

รหัสโครงการ SUT7-706-50-12-69



รายงานการวิจัย

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็ก
เพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว
(Synthesis of Magnetic Clay for Contaminants Removal from Water)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผศ.ดร.รัตนวรรณ (วิบูลย์สวัสดิ์) เกียรติโกมล

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2550

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่ผู้เดียว

กุมภาพันธ์ 2552

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยเรื่องการดูดซับเมธิลินบลูด้วยตัวดูดซับที่มีสมบัติทางแม่เหล็ก (Magnetic adsorbents) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับเมธิลินบลูทั้งในสภาวะปกติและในสภาวะแม่เหล็กของตัวดูดซับ 4 ชนิด ดังต่อไปนี้ แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite Clays) ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก (Magnetic clay 1:1 และ Magnetic clay 1.5:1) และ ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก (Magnetic activated carbon 1:1, Magnetic activated carbon 1.5:1 และ Magnetic activated carbon 2:1) การเตรียมตัวดูดซับที่มีสมบัติทางแม่เหล็กทำได้โดยเติมตัวดูดซับลงในสารละลาย FeCl_3 และ FeSO_4 จากนั้นปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายด้วยสารละลาย NaOH เพื่อให้ Fe_2O_3 ตกตะกอนที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของตัวดูดซับ: Fe_2O_3 เป็น 1:1, 1.5:1 และ 2:1. จากนั้นศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับตัวดูดซับเริ่มต้น เช่น หาพื้นที่ผิวโดยใช้ Micromeritics ASAP 2010, หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF และหาระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างของแร่ดินด้วยเทคนิค XRD ซึ่งพบว่า ปริมาณองค์ประกอบเหล็กของ Magnetic adsorbents เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวดูดซับเริ่มต้น

ขั้นตอนการศึกษาการดูดซับเมธิลินบลูด้วยตัวดูดซับที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเริ่มจากการหาอัตราส่วนระหว่างของเหลวและของแข็ง (Solid / Liquid Ratio) ที่เหมาะสม ซึ่งก็คือปริมาตรของเหลว 250 มิลลิลิตรและของแข็ง 1 กรัม ในการทดลองหาระยะเวลาในการตกตะกอนของตัวดูดซับพบว่า การทดลองในสภาวะแม่เหล็กตัวดูดซับใช้ระยะเวลาในการตกตะกอนน้อยกว่าในสภาวะปกติ โดยตัวดูดซับที่ใช้ระยะเวลาการตกตะกอนน้อยที่สุด คือ Magnetic activated carbon 1:1 < activated carbon < magnetic activated carbon 1.5:1 < magnetic activated carbon 2:1 และ Magnetic clay 1:1 < Magnetic clay 1.5:1 ในส่วนการดูดซับเมธิลินบลูของตัวดูดซับต่างๆ ได้แก่ การดูดซับเมธิลินบลูด้วย Activated carbon และ Magnetic activated carbon ผลการทดลองปรากฏว่าการดูดซับของ Activated carbon > magnetic activated carbon 1:2 > magnetic activated carbon 1:1.5 > Magnetic activated carbon 1:1 การดูดซับเมธิลินบลูด้วย Clay และ Magnetic clay ผลการทดลองปรากฏว่าการดูดซับของ Magnetic clay 1:1 > Magnetic clay 1:1.5 > clay และสามารถนำตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับแล้วกลับมาใช้ในการดูดซับใหม่ได้

คำสำคัญ

Activated carbon, Magnetic activated carbon, Clay, Magnetic clay, Methylene blue, Adsorption

ABSTRACT

This work describes a preparation and use of magnetic adsorbent materials from Montmorillonite clay and activated carbon for the removal of methylene blue, which is one of the cationic dyes, from water. The synthesis of magnetic adsorbent materials involved mixing a solution containing FeCl_3 and FeSO_4 with either the precursor Montmorillonite or the activated carbon and using NaOH to form a magnetic precipitate as Fe_2O_3 . The Montmorillonite: iron oxide weight ratios were varied to be 1:1, 1.5:1 and 2:1. The produced magnetic materials and, for comparison, the starting Montmorillonite were characterized in term of interlayer spacing (d_{001}), chemical compositions and surface area using X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF) and BET N_2 sorption by Micromeritics ASAP 2010 respectively. From the XRF results, amount of iron content in the produced magnetic composites were considerably increased from the precursor clay. This result confirms the combination of ferric compounds into the mineral and activated carbon structure. Besides, from the BET N_2 adsorption, the surface area of the magnetic materials was significantly different from those of the raw clay and the starting activated carbon. Moreover, from the XRD data, the higher load of iron components in the magnetic products was the lower their interlayer spacing.

In addition, the settling time of pristine and magnetic materials were found in the normal and magnetic environments. Afterward, the uptake of methylene blue in both batch and fixed bed system were designed to illustrate application of the magnetic sorbents in water treatment. The batch experimental data fitted well with the Langmuir isotherm and the sorption capacity of magnetic adsorbents towards methylene blue was calculated. The results showed that the presence of iron oxide in adsorbents affects their sorption capacities toward methylene blue. Rates of methylene blue uptake by magnetic materials conformed to pseudo-second order kinetics model. The regeneration of magnetic materials was possible.

Keywords

Activated carbon, Magnetic activated carbon, Clay, Magnetic clay, Methylene blue, Adsorption

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ปรีทัศน์วรรณกรรม	
แร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์.....	4
Point of Zero charge.....	8
ถ่านกัมมันต์.....	10
เมธิลินบลู.....	15
กระบวนการดูดซับ.....	15
โมเดลจลนพลศาสตร์การดูดซับ.....	18
โมเดลการดูดซับ.....	19
การตกตะกอน.....	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	25
การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก.....	26
การสังเคราะห์แร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก.....	26
การศึกษาสมบัติกายภาพของแร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic materials.....	27
การหาเวลาในการตกตะกอน.....	27

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ปรีทัศน์วรรณกรรม	
แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์.....	4
Point of Zero charge.....	8
ถ่านกัมมันต์.....	10
เมธิลีนบลู.....	15
กระบวนการดูดซับ.....	15
โมเดลจลนพลศาสตร์การดูดซับ.....	18
โมเดลการดูดซับ.....	19
การตกตะกอน.....	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	25
การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก.....	26
การสังเคราะห์แร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก.....	26
การศึกษาสมบัติกายภาพของแร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic materials.....	27
การหาเวลาในการตกตะกอน.....	27

สารบัญ (ต่อ)

การดูดซับเมธิลีนบลู.....	28
การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับเมธิลีนบลู.....	29
การนำแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic Materials กลับมาใช้ใหม่.....	30
การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายเมธิลีนบลู.....	30
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
ผลการสังเคราะห์ Magnetic materials.....	32
สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ Magnetic materials.....	32
การตกตะกอนในสภาวะปกติและสภาวะแม่เหล็ก.....	40
จลนพลศาสตร์การดูดซับเมธิลีนบลู.....	40
การดูดซับเมธิลีนบลู.....	44
ประสิทธิภาพของตัวดูดซับภายหลังการ Regenerate.....	50
บทที่ 5 บทสรุป	
สรุปผลการวิจัย	52
ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	55
ภาคผนวก ข	67
ประวัติผู้วิจัย	69

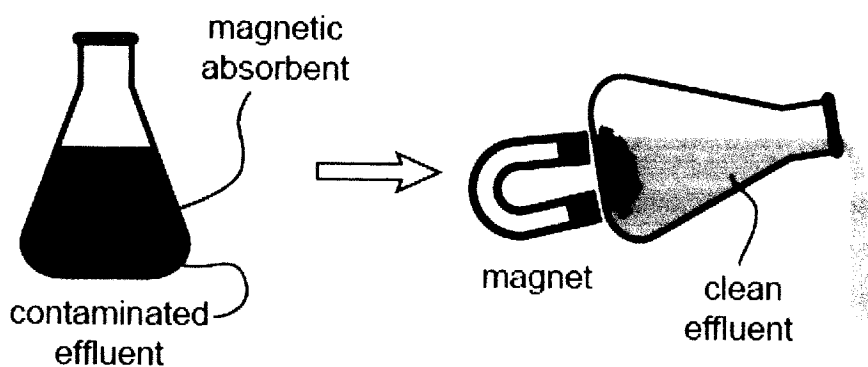
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในกระบวนการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากของเหลวนั้น วิธีหนึ่งที่นิยมใช้แยกคือการใช้ตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง เช่น ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) และ แร่ดินมอนมอริลโลไนต์ (Montmorillonite Clay) ซึ่งตัวดูดซับทั้งสองประเภทนี้มีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวสูง อีกทั้งยังมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ราคาถูก และพบได้ในประเทศไทย โดยปกติแล้วตัวดูดซับแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดซับแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ดูดซับและสภาวะของระบบ แต่ปัญหาที่พบในการใช้แร่ดินมอนมอริลโลไนต์ในกระบวนการดูดซับคือ ระยะเวลาในการรอให้แร่ดินมอนมอริลโลไนต์ที่เป็นของแข็งตกตะกอนจากของเหลวใช้เวลานาน ดังนั้นจึงได้มีการหาทางเลือกในการแก้ปัญหาโดยการปรับปรุงตัวดูดซับให้มีคุณสมบัติทางเหล็กเพื่อให้ตัวดูดซับตกตะกอนเร็วขึ้นเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 1.1

การปรับปรุงตัวดูดซับให้มีองค์ประกอบทางเหล็กทำได้โดยการใช้สารที่มีองค์ประกอบของเหล็กเป็นตัวปรับปรุงคุณภาพเช่น FeCl_3 และ FeSO_4 ในโครงการนี้จะปรับปรุงตัวดูดซับ 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) และแร่ดินมอนมอริลโลไนต์ (Montmorillonite Clay) ตัวดูดซับที่นำมาปรับปรุงให้มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กแล้วจะเรียกว่า Magnetic materials ได้แก่ Magnetic clays และ Magnetic activated carbons



รูปที่ 1.1 Magnetic composite separation

จากนั้นนำ Magnetic materials ที่สังเคราะห์ได้มาทดสอบความสามารถในการดูดซับสารปนเปื้อนจากน้ำ โดยในงานวิจัยนี้เลือกดูดซับสี Methylene blue ซึ่งเป็นสีอินทรีย์ที่มีประจุบวก และทำการเปรียบเทียบความสามารถการดูดซับของ Magnetic materials ที่สังเคราะห์ได้กับถ่านกัมมันต์ดั้งเดิม และแร่ดินมอนมอริลโลไนต์ธรรมชาติ

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการสังเคราะห์แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์และถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางเหล็ก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของปริมาณ FeCl_3 และ FeSO_4 ที่นำมาปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์และถ่านกัมมันต์ต่อความสามารถในการดูดซับเมธิลินบลูในน้ำ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับเมธิลินบลูของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์และถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการดูดซับเมธิลินบลูในสภาวะปกติและสภาวะแม่เหล็กของตัวดูดซับทั้ง 4 ชนิด ดังนี้
 - แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite)
 - ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)
 - แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีคุณสมบัติทางเหล็ก (Magnetic clay 1:1, Magnetic clay 1.5:1)
 - ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางเหล็ก (Magnetic activated carbon 1:1, Magnetic activated carbon 1.5:1 , Magnetic activated carbon 2:1)
- 1.2.5 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตัวดูดซับในข้อ 1.2.4 กลับมาใช้ใหม่โดยผ่านกระบวนการทางความร้อน (Regeneration)

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ และ Magnetic materials ไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะเกิดการดูดซับในสภาวะปกติหรือสภาวะแม่เหล็ก
- ตัวดูดซับแต่ละชนิดที่ศึกษามีความสามารถในการดูดซับเมธิลินบลูต่างกัน
- ตัวดูดซับที่นำมาปรับปรุงให้มีคุณสมบัติทางเหล็กใช้ระยะเวลาในการตกตะกอนน้อยกว่าตัวดูดซับที่ยังไม่ได้ปรับปรุงเมื่ออยู่ในสภาวะแม่เหล็ก
- การนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่โดยผ่านกระบวนการทางความร้อน (Regenerate) ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนไป และไม่เปลี่ยนแปลงสารประกอบเหล็กใน Magnetic materials

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- คัดขนาดแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์จนได้ช่วงขนาดอนุภาคน้อยกว่า $106 \mu\text{m}$
- เปลี่ยนแปลงสมบัติของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์โดยทำปฏิกิริยากับสารที่มีองค์ประกอบของเหล็กเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติของแร่ดิน

- ทดลองหาเวลาในการตกตะกอนของแร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ แร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ที่มีคุณสมบัติทางเหล็ก ถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางเหล็ก ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่มีสนามแม่เหล็ก
- ดำเนินการทดลองโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ แร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ที่มีคุณสมบัติทางเหล็ก ถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางเหล็ก เป็นตัวดูดซับเมธิลินบลูซึ่งเป็นสีที่มีประจุบวกทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่มีสนามแม่เหล็ก
- วิเคราะห์ผลการดูดซับโดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectronic20) เพื่อหาความเข้มข้นของเมธิลินบลูในสารละลาย และเปรียบเทียบความสามารถการดูดซับของแร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ แร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ที่มีคุณสมบัติทางเหล็ก ถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางเหล็ก ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่มีสนามแม่เหล็ก
- นำตัวดูดซับแต่ละชนิดมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ เช่น การหาพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน การวิเคราะห์หาลักษณะประกอบทางเคมี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เป็นแนวทางในศึกษาการกำจัดสารเจือปนในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ใช้อยู่เดิม
- ลดระยะเวลาในการตกตะกอนของแร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ในระบบของเหลวภายหลังการดูดซับ

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรม

2.1 แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์

แร่ดินเป็นแร่ที่พบในตะกอนและการสลายตัวของเก้าภูเขาไฟ แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์จัดอยู่ในกลุ่มแร่ซิลิเกตที่เป็นแผ่นอยู่ในสภาพคอลลอยด์ ผลึกแร่ดินแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

ก. แร่ดินซิลิเกต (Silicate Clays) ได้แก่แร่ดินที่มีอลูมิเนียมและซิลิเกตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมีโครงสร้างเป็นแผ่นซ้อนๆ กัน

ข. แร่ดินที่มีส่วนผสมของเหล็กและอลูมิเนียม (Iron and Aluminum Clays) ได้แก่ แร่ดินที่มีเหล็กและอลูมิเนียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ

แร่ดินซิลิเกต (Silicate) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

ก. กลุ่มแร่ดินขาว (Kaolinite Group) เป็นดินเหนียวแบบ 1:1 คือมีแผ่นอลูมินาและแผ่นซิลิกาอย่างละแผ่นประกอบเป็น 1 หน่วย

ข. กลุ่มสเมคไทต์ (Smectite or Montmorillonite) เป็นดินเหนียวแบบ 2:1 คือแผ่นซิลิกา 2 แผ่น ประกอบแผ่นอลูมินา 1 แผ่น เป็น 1 หน่วย

ค. กลุ่มแร่ไมกา (Illite or Hydrous Mica) มีการจัดตัวแบบ 2:1 เช่นเดียวกับกลุ่มสเมคไทต์แต่ในโครงสร้างมีโปแตสเซียมอยู่ทำให้ชั้นโครงสร้างขยายตัวได้น้อย

สมบัติสำคัญของแร่ดินซิลิเกต

แร่ดินซิลิเกตมีคุณสมบัติแตกต่างจากแร่ที่มีเหล็กและอลูมินาในด้านคุณสมบัติการขยายตัว หดตัว การดูดซับไอออน โดยแร่ดินที่มีเหล็กและอลูมิเนียมผสมอยู่จะมีการขยายตัว หดตัวตลอดจนความเหนียวน้อยกว่าแร่ดินซิลิเกต 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 เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กและเป็นแผ่นแบน ในอนุภาคที่มีน้ำหนักเท่ากันอนุภาคที่เป็นรูปทรงกลมจะมีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด ส่วนอนุภาคที่เป็นรูปแบนหรือแผ่นจะมีพื้นที่ผิวมากที่สุด นอกเหนือจากพื้นที่ผิว

ภายนอก (External Surface) อนุภาคดินของแร่ดินเหนียวซิลิเกตบางชนิดยังมีพื้นที่ผิวภายใน (Internal Surface) ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวที่อยู่หลึ่ระหว่างแผ่นผลึกของแร่ดินเหนียวซิลิเกตที่ซ้อนทับกันเป็นอนุภาค หรือ โมเลกุลของดินเหนียวรวมตัวกัน

ความเหนียว (Cohesion) และอ่อนตัว (Plasticity)

ความเหนียวหมายถึงความสามารถในการเกาะยึดกันระหว่างอนุภาคของดินและความอ่อนนุ่มบีบป็นให้เป็นรูปต่างๆ และคงสภาพอยู่เช่นนั้นได้เมื่อมีความชื้นที่เหมาะสม คุณสมบัติทางด้านความเหนียวและความอ่อนตัวนี้จะเกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวของดิน โดยดินที่มีความเหนียวและอ่อนตัวสูงจะเป็นดินที่มีพื้นที่ผิวมากจึงมีโอกาสดูดยึดอนุภาคของน้ำไว้ในผิวได้มาก ทำให้การยึดเกาะกันเพิ่มมากขึ้นด้วย

การขยายตัว (Swelling) และการหดตัว (Shrinking)

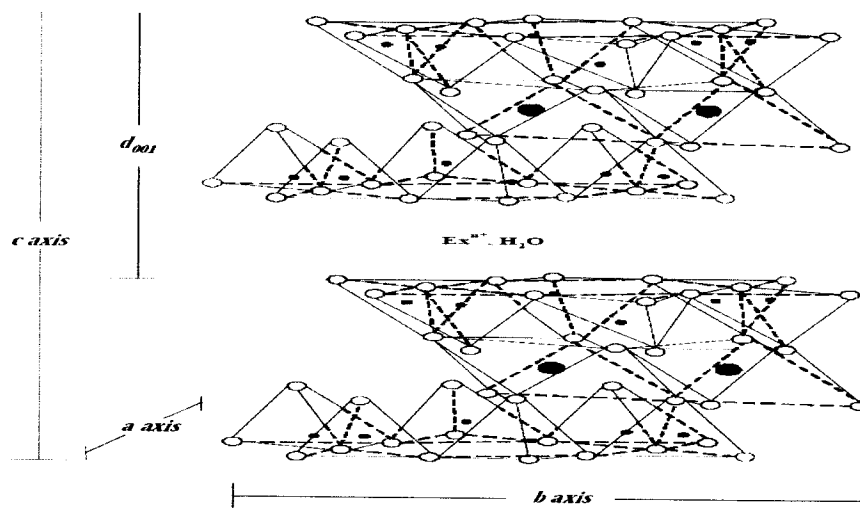
อนุภาคแร่ดินที่มีโครงสร้างเป็นแผ่นผลึกที่ซ้อนทับกันเป็น Clay Micell จะมีช่องหรือหลึ่ระหว่างแผ่นค่อนข้างกว้างและการยึดเกาะไม่เหนียวนักทำให้อนุภาคของแร่ดินที่เปียกน้ำมีการพองตัวและขยายตัวมากขึ้น และหดตัวเมื่อเผาไล่น้ำที่อยู่ภายในอนุภาคให้หมดไป

ประจุลบและการดูดยึดไอออนบวก

ตามปกติอนุภาคของแร่ดินในธรรมชาติจะมีประจุลบ และสามารถดึงดูดไอออนบวก ทำให้เกิดสภาพของประจุสองชั้น หรือ Ionic Double Layer โดยอนุภาคดินเหนียวเป็นประจุลบที่มีกลุ่มไอออนบวกล้อมรอบอยู่ไอออนบวกเหล่านี้จะถูกยึดติดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวและสามารถถูกแทนที่โดยไอออนบวกชนิดอื่น หรือที่เรียกว่า Exchangeable Cation

แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์เป็นแร่ดินในกลุ่มสมคไทต์ มีสูตรโครงสร้างทางเคมีทั่วไปคือ $M_y^+ (Al_2 - yMg_y)(Si_4O_{10}[OH_2]) \cdot nH_2O$ เมื่อ y คือระดับความไม่สมบูรณ์ของสารตัวอย่าง หรือสูตรอย่างง่ายคือ $Na_{0.6}(Al_3,4Mg_{0.6})(Si_8O_{20}[OH]_4) \cdot nH_2O$ มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.1 โดยในหนึ่งชั้นโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นซิลิกาสองแผ่นและอลูมินาหนึ่งแผ่นสอดอยู่ระหว่างแผ่นซิลิกาและเกาะยึดออกซิเจนร่วมกัน ผลึกจะเชื่อมต่อกันในแนวระดับเป็นชั้นๆ และมักมีไอออนของโซเดียม แคลเซียมอยู่ด้วยในระหว่างชั้นโครงสร้าง คุณลักษณะคือสามารถขยายตัวได้เนื่องจากไม่มีพันธะไฮโดรเจนทำให้ประจุบวกต่างๆ สามารถเข้าแทรกในระหว่างชั้นโครงสร้างได้ง่าย อนุภาคชนิดนี้จึงมีความสามารถในการดูดยึดสูง และเกิดการแตกสลายของผลึกได้ง่ายทำให้อนุภาคที่พบมีขนาดเล็กคือมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.01–0.1 ไมครอน ช่องว่างระหว่างแผ่นที่ซ้อนทับกันมีความหนาแน่นที่สุดประมาณ 9.5 อังสตรอม ช่องว่างอาจจะขยายเพิ่มขึ้นได้ จากการศึกษาโครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์โดยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) พบว่าการสะท้อนกลับของรังสีทั้งหมดจะเกิดในทิศทางแนวแกน c ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการพองตัวในระหว่างชั้นอาจเป็นหนึ่งเท่า สองเท่าหรือหลายเท่าของจำ นวนชั้นของน้ำที่มีอยู่ในโครงสร้าง โมเลกุลและแต่ละระดับของการพองตัวทำให้เกิดช่องว่าง ในการวัดระยะแกน c จะต้องมีการสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

การควบคุมความชื้น การสะท้อนกลับของรังสีโดยทั่วไปจากระบบ hk-band ในทิศทาง a และ b สามารถใช้บอกลักษณะของแร่แต่ละชนิดได้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ วงกลมสีดำเล็กคือ Si^{4+} วงกลมสีดำใหญ่คือ Al^{3+} หรือ Mg^{2+} และวงกลมกลวง คือ ออกซิเจน

ชนิดของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ แบ่งออกตามองค์ประกอบที่มีธาตุ โซเดียมและแคลเซียมอยู่คือ

