

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



242321



รายงานวิจัย

เรื่อง

การกำจัดโลหะหนักและสีย้อมแอซิดบางชนิดโดย  
เบนท์อไนท์ธรรมชาติและเบนท์อไนท์ดัดแปร

**Removal of Some Heavy Metals and Acid Dyes by  
Natural Bentonite and Modified Bentonites**

โดย

ยุพดี ชัยสุขสันต์  
จรีรัตน์ รวมเจริญ  
เสาวภา โชติสุวรรณ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี  
ทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิทยาเขตปัตตานี  
ประจำปีงบประมาณ 2551



รายงานวิจัย

เรื่อง



การกำจัดโลหะหนักและสีย้อมแอซิดบางชนิดโดย  
เบนทอไนท์ธรรมชาติและเบนทอไนท์ดัดแปร

**Removal of Some Heavy Metals and Acid Dyes by  
Natural Bentonite and Modified Bentonites**

โดย

ยุพดี ชัยสุขสันต์

จรีรัตน์ รอมเจริญ

เสาวภา โชติสุวรรณ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิทยาเขตปัตตานี

ประจำปีงบประมาณ 2551

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนวิทยาเขตปัตตานี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้จัดสรรทุนอุดหนุน การดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณนักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือด้านการเตรียมและ การวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกคนแผนกวิชาเคมี และคณะวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ ต่างๆ ทำให้งานวิจัยดำเนินไปได้โดยสมบูรณ์

อนึ่ง ในระหว่างการดำเนินงานวิจัย ส่วนหนึ่งของผลวิจัยนี้ได้เผยแพร่นำเสนอในแบบโปสเตอร์ ในการประชุมวิชาการดังนี้

1. เรื่อง การดูดซับตะกั่วจากสารละลายโดยเบนทอไนท์ธรรมชาติและโซเดียมเบนทอไนท์ ใน “ม.อ.วิชาการ ม.อ.ปัตตานี” วันที่ 5 กรกฎาคม 2551 ณ โรงแรมซีเอส ปัตตานี
2. เรื่อง Adsorption of Congo Red Dye onto Natural Bentonite and Modified Bentonites ใน “Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON) 2010” วันที่ 21-23 มกราคม 2553 ณ ศูนย์แกรนด์ไฮเทล จังหวัดอุบลราชธานี

ยุพดี ชัยสุขสันต์  
จรีรัตน์ รวมเจริญ  
เสาวภา โชติสุวรรณ  
22 พฤศจิกายน 2553

## บทคัดย่อ

การศึกษาการกำจัดโลหะหนักและสีย้อมแอสิดจากสารละลายโดยใช้ตัวอย่างเบนทอไนท์ธรรมชาติ ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวชนิดหนึ่ง และเบนทอไนท์ดัดแปร ซึ่งเตรียมโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยโซเดียมคลอไรด์ ออกตะเคซิลเอมีน และเซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ ตรวจสอบยืนยันการดัดแปรโดยศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องอิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดและหุ้ฟังก์ชันบนพื้นผิวตัวอย่างเบนทอไนท์โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ผลการวิเคราะห์ความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกของตัวอย่างเบนทอไนท์ที่เตรียมได้ พบว่า ความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกของตัวอย่างเบนทอไนท์ N-bentonite, Na-bentonite, CTA-bentonite และ ODA-bentonite มีค่าเท่ากับ 44.3, 37.4, 14.7 และ 9.5 meq/100g ตามลำดับ

