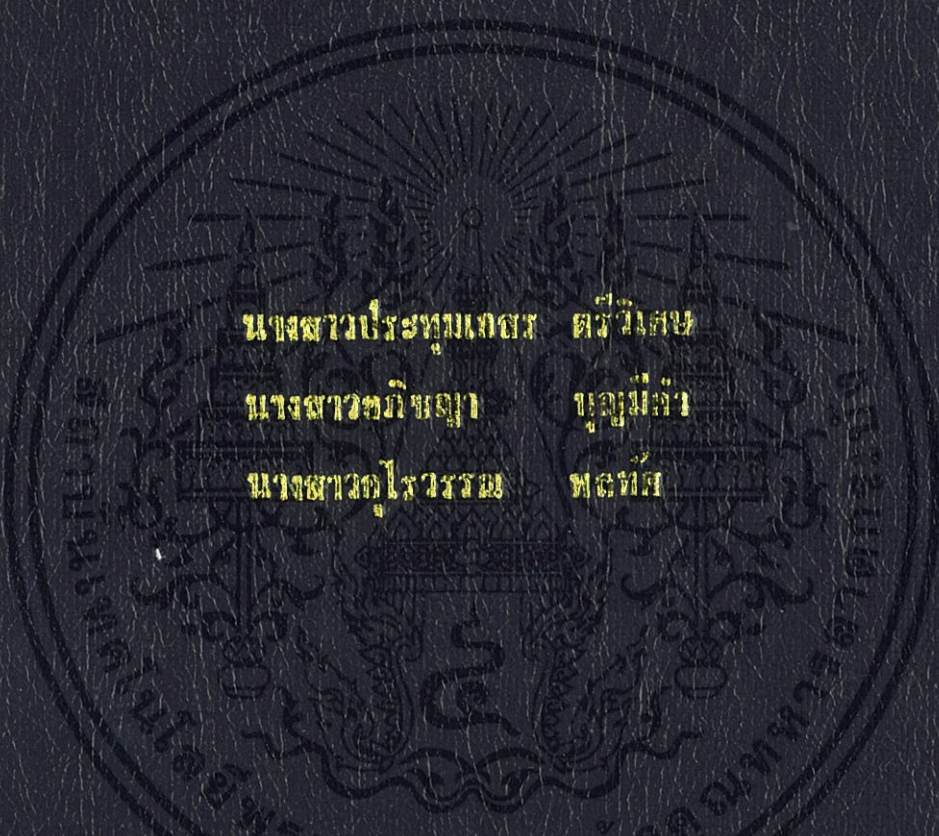


การดูดซับของโคเรดตัวไฮดรอกไซด์ผสมของอลูมิเนียมและแมกนีเซียม
Adsorption of Congo Red Dye on Aluminum Magnesium mixed
Hydroxide



นางสาวประทุมเกษตร ตรีวิเศษ
นางสาวอภิขญา บุญมีแก้ว
นางสาวอุไรวรรณ พลพิท

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม - เครื่องมือวิเคราะห์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

การดูดซับคองโกเรดด้วยไฮดรอกไซด์ผสมของอลูมิเนียมและแมกนีเซียม
Adsorption of Congo Red Dye on Aluminum Magnesium mixed
Hydroxide



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานโครงการพิเศษนี้ มิใช่ผู้ให้สิทธิไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2555

Adsorption of Congo Red Dye on Aluminum Magnesium mixed
Hydroxide



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY – ANALYTICAL INSTRUMENTATION

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริหารนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การกำจัดสีย้อมชนิดคองโกเรดด้วยตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสม
ของอลูมิเนียมและแมกนีเซียม

Adsorption of Congo Red Dye on Aluminum Magnesium mixed
Hydroxide

นักศึกษา

นางสาวประทุมเกสร ตริวิเศษ

นางสาวอภิขญา บุญมีคำ

นางสาวอุไรวรรณ พลทัต

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา

เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์

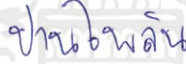


ปีการศึกษา

2555

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์
ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ปานไพลิน สีหาราช	
ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ	การกำจัดสีย้อมชนิดคองโกเรดด้วยตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของอลูมิเนียมและแมกนีเซียม
นักศึกษา	นางสาวประทุมเกสร ศรีวิเศษ นางสาวอภิญา บุญมีคำ นางสาวอุไรวรรณ พลทัต
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการดูดซับสีย้อมชนิดคองโกเรดในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของอลูมิเนียมและแมกนีเซียม (MMH) ซึ่งเตรียมโดยวิธีการตกตะกอนร่วมระหว่างอลูมิเนียมคลอไรด์และแมกนีเซียมคลอไรด์ ตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรดที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมของตัวดูดซับ MMH ค่าพีเอชของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ MMH ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมคองโกเรด และเวลาของการดูดซับ ภายใต้การดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิห้อง จากผลทดลองพบว่าสีย้อมคองโกเรดถูกกำจัดได้มากที่สุด เมื่อใช้ตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของแมกนีเซียมต่ออลูมิเนียมเป็น 3:1 พีเอชของสารละลายสีย้อมคองโกเรดเป็น 6 ปริมาณตัวดูดซับ MMH 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมคองโกเรด 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และเวลาของการดูดซับ 120 นาที จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่า ไอโซเทอมที่ได้มีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรอยด์ลิตซ์

คำสำคัญ : การดูดซับ ตัวดูดซับ ไฮดรอกไซด์ผสมของอะลูมิเนียมและแมกนีเซียม คองโกเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Adsorption of Congo Red Dye on Aluminum Magnesium mixed Hydroxide
Name	Miss Pratumkasorn Triwises Miss Apichaya Boonmeekham Miss Uraiwan Poltat
Degree	Bachelor of science
Major	Industrial Chemistry – Analytical Instrumentation
Academic Year	2012
Special Project Advisor	Dr. Amnat Permsubscul

ABSTRACT

The aim of this research was to investigate the adsorption of congo red dye in synthetic wastewater on Aluminium Magnesium mixed Hydroxide (MMH). The MMH adsorbent were prepared by co-precipitation method between aluminium chloride and magnesium chloride. The variables affected on the percentage of congo red removal were the mole ratio of Mg to Al of MMH adsorbent, pH of dye solution, adsorbent content, the initial congo red dye concentration and adsorption time. All batch adsorption experiments were operated at room temperature. The results showed that the maximum congo red removal was occurred by using MMH adsorbent containing mole ratio of Mg to Al of 3:1, pH of dye solution of 6, the amount of MMH adsorbent 1500 mg/L, initial congo red dye concentration of 100 mg/L and the adsorption time of 120 minutes. The Freundlich isotherm was found to show the best fit for experimental data.

Keywords : Adsorption, Absorbent, Aluminum Magnesium mixed Hydroxide, Congo red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ โดยได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายๆ ฝ่ายที่ให้ความร่วมมือ ซึ่งผู้คณะจัดทำขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา เอื้อเพื่อเอกสารต่างๆ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ได้เป็นอย่างดีมาตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.ปานไพลิน สีหาราช และ ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง คณะกรรมการที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขเพิ่มเติมในโครงการพิเศษฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์สาขาเคมีทุกท่านเป็นอย่างสูง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา พร้อมทั้งให้คำแนะนำต่างๆ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวก และช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่เป็นกำลังใจให้ และขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ จนโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

นางสาวประทุมเกสร ตริวิเศษ

นางสาวอภิชญา บุญมีคำ

นางสาวอุไรวรรณ พลทัต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูปภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของ โครงการงานพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ตัวดุษฎี.....	5
2.1.1 ทฤษฎีการดุษฎี.....	5
2.1.1.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์.....	7
2.1.1.2 ไอโซเทอมแบบฟรอยด์ลิช.....	8
2.1.2 ชนิดของตัวดุษฎี.....	8
2.1.3 กระบวนการดุษฎี.....	10
2.2 แมกนีเซียมคลอไรด์.....	11
2.2.1 ข้อมูลทั่วไปของแมกนีเซียมคลอไรด์.....	11
2.2.2 การประยุกต์ใช้แมกนีเซียมคลอไรด์.....	11
2.2.3 การเก็บรักษา.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2.2.4 ประโยชน์ของแมกนีเซียมคลอไรด์..... 12
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3 อลูมิเนียมคลอไรด์.....	12
2.3.1 ข้อมูลทั่วไปของอลูมิเนียมคลอไรด์.....	12
2.3.2 การประยุกต์ใช้งาน.....	13
2.3.3 ข้อควรระวัง.....	13
2.3.4 ประโยชน์ของอลูมิเนียมคลอไรด์.....	14
2.4 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์.....	14
2.4.1 ข้อมูลทั่วไปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์.....	14
2.4.2 การประยุกต์ใช้งาน.....	14
2.4.3 ข้อควรระวัง.....	15
2.5 สีย้อม.....	15
2.5.1 ลักษณะทางกายภาพของสีย้อม.....	15
2.5.2 การแบ่งประเภทสีย้อม.....	16
2.5.3 อันตรายที่เกิดจากสีย้อม.....	25
2.6 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำ.....	25
2.6.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี.....	25
2.6.2 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.....	25
2.6.3 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา.....	26
2.6.4 การออกซิไดส์ด้วยโอโซน.....	27
2.6.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น.....	27
2.6.6 นาโนฟิวเตรชั่น.....	28
2.6.7 เทคโนโลยีใหม่.....	28
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดลอง..... 32

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีทราบนาม

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.1 สารเคมี.....	32
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	32
3.3 วิธีการทดลอง.....	34
3.3.1 การเตรียมตัวดูดซับจากวิธีการตกตะกอน (MMH).....	34
3.3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสี่อ้อมคอง โกรเรด.....	36
3.3.3 การกำจัดสี่อ้อมคอง โกรเรดโดยใช้ MMH เป็นตัวดูดซับ.....	37
3.3.4 การวิเคราะห์ตัวดูดซับ MMH.....	41
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	43
4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MMH.....	43
4.1.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH	43
4.1.2 ความเป็นผลึกของตัวดูดซับ MMH	45
4.1.3 องค์ประกอบของโลหะในตัวดูดซับ MMH.....	46
4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลายสี่อ้อมคอง โกรเรด.....	46
4.3 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีผลต่อการกำจัดสี่อ้อมคอง โกรเรด.....	47
4.3.1 อัตราส่วน โดยโมล Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH	48
4.3.2 ผลของ pH ของสารละลายสี่อ้อมคอง โกรเรด.....	51
4.3.3 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH (mg/L).....	54
4.3.4 ผลของความเข้มข้นของสี่อ้อมคอง โกรเรด (mg/L).....	56
4.3.5 ผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสี่อ้อมคอง โกรเรด.....	58
4.4 ไอโซเทอมการดูดซับ.....	60
4.4.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์.....	60
4.4.2 ไอโซเทอมแบบฟรอยด์ลิช.....	62
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อเผยแพร่ในวงจำกัดเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	64

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	65
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก.....	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี.....	7
3.1 ความเข้มข้นและปริมาตรของ $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ และ $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ที่ใช้เตรียมตัวดูดซับ MMH.....	35
3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายสี่ข้อมคอง โกรเรด.....	36
3.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสี่ข้อมคอง โกรเรด.....	38
3.4 การศึกษาผลของ pH ที่มีผลต่อการกำจัดสี่ข้อมคอง โกรเรดด้วยตัวดูดซับ MMH.....	38
3.5 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสี่ข้อมคอง โกรเรด.....	39
3.6 การศึกษาผลของความเข้มข้นของคอง โกรเรดที่มีผลต่อตัวดูดซับ MMH.....	40
3.7 การศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อการกำจัดสี่ข้อมคอง โกรเรด.....	40
4.1 องค์ประกอบของตัวดูดซับวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF.....	46
4.2 ค่า Absorbance ของสารละลายมาตรฐานสี่ข้อมคอง โกรเรด.....	46
4.3 ผลของอัตราส่วนของ Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสี่ข้อมคอง โกรเรด.....	48
4.4 ผลของ pH ที่มีผลต่อการกำจัดสี่ข้อมคอง โกรเรดด้วยตัวดูดซับ MMH.....	51
4.5 ผลของปริมาณ MMH ที่มีต่อการกำจัดสี่ข้อมคอง โกรเรด.....	54
4.6 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี่ข้อมคอง โกรเรดที่มีผลต่อการกำจัดสี่ข้อมคอง โกรเรด.....	56
4.7 ผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสี่ข้อมคอง โกรเรด.....	58
4.8 แสดงผลการคำนวณตัวแปรตาม ไอโซเทอมของแลงเมียร์.....	60
4.9 แสดงผลการคำนวณตัวแปรตาม ไอโซเทอมของฟรอยด์ลิช.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างของสีย้อมสีไตรีนชนิดต่างๆ.....	17
2.2 Sodium3,3'-(1E,1'E)-biphenyl-4,4'-diylbis(diazene-2,1-diyl)bis (4-aminonaphthalene-1-sulfonate).....	17
2.3 แสดงโครงสร้างของสีแอซิด.....	19
2.4 แสดงโครงสร้างของสีรีแอคทีฟ.....	20
2.5 แสดงโครงสร้างของสีเบสิกชนิดต่างๆ.....	21
2.6 แสดงโครงสร้างของสีย้อมสีดิสเพอร์ส.....	22
2.7 แสดงโครงสร้างของสีย้อมสีอะโซอิก.....	23
2.8 แสดงโครงสร้างของสีย้อมสีวัต.....	23
3.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (XRD).....	41
3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	41
3.3 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF).....	42
4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	44
4.2 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วน Mg/Al ต่างๆ.....	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ผลของ pH สารละลายสีย้อมที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด.....	52
4.8 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อความเข้มข้นของสีย้อมคองโกเรด.....	55
4.9 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด	55
4.10 ผลของความเข้มข้นคองโกเรด ที่มีต่อความเข้มข้นเริ่มของสีย้อมคองโกเรด.....	57
4.11 ผลของความเข้มข้นคองโกเรด ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด.....	57
4.12 ผลของเวลาที่มีผลต่อความเข้มข้นของสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ MMH.....	59
4.13 ผลของเวลาที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ MMH.....	59
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_c$ กับ $1/C_c$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์.....	61
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_c$ กับ $\log C_c$ ตามไอโซเทอมของฟรอยด์ลิช.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ในประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมมากมายและหลากหลาย ซึ่งอุตสาหกรรมต่างๆ เหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางน้ำทางดินทางอากาศ และหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมากก็คือ อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นจำนวนมาก และรัฐบาลได้กำหนดนโยบายในการฟื้นฟูเศรษฐกิจ โดยมีอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็น 1 ใน 5 อุตสาหกรรมหลักที่รัฐบาลให้ความสนใจ ขณะเดียวกันปัญหาสิ่งแวดล้อมจะต้องมีการพิจารณาร่วมไปกับการพัฒนาอุตสาหกรรม

น้ำเสียจากกระบวนการทางสิ่งทอของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โรงงานฟอกย้อมมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการผลิตคือ วัสดุ (เส้นใยเส้นด้าย ผ้า) ตัวกลาง (น้ำ) สี และสารเคมี (ได้แก่ โซเดียมซัลเฟต กรดอะซิติก โซเดียมไฮดรอกไซด์ สารช่วยชนิดต่างๆ) ซึ่งในแต่ละขั้นตอนของการผลิตจะมีการใช้น้ำเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและกระบวนการที่สัมผัสพิษที่เกิดขึ้นจากโรงงานฟอกย้อมประกอบด้วย

1. สี ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ย้อมผ้าฝ้ายหรือผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์
2. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ
3. ปริมาณบีโอดี ถ้าบีโอดีมีค่ามากแสดงว่าในน้ำมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่เป็นจำนวนมาก
4. ปริมาณซีโอดี การบอกคุณภาพน้ำ อาจบอกได้โดยค่าความต้องการออกซิเจนในทางเคมี ซึ่งหมายถึงปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์อินทรีย์ โดยใช้สารเคมีซึ่งมีอำนาจในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยในน้ำ เช่น เศษเส้นใยโอลิโกเมอร์ที่หลุดออกจากเส้นใย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอกำลังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งประสบปัญหาที่ทำให้เกิดมลภาวะทางน้ำเนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำในปริมาณสูง มีของเสียเกิดขึ้นมากในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการผลิต และมาตรฐานน้ำทิ้งที่รัฐบาลกำหนดมีความเข้มงวดมากขึ้น ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอจำเป็นต้องพัฒนาระบบการบำบัดน้ำทิ้งให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากน้ำทิ้ง เพื่อไม่ให้เกินค่าที่รัฐบาลกำหนดไว้และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนใกล้เคียงให้ได้รับผลกระทบจากสารเคมีที่มาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

สีเอโซเป็นสีย้อมที่มีกรรมวิธีการสังเคราะห์ค่อนข้างง่าย ให้สีเข้มแม้ใช้ในปริมาณที่น้อย แต่สีชนิดนี้มักสลายตัวตามธรรมชาติได้ยาก เนื่องจากมีโครงสร้างสีที่ซับซ้อนเมื่อถึงระดับประภคที่หลากหลาย เมื่อตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมก็จะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ การย่อยสลายทางชีวภาพของสีย้อมต่างๆได้ถูกทำการศึกษาทั้งในสภาวะมีออกซิเจนและปราศจากออกซิเจน แต่ผลจากการวิจัยพบว่า การสลายตัวทางชีวภาพของสีย้อมมีอัตราต่ำมากและต้องใช้เวลาในการสลายตัวสำหรับกระบวนการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ เช่น การตกตะกอน การดูดซับ การสลายตัวไฟฟ้าเคมีและการสลายตัวออกซิเดชัน

แมกนีเซียมคลอไรด์และอลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารเคมีที่ไม่มีอันตรายและราคาถูก ซึ่งแมกนีเซียมคลอไรด์และอลูมิเนียมคลอไรด์เหมาะแก่การนำมาตกตะกอนร่วมกัน เพื่อทำการสังเคราะห์เป็นตัวดูดซับ เพื่อนำไปดูดซับสีย้อมในน้ำทิ้ง

ดังนั้นโครงการพิเศษนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับ ประสิทธิภาพของตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของอลูมิเนียมและแมกนีเซียม (MMH) ในการกำจัดสีย้อม โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ pH ของสารละลายสีย้อม ผลของปริมาณ MMH ผลของความเข้มข้นของสีย้อม และระยะเวลาของปฏิกิริยาที่มีผลต่อการลดลงของสีย้อมรวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นการช่วยลดปัญหามลพิษทางน้ำอีกทั้งยังประยุกต์ใช้และขยายขนาดไปสู่ภาคอุตสาหกรรมในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมชนิดคองโกเรดด้วยตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของอลูมิเนียมและแมกนีเซียม(MMH)
2. เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีกระทบต่อการกำจัดสีย้อม ได้แก่ pH ของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ปริมาณ MMH ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม และเวลาที่ใช้ในการดูดซับรวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับด้วย

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. การสังเคราะห์ MMH ในอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมคลอไรด์และแมกนีเซียมคลอไรด์ตั้งแต่ 0.25 ต่อ 1 ถึง 4 ต่อ 1
2. การวิเคราะห์คุณลักษณะของMMH ด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่
 - 2.1 วิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-Ray Diffractometer,XRD)
 - 2.2 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope,SEM)
 - 2.3 วิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะในตัวดูดซับ MMH ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence, XRF)
3. ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการกำจัดสีย้อมชนิดคองโกเรดในน้ำทิ้งสังเคราะห์ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่

