

การบำบัดแอมโมเนียมไอออนด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากเถ้าแกลบ และตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ Ammonium Ion Removal Using Zeolite Synthesized from Rice Husk Ash and Aluminium Hydroxide Sludge

ภัทรพรรณ รักขวิน และ สุวิมล อัสวพิศิษฐ
Phattraphan Raksawin and Suwimol Asavapisit

Abstract

This research investigated the removal of ammonium ion using zeolite synthesized from rice husk ash collected from brick making industry and aluminium hydroxide sludge. Rice husk ash, sodium hydroxide and aluminium hydroxide sludge were prepared at the ratios of 1:3:1 and 1:1.2:1 and fused at 700 °C for 1 hour. The fused materials were then used for hydrothermal processes. Concentration of sodium hydroxide (1 and 3 M NaOH), reaction temperature (60 and 90 °C) and reaction time (6, 9 and 12 hours) were studied. Adsorption of ammonium ion was tested by using 20 mg/l ammonium chloride. Results showed that adsorption of ammonium ion by products from the synthesis have reached the equilibrium at 8 hours. The product obtained from the synthesis of rice husk ash, sodium hydroxide and aluminium hydroxide sludge which were prepared at the ratio of 1:3:1, reacted with 1M NaOH for 12 hours at temperature of 90 °C and gave the highest ammonium removal efficiency of 83.22%. In addition, x-ray diffraction analysis of the product found that zeolite type A and P were formed.

Key words : zeolite, rice husk ash, aluminium hydroxide, ammonium ion, adsorption

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการบำบัดแอมโมเนียมไอออนด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาอิฐมอญและตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ โดยทำการเตรียมเถ้าแกลบ โซเดียมไฮดรอกไซด์และตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:3:1 และ 1:1.2:1 และหลอมที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยทำการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (1 และ 3 โมลาร์) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (60 และ 90 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (6 9 และ 12 ชั่วโมง) ผลการทดสอบการดูดซับแอมโมเนียมไอออนในสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์สังเคราะห์ ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ใช้เวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับที่ 8 ชั่วโมง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์จากเถ้าแกลบ โซเดียมไฮดรอกไซด์และตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:3:1 เมื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียมไอออนได้สูงที่สุดถึง 83.22เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการวิเคราะห์ชนิด ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันพบว่า เป็นซีโอไลต์ชนิด A และ P อยู่ร่วมกัน

คำสำคัญ : ซีโอไลต์ เถ้าแกลบ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนียมไอออน การดูดซับ

ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

Department of Environmental Technology, Faculty of Energy Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

บทนำ

ปัจจัยการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไป โดยเฉพาะธุรกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งจะมีการรวมตัวกันในพื้นที่จำกัด ส่วนใหญ่จะเลี้ยงในระบบปิดเพื่อการค้า จึงมีการสะสมกันของของเสียที่กุ้งขับถ่ายออกมา รวมทั้งมีการปล่อยลูกกุ้งระดับความหนาแน่นสูง และมีการให้อาหารในปริมาณมาก ทำให้ในบ่อเลี้ยงกุ้งมีปริมาณเศษอาหารที่เหลือ ในรูปของสารประกอบไนโตรเจนที่ถูกขับถ่ายออกมาจากกุ้งจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งสารประกอบดังกล่าวนี้หากมีความเข้มข้นสูงมากจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อกุ้งและสัตว์น้ำได้ มีผลต่อการเจริญของกุ้ง สำหรับแอมโมเนียที่พบในแหล่งน้ำนั้นมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ อีออนไนซ์แอมโมเนีย (ionized ammonia, NH_4^+) หรือ แอมโมเนียมอีออนและอันอีออนไนซ์แอมโมเนีย (unionized ammonia, NH_3)

นอกจากนั้นความเค็มยังมีผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนีย ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในแหล่งน้ำกร่อยด้วย ซึ่งปัจจุบันมีการเลี้ยงกุ้งที่ระดับความเค็มต่ำในบางพื้นที่ของประเทศไทย เช่น สุพรรณบุรี ราชบุรีและนครปฐม

