รหัสโครงการ SUT 7-706-44-12-20

อภินันทนาการ

รายงานการวิจัย

การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้ Montmorillonite Clay

(Removal of Organic Compounds from Water using Montmorillonite Clay)

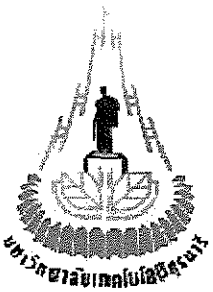
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการแต่เพียงผู้เดียว

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รหัสโครงการ SUT 7-706-44-12-20



รายงานการวิจัย

การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้ Montmorillonite Clay

(Removal of Organic Compounds from Water using Montmorillonite Clay)

หัวหน้าโครงการ
ดร.รัตนวรรณ วิบูลย์สวัสดิ์
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2544
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2545

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง " การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้ Montmorillonite clay " (Removal of Organic Compounds from Water using Montmorillonite Clay) ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเมื่อปีงบประมาณ 2544 งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดีจากความร่วมมือและการสนับสนุนของหลายฝ่ายดังนี้

1. เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือ1 (F1) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความร่วมมือในการนำตัวอย่างสารละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ
2. เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือ 2 (F2) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือวัดและวิเคราะห์
3. เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือ 5 (F5) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการใช้อุปกรณ์และสารเคมี
4. บริษัท ไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ Montmorillonite Clays มาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งน้ำใจเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite Clay) ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวมาดูดซับสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ มอนต์มอริลโลไนต์เป็นแร่ดินในกลุ่มสเมคไทต์ (Smectite) ที่มี อลูมินา-ซิลิกา เป็นส่วนประกอบในลักษณะโครงสร้างซ้อนกันเป็นชั้นๆ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มอนต์มอริลโลไนต์มีคุณลักษณะคล้ายกับซีโอไลต์กล่าวคือมีพื้นที่ผิวสูง จากคุณสมบัตินี้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นตัวดูดซับในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย การปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวมอนต์มอริลโลไนต์เพื่อให้เหมาะกับการดูดซับสารอินทรีย์สามารถทำได้โดยการแลกเปลี่ยนประจุบวกของสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในโครงสร้างตามธรรมชาติของมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยสารอินทรีย์ประเภท Quaternary Ammonium Compounds (QACs) ซึ่งบางครั้งจะเรียกสารประเภทนี้ว่าสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก สารที่ใช้ได้แก่ tetramethylammonium chloride ($C_4H_{12}ClN$), hexadecyltrimethylammonium bromide ($C_{19}H_{42}BrN$), tetradecyltrimethylammonium bromide ($C_{17}H_{38}NBr$) และ benzyldimethylhexadecylammonium chloride ($C_{25}H_{46}ClN$) ซึ่งสารเหล่านี้จะมีความยาวของหมู่อัลคิลและขนาดโมเลกุลต่างกัน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวแล้วในการดูดซับสารอินทรีย์ 6 ชนิด คือ humic acid, methylene blue, methyl orange, naphthalene, phenol และ 3-monochlorophenol โดยทำการทดลองเป็นแบบกะ สารอินทรีย์แต่ละชนิดที่เลือกมาศึกษามีสมบัติเฉพาะสารที่แตกต่างกัน เช่น humic acid เป็นสารอินทรีย์ที่พบทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ methylene blue เป็นสีอินทรีย์ (Dye) ที่มีประจุบวก methyl orange เป็นสีที่มีประจุลบ phenols และ naphthalene เป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์ จากการทดลองพบว่าการดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำโดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวแล้วได้แก่ TMA-clays, BDHDMA-clays, HDTMA-clays และ TDMA-clays จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ดีกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้งานจริง นอกจากนี้จากการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ (เช่น ระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างและพื้นที่ผิว) ระหว่างมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวแล้ว พบว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างลักษณะทางกายภาพและความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ของมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดต่างๆ

ABSTRACT

The aims of this study is to investigate the feasibility of utilising Montmorillonite and various type of its modified forms as an adsorbent for the removal of organic compounds from aqueous solutions. Montmorillonite is a smectite clay based on alumino-silicate structures and for this reason it, like zeolite, has been proposed as an adsorbent in water treatment application. In order to improve the organic adsorption ability of Montmorillonite, the clay was modified by replacing its natural exchangeable inorganic cations with four different quarternary ammonium compounds (QACs). The QACs, sometimes named as cationic surfactant, used in preparation of organo-clays were TMA, BDHDMA, HDTMA and TDMA. These QACs are different in their alkyl chain length and size. Adsorption of six different organic compounds by these modified clays were studied; humic acid, two types of dyes (methylene blue and methyl orange), naphthalene and two phenolic substances (phenol and 3-monochlorophenol). Most of them are classified as polluting elements, which cause problem to the environment. The choice of organic sorbates studied is justified by their properties. Humic acid is a natural occurring organic compound, which is resistant to biodegradable. Methylene blue is a cationic dye while methyl orange is an anionic dye. Phenols represent the synthetic organic compounds. Naphthalene was selected as an ideal hydrophobic sorbate without polar functional groups. A series of adsorption experiments have been carried out in batch modes. Comparative experiments were carried out using Montmorillonite, which is the starting clay, as a reference material. The batch adsorption tests show an interesting capacity of modified Montmorillonite in separating organic contaminants from water. These modified Montmorillonite samples, TMA-clays, HDTMA-clays, BDHDMA-clays and TDMA-clays, were also characterised for their interlayer spacing and BET surface area by X-ray Diffraction and N_2 adsorption technique respectively. Relations between those physical properties and the adsorption capacities of the modified Montmorillonite were noticed.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฑ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ระเบียบวิธีวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 แร่ดิน	5
2.2 Montmorillonite	7
2.3 กรดฮิวมิก	11
2.4 สีย้อม	13
2.5 สารประกอบฟีนอล	15
2.6 แนฟธาลีน	16
2.7 กระบวนการดูดซับ	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 รูปแบบการทดลองและสถานที่ทำการทดลอง	22
3.2 ประชากรศึกษาและขนาดตัวอย่าง	22
3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	22
3.4 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	23
3.5 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	24

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ลักษณะทางกายภาพของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ 29

4.2 ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับกรดฮิวมิก 30

4.3 ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับเมธิลีนบลู 36

4.4 ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับเมธิลออเรนจ์ 40

4.5 ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับฟีนอล 44

4.6 ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับคลอโรฟีนอล 47

4.7 ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับแนฟธาลีน 50

4.8 ความสามารถของ Organo-clay ในการดูดซับฟีนอล คลอโรฟีนอล และแนฟธาลีน 53

บทที่ 5 บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย 54

5.2 ข้อเสนอแนะ 54

บรรณานุกรม 55

Output จากการวิจัย 57

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก กราฟมาตรฐาน 58

ภาคผนวก ข ผลการทดลอง 64

ประวัติผู้วิจัย 86

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์

ตารางที่ 3.1 ความยาวคลื่นสำหรับการดูดกลืนแสงของสารละลายอินทรีย์ที่ศึกษา

ตารางที่ 3.2 สารอินทรีย์ QACs ที่ใช้ปรับแปลงพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงสมบัติแล้ว

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความสามารถการดูดซับกรดฮิวมิกของมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.3 ความสามารถการดูดซับกรดฮิวมิกของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.4 ความสามารถการดูดซับเมธิลีนบลูของมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.5 ความสามารถการดูดซับเมธิลีนบลูของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ 50% CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.6 ความสามารถการดูดซับเมธิลออเรนจ์ของมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.7 ความสามารถการดูดซับเมธิลออเรนจ์ของ 100%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.8 ความสามารถการดูดซับคลอโรฟีนอลของ Organo-Clays ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.9 ความสามารถการดูดซับแนฟธาลีนของ 150% CEC HDTMA-clay ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของฟีนอล คลอโรฟีนอลและแนฟธาลีน

ตารางที่ ข1 การดูดซับก๊าซไนโตรเจนของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

ตารางที่ ข2 การดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ 100%CEC-TMA-clay

ตารางที่ ข3 การดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ 200%CEC-TMA-clay

ตารางที่ ข4 การดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ 200%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข5 ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เวลาต่างๆเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ

ตารางที่ ข6 ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 100% CEC-HDTMA clay เป็นตัวดูดซับ

ตารางที่ ข7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

ตารางที่ ข8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 50%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 100%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 200%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 100%CEC-BDHDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-BDHDMA-clay

ตารางที่ ข15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 200%CEC-BDHDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-BDHDMA-clay

ตารางที่ ข16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 100%CEC-TMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TMA-clay

ตารางที่ ข17 % การดูดซับกรดฮิวมิกของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่ pH ต่างๆ

ตารางที่ ข18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิ 293 K

สถาบันเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิ 303 K

ตารางที่ ข20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิ 313 K

ตารางที่ ข21 ความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เวลาต่างๆเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ

ตารางที่ ข22 ความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 50% CEC-HDTMA clay เป็นตัวดูดซับ

ตารางที่ ข23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

ตารางที่ ข24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 50%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 100%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 200%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 100%CEC-TMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TMA-clay

ตารางที่ ข31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 200%CEC-TMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TMA-clay

ตารางที่ ข32 % การดูดซับเมธิลีนบลูที่ pH ต่างๆ

ตารางที่ ข33 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิ 288 K

ตารางที่ ข34 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิ 308 K

ตารางที่ ข35 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 288 K

ตารางที่ ข36 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 308 K

ตารางที่ ข37 ความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 100% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ตารางที่ ข38 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข39 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข40 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข41 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 50%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข42 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 100%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข43 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 200%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข44 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 100%CEC-BDHDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-BDHDMA-clay

ตารางที่ ข45 % การดูดซับเมธิลออเรนจ์ของ 100%CEC-HDTMA-clay ที่ pH ต่างๆ

ตารางที่ ข46 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 293 K

ตารางที่ ข47 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 313 K

ตารางที่ ข48 ความเข้มข้นของฟีนอลที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 100% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ตารางที่ ข49 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 100%CEC-TMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TMA-clay

ตารางที่ ข50 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข51 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข52 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข53 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 50%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข54 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 100%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข55 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 200%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข56 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 100%CEC-BDHDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-BDHDMA-clay

ตารางที่ ข57 % การดูดซับฟีนอลของ 200%CEC-HDTMA-clay ที่ pH ต่างๆ

ตารางที่ ข58 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 293 K

ตารางที่ ข59 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 303 K

ตารางที่ ข59 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 313 K

ตารางที่ ข60 ความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 200% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ตารางที่ ข61 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 100%CEC-TMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TMA-clay

ตารางที่ ข62 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 200%CEC-TMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TMA-clay

ตารางที่ ข63 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข64 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 100%CEC-HDTMA-clay. ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข65 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข66 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 50%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข67 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 200%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข68 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 100%CEC-BDHDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-BDHDMA-clay

ตารางที่ ข69 ความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 150% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ตารางที่ ข70 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข71 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข72 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay

ตารางที่ ข73 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 50%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข74 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 100%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข75 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 200%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TDMA-clay

ตารางที่ ข76 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 100%CEC-BDHDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-BDHDMA-clay

ตารางที่ ข77 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 150%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 150%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 288 K

ตารางที่ ข78 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 150%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 150%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 313 K

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนท์

รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของ pH กับระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนท์

รูปที่ 2.3 การปรับแปลงพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติด้วย QACs

รูปที่ 2.4 กระบวนการสังเคราะห์ฮิวมัสตามธรรมชาติ

รูปที่ 2.5 โมเดลของฮิวมิค

รูปที่ 2.6 การเกิดสารไตรฮาโลมีเทน

รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเมทธิลออเรนจ์

รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเมทธิลีนบลู

รูปที่ 2.9 โครงสร้างของฟีนอล

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของโมโนคลอโรฟีนอล

รูปที่ 2.11 โครงสร้างของแนฟทาลีน

รูปที่ 2.12 รูปแบบของ Adsorption Isotherm

รูปที่ 3.1 การทดลองการดูดซับแบบกะ

รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย QACs แล้ว

รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เวลาต่างๆเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เวลาต่างๆเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Organo Clay (100% CEC-HDTMA clay) เป็นตัวดูดซับ

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์

R^2	Correlation Coefficient
θ	The Bragg Angle
d_{001}	ระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาอุตสาหกรรม และการขยายตัวของเมืองก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำซึ่งเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ สาเหตุหลักของการละเลยการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายของการลงทุนที่ค่อนข้างสูงในการบำบัดน้ำเสีย เช่น โรงงานผลิตเยื่อกระดาษจะต้องใช้เงินลงทุนสูงถึง 500 ล้านบาทในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย (ณัฐยา พูนสุวรรณ 2545) ดังนั้นหากสามารถปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพแต่มีราคาถูกลงก็อาจเป็นแรงจูงใจให้ภาคอุตสาหกรรมทำการบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้น ในปัจจุบันจึงมีความพยายามและงานวิจัยมากมายเพื่อปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆในการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปแล้วกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ กระบวนการทางกายภาพ และกระบวนการทางชีวภาพ การดูดซับเป็นกระบวนการทางกายภาพกระบวนการหนึ่งในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะในการกำจัดสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ (McKay 1996) คุณสมบัติของตัวดูดซับที่ดีจะต้องมีพื้นที่ผิวมาก และมีขนาดของรูพรุนใหญ่พอที่จะให้โมเลกุลที่จะถูกดูดซับเข้าไปได้ เมื่อพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์ตัวดูดซับที่ดีไม่ควรมีราคาสูง และควรนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (regenerated easily) ตัวดูดซับหลายชนิดได้ถูกคิดค้นขึ้นจากอดีตต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันเช่น ถ่านกัมมันต์ (Goswai et al., 1994) zeolite (Vansant, 1994) hydrotalcites (.Amin and Jayson, 1996) และ silicalite ซึ่งตัวดูดซับแต่ละชนิดก็มีความสามารถในการดูดซับต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสารที่ถูกดูดซับและสภาวะของระบบ เช่น อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่างของระบบ เป็นต้น

ปัจจุบันนี้ได้มีความสนใจที่จะนำสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แร่ดิน (Clay Mineral) ชนิด Montmorillonite หรือ Bentonite มาใช้เป็นตัวดูดซับในระบบการบำบัดน้ำเสีย แร่ดินทั้งสองชนิดนี้มีส่วนประกอบหลักคือ อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และซิลิกาออกไซด์ (SiO_4) ซ้อนกันเป็นชั้น (lamellar structure) การเกิดช่องว่างระหว่างชั้นเหล่านี้จึงทำให้ Montmorillonite และ Bentonite โดยธรรมชาติมีพื้นที่ผิวสูง และลักษณะโครงสร้างที่เป็นชั้นยังสามารถขยายตัวได้เมื่ออยู่ในของเหลว

เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์จากแต่ละแหล่งก็จะมีสมบัติแตกต่างกันออกไป การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์บางครั้งจึงเป็นเรื่องจำเป็นเพื่อให้มีสภาพเหมาะสมกับการนำไปใช้ดูดซับสารปนเปื้อนที่ต่างชนิดกันในน้ำ เช่น การขยายโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์โดยกระบวนการ Pillaring ทำให้มอนต์มอริลโลไนต์สามารถดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำที่มีขนาดใหญ่ได้ (Albanis et al., 1997) หรือ การทำปฏิกิริยาของมอนต์มอริลโลไนต์กับสารลดแรงตึงผิวประเภท QACs (Quarternary Ammonium Cations) เพื่อเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์ (from

hydrophilic to organophilic)ให้เหมาะกับการดูดซับสารอินทรีย์ (Dentel et al. 1998, Michot and Pinnavaia 1991, Gitipour et al. 1997) ในโครงการวิจัยนี้สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการปรับแปลงสมบัติของมอนต์มอริลโลไนต์ได้แก่ สารที่ใช้ได้แก่ tetramethylammonium chloride ($C_4H_{12}ClN$), hexadecyltrimethylammonium bromide ($C_{19}H_{42}BrN$), tetradecyltrimethylammonium bromide ($C_{17}H_{38}NBr$) และ benzyldimethylhexadecylammonium chloride ($C_{25}H_{46}ClN$) ซึ่งสารเหล่านี้จะมีความยาวของหมู่อัลคิลและขนาดโมเลกุลที่แตกต่างกัน

โครงการวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่จะผลิต ศึกษาความสามารถ และพัฒนาการใช้ตัวดูดซับ (Adsorbent) มอนต์มอริลโลไนต์ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเน้นการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวแล้วเป็นตัวแยกสารอินทรีย์ 6 ชนิดจากน้ำ คือ humic acid, methylene blue, methyl orange, naphthalene, phenol และ 3-monochlorophenol โดยใช้กระบวนการดูดซับแบบกะ (Batch Adsorption System) โดยสารอินทรีย์แต่ละชนิดที่เลือกมาศึกษามีสมบัติเฉพาะสารที่แตกต่างกัน เช่น Humic Acid เป็นสารอินทรีย์ที่พบทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ Methylene Blue เป็นสีอินทรีย์ (Dye) ที่มีประจุบวก Methyl Orange เป็นสีที่มีประจุลบ Phenols และ Naphthalene เป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์

เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์ เป็นสารที่พบได้โดยทั่วไปในธรรมชาติ และสามารถพบได้ในประเทศไทย เช่น ในเขตอำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง และเขตอำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ (จุมพล คืนตัก และคณะ 2521) จึงมีราคาถูก คือ ประมาณ 7 บาท ต่อ 1 กิโลกรัม (ราคาจากบริษัท ไทยนิปปอน เคมีภัณฑ์ อุตสาหกรรมจำกัด) Montmorillonite Clay มีการผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์อยู่แล้วเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของโคลนเจาะ (Drilling mud) ที่ใช้ในการก่อสร้าง รวมทั้งใช้ในกระบวนการขุดเจาะสำรวจหาก๊าซธรรมชาติและน้ำมัน จึงไม่มีปัญหาในด้าน Supply และ Impurity ของมอนต์มอริลโลไนต์

นอกจากนี้การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์ ไม่ต้องการกระบวนการทางความร้อน (Thermal process) ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวดูดซับที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งในกระบวนการผลิตต้องการการเผาที่อุณหภูมิสูง ทำให้มีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง จึงเหมาะสมมากกว่าที่จะทดลองนำมอนต์มอริลโลไนต์ มาใช้เป็นตัวดูดซับในระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อลดค่าใช้จ่าย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวแล้วเป็นตัวดูดซับ

1.2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะสำหรับการทดลองแบบกะ (Batch operation)

- เพื่อศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิต่อความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวแล้ว
- เพื่อศึกษาผลของปริมาณสารอินทรีย์ที่นำมาปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์ต่อความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำ
- เพื่อศึกษาผลของชนิดของสารอินทรีย์ที่นำมาปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์ต่อความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำ
- เพื่อหาชนิดของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวแล้ว ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์แต่ละชนิดที่ศึกษา

1.3 ระเบียบวิธีวิจัย

1.3.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของมอนต์มอริลโลไนต์ เช่น โครงสร้างผลึก, ขนาดของอนุภาค, พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน

1.3.2 ทดลองเปลี่ยนแปลงสมบัติของมอนต์มอริลโลไนต์ ที่สภาวะต่างๆ เช่น ให้ทำปฏิกิริยากับ QACs (Quarternary Ammonium Cations) ชนิดต่างๆ เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติของพื้นผิว แล้วนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพตามวิธีในข้อ 1.3.1 อีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบ

1.3.3 ศึกษากระบวนการดูดซับของสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับแปลงสมบัติพื้นที่ผิวแล้ว โดยการนำมอนต์มอริลโลไนต์แช่ในสารละลายของสารอินทรีย์ที่สนใจศึกษาพร้อมเขย่าตามเวลาที่กำหนดเพื่อให้ระบบเข้าสู่สมดุล จากนั้นแยกมอนต์มอริลโลไนต์ออกจากสารละลายโดยใช้เครื่องเหวี่ยงแยก แล้ววิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลือในสารละลาย

1.3.4 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของกระบวนการดูดซับสารอินทรีย์ของมอนต์มอริลโลไนต์ โดยวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลือในสารละลายที่เขย่ารวมกับมอนต์มอริลโลไนต์ ในระยะเวลาที่ต่างกัน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ดำเนินการทดลองโดยลดขนาด และคัดขนาดแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ จนได้ช่วงขนาดอนุภาคที่ต้องการ

1.4.2 เปลี่ยนแปลงสมบัติของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ โดยให้ทำปฏิกิริยากับ QACs (Quarternary Ammonium Cations) เพื่อเปลี่ยนแปลงลักษณะของพื้นผิว

1.4.3 นำมอนต์มอริลโลไนต์ที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติต่างๆทางกายภาพ เช่น ศึกษาหาพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์โดยใช้ BET Micromeritics ASAP; ศึกษาโครงสร้างผลึกโดยใช้ X-ray Diffraction และ วัดขนาดของอนุภาคด้วย Laser Particle Size Analyser ฯลฯ

1.4.4 ดำเนินการทดลองโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ในการดูดซับสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น สีย้อม ; humic acid ; phenolic compounds ฯลฯ โดยสารอินทรีย์แต่ละชนิดที่เลือกมาศึกษามีสมบัติเฉพาะสารที่แตกต่างกัน เช่น Humic Acid เป็นสารอินทรีย์ที่พบทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ Methylene Blue เป็นสีอินทรีย์ (Dye) ที่มีประจุบวก Methyl Orange เป็นสีที่มีประจุลบ Phenols และ Naphthalene เป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์

1.4.5 วิเคราะห์ผลการดูดซับโดยใช้ UV spectrophotometer หรืออุปกรณ์วิเคราะห์อื่นๆขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับ และเปรียบเทียบคุณสมบัติการดูดซับของมอนต์มอริลโลไนต์ ชนิดต่างๆ

1.4.6 ดำเนินการทดลองในข้อ 1.4.4 ซ้ำโดยเปลี่ยนแปลงสภาวะของการดูดซับ เช่น อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่างของระบบการดูดซับ รวมทั้งปริมาณและชนิดของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ที่ใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.5.1 เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการกำจัดสารอินทรีย์กระบวนการบำบัดน้ำเสีย และสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ใช้อยู่เดิม

1.5.2 เป็นการนำวัสดุธรรมชาติที่มีในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์

1.5.3 ลดอันตรายและค่าใช้จ่ายที่อาจ เกิดจากตัวดูดซับที่เป็นสารสังเคราะห์

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกียวข้อง

ขอบเขตของการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกียวข้องในงานวิจัยครั้งนี้ คือ

- แร่ดิน
- มอนต์มอริลโลไนต์
- Humic Acid
- สีย้อม
- Phenols
- Naphthalene
- กระบวนการดูดซับ

2.1 แร่ดิน

แร่ดินเป็นแร่ที่พบในตะกอนและการสลายตัวของเถ้าภูเขาไฟ กลุ่มแร่ดินที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้น (Phyllosilicate) อยู่ในสภาพคอลลอยด์มีชื่อเรียกรวมกันว่า "เบนโทไนต์" ผลึกแร่ดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- แร่ดินซิลิเกต (Silicate Clays) ได้แก่แร่ที่มีอลูมิเนียมและซิลิเกตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ มีโครงสร้างเป็นแผ่นซ้อนๆ กัน
- แร่ดินที่มีส่วนผสมของเหล็กและอลูมินัม (Iron and Aluminum Clays) ได้แก่ แร่ดินที่มีเหล็กและอลูมิเนียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ

แร่ดินซิลิเกต (Silicate) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- กลุ่มแร่ดินขาว (Kaolinite group) เป็นดินเหนียวแบบ 1:1 คือมีแผ่นอลูมินาและแผ่นซิลิกาอย่างละแผ่นประกอบเป็น 1 หน่วย
- กลุ่มสเมคไทด์ (Smectite or Montmorillonite) เป็นดินเหนียวแบบ 2:1 คือแผ่นซิลิกา 2 แผ่น ประกบแผ่นอลูมินา 1 แผ่น เป็น 1 หน่วย
- กลุ่มแร่ไมก้า (Illite or Hydrous mica) มีการจัดตัวแบบ 2:1 เช่นเดียวกับกลุ่มสเมคไทด์แต่ในโครงสร้างมีโปแตสเซียมอยู่ทำให้ขยายตัวได้น้อย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สมบัติสำคัญของแร่ดินซิลิเกต