- อัตราส่วนโดยโมลของตัวดูดซับ MMH ตั้งแต่ 0.25 ต่อ 1 ถึง 4 ต่อ 1

- pH ของสารละลายสีย้อมคองโกเรดตั้งแต่ 1 ถึง 9

- ปริมาณ MMH ตั้งแต่ 600 ถึง 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น - ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมตั้งแต่ 50 ถึง 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

- เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 ถึง 240 นาที

4. ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm) หรือไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.ทราบถึงกระบวนการในการกำจัดสีข้อมชนิดคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ MMH
- 2.ทราบถึงตัวแปรต่างๆที่มีกระทบต่อการกำจัดสีข้อม ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของตัวดูดซับ MMH pH ของสารละลายสีข้อมคองโกเรด ปริมาณMMH ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อม และเวลาที่ใช้ในการดูดซับ
- 3.ทราบถึงไอโซเทอมของการดูดซับสีข้อมคองโกเรดในน้ำทิ้ง สังกะสีด้วยตัวดูดซับ MMH



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตัวดูดซับ

2.1.1 ทฤษฎีการดูดซับ [1]

การดูดซับ (adsorption) หมายถึง การที่โมเลกุลของสารถูกดึงเข้ามาติดผิวของสารดูดซับ หรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารดูดซับ (adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับสารดูดซับ (adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำจะถูกดูดซับได้แต่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับพลังงานอิสระที่ผิวของสารดูดซับจะมีความสัมพันธ์กับแรงตึงผิวและพื้นที่ผิว ดังสมการ (1) เมื่อความตึงผิว (surface tension) หรือพื้นที่ผิว (surface area) เปลี่ยนไปจะเป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มหรือลดลงของพลังงานอิสระที่ผิว ($\Delta G_{\text{surface}}$)

$$\Delta G_{\text{surface}} = \gamma A \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ

$$\Delta G_{\text{surface}} = \text{พลังงานอิสระที่ผิว}$$

$$\gamma = \text{ความตึงผิว}$$

$$A = \text{พื้นที่ผิว}$$

ปริมาณสารดูดซับขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ความดันและพลังงานศักย์ของอันตรกิริยา (interaction potential energy) ระหว่างสารดูดซับ ซึ่งอาจเป็นของแข็งของเหลวหรือก๊าซ กับสารดูดซับซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่าการดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) การดูดซับบนผิวของแข็งแบ่งออกได้ตามแรงที่ดูดซับระหว่างพื้นผิวโมเลกุลเป็น 2 ชนิด

1. การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุล สารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2. การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

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

2.1.1.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ในปีค.ศ.1916 เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่ายที่สุด โดยมีสมมติฐานคือ 1) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน 3) ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ไม่มีแรงกระระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันจากการศึกษา ไอโซเทอมของแลงเมียร์ที่สถานะสมดุลสามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลายได้ดังสมการ (2)

$$q_e = (q_m K_L C_e) / (1 + K_L C_e) \quad \dots\dots\dots(2)$$

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

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

$$1/q_e = (K/C_e) + (1/q_m) \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (mg/g)

q_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่สูงสุด (mg/g)

K = ค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์ (l/mg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามใช้ข้อมูลจากเอกสารนี้เพื่อการค้าหรือการนำข้อมูลไปใช้

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ ณ สถานะสมดุล (mg/l)

ทำการหาค่า q_e และ C_e จากนั้นคำนวณและพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกนสามารถนำมาหาค่า $1/C_e$ ได้ และความชันของกราฟเป็นค่า K

2.1.1.2 ไอโซเทอมแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm)

ในปีค.ศ. 1880-1941 นักฟิสิกส์-เคมีชาวเยอรมัน Herbert Max Finlay Freundlich ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายดังสมการ (4)

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad \dots\dots\dots(4)$$

เมื่อ C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการดูดซับที่สมดุล

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

จากสมการฟรอนด์ลิช เมื่อใส่ ลอการิทึม (logarithm) จะได้สมการ

$$\log q_e = \log k_f + (1/n) \log C_e \quad \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อพลอตกราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ที่อุณหภูมิคงที่ จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกนสามารถนำมาหาค่า k_f ได้ และความชันของกราฟเป็น $1/n$

2.1.2 ชนิดของตัวดูดซับ [2]

ตัวดูดซับ (adsorbent) หมายถึง สารที่มีอำนาจดูดซับสารอื่นไว้บนผิวได้ ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับขึ้นกับ ลักษณะและความมีขั้วของผิว สามารถแบ่งสารดูดซับเป็น 2 ชนิดตามลักษณะขั้วของผิว คือ ชนิดที่มีขั้ว ได้แก่ zeolites, porous alumina, silica gel เป็นต้น และชนิดไม่มีขั้ว ได้แก่ ถ่านกัมมันต์, polymer adsorbent เป็นต้น

1. Zeolites

เป็นสารประกอบของ alumino silicate คือ ประกอบด้วย ซิลิกอน 1 อะตอม และออกซิเจน 4 อะตอม โดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ พบในประเทศญี่ปุ่นและประเทศไคลีสียง นิยมใช้ในการดูดซับความชื้น กลิ่น เพื่อทำให้น้ำบริสุทธิ์รวมทั้งแยกไอออนของแอมโมเนียหรือธาตุของโลหะหนัก ออกจากน้ำและชนิดสังเคราะห์ มีความจำเพาะในการดูดซับสูง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้มาก สามารถดูดซับสารที่ขนาดเล็กกว่า 4 อังสตรอมได้

2. Alumina หรือ aluminum oxide

สังเคราะห์ขึ้นโดยกำจัดน้ำออกจาก alumina hydrates ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) มีพื้นที่ผิวทั้งหมดประมาณ 150-500 ตารางเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 15-60 อังสตรอม นิยมใช้เพื่อดูดซับความชื้นหรือก๊าซที่มีขั้วออกจากก๊าซไฮโดรคาร์บอน

3. silica gel

สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยากำจัดน้ำออกจาก silicic acid หรือปฏิกิริยาระหว่าง sodium silicate กับ sulfuric acid ในทางการค้ามี 2 แบบ คือ แบบ A มีพื้นที่ผิวทั้งหมดประมาณ 650 ตารางเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 2-3 อังสตรอม และแบบ B มีพื้นที่ผิวทั้งหมดประมาณ 450 ตารางเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 7 อังสตรอม นิยมใช้เพื่อดูดความชื้นออกจากก๊าซต่างๆ

4. ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

สังเคราะห์ขึ้นจากวัสดุต่างๆ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ถ่าน ถ่านหิน กะลา คาลโดเนด ฯลฯ ในทางการค้ามี 4 แบบคือ แบบผงมีขนาดอนุภาคประมาณ 15-25 ไมครอน นิยมใช้เพื่อกำจัดสีออกจากผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การผลิตน้ำตาลทรายขาว การผลิตน้ำดื่ม ฯลฯ แบบเม็ดมีขนาดอนุภาคประมาณ 4-6 มิลลิเมตร นิยมใช้เพื่อดูดซับก๊าซหรือของเหลวได้ เช่น ใช้ในการฟอกอากาศให้บริสุทธิ์ ใช้ในการกำจัดซัลเฟอร์ออกจากก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ ฯลฯ แบบโมเลกุลาร์ซีฟ (molecular sieve) มีความจำเพาะ ในการดูดซับสูงมากเนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กและสม่ำเสมอ ลักษณะทั่วไปอาจเป็นผงหรือเป็นเม็ดก็ได้มักใช้เพื่อดูดซับก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซออกซิเจนออกจากอากาศ และแบบโฟเบอร์ สังเคราะห์ขึ้นโดยเลือกสารตั้งต้นเป็น phenolic resin, polyacrylic resin, viscous rayon ลักษณะทั่วไปคล้ายตาข่ายที่มีช่องว่างกว้างประมาณ 7-15 ไมครอน นิยมใช้ผลิตหน้ากาก หรือใช้ในกระบวนการนำสารละลายที่ใช้แล้วกลับไปใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process) [3]

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสาร ที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัส ระหว่าง 2 สถานะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลว กับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่าสารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent)

กลไกของกระบวนการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่พวกสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า Adsorbent การดูดซับนี้จะเป็นการดูดซับแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่างๆทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (Liquid-Solid Interface) ในการดูดซับ โมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แมกนีเซียมคลอไรด์ [4]

2.2.1 ข้อมูลทั่วไปของแมกนีเซียมคลอไรด์

สูตรเคมี :MgCl₂

สถานะ :ของแข็ง

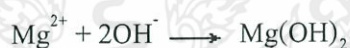
จุดหลอมเหลว (°C): 712

จุดเดือด (°C) :1465

การละลายน้ำ :ละลาย

ความเป็นกรดเบสของสารละลาย :กลาง

แมกนีเซียมสามารถถูกสร้างขึ้นได้ในหลายกระบวนการ มีแมกนีเซียมจำนวนมากในน้ำทะเล และสามารถนำมาใช้ได้ในรูปแบบของแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl₂) ผ่านปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์



2.2.2 การประยุกต์ใช้แมกนีเซียมคลอไรด์

เมื่อนำแมกนีเซียมคลอไรด์มาใช้ทางด้านเกษตร แมกนีเซียมคลอไรด์จะมีผลต่อการเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์ การสะสมธาตุอาหารแมกนีเซียม แคลเซียม โปแตสเซียม เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส และปริมาณน้ำตาลในใบข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีที่ได้รับสารในระยะพัฒนาและระยะสืบพันธุ์ พบว่า ข้าวเจ้าหอมในระยะพัฒนาตอบสนองแมกนีเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 15 mg/L ที่ 7 วันหลังได้รับสาร ทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งมวลชีวภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ธาตุอาหารแมกนีเซียม โปแตสเซียม ทองแดง และแมงกานีส สูงกว่าในต้นข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีที่ได้รับสารในระยะสืบพันธุ์ แต่มีการสะสมธาตุแคลเซียม และเหล็ก ในระยะสืบพันธุ์สูงกว่าระยะพัฒนา

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล พบว่า ระยะวัฒนธรรมมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าในระยะสืบพันธุ์ ต้นข้าวในระยะวัฒนธรรมที่อายุ 5 วันหลังได้รับสารความเข้มข้น 15 mg/L เช่นเดียวกับข้าวในระยะสืบพันธุ์อายุ 7 วันหลังได้รับสารความเข้มข้น 10 mg/L พบว่า มีปริมาณน้ำตาลสูงสุด สรุปได้ว่า สารแมกนีเซียมคลอไรด์ที่พ่นให้กับต้นข้าวมีผลทำให้น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ การสะสมธาตุอาหารแมกนีเซียมแคลเซียม เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส ปริมาณน้ำตาลในใบข้าวเพิ่มขึ้น

2.2.3 การเก็บรักษา

- ภาชนะบรรจุที่วางเปล่าของสารนี้อาจเป็นอันตรายได้เนื่องจากมีกากสารเคมี แต่มีกากสารเคมีตกค้างอยู่ เช่น ไอระเหย ของเหลว
- ให้สังเกตคำเตือนและข้อควรระวังทั้งหมดที่ให้ไว้สำหรับสารนี้

2.2.4 ประโยชน์ของแมกนีเซียมคลอไรด์

- เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตอุตสาหกรรมสิ่งทอ, ใช้เพิ่มความแข็งแรงของอิฐ

2.3 อลูมิเนียมคลอไรด์ [4]

2.3.1 ข้อมูลทั่วไปของอลูมิเนียมคลอไรด์

สูตรเคมี : $AlCl_3$

สถานะ : ของแข็ง

จุดหลอมเหลว ($^{\circ}C$): 193

จุดเดือด ($^{\circ}C$): 180

การละลายน้ำ : ละลาย

ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การประยุกต์ใช้งาน

แป้งดับกลิ่นที่มี aluminum chloride hexahydrant ซึ่งช่วยดกกลิ่นเท้าได้ดีหรือเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่ระบุว่า Antiperspirant ซึ่งเป็นสารระงับเหงื่อและดับกลิ่นเท้าได้ ทำให้เท้าแห้งและปลอดกลิ่นอีกด้วย

โพลีอูมิเนียมคลอไรด์หรือพีเอซี (PAC) สามารถนำไปใช้แทนสารส้มหรืออูมิเนียมซัลเฟตได้เป็นอย่างดี พีเอซีเป็นของเหลวหรือแบบผงสามารถนำไปใช้ผสมกับน้ำดิบได้ทันที โดยใช้เครื่องจ่ายสารเคมีไม่มีกากตะกอนตกค้างในถังจ่ายแต่อย่างใด จึงง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้งานเป็นอย่างยิ่ง

2.3.3 ข้อควรระวัง

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด
- เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้ง
- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ
- เก็บห่างจากการสัมผัสทางแสงแดดโดยตรง, แหล่งความร้อน, สารที่เข้ากันไม่ได้ เช่น สารออกซิไดซ์ที่รุนแรง และสารที่สามารถเกิดการ โพลิเมอร์ได้
- เก็บในบริเวณที่กั้นน้ำได้ และไม่มีแหล่งจ่ายน้ำ รวมทั้งอ่างล้างหน้าและฝักบัวอาบน้ำ
- ควรเก็บในปริมาณเล็กน้อย และมีจัดเก็บเป็นระเบียบเรียบร้อย
- หมั่นทำความสะอาดบริเวณที่เก็บ เพื่อป้องกันการสะสมของผงฝุ่น
- ภาชนะบรรจุของสารที่เป็นถึงเปด้า แต่มีกากสารเคมีตกค้างอยู่ เช่น ไอระเหย ของเหลว อาจเป็นอันตรายได้
- ชื่อทางการขนส่ง : ALUMINUM CHLORIDE, ANHYDROUS
- ประเภทอันตราย : 8
- รหัส UN / NA : UN 1726
- ประเภทบรรจุหีบห่อ : กลุ่ม II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่การศึกษาเท่านั้น ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ในเชิงการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้ใช้ต้องอ่านคู่มือ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ตา โคนผิวหนังหรือเสื้อผ้า หลีกเลี่ยงการ ได้รับสารเป็นเวลานานหรือซ้ำหลายครั้ง

2.3.4 ประโยชน์ของอลูมิเนียมคลอไรด์

สารนี้ใช้เป็นตัวเร่งที่มีฤทธิ์เป็นกรดในการผลิต สารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้งเรซินของไฮโดรคาร์บอน, เอทิลเบนซีน, โททอเนียมออกไซด์ , ใช้ในการผลิตยา ผงซักฟอกที่มีฤทธิ์เป็นด่าง, เอทิลคลอไรด์, สารเคมีทางการเกษตร, ยางบิลทิล, พลาสติก, สารหล่อลื่น , สารเพิ่มความหอมและเครื่องสำอาง และให้เป็นตัวเร่งในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม, ใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในการผลิตอลูมิเนียม , ใช้เป็นสารตัวกลางทางเคมีสำหรับสารประกอบอลูมิเนียม, ใช้ในการผลิตอลูมิเนียมโบโรไรด์ และลิเทียมอลูมิเนียมไฮไดรด์

2.4 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) [4]

2.4.1 ข้อมูลทั่วไปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

สูตรเคมี : NH_4OH

สถานะ : ของเหลว

จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$) : 36

จุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$) : -72

กลิ่น : คล้ายแอมโมเนีย

สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง : ความร้อน แสงแดด สารที่เข้ากันไม่ได้ และแหล่งจุดติดไฟ

ความเป็นกรดเบสของสารละลาย : เบส

2.4.2 การประยุกต์ใช้งาน

แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ สามารถใช้งานได้หลากหลาย ทั้งในด้านเป็นสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ใช้ในกระบวนการผลิตเส้นใยเรยอนและสิ่งทออื่นๆ เกษษภัณฑ์ กระจก ยาง สารซักฟอก หมึกและสารเคมีอินทรีย์ต่างๆ และใช้ในงานพัฒนาภาพถ่าย ใช้เป็นปุ๋ย สารทำความสะอาดในบ้านเรือน สารเติมแต่งในอาหาร การสกัดโลหะและการทำงานบำบัดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนไปเองเท่านั้น ไม่ใช่ว่าประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ข้อควรระวัง

การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ การหายใจหาสารที่มีความเข้มข้นสูง เข้าไปจะก่อให้เกิดแผลไหม้ น้ำท่วมปอดและอาจตายได้ ความเข้มข้นที่อาจทำให้ตายได้คือ 5000 mg/L การสัมผัสตุ๊กตืวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองและเกิดแผลไหม้ได้ การกลืนหรือกินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อหลอดอาหารและกระเพาะอาหาร และอาจทำให้เยื่อช่องท้องทะลุหรืออักเสบ ทำให้เกิดอาการปวดในปาก, อก, ท้อง, เกิดอาการไอ, อาเจียน และหมดสติได้ การสัมผัสตุ๊กตืวจะก่อให้เกิดการระคายเคือง จะทำให้เกิดอาการปวดตา, เกิดการทำลายตาและอาจทำให้ตาบอด ส่วนการสัมผัสเป็นระยะเวลานาน หรือการสัมผัสน้ำจะก่อให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อของเยื่อเมือก, ทางเดินหายใจส่วนบน, ตา และผิวหนังได้ สารนี้ทำลายปอด ทรวงอก ตับ ไต กระเพาะปัสสาวะ

2.5 สีย้อม [5]

2.5.1 ลักษณะทางกายภาพของสีย้อม

สีย้อม (Dyestuff) คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมวัสดุสิ่งทอ สีย้อมที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด ที่สร้างมาเพื่อดูดซึม หรือดูดซับแสงโดยการตกใ้ที่อยู่บนหรือในผิวหนังของวัตถุ แล้วเกิดการแพร่แทรกซึมเข้าสู่ภายในโครงสร้างของวัตถุ เพื่อที่จะทำให้วัตถุนั้นมีสีขึ้นมาสีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดจะไม่สามารถละลายน้ำแต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใยโดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก (ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง สีที่เห็นจากสีย้อมนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้นมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมที่ต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็น จะมีความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆกันไป ซึ่งสายตาสามารถรับภาพได้ ซึ่งทำให้โมเลกุลสีย้อม

เอกสารต่างโทนสีกัน แสดงสีให้เราเห็นด้วยสายตาดูออกมาต่างกัน ไป ซึ่งความคงทนจะต่างกันไปในแต่ละการล้าง
ไม่ว่ากรณีใดก็ตามการย้อมสีประเภทนี้ๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การแบ่งประเภทสีย้อม

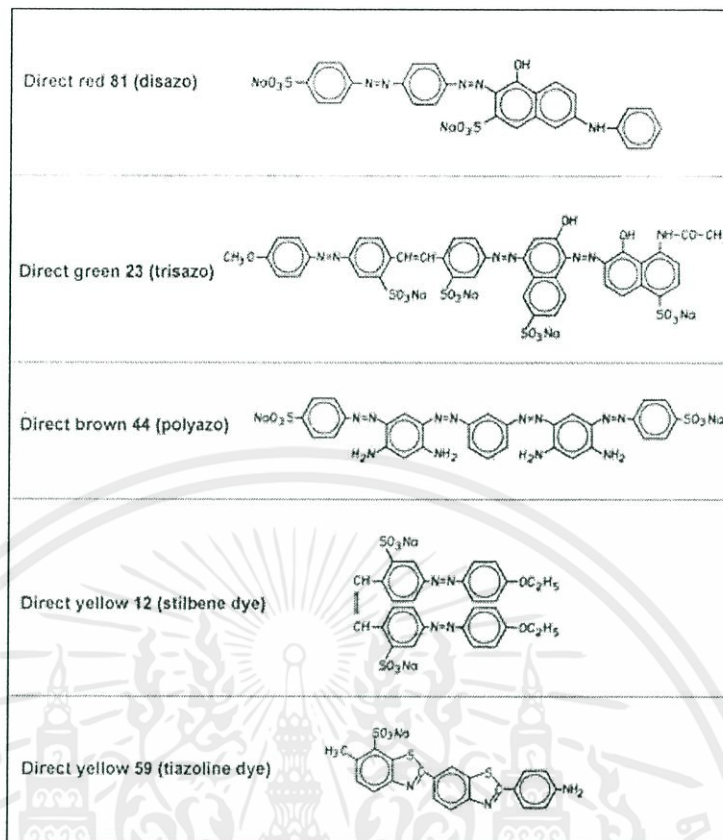
โดยทั่วไปแล้วสีย้อมจะต้องมีระบบพันธะพาย (pi-bond system) และหมู่แทนที่ที่แสดงความเป็นขั้ว (Polar substituent) ที่ทำให้ตัวสีสามารถจะละลายได้ ซึ่งการละลายนี้จะทำให้สีย้อมสามารถแทรกซึมได้ เนื่องจากการละลายจะสามารถทำให้สีแยกตัวออกจากกัน ทำให้เข้าสู่โพรงของเส้นใยได้ ในทางอุณหพลศาสตร์สีย้อมที่ต้องการสีที่มีขนาดโมเลกุลเล็กและสามารถละลายได้ดีในตัวกลางเพื่อความสะดวกและง่ายต่อการย้อม ในขณะที่ต้องการสีที่มีขนาดโมเลกุลขนาดใหญ่และไม่ละลายในตัวกลางใดๆ เมื่อเข้าไปอยู่ในเส้นใยแล้ว เพื่อความคงทนที่สูง ในระบบของเคมีฟิสิกส์นั้นสามารถที่จะแบ่งชนิดของสีย้อมตามหมู่ช่วยละลายของสีย้อม (Solubilising group) และไม่แบ่งละเอียดดังเช่นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับการย้อมด้านอื่นๆ สาเหตุที่แบ่งอย่างนี้เนื่องจากว่าระบบการศึกษาของเคมีเชิงฟิสิกส์นั้นจะพิจารณาค่าการละลายและความเป็นอยู่ของสีย้อมในตัวกลางและเส้นใยเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น

1. สีที่มีหมู่ช่วยละลายถาวร (Permanent solubilising group) กลุ่มนี้นั้นจะมีหมู่ช่วยละลายที่เกาะอยู่บนโครงสร้างสีอย่างถาวร แม้ว่าจะมีการผ่านกระบวนการใดๆ หมู่ช่วยละลายก็ยังอยู่บนโครงสร้างสีหรือแม้กระทั่งสีที่เกาะบนผ้าแล้วก็ตามยังสามารถแบ่งได้เป็น

1.1 หมู่ที่แสดงประจุลบ (Anionic group) ได้แก่หมู่ซัลโฟเนต (Sulfonate) หมู่คาร์บอกซิเลต (Carboxylate) ฯลฯ ในกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำออกมามักจะแตกตัวออกมาให้เป็นไอออนลบของตัวสีในน้ำ กลุ่มนี้จะละลายตัวได้ดีในสภาวะเบส เนื่องจากค่าของสารละลายมีค่าสูงกว่าค่าทำให้สีกลุ่มนี้เกิดการแตกตัวได้ดียิ่งขึ้น หมู่ซัลโฟเนตนั้นจะมีความเป็นกรดที่แก่กว่าหมู่คาร์บอกซิเลต ดังนั้นค่าของตัวสีที่มีหมู่ซัลโฟเนตนั้นก็จะสามารถที่จะแตกตัวได้ที่ต่ำกว่ายังทำให้ความสามารถในการทนสภาวะกรดได้สูงกว่าด้วย ตัวอย่างของสีในกลุ่มนี้ได้แก่สีไดเรกต์ สีแอสิด ฯลฯ

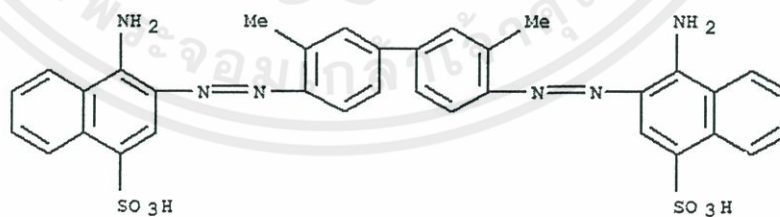
- สีไดเรกต์ (direct dye) หรืออาจเรียกว่าสีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบ อะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟเนตที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุเป็นลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย ทนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนของนักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของสีไคเร็กซ์ชนิดต่างๆ

สีไคเร็กซ์ตัวแรกชื่อว่า คองโก เรด (Congo Red) ในปี ค.ศ.1884 (พ.ศ.2427) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใน โลกสำหรับชื่อสีไคเร็กซ์นั้น ได้มาจากเป็นสีที่สามารถย้อมได้โดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลส สีไคเร็กซ์จัดเป็นสีที่มีประจุลบเนื่องจากหมู่ซัลโฟเนตที่เกาะติดอยู่กับสีเมื่อละลายน้ำ แสดงประจุลบ โครงสร้างของสีคองโก เรด แสดงได้ดังนี้



• 2 Na

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอ้างอิงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.2 Sodium 3,3'-(1E,1'E)-biphenyl-4,4'-diylbis(diazene-2,1-diyl) bis(4-aminonaphthalene-1-sulfonate)

สีไคเร็กซ์เป็นสีที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ แบบราบในแนวระนาบ สามารถละลายน้ำได้ดี เนื่องจากมีหมู่ซัลโฟเนตเกาะติดอยู่กับตัวสี สีไคเร็กซ์สามารถข้อมบนสันใยเซลลูโลส เช่น ฝ้าย เรยอน ลินิน ปอ ป่าน เป็นต้น

ประเภทของสีไคเร็กซ์

1.กลุ่ม A “Self leveling Dye”

กลุ่มเอ (Class A) ที่เรียกว่า Self-leveling หรือ สีประเภทข้อมสม่ำเสมอด้วยตัวเอง ดังนั้นสีกลุ่มนี้จะมีการเคลื่อนตัวสูง เพราะว่ามีขนาดโมเลกุลเล็กกว่ากลุ่มอื่นๆ สีในกลุ่มนี้เป็นสีที่ข้อมง่ายสุด เพราะมีขนาดโมเลกุลเล็ก แต่มีต้นทุนที่สูงเพราะมีกระบวนการผลิตยาก จึงไม่นิยมนำใช้งานในกระบวนการข้อมไม่ต้องใช้ค่า สีสามารถปรับความสม่ำเสมอด้วยตัวเองได้ เนื่องจากโมเลกุลขนาดเล็ก แต่ต้องใช้เวลาในการข้อมเพื่อให้เกิดการปรับความสม่ำเสมอ

2.กลุ่ม B “Salt Controllable Dye”

กลุ่มบี (Class B) ที่เรียกว่า Salt-controllable หรือ สีประเภทข้อมสม่ำเสมอด้วยการควบคุมเกลือ ซึ่งเป็นสีที่ต้องควบคุมด้วยการเติมเกลือเพื่อให้เกิดการข้อมที่สม่ำเสมอ ซึ่งมีขนาดโมเลกุลปานกลาง สีในกลุ่มนี้นิยมและมีการใช้งานมากที่สุด มีการเติมเกลือเพื่อใช้ควบคุมความสม่ำเสมอ

3.กลุ่ม C “temperature Controllable Dye”

กลุ่มซี (Class C) ที่เรียกว่า Temperature-controllable หรือสีประเภทข้อมสม่ำเสมอด้วยการควบคุมอุณหภูมิ เป็นสีที่การควบคุมเกลือและอุณหภูมิ ควบคู่กัน เพื่อให้เกิดการข้อมสม่ำเสมอ ซึ่งสำหรับในกลุ่มนี้จะมีความโมเลกุลใหญ่กว่ากลุ่มเอและกลุ่มบี สีในกลุ่มนี้มีการใช้งานปานกลาง ต้องใช้มีการควบคุมทั้งปริมาณเกลือและอุณหภูมิในการข้อม

ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสีไคเร็กซ์ที่ดี

1. โครงสร้างยาวและเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกส 2. ที่โครงสร้างที่มีวงแหวนเบนซีนต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน และให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น 3. โครงสร้างต้องมีกลุ่มเคมีที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

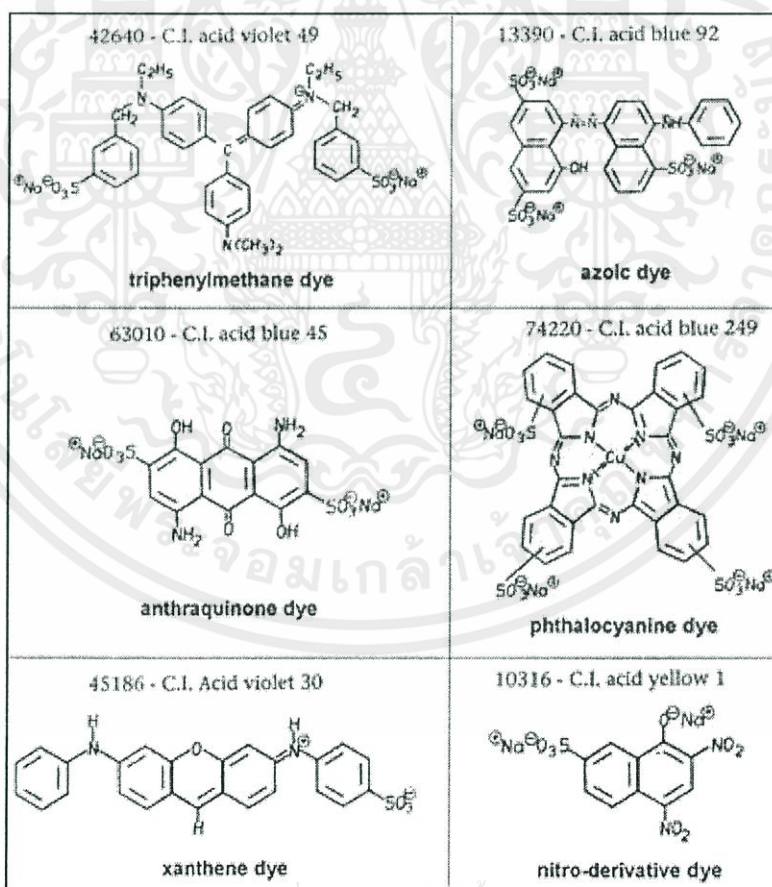
4. กลุ่มเคมีที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างควรอยู่ห่างกันประมาณ 10.8 Å

5. กลุ่มเคมีที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนควรจะอยู่คนละด้านกับกลุ่มเคมีที่ช่วยในการละลายน้ำ

สมบัติการใช้งานของสีย้อม

มีความคงทนของสีต่อแสงสีและอาจมีความคงทนของสีต่อการซักล้างต่ำ ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส ฝ้าย เรยอน ลินิน เป็นต้น

- สีย้อมกรด (Acid dye) สีนชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีย้อมบางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน โยขนแกะ ไหม และอิลริกได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีย้อมไม่ทนต่อการซัก ไม่ทนเหงื่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก **รูปที่ 2.3** แสดง โครงสร้างของสีย้อมกรด เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สีย้อมแอทีฟ (Reactive Dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นค่าขี้ ย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH) ของเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ในสภาวะที่เป็นค่าขี้กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีย้อมแอทีฟมี 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิ 70-75 °C และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิปกติ สีย้อมแอทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนทุกสภาวะ

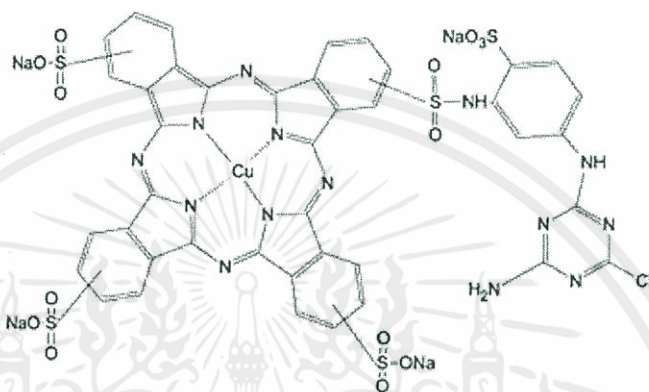


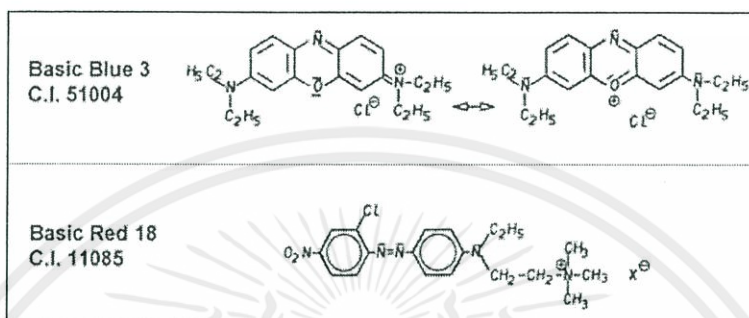
Figure 1. Molecular structure of the reactive dye turquoise blue 15 (AT15).

รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของสีย้อมแอทีฟ

1.2 หมู่ที่แสดงประจุบวก (Cationic group) ได้แก่ หมู่เอมีนชนิดทุติยภูมิ (2°amine) หมู่เอมีนชนิดตติยภูมิ (3°amine) กลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำจะเกิดการดึงโปรตอนจากโมเลกุลของน้ำเนื่องจากอิเล็กตรอนคู่อิสระของอะตอมของไนโตรเจนในหมู่เอมีน ทำให้สีกลุ่มนี้สามารถละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดเพราะว่ามีโปรตอนในระบบมาก ซึ่งหมู่อัลคิลที่เกาะอยู่กับอะตอมของไนโตรเจนยิ่งมากเท่าไร ก็จะทำให้อิเล็กตรอนคู่อิสระของไนโตรเจนมีความหนาแน่นยิ่งขึ้น ก็จะทำให้ความสามารถในการดึงโปรตอนจากน้ำได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ความเป็นเบสสูงขึ้นทำให้ตัวสีมีค่าต่ำกว่าและสามารถที่จะทนได้สูงขึ้น ตัวอย่างของสีกลุ่มนี้ได้แก่ สีเบสิก เนื่องจากค่า pH ของสารละลายจะมีผลต่อการแสดงประจุของสีนั้น ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการแตกตัวออกมา จะเห็นได้ว่าการละลายของสีใน 2 กลุ่มนี้จะเป็นกลไกการละลายด้วยการทำลายพันธะ ดังนั้นการให้ความร้อนเข้าสู่ระบบก็จะทำให้สีนั้นสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สีเบสิก (Basic or cationic dye) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (organic base) ให้ประจุลบ ละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอนและใยอะคริลิกได้ดี ในขณะที่ย้อมโมเลกุลของสีส่วน ที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติเพราะจะไม่ทนต่อการซัก และแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของสีเบสิกชนิดต่างๆ

1.3 หมู่ที่ไม่แสดงประจุ (Non-ionic group) ในกลุ่มนี้จะแตกต่างจาก 2 กลุ่มแรก ซึ่งเป็นสีที่มีความไวต่อค่า pH ของสารละลายมากกว่า เนื่องจากสีกลุ่มนี้ไม่มีหมู่ที่แสดงประจุใดๆบนโครงสร้าง แต่จะมีหมู่ที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy) หมู่เอมีนปฐมภูมิ (1° amine) หมู่ซัลโฟนาไมด์ (Sulfonamide) หมู่อีเธอร์ (Ether) และเมื่อให้พลังงานความร้อนเข้าไป ก็จะทำให้พลังงานพันธะระหว่างสีย้อมและน้ำถูกทำลายลงไปด้วย ส่งผลทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลงด้วย ในกลุ่มนี้ได้แก่สีดิสเพอร์ส ฯลฯ

- สีดิสเพอร์ส (Disperse dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตด เส้นใยพอลิเอสเตอร์ และอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารพา (carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิ และความดันสูง สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดีแต่สีจะซีดถ้าถูกควันทันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนโตรซอกไซด์ สีดิสเพอร์สแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มโดยพิจารณาจากเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (azo dyes) และสีย้อมแอนควิโนน (amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทานอลามีน (ethanolamine; $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

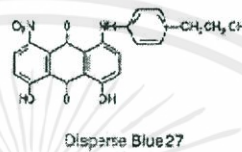
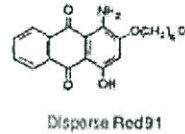
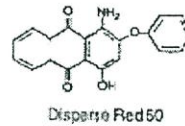


FIGURE 10.3 Example of commercial disperse dyes based on anthraquinone chemistry.

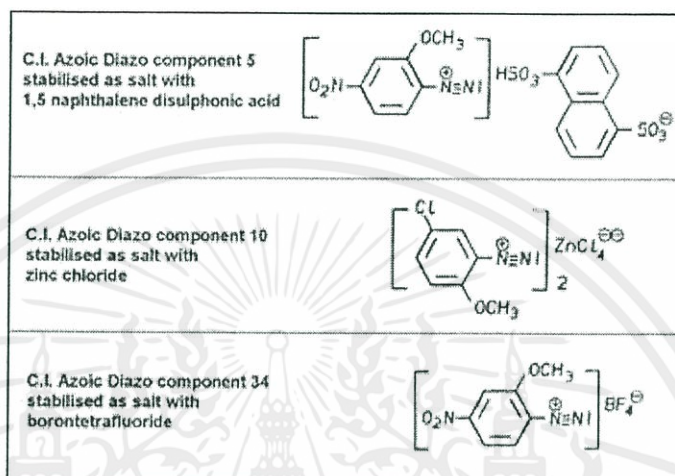
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของสีดิสเพอร์ส

2. สีที่มีหมู่ละลายชั่วคราว (Temporary solubilising group) กลุ่มนี้มักจะมีหมู่ฟังก์ชันอื่นๆที่สามารถทำปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมแล้วกลายเป็นหมู่ที่ละลายน้ำ หรือไม่ก็เป็นหมู่ที่มีมากับตัวสีย้อมเองอยู่แล้ว แต่เมื่อนำมาข้อมบนผ้าแล้ว หมู่เหล่านี้จะถูกทำให้กลายเป็นหมู่ที่ไม่ละลายน้ำเหมือนเดิมหรือไม่ก็ถูกเปลี่ยนรูปใหม่ให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้สีกลุ่มนี้มีความคงทนต่อการเปียกสูง สามารถแบ่งได้เป็น

2.1 หมู่ที่แสดงประจุลบ ได้แก่ หมู่ฟีนอกไซด์ (Phenoxide) หมู่ซัลเฟต (Sulfate) กลุ่มนี้ก็เช่นเดียวกับหมู่ที่มีประจุลบถาวร ในแง่ของความสามารถละลายได้ในสภาวะเบส โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมู่ฟีนอกไซด์ที่สามารถละลายได้ในเบสแก่ เช่นสารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่านั้น ตัวอย่างของสีที่ใช้หมู่ฟีนอกไซด์เป็นหมู่ช่วยละลายขณะย้อมได้แก่ สีวัต สีอะโซอิก ฯลฯ ในขณะที่หมู่ซัลเฟตนั้นมีความเป็นกรดที่สูงกว่า จึงสามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นเบสอ่อนกว่าฟีนอกไซด์ โดยที่สามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นกลางได้ สีในกลุ่มนี้ได้แก่ สีโซลูบิไลซ์วัต (Solubilised vat dyes)

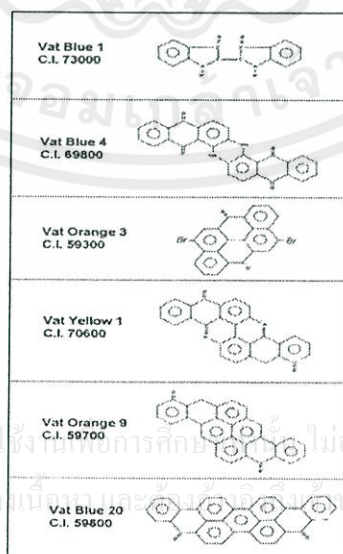
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สีอะโซอิก (Azoic dye) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมเป็นสี (coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโปเนนท์ซึ่งจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกย้อมเส้นใยได้ ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตต สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนทานต่อการขัดถู



รูปที่ 2.7 แสดง โครงสร้างของสีอะโซอิก

- สีวัต (Vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้ สีวัตละลายน้ำโดยให้ปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีวัตจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นเกลือ จึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปฟุ้งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็น สีวัต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (indigoid) และสีแอนทราควินอยด์ (antraquinoid)



รูปที่ 2.8 แสดง โครงสร้างของสีวัต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษา ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหานี้ลงบนสื่ออื่นของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หมูที่แสดงประจวบ ใต้แก้มโอเนียมกลุ่มนี้มีประจวบติดกับโครงสร้าง เมื่อทำการออกซิเดชันตัวสีก็สามารถปล่อยหมูช่วยละลายออกมา แล้วตัวสีก็ตกตะกอนในเส้นใย สี Alcain ก็เป็นตัวอย่างของสีกลุ่มนี้ แต่ในปัจจุบัน ไม่มีการใช้งานแล้ว

ส่วนใหญ่แล้วสีย้อมที่ปนเปื้อนมาจากน้ำเสียจะมาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งเป็น อุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง ทำให้มีการพัฒนาทั้งทางด้านกระบวนการผลิตและการแข่งขัน สูงขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบ ในทุกขั้นตอนการผลิตไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การถักผ้า และการฟอกย้อมก็ ตาม โดยวัตถุดิบที่ใช้ เช่น สีย้อมผ้า สารเคมี เป็นต้น บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดละลายน้ำไม่ได้ จึงทำให้น้ำมีสภาพแปรเปลี่ยนไปที่เราเรียกว่าน้ำเสียเช่นอุณหภูมิสูงขึ้น มีกลิ่น มีสี ตลอดจนทำให้ สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำตายเนื่องจากมีสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณที่สูง ทำให้ขาดออกซิเจนและผลกระทบ ของน้ำเสียนี้ยังเป็นตัวยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ต่างๆ ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมประเภทที่มีการใช้น้ำและสารเคมีจำนวนมาก ปัญหาใหญ่ ที่พบและนับว่ามีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมคือ การปล่อยน้ำเสียลงสู่สิ่งแวดล้อม น้ำเสียที่ ปล่อยออกมาประกอบด้วย สี, ค่าบีโอดี, ค่าซีโอดี, กรด-ด่าง, สารแขวนลอย, ความร้อน และอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดการทำลายทัศนียภาพและเป็นที่น่ารังเกียจมลสารส่วน ใหญ่ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมนั้นมาจากกระบวนการย้อมสี (dyeing) และการ ตกแต่งสำเร็จ (finishing) โดยส่วนมากแล้วมลสารเหล่านี้และสีบางประเภทสามารถบำบัดได้ด้วยวิธี ทางกายภาพและทางเคมีต่างๆ ไป แต่มีสีบางประเภทที่ไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีดังกล่าว ซึ่งสีที่ใช้ ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลายชนิด เช่น สีรีแอคทีฟ, สีเอซิด, สีเบสิก, สีไคเร็กซ์, สีเว็ด, สีดิส เพอร์ส เป็นต้น ผลเสียที่เกิดขึ้นจากสีนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้วยัง ลดอัตราการนำเข้าของออกซิเจนที่เข้าสู่ผิวหน้าของแหล่งน้ำ และ บดบังปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกลง สู่ผิวน้ำทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทำ ให้สัตว์น้ำอาจตายได้ ดังนั้นการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงานจึงมีความจำเป็นในการ ป้องกันปัญหามลพิษที่แหล่งกำเนิดและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย โดยมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดก็ตามหากทั้งห้ามีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 อันตรายที่เกิดจากสีย้อม

ส่วนใหญ่แล้วสีย้อมนั้นจะใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมากเป็นอันดับหนึ่ง ซึ่งสีย้อมที่ใช้ นั้นเป็นสีสังเคราะห์จากสารเคมีทั้งสิ้น ซึ่งส่วนประกอบของสีย้อมนั้นจะเป็นพวกโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ปรอท สารหนู และโครเมียม เป็นต้น ซึ่งเป็นสีที่ไม่สามารถรับประทานได้ แต่พบว่ามี การนำสีย้อมเหล่านี้ไปใช้ในการบริโภคโดยใช้เป็นสีผสมอาหาร ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกาย ถ้าหากได้รับปริมาณมากๆ สะสมเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้ อันตรายจากโลหะในสีย้อม ได้แก่

ตะกั่ว : ระยะแรกจะทำให้อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ปวดศีรษะ โลหิตจาง ถ้าสะสมมากขึ้นจะมี อัมพาตที่แขน ขา เพื่อ ชักกระดูก หมดสติ

ปรอท : กรณีเฉียบพลัน จะมีอาการคลื่นไส้ ท้องเดิน ปวดมวนท้องรุนแรง ถ้าสะสมเรื้อรัง เหนื่อยจะบวมแดงคล้ำ ผื่นตาย เบื่ออาหาร อ่อนเพลีย

สารหนู : จะเกิดพิษต่อระบบทางเดินอาหาร ทำให้ผิดปกติ ตับอักเสบ หัวใจวาย

โครเมียม : ถ้าสะสมในร่างกายเกินขนาดจะเกิดอาการเวียนศีรษะ กระหายน้ำรุนแรง อาเจียนหดรสติ และเสียชีวิต เนื่องจากไตไม่ทำงาน ปัสสาวะพิษ

2.6 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำ [6]

กระบวนการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียมียหลายวิธี จะเลือกวิธีใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติน้ำเสียก่อนบำบัด คุณภาพน้ำที่ต้องการหลังจากการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสรุปวิธีการบำบัดสีย้อมได้ดังนี้

2.6.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)

ใช้กันอย่างกว้างขวางโดยมักใช้ร่วมกับการปรับค่าเป็นกรด ต่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นนิยมนำปูนขาว สารส้ม เพอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น การกำจัดสีย้อมโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้มเป็นผลจากการทำให้โมเลกุลของสีดูดซับบนอนุภาคของสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงใต้น้ำทิ้งจากนั้นทำให้น้ำทิ้งเป็นกลางก่อนปล่อยลงสู่น้ำ เทคโนโลยีนี้สามารถกำจัดสีออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากน้ำทิ้งมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของโมเลกุลสีย้อม ถ้าสีย้อมมีโมเลกุลเล็ก เช่น สีประเภทสียอซิด สีรีแอคทีฟ การเกิดตะกอน

ของสีโดยใช้สารส้มจะไม่สามารถทำได้ดังนั้นต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาคตะกอนให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอน เช่น โพลีอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์ที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้ง จะส่งผลเสียต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน

2.6.2 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการดูดซับที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสามารถกำจัดสีย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของของเสียที่จะดูดซับ ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรม สีจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 400 และสูงกว่า 1200 ดังนั้นก่อนการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ จะต้องมีการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสมก่อน โดยการไฮโดรไลซิสด้วยปูนขาว ซึ่งต้องใช้ปูนขาวในปริมาณในการปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 10-11 ซึ่งส่งผลให้พีเอชของน้ำทิ้งสูง ดังนั้นต้องมีการปรับพีเอชให้เป็นกลางก่อนปล่อยทิ้งด้วยการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของสีดูดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นประสิทธิภาพการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรูพรุนของถ่านกัมมันต์เพราะพื้นที่ผิวที่มากขึ้นนั่นเอง แต่การทำให้โมเลกุลสีหลุดออกจากผิวถ่านนั้นทำได้ยาก ต้นทุนการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่จึงสูงมาก เพราะต้องผ่านการเผาและการกำจัดกากซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง รวมถึงค่าใช้จ่ายในส่วนที่มีการปรับพีเอชก่อนปล่อยออกจากโรงงานด้วย ทำให้เทคนิคนี้ไม่เป็นที่นิยมแม้จะมีประสิทธิภาพกำจัดสีสูงก็ตาม

2.6.3 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological Treatment)

กระบวนการนี้อาศัยจุลินทรีย์ในการลดสี โดยจุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นมาใหม่จะมีการดูดซับสีไปด้วยทำให้สามารถบำบัดสีได้ แบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ คือ

-ระบบที่ 1 คือระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ในการทำลาย กินดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปของมวลสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ให้มีค่าความสกปรกตกลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ระบบที่2 คือระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ดัดแปลงจากการบำบัดน้ำเสียแบบที่มีอากาศและไม่มีอากาศรวมกัน โดยเพิ่มเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ ระบบนี้คล้ายกับระบบตะกอนเร่งต่างกันเพียงบ่อนี้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ขุดจากพื้นดินโดยตรง คุณภาพน้ำเมื่อผ่านกระบวนการนี้จะมีค่าบีโอดี ลดลงประมาณร้อยละ 30-50

2.6.4 การออกซิไดส์ด้วยโอโซน (Ozone treatment)

โดยทั่วไปโมเลกุลสีข้อมจะมีหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์พวกวงแหวนกับพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยว ดังนั้นการที่จะทำลายโมเลกุลของสีนั้นต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวก่อน ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้ กระบวนการกำจัดสีข้อมโดยใช้โอโซนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ไม่นานนัก ซึ่งอาจได้รับความนิยมเมื่อมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งที่เข้มงวดขึ้น การโอโซนเนชั่น (Ozonation) เป็นการออกซิไดส์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงมากจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โมเลกุลของสีข้อม ซึ่งส่วนใหญ่มักประกอบด้วยไนโตรเจน คลอรีน หรือซัลเฟอร์จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม

2.6.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane Technology)

กระบวนการกำจัดสีข้อมด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี นำเอาสารเคมีที่ใช้ในการข้อมสี และสีข้อมบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) ใช้ในการกำจัดสีข้อม ที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ (Colloid) ที่ถูกปล่อยออกจากหม้อข้อมหลังจากผ่านการล้าง โดยกำจัดสีประเภทสีย้อมสีที่ใช้ข้อมเส้นใยประเภทโพลีเอสเตอร์ และสีข้อมประเภทซัลเฟอร์ สีแควด และสีอะโซอิกที่ใช้ข้อมเส้นใยฝ้ายและวิสคอส (Viscose) สีข้อมสีย้อมสีเมื่อผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2. ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis) เหมาะสำหรับการกำจัดออสโมซิสข้อม และโมเลกุลของสีข้อมที่มีขนาดใหญ่ เป็นกระบวนการที่จะต้องผ่านเยื่อแผ่น 2 ชั้นตอน คือเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำกร่อย (Brackish Water) และเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำ

ทะเล (Sea water) ซึ่งเยื่อแผ่นแรกจะสามารถกำจัดได้ถึงร้อยละ 94 อย่างไรก็ตามสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทฝ้ายไม่สามารถใช้กระบวนการนี้ได้

3. ไดนามิก เมมเบรน (Dynamic Membrane) ใช้กำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่โดยใช้ตัวรองรับที่รูพรุน เช่น เหล็ก แสตนเลส วัสดุคาร์บอน หรือเซรามิก ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาใช้ Hydrous zirconium (IV) oxide และกรดโพลีอะคริลิก (Zr/PAA) เพื่อปรับปรุงขนาดของรูพรุน กระบวนการนี้สามารถกำจัดได้ถึงร้อยละ 95 หรือมากกว่า

2.6.6 นาโนฟิวเตรชัน (Nanofiltration)

ใช้กำจัดสีย้อมประเภทรีแอกทีฟที่ใช้น้ำย้อมเส้นใยฝ้ายเนื่องจากการย้อมสีรีแอกทีฟต้องใช้สารอิเล็กโทรไลต์ช่วยในการย้อม เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเล็กโทรไลต์เหล่านี้ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

2.6.7 เทคโนโลยีใหม่ (New Technology)

เทคโนโลยีใหม่ๆ มากมายที่เกิดขึ้น มีพื้นฐานตั้งอยู่บนเทคนิคต่างๆ กัน แต่มีวัตถุประสงค์เดียวกันคือ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้เหลือน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น

1. ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และมีการนำมาใช้กันอยู่ในโรงงานประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็วให้ผลการกำจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นสีที่สูงหรือมีสารเจือปนก็ตาม ซึ่งต้นทุนวิธีนี้ต่ำกว่าเทคนิคอื่นๆ ที่คล้ายกันดังนั้นเทคนิคนี้จึงคุ้มค่าต่อการพิจารณาต่อไป

2. ระบบที่มีพื้นฐานของอิเล็กโทรไลซิสที่อยู่ในระหว่างกำลังพัฒนา พลังงานที่ใช้จะสูง และบางครั้งคลอรีนและไฮดรอกซีเรดิคัลสามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกพันธะอย่างควบคุมไม่ได้ ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์หรือพืชแห้ง เช่น ผักตบชวาจะมีองค์ประกอบที่สำคัญคือเซลลูโลสซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันแนลไว้แลกเปลี่ยนไอออนหรือโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yujiang Li และคณะ[7] ศึกษาการกำจัดสีของย้อม Red K-2BP ซึ่งเป็นสีย้อมประเภท anionic โดยกระบวนการที่ใช้เป็นการดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากสาร อลูมิเนียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมคลอไรด์ผสมกับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminum magnesium mixed metal hydroxide, MMH) ซึ่งเตรียมได้จากการตกตะกอนร่วมกัน นำไปวิเคราะห์หาเอกลักษณ์ด้วยเครื่อง XRD TEM โดยกระบวนการจะถูกควบคุมด้วยค่าความเป็นกรด่าง เวลา ความเข้มข้นของสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ และอุณหภูมิ ซึ่งประสิทธิภาพของการดูดซับได้ดีของ MMH คือ ช่วงค่าความเป็นกรด่างของสีย้อมที่ 4 ถึง 11 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 4 ชั่วโมง ปริมาณของตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปฏิริยาที่เกี่ยวข้องจะเป็นการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งจะเกิดบนพื้นผิว และปฏิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิริยาดูดความร้อน โดยตัวดูดซับสามารถที่จะดูดซับสีจากโรงพิมพ์และโรงงานสี มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีอยู่ในช่วง 93.8 ถึง 96.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้มีค่า COD อยู่ในช่วง 77.9 ถึง 83.6 เปอร์เซ็นต์

H. Ghodbane และคณะ[8] ศึกษาการกำจัดสีของสีย้อม C.I. Acid Blue 25 (AB25) ซึ่งเป็นสีย้อมประเภท anthraquinonic โดยกระบวนการที่ใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตเพียงอย่างเดียวและการใช้ UV/H₂O₂ และ UV/Fe(II) การทดลองได้ถูกควบคุมในระบบ batch โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมความดันต่ำแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร สำหรับการย่อยสลายโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยตรง อัตราการกำจัดสีของสีจะเพิ่มขึ้นด้วยการลดค่าความเป็นกรด่างและความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น การกำจัดสีของสี AB25 โดยใช้ UV/ H₂O₂ พบว่าขึ้นกับความเข้มข้นของ H₂O₂ ความเข้มข้นของสีย้อมและค่าความเป็นกรด่าง นอกจากนี้ ผลกระทบของเกลือที่มีต่อการกำจัดสีของสีได้ถูกศึกษาอีกด้วย อัตราการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นในระบบ UV/ H₂O₂ เปรียบเทียบกับการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตเพียงอย่างเดียว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น H₂O₂ เพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มข้นจำกัด ซึ่ง H₂O₂ จะกำจัดสีย้อมโดยกำจัดอนุมูลของไฮดรอกไซด์ การกำจัดสีของสีย้อม AB25 จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มขึ้น อัตราการกำจัดสีโดยการใช้อัตราการย่อยสลายด้วยแสงควบคู่ไปกับ Fe(II) ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตเพียงอย่างเดียว สภาวะในการกำจัดสีที่ดีที่สุดคือ เมื่อความเข้มข้นของ Fe(II) เท่ากับ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

K. Turhan และคณะ[9] ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำเสียซึ่งมีสีข้อมประเภท Sirius Blue SBRR ด้วยโอโซนเพื่อทำให้มลพิษที่มีสาเหตุ มาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและจากโรงงานผลิตสีลดน้อยลง กระบวนการกำจัดสีข้อมดำเนินการโดยใช้โอโซนซึ่งพ่น เป็นฟองอยู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์แบบ ฟองอากาศที่บรรจุสารละลายของสีข้อมตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ผลของความเข้มข้นของสีข้อม ปริมาณโอโซน อัตราการไหลของโอโซน และค่าความเป็นกรดค่าของสารละลาย จากผลการ ทดลองพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสีข้อมเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโอโซน และลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสีข้อม อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม อัตราการไหลของโอโซนและค่าความเป็นกรดค่าของสารละลายจนถึงจุดสูงสุด แล้วจะลดลงเมื่อ เพิ่มอัตราการไหลของโอโซนให้มากขึ้น การกำจัดสีจะทำได้ดีเมื่อสีข้อมในน้ำเสียมีค่าความเป็น กรดค่าเท่ากับ 12 และจะมีฟองอากาศเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของโอโซนใน อากาศสูง ปฏิกิริยาการกำจัดสีจะสมบูรณ์หลังจากการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนเป็นเวลา 26 นาที ซึ่ง จะทำให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

อาทิตย์ เนมิตตภพงศ์ และคณะ[10] ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสีข้อมชนิดคอง โกรเรดด้วยวิธี โอโซนชั้นพบว่าโอโซนสามารถกำจัดสีในสภาวะห้องปกติได้เป็นอย่างดีโดยลดสี ได้ร้อยละ 50 และร้อยละ 90 ภายในเวลา 6 และ 120 นาทีตามลำดับ แต่เมื่อทดสอบกับสภาวะความเป็นกรดค่า แล้วพบว่า จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีได้โดยโอโซนจะให้ผลการลดสีได้มากที่สุด เมื่ออยู่ ในสภาวะกรด แต่เมื่อทดสอบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ผลการกำจัดสีที่ดีที่สุดคือ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ กลับพบว่า โอโซน/ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ จะลดสีได้ดีในสภาวะค่าและเป็นกลาง แต่กลับให้ผลไม่ดีในสภาวะกรด แต่ อย่งไรก็ตาม โอโซน/ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ยังให้ผลของการลดค่า COD ได้น้อยกว่าโอโซนอย่างเดียวและ โอโซน/ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

H. Zhu และคณะ[11] ได้ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยนาโน แคดเมียมซัลไฟด์ ($\text{CS}/\text{n-CdS}$) เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการกำจัดสีข้อมคอง โกรเรดร่วมกับการใช้ รังสีอัลตราไวโอเลต โดยทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ความเข้มข้นเริ่มต้นของ คอง โกรเรด pH ของสารละลาย และไอออนชนิดต่างๆที่มีต่อการกำจัดสีข้อมคอง โกรเรด ผลการ ทดลองแสดงให้เห็นว่าเกิดเฟสของ Hexagonal CdS บนโคโตซานไปให้การกำจัดสีข้อมจะมี ประสิทธิภาพสูงสุดในสภาวะกรดมากกว่าในสภาวะเบส การเติมไนเตรทไอออน (NO_3^-) จะช่วยเร่ง การสลายตัวของคอง โกรเรดขณะที่การเติมไอออนลบอื่นๆ (Br^- , SO_4^{2-} และ Cl^-) จะยับยั้งการสลายตัว

ของคองโกเรด จากการวิเคราะห์ด้วย UV-VIS spectrum พบว่าการสลายตัวของคองโกเรดเกิดจากการแตกออกของพันธะ N=N และวง Aromatic



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 สารเคมี

1. อลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Etalmar จำกัด เกรดวิเคราะห์
2. แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Etalmar จำกัด เกรดวิเคราะห์
3. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) บริษัท Lab Scan จำกัด เกรดวิเคราะห์
4. สีข้อมแดงโกเรด (Congo Red) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
5. กรดไนตริก (HNO_3) บริษัท Etalmar จำกัด เกรดวิเคราะห์
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Lab scan จำกัด เกรดวิเคราะห์
7. น้ำกลั่น

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml
2. จุกยางสำหรับขวดสาร
3. กระจกตวงขนาด 10, 200 และ 1000 ml
4. ปิเปตขนาด 5, 10 และ 50 ml
5. บีกเกอร์ขนาด 50, 250 และ 250 ml
6. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50, 250 และ 1000 ml

เอกสารนี้เป็น 7. กระจกนํ้าพิภา ีสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์

9. เครื่องพีเอชมิเตอร์
10. เครื่องเขย่า (shaker)
11. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
12. กระดาษกรองเบอร์ 2
13. เครื่องกวนและแท่งแม่เหล็กกวน
14. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า 2 และ 4 ตำแหน่ง
15. ตู้อบ
16. ตู้ดูดควัน
17. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Diffraction Spectrophotometer, XRD) รุ่น D8 ADVANCE, ยี่ห้อ Siemens
18. เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM) รุ่น JSM-5410LV, ยี่ห้อ LEO
19. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence , XRF) รุ่น XRF-1800, ยี่ห้อ Shimadzu
20. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer) รุ่น 10 S, ยี่ห้อ UV Thermo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวดูดซับ MMH ด้วยวิธีการตกตะกอน

ในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมตัวดูดซับ MMH ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมของ $MgCl_2$ และ $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ต่างๆกันดังนี้

- 3.3.1.1 $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 0.25:0.1 (MMH-0.25)
- 3.3.1.2 $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 0.5:1 (MMH-0.5)
- 3.3.1.3 $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 1:1 (MMH-1.0)
- 3.3.1.4 $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 2:1 (MMH-2.0)
- 3.3.1.5 $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 3:1 (MMH-3.0)
- 3.3.1.6 $MgCl_2$ ผสม $AlCl_3$ ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al = 4:1 (MMH-4.0)

ตัวอย่าง วิธีการเตรียมตัวดูดซับ MMH-0.25

1. เตรียมสารละลาย $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร บรรจลงในบิวเรต
2. เตรียมสารละลาย $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร บรรจลงในบิวเรต
3. เตรียมสารละลายผสมของ NH_4OH ต่อ H_2O เป็น 5 ต่อ 1 โดยให้มี pH อยู่ในช่วง 9.5 ถึง 10.0 ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
4. ค่อยๆ ไซสารละลายในข้อ 1. และ 2. จากบิวเรตลงในสารละลายผสมข้อ 3. พร้อมทำการปั่นกววน จากนั้นทิ้งให้ตะกอนตกอย่างสมบูรณ์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. เมื่อได้ตะกอนสมบูรณ์แล้ว ทำการกรองตะกอน ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการอบตะกอนที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แบ่งตะกอนเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกให้อบตะกอนต่อที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อนำไปวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเครื่อง XRD และวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM

7. ส่วนที่สองเป็นตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เท่ากับ 1:1 ซึ่งจะนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมทองโกเรดต่อไป

8. ทำซ้ำข้อ 1- 7 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al โดยใช้ความเข้มข้นและปริมาตรของสารต่างๆตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นและปริมาตรของ $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ และ $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ที่ใช้เตรียมตัวดูดซับ MMH

ตัวดูดซับ	อัตราส่วนโดย โมล Mg/Al	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$		$AlCl_3 \cdot 6H_2O$	
		ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (ml)	ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (ml)
MMH – 0.25	0.25:1	0.25	50	1	50
MMH – 0.5	0.5:1	0.5	50	1	50
MMH – 1.0	1:1	1	50	1	50
MMH – 2.0	2:1	2	50	1	50
MMH – 3.0	3:1	3	50	1	50
MMH – 4.0	4:1	4	50	1	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสีย้อมคองโกเรด

1. ชั่งคองโกเรดปริมาณ 1.000 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นให้เข้ากัน จากนั้นเทลงขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บไว้เป็นสารละลายสต็อก
2. ปิเปตสารละลายสต็อกคองโกเรดมา 12.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายคองโกเรดเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ปิเปตสารละลายคองโกเรดความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อปริมาตร ตามปริมาตรในตารางที่ 3.2 ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำมาตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 498 นาโนเมตร จากนั้นนำผลไปสร้างกราฟมาตรฐานต่อไป

ตารางที่ 3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมคองโกเรด

ความเข้มข้นของคองโกเรด ที่ใช้เตรียมกราฟมาตรฐาน (mg/L)	ปริมาตรสารละลายคองโกเรด 50 mg/L ที่ต้องปิเปต (mL)
1	1
2	2
4	4
6	6
8	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การกำจัดสีข้อมองโกเรตโดยใช้ MMH เป็นตัวดูดซับ

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสีข้อมองโกเรต

1.เตรียมสารละลายสีข้อมองโกเรตเรด 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการปีเปิดสารละลายสต็อกของโกเรต 50 มิลลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เทใส่ขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 มิลลิตร

2. ทำการปรับค่า pH ของสารละลายของโกเรต ด้วยสารละลายไนตริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ในการทดสอบค่า pH กรดต่าง จนได้ค่า pH เท่ากับ 1

3.เติมตัวดูดซับ MMH ที่สังเคราะห์ได้จากตอน 3.3.1 ปริมาณ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ปริมาณตัวดูดซับ MMH 250 มิลลิกรัม ในสารละลายของโกเรตเป็น 250 มิลลิตร) จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่อง Shaker เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4.เมื่อครบเวลาของการดูดซับนำสารละลายของโกเรต ที่ผ่านการดูดซับไปกรองแยกตัวดูดซับออกด้วยเครื่องกรองลดความดัน จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสีข้อมองโกเรตที่เหลืออยู่ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 498 นาโนเมตร

5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลของตัวดูดซับ MMH ตามสภาวะการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสี
ข้อมคองโกเรด

การทดลองที่	อัตราส่วนโดยโมลของMg/Al	ความเข้มข้นของคองโกเรด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณตัวดูดซับ MMH (มิลลิกรัมต่อลิตร)	pHของสารละลายสีข้อม	เวลา (นาที)
1	0.25:1	200	1000	6	120
2	0.5:1	200	1000	6	120
3	1:1	200	1000	6	120
4	2:1	200	1000	6	120
5	3:1	200	1000	6	120
6	4:1	200	1000	6	120

หมายเหตุ ทุกการทดลองใช้ปริมาณสารละลาย 200 มิลลิลิตร

ตอนที่ 2 การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีข้อม

ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 ที่ให้ร้อยละของการกำจัดสีข้อมสูงที่สุด โดยปรับ pH ของสารละลายสีข้อมเป็น 4,6,7,8, และ9 สภาวะของการทดลองแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การศึกษาผลของ pH ที่มีผลต่อการกำจัดสีข้อมคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ MMH

การทดลองที่	อัตราส่วนโดยโมลของMg/Al	ความเข้มข้นของคองโกเรด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณตัวดูดซับ MMH (มิลลิกรัมต่อลิตร)	pHของสารละลายสีข้อม	เวลา (นาที)
1	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีข้อมสูงสุด	200	1000	4	120
2		200	1000	6	120
3		200	1000	7	120
4		200	1000	8	120
5		200	1000	9	120

หมายเหตุ ทุกการทดลองใช้ปริมาณสารละลาย 200 มิลลิลิตร

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสีข้อมคอง โกรเด

ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วน Mg/Al ที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 pH ที่เหมาะสมจากตอนที่ 2 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีข้อมสูงสุด และปรับปริมาณตัวดูดซับ MMH เป็น 600, 800, 1000, 1200 และ 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร สภาวะของการทดลองแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสีข้อมคอง โกรเด

การทดลองที่	อัตราส่วนโดยโมลของMg/Al	ความเข้มข้นของคอง โกรเด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณตัวดูดซับ MMH (มิลลิกรัมต่อลิตร)	pHของสารละลายสีข้อม	เวลา (นาที)
1	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีข้อมสูงสุด	200	600	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสีข้อมสูงสุด	120
2		200	800		120
3		200	1000		120
4		200	1200		120
5		200	1500		120

หมายเหตุ ทุกการทดลองใช้ปริมาณสารละลาย 200 มิลลิลิตร

ตอนที่ 4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของคอง โกรเดที่มีผลต่อตัวดูดซับ MMH

ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับตอนที่ 1 โดยเลือกตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วน Mg/Al ที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 pH ที่เหมาะสมจากตอนที่ 2 ปริมาณตัวดูดซับ MMH จากตอนที่ 3 ที่ให้ร้อยละของการกำจัดสีข้อมสูงสุด และปรับความเข้มข้นของคอง โกรเดเป็น 50, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร สภาวะของการทดลองแสดงในตารางที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 การศึกษาผลของความเข้มข้นของคองโกเรดที่มีผลต่อตัวดูดซับ MMH

การทดลองที่	อัตราส่วนโดยโมลของMg/Al	ความเข้มข้นของคองโกเรด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณตัวดูดซับ MMH (มิลลิกรัมต่อลิตร)	pHของสารละลายที่ย้อม	เวลา (นาที)
1	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	50	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	60
2	ที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	100	3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	ที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	60
3	การกำจัดสี	200	การกำจัดสี	การกำจัดสี	60
4	ย้อมสูงสุด	400	สูงสุด	ย้อมสูงสุด	60

หมายเหตุ ทุกการทดลองใช้ปริมาณสารละลาย 200 มิลลิลิตร

ตอนที่ 5 ศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับตอนที่ 1 เลือกตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วน Mg/Al ที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 pH ที่เหมาะสมจากตอนที่ 2 ปริมาณตัวดูดซับ MMH จากตอนที่ 3 ความเข้มข้นของคองโกเรดจากตอนที่ 4 ที่ให้ร้อยละของการกำจัดสีย้อมสูงสุด โดยใช้เวลาของการดูดซับ 30, 60, 120 และ 240 นาที ตามที่กำหนดในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

การทดลองที่	อัตราส่วนโดยโมลของMg/Al	ความเข้มข้นของคองโกเรด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณตัวดูดซับ MMH (มิลลิกรัมต่อลิตร)	pHของสารละลายที่ย้อม	เวลา (นาที)
1	เลือกจากตารางที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	เลือกจากตารางที่ 3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	เลือกจากตารางที่ 3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	เลือกจากตารางที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	30
2	ที่ 3.3 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	3.6 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	3.5 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	ที่ 3.4 ที่ให้ร้อยละการกำจัดสี	60
3	การกำจัดสี	การกำจัดสี	การกำจัดสี	การกำจัดสี	120
4	ย้อมสูงสุด	สูงสุด	สูงสุด	ย้อมสูงสุด	240

หมายเหตุ ทุกการทดลองใช้ปริมาณสารละลาย 200 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การวิเคราะห์ตัวดูดซับ MMH

ตัวดูดซับ MMH ที่สังเคราะห์ได้จากตอนที่ 3.3.1 จะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเทคนิคต่างๆดังนี้

1. วิเคราะห์ความเป็นผลึกของตัวดูดซับ MMH ด้วยเครื่องเอกซเรย์คิฟแฟรคชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Diffraction Spectrophotometer, XRD)



รูปที่ 3.1 เครื่องเอกซเรย์คิฟแฟรคชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (XRD)

2. ศึกษาหน้าตาของตัวดูดซับด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3. วิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence , XRF)



รูปที่ 3.3 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

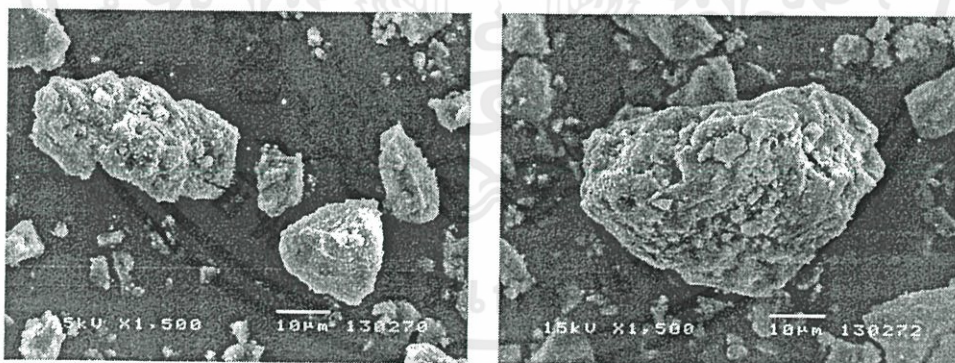
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการในการกำจัดสีของชนิดคองโกเรดด้วยตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของอลูมิเนียมและแมกนีเซียม (MMH) โดยในการนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง จะกล่าวถึงคุณสมบัติของ MMH และอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อการกำจัดสีของคองโกเรด ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ที่ใช้เตรียมตัวดูดซับ MMH pH ของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ MMH ความเข้มข้นเริ่มต้นของคองโกเรด และเวลาในการดูดซับ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับ MMH

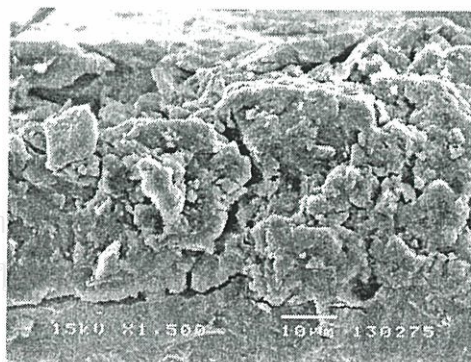
4.1.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH

ตัวดูดซับ MMH ที่ยังไม่ทำการดูดซับจะนำมาตรวจสอบลักษณะพื้นผิว ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกลาด (SEM) ที่กำลังขยาย 1500 และ 3500 เท่า ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 4.1



(ก)

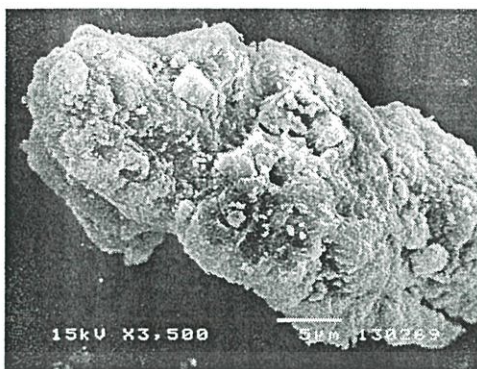
(ข)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้

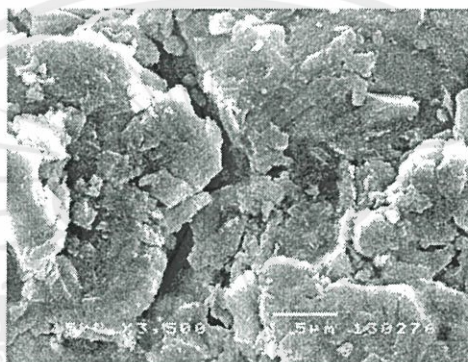
ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

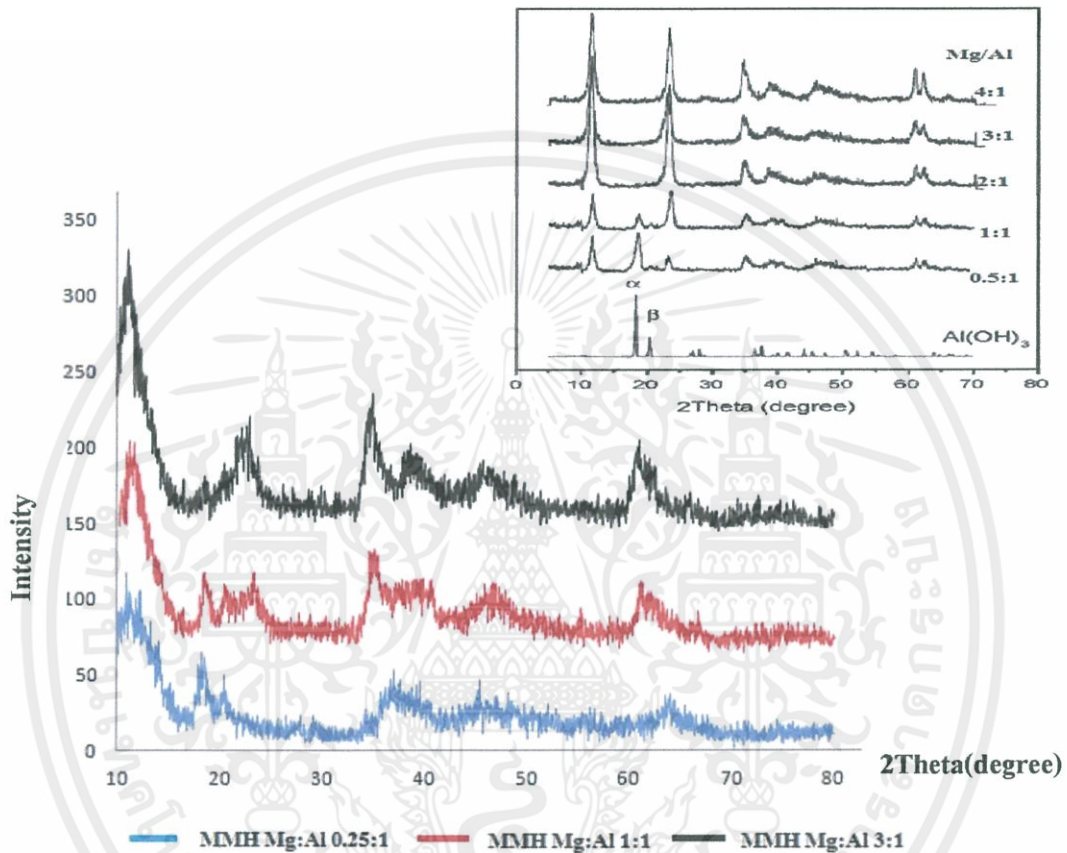
(ก), (ข) และ(ค) เป็นลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับMMHที่อัตราส่วน Mg/Al เท่ากับ 0.25:1, 1:1 และ 3:1 (กำลังขยาย 1500 เท่า)

(ง), (จ) และ(ฉ) เป็นลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วน Mg/Al เท่ากับ 0.25:1, 1:1 และ 3:1 (กำลังขยาย 3500 เท่า)

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ MMH ในทุกอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al จะมีลักษณะขรุขระ ไม่เรียบ ดังแสดงในรูป (ก) ถึง (ฉ) โดยจะเห็นว่ารูพรุนนั้น มีความชัดเจนขึ้นตามปริมาณอัตราส่วน Mg/Al โดยเฉพาะรูป (ฉ) ที่มีอัตราส่วน Mg/Al เท่ากับ 3:1 จะเห็นลักษณะรูพรุนได้ชัดเจนมากกว่าที่อัตราส่วน Mg/Al อื่นๆนอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วน โดยโมลของ Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH ผลของขนาดอะตอมของ Mg ที่มีขนาดใหญ่กว่าอะตอมของ Al จะทำให้ขนาดของผลึก MMH ใหญ่ขึ้น

4.1.2 ความเป็นผลึกของตัวดูดซับ MMH

ตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al 0.25:1, 1:1 และ 3:1 ถูกนำไปวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์คิฟเฟรคชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (XRD) ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MMH ทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วน Mg/Al ต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นที่ตำแหน่ง 2Thata ในช่วง 10 – 80 องศา ของตัวดูดซับ MMH จะเป็นดิฟแฟรคโทแกรมของตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วน Mg/Al ต่างๆกัน และที่ตำแหน่ง 2Thata ในช่วง 15 – 20 องศา ของตัวดูดซับ MMH มีลักษณะแตกต่างกัน โดยตำแหน่งนี้แสดงให้เห็นถึงการมีสารประกอบ Al(OH)₃ เกิดขึ้นในโครงสร้างผลึกของ MMH ที่อัตราส่วน Mg/Al เท่ากับ 0.25:1 และ 1:1 สำหรับที่อัตราส่วน Mg/Al เท่ากับ 3:1 พบว่าปรากฏพิคของ Al(OH)₃ ลดน้อยลงดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าตัวดูดซับ MMH ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ Mg น้อยกว่าหรือเท่ากับ Al จะมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะพิมพ์ซ้ำ ออกพิมพ์ หรือทำสิ่งใดก็ตาม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบ Al(OH)₃ ปะปนอยู่ แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ Mg ให้มากกว่า Al จะปรากฏสารประกอบ Al(OH)₃ ที่ปะปนอยู่น้อยลง

4.1.3 องค์ประกอบของโลหะในตัวดูดซับ MMH

ตัวดูดซับ MMH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al 0.25:1, 1:1 และ 3:1 ถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบที่เป็นโลหะด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของตัวดูดซับวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

อัตราส่วน โดยโมล Mg/Al	Na ₂ O (%) โดย น้ำหนัก	MgO (%) โดย น้ำหนัก	Al ₂ O ₃ (%) โดย น้ำหนัก	SiO ₂ (%) โดย น้ำหนัก	CaO (%) โดย น้ำหนัก	Fe ₂ O ₃ (%) โดย น้ำหนัก	CuO (%) โดย น้ำหนัก	Mg (%) โดย โมล	Al (%) โดย โมล	อัตราส่วน โดยโมล Mg/Al (จากการ วิเคราะห์)
0.25:1	0	17.8	80.1	0.505	0.236	0.214	0.280	10.68	42.41	0.28:1
1:1	1.36	51.6	45.0	0	0.149	0.203	0.293	30.96	23.82	1.46:1
3:1	0	68.7	28.2	0.247	0	0.203	0.282	41.22	14.93	3:1

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH ที่เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนมีค่าใกล้เคียงกับ อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ที่กำหนดไว้

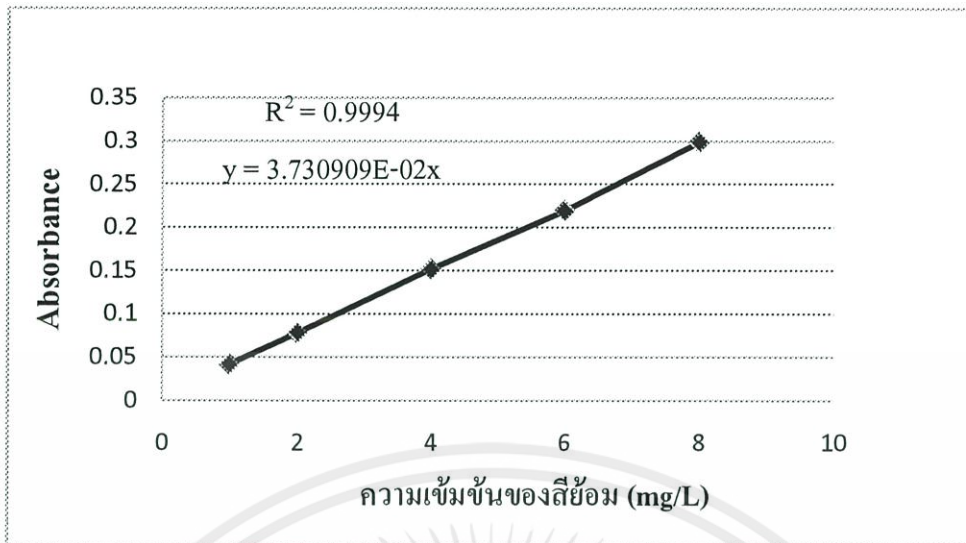
4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลายสีข้อมคองโกเรด

จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานสีข้อมคองโกเรดที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 ถึง 10 mg/L แล้วนำไปตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่มีความยาวคลื่น 498 นาโนเมตร ได้ค่าการดูดกลืนแสงดังตารางที่ 4.2 และนำไปสร้างกราฟมาตรฐานดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ค่า Absorbance ของสารละลายมาตรฐานสีข้อมคองโกเรด

ความเข้มข้นของคองโกเรด (mg/L)	ค่า Absorbance
1.00	0.042
2.00	0.078
4.00	0.152
6.00	0.220
8.00	0.229

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 4.00 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาต 0.152 ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัด 6.0 ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของ 0.220 ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายยูเรียคองโกเรด และค่าการดูดกลืนแสง

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายยูเรียคองโกเรด และค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีความสัมพันธ์กัน เป็นเส้นตรงที่มีค่า $R^2 = 0.9994$ และเป็นไปตามสมการ $y = 3.730909E-02x$ เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนแสง และ x คือความเข้มข้นของสารละลายยูเรียคองโกเรด (mg/L) กราฟมาตรฐานที่ได้จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของยูเรียคองโกเรด ที่เหลืออยู่หลังกระบวนการดูดซับยูเรียคองโกเรด ด้วยตัวดูดซับ MMH ต่อไป

4.3 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีผลต่อการกำจัดยูเรียคองโกเรด

ในการศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อการกำจัดยูเรียคองโกเรดด้วยตัวดูดซับ MMH ตัวแปรเหล่านั้นได้แก่ อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH pH ของสารละลายยูเรีย ปริมาณตัวดูดซับ MMH ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายยูเรียคองโกเรด เวลาที่ใช้ในการดูดซับยูเรียคองโกเรด ดังแสดงในหัวข้อ 4.3.1 – 4.3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

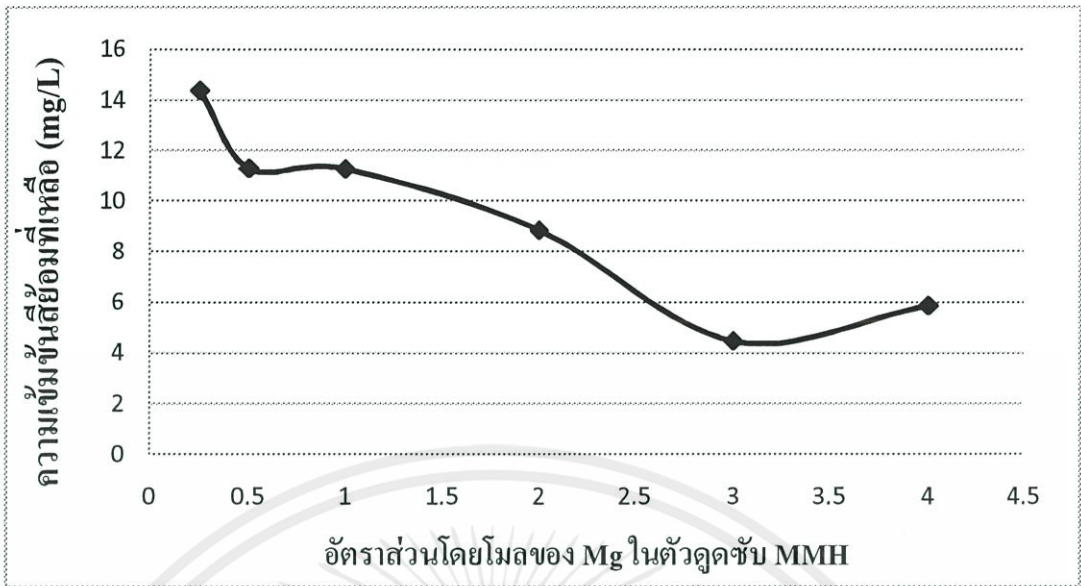
4.3.1 อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH

ในการทดลองนี้จะทำการดูดซับสีของคองโกเรดในน้ำที่สังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับ MMH ที่เตรียมขึ้นมาโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ตั้งแต่ 0.25:1 ถึง 4:1 เวลาในการดูดซับสีของคองโกเรด 120 นาที โดย pH ของสารละลายสีของคองโกเรดเท่ากับ 6 ความเข้มข้นสีของคองโกเรดเริ่มต้น 200 mg/L ปริมาตร 200 mL ความเข้มข้นของสีของคองโกเรดที่เหลือ และร้อยละการกำจัดสีของคองโกเรด แสดงดังตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 ถึง 4.5

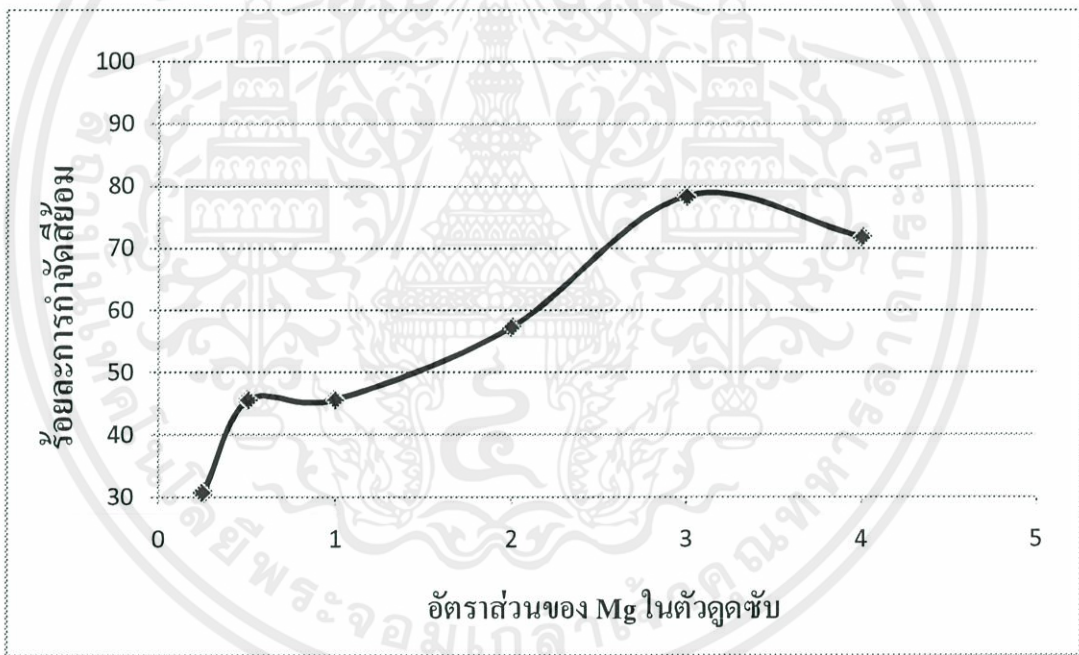
ตารางที่ 4.3 ผลของอัตราส่วน Mg/Al ของตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อการกำจัดสีของคองโกเรด

อัตราส่วน (Mg :Al) ของตัวดูดซับ MMH	ความเข้มข้นของ สารละลายคองโกเรด เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นของ สารละลายคองโกเรด คงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสี ของคองโกเรด
0.25 : 1	207.5	143.7	30.75
0.5 : 1	207.5	112.9	45.59
1 : 1	207.5	112.7	45.69
2 : 1	207.5	88.4	57.40
3 : 1	207.5	44.7	78.46
4 : 1	207.5	58.7	71.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลของอัตราส่วน โดยโมลของ Mg/Al ที่มีผลต่อความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยของสีย้อมคองโกเรด



รูปที่ 4.5 ผลของอัตราส่วน โดยโมลของ Mg/Al ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของ Mg ปริมาณสี่ข้อมที่เหลืออยู่หลัง การดูดซับจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg เท่ากับ 3 ปริมาณสี่ ข้อมจะเหลือต่ำที่สุด แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของ Mg มากกว่า 3 ปริมาณสี่ข้อมที่เหลืออยู่จะ มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.5 ร้อยละการกำจัดสี่ข้อมคองโกเรต จะสูงที่สุด คือร้อยละ 78.46 ที่ อัตราส่วนโดยโมลของ Mg เท่ากับ 3 และเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของ Mg มากกว่า 3 ร้อยละการ กำจัดสี่ข้อมมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นตัวดูดซับ MMH ที่เตรียมด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al เท่ากับ 3 จึงเป็นสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดสี่ข้อมคองโกเรต

ในการตกตะกอนร่วมกันระหว่าง Al และ Mg ในไฮดรอกไซด์ (OH⁻) นั้น Mg จะทำหน้าที่ เป็นตัวดูดซับ โดย Al จะทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะตะกอนของ Mg ให้อยู่ร่วมกัน ดังนั้นจากรูปที่ 4.1 จะสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ Mg จะมีผลทำให้ในผลึกของ MMH มี Mg มากขึ้น ส่งผลให้ ขนาดของผลึก MMH ใหญ่ขึ้น โดยมีรูพรุนมากกว่า MMH ที่เตรียมจาก Mg ปริมาณน้อยๆ ดังนั้นทำ ใ้การดูดซับเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนโดย โมลของ Mg เพิ่มมากกว่า 3 การดูดซับสี่ข้อมมีแนวโน้ม ลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจาก Mg ที่มีปริมาณมากไปรวมกันเป็นกลุ่มก้อน และกระจุกตัวรวมกัน บนผิวของ Al ทำให้พื้นที่ผิวและรูพรุนลดลง การดูดซับจึงลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

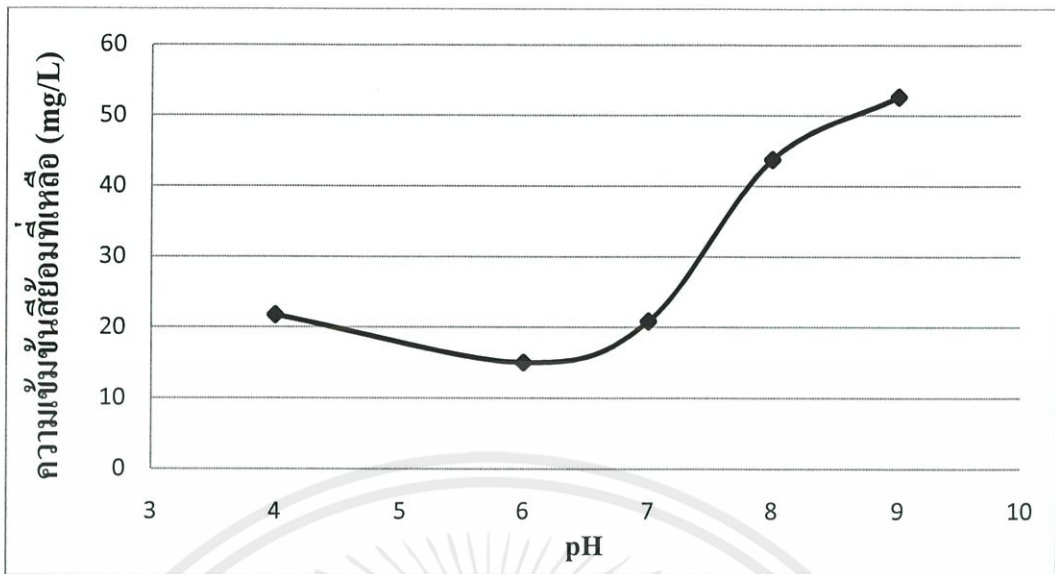
4.3.2 ผลของ pH ของสารละลายสีข้อมองโกเรด

ในการทดลองนี้ จะทำการดูดซับสีข้อมองโกเรดในน้ำที่สังเคราะห์โดยเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายสีข้อมองโกเรด เป็น 4 6 7 8 และ 9 เวลาในการกำจัดสีข้อม 120 นาที โดยใช้สีข้อมองโกเรดที่ความเข้มข้น 200 mg/L ปริมาตร 200 mL ความเข้มข้นของสีข้อมที่เหลือ และร้อยละการกำจัดสีข้อมองโกเรด แสดงดังตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.6 ถึง 4.7

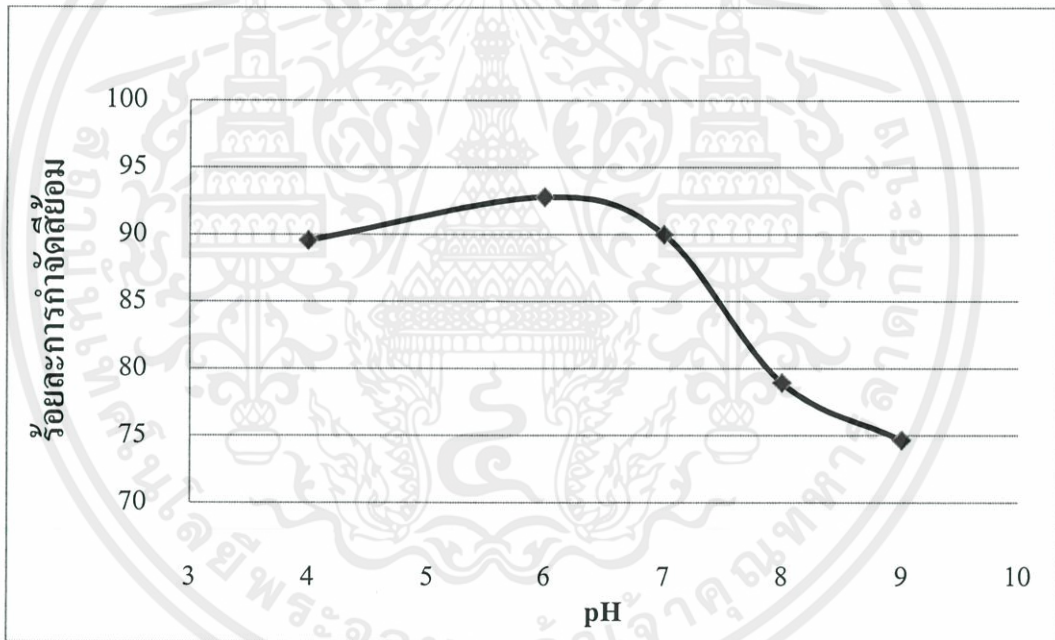
ตารางที่ 4.4 ผลของ pH ที่มีผลต่อการกำจัดสีข้อมองโกเรดด้วยตัวดูดซับ MMH

pH	ความเข้มข้นของสารละลายข้อมองโกเรดเริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นของสารละลายข้อมองโกเรดคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีข้อมองโกเรด
4	207.5	21.7	89.54
6	207.5	15.0	92.77
7	207.5	20.8	89.98
8	207.5	43.7	78.94
9	207.5	52.6	74.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ผลของ pH สารละลายสีย้อมที่มีผลต่อความเข้มข้นของสีย้อมที่ละลายของสีย้อมคองโกเรด



รูปที่ 4.7 ผลของ pH สารละลายสีย้อมที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น ปริมาณสีข้อมองโกเรด ที่เหลืออยู่หลังการดูดซับจะมีแนวโน้มลดลง และที่ pH 6 ปริมาณสีข้อมองเหลือจะต่ำที่สุด แต่เมื่อเพิ่ม pH มากกว่า 6 ปริมาณสีข้อมองที่เหลือจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.7 ร้อยละของการกำจัดสีข้อมองโกเรดจะสูงที่สุด คือร้อยละ 92.77 ที่ pH 6 และเมื่อ pH มากกว่า 6 ร้อยละการกำจัดสีข้อมองจะมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นที่ pH 6 จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีข้อมองโกเรด

ในการกำจัดสีข้อมองจะอาศัยการเกิดการดูดซับระหว่างตัวดูดซับ MMH และสีข้อมองโกเรด ตัวดูดซับ MMH เป็นสารชนิด hydrotalcite และเป็นคอลลอยด์ชนิดหนึ่ง มีสูตรโครงสร้างคือ $[Mg_6Al_2(CO)_{10}(OH)_{16} \cdot 6H_2O]^{2-}$ โดยเขียนแทนเป็น Sur-OH ซึ่งค่า pH ที่มี zeta potential = 0 จะเรียกว่า iso electric point (IEP) ค่า iso electric point จะใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติของตัวดูดซับ MMH โดยวัดจากเครื่อง microelectrophoretic mobility detector ตัวดูดซับ MMH มีค่า iso electric point อยู่ที่ 10.9 โดยถ้าตัวดูดซับ MMH มีค่า pH ต่ำกว่า iso electric point ตัวดูดซับ MMH จะทำหน้าที่รับโปรตอนและกลายเป็นประจุบวก ตามสมการ [7]



แต่ถ้าตัวดูดซับ MMH มีค่า pH สูงกว่า iso electric point ตัวดูดซับ MMH จะทำหน้าที่ให้โปรตอน และกลายเป็นประจุลบ ตามสมการ



ซึ่งในการทดลองควบคุมให้ pH ของตัวดูดซับ MMH เท่ากับ 7 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า iso electric point (น้อยกว่า 10.9) ตัวดูดซับ MMH จึงแสดงเป็นประจุบวก ตามสมการ (4.1)



ในการดูดซับสีข้อมองโกเรดจะแตกตัวเป็นไอออนลบและเข้าไปดูดซับกับตัวดูดซับ MMH ที่แสดงประจุบวก (Sur-OH_2^+) ด้วยแรงดึงดูดทางไอออน ถ้า pH ของสารละลายสีข้อมองมีค่าน้อย (สารละลายจะเป็นกรดมาก) การดูดซับจะถูกรบกวนด้วยโปรตอน (H^+) ซึ่งเมื่อ H^+ ในระบบมีมากขึ้นจะทำให้ H^+ เข้าไปทำปฏิกิริยากับสีข้อมองโกเรด มากกว่าที่ตัวดูดซับจะทำปฏิกิริยากับสีข้อมองโกเรดและถ้า pH ของสีข้อมองมีค่ามาก (สารละลายเป็นเบสมาก) ในระบบจะมีไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) มาก และ OH^- จะเข้าไปทำการดูดซับกับ MMH มากกว่าที่สีข้อมองจะทำการดูดซับกับ MMH ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมองโกเรดจะลดลง

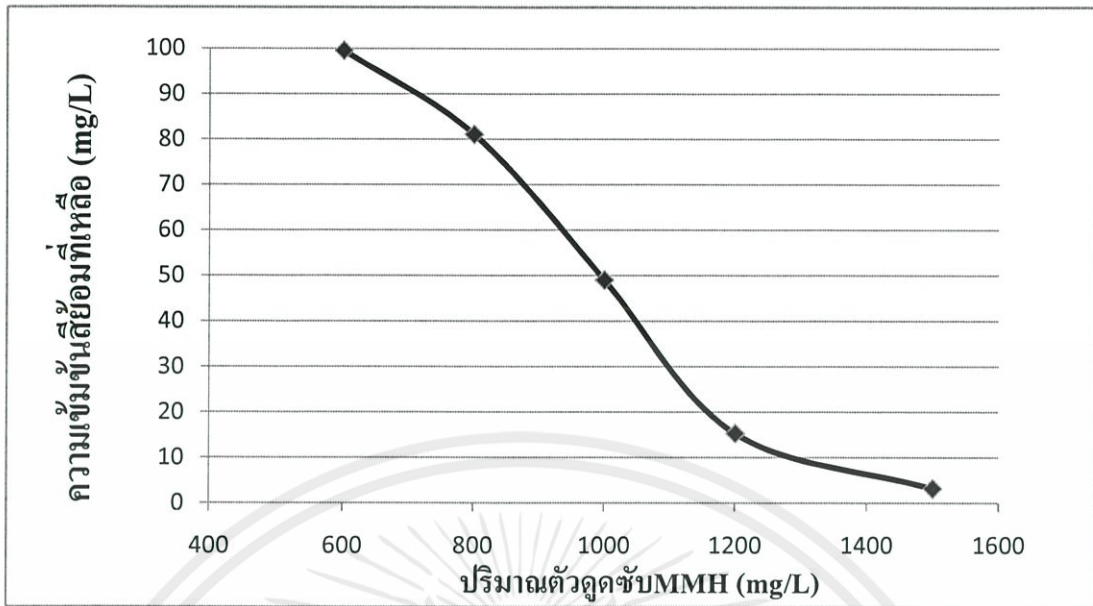
4.3.3 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH (mg/L)

ในการทดลองนี้ จะทำการกำจัดสีของคองโกเรด ในน้ำที่สังเคราะห์โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวดูดซับ MMH เป็น 600 800 1000 1200 และ 1500 mg/L เวลาในการดูดซับ 120 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีของคองโกเรดในปริมาตรสารละลายโดยรวม 200 ml ความเข้มข้นสีของคองโกเรด และร้อยละการกำจัดสีของคองโกเรด แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.8 ถึง 4.9

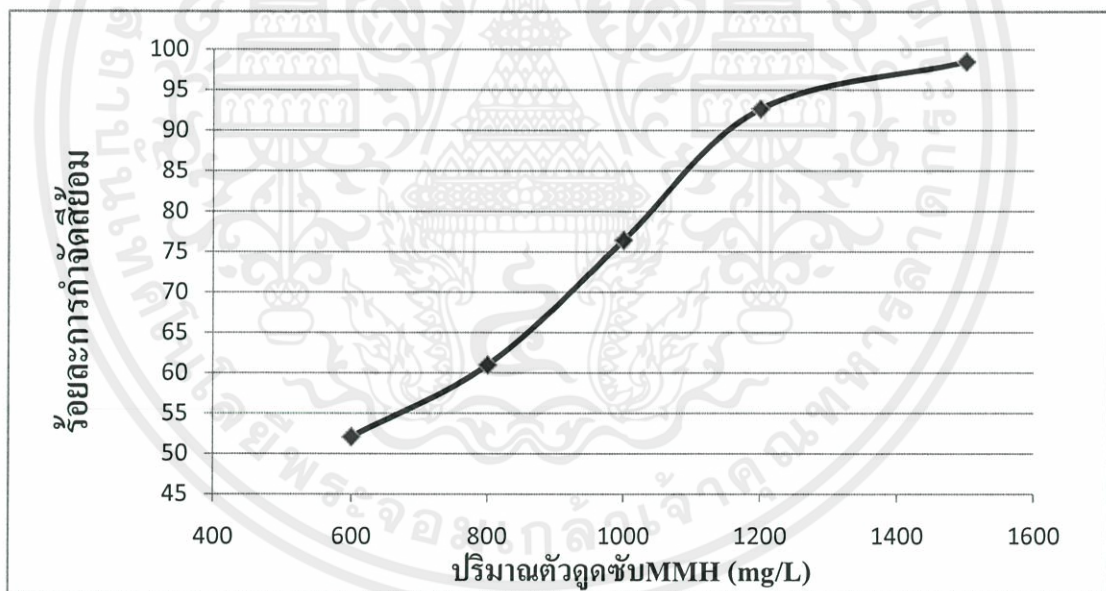
ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณ MMH ที่มีต่อการกำจัดสีของคองโกเรด

ปริมาณตัวดูดซับ MMH (mg/L)	ความเข้มข้นสีของ คองโกเรดเริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีของ คองโกเรดคองเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีของ คองโกเรด
600	207.5	99.5	52.05
800	207.5	81.0	60.96
1000	207.5	49.0	76.38
1200	207.5	15.3	92.63
1500	207.5	3.2	98.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อความเข้มข้นของสีย้อมคองโกเรด



รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.8 เมื่อเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับ MMH ในช่วง 600 mg/L ถึง 1500 mg/L ความเข้มข้นของสีข้อมองโกเรตจะลดลงเพราะการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าปริมาณของตัวดูดซับ MMH ที่ 1500 mg/L เป็นปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากได้ร้อยละการกำจัดสูงสุดคือ 98.46 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.9

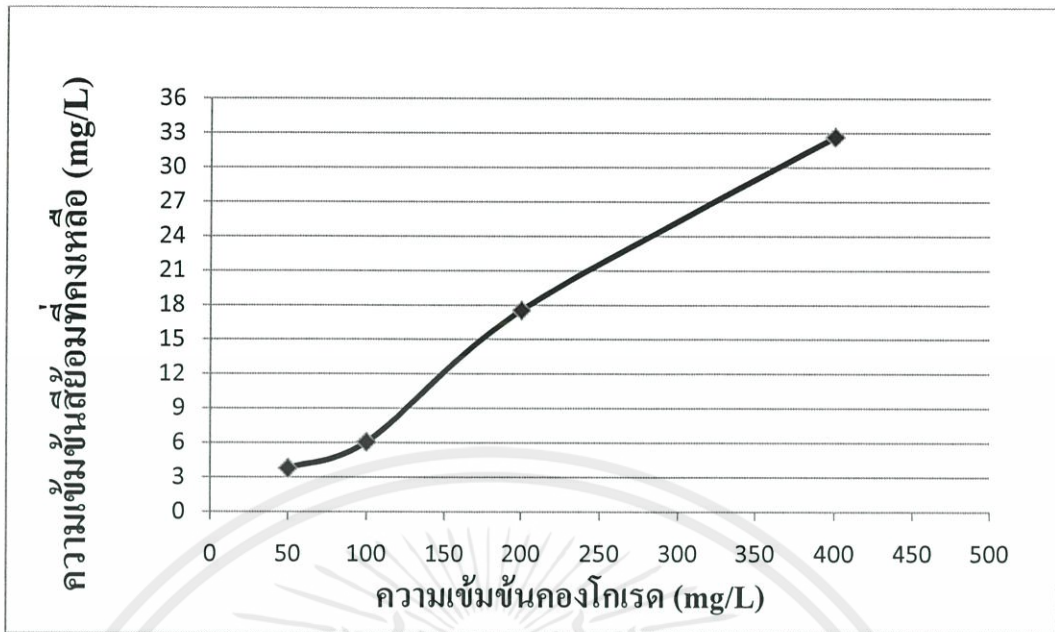
4.3.4 ผลของความเข้มข้นของสีข้อมองโกเรต (mg/L)

ในการทดลองนี้ จะทำการกำจัดสีข้อมองโกเรต โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นสีข้อมองโกเรต 50 100 200 และ 400 (mg/L) เวลาในการดูดซับ 120 นาที ปริมาณของตัวดูดซับ MMH เท่ากับ 1500 mg/L ปริมาตรสารละลายโดยรวม 200 ml ความเข้มข้นสีข้อมองเหลือ และร้อยละการกำจัดสีข้อมองโกเรต แสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.10 ถึง 4.11

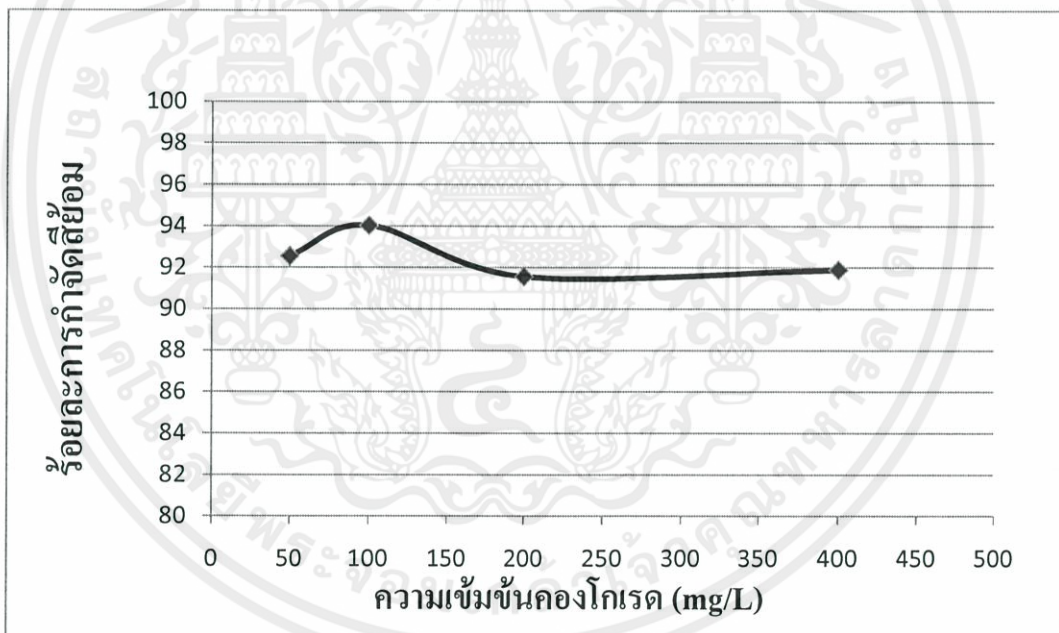
ตารางที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อมองโกเรตที่มีผลต่อการกำจัดสีข้อมองโกเรต

ความเข้มข้น ของโกเรต (mg/L)	ความเข้มข้นสีข้อม องโกเรตเริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีข้อม องโกเรตคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีข้อม องโกเรต
50	50.3	3.75	92.54
100	101.2	6.05	94.02
200	207.5	17.52	91.56
400	402.1	32.63	91.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลของความเข้มข้นของ ไอออนโพแทสเซียม ที่มีผลต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโพแทสเซียม



รูปที่ 4.11 ผลของความเข้มข้นของ ไอออนโพแทสเซียม ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดไอออนโพแทสเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 จะเห็นว่าในการกำจัดสีข้อมคองโกเรดในช่วงที่ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 mg/L ถึง 100 mg/L พบว่าการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพราะพื้นที่ผิวบนตัวดูดซับ MMH มีมากพอที่จะทำปฏิกิริยากับสีข้อมคองโกเรดจึงดูดซับได้ดี แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีข้อมคองโกเรดมากกว่า 100 mg/L ร้อยละการกำจัดสีข้อมจะลดลงและเริ่มคงที่ เพราะปริมาณพื้นที่ผิวที่มีบนตัวดูดซับ MMH มีไม่มากพอที่จะดูดซับกับสีข้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้นสูงได้หมด ดังนั้นที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อมคองโกเรด 100 mg/L จึง เป็นความเข้มข้นที่ให้ซึ่งมีร้อยละการกำจัดสูงสุด คือ 94.02

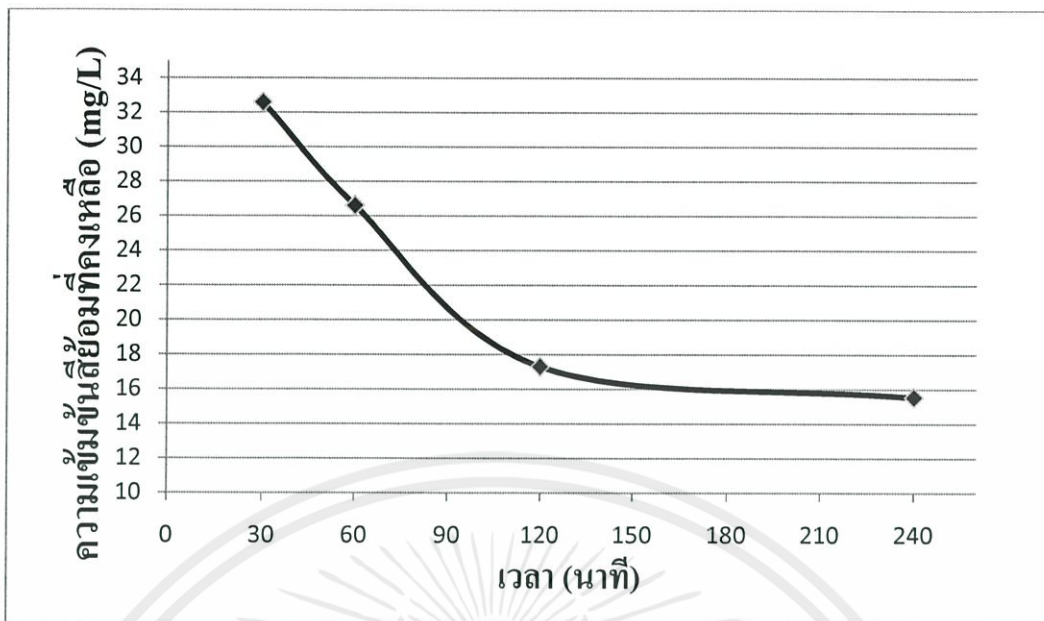
4.3.5 ผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสีข้อมคองโกเรด

ในการทดลองนี้ จะทำการกำจัดสีข้อมคองโกเรด ในน้ำที่สังเคราะห์ โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการดูดซับเป็น 30 60 120 และ 240 นาที ปริมาณของตัวดูดซับ MMH เท่ากับ 1500 mg/L ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อมคองโกเรดเป็น 100 mg/L ในปริมาตรสารละลายโดยรวม 200 ml ความเข้มข้นสีข้อมคองเหลือ และร้อยละการกำจัดสีข้อมแสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.12 ถึง 4.13

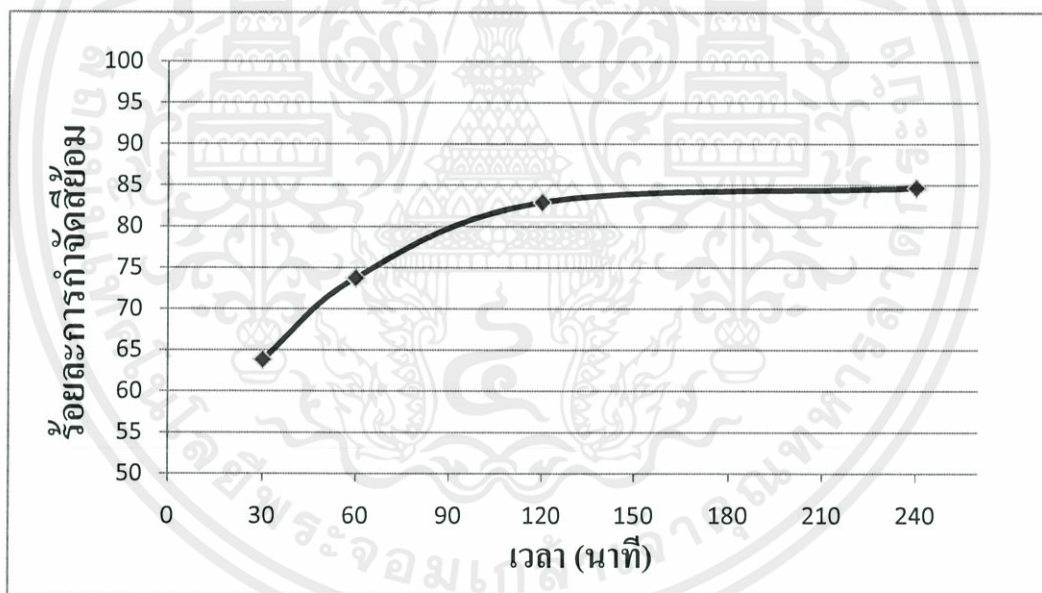
ตารางที่ 4.7 ผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสีข้อมคองโกเรด

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสีข้อม คองโกเรดเริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีข้อม คองโกเรดคงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีข้อม คองโกเรด
30	101.2	32.57	63.82
60	101.2	26.59	73.73
120	101.2	17.29	82.92
240	101.2	15.52	84.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลของเวลาที่มีผลต่อความเข้มข้นของซีรัมของโกเรด ด้วยตัวดูดซับ MMH



รูปที่ 4.13 ผลของเวลาที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดซีรัมของโกเรด ด้วยตัวดูดซับ MMH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 ถึง 4.13 จะเห็นว่าเมื่อเวลาของการดูดซับผ่านไปนานขึ้นในช่วง 30-120 นาที ร้อยละการกำจัดสีข้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากเวลา 120 นาทีพบว่าร้อยละการกำจัดสีข้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนเกือบคงที่ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจมาจาก ตัวดูดซับ MMH มีพื้นที่ผิวมากและมีลักษณะรูพรุนที่ชัดเจน ทำให้เมื่อใช้เวลานานขึ้นสีข้อมคงโกเรดสามารถเข้าไปดูดซับกับตัวดูดซับ MMH ได้ดี จนเกือบเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าที่เวลาในการดูดซับ 120 นาที และ 240 นาที ร้อยละการกำจัดสีข้อมมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยที่เวลา 120 นาที การดูดซับเริ่มที่จะเข้าสู่สมดุลแล้ว ดังนั้นที่เวลาในการดูดซับ 120 นาที จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสม โดยสามารถกำจัดสีข้อมคงโกเรดได้ร้อยละ 82.92

4.4 ไอโซเทอมการดูดซับ

4.4.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่าย สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลายได้ดังสมการ (4.3) และ (4.4)

$$q_c = (q_m K_L C_c) / (1 + K_L C_c) \quad (4.3)$$

$$1/q_c = (1 + K_L C_c) / (q_m K_L C_c)$$

$$1/q_c = (1/q_m K_L C_c) + (1/q_m)$$

$$1/q_c = (K/C_c) + (1/q_m) \quad (4.4)$$

จากสมการ (4.4) ทำการหาค่า q_c และ C_c จากการทดลองตอนที่ 4.3.4 จากนั้นคำนวณและพลอตค่า $1/q_c$ และ $1/C_c$ ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.8 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_c$ และ $1/C_c$ แสดงดังรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการคำนวณตัวแปรตาม ไอโซเทอมของแลงเมียร์

C_i (mg/L)	C_c (mg/L)	q_c (mg/g)	$1/q_c$	$1/C_c$
50.3	3.75	31.03	0.0322	0.2667
101.2	6.05	63.43	0.0158	0.1653
207.5	17.52	126.65	0.0079	0.0571
402.1	32.63	246.31	0.0041	0.0306

หาค่าการดูดซับที่สภาวะสมดุลการหาปริมาณของตัวถูกดูดซับที่ดูดซับโดยสารดูดซับที่เวลาใดๆ q_t (mg/g) และที่สภาวะสมดุล q_e (mg/g) หาได้จากความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่เวลาเริ่มต้น ความเข้มข้น ของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายที่เวลาใดๆ และความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล ดังสมการ (4.5) และ สมการ (4.6) ตามลำดับ

$$q_t = (C_i - C_t) \times V / W \quad (4.5)$$

$$\text{เมื่อ } q_e = (C_i - C_e) \times V / W \quad (4.6)$$

โดย q_e = ปริมาณของสีย้อมคองโกเรดที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ MMH (mg/g)

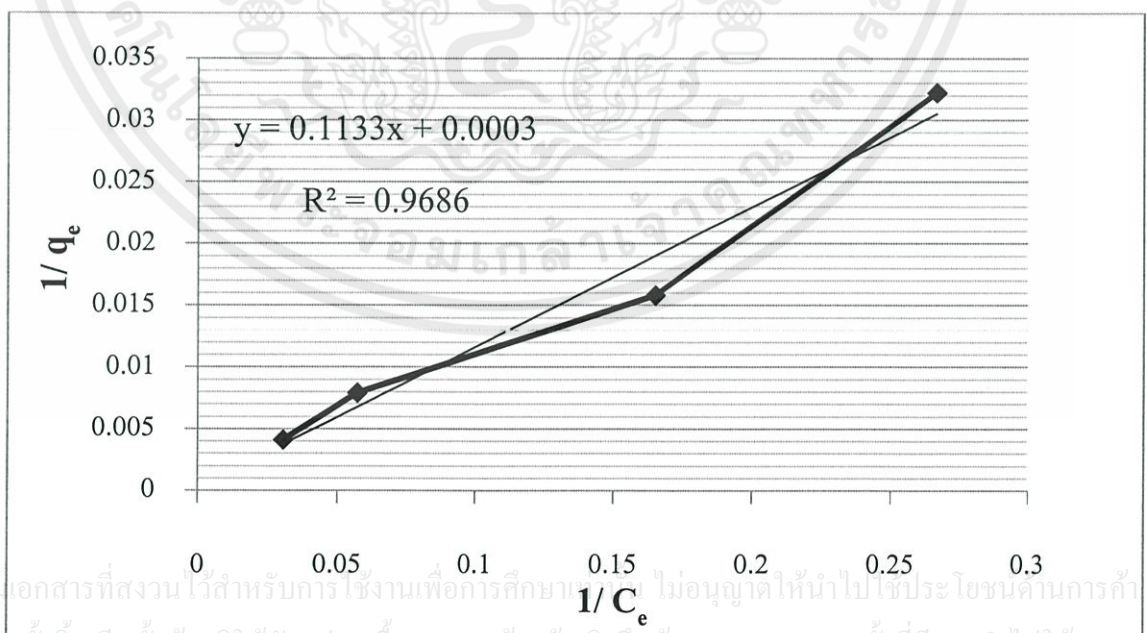
C_i = ความเข้มข้นของสีย้อมคองโกเรดเริ่มต้น (mg/L)

C_e = ความเข้มข้นของสีย้อมคองโกเรดคงเหลือ ณ สภาวะสมดุล (mg/L)

C_t = ความเข้มข้นของสีย้อมคองโกเรดที่เหลืออยู่ในสารละลายที่เวลาใดๆ (mg/L)

V = ปริมาตรสารละลายที่ใช้ (L)

W = น้ำหนักตัวดูดซับที่ใช้ (g)



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมของแลงเมียร์

จากรูปที่ 4.14 ซึ่งพลอตตามความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ จะได้สมการเส้นตรง $y = 0.1133x + 0.0003$ และมีค่า $R^2 = 0.9686$ โดยค่าคงที่ $K = 0.1133$ และ $1/C_0 = -0.0026$

4.4.2 ไอโซเทอมแบบฟรอยด์ลิช (Freundlich isotherm)

Herbert Max Finlay Freundlich ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายดังสมการ(4.6) และ (4.7)

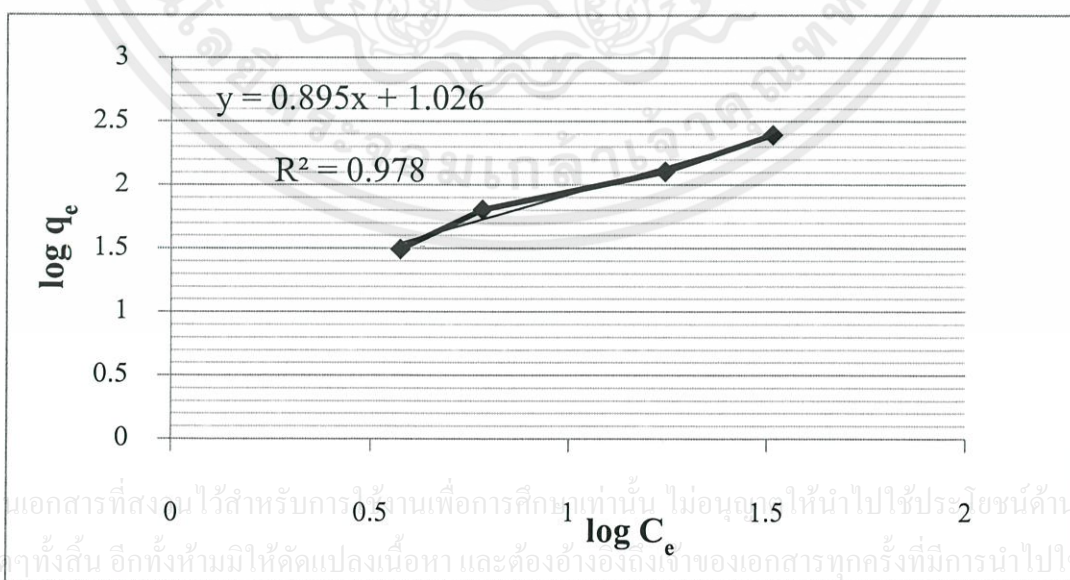
$$q_c = k_f C_c^{1/n} \quad (4.6)$$

$$\log q_c = \log k_f + (1/n) \log C_c \quad (4.7)$$

จากสมการ (4.7) ทำการคำนวณค่า $\log q_c$ และ $\log C_c$ จากนั้นนำไปพลอตกราฟระหว่าง $\log q_c$ และ $\log C_c$ ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.9 และพลอตกราฟในรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการคำนวณตัวแปรตามไอโซเทอมของฟรอยด์ลิช

C_i (mg/L)	C_c (mg/L)	q_c (mg/g)	$\log C_c$	$\log q_c$
50.3	3.75	31.03	0.5740	1.4918
101.2	6.05	63.43	0.7818	1.8023
207.5	17.52	126.65	1.2435	2.1026
402.1	32.63	246.31	1.5136	2.3915



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_c$ กับ $\log C_c$ ตามไอโซเทอมของฟรอยด์ลิช

จากรูปที่ 4.15 ซึ่งพลอตตามความสัมพันธ์ของไอโซเทอมฟรอยด์ลิชจะให้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.8956x + 1.0262$ และมีค่า $R^2 = 0.9787$

จากกราฟไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรอยด์ลิช พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.9686 และ 0.9787 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของฟรอยด์ลิชมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่า ทำให้การดูดซับสี่ข้อมคองโกเรตด้วยตัวดูดซับ MMH นี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรอยด์ลิช โดยค่าคงที่ของไอโซเทอมฟรอยด์ลิช $1/n = 0.8956$ และ $k_f = 0.0715$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการในการกำจัดสีของคอนกรีตด้วยตัวดูดซับไฮดรอกไซด์ผสมของอลูมิเนียมและแมกนีเซียม (MMH) โดยศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อการกำจัดสีของคอนกรีต ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ที่ใช้เตรียมตัวดูดซับ MMH pH ของสารละลายสีย้อม ปริมาณตัวดูดซับ MMH ความเข้มข้นเริ่มต้นของคอนกรีต และเวลาในการดูดซับ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาตัวดูดซับ MMH ที่เตรียมจาก Mg และ Al ที่อัตราส่วนต่างๆกัน พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ Mg ปริมาณสีย้อมที่เหลืออยู่หลังการดูดซับจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และที่อัตราส่วน Mg/Al เท่ากับ 3:1 ร้อยละการกำจัดสีของคอนกรีตจะสูงที่สุด คือร้อยละ 78.46

2. จากการศึกษาผลของ pH ของสารละลายสีย้อมคอนกรีต จะเห็นได้ว่าเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น ปริมาณสีย้อมคอนกรีตที่เหลืออยู่หลังการดูดซับจะมีแนวโน้มลดลง และที่ pH 6 ปริมาณสีย้อมที่เหลือจะต่ำที่สุด โดยมีร้อยละของการกำจัดสีของคอนกรีตเท่ากับ 92.77

3. จากการศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ MMH พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับ MMH ความเข้มข้นของสีย้อมคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง เพราะการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของการดูดซับทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณของตัวดูดซับ MMH 1500 mg/L สามารถกำจัดสีของคอนกรีตได้สูงสุดถึงร้อยละ 98.46

4. จากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมคอนกรีต พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นจาก 50 mg/L เป็น 100 mg/L พบว่าการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมคอนกรีตมากกว่า 100 mg/L การดูดซับมีแนวโน้มคงที่ โดยสีย้อมคอนกรีตถูกกำจัดได้สูงสุดถึง

ร้อยละ 94.02 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมคอนกรีตเท่ากับ 100 mg/L ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จากการศึกษาผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสีของคองโกเรด จะทำการกำจัดสีของคองโกเรด ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการดำเนินปฏิกิริยา 30 60 120 และ 240 นาที จะเห็นว่าเวลาของปฏิกิริยาผ่านไปนานขึ้นในช่วง 30-60 นาที มีแนวโน้มคงที่ ความเข้มข้นของสีที่เหลืออยู่และร้อยละการกำจัดสีของคองโกเรดหลังจากเวลา 120 นาทีพบว่าร้อยละการกำจัดสีของคองโกเรด ลดลง สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นอาจมาจาก ตัวดูดซับ MMH มีพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมากมีลักษณะรูพรุนที่ชัดเจน ทำให้เมื่อใช้เวลามากขึ้นสีของคองโกเรดสามารถทำปฏิกิริยากับตัวดูดซับ MMH ได้ดี จึงดูดซับสีของคองโกเรดได้ดีขึ้น ที่เวลา 240 นาที ร้อยละการกำจัดสีของคองโกเรดได้ผลดีเช่นเดียวกัน แต่ใช้เวลานานกว่าจึงเลือกใช้ 120 นาที มีร้อยละการกำจัดคือ 82.92 ซึ่งได้ร้อยละการกำจัดใกล้เคียงกัน

6. จากการศึกษาไอโซเทอมระหว่างแลงเมียร์และฟรอยด์ลิช พบว่าที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.9686 และ 0.9787 ตามลำดับ โดยไอโซเทอมของฟรอยด์ลิชมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่า ทำให้การดูดซับของการทดลองนี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรอยด์ลิช

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในทดลองสังเคราะห์ตัวดูดซับ MMH เมื่อทำการปรับ pH ควรปรับด้วยกรดไนตริกเข้มข้น ไม่ควรใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น เพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยาที่รุนแรง
2. นำสภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาในน้ำทิ้งสังเคราะห์ ไปทดลองกับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยสีของคองโกเรดออกมากับน้ำทิ้ง
3. ควรทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในการดูดซับ เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทฤษฎีการดูดซับ. [online]. Available :
http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/chem0451sk_ch1.pdf/.
- [2] บุญชัย ตระกูลมหชัย. ตัวดูดซับ (adsorbent). [online]. Available :
http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=77&i2=17/.
- [3] พัฒนา. กระบวนการดูดซับ(Adsorption Process). [online]. Available :
<http://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/>.
- [4] ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ [online]. Available :
<http://msds.pcd.go.th/name.asp/>.
- [5] Chung KT , Steven JR . **Decolorization of azo dyes by environmental microorganisms and heminths.** Environ Toxicol Chem 1993;12:2121-32.
- [6] รัชনী รุกขชาติ,ร.อ.หญิง. สีย้อมและการบำบัดสีในน้ำทิ้ง. [online]. Available :
http://www.navy.mi.th/science/BrithDay46/Brithday_data/biology.htm/.
- [7] Yujiang Li, Baoyu Gao, Tao Wu, Biao Wang and Xia Li. **Adsorption properties of aluminum magnesium mixed hydroxide for the model anionic dye Reactive Brilliant Red K-2BP.** Journal of Hazardous Materials, 164 (2009) 1098-1104.
- [8] H. Ghodbane, O. Hamdaoui. **Decolorization of antraquinonic dye, C.I. Acid Blue 25, in aqueous solution by direct UV irradiation, UV/H₂O₂ and UV/Fe(II) processes.** Chemical Engineering Journal 160 (2010) 226-231.
- [9] K. Turhan, Z. Turgut. **Decolorization of direct dye in textile wastewater by ozonization in a semibath bubble column reactor.** De salination 242 (2009) 256-263.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] อาทิตย์ เนรมิตตกพงศ์, ธิรจิตรา ทาปลัด และ สุธาสิณี เนรมิตตกพงศ์.2550.การกำจัดสีย้อมชนิดคองโกเรดด้วยวิธีโอโซนเย็น.การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 ประจำปี 2550.
- [11] H. Zhu, R. Jiang, L. Xiao, Y. Chang, X. Li, Y. Guan, G. Zeng. **Photocatalytic decolorization and degradation of Congo Red on innovative crosslinked chitisan/nano-CdS composite catalyst under visible light irradiation.** Journal of Hazardous Materials, 169 (2009) 933-940.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

1. การหาปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์และแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ต้องชั่งในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

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

โดยที่ g คือ จำนวนสารที่ต้องชั่ง (g)

MW คือ มวลโมเลกุลของสาร (g)

C คือ สัดส่วนจำนวนโมลของสารที่เราใช้

V คือ ปริมาตรของสารละลายที่เราเตรียม (mL)

- การหาปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

$$\frac{\text{น้ำหนักของอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ชั่ง}}{\text{มวลโมเลกุลของอะลูมิเนียมคลอไรด์}} = \frac{CV}{1000}$$

$$\frac{\text{น้ำหนักของอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ชั่ง}}{241.43} = \frac{0.25 \times 250}{1000}$$

$$\frac{\text{น้ำหนักของอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ชั่ง}}{241.43} = 15.0894$$

- การหาปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

$$\frac{\text{น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ชั่ง}}{\text{มวลโมเลกุลของแมกนีเซียมคลอไรด์}} = \frac{CV}{1000}$$

$$\frac{\text{น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ชั่ง}}{203.31} = \frac{0.25 \times 250}{1000}$$

$$\frac{\text{น้ำหนักของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ชั่ง}}{203.31} = 12.7069$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำปรึกษาเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การหาล้อยละการกำจัดสีของย้อมคองโกเรด

ค่าความเข้มข้นของสีย้อมคองโกเรดเริ่มต้น = 207.5 mg/L เมื่อทำการกำจัดแล้วมีความเข้มข้นเหลือ 44.7 mg/L ดังนั้นร้อยละการกำจัด

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

$$= \frac{207.5 - 44.7}{207.5} \times 100$$

$$= 78.46$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้