การจัดของเสียแอมโมเนียมและแอมโมเนียในแหล่งน้ำมักทำได้หลายวิธี ได้แก่ การเติมปูนขาว ปูนมาร์ล การเติมสารเคมี การแลกเปลี่ยนไอออนโดยเฉพาะซีโอไลต์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการจัดเรียงโมเลกุลมีช่องว่างสม่ำเสมอจำนวนมาก จึงมีความนิยมนำมาใช้เป็นตัวดูดซับในบ่อเลี้ยงกุ้งหรือในการบำบัดสภาพน้ำ แต่ซีโอไลต์ที่ใช้เดิมลงไปนั้นส่วนมากจะเป็นซีโอไลต์ธรรมชาติที่มีองค์ประกอบไม่สม่ำเสมอและมีการปนเปื้อนของแร่หินดิน ชนิดอื่นๆ จึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการกำจัดแอมโมเนียมอย่างมีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ โดยการใชซีโอไลต์ที่ได้จากการสังเคราะห์

ซีโอไลต์ คือ กลุ่มแร่ที่มีโครงสร้างที่มีความเป็นผลึกสูง มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นโครงข่ายอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีประจุลบ (anionic aluminosilicate framework) ที่แข็งแรง มีรูพรุน (cavities หรือ pore) และระบบช่องว่างที่ต่อเนื่องกัน (channel) ที่มีขนาดเฉพาะเจาะจงมาก โดยภายในรูพรุนและระบบช่องว่างที่ต่อเนื่องกันนั้นจะเป็นที่อยู่ของอีออนบวกของโลหะ เช่น Na^+ และ K^+ ที่เกาะอยู่อย่างหลวมๆ กับโครงข่ายอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีประจุลบ ใช้เป็นสารดูดซับ (sorption agent) (Fig. 1)

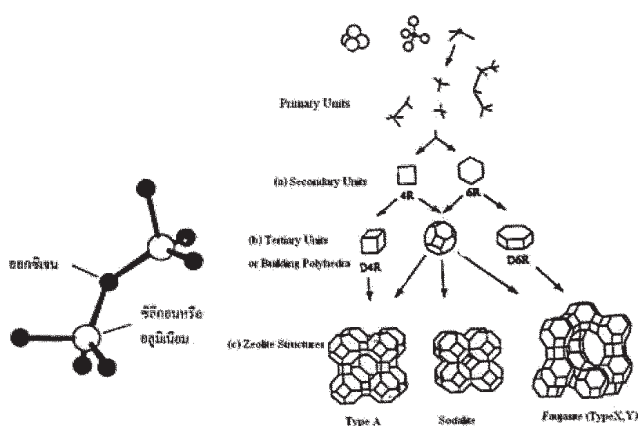


Fig. 1 Aluminosilicate structures have channels with very difference pore size (กุลวดี, 2545).

ซีโอไลต์สังเคราะห์เป็นแนวทางที่ดีในการนำมาบำบัดแอมโมเนียม เนื่องจากซีโอไลต์สังเคราะห์เป็นซีโอไลต์ที่สามารถผลิตขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งในการสังเคราะห์จะใช้วัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของอะลูมิเนียมและ

ซิลิกาและทำการควบคุมสภาวะในการสังเคราะห์ เพื่อให้ได้ซีโอไลต์ที่มีความสามารถในการดูดซับและแลกเปลี่ยนแอมโมเนียมอีออน ซึ่งในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ครั้งนี้ได้นำซีโอไลต์จากการเผาอิฐมอญเป็นแหล่งซิลิกา

ร่วมกับตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากของเสียและเป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียจากที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

วิธีการศึกษา

การสังเคราะห์ซีโอไลต์

นำซีเถ้าแกลบที่ผ่านการร่อนกำจัดสิ่งเจือปนแล้วไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย X-ray Fluorescence (XRF) เพื่อทราบปริมาณองค์ประกอบออกไซด์ของซิลิกาและอลูมินาและศึกษาโครงสร้างด้วยเครื่อง X-ray Diffraction (XRD) มาเตรียมเป็นสารตั้งต้น โดย

การทำปฏิกิริยาผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์และตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วน ($\text{RHA}:\text{NaOH}:\text{Al}(\text{OH})_3$) ที่ 1:3:1 และ 1:1.2:1 และทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันและทำการเผาที่อุณหภูมิ 700°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในเตาเผาไฟฟ้า เพื่อนำมาเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ที่สภาวะต่างๆ โดยใช้สารตั้งต้น 12 กรัม เติมน้ำ 250 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 150 มิลลิลิตร และนำไปประกอบเข้ากับชุดปฏิกรณ์ ต่อเข้ากับมอเตอร์และชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องปฏิกรณ์ (Fig. 2) ศึกษาตัวแปรต่างๆ ตามสภาวะ (Table 1)

