การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว

ADSORPTION OF REACTIVE BLACK 5 BY USING SURFACTANT MODIFIED Mg-Al LAYERD DOUBLE HYDROXIDE

สกุนา สุขผล
สุธี ฮ่อหลิม

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADSORPTION OF REACTIVE BLACK 5 BY USING SURFACTANT MODIFIED Mg-Al LAYERD DOUBLE HYDROXIDE

SAKUNA SUKPHOL
SUTEE HORLIM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว Adsorption of Reactive Black 5 by Using Surfactant Modified Mg-Al Layered Double Hydroxide
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสกุนา สุขผล รหัสนักศึกษา 58050552 นายสุธี ฮ่อหลิม รหัสนักศึกษา 58050558
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการคุมสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ ประธานกรรมการ	
ดร.พัชราภรณ์ วีระชวนะศักดิ์ กรรมการ	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว

ชื่อนักศึกษา นางสาวสกุนา สุขผล รหัสนักศึกษา 58050552

นายสุธี ฮ่อหลิม รหัสนักศึกษา 58050558

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและกลไกการกำจัดสีย้อมรีแอคแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MAL) ที่สังเคราะห์โดยวิธีการตกตะกอนร่วมและทำการปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวของ MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต (SDS) และโซเดียมโดเดคซิวเบนซีนซัลโฟเนต (SBS) พร้อมกับศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อร้อยละการกำจัดสารถูกดูดซับ ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบและอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL พีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิในการดูดซับ รวมถึงไอโซเทอมของการดูดซับ ผลการทดลองพบว่า ตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL สามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้ดีที่สุดในสภาวะที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.25:1 พีเอชสารละลาย 9 ปริมาณตัวดูดซับ 1200 mg/L เวลาในการดูดซับ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส โดยที่ SDS-MAL ให้ร้อยละการกำจัดสารถูกดูดซับสูงกว่า SBS-MAL จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL พบว่ามีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์และฟรุนดลิชตามลำดับ

คำสำคัญ : การดูดซับ ตัวดูดซับ แมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ รีแอคทีฟแบล็ค 5 สารลดแรงตึงผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Adsorption of Reactive Black 5 by Using Surfactant Modified Mg-Al Layered Double Hydroxide		
Students	Miss. Sakuna	Sukphol	Student ID 58050552
	Mr. Sutee	Horlim	Student ID 58050558
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2018		
Advisor	Dr. Amnat Permsubscul		

Abstract

This special project studied the efficiency and mechanism of reactive black 5 dye removal with Magnesium-Aluminum layered double hydroxide adsorbent (MAL) were synthesized by co-precipitation method and was improved the surface properties with anionic surfactant such as Sodium dodecyl sulfate (SDS) and Sodium dodecyl benzene sulfonate (SBS). The variables affected on the percentage of adsorption were investigated including the mole ratio of magnesium to aluminum of MAL, type of anionic surfactant and weight ratio of surfactant to MAL, pH of dye solution, adsorbent dosage, adsorption time, adsorption temperature and adsorption isotherm. The results showed that SDS-MAL and SBS-MAL adsorbents showed the highest efficiency for removing reactive black 5 dye in the conditions of surfactant to MAL 0.25:1 by weight, pH solution of 9, adsorbent dosage 1200 mg/L, adsorption time 120 minutes and temperature 30 °C. The results showed SDS-MAL gave higher percentage of dye removal than SBS-MAL. The adsorption isotherm of SDS-MAL and SBS-MAL were well fitted with Langmuir isotherm and Freundlich isotherm equation, respectively.

Keywords : Adsorption, Adsorbent, Magnesium-Aluminum layered double hydroxide, Reactive Black 5, Surfactant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย

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

ขอขอบพระคุณ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ และ ดร.พัชราภรณ์ วีระชวนะศักดิ์ ผู้เป็นคณะกรรมการให้กับโครงงานพิเศษนี้ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบและแก้ไขเพิ่มเติม เพื่อให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา พร้อมทั้งให้คำแนะนำต่าง ๆ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่อำนวยความสะดวก คอยช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงงานพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณมารดา-บิดาที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดู และอบรมสั่งสอน เป็นกำลังใจสำคัญ รวมทั้งเป็นแรงผลักดันในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอบคุณเพื่อน ๆ รวมถึงบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวมาที่คอยช่วยเหลือต่าง ๆ คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

สกุนา สุขผล
สุธี ย่อหลิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
1.5 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน 5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 การดูดซับ 6
2.1.1 ทฤษฎีการดูดซับ 6
2.1.2 กระบวนการดูดซับ 6
2.1.3 ชนิดของตัวดูดซับ 9
2.2 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ 10
2.3 สีย้อม 12
2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของสีย้อม 12
2.3.2 การแบ่งประเภทสีย้อม 12
2.3.3 อันตรายที่เกิดจากสีย้อม 16
2.4 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ 16
2.4.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี 16
2.4.2 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา 17
2.4.3 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ 17
2.4.4 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน 17
2.4.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น 18
2.4.6 นาโนฟิลเตรชั่น 18
2.4.7 เทคโนโลยีใหม่ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 สารลดแรงตึงผิว 19
2.5.1 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว 19
2.5.2 การนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้ประโยชน์ 21
2.6 ข้อมูลทั่วไปของสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ LDH 22
2.6.1 แมกนีเซียมคลอไรด์ 22
2.6.2 อะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต 23
2.6.3 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 24
2.6.4 โซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต 25
2.6.5 โซเดียมโดเดคซิลเบนซีนซัลโฟเนต 26
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 32
3.1 สารเคมี 32
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 32
3.3 วิธีการทดลอง 33
3.3.1 การเตรียมสารที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ MAL และ sur-MAL 33
3.3.2 การเตรียมตัวดูดซับ MAL ด้วยวิธีการตกตะกอน 34
3.3.3 การเตรียมตัวดูดซับ sur-MAL 35
3.3.4 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 36
3.3.5 การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ MAL และ sur-MAL เป็นตัวดูดซับ 37
3.3.6 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL 46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 51
4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ 51
4.1.1 โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL 51
4.1.2 องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL 56
4.1.3 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL 57
4.1.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL 58
4.1.5 ความเสถียรต่ออุณหภูมิของตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL 62
4.1.6 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL 63
4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 66
4.3 กลไกการดูดซับ 67
4.4 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL 70
4.4.2 ผลของชนิดสารลดแรงตึงผิวและอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิว 72
4.4.3 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อม 74
4.4.4 ผลของปริมาณตัวดูดซับ sur-MAL 76
4.4.5 ผลของเวลาในการดูดซับ 78
4.4.6 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับ 79
4.4.7 ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 81
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 87
5.1 สรุปผลการวิจัย 87
5.2 ข้อเสนอแนะ 88
เอกสารอ้างอิง 89
ภาคผนวก 92
ภาคผนวก ก 93
ภาคผนวก ข 98
คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี 8
2.2 เปรียบเทียบความสามารถของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 4 ชนิด ในการทำให้เกิดฟอง การชักล้าง และการทำให้พื้นผิวเกิดความอ่อนนุ่ม 21
3.1 ความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตและอะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MAL 35
3.2 ปริมาตรของสารละลายโซเดียมโดเดคซิวซัลเฟตและโซเดียมโดเดคซิวเบนซีนซัลโฟเนตที่ใช้ในการสังเคราะห์ sur-MAL 36
3.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 37
3.4 สภาวะการทดลองผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของตัวดูดซับ MAL ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 38
3.5 สภาวะการทดลองผลของการปรับปรุง MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิวที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ต่างกัน ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 39
3.6 สภาวะการทดลองผลของพีเอชของสารละลายสีย้อมที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 40
3.7 สภาวะการทดลองผลของปริมาณตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 41
3.8 สภาวะการทดลองผลของเวลาที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 42
3.9 สภาวะการทดลองผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 43
3.10 สภาวะการทดลองในการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL 44
4.1 ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมของตัวดูดซับ MAL-2.0 และ MAL-3.0 54
4.2 ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมของ MAL-2.0 ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS และ SBS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อ MAL 0.1:1 0.25:1 และ 1.0:1 55
4.3 องค์ประกอบของโลหะในตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF 57
4.4 การสั่นของหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่นต่างๆของ SDS-MAL และ SBS-MAL 60
4.5 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 2:1 ถึง 4:1 63
4.6 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ SDS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.1:1 ถึง 2:1 64
4.7 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ SBS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.1:1 ถึง 2:1 65
4.8 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.9 ผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 71
4.10 ผลของชนิดสารลดแรงตึงผิวและอัตราส่วนโดนน้ำหนักที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 72
4.11 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อม ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL 75
4.12 ผลของปริมาณตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 77
4.13 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL 78
4.14 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL 80
4.15 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL 81
4.16 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรุนดลิชสำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL 82
4.17 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL 84
4.18 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรุนดลิชสำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของ Layered double hydroxides 11
2.2 โครงสร้างทางเคมีของ Reactive Black 5 15
2.3 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว 20
2.4 การเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวเมื่อวางตัวอยู่ในน้ำ 21
2.5 สูตรโครงสร้างของโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต 26
2.6 สูตรโครงสร้างของโซเดียมโดเดคซิลเบนซีนซัลโฟเนต 27
3.1 เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ 46
3.2 เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ 46
3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 47
3.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน 47
3.5 เครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟาเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ 48
4.1 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al 2:1 และ 3:1 51
4.2 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ SDS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก SDS/MAL 0.1:1 0.25:1 และ 1.0:1 52
4.3 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ SBS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก SBS/MAL 0.1:1 0.25:1 และ 1.0:1 53
4.4 ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมของตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al 2:1 และ 3:1 54
4.5 ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมของ MAL-2.0 ที่ปรับปรุงด้วย SDS และ SBS 55
4.6 ลักษณะพื้นผิวตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 58
4.7 FTIR spectrum ของตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL เปรียบเทียบกับ MAL-2.0 และ SDS 59
4.8 FTIR spectrum ของตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL เปรียบเทียบกับ MAL-2.0 และ SBS 59
4.9 FTIR spectra ของตัวดูดซับ 0.5-SDS-MAL เปรียบเทียบกับ 0.5-SDS-MAL ที่ผ่านการดูดซับสีย้อม และสีย้อม Reactive black 5 61
4.10 กราฟแสดงผล TG และ DTG ของตัวดูดซับ MAL2.0 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL ... 62
4.11 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ในตัวดูดซับ MAL ที่มีต่อปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ 64
4.12 กราฟเปรียบเทียบปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ surfactant/MAL ต่างๆ 65
4.13 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 67
4.14 ลักษณะโครงสร้างของ MAL 68
4.15 ลักษณะโครงสร้างของ MAL หลังจากปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารลดแรงตึงผิว 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.16	ลักษณะการดูดซับของตัวดูดซับที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารลดแรงตึงผิว	70
4.17	ผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	71
4.18	ผลของชนิดสารลดแรงตึงผิว (SDS และ SBS) และอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิว MAL ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	73
4.19	ผลของพีเอชสารละลายสีย้อม ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL	75
4.20	ผลของปริมาณตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5	77
4.21	ผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL	79
4.22	ผลของอุณหภูมิในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL	80
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL	82
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL	83
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL	84
4.26	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยมีความเจริญทางด้านอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นสูงมาก มีโรงงานผลิตเพื่อรองรับอุตสาหกรรมทางด้านต่าง ๆ แต่สิ่งที่ตามมาคือปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะมลพิษทางน้ำ ซึ่งสาเหตุหนึ่งเกิดจากการปนเปื้อนของสีย้อม ที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ยาง กระดาษ พลาสติก ฟอกหนัง อาหาร เครื่องสำอางและการพิมพ์ สีย้อมที่ถูกเลือกใช้ส่วนใหญ่เป็นสีย้อมที่ได้จากการสังเคราะห์มากกว่าสีย้อมที่ได้จากธรรมชาติ เนื่องจากสีย้อมสังเคราะห์ให้การผลิตและคุณภาพที่แน่นอนกว่า ระยะเวลาการติดทนทานนาน ละลายน้ำได้ดี และดูดซับได้ดีกว่าสีย้อมจากธรรมชาติ รวมถึงหาได้ง่ายและมีราคาที่ถูกกว่า ดังนั้นสีย้อมสังเคราะห์จึงเป็นที่นิยมและถูกเลือกนำมาใช้ในการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมขั้นกลางในกระบวนการผลิตและต้องใช้น้ำปริมาณมาก ซึ่งทำให้มีของเสียและสารแขวนลอยเกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการผลิตซึ่งส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาและวิจัยระบบการบำบัดน้ำทิ้งเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนใกล้เคียงให้ได้รับผลกระทบจากสารเคมีที่มาจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

สีกลุ่มเอโซ่ (Azo dye) เป็นสีที่มีโครงสร้างเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่เอโซ่ (-N=N-) อยู่ภายในโครงสร้าง เป็นสารสังเคราะห์ที่ทำให้เกิดสีประเภทหนึ่ง มีอยู่ประมาณ 60-80% ของสารที่ทำให้เกิดสีทั้งหมดมีอยู่ในผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมายซึ่งมีการนำมาใช้ปริมาณมาก เพราะมีราคาค่อนข้างต่ำ มีสีสันสวยงามและมีให้เลือกใช้งานได้หลายเฉดสี แต่มีอัตราการสลายทางชีวภาพต่ำมากซึ่งจะใช้เวลานานในการสลายตัว เนื่องจากมีโครงสร้างที่ซับซ้อน และมีองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลาย ถ้าเก็บในที่มีแสงหรือมีอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดสารประกอบอะโรมาติกเอมีน(Aromatic amine) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งชีวิตเพราะเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง เมื่อตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมก็จะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ [1]

มีหลายวิธีที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้ง เช่น การกรองด้วยเมมเบรน (membrane filtration) การตกตะกอน (coagulation) วิธีทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical method) ออกซิเดชัน (oxidation) วิธีทางชีวภาพ (biological technology) และการดูดซับ (adsorption) สำหรับการดูดซับเป็นเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม โดยถือเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ เนื่องจากใช้พลังงานน้อย และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาไม่แพง ในปัจจุบันมีการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่หลากหลาย แต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการดูดซับสีคือ ถ่านกัมมันต์ แต่ก็ถือว่ายังมีราคาที่สูงและมีข้อจำกัดในการใช้งาน นอกจากนี้ตัวดูดซับจากธรรมชาติ อย่างเช่น เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย ที่มีราคาถูกแต่ประสิทธิภาพในการดูดซับยังต่ำ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides หรือ LDH) เป็นสารประกอบอนินทรีย์สังเคราะห์ที่มีโครงสร้างเป็นชั้น (inorganic lamellar compound) มีสูตรทั่วไปคือ $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_{x}(OH)_2]^{x+}[(A^{n-})_{x/n}\bullet mH_2O]^{x-}$ 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-} กับโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ในระหว่างชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์ (interlayer) เพื่อดุลประจุสุทธิให้เป็นกลาง ซึ่ง LDH ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีประจุลบในสารละลาย โดยไอออนประจุลบกับโมเลกุลของน้ำจะแลกเปลี่ยนประจุลบของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์อื่นๆจากน้ำที่ปนเปื้อน [3] เนื่องจาก layered double hydroxide (LDH) มีลักษณะพื้นที่ผิวเป็นแบบ hydrophilic ดังนั้นจึงเหมาะสมกับการดูดซับสารที่แตกตัวเป็นไอออนได้ การปรับปรุง LDH ด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (anionic surfactant) จะสามารถเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวของ LDH เป็นแบบ hydrophobic ได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์ที่ไม่แตกตัวเป็นไอออน (nonionic organic compound) เช่น ฟีนอล ยาฆ่าแมลง กรดฮิวมิก และสีย้อมที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ [4-7]

สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดหนึ่งโดยส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic group) มีหมู่ฟังก์ชันแสดงประจุลบเมื่อละลายน้ำ โดยส่วนมากจะเป็นหมู่ SO_4^- และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic group) มักจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่างเช่น ผงซักฟอก สบู่ น้ำยาล้างจาน สารลดแรงตึงผิวทั้งหมดนอกจากมีประโยชน์ในการทำความสะอาดแล้ว ยังถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การดูดซับของเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการกำจัดสารแขวนลอยในน้ำอีกด้วย [8]

ดังนั้น โครงงานนี้จึงมีความสนใจในการพัฒนากระบวนการดูดซับในการกำจัดสีย้อมน้ำทิ้งสังเคราะห์ โดยสังเคราะห์และศึกษาประสิทธิภาพตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MAL) ซึ่งทำการปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวของ MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (sur–MAL) ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ซึ่งเป็นสีย้อมตัวอย่างในสีกลุ่มเอโซ่ ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบและอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL พีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิในการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเพื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ รวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นข้อมูลและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสู่ภาคอุตสาหกรรมในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาการสังเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์ตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MAL) ด้วยวิธีตกตะกอนร่วม

2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและกลไกในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MAL) ซึ่งผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิว MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ

3) เพื่อศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบและอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL พีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิในการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเพื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) สังเคราะห์ตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MAL) ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม ในอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 2:1 ถึง 4:1 และเลือกอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมสูงสุดมาปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ

2) วิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MAL) และ MAL ที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวแล้ว (sur–MAL) ด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่

- โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MAL และ sur–MAL ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)
- ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MAL และ sur–MAL ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
- องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ MAL และ sur–MAL ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF)
- หมู่ฟังก์ชันบน MAL และ sur-MAL ด้วยเครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟาเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR)
- วิเคราะห์หาความเสถียรทางความร้อนของตัวดูดซับ MAL และ sur–MAL ด้วยเครื่องวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)
- วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MAL และ sur–MAL ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number)

3) ศึกษาผลกระทบที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่

- อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ตั้งแต่ 2:1 ถึง 4:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต และโซเดียมโดเดคซิวเบนซีนซัลโฟเนต ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ตั้งแต่ 0.25:1 ถึง 2:1
- พีเอชของสารละลายสีย้อม ตั้งแต่ 3 ถึง 11
- ปริมาณตัวดูดซับ sur-MAL ที่ใช้ในการดูดซับ ตั้งแต่ 600 ถึง 1200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- เวลาในการดูดซับ ตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที
- อุณหภูมิในการดูดซับ ตั้งแต่ 30 ถึง 60 องศาเซลเซียส
- ความเข้มเริ่มต้นสีย้อม ตั้งแต่ 50 ถึง 400 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) หรือไอโซเทอมของฟรุนดลิช (Freundich Isotherm)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงกระบวนการและผลในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MAL) และแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ ที่ผ่านการปรับคุณสมบัติของพื้นผิวด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (sur-MAL)

2) ทราบถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อการกำจัดสีย้อม ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบและอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL พีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิในการดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเพื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ เป็นต้น

3) ทราบถึงไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ sur-MAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน								
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1. ศึกษาหาข้อมูล ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง									
2. วางแผนการทดลอง									
3. ทำการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL									
4. เตรียมกราฟมาตราฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5									
5. ตรวจสอบลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของตัวดูดซับ									
6. ทำการทดลองกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ MAL และ sur-MAL เป็นตัวดูดซับ									
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง									
8. สรุป และนำเสนอผลการทดลอง									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การดูดซับ (Adsorption) [2]

2.1.1 ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) หมายถึง การที่โมเลกุลของสารถูกดึงเข้ามาติดผิวของสารดูดซับหรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับสารดูดซับหรือตัวดูดซับ (Adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำจะถูกดูดซับได้ ส่วนสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ แต่จะมีความสัมพันธ์กับแรงตึงผิวและพื้นที่ผิว ดังสมการ (2.1) เมื่อความตึงผิว (Surface tension) หรือพื้นที่ผิว (Surface area) เปลี่ยนไป จะเป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพลังงานอิสระที่ผิว ($\Delta G_{surface}$)

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

เมื่อ $\Delta G_{surface}$ = พลังงานอิสระของก๊บที่ผิว

γ = ความตึงผิว

A = พื้นที่ผิว

ปริมาณสารถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ความดัน และพลังงานศักย์ของอันตรกิริยา (Interaction potential energy) ระหว่างสารถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซกับสารดูดซับ ที่อาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง

2.1.2 กระบวนการดูดซับ (Adsorption process) [9]

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

การดูดติดผิว (Adsorption) จะเป็นกระบวนการกักพวกสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำโดยอยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้เรียกว่าสารถูกดูดซับ ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่าสารดูดซับการดูดติดผิวนี้จะเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะต่าง ๆ ทั้ง 3 สถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ และของแข็ง ซึ่งมีได้ทั้งแบบของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะแบบของเหลว-ของแข็ง (Liquid–solid interface) ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำ และไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับ และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อย เพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

ประเภทของการดูดซับ

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

1. การดูดซับทางกายภาพ

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

2. การดูดซับทางเคมี

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

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

2.1.2.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ในปี ค.ศ.1916 เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่ายสุด โดยมีสมมติฐานคือ 1) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption) เท่านั้น ซึ่งแรงที่ใช้เป็นแรงดึงดูดแบบอ่อนๆ สามารถผันกลับได้ 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวน และตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน 3) ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้กัน จากการศึกษาไอโซเทอมของแลงเมียร์ที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลายได้ดังสมการ (2.2)

$$q_e = (q_m K C_e) / (1+KC_e) \quad \text{.....(2.2)}$$

$$1/q_e = (1+KC_e) / (q_m K_L C_e)$$

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

$$1/q_e = (K/C_e) + (1/q_m) \quad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ q_e = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (mg/g)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (mg/l)

q_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่สูงสุด (mg/g)

K = ค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์ (l/mg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.1.2.2 ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช (Freundlich isotherm)

ในปี ค.ศ.1880-1941 นักฟิสิกส์-เคมีชาวเยอรมัน ฟินเลย์ ฟรุนดลิช (Finlay Freundlich) ได้เสนอสมการ ที่มีสมมติฐานว่า พื้นผิวตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นผิวตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) การดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer adsorption) ไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นที่ผิวของตัวดูดซับเพียงชั้นเดียวเสมอไป ใช้ได้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ ได้แสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายดังสมการ (2.4)

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

เมื่อ C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการดูดซับที่สมดุล

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

จากสมการฟรุนดลิช เมื่อใส่ลอการิทึม (Logarithm) จะได้สมการที่ 2.5

$$\log q_e = \log k_f + (1/n) \log C_e \quad \text{.....(2.5)}$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ที่อุณหภูมิคงที่จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกนสามารถนำมาหาค่า k_f ได้ และความชันของกราฟเป็น 1/n

2.1.3 ชนิดของตัวดูดซับ [10]

ตัวดูดซับ (Adsorbent) หมายถึง สารที่มีอำนาจดูดซับสารอื่นไว้บนผิวได้ ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะ และความมีขั้วของผิว สามารถแบ่งสารดูดซับเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะขั้วของผิว คือ ชนิดที่มีขั้ว ได้แก่ ซีโอไลท์ (Zeolites) ซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นต้น และชนิดไม่มีขั้ว ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น

1. Zeolites

เป็นสารประกอบของอลูมิโนซิลิเกต ประกอบด้วย ซิลิกอน 1 อะตอม และออกซิเจน 4 อะตอม โดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติพบในประเทศญี่ปุ่นและประเทศใกล้เคียง นิยมใช้ในการดูดซับความชื้น กลิ่น เพื่อทำให้น้ำบริสุทธิ์รวมทั้งแยกไอออนของแอมโมเนียหรือธาตุของโลหะหนักออกจากน้ำและชนิดสังเคราะห์มีความจำเพาะในการดูดซับสูงมาก สามารถดูดซับสารที่ขนาดเล็กกว่า 4 อังสตรอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Alumina หรือ Aluminum Oxide

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

3. Silica gel

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

4. ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

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

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

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

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

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

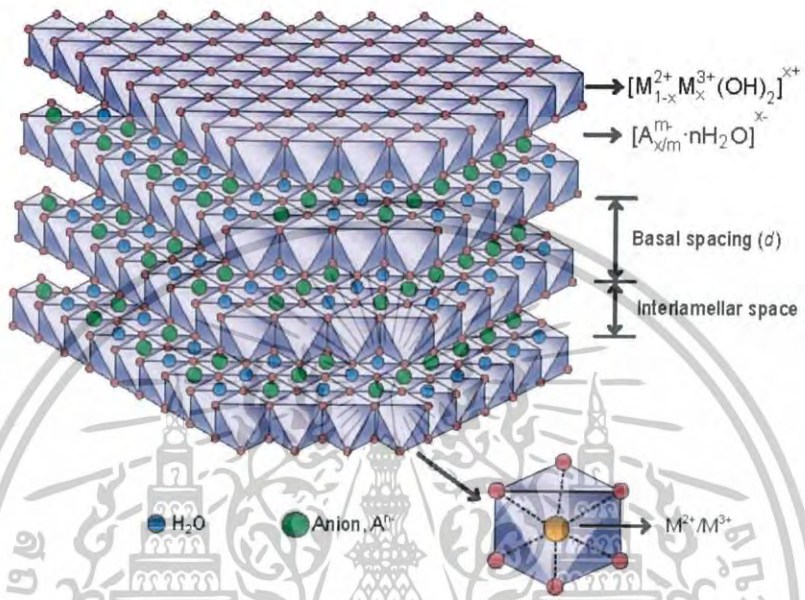
A^{n-} เป็นไอออนลบระหว่างชั้นของแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์ (Interlayer anion)

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

วัสดุเหล่านี้เป็นแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวกจะเรียงตัวอยู่เป็นชั้น ๆ และมีประจุลบ เช่น CO_3^{2-} Cl^- และ NO_3^- กับโมเลกุลของน้ำอยู่ในระหว่างชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์ เพื่อรักษาประจุโดยรวมให้เป็นกลาง ตามที่แสดงในรูปที่ 2.1 โดยที่ประจุลบกับโมเลกุลของน้ำในระหว่างชั้นสามารถแลกเปลี่ยนประจุลบของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์อื่น ๆ จากน้ำที่ปนเปื้อนได้ แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบอย่างมากโดยคุณสมบัติของประจุที่พื้นที่ผิวและในระหว่างชั้น โดยทั่วไปแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์มักเป็นประจุลบแบบ Multivalent มากกว่าแบบ Monovalent ยกตัวอย่าง เช่น CO_3^{2-} จะถูกดูดซับแบบพิเศษ และไม่สามารถแลกเปลี่ยนโดยประจุลบอื่น ๆ ได้ แต่เมื่อ A^{n-} เป็น Cl^- และแอมโมเนียจะถูกใช้เป็นตัวตกตะกอนในกระบวนการสังเคราะห์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ Layered double hydroxides [3]