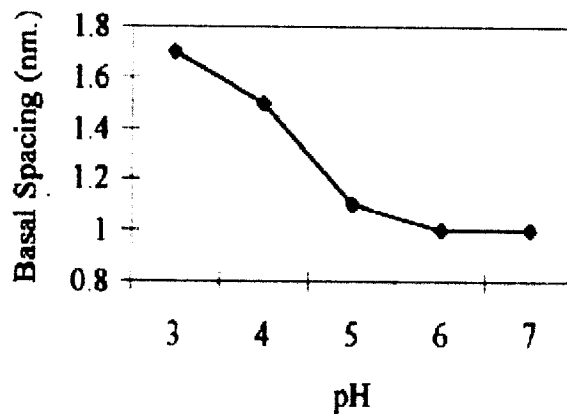
ก. แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ประกอบด้วยแร่ดิน โซเดียม-มอนต์มอริลโลไนต์ (Sodium-Montmorillonite) จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากเพราะว่าผลึกของดินที่มีขนาดเล็กมาก กระจัดกระจายอยู่ในน้ำทำให้น้ำโคลนมีลักษณะกึ่งแข็งและกึ่งเหลวคล้ายวุ้นเหมาะสำหรับเป็นน้ำโคลนไหลวนใช้ในการเจาะหรือเรียกว่า โคลนเจาะ (Drilling Mud) นอกจากนี้ยังใช้ผสมทรายทำเบ้าหลอมและวัสดุทนไฟ

ข. แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ประกอบด้วยแร่ดิน แคลเซียม-มอนต์มอริลโลไนต์ (Calcium-Montmorillonite) หรือเรียกประเภทที่ไม่พองตัวมาก (Non Swelling Type) ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและพองขยายตัวได้น้อยกว่าชนิดแรก แต่ก็สามารถนำมาทำโคลนเจาะหลุมตื้นๆ ได้ ซึ่งก่อนจะนำไปทำโคลนเจาะได้ แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ต้องผ่านกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพด้วย Soda Ash Polymers หรือสารเคมีอื่นเสียก่อน สำหรับแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะใช้ทำสารดูดซับหรือฟอกสี (Absorbents) ใช้ในเครื่องกรองน้ำมันในโรงกลั่น ใช้กรองน้ำบาดาลและน้ำมันพืชให้ปราศจากสิ่งเจือปน ใช้ฟอกหนังและกรองน้ำมันเครื่องใช้แล้วให้คืนสู่สภาพเดิมได้

เมื่อมีน้ำในโครงสร้างแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์จะเกิดการพองตัวเนื่องจากแรงดึงดูดของโมเลกุลของน้ำเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งปริมาณการพองตัวนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำว่ามากน้อยเพียงใดจึงจะสามารถแลกเปลี่ยนประจุได้ ถ้าประจุที่แลกเปลี่ยนคือประจุโซเดียมและมีน้ำอยู่จำนวนมากจะสามารถพองตัวได้หลายเท่า แต่ถ้าดินนั้นเกิดแห้งตัวลงก็จะเกิดการแยกตัวได้ จากการศึกษาพบว่า

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

ระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบ โดยระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างของแร่ดินจะมีค่าลดลงเมื่อมีความเป็นด่างมากขึ้น (Schnitzer and Khan, 1972) แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของ pH กับระยะห่างระหว่างชั้นของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์
ที่มา Schnitzer and Khan (1972), **Humic Substances in the Environment**, Marcel Dekker Inc:
New York, 253-279

แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่พบในประเทศไทยมักเป็นแร่ดินสมคไทต์หรือแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ 70-80 % และมีสิ่งเจือปน ซึ่งบางครั้งประกอบด้วยคริสโตบาร์ไรต์ แคลไซต์ ฮีมาไทต์ เฟลด์สปาร์ ควอตซ์ ไมกา และคาโอลิไนต์ปนอยู่บ้าง ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ ส่วนแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีชื่อทางการค้าว่า MAC-GEL ของบริษัท ไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด ซึ่งมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาล ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดเฉพาะของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ที่ใช้ในการวิจัย ค่า Cation Exchange Capacities (CEC) ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์มีค่าเท่ากับ 80 meq. ต่อ 100 g ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (แสดงเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

SiO ₂	56-60	MgO	1.5-2.0
Al ₂ O ₃	16-18	CaO	1.9-2.1
Fe ₂ O ₃	5-7	K ₂ O ₃	0.3-0.5
Na ₂ O	2.4-3	TiO ₂	1.2-1.5
Loss of Ignition	11-12		

ที่มา จาก บริษัท ไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

2.2 Point of Zero charge

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายที่ห่อหุ้มหรือล้อมรอบแร่ที่มีประจุลักษณะเปลี่ยนแปลงได้ ปริมาณประจุบวกและประจุลบของแร่ก็จะเปลี่ยนแปลงไป โดยจำนวนประจุบวกอาจเพิ่มขึ้น แต่จำนวนลบอาจลดลง หรือ จำนวนประจุลบเพิ่มขึ้นแต่จำนวนประจุบวกลดลง การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นตามค่า pH ที่เปลี่ยนไป จนถึง pH ระดับหนึ่ง ที่จำนวนประจุลบในดินเท่ากับจำนวนประจุบวกในดิน นั่นก็คือ จำนวนประจุสุทธิ (Net charge) ซึ่งหมายถึงผลต่างของประจุทั้ง 2 ชนิด เท่ากับศูนย์ ค่า pH นั้น ๆ ได้ชื่อว่า พอยท์ซีโรชาร์จ (Point of zero charge) หรือที่เรียกย่อ ๆ ว่า pzc แร่แต่ละชนิดมีค่าพีแซดซี ไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 ดังนั้น พีแซดซีของดินแต่ละแห่ง หรือแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากความต่างในเรื่องของชนิดและองค์ประกอบของแร่และของอินทรีย์วัตถุในดิน ตลอดจนชนิดของไอออนที่ดูดซับไว้ การที่เกิดดินชั้นบน (A) มีค่าแซดซีต่ำกว่าดินล่าง เนื่องจากชั้นดินบนมีอินทรีย์วัตถุสะสมมากกว่าดินล่าง

การวัดปริมาณประจุไฟฟ้าในดินทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ วิธีโพเทนชิโอเมตริกไทเตรชัน และวิธีวัดการดูดซับไอออนที่ค่า pH ต่างๆ กัน สำหรับวิธีโพเทนชิโอเมตริกไทเตรชัน (potentiometric titration) เป็นวิธีที่ใช้การไทเตรตดินหรือแร่ที่ผสมกับสารละลาย HCl และ NaOH ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน พร้อมทั้งบันทึกค่า pH แล้วนำค่าความต่างของปริมาณ H^+ และ OH^- ที่ดินหรือแร่ดูดซับไว้มาหาความสัมพันธ์กับค่า pH จะได้เส้นกราฟหลายเส้น ซึ่งจะตัดกันตรงค่า pH หนึ่งค่า pH นี้มีชื่อเรียกว่า point of zero charge หรือ zpc จะเห็นได้ว่าค่า pzc หรือ zpc เป็นค่า pH ที่ความเข้มข้นของเกลือในสารละลายไม่มีผลต่อปริมาณการดูดซับ H^+ หรือ OH^- ค่า pzc หรือ zpc จึงได้ให้ชื่อใหม่ว่า ค่า point of zero salt effect หรือ pzse

ตารางที่ 2.2 ค่าพอยท์ออฟซีโรซาร์จของแร่และดินบางชนิด

แร่หรือดิน	สูตร	p.z.c	แหล่งข้อมูล
Quartz	SiO ₂	1-3	Parks (1965)
Montmorillonite	(OH) ₄ Si ₈ Al ₄ O ₂₀	<=2.5	Parks (1967)
Kaolinite	(OH) ₈ Si ₄ Al ₄ O ₁₀	3	Tschapek et al. (1974)
Magnetite	Fe ₃ O ₄	6.5	Parks (1965)
Maghemite	-Fe ₂ O ₃	6.7	Parks (1965)
Goethite	-FeOOH	5.9-7.2	Parks (1965)
Haematite	-Fe ₂ O ₃	8.3-9.0	Parks (1965)
Amorphous iron hydroxide	Fe(OH) ₃	8.5	Stumm and Morgan (1970)
Gibbsite	-Al(OH) ₃	7.8-9.5	Hingston et al. (1972)

ตารางที่ 2.3 ค่าพอยท์ออฟซีโรซาร์จของดินที่ผ่านการสลายตัวมาก

Great Groups	ชั้นดิน	Organic Carbon	แร่ที่มีมากในดิน*	pH	pzc**
Acrohumox	บน	6.3	GO,Gi,K,V,I	5.2	4.8
Acrohumox	ล่าง	0.2	K, GO, Gi	4.8	6.4
Acrohumox	บน	1.9	K, Gi, GO	4.9	3.6
Acrohumox	ล่าง	0.3	K, Gi, GO	4.9	4.2
Gibbsihumox	บน	2.87	-	5.0	4.4
Gibbsihumox	ล่าง	0.99	-	5.0	5.7
Tropohumult	บน	4.7	K, GO	5.9	3.0
Tropohumult	ล่าง	0.6	K, GO	5.8	3.4

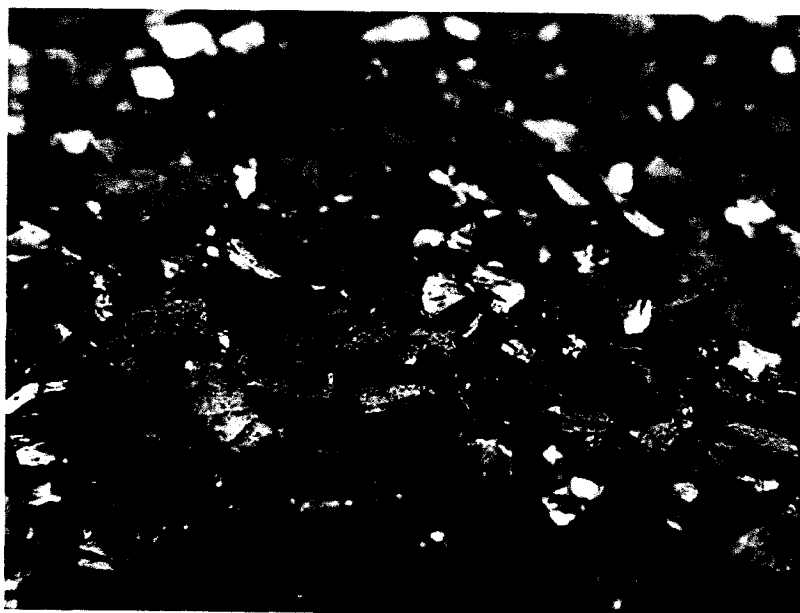
* Gi = กิบไซท์; GO = โกลโทท์; I = อิลไลท์; K= แคลโอไลไนท์; V= เวอร์มิคูไลท์

** วิธีโพเทินซีโอเมตริกไดเตรชั่น

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

2.3 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) คือ สารกลุ่มคาร์บอนที่ผิวหน้ามีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก สามารถใช้ประโยชน์ได้ในการดูดซับมลสารจากของเหลวหรือก๊าซที่มาสัมผัส ทำให้ของเหลวหรือก๊าซนั้นมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น ถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปควรมีพื้นที่ผิวหน้าอยู่ประมาณ 600-1,000 ตารางเมตรต่อกรัมและมีค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) ที่มากกว่า 1000 ซึ่งให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์มีรูพรุนขนาดเล็ก (microporous) จำนวนมาก ซึ่งรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากส่งผลให้ปริมาณพื้นที่ทั้งหมด (Total Surface area) สูงเช่นกัน สาเหตุที่ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูงเนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็ก (Microporosity) จำนวนมาก



รูปที่ 2.3 ถ่านกัมมันต์

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกล่าวไว้ว่า ถ่านกัมมันต์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง และมีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้ ชนิดของถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งโดยอาศัยหลักต่างๆ มากมายขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ใช้งาน ตัวอย่างการแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์ได้แก่

ก. การแบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น

- การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation): โดยส่วนใหญ่จะใช้ กรดอนินทรีย์ผสมเข้ากับวัสดุเริ่มต้นเพื่อที่จะกำจัดสิ่งสกปรก (Cauterization) ออกจากรูเล็กๆ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีรูพรุนขนาดใหญ่ แต่วิธีการนี้ยังเป็นที่สงสัยกันอยู่ว่าอาจจะมี สารเคมีตกค้างอยู่ในผลผลิตสุดท้ายได้

- การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation): วัสดุที่ทำจากคาร์บอนจะถูกผสมกับไอน้ำ และหรือ ก๊าซที่อุณหภูมิสูงเพื่อกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวิธีนี้มักจะมีรูพรุนขนาดเล็ก นิยมใช้ดูดซับแก๊สและไอระเหย

ข. การแบ่งตามขนาดอนุภาค

- ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นเม็ด ซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัดเป็นเส้นกลมๆ แล้วตัดออกเป็นท่อนเท่าๆกัน หรืออาจทำเป็นเกล็ดที่ได้จากการย่อยอนุภาคขนาดใหญ่ ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ในการดูดซับแก๊สและไอระเหย
- ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผง ซึ่งได้จากการบด ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้งานเกี่ยวกับการดูดซับในสถานะของเหลว

ค. การแบ่งตามขนาดรูพรุนบนผิวของถ่านกัมมันต์(แบ่งตามเกณฑ์ของ IUPAC)

- รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง < 2 นาโนเมตร
- รูพรุนขนาดกลาง (Mesopores) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 50 นาโนเมตร
- รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง > 50 นาโนเมตร

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มักมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- มีปริมาณคาร์บอนสูง
- มีปริมาณอินทรีย์ต่ำ
- เป็นของเหลือทิ้ง หรือมีราคาถูก
- มีความสะดวกในการนำมาใช้งาน เช่น ไม่สลายตัวเมื่อเก็บ

วัสดุเริ่มต้นสามารถใช้เป็นวัสดุคาร์บอน (Carbonic materials) ที่เป็นวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน ชงข้าวโพด แกลบข้าว กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ชานอ้อย ชี้อ้อย เปลือกและเมล็ดผลไม้ พีท ลิกไนต์ บิทูมินัส ยางมะตอย ถ่านไม้ น้ำมันดิบ กากปิโตรเลียม และวัสดุชีวมวลประเภทต่างๆ โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ จะมีสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น วัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำและสารระเหยสูง เช่น ไม้ ลิกนิน มักได้ถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาตรรูพรุน (Pore volume) สูงและความหนาแน่นต่ำ ซึ่งใช้ดูดซับในสารละลายได้ดี แต่ดูดซับแก๊สได้ไม่ดี ส่วนวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงและมีสารระเหยสูง เช่น กะลามะพร้าว เป็นต้น จะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีปริมาณของรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore volume) สูงสามารถใช้ดูดซับได้ทั้งในสารละลายและแก๊ส

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

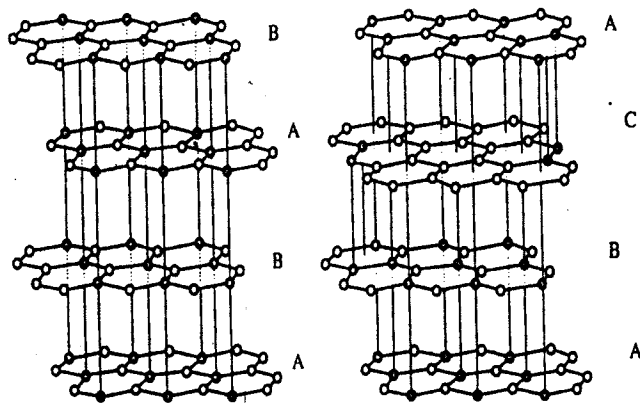
การใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์มีหลากหลาย เช่น

- การสกัดโลหะ (เช่น ทองคำ)
- การทำน้ำให้บริสุทธิ์
- ยา
- การบำบัดน้ำเสีย (Sewage treatment)
- ใช้เป็นสารกรองก๊าซ และ หน้ากากกรองใช้กรองอากาศ

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์มีลักษณะคล้ายกับแกรไฟต์ แต่มีความเป็นระเบียบของการจัดเรียงตัวน้อยกว่าแกรไฟต์ โดยโครงสร้างของแกรไฟต์แสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของวงเบนซิน อะตอมของคาร์บอนแต่ละอะตอมจะเกิดพันธะเดียวกับคาร์บอนอีกสามอะตอมในระนาบเดียวกัน อิเล็กตรอนของคาร์บอนอะตอมอีกหนึ่งอิเล็กตรอนที่เหลือจะเคลื่อนที่ไปทั่วโครงสร้างเกิดเป็นเรโซแนนซ์เพื่อทำให้โครงสร้างของชั้นคาร์บอนเสถียรยิ่งขึ้น แต่ละชั้นจะยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ซึ่งเป็นแรงที่อ่อนมาก ดังนั้น ณ จุดนี้โครงสร้างของแกรไฟต์จะเกิดจุดบกพร่องได้ง่าย โครงสร้างของถ่านกัมมันต์เป็นโครงสร้างของแกรไฟต์ที่ไม่สมบูรณ์โดยเกิดการเบี่ยงเบนในแนวตั้งฉากและซ้อนเหลื่อมในแนวระนาบที่มีทิศทางไม่แน่นอนและไม่เป็นระเบียบ ช่องว่างระหว่างชั้นมีมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ช่องว่างนี้ทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนโดยมีลักษณะที่ไม่แน่นอนแตกต่างกันไป โดยทั่วไปจะเรียกรูพรุนเหล่านี้ตามขนาด คือ ขนาดเล็ก (Micropore) ขนาดกลาง (Mesopore) และขนาดใหญ่ (Macropore) จำนวนของรูพรุนแต่ละขนาดหรือที่เรียกกันว่าการกระจายขนาดของรูพรุน (Pore size distribution) จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และวิธีการกระตุ้น โดยรูพรุนที่มีขนาดใหญ่จะทำหน้าที่เป็นเพียงทางผ่านของสารถูกดูดซับเข้าไปยังรูพรุนขนาดเล็กจึงไม่ค่อยมีผลต่อความจุในการดูดซับ แต่จะมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับ สำหรับรูพรุนขนาดกลางจะสามารถดูดซับโมเลกุลของของเหลวได้ และสำหรับรูพรุนขนาดเล็กนั้นสามารถดูดซับโมเลกุลของแก๊สและไอระเหย ความจุในการดูดซับนอกจากจะขึ้นกับพื้นที่ผิวแล้ว ยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวถ่านกัมมันต์ด้วย ถ้าผิวของถ่านบริเวณที่ดูดซับเป็นระนาบพื้นฐานซึ่งมีเพียงอะตอมของคาร์บอน แต่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันอื่นๆ การดูดซับนั้นจะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่ค่อนข้างอ่อนถึงแม้จะดูดซับได้แต่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้ามีหมู่ฟังก์ชันอยู่ที่ผิวของถ่านบริเวณที่ดูดซับนั้น การดูดซับจะเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงกว่าและโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะหลุดออกยากกว่า ตัวอย่างของหมู่ฟังก์ชันบนผิวของถ่านกัมมันต์แสดงดังรูปที่ 2.6 มีทั้งพวกออกไซด์ของกรดซึ่งพบมากบนผิวถ่านกัมมันต์ที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 400-500 องศาเซลเซียส ในการผลิต เช่น หมู่คาร์บอนิล (Carbonyl) ฟีนอล (Phenol) แล็กโตน (Lactone) อัลดีไฮด์ (Aldehyde) คีโตน (Ketone) เป็นต้น และพวกออกไซด์ของเบสซึ่งพบมากบนถ่านกัมมันต์ที่

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

ใช้อุณหภูมิประมาณ 800-1000 องศาเซลเซียส ในการผลิต เช่น หมูไฮดรอกไซด์ (Hydroxide) และ คาร์บอเนต (Carbonate) เป็นต้น



(ก) แบบ Hexagonal

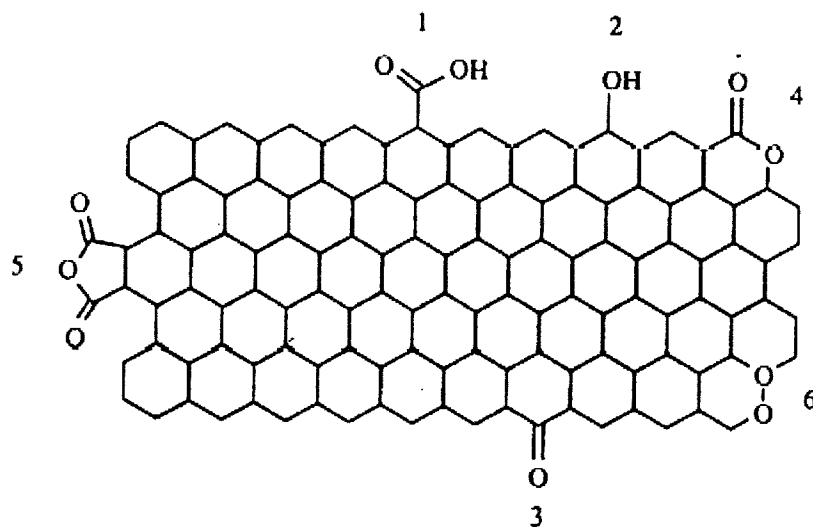
(ข) แบบ Rhombohedral

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของผลึกแกรไฟต์



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

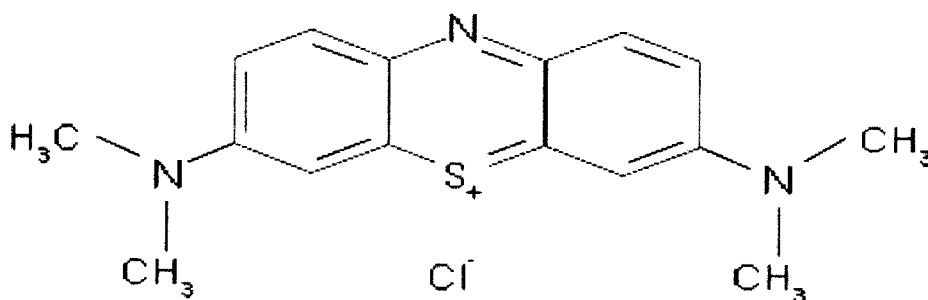


รูปที่ 2.6 หมู่ฟังก์ชันต่างๆบนผิวของถ่านกัมมันต์

- | | | |
|--------------------|-----------------------|--------------------|
| 1. Carboxylic acid | 2. Phenol | 3. Quinone |
| 4. Lactone | 5. Carboxyl anhydride | 6. Cyclic peroxide |

2.4 เมธิลีนบลู

เมธิลีนบลูเป็นสีอินทรีย์ที่มีประจุบวก สูตรเคมีคือ $C_{16}H_{18}ClN_3S$ ลักษณะโครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.7 อาจเรียกได้หลายชื่อดังนี้ C.I. Basic Blue 9, Solvent Blue 8, C.I.52015 ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 373.9 โดยทั่วไปใช้เป็นสารย้อมสีในการศึกษาทางแบคทีเรีย เป็นรีเอเจนต์ ตัวย้อมยั้งกระบวนการสร้างโพลีเมอร์และสีย้อมผสมชนิดไม่ถาวร ใช้เป็นสีย้อมกระดาษ สิ่งทอ หนังก ไม้ ของใช้สำนักงาน เครื่องสำอางค์และในงานพิมพ์ภาพในผ้าไหม ดังนั้นจึงพบในอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น อุตสาหกรรมการพิมพ์ อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมย้อมสี เป็นต้น



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของเมธิลีนบลู

2.5 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นการแยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือก๊าซโดยให้สารละลายหรือก๊าซผสมไหลสัมผัสกับตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง องค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลายมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน ปรากฏการณ์การดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับเอง คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกละลายนั้นจำนวนชั้นของโมเลกุลของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวและขนาดของรูพรุนที่ทำหน้าที่ดูดซับได้ จึงสามารถแยกองค์ประกอบที่ต้องการออกได้ โดยเลือกตัวดูดซับให้เหมาะกับองค์ประกอบนั้น