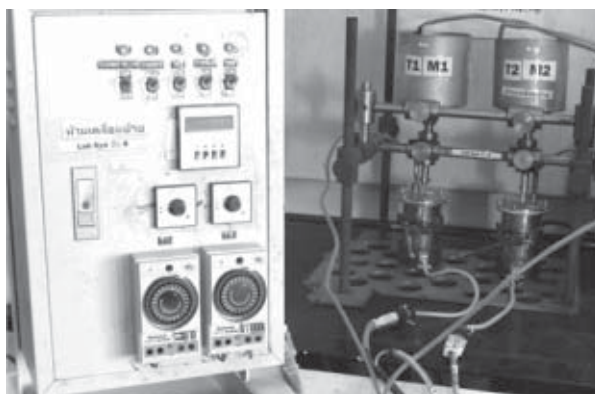


Fig. 2 Reactor for synthesizing zeolite.

การดูดซับแอมโมเนียมไอออน

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการดูดซับจากแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ความเข้มข้น 20-800 มิลลิกรัมต่อลิตร

Table 1 Conditions for synthesized zeolite.

Ratios $\text{RHA} : \text{NaOH} : \text{Al}(\text{OH})_3$	Temp ($^\circ\text{C}$)	Time (hrs.)	NaOH (M)
1 : 3 : 1	60	6, 9, 12	1, 3
	90		
1 : 1.2 : 1	60	6, 9, 12	1, 3
	90		

การหาเวลาเข้าสู่สมดุล(Equilibrium time)

ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ผสมกับซีโอไลต์ที่ได้จากการสังเคราะห์ 0.1 กรัม เขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 30 45 นาที และ 1 2 4 8 16 และ 24 ชั่วโมง นำน้ำใส่ที่ได้จากการกรองไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนที่เหลืออยู่โดยวิธีในสเลอเรชัน (APHA AWWA, 1989)คำนวณประสิทธิภาพการกำจัด (Kadir S., 2006) (%Removal efficiency) จากสมการที่ (1)

$$\% \text{ Removal efficiency} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \quad (1)$$

C_o คือ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (mg/l)

C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล (mg/l)

การหาไอโซเทอมการดูดซับแอมโมเนียมไอออน (Adsorption Isotherm)

ซึ่งซีโอไลต์จากการสังเคราะห์ 0.1 กรัม ต่อสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมไอออน คือ 20 40 60 80 100 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปเขย่าที่เวลาเข้าสู่สมดุลโดยใช้สมการ Langmuir และ Freundlich ดังสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของสมการในการดูดซับสารละลายแอมโมเนียมไอออนด้วยซีโอไลต์ต่างๆ ที่สังเคราะห์ได้จากความสัมพันธ์ต่างๆ ที่ได้จากสมการ Langmuir และ Freundlich

- Langmuir ใช้กับการดูดซับด้วยตัวดูดซับที่มีพื้นผิวเป็นแบบ homogeneous แสดงได้ดังสมการที่ (2)

$$q_e = \frac{X_m b C_e}{1 + b C_e} \quad (2)$$

เมื่อ x คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับ (mg)

M คือ ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (mg)

X_m คือ ปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับ (mg/g)

b คือ ค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับ bonding strength

q_e คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (mg/g)

C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล (mg/l)

- Freundlich ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบ heterogenous สมการที่ (3) (นิพนธ์, 2550)

$$q_e = x/m = K C_e^{1/n} \quad (3)$$

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์ของการแพร่กระจาย

n คือ correcting factor

ผลการศึกษา

ในการสังเคราะห์ที่สภาวะต่างๆ ของซีเถ้ากลับ ทั้งสองอัตราส่วน RHA:NaOH:Al(OH)₃ ที่ 1:3:1 และ 1:1.2:1 กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1 และ 3 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 60 และ 90 °C เป็นเวลา 6 9 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาหาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยการนำมาดูดซับแอมโมเนียมไอออนและคัดเลือกผลิตภัณฑ์ในแต่ละสภาวะ เพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffraction โดยการสุ่มตัวอย่างในแต่ละสภาวะที่สามารถดูดซับได้ดีที่สุดและตัวอย่างที่ดูดซับได้ปานกลางไปวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2 พบว่า ที่สภาวะอัตราส่วน RHA:NaOH:Al(OH)₃ 1:3:1 อุณหภูมิ 90 °C ความเข้มข้น NaOH 1 โมลาร์ เวลา 12 ชั่วโมง เกิดซีโอไลต์คือ Zeolite A และ Zeolite P (เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานซีโอไลต์ A ดังรูปที่ 3 ส่วนตัวอย่างที่สังเคราะห์ที่สภาวะอัตราส่วน RHA:NaOH:Al(OH)₃ 1:3:1 อุณหภูมิ 60 °C ความเข้มข้น NaOH 1 โมลาร์ เวลา 9 ชั่วโมง พบลักษณะของฟิสิกส์ของออสซิลและซีโอไลต์ที่รวมทั้งของแข็งออสซิล