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

ในการทดลองมีการควบคุมพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ให้เท่ากับ 7 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า IEP จึงทำให้ตัวดูดซับ LDH แสดงประจุบวกที่พื้นผิว จึงสามารถดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ซึ่งเป็นประจุลบได้

ในงานวิจัยนี้ ตัวดูดซับที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นเป็นเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ของ แมกนีเซียม-อะลูมิเนียม (Mg-Al LDH) ซึ่งจะมีโครงสร้างหลัก คือ ไฮดรอกไซด์ชั้นคู่ผสมระหว่างโลหะประจุ +2 และโลหะประจุ +3 ที่พื้นผิวและในระหว่างชั้นมีคลอไรด์ไอออนกับน้ำ ซึ่ง LDH ไม่เพียงแต่จะประกอบด้วยคลอไรด์ไอออน ยังสามารถแทนที่ได้อย่างง่ายดายโดยประจุลบอื่น ๆ แต่อนุภาคนาโนคอลลอยด์ของ LDH มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเล็ก และสามารถแพร่กระจายได้ง่ายในน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของประจุลบอื่น ๆ จะเพิ่มขึ้น ดังนั้น LDH จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นเอกลักษณ์และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุไอออน

2.3 สีย้อม [11]

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของสีย้อม

สีย้อม คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมวัสดุสิ่งทอ สีย้อมที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียดที่สร้างมาเพื่อดูดซึมหรือดูดซับแสง โดยการทำให้อยู่บนหรือในผิวหน้าของวัตถุแล้วเกิดการแพร่แทรกซึมเข้าสู่ภายในโครงสร้างของวัตถุ เพื่อที่จะทำให้วัตถุนั้นมีสีขึ้นมา สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดจะไม่สามารถละลายน้ำ แต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใยโดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิกหรือโควาเลนต์กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง สีที่เห็นจากสีย้อมนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้นมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปคตรัมที่ต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกัน จะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงที่ช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กันไป ซึ่งสายตาสามารถรับภาพโมเลกุลของสีย้อมต่างโทนสีกัน จะแสดงสีให้เราเห็นสายตาออกมาต่างกันไป ซึ่งความคงทนจะต่างกันไปในแต่ละประเภทและการยึดเกาะของสีประเภทนั้น ๆ

2.3.2 การแบ่งประเภทสีย้อม

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

1. สีที่มีหมู่ช่วยละลายถาวร (Permanent solubilising group)

กลุ่มนี้จะมีหมู่ช่วยละลายที่เกาะอยู่บนโครงสร้างสีอย่างถาวร แม้ว่าจะมีการผ่านกระบวนการใด ๆ หมู่ช่วยละลายก็ยังคงอยู่บนโครงสร้างสีหรือแม้กระทั่งสีที่เกาะบนผ้าแล้วก็ตาม แบ่งได้เป็น

1.1 หมู่ที่แสดงประจุลบ (Anionic group) ได้แก่ หมู่ซัลโฟเนต (Sulphonate) หมู่คาร์บอกซิลเลต (Carboxylate) ฯลฯ ในกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำออกมามักจะแตกตัวออกมาให้เป็นไอออนลบของตัวสีในน้ำ กลุ่มนี้จะละลายตัวได้ดีในสภาวะเบส จึงทำให้สีกลุ่มนี้เกิดการแตกตัวได้ดียิ่งขึ้น หมู่ซัลโฟเนตนั้นจะให้ความเป็นกรดที่แก่กว่าหมู่คาร์บอกซิลเลต ดังนั้นค่าของตัวสีที่มีหมู่ซัลโฟเนตนั้นจะแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวได้ต่ำกว่า ยังมีผลทำให้ความสามารถในการทนสภาวะกรดได้สูงกว่าด้วย ตัวอย่างของสีในกลุ่มนี้ ได้แก่ สีไดเร็กท์ สีแอซิด ฯลฯ

สีไดเร็กท์ (Direct dye) หรืออาจเรียกว่า สีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้สีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นสีสังเคราะห์ชนิดแรกที่สามารถย้อมติดใยฝ้ายโดยตรงไม่ต้องเติมสารช่วยย้อมใด ๆ ปัจจุบันมีการใช้เกลือเข้าช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้การย้อมดีขึ้น สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย ทนแสง เช่น คองโกเรด (Congo Red) เป็นต้น

สีเอซิด (Acid dye) สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์มีประจุลบละลายน้ำได้ดีส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีเอซิดบางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน ใยขนแกะ ไหม และอะคลิริกได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอซิดไม่ทนการซัก ไม่ทนเหงื่อ

สีรีแอคทีฟ (Reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีคุณสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH^-) ของเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนท์ ในสภาวะที่เป็นด่างกลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอกทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75°C และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิปกติ สีรีแอกทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ

1.2 หมู่ที่แสดงประจุบวก (Cationic group) ได้แก่ หมู่เอมีนชนิดทุติยภูมิ (2°Amine) หมู่เอมีนชนิดตติยภูมิ (3°Amine) กลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำจะเกิดการดึงโปรตอนจากโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากอิเล็กตรอนคู่อิสระของอะตอมของไนโตรเจนในหมู่เอมีน ทำให้สีกลุ่มนี้สามารถละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด เพราะว่ามีโปรตอนในระบบมาก ซึ่งหมู่อัลคิลที่เกาะอยู่กับอะตอมของไนโตรเจนยิ่งมากเท่าไร ก็จะทำให้อิเล็กตรอนคู่อิสระของไนโตรเจนมีความหนาแน่นยิ่งขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดึงโปรตอนจากน้ำได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ความเป็นเบสสูงขึ้น ทำให้ตัวสีที่มีค่าต่ำกว่าและสามารถที่จะทนได้สูงขึ้น ตัวอย่างของสีกลุ่มนี้ ได้แก่ สีเบสิก เนื่องจากว่าพีเอชของสารละลายจะมีผลต่อการแสดงประจุของสีนั้น ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการแตกตัวออกมา จะเห็นได้ว่าการละลายของสี ใน 2 กลุ่มนี้จะเป็นกลไกการละลายด้วยการทำลายพันธะ ดังนั้นการให้ความร้อนเข้าสู่ระบบก็จะทำให้สีนั้นสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น

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

1.3 หมู่ที่ไม่แสดงประจุ (Non-ionic group) ในกลุ่มนี้จะแตกต่างจาก 2 กลุ่มแรกซึ่งเป็นสีมีความว่องไวต่อพีเอชของสารละลายมากกว่า ในขณะที่สีกลุ่มนี้จะว่องไวต่ออุณหภูมิของสารละลายมากกว่า เนื่องจากสีกลุ่มนี้ไม่มีหมู่ที่แสดงประจุใด ๆ บนโครงสร้าง แต่จะมีหมู่ที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy) หมู่เอมีนปฐมภูมิ (1°Amine) หมู่ซัลโฟนาไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Sulphonamide) และหมู่อีเธอร์ (Ether) เมื่อให้พลังงานความร้อนเข้าไปก็จะทำให้พลังงานพันธะระหว่างสีย้อมและน้ำถูกทำลายลงไปด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง สีในกลุ่มนี้ ได้แก่ สีดิสเพอร์ส ฯลฯ

สีดิสเพอร์ส (Disperse dye) เป็นสีที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่กระจายตัวได้ดี นิยมใช้ย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ และอะคริลิก การย้อมจะใช้สารพา (Carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนตรัสออกไซด์ สีดิสเพอร์สแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณากลุ่มเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (Azo dyes) และสีย้อมอะมิโน แอนทราคิวโนน (Amino antraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทธาโนลามีน (Ethanolamine; $NH_2CH_2CH_2CH$) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

2. สีที่มีหมู่ช่วยละลายชั่วคราว (Temporary solubilising group)

กลุ่มนี้มักจะมีหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ ที่สามารถทำปฏิกิริยาระหว่างย้อมสีแล้วกลายเป็นหมู่ที่ละลายน้ำหรือไม่ก็เป็นหมู่ที่มีมากับตัวสีย้อมเองอยู่แล้ว แต่เมื่อนำมาย้อมบนผ้าแล้ว หมู่เหล่านี้จะถูกทำให้กลายเป็นหมู่ที่ไม่ละลายน้ำเหมือนเดิมหรือไม่ก็ถูกเปลี่ยนรูปใหม่ให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้สีกลุ่มนี้จะมีความคงทนต่อการเปียกสูง แบ่งได้เป็น

2.1 หมู่ที่แสดงประจุลบ ได้แก่ ฟินอกไซด์ (Phenoxide) ซัลเฟต (Sulphate) กลุ่มนี้ก็เช่นเดียวกับหมู่ประจุลบที่ถาวรในแง่ของความสามารถละลายได้ในสภาวะเบส โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมู่ฟินอกไซด์ที่สามารถละลายได้ในเบสแก่ เช่น สารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่านั้น ตัวอย่างของสีที่ใช้หมู่ฟินอกไซด์เป็นหมู่ช่วยละลายขณะย้อม ได้แก่ สีวัต สีอะโซอิก ฯลฯ ในขณะที่ หมู่ซัลเฟตนั้นมีความเป็นกรดที่สูงกว่า จึงสามารถละลายในสภาวะที่เป็นเบสอ่อนกว่าฟินอกไซด์ โดยที่สามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นกลางได้ สีในกลุ่มนี้ ได้แก่ สีโซลูบิไลซ์วัต (Solubilised Vat dyes)

สีอะโซอิค (Azoic dye) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอล คือ ละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัว เป็นสี (Coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพแนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิคใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอนหรืออะซิเตท สีอะโซอิคเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขัดถู

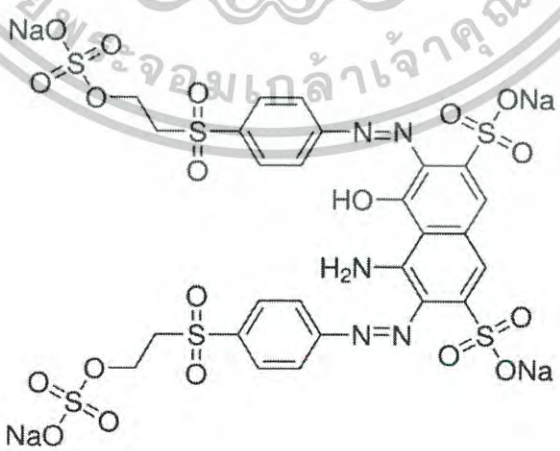
สีแว็ต (Vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีแว็ตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแว็ตจะถูกรีดิวส์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็นสีแว็ต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนใหญ่แล้วสีย้อมที่ปนเปื้อนมาจากน้ำเสียจะมาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง ทำให้มีการพัฒนาทั้งทางด้านกระบวนการผลิต และการแข่งขันสูงขึ้น เพื่อเพิ่มปริมาณสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบในทุกขั้นตอนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การถักผ้า และการฟอกย้อมก็ตาม โดยวัตถุดิบที่ใช้ เช่น สีย้อมผ้า สารเคมี เป็นต้น บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดละลายน้ำไม่ได้ จึงทำให้น้ำมีสภาพแปรเปลี่ยนไปหรือที่เราเรียกว่า น้ำเสีย เช่น อุณหภูมิสูงขึ้น มีกลิ่น มีสี ตลอดจน ทำให้สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำตาย เนื่องจากมีสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณที่สูง ทำให้ขาดออกซิเจน และผลกระทบของน้ำเสียนี้ยังเป็นตัวยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ต่าง 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 สีรีแอกทีฟ สีเอซิด สีเบสิก สีไดเร็กท์ สีแว็ต สีดิสเพอร์ส เป็นต้น ผลเสียที่เกิดขึ้นจากสีนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้ว ยังลดอัตราการนำเข้าของออกซิเจนที่เข้าสู่ผิวหน้าของแหล่งน้ำ และบดบังปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกลงสู่ผิวน้ำ ทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทำให้สัตว์อาจตายได้ ดังนั้น การวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงาน จึงมีความจำเป็นในการป้องกันปัญหามลพิษที่แหล่งกำเนิดและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย โดยมีการศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบการบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนด

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ $C_{26}H_{21}N_5Na_4O_{19}S_6$ มวลโมเลกุล 991.82 g/mol โดยมีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ Reactive Black 5 [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 อันตรายที่เกิดจากสีย้อม

ส่วนใหญ่แล้วสีย้อมนั้นจะใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมากเป็นอันดับหนึ่ง ซึ่งสีย้อมที่ใช้นั้นเป็น สีสังเคราะห์จากสารเคมีทั้งสิ้น ซึ่งส่วนประกอบของสีย้อมนั้นจะเป็นพวกโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ปรอท สารหนู และโครเมียม เป็นต้น ซึ่งเป็นสีที่ไม่สามารถรับประทานได้ แต่พบว่ามีการนำสีย้อมเหล่านี้ไปใช้ในการบริโภคโดยใช้เป็นสีผสมอาหาร ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกาย ถ้าหากได้รับปริมาณมากสะสมเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้ อันตรายจากโลหะในสีย้อม ได้แก่

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

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

โครเมียม : ถ้าพอกพูนในร่างกายเกินขนาด จะทำให้เป็นอันตรายมาก เกิดอาการเฉียบพลัน มีอาการเวียนศีรษะ กระหายน้ำอย่างรุนแรง อาเจียน หมดสติ และเสียชีวิตในเวลาต่อมา เนื่องจากไตไม่ทำงาน

สารหนู : ถ้าพอกพูนในร่างกายมาก ๆ จะเกิดอันตรายต่อประสาท เช่น ระบบทางเดินอาหารผิดปกติ ตับอักเสบ และเกิดอันตรายต่อวงจรโลหิตที่ไปเลี้ยงหัวใจ อาจทำให้หัวใจวายได้

2.4 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ [12]

เนื่องจากการย้อมผ้าในโรงงานฟอกย้อมนั้นส่วนใหญ่จะเป็นสีย้อมและสารเคมี ซึ่งเหลือตกค้างอยู่ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตและจะถูกปล่อยลงแหล่งน้ำทิ้ง แม้จะมีการโต้เถียงกันว่า สีย้อมไม่ควรถูกจัดให้เป็นสารก่อมลภาวะในน้ำ ตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมมาตรฐาน น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้สีในน้ำทิ้งไม่เป็นที่น่ารังเกียจ แต่เนื่องจากทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่พึงประสงค์ต่อคนทั่วไป ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมก่อนปล่อยออกจากโรงงาน ต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อทำการกำจัดสารต่าง ๆ รวมทั้งสีที่ตกค้างก่อน วิธีการบำบัดสีมี ดังนี้

2.4.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical coagulation)

เป็นกระบวนการกำจัดสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมักใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นก่อนกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา สารตกตะกอนที่นิยมใช้ คือ ปูนขาว สารส้ม เฟอร์รัสคลอไรด์หรือเฟอร์ เทคนิคนี้สามารถกำจัดสีออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจะมีลักษณะแตกต่างไปตามชนิดของโมเลกุลสีย้อม ถ้าสีย้อมมีโมเลกุลเล็ก เช่น สีประเภทสีแอสิด สีรีแอคทีฟ เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้ม โมเลกุลของสีจะถูกดูดซับบนอนุภาคของสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้ง จากนั้นทำให้น้ำทิ้งเป็นกลางก่อนปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง แต่วิธีดังกล่าวไม่สามารถทำได้ จึงต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการตกตะกอนให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอน เช่น โพลีอิเลคโตรไลท์ ซึ่งต้องใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากความเข้มข้นของโพลีอิเลคโตรไลท์ที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งจะส่งผลเสียต่อกระบวนการไนตริฟิเคชั่น

2.4.2 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological treatment process)

กระบวนการนี้อาศัยจุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นมาใหม่ที่มีการดูดซับสีย้อม ทำให้สามารถบำบัดสีได้ แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

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

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

2.4.3 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

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

2.4.4 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone treatment)

โดยทั่วไปโมเลกุลสีย้อมจะมีหมู่โครโมฟอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์เป็นพวกวงแหวนกับพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยว ดังนั้น การที่จะทำลายโมเลกุลของสีนั้นต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็น พันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวก่อน ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้ กระบวนการกำจัดสีโดยใช้โอโซนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ไม่นานนัก ซึ่งอาจได้รับความนิยมถ้าหากมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งเข้มงวดขึ้น การโอโซเนชั่น (Ozonation) เป็นการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำทิ้งอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวดเร็ว เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นโมเลกุลของสีย้อมส่วนใหญ่มักประกอบด้วยไนโตรเจน คลอรีนหรือซัลเฟอร์ จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า สารเริ่มต้นเดิม

2.4.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane technology)

กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี และนำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสีบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. ไมโครฟิลเตรชั่น (Microfiltration) ใช้ในการกำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ ที่ถูกปล่อยออกจากหม้อย้อมหลังจากผ่านการล้าง โดยใช้กำจัดสีย้อมประเภทสีซัลเฟอร์ สีแวต และสีอะโซอิกที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้ายและวิสคอส (Viscose) ส่วนสีดิสเพอร์สที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทโพลีเอสเทอร์ โดยสีย้อมดิสเพอร์สที่ผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชั่นแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

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

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

2.4.6 นาโนฟิลเตรชั่น (Nanofiltration)

ใช้กำจัดสีย้อมประเภทสีรีแอคทีฟที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย เนื่องจากการย้อมสีรีแอคทีฟจะต้องใช้ สารอิเลคโตรไลท์เข้ามาช่วยในการย้อมสี เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเลคโตรไลท์เหล่านี้ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

2.4.7 เทคโนโลยีใหม่ ๆ (New technology)

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

1. ตัวดูดซับชนิดอนินทรีย์ ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และมีการนำมาใช้กันอยู่ในโรงงานประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การกำจัดสีย้อม อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นสีที่สูงหรือมีสารเจือปนก็ตาม ซึ่งต้นทุนวิธีนี้ต่ำกว่าเทคนิคอื่น ๆ ที่คล้ายกัน ดังนั้นเทคนิคนี้จึงคุ้มค่าต่อการพิจารณาต่อไป

2. ระบบที่มีอิเล็คโตรไลซิส จะต้องใช้พลังงานสูง บางครั้งคลอรีนและไฮดรอกซีเรดิคัลสามารถเกิดขึ้นได้เอง ทำให้เกิดการแตกพันธะอย่างควบคุมไม่ได้ ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์หรือพืชแห้ง เช่น ผักตบชวา จะมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ เซลลูโลส มีหมู่ฟังก์ชันไว้แลกเปลี่ยนไอออนหรือโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สารลดแรงตึงผิว [13]

สารลดแรงตึงผิวมีบทบาทที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในแต่ละวันเราใช้สารลดแรงตึงผิวแทบทุกกิจกรรม เช่น การทำความสะอาดร่างกายและของใช้ การใช้เครื่องสำอาง การย่อยอาหาร กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวก็มีบทบาทที่สำคัญในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ในการกำจัดคราบน้ำมันและสิ่งสกปรก ในการกำจัดสารแขวนลอยหรือคลอรอยด์ในน้ำ การเลือกประเภทของสารลดแรงตึงผิว ปริมาณหรือความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว รวมถึงสภาวะอื่นๆให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานต่างๆเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อทำให้สารลดแรงตึงผิวทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและไม่สร้างปัญหาเพิ่มให้กับสิ่งแวดล้อม สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่จะสามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ ทั้งนี้ความสามารถในการถูกย่อยสลายจะขึ้นกับโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว รวมทั้งปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่จากการใช้ การใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณที่เหมาะสม นอกจากจะช่วยลดต้นทุนการบำบัดแล้วยังมีส่วนช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม การศึกษาและการพัฒนาการนำสารลดแรงตึงผิวมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ให้มากขึ้นโดยเฉพาะทางด้านสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งในอนาคต

2.5.1 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว หรือ Surface Active Agent มีชื่อเรียกโดยทั่วไปทางวิทยาศาสตร์ว่า " Surfactant " สารลดแรงตึงผิวเดิมทีเดียวมาจากภาษาเยอรมันว่า Tensid ซึ่งตั้งโดยนักเคมีชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1960 สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) ส่วนที่ไม่ชอบน้ำมักจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน คือมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนใหญ่จะมาจากไขมันและน้ำมันตามธรรมชาติ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และโพลีเมอร์สังเคราะห์ ลักษณะที่สำคัญของสารลดแรงตึงผิวคือเมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวเพียงเล็กน้อยลงในน้ำ สารลดแรงตึงผิวจะไปลดแรงตึงผิวของน้ำเพื่อให้เกิดกระบวนการต่างๆ ง่ายขึ้น เช่น การเกิดฟอง การทำให้เปียก และกระบวนการทำความสะอาด เป็นต้น ส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะพยายามหนีน้ำโดยไปเกาะกับพื้นผิวที่ว่าง เช่น อากาศ ส่วนที่ชอบน้ำจะยังคงอยู่ในน้ำ สารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทซึ่งแบ่งตามลักษณะหรือประจุของส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) ได้แก่

1. สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic ให้ประจุบวก ส่วนมากมักจะเป็นพวก quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10-11) เนื่องจาก ammonium salt จะมีการสูญเสียประจุบวกทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สารลดแรงตึงผิวประเภท cationic จะทำให้เกิดการระคายเคืองมากกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภท anionic นิยมใช้ในพวกน้ำยาปรับผ้านุ่ม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์จัดแต่งทรงผม ตัวอย่างเช่น Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ $[C_{16}H_{33}N(CH_3)_3]^+Br^-$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic ให้ประจุลบ ส่วนมากแสดงอยู่ในรูป carboxylate sulfate sulfonate หรือ phosphate สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภท ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด น้ำยาล้างจานชาม เป็นต้น โดยใช้มากถึง 49% ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด เนื่องจากสามารถใช้ขจัดคราบสกปรกได้ดี ตัวอย่างเช่น Sodium dodecyl sulphate (SDS) ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ $[CH_3(CH_2)_{11}SO_4]^- Na^+$

3. สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะแตกต่างจากประเภท cationic และ anionic ตรงที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุโดยมีพวก polyether หรือ polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ใช้มากในผงซักฟอก น้ำยาล้างถ้วยชาม ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว เป็นต้น ตัวอย่างเช่น Polyoxyethylene alcohol ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ $C_nH_{2n+1}(OCH_2CH_2)_m OH$

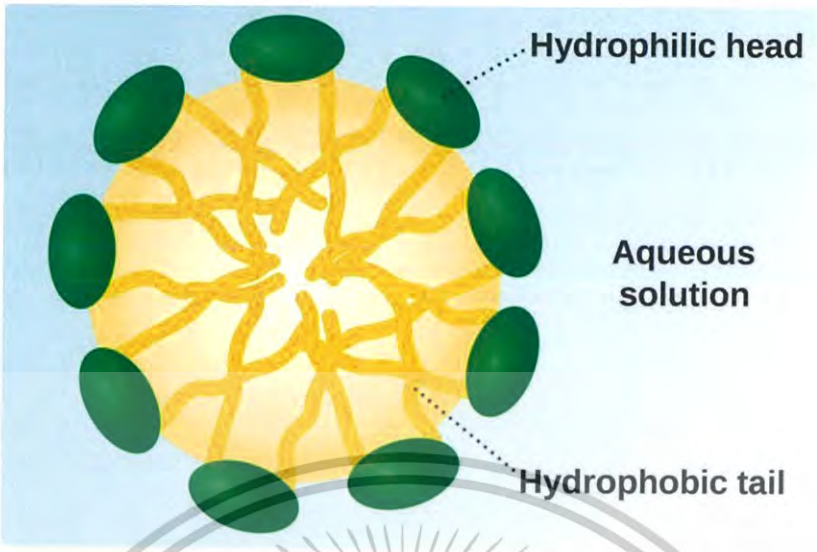
4. สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Zwitterionic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic สามารถให้ทั้งประจุบวกและลบ โดยจะแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสภาวะแวดล้อม ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่าง (pH>7) ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic จะให้ประจุลบ ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นกรด (pH<7) ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic จะให้ประจุบวก และในสภาวะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิวหรือผม ในปัจจุบันมีการใช้งานน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น ตัวอย่างเช่น b-N-Alkylaminopropionic Acids มีสูตรโมเลกุล คือ $RN^+H_2CH_2CH_2COO^-$

สารลดแรงตึงผิวยังมีคุณสมบัติที่ทำให้เฟสสองเฟสที่ต่างกัน ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถมารวมตัวกันได้ ตัวอย่างเช่น น้ำและน้ำมันไม่ละลายซึ่งกันและกันเพราะมีคุณสมบัติที่ต่างกันโดยที่น้ำเป็นสารประกอบที่มีขั้ว ส่วนน้ำมันเป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้ว เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวเข้าไปเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้สองเฟสมารวมกันเป็นเฟสเดียวกันได้

ตัวอย่างโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแสดงดังรูปที่ 2.3 เป็นการแสดงโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวทั่วไปซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ไม่ชอบน้ำ และ รูปที่ 2.4 แสดงการเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวเมื่อวางตัวอยู่ในน้ำ

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวเมื่อวางตัวอยู่ในน้ำ [13]

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวทั้ง 4 ชนิดในการทำให้เกิดฟอง ความสามารถในการซักล้าง และการทำให้พื้นผิวอ่อนนุ่ม จะเห็นว่าสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบจะมีคุณสมบัติทำให้เกิดฟองดีที่สุด ส่วนสารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและลบจะมีคุณสมบัติในการทำให้พื้นผิวอ่อนนุ่มดีที่สุด สารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ในปัจจุบันได้มีการนำสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบความสามารถของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 4 ชนิด ในการทำให้เกิดฟอง การซักล้าง และการทำให้พื้นผิวเกิดความอ่อนนุ่ม

ประเภท / คุณสมบัติ สารลดแรงตึงผิว	การเกิดฟอง	ความสามารถในการซักล้าง	ความสามารถในการทำให้อ่อนนุ่ม
ประจุลบ	ดีที่สุด	ค่อนข้างดี	ไม่แน่นอน
ไม่มีประจุ	ดี	ดี	ดี
ประจุบวก	ไม่ดี	ปานกลาง	ไม่ดี
ประจุบวกและลบ	ค่อนข้างดี	ดี	ดีที่สุด

