

การดูดซับสารละลายทองคำโดยใช้ตัวดูดซับ MCM-41



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

การดูดซับสารละลายทองคำโดยใช้ตัวดูดซับ MCM-41



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

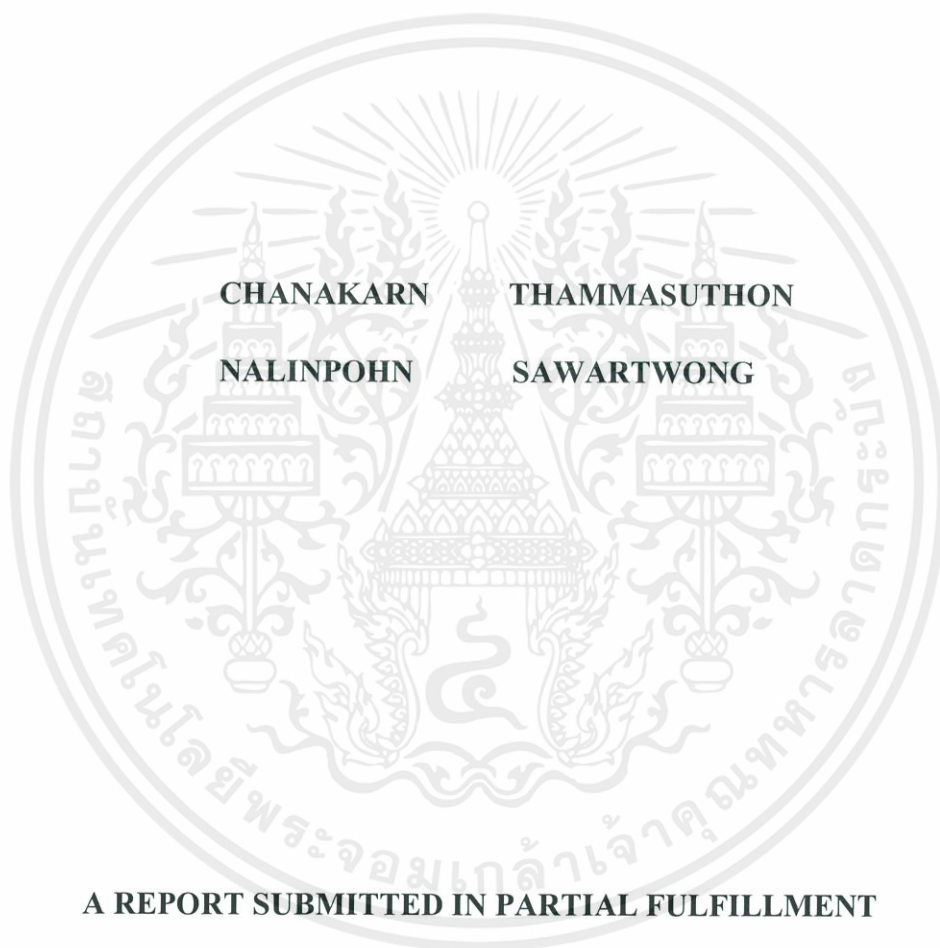
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADSORPTION OF CONGO RED SOLUTION

BY MCM-41 ADSORBENT



CHANAKARN

THAMMASUTHON

NALINPOHN

SAWARTWONG

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การดูดซับสารละลายคองโกเรดโดยใช้ตัวดูดซับ MCM-41
โดย นางสาวชนกานต์ ธรรมสุธน
นางสาวนลินพร สวาทวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษา คร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์
ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับพิจารณาและอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์

พ.ศ. ๒๕๖๕

อ.ดร.พรสวรรค์

ประธานกรรมการ

(ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์)

ดร.ดร.ดวงกมล

กรรมการ

(รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง)

อ.ดร.บุญชัย

กรรมการ

(อ.บุญชัย โชติวิริยวานิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การดูดซับสารละลายทองโคเรดโดยใช้ตัวดูดซับ MCM-41
โดย นางสาวชนกานต์ ธรรมสุรน
นางสาวนลินพร สวาทวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับสารละลายทองโคเรดด้วยตัวดูดซับ MCM-41 โดยตัวดูดซับ MCM-41 ที่สังเคราะห์ได้ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างกันคือ อุณหภูมิ 550°C และ 850°C จากการทดลองใช้ตัวดูดซับ MCM-41 ปริมาณ 0.2 กรัม ในสารละลายทองโคเรดความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 ppm ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 35°C ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ผลการทดลองพบว่า MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C สามารถดูดซับสารละลายทองโคเรดได้สูงสุด คือ 2,324 ไมโครกรัมต่อกรัม และ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C สามารถดูดซับสารละลายทองโคเรดได้สูงสุด คือ 1,648 ไมโครกรัมต่อกรัม MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C สามารถดูดซับสารละลายทองโคเรดได้มากกว่า MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C อาจเนื่องมาจากความเป็นผลึกของ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C มีความเป็นผลึกสูงกว่า MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C และขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C มีขนาด 36.85 Å ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C ซึ่งมีขนาด 20.77 Å สมการไอโซเทอมการดูดซับของ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C แบบแลงเมียร์ และแบบฟรุนดลิชคือ $q_e = \frac{2,500C_e}{17.5+C_e}$ และ $q_e = 394.73C_e^{0.4057}$ ตามลำดับ และมีค่า R² ของสมการไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ และแบบฟรุนดลิชคือ 0.9717 และ 0.9813 ตามลำดับ

Report Title Adsorption of Congo red solution by MCM-41 adsorbent
By Miss CHANAKARN THAMMASUTHON
Miss NALINPOHN SAWARTWONG
Advisor Dr. PORNSAWAN ASSAWASAENGRAT
Report for Bachelor of Engineering (Chemical Engineering)
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

This report studies the adsorption of Congo red solution by MCM-41 adsorbent, which was calcined at temperatures of 550°C and 850°C. This experiment encompasses using elements like, MCM-41 adsorbent of 0.2 g in different concentrations of Congo red solution, the quantity varies in 20, 40, 60, 80 and 100 ppm, and a volume of 30 mL at temperature of 35°C and a speed of 180 rpm. The results show that calcined MCM-41 at 550°C can adsorb a maximum amount of 2,324 microgram/gram Congo red solution and calcined MCM-41 at 850°C can adsorb a maximum amount of 1,648 microgram/gram Congo red solution. The reason calcined MCM-41 at 550°C can adsorb higher amount of Congo red solution than calcined MCM-41 at 850°C is because of the crystallization of calcined MCM-41 at 550°C is higher than calcined MCM-41 at 850°C and the pore diameter of calcined MCM-41 at 550°C is 36.85 Å which is bigger than the pore diameter of calcined MCM-41 at 850°C that is 20.77 Å and Langmuir's isothermal equation of adsorption is $q_e = \frac{2,500C_e}{17.5 - C_e}$ and Freundlich's is $q_e = 394.73C_e^{0.4057}$ which values of R^2 are 0.9717 and 0.9813 respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลทั้งหลาย ฝ่าย คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณ

ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ คำแนะนำในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้ประสบการณ์ที่ดีในการทำโครงการ และตรวจแก้ไข รายงาน ทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงกมล ณ ระนอง และอาจารย์ บุญชัย โชติวิริยวานิชย์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งเพื่อเป็นคณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ นาย มานพ ติระรัตนสมโภช เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ XRD

ขอขอบคุณ คุณ ขวัญปวีณ์ สิทธิเขตรกรณ์ นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยให้ความรู้ คำแนะนำตลอดการทำปริญญาานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ และคำแนะนำตลอดมา หากมีสิ่งผิดพลาดประการใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอน้อมรับและขออภัย มา ณ ที่นี้

ชนกานต์ ธรรมสุชน

นลินพร สวาทวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ชีตিকা.....	3
2.2 กระบวนการดูดซับ.....	3
2.2.1 กลไกของกระบวนการดูดซับ.....	3
2.2.2 ประเภทของการดูดซับ.....	4
2.2.3 กลไกการดูดซับ.....	5
2.3 ลักษณะรูปร่างของกราฟไอโซเทอม.....	5
2.4 ไอโซเทอมการดูดซับ.....	7
2.5 สีย้อม.....	10
2.6 การจำแนกสีย้อมตามโครงสร้าง.....	12
2.7 การบำบัดสีในน้ำทิ้ง.....	13
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานและผลการดำเนินงาน	19
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	19
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	19
3.3 การเตรียมตัวดูดซับ	20
3.3.1 การเตรียมตัวดูดซับ MCM-41 ที่อุณหภูมิเผาที่ 550 °C	20
3.3.2 การเตรียมตัวดูดซับ MCM-41 ที่อุณหภูมิเผาที่ 850 °C	20
3.4 การทำกราฟมาตรฐานสารละลาย Congo red สำหรับการดูดซับ	21
3.5 การศึกษาคุณลักษณะของตัวดูดซับ	21
3.6 การหาประสิทธิภาพของตัวดูดซับ	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง	23
4.1 ผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของตัวดูดซับ MCM-41 จากเทคนิคการเลี้ยวเบน ของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction หรือ XRD)	23
4.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุน ของตัวดูดซับ ด้วยวิธี BET	24
4.3 การหาสมมูลการดูดซับสารละลาย Congo red	25
4.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ	27
บทที่ 5 สรุปการทดลอง	32
5.1 สรุปผลการทดลอง	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	32
เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก	35
ภาคผนวก ก ข้อมูลกราฟมาตรฐาน	37
ภาคผนวก ข ข้อมูลจากการทดลอง	38
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ	50
ภาคผนวก ง รูปภาพประกอบการทดลอง	52

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี.....	5
ตารางที่ 4.1 พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุน โดยเฉลี่ยของ MCM-41	24
ตารางที่ ก.1 ข้อมูลมาตรฐานความเข้มข้นของ Congo red (ppm) และค่าการดูดกลืนแสง.....	37
ตารางที่ ข-1 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 20 ppm ตัวดูดซับ MCM-41 550 °C	39
ตารางที่ ข-2 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 40 ppm ตัวดูดซับ MCM-41 550 °C	40
ตารางที่ ข-3 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 60 ppm ตัวดูดซับ MCM-41 550 °C	41
ตารางที่ ข-4 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 80 ppm ตัวดูดซับ MCM-41 550 °C	42
ตารางที่ ข-5 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 100 ppm ตัวดูดซับ MCM-41 550 °C	43
ตารางที่ ข-6 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 20 ppm ตัวดูดซับ MCM-41 850 °C	44
ตารางที่ ข-7 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 40 ppm ตัวดูดซับ MCM-41 850 °C	45
ตารางที่ ข-8 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 60 ppm ตัวดูดซับ MCM-41 850 °C	46
ตารางที่ ข-9 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 80 ppm ตัวดูดซับ MCM-41 850 °C	47
ตารางที่ ข-10 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 100 ppm ตัวดูดซับ MCM-41 850 °C	48
ตารางที่ ค-1 ค่าปริมาณการดูดกลืนแสงของสารละลาย Congo red 20 ppm บนตัวดูด MCM-41 ที่ 550 °C เพื่อใช้เป็นตัวอย่างการคำนวณ ค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะ	50

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การจัดประเภทของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟไอโซเทอม	6
รูปที่ 2.2 Langmuir Adsorption Isotherm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง	9
รูปที่ 2.3 Freundlich Adsorption Isotherm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง	10
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสีย้อมประเภทต่างๆ	12
รูปที่ 4.1 ความเป็นผลึกของ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C และ 850°C	23
รูปที่ 4.2 การกระจายขนาดของรูพรุนของตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C	24
รูปที่ 4.3 การกระจายขนาดของรูพรุนของตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C	25
รูปที่ 4.4 ปริมาณดูดซับจาเพาะที่เวลาต่างๆ ของตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C	26
รูปที่ 4.5 ปริมาณดูดซับจาเพาะที่เวลาต่างๆ ของตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C	26
รูปที่ 4.6 ไอโซเทอมการดูดซับสี Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C	28
รูปที่ 4.7 ไอโซเทอมการดูดซับสี Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C	29
รูปที่ 4.8 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับสีย้อม Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C ด้วยสมการแบบจำลอง Langmuir	29
รูปที่ 4.9 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับสีย้อม Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C ด้วยสมการแบบจำลอง Freundlich	30
รูปที่ 4.10 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับสีย้อม Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C ด้วยสมการแบบจำลอง Langmuir	31
รูปที่ 4.11 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับสีย้อม Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C ด้วยสมการแบบจำลอง Freundlich	31
รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานสารละลาย Congo red	37
รูปที่ ง.1 เครื่องชั่ง (Mettler Toledo รุ่น AX 205 ที่มีความแม่นยำ 0.0001 กรัม)	53
รูปที่ ง.2 เครื่องเขย่า (ZHICHENG รุ่น ZHWY-100B)	53
รูปที่ ง.3 เครื่อง Centrifuge (GEMMY รุ่น PLC-012 series)	54
รูปที่ ง.4 เตาอบ	54
รูปที่ ง.5 เตาเผา	55
รูปที่ ง.6 เครื่อง Autocave	55
รูปที่ ง.7 ตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C	56
รูปที่ ง.8 ตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C	56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้จากการส่งออกให้กับประเทศไทยเป็นอันดับต้นๆ ของอุตสาหกรรมส่งออก แต่ในขณะเดียวกันอุตสาหกรรมสิ่งทอมักประสบกับปัญหาน้ำที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตซึ่งปนเปื้อนด้วยสารบางประเภท เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือภายนอกโรงงาน โดยไม่มีการบำบัด ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมอย่างร้ายแรง ผลเสียที่เกิดขึ้นนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้ว ยังลดปริมาณของออกซิเจนที่จะเข้าสู่ผิวน้ำของแหล่งน้ำและยังบดบังปริมาณแสงอาทิตย์ที่จะตกสู่ผิวน้ำทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงเมื่อปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทำให้สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำเสียชีวิตได้

โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนใหญ่ จะมีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียภายในโรงงาน ถึงแม้ภาครัฐจะมีมาตรการบังคับให้โรงงานเหล่านี้ต้องมีระบบบำบัดน้ำเสีย แต่สิ่งหนึ่งที่พบเป็นประจำก็คือ น้ำทิ้งจากโรงงานยังคงมีสารพิษปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง แม้จะมีการบำบัดน้ำเสียแล้วแต่ก็ยังไม่สามารถจัดการกับของเสียเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสาเหตุที่สำคัญอันหนึ่งเนื่องมาจากการเลือกใช้เทคนิคในการบำบัดไม่เหมาะสม สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นระบบบำบัดทางชีววิทยา หรือระบบบำบัดทางเคมี และการบำบัดน้ำเสียของโรงงานนั้นมักจะทำแบบกะ ซึ่งไม่สามารถที่จะทำได้อย่างต่อเนื่องและประสิทธิภาพที่ได้ไม่แน่นอน ประกอบกับการที่กฎหมายมีข้อกำหนดแต่เพียงว่าสีที่ออกมาจากน้ำทิ้งของโรงงานต้องเป็นที่พึงประสงค์เท่านั้น จึงทำให้โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ไม่ได้ใส่ใจกับมาตรการการบำบัดน้ำเสียอย่างจริงจัง [1]

จากการศึกษาค้นคว้าทั้งในและนอกประเทศพบว่าซิลิกามีความสามารถในการดูดซับความชื้นและสารเคมีได้ดี จึงนิยมใช้เป็นสารดูดความชื้น ซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารและยา และยังสามารถนำมาใช้ในการดูดซับสีย้อมได้อีกด้วย ดังนั้นการเตรียมตัวดูดซับโซเดียมซิลิเกตจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง

โครงการนี้ศึกษากระบวนการในการสังเคราะห์วัสดุ Mesoporousmolecular sieves Mobil Composition of Matter (MCM-41) เพื่อนำไปใช้ในการดูดซับสีย้อม โดยเลือกสีย้อม Congo red เป็นกรณีศึกษา นอกจากนี้ยังสนใจศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีย้อม Congo red

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม Congo red โดยใช้ตัวดูดซับ MCM-41 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 550 °C และ 850 °C

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ MCM-41 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 550 °C และ 850 °C
- 1.3.2 ศึกษาคุณลักษณะของตัวดูดซับ MCM-41
- 1.3.3 ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมคองโกเรด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ทำการทดลองสังเคราะห์ MCM-41 จากโซเดียมซิลิเกตในห้องปฏิบัติการ โดยเผาที่อุณหภูมิ 550 °C และ 850 °C
- 1.4.3 การศึกษาคุณลักษณะของตัวดูดซับ
 - ศึกษาความเป็นผลึกของ MCM-41 โดยใช้เครื่องมือ X-ray Diffractometer (XRD)
 - การวิเคราะห์ พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของตัวดูดซับ MCM-41 ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิววิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET)
- 1.4.4 ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้นสารละลายคองโกเรด 20, 40, 60, 80 และ 100 ppm
- 1.4.5 วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุดูดซับเพื่อใช้งานสิ่งแวดล้อม
- 1.5.2 สามารถนำข้อมูลพื้นฐานของการดูดซับสีย้อม Congo red ด้วยตัวดูดซับที่เตรียมจากโซเดียมซิลิเกต (MCM-41) มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซิลิกา [1]

ซิลิกา หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวระหว่างซิลิกอนและออกซิเจน มีโครงสร้างเป็นแบบออสซิลอนและมีรูพรุนจำนวนมาก ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ กำจัดความชื้นได้ง่าย มีพื้นที่ผิวกว้างและมีความแข็งแรง มีความถ่วงจำเพาะในช่วง 2.2-2.6 จุดหลอมเหลว 1,700 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,230 องศาเซลเซียส ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้เล็กน้อย ไม่ละลายในกรดทุกชนิด ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก แต่สามารถละลายได้โดยการหลอมกับด่าง และรวมกับออกไซด์ของโลหะส่วนใหญ่ได้ ไม่ลุกติดไฟที่สามารถหลอมเป็นแก้วที่มีสมบัติการแตกตัวต่ำ มีการนำความร้อนประมาณครึ่งหนึ่งของแก้ว ในทางการค้า ซิลิกาเป็นแหล่งผลิตซิลิกอนและถูกใช้ในปริมาณมากซึ่งเป็นส่วนของวัสดุก่อสร้าง ส่วนซิลิกาอสซิลอน (Amorphous Silica) ถูกใช้เป็นสารดูดความชื้น สารดูดซับ สารเพิ่มความแข็งแรง สารเติมแต่ง และองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา

ซิลิกามีคุณสมบัติทางเคมีค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิปกติ และไม่ทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามไม่ได้หมายความว่า ซิลิกาจะไม่ทำปฏิกิริยาใดๆเลย เพราะซิลิกาสามารถเปลี่ยนรูปได้ที่อุณหภูมิสูง ความว่องไวในปฏิกิริยาของซิลิกาจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของซิลิกา การเตรียมและสถานะของซิลิกาชนิดออสซิลอนจะว่องไวมากกว่าผลึกซิลิกา ที่เป็นเช่นนี้เพราะ ออสซิลอนซิลิกามีพื้นที่ผิวมาก

2.2 กระบวนการดูดซับ (Adsorption process) [2]

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สถานะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent)

2.2.1 กลไกของกระบวนการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดซับเรียกว่า 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)

ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการเกาะติดจะมี Driving force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.2.2 ประเภทของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

ก. การดูดซับทางกายภาพ(Physical adsorption)

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมลและสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น(Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของ โมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของ โมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

ข. การดูดซับทางเคมี(Chemical adsorption)

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อ โมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible reaction) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น โดยการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายประการ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

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

2.2.3 กลไกการดูดซับ

การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass transfer) จากแก๊สหรือของเหลวมายังของแข็งหรือของเหลว การเกาะติดบนพื้นผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะติดต่อกัน ดังนี้

ระยะที่ 1 การแพร่ภายนอก (External diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ในน้ำจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

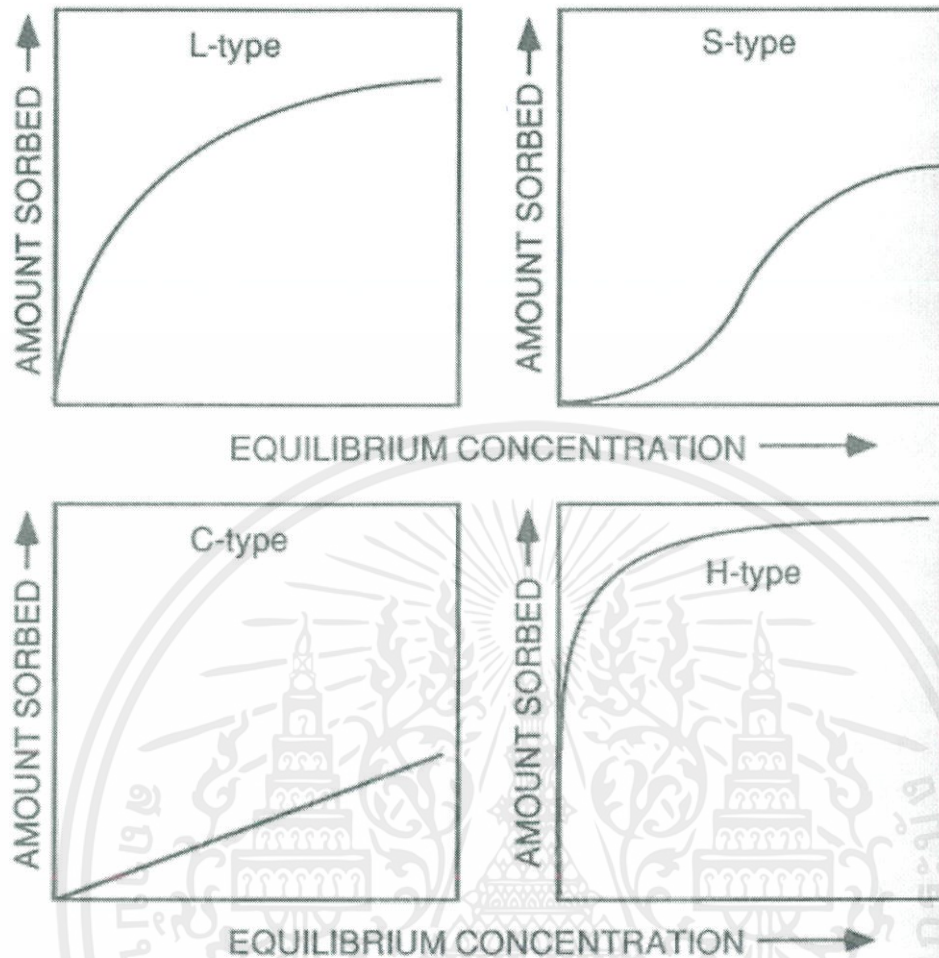
ระยะที่ 2 การแพร่ภายใน (Intraparticle diffusion หรือ Pore diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะพุ่งกระจายเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

ระยะที่ 3 การดูดซับ (Adsorption) เป็นระยะที่เกิดการเกาะติดบนผิวในรูพรุนระหว่างตัวถูกดูดซับและพื้นผิวของตัวดูดซับ การเกาะติดในระยะที่ 3 อาจเกาะติดบนผิวด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือเคมีหรือทั้งสองชนิดพร้อมกัน ในกระบวนการกำจัดน้ำเสียการดูดซับพิจารณาเฉพาะการเกาะติดด้วยแรงทางฟิสิกส์มากกว่าแรงทางเคมี

2.3 ลักษณะรูปร่างของกราฟไอโซเทอม [3]

ข้อมูลจากการทดลองการดูดซับสามารถนำมาทำการสร้างกราฟไอโซเทอม ระหว่างปริมาณของตัวดูดซับ กับความเข้มข้นที่สมดุลของสารที่ถูกดูดซับ แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งผลของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟที่สร้างได้ดังกล่าว สามารถนำมาใช้ในการเสนอแนะขั้นต้นถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารที่ถูกดูดซับ (adsorbent) กับตัวดูดซับ (adsorbate) ได้ จากการจัดประเภทของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟไอโซเทอมตามวิธีการของ McBride (1994) สามารถแบ่งประเภทของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟได้ 4 ประเภท ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การจัดประเภทของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟไอโซเทอม
ที่มา: McBride (1994)

1) กราฟไอโซเทอมชนิด **L-type (Langmuir)** แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันอย่างสูงระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ ซึ่งเป็นการบ่งบอกให้เห็นถึงกระบวนการดูดซับทางเคมี

2) กราฟไอโซเทอมชนิด **S-type** แสดงให้เห็นถึงการมีปฏิกิริยาดึงดูดกัน ระหว่างสารที่ถูกดูดซับด้วยกันเอง มีมากกว่าแรงดึงดูดกันระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ เรียกสภาวะนี้ว่า การเกาะกลุ่มรวมตัว (clustering) ของโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับที่พื้นผิว เนื่องจากพันธะในการเกาะกลุ่มด้วยกันเองของสารที่ถูกดูดซับเหล่านั้น แข็งแรงกว่าพันธะระหว่างสารที่ถูกดูดซับที่ใช้ในการเกาะที่พื้นผิวของตัวดูดซับ

3) กราฟไอโซเทอมชนิด C- type (Constant-partitioning) แสดงให้เห็นถึงค่าความคงที่ของความสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับ มักใช้ในการศึกษาเฉพาะที่ช่วงความเข้มข้นต่ำ ค่าการออกห่างเส้นกราฟคงที่แสดงให้เห็นถึงการมีลักษณะคล้ายกับการดูดซับที่ระดับความเข้มข้นสูง

4) กราฟไอโซเทอมชนิด H- type แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันอย่างสูงมากระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ (เช่น กระบวนการดูดซับทางเคมี) เป็นลักษณะของกราฟไอโซเทอมชนิด L-shape ในระดับสูง

2.4 ไอโซเทอมการดูดติดผิว (adsorption isotherm) [3]

ความสามารถในการดูดติดผิวสารใดๆต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักสารดูดติดผิวขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น ในรูปสารละลายที่จุดสมดุล ณ สภาวะอุณหภูมิคงที่ ปริมาณสารถูกดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งใช้ไอโซเทอรัมของการดูดติดผิว (Adsorption Isotherm) แสดงดังสมการที่ 2.1 เป็นตัวแทนในการอธิบายความสมดุลที่เกิดขึ้น

$$q = \left[\frac{C_0 - C_e}{m} \right] \times V \quad (2.1)$$

เมื่อ q = น้ำหนักของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล ($\mu\text{g/g}$)

C_0 = ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red ก่อนการดูดซับ ($\mu\text{g/ml}$)

C_e = ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red หลังการดูดซับ ($\mu\text{g/ml}$)

m = น้ำหนักของสารดูดซับ (g)

v = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ (ml)

สมดุลดูดซับเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นหรือความดันของสารที่ถูกดูดซับที่สมดุล (Equilibrium concentration) กับปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ (Specific equilibrium amount adsorbed) สำหรับที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ซึ่งแบบจำลองสมดุลดูดซับที่นิยมใช้ในการอธิบาย ได้แก่ แบบจำลองสมดุลการดูดติดผิวของ Linear, Langmuir และ Freundlich ซึ่งรายละเอียดของแบบจำลองแต่ละชนิดเป็นดังนี้

1) ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบลิเนียร์ (Linear Adsorption Isotherm)

แบบจำลองนี้ค่าปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะจะแปรผันตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายที่สมดุลของสารถูกดูดซับที่สถานะหนึ่งๆ โดยปกติจะเรียกว่า Henry's Law แสดงดังสมการที่ 2.2

$$q = K_H C \quad (2.2)$$

โดยที่ K_H คือ ค่าคงที่ของสมดุลดูดซับของ Henry แบบจำลองสมดุลดูดซับแบบ Linear นี้เหมาะสมใช้อธิบายกับระบบที่มีความเข้มข้นเจือจางเท่านั้น

2) ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมุติฐานพื้นฐานของแบบจำลองแลงเมียร์ เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model คือพลังงานในการดูดติดผิวมีค่าคงที่และไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของพื้นที่ผิว การดูดติดผิวจะเกิดเฉพาะที่โมเลกุลเดียวโดยไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิว แสดงดังสมการที่ 2.3 , 2.4 และรูปที่ 2.2

$$Q = \frac{Q_m b C_{eq}}{(1 + b C_{eq})} \quad (2.3)$$

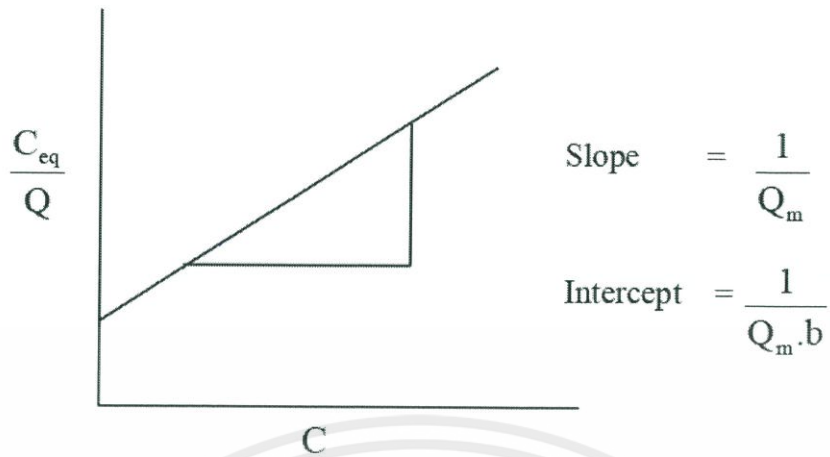
$$\frac{C_{eq}}{Q} = \frac{1}{Q_m \cdot b} + \frac{C_{eq}}{Q_m} \quad (2.4)$$

เมื่อ C_{eq} = ความเข้มข้นที่สถานะสมดุล (mg/L)

Q = ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)

Q_m = ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (mg/g)

b = ค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว



รูปที่ 2.2 Langmuir Adsorption Isotherm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง

3) ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

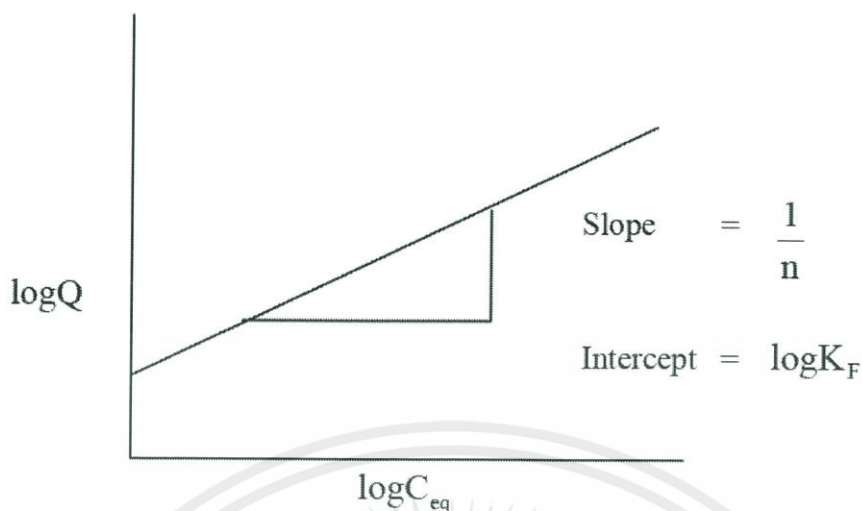
สมการการดูดซับแบบฟรุนดลิชใช้อย่างแพร่หลาย สมมติฐานแบบจำลองการดูดซับตามสมการฟรุนดลิช เกิดจากสมมติฐานจากพื้นผิวหลายชั้น (heterogeneous surface) ด้วยการกระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอของความร้อนของการดูดซับบนพื้นผิวที่เกิดจากการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer sorption) การประยุกต์ใช้สมการฟรุนดลิชอธิบายถึงการลดลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของพลังงานการดูดซับบนจุดสมดุลของจุดศูนย์กลางการดูดซับของตัวดูดซับ (Hameed and Daud, 2008) แสดงดังสมการที่ 2.5 , 2.6 และรูปที่ 2.3

$$Q = K_F C^{1/n} \quad (2.5)$$

$$\log Q = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_{eq} \quad (2.6)$$

เมื่อ K = ค่าคงที่ที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น (mg/g)

n = ค่าคงที่ที่แสดงการขึ้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย



รูปที่ 2.3 Freundlich Adsorption Isotherm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง

2.5 สีย้อม [4]

สีย้อม เป็นสารเคมีที่สกัดจากน้ำมันปิโตรเลียม หรือถ่านหินเมื่อน้ำมันปิโตรเลียม หรือถ่านหินผ่านการสกัดจะได้สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว เช่น เบนซินไซลีนแอนทราซีนโทลูอินแนพทาลิน และพาราฟินซึ่งสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ จะถูกเปลี่ยนเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่างๆ ซึ่งสีย้อมที่ผลิตขึ้นมา มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับ ความเหมาะสมกับเส้นใย และกระบวนการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป การที่จะนำสีย้อมใดๆ มาย้อมให้ได้ผลดีนั้น ขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีอำนาจมากกว่าน้ำเรา จะสามารถทำให้เกิดสภาวะเช่นนี้ขึ้นได้เมื่อ โมเลกุลของสีย้อม มีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกัน ในลักษณะที่จะทำให้เกิดการดูดติดเส้นใยได้เอง (Substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (Bond) ยึดกันแน่น อาจกล่าวได้อย่างกว้างว่าอิทธิพลเชิงเคมี 4 ชนิดที่ทำให้สีดูดติดเส้นใย คือ พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) แรงไอออน (Ionic force) และพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) การดูดติดกันระหว่าง โมเลกุลของสีย้อมและ โมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยต้องประกอบไปด้วย 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งอาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน สำหรับแรงยึดติดทางเคมีที่จะให้การยึดติดที่ดีที่สุด ได้แก่ พันธะโควาเลนต์ การเกิดสีของสีย้อม สีซึ่งปรากฏออกมาทำให้ตามนุษย์ปกตมมองเห็นได้เกิดจาก การเรียงตัวของกลุ่มอะตอม ประเภทหนึ่งภายใน โมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมที่กล่าวนี้เรียกว่าโครโมฟอร์ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่มคือ

- กลุ่มไนโตรโซ (Nitroso group)
- กลุ่มไนโตร (Nitro group)
- กลุ่มอะโซ (Azo group)

- กลุ่มเอทิลีน (Ethylene group)
- กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl group)
- กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (Carbonyl-Nitrogen group)
- กลุ่มซัลเฟอร์ (Sulphur group)

กลุ่มอะตอมต่างๆ เหล่านี้จะเป็นตัวเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก โดยการดูดกลืนแถบสีขาวยาวแถบแสงและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีข้อมีโทนสีแตกต่างกันไปความเป็นพิษของสีข้อมและมลพิษของสีข้อมโดยทั่วไป สีข้อมเป็นสารที่จัดได้ว่ามีความเป็นพิษต่ำ โดยไม่พบว่ามีอัตราการตาย หรือเจ็บป่วยของผู้ที่ทำงานในโรงงานฟอกย้อมสูงกว่าบุคคลอาชีพอื่นแต่อย่างใด สีข้อมอาจเข้าสู่ร่างกายของผู้ใช้ได้ 3 ทางคือทางจุกโดยการสูดดม ทางผิวหนังโดยการสัมผัส และทางระบบทางเดินอาหาร โดยปนเข้าไปกับอาหารการกิน แต่ก็เป็นที่น่าทึ่งกันว่าสารวัตถุพิษที่ใช้ในการสังเคราะห์สีข้อม มีจำนวนไม่น้อยที่มีความเป็นพิษสูงมาก และมีหลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น 2-naphthylamine และ Benzidine

ผลกระทบของสีข้อมต่อสิ่งแวดล้อม หรือสมบัติด้านมลพิษของสีข้อมพบว่าสีข้อมเป็นสารที่ยากต่อการสลายตัวทางชีวภาพ แต่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญของสีข้อมในน้ำที่ปัจจุบันไม่ได้อยู่ที่ความเป็นพิษของสีข้อม แต่อยู่ที่สีของน้ำที่ เนื่องจากสีข้อมเป็นสารที่มีสีเข้ม ดังนั้นแม้มีสีอยู่ในน้ำเพียงปริมาณเล็กน้อย ก็สามารถทำให้น้ำมีสีเป็นที่รังเกียจของผู้พบเห็น จึงต้องมีการกำจัดสีของน้ำที่ก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม

ปัญหาที่เกิดจากสีข้อมในน้ำที่จากโรงงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

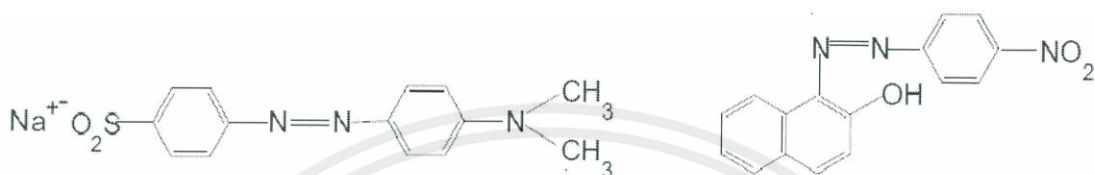
1. ก่อให้เกิดความไม่สวยงามทางด้านทัศนียภาพ
2. สีข้อมที่เป็นสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ ทำให้ค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ลดลง
3. ขัดขวางการเดินทางของแสง ซึ่งจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืช
4. การผลิตออกซิเจนลดลง เนื่องจากผลกระทบจากข้อ 3 ซึ่งส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
5. ความเป็นพิษของตัวสีข้อม บางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง

ทั้งหมดข้างต้นส่งผลให้สถานะของแหล่งน้ำไม่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

2.6 การจำแนกสีย้อมตามโครงสร้าง [5]

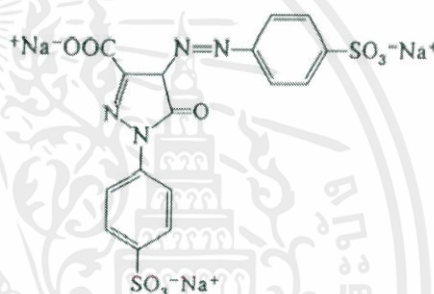
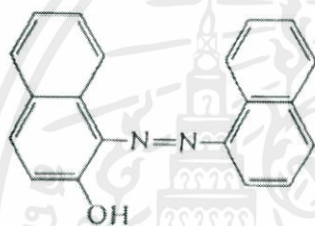
เราอาจจำแนกสีย้อมตาม โครงสร้างของสีย้อมออกเป็นประเภทต่างๆ และมักเรียกชื่อ ตาม โครงสร้างหรือหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ใน โครงสร้างนั้น แสดงดังรูปที่ 2.4

Azo dyes



Methyl orange

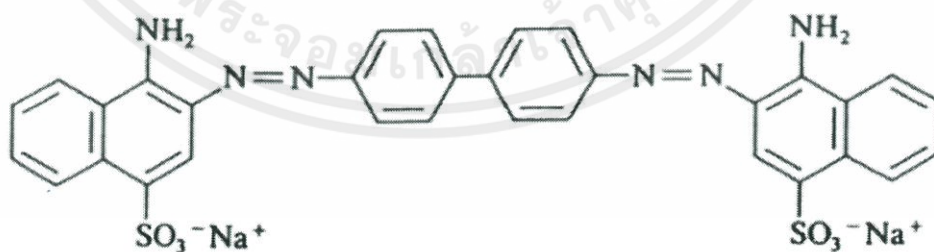
Para red



Naphthyl red

Iatrazine

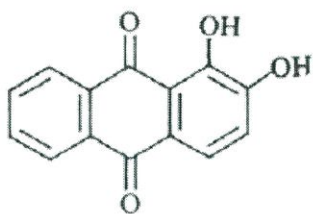
Disazo dyes



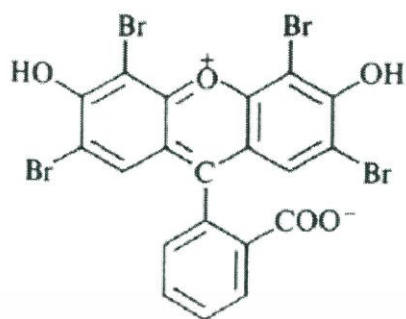
Congo red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Antraquinonoid dyes

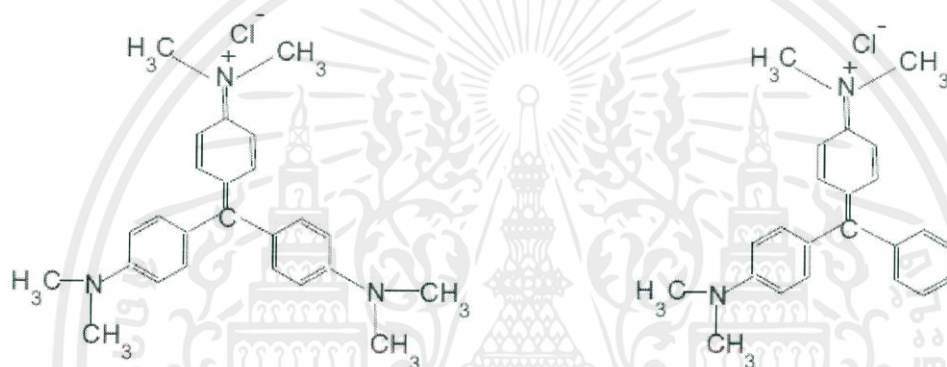


Alizarin



Eosin (Tetrabromofluorescein)

Triphenylmethane dyes



Methyl violet

Malachite green

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสีย้อมประเภทต่างๆ

2.7 การบำบัดสีในน้ำทิ้ง [4]

สิ่งเจือปนในน้ำทิ้งเนื่องจากการย้อมผ้าในโรงงานฟอกย้อมนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นสีย้อมและสารเคมี ซึ่งเป็นส่วนที่เสียดักค้างอยู่ในน้ำ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต และจะถูกปล่อยลงแหล่งน้ำทิ้ง แม้จะมีการโต้เถียงกันว่าสีย้อมไม่ควรถูกจัดให้เป็นสารก่อมลภาวะในน้ำ แต่เนื่องจากทำให้เกิดความรู้สึกไม่พึงประสงค์ต่อคนทั่วไป ตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมก่อนปล่อยออกจากโรงงานต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อทำการกำจัดสารต่างๆ รวมทั้งสีที่ติดค้างก่อน วิธีการบำบัดสีมีหลายวิธีดังนี้

1) การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical coagulation)

เป็นกระบวนการกำจัดสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมักใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้น ก่อนกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา สารตกตะกอนที่นิยมใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ ปูนขาว สารส้ม เพอร์รัสคลอไรด์ หรือเพอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้ม เป็นผลจากการทำให้โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนอนุภาคของสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้ง จากนั้นทำให้น้ำทิ้งเป็นกลางก่อนปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง เทคนิคนี้สามารถกำจัดสีออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของโมเลกุลสีข้อม ถ้าสีข้อมมีโมเลกุลเล็ก เช่น สีประเภทสีแอซิด สีรีแอคทีฟ การเกิดตะกอนของสีโดยใช้สารส้มจะไม่สามารถทำได้ ดังนั้นต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการตกตะกอนให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอนเช่น โพลีอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่เหลือน้ำทิ้ง จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการในตรีฟิเคชั่น

2) กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological treatment)

กระบวนการนี้อาศัยจุลินทรีย์ในการลดสีโดยจุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นมาใหม่ จะมีการดูดซับสีไปด้วยทำให้สามารถบำบัดสีได้ แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

- ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ในการทำลาย หรือเปลี่ยนรูปของมวลสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ให้มีค่าความสกปรกลดลง

- ระบบที่ 2 คือระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) คัดแปลงจากการบำบัดน้ำเสียแบบที่มีอากาศและไม่มียากรวมกัน โดยเพิ่มเครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้า ระบบนี้คล้ายกับระบบตะกอนเร่งต่างกันเพียงบ่อนี้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ขุดจากพื้นดินโดยตรง คุณภาพของน้ำเมื่อผ่านกระบวนการนี้จะมีค่า Biochemical Oxygen demand (BOD) ลดลงประมาณร้อยละ 30-50

3) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

การดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการดูดซับที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย สามารถใช้กำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของของเสียที่จะถูกดูดซับ ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรม สีจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 400 และสูงกว่า 1200 ดังนั้นก่อนการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ จะต้องมีการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสมก่อน โดยการไฮโดรไลซิสด้วยปูนขาว ซึ่งต้องใช้ปูนขาวปริมาณมากในการปรับค่า pH ของสารละลายให้อยู่ในช่วง 10-11 ซึ่งส่งผลให้ค่า pH ของน้ำทิ้งสูง ดังนั้นต้องมีการปรับค่า pH ให้เป็นกลางก่อนปล่อยทิ้งด้วยการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการ ที่ทำให้โมเลกุลของสีดูดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ดังนั้นประสิทธิภาพการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรูพรุนของถ่านกัมมันต์เพราะพื้นที่ผิวจำเพาะมากขึ้น แต่การทำให้โมเลกุลของสีหลุดออกจากผิวของถ่านนั้นทำได้ยาก ต้นทุนการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่จึงสูงมาก เพราะต้องผ่านกระบวนการเผาและกำจัดกากซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง รวมถึงค่าใช้จ่ายในส่วนที่มีการปรับค่า pH ก่อนปล่อยออกจากโรงงานด้วย ทำให้เทคนิคนี้ไม่เป็นที่นิยมแม้จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงก็ตาม

4) การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone treatment)

โดยทั่วไปโมเลกุลสีย้อมจะมีหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์เป็นพวกวงแหวน กับพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวคั่นกัน การที่จะทำลายโมเลกุลของสีนั้น ต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวก่อน ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้ กระบวนการกำจัดสีโดยใช้โอโซนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ไม่นานนัก ซึ่งอาจได้รับความนิยมเมื่อมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งเข้มงวดขึ้น การโอโซนชั้น (Ozonation) เป็นการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมี ของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมากจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำทิ้งอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โมเลกุลของสีย้อม ซึ่งส่วนใหญ่มักประกอบด้วยไนโตรเจนคลอรีน หรือซัลเฟอร์จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษ ต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม

5) เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane technology)

กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี นำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสี และสีย้อมบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

5.1 ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) ใช้ในการกำจัดสีย้อม ที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ (Colloid) ที่ถูกปล่อยออกจากหม้อย้อมหลังจากผ่านการล้าง โดยใช้กำจัดสีประเภทสีย้อมเส้นใยประเภทโพลีเอสเตอร์ และสีย้อมประเภทสีย้อมเส้นใย และวิสคอส (Viscose) สีย้อมดิสเพอร์สเมื่อผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

5.2 ออสโมซิสแบบย้อนกลับ (Reverse osmosis) เหมาะสำหรับการกำจัดออนสีย้อม และโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ เป็นกระบวนการที่จะต้องผ่านเยื่อแผ่น 2 ชั้นตอน คือเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำกร่อย (Brackish Water) และเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำทะเล (Sea Water) ซึ่งเยื่อแผ่นแรกจะสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 90 ความเข้มข้นของสีที่เหลือ จะถูกส่งผ่านไปยังเยื่อแผ่นที่สอง และสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 94 อย่างไรก็ตามสีย้อมที่ใช้อยู่ในประเภทฝ้าย ไม่สามารถใช้กระบวนการนี้ได้

5.3 ไดนามิกเมมเบรน (Dynamic membrane) ใช้กำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่โดยใช้ตัวรองรับที่มีรูพรุน เช่น เหล็ก แสตนเลส วัสดุคาร์บอน หรือเซรามิก ซึ่งต่อมาได้พัฒนาไปใช้ Hydrous zirconium (IV) oxide และกรดโพลีอะคลีลิก (Zr/PAA) เพื่อปรับปรุงขนาดของรูพรุน กระบวนการนี้สามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 95 หรือมากกว่า

6) นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration)

ใช้กำจัดสีย้อมประเภทสีรีแอกทีฟที่ใช้อยู่ในประเภทฝ้าย เนื่องจากการย้อมสีรีแอกทีฟต้องใช้สารอิเล็กโทรไลต์ช่วยในการย้อม เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเล็กโทรไลต์เหล่านี้ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

7) เทคโนโลยีใหม่ (New Technology)

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีใหม่ๆ มากมายที่เกิดขึ้น โดยมีพื้นฐานอยู่บนเทคนิคที่ต่างกันแต่มีวัตถุประสงค์เดียวกันคือเพื่อลดผลกระทบต่างๆ ให้เหลือน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น

7.1 ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์ ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นและมีการนำมาใช้ในโรงงานมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ให้ผลการกำจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นสีที่สูงหรือมีสารเจือปนก็ตาม ซึ่งต้นทุนวิธีนี้ต่ำกว่าเทคนิคอื่นๆ ที่คล้ายกันดังนั้นเทคนิคนี้จึงคุ้มค่าต่อการพิจารณาต่อไป

7.2 ระบบที่มีพื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์ที่กำลังพัฒนา พลังงานที่ใช้จะสูงบางครั้งคลอรีน และไฮดรอกซีเรดิคัลสามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกพันธะอย่างควบคุมไม่ได้ ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์หรือพืชแห้ง เช่น ผักตบชวา มีองค์ประกอบที่สำคัญคือเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันไว้แลกเปลี่ยนไอออน หรือโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kapur (2528) [7] ทำการศึกษาเฟสของซิลิกาที่เตรียมจากแกลบที่ยังไม่ผ่านการล้างด้วยกรดก่อนเผาปรากฏว่าขึ้นกับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส โครงสร้างของซิลิกาที่ได้อยู่ในรูปออสติเนียน แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียสขึ้นไป จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) เป็นเฟสซิลิกาในรูป cristobalite และมีการเปลี่ยนเฟสเป็น tridymite ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าซิลิกาสามารถเปลี่ยนเฟสเป็นผลึกอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิสูง 1,200 องศาเซลเซียสขึ้นไป นอกจากนี้ยังพบว่าเฟสของ tridymite มีการเปลี่ยนเฟสไปเป็น coexisted ที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียสขึ้นไป

Real (2539) [8] และคณะ ทำการศึกษากการล้างขี้เถ้าแกลบด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกก่อนการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ซิลิกาที่เตรียมได้มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 260 ตารางเมตรต่อกรัม แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะที่ได้มีค่าลดลงเหลือเพียง 1 ตารางเมตรต่อกรัม เงื่อนไขของการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกามีค่าสูง ส่งผลให้ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูง เหมาะสมในการเตรียมเป็น active silica ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมผลิตภัณฑ์อื่นๆต่อไป เช่น Silane Si_3N_4

Concha (2539) [9] และคณะ ทำการศึกษาปฏิกิริยาของกรดไฮโดรคลอริกกับเกลบก่อนที่จะเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าได้ปริมาณซิลิกาถึง 99.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และถ่ายภาพโครงสร้างในระดับจุลภาค เพื่อศึกษาการจัดเรียงตัว ความเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุ และการกระจายตัวของซิลิกาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน(TEM) ผลที่ได้คือเมื่ออุณหภูมิที่ใช้เผาสูงขึ้นการจัดเรียงตัวของซิลิกาที่อยู่ภายในซีเมนต์เกลบมีความเป็นเนื้อเดียวมากขึ้น และความบริสุทธิ์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เผา

Proctor (2544) [10] ศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบของเกลบ พบว่าในซีเมนต์เกลบมีปริมาณของซิลิกาสูง 99.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเมื่อเผาที่อุณหภูมิต่ำการจัดเรียงตัวของซิลิกาจะอยู่ในรูปอสัณฐานและเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นความเป็นผลึกและความบริสุทธิ์ของซิลิกามีค่ามากขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้เผา นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเผาซีเมนต์เกลบที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ซิลิกาในซีเมนต์เกลบจะเป็นเฟสของไตรดีไมท์ (tridymite)

Xiu Mei TAI, Hong Xia WANG and Xiu Qi SHI (2550) [11] ได้ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุดูดซับชนิดซิลิกาเมโซพอร์ MCM-41 จากตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ กลีเซอรอล ไกลคอล และน้ำ พบว่า วัสดุดูดซับที่ใช้กลีเซอรินเป็นตัวทำละลายผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดรูพรุนใหญ่ และการกระจายขนาดรูพรุนมีความแคบ

ดร.ศิริลักษณ์ เกียรติกร และ ยุทธพงศ์ สาพรหม (2550) [12] ได้ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุนาโน MCM-41 จากซิลิกาที่สกัดได้จากซีเมนต์เกลบ พบว่า วัสดุดูดซับนาโนที่สังเคราะห์ได้เป็นซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีลักษณะผลึกแบบอสัณฐาน และมีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 97 มีความสามารถดูดซับสารอินทรีย์ระเหยได้ (VOCs) ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ใช้มากในอุตสาหกรรมสี และสารไฮโดรคาร์บอนกลุ่มอะโรมาติก

กนต์พงศ์ เลิศวิธิ, เนตรนภา สักดีเวคิน และ บัณฑิตา ทักขภิววัฒน์ (2553) [13] ได้ศึกษาการดูดซับสารละลาย Congo red ด้วยตัวดูดซับจากเกลบ โดยทำการทดลองดูดซับที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 20, 30, 40, 50 และ 60 ppm จากการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับพบว่า ตัวดูดซับซิลิกาที่เผาที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นตัวดูดซับที่ดีที่สุด จากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer มีปริมาณธาตุ SiO₂ 71.01 % wt และมีปริมาณดูดซับจำเพาะได้มากที่สุด 5102 ไมโครกรัม Congo red ต่อกรัมซิลิกาที่เผาที่อุณหภูมิ 700 °C ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red เริ่มต้น 20 ppm และใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับเร็วที่สุด คือ 90 นาที จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโดยใช้สมการของ Linear ได้ความสัมพันธ์ คือ $q_c = 637.69c_c$ สมการ Langmuir ได้ความสัมพันธ์ คือ $q_c = \frac{11,111.11c_c}{23.11 - c_c}$ และสมการ Freundlich ได้ความสัมพันธ์ คือ

$q_c = 494.23ce^{1.143}$ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) จากสมการ Linear สมการ Langmuir และสมการ Freundlich คือ 0.9578, 0.8767 และ 0.8804 ตามลำดับ และค่าการทดสอบไคสแควร์ จากสมการ Linear สมการ Langmuir และสมการ Freundlich คือ 266, 449 และ 286 ตามลำดับ พบว่าข้อมูลการทดลองนี้สามารถอธิบายด้วยแบบจำลอง Linear ซึ่งมีค่า R^2 สูงกว่าและ ต่ำกว่าแบบจำลอง Langmuir และ Freundlich

อรอนงค์ จุลพันธ์, ธงไทย วิฑูรย์ และ เมตตา เจริญพานิช (2554) [14] ได้ศึกษาการสังเคราะห์และการพัฒนาวัสดุนาโนในกลุ่มซิลิกาเมโซพอร์ ซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับและตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเริ่มจากสังเคราะห์วัสดุดูดซับซิลิกาเมโซพอร์แบบรูพรุน 1 ขนาด และพัฒนาการสังเคราะห์ให้ได้ซิลิกาเมโซพอร์ที่มีรูพรุน 2 ขนาดในโครงสร้าง โดยมีการกระจายตัวของรูพรุนแบบต่างๆ นอกจากนี้ ยังเน้นการนำวัสดุทดแทน จำพวกกากของเสีย เช่น เถ้าลอย เถ้าแกลบ และ ไคโตซาน ซึ่งมีราคาถูก หาได้ง่ายภายในประเทศ มาใช้ทดแทนสารตั้งต้นที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อลดต้นทุนการผลิต จากการศึกษาการสังเคราะห์ซิลิกาเมโซพอร์ชนิดต่างๆ พบว่าแต่ละชนิดจะมีลักษณะทางกายภาพ และ คุณสมบัติแตกต่างกัน สามารถควบคุมขนาดของรูพรุนได้ตามต้องการโดยใช้สารกำหนดโครงสร้าง และสามารถสังเคราะห์ซิลิกาเมโซพอร์ได้จากสารประกอบซิลิกาที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน ส่งผลให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายงาน



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
2. ปิเปต
3. แท่งแก้วคนสาร
4. ขวดสีชาขนาด 60 มิลลิลิตร
5. เครื่องชั่งละเอียด
6. เครื่องเขย่า (ZHICHENG รุ่น ZHWY-100B)
7. เครื่อง UV-Spectrophotometer
8. เครื่อง Centrifuge (GEMMY รุ่น PLC-012 series)
9. ตู้อบ
10. เตาเผา
11. ขวดน้ำกลั่น
12. ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 และ 1000 มิลลิลิตร
13. โกร่งบดสาร
14. Autocave
15. ถ้วยกระเบื้อง

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
2. สารกำหนดโครงสร้าง Certyltrimethyl ammonium bromide ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{N}(\text{CH}_3)_3\text{Br}$)
3. กรดซัลฟิวริก
4. สีย้อม Congo red

3.3 การเตรียมตัวดูดซับ

3.3.1 การเตรียมตัวดูดซับ MCM-41 ที่อุณหภูมิเผาที่ 550 องศาเซลเซียส

1. ผสม Cetyltrimethyl ammonium bromide ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{N}(\text{CH}_3)_3\text{Br}$) จำนวน 4.5 กรัม กับน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ปั่นกวน 4 ชั่วโมง
2. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) จำนวน 17.437 กรัม ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 1 แล้วปั่นกวนต่ออีก 2 ชั่วโมง
3. ปรับค่า pH ให้ได้ประมาณ 11 ด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
4. นำสารละลายที่ปรับ pH แล้วใส่ใน Autocave อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
5. กรองและล้างด้วยน้ำกลั่น จนค่า pH = 7
6. อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
7. นำไปเผาที่เตาเผาอุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
8. บรรจุไว้ในถุงซิปล็อกและนำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

3.3.2 การเตรียมตัวดูดซับ MCM-41 ที่อุณหภูมิเผาที่ 850 องศาเซลเซียส

1. ผสม Cetyltrimethyl ammonium bromide ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{N}(\text{CH}_3)_3\text{Br}$) จำนวน 4.5 กรัม กับน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ปั่นกวน 4 ชั่วโมง
2. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) จำนวน 17.437 กรัม ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 1 แล้วปั่นกวนต่ออีก 2 ชั่วโมง
3. ปรับค่า pH ให้ได้ประมาณ 11 ด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
4. นำสารละลายที่ปรับ pH แล้วใส่ใน Autocave อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
5. กรองและล้างด้วยน้ำกลั่น จนค่า pH = 7
6. อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
7. นำไปเผาที่เตาเผาอุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
8. บรรจุไว้ในถุงซิปล็อกและนำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

3.4 การทำกราฟมาตรฐานสารละลาย Congo red สำหรับการดูดซับ

1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน Congo red เข้มข้น 500 ppm โดยชั่งตวง Congo red 0.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าสารละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน
2. เตรียมสารละลายมาตรฐาน Congo red เข้มข้น 10,20,30,40 และ 50 ppm โดยการเจือจางจากสารละลายมาตรฐาน Congo red เข้มข้น 500 ppm
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Congo red ที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยเครื่อง UV-Spectrophotometer ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร
4. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย Congo red กับค่าการดูดกลืนแสง

3.5 การศึกษาคุณลักษณะของตัวดูดซับ

1. ตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยใช้เครื่องมือ X-ray Diffractometer (XRD)
2. ตรวจสอบพื้นที่ผิว, ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุน โดยใช้เครื่องมือ Brunaur-Emmet-Teller (BET)

3.6 การหาประสิทธิภาพของตัวดูดซับ

1. ชั่งตัวดูดซับ MCM-41 ที่สังเคราะห์จากโซเดียมซิลิเกต 0.2 กรัม ใส่ในขวดสีชา 12 ขวด
2. เตรียมสารละลาย Congo red ความเข้มข้น 20 ppm ใส่ในขวดสีชาในข้อ 1 ขวดละ 30 มิลลิลิตร
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
4. เก็บตัวอย่างทุก 15 นาที ใน 90 นาทีแรกและทุก 30 นาที ใน 180 นาทีต่อมา
5. นำสารละลายตัวอย่างมาแยกตัวดูดซับ โดยการเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ผ่านการแยกตัวดูดซับ และคำนวณความเข้มข้นของ Congo red ที่เหลือ
7. นำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหาค่าปริมาณดูดซับจำเพาะจากสมการ

$$q = \left[\frac{C_0 - C_e}{m} \right] \times V$$

- เมื่อ q = น้ำหนักของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล ($\mu g/g$)
 C_0 = ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red ก่อนการดูดซับ ($\mu g/ml$)
 C_e = ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red หลังการดูดซับ ($\mu g/ml$)
 m = น้ำหนักของสารดูดซับ (g)
 v = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ (ml)

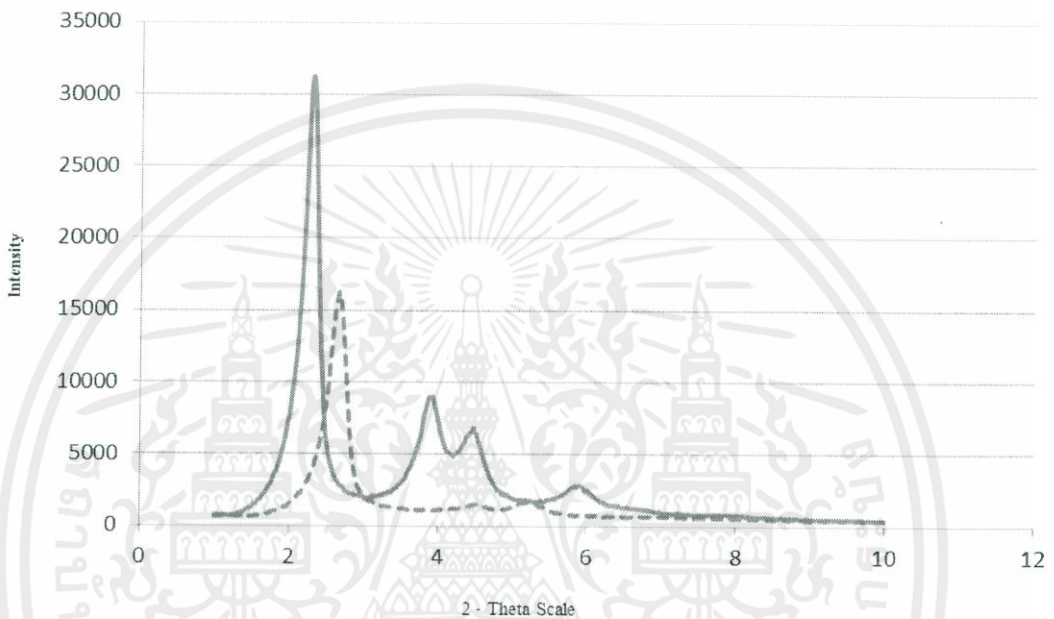
8. ทำการทดลองข้อ 1-7 ซ้ำ โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย Congo red จาก 20 ppm เป็น 40,60,80,100 และ 120 ppm
9. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนชนิดของตัวดูดซับเป็น MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของตัวดูดซับ MCM-41 จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction หรือ XRD)



รูปที่ 4.1 ความเป็นผลึกของ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550 °C (————) และ 850 °C (-----)

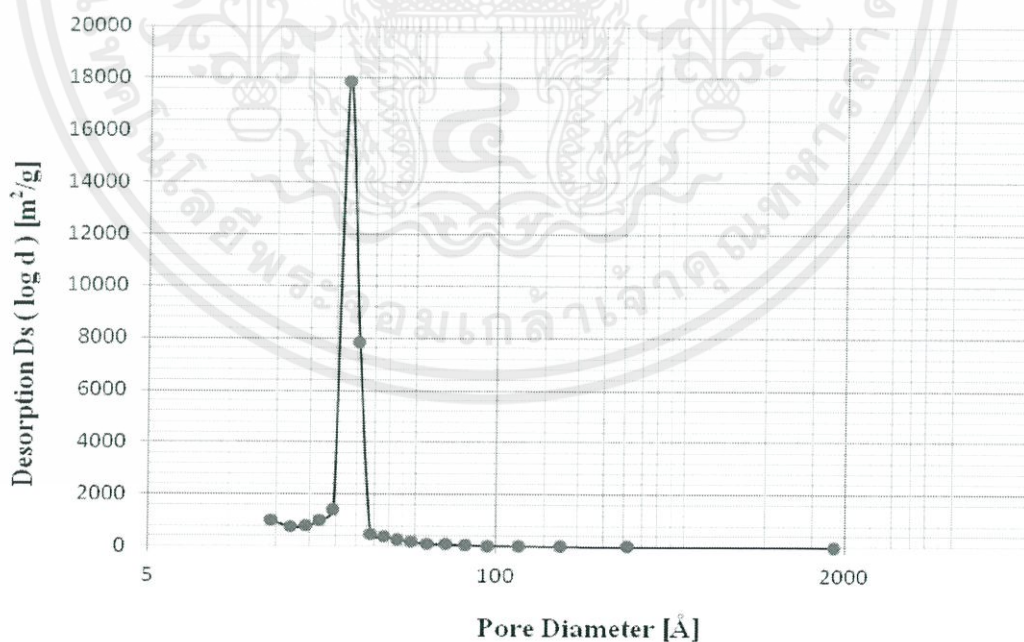
ผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของตัวดูดซับ MCM-41 จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction หรือ XRD) แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่า MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C ที่เตรียมได้นั้นมีโครงสร้างเป็นผลึก โดยมีพีค 2θ ที่มุม 2.31 , 3.91 , 4.47 , 5.90 องศา และ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C ที่เตรียมได้นั้นมีโครงสร้างเป็นผลึก โดยมีพีค 2θ ที่มุม 2.67 , 4.52 และ 5.21 องศา ซึ่งลักษณะการจัดเรียงตัวของผลึกดังกล่าวเป็นลักษณะเฉพาะของ MCM-41 [15] จากการเปรียบเทียบความเป็นผลึกของ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C และ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C พบว่า MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C พีคที่ได้มีความสูงของพีคมากกว่า MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C ซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึกของ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C มีความเป็นผลึกสูงกว่า MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C อาจเป็นผลมาจากการเผา MCM-41 ที่อุณหภูมิ 850°C เป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไป อาจทำให้โครงสร้างความเป็นผลึกลดลง

4.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุน ของตัวดูดซับด้วยวิธี BET

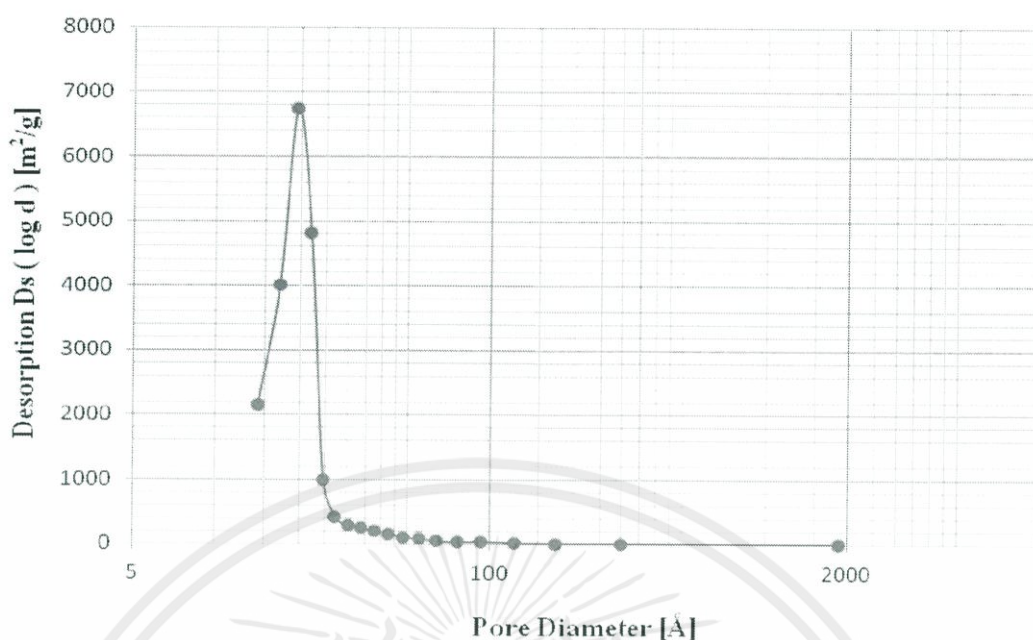
ตารางที่ 4.1 พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุน โดยเฉลี่ยของ MCM-41

อุณหภูมิที่เผา MCM-41 (°C)	พื้นที่ผิว (m ² /g)	ขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน (Å)	ปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซพอร์ส (cm ³ /g)
550	1,218	36.85	1.123
850	1,181	20.77	0.613

ผลการวิเคราะห์ พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของตัวดูดซับ MCM-41 ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิววิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET) แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่า MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C และ 850°C มีพื้นที่ผิวใกล้เคียงกัน คือ 1,218 m²/g และ 1,181 m²/g ตามลำดับ แต่ขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนและปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซพอร์สแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดย MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C มีขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 36.85 Å และปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซพอร์ส 1.123 cm³/g ซึ่งมากกว่า MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C มีขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 20.77 Å และปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซพอร์ส 0.613 cm³/g



รูปที่ 4.2 การกระจายขนาดของรูพรุนของตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C

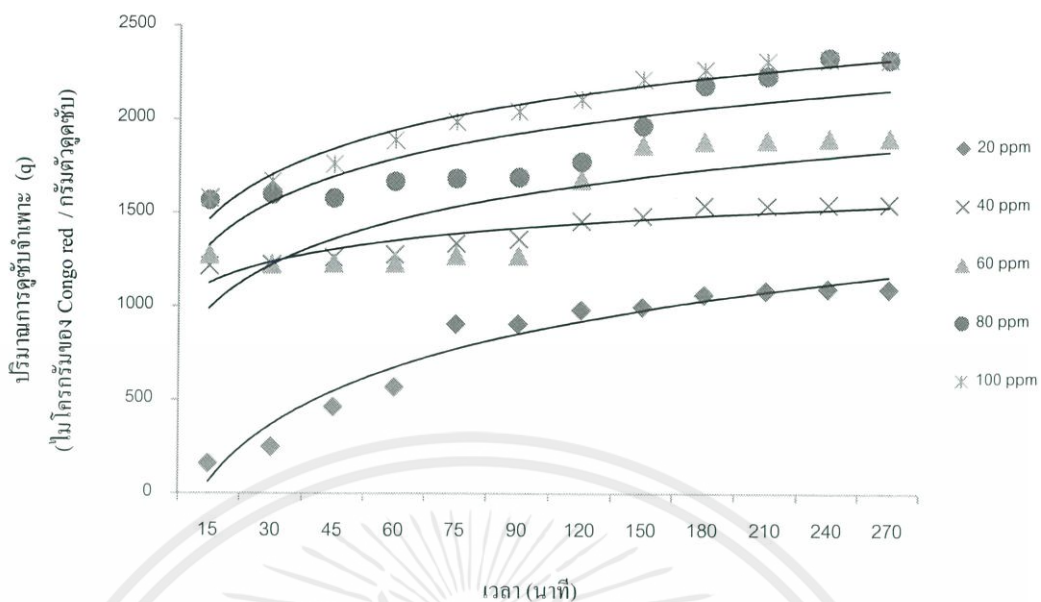


รูปที่ 4.3 การกระจายขนาดของรูพรุนของตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C

รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 แสดงการกระจายขนาดของรูพรุนของตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C และ 850°C ตามลำดับ พบว่า ตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C มีการกระจายขนาดของรูพรุนในช่วงแคบ ขนาดรูพรุนเฉลี่ยมีขนาด 36.85 Å ส่วนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C มีการกระจายขนาดของรูพรุนในช่วงกว้างกว่า MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 20.77 Å

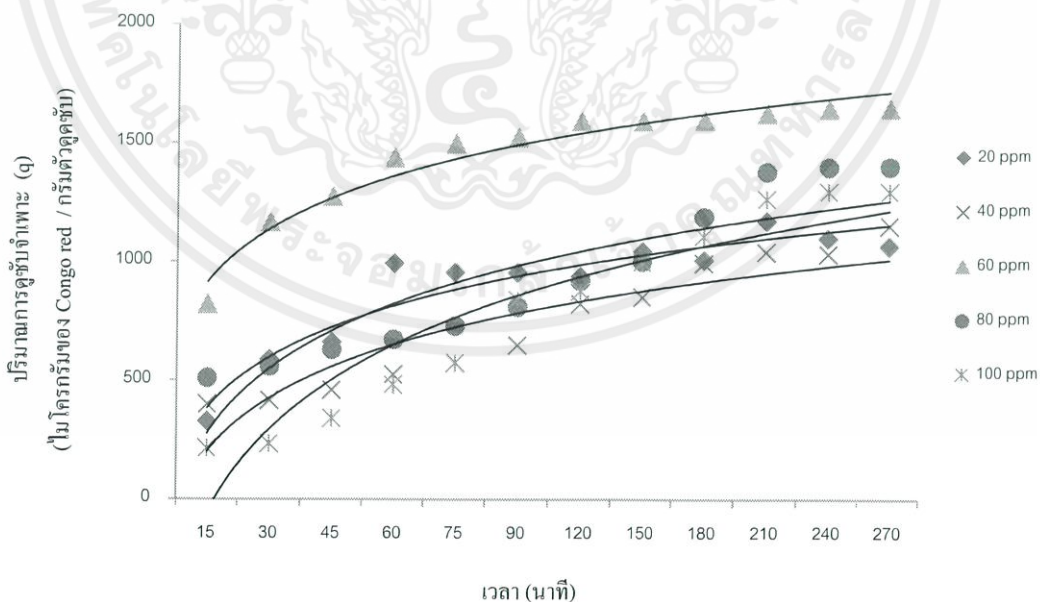
4.3 การทดสอบผลการดูดซับสารละลาย Congo red

จากการดูดซับสารละลาย Congo red ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 , 40 , 60 , 80 และ 100 ppm ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C และ 850°C สามารถวัดปริมาณการดูดซับจำเพาะที่เวลาต่างๆ ได้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 ปริมาณดูดซับจำเพาะที่เวลาต่างๆ ของตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C

จากรูปที่ 4.4 พบว่าการดูดซับสารละลาย Congo red ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C เข้าสู่สมดุลภายใน 180 นาที เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย Congo red จาก 20 ppm เป็น 100 ppm ส่งผลให้ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย Congo red สูงขึ้น ทำให้มีแรงขับเคลื่อนที่มากขึ้น



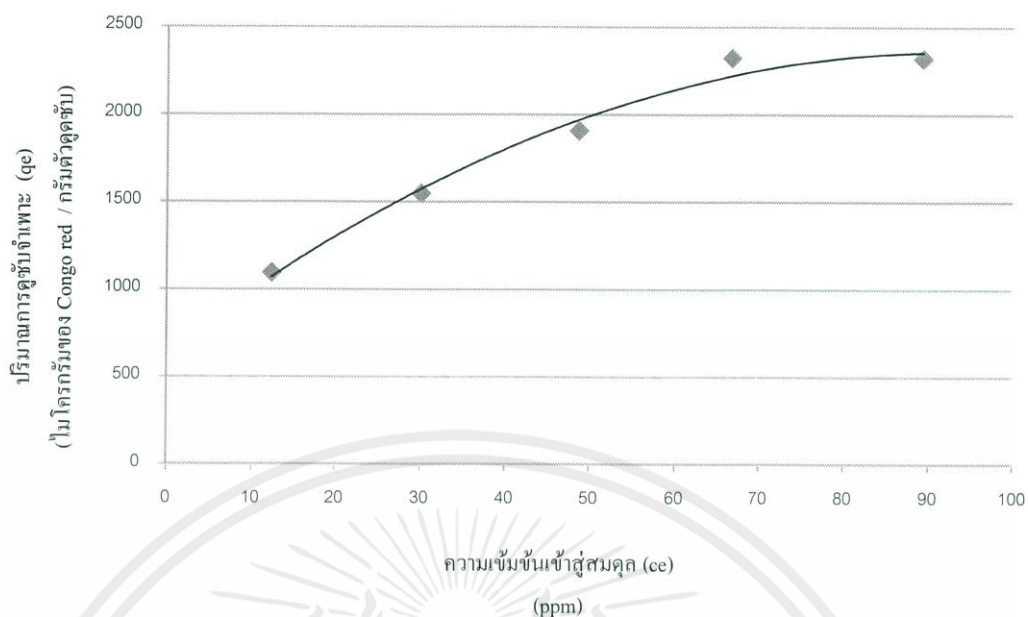
รูปที่ 4.5 ปริมาณดูดซับจำเพาะที่เวลาต่างๆ ของตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C

จากรูปที่ 4.5 พบว่าการดูดซับสารละลาย Congo red ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C ใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุล 210 นาที ซึ่งใช้เวลานานกว่าที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย Congo red จาก 20 ppm เป็น 60 ppm ส่งผลให้ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย Congo red สูงขึ้น ทำให้มีแรงขับเคลื่อนที่มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย Congo red ไปจนถึง 80 ppm และ 100 ppm พบว่าปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะลดลง เนื่องจาก MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C มีความเป็นผลึกต่ำ แสดงถึงความเป็นระเบียบในโครงสร้างโมเลกุลต่ำ และขนาดรูพรุนไม่สม่ำเสมอ [16] ทำให้การดูดซับสารละลายที่ความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพลดลง

ปริมาณดูดซับจำเพาะที่สมดุล และความเข้มข้นที่สมดุล ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ แสดงดังหัวข้อ 4.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

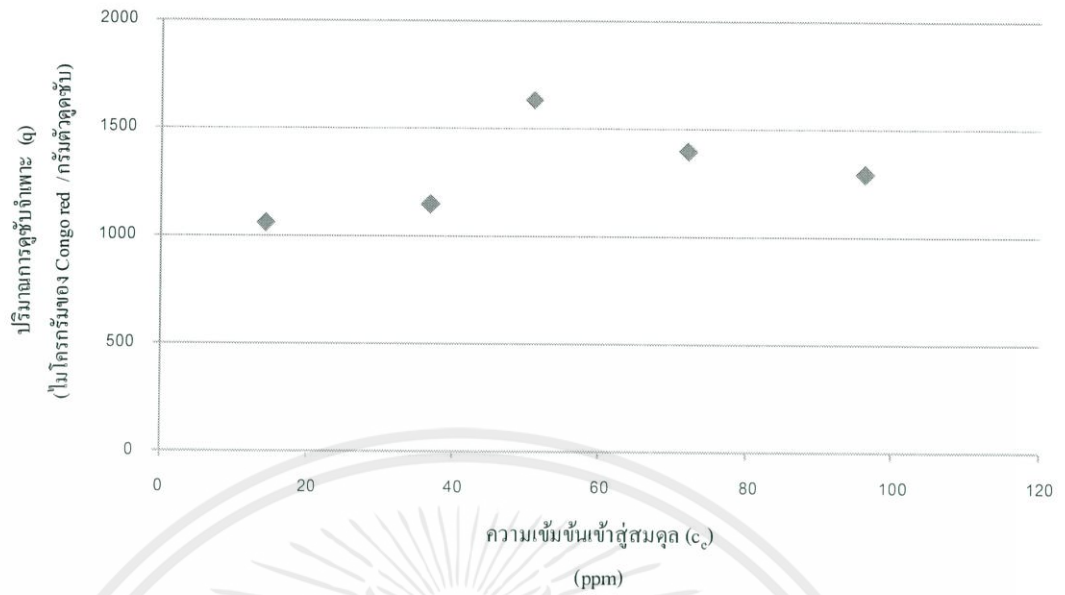
4.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสี Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C ดังรูปที่ 4.6 พบว่าตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C มีปริมาณการดูดซับจำเพาะที่สมดุลเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายคองโกเรดเพิ่มจาก 10 ppm ไปจนถึง 70 ppm และเกือบคงที่ ที่ความเข้มข้นมากกว่า 70 ppm โดยปริมาณการดูดซับจำเพาะที่สมดุลสูงสุดเท่ากับ 2,324 ไมโครกรัมต่อกรัม



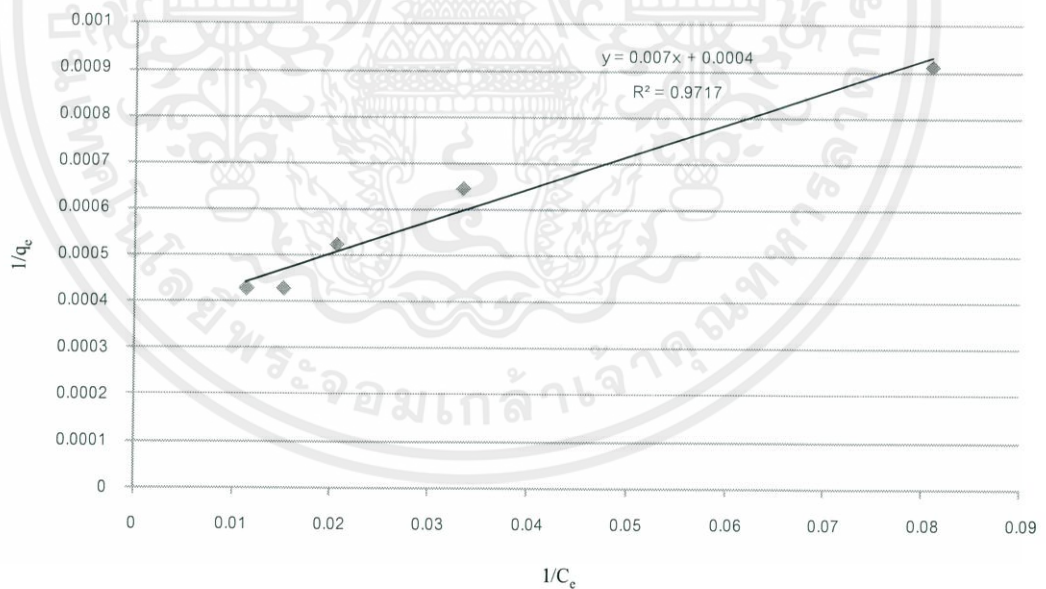
รูปที่ 4.6 ไอโซเทอมการดูดซับสี Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C

ไอโซเทอมการดูดซับสี Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C แสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C มีปริมาณการดูดซับจำเพาะที่สมมูลเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสารละลายของโกเรดเพิ่มจาก 10 ppm ไปจนถึง 50 ppm และมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นสารละลายของโกเรดเพิ่มจาก 50 ppm ไปจนถึง 100 ppm อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นต่ำ 10-50 ppm ความเข้มข้นเป็นแรงขับทำให้การดูดซับสูงขึ้น แต่ที่ความเข้มข้นสูง 50-100 ppm การดูดซับมีประสิทธิผลลดลง เนื่องจากตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C มีความเป็นผลึกต่ำ โครงสร้างโมเลกุลมีขนาดรูพรุนไม่เป็นระเบียบ ขนาดรูพรุนไม่เท่ากัน จึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับต่ำลง

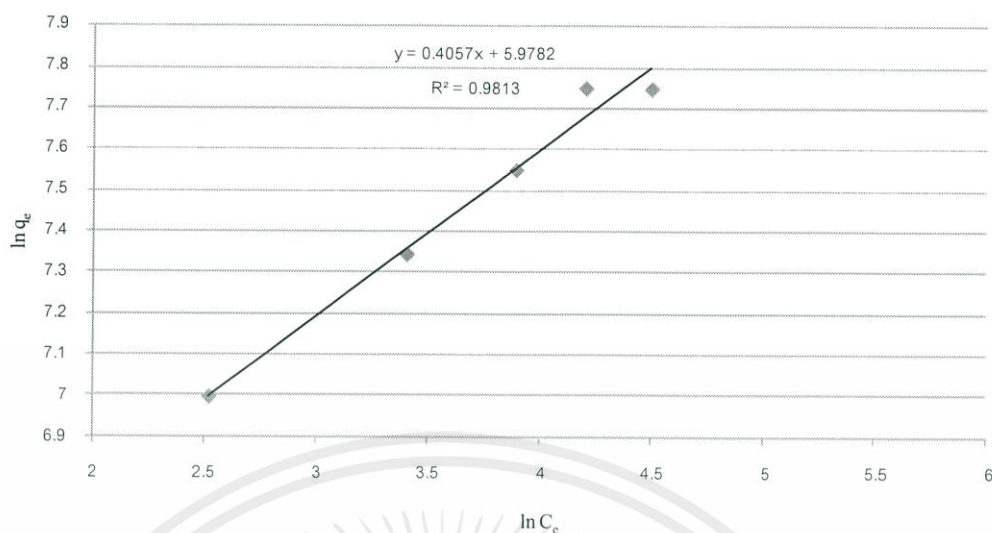


รูปที่ 4.7 ไอโซเทอมการดูดซับสี Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C

การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ของตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C แสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9



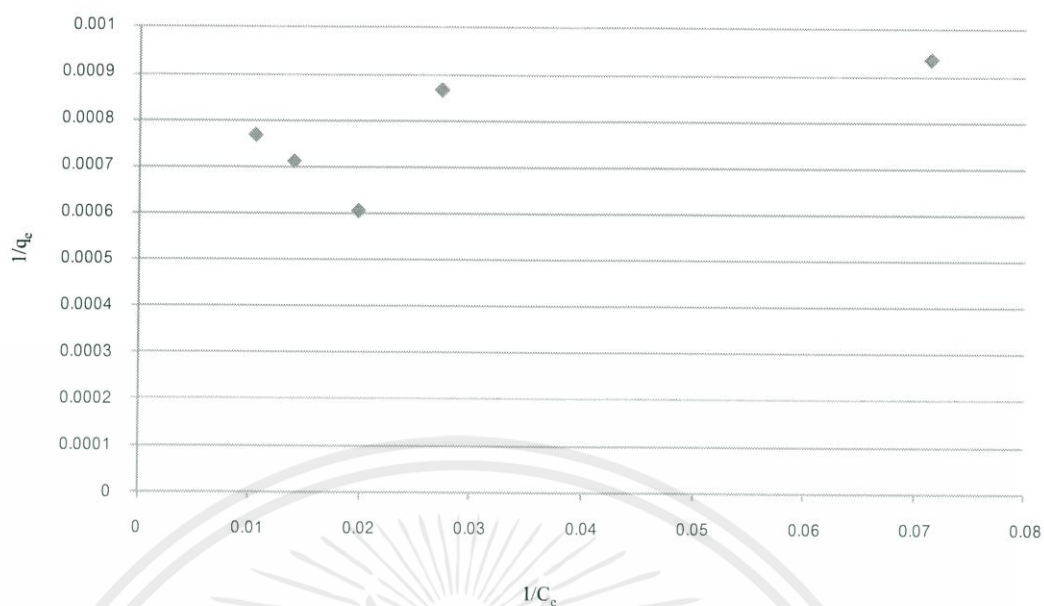
รูปที่ 4.8 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับสีย้อม Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C ด้วยสมการแบบจำลอง Langmuir



รูปที่ 4.9 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับสีย้อม Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C ด้วยสมการแบบจำลอง Freundlich

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 สมการ Langmuir ที่ได้คือ $q_e = \frac{2,500C_e}{17.5+C_e}$ โดยมีค่า $R^2 = 0.9717$ และ สมการ Freundlich ที่ได้คือ $q_e = 394.73C_e^{0.4057}$ โดยมีค่า $R^2 = 0.9813$ ซึ่งค่า R^2 ของ Freundlich มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่า R^2 ของ Langmuir

การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการ Langmuir และ Freundlich ของตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C แสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.10 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับสีย้อม Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C ด้วยสมการแบบจำลอง Langmuir



รูปที่ 4.11 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับสีย้อม Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C ด้วยสมการแบบจำลอง Freundlich

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าสมการแบบจำลองของ Langmuir และ Freundlich ไม่เหมาะสมกับการดูดซับสีย้อม Congo red บนตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C สามารถดูดซับสารละลายของโกเรดได้มากกว่า MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C โดยสามารถดูดซับสารละลายของโกเรดได้สูงสุด คือ 2,324 ไมโครกรัมต่อกรัม อาจเนื่องมาจากความเป็นผลึกของ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C มีความเป็นผลึกสูงกว่า MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C และขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C มีขนาด 35.85 Å ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า ขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C ซึ่งมีขนาด 20.77 Å สมการไอโซเทอมการดูดซับของ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C แบบ Langmuir และแบบ Freundlich คือ $q_e = \frac{2,500C_e}{17.5+C_e}$ และ $q_e = 394.73C_e^{0.4057}$ ตามลำดับ และมีค่า R² ของสมการไอโซเทอมแบบ Langmuir และแบบ Freundlich คือ 0.9717 และ 0.9813 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาโดยการเปลี่ยนชนิดของสีย้อมที่มีคุณสมบัติต่างกับสีย้อม Congo red เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับ
2. ควรปรับปรุงคุณสมบัติของตัวดูดซับ MCM-41 เพื่อให้มีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชิลิกา. [Online]. Available: www.vcharkarn.com/include/vcafe/showkratoo.phpMPid.
- [2] PradThaNa P. 2551. กระบวนการดูดซับ **Adsorbtion Process**. [Online]. Available: [http://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process.\(19/03/2551\)](http://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process.(19/03/2551))
- [3] ปรีชญา ชัยสาร. การพัฒนาตัวดูดซับเพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา. [Online]. Available: <http://www.research.rdi.ku.ac.th/world/cache/71/PreechayaCHAAll.pdf> (2551)
- [4] ร.อ.หญิง รัชนีย์รุทชาติ. สีย้อมและการบำบัดสีในน้ำทิ้ง. [Online]. Available: http://www.navy.mi.th/science/BrithDay46/Brithday_data/biology.htm(2546)
- [5] สีย้อมและการย้อมผ้า. [Online]. Available: <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328.pdf>
- [6] มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง. [Online]. Available: http://www.reo05monre.com/main_menu/law_environment/quality_standard_narnting.htm
- [7] **Catalysts supported on MCM-41 synthesized from rich husk silica**. [Online]. Available: <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/3107/2/fulltext.pdf>
- [8] Magale KD Rambo,Cardoso และ Ayrton F. มาร์ติน.ชิลิกาจากถ่านกลบเป็นสารเติมแต่งสำหรับโรงสีข้าว. [Online]. Available: <http://scialert.net/fulltext.com>
- [9] **Synthesis and characterization of catalyst for the selective transformation of biomass-Derived materials**. [Online]. Available: <http://digitalcommons.library.umaine.edu.com>(2011)
- [10] **Development of ordered and disordered macroporous silica from bagasse ash**. [Online]. Available: <http://www.academicjournals.org/ajpac/pdf.com>
- [11] Xiu Mei TAI , Hong Xia WANG and Xiu Qi SHI. **A Novel Method for Synthesis of MesoporousMolecular Sieve MCM-41**.(2007)
- [12] ดร.ศิริลักษณ์ เจียรกร และ ยุทธพงศ์ สาพรหม. การสังเคราะห์หัวสัดุนาโน **MCM-41** จากชี้ถ่านกลบที่ได้จากโรงไฟฟ้า. สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [13] กันตพงศ์ เลิศวิธิ,เนตรนภา ศักดิ์เวกิน และ บัณฑิตา ทักขภวิวัฒน์. การดูดซับสารละลาย **Congo red** ด้วยตัวดูดซับจากถ่าน.ปริญญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(2553)

- [14] อรอนงค์ จุลพันธ์, ธงไทย วิฑูรย์ และ เมตตา เจริญพานิช. การผลิตวัสดุดูดซับชนิดซิลิกาเมโซพอร์จากกากของเสียจากธรรมชาติ [Online]. Available: <http://opac.psu.ac.th/BibDetail.aspx>
- [15] MESOPOROUS SILICA MCM-41 (Si-MCM-41). [Online]. Available: <http://wiredspace.wits.ac.za/bitstream/handle.com>
- [16] การศึกษาสมบัติทางกายภาพของซิลิกา. [Online]. Available: kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2059/11/246508_ch1.pdf
- [17] นายอนุสรณ์ บุญปก, รศ.ดร. นวตล เหล่าศิริพจน์, รศ.ดร. สิรินทรเทพ เต้าประยูร, ผศ.ดร. สิริวิทย์กษณ์ เจียรากร, ผศ.ดร. อำนาจ ชิดไธสง. การสังเคราะห์และปรับปรุงวัสดุนาโน MCM-41 จากแคลสเพื่อดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2553)
- [18] Lei LIU, Gao Yong ZHANG and Jin Xiang DONG. Large pore Mesoporous MCM-41 Templated from Cetyltriethylammonium Bromide. (2007)
- [19] Mohammad Teymouri, Abdolraouf Samadi-Maybodi and Amir Vahid. A Rapid Method for the Synthesis of Highly Ordered MCM-41. (2011)
- [20] Paul A. Samuelson. Synthesis of MCM-41. (2010)
- [21] Mesoporous materials. [Online]. Available: <http://ww2.chemistry.gatech.edu.com>
- [22] Hong-Ping Lin, Yu-Shan Chi, Jiunn-Nan Lin, Chung-Yuan Mou and Ben-Zu Wan. Direct Synthesis of MCM-41 Mesoporous Aluminosilicates Containing. [Online]. Available: <http://ntur.lib.ntu.edu.tw/bitstream.com>. (2001)
- [23] สมดุลของการดูดซับ. [Online]. Available: <http://kb.psu.ac.th.com>. (2007)
- [24] Mahitti Puanggam and Fuangfa Unob. Preparation and use of chemically modified MCM-41 and silica gel as selective adsorbents for Hg(II) ions. (2007)
- [25] X-ray Diffractometer (XRD). [Online]. Available: <http://www.mfu.ac.th/x-ray-analysis-instrument-menu/เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์-xrd.html.com>. (2012)



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

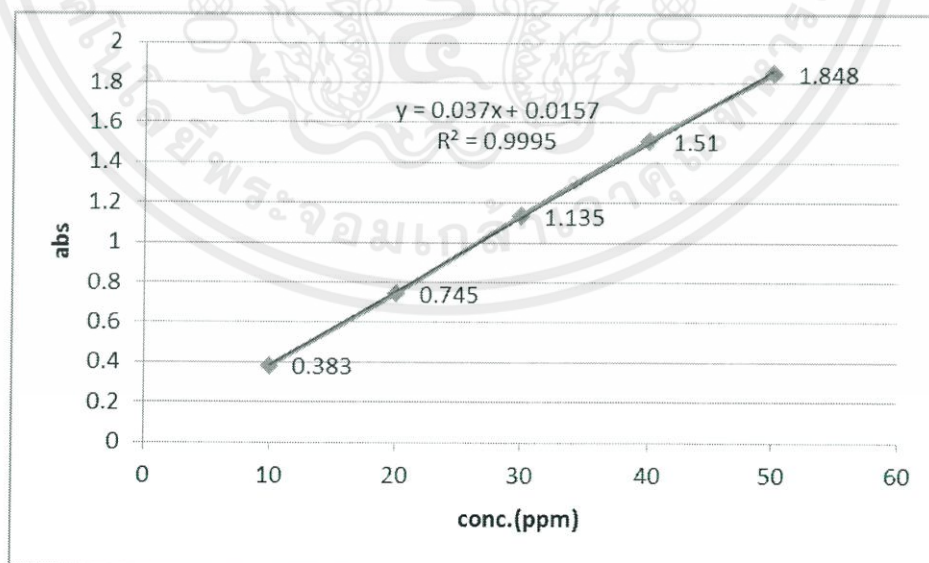
ภาคผนวก ก

ข้อมูลกราฟมาตรฐาน

จากการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Congo red ที่ความเข้มข้น 10,20,30,40 และ 50 ppm โดยการเจือจางจากสารละลายมาตรฐาน Congo red เข้มข้น 500 ppm วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่มีความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Spectrophotometer กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย Congo red กับค่าการดูดกลืนแสงดังรูปที่ ก.1 ได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.037x + 0.0157$, $R^2 = 0.9995$

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลาย Congo red (ppm) และค่าการดูดกลืนแสง

Conc. (ppm)	Abs
10	0.383
20	0.745
30	1.135
40	1.510
50	1.848



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานสารละลาย Congo red



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 20 ppm เขย่าในเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 °C ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณการดูดซับจำเพาะ (ไมโครกรัม/กรัม)
15	0.710	0.1782	159.25
30	0.659	0.2774	251.33
45	0.616	0.2261	462.69
60	0.576	0.2401	570.62
75	0.536	0.1873	904.89
90	0.521	0.2003	906.74
120	0.502	0.2004	983.17
150	0.498	0.2006	998.36
180	0.482	0.2005	1,063.56
210	0.476	0.2008	1,086.20
240	0.473	0.2009	1,097.78
270	0.474	0.2008	1,094.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 40 ppm เขย่าในเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 °C ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณการดูดซับจำเพาะ (ไมโครกรัม/กรัม)
15	1.210	0.2004	1,213.79
30	1.208	0.2003	1,222.50
45	1.196	0.2016	1,262.87
60	1.182	0.2080	1,278.59
75	1.180	0.2004	1,335.16
90	1.174	0.2003	1,360.12
120	1.151	0.1999	1,456.13
150	1.144	0.1999	1,484.53
180	1.130	0.1998	1,542.09
210	1.131	0.1997	1,538.80
240	1.129	0.1996	1,547.69
270	1.129	0.1995	1,548.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 60 ppm เขย่าในเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 °C ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณการดูดซับจำเพาะ (ไมโครกรัม/กรัม)
15	2.003	0.1886	1,276.83
30	2.001	0.1993	1,224.58
45	1.998	0.2003	1,230.58
60	1.995	0.2016	1,234.72
75	1.984	0.2024	1,273.90
90	1.980	0.2053	1,271.70
120	1.878	0.2048	1,678.64
150	1.827	0.2064	1,865.96
180	1.822	0.2065	1,884.70
210	1.819	0.2070	1,891.90
240	1.816	0.2071	1,902.72
270	1.817	0.2065	1,904.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 80 ppm เขย่าในเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 °C ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณการดูดซับจำเพาะ (ไมโครกรัม/กรัม)
15	0.684	0.1692	1,567.48
30	0.682	0.1699	1,599.20
45	0.680	0.1762	1,578.80
60	0.676	0.1745	1,668.58
75	0.672	0.1805	1,684.99
90	0.670	0.1836	1,691.83
120	0.666	0.1822	1,776.03
150	0.662	0.1711	1,967.06
180	0.640	0.1867	2,184.73
210	0.635	0.1898	2,234.67
240	0.632	0.1858	2,335.12
270	0.632	0.1867	2,323.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 100 ppm เขย่าในเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 °C ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550°C

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณการดูดซับจำเพาะ (ไมโครกรัม/กรัม)
15	0.889	0.1808	1,578.57
30	0.884	0.1810	1,666.39
45	0.878	0.1824	1,760.31
60	0.870	0.1839	1,887.03
75	0.864	0.1844	1,987.47
90	0.860	0.1856	2,044.51
120	0.856	0.1862	2,107.59
150	0.849	0.1874	2,215.25
180	0.845	0.1889	2,266.33
210	0.842	0.1892	2,314.17
240	0.841	0.1899	2,322.70
270	0.841	0.1900	2,321.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 20 ppm เขย่าในเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 °C ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณการดูดซับจำเพาะ (ไมโครกรัม/กรัม)
15	0.710	0.1654	328.24
30	0.649	0.1758	590.36
45	0.639	0.1694	660.53
60	0.582	0.1592	993.15
75	0.565	0.1820	954.58
90	0.563	0.1817	954.95
120	0.559	0.1880	940.20
150	0.551	0.1756	1,043.53
180	0.542	0.1892	1,006.93
210	0.535	0.1672	1,173.55
240	0.533	0.1798	1,100.32
270	0.535	0.1839	1,066.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 40 ppm เขย่าในเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 °C ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณการดูดซับจำเพาะ (ไมโครกรัม/กรัม)
15	1.518	0.2027	400.00
30	1.514	0.2031	415.18
45	1.509	0.1926	458.86
60	1.494	0.1913	525.56
75	1.482	0.1920	574.33
90	1.463	0.1939	648.15
120	1.421	0.1944	821.65
150	1.409	0.1990	851.58
180	1.382	0.1924	994.55
210	1.377	0.1876	1,041.60
240	1.375	0.1892	1,031.86
270	1.376	0.2004	1,151.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 60 ppm เขย่าในเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 °C ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C

เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณการดูดซับจำเพาะ (ไมโครกรัม/กรัม)
15	1.068	0.1738	821.60
30	1.029	0.1767	1,166.20
45	1.016	0.1783	1,273.73
60	0.989	0.1882	1,439.30
75	0.981	0.1893	1,499.14
90	0.978	0.1894	1,524.60
120	0.970	0.1894	1,593.10
150	0.966	0.1936	1,593.86
180	0.961	0.1980	1,597.39
210	0.957	0.1985	1,626.05
240	0.954	0.1990	1,646.35
270	0.954	0.1988	1,648.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 80 ppm เขย่าในเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 °C ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณการดูดซับจำเพาะ (ไมโครกรัม/กรัม)
15	0.732	0.1785	510.00
30	0.725	0.2004	560.05
45	0.720	0.2042	630.26
60	0.718	0.2041	673.22
75	0.709	0.2255	730.00
90	0.704	0.2254	810.55
120	0.700	0.2106	920.44
150	0.697	0.2038	1,002.05
180	0.688	0.1959	1,190.15
210	0.660	0.2350	1,380.56
240	0.651	0.2520	1,400.12
270	0.651	0.2520	1,402.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลจากผลการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red 100 ppm เขย่าในเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 °C ด้วยตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850°C

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณการดูดซับจำเพาะ (ไมโครกรัม/กรัม)
15	0.963	0.1810	215.60
30	0.964	0.1811	232.83
45	0.958	0.1812	340.05
60	0.950	0.1812	483.23
75	0.945	0.1813	572.45
90	0.930	0.1813	840.78
120	0.928	0.1815	875.69
150	0.921	0.1815	1,000.64
180	0.915	0.1815	1,107.88
210	0.906	0.1818	1,266.58
240	0.904	0.1819	1,298.00
270	0.904	0.1819	1,298.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างการคำนวณ

ค.1 การคำนวณค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะ(q)

ตารางที่ ค.1 ค่าปริมาณการดูดกลืนแสงของสารละลาย Congo red 20 ppm บนตัวดูด MCM-41 ที่ 550 °C เพื่อใช้เป็นตัวอย่างการคำนวณค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะ

ขวดที่	เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดกลืนแสง				Weight(g)
		I.	II.	III.	เฉลี่ย	
1	15	0.712	0.710	0.708	0.710	0.1782
2	30	0.657	0.661	0.659	0.659	0.2774
3	45	0.616	0.614	0.618	0.616	0.2261
4	60	0.576	0.576	0.576	0.576	0.2401
5	75	0.538	0.534	0.536	0.536	0.1873
6	90	0.521	0.521	0.521	0.521	0.2003
7	120	0.502	0.502	0.502	0.502	0.2004
8	150	0.498	0.499	0.498	0.498	0.2006
9	180	0.482	0.483	0.482	0.482	0.2005
10	210	0.476	0.476	0.476	0.476	0.2008
11	240	0.473	0.473	0.473	0.473	0.2009
12	270	0.474	0.474	0.474	0.474	0.2008
Reference					0.745	

จากตารางที่ ก.1 จะทราบค่าปริมาณการดูดกลืนแสงที่เวลาต่าง ๆ นำมาหาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบกับรูปที่ ก.1 กราฟสารละลายมาตรฐาน Congo red

ตัวอย่างเช่น สารละลาย Congo red ที่ความเข้มข้น 20 ppm ขวดยที่ 6 : นำค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย = 0.521 มาหาค่าความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ จากรูปที่ ก.1 ได้ความเข้มข้นของสารละลาย 13.657 แล้วนำมาแทนในสมการปริมาณการดูดซับจำเพาะ (q)

$$\text{ค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะ (q)} = \left[\frac{C_0 - C_e}{m} \right] \times V$$

เมื่อ q = น้ำหนักของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล ($\mu\text{g/g}$)

C_0 = ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red ก่อนการดูดซับ ($\mu\text{g/ml}$)

C_e = ความเข้มข้นของสารละลาย Congo red หลังการดูดซับ ($\mu\text{g/ml}$)

m = น้ำหนักของสารดูดซับ (g)

v = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ (ml)

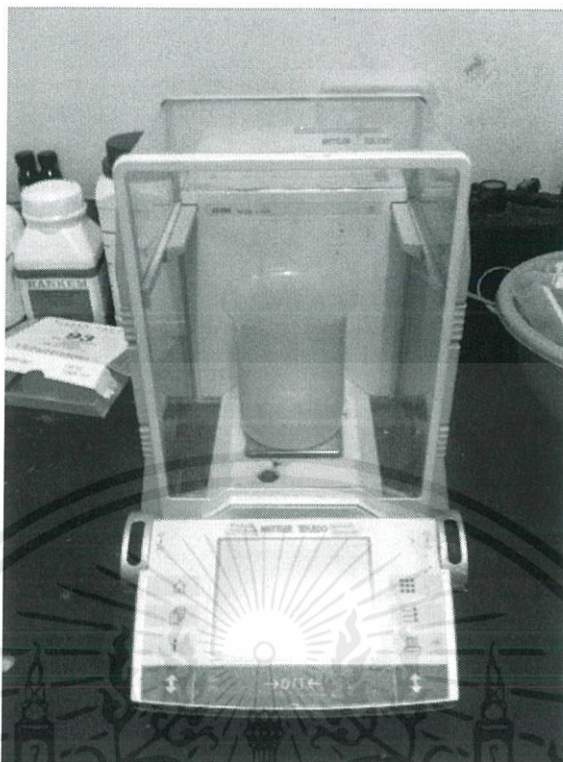
หาค่าความเข้มข้นของสารละลาย Congo red เริ่มต้น (ขวย Reference) จากกราฟมาตรฐาน ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.745 ได้ค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 19.711 ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะ (q)} &= \left[\frac{19.711 \text{ ppm} - 13.657 \text{ ppm}}{0.2003 \text{ g}} \right] \times 30 \\ &= 906.74 \mu\text{g/g} \end{aligned}$$

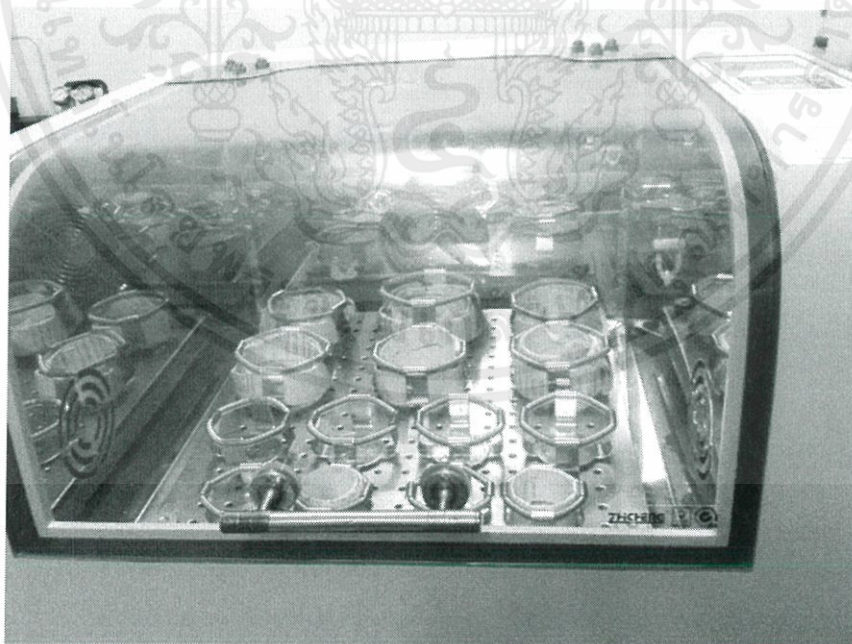


ภาคผนวก ง
รูปภาพประกอบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

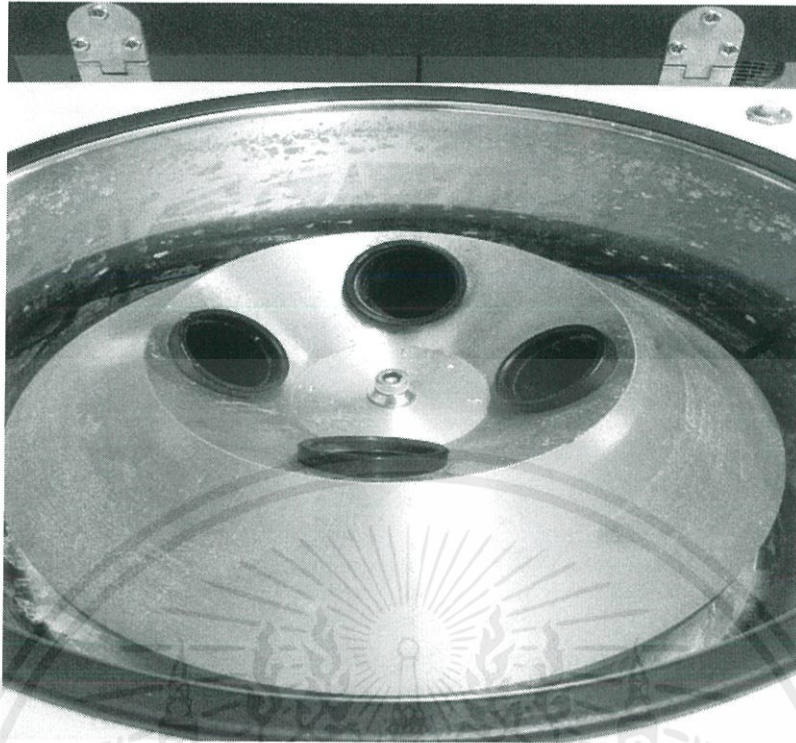


รูปที่ ง.1 เครื่องชั่ง (Mettler Toledo รุ่น AX 205 ที่มีความแม่นยำ ± 0.0001 กรัม)



รูปที่ ง.2 เครื่องเขย่า (ZHICHENG รุ่น ZHWY-100B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.3 เครื่อง Centrifuge (GEMMY รุ่น PLC-012 series)



รูปที่ ๓.4 เตอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

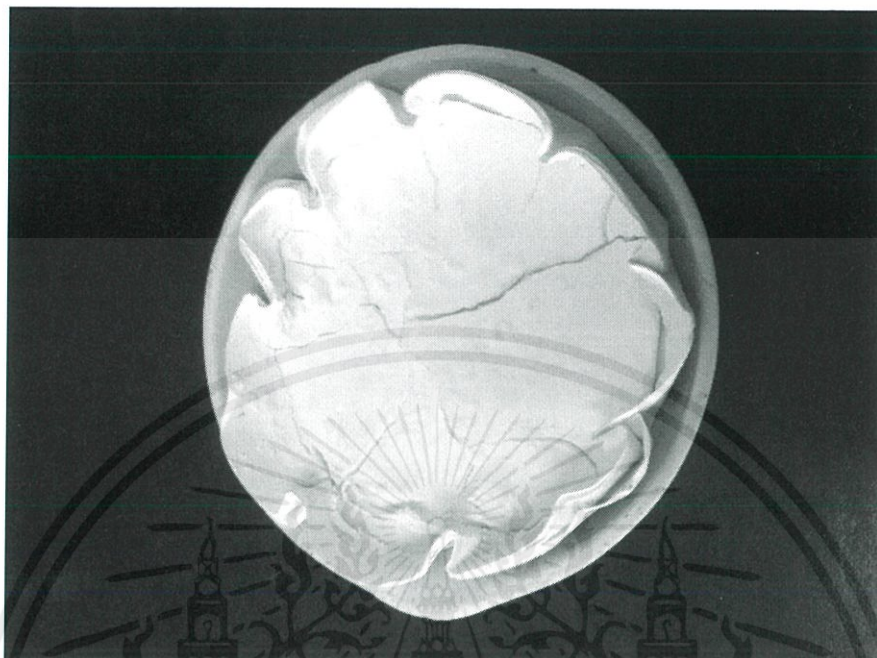


รูปที่ ง.5 เตาเผา

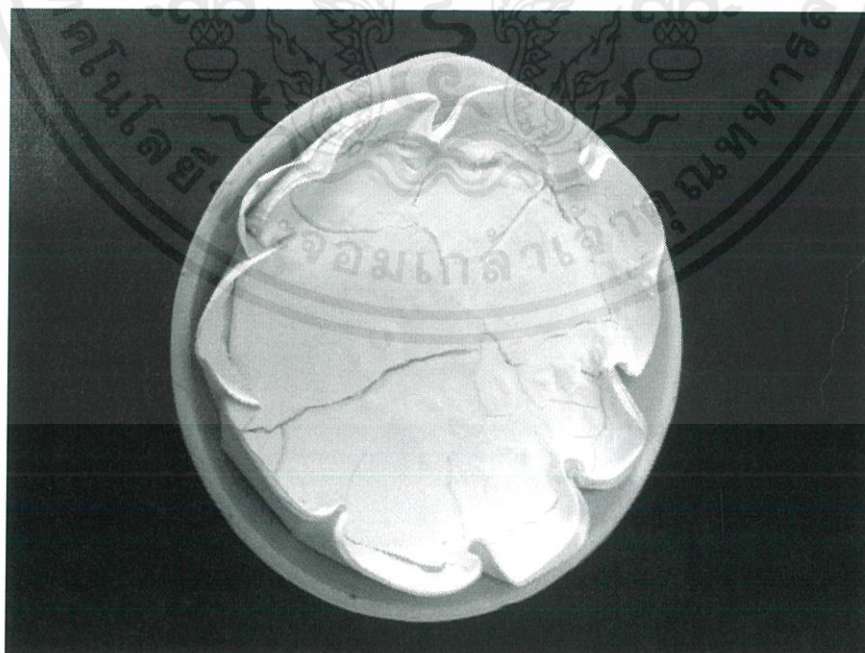


รูปที่ ง.6 เครื่อง Autocave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.7 ตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 550 °C



รูปที่ ง.8 ตัวดูดซับ MCM-41 ที่เผาที่อุณหภูมิ 850 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้