ศึกษาความสามารถดูดซับโลหะหนัก 2 ชนิดคือ ตะกั่วและสังกะสี โดยตัวอย่างเบนทอไนท์ N-bentonite, Na-bentonite และ ODA-bentonite และสีย้อม 2 ชนิด คือ สีน้ำเงิน Black MLD และสีแดง Congo Red โดยตัวอย่างเบนทอไนท์ N-bentonite, Na-bentonite และ CTA-bentonite ทำการทดสอบของผลของระยะเวลาสัมผัส พีเอช ปริมาณตัวดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะและสีแต่ละชนิดต่อการดูดซับแบบกะที่อุณหภูมิห้อง ผลการศึกษาพบว่าเบนทอไนท์ทั้งสามชนิดสามารถดูดซับโลหะสังกะสีได้ดีกว่าตะกั่ว โดยการดูดซับโลหะแต่ละชนิดเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและถึงสภาวะสมดุลภายในระยะเวลาสัมผัส 2 ชั่วโมง ที่พีเอชของสารละลายเท่ากับ 5.0 ปริมาณที่เหมาะสมของ N-bentonite Na-bentonite และ ODA-bentonite ในการดูดซับคือ 5, 4 และ 4 g/L ตามลำดับ นอกจากนี้ ความสามารถดูดซับโลหะแต่ละชนิดของเบนทอไนท์ทั้งสามชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโลหะเพิ่มขึ้นในช่วง 10-40 mg/L ตัวอย่าง N-bentonite, Na-bentonite และ ODA-bentonite มีกลไกการดูดซับเป็นไปได้อย่างแบบแลกเปลี่ยนประจุและฟรอนดิชไอโซเทอร์ม โดยมีค่าความสามารถดูดซับสูงสุดสำหรับตะกั่วเท่ากับ 5.76, 8.86 mg/g และ 0.83 mg/g ตามลำดับ และสำหรับสังกะสี ความสามารถดูดซับสูงสุดคือ 9.47, 16.00 และ 5.30 mg/g ตามลำดับ

สำหรับความสามารถดูดซับสีย้อมแอสิด 2 ชนิดพบว่า ตัวอย่างเบนทอไนท์ทั้งสามมีความสามารถดูดซับสี Congo Red ได้สูงกว่าสี Black MLD โดยการดูดซับสี Congo Red เกิดขึ้นได้รวดเร็วในเวลา 1 ชั่วโมงสำหรับ Na-bentonite และ 3 ชั่วโมงสำหรับ N-bentonite และ CTA-bentonite ในช่วงพีเอช 5-8 ในขณะที่การดูดซับ Black MLD เกิดได้อย่างรวดเร็วในเวลา 1 ชั่วโมงสำหรับ Na-bentonite และ CTA-bentonite และ 2 ชั่วโมง สำหรับ N-bentonite ที่พีเอช 4 ปริมาณที่เหมาะสมของตัวดูดซับคือ 1 g/L (N-bentonite), 4 g/L (Na-bentonite) และ 2 g/L (CTA-bentonite) สำหรับสี Black MLD และ 2 g/L สำหรับสี Congo Red นอกจากนี้ ความสามารถดูดซับสีย้อมของเบนทอไนท์ทั้งสามชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเพิ่มขึ้นในช่วงความเข้มข้นที่แตกต่างกัน คือ 20-100 mg/L Black MLD, 30-120 mg/L Congo Red สำหรับ N-bentonite และ Na-bentonite และ 300-500 mg/L

Congo Red สำหรับ CTA-bentonite ตัวอย่าง N-bentonite และ Na-bentonite มีกลไกการดูดซับสีทั้งสองเป็นไปตามฟรอนดิชไอโซเทอร์ม ในขณะที่ CTA-bentonite มีกลไกการดูดซับสีแต่ละชนิดเป็นไปได้ทั้งแบบแลงก์เมียร์และฟรอนดิชไอโซเทอร์ม โดยค่าความสามารถดูดซับสี Black MLD สูงสุดของ Na-bentonite และ CTA-bentonite เท่ากับ 23.04 และ 58.82 mg/g กรณีสี Congo Red ตัวอย่าง N-bentonite, Na-bentonite และ CTA-bentonite มีค่าความสามารถดูดซับสูงสุดคือ 104.17, 163.93 และ 175.44 mg/g ตามลำดับ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างแร่เบนทอนไนต์คัดแปรชนิด Na-bentonite และ CTA-bentonite มีสมบัติเป็นตัวดูดซับโลหะและสีย้อมแอซิดที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งน่าที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดสารพิษเหล่านี้ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมได้

## Abstract

The removal of heavy metals and acidic dyes from aqueous solutions using a natural clay mineral and modified bentonites was investigated. The natural bentonite (N-bentonite) samples were modified by ion exchange with sodium (Na) chloride, cetyltrimethyl ammonium (CTA) bromide and octadecylamine (ODA) to obtain Na-bentonite, CTA-bentonite and ODA-bentonite, respectively. The bentonite modification was confirmed by examination of their surface morphology and functional groups using scanning electron microscope and Fourier transform infrared spectroscopy, respectively. The cation exchange capacity (CEC) of the bentonite samples was also examined. It was found that the CEC values of N-bentonite, Na-bentonite, CTA-bentonite and ODA-bentonite were 44.3, 37.4, 14.7 and 9.5 meq/100g, respectively.

