

การเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนโดยซีโอไลต์เอที สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยและซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A

Adsorption Kinetic Comparisons of Ammonia Nitrogen Wastewater by Using Synthetic Zeolite-A from Bagasse Ash and Standard Zeolite 4A

ธีระพงษ์ จันทะมาตร์¹, สุนันtha เลาววันยศิริ² และ เรวดี อนุวัฒน์นา³

Thirapong Janthamart¹, Sunantha Laowansiri² and Rewadee Anuwattana³

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์การดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน และทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen) จากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง โดยใช้ซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อย (ZBG) และซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A (Z4A) เป็นวัสดุดูดซับ โดยทำการทดลองแบบกะระยะเวลา 14 วัน พบว่า จลนพลศาสตร์การดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน และทีเคเอ็น เหมาะกับจลนพลศาสตร์อันดับสองเทียม จลนพลศาสตร์การดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน โดยใช้ซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อย มีค่าคงที่ (k_{12}) เท่ากับ 0.15 กรัมต่อมิลลิกรัมต่อวัน และ ซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A มีค่าคงที่ (k_{12}) 0.07 กรัมต่อมิลลิกรัมต่อวัน ในขณะที่ซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A มีค่า q_e เท่ากับ 7.70 มิลลิกรัมต่อกรัม และซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยมีค่า q_e เท่ากับ 6.13 มิลลิกรัมต่อกรัม การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับทีเคเอ็น พบว่าซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยและ ซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A มีค่าคงที่ (k_{12}) เท่ากับ 0.04 กรัมต่อมิลลิกรัมต่อวัน ในขณะที่ซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A มีค่า q_e เท่ากับ 15.22 มิลลิกรัมต่อกรัม และซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยมีค่า q_e เท่ากับ 13.94 มิลลิกรัมต่อกรัม

คำสำคัญ : การดูดซับ จลนพลศาสตร์ ซีโอไลต์ น้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจน

ABSTRACT

This research aimed to compare ammonia nitrogen and TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) adsorption kinetics from frozen seafood wastewater by using synthetic zeolite-A from bagasse ash (ZBG) and standard zeolite 4A absorbents (Z4A). Experiment used batch test at 14 days. The

¹ หลักสูตรการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44000

¹ Environmental Administration and Management, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Mahasarakham 44000, Thailand

² คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44000

² Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Mahasarakham 44000, Thailand

³ ฝ่ายเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ปทุมธานี

³ Environment and Resources Department, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), Pathumthani 12120, Thailand

adsorption kinetics of ammonia nitrogen and TKN fitted pseudo second order. The ammonia nitrogen adsorption kinetic using synthetic zeolite-A from bagasse ash that rate constant (k_{12}) was 0.15 g/mg/day. The rate constant (k_{12}) by using standard zeolite 4A was 0.07 g/mg/day. Meanwhile, the q_e by using standard zeolite 4A was 7.70 mg/g. The q_e by using synthetic zeolite-A from bagasse ash was 6.13 mg/g. The TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) adsorption kinetic found that the rate constant (k_{12}) by using synthetic zeolite-A from bagasse ash and standard zeolite 4A were 0.04 g/mg/day. Meanwhile, the q_e by using standard zeolite 4A was 15.22 mg/g. The q_e by using synthetic zeolite-A from bagasse ash was 13.94 mg/g.

Key Words : adsorption, kinetics, zeolite, ammonia nitrogen wastewater

E-mail address : thirapong.j@gmail.com

บทนำ

น้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งเป็นน้ำเสียที่มีปริมาณโปรตีนสูง และมักประสบปัญหาในการนำน้ำเสียมาบำบัดในระบบแบบไร้อากาศ ดังนั้นการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนที่ปรากฏอยู่ในรูปแอมโมเนียไนโตรเจนได้ จะส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) โดยทั่วไปแอมโมเนียไนโตรเจนจะปรากฏอยู่ในรูปไอออนบวก ซีโอไลต์เป็นตัวกลางในการดูดซับอีกชนิดที่มีสมบัติดูดน้ำได้ดี มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์หลายชนิด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์ของการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนและทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen) โดยใช้ซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อย และซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A เป็นวัสดุดูดซับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง

อุปกรณ์และวิธีการ

น้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง ของ บริษัท ไทยยูเนี่ยน โฟรเซน โปรดักส์ จำกัด (มหาชน)

วัสดุดูดซับ

การเตรียมเถ้าชานอ้อยที่ใช้ในการศึกษา โดยเก็บตัวอย่างเถ้าชานอ้อยจากบริษัทเอนไวรอนเมนท์พัลฟ์ แอนด์เปเปอร์ จำกัด จ. นครสวรรค์ นำเถ้าชานอ้อยอบให้แห้ง ทำการร่อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 325 Mesh ทำการสังเคราะห์ซีโอไลต์ตามวิธีของเรวดี และคณะ (2551) และซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A มาจาก บริษัท ไทยซิลิเกต เคมีคัล จำกัด

วิธีการทดลอง

การศึกษาจลนพลศาสตร์ซีโอไลต์แต่ละชนิดในตัวอย่างน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง การศึกษาในขณะนี้เป็นการศึกษาในสภาวะควบคุม โดยนำขวดไวแอลขนาด 120 มิลลิลิตร ปริมาตรทำงาน 100 มิลลิลิตร เติมตะกอนจุลินทรีย์ (mixed liquor volatile suspended solids : MLVSS) ที่ความเข้มข้น 1,400

มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร น้ำเสียปริมาตร 80 มิลลิลิตร ใส่ตัวดูดซับซีโอไลท์ที่สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อย และซีโอไลท์มาตรฐานชนิด 4A ปริมาณ 2 กรัม ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งเท่ากับ 7.0 ± 0.02 ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ไล่อากาศออกจากช่องว่างด้านบนขวดไวแอลโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน ปิดปากขวดด้วยจุกยาง (butyl rubber stopper) และปิดทับจุกยางอีกครั้งด้วยฝาปิดอลูมิเนียม (aluminium crimp) แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35.0 ± 1.0 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียระยะเวลา 14 วัน นำมาวิเคราะห์แอมโมเนียไนโตรเจน และ ทีเคเอ็น และนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปสร้างกราฟจลนพลศาสตร์ของการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน และ ทีเคเอ็น โดยใช้สมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง หนึ่งเทียม สอง และ สองเทียม

การวิเคราะห์ แอมโมเนียไนโตรเจน และ ทีเคเอ็น นั้นใช้วิธีวิเคราะห์ตามหนังสือมาตรฐานอเมริกา Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998) และคู่มือวิเคราะห์น้ำเสียสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย (ธงชัย และอุษา, 2532)

จลนพลศาสตร์

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน และ ทีเคเอ็น โดยใช้กฎอัตราอินทรีเกรด ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero order) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First order) และปฏิกิริยาอันดับสอง (Second order) อ้างอิงโดย Laowansiri (2011) สมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo first order) และ ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (Pseudo second order) อ้างอิงโดย Ho และ McKay (1999) ดังแสดงในสมการที่ 1-5 จากสมการที่ 1 สามารถเขียนกราฟระหว่าง C_t กับ t สมการที่ 2 สามารถเขียนกราฟระหว่าง $\log (q_e - q_t)$ กับ t สมการที่ 3 สามารถเขียนกราฟระหว่าง $\ln (C_t / C_0)$ กับ t สมการที่ 4 สามารถเขียนกราฟระหว่าง t/q_t กับ t และสมการที่ 5 สามารถเขียนกราฟระหว่าง $1/C_t$ กับ t

$$\text{สมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์; } C_t = C_0 - k_0 t \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{สมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม; } \log (q_e - q_t) = \log q_e - ((k_{01}/2.303)t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{สมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง; } \ln C_t = \ln C_0 - k_1 t \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{สมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม; } t/q_t = (1/k_{12} q_e^2) + (1/q_e)t \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{สมการปฏิกิริยาอันดับสอง; } 1/C_t = 1/C_0 + k_2 t \quad \dots\dots\dots (5)$$

โดย k_0 คือ ค่าคงที่จลนพลศาสตร์อันดับศูนย์, (มิลลิกรัม/ลิตร/วัน) k_{01} คือ ค่าคงที่จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งเทียม, (1/วัน) k_1 คือ ค่าคงที่จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง, (1/วัน) k_{12} คือ ค่าคงที่จลนพลศาสตร์อันดับสองเทียม, (กรัม/มิลลิกรัม/วัน) k_2 คือ ค่าคงที่จลนพลศาสตร์อันดับสอง, (ลิตร/มิลลิกรัม/วัน) C_0 คือ ความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจน หรือทีเคเอ็น ณ เวลาเริ่มต้น, (มิลลิกรัม/ลิตร) C_t คือ ความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจน หรือทีเคเอ็น ณ เวลา t ใด ๆ (มิลลิกรัม/ลิตร) q_e คือ การดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน หรือทีเคเอ็น ณ เวลาสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม) q_t คือ การดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน หรือทีเคเอ็น ณ เวลาใด ๆ (มิลลิกรัม/กรัม) และ t คือ เวลา (วัน)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์ของการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน

การเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์ของการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน โดยใช้ซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อย และซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A ในการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง ดัง Table 1 แสดงจลนพลศาสตร์ของการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง เทียม หนึ่ง สองเทียม และสอง

Table 1 Rate constant and R^2 of zero order, pseudo first order, first order, pseudo second order and second order reactions for ammonia nitrogen adsorption from industrial frozen seafood wastewater by using synthetic zeolite-A from bagasse ash and standard zeolite 4A

Zeolite	Rate constant and R^2	Reaction				
		Zero Order (mg/l/day)	Pseudo first order (1/day)	First order (1/day)	Pseudo second order (g/mg/day)	Second order (l/mg/day)
Zeolite-A from bagasse ash (ZBG)	k	4.01	0.09	0.02	0.15	0.00
	R^2	0.28	0.29	0.23	0.88	0.19
Standard zeolite 4A (Z4A)	k	5.85	0.11	0.03	0.07	0.00
	R^2	0.32	0.19	0.24	0.89	0.17

Figure 1 และ Table 2 พบว่าการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน ในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งโดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศด้วยซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A และซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อย พบว่าเหมาะกับจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม โดยซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A สามารถดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน ในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งได้มากที่สุด ($q_e = 7.70$ มิลลิกรัมต่อกรัม) รองลงมาคือ ซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อย ($q_e = 6.13$ มิลลิกรัมต่อกรัม) ตามลำดับ โดยซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยมีค่าคงที่อัตราเร็วมากที่สุด ($k_{12} = 0.15$ กรัมต่อมิลลิกรัมต่อวัน) รองลงมาคือซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A ($k_{12} = 0.07$ กรัมต่อมิลลิกรัมต่อวัน) ตามลำดับ ผลการดูดซับแอมโมเนีย

ไนโตรเจนในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง เมื่อซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A สามารถดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน ได้มากที่สุด ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยและซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A ที่มีโครงสร้าง ความเป็นผลึก ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity : CEC) แตกต่างกันจึงส่งผลให้การดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน แตกต่างกันด้วย อีก

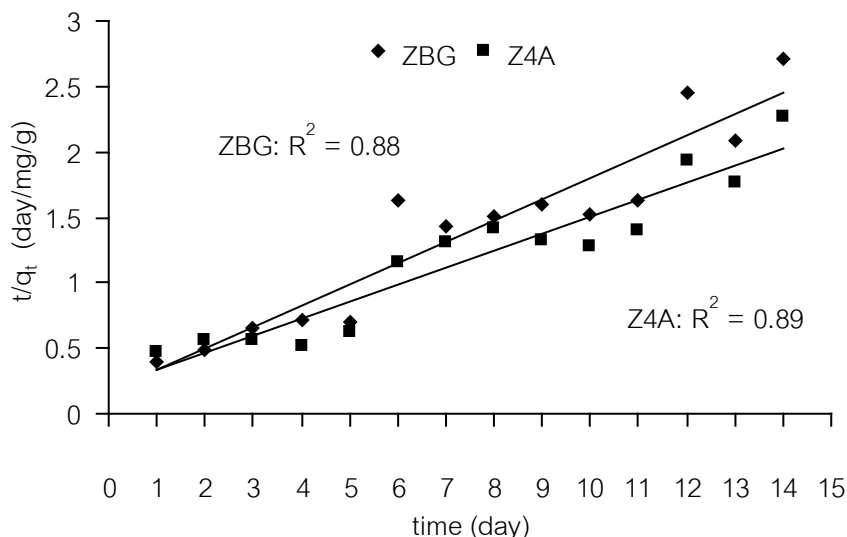


Figure 1 Pseudo second order kinetic of ammonia nitrogen adsorption from industrial frozen seafood wastewater by using synthetic zeolite-A from bagasse ash and standard zeolite 4A

Table 2 The rate constants (k_{12}) and q_e of pseudo second order by using synthetic zeolite-A from bagasse ash and standard zeolite 4A for ammonia nitrogen adsorption from industrial frozen seafood wastewater

Zeolite	q_e (mg/g)	k_{12} (g/mg/day)	R^2
Zeolite-A from bagasse ash (ZBG)	6.13	0.15	0.88
Standard zeolite 4A (Z4A)	7.70	0.07	0.89

ทั้งปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน เริ่มต้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ จึงไม่ส่งผลต่อการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) จากผลการศึกษายังพบว่าที่ระยะเวลา 5 วัน ซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A และซีโอไลต์ที่สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยสามารถดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน ได้ดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 71.37 และ 54.97 ตามลำดับและอยู่ในสภาวะสมดุล โดยกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นไปเรื่อย ๆ เมื่อสารที่ถูกดูดซับมีการคายซับและดูดซับไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งสมดุลจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการดูดซับและคายซับเท่ากัน จุดนี้ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับจะเท่ากับความเข้มข้นในสารดูดซับที่อุณหภูมิคงที่หนึ่ง ๆ ดังเห็นได้จากความสามารถในการดูดซับลดลงในวันที่ 6 จึงส่งผลต่อการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนด้วย (เกรียงศักดิ์, 2539) สอดคล้องกับ Tada และคณะ (2009) พบว่าการเติมซีโอไลต์จากธรรมชาติชนิด

Mordenite และ Clinoptilolite มีผลต่อการลดปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจน และปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 10 และยังสามารถกำจัด Sludge ได้เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 5 สอดคล้องกับ Wonseok และคณะ (2009) พบว่าทรายกรอง ถ่าน และซีโอไลต์ สามารถดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน ได้คิดเป็นร้อยละ 90 ภายในระยะเวลา 5 วัน สรุปได้ว่าธรรมชาติของ ซีโอไลต์ มีความเป็นไปได้ที่จะถูกเลือกให้เป็นตัวกลางที่มีประโยชน์ในถึงปฏิกรณ์สำหรับการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอ สอดคล้องกับ Karapinar (2009) พบว่า ปริมาณซีโอไลต์ที่ 10 กรัมต่อลิตร สามารถดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 5 นาที และประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน คิดเป็นร้อยละ 90-95 อีกทั้งยังสามารถตกตะกอนฟอสเฟตในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต ได้ในช่วงพีเอชต่ำกว่า 7.2 โดยประสิทธิภาพในการกำจัดและการดูดซับของแอมโมเนียไนโตรเจน โดยซีโอไลต์จะขึ้นอยู่กับแอมโมเนียไนโตรเจนเริ่มต้น และปริมาณของซีโอไลต์ด้วย

2. การเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์ของการดูดซับที่เคเอ็น

การเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์ของการดูดซับที่เคเอ็น โดยใช้ซีโอไลต์เอที่สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อย และซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A ในการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง ดัง Table 3 แสดงจลนพลศาสตร์ของการดูดซับที่เคเอ็น ของปฏิกริยาอันดับศูนย์ หนึ่งเทียม หนึ่ง สองเทียม และสอง

Table 3 Rate constant and R^2 of zero order, pseudo first order, first order, pseudo second order and second order reactions for TKN adsorption from industrial frozen seafood wastewater by using synthetic zeolite-A from bagasse ash and standard zeolite 4A

Zeolite	Rate constant and R^2	Reaction				
		Zero order (mg/l/day)	Pseudo first order (1/day)	First order (1/day)	Pseudo second order (g/mg/day)	Second order (l/mg/day)
Zeolite-A from bagasse ash (ZBG)	k	10.61	0.13	0.05	0.04	0.00
	R^2	0.54	0.24	0.51	0.94	0.46
Standard zeolite 4A (Z4A)	k	11.64	0.13	0.06	0.04	0.00
	R^2	0.41	0.21	0.35	0.91	0.29

Table 3 แสดงผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ลำดับปฏิกริยาอันดับศูนย์ หนึ่งเทียม หนึ่ง สองเทียม และสอง ของการดูดซับที่เคเอ็น โดยใช้ซีโอไลต์เอที่สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อย และซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A เป็นวัสดุดูดซับที่เคเอ็น

ในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง พบว่าการดูดซับที่เคเอ็น โดยใช้ซีโอไลต์เอที่สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อย และซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A เป็นวัสดุดูดซับที่เคเอ็น ในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารทะเลแช่แข็งเหมาะกับจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาลำดับสองเทียม (Pseudo second order) โดยซีโอไลต์เอที่สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.94 และ ค่า q_e ระยะเวลา 1-14 วัน เท่ากับ 5.46, 7.86, 9.23, 10.82, 13.27, 8.42, 9.69, 11.57, 12.68, 13.12, 13.41, 12.63, 12.42 และ 11.64 ตามลำดับ ซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A มีค่า R^2 เท่ากับ 0.91 และ ค่า q_e ระยะเวลา 1-14 วัน เท่ากับ 4.81, 7.78, 10.82, 14.29, 14.75, 10.11, 10.36, 12.05, 13.67, 14.64, 15.01, 13.87, 14.68 และ 11.87 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาลำดับสองเทียม (Pseudo second order) โดยคำนวณได้จากสมการ (4) จากสมการปฏิกิริยาลำดับสองเทียม สามารถนำมาสร้างกราฟ ระหว่าง t/q_t กับ t ดังแสดงใน Figure 2

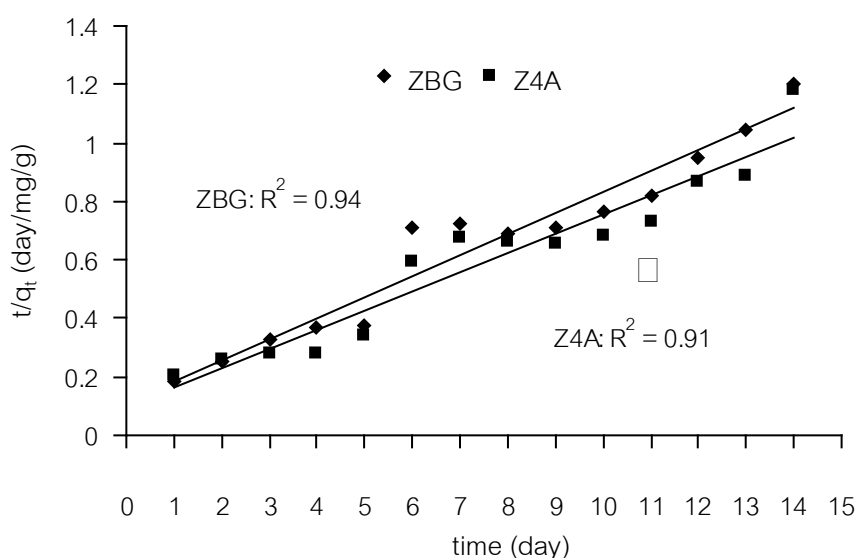


Figure 2 Pseudo second order kinetic of TKN adsorptions from industrial frozen seafood wastewater by using synthetic zeolite-A from bagasse ash and standard zeolite 4A

Table 4 The rate constants (k_{12}) and q_e of pseudo second order by using synthetic zeolite-A from bagasse ash and standard zeolite 4A for TKN adsorption from industrial frozen seafood wastewater

Zeolite	q_e (mg/g)	k_{12} (g/mg/day)	R^2
Zeolite-A from bagasse ash (ZBG)	13.94	0.04	0.94
Standard zeolite 4A (Z4A)	15.22	0.04	0.91

Figure 2 และ Table 4 พบว่าการดูดซับที่เคเอ็น ในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งโดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศด้วยซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A และซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าขาน้อย เป็นวัสดุดูดซับ เหมาะกับจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม โดยซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A สามารถดูดซับที่เคเอ็น ในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งได้มากที่สุด ($q_e = 15.22$ มิลลิกรัมต่อกรัม) รองลงมาคือซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าขาน้อย ($q_e = 13.94$ มิลลิกรัมต่อกรัม) ตามลำดับ โดยซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าขาน้อย และซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A ค่าคงที่อัตราเร็วเท่ากัน ($k_{12} = 0.04$ กรัมต่อมิลลิกรัมต่อวัน) จากผลการศึกษายังพบว่าที่ระยะเวลา 5 วัน ซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A และซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าขาน้อยสามารถดูดซับที่เคเอ็น ได้ดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 80.68 และ 72.58 ตามลำดับ และอยู่ในภาวะสมดุล โดยกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นไปเรื่อย ๆ เมื่อสารที่ถูกดูดซับมีการคายซับและดูดซับไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งสมดุลจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการดูดซับและการคายการดูดซับเท่ากัน จุดนี้ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับจะเท่ากับ ความเข้มข้นในสารดูดซับที่อุณหภูมิคงที่หนึ่ง ๆ ดังเห็นได้จากความสามารถในการดูดซับลดลงในวันที่ 6 จึงส่งผลกระทบต่อการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับที่เคเอ็น ด้วย (เกรียงศักดิ์, 2539) ซึ่งสอดคล้องกับประไพ (2543) พบว่าซีโอไลต์ธรรมชาติสามารถลดไนโตรเจนทั้งหมด และแอมโมเนียไนโตรเจนได้ร้อยละ 96.2 และ 99.8 ตามลำดับ และสอดคล้องกับสงกรานต์ (2545) พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็น ที่ระยะเวลา 12, 18 และ 24 ชั่วโมงของระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR) ร่วมกับซีโอไลต์ จะสูงกว่าระบบเอสบีอาร์ที่ไม่เติมซีโอไลต์

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จลนพลศาสตร์การดูดซับการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน และที่เคเอ็น ในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งโดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศร่วมกับการใช้ซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A และซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าขาน้อย เหมาะกับจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม ซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับจากกระบวนการดูดซับของซีโอไลต์ควบคู่กับการทำงานของจุลินทรีย์ โดยซีโอไลต์เอทีสังเคราะห์จากเถ้าขาน้อยมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับซีโอไลต์มาตรฐานชนิด 4A จึงส่งผลให้จลนพลศาสตร์การดูดซับการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน และที่เคเอ็น ใกล้เคียงกัน อีกทั้งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้สังเคราะห์ซีโอไลต์ เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการภาคีบัณฑิต สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ประจำปี 2553 ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2546. **คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ**. เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, (2548) **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ.

- สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- เกียรติศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **การบำบัดน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ. มิตรนราการพิมพ์.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุนัน. 2532. **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย**. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย.
- ประไพ อิศระ. 2542. **การบำบัดน้ำเสียจากห้องสุขาผสมกับน้ำเสียจากโรงอาหารโดยระบบจัดเรียงดินหลายชั้น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เรวดี อนุวัฒนา, ประภา ไช้ะสลาม, พัทธนันท์ นาทพิณิจ, ปรีชา พลอยภัทรภิญโญ, (2551) **โครงการพัฒนาเทคโนโลยีในการสังเคราะห์และขึ้นรูปซีโอไลต์จากเศษชานอ้อยเพื่อใช้ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานซูบลโหะ**, รายงานการวิจัย, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- สงกรานต์ พละเสน. 2545. **ประสิทธิภาพของระบบเอสปีอาร์ร่วมกับซีโอไลต์ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. 1998. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed., American public health association, Washington.
- Ho Y.S. and McKay G. 1999. Pseudo-second order model for sorption processes. **Process Biochem.** 34(5):451–465.
- Karapinar N. 2009. Application of natural zeolite for phosphorus and ammonium removal from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials.** 170(2-3): 1186-1191.
- Laowansiri S. 2011. Kinetic and efficiency of reactive dye sorption by plant biomass. **Research Journal of Applied Sciences**, 6(1):15-19.
- Tada C., Yang Y., Hanaoka T., Sonoda A., Ooi K. and Sawayama S. 2005. Effect of natural zeolite on methane production for anaerobic digestion of ammonium rich organic sludge. **Bioresource Technology.** 96(4): 459–464.
- Wonseok C., Hungthuan T., Doohyun P., Ruihong Z. and Daehee A. 2009. Ammonium nitrogen removal characteristics of zeolite media in a biological aerated filter (BAF) for the treatment of textile wastewater. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry.** 15(4):524-528.