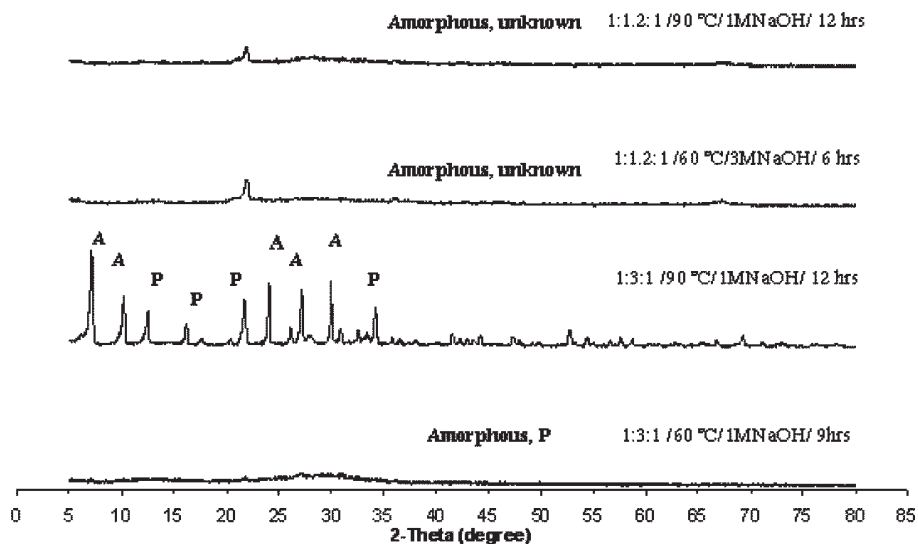


Fig. 3 XRD result of synthesized products (A is an A zeolite and P is P zeolite).

Table 2 Result of zeolite type that found on these experiments.

Conditions				Zeolite Type
Ratios	Temp	Time	Conc.	
RHA:NaOH:Al(OH) ₃	(°C)	(hrs.)	(NaOH)	
1 : 3 : 1	60	9 hrs.	1M	ZeoliteP, Amorphous
	90	12 hrs.	1M	ZeoliteA, ZeoliteP
1:1.2 : 1	60	6 hrs.	3M	Unknown, Amorphous
	90	12 hrs.	1M	Unknown, Amorphous

นอกจากนั้นได้นำตัวอย่างที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด (SEM) พบว่าที่สภาวะอัตราส่วน RHA:NaOH:Al(OH)₃ 1:3:1 อุณหภูมิ 90°C 1 โมลาร์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีรูปร่างผลึกเป็นรูป

สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (cubic) จำนวนมากซึ่งเป็นรูปทรงของผลึกซีโอไลต์เอและเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 10,000 เท่าพบว่า มีผลึกทรงกลมเกิดขึ้นปะปนอยู่เล็กน้อยซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นรูปของซีโอไลต์พีนั่นเอง (Fig. 4, 5)

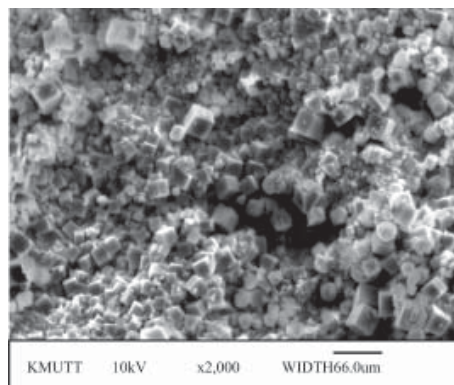


Fig. 4 SEM picture from the sample that synthesize at ratios 1:3:1 1M NaOH at 90 °C for 12 hours.

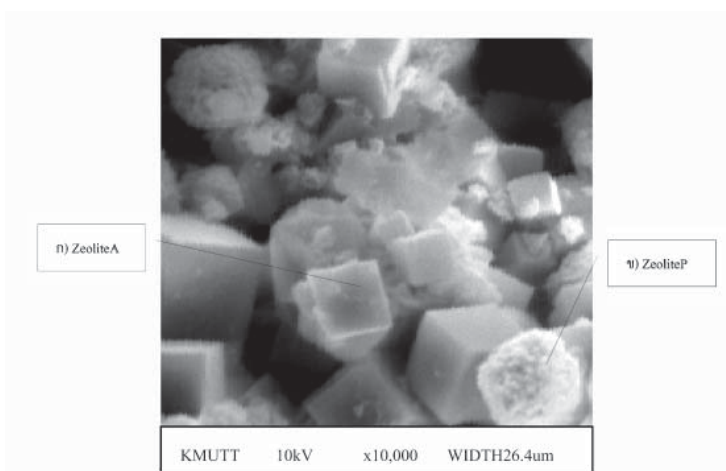


Fig. 5 SEM picture from the sample that synthesize at ratios 1:3:1 1M NaOH at 90 °C for 12 hours in 10,000 enlarged power.

ผลการศึกษาระยะเวลาเข้าสู่สมดุล(Equilibrium time)

จากการทดลองทำให้ทราบระยะเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ ซึ่งพบว่าอัตราการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 15 นาทีแรก โดยลักษณะของกราฟที่มีความชันสูงมากและหลังจากนั้นอัตราการดูดซับจะเกิดช้าลงและคงที่ ที่เวลา 8 ชั่วโมง เนื่องจากในช่วงต้นของการดูดซับมีการแพร่อย่างรวดเร็วของไอออนในสารละลายไปบริเวณผิวด้านนอกของตัวดูดซับ (external surface) และแพร่กระจายเข้าไปภายในรูพรุนของตัวดูดซับอย่างรวดเร็วจนคงที่และเข้าสู่สมดุล (Dogan K., 2006) พบว่าผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์ซีโอไลต์สามารถดูดซับได้ดีที่ความเข้มข้นต่ำๆ เนื่องจากในตารางแสดงให้เห็น

อย่างชัดเจนว่า ผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์ ซีโอไลต์เกือบทุกตัวอย่างมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดที่ความเข้มข้น 20 mg/l คือ โดยส่วนใหญ่สามารถดูดซับได้มากกว่า 60% ยกเว้นตัวอย่างที่สังเคราะห์ที่สภาวะอัตราส่วน RHA:NaOH:Al(OH)₃ ที่ 1:1.2:1 3M NaOH 60 °C 6 ชั่วโมง และที่ 3M NaOH 60 °C 9 ชั่วโมง ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดเพียง 54.44 % และ 58.28 % ตามลำดับและอัตราส่วน RHA:NaOH:Al(OH)₃ ที่ 1:3:1 1M NaOH 90 °C 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 83.22 % เนื่องจากตัวอย่างดังกล่าวเกิดเป็นซีโอไลต์เอ (Fig. 6, 9)

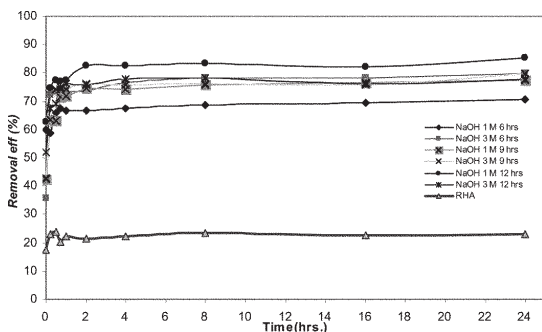


Fig. 6 Ammonium ion uptake equilibrium time onto ratio RHA:NaOH:Al(OH)₃ 1:3:1 at 90°C.

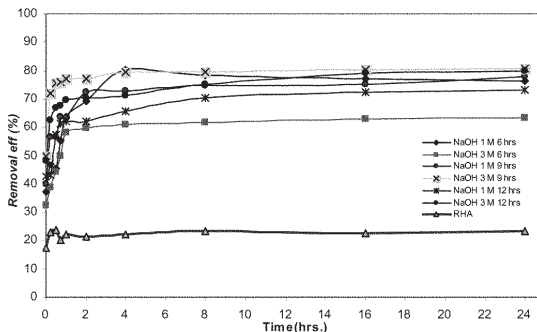


Fig. 7 Ammonium ion uptake equilibrium time onto ratio RHA:NaOH:Al(OH)₃ 1:3:1 at 60°C.

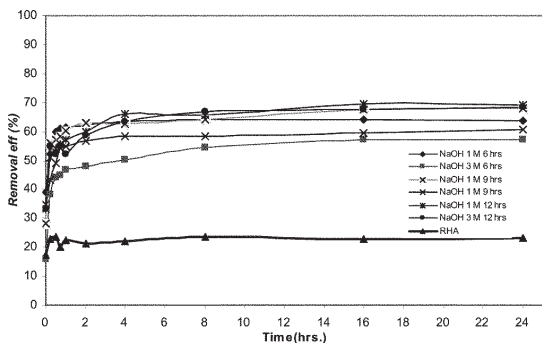


Fig. 8 Ammonium ion uptake equilibrium time onto ratio RHA:NaOH:Al(OH)₃ 1:1.2:1 at 60°C.

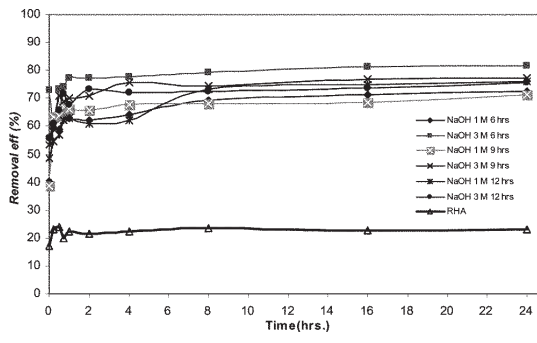


Fig. 9 Ammonium ion uptake equilibrium time onto ratio RHA:NaOH:Al(OH)₃ 1:1.2:1 at 90°C.

ผลการศึกษา Adsorption isotherm

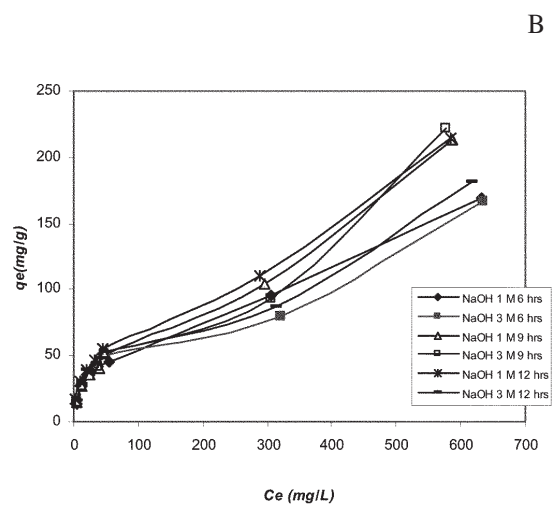
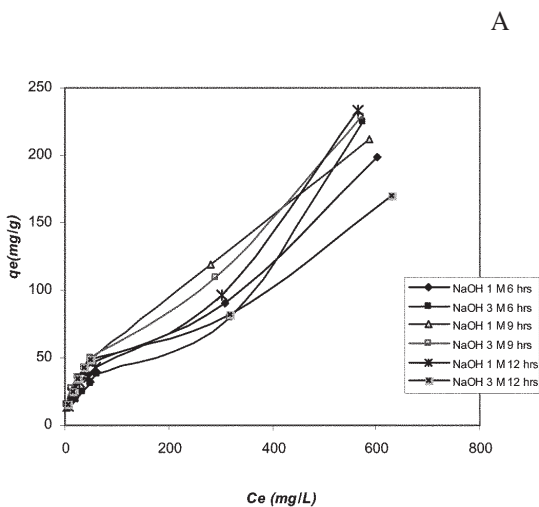
พบว่าการดูดซับของแอมโมเนียมไอออนที่อัตราส่วน 1:3:1 ณ อุณหภูมิ 60 และ 90°C ส่วนใหญ่สอดคล้องเข้ากันได้กับสมการ Freundlich ($r^2 = 0.955-0.995$) เช่นเดียวกันกับการดูดซับแอมโมเนียมไอออนที่อัตราส่วน 1:1.2:1 ณ อุณหภูมิ 60 และ 90°C ซึ่งมีแนวโน้มเข้ากันได้กับสมการ Freundlich ($r^2 = 0.910-0.966$) มากกว่าสมการ Langmuir ($r^2 = 0.432-0.782$) ด้วยเช่นกัน ดังนั้น ในการพิจารณาผลการทดลองครั้งนี้จึงใช้ค่าคงที่ของสมการ Freundlich อธิบายผล จากผลการทดลองมีความสอดคล้องกับสมการ Freundlich จึงทำให้

ทราบว่าคุณสมบัติที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นมีพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบ heterogenous และเมื่อพิจารณาค่า $1/n$ พบว่าการดูดซับทั้งหมดมีค่า $1/n < 1$ คือ อยู่ในช่วง ($1/n = 0.428-0.686$) แสดงว่าซีโอไลต์จากการสังเคราะห์ดูดซับได้ดี ที่ความเข้มข้นต่ำหรือสูงไม่ต่างกันมากนักและจะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ ราบเท่าที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนหรือโมเลกุลในสารละลายสูงขึ้น

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับซีโอไลต์ที่ได้จากการทดลอง Hui K., et al., 2005 ที่ใช้ commercial Zeolite 4A ในการดูดซับไอออนของโลหะหลายๆ ชนิด พบว่า มีความสอดคล้องกับสมการ Langmuir ซึ่ง

แตกต่างกัน เนื่องจากในการอธิบายพฤติกรรมการดูดซับของตัวดูดซับพบว่าใช้ค่า r^2 ในการพิจารณาความน่าเชื่อถือมาอธิบายการดูดซับ ดังเช่นเดียวกับการศึกษาของ El-Kamash A., et al., 2005 ได้ทำการศึกษาการกลไกของการกำจัดสังกะสีและแคดเมียมด้วยซีโอไลต์เอสังเคราะห์พบว่าในการดูดซับกำจัดโลหะหนักทั้งสองชนิดมีค่า r^2 ของทั้งสมการ Langmuir และ Freundlich มีค่า r^2 ใกล้เคียงกันคือ $r^2 = 0.999$ จึงนำค่าคงที่ที่ได้จากสมการทั้ง 2 มาใช้อธิบายร่วมกันเช่นเดียวกับการทดลองของ Purna G., et al., 2006 ทำการศึกษาการดูดซับโลหะสังกะสีและแคดเมียมด้วย Zeolite 4A พบว่าในการดูดซับสอดคล้องกับสมการ Freundlich มากกว่าแต่ก็มีค่าสมการ Langmuir มีค่า r^2 ซึ่งมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลด้วยเช่นกัน ดังนั้น ในการอธิบายถึงพฤติกรรมดูดซับที่เกิดขึ้นโดยใช้ซีโอไลต์สังเคราะห์จากซีเถ้าแกลบและตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวดูดซับในครั้งนี้ จึงอธิบายการดูดซับที่เกิดขึ้นด้วยสมการ Langmuir และสมการ Freundlich ร่วมกัน

หากพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนที่เหลืออยู่ในสารละลายในสภาวะสมดุล (C_e) เป็นแกน x กับปริมาณแอมโมเนียมไอออนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (q_e) เป็นแกน y ดังรูปที่ 10 จะเห็นการดูดซับแอมโมเนียมไอออนมีลักษณะไอโซเทอมการดูดซับเป็นแบบ L-curve isotherm ในระยะที่ 4 คือ ความชันในช่วงเริ่มต้นจะสูงมากแล้วจะค่อยๆ ลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น พฤติกรรมการดูดซับเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่าสารดูดซับมีแรงดึงดูดหรือมีความสามารถในการดูดซับสารหรือไอออนในสารละลายที่ความเข้มข้นต่ำและลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นเนื่องจากพื้นที่ว่างในการดูดซับมีน้อยลงและตัวดูดซับมีลักษณะการดูดซับได้หลายชั้น ทำให้หลังจากเกิดการปกคลุมผิวของตัวดูดซับแบบสองชั้นจนถึงจุดอิ่มตัวแล้วก็จะเกิดการดูดซับเพิ่มขึ้นเป็นชั้นที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับสมการ Freundlich ที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบหลายชั้น



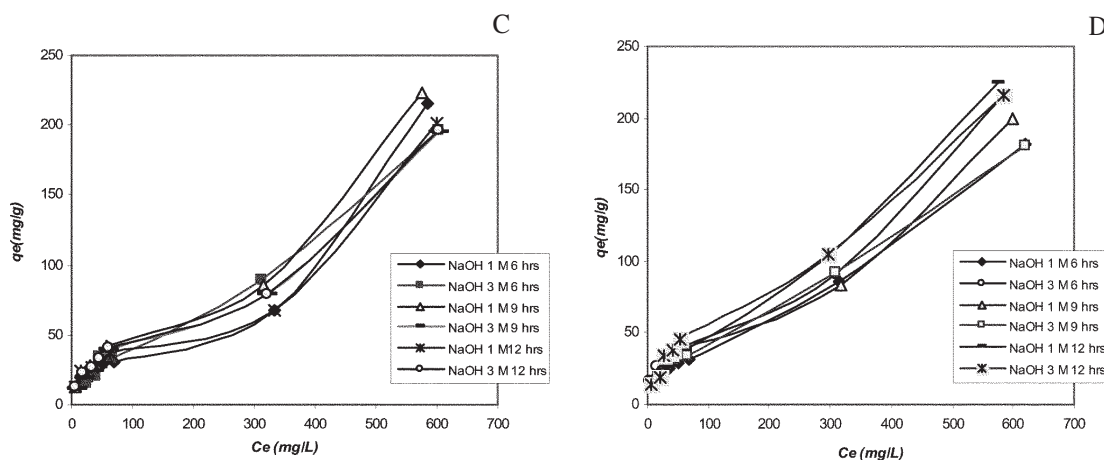


Fig. 10 The relative of C_e and q_e in ammonium ion uptake equilibrium time onto ratios RHA:NaOH:Al(OH)₃ by
(a) 1:3:1 at 60 °C (b) 1:3:1 at 90 °C (c) 1:1.2:1 at 60 °C (d) 1:1.2:1 at 90 °C

สรุปผลการทดลอง

ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์จากขี้เถ้าแกลบจากการเผาอิฐมอดู เพื่อนำมาใช้ในกำจัดแอมโมเนียมอออนด้วยการดูดซับนั้นจากการศึกษาการดูดซับแอมโมเนียมอออนด้วยซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ พบว่าการดูดซับเข้าสู่สมดุลที่เวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นจึงได้ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโดยใช้สมการ Langmuir และสมการ Freundlich พบว่าข้อมูลจากการทดลองสอดคล้องกับสมการ Freundlich โดยมีความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้นและดูดซับได้ดีที่ความเข้มข้นต่ำซึ่งกราฟจะมีความชันมากแล้วจะค่อยๆ ลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น เนื่องจากพื้นที่ว่างในการดูดซับมีน้อยลง ซึ่งหลังจากเกิดการปกคลุมผิวของวัสดุดูดซับแบบสองชั้นจนถึงจุดอิ่มตัวและพบว่าซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ที่อัตราส่วน RHA:NaOH:Al(OH)₃ 1:3:1 อุณหภูมิ 90 °C 1M NaOH 12 ชั่วโมง (จากผลการวิเคราะห์ด้วย XRD พบว่า เกิดซีโอไลต์ A และ P ปะปนกันอยู่) มีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียมอออนได้สูงสุดที่ร้อยละ 83.22 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพกับขี้เถ้าแกลบที่เป็นวัตถุดิบ มีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียมอออนเพียงร้อยละ

23.40 จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เวลา อุณหภูมิ และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลต่อการเกิดซีโอไลต์และส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียมอออน โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นซีโอไลต์นั้นมีประสิทธิภาพการดูดซับได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เกิดผลึกซีโอไลต์

เอกสารอ้างอิง

- กุลวดี รังษีวัฒนานนท์. 2545. “การสังเคราะห์และการศึกษาสมบัติทางกายภาพของซีโอไลต์เอเพื่อเป็นสารแลกเปลี่ยนอออนเงาะจง” รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Lenore S., E. Arnold. and R. Rhodes. 1989. APHA, AWWA WPCF. Standard Method For the Examination of water and wastewater, American Public Health Association, Weshington DC.
- Kadir S., S. Ahmet and A. Mehmet. 2006. Removal of ammonium ion from aqueous solution by natural Turkish (Yildizeli) zeolite for

- environment quality. *Journal of Hazardous Materials*. 141: 258-263.
- นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์. 2550. หลักการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 281 หน้า.
- Dogan K., K. Yunus, T. Mustafa and A. Bulent. 2006. Removal of ammonium ion from aqueous solution using natural Turkish clinoptilolite. *Journal of Hazardous Materials*. 136: 604-609.
- Hui K., C. Chao and S. Kot. 2005. Removal of mixed heavy metal ions in wastewater by zeolite 4A and residual products from recycled coal fly ash. *Journal of Hazardous Materials*. 127: 89-101.
- El-Kamash A., A. Zaki and M. Abed El Geleel. 2005. Modeling batch kinetics and thermodynamics of zinc and cadmium ions removal from waste solution using synthetic zeolite A. *Journal of Hazardous Materials*. 127: 211-220.
- Purna G., S. Satyaveni, A. Ramesh, K. Sessaiah., K. Murthy and K. Choudary. 2006. Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by zeolite 4A zeolite 13X and bentonite. *Journal of Environmental Management*. 81: 265-272.