แร่ดินซิลิเกตมีคุณสมบัติแตกต่างจากแร่ที่มีเหล็กและอลูมินาในด้านคุณสมบัติการขยายตัว หดตัว การดูดซับไอออน โดยแร่ดินที่มีเหล็กและอลูมินัมผสมอยู่จะมีการขยายตัว หดตัว ตลอดจนความเหนียวน้อยกว่าแร่ดินซิลิเกต อำนาจในการดูดซับไอออนน้อยกว่า แต่ความคงทนต่อการชะล้างมากกว่าแร่ดินซิลิเกต อย่างไรก็ตามในกลุ่มของแร่ดินซิลิเกตเองมีคุณสมบัติแตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม ทั้งนี้เนื่องมาจากการจัดตัวที่แตกต่างกัน โดยแร่ดินที่มีการจัดตัวประเภท 2:1 มีการขยายตัวและอำนาจการดูดซับมากกว่าประเภท 1:1

รูปร่างและขนาดของแร่ดินซิลิเกต

ขนาดของอนุภาคแร่ดินซิลิเกตมีขนาดตั้งแต่ 0.01 ถึง 5.0 ไมครอน แปรตามชนิดและองค์ประกอบทางแร่ รูปร่างของแร่ดินซิลิเกตมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ (flake-like) ประกอบด้วยผลึกของแร่ที่มีโครงสร้างแบน เช่น แร่ไมกา และอนุภาคของดินเหนียว บางชนิดจะอยู่ในรูปผลึก 6 เหลี่ยมเห็นมุมชัดเจน

พื้นที่ผิว (Surface Area)

อนุภาคของแร่ดินซิลิเกตมีพื้นที่ผิวจำเพาะต่อหน่วยน้ำหนัก หรือ specific surface สูงมาก เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กและเป็นแผ่นแบนและบางพื้นที่แตกต่างกันไปตามลักษณะ ในอนุภาคที่มีน้ำหนักเท่ากันอนุภาคที่เป็นรูปทรงกลมจะมีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด ส่วนอนุภาคที่เป็นรูปแบนหรือแผ่นจะมีพื้นที่ผิวมากที่สุด นอกเหนือจากพื้นที่ผิวภายนอก (external surface) อนุภาคดินของแร่ดินเหนียวซิลิเกตบางชนิดยังมีพื้นที่ผิวภายใน (internal surface) ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวที่อยู่หลืบระหว่างแผ่นผลึกของแร่ดินเหนียวซิลิเกตที่ซ้อนทับกันเป็นอนุภาคหรือ micelle ของแร่ดินเหนียวแต่ละชนิด

ความเหนียว (Cohesion) และอ่อนตัว (Plasticity)

ความเหนียวหมายถึง ความสามารถในการเกาะยึดกันระหว่างอนุภาคของดินและความอ่อนนุ่มบีบปั้นให้เป็นรูปต่างๆ และคงสภาพอยู่เช่นนั้นได้เมื่อน้ำมีความชื้นที่เหมาะสม คุณสมบัติทางด้านความเหนียวและความอ่อนตัวนี้จะเกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวของดิน โดยดินที่มีความเหนียวและอ่อนตัวสูงจะเป็นดินที่มีพื้นที่ผิวมากจึงมีโอกาสดูดยึดอนุภาคของน้ำไว้ในผิวได้มาก ทำให้การยึดเกาะกันเพิ่มมากขึ้นด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การขยายตัว (Swelling) และการหดตัว (Shrinking)

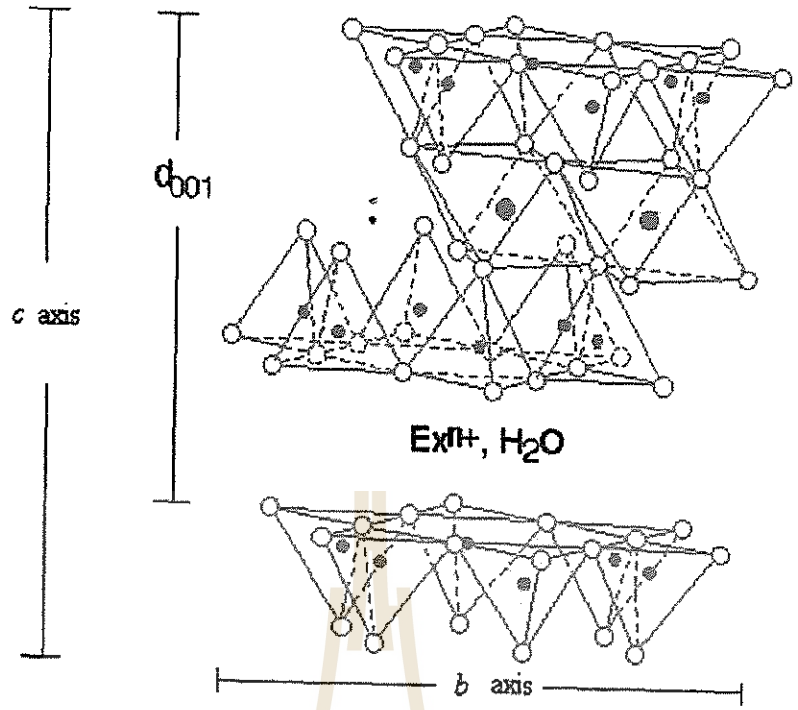
อนุภาคแร่ดินที่มีโครงสร้างเป็นแผ่นผลึกที่ซ้อนทับกันเป็น Clay Micelle จะมีช่องหรือหลืบระหว่างแผ่นค่อนข้างกว้างและการยึดเกาะไม่เหนียวนักทำให้อนุภาคของแร่ดินที่เปียกน้ำมีการพองตัวและขยายตัวมากขึ้น และหดตัวเมื่อเผาไล่น้ำที่อยู่ภายในอนุภาคให้หมดไป

ประจุลบและการดูดยึดไอออนบวก

ตามปกติอนุภาคของแร่ดินในธรรมชาติจะมีประจุลบ และสามารถดึงดูดไอออนบวก ทำให้เกิดสภาพของประจุสองชั้น หรือ Ionic Double Layer โดยอนุภาคดินเหนียวเป็นประจุลบที่มีกลุ่มไอออนบวกล้อมรอบอยู่ไอออนบวกเหล่านี้จะถูกยึดติดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวและสามารถถูกแทนที่โดยไอออนบวกชนิดอื่น หรือที่เรียกว่า Exchangable Cation

2.2 Montmorillonite (มอนต์มอริลโลไนต์)

มอนท์มอริลโลไนต์เป็นแร่ดินในกลุ่มสเมคไทน์ มีสูตรโครงสร้างทางเคมีทั่วไปคือ $M_{y+}(A_{l2-y}Mg_y)(Si_4O_{10}(OH_2)).nH_2O$ เมื่อ y คือระดับความไม่สมบูรณ์ของแร่ดินมอนท์มอริลโลไนต์ มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยแผ่นซิลิกาสองแผ่นและอลูมินาหนึ่งแผ่นสอดอยู่ระหว่างแผ่นซิลิกาและเกาะยึดออกซิเจนร่วมกันผลึกจะเชื่อมต่อในแนวระดับเป็นชั้นๆ และมักมีไอออนของโซเดียม แคลเซียมอยู่ด้วยในระหว่างชั้นโครงสร้าง คุณลักษณะคือสามารถขยายตัวได้เนื่องจากไม่มีพันธะไฮโดรเจนทำให้ประจุบวกต่างๆ สามารถเข้าแทรกในระหว่างชั้นโครงสร้างได้ง่าย อนุภาคชนิดนี้จึงมีความสามารถในการดูดยึดสูงและเกิดการแตกสลายของผลึกได้ง่ายทำให้อนุภาคที่พบมีขนาดเล็กคือมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.01–0.1 ไมครอน ช่องว่างระหว่างแผ่นที่ซ้อนทับกันมีความหนาน้อยที่สุดประมาณ 9.5 อังสตรอม ช่องว่างอาจจะขยายเพิ่มขึ้นได้ จากการศึกษาโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์โดยการฉายรังสี X – ray diffraction หรือ XRD พบว่าการสะท้อนกลับของรังสีทั้งหมดจะเกิดในทิศทางแนวแกน c ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการพองตัวในระหว่างชั้นอาจเป็นหนึ่งเท่า สองเท่าหรือหลายๆเท่าของจำนวนชั้นของน้ำที่มีอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลและแต่ละระดับของการพองตัวทำให้เกิดช่องว่างในการวัดระยะแกน c จะต้องมีการควบคุมความชื้น การสะท้อนกลับของรังสีโดยทั่วไปจากระบบ hk-band ในทิศทาง a และ b สามารถใช้บอกลักษณะของแร่แต่ละชนิดได้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ วงกลมสีน้ำเงินคือ Si^{4+} วงกลมสีแดงคือ Al^{3+} หรือ Mg^{2+} และวงกลมกลวง คือ ออกซิเจน

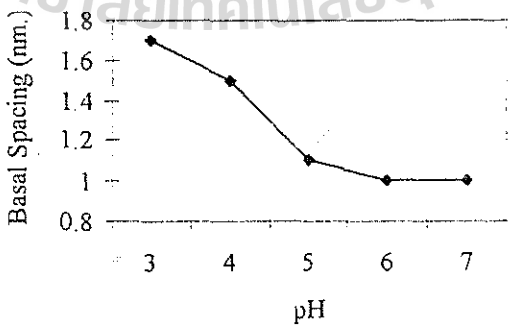
แร่ดินชนิดนี้จะมีประจุลบและสามารถดึงดูดไอออนที่มีประจุบวกได้ ซึ่งประจุลบของมอนต์มอริลโลไนต์เกิดจากการแทนที่ของประจุจาก Al^{3+} ถูกแทนที่ด้วยประจุ Mg^{2+} ในแผ่นอลูมินาทำให้ดินเหนียวชนิดนี้แสดงประจุเป็นลบเนื่องจาก Mg^{2+} มีวาเลนซ์ต่ำกว่า Al^{3+} ประจุลบจึงตกค้าง เมื่อการถูกแทนที่เกิดขึ้นมากๆ ประจุลบจะมีอำนาจสูงพอที่จะยึดไอออนบวกได้ และ Al^{3+} สามารถเข้าไปแทนที่ Si^{4+} ได้จึงทำให้ประจุโดยรวมเป็นลบเช่นกัน การแทนที่ของ Al^{3+} ด้วยประจุ Mg^{2+} และการแทนที่ของ Si^{4+} ด้วยประจุ Al^{3+} เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ทางโครงสร้างของแร่ดินตามธรรมชาติของมอนต์มอริลโลไนต์

การจัดเรียงตัวของแผ่นซิลิกาจะขึ้นอยู่กับประจุบวกที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ โดยปกติแล้วในแต่ละแผ่นจะมีโครงสร้างประกอบด้วยจำนวนของแผ่นที่รวมกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุซึ่งโครงสร้างนี้อาจเรียกว่าแทคทอยด์ (Tactoids) ซึ่งประกอบด้วย Lattice Platelets ประกบเข้าด้วยกัน ในธรรมชาติพบว่าประจุบวกส่วนใหญ่ที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์คือ โซเดียม และแคลเซียม ถ้าการแขวนลอยของแทคทอยด์มีเฉพาะโซเดียมเป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุบวกจะมี 1.4 platelets ต่อ 1 แทคทอยด์ แต่ถ้ามีเฉพาะแคลเซียมจะเป็น 3.9 platelets ต่อ 1 แทคทอยด์

ดังนั้น มอนต์มอริลโลไนต์ อาจแบ่งออกตามองค์ประกอบที่มีธาตุโซเดียมและแคลเซียมอยู่ คือ

1. มอนต์มอริลโลไนต์ ที่ประกอบด้วยแร่ดินโซเดียม มอนต์มอริลโลไนต์ (Sodium-Montmorillonite) จะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้มากเพราะว่าผลึกของดินที่มีขนาดเล็กมาก กระจัดกระจายอยู่ในน้ำทำให้น้ำโคลนมีลักษณะกึ่งแข็งและกึ่งเหลวคล้ายวุ้นเหมาะสำหรับเป็นน้ำโคลนไหลวนใช้ในการเจาะหรือเรียกว่า โคลนเจาะ (Dilling Mud) นอกจากนี้ยังใช้ผสมทรายทำเบ้าหลอม และวัสดุทนไฟ (Refractories)
2. มอนต์มอริลโลไนต์ ที่ประกอบด้วยแร่ดิน แคลเซียม มอนต์มอริลโอไนต์ (Calcium-Montmorillonite) หรือเรียกประเภทที่ไม่พองตัวมาก (Non Swelling Type) ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและพองขยายตัวได้น้อยกว่าชนิดแรก แต่ก็สามารถนำมาทำโคลนเจาะหลุมตื้น ๆ ได้ ซึ่งก่อนจะนำไปทำโคลนเจาะได้ ต้องผ่านกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพด้วย Soda Ash Polymers หรือสารเคมีอื่นเสียก่อน สำหรับเบนโทไนต์ชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะใช้ทำสารที่ดูดซึมหรือฟอกสี ใช้ในเครื่องกรองน้ำมันในโรงกลั่น กรองน้ำบาดาล และน้ำมันพืชให้ปราศจากมลทิน ใช้ฟอกหนังและกรองน้ำมันเครื่องใช้แล้วให้คืนสู่สภาพเดิมได้

น้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในชั้นโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ได้เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างอิเลคตรอนคู่โดดเดี่ยวในโมเลกุลของน้ำกับประจุบวกที่อยู่ระหว่างชั้นโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ เมื่อมีน้ำในโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์จะเกิดการพองตัว ซึ่งปริมาณการพองตัวนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำว่ามากน้อยเพียงใดจึงจะสามารถแลกเปลี่ยนประจุได้ ถ้าประจุที่แลกเปลี่ยนคือประจุโซเดียมและมีน้ำอยู่จำนวนมากจะสามารถพองตัวได้หลายเท่า แต่ถ้าดินนั้นเกิดแห้งตัวลงก็จะเกิดการแยกตัวได้ จากการศึกษาพบว่าระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด–ด่าง โดยจะมีค่าลดลงเมื่อมีความเป็นด่างมากขึ้นและลดลงมากที่สุดเมื่อพีเอชอยู่ระหว่าง 4 ถึง 5 (Schnitzer and Khan, 1972) แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของ pH กับระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์

มอนต์มอริลโลไนต์ ที่พบในประเทศไทย มักมี Smectite หรือ Montmorillonite 70-80 % และมีสิ่งเจือปน ซึ่งบางครั้งประกอบด้วยคริสโตบาร์ไลต์ แคลไซต์ ฮีมาไทต์ เฟลต์สปาร์ ควอตซ ไมก้า และคาโอลิไนต์ปนอยู่บ้าง ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ ส่วนมอนต์มอริลโลไนต์ ที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีชื่อทางการค้าว่า MAC-GEL ของบริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรมจำกัด ซึ่งมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาล ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดเฉพาะของมอนต์มอริลโลไนต์ ที่ใช้ในการวิจัย

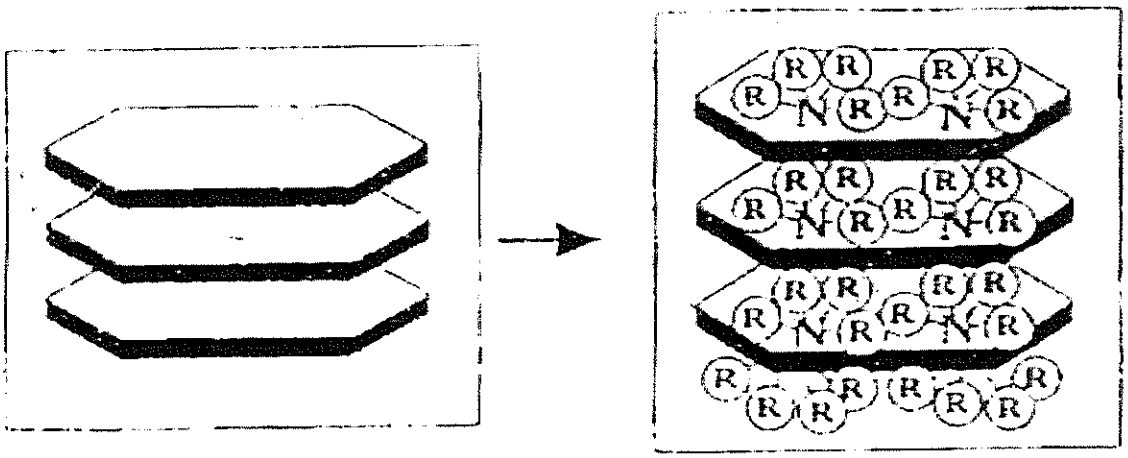
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์ (แสดงเปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก)

SiO_2	56-60	MgO	1.5-2.0
Al_2O_3	16-18	CaO	1.9-2.1
Fe_2O_3	5-7	K_2O_3	0.3-0.5
Na_2O	2.4-3	TiO_2	1.2-1.5
LOI[ดด]	11-12	CEC*	0.8 meq./g of Montmorillonite

*CEC= ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity)

[ดด]LOI = Loss of Ignition

เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์จากแต่ละแหล่งจะมีสมบัติแตกต่างกันออกไป การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์บางครั้งจึงเป็นเรื่องจำเป็นเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ดูดซับสารปนเปื้อนที่ต่างชนิดกันในน้ำ เช่น การขยายโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์โดยกระบวนการ Pillaring ทำให้มอนต์มอริลโลไนต์สามารถดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำที่มีขนาดใหญ่ได้ หรือ การแลกเปลี่ยนประจุบวกที่มีอยู่ตามธรรมชาติของมอนต์มอริลโลไนต์กับสารลดแรงตึงผิวประเภท QACs (Quarternary Ammonium Cations) เพื่อเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์ (from hydrophilic to organophilic) ให้เหมาะกับการดูดซับสารอินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การปรับแปลงพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติด้วย QACs

2.3 กรดฮิวมิค (Humic Acid)

สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ (Organic contaminatants) แบ่งเป็น 3 กลุ่ม (ปิยรัตน์ สาระวงศ์ 2545) คือ

- Natural Organic Matter (NOM) ประกอบด้วย Humic substance, Microbial exudates และสารอื่นที่ละลายในน้ำจากแหล่งกำเนิด เช่น เนื้อเยื่อพืชและของเสียจากสัตว์
- Synthetic Organic Chemicals (SOCs) ประกอบด้วย ยาฆ่าแมลง, Volatile organic chemical (VOCs) และสารเคมีสังเคราะห์ตัวอื่น
- Chemical by-Product and additives ที่เข้ามาหรือเกิดขึ้นในน้ำระหว่างการบำบัด (Treatment System) หรือในระบบจ่ายน้ำ (Distribution System)

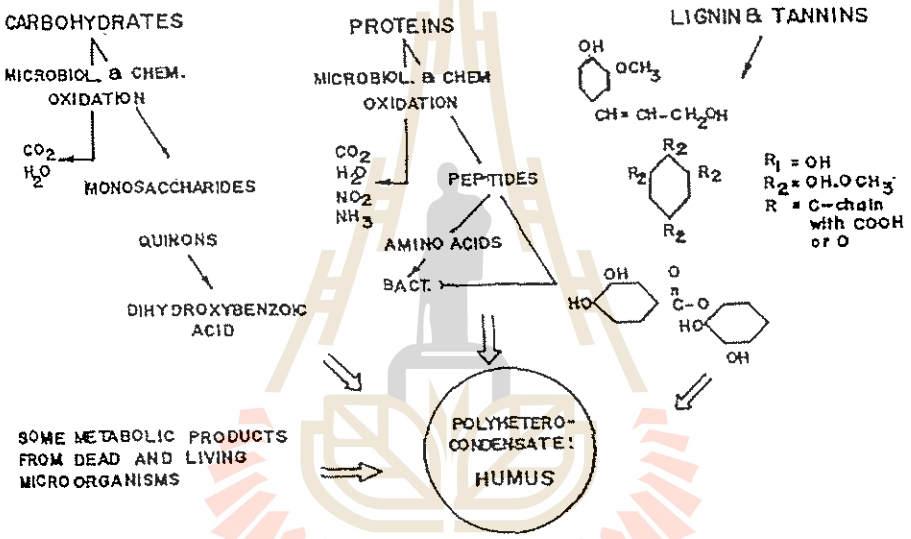
สารอินทรีย์ที่พบมากในแหล่งน้ำตามธรรมชาติคือสารฮิวมิค (Humic substance) ส่วนใหญ่พบในรูปกรดฮิวมิค (Humic Acid) ที่เกิดจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ตามขบวนการทางธรรมชาติ และจากการใช้ประโยชน์ในหลายลักษณะเช่น ทางการเกษตรใช้เป็นสารเพิ่มผลผลิต สารฮิวมิคสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

- กรดฮิวมิค เป็นส่วนที่พบมากของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน มีคุณสมบัติละลายได้ในด่าง แต่ไม่ละลายในสภาวะที่เป็นกรดที่มีพีเอชต่ำกว่า 2 หรือในเอธานอล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

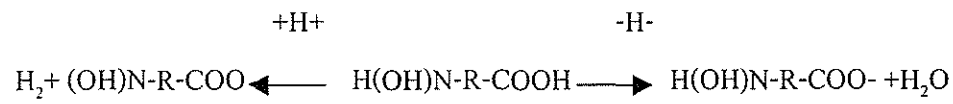
- กรดฟัลวิค (Fulvic acid) เป็นส่วนสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินที่มีคุณสมบัติละลายได้ในสารละลายกรดและด่าง
- ฮิวมิน (Humin) มีคุณสมบัติไม่ละลายทั้งในสารละลายกรดและด่าง

โดยทั่วไปจะมีปริมาณกรดฮิวมิคและกรดฟัลวิค 40 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ กรดฮิวมิคเป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งได้จากกระบวนการสังเคราะห์ฮิวมัสตามธรรมชาติ พบในแหล่งน้ำทั่วไป กระบวนการสังเคราะห์ฮิวมัสตามธรรมชาติแสดงดังรูปที่ 3 ถ้าสารนี้ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำในปริมาณมากจะทำให้แหล่งน้ำมีสีเหลืองถึงสีน้ำตาล จากการศึกษาของ Nakis และ Rebhum ในปี 1977 พบว่าที่พีเอช 8 สารละลายที่มีความเข้มข้นกรดฮิวมิค 1 มิลลิกรัม/ลิตร ทำให้เกิดหน่วยสี 26.5 หน่วยสี อีกทั้งทำให้น้ำมีกลิ่นและรสผิดไปจากธรรมชาติ



รูปที่ 2.4 กระบวนการสังเคราะห์ฮิวมัสตามธรรมชาติ

การเกิดปฏิกิริยาหรือการรวมตัวเป็นสารประกอบฮิวมิคไม่เป็นที่แน่ชัด แต่ละโมเลกุลของกรดฮิวมิคมีโครงสร้างซับซ้อนไม่แน่นอน แต่มีผู้ทำการศึกษาคือ Davies และ Ghabbour ปี 1999 พบว่าสูตรโครงสร้างกรดฮิวมิคคือ $C_{36}H_{30}O_{15}N_2.xH_2O$ เมื่อค่า x อยู่ระหว่าง 0 ถึง 15 มีขนาดโมเลกุลอยู่ระหว่าง 60 ถึง 100 อังสตรอม (Fitch and Du, 1996) กรดฮิวมิคจะประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลลิค (carboxylic: -COOH) และหมู่เอไมด์ (amide: -N(OH)) เกาะกันอยู่ดังนั้นจึงมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะรวมกับสารประกอบเชิงซ้อน NOCs (nonionic organic compounds) ขณะที่ส่วนชอบน้ำจะรวมตัวกับแร่ที่มีพื้นผิวเป็นบวก ในสารประกอบที่เป็นกรด หมู่เอไมด์จะรับประจุบวกกลายเป็น (-N(OH)H_2+) ทำให้กรดฮิวมิคมีสมบัติเป็นบวก แต่สภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นด่างหมู่คาร์บอกซิลลิคจะสูญเสียประจุบวกกลายเป็น (-COO-)



รูปที่ 2.5 โมเดลของฮิวมิค

กรดฮิวมิคมีลักษณะที่สำคัญคือมีความคงตัวสูง ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานสำหรับความเข้มข้นกรดฮิวมิคที่ยอมให้ปนเปื้อนในน้ำได้ แต่ในบางประเทศ เช่น สาธารณรัฐเชคมีการกำหนดให้ความเข้มข้นกรดฮิวมิคที่ยอมให้ปนเปื้อนในน้ำได้ไม่เกิน 2.5 mg/L การกำจัดกรดฮิวมิก ออกจากน้ำไม่สามารถกำจัดได้โดยวิธีการทางชีวภาพ ดังนั้นวิธีการกำจัดกรดฮิวมิคสามารถกำจัดได้ด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น กระบวนการดูดซับ