ลักษณะกลไกการดูดซับมี 2 ลักษณะ คือ

ก. การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption)

เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลของตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ถูกดูดซับซึ่งมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย ดังนั้นองค์ประกอบที่ยึดเกาะแน่นบนผิวของตัวดูดซับ ถ้าตัวดูดซับมีความพรุนสูง ของเหลวหรือก๊าซที่ควบแน่นนั้นจะสามารถแทรกเข้าสู่ช่องว่างภายในของตัวดูดซับได้ ถึงแม้ว่าความดันของระบบจะต่ำกว่าความดันไอขององค์ประกอบนั้นก็ตาม ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิปกติ ให้ความร้อนออกมาเล็กน้อย แต่มากกว่าความร้อน

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

ของการควมแน่น ขึ้นอยู่กับความดันย่อยของก๊าซหรือของเหลวชนิดนั้นและสามารถดูดซับก๊าซและของเหลวไว้ได้ในปริมาณสูงมากต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อลดความดันของระบบลงหรือเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง ทำให้ตัวดูดซับเคลื่อนที่ออกจากตัวดูดซับ ปรากฏการณ์ช่วงนี้เรียกว่า Desorption ซึ่งเป็นวิธีนำตัวถูกละลายกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง

ข. การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption)

เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งแตกต่างกับการดูดซับทางกายภาพทุกประการ โดยที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ต้องการดูดซับสร้างสารประกอบระหว่างตัวดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับ ทำให้ปริมาณของตัวดูดซับลดลง จะให้ความร้อนออกมาสูงมากเพราะการเกิดปฏิกิริยาเคมีไม่ขึ้นกับความดันมากนัก และดูดซับตัวถูกละลายได้ในปริมาณน้อยต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เนื่องจากการดูดซับโดยเกิดปฏิกิริยาเคมีจะไม่สามารถเกิด Desorption ได้เพราะองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าองค์ประกอบบางชนิดที่อุณหภูมิปกติไม่เกิดการดูดซับทางเคมี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิก็สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้

สมดุลและไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Equilibrium and Adsorption Isotherm)

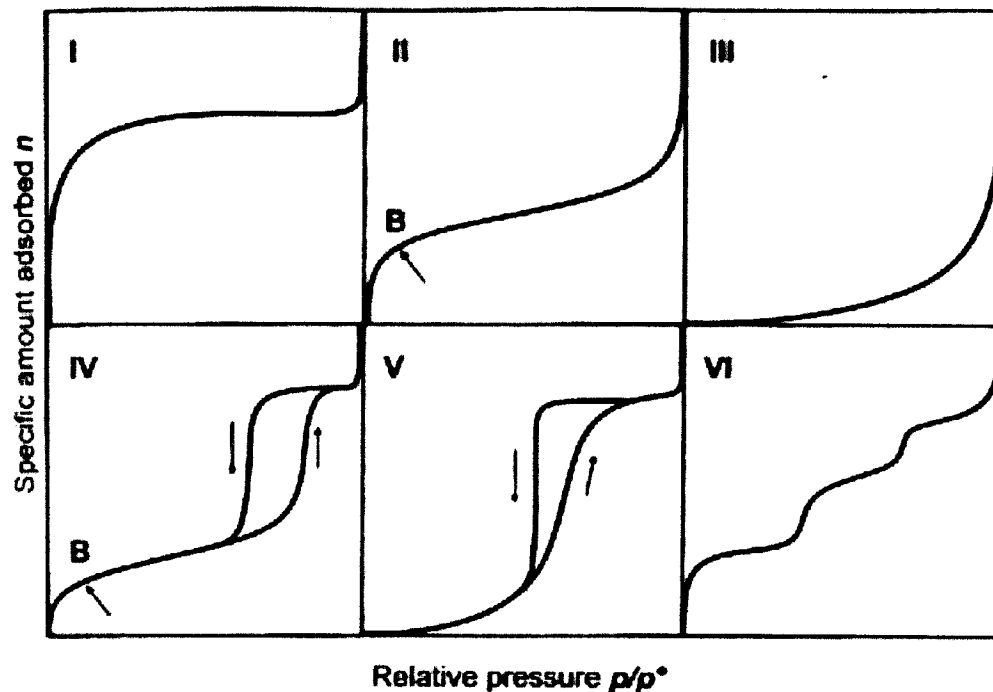
ในเวลาที่เกิดการดูดซับหรือเมื่อตัวถูกละลายเคลื่อนที่ออกจากสารละลายและก่อให้เกิดความเข้มข้นเพิ่มขึ้นที่ผิวหน้าของของแข็งจะเป็นภาวะสมดุลพลศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายกับความเข้มข้นของตัวละลายที่ผิวหน้า ที่ภาวะสมดุล (Equilibrium Adsorption) เป็นร้อยละของน้ำหนัก หรือน้ำหนัก หรือปริมาตรของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับไว้บนตัวดูดซับหนึ่งหน่วยน้ำหนัก โดยทั่วไปมักควบคุมให้อุณหภูมิของการดูดซับคงที่ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับกับความดันที่ภาวะสมดุลของการดูดซับ เส้นความสัมพันธ์ที่ได้เรียกว่า ไอโซเทอม (Isotherm) ซึ่งเป็นลักษณะที่ขึ้นอยู่กับชนิดของรูพรุนบนตัวดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับเปลี่ยนไปที่อุณหภูมิคงที่นี้ โดยทั่วไปจำนวนของสารที่ถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่อาจจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรง

รูปแบบของ Adsorption Isotherm มี 6 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 คือ

ก. Type I Isotherm เป็นการดูดซับที่พบมากที่สุด ซึ่งดูดซับโดยที่มีชั้นของตัวถูกดูดซับคลุมบนผิวของตัวดูดซับได้หนาเพียงหนึ่งชั้น (Single Layer Adsorption) พบทั้งในการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ จะเป็นปรากฏการณ์การดูดซับของ Microporous material ซึ่งปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความดันสัมพัทธ์ (Relative Pressure) ต่ำๆ และที่ความดันสัมพัทธ์สูงๆ เข้าใกล้ 1 จะมีการดูดซับเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งถ้ามีการดูดซับแบบนี้แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีรูพรุนเป็น Microporous หรือ Nonporous และมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์

- ข. Type II Isotherm พบมากในการดูดซับที่มีชั้นของตัวถูกดูดซับคลุมผิวของตัวดูดซับหนาขึ้นเรื่อยๆ (ปริมาณที่ดูดซับเข้าสู่ค่าอนันต์) โดยจะเกิดบน Nonporous Powder ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนกว้างกว่า Micropore ที่จุดเปลี่ยนกราฟ (Inflection Point or Knee of Isotherm) เกิดเมื่อการดูดซับบนพื้นผิวชั้นแรกเกิดเกือบสมบูรณ์แล้ว (เป็น Monolayer เกือบสมบูรณ์) และถ้าเพิ่ม Relative Pressure จะทำให้การดูดซับเกิดมากกว่า 1 ชั้น ดังนั้นการดูดซับแบบนี้จะเป็นการดูดซับแบบ Multi-layer
- ค. Type III Isotherm เป็นการดูดซับคล้าย Type II Isotherm แต่การดูดซับของชั้นแรกนั้นให้ความร้อนออกมาน้อยกว่าความร้อนของการควบแน่น เป็นลักษณะเฉพาะของการเกิดความร้อนของการดูดซับ (Heat of Adsorption) มีน้อยกว่าความร้อนของการจับตัวกันของตัวถูกดูดซับของของเหลว ดังนั้นการดูดซับที่เพิ่มขึ้น เกิดเพราะตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากับชั้นของตัวถูกดูดซับมากกว่าการเกิดปฏิกิริยากับผิวของตัวถูกดูดซับ
- ง. Type IV Isotherm เป็นการดูดซับคล้ายกับ Type II Isotherm ความหนาของโมเลกุลชั้นแรกๆ แต่การดูดซับจะถึงจุดอิ่มตัวเนื่องจากรูพรุนเล็ก ๆ ภาพในตัวดูดซับเต็มหมดแล้วเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดบนตัวดูดซับที่มีประมาณ 15-1000 อังสตรอม ความชันที่มีจุดเปลี่ยนกราฟนี้เกิดเช่นเดียวกับใน Type II Isotherm คือเกือบเป็น Monolayer สมบูรณ์
- จ. Type V Isotherm เป็นการดูดซับคล้ายกับ Type III Isotherm ในช่วงความเข้มข้นต่ำๆ แต่เมื่อการดูดซับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะเข้าสู่ค่าสูงสุดค่าหนึ่งเช่นเดียวกับ Type IV Isotherm เป็นปรากฏการณ์การดูดซับที่เป็นผลมาจากแรงดึงดูดของตัวถูกดูดซับมีค่าน้อย ซึ่งเกิดปฏิกิริยาค้ำกันและขนาดของรูพรุนอยู่ในช่วง 15-1000 อังสตรอม
- ฉ. Type VI Isotherm หรือ Stepped Isotherm มีลักษณะการดูดซับเป็นขั้นๆ รูปร่างของขั้นจะขึ้นอยู่กับระบบและอุณหภูมิ

- ข. Type II Isotherm พบมากในการดูดซับที่มีชั้นของตัวถูกดูดซับคลุมผิวของตัวดูดซับหนาขึ้นเรื่อยๆ (ปริมาณที่ถูกดูดซับเข้าสู่ค่าอนันต์) โดยจะเกิดบน Nonporous Powder ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนกว้างกว่า Micropore ที่จุดเปลี่ยนกราฟ (Inflection Point or Knee of Isotherm) เกิดเมื่อการดูดซับบนพื้นผิวชั้นแรกเกิดเกือบสมบูรณ์แล้ว (เป็น Monolayer เกือบสมบูรณ์) และถ้าเพิ่ม Relative Pressure จะทำให้การดูดซับเกิดมากกว่า 1 ชั้น ดังนั้นการดูดซับแบบนี้จะเป็นการดูดซับแบบ Multi-layer
- ค. Type III Isotherm เป็นการดูดซับคล้าย Type II Isotherm แต่การดูดซับของชั้นแรกนั้นให้ความร้อนออกมาน้อยกว่าความร้อนของการควบแน่น เป็นลักษณะเฉพาะของการเกิดความร้อนของการดูดซับ (Heat of Adsorption) มีน้อยกว่าความร้อนของการจับตัวกันของตัวถูกดูดซับของของเหลว ดังนั้นการดูดซับที่เพิ่มขึ้น เกิดเพราะตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากับชั้นของตัวถูกดูดซับมากกว่าการเกิดปฏิกิริยากับผิวของตัวถูกดูดซับ
- ง. Type IV Isotherm เป็นการดูดซับคล้ายกับ Type II Isotherm ความหนาของโมเลกุลชั้นแรกๆ แต่การดูดซับจะถึงจุดอิ่มตัวเนื่องจากรูพรุนเล็ก ๆ ภาพในตัวดูดซับเต็มหมดแล้วเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดบนตัวดูดซับรัศมีประมาณ 15-1000 อังสตรอม ความชันที่มีจุดเปลี่ยนกราฟนี้เกิดเช่นเดียวกับใน Type II Isotherm คือเกือบเป็น Monolayer สมบูรณ์
- จ. Type V Isotherm เป็นการดูดซับคล้ายกับ Type III Isotherm ในช่วงความเข้มข้นต่ำๆ แต่เมื่อการดูดซับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะเข้าสู่ค่าสูงสุดค่าหนึ่งเช่นเดียวกับ Type IV Isotherm เป็นปรากฏการณ์การดูดซับที่เป็นผลมาจากแรงดึงดูดของตัวถูกดูดซับมีค่าน้อย ซึ่งเกิดปฏิกิริยาค้ำกันและขนาดของรูพรุนอยู่ในช่วง 15-1000 อังสตรอม
- ฉ. Type VI Isotherm หรือ Stepped Isotherm มีลักษณะการดูดซับเป็นขั้นๆ รูปร่างของขั้นจะขึ้นอยู่กับระบบและอุณหภูมิ



รูปที่ 2.7 รูปแบบของ Adsorption Isotherm

2.6 โมเดลจลนพลศาสตร์การดูดซับ (Kinetic Models of Adsorption)

การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การดูดซับวิเคราะห์ห้อย่างง่ายในรูปแบบ Pseudo-First Order Equation และ Pseudo-Second Order Equation ดังนี้คือ

2.6.1 Pseudo-First Order Equation

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t)$$

เมื่อ k_1 = ค่า Rate Constant ของการดูดซับแบบ Pseudo-First Order
 q_e = ปริมาณการดูดซับสารที่สภาวะสมดุล
 q_t = ปริมาณการดูดซับสารที่เวลา t

กำหนดให้สภาวะเริ่มต้นคือ

$$\begin{aligned} q_t &= 0 & \text{ที่} & t = 0 \\ q_t &= q_t & \text{ที่} & t = t \\ q_t &= q_e & \text{ที่} & t = \infty \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t$$

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

2.6.2 Pseudo-Second Order Equation

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2$$

เมื่อ k_2 คือค่า Rate Constant ของการดูดซับแบบ Pseudo-Second Order
กำหนดให้สภาวะเริ่มต้นคือ

$$q_t = 0 \quad \text{ที่} \quad t = 0 \quad \text{และ}$$

$$q_t = q_t \quad \text{ที่} \quad t = t$$

ดังนั้น

$$\frac{1}{(q_e - q_t)^2} = \frac{1}{q_e^2} + k_2 t$$

จัดรูปแบบสมการใหม่

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

2.7 โมเดลการดูดซับ (Adsorption Models)

ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับบนวัสดุต่างๆหาได้จากสมการมวลสาร โดยถือว่าปริมาณสารที่หายไปจากสารละลายถูกดูดซับอยู่บนตัวดูดซับ และปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่จะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายและปริมาณตัวดูดซับที่ใส่ลงไป

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

เมื่อ q_e คือปริมาณตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับที่สมดุลหลังการดูดซับ (mg/g)

C_0 คือความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (mg/L)

C_e คือความเข้มข้นของสารละลายที่สมดุลหลังการดูดซับ (mg/L)

v คือปริมาตรของสารละลาย (L)

m คือน้ำหนักของตัวดูดซับ (g)

Langmuir Adsorption Isotherm

เป็นรูปแบบการแสดงระบบของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ตัวถูกดูดซับถูกจำกัดให้ปกคลุมตัวดูดซับเพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้นไม่มีการซ้อนทับกันของโมเลกุลแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$q = \frac{ac_e}{1 + bc_e}$$

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

- เมื่อ q คือความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สมดุลหลังการดูดซับ (mg/L)
 c_e คือปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ (mg/g)
 a, b คือค่าคงที่

สามารถจัดใหม่ได้เป็น

$$\frac{c_e}{q} = \frac{1}{a} + \frac{bc_e}{a}$$

- เมื่อ a/b คือความสามารถของตัวดูดซับในการดูดซับตัวถูกละลายแต่ละชนิด

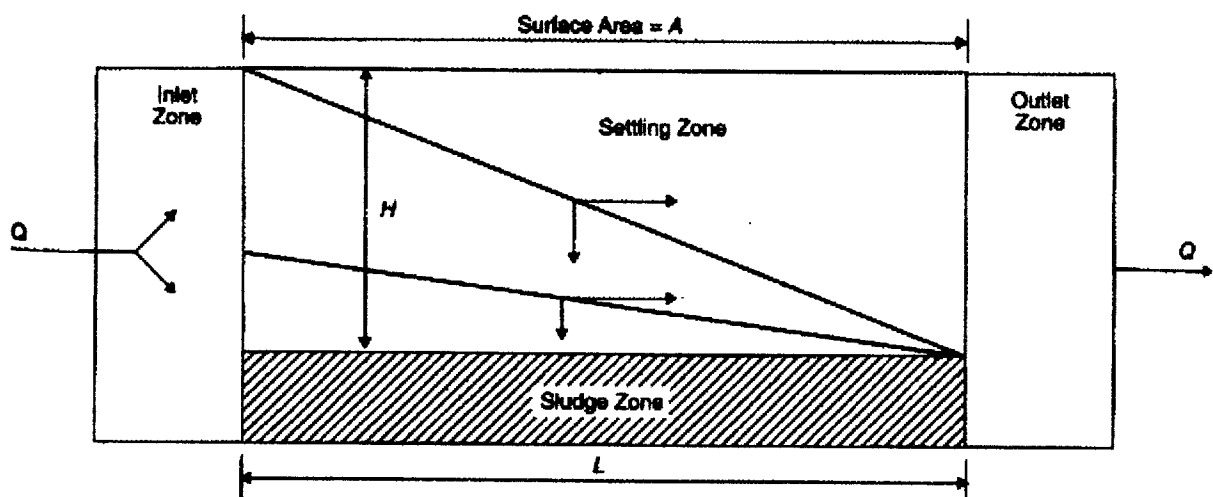
2.8 การตกตะกอน (Sedimentation)

การตกตะกอน เป็นการแยกอนุภาคของแข็ง ออกจากของเหลวด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้ได้น้ำใสและตะกอนสลัดจ์ การตกตะกอนแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ตามความเข้มข้นและลักษณะของอนุภาค ดังนี้

- การตกตะกอนแบบอิสระ (discrete settling)
- การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม (flocculent settling)
- การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (zone of settling หรือ hinder settling)
- การตกตะกอนแบบอัดตัว (compression settling)

การทราบถึงประเภทของการตกตะกอนของอนุภาคเพื่อใช้ในการออกแบบและก่อสร้างถังตกตะกอน

2.8.1 การตกตะกอนแบบอิสระ (discrete settling)



รูปที่ 2.8 การตกตะกอนแบบอิสระในถังตกตะกอนแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Henry and Heinke, 1996)

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

การตกตะกอนแบบอิสระจะเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคเจือจาง โดยอนุภาคจะตกตะกอนอย่างอิสระไม่ขึ้นต่อกัน ได้แก่ การตกตะกอนของถังดักกรวดทราย การตกตะกอนแบบอิสระสามารถวิเคราะห์โดยอาศัยหลักกลศาสตร์ อนุภาคที่มีการตกตะกอนแบบอิสระจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ทั้งแนวตั้งและแนวนอน ความเร็วในการตกตะกอนมีความสัมพันธ์กับอัตราน้ำล้นผิว รูปที่ 2.8 แสดงถึงถังตกตะกอนอุคมคติ โดยน้ำเสียที่ไหลเข้าและออกมีความเร็วสม่ำเสมอในแนวราบและมีการกระจายอย่างทั่วถึง พื้นที่ใต้ถังจะเป็นพื้นที่ในการตกตะกอนของอนุภาคโดยมีระยะในการตกตะกอนเท่ากับ H เวลาในการตกตะกอนที่สมบูรณ์ของอนุภาคจะมีค่าดังสมการ

$$t_o = \frac{V}{Q} = \frac{AH}{Q}$$

เมื่อ t_o = เวลาที่กักเก็บน้ำในถังตกตะกอน (ชั่วโมง)

V = ปริมาตรของถัง (ลูกบาศก์เมตร)

Q = อัตราการไหลของน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)

A = พื้นที่ผิวของถังตกตะกอน (ตารางเมตร)

อนุภาคที่จะตกตะกอนได้อย่างสมบูรณ์จะต้องมีความเร็วมากกว่าหรือเท่ากับความเร็วในการตกตะกอน (V_s) อนุภาคที่มีความเร็วใด ๆ ในการตกตะกอน (V_p) ซึ่งน้อยกว่า V_s อนุภาคจะไหลหลุดออกสู่บริเวณทางออก ทำให้ไม่สามารถกำจัดตะกอนได้ ดังนั้น อนุภาคที่ถูกกำจัดต่ออนุภาคที่ไหลหลุดออกไปสามารถแสดงเป็นสัดส่วนได้ดังสมการ

สัดส่วนของอนุภาคที่ถูกกำจัด = V_p/V_s

2.8.2 การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม (flocculent settling)

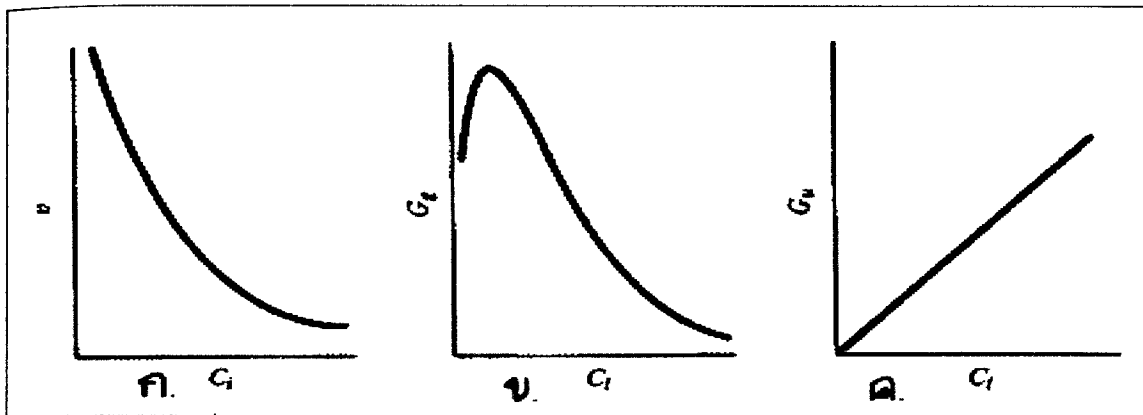
อนุภาคมีความเข้มข้นไม่มากนักแต่มากพอที่จะรวมตัวกันจนมีน้ำหนักมากพอที่จะตกตะกอนลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยที่อนุภาคที่มีน้ำหนักมากกว่าจะตกตะกอนเร็วกว่าและมาสัมผัสหรือชนกับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าแล้วเกาะรวมกลุ่มกันทำให้มีน้ำหนักมากขึ้น เป็นผลทำให้ความเร็วในการตกตะกอนมากขึ้นด้วย โอกาสที่อนุภาคจะมาสัมผัสกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ระดับความลึกของถังตกตะกอน อัตราน้ำล้น เวลาในการกักเก็บของถังตกตะกอน เป็นต้น

การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม ได้แก่ การตกตะกอนของถังตกตะกอนปฐมภูมิ (Primary sedimentation tank) และ การตกตะกอนส่วนบนของถังตกตะกอนทุติยภูมิ (Secondary sedimentation tank)

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

2.8.3 การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (zone of settling หรือ hinder settling)

การตกตะกอนแบบแบ่งชั้นเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคมีปริมาณสูง อนุภาคจะอยู่ใกล้กันมาก และมีการตกตะกอนในความเร็วที่เท่ากัน ลักษณะการตกตะกอนเป็นกลุ่มทำให้เห็นเป็นชั้นแยก ระหว่างน้ำใสและอนุภาคอย่างชัดเจน การตกตะกอนประเภทนี้พบในถังตกตะกอนทุติยภูมิ (Secondary sedimentation tank)



รูปที่ 2.9 ลักษณะการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น

- ก. ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตกตะกอนและความเข้มข้นของตะกอน
- ข. ความสัมพันธ์ระหว่าง Gravity flux และความเข้มข้นของตะกอน
- ค. ความสัมพันธ์ระหว่าง Underflow solids flux และความเข้มข้นของตะกอน

การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการตกตะกอน กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้น (C_i) เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วในการตกตะกอนลดลง (รูปที่ 2.9 ก) เมื่อนำความเร็วในการตกตะกอนคูณกับความเข้มข้นของตะกอนที่เวลาใด ๆ จะได้ Solid flux แสดงได้ดังสมการ และรูปที่ 2.9 ข

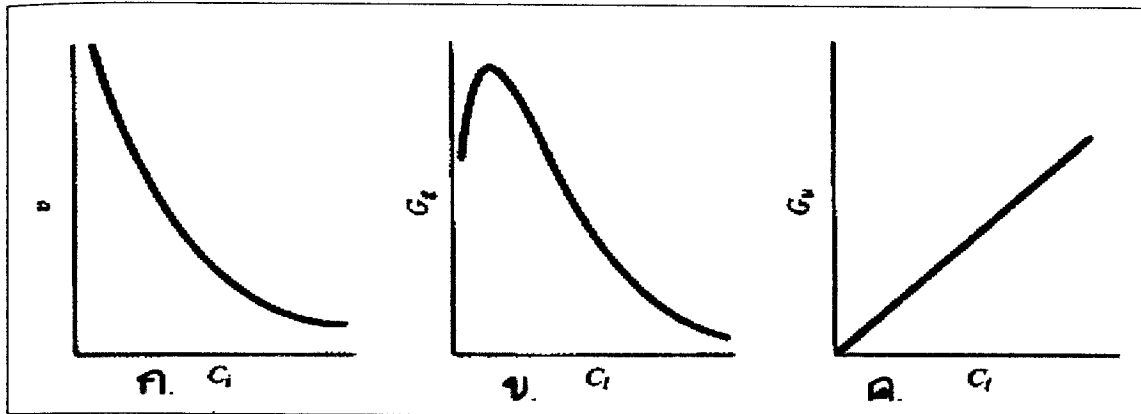
$$G_g = C_i v$$

เมื่อ G_g = solids flux เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (กิโลกรัม/ตารางเมตร-ชั่วโมง)
 C_i = ความเข้มข้นของตะกอน (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
 v = ความเร็วในการตกตะกอน (เมตร/ชั่วโมง)

สำหรับ Solids flux ที่เกิดจากการถ่ายตะกอนออกจากถังตกตะกอน สามารถคำนวณจากสมการ และสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูป 2.9 ค.

2.8.3 การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (zone of settling หรือ hinder settling)

การตกตะกอนแบบแบ่งชั้นเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคมีปริมาณสูง อนุภาคจะอยู่ใกล้กันมาก และมีการตกตะกอนในความเร็วที่เท่ากัน ลักษณะการตกตะกอนเป็นกลุ่มทำให้เห็นเป็นชั้นแยก ระหว่างน้ำใสและอนุภาคอย่างชัดเจน การตกตะกอนประเภทนี้พบในถังตกตะกอนทุติยภูมิ (Secondary sedimentation tank)



รูปที่ 2.9 ลักษณะการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น

- ก. ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตกตะกอนและความเข้มข้นของตะกอน
- ข. ความสัมพันธ์ระหว่าง Gravity flux และความเข้มข้นของตะกอน
- ค. ความสัมพันธ์ระหว่าง Underflow solids flux และความเข้มข้นของตะกอน

การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการตกตะกอน กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้น (C_1) เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วในการตกตะกอนลดลง (รูปที่ 2.9 ก) เมื่อนำความเร็วในการตกตะกอนคูณกับความเข้มข้นของตะกอนที่เวลาใด ๆ จะได้ Solid flux แสดงได้ดังสมการ และรูปที่ 2.9 ข

$$G_g = C_1 v$$

- เมื่อ
- G_g = solids flux เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (กิโลกรัม/ตารางเมตร-ชั่วโมง)
 - C_1 = ความเข้มข้นของตะกอน (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
 - v = ความเร็วในการตกตะกอน (เมตร/ชั่วโมง)

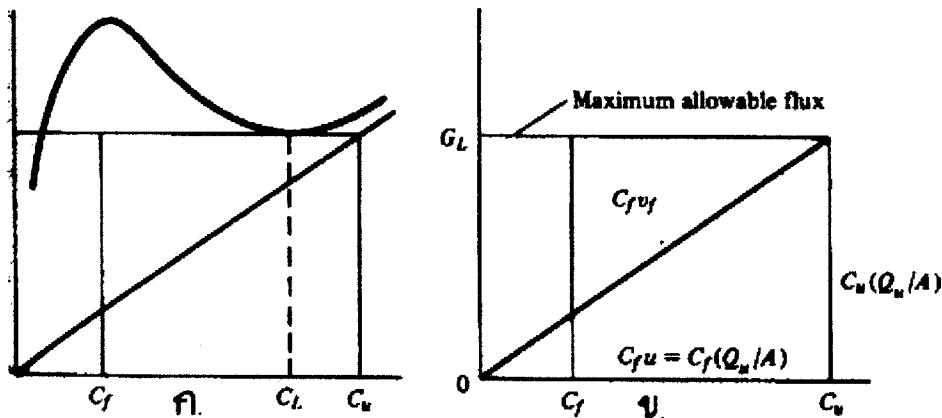
สำหรับ Solids flux ที่เกิดจากการถ่ายตะกอนออกจากกันถังตกตะกอน สามารถคำนวณจากสมการ และสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูป 2.9 ค.

$$G_u = C_i u = \frac{C_i Q_u}{A}$$

- เมื่อ G_u = Solids flux เนื่องจากการถ่ายตะกอนออกจากถัง (กิโลกรัม/ตารางเมตร-ชั่วโมง)
 C_i = ความเข้มข้นของตะกอน (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
 u = ความเร็วในการถ่ายตะกอน (เมตร/ชั่วโมง)
 Q_u = อัตราการถ่ายตะกอน (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)
 A = พื้นที่ผิวของถังตกตะกอน (ตารางเมตร)

Solids flux ทั้งหมดหาได้จากผลรวมของ Solid flux เนื่องจากแรงโน้มถ่วงและเนื่องจากการถ่ายตะกอนออกจากถังตกตะกอน

$$G = G_g + G_u$$



รูปที่ 2.10 Solid fluxes

ที่มา <http://vdo.kku.ac.th/mediacenter/mediacenter-uploads/libs/html/4138/sedimentation1.html>

ถ้าหากลากเส้นขนานในแนวนอนให้สัมผัสกับเส้นโค้ง Total flux ณ จุดต่ำสุดที่จุด L เรียกเส้นสัมผัสนี้ว่า limiting flux (G_L) ซึ่งหมายถึง ค่าอัตราการรับภาระบรรทุกตะกอนสูงสุดในถังตกตะกอน ความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดจะเท่ากับ C_L

ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะมีความแตกต่างจากการทดสอบในภาคสนาม การหาค่า Solid flux ในห้องปฏิบัติการจะทำในภาชนะเล็ก ๆ ซึ่งในแต่ละชุดการทดลอง ทั้งความเร็วในการตกตะกอนและ Solid flux จะเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของตะกอนในตัวอย่าง โดยที่ไม่ได้คำนึงถึงการรวมตัวของตะกอนที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง แต่ในถัง

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

ตกตะกอนจะเป็นการเดินระบบอย่างต่อเนื่อง ชั้นของตะกอนที่ตกลงมาที่ความลึกมาก ๆ จะมีความเข้มข้นของตะกอนมากตามไปด้วย ทำให้ความเร็วในการตกตะกอนมีค่าลดลง และทำให้ค่า Solid flux น้อยลง ดังนั้น ค่า Limiting solid flux และค่า C_L จะมีความสัมพันธ์กันในการเดินระบบ โดยทั่วไปความเข้มข้นของตะกอนในระบบ (C_f) จะต้องน้อยกว่า C_L และความเข้มข้นของตะกอนที่ถ่ายออกจากใต้ถังตกตะกอน (C_u) จะต้องมากกว่า C_L ดังรูปที่ 2.10 ก

ค่า Flux สูงสุดที่ยินยอมให้มีได้ในถังตกตะกอนในสภาวะอัตราการไหลคงที่จะเท่ากับผลรวมของ Flux จากแรงโน้มถ่วงที่เกิดจากการป้อนตะกอนเข้าสู่ระบบและ Flux จากการถ่ายเทตะกอนออกจากถังตกตะกอน

$$G_L = C_f v_f + C_f u = C_f v_f + C_f (Q_u / A)$$

รูปที่ 2.10 ข. แสดงถึง Flux สูงสุดที่ยินยอมให้มีได้ซึ่งได้จากรูปที่ 2.10 ก. นั่นเอง สมมติว่าการตกตะกอนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ คือ อนุภาคถูกกำจัดได้ 100 % ตะกอนทั้งหมดที่ถูกถ่ายทิ้งจะเท่ากับ G_L

$$G_L = C_u u = C_u (Q_u / A)$$

การออกแบบถังตกตะกอนจะต้องให้อัตราน้ำล้นน้อยกว่าความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคที่ป้อนเข้าสู่ถัง และอัตรารับภาระบรรทุกของแข็งจะต้องน้อยกว่า Limiting solids flux ดังแสดงในสมการ

$$Q/A \leq v_f$$

$$(Q/A) \leq G_L$$

2.8.4 การตกตะกอนแบบอัดตัว (Compression settling)

การตกตะกอนแบบอัดตัวจะเกิดขึ้นที่ก้นถังตกตะกอนส่วนล่างและถังทำชั้นสลัดจ์ (Sludge thickener) โดยที่มวลของอนุภาคจะมีการอัดตัวกันแน่นจากน้ำหนักของตัวอนุภาคเองและน้ำหนักของน้ำในส่วนบนที่อัดทับอยู่ การตกตะกอนแบบนี้เกิดขึ้นหลังจากที่การตกตะกอนแบบอื่นได้เกิดขึ้นแล้ว

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นรูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ด้านกัมมันต์และ Magnetic materials ที่ผลิตได้ สถานที่ทำการทดลองคือ อาคารศูนย์เครื่องมือ 1 และอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง UV spectrophotometer
- เครื่องเขย่าแนวราบ รุ่น 3006 ของ GRL
- เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (พีเอชมิเตอร์) รุ่น CG840 ของ SCHOTT
- เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง
- เครื่องวิเคราะห์ธาตุยี่ห้อ LECO รุ่น CHNS-932
- เตาอบ
- แผ่นแม่เหล็ก
- เครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) รุ่น JEOL JDX 3530 โดยใช้ CuK α radiation

3.3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ บริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด
- ด้านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าว บริษัท มาซูม่า (ประเทศไทย) จำกัด
- Methylene blue
- NaOH ความเข้มข้น 5 mol/l
- HCl
- น้ำ RO โดยมีค่า conductivity ที่อุณหภูมิ 28.8 °C อยู่ที่ 11.2 μ s/cm
- Iron (II) Sulfate heptahydrate 99.5%
- Iron (III) Chloride hexahydrate 99%

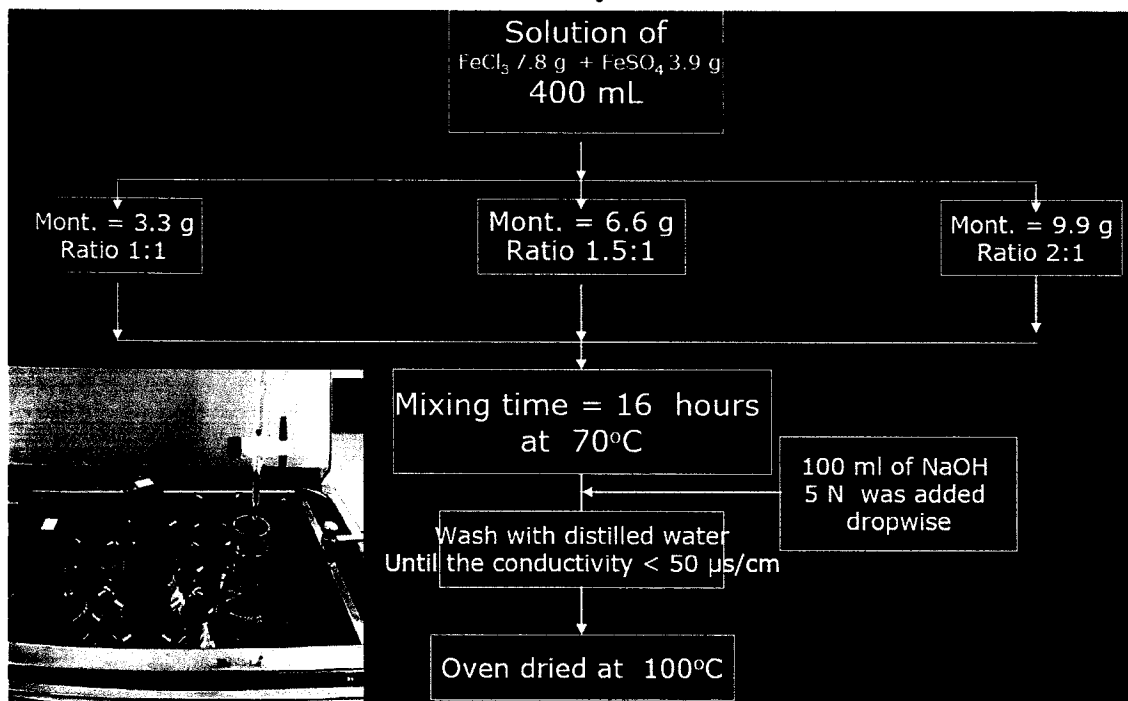
ทั้งนี้สารเคมีที่ใช้ในการเตรียม Magnetic Materials เป็น Analytical Grade ทั้งหมด

3.2 การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก

- 1) นำ FeCl_3 7.8 g ผสมกับ FeSO_4 3.9 g และ นำไปเขย่ารวมกับถ่านกัมมันต์ 3.3 g แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ 400 ml เขย่าที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
- 2) จากนั้นหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 mol/l ปริมาตร 100 ml ลงในสารละลายข้อ 1 พร้อมเขย่าเพื่อให้เกิดการตกตะกอนของสารประกอบเหล็ก
- 3) นำไปล้างด้วยน้ำกลั่นโดยการทำให้ตกตะกอน นำน้ำใสที่ได้ไปวัดค่าการนำไฟฟ้า จนกระทั่งค่าการนำไฟฟ้าเหลือน้อยกว่า $50 \mu\text{S}/\text{cm}$
- 4) นำถ่านกัมมันต์ไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเรียกถ่านกัมมันต์ที่ได้ว่า Magnetic activated carbon 1:1
- 5) ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 4 แต่เปลี่ยนปริมาณถ่านกัมมันต์เป็น 6.6 g และ 9.9 g แล้วเรียกถ่านกัมมันต์ที่ได้ว่า Magnetic activated carbon 1.5:1 และ Magnetic activated carbon 2:1

3.3 การสังเคราะห์แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก

เตรียมด้วยวิธีการเดียวกับการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก แต่เปลี่ยนเป็นใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์แทนถ่านกัมมันต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การสังเคราะห์แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก

3.4 การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพระหว่างแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic materials ดังนี้

- (1) การหาระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ Magnetic clays โดยใช้เทคนิค X-Ray Diffraction (XRD)
- (2) การหาพื้นที่ผิวของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic Materials โดยใช้ Micromeritics ASAP 2010 เพื่อวัดค่า BET surface area โดยวัดความสามารถในการดูดซับ N_2 ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ Magnetic Materials
- (3) การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ซึ่งได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ในถ่านกัมมันต์ และ Magnetic activated carbon ด้วยเครื่อง CHNS Analyzer ยี่ห้อ LECO รุ่น CHNS-932
- (4) วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic Materials โดยใช้เทคนิค X-ray fluorescence (XRF)
- (5) วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นประจุบนผิวอนุภาคของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic Materials

การหาค่า pH_{pzc} (Zeta Potential) ด้วยวิธี pH drift method ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

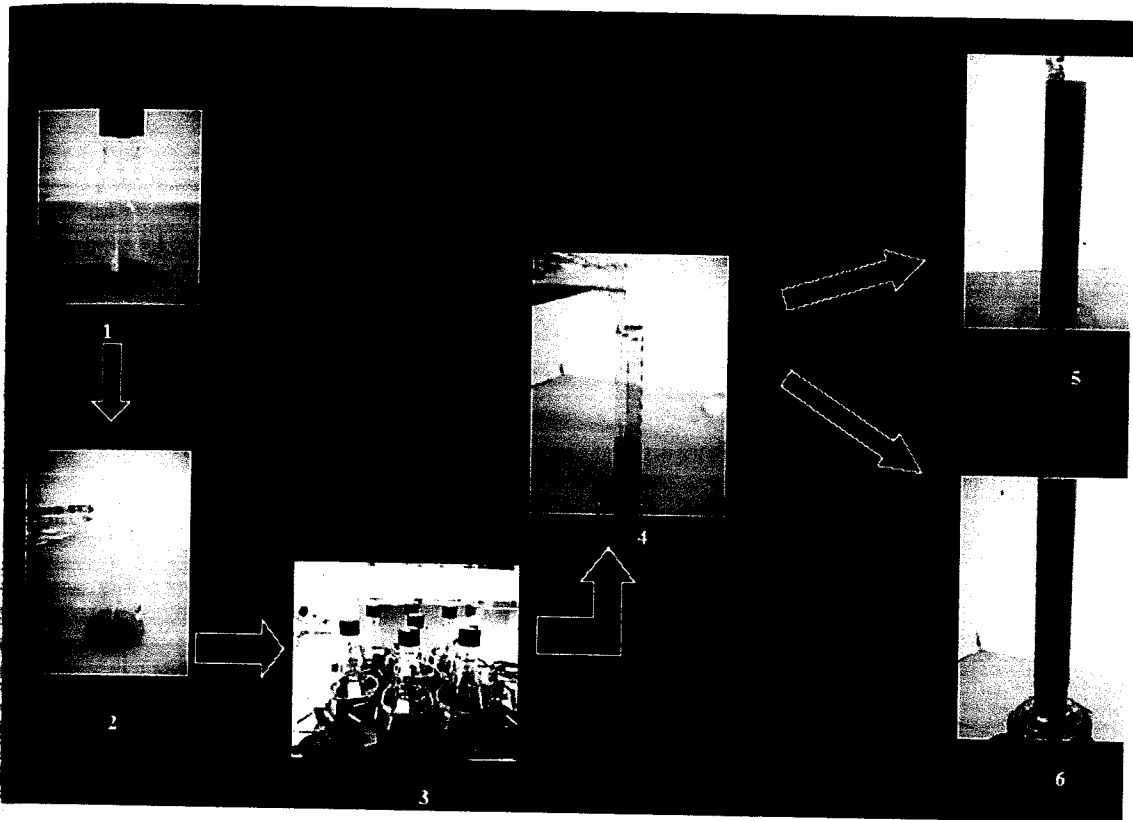
- นำแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic Materials อย่างละ 0.15 g ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 mol/l ปริมาตร 50 ml
- ปรับ pH เท่ากับ 1.0 (initial pH) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 mol/l หรือกรด HCl 0.1 mol/l
- นำไปเขย่าที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
- จากนั้นวัดค่า pH (final pH)
- ทำซ้ำข้อ 1- 4 แต่ปรับ pH เท่ากับ 3, 5, 7, 9, 10 (initial pH)

3.5 การหาเวลาในการตกตะกอนของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic Materials

- 1) นำแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ 1 และ 5 g อย่างละ 4 ขวด แล้วเทน้ำใส่เข้าไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที
- 2) จากนั้นนำสารละลายในข้อ 1 ใส่ในกระบอกตวงที่ปริมาตร 50, 100, 250, 500 ml
- 3) จากนั้นเขย่าสารละลายในกระบอกตวงให้อนุภาคกระจายตัวทั่วกระบอกตวงแล้วทำการจับเวลาบันทึกผลการตกตะกอนของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

- 4) นำค่าที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟระหว่างความสูงของตะกอนกับเวลาในการตกตะกอน
- 5) ทำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 3 แต่เปลี่ยนจากแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์เป็นถ่านกัมมันต์ และ Magnetic Materials ตามลำดับ



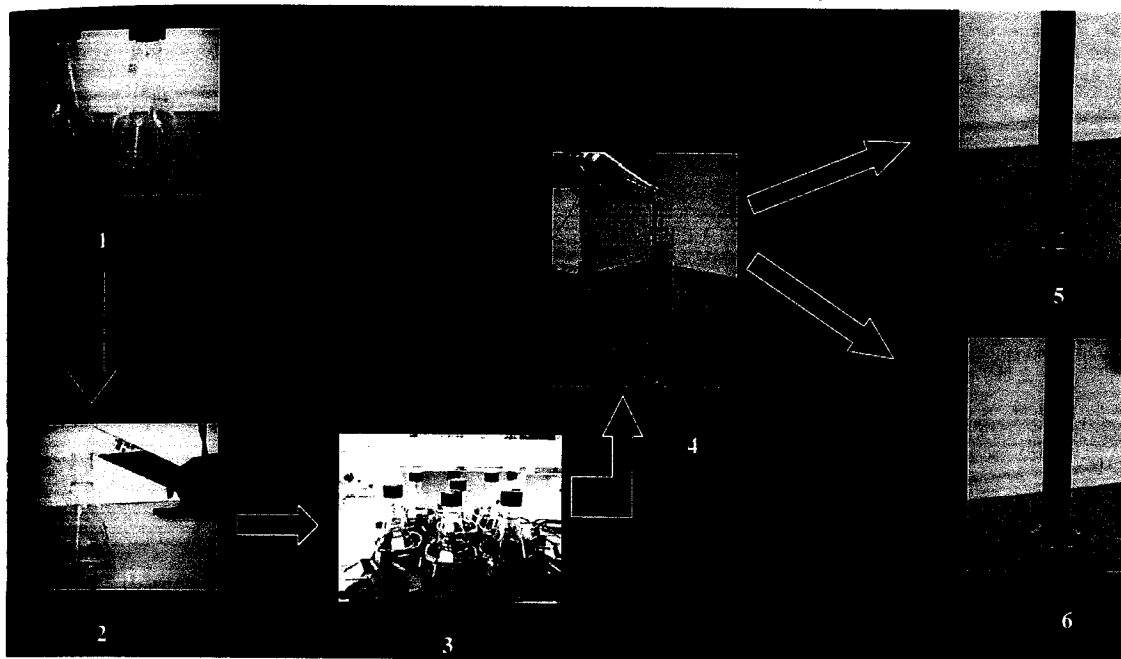
รูปที่ 3.2 การหาเวลาในการตกตะกอนของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic Materials

3.6 การศึกษาการดูดซับเมธิลินบลูด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic Materials

- 1) เตรียมเมธิลินบลูความเข้มข้น 70 mg/l
- 2) นำแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก 1:1, 1.5:1 และ 2:1 แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก 1:1 และ 1.5:1 ปริมาณ 1 g ใส่ในขวดขนาด 500 ml
- 3) นำเมธิลินบลูที่เตรียมจากข้อ 1 เทใส่สารที่ซั่งไว้ในข้อ 2 ในปริมาตร 250 ml ของแต่ละขวดแล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ/นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 4) จากนั้นนำสารจากข้อ 3 เทใส่กระบอกตวงขนาด 250 ml แล้วทำการเขย่ากระบอกตวงเพื่อให้อนุภาคกระจายตัวแล้วทำการจับเวลาการตกตะกอนของสารแต่ละตัว

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

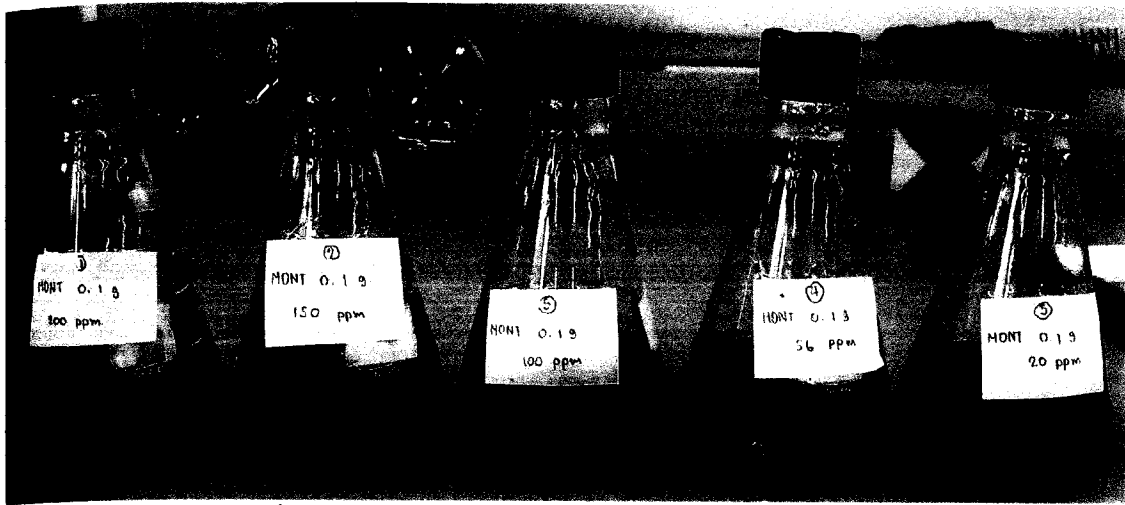
- 6) ในการตกตะกอนของสารจะทำ 2 สถานะคือ สถานะปกติและสถานะแม่เหล็กโดยที่สถานะแม่เหล็กจะมีแผ่นแม่เหล็กวางอยู่ใต้กระบอกดวง
- 7) เมื่อสารตกตะกอนแล้วนำสารละลายเมธิลีนบลูไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) เพื่อหาความเข้มข้นของเมธิลีนบลูในสารละลายต่อไป
- 8) ทำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 6 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของเมธิลีนบลูเป็น 40 mg/l และ 20 mg/l



รูปที่ 3.3 การศึกษาการดูดซับเมธิลีนบลูในสถานะที่เป็นแม่เหล็ก

3.7 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับเมธิลีนบลูด้วย Magnetic materials

ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับเมธิลีนบลูด้วย Magnetic materials ทำการทดลองโดย นำ Magnetic materials เขย่ารวมกับสารละลายเมธิลีนบลู (pH=3) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 ppm ด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่เวลาต่างๆคือ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 60 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปแยกตะกอนกับตัวดูดซับด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงแยก ที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาทีนำสารละลายที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อหาความเข้มข้นของเมธิลีนบลูในสารละลายต่อไป



รูปที่ 3.4 การศึกษาการดูดซับเมธิลีนบลูที่เวลาต่างๆ

3.8 การนำแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic Materials กลับมาใช้ใหม่

- 1) นำแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic Materials ที่ใช้แล้วไปอบที่อุณหภูมิ 200 °C นาน 2 ชั่วโมง
- 2) ชั่งตัวดูดซับจากข้อ 1 ที่อบแล้วชนิดละ 1 g เทเมธิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 20 mg/l ปริมาตรเท่ากับ 250 ml จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200/ นาที
- 3) จากนั้นนำตัวดูดซับจากข้อ 2 เทใส่กระบอกตวงขนาด 250 ml แล้วทำการเขย่ากระบอกตวงเพื่อให้อนุภาคกระจายตัวแล้วทำการจับเวลาการตกตะกอนของตัวดูดซับแต่ละตัว
- 4) ในการตกตะกอนของตัวดูดซับจะทำ 2 สภาวะคือ สภาวะปกติและสภาวะแม่เหล็ก โดยที่สภาวะแม่เหล็กจะมีแผ่นแม่เหล็กวางอยู่ใต้กระบอกตวง
- 5) เมื่อตัวดูดซับตกตะกอนแล้วนำสารละลายเมธิลีนบลูไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) เพื่อหาความเข้มข้นของเมธิลีนบลูในสารละลายต่อไป

3.9 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายเมธิลีนบลู

- ชั่งเมธิลีนบลู 0.2 g เทใน volumetric flask ขนาด 1000 ml
- เติมน้ำกลั่นให้ได้ 1000 ml และเขย่า จะได้สารละลายเมธิลีนบลูความเข้มข้น 200 mg/L
- เจือจางสารละลายเมธิลีนบลูให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ คือ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 mg/l โดยใช้สูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 คือความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานเมธิลีนบลู (mg/l)

V_1 คือปริมาตรของสารละลายมาตรฐานสารเมธิลีนบลูที่ต้องใช้ (ml)

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

C_2 คือความเข้มข้นสารละลายเมธิลีนบลูที่ต้องการ (mg/l)

V_2 คือปริมาตรของสารละลายเมธิลีนบลูที่ต้องการเตรียม (ml)

- จากนั้นนำสารละลายเมธิลีนบลูที่มีความเข้มข้นต่างๆ มาทำการวัดค่าดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่อง UV/visible spectrophotometer ที่มีความยาวคลื่น 696 nm โดยเทียบกับสารละลายอ้างอิง (เมธิลีนบลู 0 mg/l)
- พล็อตค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายเมธิลีนบลู จะได้กราฟมาตรฐานของสารละลายเมธิลีนบลู
- ในการวัดปริมาณสารเมธิลีนบลูของการทดลอง นำสารละลายเมธิลีนบลูส่วนที่ใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสง
- นำค่าการดูดกลืนแสง ไปเทียบหาความเข้มข้นของสารละลายเมธิลีนบลูจากกราฟมาตรฐาน

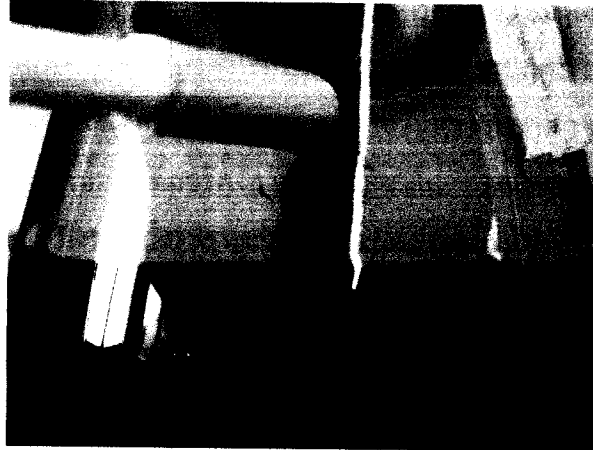
C_2 คือความเข้มข้นสารละลายเมธิลีนบลูที่ต้องการ (mg/l)

V_2 คือปริมาตรของสารละลายเมธิลีนบลูที่ต้องการเตรียม (ml)

- จากนั้นนำสารละลายเมธิลีนบลูที่มีความเข้มข้นต่างๆ มาทำการวัดค่าดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่อง UV/visible spectrophotometer ที่มีความยาวคลื่น 696 nm โดยเทียบกับสารละลายอ้างอิง (เมธิลีนบลู 0 mg/l)
- พล็อตค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายเมธิลีนบลู จะได้กราฟมาตรฐานของสารละลายเมธิลีนบลู
- ในการวัดปริมาณสารเมธิลีนบลูของการทดลอง นำสารละลายเมธิลีนบลูส่วนที่ใส่มาวัดค่าการดูดกลืนแสง
- นำค่าการดูดกลืนแสง ไปเทียบหาความเข้มข้นของสารละลายเมธิลีนบลูจากกราฟมาตรฐาน

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการสังเคราะห์ Magnetic materials



รูปที่ 4.1 วัสดุที่มีสมบัติทางแม่เหล็ก

จากรูปที่ 4.1 พบว่า Magnetic materials ที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติทางแม่เหล็ก โดยสามารถเกาะติดกับขั้วแม่เหล็กที่ใช้ทดสอบ

4.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ Magnetic materials

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่า pH_{pzc} ของ Magnetic materials มีค่าลดลงจากสารตั้งต้น

ตารางที่ 4.1 ค่า pH_{pzc} (Zeta Potential) ของตัวดูดซับ

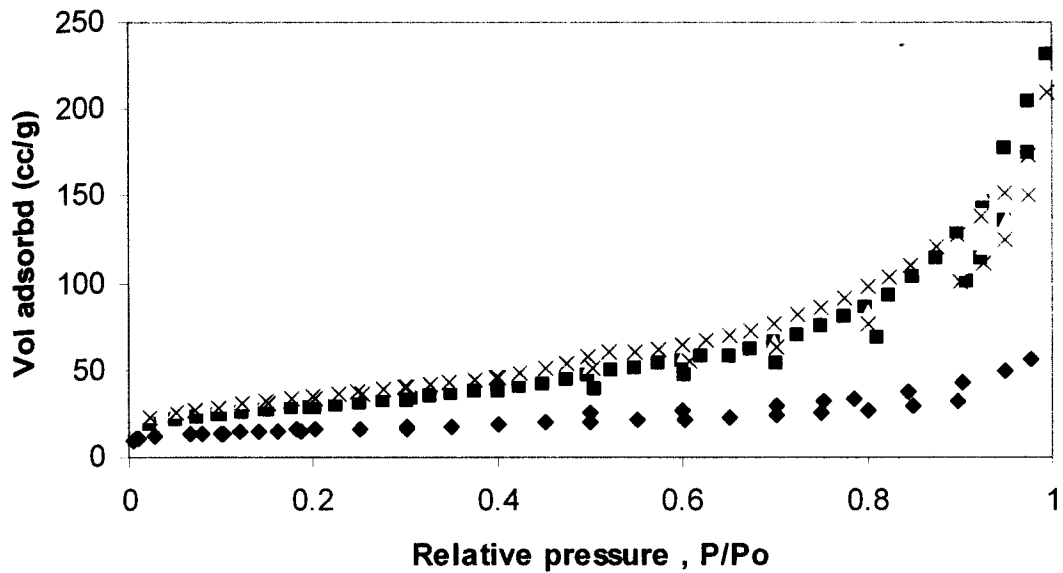
Sample	pH_{pzc} (Zeta Potential)
Activated carbon	8.9
Magnetic activated carbon 1:1	8.3
Magnetic activated carbon 1.5:1	8.4
Magnetic activated carbon 2:1	8.3
Clay	9
Magnetic clay 1:1	8.15
Magnetic clay 1.5:1	8.2

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

จากการศึกษาสมบัติพื้นผิวของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic materials โดยใช้เครื่อง BET Automatic Surface Analyzer ในตารางที่ 4.2 พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กจะมีพื้นที่ผิวลดลงกว่าถ่านกัมมันต์ดั้งเดิมแต่มีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีสารประกอบของเหล็กเข้าไปอยู่ในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ทำให้พื้นที่ผิวอิสระของถ่านกัมมันต์ลดลง ในทางตรงกันข้ามแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ดั้งเดิมซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการดูดซับไนโตรเจนดังรูปที่ 4.2 กล่าวคือ Magnetic clays มีความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนมากกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเนื่องจาก Magnetic clays มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจากแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะการดูดซับไนโตรเจนของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Magnetic clays เป็นแบบ Type IV และแสดง Hysteresis Loop บ่งบอกถึงรูพรุนขนาดกลาง (Mesoporous material: ขนาดรูพรุน 2-50 นาโนเมตร) ซึ่งสอดคล้องกับขนาดรูพรุนเฉลี่ยที่แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของของตัวดูดซับโดยใช้ BET N₂ adsorption

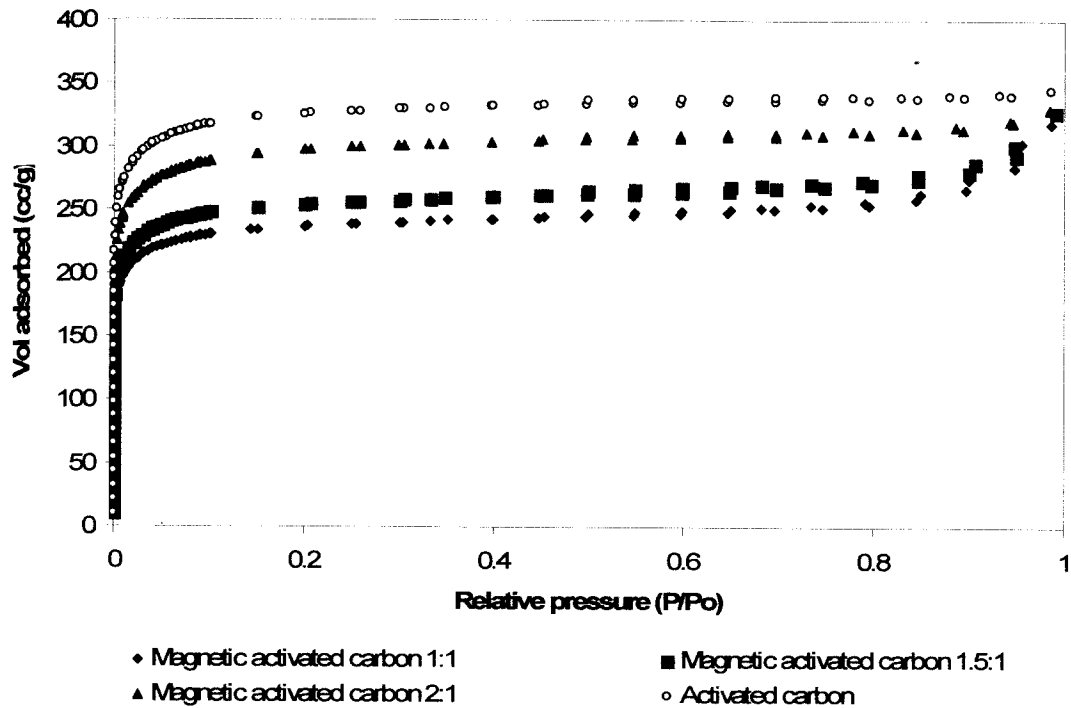
Adsorbent	BET surface area (m ² /g)			ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (nm)		
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	Recycle	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	Recycle
Activated carbon	1079	965.36	997.41	1.974	2.021	1.9
Magnetic activated carbon 1:1	785.65	98.63	476.72	2.503	3.668	N/A
Magnetic activated carbon 1.5:1	842.75	983.57	N/A	2.401	2.108	N/A
Magnetic activated carbon 2: 1	983.46	945.06	940.56	2.078	2.12	2.17
Montmorillonite	60.72	N/A	N/A	9.016	N/A	N/A
Magnetic Clay 1:1	148.78	153.67	149.39	9.430	9.114	9.232
Magnetic clay 1.5:1	152	168.18	159.79	7.616	N/A	7.73



◆ Montmorillonite ■ Magnetic clay 1:1 Magnetic clay 1.5:1 × Magnetic clay 2:1

รูปที่ 4.2 N_2 adsorption isotherm ของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ และ Magnetic clays

ทฤษฎีที่ 4.3 พบว่าลักษณะการดูดซับไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ และ Magnetic activated carbon ที่ผลิตได้เป็นแบบ Type I แสดงถึงรูพรุนขนาดเล็ก (Microporous material) และ Magnetic activated carbon มีความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ดั้งเดิม เนื่องจาก Magnetic activated carbon มีพื้นที่ผิวลดลงเป็นลำดับเมื่อปริมาณ Fe_2O_3 บนถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ดั้งเดิม



รูปที่ 4.3 N_2 adsorption isotherm ของถ่านกัมมันต์ และ Magnetic activated carbon ที่ผลิตได้

เมื่อพิจารณาระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างของ Magnetic clays อัตราส่วนต่างๆ โดยเทคนิค XRD จากค่า d_{001} พบว่าระยะห่างระหว่างชั้นของ Magnetic clays จะมีค่า d_{001} ลดลงและ ค่า 2θ มีค่ามากขึ้น เมื่อปริมาณ Fe_2O_3 เพิ่มขึ้นดังตารางที่ 4.3 แสดงว่าโมเลกุลของ Fe_2O_3 เข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ซึ่งอาจทำให้ความสามารถในการดูดซับของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ลดลง ค่า d_{001} ในตารางที่ 4.3 จะรวมระยะห่างระหว่างชั้นของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์และความหนาของชั้นแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งความหนาของชั้นแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์มีค่าเท่ากับ 9.4 Å (Nzengung, Voudrias, Nkedi-kizza, Wampler and Weaver, 1996) เพราะช่องว่างระหว่างชั้นของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์จะเท่ากับค่า d_{001} ลบด้วย 9.4 Å

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของ Magnetic clays โดยเทคนิค XRD

Sample	d_{001}	2 θ (degree)
Montmorillonite	14.92	5.69
Magnetic clay 1:1	12.62	7.00
Magnetic clay 1.5:1	13.97	6.32
Magnetic clay 2:1	14.89	5.93

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วย FeCl_3 และ FeSO_4 (Magnetic clay) โดยใช้เครื่อง X-ray fluorescence (XRF) ในตารางที่ 4.4 พบว่า ปริมาณ Na_2O จะลดลงเมื่อเทียบกับแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ดั้งเดิม (แสดงในตารางที่ 4.4) จนไม่สามารถวัดค่าได้ แต่ปริมาณ Fe_2O_3 เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณสารประกอบ FeCl_3 และ FeSO_4 ที่เติมลงไป ในขั้นตอนการสังเคราะห์ Magnetic materials ซึ่งแสดงว่ามีสารประกอบเหล็กเข้าไปแทรกอยู่ในโครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์จริง

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ และ Magnetic clays

Component	Montmorillonite	Magnetic clay 1:1	Magnetic clay 1.5:1	Magnetic clay 2:1
Na_2O	2.4-3	N.D.	N.D.	N.D.
MgO	1.5-2	0.795	0.952	0.98
Al_2O_3	16-18	4.704	7.189	5.587
SiO_2	56-60	11.479	17.049	22.085
P_2O_5	N.D.	0.015	0.035	0.048
S	N.D.	0.039	0.044	0.035
K_2O	0.3-0.5	0.017	0.475	0.75
CaO	1.9-2.1	1.777	2.378	3.158
TiO_2	1.2-1.5	0.513	0.767	0.958
MnO	N.D.	0.545	0.441	0.417
Fe_2O_3	5-7	65.116	55.695	50.981

จากตารางที่ 4.5 พบว่า สารประกอบเหล็กใน Magnetic activated carbon สูงกว่าในถ่านกัมมันต์ดั้งเดิม ซึ่งแสดงว่ามีสารประกอบเหล็กเข้าไปแทรกอยู่ในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ แต่ปริมาณสารประ

กอบเหล็กใน Magnetic activated carbon ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแม้จะมีการเพิ่มปริมาณสารประกอบ FeCl_3 และ FeSO_4 ที่เติมลงไปในช่วงตอนการสังเคราะห์ Magnetic materials

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านกัมมันต์และ Magnetic activated carbon

Component	Activated Carbon	Magnetic activated carbon 1:1	Magnetic activated carbon 2:1
Na_2O	N.D.	N.D.	N.D.
MgO	N.D.	N.D.	N.D.
Al_2O_3	1.742	N.D.	N.D.
SiO_2	4.618	0.339	0.535
K_2O	21.473	N.D.	N.D.
CaO	1.685	6.146	0.200
TiO_4	N.D.	N.D.	N.D.
Fe_2O_3	1.165	31.671	31.297

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ความเป็นแม่เหล็กของ Magnetic clays ยังคงอยู่ภายหลังจาก Regenerate ด้วยความร้อน และสภาวะของการดูดซับ (สภาวะปกติ และสภาวะที่เป็นแม่เหล็ก) ไม่มีผลต่อปริมาณ Fe_2O_3 บนตัวดูดซับภายหลังจาก Regenerate

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของ Magnetic clays ภายหลังจาก Regenerate

Component	Magnetic clay 1:1	Magnetic clay 1:1	Magnetic clay 1.5:1	Magnetic clay 1.5:1
	(A)	(B)	(A)	(B)
Na_2O	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
MgO	N.D.	0.547	0.597	0.714
Al_2O_3	4.078	3.818	6.437	6.667
SiO_2	14.015	13.459	23.286	23.382
K_2O	N.D.	N.D.	0.0965	0.119
CaO	1.168	0.257	1.699	1.643
TiO_4	N.D.	0.621	1.023	1.048
Fe_2O_3	76.686	77.288	63.945	63.502

หมายเหตุ

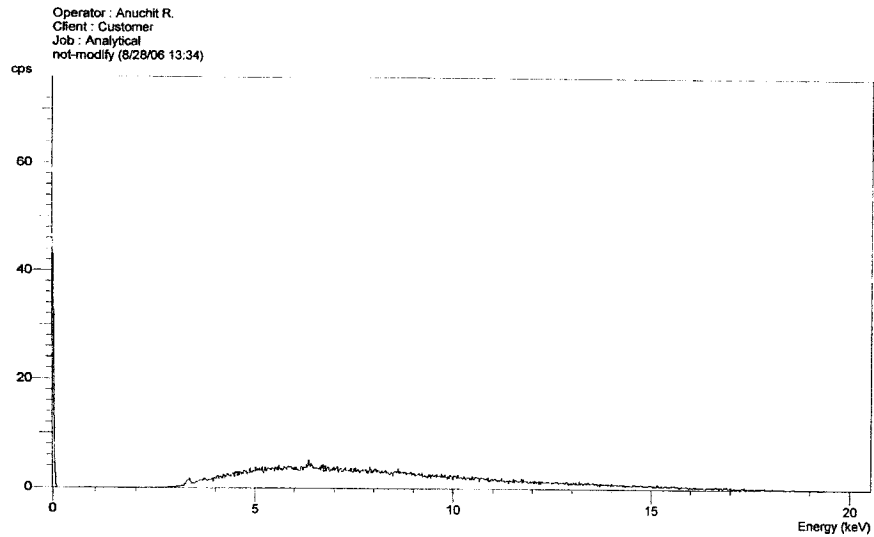
A = Magnetic clays ที่ผ่านการดูดซับ Methylene blue ในสภาวะปกติ

B = Magnetic clays ที่ผ่านการดูดซับ Methylene blue ในสภาวะที่เป็นแม่เหล็ก

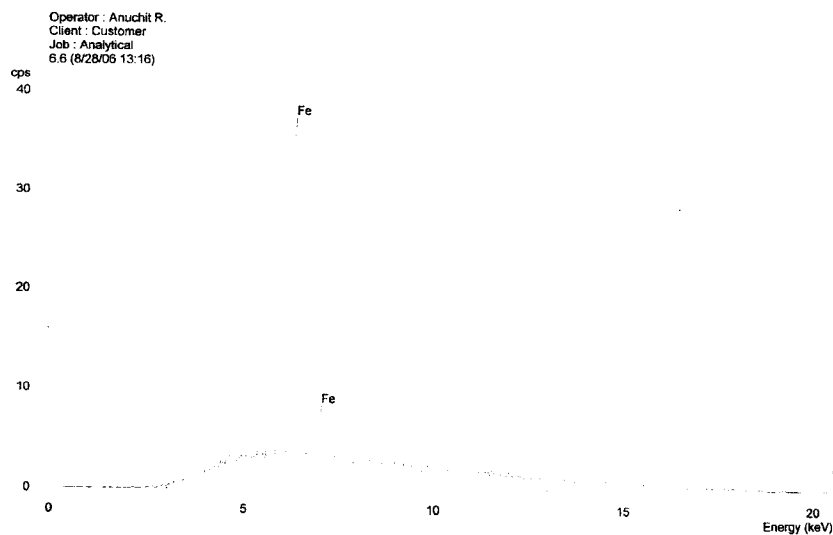
การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

นอกจากนี้ปริมาณของเหล็กในถ่านกัมมันต์ตั้งต้นและถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กถูกวิเคราะห์เพื่อยืนยันความถูกต้องโดยใช้เทคนิค Energy Dispersive Spectrometer (EDS) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4-4.7

จากรูปที่ 4.4 ไม่พบ Peak ของเหล็กในถ่านกัมมันต์ตั้งต้น สำหรับ Magnetic activated carbon จะพบ Peak ของเหล็กอย่างชัดเจน โดยความสูงของกราฟจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้น

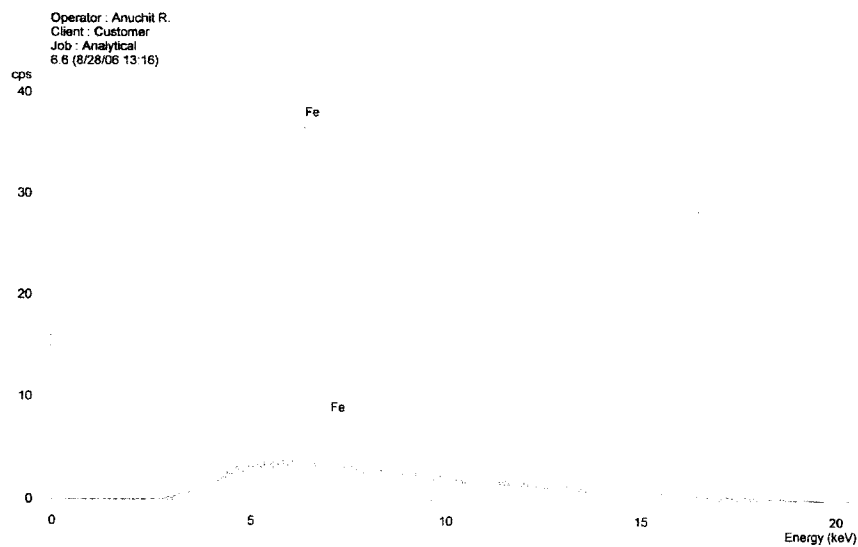


รูปที่ 4.4 EDS Spectrums ของถ่านกัมมันต์ตั้งต้น

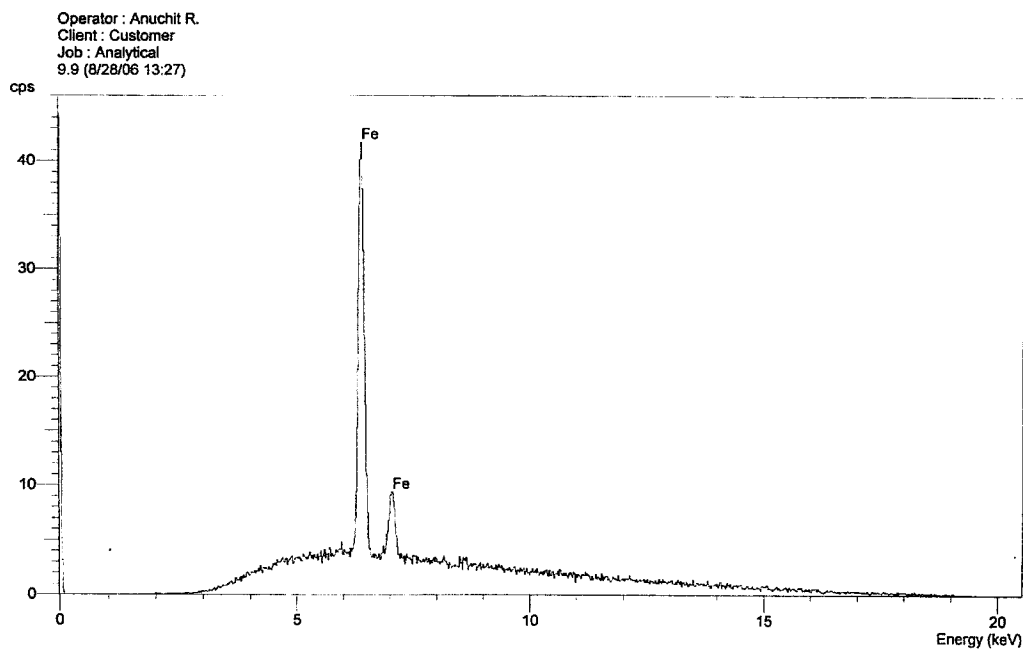


รูปที่ 4.5 EDS Spectrums ของ Magnetic activated carbon ชนิด 1:1

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว



รูปที่ 4.6 EDS Spectrums ของ Magnetic activated carbon 1.5:1



รูปที่ 4.7 EDS Spectrums ของ Magnetic activated carbon ชนิด 2:1

เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนบนถ่านกัมมันต์และ Magnetic activated carbon โดยใช้เครื่อง CHNS analyzer ดังตารางที่ 4.7 พบว่า ปริมาณคาร์บอนบน Magnetic activated carbon ลดลงจากถ่านกัมมันต์ตั้งต้น

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

ตารางที่ 4.7 Ultimate analysis ของ Magnetic activated carbon

ร้อยละโดยน้ำหนัก	ถ่านกัมมันต์	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ อัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์ : สารประกอบเหล็ก		
		1:1	1.5:1	2:1
คาร์บอน	64.28	32.25	40.86	43.89
ไฮโดรเจน	1.139	0.811	0.848	1.184
ไนโตรเจน	0.071	0.048	0.092	0.119
ซัลเฟอร์	0.012	0	0	0.015

4.3 การตกตะกอนของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic materials ที่สภาวะปกติและสภาวะแม่เหล็ก

ข้อมูลการตกตะกอน และ Settling Curve โดยละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.8 เวลาการตกตะกอนของถ่านกัมมันต์ และ Magnetic activated carbon

ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้นของ เมธิลินบลู(mg/l)	สภาวะปกติ	สภาวะแม่เหล็ก
		Time (sec)	Time (sec)
ถ่านกัมมันต์	70	6.94	5.752
	40	7.03	7.143
	20	7.76	6.439
Magnetic activated carbon 1:1	70	6.20	5.188
	40	7.08	6.179
	20	7.49	6.892
Magnetic activated carbon 1.5:1	70	6.01	5.558
	40	6.60	5.953
	20	8.09	8.559
Magnetic activated carbon 2:1	70	7.07	6.502
	40	8.26	7.531
	20	9.66	7.744

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

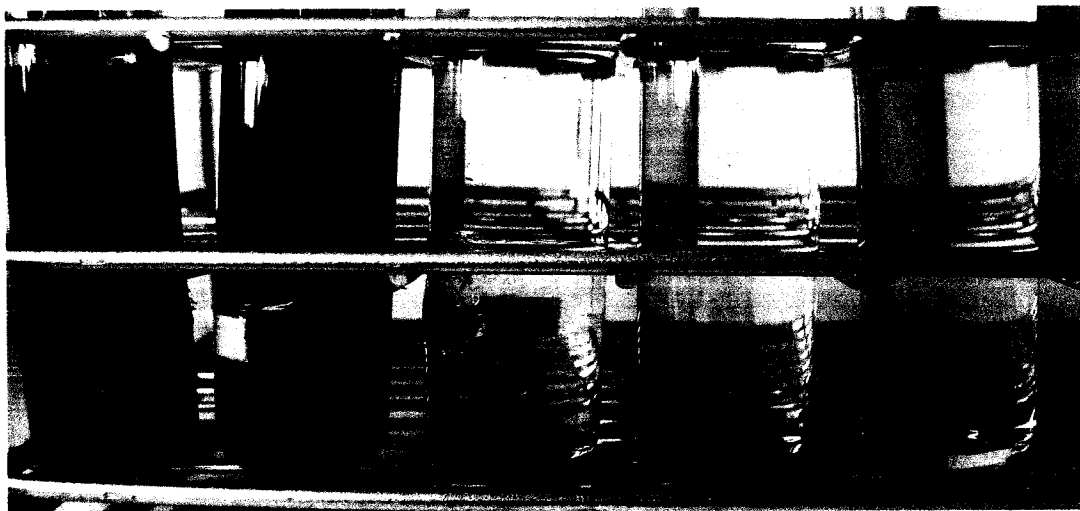
จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 พบว่า Magnetic materials สามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้นในสถานะที่เป็นแม่เหล็ก โดยเฉพาะ Magnetic clays เห็นว่าเวลาการตกตะกอนในสถานะแม่เหล็กลดลงกว่าครึ่งหนึ่งของสถานะปกติ

ตารางที่ 4.9 เวลาการตกตะกอนของ Magnetic clays

ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้นของ เมธิลินบลู (mg/l)	สถานะปกติ	สถานะแม่เหล็ก
		Time (min)	Time (min)
magnetic clay 1:1	70	47.41	28.45
	40	51.933	26.097
	20	48.61	24.803
magnetic clay 1:1.5	70	72	46.46
	40	68.277	34.873
	20	80.693	28.56

4.4 จลนพลศาสตร์การดูดซับเมธิลินบลูด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ และ

Magnetic materials

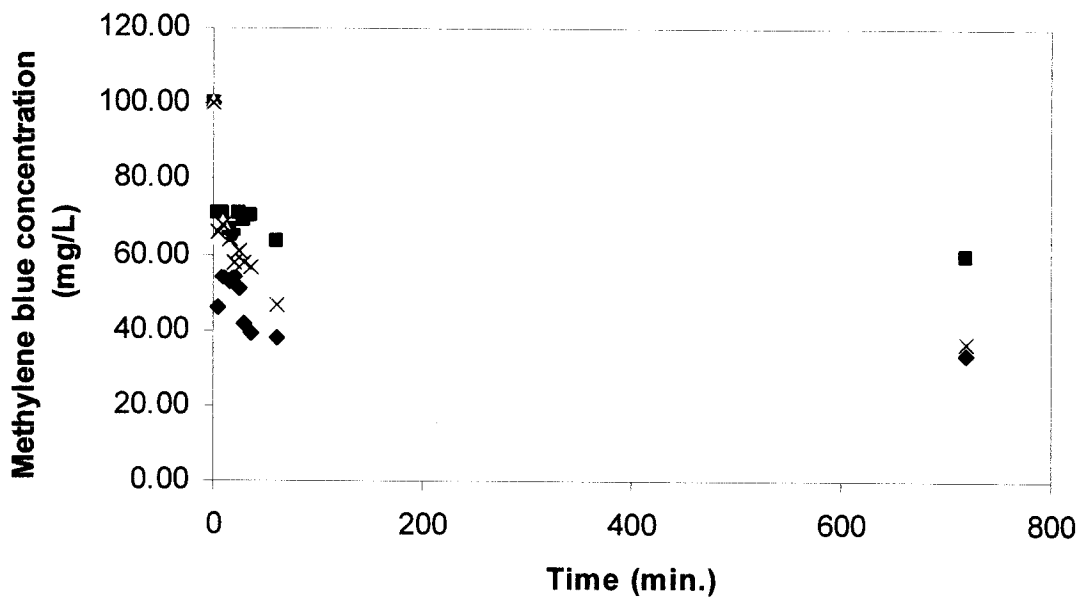


รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของเมธิลินบลูในน้ำเมื่อเวลาผ่านไป

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าความเข้มข้นของเมธิลินบลูในน้ำลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ระยะเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับเมธิลินบลูจากน้ำโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ Magnetic clays เป็นตัวดูดซับจะใช้เวลาประมาณ 40 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติมีความสามารถในการกำจัดเมธิลินบลูในน้ำได้มากกว่า Magnetic clays เนื่องจากเมธิลินบลูเป็นสีอินทรีย์ที่มีประจุบวก และกลไกการดูดซับสีเมธิลินบลูบนแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

เกิดขึ้นด้วยการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างเมธิลีนบลูกับ Na^+ และ Ca^{2+} ที่มีอยู่ในแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ (Dentel, 1996) แต่สำหรับ Magnetic clays ประจุของ Na^+ และ Ca^{2+} ที่มีอยู่ในแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติถูกแลกเปลี่ยนกับ Fe_2O_3 ไปแล้วจึงไม่เหลือประจุบวกของ Na^+ และ Ca^{2+} บนพื้นผิวมากพอทำให้ความสามารถในการดูดซับเมธิลีนบลูเกิดขึ้นได้น้อย ความสามารถในการกำจัดเมธิลีนบลูจากน้ำของ Magnetic clays ลดลงเมื่อปริมาณสารประกอบเหล็กบน Magnetic clays มากขึ้น

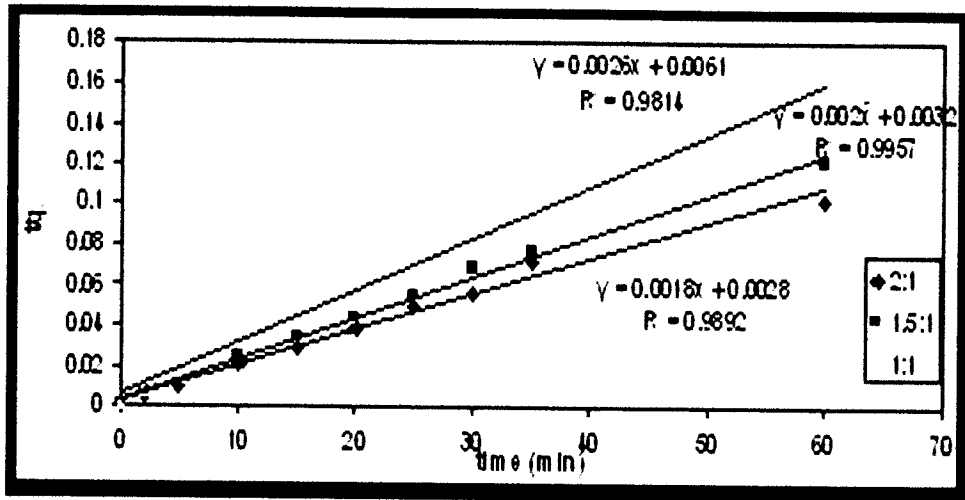


◆ Montmorillonite ■ Magnetic clay 1:1 × Magnetic clay 1.5:1

รูปที่ 4.9 จลนพลศาสตร์การดูดซับเมธิลีนบลู

เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับเมธิลีนบลูโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Magnetic clays โดยใช้สมการ Pseudo-First Order และ Pseudo-Second Order พบว่าการดูดซับสารอินทรีย์โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Magnetic clays มีลักษณะการดูดซับแบบ Pseudo-Second Order ดังแสดงในรูปที่ 4.10

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว



รูปที่ 4.10 จลนพลศาสตร์การดูดซับเมธิลีนบลูตามสมการ Pseudo-Second Order

จากรูปที่ 4.10 ค่าคงที่ของการดูดซับ (k_2) ดังแสดงในตารางที่ 4.10 สามารถหาได้จากความชันและจุดตัดแกนของเส้นกราฟ เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะ Magnetic clays ค่า k_2 (Rate constant of Pseudo-Second Order) จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างดินต่อเหล็กมากขึ้น แสดงว่า Magnetic clay 2:1 มีอัตราการดูดซับเร็วที่สุด

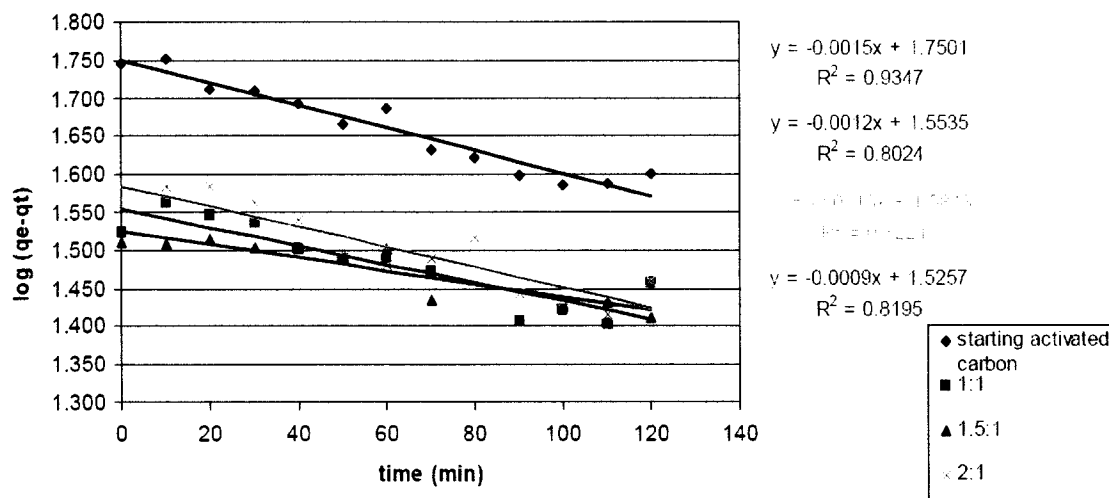
ตาราง 4.10 ค่าคงที่ของการดูดซับ จากสมการ Pseudo-Second order

ชนิดของตัวดูดซับ	R^2	k_2 (g.min ⁻¹ mg ⁻¹)
Magnetic clay 1:1	0.9814	0.00048
Magnetic clay 1.5:1	0.9957	0.00127
Magnetic clay 2:1	0.9892	0.00224
Montmorillonite	0.9302	0.0032

เมื่อเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์การดูดซับเมธิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์และ Magnetic activated carbon พบว่า ถ่านกัมมันต์จะดูดซับเมธิลีนบลูได้เร็วที่สุด และการดูดซับเป็นไปตามสมการ Pseudo-First Order ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และค่าคงที่ของการดูดซับ (k_1) แสดงในตารางที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะ Magnetic clays ค่า k_1 (rate constant of Pseudo-First Order) จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์ต่อเหล็กมากขึ้น แสดงว่า Magnetic activated carbon 2:1 มีอัตราการดูดซับเร็วที่สุด

ตารางที่ 4.11 ค่าคงที่ของการดูดซับ จากสมการ Pseudo first order

ชนิดของตัวดูดซับ	R ²	k ₁ (mg/g.min)
ถ่านกัมมันต์	0.9347	0.00345
Magnetic activated carbon 1:1	0.8024	0.00120
Magnetic activated carbon 1.5:1	0.8195	0.00207
Magnetic activated carbon 2:1	0.8221	0.00299



รูปที่ 4.10 จลนพลศาสตร์การดูดซับเมธิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์และ Magnetic activated carbon

4.5 การดูดซับเมธิลีนบลูด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ และ

Magnetic materials

จากการศึกษาความสามารถการดูดซับเมธิลีนบลูด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic materials พบว่า ในสภาวะปกติ (สภาวะที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก) ถ่านกัมมันต์จะดูดซับเมธิลีนบลูจากน้ำได้ดีกว่า Magnetic activated carbon ดังแสดงในตารางที่ 4.11 เนื่องจากมีสารประกอบของเหล็กเข้าไปอยู่ในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ทำให้พื้นที่ผิวอิสระของถ่านกัมมันต์ลดลง ทำให้ Magnetic activated carbon มีพื้นที่ผิวลดลงเป็นลำดับเมื่อปริมาณสารประกอบเหล็กบนถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นจึงดูดซับเมธิลีนบลูจากน้ำได้ลดลง แต่ในทางตรงกันข้าม Magnetic clays จะดูดซับเมธิลีนบลูจากน้ำได้ดีกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 4.12

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

ตารางที่ 4.12 การดูดซับเมธิลินบลูด้วย ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic activated carbon ในสภาวะปกติ

ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมธิลินบลู (mg/l)	ความเข้มข้นสุดท้ายของเมธิลินบลู(mg/l)
ถ่านกัมมันต์	70	37.395
	40	14.775
	20	4.139
Magnetic activated carbon1:1	70	58.976
	40	23.891
	20	11.628
Magnetic activated carbon1:1.5	70	48.511
	40	24.108
	20	9.604
Magnetic activated carbon1:2	70	46.279
	40	20.775
	20	8.442

ตารางที่ 4.13 การดูดซับเมธิลินบลูด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ Magnetic clays ในสภาวะปกติ

ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมธิลินบลู (mg/l)	ความเข้มข้นสุดท้ายของเมธิลินบลู(mg/l)
แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ	70	31.256
	40	29.72
	20	17.395
Magnetic clay1:1	70	0.837
	40	1.147
	20	1.395
Magnetic clay1.5:1	70	1.162
	40	1.938
	20	2.852

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการดูดซับเมธิลินบลูด้วยถ่านกัมมันต์ และ Magnetic activated carbon ในสถานะปกติ (ตารางที่ 4.12) และข้อมูลการดูดซับเมธิลินบลูด้วย ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic activated carbon ในสถานะที่มีสนามแม่เหล็ก (ตารางที่ 4.14) พบว่าแนวโน้มความสามารถในการดูดซับไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.13 การดูดซับเมธิลินบลูด้วย ถ่านกัมมันต์ และ Magnetic activated carbon ในสถานะแม่เหล็ก

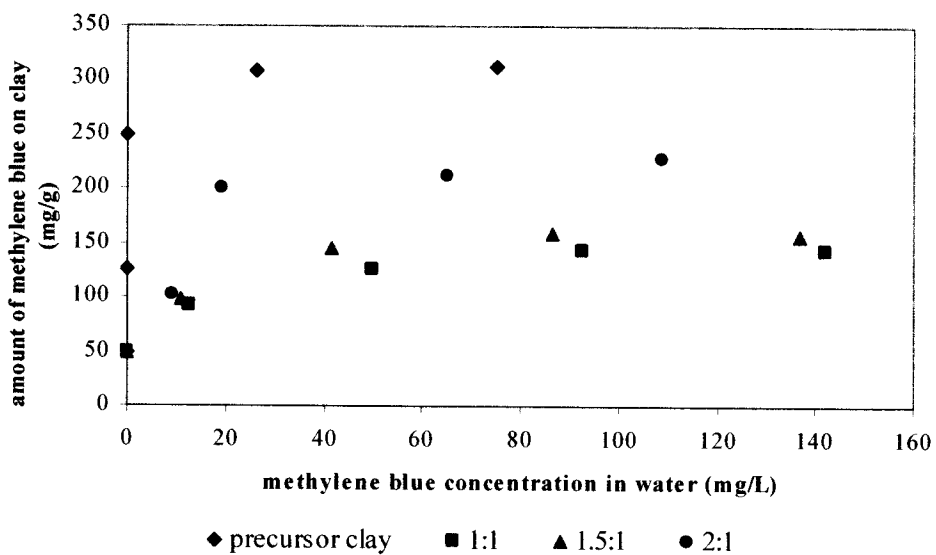
ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมธิลินบลู(mg/l)	ความเข้มข้นสุดท้ายของเมธิลินบลู(mg/l)
ถ่านกัมมันต์	70	32.372
	40	14.356
	20	5.465
magnetic activated carbon1:1	70	46.744
	40	25.86
	20	12.186
Magnetic activated carbon1:1.5	70	46.372
	40	22.418
	20	13.139
magnetic activated carbon1:2	70	49.767
	40	20.294
	20	8

ในทำนองเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการดูดซับเมธิลินบลูด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ Magnetic clays ในสถานะปกติ (สถานะที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก) ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และข้อมูลการดูดซับเมธิลินบลูด้วย แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ Magnetic clays ในสถานะแม่เหล็ก (ตารางที่ 4.15) พบว่าแนวโน้มความสามารถในการดูดซับไม่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน จึงสามารถสรุปได้ว่า การดูดซับในสถานะแม่เหล็กไม่รบกวนความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ

ตารางที่ 4.15 การดูดซับเมธิลีนบลูด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ Magnetic clays ในสถานะแม่เหล็ก

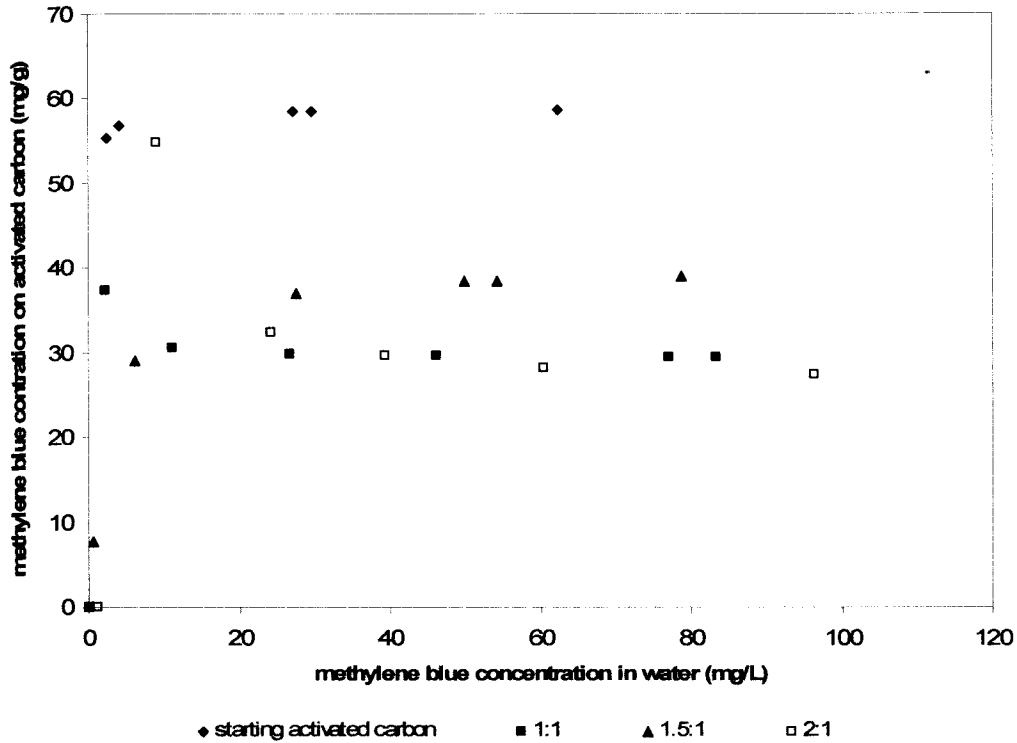
ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมธิลีนบลู (mg/l)	ความเข้มข้นสุดท้ายของเมธิลีนบลู (mg/l)
แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ	70	48.744
	40	31.535
	20	16.046
magnetic clay 1:1	70	0.837
	40	1.178
	20	1.178
magnetic clay 1.5:1	70	0.93
	40	1.969
	20	2

ไอโซเทอรัมการดูดซับสามารถสร้างได้โดยสมการสมดุลมวลสาร ลักษณะของไอโซเทอรัมการดูดซับดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปตาม Langmuir Isotherm



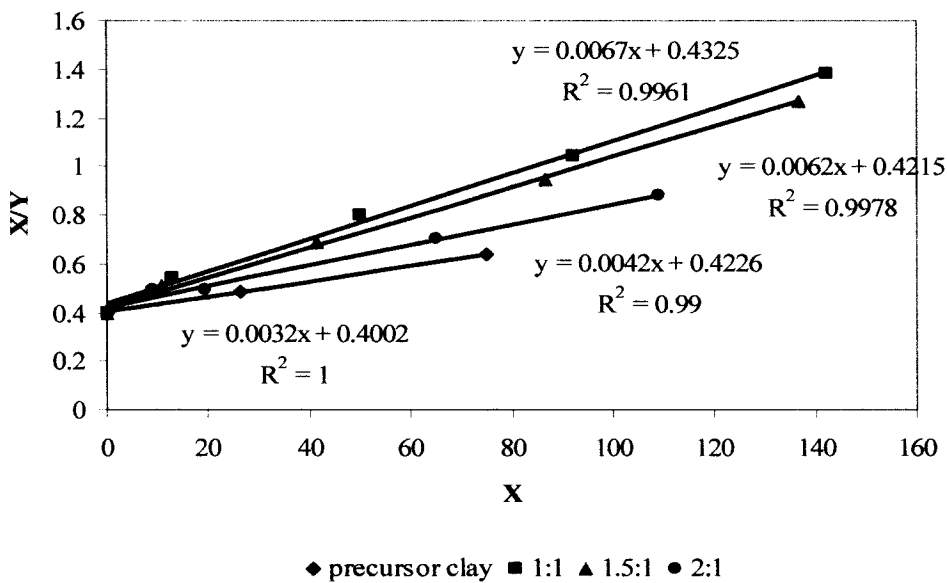
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูในสารละลายหลังการดูดซับกับปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ Magnetic clays ในสถานะปกติ

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนบลูในสารละลายหลังการดูดซับกับ ปริมาณเมธิลีนบลูบนตัวดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์และ Magnetic activated carbon ใน สภาวะปกติ (หมายถึง สภาวะที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก)

ความสามารถการดูดซับเมธิลีนบลูของตัวดูดซับชนิดต่างๆสามารถคำนวณได้จาก Langmuir Isotherm ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 Langmuir transformed data ของการดูดซับเมธิลีนบลูด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ Magnetic clays ในสภาวะปกติ

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

จากตารางที่ 4.16 พบว่า แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติมีความสามารถในการดูดซับเมธิลินบลูสูงสุด

ตารางที่ 4.16 ความสามารถในการดูดซับเมธิลินบลูของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์และ Maggnetic materials

ชนิดของตัวดูดซับ	Monolayer sorption capacities by mean of Langmuir isotherm (mg/g)
แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ	312.5
Magnetic Clay 1:1	149.3
Magnetic Clay 1.5:1	161.3
Magnetic Clay 2:1	238.1
ถ่านกัมมันต์	58.52
Magnetic activated carbon 1:1	29.29
Magnetic activated carbon 1.5:1	40.16
Magnetic activated carbon 2:1	25.97

4.6 ประสิทธิภาพของตัวดูดซับภายหลังการ Regenerate ที่อุณหภูมิ 200 °C

ตารางที่ 4.17 เวลาในการตกตะกอนของถ่านกัมมันต์และ Magnetic materials ที่สภาวะปกติและสภาวะแม่เหล็กภายหลังการ Regenerate ที่อุณหภูมิ 200 °C

ชนิดของตัวดูดซับ	ระยะเวลาในการตกตะกอน (วินาที)			
	สภาวะปกติ		สภาวะแม่เหล็ก	
	ตัวดูดซับใหม่	Recycle	ตัวดูดซับใหม่	Recycle
ถ่านกัมมันต์	7.62	6.66	6.71	7.43
Magnetic activated carbon 1:1	8.14	7.48	7.81	6.96
Magnetic activated carbon 1:1.5	10.18	7.12	11.45	7.97
Magnetic activated carbon 1:2	9.95	11.23	7.52	8.20
Magnetic Clay 1:1	75.21	37.56	39.17	19.63
Magnetic Clay 1:1.5	81.06	68.92	37.28	34.9

สภาวะในการทดลองมีผลต่อระยะเวลาในการตกตะกอนโดยตัวดูดซับที่ตกตะกอนในสภาวะสนามแม่เหล็กใช้ระยะเวลาในการตกตะกอนน้อยกว่าเมื่อทดลองในสภาวะปกติที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก จากตารางที่ 4.16 พบว่า Magnetic clays สามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้นภายหลังการ Regenerate ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะแม่เหล็ก แต่เวลาในการตกตะกอนของถ่านกัมมันต์ และ Magnetic activated carbon ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักภายหลังการ Regenerate ที่อุณหภูมิ 200 °C แสดงว่าการ Regenerate ไม่ทำให้คุณสมบัติทางเหล็กของ Magnetic materials หายไป

ตารางที่ 4.18 ผลการดูดซับเมธิลินบลูด้วยถ่านกัมมันต์และ Magnetic materials ในสภาวะปกติ ภายหลังการ Regenerate ที่อุณหภูมิ 200 °C เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของเมธิลินบลู = 20 mg/L

ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้นสุดท้ายของเมธิลินบลู(mg/l)	
	ตัวดูดซับใหม่	Recycle
ถ่านกัมมันต์	3.58	7.60
Magnetic activated carbon 1:1	7.55	10.70
Magnetic activated carbon 1:1.5	9.20	10.37
Magnetic activated carbon 1:2	6.24	9.38
Magnetic Clay 1:1	0.87	0.17
Magnetic Clay 1:1.5	1.65	0.51

จากตารางที่ 4.18 พบว่าในสภาวะปกติถ่านกัมมันต์ และ Magnetic activated carbon ดูดซับเมธิลินบลู ได้น้อยลง แต่ Magnetic clays ดูดซับเมธิลินบลู ได้มากขึ้นภายหลังการ Regenerate ที่อุณหภูมิ 200 °C

ตารางที่ 4.19 ผลการดูดซับเมธิลินบลูด้วยถ่านกัมมันต์และ Magnetic materials ในสภาวะแม่เหล็ก ภายหลังการ Regenerate ที่อุณหภูมิ 200 °C เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของเมธิลินบลู = 20 mg/L

ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้นสุดท้ายของเมธิลินบลู (mg/l)	
	ตัวดูดซับใหม่	Recycle
ถ่านกัมมันต์	4.23	7.77
Magnetic activated carbon 1:1	8.45	10.34
Magnetic activated carbon 1:1.5	11.45	11.02
Magnetic activated carbon 1:2	6.91	8.71
Magnetic Clay 1:1	0.94	0.20
Magnetic Clay 1:1.5	1.41	0.51

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

- การตกตะกอนของ Magnetic materials ในสถานะแม่เหล็กจะใช้ระยะเวลาในการตกตะกอนน้อยกว่าสถานะปกติและ สามารถเปรียบเทียบว่าตัวดูดซับใดมีการใช้เวลาในการตกตะกอนน้อยที่สุดดังนี้

Magnetic activated carbon 1:1 < Magnetic activated carbon 1.5:1 < Magnetic activated carbon 1:2

และ Magnetic clay 1:1 < Magnetic clay 1.5:1

- Magnetic clays จะตกตะกอนเร็วขึ้นในสถานะแม่เหล็กเมื่อปริมาณสารประกอบเหล็กบน Magnetic clays เพิ่มขึ้น
- ถ่านกัมมันต์จะดูดซับเมธิลินบลูได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางเหล็ก (Magnetic activated carbon)
- แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์จะดูดซับเมธิลินบลูได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์
- การนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่โดยผ่านกระบวนการทางความร้อน (Regenerate) สามารถทำได้โดยความสามารถในการดูดซับเมธิลินบลูไม่เปลี่ยนแปลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ และ สารอนินทรีย์ชนิดอื่นๆ
- ทดลอง Regenerate ตัวดูดซับที่อุณหภูมิอื่นๆ

บรรณานุกรม

- ปิยามภรณ์ จารุงศ์. 2545. การดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา
- Piyamaporn Jaruwong, Jakrit Aumpush and Ratanawan Kiattikomol (2005) Uptake of Cationic and Azo Dyes by Montmorillonite in Batch and Column System. Thammasat Int. J. Sc. Tech. 10 (1). 47-56
- Schnitzer and Khan (1972) Humic Substances in the Environment. Marcel Dekker Inc: New York
- Henry, J.G. and Heinke, G.W. (1996) Environmental Science and Engineering. Prentice Hall
- Nzungung, V. A., Voudrias, E. A., Nkedi-Kizza, P., Wampler, J. M. and Weaver, C.E. (1996) Organic cosolvent effects on sorption equilibrium of hydrophobic organic chemicals by organoclays. Environmental science & technology. 30(1) 89-96
- Dentel, S.K. (1996). Use of Organo-Clay Adsorbent Materials for Groundwater Treatment Applications. Final Report submitted to Delaware State Water Research Institute
- กาญจนิศา ครอบธรรมชาติ. สื่อการเรียนการสอนวิชา 512 408 เทคโนโลยีน้ำเสีย.ภาควิชา วิทยาศาสตร์ อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (Online). Available URL:<http://vdo.kku.ac.th/mediacenter/mediacenter-uploads/libs/html/4138/sedimentation1.html>
- Luiz C.A. Olivera, Rachel V.R.A Rios, Jose D. Fabris and Rochel M. Lago (2004). Magnetic Particle Technology:A Simple Preparation of Magnetic Composites for the Adsorption of Water Contaminants. Journal of Chemical Education. 81(2) 248-250
- Luiz C.A. Olivera, Diago I. Petkowicz, Alessandra Smaniotto and Sibebe B.C. Pergher (2004). Magnetic Zeolites: a new adsorbent for removal of metallic contaminants from water. Water research. 38. 3699-3704

Bourlinos, A.B., Zboril, R. and Petridis, D. (2003) A simple route towards magnetically modified zeolite. Microporous and Mesoporous Materials, 58. 155-162

Pignon, F., Alemdar, A., Magnin, A., and Narayanan, T. (2003) Small-Angle X-ray Scattering Studies of Fe-Montmorillonite Deposits during Ultrafiltration in a Magnetic Field. Langmuir, 19(21)

ภาคผนวก

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

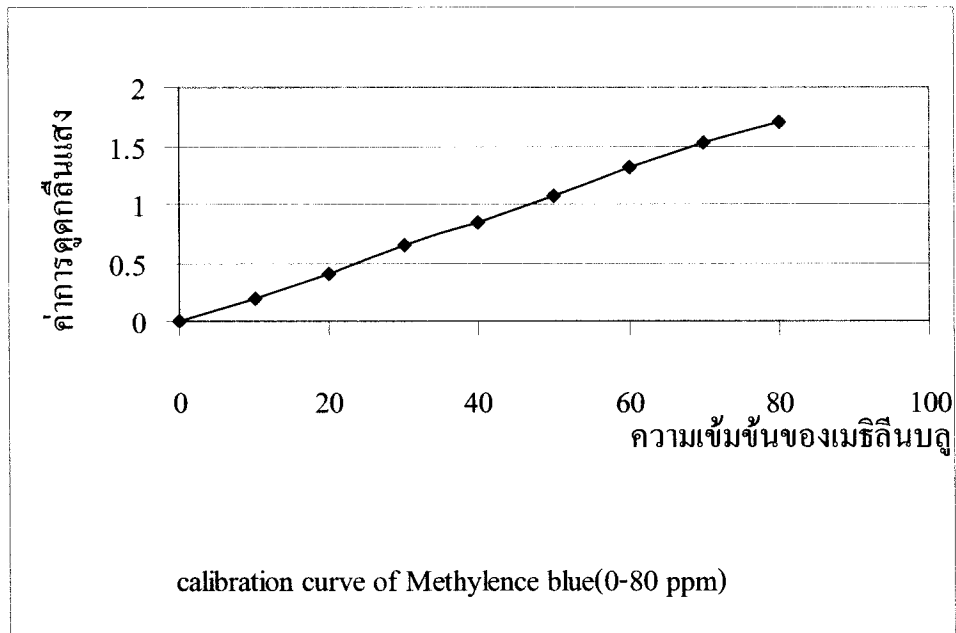
ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลอง

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

การหา Calibration curve ของ Methylene blue

ตารางที่ ก1 ค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของเมธิลีนบลู

ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของเมธิลีนบลู
0	0
0.197	10
0.41	20
0.649	30
0.85	40
1.073	50
1.312	60
1.528	70
1.705	80

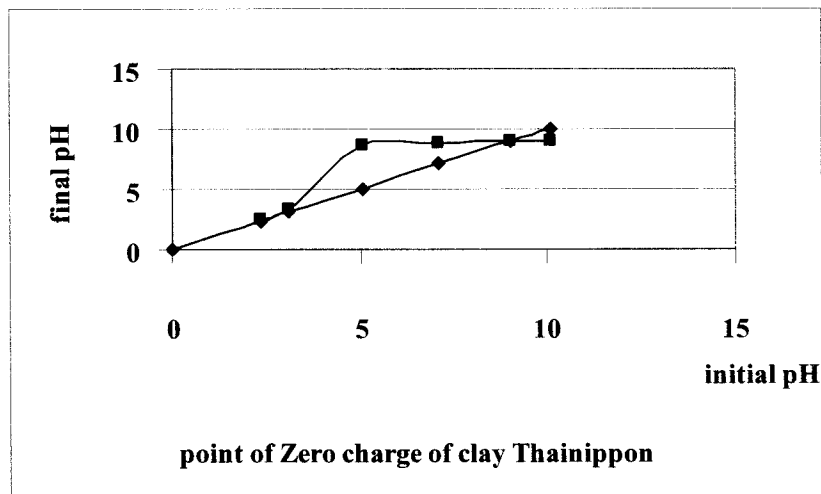


รูปที่ ก1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของเมธิลีนบลู

การหาค่า Point of zero charge ของตัวดูดซับต่างๆ

ตารางที่ ก2 ค่า pH สำหรับหาค่า Point of zero charge ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

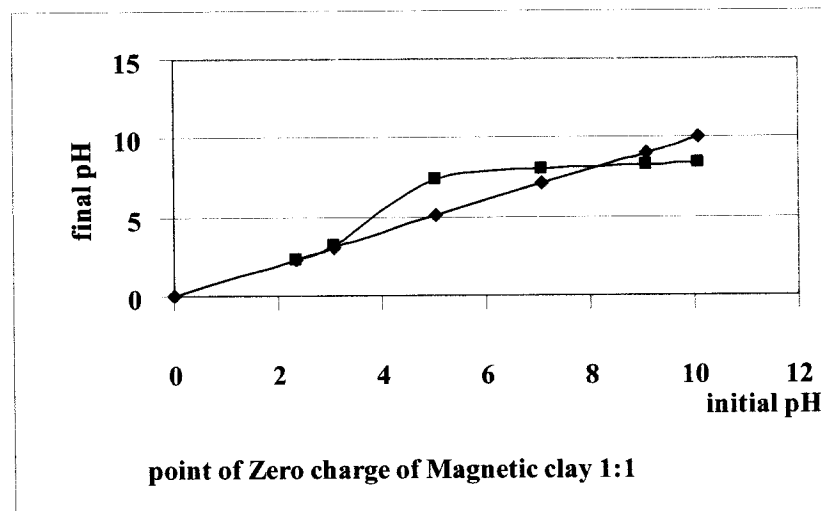
initial pH	final pH
0	-
2.35	2.47
3.09	3.33
5.06	8.73
7.09	8.89
9.02	8.95
10.07	8.96



รูปที่ ก2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH สุดท้ายกับค่า pH เริ่มต้นของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

ตารางที่ ก3 ค่า pH สำหรับหาค่า Point of zero charge ของ magnetic clay 1:1

initial pH	final pH
0	-
2.35	2.33
3.08	3.17
5.04	7.4
7.08	7.98
9.07	8.22
10.06	8.36



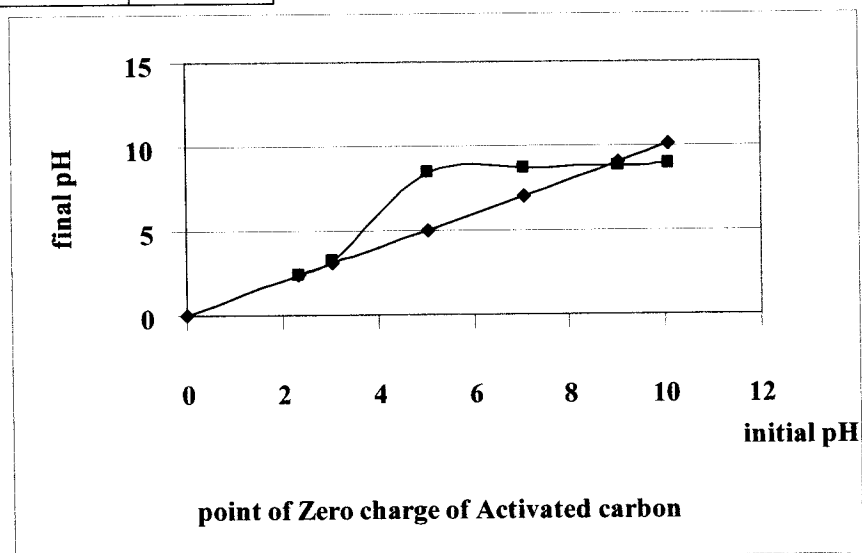
รูปที่ ก3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH สุดท้ายกับค่า pH เริ่มต้นของ magnetic clay 1:1

ตารางที่ ก4 ค่า pH สำหรับหาค่า Point of zero charge ของ magnetic clay 1.5:1

initial pH	final pH
0	-
2.32	2.35
3.05	3.15
5.05	7.59
7.07	8.08
9.05	8.34
10.06	8.48

ตารางที่ ก5 ค่า pH สำหรับหาค่า Point of zero charge ของ activated carbon

initial pH	final pH
0	-
2.35	2.42
3.07	3.17
5.05	8.46
7.05	8.74
9.05	8.85
10.09	8.96

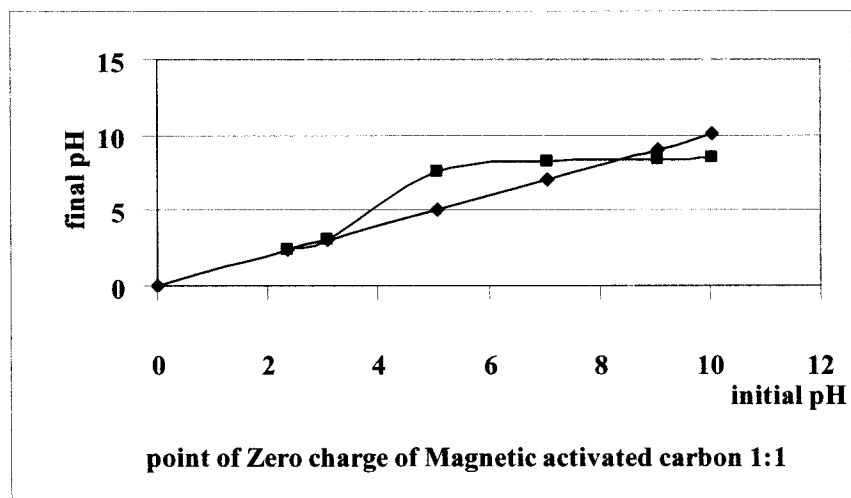


รูปที่ ก4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH สุดท้ายกับค่า pH เริ่มต้นของ activated carbon