The adsorption capacity of the bentonite samples for two heavy metals including lead (Pb) and zinc (Zn), and two acidic dyes including Black MLD and Congo Red was investigated using batch experiments. The effects of the contact time, solution pH, adsorbent amount and initial concentrations of each metal and dye solution on the adsorption by each bentonite sample were studied at ambient temperature ( $29.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ). The results revealed that the adsorption of Zn by N-bentonite, Na-bentonite or ODA-bentonite was higher than that for Pb. The adsorption for each metal occurred rapidly and reached an equilibrium status within 2 hours of contact time at the solution pH of 5.0. The optimum concentrations of the adsorbents were observed to be 5, 4 and 4 g/L for N-bentonite, Na-bentonite and ODA-bentonite, respectively. In addition, the metal adsorption capacity of the bentonite samples increased with an increase in metal concentrations within a range of 10-40 mg/L. The equilibrium data fit well to both the Langmuir and Freundlich adsorption isotherms. The maximum adsorption capacity values of N-bentonite, Na-bentonite and CTA-bentonite for Pb were found to be 5.76, 8.86 and 0.83 mg/g, respectively, while those for Zn were 9.47, 16.00 and 5.30 mg/g, respectively.

For the two acidic dyes, the adsorption capacity of the N-bentonite, Na-bentonite and CTA-bentonite for Congo Red was found to be higher than that for Black MLD. The adsorption of Congo Red occurred readily and reached equilibrium within 1 hour (Na-bentonite) and 3 hours (N-bentonite and CTA-bentonite) at a solution pH range of 5-8. While that of Black MLD was found to be 1 hour for Na-bentonite and CTA-bentonite and 2 hours for N-bentonite at pH 4.0. The optimum concentrations of the N-bentonite, Na-bentonite and CTA-bentonite for Black MLD adsorption were 1, 4 and 2 g/L, whereas those for Congo Red were 2 g/L. The dye adsorption capacity of the bentonite samples increased with an increase in dye concentrations over a different range of 20-100 mg/L of

Black MLD, 30-120 mg/L of Congo Red for N-bentonite and Na-bentonite and 300-500 mg/L of Congo Red for CTA-bentonite. The dye sorption data for N-bentonite and Na-bentonite followed the Freundlich isotherm while those for CTA-bentonite fit well to both the Langmuir and Freundlich adsorption isotherms. The maximum adsorption capacity values of Na-bentonite and CTA-bentonite for Black MLD were 23.04, and 58.82 mg/g, respectively, while those of N-bentonite, Na-bentonite and CTA-bentonite for Congo Red were 104.17, 163.93 and 175.44 mg/g, respectively. These research findings suggest that the modified bentonites including Na-bentonite and CTA-bentonite exhibit a high potential for adsorption of heavy metals and acidic dyes and could be utilized to remove these toxic pollutants in natural waters and industrial effluents.

# สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
สารบัญเรื่อง	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.4 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เบนทอไนท์ (Bontonite)	5
2.2 สีย้อม (Dyes)	9
2.3 การดูดซับ (Adsorption)	16
2.4 การวิจัยที่เกี่ยวข้องและคล้ายคลึงกับงานวิจัยที่ทำ	22
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	25
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	25
3.2 วิธีการทดลอง	26
3.2.1 การเตรียมเบนทอไนท์ธรรมชาติและเบนทอไนท์ดัดแปร	26
3.2.2 การศึกษาสมบัติของเบนทอไนท์ธรรมชาติและเบนทอไนท์ดัดแปร	26
3.2.3 การศึกษาความสามารถดูดซับโลหะและสีย้อมแอซิดของตัวอย่าง เบนทอไนท์ที่เตรียมได้	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	31
4.1 ตัวอย่างเบนทอไนท์ธรรมชาติและเบนทอไนท์ดัดแปรที่เตรียมได้	31
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของเบนทอไนท์ธรรมชาติและเบนทอไนท์ดัดแปร	31
4.1.2 หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของเบนทอไนท์ธรรมชาติและเบนทอไนท์ดัดแปร	33

	หน้า
4.1.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของเบนทอไนท์	36
4.2 ความสามารถในการดูดซับโลหะ โดยเบนทอไนท์ธรรมชาติและเบนทอไนท์ดัดแปร	37
4.2.1 ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อความสามารถดูดซับโลหะตะกั่วและสังกะสี	37
4.2.2 ผลของ pH ของสารละลายต่อความสามารถดูดซับโลหะตะกั่วและสังกะสี	38
4.2.3 ผลของปริมาณตัวอย่างเบนทอไนท์ต่อความสามารถดูดซับโลหะตะกั่วและสังกะสี	40
4.2.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะตะกั่วและสังกะสี	42
4.2.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับโลหะ	42
4.3 ความสามารถในการดูดซับสี้อมโดยเบนทอไนท์ธรรมชาติและเบนทอไนท์ดัดแปร	47
4.3.1 ผลของเวลาสัมผัสต่อความสามารถดูดซับสี	47
4.3.2 ผลของ pH ต่อความสามารถดูดซับสี	48
4.3.3 ผลของปริมาณตัวอย่างเบนทอไนท์ต่อความสามารถดูดซับสี	51
4.3.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสี	52
4.3.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสี	55
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	59
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก ก	66
ภาคผนวก ข	69
ภาคผนวก ค	74

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างผงสื่อนินทรี	12
4.1 เลขคลื่นและหมู่ฟังก์ชันของเบนทอไนท์ธรรมชาติ (N-bentonite) และเบนทอไนท์ดัดแปร Na-bentonite, ODA-bentonite และ CTA-bentonite	33
4.2 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของเบนทอไนท์ธรรมชาติ (N-bentonite) และเบนทอไนท์ดัดแปร (Na-bentonite, CTA-bentonite และ ODA-bentonite)	36
4.3 Langmuir และ Freundlich isotherms สำหรับการดูดซับตะกั่วและสังกะสีโดยตัวดูดซับ N-bentonite, Na-bentonite และ ODA-bentonite	44
4.4 ความสามารถดูดซับสูงสุด ( $q_m$ ) สำหรับตะกั่วและสังกะสี โดยตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ	46
4.5 Langmuir และ Freundlich isotherms สำหรับการดูดซับสี Black MLD และ Congo Red ด้วย N-bentonite, Na-bentonite และ CTA-bentonite	55
4.6 ความสามารถดูดซับสีย้อมสูงสุด ( $q_m$ , mg/g) โดยตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ	57

## สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของเบนทอไนท์	6
2.2	ลักษณะการแลกเปลี่ยนไอออนในชั้นซิลิเกตของเบนทอไนท์ด้วยสารอินทรีย์	9
4.1	ลักษณะของเบนทอไนท์ธรรมชาติ N-bentonite (ก) และเบนทอไนท์ดัดแปร Na-bentonite (ข) ODA-bentonite (ค) และ CTA-bentonite (ง)	31
4.2	ปริมาณภาพถ่าย SEM ของเบนทอไนท์ธรรมชาติ N-bentonite (ก) และเบนทอไนท์ดัดแปร Na-bentonite (ข) ODA-bentonite (ค) และ CTA-bentonite (ง) (กำลังขยาย 5000 เท่า)	32
4.3	FTIR spectra ของ N-bentonite (ก) Na-bentonite (ข) CTA-bentonite (ค) และ ODA-bentonite (ง)	34
4.4	โครงสร้างเคมีของ (ก) ออกตะเดซิลเอมีน (Octadecylamine, ODA) และ (ข) เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB)	35
4.5	ความสามารถดูดซับตะกั่ว โดย N-bentonite, Na-bentonite และ ODA-bentonite ที่เวลาต่าง ๆ ( $Pb^{2+}$ 20 mg/L, pH 5.0, ปริมาณตัวดูดซับ 2 g/L, เขย่าที่ 250 rpm)	37
4.6	ความสามารถดูดซับสังกะสี โดย N-bentonite, Na-bentonite และ ODA-bentonite ที่เวลาต่าง ๆ ( $Zn^{2+}$ 10 mg/L, pH 5.0, ปริมาณตัวดูดซับ 2 g/L, เขย่าที่ 250 rpm)	38
4.7	ความสามารถดูดซับตะกั่ว โดย N-bentonite, Na-bentonite และ ODA-bentonite ที่ pH ต่าง ๆ ( $Pb^{2+}$ 20 mg/L, ปริมาณตัวดูดซับ 2 g/L, เขย่าที่ 250 rpm, 2 hr)	39
4.8	ความสามารถดูดซับสังกะสี โดย N-bentonite, Na-bentonite และ ODA-bentonite ที่ pH ต่าง ๆ ( $Zn^{2+}$ 10 mg/L, ปริมาณตัวดูดซับ 2 g/L, เขย่าที่ 250 rpm, 2 hr)	39
4.9	ร้อยละการดูดซับตะกั่ว โดย N-bentonite, Na-bentonite และ ODA-bentonite ปริมาณต่าง ๆ ( $Pb^{2+}$ 10 และ 20 mg/L, pH 5.0, เขย่าที่ 250 rpm, 2 hr)	41
4.10	ร้อยละการดูดซับสังกะสี โดย N-bentonite, Na-bentonite และ ODA-bentonite ปริมาณต่างๆ ( $Zn^{2+}$ 10 mg/L, pH 5.0, เขย่าที่ 250 rpm, 2 hr)	41
4.11	ความสามารถดูดซับตะกั่วของตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ของสารละลายตะกั่ว pH 5.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 4 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 2 hr)	42
4.12	ความสามารถดูดซับสังกะสีของตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ของสารละลายสังกะสี pH 5.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 4 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 2 hr)	43
4.13	ความสามารถดูดซับตะกั่ว ของตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมมูลของสารละลายตะกั่ว pH 5.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 4 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 2 hr)	43

รูปที่	หน้า
4.14 ความสามารถดูดซับสังกะสีของตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมมูลของสารละลายสังกะสี pH 5.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 4 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 2 hr)	44
4.15 ความสามารถดูดซับสี Black MLD โดย N-bentonite, Na-bentonite และ CTA-bentonite ที่เวลาต่างๆ (สารละลายสีเข้มข้น 20, 30 และ 60 mg/L ตามลำดับ pH 4.0, ปริมาณเบนทอไนท์ 2 g/L, เขย่าที่ 250 rpm)	47
4.16 ความสามารถดูดซับสี Congo Red โดย N-bentonite, Na-bentonite และ CTA-bentonite ที่เวลาต่าง ๆ (สารละลายสีเข้มข้น 50, 100 และ 100 mg/L ตามลำดับ pH 4.0, ปริมาณ เบนทอไนท์ 2 g/L, เขย่าที่ 250 rpm)	48
4.17 ความสามารถดูดซับสี Black MLD โดย N-bentonite, Na-bentonite และ CTA-bentonite ที่ pH ต่าง ๆ (สารละลายสีเข้มข้น 20, 30 และ 60 mg/L ตามลำดับ, ปริมาณเบนทอไนท์ 2 g/L, เขย่าที่ 250 rpm)	49
4.18 ความสามารถดูดซับสี Congo Red โดย N-bentonite, Na-bentonite และ CTA-bentonite ที่ pH ต่าง ๆ (สารละลายสีเข้มข้น 50, 100 และ 100 mg/L ตามลำดับ, ปริมาณเบนทอไนท์ 2 g/L, เขย่าที่ 250 rpm)	49
4.19 โครงสร้างของสี Black MLD (ก) และ Congo Red (ข)	50
4.20 ร้อยละการดูดซับสี Black MLD โดย N-bentonite, Na-bentonite และ CTA-bentonite ปริมาณต่างๆ (สารละลายสีเข้มข้น 20, 30 และ 60 mg/L pH 4.0 ตามลำดับ เขย่าที่ 250 rpm)	51
4.21 ร้อยละการดูดซับสี Congo Red โดย N-bentonite, Na-bentonite และ CTA-bentonite ปริมาณต่างๆ (สารละลายสีเข้มข้น 50, 100 และ 100 mg/L pH 7.0 ตามลำดับ เขย่าที่ 250 rpm)	52
4.22 ความสามารถดูดซับสี Black MLD โดย N-bentonite, Na-bentonite (ก) และ CTA-bentonite (ข) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ของสารละลายสี pH 4.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 1, 4 และ 2 g/L ตามลำดับ เขย่าที่ 250 rpm)	53
4.23 ความสามารถดูดซับสี Congo Red โดย N-bentonite, Na-bentonite (ก) และ CTA-bentonite (ข) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ของสารละลายสี pH 7.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 2 g/L เขย่าที่ 250 rpm)	54