กรดฮิวมิคและกรดฟัลวิคสามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนซึ่งมีอยู่ทั่วไปในกระบวนการบำบัดน้ำเสียเกิดเป็นสารไตรฮาโลมีเทน สมการการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้คือ

รูปที่ 2.6 การเกิดสารไตรฮาโลมีเทน

สาร THMs มีอันตรายต่อสุขภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งคลอโรฟอร์มซึ่งมีรายงานว่าทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง สำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (US.EPA) กำหนดค่าการปนเปื้อนสูงสุด (Maximum Contamination Level; MCL) สำหรับสารในกลุ่ม THMs ไว้ไม่เกิน 100 ไมโครกรัม/ลิตร

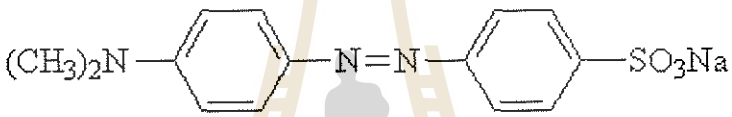
2.4 สีย้อม

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอหรืออุตสาหกรรมฟอกย้อมสีจะทำให้เกิดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของสีอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำ ทำให้ทิ้งทันทีไม่ได้เพราะกฎหมายกำหนดไว้ว่าน้ำทิ้งต้องมีสีที่ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ เพราะสีของน้ำมีผลสิ่งมีชีวิตในน้ำและการนำน้ำจากแหล่งมาใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น น้ำในการทำน้ำประปาที่องค์การอนามัยโลกกำหนดไว้ว่าต้องน้อยกว่า 300 หน่วยสี (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2536) นอกจากนี้มาตรฐานน้ำดื่มถูกกำหนดโดยองค์การอนามัยโลกยอมให้มีค่าสูงสุดได้ 50 หน่วยสี และมาตรฐานการประปานครหลวง ยอมให้มีค่าสีสูงสุด 20 หน่วยสี ดังนั้น โครงงานนี้จึงศึกษาความสามารถของ มอนต์มอริลโลไนต์ ในการกำจัดสีอินทรีย์ 2 ชนิดจากน้ำ คือ เมทธิลออเรนจ์ (Methyl Orange) ซึ่งเป็นสีอินทรีย์ที่มีประจุลบ และ เมทธิลีนบลู (Methylene Blue) ซึ่งเป็นสีอินทรีย์ที่มีประจุบวก

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมทธิลออเรนจ์ (methyl orange)

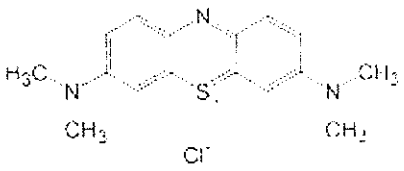
เมทธิลออเรนจ์เป็นสารอินทรีย์ที่มีสีและมีประจุลบ สูตรเคมีคือ $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ ลักษณะโครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.7 อาจเรียกได้หลายชื่อดังนี้ C.I. Acid Orange 52, C.I. 13025, Halianthine B,Orange III, Gold Orange และ Tropaeolin ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 327.34 ทางวิทยาศาสตร์จะใช้เมทธิลออเรนจ์เป็นตัวบ่งชี้ (indicator) ในการไทเทรตด้วยกรดแก่โดยจะเปลี่ยนจากสีแดง (ที่พีเอช 3.1) ไปเป็นสีส้มถึงสีเหลือง (ที่พีเอช 4.4) เนื่องมาจากการแตกตัวของไอออนไฮโดรเจน สารชนิดนี้พบในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมย้อมสีและการพิมพ์ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและมีผลกระทบต่อร่างกายคือ ทางระบบทางเดินหายใจจะมีอาการไอและหายใจติดขัด ระบบทางเดินอาหารทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน อาจมีอาการท้องร่วงได้ เกิดการระคายเคืองผิวหนังแต่จะไม่รุนแรงมาก เมื่อสัมผัสกับดวงตาจะเกิดการระคายเคืองทำให้ตาแดงและก่อให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ดี (ปิยมาภรณ์ จารุวงศ์ 2545)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเมทธิลออเรนจ์

เมทธิลีนบลู (methylene blue)

เมทธิลีนบลูเป็นสารอินทรีย์ที่มีสีและมีประจุบวกมีสูตรโมเลกุล $C_{16}H_{18}ClN_3S$ ลักษณะโครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.8 อาจเรียกได้หลายชื่อดังนี้ C.I. Basic Blue 9, Solvent Blue 8, C.I. 52015 ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 373.9 โดยทั่วไปใช้ในการย้อมไหม ไม้ กระดาษ ของใช้สำนักงาน เครื่องสำอางค์และในการพิมพ์ภาพในผ้าไหม ดังนั้นจึงพบในอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น อุตสาหกรรมการพิมพ์ อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมย้อมสี เป็นต้น

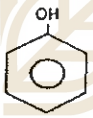


รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเมทธิลีนบลู

2.5 Phenolic compounds

ฟีนอล (phenol)

คือแอลกอฮอล์ที่มีลักษณะเป็นวง (aromatics alcohol) มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กรดคาร์บอลิก สูตรโมเลกุลคือ C_6H_5OH ประกอบด้วยวงเบนซินหนึ่งวง ลักษณะโครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.9 มีพื้นที่ผิว 0.255×10^{-8} ตารางเมตรต่อโมเลกุล มีความสามารถในการละลายน้ำได้มาก เมื่อเป็นสารบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว เมื่ออยู่ในรูปของเหลวมีกลิ่นแรง ฟีนอลส่วนใหญ่ได้มาจากการสังเคราะห์โดยเริ่มจากเบนซีนที่ได้จากปิโตรเลียม ฟีนอลที่เกิดตามธรรมชาติจะมีปริมาณน้อย ส่วนใหญ่มีการนำฟีนอลไปใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก และอุตสาหกรรมที่มีฟีนอลเป็นวัตถุดิบเช่น การผลิตน้ำยาฆ่าเชื้อโรค อุตสาหกรรมปิโตรเลียม อุตสาหกรรมโพลิเมอร์ ครึ่งชีวิตของฟีนอลในอากาศจะน้อยกว่า 1 วัน สามารถปนเปื้อนในดินได้นาน 2-5 วัน สามารถเจือปนอยู่ในน้ำได้นาน 9 วัน ฟีนอลเป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ อันตรายของฟีนอลขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาในการได้รับ อันตรายที่เกิดกับคนส่วนใหญ่เกิดจากการสัมผัสกับฟีนอลโดยตรง คือ ฟีนอลเข้มข้นเมื่อถูกผิวหนังจะกัดผิวหนังและซึมเข้าสู่กระแสเลือด แผลที่ผิวหนังมีอาการปวดแสบปวดร้อนแล้วชา เมื่อคนหรือสัตว์ดื่มน้ำที่มีฟีนอลปนเปื้อนอยู่ตั้งแต่ 100 ถึง 5000 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างต่อเนื่องกันจะเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ภายใน 14 วันเนื่องจากเป็นพิษต่อตับ ไต และไปกดระบบประสาทส่วนกลาง (สุชาตา ชินะจิตร 2545) องค์การอนามัยโลก (World Health Organization) ได้กำหนดมาตรฐานปริมาณฟีนอลในน้ำได้ไม่เกิน 0.002 มิลลิกรัม/ลิตร

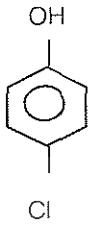


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของฟีนอล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โมโนคลอโรฟีนอล (monochlorophenol)

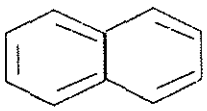
โมโนคลอโรฟีนอลเป็นสารมีพิษที่ไม่มีสี มีกลิ่นเหม็น ประกอบด้วยวงเบนซินหนึ่งวง ลักษณะโครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.10 โมโนคลอโรฟีนอลจะมีอันตรายต่อระบบในร่างกาย ปกติแล้ว จะใช้โมโนคลอโรฟีนอลในสารประกอบที่เกี่ยวกับการกำจัดแบคทีเรีย เห็ด รา แมลง และวัชพืช ความเป็นพิษของโมโนคลอโรฟีนอลมีพิษมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิมากขึ้น และเมื่อค่าพีเอชมีค่าลดลง



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของโมโนคลอโรฟีนอล

2.6 แนฟทาลีน (Naphthalene)

แนฟทาลีนคือสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอนที่มีวงเบนซินหลายวง (polyaromatics hydrocarbon) แนฟทาลีนประกอบด้วยวงเบนซิน 2 วง มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{10}H_8$ ลักษณะโครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.11 เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำและเป็นพวกไม่มีขั้ว สารชนิดนี้เป็นหนึ่งในสารที่มีขนาดใหญ่ที่ไม่มีไอออนที่พบในดิน การตกตะกอนของผิวหน้าของดิน และน้ำใต้ดิน ในธรรมชาติพบในน้ำมันดิบ creosote ทาร์ของถ่านหิน และถ่านหิน พบในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายชนิดเช่น โรงงานผลิตยาฆ่าแมลง โรงงานเคมีภัณฑ์ต่างๆ เป็นต้น เมื่อปี พ.ศ. 2529 กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและพลังงานได้กำหนดปริมาณแนฟทาลีนที่เป็นอันตรายต่อชีวิตไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อได้รับสารชนิดนี้จะเกิดอันตรายต่อระบบหายใจ เช่น ปอด หรือหลอดลม เนื่องจากสารชนิดนี้เข้าไปทำลายเนื้อเยื่อต่างๆ นอกจากนี้ในการทดลองพบว่าสารชนิดนี้เป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์และมีผลต่อสุขภาพของคน



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของแนฟทาลีน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.7 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นการแยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือก๊าซโดยให้สารละลายหรือก๊าซผสมไหลสัมผัสกับตัวดูดซับ องค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลายมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน ปรากฏการณ์การดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับเอง คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับนั้น จำนวนชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวและขนาดของรูพรุนที่ทำหน้าที่ดูดซับได้ จึงสามารถแยกองค์ประกอบที่ต้องการออกได้ โดยเลือกตัวดูดซับให้เหมาะกับองค์ประกอบนั้น กลไกการดูดซับมี 2 ลักษณะ คือ

ก.การดูดซับทางกายภาพ

เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ถูกดูดซับ ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย ดังนั้นองค์ประกอบที่ยึดเกาะแน่นบนผิวของตัวดูดซับ ถ้าตัวดูดซับมีความพรุนสูง ของเหลวหรือก๊าซที่ควบแน่นนั้นจะสามารถซึมผ่านเข้าสู่ช่องว่างภายในของตัวดูดซับได้ ถึงแม้ว่าความดันของระบบจะต่ำกว่าความดันไอขององค์ประกอบนั้นก็ตาม ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ ให้ความร้อนออกมาเล็กน้อย แต่มากกว่าความร้อนของการควบแน่น ขึ้นโดยตรงกับความดันย่อยของก๊าซหรือของเหลวชนิดนั้นและสามารถดูดซับก๊าซและของเหลวไว้ได้ในปริมาณสูงมากต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อลดความดันของระบบลงหรือเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง ทำให้ตัวดูดซับเคลื่อนที่ออกจากตัวดูดซับ ปรากฏการณ์ช่วงนี้เรียกว่า Desorption ซึ่งเป็นวิธีการนำตัวถูกดูดซับกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง

ข.การดูดซับทางเคมี

เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งแตกต่างกับการดูดซับทางกายภาพทุกประการ โดยที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ต้องการดูดซับสร้างสารประกอบระหว่างตัวดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับ ทำให้ปริมาณของตัวดูดซับลดลง จะให้ความร้อนออกมาสูงมากเพราะการเกิดปฏิกิริยาเคมีไม่ขึ้นกับความดันมากนัก และดูดซับตัวถูกดูดซับได้ในปริมาณน้อยต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เนื่องจากการดูดซับโดยเกิดปฏิกิริยาเคมีจะไม่สามารถเกิด Desorption ได้ เพราะองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าองค์ประกอบบางชนิดที่อุณหภูมิปกติไม่เกิดการดูดซับทางเคมี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิก็สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้

สมดุลและไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Equilibrium and Adsorption Isotherm)

ในเวลาที่เกิดการดูดซับหรือสภาพที่ตัวถูกละลายเคลื่อนที่ออกจากสารละลายและก่อให้เกิดความเข้มข้นเพิ่มขึ้นที่ผิวหน้าของของแข็งจะเป็นสภาวะสมดุลพลศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายกับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของของแข็งที่สภาวะสมดุล (Adsorption

Equilibrium) เป็นร้อยละของน้ำหนัก หรือ น้ำหนัก หรือปริมาตรของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับไว้บนตัวดูดซับหนึ่งหน่วยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งอาจแสดงได้โดยการสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นหรือปริมาตรของตัวถูกดูดซับแบบไอโซเทอม (Adsorption Isotherm) ซึ่งเป็นแบบที่นิยมมากที่สุด ซึ่งกราฟนี้อธิบายการกระจายตัวของตัวถูกละลายระหว่างเฟสของของเหลวและของแข็งได้ที่จุดสมดุลและจะเป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้นของตัวทำละลาย คุณสมบัติของตัวทำละลาย หรือความเข้มข้นและสมบัติตัวถูกละลาย การกระจายตัวในรูปความสัมพันธ์ของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล การแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงของการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับเปลี่ยนไปที่อุณหภูมิคงที่นี้ โดยทั่วไปจำนวนของสารที่ถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่อาจจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรง

รูปแบบของ Adsorption Isotherm

มี 5 รูปแบบ (McCabe et al., 1993) คือ

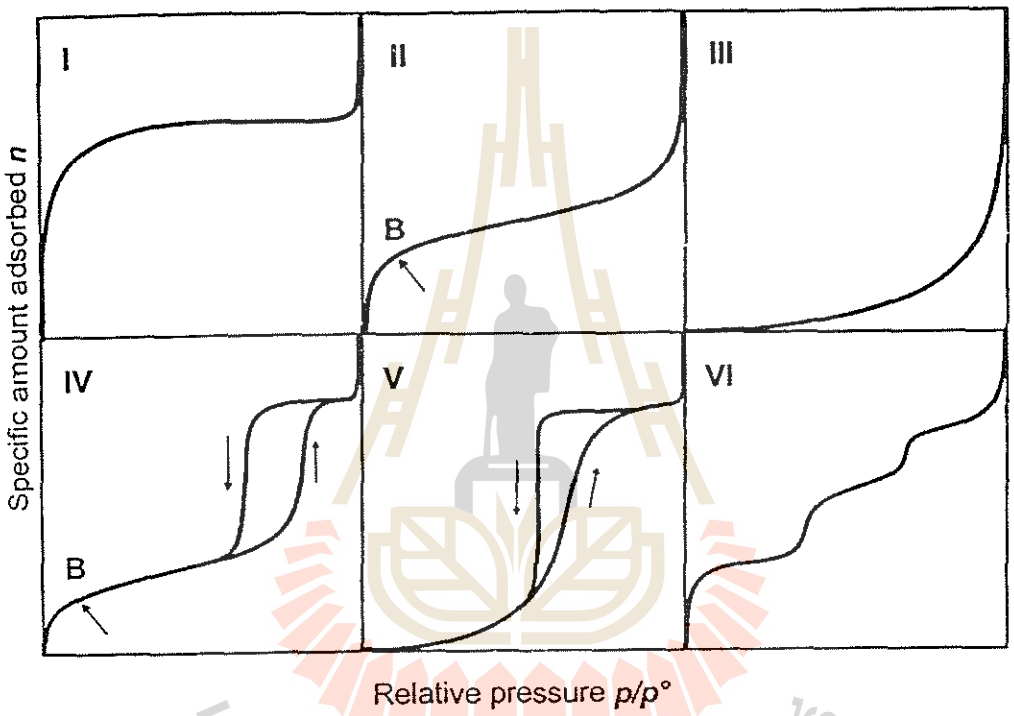
1. Type I Isotherm (รูปที่ 2.12) เป็นการดูดซับที่พบมากที่สุด ซึ่งดูดซับ โดยที่มีชั้นของตัวถูกดูดซับคลุมบนผิวของตัวดูดซับได้หนาเพียงหนึ่งชั้น (Single Layer Adsorption) พบทั้งในการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ จะเป็นปรากฏการณ์การดูดซับของ Microporous Powders ซึ่งปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความดันสัมพัทธ์ (Relative Pressure) ต่ำ ๆ และที่ความดันสัมพัทธ์สูง ๆ เข้าใกล้ 1 จะมีการดูดซับเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งถ้ามีการดูดซับแบบนี้แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีรูพรุนเป็น Microporous และมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์

2. Type II Isotherm (รูปที่ 2.12) พบมากในการดูดซับที่มีชั้นของตัวถูกดูดซับคลุมผิวของตัวดูดซับหนาขึ้นเรื่อย ๆ (ปริมาณที่ถูกดูดซับเข้าสู่ค่าอนันต์) โดยจะเกิดบน Nonporous Powder ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนกว้างกว่า Micropore (1.5 มิลลิเมตร) ที่จุดเปลี่ยนกราฟ (Infection Point or Knee of Isotherm) เกิดเมื่อการดูดซับบนพื้นผิวชั้นแรกเกิดเกือบสมบูรณ์แล้ว (เป็น Monolayer เกือบสมบูรณ์) และถ้าเพิ่ม Relative Pressure จะทำให้การดูดซับเกิดมากกว่า 1 ชั้น ดังนั้นการดูดซับแบบนี้จะเป็นการดูดซับแบบ Multi-layer

3. Type III Isotherm เป็นการดูดซับคล้าย Type II Isotherm แต่การดูดซับของชั้นแรกนั้นให้ความร้อนออกมาน้อยกว่าความร้อนของการควบแน่น เป็นลักษณะเฉพาะของการเกิดความร้อนของการดูดซับ (Heat of Adsorption) มีน้อยกว่าความร้อนของการจับตัวกันของตัวถูกดูดซับของของเหลว ดังนั้นการดูดซับที่เพิ่มขึ้น เกิดเพราะตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากับชั้นของตัวถูกดูดซับมากกว่าการเกิดปฏิกิริยากับผิวของตัวถูกดูดซับ

4. Type IV Isotherm (รูปที่ 2.12) เป็นการดูดซับคล้ายกับ Type II Isotherm ความหนาของโมเลกุลชั้นแรก ๆ แต่การดูดซับจะถึงจุดอิ่มตัวเนื่องจากรูพรุนเล็ก ๆ ภาพในตัวดูดซับเต็มหมดแล้ว เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดบนตัวดูดซับรัศมีประมาณ 15-1000 อังสตรอม ความชันที่มีจุดเปลี่ยนกราฟนี้เกิดเช่นเดียวกับใน Type II Isotherm คือเกือบเป็น Mono Layer สมบูรณ์

5.Type V Isotherm เป็นการดูดซับคล้ายกับ Type III Isotherm ในช่วงความเข้มข้นต่ำ ๆ แต่เมื่อการดูดซับเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะเข้าสู่ค่าสูงสุดค่าหนึ่งเช่นเดียวกับ Type IV Isotherm เป็นปรากฏการณ์การดูดซับที่เป็นผลมาจากแรงดึงดูดของตัวถูกดูดซับมีค่าน้อย ซึ่งเกิดปฏิกิริยาคล้ายกัน และขนาดของรูพรุนอยู่ในช่วง 15-1000 อังสตรอม



รูปที่ 2.12 รูปแบบของ Adsorption Isotherm

ที่มา: หนังสือ Adsorption by Powders and Polus Solids (19), Rouquerol, Rouquerol and Sing, 1999, London: ACADEMIC PRESS.

Langmuir Adsorption Isotherm

แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$y = (ax)/(1+bx)$$

สามารถจัดใหม่ได้เป็น

$$(x/y) = (1/a) + (bx/a)$$

เมื่อ x = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สมดุลหลังการดูดซับ(mg/L)

y = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ(mg/ g of adsorbent)

a, b = ค่าคงที่

จากสมการสามารถหาค่าคงที่ a และ b ได้จากจุดตัดแกน y และความชันของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง x และ x/y ความสามารถของตัวดูดซับในการดูดซับตัวถูกละลายแต่ละชนิดมีค่าเท่ากับ a/b

BET Adsorption Isotherm

BET Adsorption Isotherm ถูกพัฒนาโดย Brunauer Emmett และ Teller (BET) จากการดูดซับที่ถูกจำกัดให้โมเลกุลปกคลุมตัวดูดซับโดยรอบเพียงหนึ่งชั้นความหนาของ Langmiur Adsorption Isotherm มาเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer) BET Adsorption Isotherm มีสมมุติฐานเบื้องต้นคือ โมเลกุลของตัวดูดซับสามารถจับในบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับและสามารถที่จะซ้อนทับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับด้วยกันได้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะเต็มช่องว่างของตัวดูดซับ ความร้อนของการดูดซับของชั้นที่สองจะถูกสมมุติว่าให้เท่ากับความร้อนของสารละลายข้างนอกและความแตกต่างของความร้อนของการดูดซับในชั้นแรก สมการ BET Adsorption Isotherm แสดงดังนี้

$$y = Ax/[(C-x)(1+Bx)]$$

เมื่อ y คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับในตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

x คือ ความเข้มข้นของสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)

A, B และ C คือ ค่าคงที่

จัดรูปสมการใหม่ได้ดังนี้

$$x/y = C/A + [(BC-1)/A]x - (B/A)x^2$$

เมื่อพล็อตค่า x / y กับ x จะได้สมการกำลังสองดังนี้

$$x/y = a + bx - cx^2$$

เมื่อค่า a b และ c จะมีค่าบวกทั้งหมด จะได้

$$b = [A^2ac-1]/A$$

ดังนั้นค่า A จะหาได้จากรากของสมการกำลังสอง

$$A^2ac - Ab - 1 = 0$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

และค่าของ B และ C คือ B = Ac และ C = Aa

Freundlich Adsorption Isotherm

แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$y = kx^{1/n}$$

เมื่อ k และ n คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยทั่วไป n มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1-5

สมการ Freundlich Adsorption Isotherm สามารถจัดรูปแบบสมการใหม่ในรูปของสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\log y = \log k + (1/n) \log x$$

จากสมการสามารถหาค่าคงที่ k และ n ได้จากจุดตัดแกน y และความชันของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log x$ และ $\log y$ โดยทั่วไปทั่วไป ค่า k มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ค่า n จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการทดลองและสถานที่ทำการทดลอง

การศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์ ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับสารอินทรีย์ของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวแล้วเป็นตัวดูดซับ สถานที่ทำการทดลองคือ อาคารศูนย์เครื่องมือ 1 อาคารศูนย์เครื่องมือ 2 และอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2 ประชากรศึกษาและขนาดตัวอย่าง

การศึกษาวิจัยนี้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็นตัวอย่างที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดลองแบบกะ และแบ่งการทดลองเป็น 4 ส่วน ส่วนแรกเพื่อศึกษาหาเวลในการเข้าสู่สมดุลของระบบการดูดซับซึ่งอาจมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของสารอินทรีย์ที่ศึกษา 6 ชนิด ใช้ตัวดูดซับ 5 ชนิด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2 ระดับ รวมการทดลองในส่วนที่หนึ่ง 60 หน่วยการทดลอง

การทดลองส่วนที่สองเป็นการศึกษาระบบการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ โดยดูดซับสารอินทรีย์ 6 ชนิด ใช้ตัวดูดซับ 5 ชนิด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 ระดับโดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมการทดลองในส่วนที่สอง 300 หน่วยการทดลอง

ส่วนที่สามเป็นการศึกษาอิทธิพลต่อระบบการดูดซับสารอินทรีย์ 6 ชนิด โดยใช้ตัวดูดซับ 1 ชนิด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 ระดับ อุณหภูมิของระบบการดูดซับแบบกะ 3 อุณหภูมิรวมการทดลองในส่วนที่สาม 90 หน่วยการทดลอง

ส่วนที่สี่เป็นการศึกษาอิทธิพลของความเป็นกรด-ด่าง (ค่า pH) ต่อระบบการดูดซับสารอินทรีย์ 6 ชนิด โดยใช้ตัวดูดซับ 1 ชนิด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 ระดับ และปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบ 3 ค่า รวมการทดลองในส่วนที่สี่ 90 หน่วยการทดลอง

ดังนั้นในรวมทำการทดลองทั้งหมด 60+300+90+90 = 540 หน่วยการทดลอง

3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ตัวแปรอิสระ

- ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอินทรีย์
- ค่าพีเอชของสารละลายอินทรีย์
- อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง
- ชนิดของตัวดูดซับ