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

ตารางที่ 6 ค่า pH สำหรับหาค่า Point of zero charge ของ Magnetic activated carbon 1:1

initial pH	final pH
0	-
2.34	2.36
3.07	3.04
5.07	7.62
7.07	8.2
9.05	8.36
10.03	8.52



รูปที่ 65

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH สุดท้ายกับค่า pH เริ่มต้นของ magnetic activated carbon 1:1

ตารางที่ ก7 ค่า pH สำหรับหาค่า Point of zero charge ของ Magnetic activated carbon 1.5:1

initial pH	final pH
0	-
2.35	2.34
3.08	3.05
5.04	7.83
7.05	8.25
9.06	8.43
10.03	8.54

ตารางที่ ก8 ค่า pH สำหรับหาค่า Point of zero charge ของ Magnetic activated carbon 2:1

initial pH	final pH
0	-
2.35	2.35
3.07	3.06
5.07	7.74
7.02	8.19
9.06	8.42
10.01	8.52

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

การหาSolid/liquid ratio ที่เหมาะสมในการทดลอง

ตารางที่ ก.9 เวลาและความสูงของตะกอนที่ระบอถวงขนาด 250ml, clay 1gram

ระบอถวงขนาด250ml : diameter 3.7cm

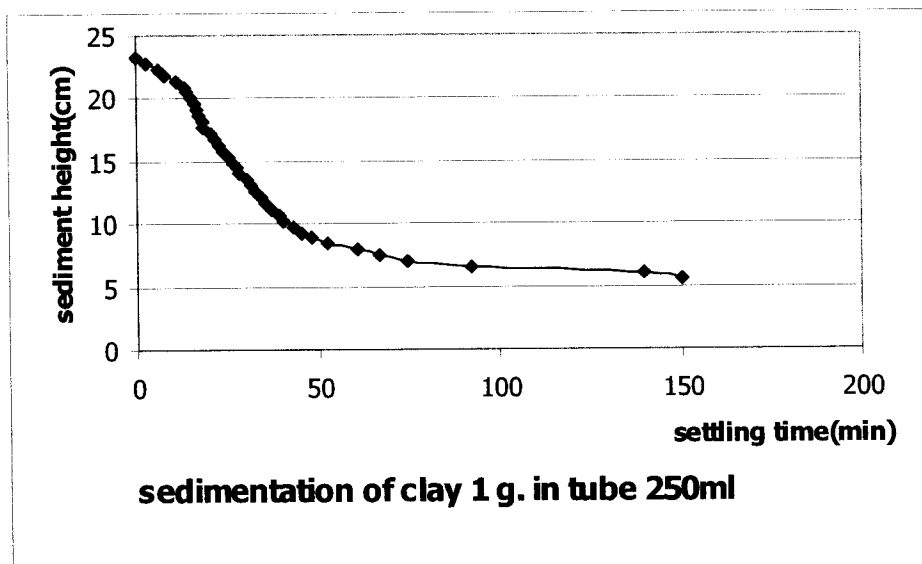
ml	time (min)	height(cm.)
250	0	23.26306337
245	3	22.79780211
240	6	22.33254084
235	8	21.86727957
230	11	21.4020183
225	13	20.93675704
220	14	20.47149577
215	15	20.0062345
210	16	19.54097323
205	16.43	19.07571197
200	17.23	18.6104507
195	18.03	18.14518943
190	18.43	17.67992816
185	20.43	17.2146669
180	21.3	16.74940563
175	22.42	16.28414436
170	23.56	15.81888309
165	25.14	15.35362183
160	26.4	14.88836056
155	27.44	14.42309929
150	28.45	13.95783802
145	30.2	13.49257676
140	31.34	13.02731549
135	32.56	12.56205422
130	34.01	12.09679295
125	35.43	11.63153169

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

ตารางที่ ก.9 เวลาและความสูงของตะกอนที่กระบอกตวงขนาด 250ml, clay 1gram (ต่อ)

กระบอกตวงขนาด 250 ml : diameter 3.7cm

ml	time (min)	height(cm.)
120	37.09	11.16627
115	39	10.70101
110	40.38	10.23575
105	43.03	9.770487
100	45.03	9.305225
95	48.23	8.839964
90	52.21	8.374703
85	60.6	7.909442
80	66.6	7.44418
75	74.4	6.978919
70	92.4	6.513658
65	139.8	6.048396
60	150	5.583135



รูปที่ ก6

ความสัมพันธ์ระหว่าง Sedimentation height และ Time

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

ตารางที่ ก.10 เวลาและความสูงของตะกอนที่กระบอกตวงขนาด 100 ml, clay 1 gram

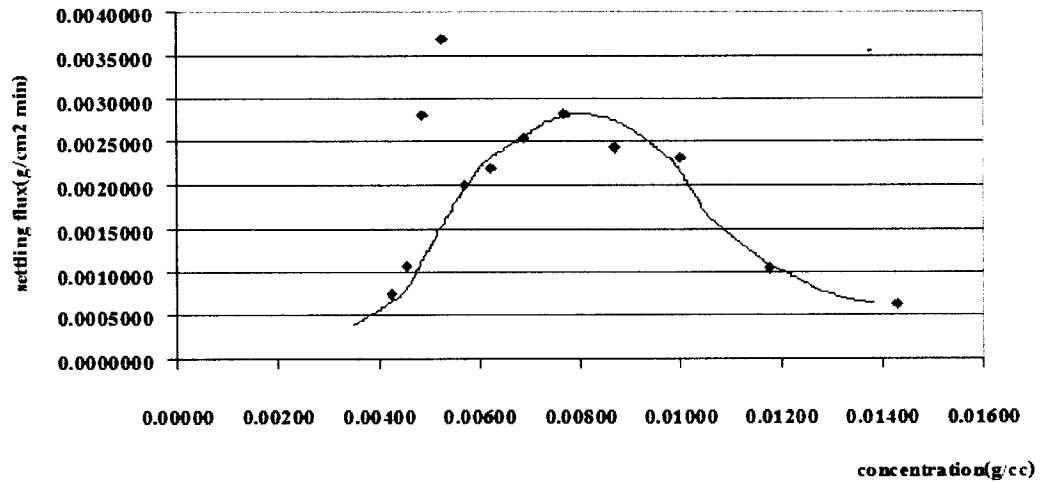
ml	time(hr)	height(cm)
100	0	16.24853763
95	0.267	15.43611075
90	1.44	14.62368387
85	2.15	13.81125699
80	3	12.99883011
75	3.47	12.18640322
70	4.17	11.37397634
65	4.33	10.56154946
60	4.45	9.749122579
55	5.12	8.936695697
50	5.5	8.124268816

ตารางที่ ก.11 เวลาและความสูงของตะกอนที่กระบอกตวงขนาด 500 ml, clay 1gram

ml	time(min)	height(cm)
470	0	21.31456442
450	3.52	20.40756168
400	5.45	18.14005483
350	7.45	15.87254797
300	9.22	13.60504112
250	11.44	11.33753427
200	14.07	9.070027414
150	18.45	6.802520561
100	59.08	4.535013707

จากการทดลองจะได้ค่า Solid/liquid ที่เหมาะสมคือ กระบอกตวงขนาด 250 ml, ตัวดูดซับ 1 g เมื่อนำค่า Settling flux พล็อตกับค่าความเข้มข้นจะได้กราฟเป็นไปตามทฤษฎี Settling curve ดังรูป ก7

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว



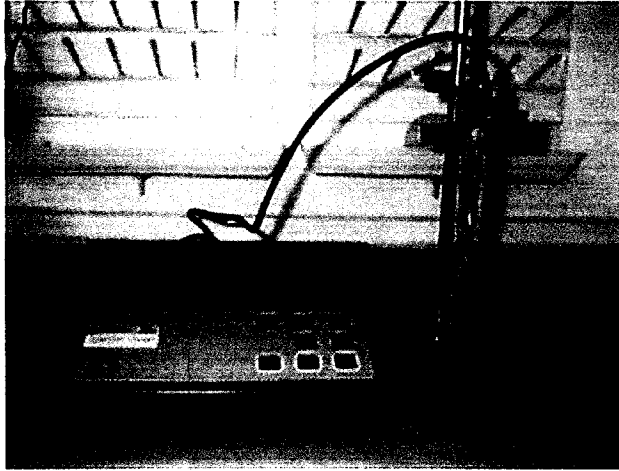
The relationship between Settling flux vs. Concentration of Clay 1 g in tube 250 ml

รูปที่ ก7

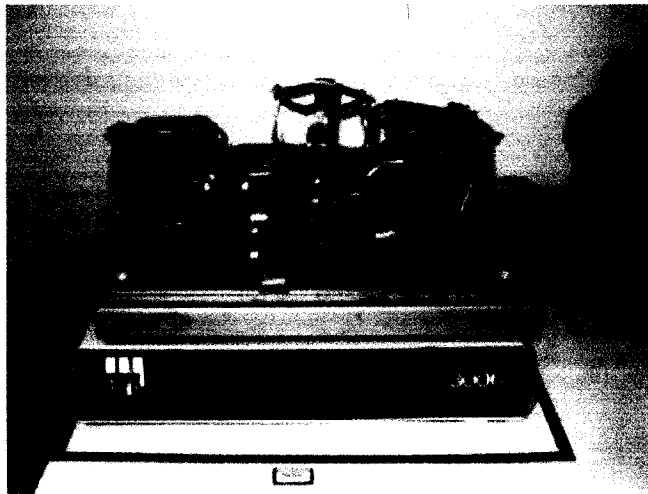
ความสัมพันธ์ระหว่าง Settling flux และความเข้มข้นของสารละลาย

ภาคผนวก ข
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

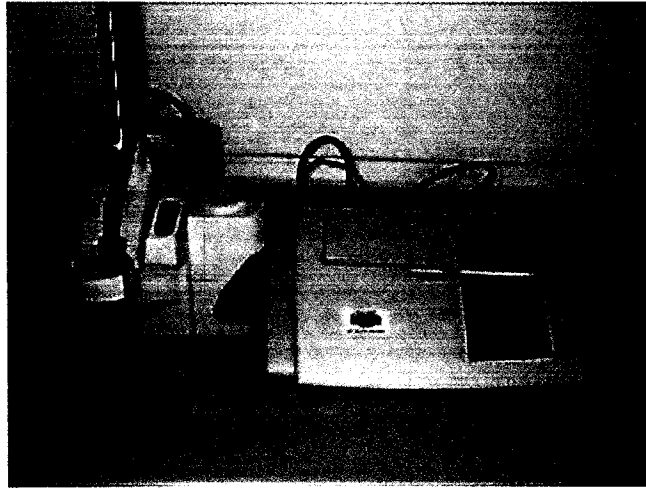


ภาพที่ ข1 เครื่อง pH meter

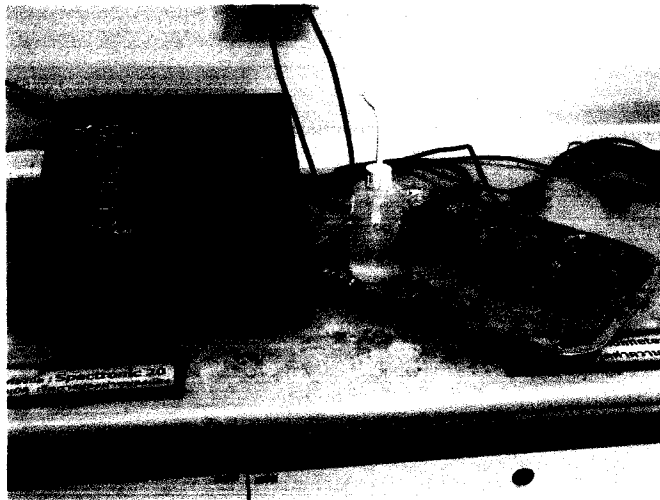


ภาพที่ ข2 เครื่องเขย่าแนวราบ

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว



ภาพที่ ข3 เครื่อง Conductivity



ภาพที่ ข4 เครื่อง Spectronic

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

ประวัติผู้วิจัย ผศ.ดร. รัตนาวรรณ (วิบูลย์สวัสดิ์) เกียรติโกมล
ประวัติการศึกษา

ปีที่สำเร็จการศึกษา	ระดับปริญญา	ชื่อปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2542	ปริญญาเอก	PhD	วิศวกรรมเคมี	Imperial College	อังกฤษ
2539	ปริญญาโท	MSc. (Advanced Chem. Eng.)	วิศวกรรมเคมี	Imperial College	อังกฤษ
2537	ปริญญาตรี	วทบ. (เกียรตินิยม)	เคมีเทคนิค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย

ประสบการณ์การทำงาน

- อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (2542-2551)
- นักวิจัยฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีกระบวนการปิโตรเลียมและปิโตรเคมี สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.

ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี(ตั้งแต่ปี 2545-2551)
เมธีวิจัย สกว. (ตั้งแต่ปี 2548)

รางวัลที่เคยได้รับ รางวัลเหรียญเงิน จากการประกวดโครงการวิศวกรรมเคมียอดเยี่ยม ประจำปี 2548 จากสมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ในหัวข้อเรื่อง “การลดสิ่งเจือปนในน้ำเกลือจากเหมืองเกลือ” เมื่อวันที่ 27 ต.ค. 2548

งานวิจัยแล้วเสร็จ :

เรื่อง	แหล่งทุน	ระยะเวลา	สถานภาพ
Using Montmorillonite as an Adsorbent for Organic Waste in Water	สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.)	2543-2544	หัวหน้าโครงการ
การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้ Montmorillonite Clay	เงินอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	2544-2545	หัวหน้าโครงการ
การใช้มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ธรรมชาติ และ มอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงสมบัติ พื้นผิวแล้วเป็นตัวดูดซับสารอินทรีย์ในระบบหอดูดซับ	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)	2545-2546	หัวหน้าโครงการ
การตรวจหาสารมลพิษตกค้างจากการย้อมในกระบวนการผลิตผ้าทอมือแบบอุตสาหกรรมในครัวเรือน	ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	2547-2548	หัวหน้าโครงการ
การกำจัดสีย้อมจากกระบวนการย้อมผ้าแบบอุตสาหกรรมในครัวเรือนโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite)	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	2546-2548	หัวหน้าโครงการ
การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้าระดับอุตสาหกรรม ครัวเรือน โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ในระบบถังกวน	สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (โครงการมหำบัณฑิต)	2548	อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมการทำเกลือจากน้ำเกลือใต้ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	กรมทรัพยากรธรณี	2549-2550	ผู้ร่วมโครงการ

งานวิจัยแล้วเสร็จ (ต่อ):

ชื่อโครงการ	แหล่งเงินทุน	ระยะเวลาโครงการ	สถานภาพ
Reducing Bromine Index of Hydrocarbon Feedstock by Domestic Montmorillonite Clay	บริษัท อะโรเมติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด มหาชน	2550	หัวหน้าโครงการ
การผลิต Nano-Clay Membrane สำหรับกระบวนการบำบัดน้ำ	ศูนย์นาโนเทคโนโลยี แห่งชาติ	2548-2549	หัวหน้าโครงการ
การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณโลหะหนักจากน้ำ	เงินอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี	2550-2551	หัวหน้าโครงการ
Clay recycles after the unit of reducing bromine index of hydrocarbon feedstock	สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.): Industrial and Research Project for Undergraduate Students (IPUS)	April, 2008	อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

รายการสิ่งตีพิมพ์

- 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)
- 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)
- 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)
- 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)
- R.Wibulswas and D.A. White, **Adsorption of Arsenic onto Montmorillonite Clay**, *การประชุมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10*, **1**, 317-326 (October 2000)
- R.Wibulswas and D.A. White, **Introductory Study of Utilizing Montmorillonite as an Adsorbent in Aqueous System**, *First Asian Particle Technology Symposium, APT2000*, (December 2000)
- R.Wibulswas and D.A. White, **Feasibility study of utilizing Montmorillonite clay as an adsorbent for removing organic toxicants from water**, *Regional Symposium on Chemical Engineering 2000*, Singapore, (December 2000)
- R.Wibulswas and D.A. White, **Adsorption of organic components by Montmorillonite clay**, *การประชุมเพื่อเสนอผลงานวิจัยโครงการทุนวิจัยหลังปริญญาเอก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ* (October 2001)
- ปิยะมาภรณ์ จารุงศ์ และ รัตนวรรณ วิบูลย์สวัสดิ์, **ผลของปริมาณคาร์บอนบน Organo-Clay ต่อความสามารถในการดูดซับกรดอิมิก**, *การประชุมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11* (November 2001)
- ปิยะมาภรณ์ จารุงศ์ และ รัตนวรรณ วิบูลย์สวัสดิ์, **การดูดซับกรดอิมิกโดยกระบวนการดูดซับแบบเบคกิงโดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับ**, *การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาของประเทศไทยครั้งที่ 3* (July 2002)

รายการสิ่งตีพิมพ์ (ต่อ)

- Piyamaporn Jaruwong, and Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, **-ADSORPTION OF CATIONIC AND AZO DYES BY MONTMORILLONITE IN BATCH AND COLUMN SYSTEM**, The PPC 10th Anniversary International Conference; *ADVANCES IN PETROCHEMICALS AND POLYMERS IN THE NEW MILLENNIUM* (JULY 22-25, 2003)
- Piyamaporn Jaruwong, and Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, **Batch and Fixed Bed Column Adsorption of Phenols and Naphthalene by Organo-Clays**, *ASIAN WATERQUAL 2003- IWA Asia-Pacific Regional Conference* (OCTOBER 19-23, 2003)
- Piyamaporn Jaruwong and Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, **KINETIC, RECYCLE AND FIXED-BED COLUMN APPROACH OF HUMIC ACID ADSORPTION BY MONTMORILLONITE CLAYS**, การประชุมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 (OCTOBER 30-31, 2003)
- Piyamaporn Jaruwong and Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, **Raw Sugar Decolorization by Montmorillonite and Organo-clays**, *The 2nd Asian Particle Technology Symposium (APT) 2003*, Malaysia (December 17-19, 2003)
- Piyamaporn Jaruwong and Ratanawan Wibulswas, **Influence of Organo-clays Carbon Number on the Adsorption of Humic Acid**, *Asian J. Energy Environ.*, **4**, 41-59 (2003)
- ปิยามภรณ์ จารุงศ์ และ รัตนาวรรณ วิบูลย์สวัสดิ์, การดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์, *วารสารเทคโนโลยีสุรนารี*, **11(1)**, 39-51 (2004)
- R. Wibulswas, **Batch and Fixed Bed Sorption of Methylene Blue on precursor and QACs modified Montmorillonite**, *Separation and Purification Technology*, **39**, 3-12 (2004)
- จักกฤษ อัมพูช และ รัตนาวรรณ (วิบูลย์สวัสดิ์) เกียรติโกมล, การกำจัดสีข้อมจากกระบวนการย้อมผ้าแบบอุตสาหกรรมในครัวเรือนโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์, การประชุมสัมมนาภาคีอุดมศึกษา นครราชสีมา ครั้งที่ 2 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (September 2004)
- Piyamaporn Jaruwong and Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, **Adsorption of 2,2-Bipyridyl by BDHDMA-modified Montmorillonite**, *Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering (APCCChE) 2004* (October 2004)

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

รายการสิ่งตีพิมพ์ (ต่อ)

- Jakkrit Umpush and Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, **DYE REMOVAL FROM WASTEWATER OF DYEING PROCESS IN HOUSEHOLD INDUSTRY BY MONTMORILLONITE CLAYS**, *Tri-University International Joint Seminar and Symposium 2004* (October 2004)
- Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, **Water softening by Montmorillonite clay**, *International Symposium on Nanotechnology in Environmental Protection and Pollution (ISNEPP) 2005* (January 2005)
- Piyamaporn Jaruwong, Jakkrit Umpush and Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, **UPTAKE OF CATIONIC AND AZO DYES BY MONTMORILLONITE IN BATCH AND COLUMN SYSTEMS**, *Thammasat Int .J. Sc. Tech.*, **10(1)**, 47-56 (2005)
- จักกฤช อัมพูช และ รัตนาวรรณ (วิบูลย์สวัสดิ์) เกียรติโกมล, **การกำจัดสีย้อมจากกระบวนการย้อมผ้าแบบอุตสาหกรรมในครัวเรือนโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ในระบบหอดูดซับ**, *การประชุมเสนอผลงานระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 5* (October 2005)
- Jakkrit Umpush and Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, **UPTAKE OF COMMERCIAL DYE FROM DYEING PROCESS WASTEWATER OF HOUSEHOLD SCALE INDUSTRIES BY MONTMORILLONITE CLAYS IN MIXING TANK SYSTEM**, *The 31st Congress on Science and Technology of Thailand* (October 2005)
- Jakkrit Umpush and Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, **DECOLORIZATION OF DYEING PROCESS WASTEWATER FROM SILK HOUSEHOLD INDUSTRIES BY ORGANO-CLAY IN FIXED BED COLUMN**, *The 5th International Water Association (IWA) Specialty Conference on "Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability (WRRS2005)"*, Korea, Nov. 7 - 11, 2005.
- จักกฤช อัมพูช และ รัตนาวรรณ (วิบูลย์สวัสดิ์) เกียรติโกมล, **จดนพลศาสตร์ของการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ในระบบถังกวน**, *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, **17(3)**, 2006

การสังเคราะห์แร่ดินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อเป็นตัวลดปริมาณสารปนเปื้อนในระบบของเหลว

รายการสิ่งตีพิมพ์ (ต่อ)

- รัตนวรรณ (วิบูลย์สวัสดิ์) เกียรติโกมล, ชีระศักดิ์ ยนต์ไพบูลย์ และ ประภาสิต สังข์ภักดี, การดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากพอลิยูรีเทนใช้แล้วโดยวิธีการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต, การประชุมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 (October 2006)
- Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, Papus Chanaroke and Suriya Sripothong, Adsorption and Kinetics of Methylene blue Uptake by Magnetic Montmorillonite, *Regional Symposium on Chemical Engineering 2006*, Singapore, (December 2006)
- Apichaya Chenkarl and Ratanawan (Wibulswas)Kiattikomol, Adsorption Behavior of Montmorillonite in Fluidized Bed System, *Regional Symposium on Chemical Engineering 2006*, Singapore, (December 2006)
- Sutanee Thongsatit, Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol and Chalongsri Flood, Preparation and Application of Clay Membrane, *Regional Symposium on Chemical Engineering 2006*, Singapore, (December 2006)
- Sutanee Thongsatit, Chalongsri Flood and Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, Humic acid separation from water using clay membrane, Securing Groundwater Quality in Urban and Industrial Environments ICGQ, IAHS (International Association of Hydrological Sciences) Red Book Series, Mary C. Hill Australia Post-published papers (2008)