2.5.2 การนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้ประโยชน์

สารลดแรงตึงผิวมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ในร่างกายมนุษย์ก็มีสารลดแรงตึงผิวประกอบอยู่ เช่น Gall Acid ซึ่งจะย่อยสารประเภทไขมันได้ สารลดแรงตึงผิวมีประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายๆ ด้าน โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ต่างๆ และเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตต่างๆ ได้แก่

1.สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เช่น ผงซักฟอก สบู่ ยาสีฟัน ยาสระผม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์ที่มีฟอง เป็นต้น

2 สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอางและครีมกันแดด

3.สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์ ผลิตยา

4.สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น กระบวนการย้อมผ้า การเคลือบสีไม้หรือโลหะ การผลิตพลาสติก การทำหนังสัตว์ การผลิตเนยเทียม เค้กและไอศกรีม เป็นต้น

5.สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น บำบัดน้ำเสีย กำจัดมลพิษทางดิน ดูดซับของเสีย เป็นต้น

6.สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในกระบวนการสกัดแยก เช่น การสกัดแยกแร่ การแยกน้ำมัน ออกจากน้ำ เป็นต้น

2.6 ข้อมูลทั่วไปของสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ LDH [14]

2.6.1 แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride)

2.6.1.1 ข้อมูลทั่วไปของแมกนีเซียมคลอไรด์

สูตรเคมี : $MgCl_2$
สถานะ : ของแข็ง
จุดหลอมเหลว (°C) : 712
จุดเดือด (°C) : 1465
การละลายน้ำ : ละลาย
ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : กลาง

แมกนีเซียมสามารถถูกสร้างขึ้นได้ในหลายกระบวนการ มีแมกนีเซียมจำนวนมากในน้ำทะเลและสามารถนำมาใช้ได้ในรูปของแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ผ่านปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2OH^-$$
$$Mg^{2+} + 2OH^- \rightarrow Mg(OH)_2$$
$$Mg(OH)_2 + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + 2H_2O$$

2.6.1.2 การประยุกต์ใช้งาน

เมื่อนำแมกนีเซียมคลอไรด์มาใช้ทางด้านเกษตร จะมีผลต่อการเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์การสะสมธาตุอาหารแมกนีเซียม แคลเซียม โปแตสเซียม เหล็ก ทองแดง และแมงกานิส ปริมาณน้ำตาลในใบข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีที่ได้รับสารในระยะวัฒนภาค และระยะสืบพันธุ์ พบว่าข้าวเจ้าหอมในระยะวัฒนภาคตอบสนองแมกนีเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 15 mg/L ที่ 7 วันหลังได้รับสาร ทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งมวลชีวภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ธาตุอาหาร แมกนีเซียม โปแตสเซียม ทองแดง และแมงกานิสสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในต้นข้าวหอมสุพรรณบุรีที่ได้รับสารในระยะสืบพันธุ์ แต่มีการสะสมธาตุแคลเซียมและเหล็กในระยะสืบพันธุ์สูงกว่าระยะวัฒนภาค การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล พบว่าระยะวัฒนภาคมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าในระยะสิบพันธุ์ ต้นข้าวในระยะวัฒนภาคที่อายุ 5 วันหลังได้รับสารความเข้มข้น 15 mg/L เช่นเดียวกับข้าวในระยะสืบพันธุ์อายุ 7 วันหลังได้รับสารความเข้มข้น 10 mg/L พบว่ามีปริมาณน้ำตาลสูงสุด สรุปได้ว่า สารแมกนีเซียมคลอไรด์ที่พ่นให้กับต้นข้าวมีผลทำให้น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ การสะสมธาตุอาหารแมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก ทองแดง แมงกานิส และปริมาณน้ำตาลในใบข้าวเพิ่มขึ้น

2.6.1.3 การเก็บรักษา

- ภาชนะบรรจุที่ว่างเปล่าของสารนี้อาจเป็นอันตรายได้ เนื่องจากมีกากสารเคมีตกค้างอยู่ เช่น ไอระเหย ของเหลว
- ให้สังเกตคำเตือน และข้อควรระวังทั้งหมดที่ให้ไว้สำหรับสารนี้

2.6.1.4 ประโยชน์ของแมกนีเซียมคลอไรด์

- เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตอุตสาหกรรมสิ่งทอ
- ใช้เพิ่มความแข็งแรงของอิฐ

2.6.2 อะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (Aluminium Chloride Hexahydrade)

2.6.2.1 ข้อมูลทั่วไปของอะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต

สูตรเคมี : $AlCl_3 \cdot 6H_2O$
สถานะ : ของแข็ง
จุดหลอมเหลว (°C) : 192
จุดเดือด (°C) : 180
การละลายน้ำ : ละลาย

2.6.2.2 การประยุกต์ใช้งาน

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

2.6.2.3 การเก็บรักษา

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด
- เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้งหลีกเลี่ยงการหายใจ การกลืนกิน การสัมผัสกับผิวหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอทำการเคลื่อนย้ายในที่โล่ง

2.6.2.4 ประโยชน์ของอะลูมิเนียมไฮเดรต

สารนี้ใช้เป็นตัวเร่งที่มีฤทธิ์เป็นกรดในการผลิต สารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้ง เรซิ่นของไฮโดรคาร์บอน เอทิลเบนซีน ไททาเนียมออกไซด์ ใช้ในการผลิตยา ผงซักฟอกที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เอทิลคลอไรด์ สารเคมีทางการเกษตร ยางบิลทิล พลาสติก สารหล่อลื่น สารเพิ่มความหอมและเครื่องสำอางและให้เป็นตัวเร่งในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ใช้เป็นสารละลายอิเล็กโตรไลท์ในการผลิตอะลูมินัม ใช้เป็นสารตัวกลางทางเคมีสำหรับสารประกอบอะลูมินัม ใช้ในการผลิตอะลูมินัมโบโรไรไดรด์ และลิเทียมอะลูมินัมไฮไดรด์

2.6.2.5 ข้อควรระวัง

- การกัดกร่อนโลหะ : สารนี้ในขณะแห้งจะไม่สามารถกัดกร่อนโลหะ แต่ในขณะที่มีความชื้น สารนี้จะมีฤทธิ์กัดกร่อนเหล็กและเหล็กกล้าไร้สนิม
- สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง : ความชื้นและน้ำ
- สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : ไฮโดรเจนคลอไรด์และกรดไฮโดรคลอริค
- อันตรายจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ : ไม่เกิดขึ้น
- สารนี้ไม่สามารถลุกติดไฟได้ แต่ทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำ เกิดกรดไฮโดรคลอริค และความร้อน
- ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความเสถียรคาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ควัน และไอระเหย แต่ทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างรุนแรง

2.6.3 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide)

2.6.3.1 ข้อมูลทั่วไปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

สูตรเคมี : NH_4OH
สถานะ : ของเหลว
จุดหลอมเหลว (°C) : -72
จุดเดือด(°C) : 36
สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง : ความร้อน แสงแดด สารที่เข้ากันไม่ได้ และแหล่งจุดติดไฟ
ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : เบส

2.6.3.2 การประยุกต์ใช้งาน

แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์สามารถใช้งานได้อย่างหลากหลาย ทั้งในด้านเป็นสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ใช้ในกระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน สิ่งทอ เภสัชภัณฑ์ กระดาษ ยาง สารซักฟอก หมึก สารเคมีอินทรีย์ต่าง ๆ ใช้ในงานพัฒนาภาพถ่าย ใช้เป็นปุ๋ย สารทำความสะอาดในบ้านเรือน สารเติมแต่งในอาหาร การสกัดโลหะ และการทำน้ำบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.3 ข้อควรระวัง

การหายใจเข้าไปก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ การหายใจนำสารที่ ความเข้มข้นสูงเข้าไป จะก่อให้เกิดแผลไหม้ น้ำท่วมปอด และอาจตายได้ ความเข้มข้นที่อาจทำให้ตายได้ คือ 5000 mg/L การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อหลอดอาหาร กระเพาะอาหาร และอาจทำให้เยื่อบุช่องท้องทะลุหรืออักเสบ เกิดอาการปวดในปาก อก ท้อง ไอ อาเจียน และหมดสติได้ การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง ปวดตา ทำลายตา และอาจทำให้ตาบอด ส่วนการสัมผัสเป็นระยะเวลานาน จะทำลายเนื้อเยื่อ ทางเดินหายใจส่วนบน ตา และผิวหนังได้ สารนี้ทำลายปอด ทรวงอก ตับ ไต และกระเพาะปัสสาวะ

2.6.4 โซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate)

2.6.4.1 ข้อมูลโดยทั่วไปโซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต

สูตรเคมี : $C_{12}H_{25}NaO_4S$

สถานะ : ของแข็ง

จุดหลอมเหลว (°C) : 204 – 207

ความหนาแน่น : 1.01 ก./ลบ.ซม.

สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง : ความร้อนสูง (ก่อให้เกิดการสลายตัว)

ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : เบส

2.6.4.2 การประยุกต์ใช้งาน

โซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต เป็นสารที่มีคุณสมบัติลดแรงตึงผิวของน้ำ ทำให้เกิดฟอง ช่วยให้สิ่งสกปรก คราบไขมันหลุดออกไปได้ง่ายขึ้น จึงเรียกว่า ว่าเป็นสารทำความสะอาด นิยมใช้ทั้งในวงการอุตสาหกรรมและเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น เครื่องสำอาง น้ำยาล้างจาน (โดยใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้) เครื่องสำอางที่นิยมผสมสารนี้ ได้แก่ เครื่องสำอางที่ใช้แล้วล้างออกด้วยน้ำ เช่น สบู่เหลว แชมพู ตลอดจนยาสีฟัน

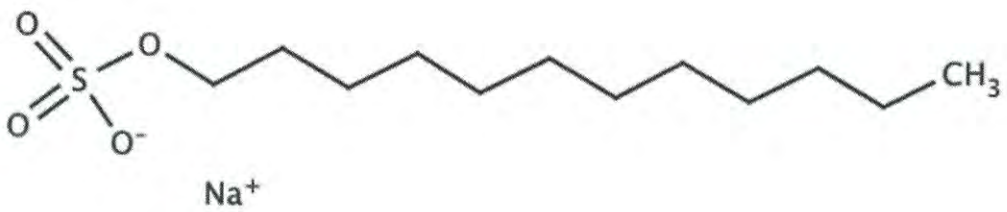
2.6.4.3 ข้อควรระวัง

เป็นอันตรายเมื่อกลืนกิน จะเกิดการระคายเคืองของเยื่อเมือกในปาก หลอดลม หลอดอาหาร และระบบทางเดินอาหาร เมื่อถูกผิวหนังจะระคายเคืองต่อผิวหนังมาก ทำลายดวงตาอย่างรุนแรง เมื่อสูดดมในปริมาณมากอาจระคายเคืองต่อทางการหายใจ ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก ไอ ภาวะหายใจสั้นเร็วแบบรุนแรง และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

2.6.4.4 วิธีการกำจัด

สามารถกำจัดวัสดุโดยกำจัดไปยังโรงงานทำลายสารเคมีที่มีใบอนุญาตหรือโดยการเผาควบคุมก๊าซไอเสีย อย่าปนเปื้อนน้ำ อาหารสัตว์หรือเมล็ดพันธุ์โดยการจัดเก็บหรือกำจัด ห้ามระบายสู่ระบบท่อระบายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างของโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต [14]

2.6.5 โซเดียมโดเดคซิลเบนซีนซัลโฟเนต (sodium dodecyl benzene sulfonate)

2.6.5.1 ข้อมูลโดยทั่วไปโซเดียมโดเดคซิลเบนซีนซัลโฟเนต

สูตรเคมี : $C_{18}H_{29}NaO_3S$
น้ำหนักโมเลกุล : 348.484 g/mol
สถานะ : ของแข็ง
สี : เหลือง
ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : เบส
สารเคมีที่เข้ากันไม่ได้ : สารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง

2.6.5.2 ข้อควรระวัง

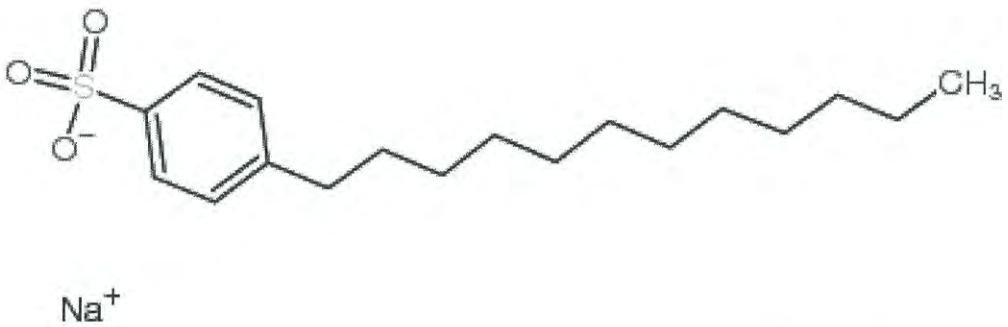
โซเดียมโดเดคซิลเบนซีนซัลโฟเนต มีค่า LD50 (หนู) 1,260 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีพิษปานกลาง เป็นของแข็งคล้ายทรายมีสีขาวหรือสีเหลืองอ่อนๆ เป็นอันตรายถ้ากินหรือหายใจเข้าไปในปริมาณมาก ระคายเคืองต่อจมูก คอ และปอด ทำให้ไอ หายใจมีเสียงดัง และหายใจถี่ ก่อให้เกิดการระคายเคืองเล็กน้อยต่อผิวหนัง

- สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : คาร์บอนออกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)

2.6.6.3 วิธีการกำจัด

สามารถกำจัดวัสดุโดยกำจัดไปยังโรงงานทำลายสารเคมีที่มีใบอนุญาตหรือโดยการเผาควบคุมก๊าซไอเสีย อย่าปนเปื้อนน้ำ อาหารสัตว์หรือเมล็ดพันธุ์โดยการจัดเก็บหรือกำจัด ห้ามระบายสู่ระบบท่อระบายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของโซเดียมโดเดคซิลเบนซีนซัลโฟเนต [14]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

E.Klumpp และคณะ [4] ในปี ค.ศ.2004 ได้ศึกษาการดูดซับ 2,4-dichlorophenol (DCP) บนไฮโดรแทลไซด์ (hydrotalcite) โดยการนำสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ได้แก่ sodium dodecyl sulfate (SDS) and sodium bis[2-ethylhexil]sulfosuccinate (AOT) มาปรับปรุงไฮโดรแทลไซด์. ไอโซเทอมของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบเป็นแบบ H-type ดังนั้นสามารถสันนิษฐานได้ว่ามีกลไกการดูดซับสองวิธี คือ ในขั้นตอนแรกกลไกการแลกเปลี่ยนประจุลบระหว่างไฮโดรแทลไซด์ (NO_3^-) และประจุลบจากสารลดแรงตึงผิว (SDS และ AOT) และกลไกที่สองคือการแลกเปลี่ยนส่วนที่ไม่มีขั้ว (non-polar–non-polar interaction) ระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิวที่ดูดซับไว้แล้วและโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่เข้ามา ผลการศึกษาการแคลไซน์แสดงให้เห็นว่า ไฮโดรแทลไซด์ที่ผ่านการแคลไซด์มีความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าไฮโดรแทลไซด์ที่ยังไม่ปรับปรุงที่ pH เท่ากับ10 และผลการทดลองการดูดซับพบว่า ไฮโดรแทลไซด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว AOT สามารถดูดซับ 2,4-dichlorophenol (DCP) ได้ดีกว่าไฮโดรแทลไซด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว SDS

F.Bruna และคณะ [5] ในปี ค.ศ.2006 ได้ทำการศึกษาการดูดซับสารกำจัดศัตรูพืช Carbetamide และ Metamitron บน hydrotalcite $[Mg_3Al(OH)_8]_2CO_3 \cdot nH_2O$ และ organo hydrotalcites $[Mg_3Al(OH)_8]_2DDS \cdot nH_2O$ ที่ปรับปรุงด้วยโดเดคซิลซัลเฟต dodecyl sulphate (DDS) ในปริมาณที่ต่างกัน จากนั้นนำตัวดูดซับไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD FTIR ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารกำจัดศัตรูพืชทั้งสองชนิดถูกดูดซับด้วย organohydrotalcites ได้ดีกว่าตัวดูดซับ inorganic hydrotalcite ความสามารถในการดูดซับที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างและขั้วของสารกำจัดศัตรูพืช งานวิจัยนี้แนะนำ organohydrotalcites ในการกำจัดศัตรูพืชเนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

O. Gulnaz และคณะ [15] ในปี ค.ศ. 2006 ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วย Dried activated sludge พบว่าระยะเวลาดูดซับมีผลต่อ การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ของ Dried activated sludge ซึ่งการการดูดซับจะเกิดได้ดีในช่วง 15 นาทีแรก สามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 ได้ร้อยละ 50 และเมื่อพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 มีค่าเท่ากับ 2.0 4.0 และ 6.0 ค่าความจุในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 จะมีค่าเท่ากับ 74.00 52.00 และ 14.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 มีค่าเท่ากับ 20 35 และ 50 องศาเซลเซียส ค่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 จะมีค่าเท่ากับ 74.00 62.00 และ 47.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 เป็น 5.00 100.00 และ 200.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ความจุการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 จะมีค่าเท่ากับ 34.00 74.00 และ 104.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

F.R. Costa และคณะ [16] ในปี ค.ศ.2008 ได้ทำการศึกษาวิธีการเตรียมและพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ วัตถุประสงค์ของการปรับปรุงเพื่อเตรียมตัวดูดซับที่เหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้งานใน polymer-LDH nanocomposite การเตรียมตัวดูดซับโดยใช้วิธีการตกตะกอน จากนั้นนำตัวดูดซับไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค wide angle X-ray scattering (WAXS) และ Fourier transform infrared (FTIR) การปรับปรุงเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Mg–Al LDH) แสดงให้เห็นว่ามีระยะห่างระหว่างชั้นมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ยังไม่ได้ปรับปรุง ซึ่งระยะห่างของชั้นขึ้นอยู่กับความยาวของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบที่นำมาปรับปรุง การสลายตัวเนื่องจากความร้อนมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญหลังจากการปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว สัณฐานวิทยาของอนุภาคถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

Y.Li และคณะ [17] ในปี ค.ศ. 2009 ได้ศึกษาการกำจัดสีย้อม RedK-2BP ซึ่งเป็นสีย้อมประเภทประจุลบ โดยกระบวนการดูดซับด้วยเลเยอร์ดับเบิ้ลไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์จาก 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

G.Zhang และคณะ [6] ในปี ค.ศ. 2012 ได้ทำการศึกษาการดูดซับกรดฮิวมิก humic acid บนตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ layer double hydroxide (LDH) เมื่อศึกษาพื้นผิวของตัวดูดซับ organo LDHs แล้วพบว่ามีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำและชอบสารอินทรีย์มากกว่า (organophilic) ดังนั้นความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำจึงดีกว่าตัวดูดซับ inorganic LDHs. ทำการเตรียมตัวดูดซับ organo LDHs (Mg/Al) ที่อัตราส่วน 2:1, 3:1 และ 4:1 ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมแล้วนำมาปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวโดเดคซิวซัลโฟเนต dodecylsulfonate (DSO) จากนั้นทำการศึกษาตัวแปรในการกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดฮิวมิกได้แก่ pH ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มขนของกรดฮิวมิก contact time และ ionic strength ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ตัวดูดซับที่อัตราส่วน 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว สามารถดูดซับกรดฮิวมิกได้ 594.3, 646.7, 428.4 mg/g ตามลำดับ แต่ตัวดูดซับที่ยังไม่ปรับปรุงสามารถดูดซับกรดฮิวมิกได้เพียง 23.77 mg/g. การศึกษาไอโซเทอมพบว่าเป็นไปตามไอโซเทอมของฟรุนดริช และการศึกษาจลน์ศาสตร์พบว่าเป็นไปตามแบบจำลองจลน์ศาสตร์ลำดับที่สอง โดยช่วง pH ในการดูดซับอยู่ที่ pH 5 ถึง 9

P.Wu และคณะ [7] ในปี ค.ศ.2013 ได้ทำการปรับปรุงเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ด้วยสารลดแรงตึงผิวโดเดคซิลซัลเฟต (Dodecylsulfate) โดยการเตรียม Mg/Al ที่อัตราส่วนโมล 2:1 โดยวิธีการตกตะกอนร่วม เพื่อใช้ในการกำจัดสีย้อมชนิดประจุลบ ได้แก่ direct blue G-RB (DB) reactive yellow 4GL (RY) acid red GR (AR)) สีย้อมชนิดประจุบวก ได้แก่ basic blue (BB) และสีย้อมชนิดไม่มีประจุ ได้แก่ disperse red 3B ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดของ DB RY AR DR และ BB คือ 707.76, 392.88, 137.33, 249.24 และ 165.11 mg / g ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 298 K อัตราการเขย่า 150 รอบต่อนาที การดูดซับไม่ได้ขึ้นอยู่กับ pH ในช่วง 5-10 จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อม AR พบว่าไอโซเทอมที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรุนดิค และไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อม DB RY DR และ BB สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์มากที่สุด และการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับของสีย้อมทั้งห้านั้นเป็นไปตามแบบจำลองจลน์ศาสตร์แบบลำดับที่สอง

X.Ruan และคณะ [18] ในปี ค.ศ.2013 ได้ทำการศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์เจือปนในน้ำโดยใช้ตัวดูดซับแมกนีเซียมเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยโดเดคซิวซัลเฟต[DS–Mg–Fe LDH] โดยการเตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม จากนั้นนำไปวิเคราะห์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) Fourier infrared (FT-IR) Total Organic Carbon analysis (TOC) themogravimetric differential thermal analysis (TG-DTA) และ surface characteristics analysis (BET-N_2) จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับตัวดูดซับแมกนีเซียมเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่แทรกด้วยสารอนินทรีย์ (CO_3–Mg–Fe LDH และ NO_3–Mg–Fe LDH). ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า DS–Mg–Fe LDH ให้ผลการดูดซับสารอินทรีย์ได้มากกว่า CO_3–Mg–Fe LDH และ NO_3–Mg–Fe LDH กลไกการดูดซับของ DS–Mg–Fe LDH แปรผันตามประเภทของสารปนเปื้อนอินทรีย์ กราฟการดูดซับของสารอินทรีย์ที่ไม่ชอบน้ำได้แก่ naphthalene nitrobenzene และ acetophenone บน DS–Mg–Fe LDH เป็นกราฟเส้นตรง ในขณะที่กราฟการดูดซับของสารอินทรีย์ที่ชอบน้ำ ได้แก่ aniline ไม่เป็นเส้นตรง และผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถดูดซับสารอินทรีย์ที่มีขั้ว (nitroben และ acetophenone) ได้ดีกว่าสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว (naphthalene) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งความไม่ชอบน้ำและขั้วมีผลต่อการดูดซับของ DS–Mg–Fe LDH.