3.3.2 ตัวแปรควบคุม

- ระยะเวลาในการเขย่า
- ความเร็วรอบของการเขย่า
- ระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยง
- ความเร็วรอบของการปั่นเหวี่ยง

3.3.3 ตัวแปรตาม

- ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์จากน้ำ

3.4 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่อง Micromeritics ASAP 2010 วัดค่า BET surface area โดยวัดปริมาณการดูดซับ N_2
- เครื่อง Bruker D5005 system โดยใช้ CuKα radiation เพื่อวัด X-Ray diffraction (XRD)
- เครื่องวัดขนาดอนุภาค
- เครื่องปั่นเหวี่ยงแยก รุ่น UNIVERSAL 30 RF ของ Hettich
- เครื่อง UV spectrophotometer รุ่น cary 5E ของ Varian
- เครื่องเขย่าแนวราบ รุ่น 3006 ของ GRL
- เครื่องเขย่าแนวราบแบบควบคุมอุณหภูมิ รุ่น 3006 ของ GRL รุ่น SWB 5050 Shaking Water Bath ของ National Labnet Company
- ชุดกรองสุญญากาศ ของ Sartorius
- เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย (pH meter) รุ่น CG840 ของ SCHOTT
- เครื่องวัดการนำไฟฟ้า รุ่น inoLab Cond Level 2 ของ WTW
- เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด 2 ตำแหน่ง
- เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง

3.4.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม
- กรดฮิวมิค (Humic acid)
- เมทธิลออเรนจ์ (Methyl orange)
- เมทธิลีนบลู (Methylene blue)

- ฟีนอล (Phenol)
- โมโนคลอโรฟีนอล (3-monochlorophenol) ของบริษัท Fluka Chemie
- แนฟทาลีน (Naphthalene)
- Tetramethylammonium chloride ของบริษัท Fluka Chemie
- Hexadecyltrimethylammonium bromide ของบริษัท Fluka Chemie
- Tetradecyltrimethylammonium bromide ของบริษัท Fluka Chemie
- Benzyldimethylhexadecylammonuim chloride ของบริษัท Fluka Chemie
- สารเคมีที่ใช้ปรับค่าพีเอช
  - HCl 0.1 M
  - NaOH 0.1 M

3.5 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5.1 วิธีการวัดปริมาณตัวถูกละลายอินทรีย์

ในการวิจัยนี้เลือกใช้หลักการวัดสีตามหลักการของ Beer's Law ที่กล่าวว่า สำหรับสารหนึ่งๆ ค่าการดูดกลืนแสงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของทางเดินแสง (Light Path Length) และความเข้มข้นของสารนั้นๆ ดังนั้นแสงที่ลอดผ่านสารละลายจะถูกตรวจวัดค่าความเข้มในรูปของการส่องผ่าน (Transmittance) หรือ ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance;Abs)) เครื่องมือที่ใช้ คือ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วิธีวิเคราะห์ดังนี้

(1) เตรียมสารละลายมาตรฐาน 1 กรัม/ลิตร (ยกเว้น แนฟทาลีน 0.03 กรัม/ลิตร)

(2) เตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้ความสัมพันธ์

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

โดยที่ C_1 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอินทรีย์

V_1 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานสารอินทรีย์ที่ต้องใช้

C_2 = ความเข้มข้นสารละลายอินทรีย์ที่ต้องการ

V_2 = ปริมาตรของสารที่ต้องการเตรียม

(3) อ่านค่าดูดกลืนแสง (Absorbance: Abs) ที่ความยาวคลื่นต่างๆ แล้วแต่ชนิดของสารอินทรีย์ที่ศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความยาวคลื่นสำหรับการดูดกลืนแสงของสารละลายอินทรีย์ที่ศึกษา

สาร	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
กรดฮิวมิค	400
เมทธิลออเรนจ์	463.33
เมทธิลีนบลู	698
ฟีนอล	268.89
คลอโรฟีนอล	277
แนฟทาลีน	275

นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่าง Abs กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ได้กราฟมาตรฐานดังแสดงในภาคผนวก ก

(4) การวัดปริมาณสารอินทรีย์ของการทดลอง นำสารละลายอินทรีย์ส่วนที่ใสมาวัดค่า Abs

(5) นำค่า Abs ไปเทียบหาความเข้มข้นสีจากกราฟมาตรฐาน

3.5.2 การปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์โดยใช้ QACs

สารอินทรีย์ประเภท Quaternary Ammonium Compounds (QACs) ที่ใช้ในการการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์ได้แก่ tetramethylammonium chloride ($C_4H_{12}ClN$), hexadecyltrimethylammonium bromide ($C_{19}H_{42}BrN$), tetradecyltrimethylammonium bromide ($C_{17}H_{38}NBr$) และ benzyldimethylhexadecylammonium chloride ($C_{25}H_{46}ClN$) ซึ่งสารเหล่านี้จะมีความยาวของหมู่อัลคิลและขนาดโมเลกุลต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารอินทรีย์ QACs ที่ใช้ปรับแปลงพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์

ชื่อสารอินทรีย์	ชื่อย่อ	น้ำหนักโมเลกุล	สูตรเคมี
Tetramethylammonium	TMA	74	$(CH_3)_4N^+$
Hexadecyltrimethylammonium	TDMA	286	$[CH_3(CH_2)_{13}](CH_3)_3N^+$
Tetradecyltrimethylammonium	HDTMA	314	$[CH_3(CH_2)_{15}](CH_3)_3N^+$
Benzyldimethylhexadecylammonium	BDHDMA	361	$[CH_3(CH_2)_{15}]N^+(CH_3)_2$ $CH_2C_6H_6$

(1) คำนวณหาปริมาณ Tetramethylammonium chloride (TMA) ที่ต้องใช้ปรับปรุงพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์ 20 กรัม โดยคำนวณจาก

มอนต์มอริลโลไนต์ 1 กรัม มีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) 0.8 meq.

มอนต์มอริลโลไนต์ 20 กรัม มีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) 32 meq.

TMA 1 โมเลกุล มี 1 eq. หรือ 1000 meq. หรือ 109.6 กรัม (น้ำหนักโมเลกุลในรูปของ $TMA^{+}Cl^{-}$)

ดังนั้น น้ำหนักของ TMA สำหรับ 100% CEC = 32 meq.*109.6 กรัม /1000 meq. = 3.5072 กรัม

น้ำหนักของ TMA สำหรับ 200% CEC = 2*32 meq.*109.6 กรัม /1000 meq. = 7.0144 กรัม

(2) นำ TMA ที่คำนวณได้ไปละลายน้ำกลั่น 1 ลิตร

(3) สารละลายที่ เค้านำไปเขย่ารวมกับมอนต์มอริลโลไนต์เป็นเวลา 1 คืน

(4) ล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งค่าการนำไฟฟ้าเหลือน้อยกว่า 1.5 μS

(5) กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปบดให้ละเอียดจะได้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวแล้ว (ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า organo-clays) ที่มีชื่อว่า TMA-clays

(6) ในการเตรียม HDTMA-clays, TDMA-clays และ BDHDMA-clays ทำเช่นเดียวกับ TMA-clays แต่เปลี่ยนชนิดของ QACs ที่ใช้

จากขั้นตอนนี้จะได้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวแล้วด้วย QACs จำนวน 9 ตัวอย่าง (ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า Organo Clays) ดังนี้

- 100%CEC-TMA clay คือ มอนท์โมริลโลไนต์ที่มี TMA ปริมาณ 1 เท่าของค่า CEC ของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ
- 200%CEC-TMA clay คือ มอนท์โมริลโลไนต์ที่มี TMA ปริมาณ 2 เท่าของค่า CEC ของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ
- 50%CEC-HDTMA clay คือ มอนท์โมริลโลไนต์ที่มี HDTMA ปริมาณ 0.5 เท่าของค่า CEC ของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ
- 100%CEC-HDTMA clay คือ มอนท์โมริลโลไนต์ที่มี HDTMA ปริมาณ 1 เท่าของค่า CEC ของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ
- 200%CEC-HDTMA clay คือ มอนท์โมริลโลไนต์ที่มี HDTMA ปริมาณ 2 เท่าของค่า CEC ของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ
- 50%CEC-TDMA clay คือ มอนท์โมริลโลไนต์ที่มี TDMA ปริมาณ 0.5 เท่าของค่า CEC ของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

- 100%CEC- TDMA clay คือ มอนท์โมริลโลไนต์ที่มี TDMA ปริมาณ 1 เท่าของค่า CEC ของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ
- 200%CEC- TDMA clay คือ มอนท์โมริลโลไนต์ที่มี TDMA ปริมาณ 2 เท่าของค่า CEC ของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ
- 100%CEC- BDHDMA clay คือ มอนท์โมริลโลไนต์ที่มี BDHDMA ปริมาณ 1 เท่าของค่า CEC ของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

3.5.3 การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพระหว่างมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวแล้ว ดังนี้

(1) การหาระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวด้วย QACs แล้ว โดยใช้เทคนิค X-Ray diffraction (XRD)

(2) การหาพื้นที่ผิวของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวด้วย QACs แล้ว โดยใช้ Micromeritics ASAP 2010 เพื่อวัดค่า BET surface area โดยวัดความสามารถในการดูดซับ N_2 ของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวด้วย QACs แล้ว

(3) การหาขนาดอนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวด้วย QACs แล้วด้วย Laser Particle Size Analyzer

3.5.4 การทดลองการดูดซับสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิคงที่

(1) เตรียมสารละลายอินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

(2) นำตัวดูดซับเขย่ารวมกับสารละลายอินทรีย์ในข้อ (1) เป็นเวลา 1 คืน ด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที

(3) นำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที

(4) นำสารละลายที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงไปวัดค่าการดูดกลืนแสง

รูปที่ 3.1 การทดลองการดูดซับแบบกะ (Batch adsorption)

3.5.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับสารอินทรีย์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับกรณีการดูดซับสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิคงที่ แต่เปลี่ยนจากเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบเป็นเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 20 30 และ40 องศาเซลเซียส

3.5.6 การศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อการดูดซับสารอินทรีย์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับกรณีการดูดซับสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิคงที่ แต่ต้องปรับค่าพีเอชของสารละลายอินทรีย์ให้ได้ตามต้องการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

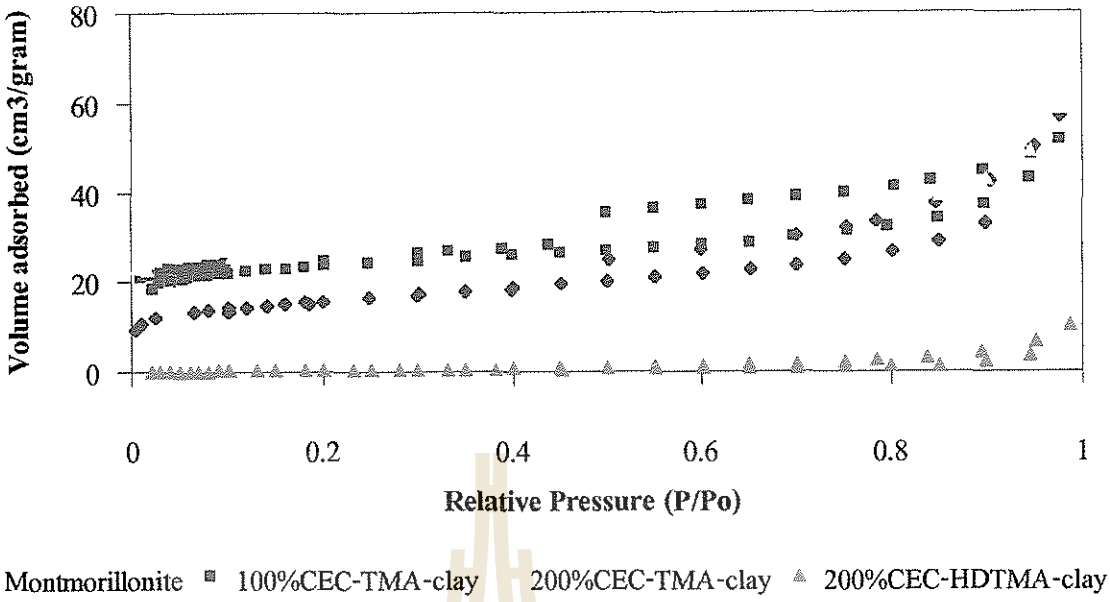
บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ลักษณะทางกายภาพของมอนต์มอริลโลไนต์

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงสมบัติแล้ว

ชนิดของตัวดูดซับ	BET surface area (m^2g^{-1})	d_{001} spacing (Å)	2θ	ขนาดอนุภาค (μm)
Montmorillonite clay	49. 5	13.143	6.72	9.7
100%CEC-TMA clay	82.6	14.718	6.00	9.22
200%CEC-TMA clay	97.7	14.623	6.04	12.72
50%CEC-HDTMA clay	11.6	17.381	5.08	27.1
100%CEC-HDTMA clay	11.2	21.325	4.14	57.2
200%CEC-HDTMA clay	2.0	22.872	3.86	49.1
50%CEC-TDMA clay	17.6	18.019	4.90	41.5
100%CEC- TDMA clay	10.4	21.325	4.14	50.6
200%CEC- TDMA clay	7.10	21.639	4.08	65.2
100%CEC- BDHDMA clay	11.3	24.253	3.64	72.34

จากตารางที่ 4.1 เห็นว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย QACs แล้วทุกชนิด ยกเว้น TMA-clays จะมีพื้นที่ผิวลดลงกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ตั้งต้น เนื่องจาก QACs เข้าไปอยู่ในรูพรุนของมอนต์มอริลโลไนต์ทำให้พื้นที่ผิวอิสระของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติลดลง แต่ TMA-clays จะมีพื้นที่ผิวมากกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ตั้งต้น เนื่องจาก TMA cations สามารถจับกับน้ำได้ดีทำให้พื้นที่ผิวและ porosity ของมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น (Kulladapu and Boyd 1995) ซึ่งสอดคล้องกับ N_2 adsorption-desorption isotherm ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จะเห็นว่า TMA-clays มีความสามารถในการดูดซับก๊าซไนโตรเจนมากกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ตั้งต้นดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว แต่ 200%CEC-HDTMA clay มีความสามารถในการดูดซับก๊าซไนโตรเจนน้อยกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ตั้งต้น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวลดลง นอกจากนี้ N_2 adsorption-desorption isotherm ของทั้งมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย QACs แล้วจะแสดง hysteresis loop ซึ่งหมายความถึงลักษณะรูพรุนแบบ mesopore (ขนาดของรูพรุน 2-50 นาโนเมตร)



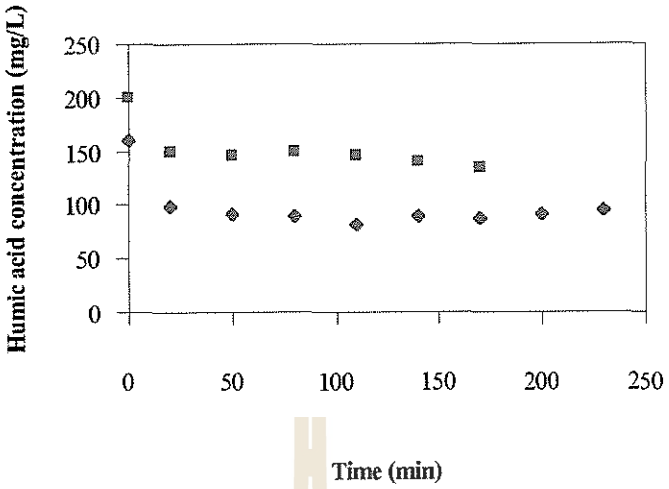
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย QACs แล้ว

เมื่อดูระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์โดยการทำ XRD จากค่า d_{001} พบว่าระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงแล้วด้วยสารอินทรีย์ประเภท QACs จะมีค่า d_{001} มากขึ้นและค่า 2θ มีค่าน้อยลงแสดงว่าโมเลกุลของ QACs เข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ และเห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ขึ้นอยู่กับขนาดของสารที่นำมาปรับปรุงคุณสมบัติ นั้นคือระยะห่างระหว่างชั้นของ BDHDMA-clays >HDTMA-clays > TDMA-clays > TMA-clays ค่า d_{001} ในตารางที่ 4.1 จะรวมระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์และความหนาของชั้นมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งความหนาของชั้นมอนต์มอริลโลไนต์เท่ากับ 9.4 Å (Nzengung V.A. et al. 1996) เพราะฉะนั้นช่องว่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์จะเท่ากับค่า d_{001} ลบด้วย 9.4 Å จะเห็นว่าเมื่อปริมาณสารที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติมีค่ามากจะทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นมีค่ามากขึ้นจึงทำให้ขนาดของอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น

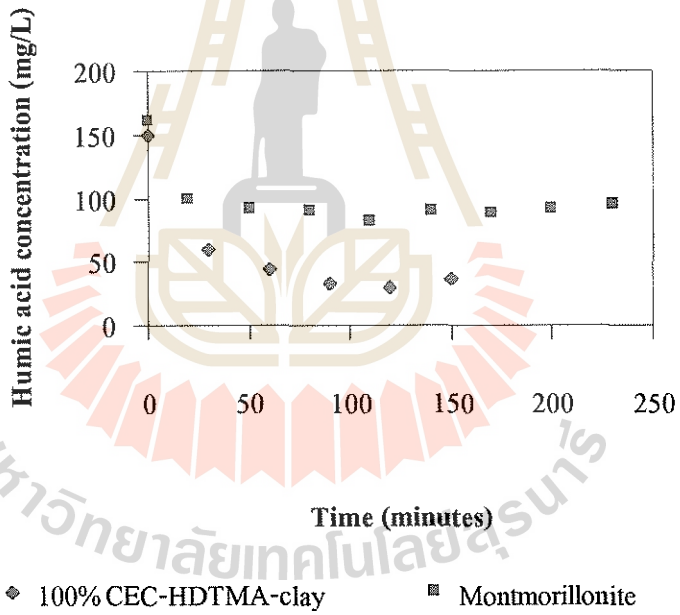
4.2 ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับกรดฮิวมิก

น้ำหนักของตัวดูดซับ	0.3 กรัม
ปริมาตรของกรดฮิวมิก	250 mL

4.2.1 การดูดซับกรดฮิวมิกที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ



รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เวลาต่างๆเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ

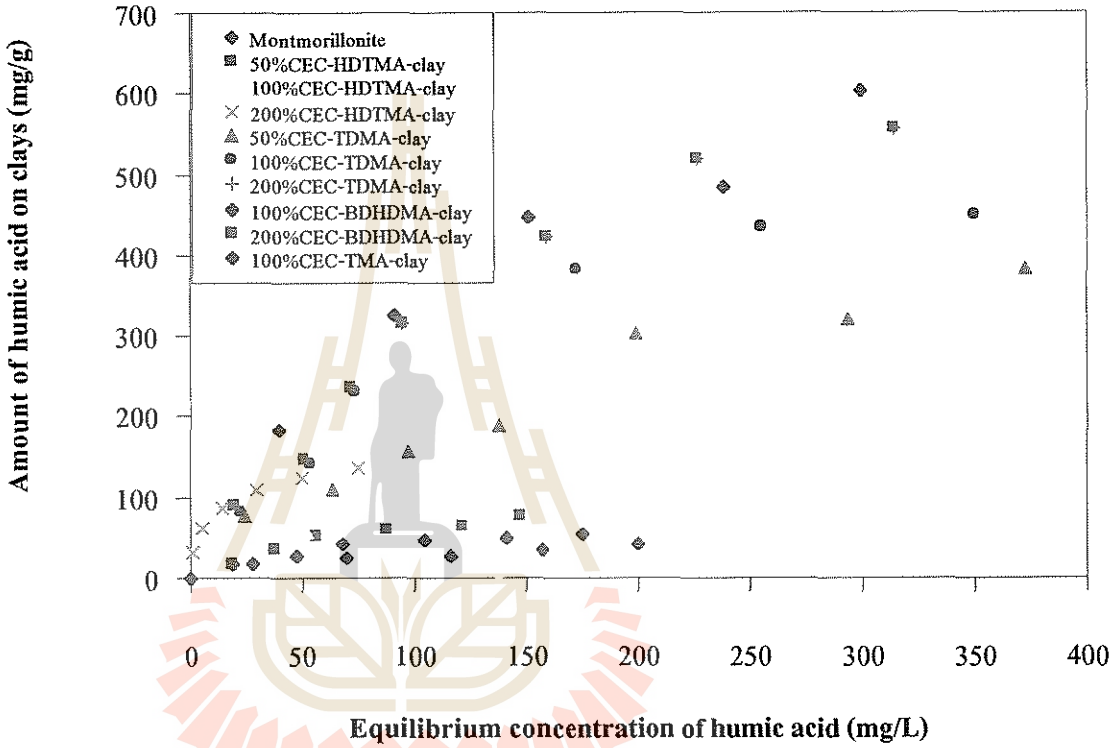


รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เวลาต่างๆเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Organo Clay (100% CEC-HDTMA clay) เป็นตัวดูดซับ

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าระยะเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับกรดฮิวมิกโดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับจะใช้เวลาประมาณ 20 นาที แม้ว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดฮิวมิกจะแตกต่างกัน แต่ระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลจะใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกัน และความเข้มข้นกรดฮิวมิกจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป แสดงว่ามอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติสามารถดูดซับกรดฮิวมิกจากน้ำได้ จากรูปที่ 4.3 เมื่อใช้

Organo Clay (100% CEC-HDTMA clay) เป็นตัวดูดซับพบว่าระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับนานขึ้นกว่าเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ โดยใช้เวลาประมาณ 90 นาทีและความเข้มข้นของกรดฮิวมิกลดลงมากกว่าเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ แสดงว่า 100% CEC-HDTMA clay ดูดซับกรดฮิวมิกจากน้ำได้ดีกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

4.2.2 การดูดซับกรดฮิวมิกที่อุณหภูมิคงที่ (อุณหภูมิห้อง)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ

ปริมาณของกรดฮิวมิกที่ถูกดูดซับบนมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดต่างๆ หาได้จากสมดุลมวลสาร โดยถือว่ากรดฮิวมิกที่หายไปจากสารละลายถูกดูดซับอยู่บนมอนต์มอริลโลไนต์ และปริมาณกรดฮิวมิกที่ถูกดูดซับที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่จะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายกรดฮิวมิก และปริมาณตัวดูดซับที่ใส่ลงไป (McCabe W.L. et al. 1993)

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าปริมาณกรดฮิวมิกที่ถูกดูดซับโดย Organo Clay จะมากกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ยกเว้น TMA-clays ที่ไม่สามารถดูดซับกรดฮิวมิกได้แม้ว่าจะเพิ่มปริมาณ TMA บนมอนต์มอริลโล

ไนต์จนถึง 200% ของค่า CEC ของมอนต์มอริลโลไนต์ตั้งต้น เนื่องมาจากขนาดของ TMA cation มีขนาดเล็ก (Sanchez-Camazano and Sanchez-Martin 1994) ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์จาก Hydrophilic เป็น Organophilic ได้ ซึ่งเหมือนกับ Ca^{2+} และ Na^{+} ที่มีอยู่ในโครงสร้างตามธรรมชาติของมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีค่า Hydration สูง ดังนั้น TMA-clays จึงมีแนวโน้มเป็น Hydrophilic มากกว่า Organophilic

