยุกต์ใช้มากมาย โดยประโยชน์ที่นิยมนำมาใช้อย่างหนึ่งคือการบำบัดน้ำทิ้ง เนื่องจากไคโตซานมีหมู่เอมีน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน จึงสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน สี ย้อมผ้า และไอออนของโลหะได้ มีการนำไคโตซานไปใช้ดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำทิ้ง และใช้ในการดูดซับไอออนของโลหะในการบำบัดน้ำทิ้ง ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง โปรท โครเมียม และยูเรเนียม [8,9]

ดังนั้นโรงงานพิเศษนี้จึงมีความสนใจในการพัฒนาตัวดูดซับ MgAl-LDH ให้มีความแข็งแรง มีพื้นที่ผิว และเสถียรภาพที่ดีขึ้นเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำได้ และมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม

ที่ดีขึ้น โดยนำโคโตซานมาทำการปรับปรุงคุณสมบัติของ MgAl-LDH ให้เกิดเป็นคอมโพสิตที่นำไปดูดซับสีย้อมคองโกเรด ซึ่งเป็นสีย้อมในกลุ่มสีเอโซ่ โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมล แมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MgAl-LDH/Chitosan พีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของสีย้อม เวลาในการดูดซับ ไอโซเทอมของการดูดซับ และการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ รวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมคองโกเรดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นข้อมูลและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสู่ภาคอุตสาหกรรมในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ด้วยกระบวนการดูดซับ โดยใช้คอมโพสิตของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์และโคโตซาน (MgAl-LDH/Chitosan)
- 2) เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมล แมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MgAl-LDH/Chitosan พีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของสีย้อม เวลาที่ในการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเพื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ และการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) สังเคราะห์ตัวดูดซับซึ่งเป็นคอมโพสิตของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์และโคโตซาน (MgAl-LDH/Chitosan) ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม ในอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 1:1 ถึง 4:1 และเลือกอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมสูงที่สุดมาศึกษาตัวแปรอื่นต่อไป

2) วิเคราะห์คุณลักษณะของคอมโพสิตของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์และโคโตซาน (MgAl-LDH/Chitosan) ได้แก่

- โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)
- ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
- องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออ-เรสเซนต์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF)
- หมู่ฟังก์ชันตัวดูดซับ ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสาร(Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิเคราะห์หาความเสถียรทางความร้อนของตัวดูดซับ ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)
 - วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number)
- 3) ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ได้แก่
- อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MgAl-LDH/Chitosan เท่ากับ 1:1 2:1 3:1 และ 4:1
 - ค่าพีเอชของสารละลายสีย้อม ได้แก่ 2, 4, 6, 8 และ 10
 - ปริมาณตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan ที่ใช้ในการดูดซับ ตั้งแต่ 600 ถึง 1600 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - เวลาในการดูดซับ ตั้งแต่ 60 ถึง 240 นาที
 - ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อม ตั้งแต่ 40 ถึง 120 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) หรือไอโซเทอมของฟรุนดริช (Freundlich Isotherm)
 - การนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ จำนวน 1, 2, 3 และ 4 รอบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงกระบวนการและความสามารถในการกำจัดสีย้อมคองโกเรดด้วยกระบวนการดูดซับโดยใช้คอมโพสิตของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์และไคโตซาน (MgAl-LDH/Chitosan)
- 2) ทราบถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MgAl-LDH/Chitosan พีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของสีย้อม เวลาในการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม และการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่
- 3) ทราบถึงไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

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/Chitosan									
5. เตรียมกราฟมาตรฐาน สีย้อมคองโกเรด									
6. ตรวจสอบลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของตัวดูดซับ									
7. ทำการทดลองกำจัดสีย้อมคองโกเรด โดยใช้ MgAl-LDH/Chitosan เป็นตัวดูดซับ									
8. วิเคราะห์ผลการทดลอง									
9. สรุป และนำเสนอผลการทดลอง									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตัวดูดซับ (Adsorbent)

2.1.1 ทฤษฎีการดูดซับ [10]

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 ($\Delta G_{\text{surface}}$)

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

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) [11]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดติดผิว (Adsorption) จะเป็นกระบวนการที่พวกสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำโดยอยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้เรียกว่าสารถูกดูดซับ ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่าสารดูดซับ การดูดติดผิวนี้อาจเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะต่างๆทั้ง 3 สถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ และของแข็ง ซึ่งได้ทั้งแบบของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะแบบของเหลว-ของแข็ง (Liquid-solid interface) ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำ และไปเกาะติดบนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับ และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อย เพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

ประเภทของการดูดซับ

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

1. การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับและจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2. การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม หรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้นโดยมีพันธะเคมี ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวของตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือ ไม่

สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีความแตกต่างกันหลายอย่าง

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

ไอโซเทอมของการดูดซับ [12]

ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลกับจำนวนของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ที่มีการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายบนผิวแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิใดๆ

2.1.2.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ในปี ค.ศ.1916 เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่ายที่สุด โดยมีสมมติฐานคือ

- 1) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption)
 - 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวน และตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน
 - 3) ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุกๆ พื้นที่ของตัวดูดซับ
 - 4) โมเลกุลที่จะถูกดูดซับไม่สามารถที่จะย้ายข้ามผิวหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียงได้
- สมการแลงเมียร์เป็นสมการง่ายๆ แบบจำลองเป็นพื้นฐานทางฟิสิกส์และสามารถนำมาใช้งานได้อย่างกว้างขวาง แต่มีข้อจำกัดของการใช้งาน ได้แก่ พลังงานของการดูดซับเป็นอิสระจากระดับ

การควบคุม แรงที่ใช้ในการดึงดูดเป็นแรงอ่อนๆ ที่สามารถผันกลับได้และจะใช้ได้ในกรณีที่ผิวของตัว
เอกสารนี้เป็นเอกลักษณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ทั้งหมดโดยไม่มีจุดประสงค์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้น 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 $1/q_m$ ได้ และความชันของกราฟเป็นค่า K ตามสมการที่ (2.3)

2.1.2.2 ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช (Freundlich isotherm)

สมการของฟรุนดลิช มีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง ใช้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชเป็นไอโซเทอมที่พัฒนาจากไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ที่เกิดบนผิวหน้าไม่เป็นเนื้อเดียว (heterogeneous) โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (multilayer) สมการแสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายดังสมการ (2.4)

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

เมื่อ C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการดูดซับที่สมดุล

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

จากสมการฟรุนดลิช เมื่อใส่ลอการิทึม (Logarithm) จะได้สมการที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมี $\log^2 q_e$ พลงเนื้อหา = ละต้อง $\log k_f + (1/n) \log C_e$ ทุกครั้งที่มีโอกาสไป (2.5)

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ที่อุณหภูมิคงที่จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกนสามารถนำมาหาค่า k_f ได้ และความชันของกราฟเป็น $1/n$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log k_f$ จากสมการการดูดซับแบบฟรุนดลิช ความสามารถในการดูดซับพิจารณาจากความชันของกราฟระหว่าง $\log C_e$ กับ $\log q_e$ โดยถ้าเส้นกราฟที่ได้มีค่าความชันมาก หรือค่า n น้อยแสดงว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความเข้มข้นสูงๆ แต่เกิดขึ้นได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำ ค่า $1/n$ อธิบายถึงไอโซเทอมของการดูดซับ ถ้าเท่ากับ 1 ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง แต่ค่ามากกว่า 1 อธิบายถึงบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับ และถ้าน้อยกว่า 1 อธิบายถึงปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับมีปริมาณจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับ

2.1.3 ชนิดของตัวดูดซับ [13]

ตัวดูดซับ (Adsorbent) หมายถึง สารที่สามารถดูดซับสารอื่นไว้ที่ผิวได้ปริมาณมาก มักเป็นสารที่มีพื้นที่ผิวมาก หรือสารที่มีรูพรุนภายในมาก ตัวดูดซับที่มีความสำคัญและถูกนำไปใช้งานในด้านต่างๆ โดยจำแนกตามลักษณะโครงสร้างขนาดของรูพรุน และความเป็นขั้วของพื้นผิวตัวดูดซับ เช่น ซีโอไลต์ (Zeolite) ซิลิกาเจล (Silica gel) และถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นต้น

1. Zeolite

คือสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (Crystalline Aluminosilicates) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอน(หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO_4 หรือ AlO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedron) ซีโอไลต์เป็นวัสดุดูดซับประเภทหนึ่งที่ได้รับนิยมนำไปใช้งานด้านต่างๆ เนื่องจากมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุและมีพื้นที่ผิวมาก ทำให้มีประสิทธิภาพสูง เหมาะสำหรับเป็นตัวดูดซับที่ดีสำหรับไอออนของโลหะหนักในน้ำเสียและสีย้อมอินทรีย์ [14-16]

2. Silica Gel

ซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นวัสดุออสัณฐานอินทรีย์ที่เป็นของแข็ง มีพื้นที่ผิวสูงที่ทำให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นสูง ผลิตจากโซเดียมซิลิเกตในรูปของเม็ดปิดล้อมลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเล็กและเป็นเม็ดแข็งมีลักษณะเป็นผลึกแข็งไม่สม่ำเสมอ และเป็นสารสังเคราะห์ในรูปของซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide, SiO_2) ที่มีพื้นที่ผิวมากประมาณ 800 ตารางเมตร ต่อ 1 กรัม การดูดซับความชื้นของซิลิกาเจล เป็นลักษณะทางกายภาพ (Physical Adsorption) โดยกักเก็บความชื้นไว้ที่โพรงโครงสร้างด้านใน โดยมักใช้ซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นตัวดูดซับในการลดความชื้นของอากาศชื้นหรือก๊าซ [17-20]

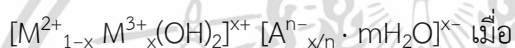
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นวัสดุจากธรรมชาติรูปแบบหนึ่งที่มีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ที่นำมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ (Activation Process) จนได้ผลิตภัณฑ์เป็นสีดำ ลักษณะโครงสร้างเกิดเป็นรูพรุน (Porosity) และทำให้มีพื้นที่ผิว (Surface Area) มากขึ้น ส่งผลให้ Activated Carbon มีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับได้ดี จึงมักถูกนำไปใช้ในการกรองสารประกอบอินทรีย์ต่างๆที่ไม่ต้องการออกจากของเหลวหรือก๊าซ โดยวัตถุดิบในการผลิต Activated Carbon มีหลายชนิด ส่วนใหญ่มักเป็นสารเซลลูโลสที่มาจากพืชและต้นไม้เช่น ไม้ยางพารา ชี้อ้อย แกลบ กะลามะพร้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด เป็นต้น [21]

2.2 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxide, LDH) [7]

วัสดุที่มีแนวโน้มคล้ายสารประกอบไฮดรทัลไซต์ (Hydrotalcite-like compounds) หรือเรียกว่า เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides : LDH) มีสูตรทั่วไป คือ



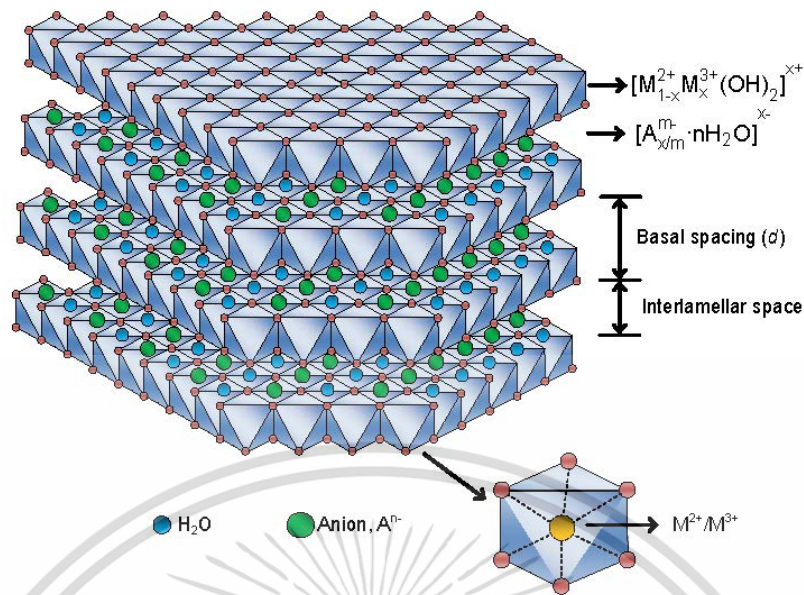
M^{2+} เป็นไอออนของโลหะประจุ +2 เช่น Mg^{2+} Ni^{2+} หรือ Zn^{2+}

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



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ Layered double hydroxides [7]

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

ในงานวิจัยนี้ ตัวดูดซับที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นเป็นเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ของ แมกนีเซียม-อะลูมิเนียม (Mg-Al LDH) ซึ่งจะมีโครงสร้างหลัก คือ ไฮดรอกไซด์ชั้นคู่ผสมระหว่างโลหะประจุ +2 และโลหะประจุ +3 ที่พื้นผิวและในระหว่างชั้นมีคลอไรด์ไอออนกับน้ำ ซึ่ง LDH ไม่เพียงแต่จะประกอบด้วยคลอไรด์ไอออน ยังสามารถแทนที่ได้โดยง่ายโดยประจุลบอื่น ๆ แต่อนุภาคนาโนคอลลอยด์ของ LDH มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเล็ก และสามารถแพร่กระจายได้ง่ายในน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของประจุลบอื่น ๆ จะเพิ่มขึ้น ดังนั้น LDH จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นเอกลักษณ์และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุไอออน

2.3 สีย้อม

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพสีย้อม [22]

สีย้อม (dyestuffs) คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมเส้นใยของผ้า อาจจะเป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดจะไม่สามารถละลายน้ำแต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้

ให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใยโดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก (Ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง สีที่เห็นจากสีย้อมนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้นมีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆกันไป ซึ่งสายตาสสามารถรับภาพได้ จึงทำให้โมเลกุลสีย้อมต่างโทนสีกันแสดงสีให้เราเห็นด้วยสายตาสออกมาเป็นต่างกันไป

2.3.2 การแบ่งประเภทสีย้อม [23]

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

1. สีที่มีหมู่ช่วยละลายถาวร (Permanent solubilising group)

กลุ่มนี้จะมีหมู่ช่วยละลายที่เกาะอยู่บนโครงสร้างสีอย่างถาวร แม้ว่าจะมีการผ่านกระบวนการต่าง ๆ หมู่ช่วยละลายก็ยังคงอยู่บนโครงสร้างสีหรือแม้กระทั่งสีที่เกาะบนผ้าแล้วก็ตาม แบ่งได้เป็น

1.1 หมู่ที่แสดงประจุลบ (Anionic group) ได้แก่ หมู่ซัลโฟเนต (Sulphonate) หมู่คาร์บอกซิลเลต (Carboxylate) ฯลฯ ในกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำออกมามักจะแตกตัวออกมาให้เป็นไอออนลบของตัวสีในน้ำ กลุ่มนี้จะละลายตัวได้ดีในสถานะเบส จึงทำให้สีกลุ่มนี้เกิดการแตกตัวได้ดียิ่งขึ้น หมู่ซัลโฟเนตนั้นจะให้ความเป็นกรดที่แก่กว่าหมู่คาร์บอกซิลเลต ดังนั้นค่าของตัวสีที่มีหมู่ซัลโฟเนตนั้นจะแตกตัวได้ดีต่ำกว่า ยังมีผลทำให้ความสามารถในการทนสถานะกรดได้สูงกว่าด้วย ตัวอย่างของสีในกลุ่มนี้ ได้แก่ สีไดเร็กต์ สีแอซิด ฯลฯ

สีไดเร็กต์ (Direct dye) หรืออาจเรียกว่า สีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้สีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใยและยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นสีสังเคราะห์ชนิดแรกที่สามารถย้อมติดใยฝ้าย

เอกสารนี้โดยตรงไม่ต้องเติมสารช่วยย้อมใด ๆ ปัจจุบันมีการใช้เกลือเข้าช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้การย้อม

ไม่ยากเกินไป สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย ทนแสง เช่น คองโกเรด (Congo Red) เป็นต้น ครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สีรีแอคทีฟ (Reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีคุณสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH^-) ของเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ในสภาพที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอคทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง $70-75^\circ\text{C}$ 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) ให้ประจุลบ ละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอน และใยอะคริลิกได้ดี ในขณะที่ย้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติ เพราะจะไม่ทนการซักและแสง

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

สีดิสเพอร์ส (Disperse dye) เป็นสีที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่กระจายตัวได้ดี นิยมใช้ย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ และอะคริลิก การย้อมจะใช้สารพา (Carrier) เพื่อช่วย

เร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควันทันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนโตรซอกไซด์ สีดิสเพอร์สแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (Azo dyes) และสีย้อมอะมิโน แอนทราควิโนน (Amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทานอลามีน (Ethanalamine; $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}$) 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 ในขณะที่ หมู่ซัลเฟตนั้นมีความเป็นกรดที่สูงกว่า จึงสามารถละลายในสภาวะที่เป็นเบสอ่อนกว่าฟีนอกไซด์ โดยที่สามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นกลางได้ สีในกลุ่มนี้ ได้แก่ สีโซลูบิไลซ์วัต (Solubilised Vat dyes)

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

สีแว็ต (Vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีแว็ตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแว็ตจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็นสีแว็ต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีแอนทราควิโนอิด (Anthraquinoid) และสีอินดิโก (Indigoid)

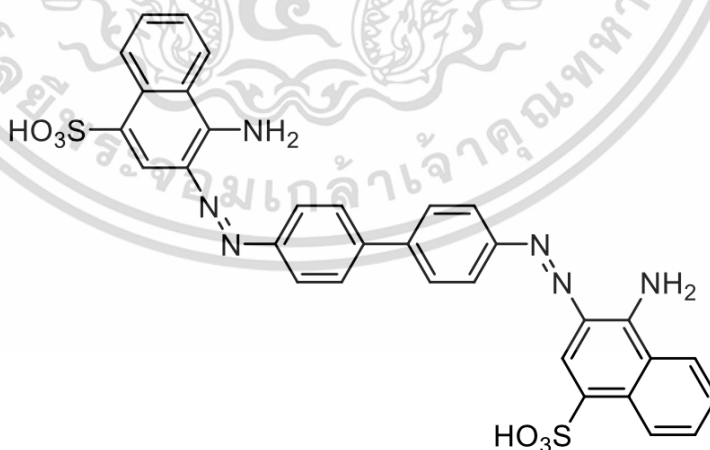
2.2 หมู่ที่แสดงประจุบวก ได้แก่ หมู่ไอเนียม (Onium group) กลุ่มนี้มีประจุบวกติดกับโครงสร้างสี เมื่อทำการออกซิเดชันตัวสีก็สามารถที่จะปล่อยหมู่ช่วยละลายออกมา ตัวสีจะตกตะกอนในเส้นใย สีอัลเซียนเป็นตัวอย่างของสีกลุ่มนี้ แต่ในปัจจุบันไม่มีการใช้งานแล้ว

ส่วนใหญ่แล้วสีย้อมที่ปนเปื้อนมาจากน้ำเสียจะมาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง ทำให้มีการพัฒนาทั้งทางด้านกระบวนการผลิต และการแข่งขันสูงขึ้น เพื่อเพิ่มปริมาณสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบ

ในทุกขั้นตอนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การถักผ้า และการฟอกย้อมก็ตาม โดยวัตถุดิบที่ใช้ เช่น สีย้อมผ้า สารเคมี เป็นต้น บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดละลายน้ำไม่ได้

จึงทำให้น้ำมีสภาพแปรเปลี่ยนไปหรือที่เราเรียกว่า น้ำเสีย เช่น อุณหภูมิสูงขึ้น มีกลิ่น มีสี ตลอดจนทำให้สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำตาย เนื่องจากมีสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณที่สูง ทำให้ขาดออกซิเจน และผลกระทบของน้ำเสียนี้ยังเป็นตัวบ่งชี้การทำงานของจุลินทรีย์ต่าง 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 สีไดเรกท์ สีแว็ต สีดีสเพอร์ส เป็นต้น ผลเสียที่เกิดขึ้นจากสีนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้ว ยังลดอัตราการนำเข้าไปของออกซิเจนที่เข้าสู่ผิวหน้าของแหล่งน้ำ และบดบังปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกลงสู่ผิวน้ำ ทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทำให้สัตว์อาจตายได้ ดังนั้น การวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงาน จึงมีความจำเป็นในการป้องกันปัญหามลพิษที่แหล่งกำเนิด และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย โดยมีการศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบการบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนด

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สีย้อมคองโกเรด (Congo red) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ $C_{26}H_{21}N_5Na_4O_{19}S_2$ มวลโมเลกุล 696.665 g/mol โดยมีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ Congo red [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 อันตรายที่เกิดจากสีย้อม

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

ตะกั่ว : ระยะเวลาจะทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ปวดศีรษะ โลหิตจาง ถ้ามีการสะสมมากขึ้น จะมีอาการอัมพาตที่แขนขา สมอไม่ปกติ เพื่อ ชักกระตุก และหมดสติในเวลาต่อมา

พรอท : ผู้ที่ได้รับสารนี้เข้าไปในจำนวนที่ถึงขีดอันตรายแล้ว จะเกิดอาการเฉียบพลันขึ้น เช่น คลื่นไส้ ท้องเดิน ปวดมวนท้องอย่างรุนแรง ถ้าเป็นเรื้อรังจะมีอาการเหงื่ออกท่วมแดงคล้ำ เนื้อบริเวณเหงื่ออกตาย ฟันจะหลุดออกง่าย ผู้ป่วยจะเบื่ออาหาร อ่อนเพลีย และน้ำหนักลด

โครเมียม : ถ้าพอกพูนในร่างกายเกินขนาด จะทำให้เป็นอันตรายมาก เกิดอาการเฉียบพลันมีอาการเวียนศีรษะ กระหายน้ำอย่างรุนแรง อาเจียน หมดสติ และเสียชีวิตในเวลาต่อมา เนื่องจากไตไม่ทำงาน

สารหนู : ถ้าพอกพูนในร่างกายมาก ๆ จะเกิดอันตรายต่อประสาท เช่น ระบบทางเดินอาหาร ผิดปกติ ตับอักเสบ และเกิดอันตรายต่อวงจรถอดที่ไปเลี้ยงหัวใจ อาจทำให้หัวใจวายได้

2.4 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ [25]

เนื่องจากการย้อมผ้าในโรงงานฟอกย้อมนั้นส่วนใหญ่จะเป็นสีย้อมและสารเคมี ซึ่งเหลือตกค้างอยู่ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตและจะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำทิ้ง แม้จะมีการโต้เถียงกันว่า สีย้อมไม่ควรถูกจัดให้เป็นสารก่อมลภาวะในน้ำ ตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้สีในน้ำทิ้งไม่เป็นที่น่ารังเกียจ แต่เนื่องจากทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่พึงประสงค์ต่อคนทั่วไป ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมก่อนปล่อยออกจากโรงงานต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อทำการกำจัดสารต่างๆ รวมทั้งสีที่ตกค้างก่อน วิธีการบำบัดสีมีดังนี้

2.4.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical coagulation)

เป็นกระบวนการกำจัดสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมักใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นก่อนกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา สารตกตะกอนที่นิยมใช้คือ ปูนขาว สารส้ม เพอร์โรสคลอไรด์หรือเฟอร์ เทคนิคนี้สามารถกำจัดสีออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของโมเลกุลสีย้อม ถ้าสีย้อมสีโมเลกุลเล็ก เช่น สีประเภทแอสิด สีรีแอคทีฟ เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้ม โมเลกุลของสีจะถูกดูดซับบนอนุภาคของสารส้ม ทำให้ตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้ง จากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้น้ำทิ้งเป็นกลางก่อนปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง แต่วิธีดังกล่าวไม่สามารถทำได้ จึงต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการตกตะกอนให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอน เช่น โพลีอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์ที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งจะส่งผลเสียต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน

2.4.2 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological treatment process)

กระบวนการนี้อาศัยจุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นมาใหม่ที่มีการดูดซับสีย้อม ทำให้สามารถบำบัดสีได้ แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

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

ระบบที่ 2 คือ ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) ดัดแปลงจากการบำบัดน้ำเสีย แบบที่มีอากาศและไม่มีอากาศรวมกัน โดยเพิ่มเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ ระบบนี้คล้ายกับระบบตะกอนเร่ง จะต่างกันเพียงบ่อนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ขุดจากพื้นดินโดยตรง คุณภาพของน้ำเมื่อผ่านกระบวนการนี้จะมีค่า BOD ลดลงประมาณร้อยละ 30-50

2.4.3 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

การดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการดูดซับที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย สามารถใช้กำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของของเสียที่จะถูกดูดซับว่าต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 g/mol ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรมสีจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 400 g/mol และสูงกว่า 1200 g/mol ดังนั้นก่อนกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์จะต้องมีการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสมก่อน โดยการไฮโดรไลซิสด้วยปูนขาว ซึ่งต้องใช้ปูนขาวปริมาณมากในการปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 10-11 ซึ่งส่งผลให้พีเอชของน้ำทิ้งสูงขึ้น ดังนั้นต้องมีการปรับพีเอชให้เป็นกลางก่อนปล่อยทิ้ง โดยการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของสีติดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นประสิทธิภาพการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรูพรุนของถ่านกัมมันต์ เพราะพื้นที่ผิวจำเพาะมากขึ้นนั่นเอง แต่การทำให้โมเลกุลของสีหลุดออกจากผิวของถ่านกัมมันต์นั้นทำได้ยาก ต้นทุนการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้จึงสูงมาก เพราะต้องผ่านการเผาและการกำจัดกาก ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง รวมถึงค่าใช้จ่ายในส่วนที่มีการปรับพีเอชก่อนปล่อยออกจากโรงงานด้วย ทำให้เทคนิคนี้ไม่เป็นที่นิยมแม้จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone treatment)

โดยทั่วไปโมเลกุลสีย้อมจะมีหมู่โครโมฟอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ เป็นพวกวงแหวนกับพันธะคู่ หรือพันธะเดี่ยว ดังนั้น การที่จะทำลายโมเลกุลของสีนั้นต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวก่อน ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้ กระบวนการกำจัดสีโดยใช้โอโซนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ไม่มากนัก ซึ่งอาจได้รับความนิยมถ้าหากมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งเข้มงวดขึ้น การโอโซนเนชั่น (Ozonation) เป็นการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำทิ้งอย่างรวดเร็ว เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโมเลกุลของสีย้อมส่วนใหญ่ที่มักประกอบด้วยไนโตรเจน คลอรีนหรือซัลเฟอร์ จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม

2.4.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane technology)

กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี และนำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสีบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) ใช้ในการกำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่ถูกปล่อยออกจากหม้อย้อมหลังจากผ่านการล้าง โดยใช้การกำจัดสีย้อมประเภทสีซัลเฟอร์ สีแสด และสีอะโซอิกที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้ายและวิสคอส (Viscose) ส่วนสตีตสเปอร์สที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทโพลีเอสเตอร์ โดยสีย้อมดิสเพอร์สที่ผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2. ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse osmosis) เหมาะสำหรับใช้กำจัดไอออนสีย้อม และโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ เป็นกระบวนการที่จะต้องผ่านเยื่อ 2 ชั้นตอน คือเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำกร่อย (Brackish Water) และที่บรรจุน้ำทะเล (Sea Water) ซึ่งเยื่อแผ่นแรกจะสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 90 ความเข้มข้นของสีที่เหลือจะถูกส่งผ่านไปยังเยื่อแผ่นที่สอง และสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 94 อย่างไรก็ตามสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทฝ้ายไม่สามารถใช้กระบวนการนี้ได้

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

2.4.6 นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration)

ใช้กำจัดสีย้อมประเภทสีรีแอคทีฟที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย เนื่องจากการย้อมสีรีแอคทีฟจะต้องใช้สารอิเล็กโทรไลต์เข้ามาช่วยในการย้อมสี เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเล็กโทรไลต์เหล่านี้ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเป็นเจ้าของโดยผู้อื่น เมื่อผู้ยู่ใช้ที่นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 เทคโนโลยีใหม่ๆ (New technology)

เทคโนโลยีใหม่ๆ มากมายที่เกิดขึ้น มีพื้นฐานตั้งอยู่บนเทคนิคต่างๆกัน แต่มีวัตถุประสงค์เดียวกัน คือ เพื่อลดผลกระทบต่างๆให้เหลือน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น

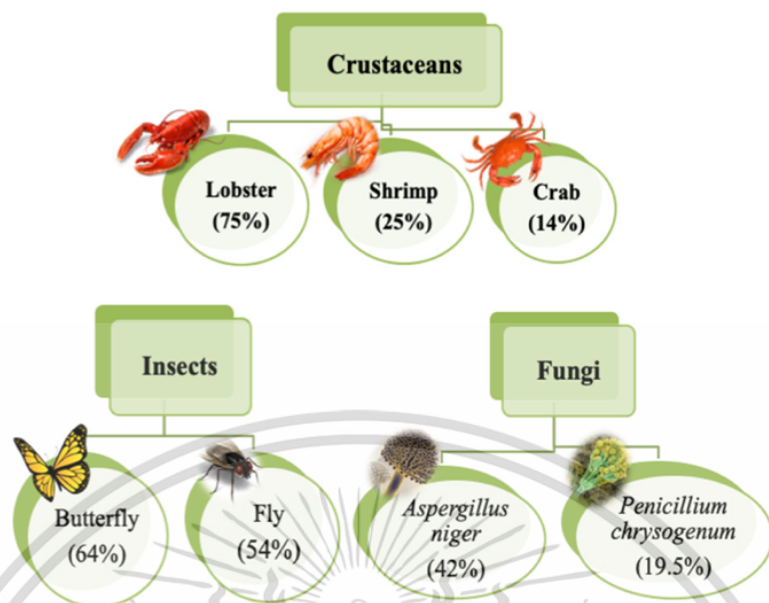
1. ตัวดูดซับอินทรีย์ ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และมีการนำมาใช้กันอยู่ในโรงงาน ประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การกำจัดสียอมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นสีที่สูงหรือมีสารเจือปนก็ตาม ซึ่งวิธีนี้ต้นทุนต่ำกว่าเทคนิคอื่นๆที่คล้ายกัน ดังนั้นเทคนิคนี้จึงคุ้มค่าต่อการพิจารณาต่อไป

2. ระบบที่มีอิเล็กโตรไลซิส จะต้องใช้พลังงานสูง บางครั้งคลอรีนและไฮดรอกซีเรดิคัลสามารถเกิดขึ้นเองได้ ทำให้เกิดการแตกพันธะอย่างควบคุมไม่ได้ ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์หรือพีชแห้ง เช่น ผักตบชวา จะมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ เซลลูโลส มีหมู่ฟังก์ชันไว้แลกเปลี่ยนไอออนหรือโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้

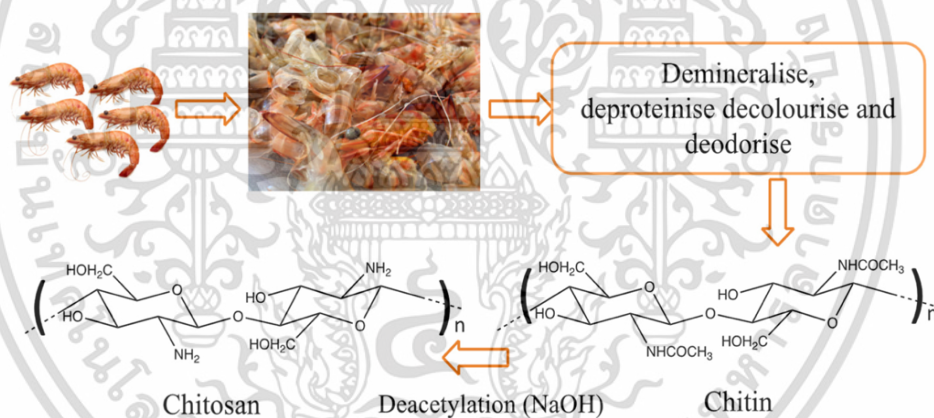
2.5 ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซานสามารถเตรียมได้จากไคติน (อะมิโนโพลีแซคคาไรด์พอลิเมอร์) ไคตินเกิดขึ้นในธรรมชาติ (โครงสร้างของปู กุ้ง และกุ้งก้ามกราม) ดังที่ระบุไว้ใน (รูปที่ 2.3) ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีมากเป็นอันดับสอง ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายได้และเข้ากันได้ทางชีวภาพ ไคโตซานประกอบด้วย β -(1-4)-D-กลูโคซามีน ซึ่งถือได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่กำจัดสารไคตินบางส่วน (รูปที่ 2.4) ไคโตซานมีไนโตรเจนซึ่งตรงกันข้ามกับพอลิแซ็กคาไรด์อื่นๆ และหมู่ไฮดรอกซิลในเซลลูโลสจะถูกแทนที่ด้วยหมู่อะมิโนที่คาร์บอน-2 ในไคโตซาน (รูปที่ 2.5) ในแง่ของโครงสร้าง ไคโตซานชนิดเกล็ดเป็นวัสดุที่ไม่มีรูพรุนซึ่งมีพื้นที่ผิวต่ำกว่า (น้อยกว่า 10 ตร.ม./กรัม) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนทางกายภาพและเคมีเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและเพิ่มความสามารถในการดูดซับ ไคโตซานถูกนำมาใช้เพื่อกำจัดสารมลพิษเนื่องจากข้อดีหลายประการ เช่น มีความเสถียรทางเคมี (chemical stability) การเป็นตัวดูดซับที่ถูกต้องที่สุด เกิดปฏิกิริยาที่ดี (reactivity) (เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลและอะมิโน) และความสามารถในการคัดเลือก (selectivity) ขนาดตลาดไคโตซานโลกอยู่ที่ 1.7 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2019 และคาดว่าจะสูงถึง 4.7 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2027 เนื่องจากการเติบโตอย่างรวดเร็วของขยะ (อุตสาหกรรมอาหารทะเล) และการสนับสนุนอย่างเต็มที่จากรัฐบาล ปัจจุบันผู้ผลิตไคโตซานชั้นนำระดับโลก ได้แก่ Primex (Siglufjordur, Iceland), AgraTech (New Jersey, United States), Advanced Biopolymers (Haugesund, Norway), NovaMatrix (Sandvika, Norway), Dainichiseika Color & Chemicals Mfg. Co., Ltd. (โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น) และ Bioline (ชลบุรี ประเทศไทย). [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

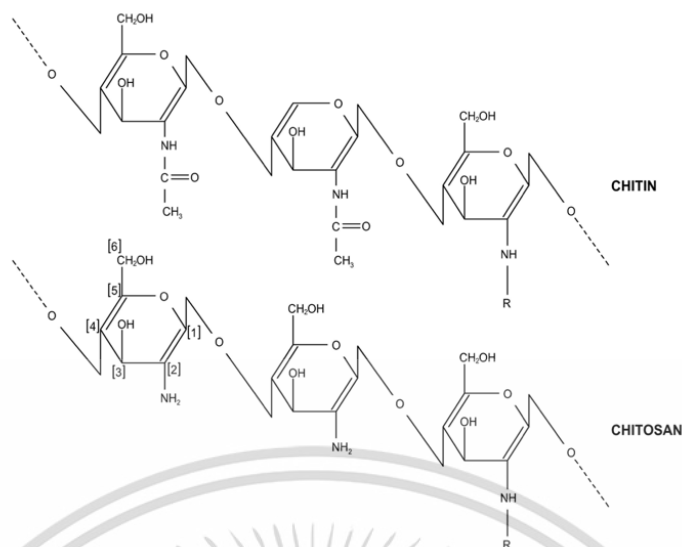


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างปริมาณไคตินจากแหล่งต่างๆ [27]



รูปที่ 2.4 การผลิตไคโตซานหลังการ deacetylation ของไคติน หลังการบำบัดด้วย alkaline [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน [27]

2.5.1 คุณสมบัติของไคตินและไคโตซาน [27]

คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของไคตินและไคโตซานขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล และการแพ็คตัว (regular packing) ปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และหมู่อะมิโน (amino group) ที่มีปฏิกิริยาสูงในไคโตซานหรือคู่ของ N-acetyl ที่มีแนวโน้มสูงสำหรับพันธะไฮโดรเจนภายในและระหว่างโมเลกุล ส่งผลให้เกิดการก่อตัวของมวลรวมเชิงเส้นและผลึก อย่างไรก็ตามไคโตซานมักจะมีผลึกน้อยกว่าไคติน ซึ่งน่าจะทำให้ไคโตซานเข้าถึงตัวทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้นและเป็นผลให้ละลายน้ำได้มากกว่า ไคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายกรด ในขณะที่ไคตินละลายได้ในตัวทำละลายน้อยมาก การโปรโตเนชัน (protonation) ของหมู่อะมิโนโดยกรดตามสายโซ่ของไคโตซานทำให้เกิดประจุบวกจำนวนมากซึ่งเพิ่มความสามารถในการละลายโดยการเพิ่มขั้ว คุณสมบัติพิเศษนี้ช่วยขยายศักยภาพการใช้งานของไคโตซาน รวมถึงความสามารถในการดูดซับมลพิษต่างๆ ตัวอย่าง เช่น หมู่เอมีนถูกดึงดูดอย่างมากกับไอออนของโลหะ เนื่องจากอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวบนอะตอมของไนโตรเจน โปรตอนของหมู่เอมีนเหล่านี้อาจนำไปสู่การดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตของสารประกอบประจุลบ เช่น สีย้อมประจุลบ และฮาโลเจน ยิ่งไปกว่านั้นการมีหมู่ $-NH_2$ และ $-OH$ อิสระเหล่านี้ ทำให้สามารถดูดซับมลพิษอื่นๆ เช่น ฟีนอล ยาปฏิชีวนะ และยาฆ่าแมลง ดังนั้นความสามารถในการดูดซับของไคโตซาน จึงขึ้นอยู่กับความเป็นผลึก ความสัมพันธ์กับน้ำ และ Degree of Deacetylation (%DD)

คุณสมบัติบางอย่างของไคโตซาน เช่น ลักษณะของพอลิแคทไอออนิก (polycationic) ในสารตัวกลางที่เป็นกรด ความสามารถในการสร้างพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals) และปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิต (electrostatic interactions) ทำให้เป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพ และลักษณะอื่นๆในการพิจารณาไคโตซาน เช่น Degree of Deacetylation (%DD)

น้ำหนักโมเลกุล (MW) ความสามารถในการละลาย พื้นที่ผิว และขนาดอนุภาค ทั้งหมดล้วนมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติและศักยภาพของวัสดุที่มีไคโตซานในการดูดซับ โดยสมบัติหลักของไคโตซานสรุปไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติหลักของไคโตซาน [28]

สมบัติทางฟิสิกส์	สมบัติทางเคมี
<ul style="list-style-type: none"> - เป็นพอลิเมอร์โดยธรรมชาติ - ง่ายต่อการนำมาใช้ประโยชน์ - Biodegradable และ Biocompatible - มีความปลอดภัย, มีพิษต่ำ - มีคุณสมบัติเป็นประจุบวกจึงติดแน่นบริเวณผิวที่มีประจุลบ (bio/muco-adhesive) 	<ul style="list-style-type: none"> - ละลายได้น้อยที่ pH สูง (pH 7.4) - มีความหนืดสูง

2.5.2 การใช้ประโยชน์ไคตินและไคโตซาน [29]

ไคโตซาน เป็นไบโอพอลิเมอร์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญในรูปของ D-Glucosamine พบได้ในธรรมชาติ โดยเป็นองค์ประกอบอยู่ในเปลือกนอกของสัตว์พวก กุ้ง ปู แมลง และเชื้อรา เป็นสารธรรมชาติที่มีลักษณะโดดเด่นเฉพาะตัว คือเป็นวัสดุชีวภาพ (Biomaterials) ย่อยสลายตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ ไม่เกิดผลเสียและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ไม่เกิดการแพ้ ไม่ไวไฟและไม่เป็นพิษ (Non-Phytotoxic) ต่อพืช นอกจากนี้ยังส่งเสริมการเพิ่มปริมาณของสิ่งมีชีวิตที่มีประโยชน์ จึงได้มีการนำไคติน-ไคโตซานมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้

1. ด้านการเกษตร

การใช้ประโยชน์จากไคติน-ไคโตซานทางด้านการเกษตร สามารถนำไปใช้ได้เกือบทุกขั้นตอนหรือเกือบครบวงจร เช่น ใช้เป็นสารปรับสภาพดินสำหรับเพาะปลูก การใช้ไคโตซานผสมในปุ๋ยน้ำสำหรับพืช มีข้อดีคือสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวดินได้ดี ทนต่อการถูกชะล้างลดการระเหยของน้ำ อีกทั้งยังเป็นตัวควบคุมการปลดปล่อยแร่ธาตุและสารอาหารให้แก่พืช ช่วยเร่งอัตราการเจริญเติบโต มีผลทำให้ผลไม้สดสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น เป็นส่วนประกอบในการผลิตแผ่นคลุมดิน เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช เพิ่มอุณหภูมิของดิน และช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการผลิตกระดาษหรือถุงเพาะต้นกล้าได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ด้านอุตสาหกรรมอาหาร

ปัจจุบันไคโตซานมีการผลิตออกจำหน่ายอย่างแพร่หลายในรูปของอาหารเสริม เพื่อลดคอเลสเตอรอลและควบคุมน้ำหนัก จากสมบัติของไคโตซานในด้านการยับยั้งเชื้อจุลชีพ เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา นับเป็นจุดเด่นที่สำคัญต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการถนอมอาหาร เช่น ในการเก็บรักษาเนื้อปลา การนำไปใช้ในเครื่องปรุงรสอาหารในกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่มหลายชนิด และใช้เป็นฟิล์มห่อหุ้มเพื่อถนอมอาหาร

3. การใช้เป็นสารตกตะกอน

ได้มีการนำไคโตซานมาใช้ด้านการบำบัดน้ำจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าไคโตซานมีประสิทธิภาพในการใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพ (Bioflocculant) ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร สามารถลดความขุ่น ปริมาณตะกอนแขวนลอย ตลอดจนค่า BOD และ COD ลงได้ ทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้นการใช้ไคติน-ไคโตซานเป็นตัวจับไอออนโลหะในน้ำทิ้ง เช่น ไอออนของปรอท ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม เป็นต้น

4. ด้านเครื่องสำอาง

ไคโตซานเป็นสารประเภท Non Toxic Polyelectrolyte ที่มีประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางทั้งนี้เพราะ ประจุบวกของหมู่แอมโมเนียม ที่เรียงรายอยู่บนโครงสร้างของไคโตซานจะมีความว่องไวต่อการจับกับผิวหนังและเส้นผมที่ประกอบด้วยสาร Mucopolysaccharides โปรตีนและไขมันที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี ไคโตซานที่เคลือบอยู่จะก่อตัวเป็นฟิล์มบางๆ พร้อมกับดูดซับความชื้นและไขมันเอาไว้จึง ช่วยรักษาความชุ่มชื้นและความยืดหยุ่นให้แก่ผิวหนังและเส้นผม และนอกเหนือจากสมบัติในการช่วยยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และลดอาการระคายเคืองหรือคันคันศีรษะแล้ว อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Polysaccharides และโปรตีนของเส้นผมยังมีส่วนในการเพิ่มความเงางามให้แก่เส้นผม ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของสารไคตินและไคโตซาน ได้แก่ ครีมและโลชั่นบำรุงผิว แชมพู โลชั่นบำรุงผม แป้งแต่งหน้า ยาทาเล็บ ยาสีฟัน และมอยส์เจอร์ไรเซอร์

5. ด้านเส้นใยและสิ่งทอ

การประยุกต์ใช้ไคติน-ไคโตซานทางด้านเส้นใยและสิ่งทอ พบว่าสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้ใช้ผลิตเป็นเส้นใยและเส้นด้าย เส้นใยไคตินและไคโตซานสามารถนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ผ้านอนวูฟเวน (Nonwoven) ผ้าปิดแผลไหมละลาย เป็นต้น ในขั้นตอนของกระบวนการขึ้นรูปใช้วิธีละลายด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วจึงปั่น (Spin) เส้นใยผ่านหัวรีดที่มีรูเล็กๆ ที่เรียกว่า spinneret ลงในอ่างสารเคมีที่ทำให้เกิดการแข็งตัว (Coagulation Bath) ซึ่งกระบวนการนี้ เรียกว่าการปั่นเส้นใยแบบเปียก (Wet Spinning) การผลิตเป็นเส้นใยมีหลายลักษณะด้วยกัน เช่น ผลิตเส้นใยจากไคติน-ไคโตซานโดยตรง การผลิตโดยปั่น เป็นเส้นใยร่วมกับโพลิเมอร์ชนิด

อื่นๆ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม

ไคติน-ไคโตซานเป็นสารธรรมชาติที่มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อและเซลล์ของร่างกาย สามารถรับประทานได้และย่อยสลายได้ตาม ธรรมชาติโดยไม่เป็นพิษต่อร่างกาย จึงได้มีการนำไคติน-ไคโตซานมาประยุกต์ใช้ทางด้านการแพทย์และเภสัชกรรม เช่น ใช้ในวัสดุทดแทนกระดูกใช้เป็น Filling ในกระดูกและฟัน ใช้เป็นวัสดุปิดบาดแผลกระตุ้นการสร้างเซลล์ใหม่ และป้องกันการติดเชื้อจึงช่วยทำให้บาดแผลหายเร็วขึ้น เป็นสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของเลือด(Blood Anticoagulant) และสารห้ามเลือด (Hemostatic)

7. ด้านการดูดซับน้ำมัน

การนำไคโตซานมาใช้ประโยชน์ ในการดูดซับน้ำมันตกค้าง (Residue Oil) ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม ในรายงานได้กล่าวถึงไคโตซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีประจุบวก (Cationic Biopolymer) โมเลกุลของไคโตซานประกอบด้วย หมู่อะมิโนที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับน้ำมัน และ เนื่องจากโมเลกุลของไคโตซานมีประจุบวก จึงสามารถจับกับสารที่มีประจุลบได้ดีนั้นคือไคโตซานสามารถดูดซับ Residue Oil ได้ และทำให้ประจุลบของ Residue Oil สูญเสียเสถียรภาพโดยอาศัย กลไกการสะเทิน (Neutralize)ประจุการ นำไคโตซานมาใช้ในการกำจัดน้ำมันเป็นวิธีที่ยอมรับกันทั่วไป ในปัจจุบันซึ่งจากรายงานการทดลองพบว่าไคโตซานในรูปแบบผง (Powder) มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันมากกว่าเกล็ดไคโตซาน (Chitosan Flake) การใช้ SEM Micrographs เป็นข้อพิสูจน์ว่าไคโตซานสามารถดูดซับน้ำมันไว้ที่ผิวของไคโตซานได้จริงโดยลักษณะพื้นผิวของไคโตซาน ก่อนที่จะดูดซับน้ำมันจะเรียบมีรูพรุนกระจายทั่วเป็นเนื้อเดียว ขณะที่พื้นผิวของไคโตซานหลังจากการดูดซับน้ำมันแล้วจะมีลักษณะขรุขระไม่เรียบและรูพรุนจะมีลักษณะเป็นแบบ Craterlike Pores นอกจากนี้รูปร่างนี้ยังแสดงให้เห็นว่าน้ำมันสามารถแทรกเข้าไปในรูพรุนของไคโตซานได้

2.6 ข้อมูลทั่วไปของสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ LDH

2.6.1 แมกนีเซียมคลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต (Magnesium chloride hexahydrate) [30]

2.6.1.1 ข้อมูลทั่วไปของแมกนีเซียมคลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต

สูตรเคมี : $MgCl_2 \cdot 6H_2O$

น้ำหนักโมเลกุล : 203.30 g/mol

สถานะ : ของแข็ง

จุดหลอมเหลว ($^{\circ}C$) : $117^{\circ}C$ (สลายตัว)

จุดเดือด ($^{\circ}C$) : $1412^{\circ}C$

ความหนาแน่น : 1.57 g/cm^3 ที่ $20^{\circ}C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ : 1670 g/l ที่ $20^{\circ}C$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.2 การประยุกต์ใช้งาน

จะมักนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารประกอบแมกนีเซียมตัวอื่นๆ นอกจากนี้ยังนำมาใช้เพิ่มแร่ธาตุแมกนีเซียมในดินด้วย การใช้งานอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ (Textile), วัสดุกันไฟ ซีเมนต์ และอาหารบางประเภท เช่น การทำเต้าหู้ โดยจะเติมลงไปเพื่อทำให้โครงสร้างของสินค้าแข็งยิ่งขึ้น

2.6.1.3 การเก็บรักษา

- การเก็บต้องมิดชิด
- เก็บในที่เย็น และเก็บในบริเวณที่มีภาวะบายนอกอากาศดี
- ป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไปโดยตรงภาชนะบรรจุที่ว่างเปล่าของสารนี้อาจเป็นอันตรายได้ เนื่องจากมีกาสสารเคมี แต่มีกาสสารเคมีตกค้างอยู่ เช่น ไอโระเหย ของเหลว

2.6.1.4 ประโยชน์

ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในการผลิตอุตสาหกรรมสิ่งทอใช้เพิ่มความแข็งแรงของอิฐไม่ก่อยระลายน้ำ

2.6.2 อะลูมิเนียมคลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต (Aluminium chloride hexahydrate) [31]

2.6.2.1 ข้อมูลทั่วไปของอะลูมิเนียม คลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต

สูตรเคมี : $AlCl_3 \cdot 6H_2O$

น้ำหนักโมเลกุล : 241.43 g/mol

สถานะ : ของแข็ง

จุดหลอมเหลว ($^{\circ}C$) : $100^{\circ}C$

ความหนาแน่น : 2.398 g/cm^3 ที่ $20^{\circ}C$

การละลายน้ำ : 1330 g/L ที่ $20^{\circ}C$

2.6.2.2 การประยุกต์ใช้งาน

ถูกนำมาใช้เป็นยาระงับเหงื่อ (Antiperspirants) มักผลิตออกมาในรูปแบบของลูกกลิ้งทาผิว (Roll on) หรือโลชั่น (Lotion) โดยมีความเข้มข้นตั้งแต่ 12% ขึ้นไป และใช้ในกระบวนการเร่งตกตะกอนของน้ำต่างๆ เช่น น้ำประปา ใช้น้ำดิบจากแม่น้ำ น้ำบาดาล น้ำเสียในอุตสาหกรรม การแยกออกของแข็งจากสารแขวนลอยในกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ หรือการนำสารที่ยังใช้ประโยชน์ได้กลับมา โดยการตกตะกอนจากน้ำเสียชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.3 การเก็บรักษา

- ควรเก็บไว้จัดเก็บในที่เย็นมีช่องระบายอากาศ
- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิดป้องกันไม่ให้ความชื้น

2.6.2.4 ประโยชน์

- ส่วนใหญ่ใช้เป็นบรรจุหรือเสริมในเครื่องสำอาง
- ใช้สำหรับยาและสารเคมีอุตสาหกรรม
- ใช้เป็นสารตกตะกอนในกระบวนการบำบัดน้ำและน้ำเสียเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำและอนุภาคคอลลอยด์ที่มีอยู่ในสารแขวนลอย

2.6.3 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) [30]

2.6.3.1 ข้อมูลทั่วไปของโซเดียมคาร์บอเนต

สูตรเคมี : Na_2CO_3

น้ำหนักโมเลกุล : 105.99 g/mol

สถานะ : ของแข็ง

จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$) : 851°C

จุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$) : 1412°C

ความหนาแน่น : 2.5 g/cm^3

การละลายน้ำ : 30 g/ 100 ml ที่ 20°C

2.6.3.2 การประยุกต์ใช้งาน

ใช้เป็นสารปรับสภาพน้ำ โดยช่วยเพิ่มค่าความเป็นด่าง (เพิ่มค่า pH) เพื่อช่วยปรับความกระด้างของน้ำ และหากใส่ในกาต้มน้ำก็จะช่วยลดตะกอนที่เกิดขึ้นจากการต้มด้วย นอกจากนี้ยังใช้ผสมทรายในอุตสาหกรรมการผลิตแก้ว

2.6.3.3 การเก็บรักษา

- เก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิดที่เย็นและแห้ง ห่างจากความชื้น

2.6.3.4 ประโยชน์

เป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น แก้ว เซรามิกส์ กระจก ผงซักฟอก สบู่ การแก้ไขน้ำกระด้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) [32]

2.6.4.1 ข้อมูลทั่วไปของโซเดียมไฮดรอกไซด์

สูตรเคมี : NaOH

น้ำหนักโมเลกุล : 40 g/mol

สถานะ : ของแข็ง (ในรูปแบบผง เกล็ด เป็นแท่งหรือ เม็ดกลม)

จุดหลอมเหลว (°C) : 318°C

จุดเดือด (°C) : 1390°C

ความหนาแน่น : 2.1 g/cm³

การละลายน้ำ : 111 g/ 100 ml ที่ 20°C

2.6.4.2 การประยุกต์ใช้งาน

ใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน และยังใช้ประโยชน์ได้อีกมากมาย เช่น ในการผลิตเยื่อและกระดาษ สบู่และผลิตภัณฑ์ซักฟอก เคมีภัณฑ์ การทำความสะอาด โรงกลั่นน้ำมัน การใช้งานทางอุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเส้นใยเรยอน สิ่งทอ และอื่น ๆ

2.6.4.3 การเก็บรักษา

- เก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิดที่เย็นและแห้ง ห่างจากความชื้น

2.6.4.4 ประโยชน์

- เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโซดาไฟเหลว
- ใช้สำหรับอุตสาหกรรมผลิตสบู่ ด้วยการทำปฏิกิริยากับไขมันเปลี่ยนเป็นสบู่
- ใช้สำหรับขจัดคราบสกปรก และสิ่งอุดตันในท่อระบายน้ำ ด้วยก้อนหรือละลายน้ำเทราดบริเวณที่มีการอุดตันของท่อ
- ใช้สำหรับปรับสภาพความเป็นกรดของน้ำให้เป็นด่าง โดยเฉพาะในระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ
- ใช้สำหรับการตกตะกอนของแร่ธาตุหรือโลหะหนักในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย
- ใช้ฟื้นฟูสภาพของเรซินของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ
- ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมไหม โดยเฉพาะขั้นตอนการลอกกาไหมที่ต้องต้มละลายกาไหมด้วยโซดาไฟ สำหรับการฟอกไหมในระดับครัวเรือน ชาวบ้านเรียกโซดาไฟว่า “ผงมัน” ซึ่งหาซื้อได้ตามร้านขายเคมีฟอกไหม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Y.Li และคณะ [33] ในปี ค.ศ. 2009 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

I.M. Ahmed และคณะ [34] ในปี ค.ศ. 2012 ได้ศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับสีย้อม Congo red (CR) ซึ่งเป็นสีย้อมประเภทแอนไอออนิก โดยใช้ Mg-Fe-CO₃-LDH เป็นตัวดูดซับ ซึ่งได้จากการบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของ Mg-Fe-Cl Layered double hydroxides (LDHs) ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต โดยที่ Mg-Fe-Cl-LDH สังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนและบ่มทิ้งไว้โดยมีอัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมและเหล็กเป็น 3:1 โดยที่ช่องว่างระหว่างชั้นจะถูกแทนที่ด้วยคาร์บอเนตแล้วนำไปวิเคราะห์หาเอกลักษณ์ด้วยเครื่อง X-ray diffraction (XRD) และ FTIR ทำการศึกษาผลของตัวแปร เช่น ความแตกต่างของ pH ความเข้มข้นของสีย้อม เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ พบว่า Mg-Fe-CO₃-LDH จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายสีย้อมมี pH ลดลง โดยที่การดูดซับจะเข้าสู่สมดุลที่เวลา 15 นาที เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และไอโซเทอมที่สภาวะสมดุลจะบ่งบอกถึงการดูดซับของสีย้อมบนตัวดูดซับ Mg-Fe-CO₃-LDH ซึ่งสอดคล้องกับสมการ Langmuir และ Freundlich ซึ่งค่าการดูดซับที่ได้จากสมการ Langmuir ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R²) ที่ดี และค่าความจุการดูดซับอิ่มตัวของสีย้อม Congo red (CR) บนตัวดูดซับ Mg-Fe-CO₃-LDH เท่ากับ 104.6 มิลลิกรัมต่อกรัม

ทิพย์วิมล สุขวานิชย์เจริญ และคณะ [7] ในปี ค.ศ.2015 ได้ศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับเลเยอร์ไฮดรอกไซด์ของแมกนีเซียมกับอะลูมิเนียม (Mg-Al LDH) ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมระหว่างแมกนีเซียมคลอไรด์และอะลูมิเนียมคลอไรด์ในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ พร้อมกับศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม ได้แก่ พีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ LDH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ จากผลการทดลองพบว่า สีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 ถูกกำจัดได้มากที่สุด เมื่อพีเอชของสารละลายสีย้อมรี

แอกทีฟแบล็ค 5 และรีแอกทีฟออเรนจ์ 16 เท่ากับ 4 ตัวดูดซับ Mg-Al LDH ที่มีอัตราส่วนโดยโมล แมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมเป็น 3 ต่อ 1 ปริมาณตัวดูดซับ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 120 นาที และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าไอโซเทอมที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์มากที่สุด

R. Lafi และคณะ [35] ในปี ค.ศ.2016 ได้ทำการเตรียมแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MgAl-LDH) ที่อัตราส่วน Mg:Al คือ 2:1 เพื่อใช้ในการดูดซับสีย้อมคองโกเรด โดยศึกษาตัวแปรต่างๆ ได้แก่ pH เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิ ไอโซเทอม และจลนศาสตร์ ผลการทดลองพบว่า pH ที่ใช้ในการดูดซับอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 2.7 ถึง 10.2 ความเข้มข้นของสีย้อม 20 ถึง 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลาในการดูดซับเข้าสู่สมดุล 20 นาที และที่ความเข้มข้นของสีย้อม 120 ถึง 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุล 140 นาที การศึกษาผลของอุณหภูมิในการดูดซับพบว่า เป็นไปตามกระบวนการดูดความร้อน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะสามารถดูดซับสีย้อมได้เพิ่มขึ้น จากการศึกษาจลนศาสตร์พบว่ากระบวนการดูดซับเป็นไปตามแบบจำลองจลนศาสตร์แบบลำดับที่สอง และจากการศึกษาไอโซเทอมมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์มากที่สุด

B. Zhang และคณะ [36] ในปี ค.ศ.2017 ได้ทำการเตรียม แมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ไฮดรอกไซด์ (MgAl-LDH) ที่อัตราส่วน Mg:Al คือ 2:1 จากนั้นนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ Sodium hexane sulfonate (SHS) Sodium nonane sulfonate (SNS) และ Sodium dodecane sulfonate (SDS) เพื่อใช้ในการดูดซับสีย้อม ได้แก่ acid red GR (AR-GR) disperse orange 11 (DO-11) และ basic yellow 2 (BY-2) โดยตัวแปรที่ทำการศึกษามีดังนี้ ปริมาณตัวดูดซับ pH เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิ ไอโซเทอม และจลนศาสตร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า MgAl-LDH ที่ปรับปรุงด้วยสารลดตึงผิวชนิด SNS สามารถกำจัดสีย้อมได้ ทั้งสีย้อมประจุลบ สีย้อมประจุบวก และสีย้อมไม่มีประจุ ในส่วนของ MgAl-LDH ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SHS มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมประจุลบ

N.S. Beyranvand และคณะ [37] ในปี ค.ศ. 2018 ได้ศึกษาการกำจัดสีย้อมคองโกเรด (CR) โดยการใช้สารนาโนคอมพาวด์ Mg-Al-layered double hydroxide (Mg-Al-LDH) การทดลองการดูดซับเป็นแบบ Batch ภายใต้อุณหภูมิต่างๆ ความเข้มข้นของ CR เริ่มต้น ความเป็นกรดเบส และอัตราการเขย่า ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของ Mg-Al-LDH สำหรับ CR คือ 100, 105 และ 86.8 mg-g⁻¹ ที่ 308, 318 และ 328 K ตามลำดับ ตำแหน่งการดูดซับของ Mg-Al-LDH สำหรับ CR คือหมู่ -OH ที่ติดอยู่กับอะตอม Al ของชั้นตัวดูดซับ ไอโซเทอร์มของการดูดซับของกระบวนการได้รับการศึกษาโดยแบบจำลอง ARIAN และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับแสดงให้เห็นว่ามีตำแหน่งการดูดซับสองประเภทบนพื้นผิวของ Mg-Al-LDH ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือแสดงให้เห็นว่า

ตำแหน่งการดูดซับเหล่านี้คือหมู่ -OH ที่อยู่บนพื้นผิวของ mesopores และ micropores ของตัวดูดซับ และได้รับการตั้งชื่อตำแหน่ง MP และ 003 ตามลำดับ ข้อมูลจลนพลศาสตร์ได้รับการศึกษาโดยแบบจำลอง KASRA และ ISO และสมการการแพร่ภายในอนุภาค (การแพร่ของรูพรุน) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเลกุล CR ถูกดูดซับในตอนแรกบน MP site นอกจากนี้ในระหว่างการดูดซับ CR บน MP site ปฏิกริยาของ CR กับพื้นผิวตัวดูดซับเป็นขั้นตอน rate-controlling ในระหว่างการดูดซับ CR บนไซต์ 003

D. Brahma และคณะ [38] ในปี ค.ศ. 2022 ได้ทำการศึกษาวัดดูดซับชนิดใหม่ที่ประกอบด้วยคอมโพสิต ของ ZrO_2 กับ MgAl-LDH สำหรับการกำจัดสีย้อมประจุลบ การปรับเปลี่ยน LDH ดำเนินการโดยวิธียูเรียไฮโดรไลซิส (Urea hydrolysis) โดยใช้เกลือเซอร์โคเนียมเป็นวัสดุตั้งต้น การดูดซับของวัสดุสังเคราะห์ ZrO_2 /MgAl-LDH ที่ใช้กำจัดสีย้อมคองโกเรด (CR) ได้รับการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค powder X-ray diffraction (P-XRD), Brunauer-Emmett-Teller (BET), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), Fourier transform infrared (FT-IR), scanning emission microscopy (SEM), energy dispersive X-ray (EDX), transmission emission microscopy (TEM) และ thermal gravimetric analysis (TGA) อิทธิพลของตัวแปรสถานะที่มีต่อการศึกษามูลของการดูดซับ เช่น pH อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น เวลาสัมผัส ปริมาณสารดูดซับ และไอออนรบกวน จะถูกตรวจสอบภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด การศึกษาทางอุณหพลศาสตร์แสดงให้เห็นถึงธรรมชาติที่เกิดขึ้นเองและดูดความร้อนของกระบวนการดูดซับ นอกจากนี้จากการปรับข้อมูลการทดลองให้เหมาะสมกับแบบจำลองต่างๆ พบว่ากลไกไอโซเทอร์มและจลนพลศาสตร์มีความเหมาะสมมากกว่ากับไอโซเทอร์ม Langmuir, ไอโซเทอร์ม Redlich-Peterson และจลนพลศาสตร์ pseudo-second-order และการวิเคราะห์สเปกตรัมบ่งชี้เพิ่มเติมถึงลักษณะการออกซิไดซ์ของวัสดุ ดังนั้นจึงเป็นข้อมูลที่จะสนับสนุนการดูดซับของสีย้อมประจุลบ ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมสูงสุดของ ZrO_2 /MgAl-LDH สูงถึง 97.19% ภายใต้สภาวะการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม (ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น 50 มก./ลิตร ปริมาณตัวดูดซับ 0.02 กรัม อุณหภูมิ 303 K) นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซับขั้นเดียวสูงสุด (q_{max} 169.42 มก.) สำหรับการดูดซับ CR ยังแสดงให้เห็นถึงความเหนือกว่าในการทดสอบการดูดซับ ยิ่งไปกว่านั้นตัวดูดซับสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างง่ายดายถึงห้ารอบ ดังนั้นลักษณะเฉพาะและผลการทดลองของ ZrO_2 /MgAl-LDH จึงยืนยันถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานสำหรับการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพ

A. Zuniga-Zamora และคณะ [39] ในปี ค.ศ. 2016 ได้ทำการดูดซับสีย้อม Congo red โดยใช้พอลิเมอร์ทางชีวภาพ จากเปลือกกุ้งเป็นตัวดูดซับได้แก่ chitin และ chitosan การออกแบบการทดลองด้วยวิธี Box-Behnken 3 ตัวแปร ที่ 3 ระดับ ถูกนำมาใช้หาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับคือ pH 7 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 3 ชั่วโมง นอกจากนั้นแบบจำลองการดูดซับที่สอดคล้องกับผลการทดลอง เมื่อใช้ chitin เป็นตัวดูดซับคือ Langmuir model สำหรับการดูดซับด้วย chitosan แบบจำลองที่เหมาะสมคือ Freundlich model โดยความสามารถในการดูดซับสูงสุดของ chitin และ chitosan คือ 139 และ 320 mg/g ตามลำดับ

A.A. Meguid Attia และคณะ [24] ในปี ค.ศ. 2018 ได้ศึกษาการใช้ใบโจโจบา (jojoba leaves) ที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานเป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพสำหรับการกำจัดสีย้อมคองโกเรดในคอลัมน์แบบ fixed-bed โดยความเข้มข้นของสีย้อมที่ไหลเข้า อัตราการไหลของสีย้อมที่ไหลเข้า (feed flow rate) และความสูงของเบด (bed height) มีอิทธิพลอย่างมากในการกำหนด breakthrough curves โดยร้อยละการกำจัดสีย้อมอยู่ที่ 69 ของใบโจโจบาเคลือบผิว ด้วยอัตราการไหล 3 มล./นาที่ ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มก./ลิตร และความสูงของเบด 4 ซม. ความสามารถในการดูดซับสีย้อมที่สมดุล (q_e) สำหรับใบโจโจบาที่เคลือบมีค่าสูงกว่าใบโจโจบาที่ไม่เคลือบผิว แสดงให้เห็นว่าหมู่อะมิโนของไคโตซานมีบทบาทสำคัญในระหว่างกระบวนการดูดซับ breakthrough curves เป็นที่น่าพอใจในและสอดคล้องกับทั้งแบบจำลองของ Thomas และ Yoon-Nelson โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ($R^2 \geq 96$) การศึกษานี้ให้ผลที่ดีของการบำบัดน้ำเสียให้บริสุทธิ์ โดยใช้ใบโจโจบาเคลือบผิวด้วยไคโตซานในฐานะตัวดูดซับใหม่สำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรดจากสารละลายในน้ำในระบบคอลัมน์

D.C.S.A. Daniele และคณะ [27] ในปี ค.ศ. 2021 ได้ศึกษาการดูดซับสารมลพิษโดยใช้ตัวดูดซับไคโตซาน ไคโตซานกำลังได้รับความสนใจอย่างมากในฐานะตัวดูดซับที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีศักยภาพในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนจำนวนมาก ในงานวิจัยนี้มีการอธิบายและกล่าวถึงการพัฒนาตัวดูดซับที่ใช้ไคโตซาน เกี่ยวกับการสกัดไคตินจากของเสียจากอาหารทะเล ตามด้วยการเปลี่ยนเป็นไคโตซาน และอธิบายคุณสมบัติของไคโตซาน จากนั้นจึงนำไคโตซาน/วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งรวมถึงไคโตซานแม่เหล็กและไคโตซานที่รวมกับกราฟีนออกไซด์ (graphene oxide) คาร์บอนนาโนทิวบ์ (carbon nanotubes) ถ่านชีวภาพ (biochar) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) และคอมโพสิตไคโตซาน-ซิลิกา การประยุกต์ใช้วัสดุเหล่านี้ในการกำจัดไอออนของโลหะหนักต่างๆ รวมถึง Cr(VI), Pb(II), Cd(II), Cu(II) และสีย้อมประจุบวกและประจุลบต่างๆ ฟีนอล และโมเลกุลอินทรีย์อื่นๆ เช่น ยาปฏิชีวนะ เปรียบเทียบและอภิปราย ไอโซเทอร์มของการดูดซับและจลนพลศาสตร์ของการดูดซับจะถูกเน้นและตามด้วยรายละเอียดเกี่ยวกับกลไกการดูดซับและบทบาทของไคโตซานและตัวรองรับคาร์บอนหรือซิลิกา จากเอกสารที่ได้รับการตรวจสอบแล้ว เป็นที่แน่ชัดว่าในขณะที่ยังมีความท้าทายอยู่บ้าง วัสดุที่ใช้ไคโตซานกำลังกลายเป็นตัวดูดซับที่มีแนวโน้มที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G. Sriram และคณะ [40] ในปี ค.ศ. 2020 ได้ศึกษาไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธ (DE) หรือไดอะตอมมถูกดัดแปลงด้วย Mg-Al-layered double hydroxide (DE-LDH) โดยใช้วิธีการตกตะกอนร่วมเพื่อประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมที่เป็นพิษ ได้แก่ สีย้อมคองโกเรด (CR) โดยถูกตรวจวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะด้วย Field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) เพื่อเป็นการยืนยันการดัดแปลงโครงสร้างไดอะตอมไมโครแคปซูล โดยแสดงให้เห็นพื้นผิวของนาโน LDH ที่มีสัญญาณคล้ายแผ่น พื้นผิวของ DE เพิ่มขึ้นจาก 28 เป็น 51 m^2/g หลังจากปรับปรุงด้วย LDH การศึกษาการดูดซับแสดงให้เห็นว่าร้อยละการกำจัด CR สูงสุดของ DE และ DE-LDH คือ ประมาณ 15 และ 98 ตามลำดับที่ pH 7 ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของ DE-LDH ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น 10 เท่า (305.8 mg/g) เมื่อเทียบกับ DE เปล่า (23.2 mg/g) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพการดูดซับที่สูงมาก และสามารถในการรีไซเคิล DE-LDH กลับมาใช้ใหม่ได้ถึงห้ารอบ หลังจากการดูดซับ CR การศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้ DE-LDH ที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพ สำหรับกำจัด CR จากสารละลายที่เป็นน้ำ ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

W. Kamal และคณะ [41] ในปี ค.ศ. 2018 ได้ศึกษาคอมโพสิตไคโตซาน-LDH (เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์) ซึ่งเตรียมขึ้นสำหรับการกำจัดโลหะหนัก Cu^{2+} และ Fe^{2+} และฤทธิ์ต้านจุลชีพ ถูกตรวจวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะด้วยเทคนิค Fourier transform infrared (FT-IR), X-ray diffraction (XRD), transmission emission microscopy (TEM) และ scanning emission microscopy (SEM) ทำการศึกษาพารามิเตอร์ทางเคมีกายภาพต่างๆ เช่น ผลกระทบของค่า pH ปริมาณตัวดูดซับ และเวลาสัมผัสสำหรับการกำจัดโลหะหนัก จลนศาสตร์และแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับเพื่อทำความเข้าใจกระบวนการดูดซับ คอมโพสิตที่เตรียมได้แสดงประสิทธิภาพการต้านจุลชีพชนิดแกรมบวกที่แตกต่างกัน (*Lactobacillus sakei* LMG 2313, *Corynebacterium* sp, *Staphylococcus aureus* 5247) และแบคทีเรียแกรมลบ (*Escherichia coli* AO5) ประสิทธิภาพการกำจัด Cu^{2+} และ Fe^{2+} เพิ่มขึ้น เมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 5 โดยที่ pH 5 เป็น pH ที่เหมาะสำหรับการดูดซับ Cu^{2+} และ Fe^{2+} การกำจัด Cu^{2+} และ Fe^{2+} จะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 99.3 และ 85.6 ตามลำดับ

W. Hanjun และคณะ [42] ในปี ค.ศ. 2017 ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไคโตซานบนตัวรองรับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการแคลไซน์ (CSLDO) ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม CSLDOs มีการตรวจวิเคราะห์ลักษณะโดยวิธีทางกายภาพและเคมี และใช้สำหรับการดูดซับฟลูออไรด์ในสารละลายที่เป็นน้ำ ผลการวิจัยระบุว่าอนุภาคนาโนถูกสร้างขึ้นก่อน แล้วจึงประกอบกันเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนและเป็นชั้น และดับเบิลไฮดรอกไซด์ (CSLDHs) ที่สนับสนุนด้วยไคโตซานที่เผาที่อุณหภูมิ 400°C (CSLDO400) แสดงพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุด $116.98 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ และปริมาตรรูพรุนที่ใหญ่ที่สุดคือ $0.411 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ CSLDO400 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับที่ยอดเยี่ยมในช่วง pH กว้างตั้งแต่ 5 ถึง 9 สำหรับฟลูออไรด์ จลนพลศาสตร์ของการดูดซับระบุว่า การดูดซับถึงจุดสมดุลหลังจาก 120 นาที และเป็นไป

ตามแบบจำลอง pseudo-first-order และสอดคล้องกับไอโซเทอร์มแลงเมียร์ที่มีปริมาณการดูดซับสูงสุด $27.56 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ การดูดซับฟลูออไรด์ไอออนเกิดขึ้นเองและเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน นอกจากนี้ CSLDO400 ยังแสดงความเสถียรสูงสำหรับการกำจัดฟลูออไรด์ ยังคงสามารถกำจัดฟลูออไรด์ได้ 68% หลังจากทำซ้ำห้าครั้งของการดูดซับ-การคายซับ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า CSLDO400 เป็นวัสดุที่มีประโยชน์ในการกำจัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำผิวดิน/น้ำใต้ดิน

W. Hanjun และคณะ [43] ในปี ค.ศ. 2018 ได้ทำการสังเคราะห์โคโตซานบนตัวรองรับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการแคลไซน์ (CSLDO) ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม จากนั้นนำ CSLDO ไปแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส แล้วนำไปดูดซับสีย้อม methyl orange (MO) และยาปฏิชีวนะ tetracycline (TC) จากผลการทดลองพบว่า CSLDO ที่แคลไซน์ 400 องศาเซลเซียส (CSLDO400) มีโครงสร้างเป็นชั้นและมีรูพรุน มีพื้นผิวสูง จึงให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสารอินทรีย์ (ความสามารถในการดูดซับสำหรับ MO เป็น 1266.42 mg/g เป็นเวลา 90 นาที และสำหรับ TC เป็น 195.31 mg/g เป็นเวลา 120 นาที) CSLDO400 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ pH 5-9 สำหรับ MO ขณะที่ pH 9 สำหรับ TC การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับ MO และ TC เป็นไปตามแบบจำลอง pseudo-second-order นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich เมื่อนำ CSLDO400 กลับมาใช้ใหม่จำนวน 5 รอบ พบว่ายังคงมีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับ MO และ TC ได้ถึง 60.72 mg/g และ 21.92 mg/g ตามลำดับ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า CSLDO400 เป็นวัสดุที่มีประโยชน์ในการกำจัดสารอินทรีย์ปนเปื้อนออกจากน้ำดื่มและน้ำเสีย

M. Li และคณะ [44] ในปี ค.ศ. 2018 ได้ศึกษาการนำคอมโพสิตขนาดนาโนของ Mg-Al LDH และ Chitosan (LDH/Chitosan) สำหรับดูดซับ selenium oxoanion จากน้ำทิ้งโดยใช้ packed column การสังเคราะห์นาโนคอมโพสิตของ LDH/Chitosan ทำโดยการผสมผง LDH ที่สังเคราะห์ไว้แล้วเข้าไปใน Chitosan gel จากนั้นนำไปหยดลงในสารละลาย NaOH เพื่อให้เกิดเป็นเม็ด นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบกับวิธีการเตรียมด้วยวิธี In-Situ โดยนำ LDH precursors ($\text{MgCl}_2 + \text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$) ผสมลงใน Chitosan gel แล้วนำไปขึ้นรูปให้เป็นเม็ด ผลการทดลองพบว่า LDH/Chitosan ที่เตรียมด้วยวิธี In-Situ มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น มีปริมาณ LDH ในคอมโพสิตที่สูงกว่าและมีการกระจายตัวของ LDH ในคอมโพสิตที่ดีกว่าการเตรียมด้วยวิธีการผสมโดยตรง และแสดงความสามารถในการกำจัด selenium ได้ดีในช่วง pH ที่กว้าง โดยความสามารถในการดูดซับสูงสุดของนาโนคอมโพสิตจาก Langmuir isotherm เป็น 17 mg/g สำหรับ Se (IV) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า LDH/Chitosan คอมโพสิตมีประสิทธิภาพในการดูดซับ selenium ในช่วง pH กว้างได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R. Mohadi และคณะ [45] ในปี ค.ศ. 2022 ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียด้วยวิธีการดูดซับ ซึ่ง layered double hydroxide (LDH) เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับกำจัดสีย้อม แต่ข้อจำกัดคือการนำกลับมาใช้ใหม่ที่ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการปรับปรุง LDH ด้วยวัสดุรองรับ (supporting material) เช่น chitosan โดยใช้วิธีการตกตะกอนร่วม (coprecipitation) ที่ pH 10 จากนั้นนำไปดูดซับสีย้อม methylene blue ผลการทดลองพบว่า การดูดซับ methylene blue เข้าสู่สมดุลที่เวลา 90 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับสูงสุดเป็น 86.207 mg/g, 35.336 mg/g และ 98.039 mg/g สำหรับ Zn-Al LDH, Chitosan และ Zn-Al LDH/Chitosan ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า Zn-Al LDH ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan (Zn-Al LDH/Chitosan) มีประสิทธิภาพการดูดซับที่สูงกว่า Zn-Al LDH และ Chitosan การดูดซับด้วย Zn-Al LDH/Chitosan เป็นไปตาม Freundlich isotherm model เมื่อนำ Zn-Al LDH/Chitosan ไปทำการคายซับ methylene blue และนำกลับไปดูดซับใหม่เป็นจำนวน 5 รอบ พบว่า Zn-Al LDH/Chitosan ให้อัตราการกำจัดสีย้อมที่ไม่แตกต่างกันในแต่ละรอบ ขณะที่ Zn-Al LDH และ Chitosan ให้อัตราการดูดซับที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดในรอบที่ 4 และ 5 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า Zn-Al LDH/Chitosan มีเสถียรภาพที่ดี มีความสามารถในการดูดซับสูง และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เป็นอย่างดีในการดูดซับสีย้อม methylene blue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด เกรดวิเคราะห์
2. อะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($AlCl_3 \cdot 6H_2O$) บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด เกรดวิเคราะห์
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
4. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
6. กรดแอสซิติค (CH_3COOH) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
5. ไคโตซานแบบผง (Chitosan Powder) หจก. พีเอ็นเอ็นไบโอ เกรดการค้า
6. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด เกรดวิเคราะห์
7. ไอโอดีน (I_2) บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด เกรดวิเคราะห์ 99.9%
8. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด เกรดวิเคราะห์ 99.9%
9. โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด เกรดวิเคราะห์ 99.9%
10. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์ 99.5%
11. สีย้อมคองโกเรด (Congo Red) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
12. น้ำกลั่น

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระจกนาฬิกา
2. ช้อนตักสาร
3. โกร่งบดสาร
4. แท่งแก้ว
5. หลอดหยด
6. จุกยางสำหรับดูดสาร
7. กรวยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 8. กรวยแยก 250 มิลลิลิตร
 9. ปีกเกอร์ขนาด 100 250 และ 500 มิลลิลิตร (ยี่ห้อ Duran)

10. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 100 500 และ 1000 มิลลิลิตร (ยี่ห้อ Duran)
11. ปีเปตขนาด 5 10 25 และ 50 มิลลิลิตร (ยี่ห้อ Duran)
12. กระบอกตวง 10 และ 50 มิลลิลิตร (ยี่ห้อ Duran)
13. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร (ยี่ห้อ Duran)
14. กระดาษกรองเบอร์ 1 (ยี่ห้อ Whatman)
15. กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ (ยี่ห้อ McolorpHast)
16. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร (ยี่ห้อ Witeg)
17. ขาดั่งและที่จับบิวเรต
18. เครื่องปั่นกวนและแท่งแม่เหล็ก (ยี่ห้อ IKA Service-Manual, รุ่น C-MAGHS 7)
19. เครื่องกวนสารแบบใบกวน (Overhead Stirrer)
20. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter) ยี่ห้อ BEC Thai, รุ่น UB-10
21. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบ 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Mettler Toledo, รุ่น ME-204)
22. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน (ยี่ห้อ SHANGAI EYELA, รุ่น A-1000S)
23. ตู้ดูดควัน (ยี่ห้อ FLEXLAB, รุ่น FHS-14/FB)
24. ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ Memmert UNB 300
25. เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (compact shaking incubator)
26. เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)
ยี่ห้อ LABTECH
27. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) รุ่น D8 Advance
ยี่ห้อ Bruker AXS
28. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) รุ่น SRS 3400 ยี่ห้อ
Bruker AXS
29. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุ (Scanning
Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer, SEM-EDS)
รุ่น QUANTA 250 ยี่ห้อ FEI
30. เครื่องวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน
(Thermogravimetric Analysis, TGA) รุ่น Pyris 1 TGA ยี่ห้อ Perkin
31. เครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform
Infrared Spectrophotometer, FTIR) รุ่น IRTracer-100 ยี่ห้อ SHIMADZU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan ด้วยการวิธีการตกตะกอนร่วม

ในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมของ $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ และ $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ที่อัตราส่วน Mg/Al เท่ากับ 1:1 2:1 3:1 4:1 ซึ่งแต่ละอัตราส่วนจะตกตะกอนร่วมกับ Chitosan gel

ตัวอย่าง วิธีการเตรียมตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan ที่อัตราส่วน Mg/Al เท่ากับ 2:1

1. เตรียมสารละลายกรดอะซิติก เข้มข้น 5 wt% ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร
2. ชั่ง Chitosan powder 3 กรัม ใส่ลงในสารละลายกรดอะซิติกในข้อ 1 ใช้แท่งแก้วคน Chitosan powder ให้เข้ากันแล้วจึงเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนต่อจน Chitosan powder ละลายเป็น gel จึงเทลงกรวยแยก
3. ชั่ง $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 0.025 โมล (5.0825 กรัม) ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และชั่ง 0.0125 โมล ของ $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ (3.0179 กรัม) ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนให้สารละลายทั้งสองสารละลายเข้าด้วยกัน แล้วจึงเทใส่บีกเกอร์ 500 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย LDH precursor
4. ทำการไข Chitosan gel จากข้อที่ 2 ลงในสารละลาย LDH precursor (ข้อที่ 3) พร้อมกับปั่นกวนด้วยเครื่อง Overhead Stirrer จนสารละลายข้อที่ 2 หมดกรวยแยก แล้วจึงทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. เตรียมสารละลายเบส โดย ชั่ง 0.3 โมล โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (12 กรัม) กับ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.1 โมล (10.6 กรัม) ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วใส่น้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วใส่ลงกรวยแยก
6. หยดสารละลายเบสในข้อที่ 5 ลงในสารละลายผสมในข้อที่ 4 ที่ปั่นกวนครบเวลาแล้ว จนค่า pH เป็น 11-12 ควบคุมโดยเครื่อง pH meter จากนั้นปั่นกวนต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
7. นำสารละลายในข้อที่ 6 ใส่ลงในขวดชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วไปทำการเขย่าด้วยเครื่อง Shaker Incubator ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง
8. เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้ว ทำการกรองตะกอนด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน โดยล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนมี pH เป็นกลาง (pH = 7)
9. นำตะกอนที่กรองได้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะได้ MgAl-LDH/Chitosan ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al 2:1 (CLDH 2:1) จากนั้นทำการบดตะกอนด้วยโม่ร่งบดสาร ให้ได้ลักษณะเป็นผง แล้วแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเครื่อง XRD, XRF, SEM-EDS, FT-IR และ TGA ส่วนที่สองนำไปกำจัดสีด้วย Congo Red
10. ในการสังเคราะห์ MgAl-LDH/Chitosan ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 1:1 3:1 4:1 จะใช้วิธีการตกตะกอนร่วมเช่นเดียวกับ MgAl-LDH/Chitosan ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al 2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่าการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

โดยกำหนดให้ปริมาณของ Chitosan คงที่ ปริมาณเกลือโลหะที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณของเกลือโลหะที่ใช้ในการสังเคราะห์ MgAl-LDH/Chitosan ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg:Al ต่างๆ เมื่อกำหนดให้ปริมาณ Chitosan คงที่

ตัวดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al ใน LDH	น้ำหนักสารที่ต้องชั่ง (g)		น้ำหนัก Chitosan powder (g)
		MgCl ₂ •6H ₂ O	AlCl ₃ •6H ₂ O	
CLDH (1:1)	1:1	2.5413	3.0179	3
CLDH (2:1)	2:1	5.0825	3.0179	3
CLDH (3:1)	3:1	7.6238	3.0179	3
CLDH (4:1)	4:1	10.1650	3.0179	3

3.3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสีย้อมคองโกเรด

1. ชั่งคองโกเรดปริมาณ 1.00 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นคนให้เข้ากัน จากนั้นเทลงขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บไว้เป็นสารละลายสต็อก
2. ปิเปตสารละลายสต็อกคองโกเรดมา 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีย้อมเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ปิเปตสารละลายสีย้อมความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามปริมาตรในตารางที่ 3.2 ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำมาตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 498 นาโนเมตร จากนั้นนำไปสร้างกราฟมาตรฐานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายซียมคองโกเรด

ความเข้มข้นของสารละลายซียมในการเตรียมกราฟมาตรฐาน (mg/L)	ปริมาตรสารละลายซียมที่ความเข้มข้น 50 mg/L ที่ต้องทำการปิเปต (ml)
1	1
2	2
4	4
6	6
8	8

3.3.3 การกำจัดซียมคองโกเรดโดยใช้ MgAl-LDH/Chitosan เป็นตัวดูดซับ

ตอนที่ 1 การศึกษาหาสภาวะของ pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดซียมคองโกเรด

ตัวอย่าง วิธีการเตรียมสภาวะของสารละลายซียมคองโกเรดที่ pH เท่ากับ 2

1. เตรียมสารละลายซียมคองโกเรด 60 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการปิเปตสารละลายสต็อก 6 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. ทำการปรับ pH ของสารละลายซียมด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1 โมลาร์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้เครื่อง pH meter ในการทดสอบจนได้ pH เท่ากับ 2
3. เติมตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan ที่ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (สารละลายคองโกเรด 100 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาณตัวดูดซับเป็น 100 มิลลิกรัม) นำไปเขย่าด้วยเครื่อง Shaker เป็นเวลา 120 นาที
4. เมื่อครบเวลาของการดูดซับ นำสารละลายไปทำการกรองแยกตัวดูดซับ จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 498 นาโนเมตร
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อที่ 1-5 โดยทำการเปลี่ยน pH ให้เป็น 4, 6, 8 และ 10 สภาวะของการทดลองแสดงในตารางที่ 3.3 สำหรับ pH ที่ให้ผลการกำจัดซียมสูงสุด จะนำไปใช้ในการศึกษาตัวแปรอื่นๆต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สภาวะการทดลองในการศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ชนิดของตัวดูดซับ	ชนิดสีย้อม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (mg/L)	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	pH ของสารละลายสีย้อม	เวลา (นาที)
CLDH (2:1)	Congo Red	60	1000	2	120
				4	
				6	
				8	
				10	

หมายเหตุ ทุกการทดลองทำที่อุณหภูมิห้อง

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg:Al ของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับตอนที่ 1 โดยเลือกสภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรดสูงสุดจากตอนที่ 1 มาทำการศึกษาชนิดของตัวดูดซับ ดังแสดงในตารางที่ 3.4 ได้แก่ MgAl-LDH, Chitosan, CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg:Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1

ตารางที่ 3.4 สภาวะในการทดลองผลของชนิดตัวดูดซับ ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ชนิดของตัวดูดซับ	ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (mg/L)	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	pH ของสารละลายสีย้อม	เวลา (นาที)
CLDH (1:1)	Congo Red	60	1000	เลือกจากตารางที่ 3.3	120
CLDH (2:1)					
CLDH (3:1)					
CLDH (4:1)					
MgAl-LDH					
Chitosan					

หมายเหตุ ทุกการทดลองทำที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกสภาวะ pH ที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 และเลือกตัวดูดซับ CLDH ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg:Al ที่เหมาะสมจากตอนที่ 2 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุดตามลำดับ และปรับปริมาณตัวดูดซับตามที่แสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สภาวะการทดลองผลของปริมาณตัวดูดซับ CLDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ชนิดของตัวดูดซับ	ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (mg/L)	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	pH ของสารละลายสีย้อม	เวลา (นาที)
เลือก CLDH จากตารางที่ 3.4	Congo Red	60	600	เลือกจากตารางที่ 3.3	120
			800		
			1000		
			1200		
			1400		
			1600		

หมายเหตุ ทุกการทดลองทำที่อุณหภูมิห้อง

ตอนที่ 4 การศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกสภาวะ pH ที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 ตัวดูดซับ CLDH ที่เหมาะสมจากตอนที่ 2 และปริมาณตัวดูดซับจากตอนที่ 3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุดตามลำดับ มาทำการเปลี่ยนแปลงเวลาในการดูดซับตามที่แสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สภาวะการทดลองผลของเวลา ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ชนิดของตัวดูดซับ	ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (mg/L)	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	pH ของสารละลายสีย้อม	เวลา (นาที)
เลือก CLDH จากตารางที่ 3.4	Congo Red	60	เลือกจากตารางที่ 3.5	เลือกจากตารางที่ 3.3	60
					120
					180
					240

หมายเหตุ ทุกการทดลองทำที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 5 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมและไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมคองโกเรด

การศึกษาการดูดซับสีย้อมคองโกเรดว่าเป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์หรือฟรุนดลิช มีขั้นตอนการทดลองและการคำนวณดังนี้

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกสภาวะ pH ชนิดของ CLDH ปริมาณตัวดูดซับ และเวลาที่เหมาะสมจากตอนที่ 1-4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุด มาทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (C_i) ตามตารางที่ 3.8 จากนั้นหาความเข้มข้นสีย้อมที่สภาวะสมดุล (C_e)

ตารางที่ 3.7 สภาวะการทดลองผลของความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมและไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมคองโกเรด

ชนิดของตัวดูดซับ	ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (mg/L)	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	pH ของสารละลายสีย้อม	เวลา (นาที)
เลือก CLDH จากตารางที่ 3.4	Congo Red	40	เลือกจากตารางที่ 3.5	เลือกจากตารางที่ 3.3	เลือกจากตารางที่ 3.6
		60			
		80			
		100			
		120			

หมายเหตุ ทุกการทดลองทำที่อุณหภูมิห้อง

2. คำนวณหาปริมาณของสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่ภาวะสมดุล (q_e) จากสมการที่ 3.1

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

เมื่อ q_e คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่ภาวะสมดุล (mg/g)

C_i คือ ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้น (mg/L)

C_e คือ ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ภาวะสมดุล (mg/L)

V คือ ปริมาตรของสารละลาย (L)

W คือ น้ำหนักของตัวดูดซับ CLDH (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำค่า q_e และ C_e ของแต่ละความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับมาพล็อตกราฟตามความสัมพันธ์ของสมการแลงเมียร์ (สมการที่ 3.2) และสมการของฟรุนดลิช (สมการที่ 3.3)

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

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

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

ตอนที่ 6 การศึกษาการนำตัวดูดซับ CLDH กลับมาใช้ใหม่

ในการทดลองนี้จะนำตัวดูดซับ CLDH ที่ผ่านการดูดซับสีย้อมคองโกเรดแล้ว มาทำการดูดซับต่อในครั้งต่อไป เพื่อจะศึกษาถึงประสิทธิภาพการดูดซับว่ามีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยจะนำตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับสีย้อมคองโกเรดแล้ว มาทำการคายสีด้วยการแช่ในสารละลาย NaOH 1 M ปริมาตร 100 mL ต่อตัวดูดซับ 0.1 g แช่ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic cleaner) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปกรองแบบลดความดัน ล้าง CLDH ด้วยน้ำกลั่นจนพีเอชเท่ากับ 7 จากนั้นนำตัวดูดซับไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปดูดซับสีย้อมคองโกเรดในรอบที่ 2 ส่วนการดูดซับในรอบที่ 3 และ 4 ก็จะทำตัวดูดซับมาทำการคายสีย้อมคองโกเรด เช่นเดียวกับรอบที่ 2 สภาวะของการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.8 สภาวะการทดลองการนำตัวดูดซับ CLDH กลับมาใช้ใหม่

ชนิดของตัวดูดซับ	ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (mg/L)	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	pH ของสารละลายสีย้อม	เวลา (นาท)	จำนวนรอบของการดูดซับ
เลือก CLDH จากตารางที่ 3.4	Congo Red	60	1000	เลือกจากตารางที่ 3.3	เลือกจากตารางที่ 3.6	1
						2
						3
						4

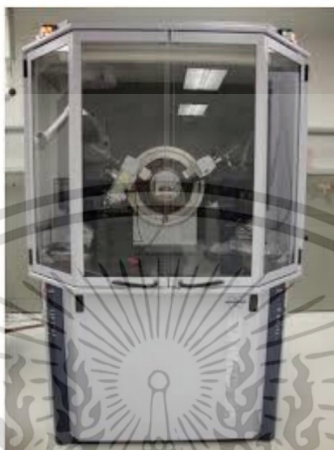
หมายเหตุ ทุกการทดลองทำที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan

ตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan ที่ได้จากการสังเคราะห์ในตอนต้นที่ 3.3.1 จะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเทคนิคต่างๆ ดังนี้

3.3.4.1 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)



รูปที่ 3.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)

3.3.4.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)



รูปที่ 3.2 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)

3.3.4.3 วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของตัวดูดซับด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุ (Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer, SEM-EDS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

3.3.4.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวดูดซับโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)



รูปที่ 3.4 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.5 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR)



รูปที่ 3.5 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR)

3.3.4.6 วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวดูดซับด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน (Iodine number)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารที่ใช้สำหรับการดูดซับไอโอดีน
 - 1.1 สารละลาย HCl 5% W/W ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
 - ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 5 มิลลิลิตร เทลงในน้ำกลั่นที่มีปริมาตร 95 มิลลิลิตร จากนั้นคนให้เข้ากัน
 - 1.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) 1/60 โมลาร์ (molar, M) 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 เทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
 - 1.3 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) 0.100 โมลาร์ (molar, M) ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร
 - ละลาย $Na_2S_2O_3$ 24.820 กรัม ในน้ำกลั่น 75 ± 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Na_2CO_3 0.10 ± 0.01 กรัม เทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วย

เอกสารนี้ น้ำกลั่น เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 สารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.100 โมลาร์ (molar, M) ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

- ชั่งไอโอดีน 12.70 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 19.10 กรัม ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2-5 มิลลิลิตร คนให้ของแข็งละลาย ค่อยๆเติมน้ำที่ละน้อย (ครั้งละประมาณ 5 มิลลิลิตร) จนกระทั่งได้สารละลายประมาณ 50-60 มิลลิลิตร ทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง คนเป็นระยะ เพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด เทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา

1.5 น้ำแป้ง

- ชั่งแป้งมัน 0.25 ± 0.125 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 1.25-2.5 มิลลิลิตร คนสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 6.25 ± 1.25 มิลลิลิตร กวนสารละลายตลอดเวลา แล้วเทสารละลายลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือด ปริมาตร 250 มิลลิลิตร แล้วต้มสารละลายต่อให้เดือดอีก 4-5 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วเก็บในขวดเก็บสารแช่ตู้เย็น น้ำแป้งที่เตรียมได้จะใช้ภายในวันที่เตรียมเท่านั้น

1.6 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)

- ชั่งโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 10 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนสารละลายให้เข้ากัน

2. วิธีเทียบมาตรฐานของสารละลาย

2.1 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)

- ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KIO_3) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม 10% KI 10 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน เติมกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ 5 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) เติมน้ำแป้ง 2 มิลลิลิตร สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

2.2 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน

- ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) เติมน้ำแป้ง 2 มิลลิลิตร สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน

- 3.1 ชั่งตัวดูดซับ จำนวน 0.0500 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3.2 บีบอัดสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% โดยน้ำหนัก 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ในข้อ 3.1. ปิดด้วยจุกยางและเขย่าเบาๆ
- 3.3 เปิดจุกยางออก แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยเตาให้ความร้อน (ทำการทดลองในตู้ดูดควัน) แล้วต้มให้เดือดจนกว่าสารละลายจะระเหยหมด จากนั้นยกขวดรูปชมพู่ออกจากเตาให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 3.4 บีบอัดสารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้วมา 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ในข้อ 3.3 ปิดด้วยจุกยางทันทีแล้วทำการเขย่าแรงๆ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองสารละลายด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน
- 3.5 บีบอัดสารละลายที่กรองได้จากข้อ 3.4 มา 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) จากนั้นหยดน้ำแฉ่ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ทำการไทเทรตต่อจนสารละลายใส ไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้
- 3.6 ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 3.1 ถึง 3.5 ทั้งหมด 2 ครั้ง แล้วนำค่าทั้งหมดมาเฉลี่ย เพื่อหาค่าการดูดซับไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

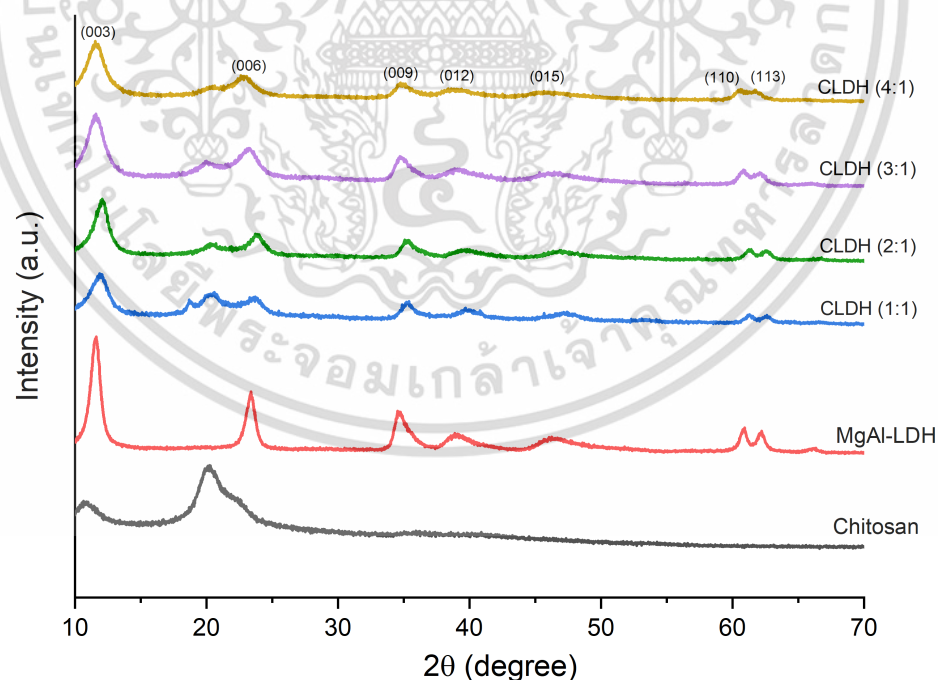
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์และศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ และปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซาน (CLDH) พร้อมทั้งศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ CLDH พีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม เวลาในการดูดซับ ไอโซเทอมของการดูดซับ และการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ รวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมคองโกเรดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ

4.1.1 โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan

ตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan (CLDH) ถูกนำไปวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์แฟรคโทมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MgAl-LDH, Chitosan, CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al ตั้งแต่ 1:1 ถึง 4:1 แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MgAl-LDH, Chitosan และ CLDH ที่อัตราส่วนโดย

โมลของ Mg:Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาดิฟแฟรคโทแกรมของ MgAl-LDH ดังรูปที่ 4.1 พบว่าตำแหน่งที่ 2θ ของ LDH เท่ากับ 11.65° 23.39° 34.86° 39.22° 46.23° 60.83° และ 61.12° ตรงกับการเลี้ยวเบนของ ระนาบ (003) (006) (009) (012) (015) (110) และ (113) ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของ MgAl-LDH ที่มีความเป็นผลึกสูงและจัดเรียงโครงสร้างเป็นชั้น (Layer structure) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bolbol และคณะ [45] สำหรับ Chitosan ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 11.12° และ 20.61° ตรงกับการเลี้ยวเบนของระนาบ (003) และ (006) ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของ Chitosan ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kamal และคณะ [41]

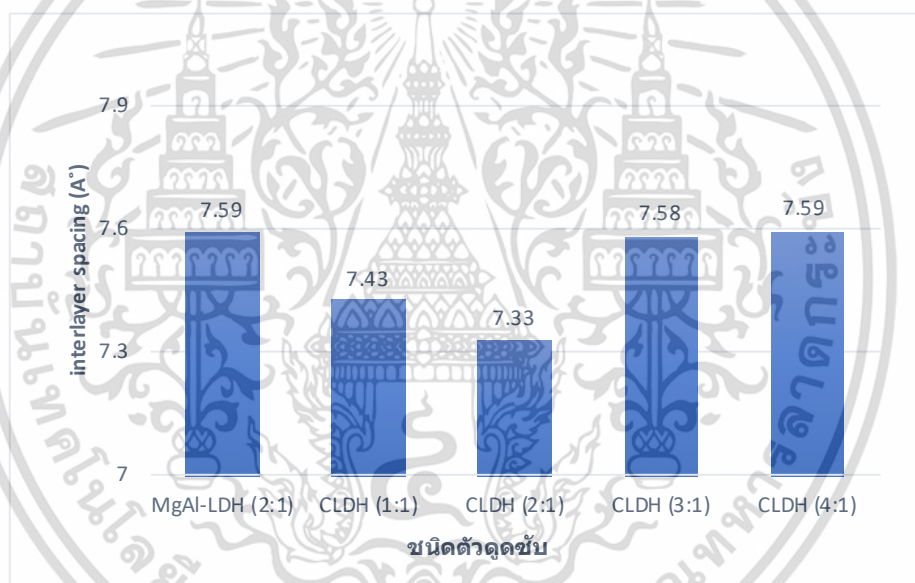
จากดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MgAl-LDH ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซาน (CLDH) ที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 1:1 2:1 3:1 และ 4:1 พบว่าการปรับปรุง MgAl-LDH ด้วยไคโตซาน ตัวดูดซับยังคงโครงสร้างความเป็นชั้น (Layer structure) เช่นเดียวกันกับ MgAl-LDH นั่นคือ พบพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 11° 23° 34° 39° 46° 60° และ 61° ตรงกับการเลี้ยวเบนของ ระนาบ (003) (006) (009) (012) (015) (110) และ (113) ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของ MgAl-LDH นอกจากนี้ยังพบว่า CLDH ปรากฏพีคเอกลักษณ์ของ Chitosan ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 20.61° นั้น แสดงให้เห็นว่า CLDH คอมโพสิตมี MgAl-LDH และ Chitosan เป็นองค์ประกอบร่วมกัน

เมื่อพิจารณาดิฟแฟรคโทแกรมของ CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 พบว่า intensity ของพีคที่ตำแหน่ง 2θ ของระนาบ (003) มีค่าลดลงกว่า intensity ของ MgAl-LDH ที่ไม่มีการปรับปรุงด้วยไคโตซาน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของความเป็นผลึกที่ลดลงเนื่องจากไคโตซานที่เติมลงไปนั้นส่งผลต่อระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม (interlayer spacing) ของ CLDH

ตัวดูดซับ CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg:Al ต่างๆ ถูกนำไปวิเคราะห์ค่าระยะห่างระหว่าง ระนาบของอะตอม (interlayer spacing) ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) แสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ระยะห่างระหว่างระนาบอะตอมของตัวดูดซับ MgAl-LDH และ CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1

ตัวดูดซับ	ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม (อังสตรอม)
CLDH (1:1)	7.43
CLDH (2:1)	7.33
CLDH (3:1)	7.58
CLDH (4:1)	7.59
MgAl-LDH	7.59



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างระนาบอะตอมของตัวดูดซับ MgAl-LDH และ CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1

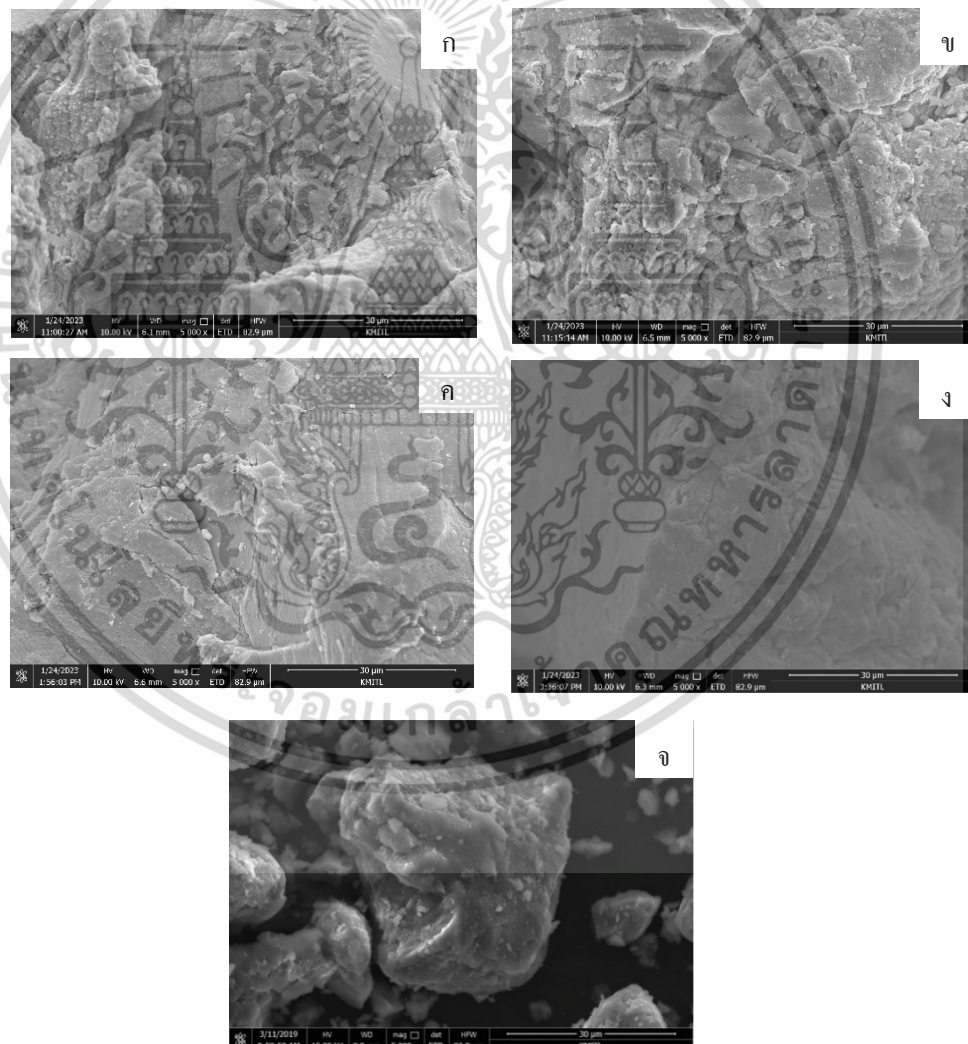
จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างระนาบ (interlayer spacing) ของอะตอมของ CLDH ในอัตราส่วน Mg:Al 2:1 มีค่าน้อยที่สุดเนื่องจากเกิดการจัดเรียงตัวเป็นผลึกในชั้นของ LDH และมีปริมาณโคโคซานบนพื้นผิวที่เหมาะสมมากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ โดยโคโคซานจะเกิดพันธะไฮโดรเจน (H-bond) กับ MgAl-LDH ซึ่งพันธะไฮโดรเจนเกิดการยึดเหนี่ยวกับพื้นที่ผิวของ LDH ได้ดี ส่งผลทำให้ระยะ interlayer spacing แคบลง ส่วนในอัตราส่วน Mg:Al เป็น 3:1 และ 4:1 มีปริมาณแมกนีเซียมที่มากเกินไปทำให้โคโคซานที่มากเกิดพันธะกับ LDH มีมากเกินไปด้วย ซึ่งอาจทำให้มีโคโคซานบางส่วนออกมาที่ผิวด้านนอก (external surface) ซึ่งทำให้มีผลต่อระยะห่างระหว่างไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระนาบของอะตอมส่วนอัตราส่วน 1:1 โครงสร้างยังไม่เกิดการจัดเรียงตัวกันที่ดี เนื่องจากใส่แมกนีเซียมน้อยเกินไป

อย่างไรก็ตามว่าการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al ของตัวดูดซับ CLDH ส่งผลต่อระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าตัวดูดซับ CLDH ในอัตราส่วน Mg:Al ไตมีประสิทธิภาพมากกว่ากัน ดังนั้นควรพิจารณาจากพื้นที่ผิวซึ่งวิเคราะห์จากปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ

4.1.2 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan

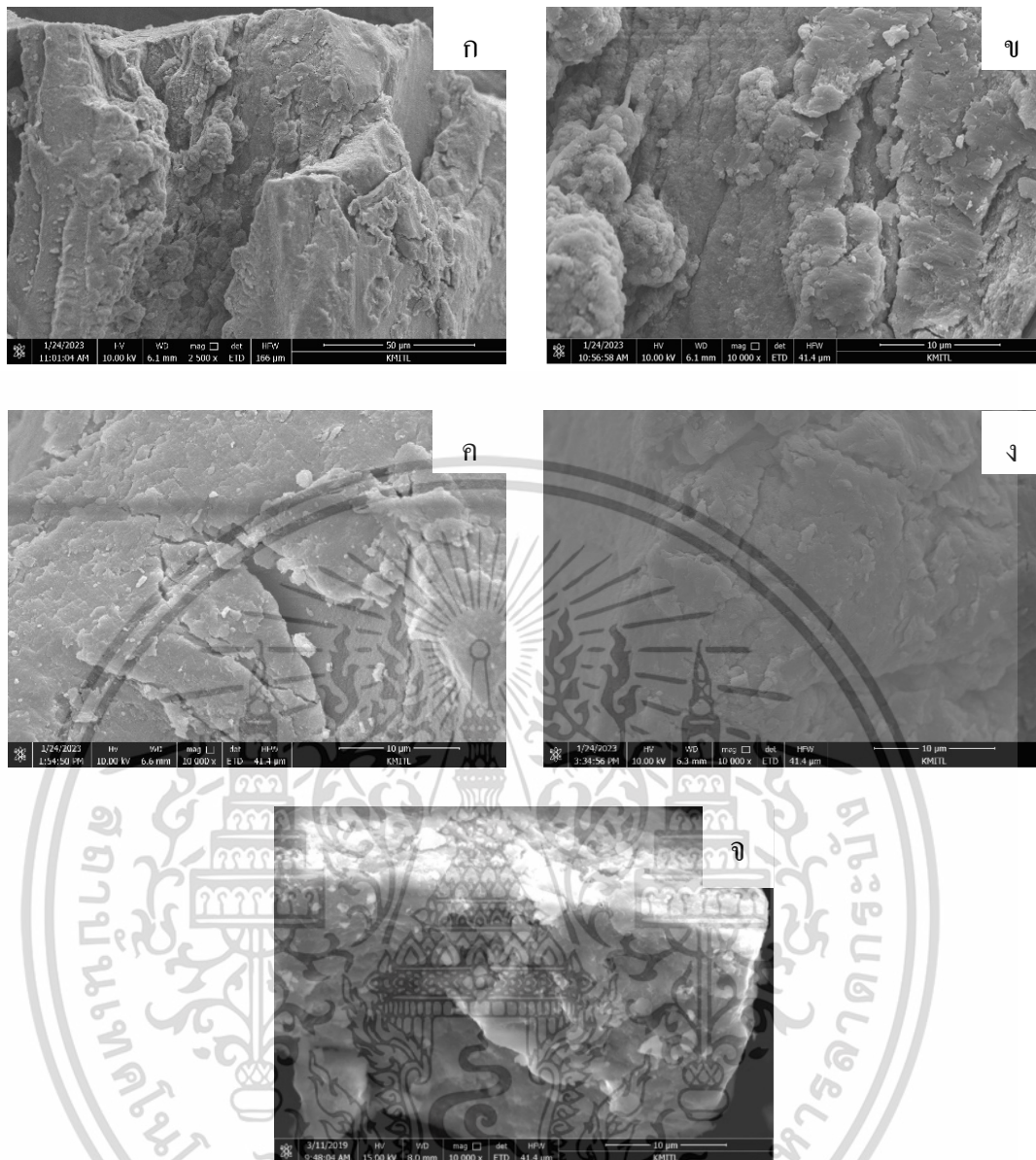
ตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan (CLDH) จะถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า และ 10000 เท่า ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ (ก) CLDH (1:1), (ข) CLDH (2:1), (ค), CLDH (3:1),

(ง) CLDH (4:1) และ (จ) MgAl-LDH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีผู้ใดที่เห็นประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นผู้ที่ไม่เห็นแต่แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ (ก) CLDH (1:1), (ข) CLDH (2:1), (ค) CLDH (3:1), (ง) CLDH (4:1) และ (จ) MgAl-LDH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 10000 เท่า

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นได้ว่าลักษณะพื้นผิวของ CLDH ในอัตราส่วน 1:1 และ 2:1 มีความเป็นรูพรุน เกิดเป็น layer และมีพื้นผิวค่อนข้างขรุขระ ซึ่งในอัตราส่วน 1:1 ยังไม่เกิดโครงสร้างที่จับตัวกันดีเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วน 2:1 เนื่องจากการใส่ปริมาณแมกนีเซียมน้อยเกินไป แต่เมื่อใส่ปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วน 3:1 และ 4:1 ทำให้รูพรุนน้อยลง ความเป็น layer ลดลง และลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบ โดยการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดมาจากปริมาณแมกนีเซียมที่มากเกินไปซึ่งไม่เกิดพันธะกับอะลูมิเนียม เกิดการเกาะตัวกันที่พื้นผิวส่วนที่ไม่เป็นชั้น และแมกนีเซียมที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้นนั้น เกิดพันธะกับโคโตซานทำให้พื้นผิวของ CLDH มีความหนาแน่นขึ้นตามอัตราส่วน Mg:Al ที่มากขึ้น

4.1.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan (CLDH) ที่อัตราส่วน Mg:Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 จะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-ray spectroscopy (EDS) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2

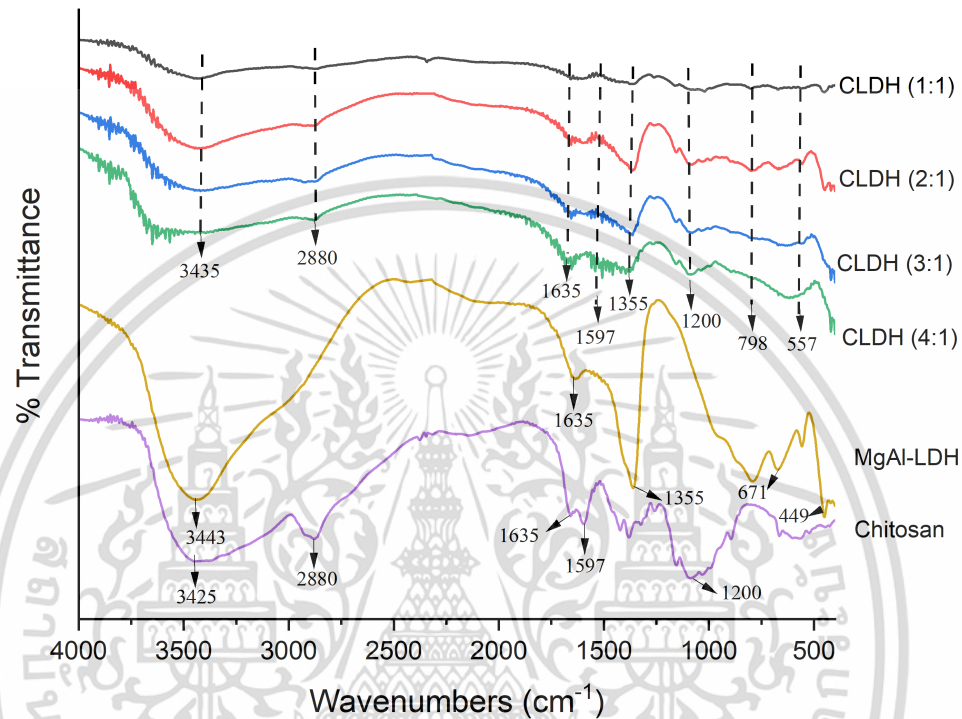
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของตัวดูดซับ CLDH วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM-EDS

ชนิดของตัวดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg:Al ที่กำหนดไว้	Mg (%) โดยน้ำหนัก	Al (%) โดยน้ำหนัก	อัตราส่วนโดยโมล Mg:Al
CLDH (1:1)	1:1	7.23	5.88	1.38 : 1
CLDH (2:1)	2:1	14.63	8.79	1.87 : 1
CLDH (3:1)	3:1	16.08	8.48	2.13 : 1
CLDH (4:1)	4:1	19.28	6.17	3.52 : 1

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ตัวดูดซับ CLDH (1:1) มีอัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al ที่วิเคราะห์ได้เกินกว่าอัตราส่วนที่กำหนดเล็กน้อย ส่วน CLDH (2:1), CLDH (3:1) และ CLDH (4:1) มีอัตราส่วนโดยโมล Mg:Al ที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าที่กำหนด แสดงว่าโลหะไอออนเกิดการตกตะกอนร่วมกันอาจจะยังไม่สมบูรณ์

4.1.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al ต่างๆ เปรียบเทียบกับ MgAl-LDH และไคโตซาน ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR) แสดงดังรูปที่ 4.5



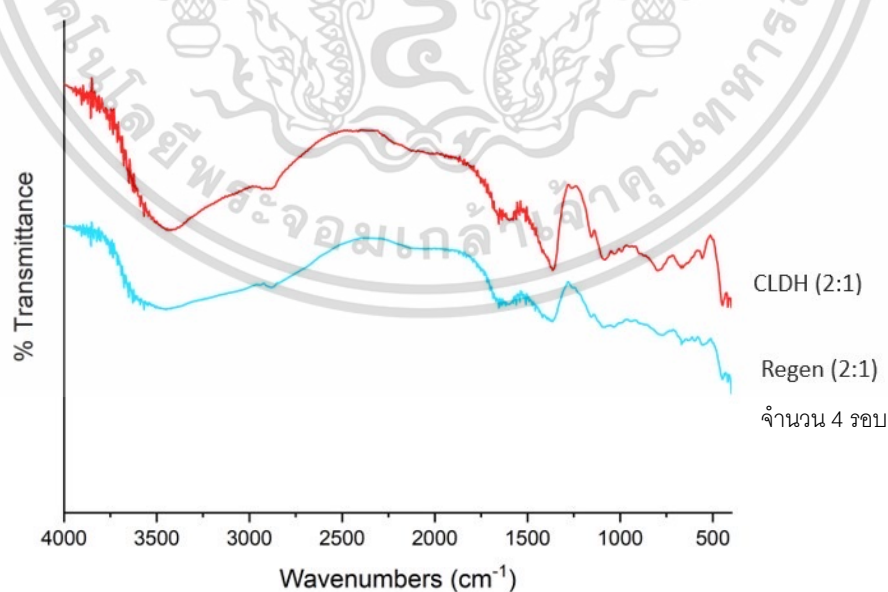
รูปที่ 4.5 FTIR spectrum ของตัวดูดซับ CLDH ในอัตราส่วน Mg:Al 1:1 ถึง 4:1 เปรียบเทียบกับ MgAl-LDH และ Chitosan

จาก FT-IR spectrum ของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MgAl-LDH) ในรูปที่ 4.5 พบว่าประกอบไปด้วยพิกเอกลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ การสั่นแบบยืดหดของพันธะ O-H (O-H stretching) ของโมเลกุลน้ำในชั้น interlayer ที่เลขคลื่น 3443 cm^{-1} การสั่นแบบบิดงอของพันธะ O-H (O-H bending) ของโมเลกุลน้ำในชั้น interlayer ที่เลขคลื่น 1635 cm^{-1} การสั่นของ CO_3^{2-} อิสระที่อยู่ในชั้น interlayer ที่เลขคลื่น 1355 cm^{-1} การสั่นของแลตทิซที่เกิดจากพันธะ Al-O/Mg-O/O-Al-O/O-Mg-O ที่เลขคลื่น 449 cm^{-1} 1359 cm^{-1} และ 671 cm^{-1} สำหรับ Chitosan พบพิกเอกลักษณะได้แก่ การสั่นแบบยืดหดของพันธะ O-H (O-H stretching) และ N-H (N-H stretching) ที่เลขคลื่น 3425 cm^{-1} การสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-H (C-H stretching) ที่เลขคลื่น 2880 cm^{-1} การสั่นแบบบิดงอของพันธะ N-H (NH bending) ของ N-H group และการสั่นแบบบิดงอของพันธะ carbonyl group (C=O) ที่เลขคลื่น 1635-1597 cm^{-1} และการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-N (C-N stretching) ที่เลขคลื่น 1200 cm^{-1} [39,41]

เมื่อนำ MgAl-LDH ไปปรับปรุงคุณสมบัติด้วย Chitosan (CLDH) ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al เป็น 1:1 ถึง 4:1 ไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR ซึ่งจะได้ spectrum ดังรูปที่ 4.5 โดยพบว่า CLDH ประกอบไปด้วยพีคเอกลักษณ์ที่สำคัญของทั้ง MgAl-LDH และ Chitosan ได้แก่ O-H stretching ของน้ำในชั้น interlayer (เลขคลื่น 3435 cm^{-1}) C-H stretching ของโมเลกุลไคโตซาน (เลขคลื่น 2880 cm^{-1}) N-H bending และ C=O bending ของโมเลกุลไคโตซาน (เลขคลื่น $1635\text{-}1597\text{ cm}^{-1}$) C-N stretching ของโมเลกุลไคโตซาน (เลขคลื่น 1200 cm^{-1}) การสั่นของ CO_3^{2-} ในชั้น interlayer (เลขคลื่น 1355 cm^{-1}) และการสั่นของพันธะระหว่าง โลหะ-ออกซิเจน (M-O) ที่เลขคลื่น $798\text{-}557\text{ cm}^{-1}$ [35,37]

เมื่อสังเกตพีคของตัวดูดซับ CLDH (1:1) จะพบพีคเอกลักษณ์ที่คล้ายตัวดูดซับ MgAl-LDH และ Chitosan แต่จะมีค่า intensity ของแต่ละตำแหน่งต่ำกว่าตัวดูดซับ CLDH ในอัตราส่วน Mg:Al อื่นๆ ซึ่งอาจเกิดจากการฟอร์มตัวกันของ LDH ยังไม่สมบูรณ์ ซึ่ง LDH เกิดจาก Mg และ Al มาเกิดพันธะกัน ซึ่งตัวดูดซับ CLDH (1:1) มี Mg ในปริมาณที่น้อยกว่า CLDH (2:1), CLDH (3:1) และ CLDH (4:1) จึงทำให้มี Mg บางส่วนไม่ได้เกิดพันธะกับ Al และเมื่อนำมา composite กับ Chitosan ทำให้เกิดการจับตัวกันของ LDH และ Chitosan ได้น้อย ดังนั้นจึงเห็นพีคของ CLDH (1:1) มี intensity ของพีคเอกลักษณ์ของทั้ง MgAl-LDH และ Chitosan ต่ำกว่าตัวดูดซับ CLDH ที่อัตราส่วน Mg:Al อื่นๆ

ในรูปที่ 4.6 แสดง FT-IR spectrum ของ CLDH (2:1) ก่อนนำไปดูดซับกับ CLDH (2:1) ที่นำไปดูดซับสีย้อมคองโกเรดจากนั้นนำไปผ่านกระบวนการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) โดยหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่นต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.6 FTIR spectrum ของตัวดูดซับ CLDH (2:1) เปรียบเทียบกับ CLDH (2:1) ที่ผ่านกระบวนการ Regeneration จำนวน 4 รอบ

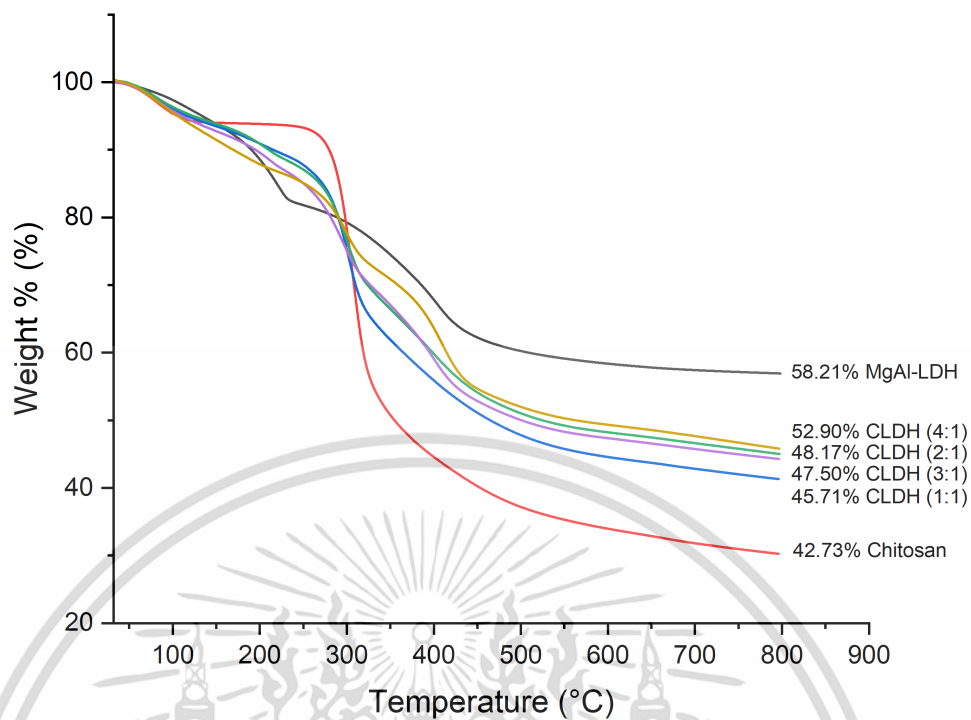
ตารางที่ 4.3 การสั่นของหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่นต่างๆของ CLDH (2:1) ก่อนการดูดซับและ CLDH (2:1) ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ (regeneration)

ชนิดของการสั่น	เลขคลื่น (cm^{-1}) ของตัวดูดซับ	
	CLDH (2:1) ก่อนการดูดซับ	CLDH (2:1) ที่ผ่านการ regeneration จำนวน 4 รอบ
O-H Stretching	3435	3504
-CH ₂ -	2883	2881
CO ₃ ²⁻	1355	1363
M-O	798-557	775-557

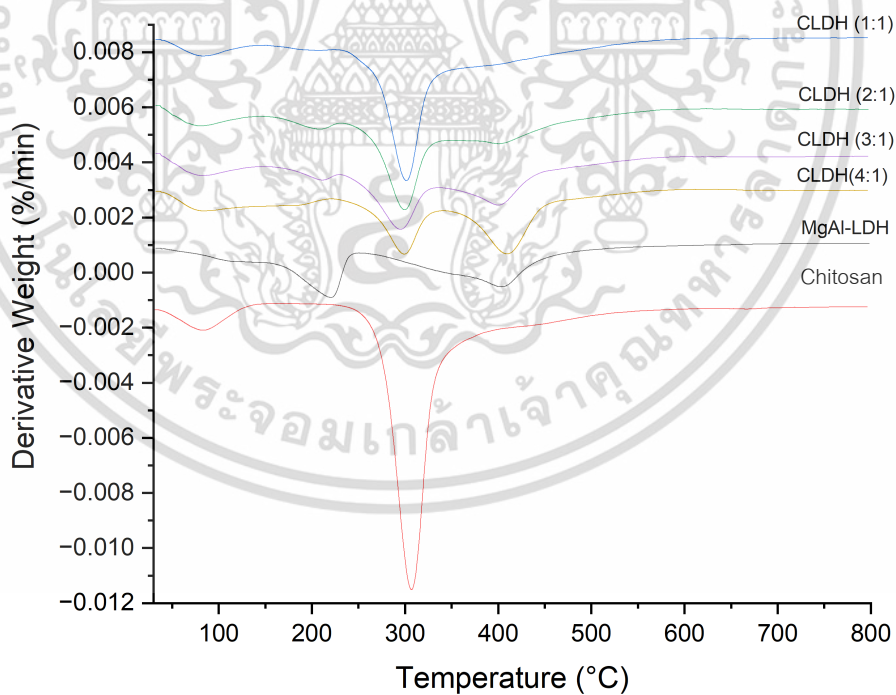
จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับ CLDH (2:1) ก่อนการดูดซับและ CLDH (2:1) ที่ผ่านกระบวนการ Regeneration จำนวน 4 รอบ ปรากฏพีคเอกลักษณ์ที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันบ่งบอกว่าตัวดูดซับ CLDH หลังผ่านการ Regeneration มีหมู่ฟังก์ชันที่ไม่แตกต่างจาก CLDH ก่อนทำการดูดซับ

4.1.4 ความเสถียรต่ออุณหภูมิของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan

โครงการพิเศษนี้มีการพัฒนาตัวดูดซับ CLDH โดยการปรับปรุง MgAl-LDH ด้วย Chitosan ดังนั้นจึงต้องทำการตรวจสอบตัวดูดซับ CLDH ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวดูดซับที่อุณหภูมิใด ดังนั้นจึงได้ใช้เทคนิค TGA (Thermogravimetric analysis) มาทำการวิเคราะห์อุณหภูมิที่ตัวดูดซับเกิดการสลายตัว ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.4



(a)



(b)

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผล TGA ของตัวดูดซับ CLDH ในอัตราส่วน 1:1 ถึง 4:1, MgAl-LDH และ Chitosan

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการสลายตัวของตัวดูดซับ MgAl-LDH, Chitosan และ CLDH

ชนิดตัวดูดซับ	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)			
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4
	น้ำ	ไฮดรอกไซด์	Chitosan	โครงสร้าง LDH
MgAl-LDH	100	200	-	400
Chitosan	50-130	-	300	-
CLDH	50-130	200	300	350-400

จากรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับน้ำหนักของตัวดูดซับที่เปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับ MgAl-LDH เกิดการสูญเสียน้ำที่อยู่ใน interlayer ที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นเกิดการสูญเสียมุมไฮดรอกไซด์ (dehydroxylation) ของชั้น Mg-Al hydroxide ที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส หลังจากอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส น้ำหนักของ MgAl-LDH มีแนวโน้มที่ลดลงเนื่องจากการพังทลายของโครงสร้าง layered double hydroxide เกิดเป็น mixed oxide ของ Mg และ Al [37]

สำหรับ Chitosan มีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน 2 ช่วง ช่วงแรกระหว่างอุณหภูมิ 50-130 องศาเซลเซียส เกิดการระเหยไปของน้ำที่อยู่ในโมเลกุลของ Chitosan และช่วงที่ 2 อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส เกิดการสลายตัวของหมู่ amino และหมู่ acetyl จากสายโซ่ของ chitosan [39]

สำหรับตัวดูดซับ CLDH ที่ได้จากการปรับปรุง MgAl-LDH ด้วย Chitosan พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน 4 ช่วง ซึ่งสอดคล้องกับช่วงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของ MgAl-LDH และ Chitosan โดยในช่วงแรกมีการสูญเสียน้ำที่อยู่ใน interlayer ของ MgAl-LDH และโมเลกุลของ Chitosan ที่อุณหภูมิ 50-130 องศาเซลเซียส ช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส เกิดการสูญเสียมุมไฮดรอกไซด์ของชั้น MgAl hydroxide ต่อมาในช่วงที่ 3 เกิดการสลายตัวของหมู่ amino และหมู่ acetyl จากสายโซ่ของ Chitosan ที่ประมาณ 300 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 4 เป็นการพังทลายของโครงสร้าง layered double hydroxide ที่อุณหภูมิ 350-400 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al ของ CLDH พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการพังทลายของโครงสร้าง layered double hydroxide เรียงลำดับได้ว่า CLDH (4:1) > CLDH (3:1) > CLDH (2:1) > CLDH (1:1) ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างพื้นผิวของ CLDH (4:1) มีความหนาแน่นเอกสารนี้มากกว่า CLDH ที่อัตราส่วน Mg:Al อื่นๆ ซึ่งพิจารณาได้จากภาพถ่าย SEM (รูปที่ 4.3 และ 4.4) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น CLDH (4:1) จึงมีความเสถียรทางความร้อนมากกว่า CLDH ที่อัตราส่วน Mg:Al อื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของหมู่ amino และหมู่ acetyl ของ CLDH มีค่าไม่แตกต่างกัน

สำหรับ CLDH (1:1) และ CLDH (4:1) จะเห็นได้ว่าช่วงการสลายตัวของอุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการสลายตัวของหมู่ amino และหมู่ acetyl สายโซ่ของ Chitosan พิกมี intensity ที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดย CLDH (1:1) พิกมี intensity สูง เกิดจาก Chitosan ที่เข้ามาเกิดพันธะกับ LDH จับกับ Mg ยังไม่ดีพอจึงทำให้ Chitosan หลุดออกมาได้ง่าย และในอัตราส่วน 4:1 พิกมี intensity ต่ำ เพราะว่า Chitosan มีการยึดเกาะกันอย่างหนาแน่นเนื่องจากการใส่ปริมาณ Mg มาก ทำให้ Chitosan หลุดออกมาได้ยาก

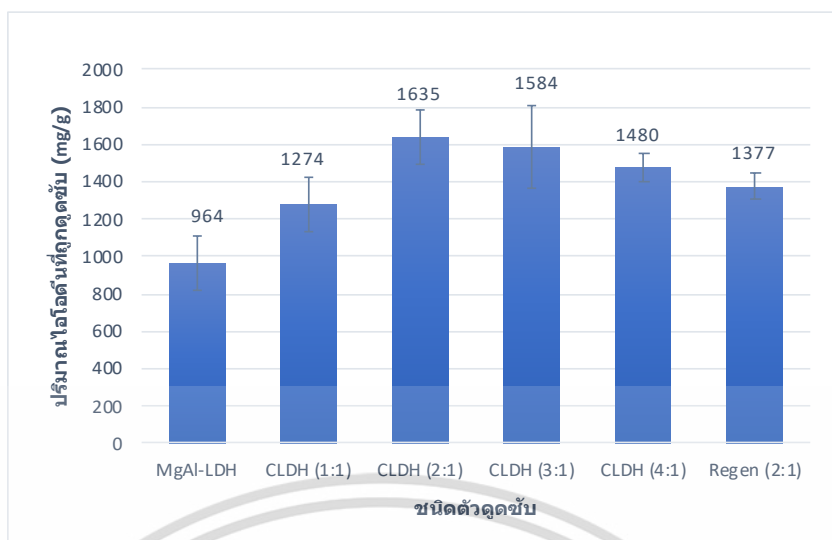
4.1.5 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน

ตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan (CLDH) ที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 1:1 ถึง 4:1, MgAl-LDH/Chitosan (CLDH), CLDH (2:1) ที่ผ่านกระบวนการ Regeneration จำนวน 4 รอบ และ MgAl-LDH จะถูกนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน ซึ่งแสดงผลวิเคราะห์ในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1

ชนิดของตัวดูดซับ	ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ (mg/g)
CLDH (1:1)	1274 ± 145
CLDH (2:1)	1635 ± 145
CLDH (3:1)	1584 ± 220
CLDH (4:1)	1480 ± 70
MgAl-LDH	965 ± 145
CLDH (2:1) ที่ผ่านการ Regeneration จำนวน 4 รอบ	1377 ± 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับของตัวดูดซับ MgAl-LDH และ CLDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg:Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, และ CLDH (2:1) ที่ผ่านกระบวนการ Regeneration

การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MgAl-LDH และ CLDH ที่อัตราส่วนแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 และ CLDH (2:1) ที่ผ่านกระบวนการ Regeneration จำนวน 4 รอบ ด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน จะรายงานผลเป็นปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ ($\text{mg I}_2/\text{g}$) ซึ่งจะแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.8 พบว่า CLDH (2:1) สามารถดูดซับไอโอดีนได้มากที่สุด รองลงมาเป็น CLDH (3:1), CLDH (4:1), CLDH (1:1) และ MgAl-LDH ตามลำดับ ซึ่งกล่าวได้ว่าการปรับปรุง MgAl-LDH ด้วย Chitosan จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวดูดซับและความสามารถในการดูดซับได้มากขึ้น

ในรูปที่ 4.8 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับของตัวดูดซับ CLDH (2:1) ก่อนการดูดซับ และ CLDH (2:1) ที่ผ่านกระบวนการ Regeneration จำนวน 4 รอบ ซึ่งจะเห็นได้ว่า CLDH (2:1) ที่ผ่านกระบวนการ Regeneration มีปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับใกล้เคียงกับ CLDH (2:1) ก่อนการดูดซับนั้นหมายความว่ากระบวนการ Regeneration มีประสิทธิภาพที่ทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่ใช้ดูดซับสีย้อมคองโกเรดแล้วสามารถมีพื้นที่ผิวใกล้เคียงกับตัวดูดซับตอนที่ยังไม่ดูดซับสีย้อม และแตกต่างอย่างมากกับตัว MgAl-LDH ที่ไม่ได้ถูกปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซานที่มีปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตัวดูดซับทุกตัวที่กล่าวมาข้างต้น

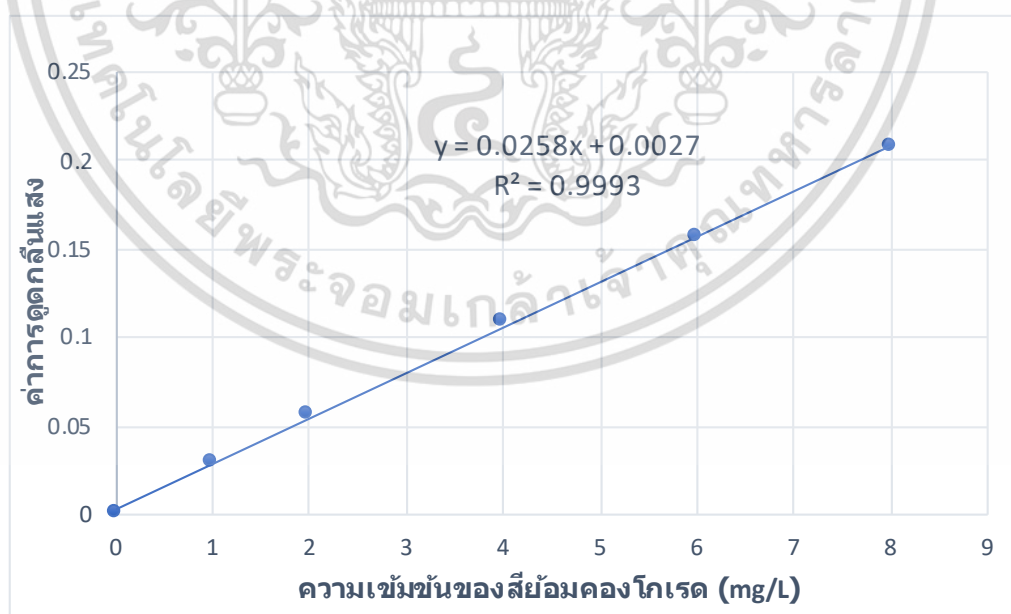
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมคองโกเรด

จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมคองโกเรด ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 8 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ความยาวคลื่น 498 นาโนเมตร ซึ่งค่าการดูดกลืนแสง แสดงผลในตารางที่ 4.6 และนำไปสร้างกราฟมาตรฐานในรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสีย้อมคองโกเรด

ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.02871
2	0.05588
4	0.10885
6	0.15680
8	0.20765



รูปที่ 4.9 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสีย้อมคองโกเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดกับค่าการดูดกลืนแสง พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยมีค่า $R^2 = 0.9993$ ซึ่งเป็นไปตามสมการ $y = 0.0258x + 0.0027$ เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนแสง และ x คือความเข้มข้นสีย้อมคองโกเรด (mg/L) กราฟมาตรฐานที่ได้จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของสีย้อมคองโกเรดที่เหลืออยู่หลังผ่านการดูดซับด้วย MgAl-LDH และ CLDH ต่อไป

4.3 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ในการศึกษาตัวแปรกระบวนการที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอชของสารละลายสีย้อม อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MgAl-LDH/Chitosan ปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเพื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ และการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่

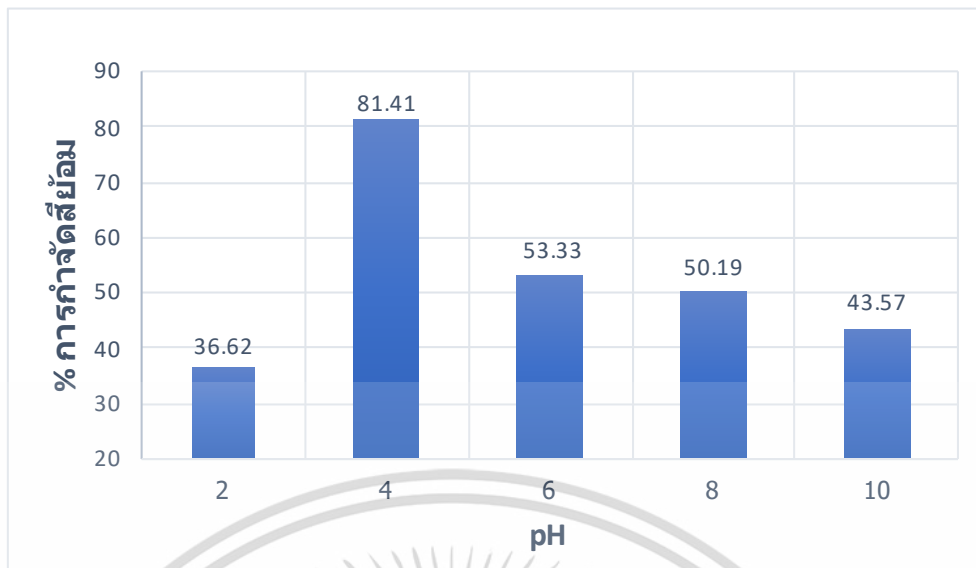
4.3.1 ผลของพีเอชของสารละลายสีย้อม

ในการทดลองนี้จะทำการการดูดซับสีย้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1) โดยเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายสีย้อมเป็น 2 4 6 8 และ 10 ปริมาณตัวดูดซับ 1000 mg/L เวลาในการดูดซับ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 60 mg/L ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรดแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.7 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อมที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)

ตัวดูดซับ	พีเอชสารละลายสีย้อม	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
CLDH (2:1)	2	38.03	36.62
	4	11.16	81.41
	6	28.00	53.33
	8	29.89	50.19
	10	33.86	43.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อมที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายสีย้อมคองโกเรดจาก 2 ถึง 4 พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมของตัวดูดซับ CLDH (2:1) มีค่าสูงขึ้น ซึ่งที่ pH 4 มีร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุดเท่ากับ 81.41 เมื่อเพิ่ม pH จาก 4 ถึง 10 พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลง

ในการดูดซับสีย้อมชนิดประจุลบ (anionic dye) เช่น คองโกเรด โดยใช้ตัวดูดซับ MgAl-LDH ซึ่งเป็นสารประกอบชนิด Hydrotalcite มีสูตรโครงสร้างคือ $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_x(OH)_2]^{x+}[A^{n-}]_{x/n} \cdot mH_2O$ ^{x-}

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

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

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

X จะมีค่าระหว่าง 0.2-0.33

ค่า Isoelectric point (IEP) จะใช้บ่งบอกคุณสมบัติของตัวดูดซับ MgAl-LDH โดยวัดได้จากเครื่อง Microelectrophoretic Mobility Detector โดยตัวดูดซับ MgAl-LDH มีค่า Isoelectric point อยู่ที่ 12.9 ถ้าตัวดูดซับ MgAl-LDH อยู่ในสารละลายที่มี pH ต่ำกว่าค่า Isoelectric point ตัวดูดซับ MgAl-LDH จะทำหน้าที่รับโปรตอนและกลายเป็นประจุบวกที่พื้นผิว ตามสมการที่ 4.1 [50]

เอกสารนี้เป็น $pH < IEP$; ลงนไว้สำหรับ $MgAl-OH^+ + H_3O^+ \rightarrow MgAl-OH_2^+ + H_2O$ ไปใช้ประโยชน์ด้าน (4.1) ภา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าตัวดูดซับ MgAl-LDH อยู่ในสารละลายที่มี pH สูงกว่าค่า Isoelectric point ตัวดูดซับ MgAl-LDH จะทำหน้าที่ให้โปรตอนและกลายเป็นประจุลบที่พื้นผิว ตามสมการที่ 4.2

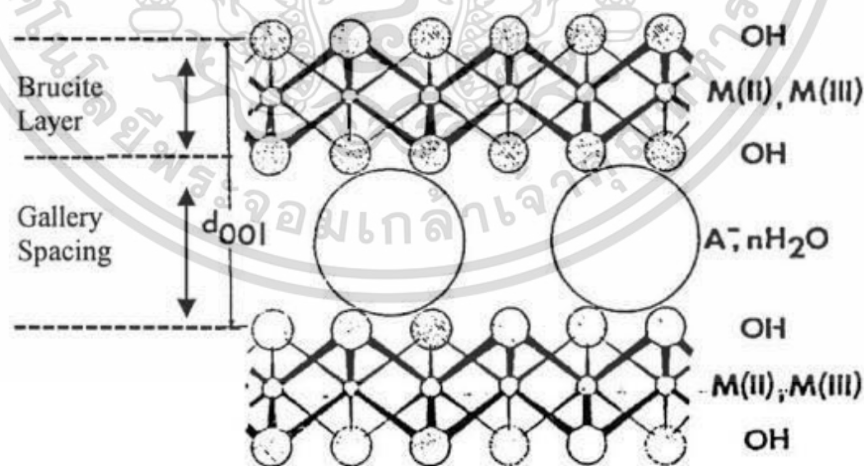


ในการทดลองมีการควบคุม pH ของสารละลายสีย้อมต่ำกว่าค่า IEP ดังนั้นตัวดูดซับ MgAl-LDH จึงแสดงประจุบวกที่พื้นผิว (ตามสมการ 4.1) โดยกลไกการดูดซับระหว่าง MgAl-LDH กับสีย้อมชนิดประจุลบ อาจเป็นไปได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 : สีย้อมชนิดประจุลบ (Dye⁻) จะเข้าไปดูดซับกับพื้นผิวของ MgAl-LDH ที่แสดงประจุบวก (MgAl-OH₂⁺) ด้วยแรงดึงดูดระหว่างไอออน ดังสมการที่ 4.3



กรณีที่ 2 : เนื่องจาก MgAl-LDH เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์ (Metal hydroxide layer) โดยมีไอออนของโลหะที่มีประจุ +2 อยู่ในช่อง Octahedral ซึ่งโลหะที่มีประจุ +2 บางส่วนจะถูกแทนที่ด้วยโลหะที่มีประจุ +3 ทำให้ประจุสุทธิบนพื้นผิวของไฮดรอกไซด์เป็นประจุบวก และระหว่างชั้นจะถูกดุลประจุด้วยไอออนที่มีประจุลบ (Interlayer anion) ซึ่งแทรกตัวอยู่ เช่น CO₃²⁻, Cl⁻ หรือ NO₃⁻ ดังรูปที่ 4.12



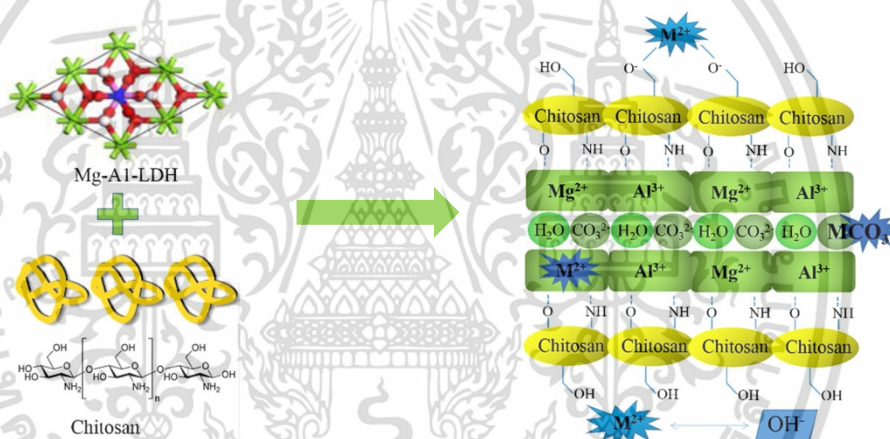
รูปที่ 4.11 ลักษณะโครงสร้างของ MgAl-LDH [34]

เมื่อ MgAl-LDH อยู่ในสารละลาย Interlayer anion บางส่วนสามารถเคลื่อนที่ไปเข้าไปในสารละลายและไอออนลบอื่นจะเข้าไปแทนที่ได้ ดังนั้นกลไกการดูดซับของสีย้อมชนิดประจุลบ กับ

MgAl-LDH จึงเป็นแบบการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion exchange) ซึ่ง CO_3^{2-} เป็น interlayer anion ของ MgAl-LDH จะแพร่ออกจาก MgAl-LDH เข้าไปในสารละลาย ส่วนสีย้อมที่เป็นประจุลบ (Dye^-) จะเข้าไปแทนที่ ดังสมการที่ 4.4



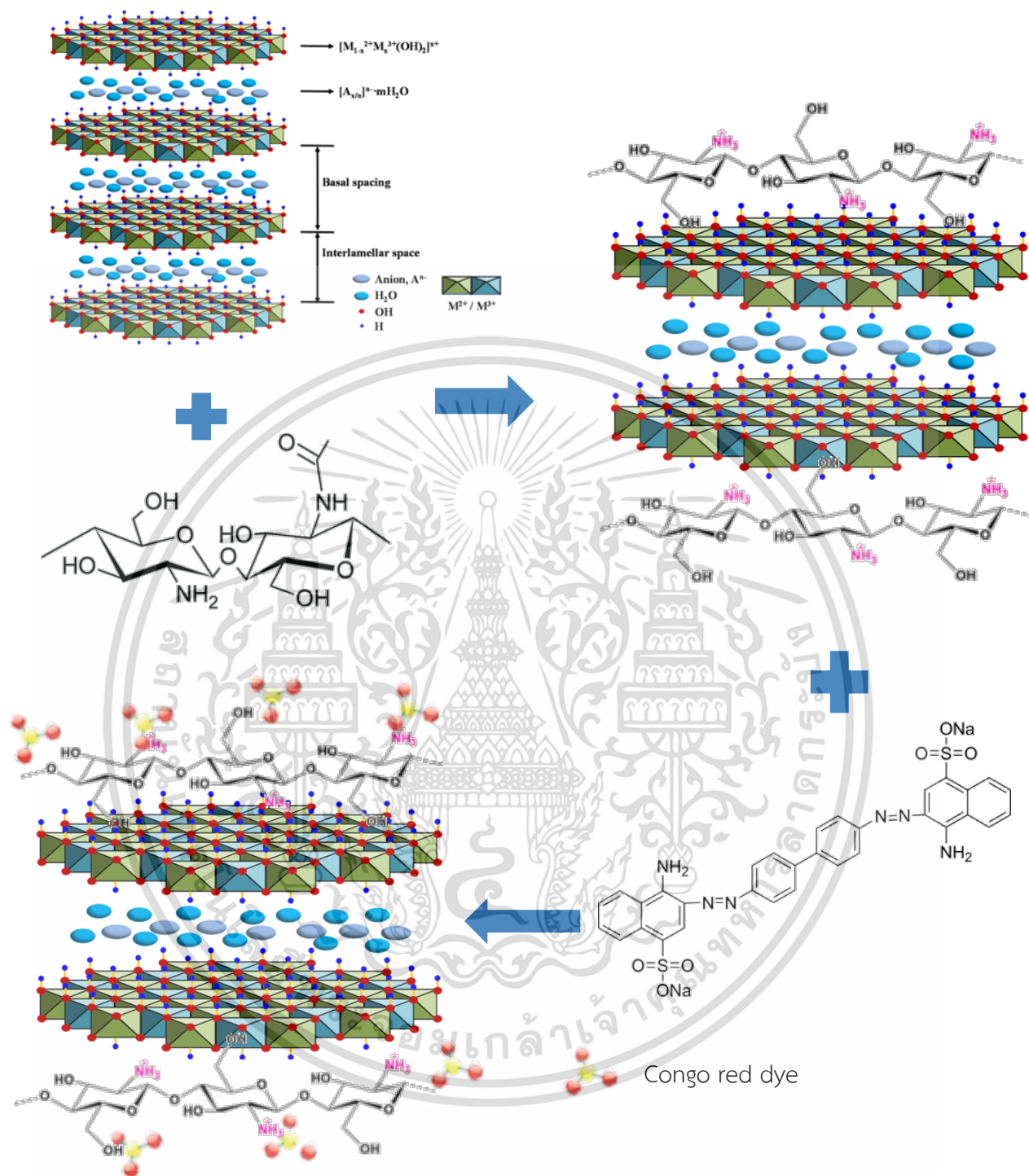
เมื่อทำการปรับปรุงคุณสมบัติของ MgAl-LDH ด้วย Chitosan ที่จะให้พันธะ Coordinate Covalent กับโลหะ Mg เมื่ออยู่ในสารละลายสีย้อมที่มี pH ต่ำกว่าค่า IEP จะทำให้ผิวของ Chitosan แสดงประจุบวกที่พื้นผิว ซึ่งจะคล้ายกับกรณีที่ 1 ที่สีย้อมชนิดประจุลบ (Dye^-) จะเข้าไปติดซับกับพื้นผิวของ Chitosan ที่แสดงประจุบวกด้วยแรงดึงดูดระหว่างไอออนและลักษณะโครงสร้างของ MgAl-LDH ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย Chitosan ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 โครงสร้างของ MgAl-LDH ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย Chitosan [49]

ในการทดลองการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วย CLDH (MgAl-LDH ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย Chitosan) จะทำการควบคุมพีเอชสารละลายสีย้อมให้ต่ำกว่าค่า IEP เช่นกัน เพื่อให้พื้นผิวดูดซับเป็นบวก เพื่อจับกับสีย้อมซึ่งมีประจุลบที่บริเวณพื้นผิวเหมือนกรณีที่ 1 (ดังสมการที่ 4.3) ด้วยแรงดึงดูดระหว่างไอออน จากนั้นจะเกิดการดูดซับสีย้อมที่บริเวณผิวของ Chitosan ที่แสดงประจุบวก เช่นเดียวกันและดูดซับสีย้อมคองโกเรดด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ และมีลักษณะการดูดซับดังภาพที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 คัดการลักษณะการดูดซับสีของคอนโกเรดของตัวดูดซับของ MgAl-LDH ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย Chitosan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ตัวดูดซับ CLDH จะมีค่า IEP ประมาณ 12.9 ซึ่งในการปรับปรุง pH ของสารละลายสีย้อมจะส่งผลต่อลักษณะประจุของพื้นผิวตัวดูดซับ ถ้าปรับ pH ของสารละลายให้ต่ำกว่า 12.9 จะทำให้พื้นผิวเป็นประจุบวกมากขึ้น ทำให้สามารถดูดซับกับสีย้อมคองโกเรดที่มีประจุลบได้ดีขึ้นด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic attraction) จากการทดลอง pH 4 เป็น pH ที่ทำให้พื้นผิวตัวดูดซับเป็นประจุบวกที่เหมาะสม ทำให้ดูดซับสีย้อมได้ดีที่สุด ถ้าปรับ pH ให้มีค่าต่ำจนเกินไป (pH ต่ำกว่า 4) จะทำให้พื้นผิวตัวดูดซับได้รับโปรตอน (protonation) มากเกินไป นอกจากนั้นโมเลกุลสีย้อมบางส่วนได้รับโปรตอนด้วย สีย้อมจะมีความเป็นบวกมากขึ้น ทำให้ตัวดูดซับและสีย้อมเกิดการผลักกันทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) ทำให้การดูดซับสีย้อมลดลง แต่ถ้าปรับ pH ของสารละลายมากกว่า 4 พื้นผิวตัวดูดซับจะมีความเป็นประจุบวกไม่มากพอที่จะดูดซับกับสีย้อม ดังนั้นร้อยละการกำจัดสีย้อมจึงมีแนวโน้มลดลง [47,50,51]

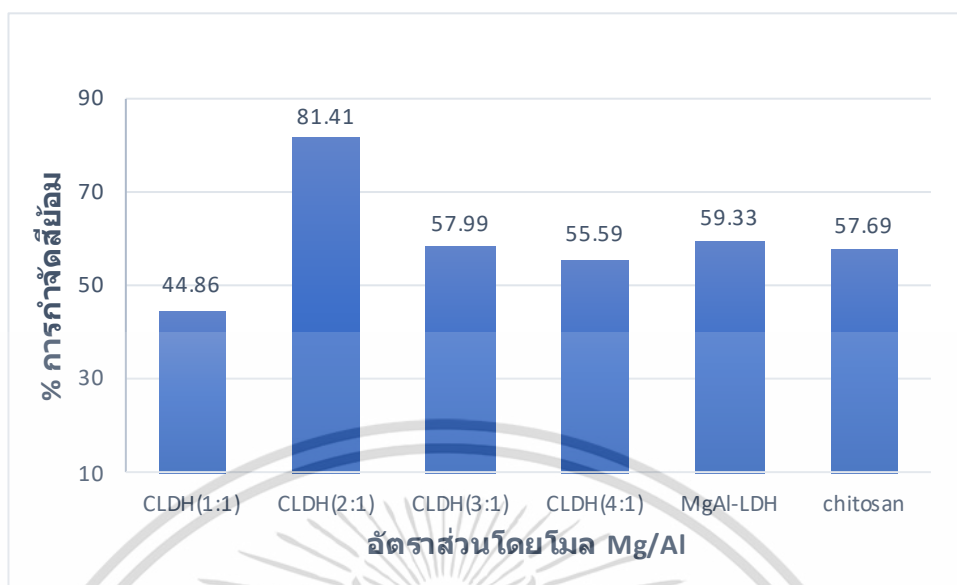
4.3.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan

ในการทดลองนี้จะทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ MgAl-LDH ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย Chitosan (CLDH) ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg:Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 4 ปริมาณตัวดูดซับ 1000 mg/L เวลาในการดูดซับ 120 นาที อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 60 mg/L ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด แสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.8 ผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ CLDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ตัวดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg:Al	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
CLDH (1:1)	1:1	33.09	44.86
CLDH (2:1)	2:1	11.16	81.41
CLDH (3:1)	3:1	25.21	57.99
CLDH (4:1)	4:1	26.65	55.59
LDH	2:1	24.38	59.33
Chitosan		25.38	57.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น และผู้ยัดให้หายไป ช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ CLDH ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรต เปรียบเทียบกับ MgAl-LDH และ Chitosan

จากรูปที่ 4.14 ตัวดูดซับ MgAl-LDH และ Chitosan มีร้อยละการกำจัดสีย้อมเท่ากับ 59.33 และ 57.69 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าร้อยละการกำจัดไม่แตกต่างกันกับ CLDH (3:1) และ CLDH (4:1) ถือได้ว่าความสามารถในการกำจัดสีย้อมใกล้เคียงกัน แต่ในขณะที่ CLDH (2:1) จะให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมที่สูง ซึ่งสูงกว่าการใช้ตัวดูดซับ MgAl-LDH และ Chitosan แต่เพียงอย่างเดียวเนื่องจากการนำตัวดูดซับทั้งสองมา composite กัน และอัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al เหมาะสมสำหรับในการเกิดพันธะกับ Chitosan เพื่อจับกับสีย้อมทำให้มีร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุดเท่ากับ 81.41

เมื่อพิจารณาร้อยละการกำจัดสีย้อมของ CLDH พบว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณการดูดซับไอโอดีนซึ่ง CLDH (2:1) มีปริมาณการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุด นั่นคือมีพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรตมากที่สุดด้วย ในทางตรงกันข้าม CLDH (3:1) และ CLDH (4:1) ซึ่งมีปริมาณของ Mg ที่มากเกินไปทำให้ Mg ไปเกาะตัวเป็นกลุ่มก้อนที่ผิวภายนอกของ CLDH เกิดการบดบังพื้นที่ในการดูดซับ ดังนั้นจึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับที่น้อยกว่า CLDH (2:1) จึงทำให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรตต่ำกว่า CLDH (2:1)

จากผลการทดลองที่กล่าวมา สรุปได้ว่าการปรับปรุง MgAl-LDH ด้วย Chitosan เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมคองโกเรตให้สูงขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงอัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al ที่เป็นองค์ประกอบของ MgAl-LDH ให้มีความเหมาะสม ซึ่งในการทดลองนี้อัตราส่วนโดยโมลของ Mg:Al เท่ากับ 2:1 เป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรตสูงสุด

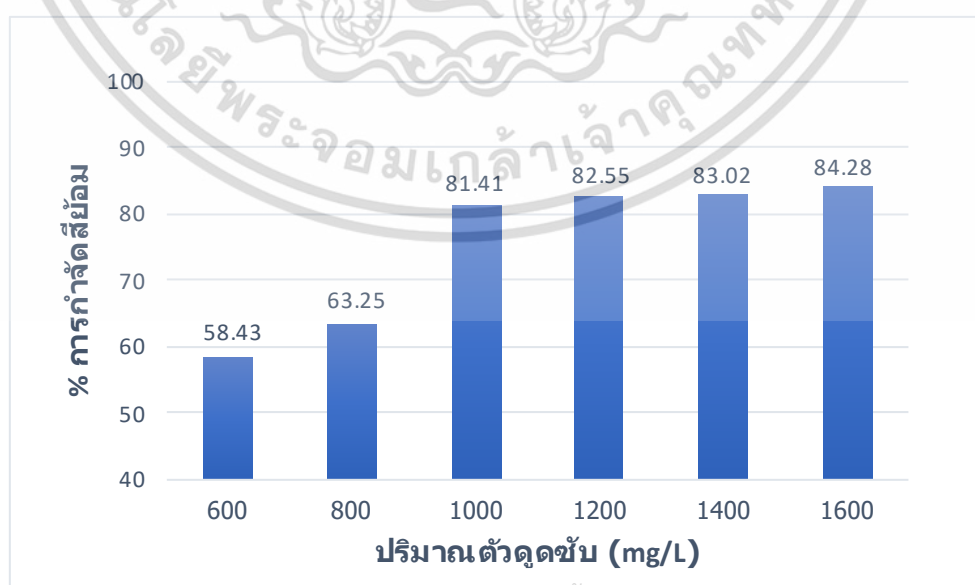
ดังนั้นในการศึกษาตัวแปรผลของปริมาณตัวดูดซับ ผลของเวลา ไอโซเทอมการดูดซับ จะใช้ CLDH (2:1) เป็นตัวดูดซับ

4.3.3 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MgAl-LDH/Chitosan

ในการทดลองนี้จะทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรด โดยการเปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับ CLDH (2:1) เป็น 600 800 1000 1200 1400 และ 1600 mg/L พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 4 เวลาในการดูดซับ 120 นาที อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 60 mg/L ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด แสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.9 ผลของปริมาณตัวดูดซับ CLDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ตัวดูดซับ	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
CLDH (2:1)	600	24.94	58.43
	800	63.25	63.25
	1000	11.16	81.41
	1200	10.47	82.55
	1400	10.19	83.02
	1600	9.43	84.28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 4.15 ผลของปริมาณตัวดูดซับ CLDH ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด การนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ CLDH ในช่วง 600 ถึง 1000 mg/L ร้อยละการกำจัดสียอมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจาก 1000 ถึง 1600 mg/L จะเห็นว่าร้อยละการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆและเริ่มมีแนวโน้มคงที่ สำหรับตัวดูดซับ CLDH จะมีบริเวณที่ใช้ดูดซับสียอมคองโกเรต 2 ส่วน คือ พื้นผิวของ MgAl-LDH และ Chitosan ซึ่งการเพิ่มปริมาณ CLDH จะเป็นการเพิ่มบริเวณที่ใช้ในการดูดซับ ขณะที่ปริมาณสียอมคงที่ 60 mg/L ดังนั้นในช่วงปริมาณ CLDH 600-1000 mg/L สียอมจะเกิดการแพร่เข้าไปดูดซับกับ CLDH ได้ในปริมาณที่มากขึ้น ดังนั้นจะเห็นจากร้อยละการกำจัดสียอมที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อปริมาณของตัวดูดซับ CLDH มากกว่า 1000 mg/L สียอมคองโกเรตในสารละลายจะเริ่มถูกดูดซับจนเกือบเข้าสู่ค่าสมดุล ทำให้เมื่อเพิ่มตัวดูดซับเป็น 1200 mg/L จนถึง 1600 mg/L ร้อยละการกำจัดจึงเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และมีแนวโน้มคงที่ ดังนั้นปริมาณตัวดูดซับ CLDH (2:1) 1000 mg/L จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการกำจัดสียอมคองโกเรต ซึ่งให้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 81.41

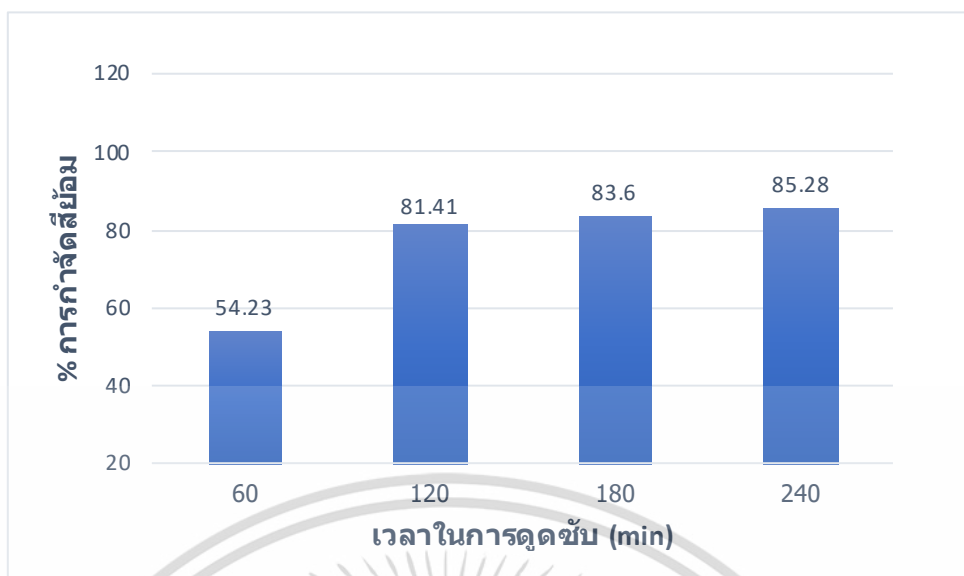
4.3.4 ผลของเวลาในการดูดซับ

ในการทดลองนี้จะทำการดูดซับสียอมคองโกเรต ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1) โดยการเปลี่ยนแปลงเวลาในการดูดซับเป็น 60 120 180 และ 240 นาที พีเอชของสารละลายสียอมเท่ากับ 4 ปริมาณตัวดูดซับ 1000 mg/L อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสียอม 60 mg/L ซึ่งความเข้มข้นสียอมเหลือและร้อยละการกำจัดสียอมคองโกเรตแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.10 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสียอมคองโกเรต ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)

ตัวดูดซับ	เวลาในการดูดซับ (นาที)	ความเข้มข้นสียอมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด สียอม
CLDH (2:1)	60	27.28	54.23
	120	11.16	81.41
	180	9.84	83.60
	240	8.83	85.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วย CLDH (2:1) ร้อยละการกำจัดสีย้อมเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 60 จนถึง 120 นาที หลังจากนั้นร้อยละการกำจัดสีย้อมจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลามากขึ้น เนื่องจากการดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยจะสังเกตได้ว่าการดูดซับในช่วง 60-120 นาที จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากบนพื้นผิวของตัวดูดซับยังไม่มีสีย้อมเข้ามาเกาะติด ทำให้มีความแตกต่างอย่างมากระหว่างความเข้มข้นสีย้อมในสารละลายกับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ (high concentration gradient) ดังนั้นการแพร่ของสีย้อมมายังพื้นผิวของตัวดูดซับจึงเกิดขึ้นได้มากและรวดเร็ว หลังจากนั้นเมื่อเวลาของการดูดซับเพิ่มขึ้นกว่า 120 นาที โมเลกุลของสีย้อมได้ถูกดูดซับบนพื้นผิวด้านนอก (exterior surface) และใน interlayer ของตัวดูดซับ จึงทำให้ concentration gradient ของสีย้อมในสารละลายกับบนพื้นผิวตัวดูดซับลดลง การดูดซับจึงเป็นไปอย่างช้าๆ ในอัตราที่ต่ำกว่าในช่วงเวลา 60-120 นาที รวมทั้งเมื่อเวลามากขึ้น ทำให้เกิด steric hindrance ภายใน interlayer ของตัวดูดซับขึ้น ส่งผลทำให้การแพร่เข้ามาของสีย้อมเป็นไปได้น้อยลง [48]

4.3.5 ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมคองโกเรด

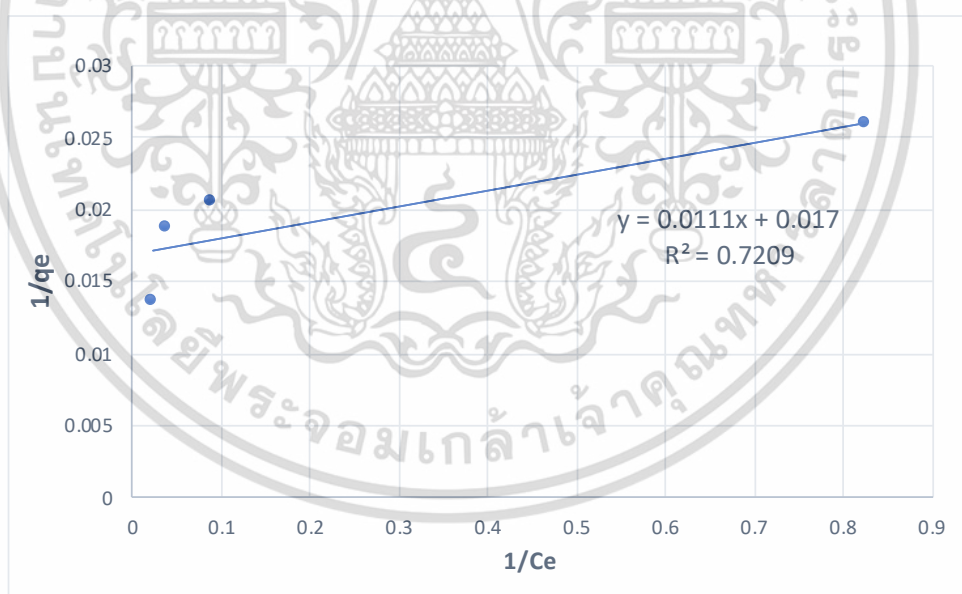
ในการทดลองนี้จะทำการหาไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1) โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม (C_i) เป็น 40 60 80 100 และ 120 mg/L พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 4 ปริมาณตัวดูดซับ CLDH (2:1) 1000 mg/L เวลาในการดูดซับ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งความเข้มข้นของสารถูกดูดซับคงเหลือที่สมดุล (C_e) ปริมาณสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่สมดุล (q_e) รวมถึงค่าต่างๆ สำหรับพล็อตกราฟความสัมพันธ์

ของแลงเมียร์ (สมการที่ 3.2) และฟรุนดลิช (สมการที่ 3.3) แสดงในตารางที่ 4.11 ถึง 4.12 และรูปที่ 4.17 ถึง 4.18 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)

ชนิดของตัวดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$1/q_e$ (g/mg)	$1/C_e$ (L/mg)
CLDH (2:1)	40	1.21	38.64	0.025	0.826
	60	11.16	48.70	0.021	0.090
	80	26.42	53.47	0.019	0.038
	120	46.25	73.68	0.014	0.022

นำค่า $1/q_e$ และ $1/C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)

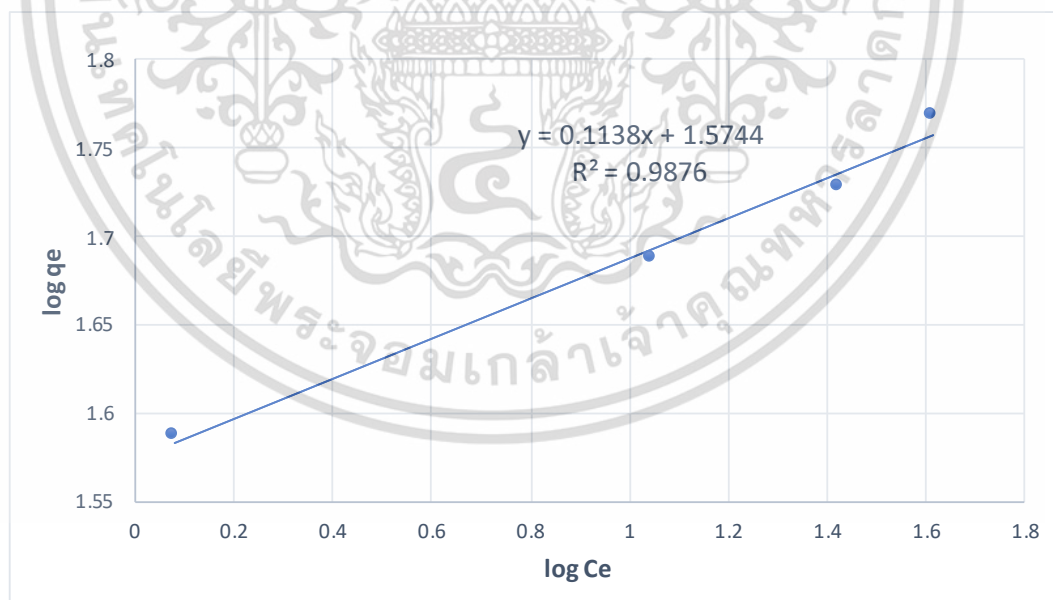
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ จะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.0111x + 0.017$ และมีค่า $R^2 = 0.7209$ โดยค่าคงที่ $K = 0.0111$ และปริมาณสารดูดซับบนตัวดูดซับสูงสุด (q_m) = 58.82 mg/g

ตารางที่ 4.12 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรุนดลิชสำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)

ชนิดของตัวดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log q_e$	$\log C_e$
CLDH (2:1)	40	1.21	38.64	0.083	1.587
	60	11.16	48.70	1.047	1.687
	80	26.42	53.47	1.422	1.728
	100	41.21	58.73	1.615	1.768

นำค่า $\log q_e$ และ $\log C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ และ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของฟรอนดลิช จะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.1138x + 1.5744$ และมีค่า $R^2 = 0.9876$ โดยค่าคงที่ $1/n = 0.1138$ และ $k_f = 37.53$

จากกราฟไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรอนดลิชของการดูดซับสีย้อมคองโกเรดด้วย CLDH (2:1) พบว่า R^2 เท่ากับ 0.7209 และ 0.9876 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของฟรอนดลิชมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่า R^2 ของไอโซเทอมแลงเมียร์ ทำให้การดูดซับสีย้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1) นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรอนดลิช ซึ่งเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer adsorption) สมการของ Freundlich มีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) ใช้ดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q_e$ และ $\log C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงมีความชันเท่ากับ $1/n$ ซึ่งค่า $1/n$ อธิบายถึงไอโซเทอมของการดูดซับ ถ้าเท่ากับ 1 ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรงแต่ถ้าค่ามากกว่า 1 อธิบายถึงบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับที่มีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับ และถ้าน้อยกว่า 1 อธิบายถึงปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับที่มีปริมาณจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับ ซึ่งค่า $1/n$ ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 1 จึงรู้ว่าปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับมีปริมาณจำกัดในการดูดซับ โดยการดูดซับใช้แรงดึงดูดด้วยแรงไฟฟ้าสถิต แรงแวนเดอร์วาลส์และพันธะไฮโดรเจนในการยึดติดของ Chitosan โดยสีย้อมจะเลือกเข้ามาเกาะติดที่พื้นผิวตัวดูดซับก่อนด้วยแรงไฟฟ้าสถิต ระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วเป็นลบของสีย้อมกับพื้นผิวที่เป็นประจุบวกของตัวดูดซับ

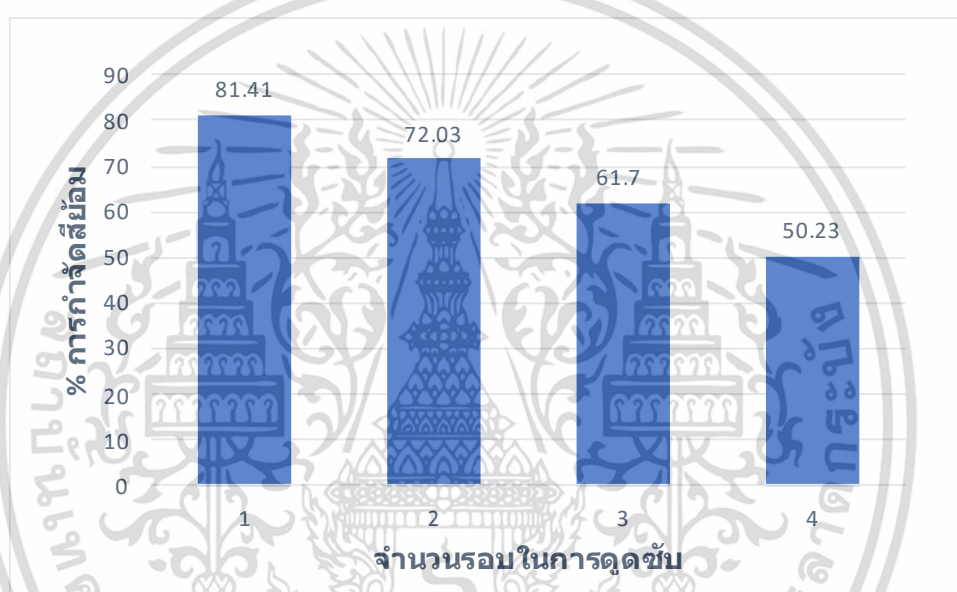
4.3.6 การนำกลับมาใช้ใหม่ของตัวดูดซับ CLDH

ในการทดลองนี้จะนำตัวดูดซับ CLDH (2:1) มาทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรดเป็นจำนวนเป็น 4 รอบ โดยใช้ pH ของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 4 ปริมาณตัวดูดซับ CLDH (2:1) เป็น 1000 mg/L เวลาในการดูดซับ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 60 mg/L ในแต่ละรอบจะทำการกำจัดสีย้อมออกจาก CLDH โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 100 mL ต่อตัวดูดซับ 0.1 g ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic cleaner) ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือในแต่ละรอบและร้อยละการกำจัดสีย้อม แสดงในตารางที่ 4.13 และรูป 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลของการนำ CLDH กลับมาใช้ใหม่ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคงโกเรต

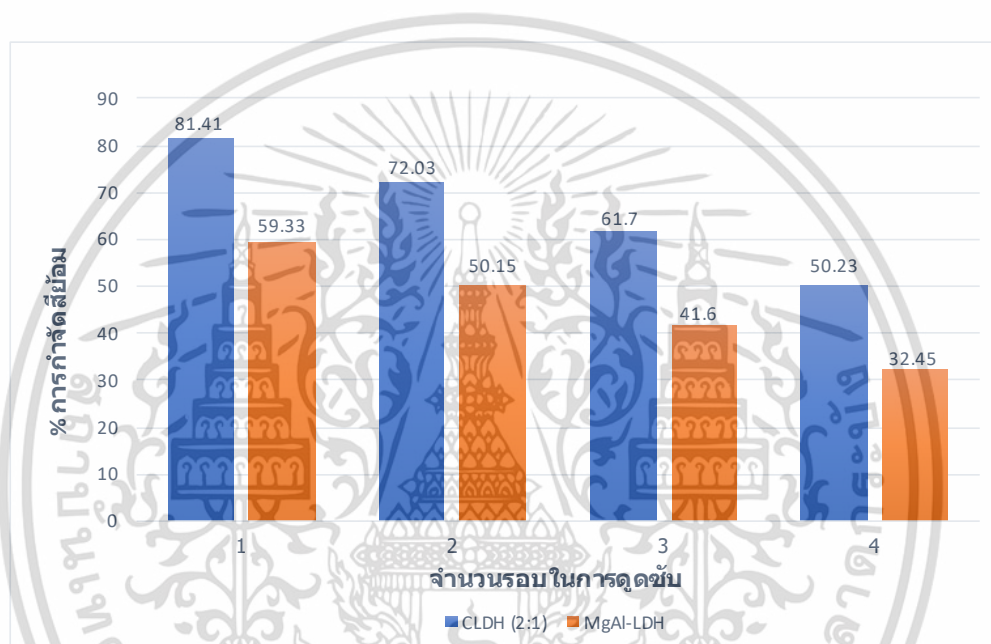
ชนิดตัวดูดซับ	รอบ	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
CLDH (2:1)	1	11.16	81.41
	2	16.78	72.03
	3	22.98	61.70
	4	29.86	50.23



รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบร้อยละการกำจัดสีย้อมคงโกเรต เมื่อดูดซับด้วย CLDH (2:1) ที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่จำนวน 4 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรดด้วย CLDH (2:1) ในรอบที่ 1 ร้อยละการกำจัดนั้นสูงที่สุดถึง 81.41 และนำตัวดูดซับจากรอบที่ 1 มาผ่านกระบวนการ Regeneration แล้วนำมาดูดซับสีย้อมคองโกเรดในรอบที่ 2 ถึง 4 พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลงจากในแต่ละรอบประมาณร้อยละ 10 นั้นหมายความว่า การนำกลับมาใช้ใหม่ของตัวดูดซับ CLDH (2:1) มีประสิทธิภาพสูงในเพียง 1-2 รอบ หลังจากนั้นประสิทธิภาพจะลดลงในรอบต่อไป เนื่องจากในการนำกลับมาใช้ใหม่จะใช้วิธีการนำตัวดูดซับแช่ในเบสแล้วเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonic เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งวิธีการเช่นนี้อาจจะใช้เวลาในการคายซับสีย้อมน้อยเกินไปทำให้สีย้อมบางส่วนยังไม่แพร่ออกจากตัวดูดซับ นั่นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับรอบหลังๆ นั้นลดลง



รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด เมื่อดูดซับด้วย CLDH (2:1) และ MgAl-LDH ที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่จำนวน 4 รอบ

จากรูปที่ 4.20 เมื่อทำการดูดซับสีย้อมคองโกเรดด้วย CLDH (2:1) และ MgAl-LDH ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งหมด 4 รอบจะเห็นได้ว่าแนวโน้มการลดลงของร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรดทั้ง CLDH (2:1) และ MgAl-LDH นั้นคล้ายคลึงกันคือลดลงประมาณร้อยละ 10 แต่ร้อยละการกำจัดสีย้อมของ CLDH (2:1) จะสูงกว่า MgAl-LDH ในทุกๆรอบ นั้นหมายความว่าในการใช้ตัวดูดซับในดูดซับสีย้อมคองโกเรดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ MgAl-LDH ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan (CLDH) นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า MgAl-LDH ที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์และศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MgAl-LDH) ที่สังเคราะห์โดยวิธีการตกตะกอนร่วมและทำการปรับปรุงสมบัติด้วยไคลโตซาน (CLDH) พร้อมกับการศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละการดูดซับสีย้อม ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ LDH/Chitosan พีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของสีย้อม เวลาในการดูดซับ ไอโซเทอมของการดูดซับ และการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ รวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมคองโกเรดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

5.1 สรุปผลการวิจัย

1) จากการศึกษาผลของพีเอชของสารละลายสีย้อมคองโกเรดที่ค่าต่างๆ พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพีเอชจาก 2 ถึง 10 พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมของตัวดูดซับ CLDH (2:1) ที่พีเอชเป็น 4 ให้อัตราการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 81.41

2) จากการศึกษาอัตราส่วนโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ CLDH พบว่า CLDH ในอัตราส่วน Mg:Al เท่ากับ 2:1 สามารถให้อัตราการกำจัดสีย้อมคองโกเรดสูงสุด ซึ่งมากกว่าอัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 4:1 และมากกว่า MgAl-LDH และ Chitosan เพียงอย่างเดียว

3) จากการศึกษาผลของปริมาณของตัวดูดซับ CLDH (2:1) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับ CLDH (2:1) ร้อยละการกำจัดของสีย้อมคองโกเรด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพราะการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของการดูดซับ ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณ CLDH (2:1) มากกว่า 1000 mg/L สารจะถูกดูดซับจะเริ่มเข้าสู่สมดุลส่งผลให้การดูดซับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าร้อยละการกำจัดมีแนวโน้มคงที่ โดยที่ปริมาณตัวดูดซับ 1000 mg/L เป็นปริมาณที่เหมาะสม โดยมีร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรดอยู่ที่ร้อยละ 81.41

4) จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมคองโกเรด พบว่าเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 60 จนถึง 120 นาที ร้อยละการกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นชัดเจน แต่เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 120 นาที ร้อยละการกำจัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีแนวโน้มคงที่ เพราะเมื่อใช้เวลามากขึ้นตัวดูดซับ CLDH (2:1) สามารถดูดซับสีย้อมได้ดีจนเกือบเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยที่เวลา 120 นาที สามารถกำจัดสีย้อมคองโกเรดได้ร้อยละ 81.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) จากการศึกษาไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรุนดลิชของตัวดูดซับ CLDH (2:1) พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.7393 และ 0.8301 ตามลำดับ ดังนั้นไอโซเทอมของฟรุนดลิชมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของแลงเมียร์ ทำให้การดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1) สอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรุนดลิช

6) จากการศึกษาการนำกลับไปใช้ใหม่ของตัวดูดซับ CLDH (2:1) ทั้งหมด 4 รอบพบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลงจากในแต่ละรอบประมาณร้อยละ 10 โดยประสิทธิภาพการนำกลับไปใช้ใหม่ของตัวดูดซับจะมีประสิทธิภาพสูงใน 2 รอบแรก และประสิทธิภาพจะต่ำลงในรอบที่ 3 และ 4

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรนำสภาวะที่ดีที่สุดในการดูดซับสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ CLDH (2:1) มาทดลองดูดซับสีย้อมจากน้ำเสียจริงที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยสีย้อมปนเปื้อนออกมา หรือจำลองการดูดซับในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งประกอบไปด้วยสีย้อมและสารปนเปื้อนต่างๆ เช่น สารแขวนลอยที่มีประจุลบอื่นๆ หรือโลหะหนัก

2) เนื่องจากเมื่อ pH เป็นเบสมากขึ้นจะทำให้พื้นผิวตัวดูดซับแสดงประจุลบ ดังนั้นควรนำตัวดูดซับ CLDH (2:1) ไปทดสอบกับสีย้อมชนิดอื่น ได้แก่ สีย้อมชนิดประจุบวก

3) ควรศึกษาการนำไอออนโลหะ Mg และไอออนโลหะ Al จาก waste มาสังเคราะห์ตัวดูดซับ CLDH เพื่อกำจัดสีย้อมคองโกเรด ซึ่งจะเป็นการประหยัดงบประมาณในการไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

4) ควรศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อ MgAl-LDH ในอัตราส่วนอื่นๆ เพื่อหาว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คงที่ หรือลดลง เพื่อจะได้ทราบอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อ MgAl-LDH ที่เหมาะสมที่สุด

5) ควรหาค่า Isoelectric point (IEP) ของตัวดูดซับ CLDH (2:1) ด้วยเทคนิคโพเทนชิโอเมตริกไทเทรชัน (Potentiometric titration) เพื่อให้ทราบค่า IEP ที่แท้จริงของตัวดูดซับ CLDH (2:1)

6) ควรเพิ่มเวลาในการทำ Regeneration ให้มากขึ้น หรืออาจจะเปลี่ยนจากเครื่อง Ultrasonic ในการคายซับของตัวดูดซับเป็นวิธีการอื่นๆ เช่น ใช้ Ozone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] **Azo dye**. [online]. Available : <https://www.britannica.com/science/azo-dye>.
[สืบค้นเมื่อ 18 มกราคม 2566]
- [2] C. Lung-Chyuan. **Effects of factors and interacted factors on the optimal decolorization process of methyl orange by ozone**, Water Research, 34/3 (2000) 974-982.
- [3] **สีย้อมเอโซ (Azo dyes)** [online]. Available :
<https://www.dss.go.th/images/st-article/cp-8-2556-azo.pdf> [สืบค้นเมื่อ 18 มกราคม 2566]
- [4] รัตนาภรณ์ อาษา, อภิเชษฐ์ จำเนียรสุข และพิชสุตา เดชบุญ. 2560. “ประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (VI) โดยใช้ถ่านกัมมันต์” วารสารวิจัยและพัฒนา วไล องค์กรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [5] **ทฤษฎีการดูดซับ**. [online]. Available :
http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/chem0451sk_ch1.pdf. [สืบค้นเมื่อ 18 มกราคม 2566]
- [6] P.M.S.B.N. Siregar, A. Lesbani, R. Mohadi. **Mg/Al-Chitosan as a selective adsorbent in the removal of methylene blue from aqueous solution**, Science & Technology Indonesia, 7 (2022) 170-178.
- [7] ทิพย์วิมล สุขวานิชย์เจริญและคณะ. 2558. “การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 โดยใช้ไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับบอรัมเนียม.” โครงการพิเศษ สาขาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] **โคโตซาน**. [online]. Available :
http://webpac.library.mju.ac.th:8080/mm/fulltext/research/2556/jiraporn_rojtinakorn_2555/maincontent.pdf [สืบค้นเมื่อ 18 มกราคม 2566]
- [9] **จากเปลือกกุ้งและกระดองปูสู่โคโตซาน**. [online]. Available :
<http://nkc.tint.or.th/nkc53/content/nstkc53-062.html> [สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2566]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] ทฤษฎีการดูดซับ. [online]. Available :
http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/chem0451sk_ch1.pdf. [สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2566]
- [11] ปรรณนา. กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process). [online]. Available :
<https://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/>. [สืบค้นเมื่อ 25 มกราคม 2566]
- [12] วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. 2558. “ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้ อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ” รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
- [13] Adsorbent / ตัวดูดซับ. [online]. Available :
<https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0174/adsorbent-ตัวดูดซับ>
 [สืบค้นเมื่อ 25 มกราคม 2566]
- [14] M. Izabela, W. Dariusz, S. Aleksandra. **Experimental investigation into CO₂ capture from the cement plant by VPSA technology using zeolite 13X and activated carbon**, Journal of CO₂ Utilization, 61 (2022) 102027.
- [15] การสังเคราะห์ซีโอไลต์. [online]. Available :
<http://www.chem.flas.kps.ku.ac.th/01403443/01403443-REPORT-SYNTHESIS-ZEOLITE.pdf> [สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2566]
- [16] D.M. EL-Mekawi, F.A. Ibrahim, M.M. Selim. **Removal of methylene blue from water using zeolites prepared from Egyptian kaolins collected from different sources**, Journal of Environmental Chemical Engineering, 4/2 (2016) 1417-1422.
- [17] นายนิพัทธ์ เกตุประเสริฐ. 2558. “การศึกษาการดูดซับแก๊สในซิลิกาพอร์นโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์” วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [18] Silica Gel, Properties. [online]. Available : <http://medaad.com/products/silica-gel/> [สืบค้นเมื่อ 31 มกราคม 2566]
- [19] ซิลิกา เจล (silica gel). [online]. Available :

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานหอการค้าในจังหวัดนนทบุรี มีอยู่เพียงฉบับเดียวและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ http://www.tanapolvanich.com/drybag/html/Type_of_Desiccant_Packaging_th.htm. [สืบค้นเมื่อ 31 มกราคม 2566]

- [20] กนกปกรณ จันทร์ศิริสกุล และคณะ. 2542. “Effect of bed length of adsorbent and humid air flow rate in adsorption efficiency of silica gel” วิศวกรรมวารสาร ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [21] **โครงสร้างถ่านกัมมันต์.** [online]. Available : <http://www.khuntoei.co.th/ถ่านกัมมันต์-activated-carbon> [สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2566]
- [22] **สีย้อม.** [online]. Available : https://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?pageid=3&bookID=370&read=true&count=true [สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2566]
- [23] **การแบ่งประเภทสีย้อม.** [online]. Available : <https://www.bloggang.com/m/viewdiary.php?id=in-situ&month=06-2009&date=30&group=4&gblog=2> [สืบค้นเมื่อ 3 กุมภาพันธ์ 2566]
- [24] A.A.M. Attia, M.A.H. Shouman, S.A.A. Khedr, N.A. Hassan. **Fixed-Bed Column Studies for the Removal of Congo Red Using Simmondsia chinesis (Jojoba) and Coated with Chitosan**, Indonesian Journal of Chemistry, 18 (2018) 294-305.
- [25] ร้อยเอกหญิง รัชนิย์ รุกขชาติ. **การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ.** [online]. Available : http://www.navy.mi.th/science/BrithDay46/Brithday_data/biology.htm [สืบค้นเมื่อ 4 กุมภาพันธ์ 2566]
- [26] **Types of Adsorbents, Chitosan.** [online]. Available <https://encyclopedia.pub/entry/30249> [สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2566]
- [27] C.D.S.A Daniele, H. Bronach, A.D.A.P. Luiz, R.S.A.C.J. Tito, B.B. Carmel. **Recent Developments in Chitosan-Based Adsorbents for the Removal of Pollutants from Aqueous Environment**, Molecules, 26 (2021) 594.
- [28] M. Mohamed, K.H. Magnus, P. Artursson. **Chitosan and the mucosal Delivery of biotechnology drugs**, Drug Delivery Today Technology, 2 (2005) 45-54.
- [29] สุจิตา คงทอง. 2552. “**ไคติน-ไคโตซาน**” วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษาปีที่ 3 ฉบับที่ 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (1-7). สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาไปใช้

- [30] **เคมีภัณฑ์.** [online]. Available : <https://www.chemipan.com/a/th-th/244-สินค้า/328-เคมีทั่วไป/9028-magnesium-chloride-แมกนีเซียม-คลอไรด์-1kg-m.html> [สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2566]
- [31] **Alibaba, เฮกซะไฮเดรตอะลูมิเนียมคลอไรด์.** [online]. Available : <https://thai.alibaba.com/product-detail/Aluminium-chloride-hexahydrate-533130500.html> [สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2566]
- [32] **วิกิพีเดีย, โซดาไฟ.** [online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/โซดาไฟ> [สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2566]
- [33] L. Yujiang, G. Baoyu, W. Tao, W. Biao, L. Xia. **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.
- [34] I.M. Ahmed, M.S. Gasser. **Adsorption study of anionic reactive dye from aqueous solution to Mg-Fe-CO₃ layered double hydroxide (LDH)**, Applied Surface Science, 259 (2012) 650-656.
- [35] R. Lafi, K. Charradi, M.A. Djebbi, A.B.H. Amara, A. Hafiane. **Adsorption study of Congo red dye from aqueous solution to Mg-Al-layered double hydroxide**, Advanced Powder Technology, 27 (2016) 232-237.
- [36] B. Zhang, Z. Dong, D. Sun, T. Wua, Y. Lia. **Enhanced adsorption capacity of dyes by surfactant-modified layered double hydroxides from aqueous solution**, Journal of industrial and Engineering Chemistry, 49 (2017) 208-218.
- [37] N.S. Beyranvand, B. Samiey, A.D. Tehrani. **Adsorption Mechanism of Congo Red on Mg-Al-layered Double Hydroxide Nanocompound**, Acta Chimica Slovenica, 66 (2019) 443-454.
- [38] D. Brahma, H. Saikia. **Synthesis of ZrO₂/MgAl-LDH composites and evaluation of its isotherm, kinetics and thermodynamic properties in the adsorption of Congo red dye**, Chemical Thermodynamics and Thermal Analysis, 7 (2022) 100067.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [39] A. Zuniga-Zamora, J. Garcia-Mena, E. Cervantes-Gonzalez. **Removal of Congo Red from the aqueous phase by chitin and chitosan from waste shrimp**, Desalination and Water Treatment, 57 (2016) 14674-14685.
- [40] G. Sriram, U.T. Uthappa, D. Losic, M. Kigga, H.Y. Jung, M.D. Kurkuri. **Mg–Al-Layered Double Hydroxide (LDH) Modified Diatoms for Highly Efficient Removal of Congo Red from Aqueous Solution**, Applied Sciences, 10 (2020) 2285.
- [41] W. Kamal, W.M.A.E. Rouby, A.O. El-Gendy, A.A. Farghali. **Bimodal applications of LDH-chitosan nanocomposite: water treatment and antimicrobial activity**, Materials Science and Engineering, 464 (2018) 012005.
- [42] W. Hanjun, Z. Huali, Y. Qingxue, W. Dongsheng, Z. Weijun Y. Xiaofang. **Calcined Chitosan-Supported Layered Double Hydroxides: An Efficient and Recyclable Adsorbent for the Removal of Fluoride from an Aqueous Solution**, Materials, 10 (2017) 1320.
- [43] W. Hanjun, G. Hongyu, Y. Qinxue, Z. Huali, W. Dongsheng. Z. Weijun, Y. Xiaofang. **Removal of typical contaminants with a recyclable calcined chitosan-supported layered double hydroxide adsorbent : Kinetics and equilibrium isotherms**, Journal of Chemical & Engineering Data, 63 (2018) 159-168.
- [44] M. Li, A. Dopilka, A.N. Kraetz, H.Jing, C.K. Chan. **Layered double hydroxide/chitosan nanocomposite beads as sorbents for selenium oxoanions**, Industrial & Engineering Chemistry Research, 57 (2018) 4978-4987.
- [45] H.Bolbol, M.Fekri, M. Hejazi-Mehrizi. **Layered double hydroxide-loaded biochar as a sorbent for the removal of aquatic phosphorus : behavior and mechanism insights**, Arabian Journal of Geoscience, 12 (2019) 1-11.
- [46] M.A. Farghali, A.M. Selim, H.F. Khater, N. Bagato, W. Alharbi, K.H. Alharbi, I.T. Radwan. **Optimized adsorption and effective disposal of congo red dye from wastewater : Hydrothermal fabrication of MgAl-LDH**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งถึงคณะหรือกรรมการในเชิงเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่ขอใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- nanohydroxalcalite-like materials**, *Arabian Journal of Chemistry*, 15 (2022) 104171.
- [47] R. Mohadi, P.M.S.B.N. Siregar, N.R. Palapa, A. Lesbani. **Preparation of Zn/Al-Chitosan composite for the selective adsorption of methylene blue dye in water**, *Makara Journal of Science*, 26/2 (2022) 128-136.
- [48] Y. Kong, Y. Huang, C. Meng, Z. Zhang. **Sodium dodecylsulfate-layered double hydroxide and its use in the adsorption of 17 β -estradiol in wastewater**, *RSC Advance*, 8 (2018) 31440-31454.
- [49] F. Lyu, H. Yu, T. Hou, L. Yan, X. Zhang, B. Du. **Efficient and fast removal of Pb²⁺ and Cd²⁺ from an aqueous solution using a chitosan/Mg-Al-layered double hydroxide nanocomposite**, *Journal of Colloid and Interface Science*, 539 (2018) 184-193
- [50] L. Yujiang, G. Baoyu, W. Tao, W. Biao, and L. Xia. **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.
- [51] A. Stamate, O. Pavel, R. Zavoianu, I. Marcu. **Highlights on the Catalytic Properties of Polyoxometalate-Intercalated Layered Double Hydroxides: A Review**, *MDPI Catalysts*, 10 (2020) 57.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1) การคำนวณปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตและอะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ที่
ต้องใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MgAl-LDH

$$\text{สูตร} \quad \text{mol} = \frac{\text{g}}{\text{MW}}$$

โดย g คือ ปริมาณสารที่ต้องชั่ง (g)

MW คือ มวลโมเลกุลของสาร (g)

ตัวอย่าง ต้องการเตรียมสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต 0.0375 mol
และสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต 0.0125 mol

- การหาปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MgAl-LDH

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad \text{mol} &= \frac{\text{น้ำหนักของ MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \text{ ที่ต้องชั่ง}}{203.30} \\ 0.0375 \text{ mol} &= \frac{\text{น้ำหนักของ MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \text{ ที่ต้องชั่ง}}{203.30} \\ \text{น้ำหนักของ MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \text{ ที่ต้องชั่ง} &= 7.6238 \text{ g} \end{aligned}$$

- การหาปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MgAl-LDH

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad \text{mol} &= \frac{\text{น้ำหนักของ AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \text{ ที่ต้องชั่ง}}{241.43} \\ 0.0125 \text{ mol} &= \frac{\text{น้ำหนักของ AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \text{ ที่ต้องชั่ง}}{241.43} \\ \text{น้ำหนักของ AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \text{ ที่ต้องชั่ง} &= 3.0179 \text{ g} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การหาร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 60 mg/L เมื่อทำการดูดซับแล้วมีความเข้มข้นของสารถูกดูดซับคงเหลือเท่ากับ 11.16 mg/L

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

$$\text{ร้อยละการกำจัด} = \frac{60 - 11.16}{60} \times 100$$

$$\text{ร้อยละการกำจัด} = 81.41$$

3) การหาปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ (q_e)

ตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 100 mg/L เมื่อทำการดูดซับแล้วมีความเข้มข้นของสารถูกดูดซับคงเหลือเท่ากับ 41.21 mg/L ปริมาตรของสารละลายสารถูกดูดซับเท่ากับ 0.1 L และปริมาณตัวดูดซับ CLDH เท่ากับ 0.1001 g

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

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

$$q_e = \frac{(100 - 41.21) (0.1)}{0.1001}$$

$$q_e = 58.73 \text{ mg/g}$$

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 CLDH (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องเรียนเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการดัดแปลงแก้ไขเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การหาพื้นที่ผิวตัวดูดซับ CLDH 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 1/60 M ปริมาตร 25 ml

และปริมาตรของไทแทรนต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ใช้เท่ากับ 24.6 ml

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad \frac{C_1 V_1}{1000} &= 6 * \frac{C_2 V_2}{1000} \\ \frac{(1/60 \text{ M}) (25 \text{ ml})}{1000} &= \frac{6 * C_2 (24.6 \text{ ml})}{1000} \\ C_2 &= 0.1016 \text{ M} \end{aligned}$$

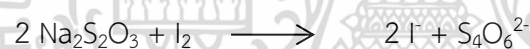
โดย C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mol/L,M)

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ml)

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย KIO_3 (mol/L,M)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลาย KIO_3 (ml)

4.2) หาความเข้มข้นของไอโอดีนแบบลงค์



ตัวอย่าง ไทเทรต I_2 ปริมาตร 25 ml ด้วยสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 M

ปริมาตรของไทแทรนต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ใช้เท่ากับ 23.15 ml

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad \frac{1}{2} C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ C_2 &= \frac{(0.1 \text{ M}) (23.15 \text{ ml})}{2 (25 \text{ ml})} \\ C_2 &= 0.0463 \text{ M} \end{aligned}$$

โดย C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mol/L,M)

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ml)

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย I_2 (mol/L,M)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลาย I_2 (ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นไอโอดีนที่เปลี่ยนแปลง} &= \text{ความเข้มข้นไอโอดีนแบลงค์} - \text{ความเข้มข้นไอโอดีนที่ใช้ไป} \\ &= 0.0463 - 0.0439 \\ &= 0.0024 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

ในสารละลาย 1000 ml มีจำนวนโมลของไอโอดีนเท่ากับ 0.0024 mol

ในสารละลาย 100 ml มีจำนวนโมลของไอโอดีนเท่ากับ 0.24×10^{-3} mol

$$\text{คิดเป็นกรัม} \quad \text{mol} = \frac{\text{g}}{\text{MW}}$$

$$\text{g} = (0.24 \times 10^{-3} \text{ mol}) (253.80 \text{ g/mol})$$

$$\text{g} = 0.0622 \text{ g}$$

$$= 60.91 \text{ mg}$$

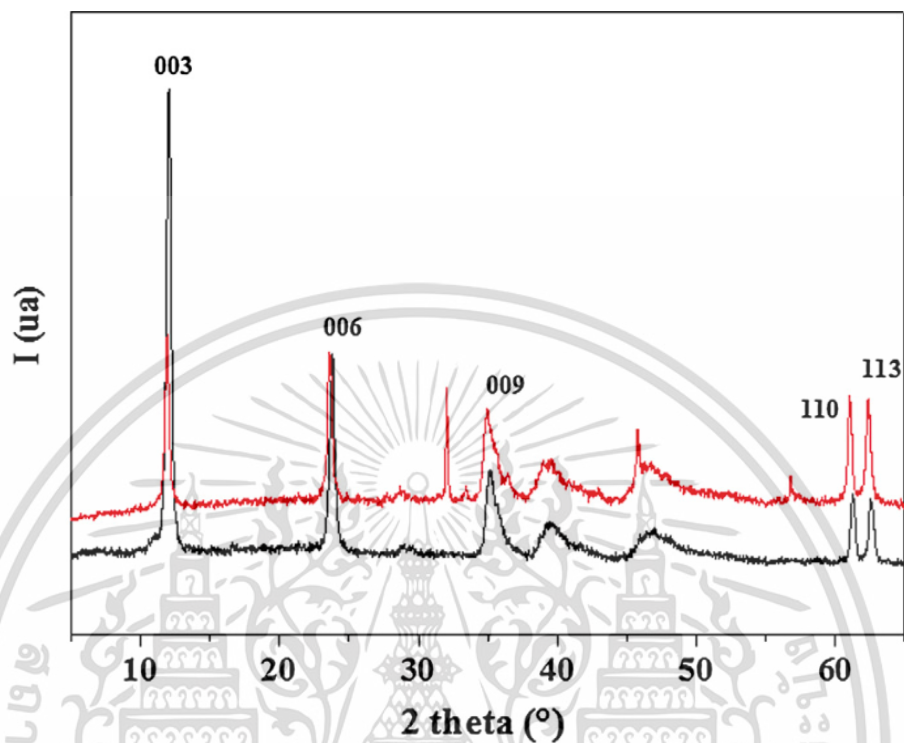
ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ CLDH

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad & \frac{\text{ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ}}{\text{ปริมาณตัวดูดซับ CLDH}} \quad \text{หน่วย mg/g} \\ & = \frac{60.91}{0.0500} \\ & = 1218.2 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

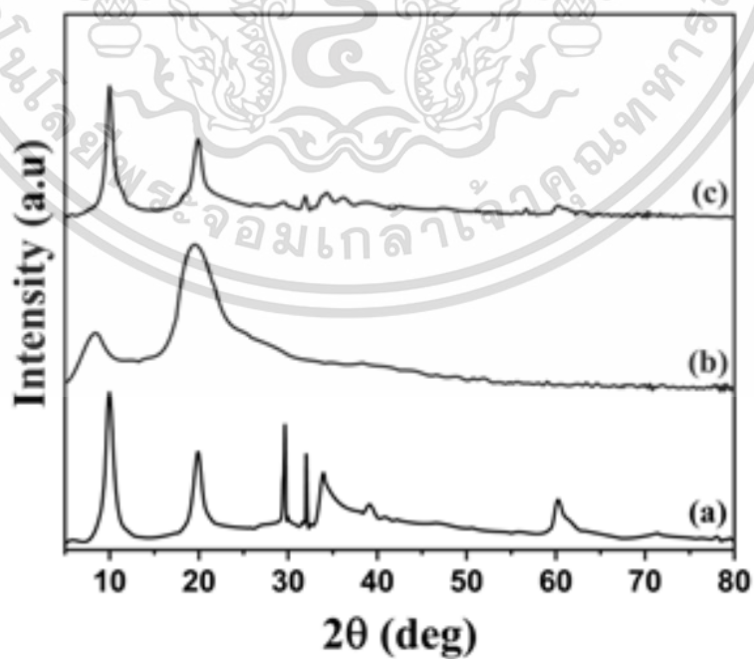
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ดิฟแฟรคโทแกรมของสารต่างๆจากงานวิจัยที่อ้างอิง



รูปที่ ข.1 ดิฟแฟรคโทแกรมของ Mg-Al-LDH and Mg-Al-LDH-CR. จากงานวิจัยของ R. Lafi และคณะ [35]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ข.2 ดิฟแฟรคโทแกรมของ Zn/Al (a), Chitosan (b), Zn/Al-chitosan (c) [45]



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 14 เดือน มิถุนายน พ.ศ 2566

ข้าพเจ้า นางสาวณิชารีย์ วิชญารมย์ รหัสประจำตัว 62050287
นางสาวปิยาพัชร พฤกษ์พลกุล รหัสประจำตัว 62050306

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การกำจัดสีย้อมคองโกเรด โดยใช้คอมโพสิตของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์
ดับเบิลไฮดรอกไซด์และไคโตซานเป็นตัวดูดซับ

ชื่อภาษาอังกฤษ Removal of Congo red dye by Mg-Al Layered Double Hydroxide
(LDH)/Chitosan composite as adsorbent

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความ
ซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจาก
เล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว
โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 3.41 %

ลงชื่อ.....**ณิชารีย์ วิชญารมย์**.....

(นางสาวณิชารีย์ วิชญารมย์)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....**ปิยาพัชร พฤกษ์พลกุล**.....

(นางสาวปิยาพัชร พฤกษ์พลกุล)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการ
พิเศษ ของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์
จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

(ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้