ทิพย์วิมล สุขวานิชย์เจริญ และคณะ [3] ในปี ค.ศ. 2015 ได้ศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ด้วยตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม (MMH) ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมระหว่างแมกนีเซียมคลอไรด์และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อลูมิเนียมคลอไรด์ในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ พร้อมกับศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม ได้แก่ พีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมของ MMH ปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ จากผลการทดลองพบว่าสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และ รีแอคทีฟออเรนจ์ 16 ถูกกำจัดได้มากที่สุด เมื่อใช้พีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 เท่ากับ 4 ตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมเป็น 3 ต่อ 1 ปริมาณของตัวดูดซับ MMH อยู่ที่ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ คือ 120 นาที และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าไอโซเทอมที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์มากที่สุด

R.Lafi และคณะ [19] ในปี ค.ศ. 2016 ได้ทำการเตรียม layered double hydroxides (MgAl-LDH) ที่อัตราส่วน Mg:Al คือ 2:1 เพื่อใช้ในการดูดซับสีย้อมคองโกเรด โดยศึกษาที่ตัวแปรต่างๆ ได้แก่ pH เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิ ไอโซเทอม และจลน์ศาสตร์ ผลการทดลอง pH ที่ใช้ในการดูดซับอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 2.7 ถึง 10.2 เวลาที่ใช้ในการดูดซับที่ความเข้มข้นของสีย้อม 20 ถึง 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลาในการดูดซับเข้าสู่สมดุลที่ 20 นาที และที่ความเข้นของสีย้อม 120 ถึง 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลาในการดูดซับเข้าสู่สมดุลที่ 140 นาที การศึกษาผลของอุณหภูมิในการดูดซับพบว่าเป็นไปตามกระบวนการดูดความร้อน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น จะสามารถดูดซับสีย้อมได้เพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาจลน์ศาสตร์พบว่ากระบวนการดูดซับเป็นไปตามแบบจำลองจลน์ศาสตร์แบบลำดับที่สองและจากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าไอโซเทอมที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์มากที่สุด

ปาลิตา แซ่ลิ้ม และคณะ [20] ในปี ค.ศ. 2017 ได้ศึกษากระบวนการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด โดยตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ผสมระหว่างแมกนีเซียมอลูมิเนียม ซิงค์ไอรอน และซิงค์อลูมิเนียม ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม พร้อมกับศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการกำจัดสีย้อม ได้แก่ ผลของชนิดตัวดูดซับ ผลของปริมาณตัวดูดซับ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิในการดูดซับ ผลของอัตราการเขย่าในการดูดซับ ผลของอัตราส่วนโดยโมล และผลของการแคลไซน์ตัวดูดซับ จากการทดลองพบว่า ซิงค์ไอรอนสามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้สูงสุดถึงร้อยละ 77.01 โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา 60 นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้อัตราเร็วในการเขย่า 50 รอบต่อนาที อัตราส่วนโดยโมลของซิงค์ต่อไอรอนที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 คือ 1:1 และเมื่อนำตัวดูดซับไปผ่านการแคลไซน์สามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้มากกว่าไม่ผ่านการแคลไซน์ และจากการทดลองพบว่า แมกนีเซียมอลูมิเนียมสามารถกำจัดสีย้อมคองโกเรดได้สูงสุดถึงร้อยละ 71.10 โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา 60 นาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้อัตราเร็วในการเขย่า 250 รอบต่อนาที อัตราส่วนโดยโมลของแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมคองโกเรดคือ 1:1 และเมื่อนำตัวดูดซับไปผ่านการแคลไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถกำจัดสีย้อมคองโกเรดได้สูงสุดถึงร้อยละ 98.86 จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าไอโซเทอมที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์มากที่สุด

B.Zhang และคณะ [21] ในปี ค.ศ.2017 ได้ทำการเตรียม layered double hydroxides (MgAl-LDH) ที่อัตราส่วน Mg:Al คือ 2:1 จากนั้นนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ Sodium hexanesulfonate (SHS) sodium nonanesulfonate (SNS) และ sodium dodecanesulfonate (SDS) เพื่อใช้ในการดูดซับสีย้อมได้แก่ acid red GR (AR-GR) disperse orange 11 (DO-11) และ basic yellow 2 (BY-2) โดยตัวแปรที่ศึกษามีดังนี้ ปริมาณตัวดูดซับต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม pH เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิ ไอโซเทอม จลน์ศาสตร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า MgAl-LDH ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SNS สามารถกำจัดสีย้อมได้ในวงกว้างซึ่งสามารถกำจัดได้ทั้ง สีย้อมประจุลบ สีย้อมประจุบวก และสีย้อมที่ไม่มีประจุ ในส่วนของ MgAl-LDH ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS สามารถกำจัดสีย้อมประจุบวกและไม่มีประจุได้อย่างยอดเยี่ยม และ MgAl-LDH ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SHS มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมประจุลบ

S.W.Puasa และคณะ [22] ในปี ค.ศ. 2018 ได้ทำการศึกษากระบวนการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟบลู 4 โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว palm-based esterquat (PBE) โดยใช้วิธีการสังเคราะห์ direct impregnation และวิธีการ isolated impregnation ผลของการทดลองพบว่าวิธีการ direct impregnation สามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟบลู 4 ได้ร้อยละ 39.67 โดยใช้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว PBE 128 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา 5 ชั่วโมง ในขณะที่วิธีการ isolated impregnation สามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟบลู 4 ได้ถึงร้อยละ 84.19 โดยใช้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว PBE 38 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา 7 ชั่วโมง สรุปผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟบลู 4 โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว PBE ด้วยวิธีการสังเคราะห์ isolated impregnation มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการ direct impregnation อย่างมีนัยสำคัญ

R.P.F. Melo และคณะ [23] ในปี ค.ศ.2018 ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟบลู 14 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวคาร์บอกซีเลต โดยใช้กระบวนการดูดซับ 2 ขั้นตอน ขั้นที่หนึ่งได้แก่ การละลายของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นภายในไมเซลลาร์ และขั้นที่สองได้แก่ สารละลายแคลเซียมจะถูกเติมเข้าไปในระบบที่มีไมเซลล์ทำให้เกิดการตกตะกอนของสารลดแรงตึงผิวในรูปแบบของตะกอน ซึ่งสามารถดูดซับสารประกอบอินทรีย์เข้ามาที่พื้นผิวของตะกอน และจะถูกกำจัดออกจากน้ำโดยกระบวนการแยกทางกายภาพ จากนั้นศึกษาตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว อุณหภูมิ contact time และ pH ผลการทดลองแสดงดังนี้ ความเข้มขนของสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 1300 ppm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับสีย้อมได้ถึง 86% ใช้ contact time เข้าสู่สมดุลที่ 90 นาที และ pH ที่เหมาะสมเท่ากับ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
4. ซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
5. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
7. โซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต ($NaC_{12}H_{25}SO_4$, SDS) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
8. โซเดียโดเดคซิวเบนซีนซัลโฟเนต ($NaC_{18}H_{29}SO_3$, SBS) บริษัท Sigma Aldrich จำกัด เกรดวิเคราะห์
9. โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด เกรดวิเคราะห์
10. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
11. ไอโอดีน (I_2) บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด เกรดวิเคราะห์
12. รีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) บริษัท Sigma Aldrich จำกัด เกรดวิเคราะห์
13. น้ำกลั่น

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระจกนาฬิกา
2. ช้อนตักสาร
3. โกร่งบดสาร
4. แท่งแก้ว
5. หลอดหยด
6. จุกยางสำหรับดูดสาร
7. กรวยแก้ว
8. บีกเกอร์ขนาด 50 100 250 และ 600 มิลลิลิตร
9. ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 50 100 250 และ 500 มิลลิลิตร
10. ปิเปตขนาด 5 10 25 และ 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. กระบอกตวง 10 และ 50 มิลลิลิตร
12. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
13. กระดาษกรองเบอร์ 1 และ 42
14. กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์
15. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
16. ขาตั้งและที่จับบิวเรต
17. เครื่องปั่นกวนและแท่งแม่เหล็ก
18. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter)
19. เครื่องเหวี่ยงตะกอน
20. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบ 4 ตำแหน่ง
21. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
22. เตาเผา (Muffle Furnace)
23. ตู้ดูดควัน
24. ตู้อบ (Oven)
25. เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (compact shaking incubator)
26. เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) ยี่ห้อ LABTECH
27. เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractrometer, XRD) รุ่น D8 Advance ยี่ห้อ Bruker AXS
28. เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ (X-ray Fluorescence, XRF) รุ่น SRS 3400 ยี่ห้อ Bruker AXS
29. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น QUANTA 250 ยี่ห้อ FEI
30. เครื่องวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) รุ่น Pyris 1 TGA ยี่ห่อ Perkin
31. เครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟาเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR) รุ่น IRTracer-100 ยี่ห่อ SHIMADZU

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ MAL และ sur-MAL

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3.3.1.3 สารละลาย NH_4OH 83 % V/V ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

- ตวง conc. NH_4OH มา 833 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.3.1.4 สารละลายโซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต (SDS) ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

- ชั่ง SDS มา 11.5722 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.3.1.5 สารละลาย โซเดียมโดเดคซิวเบนซีนเบนซีนซัลโฟเนต (SBS) ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

- ชั่ง SBS มา 13.9392 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.3.2 การเตรียมตัวดูดซับ MAL ด้วยวิธีการตกตะกอน

ในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมตัวดูดซับ MAL ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมของ $MgCl_2$ และ $AlCl_3$ ที่อัตราส่วน Mg/Al ต่างๆกันดังนี้

3.3.2.1 นำ $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 2:1 (MAL-2.0)

3.3.2.2 นำ $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 3:1 (MAL-3.0)

3.3.2.3 นำ $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 4:1 (MAL-4.0)

<u>ตัวอย่าง</u> วิธีการเตรียมตัวดูดซับ MAL-2.0

1. ปิเปตสารละลาย $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 33.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายที่มีความเข้มขัน 0.67 โมลาร์

2. ปิเปตสารละลาย $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 16.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายที่มีความเข้มขัน 0.33 โมลาร์

3. นำสารละลาย จากข้อ 1. และ ข้อ 2. เทลงในบีกเกอร์แล้วใช้เครื่องปั่นกวนให้สารละลายผสมเข้ากัน

4. ตวงสารละลาย NH_4OH 83 % V/V ต่อ H_2O อัตราส่วน 5 ต่อ 1 บรรจุลงในบิวเรต

5. ค่อยๆทำการไขสารละลายในข้อ 4. จากบิวเรตลงในสารละลายในข้อ 3. พร้อมทำการปั่นกวนจนกระทั่งสารละลายมีพีเอชอยู่ในช่วง 10.2 ถึง 10.4

6. ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

7. นำตะกอนที่ได้มาเข้าเครื่องเหวี่ยงตะกอน และทำการล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งไม่มีคลอไรด์ไอออนเหลืออยู่ ตรวจสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตซึ่งจะไม่เกิดตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์จากน้ำกลั่นที่ผ่านการล้างตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. อบตะกอนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นแบ่งตะกอนเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเครื่อง XRD และ XRF วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FTIR และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน TGA ส่วนที่สองคือตัวดูดซับ MAL ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 2:1 ซึ่งจะนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ส่วนที่สาม นำไปปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบและทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ต่อไป

9. ทำซ้ำข้อ 1-8 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al โดยใช้ความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายต่างๆ ตามตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตและอะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MAL

ตัวดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$		$AlCl_3 \cdot 6H_2O$	
		ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (ml)	ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (ml)
MAL-2.0	2:1	0.67	50	0.33	50
MAL-3.0	3:1	0.75	50	0.25	50
MAL-4.0	4:1	0.80	50	0.20	50

หมายเหตุ 1. ความเข้มข้นของสารละลาย $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ และ $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ตามตาราง จะใช้จาก stock solution

2. เลือก MAL จากตาราง 3.1 ซึ่งให้การดูดซับสีย้อมสูงสุดมาปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวในขั้นต่อไป

3.3.3 การเตรียมตัวดูดซับ sur-MAL

ในงานวิจัยนี้จะทำการปรับปรุงตัวดูดซับ MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิว SDS และ SBS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL เป็น 0.1:1, 0.25:1, 0.5:1, 1:1 และ 2:1

ตัวอย่าง วิธีการเตรียมตัวดูดซับ 0.5-SDS-MAL

1. เลือก MAL จากตาราง 3.1 ซึ่งให้การดูดซับสีย้อมสูงสุดมาปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวมาใส่บีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น ให้สารละลายมีความเข้มข้น 1 % w/w (1 กรัม MAL ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร)

2. นำสารลดแรงตึงผิวโซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต (SDS) ความเข้มขัน 40 มิลลิโมลาร์ ที่เตรียมไว้บรรจุในบิวเรต ค่อยๆไขลงในสารละลายข้อ 1. ปริมาตร 43.2 มิลลิลิตรเพื่อให้มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL เป็น 0.5:1 พร้อมกับปั่นกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. เมื่อครบเวลาตามกำหนดนำไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดันหรือใช้เครื่องเหวี่ยงตะกอน ล้างน้ำกลั่น 3-4 ครั้งเพื่อล้างสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อบตะกอนที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นแบ่งตะกอนเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเครื่อง XRD และ XRF วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FTIR และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน TGA ส่วนที่สองคือตัวดูดซับ 0.5-SDS-MAL ซึ่งจะนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ต่อไป

5. ทำซ้ำข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL โดยใช้ปริมาตรของสารละลายและชนิดของสารลดแรงตึงผิวตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาตรของสารละลายโซเดียมโดเดคซิวซัลเฟตและโซเดียมโดเดคซิวเบนซีนซัลโฟเนตที่ใช้ในการสังเคราะห์ sur-MAL

ชนิดสารลดแรงตึงผิว	ตัวดูดซับ	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก Surfactant/MAL (กรัม/กรัม)	ปริมาตรสารลดแรงตึงผิวที่ใช้สังเคราะห์ (มิลลิลิตร)
โซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต (SDS)	0.1-SDS-MAL	0.1:1	8.6
	0.25-SDS-MAL	0.25:1	21.6
	0.5-SDS-MAL	0.5:1	43.2
	1.0-SDS-MAL	1:1	86.4
	2.0-SDS-MAL	2:1	172.8
โซเดียมโดเดคซิวเบนซีนซัลโฟเนต (SBS)	0.1-SBS-MAL	0.1:1	7.2
	0.25-SBS-MAL	0.25:1	17.9
	0.5-SBS-MAL	0.5:1	35.8
	1.0-SBS-MAL	1:1	71.8
	2.0-SBS-MAL	2:1	143.6

3.3.4 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

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

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

3. ปิเปตสารละลายตัวอย่างความเข้มข้น 50 ppm จาก stock solution II ตามปริมาตรในตารางที่ 3.3 ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำมาตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 598 นาโนเมตร นำผลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานต่อไป

ตารางที่ 3.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

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

3.3.5 การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ MAL และ sur-MAL เป็นตัวดูดซับ

ตอนที่ 1 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของตัวดูดซับ MAL ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ก่อนที่จะปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว

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

2. ปรับพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น 0.1 โมลาร์ หรือปรับด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ จนได้ค่าพีเอชเท่ากับ 7

3. เติมตัวดูดซับ MAL ที่สังเคราะห์ได้จากตอน 3.3.2 ปริมาณ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (สารละลาย 50 มิลลิลิตร จะใช้ปริมาณตัวดูดซับ MAL 40 มิลลิกรัม) จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) เป็นเวลา 120 นาที

4. เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำสารละลายไปกรองแบบลดความดันเพื่อนำตัวดูดซับ MAL ออกจากสารละลาย จากนั้นนำสารละลายที่ผ่านการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 598 นาโนเมตร เพื่อให้ทราบความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ

5. สภาวะของการทดลอง เพื่อศึกษาผลของชนิดตัวดูดซับ MAL แสดงดังตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 สภาวะการทดลองผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของตัวดูดซับ MAL ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของตัวดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ (°C)	ความเข้มข้นของสีย้อม (mg/L)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
MAL	2:1	800	120	30	100	150
	3:1					
	4:1					

หมายเหตุ : 1. พีเอชของสารละลายสีย้อม เท่ากับ 7

2. เลือกชนิดของตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมที่ดีที่สุดมาทำการปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของการปรับปรุง MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิวที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ต่างกัน ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกชนิดของตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุดจากตอนที่ 1 นำมาปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวโซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต(SDS) และโซเดียมโดเดคซิวเบนซีนซัลโฟเนต(SBS) โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สภาวะการทดลองผลของการปรับปรุง MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิวที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ต่างกัน ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของตัวดูดซับ	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก Surfactant/MAL	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ (°C)	ความเข้มข้นของสีย้อม (mg/L)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
SDS-MAL	0.1:1	800	120	30	100	150
	0.25:1					
	0.5:1					
	1:1					
	2:1					
SBS-MAL	0.1:1	800	120	30	100	150
	0.25:1					
	0.5:1					
	1:1					
	2:1					

หมายเหตุ : 1. พีเอชของสารละลายสีย้อม เท่ากับ 7

2. เลือกชนิดของตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมที่ดีที่สุดมาทำการศึกษาผลของสภาวะการดูดซับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของพีเอชของสารละลายสีย้อมที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุดจากตอนที่ 2 และทำการปรับพีเอชของสารละลายสีย้อมตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สภาวะการทดลองผลของพีเอชของสารละลายสีย้อมที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของตัวดูดซับ	พีเอชสารละลายสีย้อม	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ (°C)	ความเข้มข้นของสีย้อม (mg/L)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
SDS-MAL จากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	3	800	120	30	100	150
	5					
	7					
	9					
	11					
SBS-MAL จากตารางที่ 3.5 ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	3	800	120	30	100	150
	5					
	7					
	9					
	11					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตอนที่ 4</u> การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL และค่าพีเอชของสารละลายสีย้อมที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุดจากตอนที่ 2 และ 3 มาทำการการเปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สภาวะการทดลองผลของปริมาณตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของตัวดูดซับ	พีเอชสารละลายสีย้อม	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ (°C)	ความเข้มข้นของสีย้อม (mg/L)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
SDS-MAL จากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	600 800 1000 1200 1400	120	30	100	150
SBS-MAL จากตารางที่ 3.5 ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	600 800 1000 1200 1400	120	30	100	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตอนที่ 5</u> การศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ค่าพีเอชสารละลายสีย้อม และปริมาณตัวดูดซับที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุดจากตอนที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับมาทำการการเปลี่ยนเวลาในการดูดซับตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 สภาวะการทดลองผลของเวลาที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของตัวดูดซับ	พีเอชสารละลายสีย้อม	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ (°C)	ความเข้มข้นของสีย้อม (mg/L)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
SDS-MAL จากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	30 60 120 180	30	100	150
SBS-MAL จากตารางที่ 3.5 ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	30 60 120 180	30	100	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 6 การศึกษาผลของอุณหภูมิการดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ค่าพีเอชสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ และเวลาในการดูดซับที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุดจากตอนที่ 2 3 4 และ 5 ตามลำดับมาทำการเปลี่ยนอุณหภูมิในการดูดซับตามตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 สภาวะการทดลองผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของตัวดูดซับ	พีเอชสารละลายสีย้อม	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ (°C)	ความเข้มข้นของสีย้อม (mg/L)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
SDS-MAL จากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.8 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	30 45 60	100	150
SBS-MAL จากตารางที่ 3.5 ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.8 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	30 45 60	100	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 7 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับที่มีผลในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

การศึกษาการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ว่าเป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์หรือฟรุนดลิช มีขั้นตอนการทดลองและการคำนวณดังนี้

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ค่าพีเอชสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ และอุณหภูมิในการดูดซับที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุดจากตอนที่ 2-6 มาทำการเปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (C_i) ตามตารางที่ 3.10 จากนั้นหาความเข้มข้นสีย้อมที่สภาวะสมดุล (C_e)

ตารางที่ 3.10 สภาวะการทดลองในการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL

ชนิดของตัวดูดซับ	พีเอชสารละลายสีย้อม	ปริมาณตัวดูดซับ (mg/L)	เวลาในการดูดซับ (นาที)	อุณหภูมิการดูดซับ (°C)	ความเข้มข้นของสีย้อม (mg/L)	อัตราเร็วในการเขย่า (รอบ/นาที)
SDS-MAL จากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.8 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.9 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	50	150
					100	
					200	
					400	
SBS-MAL จากตารางที่ 3.5 ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.7 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.8 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	เลือกจากตารางที่ 3.9 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสูงที่สุด	50	150
					100	
					200	
					400	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำนวณหาปริมาณของสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่ภาวะสมดุล (q_e) จากสมการที่ (3.1)

$$q_e = (C_i - C_e)V / W \quad \text{..... (3.1)}$$

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

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

$$1/q_e = (K/C_e) + (1/q_m) \quad \text{..... (3.2)}$$

$$\log q_e = \log k_f + (1/n)\log C_e \quad \text{..... (3.3)}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL

ตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL ที่ได้จากการสังเคราะห์ในตอนที่ 3.3.2 และ 3.3.3 จะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

3.3.6.1 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟ-แฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractrometer, XRD)

รูปที่ 3.1 เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractrometer, XRD)

3.3.6.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ (X-ray Fluorescence, XRF)

รูปที่ 3.2 เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ (X-ray Fluorescence, XRF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6.3 สัณฐานวิทยาของตัวดูดซับด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

3.3.6.4 วิเคราะห์เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวดูดซับโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)

รูปที่ 3.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6.5 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับด้วยเครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟาเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR)

รูปที่ 3.5 เครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟาเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR)

3.3.6.6 วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวดูดซับด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารที่ใช้สำหรับการดูดซับไอโอดีน

1.1 สารละลาย HCl 5% W/W ปริมาตร 620 มิลลิลิตร

- ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 70 มิลลิลิตร เทลงในน้ำกลั่นที่มีปริมาตร 550 มิลลิเมตร จากนั้นคนให้เข้ากัน

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

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

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

- ละลาย $Na_2S_2O_3$ 24.820 กรัม ในน้ำกลั่น 75 ± 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Na_2CO_3 0.10 ± 0.01 กรัม เทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยน้ำกลั่น เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น

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

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

1.5 น้ำแป้ง

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

2. วิธีเทียบมาตรฐานของสารละลาย

2.1 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

- ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2.0 ± 0.01กรัม เขย่าสารละลายให้เข้ากัน เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยดน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

2.2 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน

- ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยดน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน

3.1 ชั่งตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL จำนวน 0.0500 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2 ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% โดยน้ำหนัก 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ในข้อ 3.1 ปิดด้วยจุกยางแล้วเขย่าเบาๆ

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

3.4 ปิเปตสารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว มา 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ในข้อ 3.3 ปิดด้วยจุกยางทันทีแล้วทำการเขย่าแรงๆ เป็นเวลา 30 ± 1 วินาที จากนั้นกรองสารละลายผ่านกระดาษกรองพับจีบเบอร์ 42

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

3.6 ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 3.1 ถึงข้อ 3.5 ทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำค่าทั้งหมดมาเฉลี่ย เพื่อหาค่าการดูดซับของไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

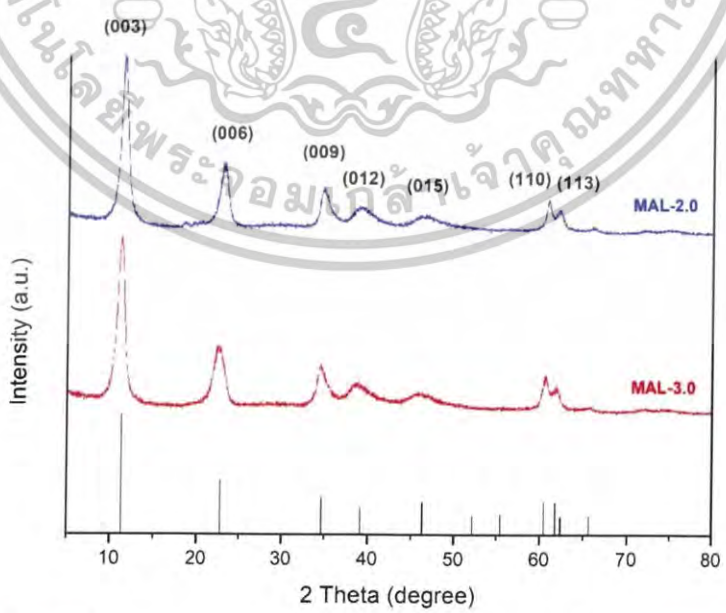
บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์และศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่เป็นโลหะผสมระหว่างแมกนีเซียมและอะลูมิเนียม (MAL) ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวได้แก่ โซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต (SDS) และ โซเดียมโดเดคซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SBS) ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยการนำเสนอผลการวิจัยและการอภิปรายผลกล่าวถึงคุณสมบัติของ MAL และ sur-MAL และอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบและอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL พีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเพื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ

4.1.1 โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL

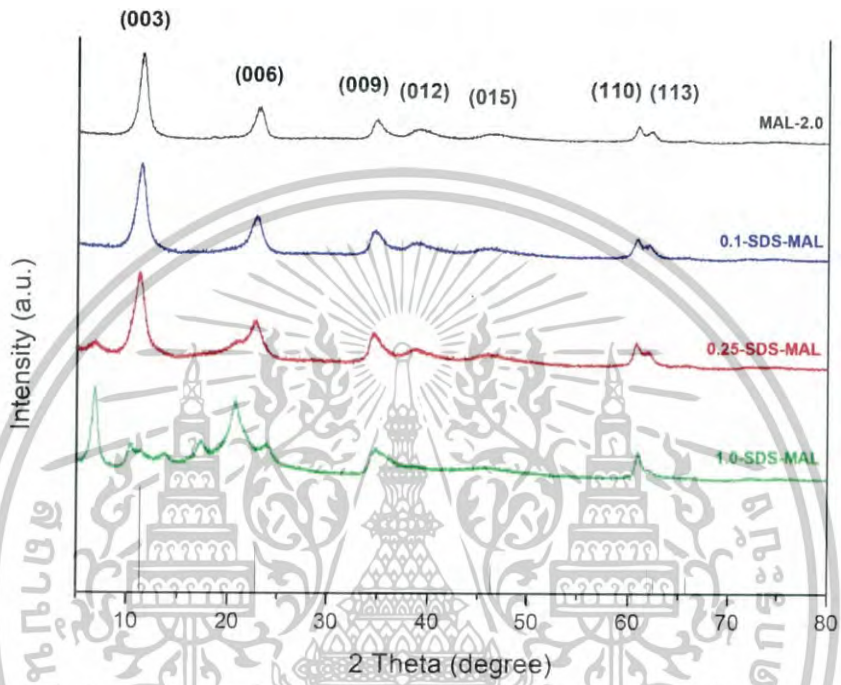
ตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL ถูกนำไปวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 2:1 และ 3:1 แสดงในรูปที่ 4.1 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MAL ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS และ SBS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.1:1 0.25:1 และ 1.0:1 แสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al 2:1 และ 3:1

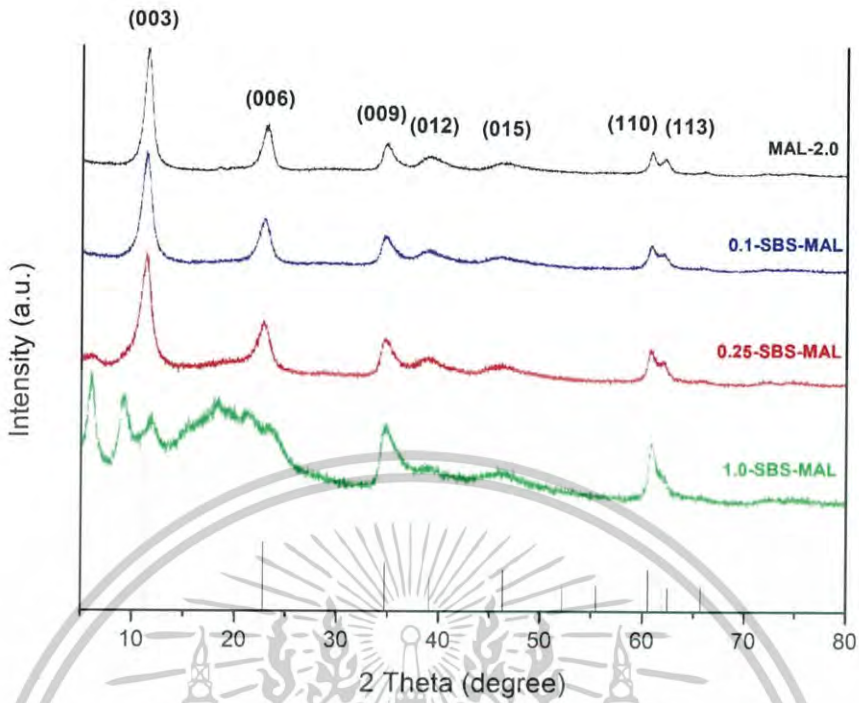
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาดิฟแฟรคโทแกรมของ MAL ที่อัตราส่วนโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 2:1 และ 3:1 ดังรูปที่ 4.1 พบว่าตำแหน่งที่ 2θ เท่ากับ 11.33° 22.84° 34.74° 39.13° 46.36° 60.59° และ 61.89° ตรงกับการเลี้ยวเบนของระนาบ (003) (006) (009) (012) (015) (110) และ (113) ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของ MAL ที่มีการจัดเรียงโครงสร้างเป็นชั้น (Layer structure) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Teixeira และคณะ [24]



รูปที่ 4.2 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ SDS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก SDS/MAL 0.1:1 0.25:1 และ 1.0:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ SBS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก SBS/MAL 0.1:1 0.25:1 และ 1.0:1

เมื่อพิจารณาดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MAL ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS และ SBS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.1:1, 0.25:1 และ 1.0:1 ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ พบว่าการปรับปรุง MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิวที่อัตราส่วน 0.1:1 และ 0.25:1 นั้นตัวดูดซับ sur-MAL ยังคงโครงสร้างที่เป็นผลึกเช่นเดียวกันกับ MAL 2.0 นั่นคือ พบพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 11.33° 22.84° 34.74° 39.13° 46.36° 60.59° และ 61.89° ซึ่งตรงกับการเลี้ยวเบนของระนาบ (003) (006) (009) (012) (015) (110) และ (113) เป็นพีคเอกลักษณ์ของ MAL ที่มีการจัดเรียงโครงสร้างชั้น (Layer structure) นอกจากนั้นพบว่ามุม 2θ ที่ระนาบ (003) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างระนาบ (interlayer spacing) ของ sur-MAL มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะได้กล่าวในลำดับต่อไป

เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL เป็น 1.0:1 พบว่าตำแหน่ง 2θ ของระนาบ (003) และ (006) มีการลดลงอย่างมาก และมีพีคเพิ่มขึ้นจากเดิม เป็นผลจากการจัดเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิว เมื่อใส่ในอัตราส่วนเพียง 0.1:1 และ 0.25:1 ความหนาแน่นของสารลดแรงตึงผิวมีปริมาณที่น้อย เกิดการจัดเรียงตัวแบบขนานกับระนาบอะตอมของ MAL แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวเป็น 1:1 ความหนาแน่นของสารลดแรงตึงผิวมีเพิ่มมากขึ้น การจัดเรียงตัวในชั้นของ MAL มีการจัดเรียงตัวใหม่เป็นแบบตั้งฉากกับระนาบอะตอมของ MAL อีกทั้งยังมีผลของแรงปฏิกิริยาระหว่าง **π-π** ระหว่างวงเบนซีนสารลดแรงตึงผิวชนิด SBS ซึ่งส่งผลต่อการจัดเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวในชั้น ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้โครงสร้างผลึกของตัวดูดซับเปลี่ยนไปโดยมีค่าระยะห่างระหว่างชั้นเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ T.Kameda และคณะ [25]

ตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL ถูกนำไปวิเคราะห์ค่าระยะห่างระหว่างระนาบ (interlayer spacing) ของอะตอมด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมของตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 2:1 และ 3:1 แสดงในรูปที่ 4.4 ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมของตัวดูดซับ MAL ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS และ SBS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.1:1 0.25:1 และ 1.0:1 แสดงในรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.1 ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมของตัวดูดซับ MAL-2.0 และ MAL-3.0

ตัวดูดซับ	ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม (อังสตรอม)
MAL-2.0	7.71
MAL-3.0	7.85

รูปที่ 4.4 ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมของตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al 2:1 และ 3:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างระนาบอะตอมของ MAL-3.0 มากกว่า MAL-2.0 เนื่องจาก MAL-3.0 ประกอบด้วยอัตราส่วนโดยโมลของแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 3:1 โดยมีปริมาณอะลูมิเนียมอยู่ร้อยละ 25 ซึ่งน้อยกว่า MAL-2.0 ที่มีปริมาณอะลูมิเนียมร้อยละ 33 ดังนั้นจึงทำให้แรงดึงดูดระหว่างโลหะประจุบวกและอนุภาคประจุลบซึ่งอยู่ใน interlayer มีค่าน้อยกว่า MAL-2.0 เป็นผลให้ระยะห่างระหว่างของอะตอมมากกว่า [26]

ตารางที่ 4.2 ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมของ MAL-2.0 ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS และ SBS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อ MAL 0.1:1 0.25:1 และ 1.0:1

อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL	ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม (อังสตรอม)	
	SDS-MAL	SBS-MAL
0.1 : 1	7.79	7.78
0.25 : 1	7.79	7.78
1.0 : 1	12.64	14.28

รูปที่ 4.5 ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมของ MAL-2.0 ที่ปรับปรุงด้วย SDS และ SBS

เมื่อนำตัวดูดซับ MAL-2.0 มาทำการปรับปรุงด้วย SDS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.1:1 0.25:1 และ 1.0:1 พบว่าระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม 0.1-SDS-MAL และ 0.25-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SDS-MAL มีระยะเท่ากัน คือ 7.79 อังสตรอม แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ SDS ต่อ MAL เป็น 1.0:1 (1.0-SDS-MAL) พบว่าระยะห่างระหว่างระนาบอะตอมมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งสำหรับตัวดูดซับ SBS-MAL ก็ให้ผลในลักษณะเดียวกัน ซึ่งสามารถบอกได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวนั้น จะส่งผลให้ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากสารลดแรงตึงผิวเข้าไปแทรกตัวระหว่างระนาบเพิ่มมากขึ้น การปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SBS ที่อัตราส่วน 1.0:1 มีระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมมากกว่าชนิด SDS ที่อัตราส่วน 1.0:1 อาจเป็นผลจากสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของ SBS นั้นมีสายโซ่ที่ยาวกว่า SDS เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวในอัตราส่วนที่มากขึ้นส่งผลให้ระยะห่างระหว่างระนาบอะตอมของตัวดูดซับที่ปรับปรุงด้วย SBS นั้นมากกว่า SDS อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม SDS-MAL และ SBS-MAL ในทุกๆอัตราส่วนมีระยะมากกว่า MAL-2.0 ที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว

เมื่อเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมของ MAL-2.0 SDS-MAL และ SBS-MAL สามารถสรุปได้ว่า การปรับปรุงตัวดูดซับด้วยสารลดแรงตึงผิวส่งผลให้ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมเพิ่มมากขึ้น โดยตัวดูดซับที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 0.1:1 และ 0.25:1 มีระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมมากกว่าชนิด SBS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเดียวกันเพียงเล็กน้อย อาจเป็นผลเนื่องจากเมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวในปริมาณน้อย SDS ที่มีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่สั้นกว่า SBS สามารถเข้าไปแทรกในระนาบอะตอมโลหะได้มากกว่า จึงทำให้ตัวดูดซับที่ใช้ SDS มีระยะห่างระหว่างระนาบอะตอมมากกว่าตัวดูดซับที่ใช้ SBS เพียงเล็กน้อย เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิว SDS และ SBS ในปริมาณมากขึ้น (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1.0:1) พบว่า SBS-MAL จะมีระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมมากกว่า SDS-MAL อาจเนื่องมากจากโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว SBS ที่เป็นโมเลกุลสายยาวและมีหมู่อะโรมาติกซึ่งเป็นหมู่ที่มีขนาดใหญ่ จึงเกิดการแทรกตัวในชั้นระหว่างระนาบอะตอม และทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมเพิ่มขึ้นมาก

4.1.2 องค์ประกอบของโลหะภายในตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL

ตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 2:1 และ 3:1 และตัวดูดซับ MAL-2.0 ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS และ SBS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.25:1 จะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบที่เป็นโลหะด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ (X-ray Fluorescence, XRF) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

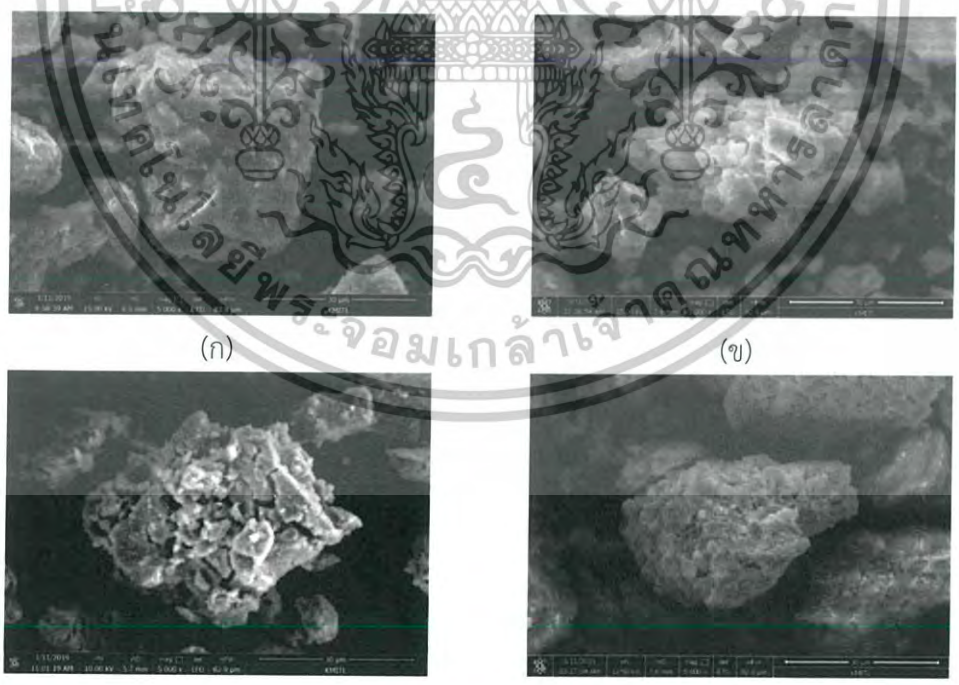
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของโลหะในตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

ชนิดของตัวดูดซับ	Mg (%) โดยน้ำหนัก	Al (%) โดยน้ำหนัก	อัตราส่วนโดยโมล M^{2+}: M^{3+}
MAL-2.0	32.2	17.0	2.10 : 1
MAL-3.0	36.4	14.0	2.88 : 1
0.25-SDS-MAL	28.8	15.2	2.11 : 1
0.25-SBS-MAL	29.3	15.3	2.12 : 1

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ตัวดูดซับ MAL-2.0 MAL-3.0 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL ที่เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมมีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมใกล้เคียงกับอัตราส่วนโมลที่กำหนดไว้

4.1.3 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL

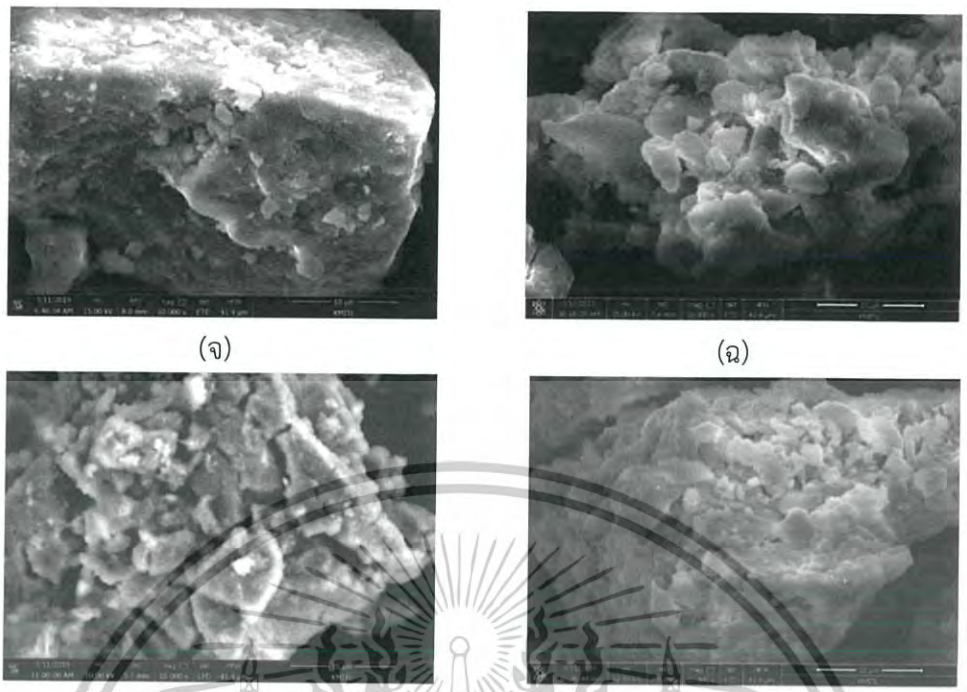
ตัวดูดซับ MAL-2.0 และตัวดูดซับ MAL-2.0 ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว SDS และ SBS จะถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.6



(ก) (ข)

(ค) (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) (ฉ)

(ช) (ซ)

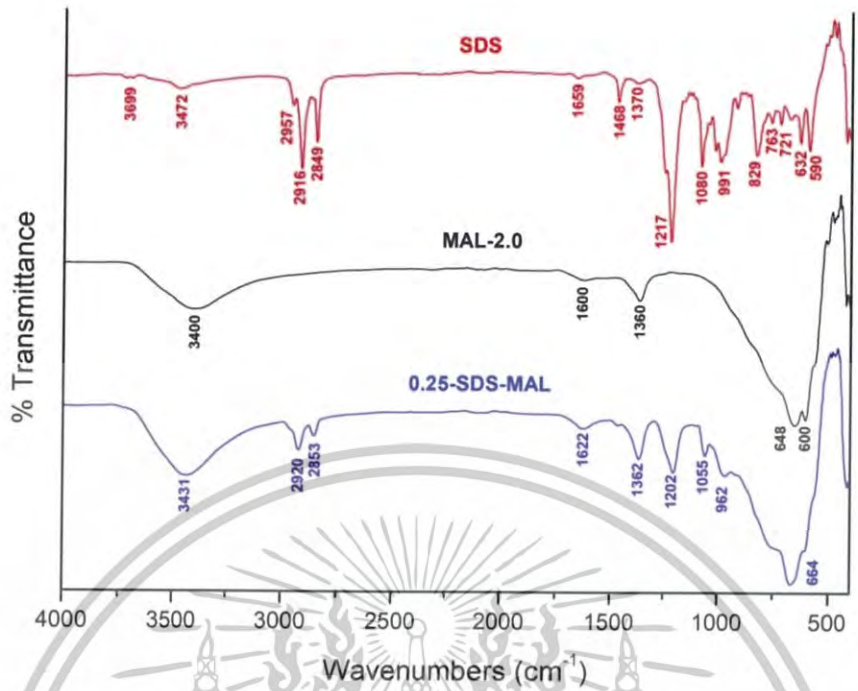
รูปที่ 4.6 ลักษณะพื้นผิวตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) MAL-2.0 (ข) 0.25-SDS-MAL (ค) 0.25-SBS-MAL (ง) 1.0-SBS-MAL (กำลังขยาย 5000 เท่า) (จ) MAL-2.0 (ฉ) 0.25-SDS-MAL (ช) 0.25-SBS-MAL (ซ) 1.0-SBS-MAL (กำลังขยาย 10000 เท่า)

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า ลักษณะพื้นผิวของ MAL-2.0 นั้นมีลักษณะผิวค่อนข้างเรียบ เมื่อปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวจะเห็นได้ว่าลักษณะพื้นผิวของ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL มีลักษณะขรุขระเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวมากขึ้น ลักษณะพื้นผิวของ 1.0-SBS-MAL นั้นมีลักษณะพื้นผิวขรุขระมากขึ้นกว่า 0.25-SBS-MAL

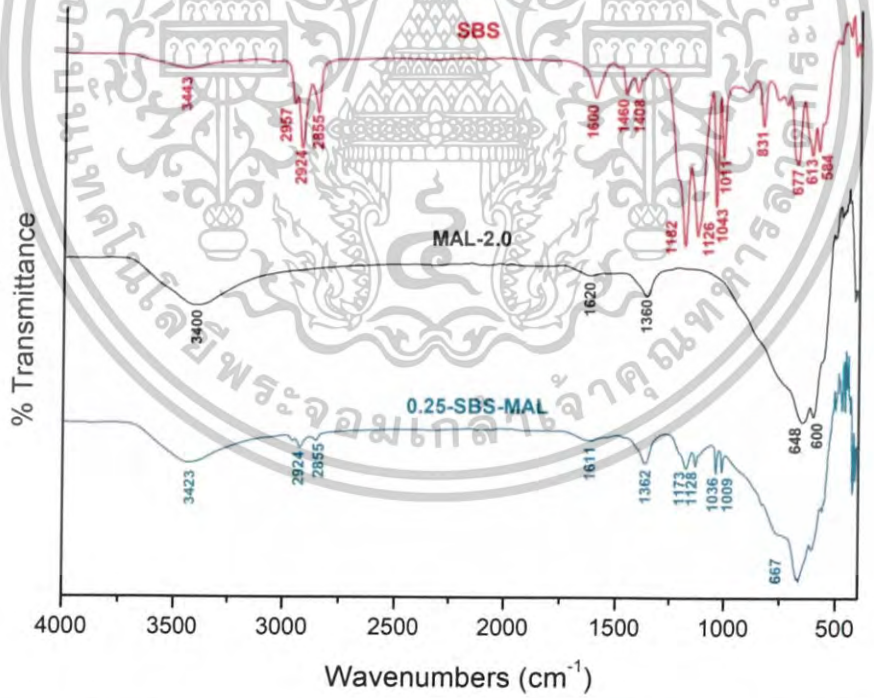
4.1.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL

การหาหมู่ฟังก์ชันของ MAL-2.0 0.25-SDS-MAL 0.25-SBS-MAL และ 0.5-SDS-MAL ที่ยังไม่ผ่านการดูดซับและ 0.5-SDS-MAL ที่ผ่านการดูดซับ ด้วยเครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟาเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR) แสดงดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 FTIR spectrum ของตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL เปรียบเทียบกับ MAL-2.0 และ SDS



รูปที่ 4.8 FTIR spectrum ของตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL เปรียบเทียบกับ MAL-2.0 และ SBS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก FT-IR spectrum ของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่มีอัตราส่วน Mg:Al เป็น 2:1 โดยโมล (MAL-2.0) ในรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าประกอบไปด้วยพีคเอกลักษณ์ที่สำคัญ ได้แก่ การสั่นแบบยืดหดของพันธะ O-H (O-H streching) ของโมเลกุลน้ำในชั้น interlayer ที่เลขคลื่น 3400 cm^{-1} การสั่นแบบบิดงอของพันธะ O-H (O-H bending) ของโมเลกุลน้ำในชั้น interlayer ที่เลขคลื่น 1620 cm^{-1} การสั่นของ CO_3^{2-} อิสระ ที่อยู่ในชั้น interlayer ที่เลขคลื่น 1360 cm^{-1} และการสั่นของพันธะระหว่างโลหะ-ออกซิเจน (M-O) ที่เลขคลื่น 648-600 cm^{-1} [27,28]

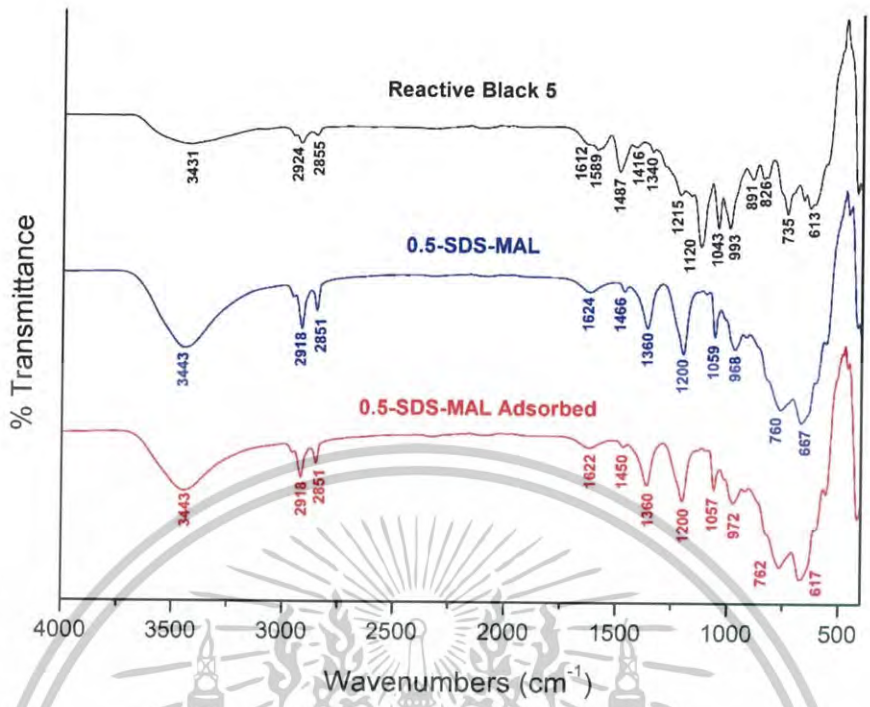
เมื่อนำ MAL-2.0 ไปปรับปรุงด้วย SDS และ SBS จะได้ FT-IR spectrum ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปการสั่นของหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่นต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การสั่นของหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่นต่างๆของ SDS-MAL และ SBS-MAL

ชนิดของการสั่น	เลขคลื่น (cm^{-1}) ของตัวดูดซับ	
	SDS-MAL	SBS-MAL
O-H Streching	3431	3423
$-CH_2-$	2920-2853	2924-2855
-C-O-	1622	1611
-C-O-S	1362	1362
S=O (symmetric)	1202	1173-1128
S=O (asymmetric)	1055	1036
S-O	962	1009
M-O	664	667

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าพีคเอกลักษณ์ของ 0.25-SDS-MAL ประกอบไปด้วยพีคเอกลักษณ์ของ MAL-2.0 และ SDS ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว SDS เข้าไปอยู่ในโครงสร้างของ MAL-2.0 สำหรับ FT-IR spectrum ของ 0.25-SBS-MAL ไม่พบพีคเอกลักษณ์ของ C=C ของวงเบนซีน ซึ่งจะปรากฏที่เลขคลื่น 1600,1460 และ 1408 cm^{-1} [16] โดยเป็นพีคเอกลักษณ์ที่สำคัญของสารลดแรงตึงผิว SBS (รูปที่ 4.8) การที่ตรวจไม่พบพีค C=C ของวงเบนซีนในตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL เนื่องมาจากปริมาณ SBS ที่ใส่ลงใน MAL-2.0 เป็นอัตราส่วนที่น้อยมาก (0.25:1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



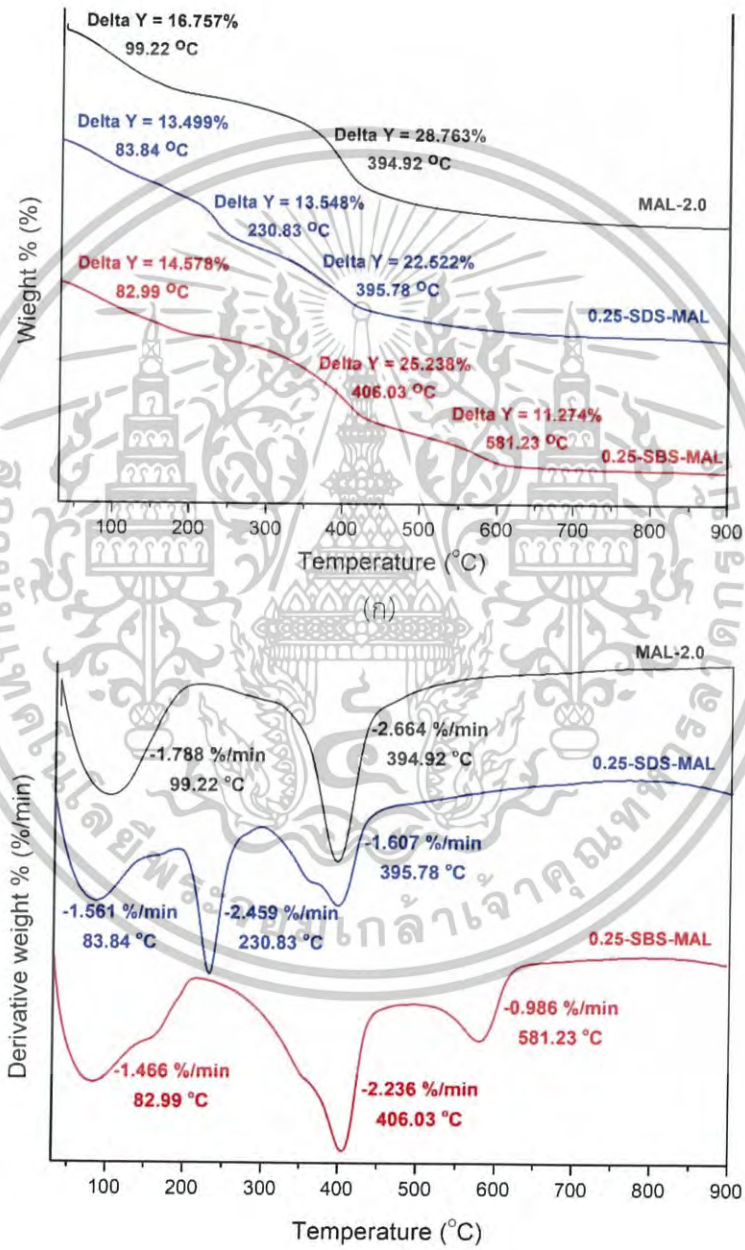
รูปที่ 4.9 FTIR spectra ของตัวดูดซับ 0.5-SDS-MAL เปรียบเทียบกับ 0.5-SDS-MAL ที่ผ่านการดูดซับสีย้อม และสีย้อม Reactive black 5

สีย้อม Reactive black 5 มีโครงสร้างที่มีหมู่พันธะใกล้เคียงกับ SDS-MAL แต่มีหมู่พันธะที่แตกต่างคือมีหมู่ azo เป็นองค์ประกอบซึ่งมี IR Spectrum ของ N=N ที่ความยาวคลื่น 1500-1400 cm^{-1} จากรูปที่ 4.9 นั้น เปรียบเทียบระหว่างตัวดูดซับ 0.5-SDS-MAL ที่ยังไม่ผ่านการดูดซับและตัวดูดซับ 0.5-SDS-MAL ที่ผ่านการดูดซับแล้วนั้น พบว่ามี IR Spectrum ใกล้เคียงกันมาก อีกทั้งยังไม่สามารถพบพีคของเอกลักษณ์ของหมู่ azo ที่ความยาวคลื่น 1500-1400 cm^{-1} อาจเป็นไปได้ว่า IR Spectrum ของสีย้อมอาจถูกบดบังด้วยพีคของตัวดูดซับ 0.5-SDS-MAL เพราะ IR Spectrum ของสีย้อมกับตัวดูดซับ 0.5-SDS-MAL มีลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้แสดงพีคเอกลักษณ์ของหมู่ azo แสดงออกมาไม่ชัดเจน ดังนั้น การใช้เทคนิค FT-IR spectra นั้นไม่สามารถบอกได้ว่าสีย้อมถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับ แต่สามารถบอกได้โดยการใช้เทคนิค UV-Vis Spectrometer ซึ่งจะรายงานผลในส่วนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ความเสถียรต่ออุณหภูมิของตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL

เนื่องจากโครงงานพิเศษนี้มีการปรับปรุงตัวดูดซับ MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS และ SBS ดังนั้นจึงต้องทำการตรวจสอบตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวดูดซับที่อุณหภูมิใด จึงได้ใช้เทคนิค TGA (Thermogravimetric analysis) มาทำการวิเคราะห์อุณหภูมิที่ตัวดูดซับเกิดการสลายตัว ดังนั้นจึงทำการตรวจสอบโดยใช้ตัวดูดซับ MAL-2.0 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผล TG และ DTG ของตัวดูดซับ MAL2.0 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL (ก) TG (ข) DTG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับน้ำหนักของตัวดูดซับที่เปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับ MAL-2.0 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL มีน้ำหนักที่สูญเสียไปในช่วงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนั้นเป็นการสูญเสียน้ำที่อยู่ใน interlayer และน้ำหนักที่สูญเสียไปในช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสนั้นเป็นการสูญเสียของคลอไรด์ คาร์บอเนต และเกิด dehydroxylation ของชั้น metal hydroxide [16] สำหรับตัวดูดซับที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว (SDS-MAL และ SBS-MAL) จะเห็นได้ว่ามีการสลายตัวของน้ำ คลอไรด์ และคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสลายตัวของ MAL เพียงเล็กน้อย แสดงว่าน้ำ คลอไรด์ และคาร์บอเนตสลายตัวได้เร็วขึ้น เนื่องจากผลของระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว

สำหรับ 0.25-SDS-MAL มีน้ำหนักที่สูญเสียที่อุณหภูมิ 230.83 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการสูญเสียของสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS และสำหรับ 0.25-SBS-MAL มีน้ำหนักที่สูญเสียที่อุณหภูมิ 581.23 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการสูญเสียของสารลดแรงตึงผิวชนิด SBS ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าตัวดูดซับชนิด 0.25-SBS-MAL มีการสลายตัวทางความร้อนช้าที่สุด เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวที่นำมาปรับปรุงนั้นมีวงเบนซีนเป็นองค์ประกอบซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย F.R. Costa และคณะ [16]

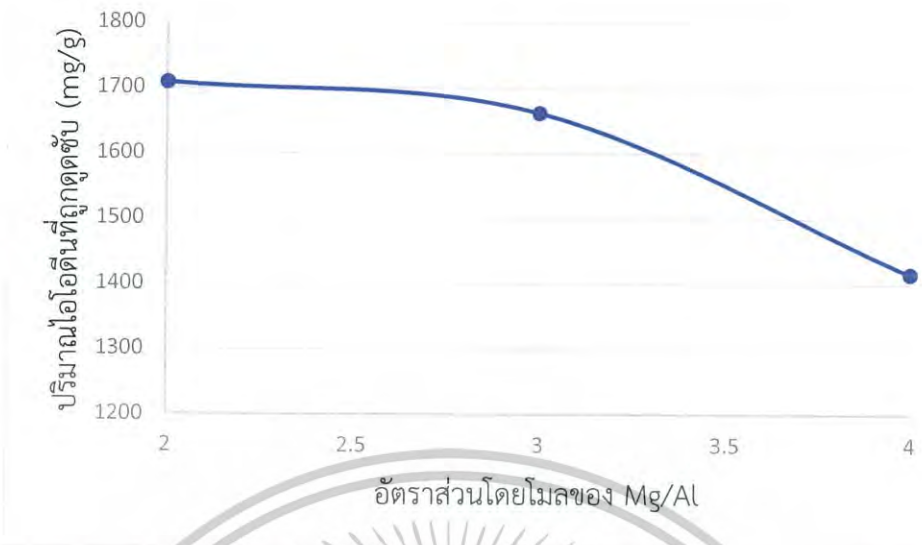
4.1.6 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL ด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน

ตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 2:1 ถึง 4:1 และตัวดูดซับ MAL ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS และ SBS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.1:1 ถึง 2:1 ที่ยังไม่ผ่านการดูดซับจะถูกนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน ซึ่งแสดงผลวิเคราะห์ในตารางที่ 4.5-4.8 และรูปที่ 4.11-4.12

ตารางที่ 4.5 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 2:1 ถึง 4:1

ชนิดของตัวดูดซับ	ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ (mg/g)
MAL-2.0	1708.26
MAL-3.0	1661.78
MAL-4.0	1415.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ในตัวดูดซับ MAL ที่มีต่อปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ

การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MAL ที่อัตราส่วนแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 2:1 ถึง 4:1 ด้วยเทคนิคการดูดซับไอโอดีน จะรายงานผลเป็นปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (mg I_2/ g) ซึ่งจะแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ จากตารางที่ 4.5 พบว่า MAL-2.0 สามารถดูดซับไอโอดีนได้มากที่สุด รองลงมาเป็นตัวดูดซับ MAL-3.0 และ MAL-4.0 ตามลำดับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าตัวดูดซับ MAL-2.0 มีพื้นที่ผิวมากกว่า MAL-3.0 และ MAL-4.0 โดยการเพิ่มอัตราส่วนของแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมจะมีผลให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ MAL มีแนวโน้มลดลง (รูปที่4.11) เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนของแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมมากเกินไป จะเกิดการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนและกระจุกตัวรวมกัน ทำให้พื้นที่ผิวและรูพรุนลดลง ส่งผลให้ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับน้อยลงด้วย ดังนั้นจึงทำการเลือกตัวดูดซับ MAL-2.0 ซึ่งมีพื้นที่ผิวมากที่สุดมาทำการปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.6 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ SDS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.1:1 ถึง 2:1

ชนิดของตัวดูดซับ	ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ (mg/g)
0.1-SDS-MAL	1256.44
0.25-SDS-MAL	1645.46
0.5-SDS-MAL	851.00
1.0-SDS-MAL	734.58
2.0-SDS-MAL	721.36

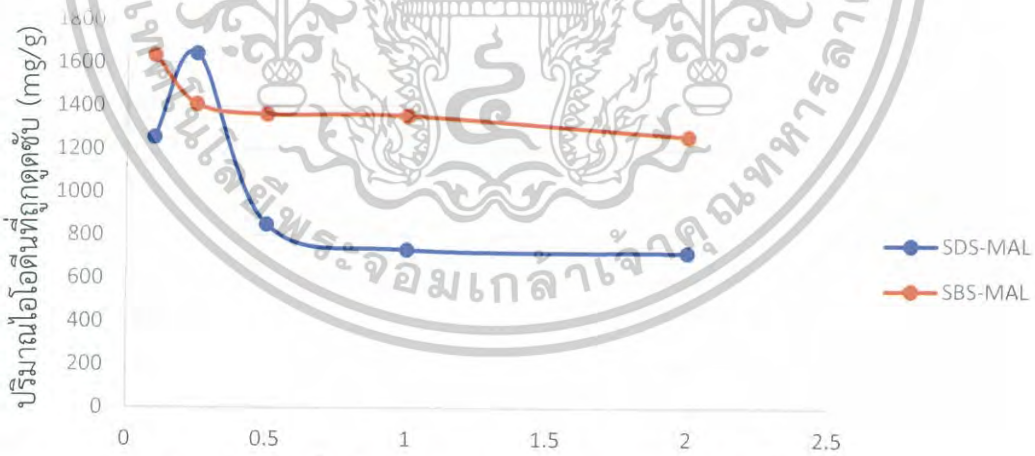
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 พบว่าปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ 0.25-SDS-MAL > 0.1-SDS-MAL > 0.5-SDS-MAL > 1.0-SDS-MAL > 2.0-SDS-MAL ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL มีพื้นที่ผิวมากที่สุด

ตารางที่ 4.7 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ SBS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.1:1 ถึง 2:1

ชนิดของตัวดูดซับ	ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ (mg/g)
0.1-SBS-MAL	1636.86
0.25-SBS-MAL	1410.00
0.5-SBS-MAL	1362.34
1.0-SBS-MAL	1356.96
2.0-SBS-MAL	1261.44

จากตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ 0.1-SBS-MAL > 0.25-SBS-MAL > 0.5-SBS-MAL > 1.0-SBS-MAL > 2.0-SBS-MAL ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าตัวดูดซับ 0.1-SBS-MAL มีพื้นที่ผิวมากที่สุด



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ surfactant/MAL ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 ซึ่งเปรียบเทียบปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับระหว่าง SDS-MAL และ SBS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ตั้งแต่ 0.1:1 ถึง 2:1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสำหรับตัวดูดซับ SBS-MAL ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ SBS ซึ่งการเพิ่มปริมาณ SBS จะมีผลทำให้ SBS เข้าไปใน interlayer มากขึ้น ส่งผลให้ระยะห่างระหว่างระนาบอะตอมเพิ่มขึ้น พื้นที่ผิวของตัวดูดซับจึงลดลง สำหรับตัวดูดซับ SDS-MAL เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ SDS จาก 0.1:1 เป็น 0.25:1 ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้น และหลังจากนั้นจะมีแนวโน้มที่ลดลง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ตัวดูดซับที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.25:1 มีพื้นที่ผิวมากที่สุด สำหรับชนิด SBS นั้น ที่อัตราส่วน 0.1:1 มีพื้นที่ผิวมากที่สุด

4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

จากการเตรียมสารละลายมาตราฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 8 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่องยู-วีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 598 นาโนเมตร ซึ่งค่าการดูดกลืนแสง แสดงผลในตารางที่ 4.8 และได้นำไปสร้างกราฟมาตรฐานในรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.8 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ความเข้มข้นของสารละลายที่ได้ในการเตรียมกราฟมาตรฐาน (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5
1	0.0241
2	0.0463
4	0.0855
6	0.1248
8	0.1693

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 กับค่าการดูดกลืนแสง พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยมีค่า R^2 = 0.9978 ซึ่งเป็นไปตามสมการ y = 0.0212x เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสง และ x คือ ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (mg/L) กราฟมาตรฐานที่ได้จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ที่เหลืออยู่ หลังจากผ่านกระบวนการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MAL และ sur-MAL ต่อไป

4.3 กลไกการดูดซับ

ในการกำจัดสีย้อมชนิดประจุลบ (anionic dye) เช่น รีแอคทีฟแบล็ค 5 จะอาศัยหลักการดูดซับ (Adsorption) โดยใช้ตัวดูดซับ MAL หลังจากนั้นจะทำการปรับปรุงพื้นผิว MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ เพื่อดูประสิทธิภาพและกลไกที่ส่งผลต่อการกำจัดสีย้อม ซึ่ง MAL เป็นสารชนิด Hydrotalcite มีสูตรโครงสร้างคือ $[M^{2+}_{1-x}\ M^{3+}_{x}(OH)_2]^{x+}\ [A^{n-}_{x/n} \cdot mH_2O]^{x-}$

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

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

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

และ x จะมีค่าระหว่าง 0.2-0.33

โดยสูตรโครงสร้างของ MAL เขียนแทนได้เป็น Sur-OH เมื่อ Sur แทนพื้นผิวของตัวดูดซับ MAL ซึ่งพีเอชที่มี Zeta potential = 0 จะเรียกว่า Isoelectric point (IEP) ค่า Isoelectric point จะใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติของตัวดูดซับ MAL โดยวัดจากเครื่อง Microelectrophoretic Mobility Detector โดยตัวดูดซับ MAL มีค่า Isoelectric point อยู่ที่ 10.9 ถ้าตัวดูดซับ MAL อยู่ในสารละลายที่มีพีเอชต่ำกว่าค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Isoelectric point ตัวดูดซับ MAL จะทำหน้าที่รับโปรตอนและกลายเป็นประจุบวก ตามสมการที่ 4.1 [17]

$$Sur\text{-}OH + H_3O^+ \longrightarrow Sur\text{-}OH_2^+ + H_2O \quad \text{.....(4.1)}$$

แต่ถ้าตัวดูดซับ MAL อยู่ในสารละลายที่มีพีเอชสูงกว่าค่า Isoelectric point ตัวดูดซับ MAL จะทำหน้าที่ให้โปรตอนและกลายเป็นประจุลบ ตามสมการที่ 4.2

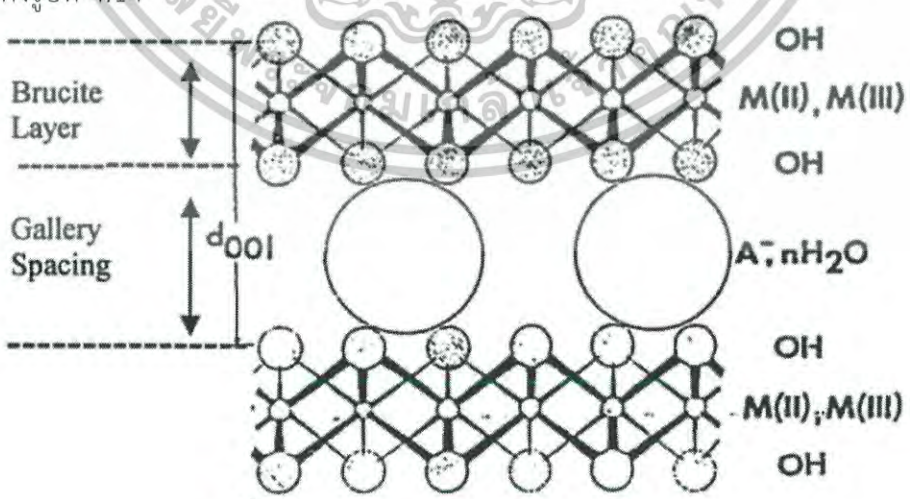
$$Sur\text{-}OH + OH^- \longrightarrow Sur\text{-}O^- + H_2O \quad \text{.....(4.2)}$$

ในการทดลองมีการควบคุมพีเอชของสารละลายสีย้อมให้เท่ากับ 7 ซึ่งต่ำกว่าค่า IEP ดังนั้น ตัวดูดซับ MAL จึงแสดงประจุบวกที่พื้นผิว ตามสมการ 4.1 โดยกลไกการดูดซับระหว่าง MAL กับสีย้อมชนิด anionic อาจเป็นไปได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 : สีย้อมชนิด anionic (Dye^-) จะเข้าไปดูดซับกับพื้นผิวของ MAL ที่แสดงประจุบวก ($Sur\text{-}OH_2^+$) ด้วยแรงดึงดูดระหว่างไอออน ดังสมการที่ 4.3

$$Sur\text{-}OH_2^+ + Dye^- \longrightarrow Sur\text{-}OH_2^+/\ Dye^- \quad \text{.....(4.3)}$$

กรณีที่ 2 : เนื่องจาก MAL เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นชั้น ๆ ของโลหะไฮดรอกไซด์ (Metal hydroxide layer) โดยมีไอออนของโลหะที่มีประจุ +2 อยู่ในช่อง Octahedral โดยโลหะที่มีประจุ +2 บางส่วนจะถูกแทนที่ด้วยโลหะที่มีประจุ +3 ทำให้ประจุสุทธิบนพื้นผิวของไฮดรอกไซด์เป็นประจุบวก และระหว่างชั้นจะถูกดุลประจุด้วยไอออนที่มีประจุลบ (Interlayer anion) ซึ่งแทรกตัวอยู่ เช่น CO_3^{2-}, Cl^- หรือ NO_3^- ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ลักษณะโครงสร้างของ MAL [19]

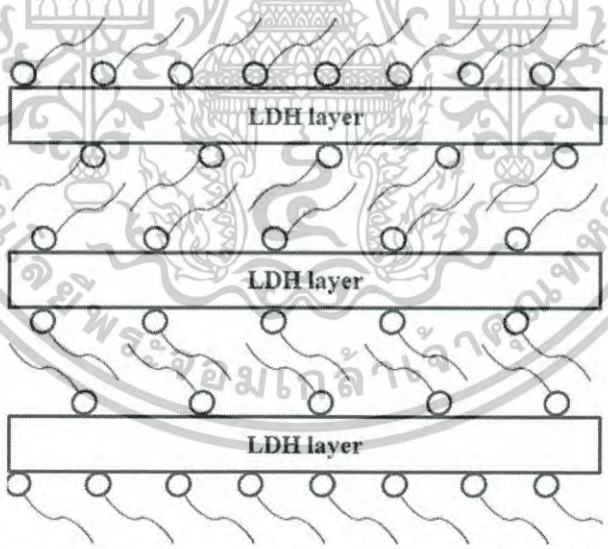
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$Sur\text{-}OH_2^+/\ Cl^- + Dye^- \longrightarrow Sur\text{-}OH_2^+/\ Dye^- + Cl^- \quad \text{.....(4.4)}$$

เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของ MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ จะมีหลักการคล้ายคลึงกับกรณีที่ 2 โดย Interlayer anion บางส่วนสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในสารละลาย และสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบจะเข้าไปแทนที่ เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion exchange) กับ Cl^- โดยจะแพร่ออกจาก MAL เข้าไปในสารละลาย ส่วนสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ ($Surfactant^-$) จะเข้าไปแทนที่ Cl^- โดยหมู่ซัลโฟเนต (SO_3^-) ของสารลดแรงตึงผิวจะเกิด interaction กับพื้นผิวของ MAL ที่มีประจุบวก ($Sur\text{-}OH_2^+$) ส่งผลทำให้ระยะห่างระหว่างชั้น (interlayer spacing) เพิ่มขึ้นตามความยาวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิว ดังรูปที่ 4.14 และเปลี่ยนคุณสมบัติจาก hydrophilic เป็น hydrophobic มากขึ้น ทำให้สีย้อมที่มีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่และโมเลกุลส่วนใหญ่เป็น hydrophobic เข้ามาเกาะติดที่ตัวดูดซับได้ดีขึ้น ลักษณะของตัวดูดซับที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวแล้วแสดงดังสมการที่ 4.5 และรูปที่ 4.15

$$Sur\text{-}OH/\ Cl^- + Surfactant^- \longrightarrow Sur\text{-}OH/\ Surfactant^- + Cl^- \quad \text{.....(4.5)}$$



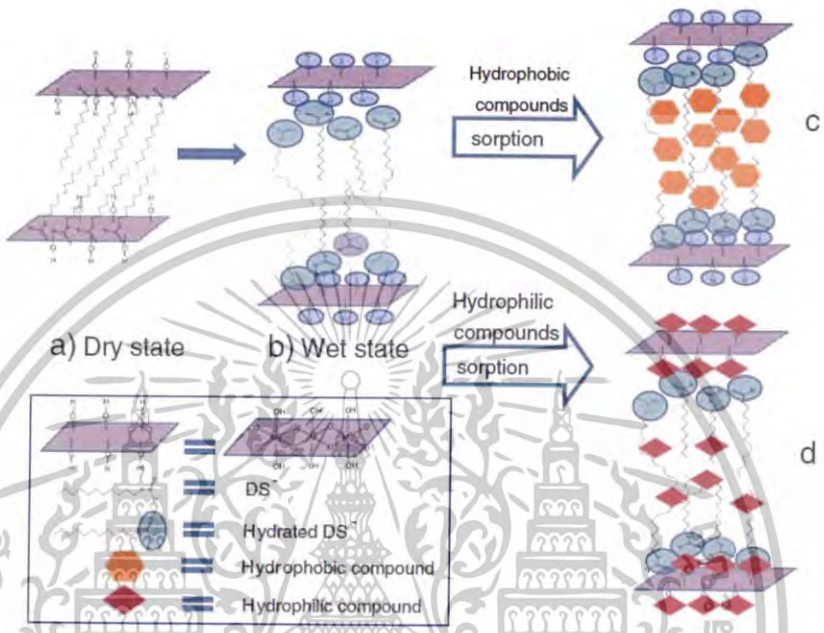
รูปที่ 4.15 ลักษณะโครงสร้างของ MAL หลังจากปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารลดแรงตึงผิว [21]

ในการทดลองการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วย sur -MAL ($Sur\text{-}OH_2^+/\ Surfactant^-$) จะทำการควบคุมพีเอชสารละลายสีย้อมให้เท่ากับ 7 เช่นกัน ก่อนที่จะทำการศึกษาที่ค่าพีเอชอื่น เพื่อให้พื้นผิวตัวดูดซับมีพื้นผิวเป็นบวก เพื่อจับกับสีย้อมซึ่งมีประจุลบที่บริเวณพื้นผิวเหมือนกรณีที่ 1 ดังสมการที่ 4.3 ด้วยแรงดึงดูดระหว่างไอออน จากนั้นจะเกิดการดูดซับสีย้อมที่บริเวณสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดแรงตึงผิวกับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของสีย้อมด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ดังสมการที่ 4.6 และมีลักษณะการดูดซับดังภาพที่ 4.16

$$Sur\text{-}OH_2^+ / Surfactant^- + Dye^- \longrightarrow Sur\text{-}OH_2^+ / Surfactant^- \bullet Dye^- \quad \text{.....(4.6)}$$



รูปที่ 4.16 ลักษณะการดูดซับของตัวดูดซับที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารลดแรงตึงผิว [18]

4.4 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ในการศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ชนิดสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิว พีเอชสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิในการดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเพื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

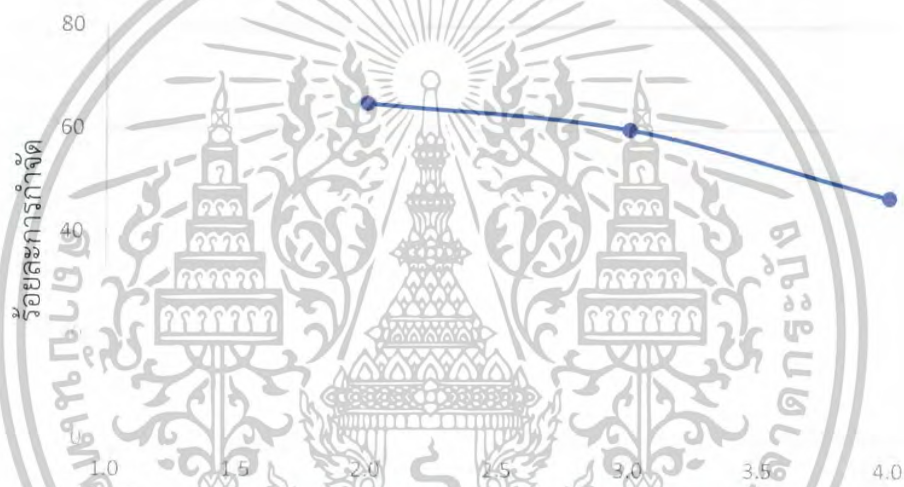
4.4.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL

ในการทดลองนี้จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ MAL ที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ตั้งแต่ 2:1 3:1 และ 4:1 พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 7 ปริมาณตัวดูดซับ MAL 800 mg/L เวลาในการดูดซับ 120 นาที อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 100 mg/L อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 แสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ตัวดูดซับ	อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการดูดซับสีย้อม
MAL-2.0	2:1	34.96	65.04
MAL-3.0	3:1	39.98	60.02
MAL-4.0	4:1	53.09	46.91



รูปที่ 4.17 ผลของอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL จาก 2:1 ถึง 4:1 ร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามลำดับ โดยที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 2:1 จะให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุดเท่ากับ 65.04 และที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 3:1 และ 4:1 จะให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมรองลงมาเท่ากับ 60.02 และ 46.91 ตามลำดับ

จากการหาพื้นที่ผิวโดยการดูดซับไอโอดีน ในรูปที่ 4.11 จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL จาก 2:1 ถึง 4:1 จะมีผลทำให้พื้นที่ผิวลดลงตามลำดับ ซึ่งส่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ลดลงด้วย ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากแมกนีเซียมมีปริมาณมากเกินไป จึงรวมกันเป็นกลุ่มก้อนและกระจุกตัวรวมกัน ทำให้พื้นที่ผิวและรูพรุนลดลง ประสิทธิภาพการดูดซับจึงลดลง ดังนั้นที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม 2:1 เป็นอัตราส่วนโดยโมลที่ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงสุดและเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ เพื่อทดสอบในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ขั้นต่อไป

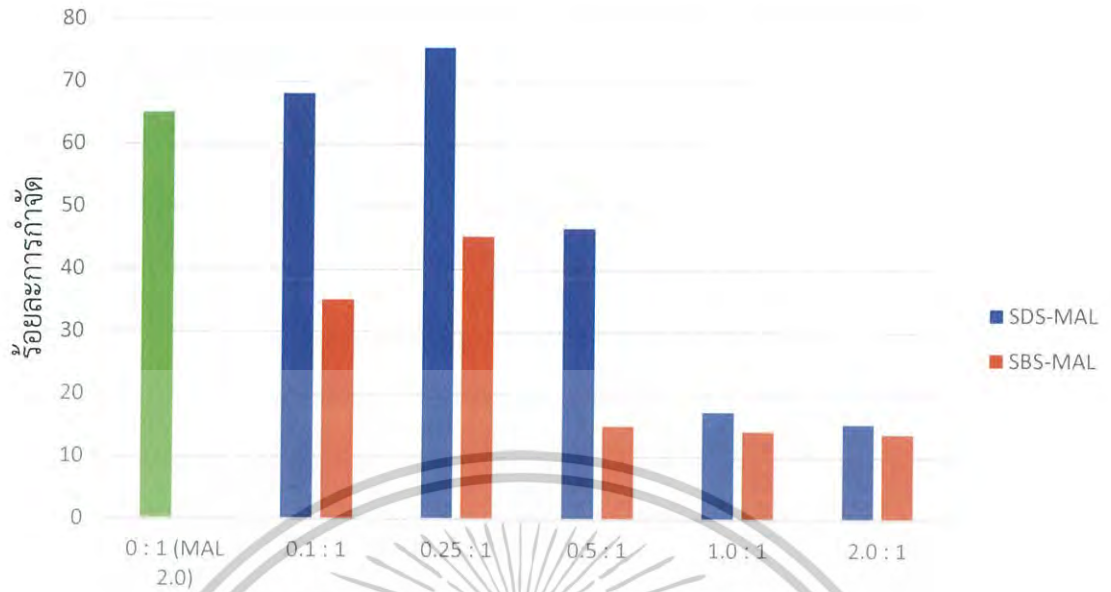
4.4.2 ผลของชนิดสารลดแรงตึงผิวและอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิว

ในการทดลองนี้จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ซึ่งทำการปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิว MAL-2.0 ด้วย โซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต (SDS) และ โซเดียมโดเดคซิวเบนซีนซัลโฟเนต (SBS) ที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ตั้งแต่ 0.1:1 0.25:1 0.5:1 1:1 และ 2:1 พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 7 ปริมาณตัวดูดซับ 800 mg/L เวลาในการดูดซับ 120 นาที อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 100 mg/L อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 แสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.10 ผลของชนิดสารลดแรงตึงผิวและอัตราส่วนโดนน้ำหนักที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิว ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดสารลดแรงตึงผิว	ตัวดูดซับ	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก Surfactant/MAL	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการดูดซับสีย้อม
-	MAL-2.0	0:1	34.96	65.04
SDS	0.1-SDS-MAL	0.1:1	31.89	68.11
	0.25-SDS-MAL	0.25:1	24.53	75.47
	0.5-SDS-MAL	0.5:1	53.42	46.58
	1.0-SDS-MAL	1:1	82.78	17.22
	2.0-SDS-MAL	2:1	84.70	15.30
SBS	0.1-SBS-MAL	0.1:1	64.86	35.14
	0.25-SBS-MAL	0.25:1	54.72	45.28
	0.5-SBS-MAL	0.5:1	85.02	14.98
	1.0-SBS-MAL	1:1	85.85	14.15
	2.0-SBS-MAL	2:1	86.32	13.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ผลของชนิดสารลดแรงตึงผิว (SDS และ SBS) และอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิว MAL ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ MAL-2.0 ในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 สามารถกำจัดได้ร้อยละ 65.04 ซึ่งสีย้อมจะเข้าไปดูดซับบนพื้นผิวของ MAL ที่แสดงประจุบวก ($Sur\text{-}OH_2^+$) ร่วมกับการที่สีย้อมบางส่วนเคลื่อนที่เข้าไปใน interlayer ของ MAL และเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับ Cl^- หรือ CO_3^{2-}

เมื่อปรับปรุงพื้นผิวของ MAL-2.0 ด้วยสารลดแรงตึงผิว SDS (SDS-MAL) และ SBS (SBS-MAL) ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ตั้งแต่ 0.1:1 ถึง 2:1 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวจาก 0.1:1 เป็น 0.25:1 ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวมากกว่า 0.25:1 ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลงและคงที่เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวมากกว่า 1:1 สำหรับ SDS-MAL และ 0.5:1 สำหรับ SBS-MAL ซึ่ง SDS-MAL และ SBS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารลดแรงตึงผิว 0.25:1 สามารถกำจัดสีย้อมได้สูงที่สุด โดยกำจัดได้ร้อยละ 75.47 และ 45.28 ตามลำดับ โดย SDS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 0.1:1 และ 0.25:1 จะกำจัดสีย้อมได้มากกว่า MAL-2.0 ที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว แต่ SBS-MAL ทุกอัตราส่วนโดยน้ำหนักจะกำจัดสีย้อมได้ต่ำกว่า MAL-2.0

การปรับปรุงพื้นที่ผิวของ MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิว (SDS และ SBS) จะทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบอะตอม (interlayer spacing) เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL (รูปที่ 4.5) จากนั้นตัวดูดซับจะเปลี่ยนคุณสมบัติพื้นผิวจาก hydrophilic เป็น hydrophobic ทำให้สีย้อมเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาดูดซับและเกาะติดได้ดีขึ้น เนื่องจากสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 มีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ และมีความเป็น hydrophobic มากกว่า hydrophilic

จากการทดลองการดูดซับ SDS-MAL มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมได้ดีกว่า SBS-MAL เนื่องจากสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของ SDS เป็นแบบโซ่ตรง สีย้อมที่มีโมเลกุลใหญ่จึงสามารถเข้ามาเกิด interaction ด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลแบบอ่อน เช่น แรงลอนดอน หรือ แรงแวนเดอร์วาลส์ กับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของ SDS ได้สะดวกกว่า แต่โครงสร้างของ SBS เป็นสายโซ่ตรงไฮโดรคาร์บอนที่มีวงอะโรมะติก ที่อาจจะกีดขวางการเข้ามาของสีย้อมใน interlayer ได้ยากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมต่ำกว่าของ SDS-MAL

สำหรับ SDS-MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 0.1:1 และ 0.25:1 ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมมากกว่า MAL-2.0 เนื่องจากในการปรับปรุง MAL-2.0 ด้วย SDS ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 0.1:1 และ 0.25:1 ซึ่งเป็นการใส่สารลดแรงตึงผิวในปริมาณน้อย ทำให้สารลดแรงตึงผิวไปเกิด interaction กับพื้นผิวที่มีประจุบวกของ MAL และจะมีพื้นที่ผิวบางส่วนของ MAL ที่ยังว่างอยู่ ดังนั้นสีย้อมจึงสามารถเกิดการดูดซับได้ทั้งบนสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของ SDS และบนพื้นผิวบางส่วนของ MAL ที่มีประจุบวก แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ SDS ต่อ MAL มากกว่า 0.25:1 พบว่าการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มที่ลดลง และต่ำกว่าการใช้ตัวดูดซับ MAL-2.0 ที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก ปริมาณสารลดแรงตึงผิว SDS ที่มากเกินไป อาจจะเข้าไปเกิด interaction กับพื้นผิวที่มีประจุบวกของ MAL ได้มาก ทำให้ไม่เหลือพื้นผิวที่มีประจุบวกของ MAL ที่จะดูดซับสีย้อม รวมทั้งปริมาณ SDS ใน interlayer ที่หนาแน่นจนเกินไป ทำให้โมเลกุลสีย้อมแพร่เข้าไปใน interlayer ได้ยาก จึงอาจเกิดการดูดซับกับตัวดูดซับ SDS-MAL แค่บริเวณพื้นผิวรอบนอกเท่านั้น

สำหรับตัวดูดซับ SBS-MAL พบว่ากำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้น้อยกว่าตัวดูดซับ MAL-2.0 ซึ่งไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากโครงสร้างของ SBS ที่เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนและวงอะโรมะติก เมื่อเติมลง MAL สารลดแรงตึงผิวจะแพร่เข้าไปใน interlayer และอาจกีดขวางการแพร่เข้ามาของสีย้อมได้ ทำให้สีย้อมเกิดการดูดซับเฉพาะบนพื้นผิวที่มีประจุบวกของ MAL ที่ไม่ได้เกิดการ interaction กับหมู่ SO_3^- ของ SBS เท่านั้น ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า SBS อาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวของ MAL หรืออาจต้องลดอัตราส่วนของ SBS ต่อ MAL ให้น้อยกว่า 0.1:1 จึงสามารถดูดซับสีย้อมได้มากกว่าการใช้ MAL-2.0

4.4.3 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อม

ในการทดลองนี้จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายสีย้อมเป็น 3 5 7 9 และ 11 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL ปริมาณตัวดูดซับ MAL 800 mg/L เวลาในการดูดซับ 120 นาที อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 100 mg/L อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 แสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อม ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL

ชนิดของตัวดูดซับ	พีเอช สารละลายสีย้อม	ความเข้มข้นสีย้อม คงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการดูดซับ สีย้อม
0.25-SDS-MAL	3	32.78	67.22
	5	30.66	69.34
	7	24.53	75.47
	9	23.11	76.89
	11	70.75	29.25
0.25-SBS-MAL	3	63.71	36.29
	5	59.67	40.33
	7	54.72	45.28
	9	50.83	49.17
	11	86.67	13.33

รูปที่ 4.19 ผลของพีเอชสารละลายสีย้อม ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ในช่วง 3 ถึง 9 พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมของตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL มีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับ โดยสารละลายสีย้อมที่พีเอชเท่ากับ 9 มีร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด โดยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL มีร้อยละการกำจัดสีย้อมที่พีเอช 9 เท่ากับ 76.89 และ 47.17 ตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอชจาก 9 ถึง 11 ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลง โดยที่พีเอช 11 ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมต่ำที่สุด

จากที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3 ตัวดูดซับ MAL จะมีค่า IEP ที่ 10.9 ซึ่งในการปรับพีเอชจะส่งผลต่อลักษณะประจุของพื้นผิวตัวดูดซับ ซึ่งถ้าปรับพีเอชสารละลายให้น้อยกว่า 10.9 จะทำให้พื้นผิวตัวดูดซับได้รับโปรตรอน (Protonation) จากสารละลายตามสมการที่ 4.1 ทำให้พื้นผิวเป็นบวกมากขึ้นทำให้สามารถจับกับสีย้อมที่มีประจุลบได้ดีขึ้นด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic attraction) จากการทดลองพีเอช 9 จึงเป็นพีเอชที่ทำให้พื้นผิวตัวดูดซับเป็นบวกที่เหมาะสมทำให้ดูดซับสีย้อมได้ดีที่สุด แต่ถ้าปรับพีเอชให้มีค่าต่ำจนเกินไปจะทำให้พื้นผิวตัวดูดซับได้รับโปรตอนมากเกินไป และจะทำให้โมเลกุลสีย้อมบางส่วนได้รับโปรตอนด้วย สีย้อมจะมีความเป็นบวกมากขึ้น ทำให้ตัวดูดซับและสีย้อมเกิดการผลักกัน (electrostatic repulsion) ทำให้การดูดซับของสีย้อมลดลง แต่ถ้าปรับพีเอชของสารละลายมากกว่า 10.9 พื้นผิวตัวดูดซับบางส่วนจะได้รับอิเล็กตรอนมากขึ้น (Deprotonation) จากสารละลายตามสมการที่ 4.2 ทำให้พื้นผิวเป็นลบมากขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ดูดซับสีย้อมลดลง รวมถึงในสารละลายนอกจากมีประจุลบของสีย้อมแล้วยังมีประจุลบของไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดการแข่งขันแย่งมาเกาะติดที่ผิวของตัวดูดซับอีกด้วย และบางส่วนก็เกิดการผลักกันเนื่องจากมีประจุลบเหมือนกัน ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับนั้นน้อยที่สุด จากการทดลองเมื่อปรับพีเอชสารละลายสีย้อมเป็น 11 ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ B.Zhang และคณะ [21]

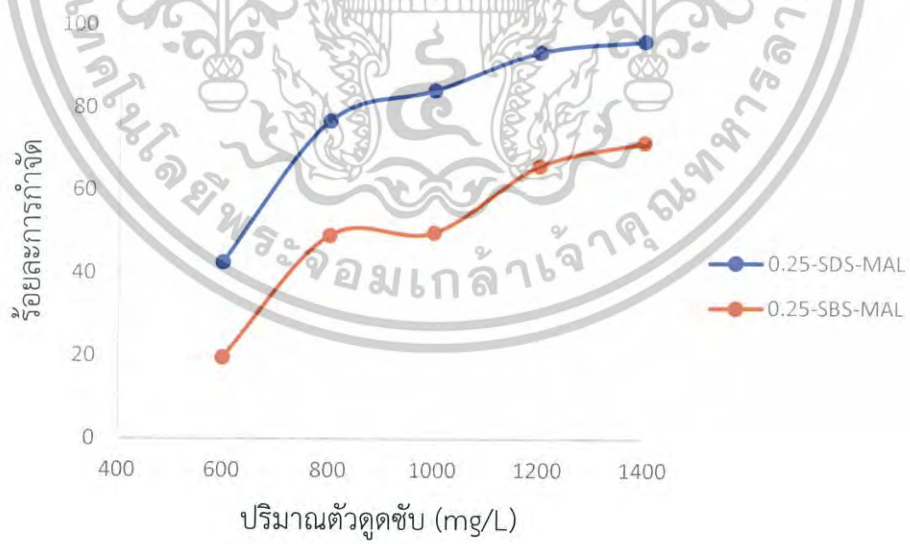
4.4.4 ผลของปริมาณตัวดูดซับ sur-MAL

ในการทดลองนี้จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL เป็น 600 800 1000 1200 และ 1400 mg/L พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 9 เวลาในการดูดซับ 120 นาที อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 100 mg/L อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 แสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลของปริมาณตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ชนิดของตัวดูดซับ	ปริมาณตัวดูดซับ(mg/L)	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการดูดซับสีย้อม
0.25-SDS-MAL	600	57.31	42.69
	800	23.11	76.89
	1000	15.71	84.29
	1200	6.44	93.56
	1400	3.70	96.30
0.25-SBS-MAL	600	80.31	19.69
	800	50.83	49.17
	1000	50.12	49.88
	1200	33.96	66.04
	1400	28.21	71.79



รูปที่ 4.20 ผลของปริมาณตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL ร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยที่ 0.25-SDS-MAL ให้ผลการดูดซับสูงกว่า 0.25-SBS-MAL โดยที่ช่วงปริมาณตัวดูดซับ 600 ถึง 800 mg/L ร้อยละการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และในช่วงปริมาณตัวดูดซับ 800 ถึง 1400 mg/L ร้อยละการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และเริ่มคงที่ช่วงปริมาณตัวดูด 1200 ถึง 1400 mg/L

เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจาก 1200 ถึง 1400 mg/L จะเห็นว่าร้อยละการดูดซับของตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL เริ่มมีแนวโน้มคงที่ อาจเป็นไปได้ว่าสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ถูกดูดซับใกล้สภาวะสมดุล การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับส่งผลให้การดูดซับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นที่ปริมาณตัวดูดซับ 1200 mg/L เป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ของตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL ซึ่งให้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 93.56 และ 66.04

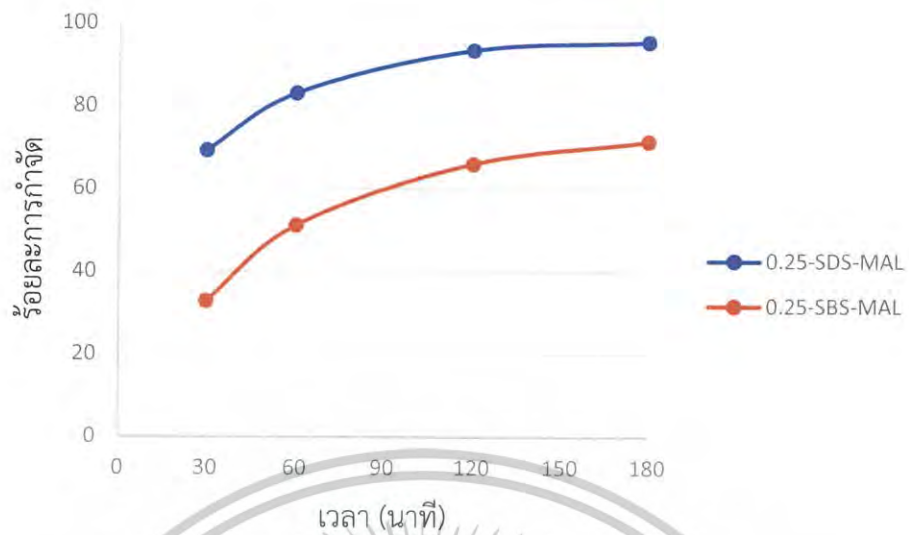
4.4.5 ผลของเวลาในการดูดซับ

ในการทดลองนี้จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการดูดซับ เป็น 30 60 120 และ 180 นาที พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 9 ปริมาณตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL 1200 mg/L อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 100 mg/L อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 แสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.21

ตารางที่ 4.13 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL

ชนิดของตัวดูดซับ	เวลาในการดูดซับ (นาที)	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการดูดซับสีย้อม
0.25-SDS-MAL	30	30.75	69.25
	60	16.86	83.14
	120	6.44	93.56
	180	4.33	95.57
0.25-SBS-MAL	30	67.22	32.78
	60	48.82	51.18
	120	33.96	66.04
	180	28.49	71.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มจาก 30 นาที จนถึง 120 นาที หลังจากนั้นร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากการดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยจะสังเกตได้ว่าการดูดซับในช่วงเวลา 30-60 นาที จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากบนพื้นผิวของตัวดูดซับยังไม่มีสีย้อมเข้ามาเกาะติด ทำให้มีความแตกต่างอย่างมากระหว่างความเข้มข้นสีย้อมในสารละลายกับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ (high concentration gradient) ดังนั้นการแพร่ของสีย้อมมายังพื้นผิวของตัวดูดซับจึงเกิดขึ้นได้มากและรวดเร็ว หลังจากนั้นเมื่อเวลาของการดูดซับเพิ่มขึ้นกว่า 60 นาที โมเลกุลของสีย้อมได้ถูกดูดซับบนพื้นผิวด้านนอก (exterior surface) และใน interlayer ของตัวดูดซับ จึงทำให้ concentration gradient ของสีย้อมในสารละลายกับบนพื้นผิวตัวดูดซับลดลง การดูดซับจึงเป็นไปอย่างช้า ๆ ในอัตราที่ต่ำกว่าในช่วงเวลา 30-60 นาที รวมทั้งเมื่อเวลามากขึ้น โมเลกุลของสีย้อมที่เข้าไปเกิด interaction กับสารลดแรงตึงผิวใน interlayer จะมีจำนวนมากขึ้น ทำให้เกิด steric hindrance ขึ้น ส่งผลทำให้การแพร่เข้ามาของสีย้อมเป็นไปได้น้อยลง ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Y.Kong และคณะ [29]

4.4.6 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับ

ในการทดลองนี้จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการดูดซับเป็น 30 (อุณหภูมิห้อง) 45 และ 60 องศาเซลเซียส พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 9 ปริมาณตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL 1200 mg/L เวลาในการดูดซับ 120 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายสีย้อม 100 mg/L อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือและร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 แสดงในตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.22

ตารางที่ 4.14 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL

ชนิดของตัวดูดซับ	อุณหภูมิในการดูดซับ (°C)	ความเข้มข้นสีย้อมคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการดูดซับสีย้อม
0.25-SDS-MAL	30	6.44	93.56
	45	14.52	85.45
	60	18.44	81.56
0.25-SBS-MAL	30	33.96	66.04
	45	33.84	64.16
	60	36.32	63.68

รูปที่ 4.22 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการดูดซับ ร้อยละการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ของตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL มีแนวโน้มลดลง โดยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่า 0.25-SBS-MAL โดยที่อุณหภูมิการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL ซึ่งให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมเท่ากับ 93.56 และ 66.04 ตามลำดับ เนื่องจากการดูดซับเป็นกระบวนคายความร้อน ซึ่งเกิดจากการยึดเหนี่ยวกันของไอออนลบของสีย้อมกับไอออนบวกของตัวดูดซับ และยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิว ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ interaction ของสีย้อมกับพื้นผิวตัวดูดซับและสารลดแรงตึงผิวน้อยลง และนอกจากนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้พลังงานจลน์ของโมเลกุลสีย้อมเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้การแพร่ของโมเลกุลสีย้อมไปยังพื้นผิวและ interlayer ของตัวดูดซับเป็นไปได้อย่างรวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ แต่การแพร่เข้ามาเร็วเกินไปจะไม่สามารถเกิด interaction ที่แข็งแรงระหว่างสีย้อมกับตัวดูดซับได้ ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง [21]

4.4.7 ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ในการทดลองนี้จะทำการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม (C_i) เป็น 50 100 200 และ 400 mg/L พีเอชของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 9 ปริมาณตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL 1200 mg/L เวลาในการดูดซับ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับเป็น 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ซึ่งความเข้มข้นของสารถูกดูดซับคงเหลือที่สมดุล (C_e) ปริมาณสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่สมดุล (q_e) รวมถึงค่าต่าง ๆ สำหรับพลอตกราฟความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ (สมการที่ 3.2) และฟรุนดลิช (สมการที่ 3.3) แสดงในตารางที่ 4.15 ถึง 4.18 และรูปที่ 4.23 ถึง 4.26 ตามลำดับ

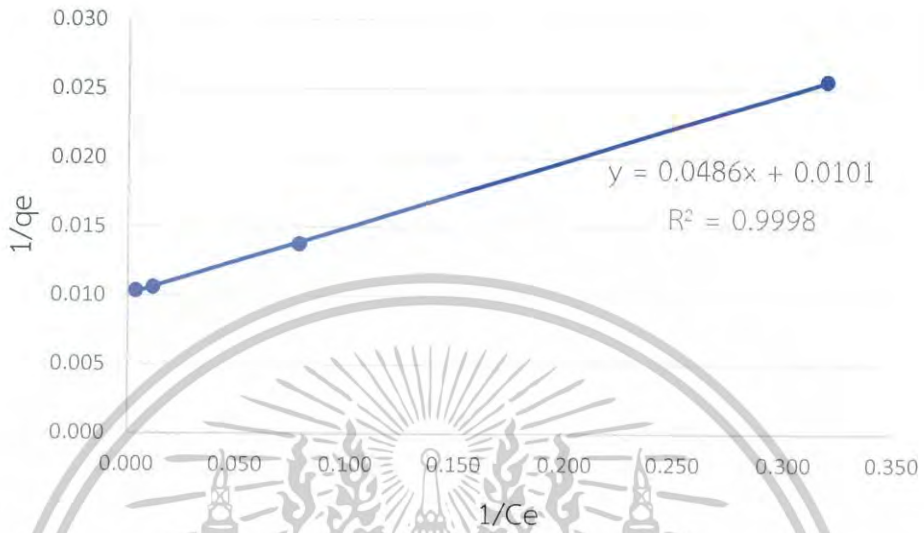
4.4.7.1 ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL

ตารางที่ 4.15 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL

ชนิดของตัวดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$1/q_e$ (g/mg)	$1/C_e$ (L/mg)
0.25-SDS-MAL	50	3.13	38.99	0.0256	0.3193
	100	12.79	72.67	0.0138	0.0782
	200	85.86	94.02	0.0106	0.0116
	400	283.49	96.45	0.0104	0.0035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่า $1/q_e$ และ $1/C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.23 สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL

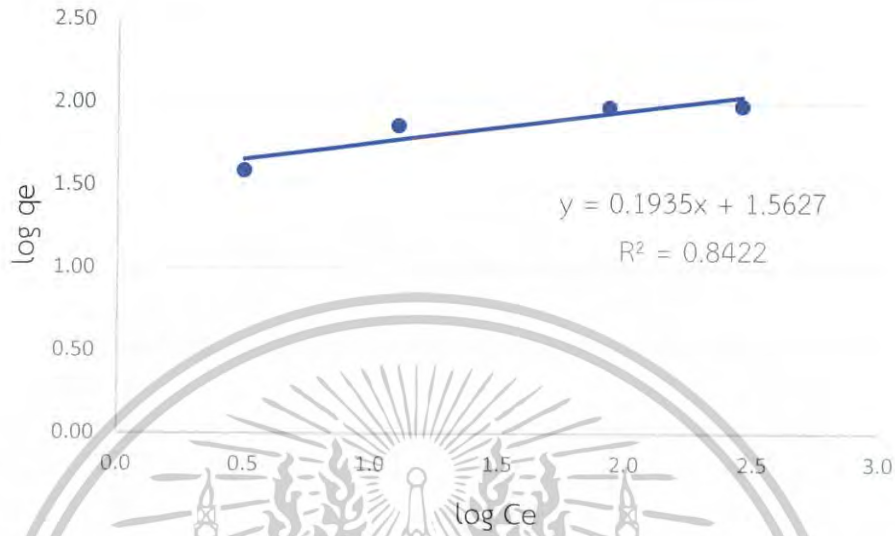
จากรูปที่ 4.23 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ จะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.0486x + 0.0101$ และมีค่า $R^2 = 0.9998$ โดยค่าคงที่ $K = 0.0486$ และปริมาณของสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับสูงสุด (q_m) = 99.01 mg/g

ตารางที่ 4.16 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรุนดลิชสำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL

ชนิดของตัวดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	log q_e	log C_e
0.25-SDS-MAL	50	3.13	38.99	1.5910	0.4958
	100	12.79	72.67	1.8614	1.1070
	200	85.86	94.02	1.9732	1.9338
	400	283.49	96.45	1.9843	2.4525

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่า log q_e และ log C_e ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.24 สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง log q_e กับ log C_e ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL

จากรูปที่ 4.24 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของไอโซเทอมฟรุนดลิชจะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.1935x + 1.5627$ และมีค่า $R^2 = 0.8422$ โดยค่าคงที่ $1/n = 0.1935$ และ $k_f = 36.53$

จากกราฟไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรุนดลิช พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.9998 และ 0.8422 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของแลงเมียร์มีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของฟรุนดลิช ทำให้การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ ซึ่งเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption) โดยการดูดซับใช้แรงดึงดูดแบบอ่อนๆ ด้วยแรงไฟฟ้าสถิตและแรงแวนเดอร์วาลส์ โดยตัวดูดซับที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย SDS จะมีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนเป็นโซ่ตรงและไม่มีวงอะโรมะติกคอยกีดกั้น ทำให้สีย้อมเข้ามาเกาะติดได้สะดวก โดยสีย้อมนั้นจะเลือกเข้ามาเกาะติดที่พื้นผิวตัวดูดซับก่อนด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตเป็นหลักระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วเป็นลบของสีย้อมกับพื้นผิวที่เป็นบวกของตัวดูดซับ จากนั้นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวกับวงอะโรมะติกของสีย้อมจะเกิดการดึงดูดระหว่างกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (π-CH dispersion force) ทำให้การดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ซึ่งสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์

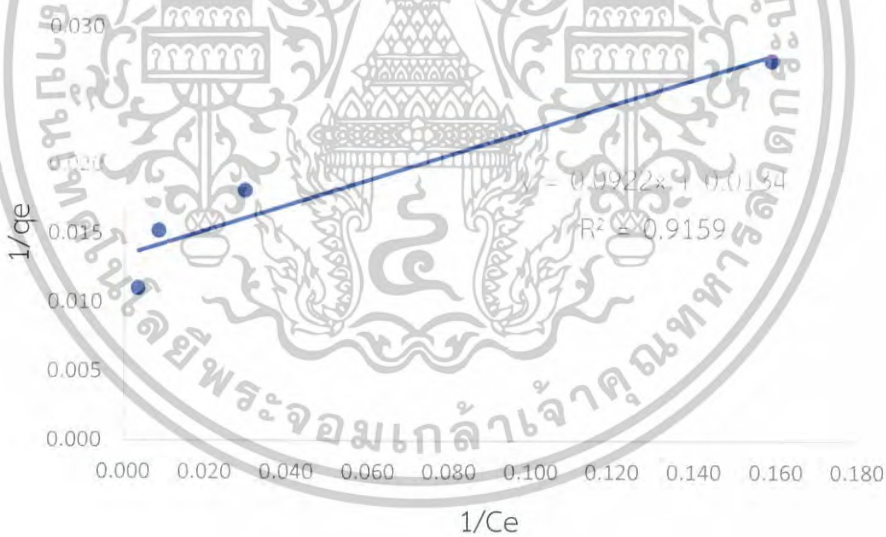
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.7.2 ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL

ตารางที่ 4.17 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของแลงเมียร์สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL

ชนิดของตัวดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$1/q_e$ (g/mg)	$1/C_e$ (L/mg)
0.25-SBS-MAL	50	6.32	36.16	0.0277	0.1582
	100	33.96	55.03	0.0182	0.0294
	200	119.10	65.56	0.0153	0.0084
	400	291.04	90.35	0.0111	0.0034

นำค่า $1/q_e$ และ $1/C_e$ ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.25 สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL

จากรูปที่ 4.26 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ จะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.0922x + 0.0134$ และมีค่า $R^2 = 0.9159$ โดยค่าคงที่ $K = 0.0922$ และปริมาณของสารถูกดูดซับบนตัวดูดซับสูงสุด (q_m) = 74.63 mg/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรุนดลิชสำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL

ชนิดของตัวดูดซับ	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	log q_e	log C_e
0.25-SBS-MAL	50	6.32	36.16	1.5582	0.8008
	100	33.96	55.03	1.7406	1.5310
	200	119.10	65.56	1.8166	2.0759
	400	291.04	90.35	1.9559	2.4639

นำค่า log q_e และ log C_e ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.26 สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL

รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง log q_e กับ log C_e ตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL

จากรูปที่ 4.26 ซึ่งพล็อตตามความสัมพันธ์ของไอโซเทอมฟรุนดลิชจะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.2275x + 1.3770$ และมีค่า $R^2 = 0.9801$ โดยค่าคงที่ $1/n = 0.2275$ และ $k_f = 23.82$

จากกราฟไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรุนดลิช พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.9159 และ 0.9801 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของฟรุนดลิชมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของแลงเมียร์ ทำให้การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรุนดลิช ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบหลายชั้น (Multilayer adsorption) เนื่องจากตัวดูดซับที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย SBS จะมีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนเป็นโซ่ตรงและมีวงอะโรมะติกคอยกีดกั้น ทำให้สีย้อมเข้ามาเกาะติดที่บริเวณพื้นผิวตัวดูดซับด้วยแรงไฟฟ้าสถิตได้น้อยมาก แต่เมื่อสีย้อมเข้ามาเกาะติดที่พื้นผิวตัวดูดซับแล้ว สีย้อมโมเลกุลต่อไปก็จะเกิดการเกาะติดที่บริเวณสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนระหว่างวงอะโรมะติกของสารลดแรงตึงผิวกับวงอะโรมะติกของสีย้อมด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (π-π dispersion force หรือ π-π stacking) ซึ่งจะเกิดการเกาะติดถัดจากโมเลกุลสีย้อมที่ถูกดูดซับชั้นแรก หลังจากนั้นสีย้อมที่มีวงอะโรมะติกในโครงสร้างก็สามารถเกิด interaction ระหว่างโมเลกุลของสีย้อมด้วยกันเองได้อีก จึงทำให้การดูดซับมีลักษณะเป็นแบบหลายชั้น ซึ่งสอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรุนดลิช

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL เป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ P.Wu และคณะ [7] และตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL เป็นไปตามไอโซเทอมของฟรุนดลิช ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ B.Zhang และคณะ [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพและกลไกการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (MAL) ซึ่งทำการปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวของ MAL ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดคซิวซัลเฟต (SDS) และโซเดียมโดเดคซิวเบนซีนซัลโฟเนต (SBS) โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมของ MAL ชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิว พีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิในการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเพื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1) เมื่อนำตัวดูดซับ MAL ไปปรับปรุงด้วยสารสารลดแรงตึงผิว SDS และ SBS พบว่าระยะห่างระหว่างระนาบอะตอม (interlayer spacing) ของ SDS-MAL และ SBS-MAL เพิ่มขึ้นกว่า MAL เนื่องจากเกิดการแทรกตัวของสารลดแรงตึงผิว และเกิด interaction กับพื้นผิวของ MAL โดยจะทำให้คุณสมบัติของ MAL ที่เป็น hydrophilic เปลี่ยนเป็น hydrophobic มากขึ้น

2) จากการศึกษาตัวดูดซับ MAL ที่เตรียมได้จากวิธีการตกตะกอนร่วมของเกลือแมกนีเซียมกับเกลืออะลูมิเนียมในไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วนโดยโมลต่าง ๆ พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของแมกนีเซียมร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 มีแนวโน้มลดลง โดยที่อัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมเท่ากับ 2:1 ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุด คือ 65.04

3) จากการศึกษาผลของชนิดสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิว MAL ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL ต่าง ๆ พบว่า ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL 0.1:1 ถึง 0.25:1 ทั้งตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL จาก 0.25:1 ถึง 2:1 ของตัวดูดซับ SDS-MAL และ SBS-MAL พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารลดแรงตึงผิวต่อ MAL เท่ากับ 0.25:1 ซึ่งก็คือตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุดเท่ากับ 75.47 และ 45.28 ตามลำดับ

4) จากการศึกษาผลของพีเอชของสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ที่ค่าต่าง ๆ พบว่า เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพีเอชจาก 3 ถึง 9 พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมของตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพีเอชจาก 9 ถึง 11 พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมของตัวดูดซับดังกล่าวมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นที่พีเอชสารละลายสีย้อมเท่ากับ 9 ของตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL จะให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมสูงที่สุดเท่ากับ 76.89 และ 47.17 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) จากการศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวเพิ่มขึ้น เพราะพื้นที่ผิวในการดูดซับเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณตัวดูดซับดังกล่าวมากกว่า 1200 mg/L การดูดซับสีย้อมเข้าใกล้จุดสมดุล ร้อยละการกำจัดสีย้อมเริ่มคงที่ โดยที่ปริมาณตัวดูดซับ 1200 mg/L ของตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมเหมาะสมที่สุดเท่ากับ 93.56 และ 66.04 ตามลำดับ

6) จากการศึกษาผลของเวลาในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 พบว่าเวลาการดูดซับในช่วง 30 ถึง 120 ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับจาก 120 ถึง 180 นาที พบว่าร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มเริ่มคงที่ เพราะตัวดูดซับมีโอกาสได้ดูดซับสีย้อมมากขึ้น ทำให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมดีจนเข้าใกล้สู่สภาวะสมดุล โดยที่เวลาในการดูดซับ 120 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับสีย้อม ของตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL ซึ่งให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมเท่ากับ 93.56 และ 66.04 ตามลำดับ

7) จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการดูดซับจาก 30 ถึง 60 องศาเซลเซียส ร้อยละการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นอุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมของตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL และ 0.25-SBS-MAL ซึ่งให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมเท่ากับ 93.56 และ 66.04 ตามลำดับ

8) จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับระหว่างแลงเมียร์และฟรุนดลิชของตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.9998 และ 0.8422 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของแลงเมียร์มีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของฟรุนดลิชตามลำดับ ทำให้การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SDS-MAL นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ ส่วนตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.9159 และ 0.9801 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของฟรุนดลิชมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมของแลงเมียร์ ทำให้การดูดซับสีย้อมรีแอคแบล็ค 5 ด้วยตัวดูดซับ 0.25-SBS-MAL นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรุนดลิช

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรนำสภาวะที่ดีที่สุดในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 มาทดลองดูดซับสีย้อมจากน้ำเสียจริงที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยสีย้อมปนเปื้อนออกมา

2) เปลี่ยนชนิดของโลหะไอออนที่มีประจุ 2+ เช่น Cu^{2+}, Zn^{2+} และโลหะไอออนที่มีประจุ 3+ เช่น Fe^{3+} เป็นต้น

3) นำตัวดูดซับไปทดสอบกับสีย้อมชนิดอื่น ได้แก่ สีย้อมชนิดประจุบวก และสีย้อมชนิดไม่มีประจุ

4) ควรศึกษาไอโซเทอม Dubinin-Radushkevich (D-R) เพื่อหาค่าพลังงานดูดซับอิสระว่ามีค่าอยู่ในช่วงใด ซึ่งบ่งบอกว่าเป็น การดูดซับทางกายภาพ หรือ ทางเคมีได้ ในกรณีที่ค่า R^2 ไอโซเทอมแลงเมียร์และฟรุนดลิชมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] **Azo dye**. [online]. Available : https://www.kemi.se/en/prio-start/chemicals-in-practical-use/substance-groups/azo-dyes

[2] **ทฤษฎีการดูดซับ**. [online]. Available : http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/chem0451sk_ch1.pdf

[3] ทิพย์วิมล สุขวานิชย์เจริญและคณะ. 2558. "การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 โดยใช้ไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม." โครงงานพิเศษ สาขาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[4] E.Klumpp, C.Contreras-Ortega, P.Klahre, F.J.Tino, S.Yapar, C.Portillo, S.Stegen, F.Queirolo, M.J.Schwuger, **Sorption of 2,4-dichlorophenol on modified hydrotalcites,** Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineerimg Aspects, 230 (2003) 111-116.

[5] F.Bruna, I.Pavlvic, C.Barriga, J.Cornejo, M.A.Ulibarri. **Adsorption of pesticidese Carbetamide and Metamitron on organohydrotalcite,** Applied clay Science, 33 (2006) 116-124.

[6] G.Zhang, T.Wu, Y.Li, X.Huang, Y.Wang, G.Wang. **Sorption of humic acid to organolayered double hydroxides in aqueous solution,** Chemical Engineering Journal, 191 (2012) 306-313.

[7] P.Wu, T.Wu, W.He, L.Sun, Y.Li, D.Sun. **Adsorption properties of dodecylsulfate-intercalated layered doublehydroxide for various dyes in water,** Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 436 (2013) 726– 731.

[8] **สารลดแรงตึงผิว**. [online]. Available : http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=3

[9] ปรารถนา. **กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)**. [online]. Available : https://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/.

[10] บุญชัย ตระกูลมหชัย. **ตัวดูดซับ (absorbent)**. [online]. Available : http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=77&i2=17/.

[11] **สีย้อม**. [online]. Available : https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/20130226130929.pdf

[12] ร้อยเอกหญิง รัชนีย์ รุกขชาติ. **การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แม่น้ำ**. [online]. Available : http://www.navy.mi.th/science/BrithDay46/Brithday_data/biology.htm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] วิสาขา ภู่จินดา. **สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)**. [online]. Available : http://www.chemtrack.org/NewsDetail.asp?TID=4&ID=3&fbclid=IwAR353IunwXHaHW3psMqZJ45iL8cQd_ZF8K3E4z3lCkzhTvuNf-Xhm_9QP40

[14] ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์. [online]. Available : http://gammaco.com/gammaco/th/3090065/.

[15] O.Gulnaz, A.Kaya,and S.Dincer. **The reuse of dried activated sludge for adsorption of reactive dye,** Hazardous Materials, 134 (2006) 190-196.

[16] F.Reny Costa, A.Leuteritz, U.Wagenknecht, D.Jehnichen, L.Häußler, G.Heinrich. **Intercalation of Mg–Al layered double hydroxide by anionic surfactants: Preparation and characterization,** Applied Clay Science, 38 (2008) 153–164.

[17] 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.

[18] X.Ruan, S.Huang, H.Chen, G.Qian. **Sorption of aqueous organic contaminants onto dodecyl sulfate intercalated magnesium iron layered double hydroxide,** Applied Clay Science, 72 (2013) 96–103.

[19] 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.

[20] ปาลิตา แซ่ลิ้มและคณะ. 2560. "การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และคองโกเรด โดยตัวดูดซับเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์" โครงงานพิเศษ สาขาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[21] 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.

[22] S.W.Puasa, K.N.Ismail, N.A.I.A Khairi. **Cleavable surfactant-impregnated activated carbon for enhanced adsorptive removal of reactive dye from an aqueous solution,** Materials Today: Proceedings, 5 (2018) 22020–22028.

[23] R.P.F.Meloa, E.L.Barros Neto, S.K.S.Nunes, T.N.Castro Dantas, A.A.Dantas Neto. **Removal of Reactive Blue 14 dye using micellar solubilization followed by ionic flocculation of surfactants,** Separation and Purification Technology, 191 (2018) 161–166.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[24] T.P.F.Teixeira, S.F.Aquino, S.I.Pereira, A.Dias. **Use of calcined layered double hydroides for the removal of color and organic matter from textile effluents: Kinetics, equilibrium and recycling studies**, Brazilian Journal of Chemical Engineering, 31 (2014) 19-26.

[25] T.Kameda, M.Saito and Y.Umetsu. **Preparation and Characterisation of Mg–Al Layered Double Hydroxides Intercalated with 2-Naphthalene Sulphonate and 2,6-Naphthalene Disulphonate,** Materials Transactions, Vol. 47, No. 3 (2006) 923-930

[26] M.S.Hadnadev-Kostic, T.J.Vulic, R.P.Marinkovic-Neducin. **A study of thermally activated Mg-Fe layerd double hydroxides as potential environmental catalyst**. Journal of the Serbian Chemical Society, 75 (2010) 1251-1257.

[27] S.T.Lin, H.N.Tran, H.P.Chao, J.F.Lec. **Layered double hydroxides intercalated with sulfur-containing organic solutes for efficient removal of cationic and oxyanionic metal ions.** Applied Clay Science, 162 (2018) 443-453

[28] Y.H.Chuang, Y.M.Tzou, M.K.Wang, C.H.Liu, P.N.Chiang. **Removal of 2-Chlorophrnol from aqueous solution by Mg/Al layered double hydroxide (LDH) and modified LDH.** Ind.Eng.Chem.Res, 47 (2008) 3813-3819.

[29] Y.Kong, Y.Huang, C.Meng, Z.Zhang. **Sodium dodecylsulfate-layered double hydroxide and its use in the adsorption of 17b-estradiol in wastewater.** RSC Advance, 8 (2018) 31440-31454.

[30] Y.Chen, S.Cong, Q.Wang, H.Han, J.Lu, Y.Kung, W.Kang, H.Wang, S.Han, H.Song, J.Zhang. **Optimization of crystal growth of sub-micron ZSM-5 zeolite prepared by using $Al(OH)_3$ extracted from fly ash as an aluminum source.** Journal of Hazardous Materials, 349 (2018) 18–26.

[31] D.Jin, X.Gu, X.Yu, G.Ding, H.Zhu, K.Yao. **Hydrothermal synthesis and characterization of hexagonal $Mg(OH)_2$ nano-flake as a flame retardant.** Materials Chemistry and Physics, 112 (2008) 962–965

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1) การคำนวณปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์และอะลูมิเนียม-คลอไรด์ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ MAL

สูตร $\frac{g}{MW} = \frac{CV}{1000}$

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

ตัวอย่าง ต้องการเตรียมสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ 1M ปริมาตร 500 ml และสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1M ปริมาตร 500 ml

- การหาปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ LDH

สูตร $\frac{\text{น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{\text{มวลโมเลกุลของแมกนีเซียมคลอไรด์}} = \frac{CV}{1000}$

$\frac{\text{น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{203.30} = \frac{1 \times 500}{1000}$

น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง = 101.655 กรัม

- การหาปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ LDH

สูตร $\frac{\text{น้ำหนักของอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{\text{มวลโมเลกุลของอะลูมิเนียมคลอไรด์}} = \frac{CV}{1000}$

$\frac{\text{น้ำหนักของอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง}}{240.93} = \frac{1 \times 500}{1000}$

น้ำหนักของอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต้องชั่ง = 120.47 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การคำนวณปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS และ SBS ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ sur-MAL

สูตร $\frac{g}{MW} = \frac{CV}{1000}$

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

ตัวอย่างการเตรียมสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS 40 mM ปริมาตร 1000 ml และ สารลดแรงตึงผิวชนิด SBS 40 mM ปริมาตร 1000 ml

- การหาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ sur-MAL

สูตร $\frac{\text{น้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ที่ต้องชั่ง}}{\text{มวลโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS}} = \frac{CV}{1000}$

$$\frac{\text{น้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ที่ต้องชั่ง}}{289.43} = \frac{0.04 \times 1000}{1000}$$

น้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ที่ต้องชั่ง = 11.5772 g

- การหาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิด SBS ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ sur-MAL

สูตร $\frac{\text{น้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวชนิด SBS ที่ต้องชั่ง}}{\text{มวลโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวชนิด SBS}} = \frac{CV}{1000}$

$$\frac{\text{น้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวชนิด SBS ที่ต้องชั่ง}}{348.48} = \frac{0.04 \times 1000}{1000}$$

น้ำหนักของสารลดแรงตึงผิวชนิด SBS ที่ต้องชั่ง = 13.9392 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การหาร้อยละการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

ตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 100 mg/L เมื่อทำการดูดซับแล้วมีความเข้มข้นของสารถูกดูดซับคงเหลือเท่ากับ 33.96 mg/L

สูตร ร้อยละการกำจัด $= \left[\frac{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นที่เหลือ}}{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}}\right] \times 100$

ร้อยละการกำจัด $= \left[\frac{100 - 33.96}{100}\right] \times 100$

ร้อยละการกำจัด $= 66.04$

4) การหาปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ (q_e)

ตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 100 mg/L เมื่อทำการดูดซับแล้วมีความเข้มข้นของสารถูกดูดซับคงเหลือเท่ากับ 33.96 mg/L ปริมาตรของสารละลายสารถูกดูดซับ เท่ากับ 0.05 L และปริมาณตัวดูดซับ LDH เท่ากับ 0.0600 g

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

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

$$q_e = \frac{(100 - 33.96)\,(0.05)}{0.0600}$$

$$q_e = 55.03 \text{ mg/g}$$

โดย q_e คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่สมดุล (mg/g)

q_i คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับเริ่มต้น (mg/g)

C_i คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเริ่มต้น (mg/L)

C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (mg/L)

V คือ ปริมาตรของสารถูกดูดซับ (L)

W คือ ปริมาณตัวดูดซับ LDH (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การหาพื้นที่ผิวตัวดูดซับ LDH จากการดูดซับไอโอดีน

5.1) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

ตัวอย่าง ไทเทรต $Na_2S_2O_3$ ด้วยสารละลาย KIO_3 0.10 M (0.10 N) ปริมาตร 25 ml และปริมาตรของไทแทรนต์ (Na_2SO_3) ที่ใช้เท่ากับ 25.30 ml

สูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

$(0.10\ M)(25\ ml) = C_2(25.30\ ml)$

$C_2 = 0.0988\ M\ (0.0988\ N)$

โดย C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย KIO_3 (mol/L,M)

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลาย KIO_3 (ml)

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ (mol/L,M)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ (ml)

5.2) หาความเข้มข้นของไอโอดีนแบลงค์

$2Na_2S_2O_3 + I_2 \longrightarrow 2NaI + Na_2S_4O_6$

ตัวอย่าง ไทเทรต I_2 ปริมาตร 25 ml ด้วยสารละลาย Na_2SO_3 0.0988 M ปริมาตรของไทแทรนต์ ($Na_2S_2O_3$) ที่ใช้เท่ากับ 24.33 ml

สูตร $\frac{1}{2}C_1V_1 = C_2V_2$

$$C_2 = \frac{(0.0988\ M)(24.33\ ml)}{2(25\ ml)}$$

$C_2 = 0.0481\ M\ (0.0962\ N)$

โดย C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ (mol/L,M)

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ (ml)

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย I_2 (mol/L,M)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลาย I_2 (ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3) หาความเข้มข้นของไอโอดีนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ MAL-2.0

ตัวอย่าง MAL ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al เท่ากับ 2:1 ใช้ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 0.0520 กรัม ในสารละลาย I_2 ปริมาตร 100 ml ที่ใช้ในการดูดซับ นำสารละลาย I_2 ที่ผ่านการดูดซับปริมาตร 50 ml ไทเทรตกับสารละลาย $Na_2S_2O_3$ 0.0988 M ปริมาตรของไทแทรนต์ ($Na_2S_2O_3$) ที่ใช้เท่ากับ 45.17 ml

สูตร $$\frac{1}{2} C_1V_1 = C_2V_2$$

$$C_2 = \frac{(0.0988\ M)(45.17)}{2\ (50\ ml)}$$

$$C_2 = 0.0446\ M$$

โดย C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ (mol/L,M)

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ (ml)

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย I_2 (mol/L,M)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลาย I_2 (ml)

ความเข้มข้นไอโอดีนที่เปลี่ยนแปลง = ความเข้มข้นไอโอดีนแบลงค์ – ความเข้มข้นไอโอดีนที่ใช้ไป

$= 0.0481 - 0.0446$

$= 0.0035$ mol/L

ในสารละลาย 1000 ml มีจำนวนโมลของไอโอดีนเท่ากับ 0.0035 mol

ในสารละลาย 100 ml มีจำนวนโมลของไอโอดีนเท่ากับ 3.5×10^{-4} mol

คิดเป็นกรัม $$mol = \frac{g}{MW}$$

$$g = (3.5 \times 10^{-4}\ mol)(253.80\ g/mol)$$

$$g = 0.0888\ g$$

$$= 88.83\ mg$$

ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ LDH

สูตร $$\frac{\text{ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ}}{\text{ปริมาณตัวดูดซับ LDH}}$$ หน่วย mg/g

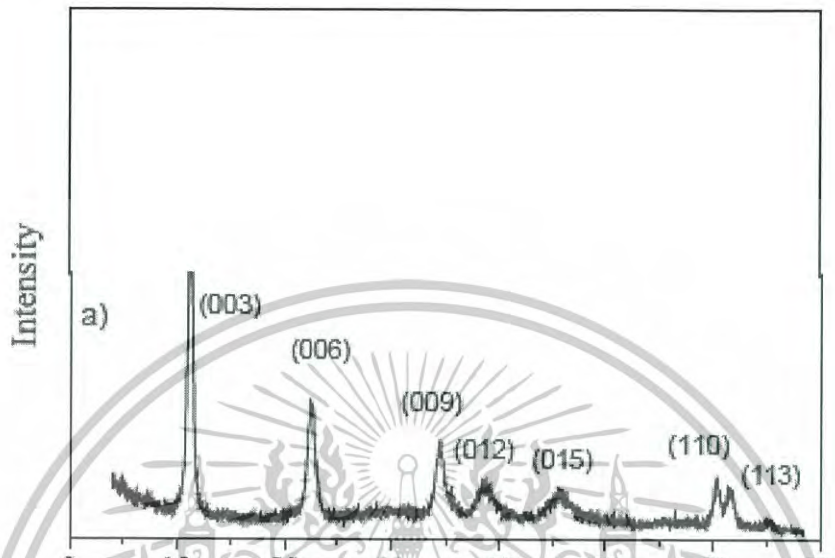
$$= \frac{88.83}{0.0520}$$

$$= 1708.26\ mg/g$$

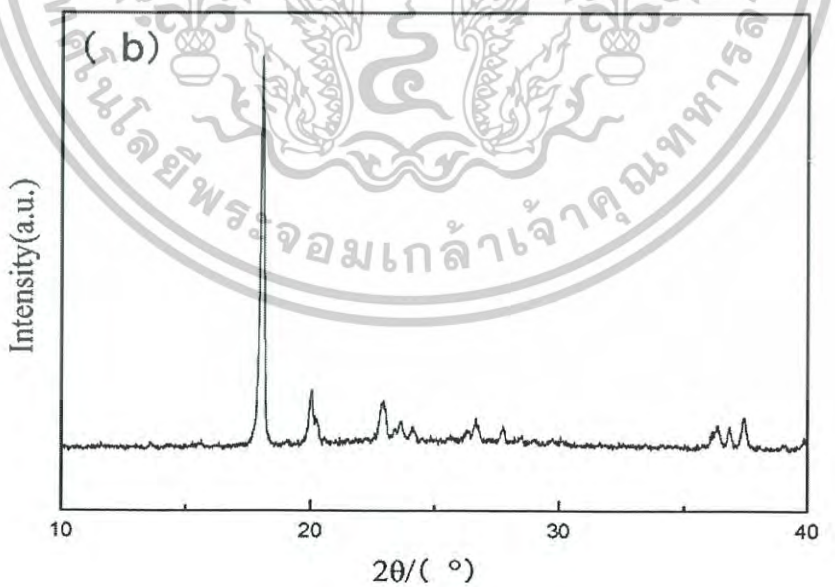
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ดิฟแฟรคโทรแกรมของสารต่างๆจากงานวิจัยที่อ้างอิง

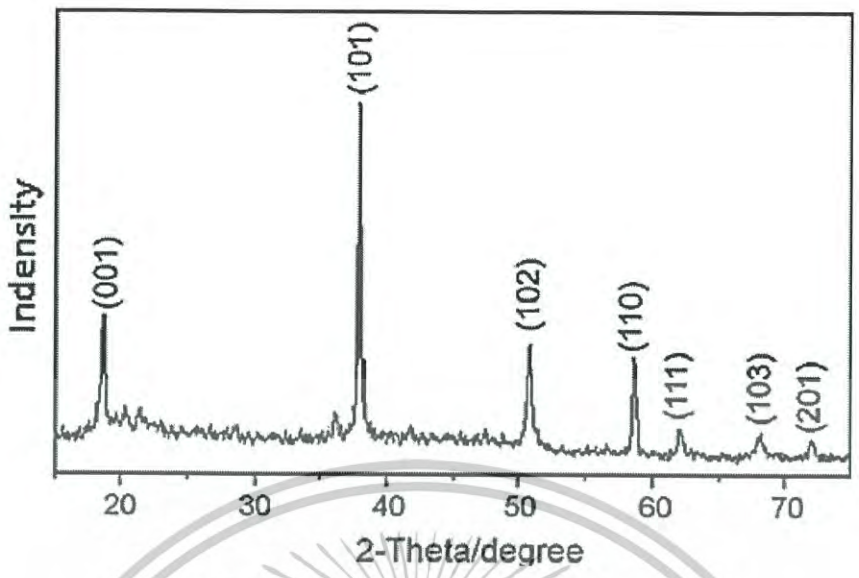


รูปที่ ข.1 ดิฟแฟรคโทรแกรมของ Mg-Al LDH [24]



รูปที่ ข.2 ดิฟแฟรคโทรแกรมของ $Al(OH)_3$ [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 ดิฟแฟรคโทรแกรมของ ($Mg(OH)_2$) [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้