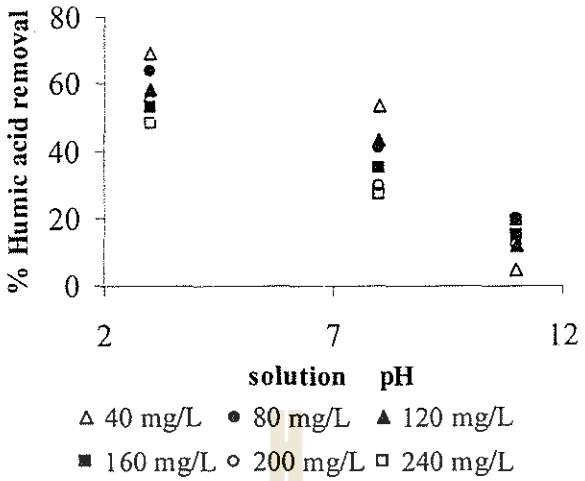
ในทางตรงกันข้ามจากกราฟจะเห็นว่าทั้ง BDHDMA-clays, HDTMA-clays และ TDMA-clays จะมีความสามารถดูดซับกรดฮิวมิกมากขึ้นเมื่อมีปริมาณ QACs บนมอนต์มอริลโลไนต์มากขึ้น เนื่องจากส่วนที่ไม่ชอบน้ำของกรดฮิวมิกซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีประจุจะจับกับหมู่อัลคิลของ QACs ที่อยู่บนมอนต์มอริลโลไนต์เหล่านี้ได้มากขึ้น จะเห็นว่าความสามารถในการดูดซับกรดฮิวมิกของ Organo Clays และมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติจะเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อความเข้มข้นของกรดฮิวมิกในสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับกลไกการดูดซับแบบ Langmuir Adsorption Isotherm จากผลการทดลองจะเห็นว่าความยาวหมู่อัลคิล (alkyl group) บน QACs ที่ปรับปรุงสมบัติของมอนต์มอริลโลไนต์จะมีผลต่อปริมาณการดูดซับ ความสามารถในการดูดซับกรดฮิวมิกจะเป็นไปตามลำดับดังนี้ BDHDMA-clays > HDTMA-clays > TDMA-clays > มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และความสามารถการดูดซับกรดฮิวมิกของมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดต่างๆ สามารถคำนวณได้จาก Langmuir Adsorption Isotherm ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความสามารถการดูดซับกรดฮิวมิกของมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	Correlation Coefficient, R^2	Adsorption capacity (mg humic acid/g clay)
Monmorillonite	0.9907	68.49
100%CEC-TMA clay	0.9249	52.97
50%CEC-HDTMA clay	0.9131	129.87
100%CEC-HDTMA clay	0.9665	99.01
200%CEC-HDTMA clay	0.9886	144.93
50%CEC-TDMA clay	0.8517	625.00
100%CEC-TDMA clay	0.9586	714.29
200%CEC-TDMA clay	0.9107	1000.0
100%CEC-BDHDMA clay	0.9593	833.33
200%CEC-BDHDMA clay	0.9581	909.09

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.3 การดูดซับกรดฮิวมิกที่ pH ต่างๆ

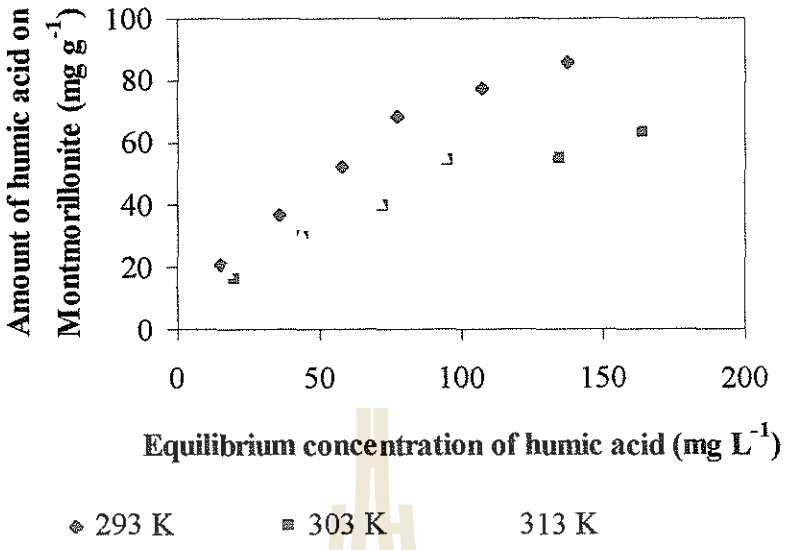


รูปที่ 4.5 อิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างต่อปริมาณการดูดซับกรดฮิวมิกที่อุณหภูมิห้อง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดฮิวมิกต่างๆกัน

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าความสามารถในการดูดซับกรดฮิวมิกในสภาวะความเป็นกรด-ด่างต่างๆกัน โดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับจะเป็นไปตามลำดับดังนี้คือสภาวะกรด > สภาวะเป็นกลาง > สภาวะด่าง เนื่องมาจากระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ (d_{001}) จะขึ้นอยู่กับค่า pH เมื่อค่า pH มีค่ามากขึ้นระยะห่างจะลดลง และลดลงมากที่สุดเมื่อ pH มีค่าระหว่าง 4 ถึง 5 (Schnitzer and Khan 1972) นอกจากนั้น ที่สภาวะเป็นด่างกรดฮิวมิกจะมีประจุลบเช่นเดียวกับชั้นโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติทำให้เกิดแรงผลัก แต่ที่สภาวะเป็นกรดกรดฮิวมิกจะมีประจุเป็นบวกส่วนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติจะมีประจุเป็นลบทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.4 การดูดซับกรดฮิวมิกที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.6 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับกรดฮิวมิกของมอนต์มอริลโลไนต์ ธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าความสามารถในการดูดซับกรดฮิวมิกของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตามลำดับดังนี้ที่อุณหภูมิ 293 K > อุณหภูมิ 303 K > อุณหภูมิ 313 K แสดงว่าการดูดซับกรดฮิวมิกของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ความสามารถในการดูดซับกรดฮิวมิกของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถคำนวณได้จาก Langmuir's Isotherm ดังแสดงในตารางที่ 4.3

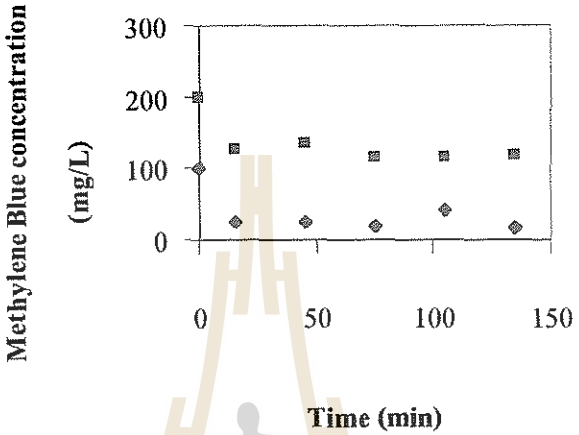
ตารางที่ 4.3 ความสามารถการดูดซับกรดฮิวมิกของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (K)	Adsorption Capacity (mg of humic acid/g of clay)	R^2
293	151.51	0.9797
303	106.38	0.948
313	102.04	0.939

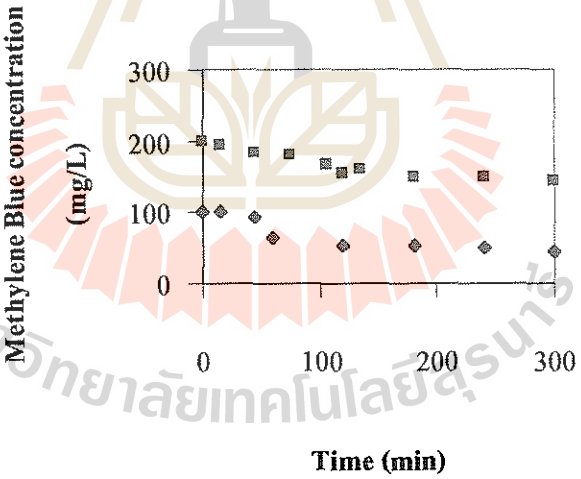
4.3 ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับเมธิลีนบลู

น้ำหนักของตัวดูดซับ	0.1 กรัม
ปริมาตรของเมธิลีนบลู	300 mL

4.3.1 การดูดซับเมธิลีนบลูที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ



รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เวลาต่างๆเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์เป็นตัวดูดซับ



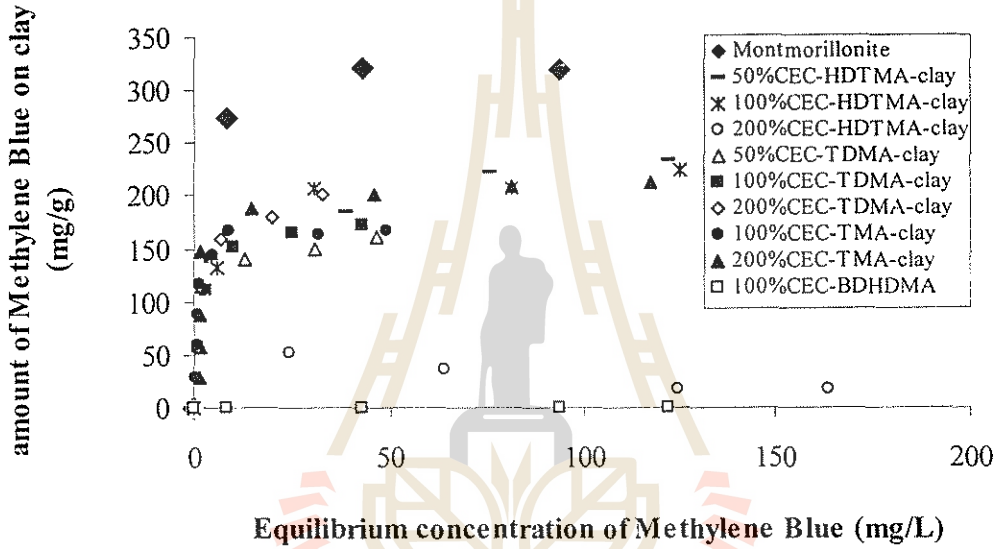
รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 50% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับ

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าระยะเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับเมธิลีนบลูโดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับจะใช้เวลาประมาณ 15 นาที แม้ว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของเมธิลีนบลูจะแตกต่างกัน แต่ระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลจะใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกัน แต่จากรูปที่ 4.8 เมื่อใช้ Organo Clay (50%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

CEC-HDTMA clay) เป็นตัวดูดซับพบว่า ระยะเข้าสู่สมดุลของการดูดซับนานขึ้นโดยใช้เวลาประมาณ 60 นาทีเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของเมธิลีนบลูเท่ากับ 100 mg/L และใช้เวลาประมาณ 120 นาทีเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของเมธิลีนบลูเท่ากับ 200 mg/L เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับเมธิลีนบลูจากน้ำโดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Organo Clay (50% CEC-HDTMA clay) เป็นตัวดูดซับพบว่า เมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับความเข้มข้นของเมธิลีนบลูในน้ำลดลงมากกว่าเมื่อใช้ 50% CEC-HDTMA clay เป็นตัวดูดซับ แสดงว่า 50% CEC-HDTMA clay ดูดซับเมธิลีนบลูจากน้ำได้น้อยกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

4.3.2 การดูดซับเมธิลีนบลูที่อุณหภูมิคงที่ (อุณหภูมิห้อง)



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ

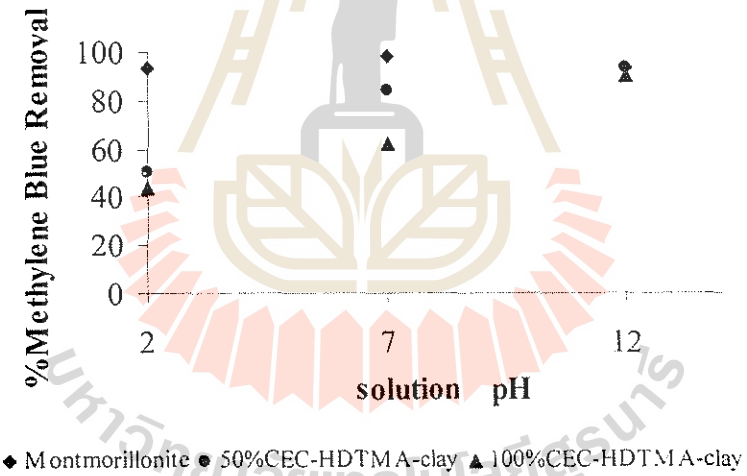
การดูดซับเมธิลีนบลูด้วยมอนต์โมริลโลไนท์ธรรมชาติและมอนต์โมริลโลไนท์ที่มี QACs ในปริมาณและชนิดที่แตกต่างกันนั้น พบว่าปริมาณ QACs ในมอนต์โมริลโลไนท์ธรรมชาติทำให้ความสามารถในการดูดซับเมธิลีนบลูมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 มอนต์โมริลโลไนท์ธรรมชาติสามารถดูดซับเมธิลีนบลูได้ดีที่สุด ในขณะที่มอนต์โมริลโลไนท์ที่ปรับแปลงสภาพพื้นผิวด้วย BDHDMA ไม่สามารถดูดซับเมธิลีนบลูได้เลย เนื่องจากเมธิลีนบลูเป็นสีอินทรีย์มีประจุบวก และกลไกการดูดซับสีเมทิลีนบลูบนมอนต์โมริลโลไนท์เกิดขึ้นด้วยการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างเมธิลีนบลูกับ Na^{+} และ Ca^{2+} ที่มีอยู่ในมอนต์โมริลโลไนท์ธรรมชาติ

ความสามารถในการดูดซับเมธิลีนบลูของตัวดูดซับต่างๆ สามารถคำนวณได้จาก Langmuir's Isotherm ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความสามารถการดูดซับเมธิลีนบลูของมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	Adsorption Capacity (mg methylene blue/g clay)	Adsorption Capacity (meq/100 g. of clay)	R^2
Montmorillonite	322.6	100	0.9997
100%CEC-TMA clay	172.4	53.9	0.9965
200%CEC-TMA clay	217.4	68.0	0.9967
50%CEC-HDTMA clay	243.9	76.3	0.9939
100%CEC-HDTMA clay	227.3	71.1	0.9975
200%CEC-HDTMA clay	13.7	4.3	0.9972
50%CEC-TDMA clay	163.9	51.3	0.9969
100%CEC-TDMA clay	178.6	55.9	1
200%CEC-TDMA clay	208.3	65.2	0.9969

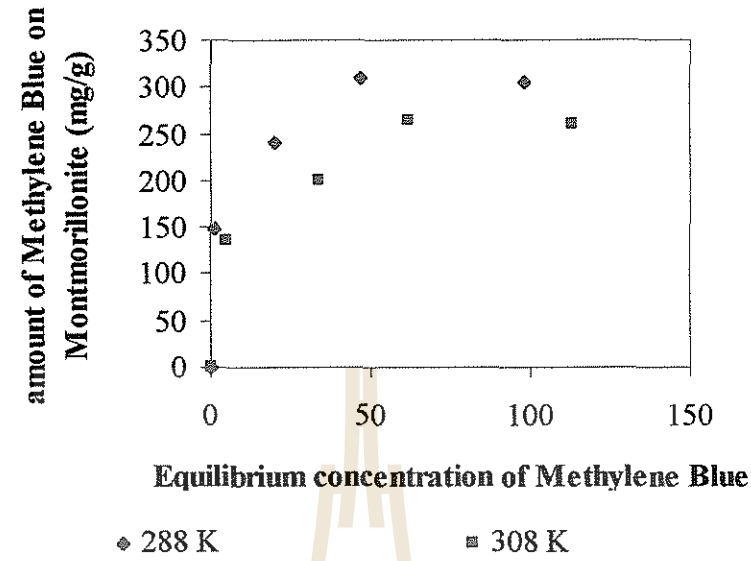
4.3.3 การดูดซับเมธิลีนบลูที่ pH ต่างๆ



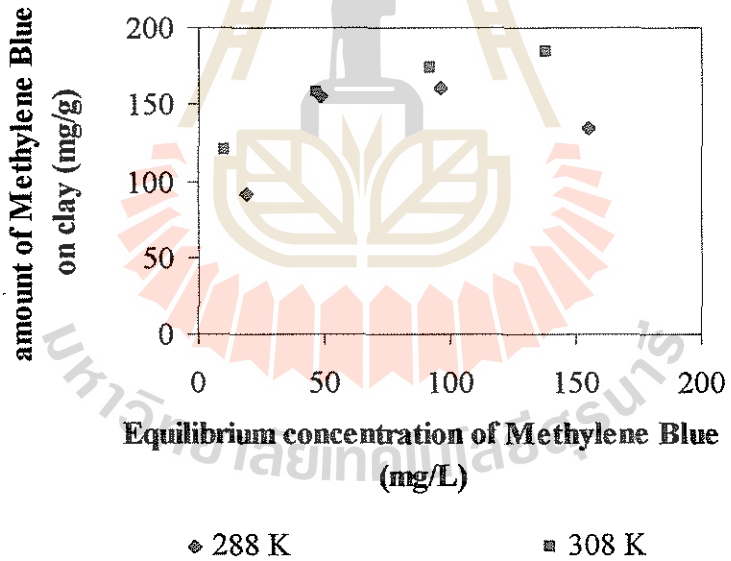
รูปที่ 4.10 อิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างต่อการดูดซับเมธิลีนบลูที่อุณหภูมิห้อง

จากรูปที่ 4.10 การดูดซับเมธิลีนบลูด้วยมอนต์โมริลโลไนท์ธรรมชาติเกิดได้ดีใกล้เคียงกันไม่ว่า pH ของสารละลายจะเป็นกลาง (pH =7) เป็นกรด (pH = 2) หรือเป็นเบส (pH = 12) ส่วนการดูดซับเมธิลีนบลูจากน้ำด้วย 50%CEC-HDTMA-clay และ 100%CEC-HDTMA-clay จะเกิดการดูดซับได้ดีที่สุดที่สารละลายมีสภาวะเป็นเบสด้วยความสามารถในการดูดซับที่ใกล้เคียงกับการดูดซับด้วยดินมอนต์โมริลโลไนท์ธรรมชาติ แต่การดูดซับเมธิลีนบลูจากน้ำด้วย 50%CEC-HDTMA-clay และ 100%CEC-HDTMA-clay เกิดได้ไม่ดีในสภาวะที่เป็นกรด

4.3.4 การดูดซับเมธิลีนบลูที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.11 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับเมธิลีนบลูของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ



รูปที่ 4.12 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับเมธิลีนบลูของ 50%CEC-HDTMA-clay

ความสามารถในการดูดซับเมธิลีนบลูของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 50%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถคำนวณได้จาก Langmuir's Isotherm ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความสามารถการดูดซับเมธิลีนบลูของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 50%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	อุณหภูมิ (K)	Adsorption Capacity (mg/g)	R^2
Montmorillonite	288	312.5	0.997
Montmorillonite	308	277.8	0.992
50%CEC-HDTMA-clay	288	142.8	0.970
50%CEC-HDTMA-clay	308	192.3	0.998

จากรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.5 เห็นได้ว่าความสามารถในการดูดซับเมธิลีนบลูของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงว่าปฏิกิริยาการดูดซับเมธิลีนบลูของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ในทางตรงกันข้าม จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าความความสามารถในการดูดซับเมธิลีนบลูของ 50%CEC-HDTMA-clay เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงว่าการดูดซับเมธิลีนบลูของ 50%CEC-HDTMA-clay เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

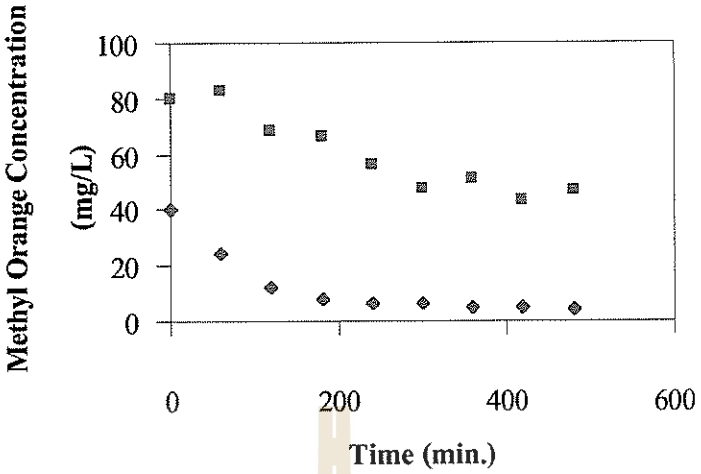
จากผลการทดลองในส่วนนี้ อาจเป็นไปได้ว่ากลไกการดูดซับเมธิลีนบลูของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Organo Clay (50%CEC-HDTMA-clay) แตกต่างกัน

4.4 ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับเมธิล ออเรนจ์

น้ำหนักของตัวดูดซับ	0.2 mg
ปริมาตรของเมธิล ออเรนจ์	200 mL

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4.1 การดูดซับเมธิล ออเรนจ์ที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ

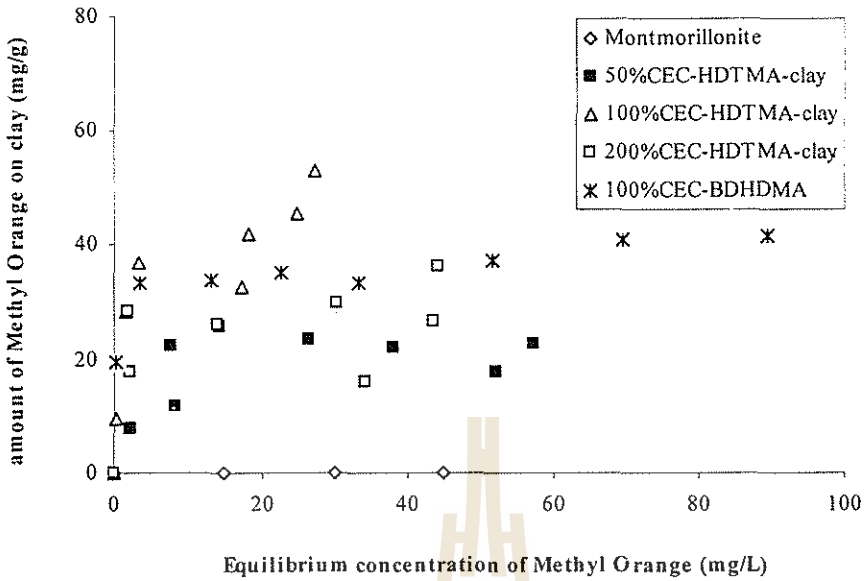


รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของเมธิล ออเรนจ์ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ 100% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับ

จากรูปที่ 4.13 เมื่อใช้ Organo Clay (100% CEC-HDTMA clay) เป็นตัวดูดซับเมธิล ออเรนจ์ พบว่าระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับใช้เวลาประมาณ 200 นาทีเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของเมธิล ออเรนจ์เท่ากับ 40 mg/L และใช้เวลาประมาณ 300 นาทีเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของเมธิล ออเรนจ์เท่ากับ 80 mg/L อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าความเข้มข้นของเมธิล ออเรนจ์ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป แสดงว่า 100% CEC-HDTMA clay ดูดซับเมธิล ออเรนจ์ได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4.2 การดูดซับเมธิล ออเรนจ์ที่อุณหภูมิคงที่ (อุณหภูมิห้อง)



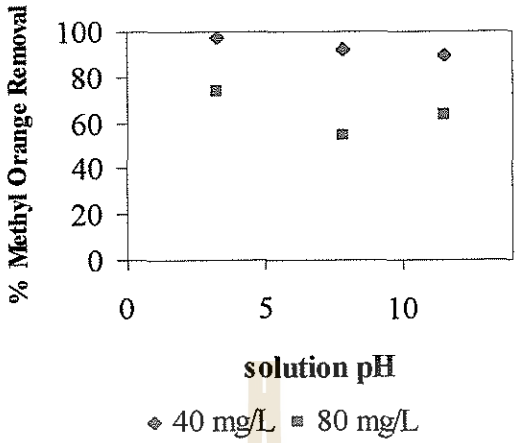
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์หลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บนตัวดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ

จากผลการทดลองตามรูปที่ 4.14 พบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติไม่สามารถดูดซับเมธิล ออเรนจ์จากน้ำได้เลยเนื่องจากเมธิล ออเรนจ์เป็นสีย้อมที่มีประจุลบจึงเกิดแรงผลักกับชั้นโครงสร้างที่มีประจุลบของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ในขณะที่ HDTMA-clays และ BDHDMA-clays สามารถดูดซับเมธิล ออเรนจ์ จากน้ำได้โดยความสามารถในการดูดซับเมธิล ออเรนจ์ จากน้ำของ Organo-Clays (HDTMA-clays และ BDHDMA-clays) เพิ่มขึ้นเมื่อ ปริมาณและจำนวนคาร์บอนอะตอมของ QACs บนมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น แสดงว่าการดูดซับเมธิล ออเรนจ์จากน้ำของ HDTMA-clays และ BDHDMA-clays เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำระหว่างเมธิล ออเรนจ์กับหมู่อัลคิล (alkyl group) ของ QACs บนมอนต์มอริลโลไนต์ (hydrophobic interaction) ความสามารถในการดูดซับเมธิล ออเรนจ์ของตัวดูดซับต่างๆ สามารถคำนวณได้จาก Langmuir's Isotherm ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความสามารถการดูดซับเมธิลออเรนจ์ของมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	Adsorption Capacity (mg/g)	R^2
50%CEC-HDTMA clay	21.6	0.9459
100%CEC-HDTMA clay	48.08	0.9383
200%CEC-HDTMA clay	31.45	0.9499
100%CEC-BDHDMA clay	39.84	0.9956

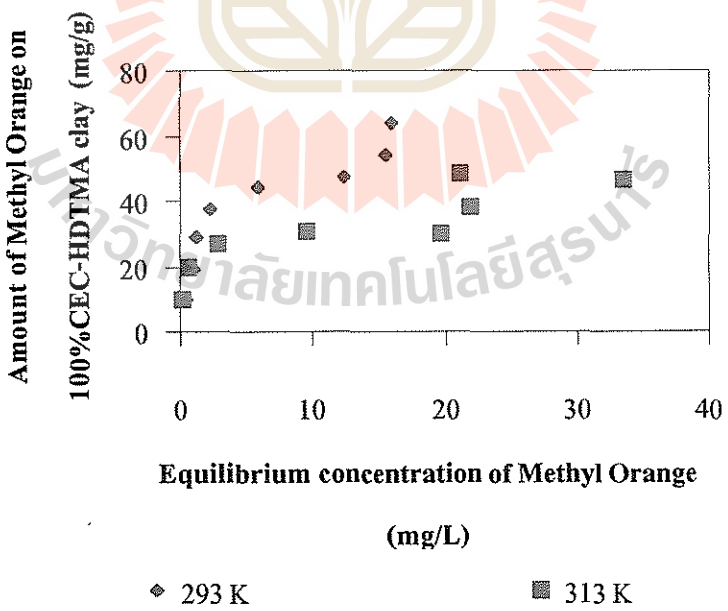
4.4.3 การดูดซับเมธิล ออเรนจ์ที่ pH ต่างๆ



รูปที่ 4.15 แสดงอิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างต่อการดูดซับเมธิลออเรนจ์ที่อุณหภูมิห้อง

รูปที่ 4.15 อิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างต่อการดูดซับเมธิลออเรนจ์ของ 100% CEC HDTMA-clay จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าการดูดซับเมธิลออเรนจ์ของ 100% CEC HDTMA-clay มีค่าลดลงเมื่อ pH มีค่าเพิ่มขึ้น

4.4.4 การดูดซับเมธิลออเรนจ์ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.16 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับเมธิลออเรนจ์ของ 100% CEC HDTMA-clay

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ความสามารถในการดูดซับเมธิลออเรนจ์ของ 100%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถคำนวณได้จาก Langmuir's isotherm ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความสามารถการดูดซับเมธิลออเรนจ์ของ 100%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิต่างๆ

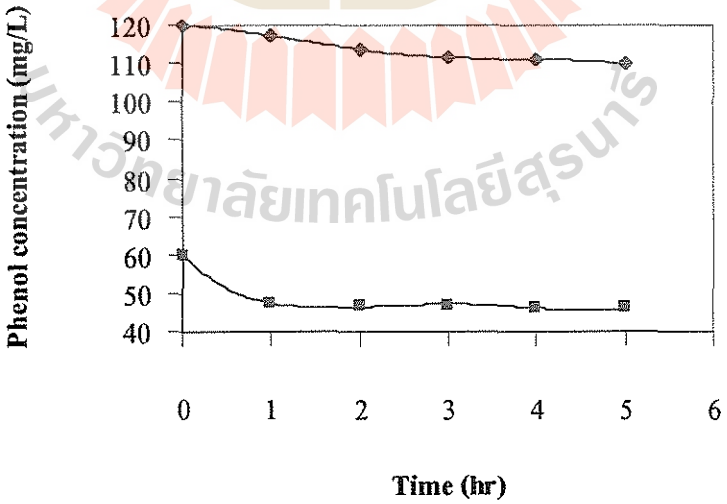
อุณหภูมิ (K)	Adsorption Capacity (mg/g)	R^2
298	64.10	0.9679
313	45.04	0.9191

จากรูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าความสามารถในการดูดซับเมธิลออเรนจ์ของ 100% CEC HDTMA-clay ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตามลำดับดังนี้ที่อุณหภูมิ 293 K > อุณหภูมิ 313 K แสดงว่าการดูดซับเมธิลออเรนจ์ของ 100% CEC HDTMA-clay เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

4.5 ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับฟีนอล

น้ำหนักของตัวดูดซับ	0.4 กรัม
ปริมาตรของฟีนอล	200 mL

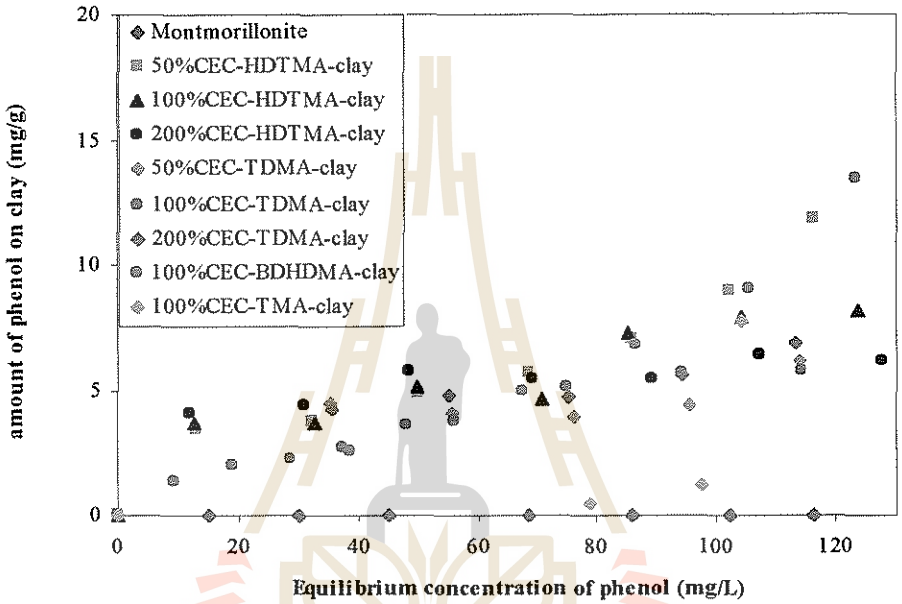
4.5.1 การดูดซับฟีนอลที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ



รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของฟีนอลที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 100% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ในการศึกษาระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับฟีนอลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 60 และ 120 mg/L ตามรูปที่ 4.17 พบว่าที่ความเข้มข้นฟีนอล 120 mg/L ใช้เวลาในเข้าสู่สมดุลประมาณชั่วโมงที่ 4 ส่วนที่ความเข้มข้น 60 mg/L จะใช้เวลาเข้าสู่สมดุลประมาณชั่วโมงที่ 1 แสดงว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟีนอลจะมีผลต่อเวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ คือเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลมีค่าต่ำจะใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลน้อยกว่าที่ความเข้มข้นสูง

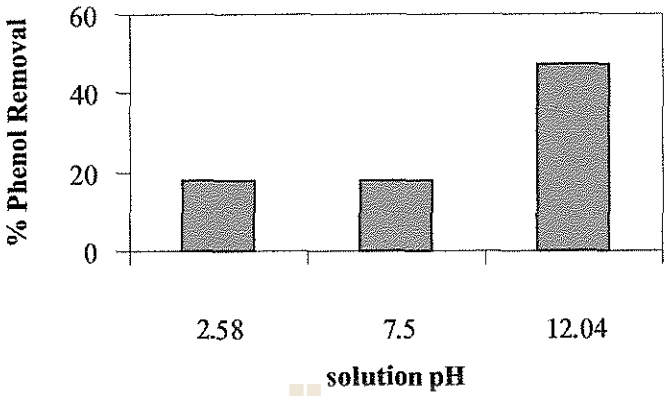
4.4.2 การดูดซับฟีนอลที่อุณหภูมิคงที่ (อุณหภูมิห้อง)



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ

จากผลการทดลองดังแสดงใน รูปที่ 4.18 สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาว่า มอนต์โมริลโลไนท์ธรรมชาติไม่สามารถดูดซับฟีนอลได้ (Wibulswas 1999) ในขณะที่ Organo-Clays สามารถดูดซับฟีนอลจากน้ำได้โดยความสามารถในการดูดซับฟีนอลจากน้ำของ Organo-Clays เพิ่มขึ้นเมื่อ ปริมาณและจำนวนคาร์บอนอะตอมของ QACs บนมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น แสดงว่าการดูดซับฟีนอลจากน้ำของ Organo-Clays เกิดขึ้นด้วยกลไกเดียวกับการดูดซับเมธิล ออเรนจ์ของ Organo-Clays คือ เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำระหว่างฟีนอลกับหมู่อัลคิล (alkyl group) ของ QACs บน Organo-Clays (hydrophobic interaction)

4.5.3 การดูดซับฟีนอลที่ pH ต่างๆ

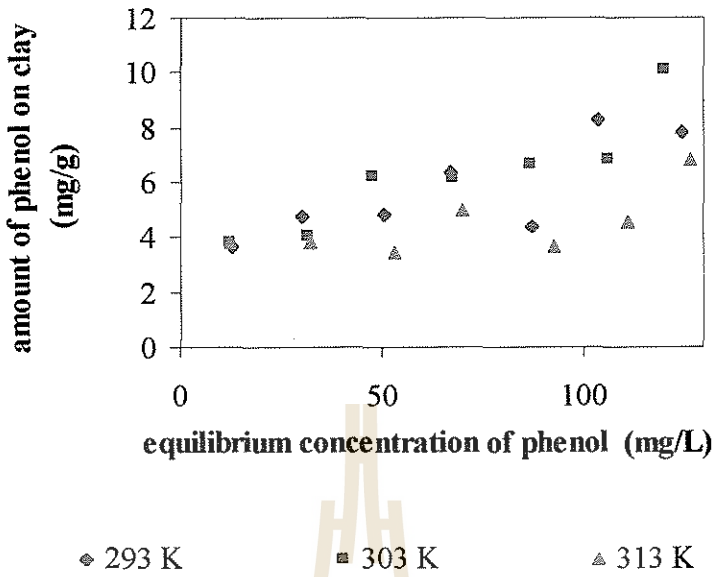


รูปที่ 4.19 อิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างต่อการดูดซับฟีนอลของ 200% CEC-HDTMA-clay

การดูดซับฟีนอลบน โดยใช้ 200% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเบสของสารละลาย จากกราฟรูปที่ 4.19 เมื่อ pH เท่ากับ 2.58 (สารละลายเป็นกรด) ฟีนอลจะถูกดูดซับไปจากสารละลายประมาณ 20% เมื่อเพิ่ม pH ของสารละลายเป็น 7.5 (สารละลายเป็นกลาง) ปริมาณของฟีนอลที่ถูกดูดซับจะมีค่าใกล้เคียงกับที่ pH 2.58 และเมื่อเพิ่มค่า pH เป็น 12.04 (สารละลายเป็นเบส) ปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับบน 200% CEC-HDTMA-clay จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 50% จากผลการทดลองจะพบว่าที่สภาวะของสารละลายเป็นเบส 200% CEC-HDTMA-clay จะมีความสามารถในการดูดซับฟีนอลได้มากที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.5.4 การดูดซับฟีนอลที่อุณหภูมิต่างๆ



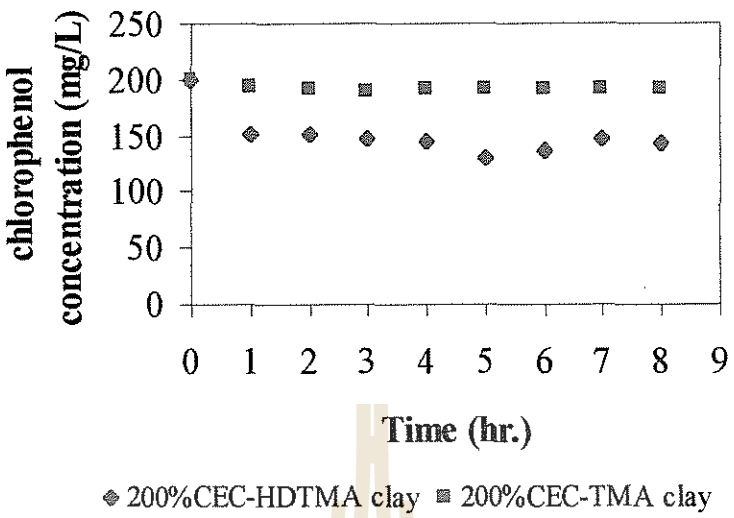
รูปที่ 4.20 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับฟีนอลของ 200% CEC HDTMA-clay

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับโดยทำการทดลองที่ 3 อุณหภูมิ คือ ที่ 293 303 และ 313 K ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.20 จะพบว่าความสามารถในการดูดซับสารละลายฟีนอลของ 100% CEC-HDTMA-clay ที่เตรียมไว้ ที่อุณหภูมิ 293 กับ 303 K มีค่าการดูดซับใกล้เคียงกันและมีค่าการดูดซับที่ดีกว่า ณ อุณหภูมิ 313 K โดยสังเกตปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับบน 200% CEC-HDTMA-clay ที่ 313 K มีค่าน้อยกว่าที่ 293 และ 303 K แสดงว่าการดูดซับสารละลายฟีนอลของ 200% CEC-HDTMA-clay เป็นปฏิกริยาคายความร้อน

4.6 ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับคลอโรฟีนอล

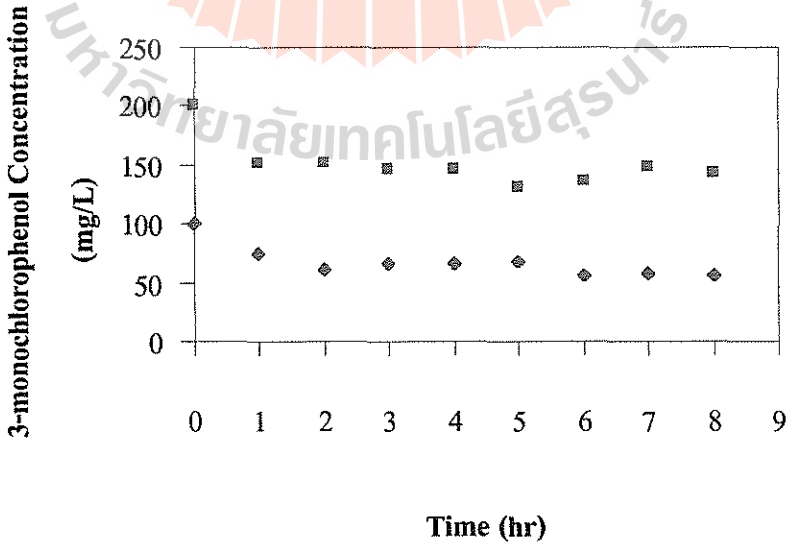
น้ำหนักของตัวดูดซับ	0.1 กรัม
ปริมาตรของคลอโรฟีนอล	150 mL

4.6.1 การดูดซับคลอโรฟีนอลที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบเวลาการดูดซับคลอโรฟีนอลเมื่อใช้ Organo Clays ต่างชนิดกันเป็นตัวดูดซับ

คลอโรฟีนอลชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 3-monochlorophenol ผลการทดลองจากรูปที่ 4.21 พบว่าระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับและปริมาณของคลอโรฟีนอลที่เหลืออยู่ในสารละลายต่างกันเมื่อใช้ Organo Clays ต่างชนิดกันเป็นตัวดูดซับ โดยระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับจะแปรผันตรงกับจำนวนคาร์บอนอะตอมบน Organo Clays และเมื่อใช้ 200%-CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับพบว่าความเข้มข้นคลอโรฟีนอลในสารละลายลดลงมากกว่าเมื่อใช้200%-CEC-TMA-clay เป็นตัวดูดซับ แสดงว่า 200%-CEC-HDTMA-clay ดูดซับคลอโรฟีนอลจากน้ำได้ดีกว่า 200%-CEC-TMA-clay

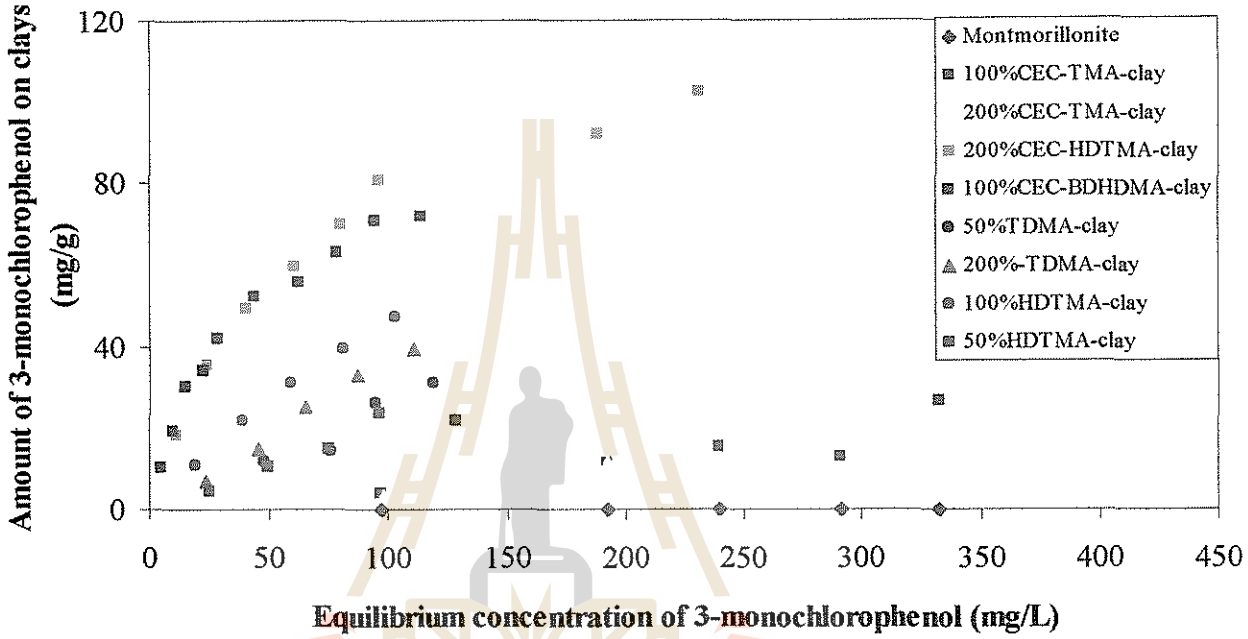


รูปที่ 4.22 ความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 200% CEC-HDTMA-clay เป็นตัว

ดูดซับ

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นว่าระยะเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับคลอโรฟีนอลโดยใช้ 200% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับจะใช้เวลาประมาณ 120 นาที แม้ว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของคลอโรฟีนอลจะแตกต่างกันแต่ระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลจะใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกัน

4.6.2 การดูดซับคลอโรฟีนอลที่อุณหภูมิคงที่ (อุณหภูมิห้อง)



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบนตัวดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ

จากผลการทดลองตามรูปที่ 4.23 พบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติไม่สามารถดูดซับคลอโรฟีนอลจากน้ำได้เลย ในขณะที่ Organo-Clays สามารถดูดซับคลอโรฟีนอลจากน้ำได้โดยความสามารถในการดูดซับคลอโรฟีนอลของ Organo-Clays เพิ่มขึ้นเมื่อ ปริมาณและจำนวนคาร์บอนอะตอมของ QACs บนมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น แสดงว่าการดูดซับคลอโรฟีนอลจากน้ำของ Organo-Clays เกิดขึ้นด้วยกลไกเดียวกับการดูดซับฟีนอลของ Organo-Clays คือ เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำระหว่างคลอโรฟีนอลกับหมู่อัลคิล (alkyl group) ของ QACs บนมอนต์มอริลโลไนต์ (hydrophobic interaction)

ความสามารถในการดูดซับคลอโรฟีนอลจากน้ำของ Organo-Clays สามารถคำนวณได้จาก Langmuir's Isotherm ดังแสดงในตารางที่ 4.8

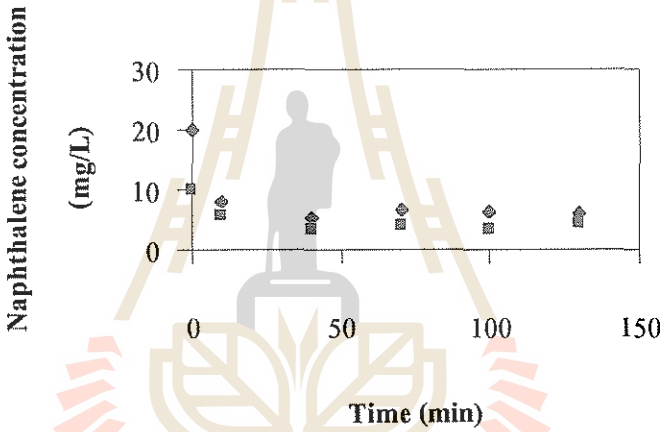
ตารางที่ 4.8 ความสามารถการดูดซับคลอโรฟีนอลของ Organo-Clays ชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	Adsorption Capacity (mg/g)	R^2
200%CEC-HDTMA clay	131.58	0.9938
100%CEC-BDHDMA clay	97.08	0.9897

4.7 ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับแนฟธาลีน

น้ำหนักของตัวดูดซับ	0.1 กรัม
ปริมาตรของแนฟธาลีน	200 mL

4.7.1 การดูดซับแนฟธาลีนที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ

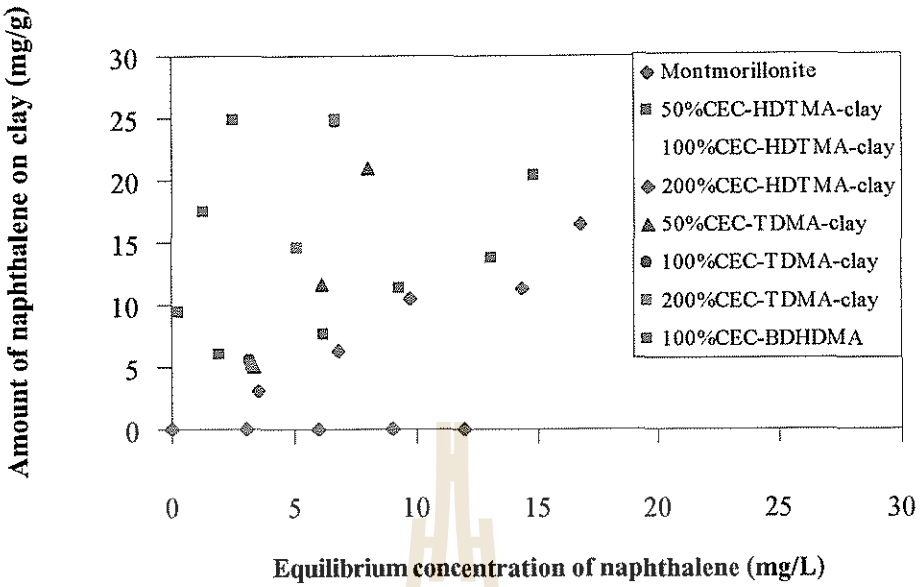


รูปที่ 4.24 ความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 150% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับ

จากรูปที่ 4.24 จะเห็นว่าระยะเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับแนฟธาลีนโดยใช้ 150% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับจะใช้เวลาประมาณ 40 นาที แม้ว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของแนฟธาลีนจะแตกต่างกัน แต่ระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลจะใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.7.2 การดูดซับแนฟธาลีนที่อุณหภูมิคงที่ (อุณหภูมิห้อง)

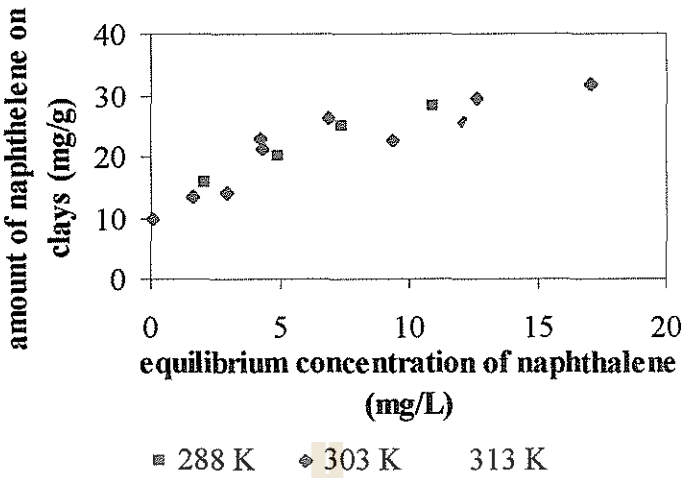


รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบนตัวดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ

จากผลการทดลองตามรูปที่ 4.25 พบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติไม่สามารถดูดซับแนฟธาลีนจากน้ำได้เลย ในขณะที่ Organo-Clays สามารถดูดซับแนฟธาลีนจากน้ำได้โดยความสามารถในการดูดซับแนฟธาลีนของ Organo-Clays เพิ่มขึ้นเมื่อ ปริมาณและจำนวนคาร์บอนอะตอมของ QACs บนมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น แสดงว่าการดูดซับแนฟธาลีนจากน้ำของ Organo-Clays เกิดขึ้นด้วยกลไกเดียวกับการดูดซับคลอโรฟีนอลของ Organo-Clays คือ เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำระหว่างแนฟธาลีนกับหมู่อัลคิล (alkyl group) ของ QACs บน Organo-Clays (hydrophobic interaction)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.7.4 การดูดซับแนฟธาลีนที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.26 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับแนฟธาลีนของ 150% CEC HDTMA-clay

จากรูปที่ 4.26 จะเห็นว่าความสามารถในการดูดซับแนฟธาลีนของ 150% CEC HDTMA-clay ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แสดงว่าการดูดซับแนฟธาลีนของ 150% CEC HDTMA-clay เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

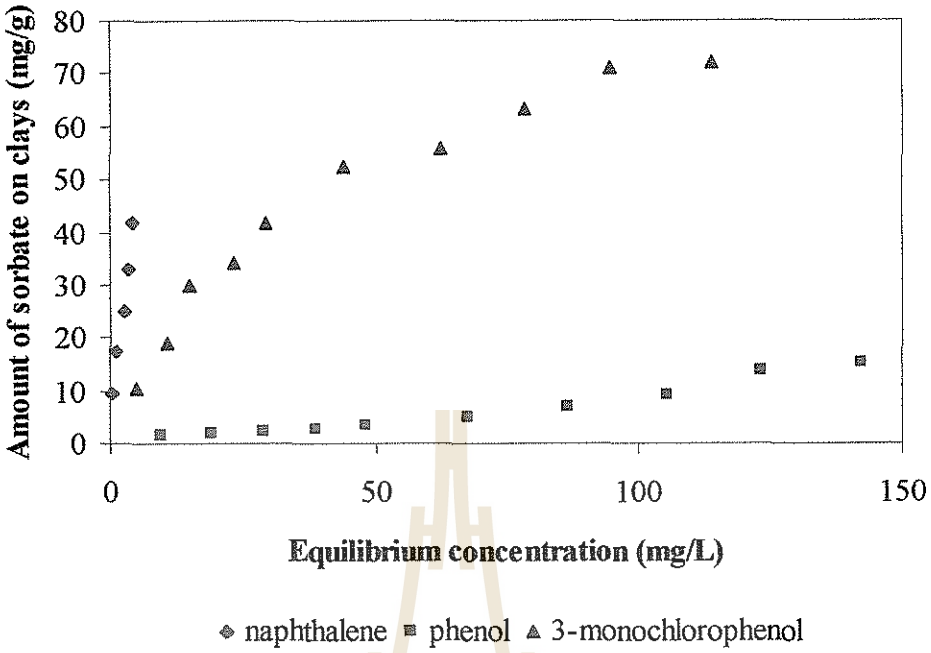
ความสามารถในการดูดซับแนฟธาลีนของ 150% CEC HDTMA-clay ที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถคำนวณได้จาก Langmuir's Isotherm ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ความสามารถการดูดซับแนฟธาลีนของ 150% CEC HDTMA-clay ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (K)	Adsorption Capacity (mg of naphthalene/g of clay)	R^2
298	35.59	0.9816
303	33.12	0.9429
313	30.58	0.8539

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.8 เปรียบเทียบความสามารถของ Organo-clays ในการดูดซับฟีนอล คลอโรฟีนอลและแนฟธาลีน



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบความสามารถของ 100%CEC BDHDMA clay ในการดูดซับฟีนอล คลอโรฟีนอลและแนฟธาลีน

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของฟีนอล คลอโรฟีนอลและแนฟธาลีน

ชนิดของสาร	มวลโมเลกุล	ขนาดของอนุภาค (Å)	ความสามารถในการละลายน้ำ (g/kg H_2O)
ฟีนอล	100.16	4.3	77.5
คลอโรฟีนอล	128.56	5.0	25.0
แนฟธาลีน	128.17	7.3	31.7

จากรูปที่ 4.27 และตารางที่ 4.10 พบว่า 100%CEC BDHDMA clay ดูดซับแนฟธาลีนได้มากที่สุดตามด้วยคลอโรฟีนอล และฟีนอลตามลำดับ ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์สมบัติของสารเคมีแต่ละชนิด กล่าวคือ ฟีนอลความสามารถในการละลายน้ำได้ดีจึงมีแนวโน้มที่จะชอบอยู่ในน้ำมากกว่าอยู่บน 100%CEC BDHDMA clay ในทางตรงข้ามคลอโรฟีนอล และฟีนอลละลายน้ำได้น้อยกว่าจึงมีแนวโน้มที่จะชอบอยู่บน 100%CEC BDHDMA clay มากกว่าอยู่ในน้ำ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ 6 ชนิดในน้ำสังเคราะห์ โดยใช้มอนต์โมริลโลไนท์ธรรมชาติและมอนต์โมริลโลไนท์ที่ปรับแปลงสมบัติพื้นผิวด้วย QACs ในปริมาณและชนิดที่แตกต่างกันเป็นตัวดูดซับ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

- มอนต์โมริลโลไนท์และ/หรือ Organo Clays กำจัดสารอินทรีย์ที่ศึกษาออกจากน้ำได้
- การปรับปรุงสมบัติของมอนต์โมริลโลไนท์ธรรมชาติด้วย QACs ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic Surfactant) สามารถเปลี่ยนพื้นผิวของ Montmorillonite จากชอบน้ำ (Hydrophilic = Organophobic) เป็นชอบสารอินทรีย์ (Hydrophobic = Organophilic) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของมอนต์โมริลโลไนท์ธรรมชาติทั้งพื้นที่ผิว ขนาดของอนุภาค และระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้าง ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ของ Organo Clays เทียบกับมอนต์โมริลโลไนท์ธรรมชาติ
- ความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ของมอนต์โมริลโลไนท์และ Organo Clays ขึ้นอยู่กับทั้งชนิดของสารอินทรีย์ อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่างของระบบ เช่น การดูดซับเมธิลีนบลูซึ่งเป็นสีอินทรีย์ที่มีประจุบวกโดย Organo Clays จะเกิดได้ดีเมื่อสภาวะของระบบเป็นด่าง ในทางตรงกันข้ามการดูดซับเมธิล ออเรนจ์ซึ่งเป็นสีอินทรีย์ที่มีประจุลบโดย Organo Clays จะเกิดได้ดีเมื่อสภาวะของระบบเป็นกรด และจากผลการทดลองส่วนใหญ่พบว่า การดูดซับจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ แสดงว่า การดูดซับสารอินทรีย์ของมอนต์โมริลโลไนท์และ Organo Clays เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน นอกจากนั้นยังพบว่า Organo Clays ดูดซับสารอินทรีย์ที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ (Hydrophobic) ได้ดีกว่าสารอินทรีย์ที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไป

- ศึกษาความสามารถของมอนต์โมริลโลไนท์และ Organo Clays ในการดูดซับสารอินทรีย์และอนินทรีย์ชนิดอื่นๆ
- ปรับปรุงกระบวนการดูดซับสารอินทรีย์ด้วยมอนต์โมริลโลไนท์และ Organo Clays เพื่อให้ใช้ได้ในระบบที่มีการไหลของน้ำ (Flow System) เช่น ใน ระบบหอดูดซับ เพื่อให้สามารถนำ ไปใช้งานในอุตสาหกรรมจริงได้

บรรณานุกรม

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2536). วิศวกรรมการประปา. มิตรนราการพิมพ์ : กรุงเทพมหานคร

จุมพล คืนดัก, ธงชัย พึ่งรัศมี และ พิภพ วสุวานิช (2521). ดิน (Clays). เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา เล่มที่ 19. กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี : กรุงเทพมหานคร

ณัฐยา พูนสุวรรณ (2545). การเตรียมและวัดสมบัติถ่านกัมมันต์จากถ่านหินและชานอ้อยโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี. โครงร่างวิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปิยมาภรณ์ จารุวงศ์ (2545). การดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์. โครงร่างวิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปิยรัตน์ สาระวงศ์ (2545). การกำจัดกรดฮิวมิกในน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาโดยกระบวนการโคแอกกูเลชั่นด้วยไคโตแซนและเบนโทไนต์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม ภาควิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สุชาตา ชินะจิตร (2545). พิษภัยใกล้ตัว. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.): กรุงเทพมหานคร

Albanis T.A., Danis T.G. and Pomonis P.J. (1997) Separation of chlorophenols using columns of hydroxyaluminium interlayered clays. Clays Minterals. 32. 143-147

Amin S. and Jayson G.G. (1996) Humic substance uptake by Hydrotalcites and PILCs. Water Research. 30. 299-306

Davies G. and Ghabbour E.A. (1999) Understanding life after death. Chemistry & Industry, Society of Chemical Industry. 11. 426-430

Dentel S.K., Jamrah A.L. and Sparks D.L. (1998) Sorption and co-sorption of 1-2-4-trichloro benzene and tannic acid by organo-clays. Water Research. 32. 3689-3697

Fitch A. and Du J. (1996) Solute Transport in Clay Media: Effect of Humic Acid. Environmental Science and Technology. 30. 12-15

Gitipour S., Bowers M.T. and Bodocsi A. (1997) The use of modified Bentonite for removal of aromatic organics from contaminated soil. Journal of Colloid and Interface Science. 196. 191-198

Goswai A.N., Sharma S.K., Nanoti A., Gupta T.C.S.M and Rawat B.S (1994) Removal of benzene from Hexane cut by liquid phase adsorption on activated carbon. Separation Process Technology Proceeding. 11. 229-241

Kulladapu R.K. and Boyd S.A. (1995) Tetramethylphosphonium- and Tetramethyl amethylammonium- Smectite as Adsorbents of Aromatic and Chlorinated Hydrocarbons: Effect of water on Adsorption Efficientcy. Clay and Clay Mineral. 43. 318-323

McCabe W.L., Smith J.C and Harriott P. (1993) Adsorption; Operation of Chemical Engineering. Mc-Graw Hill. 810-835

McKay G. (1996) Use of Adsorbent for the Removal of Pollutants from Wastewaters. CRC Press Inc., New York

Michot L.J. and Pinnavaia T.J. (1991) Adsorption of chlorinated phenols from aqueous solution by surfactant-modified pillared clays. Clays and clay minerals. 39. (6) . 634-641

Narkis N. and Rebhun M. (1975) The mechanism of flocculation process in the presence of humic substance. Journal of American Water Works Association. 71. (10). 588-603

Nzengung V.A., Voudrias E.A., Nkedi-kizza P., Wampler J.M. and Weaver C.E. (1996) Organic co-solvent effects on sorption equilibrium of hydrophobic organic chemicals by organoclays. Environmental Science and Technology. 30. 89-96

Sanchez-Camazano M. and Sanchez-Martin M.J. (1994) Organo-clays as adsorbents for azinphosmethyl and dichlorvos in aqueous medium. Water, Air and Soil Pollution. 74.19-28

Schnitzer M. and Khan S.U. (1972) Humic Substances in the Environment. Marcel Dekker Inc., New York. 253-279

Vansant E.F. (1994) Inorganic Porous Material. Separation Process Technology Proceeding. 11. 229-241

Wibulswas R., White D.A. and Rautiu R. (1999) Adsorption of phenolic compounds from water by surfactant-modified pillared clays. IChemE. 77. Part B. 88-92

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Output จากการวิจัย

จากงานวิจัยนี้ทำให้เกิดผลงานตีพิมพ์ และนำเสนอในการประชุมวิชาการดังต่อไปนี้

1. ปิยมาภรณ์ จารุวงศ์ และ รัตนวรรณ วิบูลย์สวัสดิ์. ผลของปริมาณคาร์บอนที่มีผลกระทบต่อปริมาณการดูดซับกรดฮิวมิก. การประชุมวิศวกรรมเคมี และเคมีประยุกต์ แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11. พฤศจิกายน 2544
2. ปิยมาภรณ์ จารุวงศ์ และ รัตนวรรณ วิบูลย์สวัสดิ์. การดูดซับกรดฮิวมิคโดยกระบวนการดูดซับแบบเบดนิ่งโดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับ. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3. กรกฎาคม 2545
3. R.Wibulswas. Batch and Fixed Bed Sorption of Methylene Blue on Montmorillonite and its Modified Forms. The 9th APCChE(Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering) Congress and CHEMECA 2002 New Zealand. September 2002

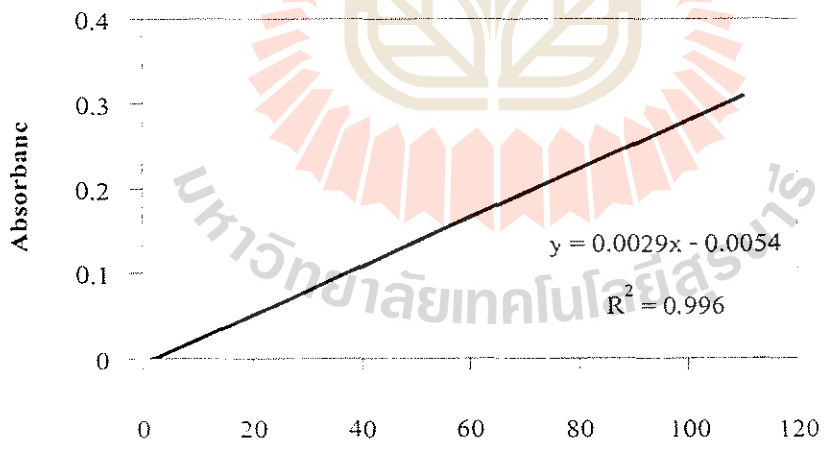
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐาน (Calibration Curve)

1. กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดฮิวมิก

ความเข้มข้นของสารละลายกรดฮิวมิก (mg/L)	Absorbance
0	0.00016
10	0.01695
20	0.04918
30	0.08570
40	0.10756
50	0.13331
60	0.16259
70	0.19035
80	0.24032
90	0.24926
100	0.2783
110	0.3059

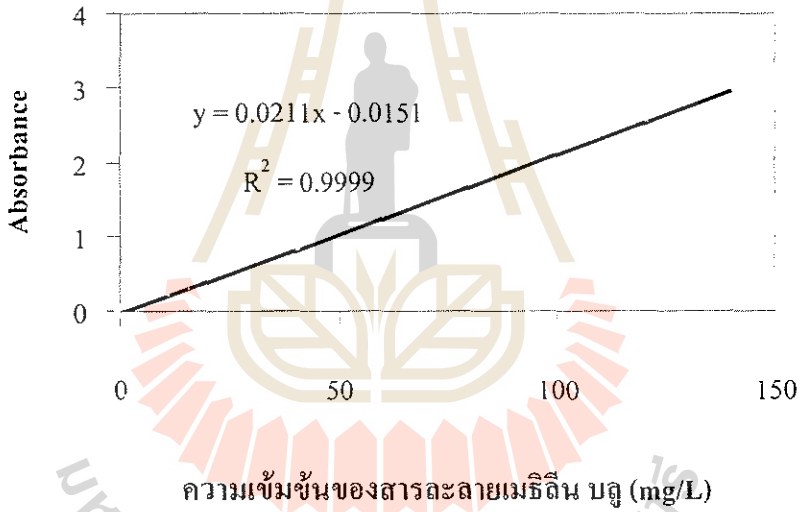


รูปที่ ก1 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกรดฮิวมิกกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 nm.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. กราฟมาตรฐานของสารละลายเมธิลีนบลู

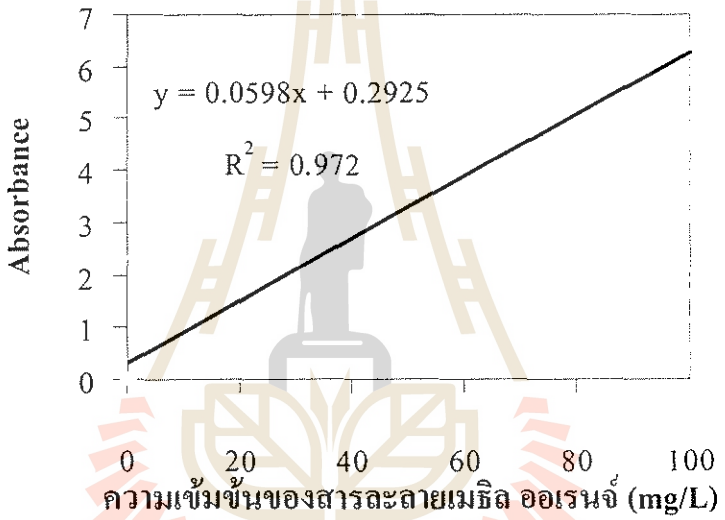
ความเข้มข้นของสารละลายเมธิลีนบลู (mg/L)	Absorbance
0	0
20	0.39965
40	0.82194
60	1.24703
80	1.673
100	2.10025
120	2.51648
140	2.94803



รูปที่ ก2 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเมธิลีน บลู กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 698 nm.

3 กราฟมาตรฐานของสารละลายเมธิล ออเรนจ์

ความเข้มข้นของสารละลายเมธิล ออเรนจ์ (mg/L)	Absorbance
0	0
20	1.54921
40	3.00201
60	4.30612
80	4.48928
100	6.34597

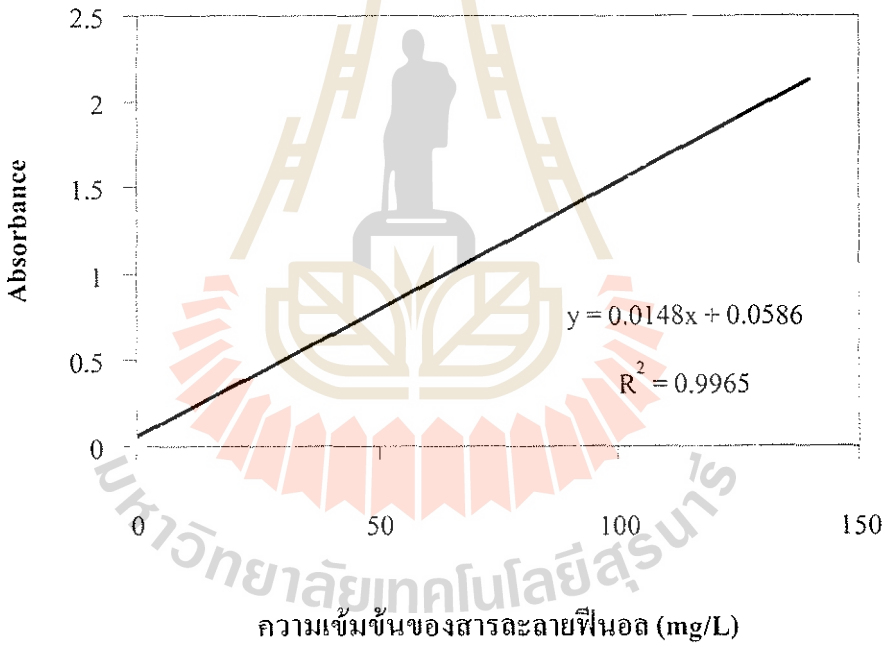


รูปที่ ก3 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเมธิล ออเรนจ์ กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 463 nm.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4. กราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล

ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล (mg/L)	Absorbance
0	0
20	0.3568
40	0.67585
60	1.00082
80	1.26784
100	1.50179
120	1.86752
140	2.0766

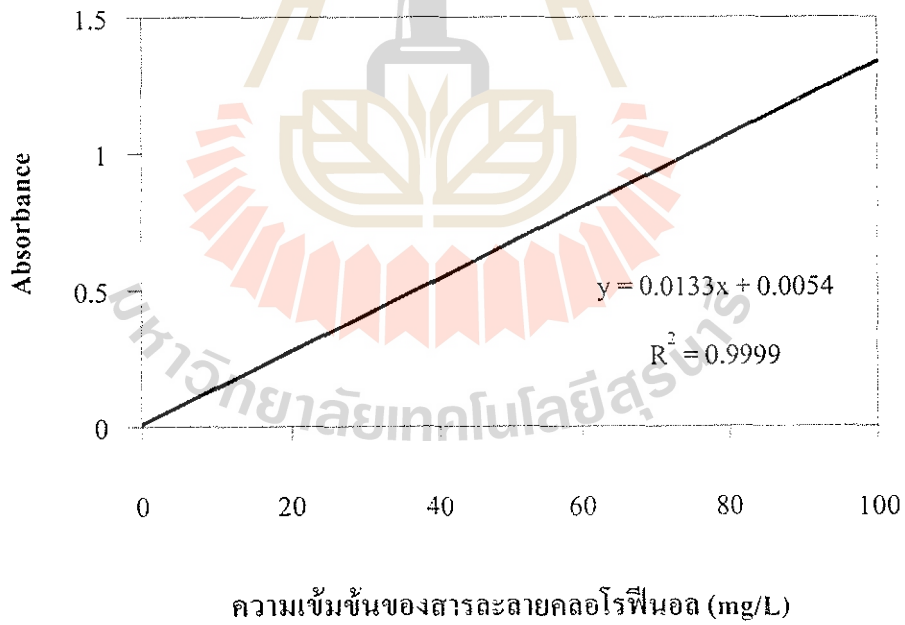


รูปที่ ก4 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 269 nm.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5. กราฟมาตรฐานของสารละลายคลอโรฟีนอล (3-monochlorophenol)

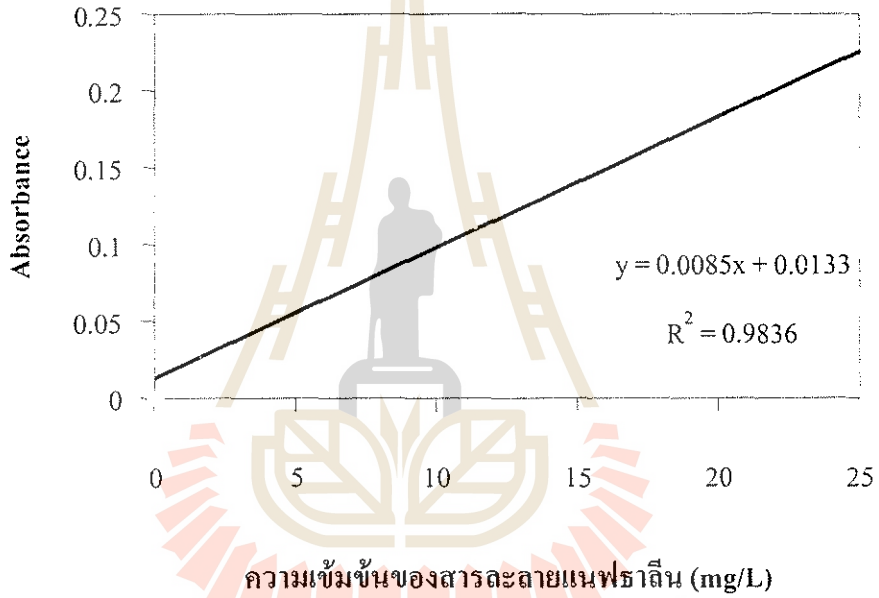
ความเข้มข้นของสารละลายคลอโรฟีนอล (mg/L)	Absorbance
0	0
10	0.1396
20	0.2615
30	0.4065
40	0.5430
50	0.6714
60	0.8084
70	0.9397
80	1.0696
90	1.2034
100	1.3314



รูปที่ ก5 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายคลอโรฟีนอล กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 274 nm.

6. กราฟมาตรฐานของสารละลายแนฟธาลีน

ความเข้มข้นของสารละลายแนฟธาลีน (mg/L)	Absorbance
0	0
5	0.05972
10	0.10798
15	0.1498
20	0.18402
25	0.21334



รูปที่ ก6 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายแนฟธาลีนกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 275 nm.

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

1. การดูดซับก๊าซไนโตรเจนของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย QACs แล้ว

ตารางที่ ข1 การดูดซับก๊าซไนโตรเจนของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

Relative Pressure(P/Po)	Vol Adsorbed (cm^3/g STP)	Relative Pressure (P/Po)	Vol Adsorbed (cm^3/g STP)
0.004225	9.230500	0.601009	21.780300
0.006248	9.941100	0.650945	22.666300
0.008235	10.397900	0.701167	23.691500
0.009968	10.683800	0.751080	24.945100
0.025715	12.055200	0.801025	26.609400
0.066029	13.291100	0.850701	28.999400
0.080077	13.645300	0.898250	32.861300
0.100478	14.088600	0.977283	56.964800
0.120574	14.481500	0.949773	50.148400
0.140620	14.844600	0.902098	42.485400
0.160720	15.187900	0.845399	37.333700
0.180875	15.512000	0.784888	33.670500
0.201039	15.816500	0.753492	32.189800
0.249875	16.544100	0.700918	30.168700
0.301590	17.295300	0.600122	27.233600
0.350692	18.019600	0.501267	24.882000
0.400760	18.769000	0.399628	18.326800
0.450911	19.511800	0.299862	16.764800
0.500944	20.251400	0.185926	15.035600
0.550999	21.000900	0.100805	13.508300

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข2 การดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ 100%CEC-TMA-clay

Relative Pressure (P/Po)	Vol Adsorbed (cm^3/g STP)	Relative Pressure (P/Po)	Vol Adsorbed (cm^3/g STP)
0.022407	18.335800	0.945455	42.942900
0.028767	19.526000	0.976428	51.546700
0.042811	20.185600	0.946580	48.306500
0.055476	20.620300	0.897587	44.849600
0.059466	20.914100	0.842426	42.447000
0.071849	21.285000	0.804553	41.226100
0.080863	21.506600	0.751400	39.865600
0.091813	21.738800	0.700969	38.776500
0.100817	21.843100	0.650495	37.844300
0.120473	22.213100	0.600725	36.989400
0.141464	22.578900	0.550871	36.101900
0.161711	22.906200	0.499843	35.266000
0.181757	23.222300	0.439195	28.034900
0.201606	23.512500	0.389769	27.441000
0.249921	24.128600	0.332977	26.913900
0.302390	24.723400	0.301235	26.603000
0.352652	25.268000	0.201744	25.520200
0.400770	25.779100	0.100113	24.093100
0.450982	26.304700	0.089383	23.806100
0.500958	26.834900	0.079287	23.618800
0.550994	27.409800	0.070814	23.451800
0.601401	28.013500	0.060466	23.216400
0.651027	28.701000	0.050251	22.960800
0.698732	30.053900	0.040530	22.650200
0.755927	31.191000	0.030941	22.121100
0.798331	32.303100	0.019025	21.518000
0.851122	34.139500	0.010499	20.821600
0.898394	37.103400		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข3 การดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ 200%CEC-TMA-clay

Relative Pressure (P/Po)	Vol Adsorbed (cm^3/g STP)	Relative Pressure (P/Po)	Vol Adsorbed (cm^3/g STP)
0.017203	23.006900	0.898804	42.704900
0.105250	26.069800	0.945838	49.267600
0.120797	26.459700	0.977112	58.648200
0.151189	27.080900	0.944253	54.834900
0.200844	27.899600	0.893795	51.113900
0.252001	28.660000	0.702801	44.588000
0.302345	29.325100	0.496393	39.948200
0.350277	29.935600	0.294390	30.530000
0.400425	30.553800	0.193409	29.224100
0.450536	31.144700	0.100160	27.594100
0.500477	31.744500	0.079403	27.125700
0.550508	32.382700	0.060307	26.626900
0.600631	33.068600	0.040516	25.974700
0.650570	33.837200	0.020184	24.954000
0.700607	34.734000	0.010117	24.059300
0.750460	35.837500	0.007632	23.705600
0.800421	37.275600	0.005978	23.393000
0.849934	39.332600		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข4 การดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ 200%CEC-HDTMA-clay

Relative Pressure (P/Po)	Vol Adsorbed (cm^3/g STP)	Relative Pressure (P/Po)	Vol Adsorbed (cm^3/g STP)
0.101224	0.398500	0.751827	2.239300
0.150402	0.465200	0.700230	1.853200
0.200353	0.529000	0.650246	1.572600
0.250605	0.569100	0.600253	1.342700
0.300399	0.610800	0.550165	1.153600
0.349941	0.650500	0.500222	0.976800
0.400354	0.692300	0.451324	0.638000
0.450362	0.729500	0.381465	0.571700
0.500246	0.772700	0.331169	0.524200
0.550277	0.818300	0.281149	0.471500
0.600268	0.869300	0.231125	0.424600
0.650214	0.930600	0.181119	0.370100
0.700101	1.009300	0.131115	0.305500
0.750077	1.118000	0.100338	0.254600
0.799978	1.276400	0.090303	0.235700
0.849763	1.547000	0.080214	0.210000
0.899117	2.098700	0.070220	0.195800
0.945903	3.642000	0.060488	0.171300
0.987632	10.425900	0.050296	0.144800
0.951900	6.875400	0.040380	0.114600
0.895040	4.471700	0.030114	0.075200
0.838203	3.266200	0.020396	0.025800
0.785067	2.571100		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับกรดฮิวมิก

ตารางที่ ข5 ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เวลาต่างๆเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ

เวลา (นาที)	0	20	50	80	110	140	170	200	230	500
ความเข้มข้นของ	160	99.6	91.7	89.7	81.3	89.2	88.2	91.1	94.6	
กรดฮิวมิก (mg/L)	200	149	145	149	145	139	134			117

ตารางที่ ข6 ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 100% CEC-HDTMA clay เป็นตัวดูดซับ

เวลา (นาที)	0	30	60	90	120	150
ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	150	60.125	43.875	33.167	29.958	36.917

ตารางที่ ข7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	18.6	47.47	68.20	104.46	140.84	174.96
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	17.81	27.112	43.163	46.278	49.304	54.202

ตารางที่ ข8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	19.02	37.28	56.34	87.08	121.53	146.94
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	17.48	35.60	53.05	60.77	65.39	77.55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	5.86	22.25	51.36	61.08	105.06	133.95
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	28.45	48.12	57.20	79.94	79.12	88.38

ตารางที่ ข10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	0.629	5.756	14.588	29.414	49.897	75.035
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	32.81	61.87	87.85	108.82	125.09	137.47

ตารางที่ ข11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 50%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	24.3	63.5	97.6	137.2	198.8	293.7	372.3
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	76.9	109.5	157.1	188.4	303.6	319	383.1

ตารางที่ ข12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 100%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	22.56	53.13	73.29	172.32	255.58	350.07
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	82.33	140.60	230.12	383.04	433.25	449.8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 200%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	19.81	50.9	71.75	94.944	159.15	227
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	90.583	147.31	234.75	315.17	422.54	519

ตารางที่ ข14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 100%CEC-BDHDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-BDHDMA-clay

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	38.9	91.5	150.79	238.792	298.958
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	183.25	325.5	447.625	483.625	603.125

ตารางที่ ข15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 200%CEC-BDHDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-BDHDMA-clay

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	19.81	50.9	71.75	94.94	159.152
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	90.583	147.312	234.75	315.167	422.542

ตารางที่ ข16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบน 100%CEC-TMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TMA-clay

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	28.0277	69.5833	115.764	157.014	199.653
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	18.3102	25.3472	28.5301	35.82	41.956

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข17 % การดูดซับกรดฮิวมิกของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่ pH ต่างๆ

ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	% การดูดซับกรดฮิวมิก		
	pH = 3	pH = 8	pH = 11
40	69.39	53.43	5.1
80	63.64	40.67	19.9
120	58.37	43.16	11.88
160	53.04	34.71	15.16
200	54.71	29.58	12
240	48.29	27.1	19.1

ตารางที่ ข18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิ 293 K

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	15.46	35.584	57.624	77.584	107.3	137.14
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	20.45	37.013	51.98	68.68	77.25	85.72

ตารางที่ ข19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิ 303 K

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	20.748	44.288	72.78	94.832	134.24	164.13
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	16.043	29.76	39.35	54.307	54.8	63.22

ตารางที่ ข20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณกรดฮิวมิกบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิ 313 K

ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (mg/L)	17.376	43.624	71.292	93.376	130.42	159.86
ปริมาณกรดฮิวมิกบนตัวดูดซับ (mg/g)	18.853	30.313	40.59	55.52	57.983	66.78

3. ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับเมธิลีนบลู

ตารางที่ ข21 ความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เวลาต่างๆเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ

เวลา (นาที)	0	15	45	75	105	135
ความเข้มข้นของ	100	26.6215	25.643	18.9145	40.678	15.4495
เมธิลีนบลู (mg/L)	200	125.9725	133.31	113.9495	115.0245	117.676

ตารางที่ ข22 ความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 50% CEC-HDTMA clay เป็นตัวดูดซับ

เวลา (นาที)	0	15	45	60	75	105	120	135	180	240	300
ความเข้มข้นของ	100	100	91.3	63.6			53.5		52.3	49.4	44.9
เมธิลีนบลู (mg/L)	200	194	183		178	164	153	158	149	148	142

ตารางที่ ข23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	8.575	42.64	93.763
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	274.28	322.08	318.71

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	4.0405	38.749	75.747	122.506
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	137.8785	183.753	222.759	232.482

ตารางที่ ข25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	5.712	30.87	81.243	125.4675
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	132.864	207.39	206.71	223.5975

ตารางที่ ข26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	24.317	63.994	125.126	163.937
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	51.366	36.006	16.583	16.259

ตารางที่ ข27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 50%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	1.51659	1.97156	13.26007	30.5545	46.44076
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	56.54	114.085	140.218	148.3365	160.6777

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 100%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	0.88626	3.236967	9.952607	24.8673	42.85782
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	57.3412	110.2891	150.1422	165.3981	171.4265

ตารางที่ ข29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 200%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	0.88626	1.753556	6.853081	19.94313	32.9763
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	57.3412	114.7393	159.4408	180.1706	201.0711

ตารางที่ ข30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 100%CEC-TMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	0.77	0.89	0.86	1.74	4.68	8.88	31.9	49.0
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	28.8	58.7	88.7	117	142	166	162	166

ตารางที่ ข31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 200%CEC-TMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	1.346	1.621	1.749	14.74	45.87	81.46	117.9
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	27.98	87.57	147.4	187.9	201.2	207.8	213.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข32 % การดูดซับเมธิลีนบลูที่ pH ต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	% การดูดซับเมธิลีนบลู		
	pH = 2	pH = 7	pH = 12
มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ	93	98.519	93.376
50%CEC-HDTMA-clay	50.247	83.832	92.922
100%CEC-HDTMA-clay	43.958	61.833	89.785

ตารางที่ ข33 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิ 288 K

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	0.971	19.714	46.998	98.349
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	147.087	240.86	309.036	304.953

ตารางที่ ข34 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบนมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิ 308 K

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	5.1495	33.478	61.885	113.352
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	134.5515	199.566	264.345	259.944

ตารางที่ ข35 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 288 K

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	19.3495	48.058	96.315	154.905
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	91.952	155.832	161.055	135.285

ตารางที่ ข36 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 308 K

ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู (mg/L)	10.083	47.186	92.236	138.349
ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับ (mg/g)	119.751	158.444	173.292	184.953

4. ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับเมธิล ออเรนจ์

ตารางที่ ข37 ความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 100% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับ

เวลา (นาที)	0	60	120	180	240	300	360	420	480
ความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ (mg/L)	40	24.62	12.25	7.929	6.616	6.552	4.781	4.882	4.406
	80	82.41	68.51	66.29	56.26	47.43	50.83	43.14	46.69

ตารางที่ ข38 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ (mg/L)	2.23	8.24	7.63	14.4	26.5	38.1	52.2	57.2
ปริมาณเมธิลออเรนจ์บนตัวดูดซับ (mg/g)	7.77	11.7	22.4	25.6	23.5	22	17.8	22.8

ตารางที่ ข39 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ (mg/L)	0.277	0.7955	1.5345	3.3058	17.258	18.268	24.75	27.306
ปริมาณเมธิลออเรนจ์บนตัวดูดซับ (mg/g)	9.723	19.204	28.465	36.694	32.742	41.732	45.25	52.694

ตารางที่ ข40 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ (mg/L)	2.213	1.793	14.04	34.24	30.37	43.55	43.99
ปริมาณเมธิลออเรนจ์บนตัวดูดซับ (mg/g)	17.79	28.21	25.96	15.76	29.63	26.45	36.01

ตารางที่ ข41 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 50%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ (mg/L)	12.30268	14.41304	15.03679	19.3612	26.02007
ปริมาณเมธิลออเรนจ์บนตัวดูดซับ (mg/g)	27.69732	65.58696	104.9632	140.6388	173.9799

ตารางที่ ข42 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 100%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ (mg/L)	18.73244	25.47826	30.09365	38.90301	42.85782
ปริมาณเมธิลออเรนจ์บนตัวดูดซับ (mg/g)	61.26756	94.52174	129.9064	161.0967	171.4265

ตารางที่ ข43 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 200%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ (mg/L)	12.37291	21.52508	22.70903	26.3411
ปริมาณเมธิลออเรนจ์บนตัวดูดซับ (mg/g)	67.62709	98.47492	137.291	173.7659

สถาบันเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข44 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 100%CEC-BDHDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-BDHDMA-clay

ความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ (mg/L)	0.23	3.45	13.2	22.5	33.3	51.3	69.5	89.3	110	130
ปริมาณเมธิลออเรนจ์บนตัวดูดซับ (mg/g)	19.5	33.0	33.5	34.9	33.2	37.2	40.8	41.3	39.1	38.2

ตารางที่ ข45 % การดูดซับเมธิลออเรนจ์ของ 100%CEC-HDTMA-clay ที่ pH ต่างๆ

ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมธิลออเรนจ์ (mg/L)	% การดูดซับเมธิลออเรนจ์		
	pH = 3.3	pH = 7.8	pH = 11.5
40	97.1374	92.3147	89.901
80	73.5739	54.5375	63.4585

ตารางที่ ข46 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 293 K

ความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ (mg/L)	0.44	1.01	1.22	2.21	5.83	12.4	15.6	16.0
ปริมาณเมธิลออเรนจ์บนตัวดูดซับ (mg/g)	9.55	19.0	28.8	37.8	44.2	47.6	54.4	64.0

ตารางที่ ข47 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลออเรนจ์บน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 313 K

ความเข้มข้นของเมธิลออเรนจ์ (mg/L)	0.09	0.61	2.82	9.49	19.8	21.9	21.2	33.4
ปริมาณเมธิลออเรนจ์บนตัวดูดซับ (mg/g)	9.91	19.4	27.2	30.5	30.4	38.1	48.8	46.6

5. ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับฟีนอล

ตารางที่ ข48 ความเข้มข้นของฟีนอลที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 100% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับ

เวลา (นาที)	0	60	120	180	240	300
ความเข้มข้นของ	60	47.14765	46.9381	46.56911	46.48975	46.06367
ฟีนอล (mg/L)	120	117.1503	113.8872	111.4282	111.1539	109.8277

ตารางที่ ข49 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 100%CEC-TMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TMA-clay

ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	78.9662	97.541	104.4189189
ปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	0.516891892	1.22972973	7.790540541

ตารางที่ ข50 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	13.13	32.53	50.29	68.62	85.84	102.1	116.3
ปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	3.433	3.734	4.855	5.689	7.077	8.944	11.86

ตารางที่ ข51 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	12.71	32.68	49.75	70.79	85.37	104.1	123.7
ปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	3.645	3.663	5.126	4.603	7.315	7.931	8.160

ตารางที่ ข52 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	11.91	31.25	48.55	69.10	89.08	107.2	127.6
ปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	4.045	4.377	5.728	5.452	5.459	6.403	6.184

ตารางที่ ข53 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 50%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	35.50676	55.89189	76.04054	95.58784	113.8581
ปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	4.493243	4.108108	3.959459	4.412162	6.141892

ตารางที่ ข54 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 100%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	37.29054	56.21622	74.91216	94.2973	114.223
ปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	2.709459	3.783784	5.087838	5.702703	5.777027

ตารางที่ ข55 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 200%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	35.73	55.22297	75.27703	94.39189	113.1486
ปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	4.27027	4.77027	4.722973	5.608108	6.851351

ตารางที่ ข56 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 100%CEC-BDHDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-BDHDMA-clay

ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	ปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	ปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)
9.31818	1.363636364	67.5325	4.935064935
18.9805	2.038961039	86.6169	6.766233766
28.8961	2.207792208	105.487	9.025974026
38.7143	2.571428571	123.266	13.46753247
48.2013	3.597402597	142.494	15.01298701

ตารางที่ ข57 % การดูดซับฟีนอลของ 200%CEC-HDTMA-clay ที่ pH ต่างๆ

ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล (mg/L)	% การดูดซับฟีนอล		
	pH = 2.58	pH = 7.5	pH = 12.04
40	17.9757	17.934	47.10309

ตารางที่ ข58 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 293 K

ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	12.73	30.49	50.38	67.21	87.17	103.5	124.3
ปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	3.636	4.754	4.811	6.398	4.416	8.272	7.841

ตารางที่ ข59 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 303 K

ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	12.45	31.88	47.61	67.72	86.66	106.3	119.8
ปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	3.775	4.059	6.196	6.140	6.671	6.832	10.08

ตารางที่ ข59 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณฟีนอลบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 313 K

ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	12.42	32.42	53.06	70.02	92.72	111.0	126.4
ปริมาณฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	3.789	3.792	3.471	4.989	3.64	4.534	6.782

6. ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับคลอโรฟีนอล (3-monochlorophenol)

ตารางที่ ข60 ความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 200% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับ

เวลา (นาที)	0	60	120	180	240	300	360	420	480
ความเข้มข้นของ	100	75.07	60.51	66.80	66.98	67.36	55.97	58	56.38
คลอโรฟีนอล (mg/L)	200	152.1	151.3	146.5	145.6	130.4	136.4	147	142.6

ตารางที่ ข61 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 100%CEC-TMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TMA-clay

ความเข้มข้นของคลอโรฟีนอล (mg/L)	97.511	192.541	239.962	291.541	332.237
ปริมาณคลอโรฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	3.733	11.188	15.056	12.688	26.645

ตารางที่ ข62 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 200%CEC-TMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TMA-clay

ความเข้มข้นของคลอโรฟีนอล (mg/L)	97.8	148.	192	242	293	336	383	428
ปริมาณคลอโรฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	3.24	2.79	11.6	11.1	10.4	20.9	25.4	33.2

ตารางที่ ข63 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของคลอโรฟีนอล (mg/L)	25.6653	50	75.3306	96.6048	128.528
ปริมาณคลอโรฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	4.33468	10	14.6694	23.3952	21.4718

ตารางที่ ข64 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของคลอโรฟีนอล (mg/L)	19.2258	38.4153	58.8911	80.8185	102.851
ปริมาณคลอโรฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	10.7742	21.5847	31.1086	39.1815	47.1492

ตารางที่ ข65 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของคลอโรฟีนอล (mg/L)	12	25	40.6	60.4	80.4	96.3	188	231
ปริมาณคลอโรฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	18	35	49.4	59.6	69.6	80.5	92.1	102

ตารางที่ ข66 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 50%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของคลอโรฟีนอล (mg/L)	25.5726	47.9919	75.6452	94.1653	119.254
ปริมาณคลอโรฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	4.42742	12.0081	14.3548	25.8347	30.7460

ตารางที่ ข67 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 200%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของคลอโรฟีนอล (mg/L)	23	45.2218	65.0565	87.1452	110.685
ปริมาณคลอโรฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	7	14.7782	24.9435	32.8548	39.3145

ตารางที่ ข68 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟีนอลที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณคลอโรฟีนอลบน 100%CEC-BDHDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-BDHDMA-clay

ความเข้มข้นของคลอโรฟีนอล (mg/L)	ปริมาณคลอโรฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)	ความเข้มข้นของคลอโรฟีนอล (mg/L)	ปริมาณคลอโรฟีนอลบนตัวดูดซับ (mg/g)
4.814516	10.37096774	43.87097	52.25806452
10.45161	19.09677419	62.1129	55.77419355
14.98387	30.03225806	78.41129	63.17741935
23.03226	33.93548387	94.47581	71.0483871
29.08065	41.83870968	114.0403	71.91935484

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

7. ความสามารถของมอนต์มอริลโลไนต์ในการดูดซับแนฟธาลีน

ตารางที่ ข69 ความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ 150% CEC-HDTMA-clay เป็นตัวดูดซับ

เวลา (นาที)	0	10	40	70	100	130
ความเข้มข้นของ	10	5.6	3.49	3.943529	3.49	4.21
แนฟธาลีน (mg/L)	20	7.932941	5.407059	6.710588	6.328235	5.929412

ตารางที่ ข70 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 50%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของแนฟธาลีน (mg/L)	1.99765	6.23176	9.38471	13.1435	14.8753
ปริมาณแนฟธาลีนบนตัวดูดซับ (mg/g)	6.00471	7.53647	11.2306	13.7129	20.2494

ตารางที่ ข71 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 100%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของแนฟธาลีน (mg/L)	2.94824	4.34235	6.86235	12.13765
ปริมาณแนฟธาลีนบนตัวดูดซับ (mg/g)	14.10353	21.31529	26.27529	25.72471

ตารางที่ ข72 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 200%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-HDTMA-clay

ความเข้มข้นของแนฟธาลีน (mg/L)	3.49647	6.84235	9.75529	14.3506	16.7871
ปริมาณแนฟธาลีนบนตัวดูดซับ (mg/g)	3.00706	6.31529	10.4894	11.2988	16.4259

ตารางที่ ข73 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 50%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 50%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของแนฟธาลีน (mg/L)	3.33	6.12538	8.02141	9.83486	11.0428
ปริมาณแนฟธาลีนบนตัวดูดซับ (mg/g)	5	11.6239	20.9358	30.4954	41.8716

ตารางที่ ข74 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 100%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของแนฟธาลีน (mg/L)	3.18654	5.16514	6.7737	7.81346	9.19877
ปริมาณแนฟธาลีนบนตัวดูดซับ (mg/g)	5.44037	14.5046	24.6789	36.5596	47.4037

ตารางที่ ข75 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 200%CEC-TDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 200%CEC-TDMA-clay

ความเข้มข้นของแนฟธาลีน (mg/L)	3.3	5.18949	6.72171	7.93578	9.29664
ปริมาณแนฟธาลีนบนตัวดูดซับ (mg/g)	5	14.4495	24.8349	36.1927	47.1101

ตารางที่ ข76 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 100%CEC-BDHDMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 100%CEC-BDHDMA-clay

ความเข้มข้นของแนฟธาลีน (mg/L)	0.31579	1.3	2.55639	3.45865	4.06015
ปริมาณแนฟธาลีนบนตัวดูดซับ (mg/g)	9.36842	17	24.8872	33.0827	41.8797

ตารางที่ ข77 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 150%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 150%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 288 K

ความเข้มข้นของแนฟธาลีน (mg/L)	2.118824	4.978824	7.467059	10.95412
ปริมาณแนฟธาลีนบนตัวดูดซับ (mg/g)	2.118824	4.978824	7.467059	10.95412

ตารางที่ ข78 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแนฟธาลีนที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณแนฟธาลีนบน 150%CEC-HDTMA-clay ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของ 150%CEC-HDTMA-clay ที่อุณหภูมิ 313 K

ความเข้มข้นของแนฟธาลีน (mg/L)	0.96588	4.11177	6.33412	10.4141	12.2965
ปริมาณแนฟธาลีนบนตัวดูดซับ (mg/g)	8.06824	11.7765	17.3318	19.1718	25.4071

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ ดร. รัตนวรรณ วิบูลย์สวัสดิ์

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ที่อยู่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา

โทร (044) 224-491 โทรสาร (044) 224-220

E-mail ratanawa@ccs.sut.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	ชื่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันศึกษา	ประเทศ
2542	ปริญญาเอก	PhD	วิศวกรรมเคมี	Imperial College	อังกฤษ
2539	ปริญญาโท	MSc.	วิศวกรรมเคมี	Imperial College	อังกฤษ
2537	ปริญญาตรี	วทบ. (เกียรตินิยม)	เคมีเทคนิค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย

ผลงานวิจัยตีพิมพ์ (Selected Publication)

1. R.Wibulswas, D.A. White and R.Rautiu, **Removal of Humic Substances from water by Alumina-based Pillared Clays**, *Environmental Technology*, **19**, 627-632 (1998)
2. R.Wibulswas, D.A. White and R.Rautiu, **Adsorption of Phenolic Compounds from water by Surfactant-modified Pillared Clays**, *ICemE*, 77, Part B, 88-92 (1999)
3. R.Wibulswas, *Removal of Organic Compounds from Water using Modified Montmorillonite*, PhD thesis, Imperial College of Science Technology and Medicine London (September 1999)
4. D.A.White, G.Onkal-Engin and R.Wibulswas, **Simulation of the Errors in Equilibrium Correlations Using the Langmuir and BET Isotherms**, *Separation Science and Technology*, **35**(3), 367-377 (2000)
5. G.Onkal-Engin, R.Wibulswas and D.A. White. **Humic Acid Uptake from Aqueous media using Hydrotalcite and modified Montmorillonite**. *Environmental Technology*, **21**, 167-175 (2000)

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี