การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสีย โรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยแมงกานีสซีโอไลต์

Ammonia Nitrogen Removal from Leather Tanning Industry Wastewater Using Manganese Zeolite

มณีวรรณ เกตะวันดี[1] สุขุม เร้าใจ[2]

Maneewan Katawandee[1] Sukhoom Rowchai[2]

บทคัดย่อ

การศึกษาการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยแมงกานีสซีโอไลต์ ทำการทดลองโดยวิธีแบบทีละเท ผลจากการทดลอง บ่งชี้ว่า ซีโอไลต์สามารถลดความเข้มข้นของ NH_3 - N ได้สูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 50 โดยในขนาดซีโอไลต์ เล็กกว่า 1.40 ถึง 2.00 มม. และในช่วง pH ของน้ำเสียที่ 6.0 - 8.0 ซีโอไลต์จะมีความสามารถในการกำจัด NH_3 - N ได้ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ยในการกำจัด NH_3 - N ที่ร้อยละ 38.8 - 51.3 และ 60.6 - 70.4 จำนวนครั้งการใช้งานซีโอไลต์ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 - N ลดลง และสามารถฟื้นฟูสภาพซีโอไลต์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ด้วยสารละลาย 25 g/l NaCl สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 - N กับความเข้มข้นของน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัส และสัดส่วนของปริมาณซีโอไลต์ต่อปริมาตรน้ำเสีย พบว่ามีค่าการกำจัดดีที่สุดที่อัตราส่วนการเจือจาง 1 : 1 ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับหรือมากกว่า 90 นาที และปริมาณซีโอไลต์เท่ากับหรือสูงกว่า 200 กรัม/น้ำเสีย 100 มล. โดยมีค่าเฉลี่ยในการกำจัด NH_3 - N ที่ร้อยละ 50.8, 43.9 และ 59.4 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับสำหรับการทดลองนี้ พบว่ามีความสอดคล้องกับสมการของฟรุนลิช มีค่าสมการ คือ $\log q = -3.7545 + 1.4112 \log C$ จากผลการศึกษาทำให้ประเมินได้ว่า ซีโอไลต์สามารถใช้ในการกำจัด NH_3 - N ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังได้ แต่ยังมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีปัจจัยรบกวนที่ทำให้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ เช่น การมีโลหะหนักโครเมียมในน้ำเสีย รวมถึงการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

คำสำคัญ : แอมโมเนียไนโตรเจน อุตสาหกรรมฟอกหนัง แมงกานีสซีโอไลต์

Keywords: Ammonia nitrogen; Leather tanning industry; Manganese zeolite

---

[1] นิสิตปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาการจัดการประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[1] Graduated Student, Department of Environmental Science, Kasetsart University.

[2] Assoc. Prof. Department of Fishery Management, Faculty of Fisheries, Kasetsart University.

***ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

ABSTRACT

A Study on ammonia nitrogen removal from leather tanning industry wastewater by manganese zeolite was conducted by using batch test experiment. Results from experiments revealed that zeolite could remove ammonia nitrogen by ion exchange at the maximum rate of about 50%. At zeolite granulometry size of less than 1.40 to 2.00 mm. and pH range of 6 – 8, highest removal was observed at the average rates of 38.8% to 51.3% and 60.6% to 70.4%. The removal capacity of zeolite decreased with the number of repeated usage, and the exhausted zeolite could be regenerated with 25 g NaCl/l solution. For the relationship between removal capacity and other factors i.e. wastewater dilution, contact duration and the ratio of zeolite quantity to waste water volume, the optimum removal capacity was observed at the dilution ratio 1:1 of wastewater : tap water, contact duration of 90 minutes or more and zeolite quantity of 200 g or more per 100 ml of tested solution of which the average removal rates were found at 50.8%, 43.9% and 59.4% respectively. The isotherm tests indicated that adsorption of manganese zeolite under these experiments agreed with the Freudlich isotherm which was log q = −3.7545 + 1.4112 log C. From this study, it could be assessed that zeolite could remove ammonia nitrogen from wastewater of leather tanning industry but with relatively low efficiency due to the interference of chromium ion and organic adsorption in the leather tanning industry wastewater.

บทนำ

จากรายงานโครงการจัดทำและดำเนินงานระบบฐานข้อมูลคุณภาพสิ่งแวดล้อมของโครงการจัดการน้ำเสีย เขตควบคุมมลพิษจังหวัดสมุทรปราการในช่วงปี พ.ศ. 2541 – 2545 พบว่า คุณภาพน้ำคลอง และคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งของจังหวัดสมุทรปราการ มีคุณภาพเสื่อมโทรม รวมทั้งมีการปนเปื้อนแอมโมเนียโดยเฉลี่ยสูง เช่น คลองครุใน ซึ่งเป็นคลองที่อยู่ในเขตอุตสาหกรรมหนาแน่น ในปี พ.ศ. 2545 พบมีปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยสูงถึง 14.6 มก./ล. นอกจากนี้ น้ำทะเลชายฝั่งบริเวณใกล้คลองรับน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง ถนนสุขุมวิท กม. ที่ 30 พบมีการปนเปื้อนของแอมโมเนียสูงเช่นกัน โดยเฉพาะปี พ.ศ. 2542 มีการปนเปื้อนแอมโมเนียสูงสุดถึง 150 มก./ล. [1] ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการปนเปื้อนของแอมโมเนียในพื้นที่นี้มีสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537)

โรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังเป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่สะท้อนปัญหามลพิษทางน้ำ จากข้อมูลของสำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม [2] ได้สรุปลักษณะสมบัติน้ำเสียรวมจากอุตสาหกรรมฟอกหนังของไทย ได้แก่ บีโอดี ซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด

โครเมียม และทีเคเอ็น มีค่าเฉลี่ย 1,535 4,150 13,857 77.68 และ 394 มก./ล. ตามลำดับ โดยเฉพาะเป็นน้ำเสียที่มีแอมโมเนียปนเปื้อนในรูปทีเคเอ็นสูงถึง 215-644 มก./ล. ซึ่งหากไม่มีการบำบัดน้ำเสียดังกล่าวอย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ย่อมส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำ ก่อให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ รวมทั้งทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) หรือปรากฏการณ์ที่มีแพลงตอนเจริญเติบโตมากเกินไป

ปัจจุบันได้มีการนำซีโอไลต์มาประยุกต์ใช้ในงานอย่างกว้างขวาง เช่น การบำบัดน้ำในฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การบำบัดมลพิษทางอากาศ และการกำจัด/บำบัดมลพิษทางน้ำ เนื่องจากซีโอไลต์ซึ่งเป็นแร่ที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้สูง มีความชอบแอมโมเนียมไอออนและมีราคาถูกกว่าสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดอื่น นอกจากนี้ ซีโอไลต์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว ยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยการรีเจนเนอเรต (regenerate) ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียได้ งานวิจัยทดลองชิ้นนี้จึงมีเป้าหมายที่จะศึกษาเพื่อนำซีโอไลต์มาใช้ในการกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนัง รวมทั้งศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด/บำบัดดังกล่าว

วิธีการวิจัย

ซีโอไลต์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นชนิดแมงกานีสซีโอไลต์ นำตัดบดและร่อนด้วยตะแกรง (sieves) จนได้ซีโอไลต์ขนาดต่างๆ 4 ขนาด คือ ขนาดเล็กกว่า 1.40 มม. ขนาด 1.40 – 2.00 มม. ขนาด 2.00 – 2.36 มม. และขนาดใหญ่กว่า 2.36 มม. สำหรับน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนปนเปื้อน นำมาจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังในเขตพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ

ก่อนการทดลองจริง ได้ทำการทดสอบเบื้องต้น (pretest) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ซีโอไลต์เพื่อกำจัดแอมโมเนียจากน้ำเสีย โดยใช้ซีโอไลต์ขนาดต่างๆ 4 ขนาด บรรจุในขวดรูปชมพู่ขนาดละ 50 กรัม เติมน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 1 ในปริมาตร 50 มล. นำไปเขย่า ใช้อัตราเร็วรอบของเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที นาน 2 ชั่วโมง วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (TAN mg/l) ในน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการเขย่า ด้วยวิธี Modified Indophenol [3]

จากนั้นทำการทดลองจริง ด้วยวิธีการทดลองแบบทีละเท (batch test) โดยแบ่งออกเป็น 6 การทดลองย่อย ดังนี้

1. ขนาดซีโอไลต์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน

นำซีโอไลต์ขนาดต่างๆ 4 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็กกว่า 1.40 มม. 1.40-2.00 มม. 2.00 – 2.36 มม. และใหญ่กว่า 2.36 มม. ตามลำดับ บรรจุในขวดรูปชมพู่ ปริมาณขนาดละ 50 กรัม เติมน้ำเสียที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 1 ในปริมาตร 50 มล. นำไปเขย่าที่อัตรา 200 รอบต่อนาที นาน 2 ชั่วโมง วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (TAN mg/l) ในน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการเขย่า

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน

นำซีโอไลต์ขนาดเล็กกว่า 1.40 มม. (ขนาดที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนดีที่สุด-จากการทดลองที่ 1) บรรจุในขวดรูปชมพู่ ปริมาณขวดละ 50 กรัม เติมน้ำเสียที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 1 ใน

ปริมาตร 50 มล. ปรับ pH ในน้ำตัวอย่างเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 5.0 6.0 7.0 และ 8.0 ตามลำดับ นำไปเขย่าที่อัตรา 200 รอบต่อนาที นาน 2 ชั่วโมง วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (TAN mg/l) ในน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการเขย่า

3. จำนวนครั้งการใช้งานและการรีเจนเนอเรต ซีโอไลต์ ในการกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

นำซีโอไลต์ขนาดเล็กกว่า 1.40 มม. มาบรรจุในขวดรูปชมพู่ ปริมาณขวดละ 50 กรัม เติมน้ำเสียที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 1 ในปริมาตร 50 มล. นำไปเขย่าที่อัตรา 200 รอบต่อนาที นาน 2 ชั่วโมง วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (TAN mg/l) ในน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการเขย่า และทำการทดลองเช่นนี้ต่อเนื่องอีก 2 ครั้ง โดยไม่เปลี่ยนซีโอไลต์

จากนั้นนำซีโอไลต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วทั้ง 3 ครั้ง ไปทำการรีเจนเนอเรตโดยแช่ในเกลือแกง (NaCl) ที่ความเข้มข้น 25 กรัม/ลิตร ทิ้งไว้นาน 30 นาที แล้วนำซีโอไลต์ที่ผ่านการรีเจนเนอเรตไปทำการทดลองแลกเปลี่ยนไอออนอีกครั้ง (การใช้งานครั้งที่ 4) เพื่อทดสอบการฟื้นฟูประจุให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับการใช้งานใหม่ โดยทำการทดลองตามขั้นตอนเดิม

4. อัตราส่วนการเจือจางระหว่างน้ำเสียต่อน้ำประปาที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน

ใช้ซีโอไลต์ขนาดเล็กกว่า 1.40 มม. บรรจุในขวดรูปชมพู่ ปริมาณขวดละ 50 กรัม เติมน้ำเสียที่มีอัตราส่วนการเจือจางด้วยน้ำประปาที่ 1:8 1:4 1:1 และ 3:1 ตามลำดับ ในปริมาตร 50 มล. นำไปเขย่าในอัตรา 200 รอบต่อนาที นาน 2 ชั่วโมง วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (TAN mg/l) ในน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการเขย่า

5. ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน

นำซีโอไลต์ขนาดเล็กกว่า 1.40 มม. มาบรรจุในขวดรูปชมพู่ ปริมาณขวดละ 50 กรัม เติมน้ำเสียที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 1 ในปริมาตร 50 มล. นำไปเขย่าที่อัตรา 200 รอบต่อนาที แบ่งเวลาการเขย่าออกเป็น 15 30 60 90 150 และ 180 นาที ตามลำดับ วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (TAN mg/l) ในน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการเขย่า

6. สัดส่วนปริมาณซีโอไลต์ต่อปริมาตรน้ำเสียที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน

ใช้ซีโอไลต์ขนาดเล็กกว่า 1.40 มม. มาบรรจุในขวดรูปชมพู่ ในปริมาณต่างๆ กันคือ 50.0 100.0 150.0 และ 200.0 กรัม ตามลำดับ เติมน้ำเสียที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 1 ในปริมาตร 100 มล. นำไปเขย่าที่อัตรา 200 รอบต่อนาที นาน 2 ชั่วโมง วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (TAN mg/l) ในน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการเขย่า

การทดลองแต่ละชุด มีจำนวนซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ การวิเคราะห์หาความแตกต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดทดลอง ใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพื่อตรวจสอบความแตกต่างตามวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการทดสอบเบื้องต้น

จากการทดสอบเบื้องต้น พบว่า ขนาดซีโอไลต์ ทั้ง 4 ขนาด คือ ขนาดเล็กกว่า 1.40 มม. ขนาด 1.40 - 2.00 มม. ขนาด 2.00-2.36 มม. และขนาดใหญ่กว่า 2.36 มม. สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด แอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียตัวอย่างลดลงที่เฉลี่ยร้อยละ 47.26 26.20 33.33 และ 11.44 ตามลำดับ การทดสอบนี้จึงบ่งชี้ว่าซีโอไลต์มีความสามารถในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยการแลกเปลี่ยนไอออนได้ โดยอาศัยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแอมโมเนียกับประจุบวกของโลหะ akali หรือ alkali earth ที่เกาะกันอยู่อย่างหลวมๆ ในโครงสร้างซีโอไลต์ไลต์ และด้วยสภาพที่เป็นผลึกของซีโอไลต์ ทำให้มีการคัดเลือกลำดับชนิดประจุที่จะเข้ามาแลกเปลี่ยน โดยแอมโมเนียจะอยู่ในลำดับต้นๆ ของประจุบวกที่เข้ามาแลกเปลี่ยนประจุบวกของผลึกซีโอไลต์ [4]

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยแมงกานีสซีโอไลต์

1. ขนาดซีโอไลต์ที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน

จากการนำซีโอไลต์ขนาดต่างๆ คือ ขนาดเล็กกว่า 1.40 มม. ขนาด 1.40-2.00 มม. ขนาด 2.00 - 2.36 มม. และขนาดใหญ่กว่า 2.36 มม. มาใช้กำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 72.0 มก./ล. ผลการทดลองพบว่า ซีโอไลต์ให้ค่าการกำจัดแตกต่างกันไปตามขนาด เฉลี่ยที่ร้อยละ 51.3 38.8 27.7 และ 22.6 ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 1)โดยซีโอไลต์ขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจนได้ดีกว่าซีโอไลต์ที่มีขนาดใหญ่ และซีโอไลต์ขนาดเล็กกว่า 1.40 มม. มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ดีที่สุด (51.3%) ขณะที่ซีโอไลต์ขนาดใหญ่กว่า 2.36 มม. มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้น้อยที่สุด (22.6%) ซึ่งผลดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของสุชาดา [5] ที่ทำการกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากตู้เลี้ยงปลาด้วยหินภูเขาไฟ และพบว่าหินภูเขาไฟที่มีขนาดเล็กลง จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียเพิ่มขึ้น เนื่องจากหินขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสำหรับการแลกเปลี่ยนประจุมากขึ้น

เมื่อนำข้อมูลค่าร้อยละของการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ซีโอไลต์ขนาดเล็กกว่า 1.40 มม. มีผลต่อการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสีย แตกต่างจากซีโอไลต์ขนาด 2.00-2.36 มม. และขนาดใหญ่กว่า 2.36 มม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับขนาด 1.40-2.00 มม. ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ขนาดซีโอไลต์ที่มีความเหมาะสมต่อการใช้กำจัดแอมโมเนียในน้ำเสีย จะมีขนาดอยู่ที่ระหว่าง เล็กกว่า 1.40 ถึง 2.00 มม. โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดอยู่ที่ระหว่างร้อยละ 38.8-51.3

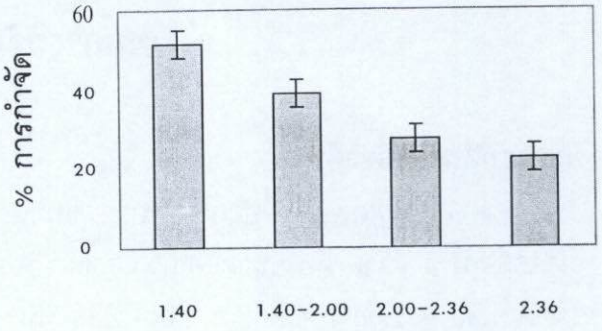
2. ความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำเสียที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน

การทดลองนี้ ดำเนินการโดยนำน้ำเสียมาทำการปรับระดับ pH ออกเป็นค่าต่างๆ และได้ตัวอย่างน้ำเสียที่มีปริมาณแอมโมเนีย

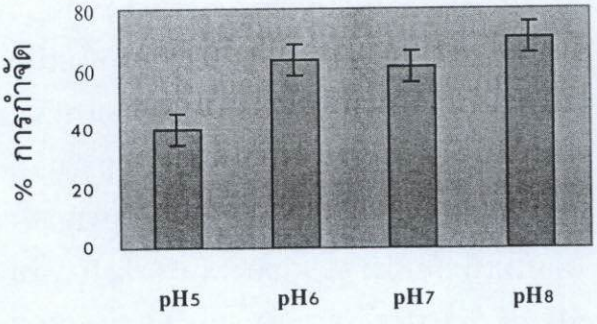
ไนโตรเจนเริ่มต้นต่างกันออกไป คือที่ 52.0 90.0 67.0 และ 79.0 มก./ล. ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ในน้ำเสียที่มีค่า pH ที่ 5.0 6.0 7.0 และ 8.0 ซีโอไลต์จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนที่ร้อยละ 39.7 62.9 60.6 และ 70.4 ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 2) โดยน้ำเสียที่มีค่า pH 8.0 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ดีที่สุด ขณะที่น้ำเสียที่มีค่า pH 5.0 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้น้อยที่สุด ทั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Aiyuk *et. al.* [6] ที่พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียด้วยการแลกเปลี่ยนประจุจะลดลง เมื่อค่า pH ของสารละลายลดลง เนื่องจากในระดับ pH ต่ำๆ การแลกเปลี่ยนประจุระหว่างแอมโมเนียกับซีโอไลต์ จะถูกรบกวนโดยประจุไฮโดรเจนของสารละลายกรด อย่างไรก็ตาม ที่ค่า pH สูงมากๆ ประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงเช่นกัน เนื่องจากแอมโมเนียจะอยู่ในรูปแอมโนเนียอิสระ (NH_3) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งไม่สามารถทำการแลกเปลี่ยนประจุได้

เมื่อนำข้อมูลค่าร้อยละการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ค่า pH ที่ระดับ 5.0 มีผลต่อการลดความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียแตกต่างจากที่ระดับ pH 6.0 – 8.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ระดับ pH 6.0 – 8.0 ไม่พบมีความแตกต่างทางสถิติ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า ระดับ pH ที่ 6.0-8.0 ซึ่งเป็นระดับ pH ในน้ำเสียทั่วไป จะเป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนกับซีโอไลต์

3. จำนวนครั้งการใช้งานและการรีเจนเนอเรตซีโอไลต์ในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน



รูปที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียด้วยซีโอไลต์ขนาดต่างๆ

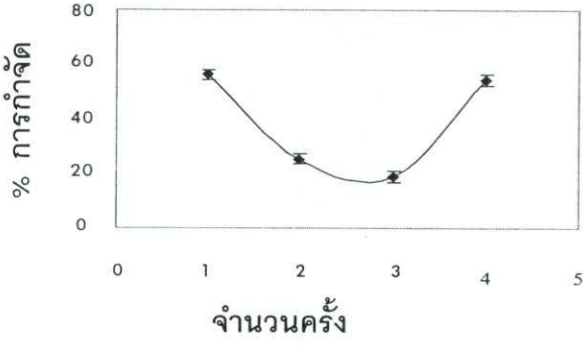


รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่ pH ระดับต่างๆ

จากการทดสอบพบว่า หลังการใช้งานซีโอไลต์ครั้งที่ 1 2 และ 3 ประสิทธิภาพของซีโอไลต์ในการกำจัดแอมโมเนีย มีค่าลดลงจากร้อยละ 56.3 เป็น 25.3 และ 18.8 ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 3) การที่ซีโอไลต์มีประสิทธิภาพการกำจัดลดลงนี้ เกิดจากการลดความพรุนของผลึกซีโอไลต์และการลดแรงอีเล็คโตรสแตติก (electrostatic force) แต่หลังจากการใช้งานครั้งที่ 3 แล้ว เมื่อนำซีโอไลต์มารีเจนเนอเรต (regenerate) ด้วยสารละลายเกลือแกงที่ความเข้มข้น 25 กรัมต่อลิตร และนำมาใช้งานใหม่ในครั้งที่ 4 พบว่า ซีโอไลต์ที่ฟื้นฟูประจุนี้ สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยประสิทธิภาพที่

ใกล้เคียงกับการใช้งานครั้งที่ 1 คือมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่เฉลี่ยร้อยละ 54.4 และเมื่อนำข้อมูลค่าร้อยละของการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ค่าที่ได้จากการใช้งานครั้งที่ 1 แตกต่างกับการใช้งานครั้งที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับการใช้งานครั้งที่ 4 หลังจากการรีเจนเนอเรต-ซีโอไลต์แล้ว

ผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Aiyuk et al [6] ที่พบว่า การรีเจนเนอเรตเพื่อฟื้นประจุซีโอไลต์ สามารถทำได้โดยการใช้โซเดียมในสารละลายเกลือแกงเข้าไปแลกเปลี่ยนไอออนกับประจุแอมโมเนียที่เกาะติดกับผลึกซีโอไลต์ ซึ่งจะช่วยฟื้นประสิทธิภาพของซีโอไลต์ในการกำจัดแอมโมเนียได้ หากแต่ Ahmet et al [7] ได้กล่าวว่า ในการรีเจนเนอเรตซีโอไลต์นั้น การรีเจนเนอเรตครั้งแรก จะได้ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียที่ดีและคงที่กว่าการรีเจนเนอเรตครั้งหลังๆ



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนของซีโอไลต์ ตามจำนวนครั้งการใช้งาน และหลังการรีเจนเนอเรต

4. อัตราส่วนการเจือจางระหว่างน้ำเสียต่อน้ำประปาที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน

การทดลองดำเนินการโดยการเจือจางน้ำเสียด้วยกับประปาในอัตราส่วน 1:8 1:4 1:1 และ 3:1 ทำให้ได้น้ำตัวอย่างมีปริมาณแอมโมเนียก่อนการบำบัดต่างๆ กัน คือที่ 50.0 84.0 160.0 และ 278.0 มก./ล. จากผลการทดลองพบว่า ซีโอไลต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียที่มีอัตราการเจือจางดังกล่าวข้างต้นที่ร้อยละ 41.3 47.2 50.8 และ 46.3 ตามลำดับ (ดังแสดงภาพที่ 4) โดยที่อัตราส่วนการเจือจาง 1:1 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ดีที่สุด และที่อัตราส่วนการเจือจาง 1:8 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อนำข้อมูลค่าร้อยละการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ที่อัตราส่วนการเจือจาง 1:1 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดจะมีความแตกต่างจากที่อัตราส่วนการเจือจาง 1:8 1:4 และ 3:1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการทดลองนี้ สามารถวิเคราะห์ในเบื้องต้นได้ว่า การที่ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียที่มีอัตราส่วนการเจือจางต่ำ มีค่าต่ำกว่าในน้ำเสียที่มีอัตราส่วนการเจือจางสูงขึ้นนั้น เกิดจากขั้นตอนของการทดลอง ที่ได้ใช้น้ำประปามาทำการเจือจางน้ำเสีย ซึ่งในน้ำประปาจะมีไอออนบวกของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} รวมทั้งไอออนบวกอื่นๆ เป็นจำนวนมาก ดังนั้น ในน้ำเสียที่มีอัตราส่วนการเจือจางต่ำ กล่าวคือ มีปริมาณของน้ำประปาสูง ทำให้มีไอออนของโลหะกลุ่มอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ทที่จะขัดขวางการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างแอมโมเนียมไอออนกับซีโอไลต์จำนวนมาก แต่ขณะเดียวกันในน้ำเสียที่มีอัตราส่วนความเข้มข้นสูง กล่าวคือ มีน้ำเสียดิบปริมาณมากกว่าน้ำประปา จะมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์อื่นสูง ซึ่งสารเหล่านี้จะถูกดูดซับไว้บนผลึกซีโอไลต์ และมีผลในการอุดตันช่องว่างรูพรุนภายในโครงสร้างซีโอไลต์ ทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างแอมโมเนียมไอออนกับซีโอไลต์มีประสิทธิภาพลดลงเช่นกัน

5. ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน

การทดลองนี้ ใช้น้ำเสียที่มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 179.0 มก./ล. มาทำการกำจัดแอมโมเนียด้วยซีโอไลต์ด้วยระยะเวลาการสัมผัสที่ต่างกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงว่า ระยะเวลาในการสัมผัสที่ 15 30 60 90 150 และ 180 นาที สามารถลดความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจนจากค่าเริ่มต้นได้ที่ร้อยละ 32.2 38.5 39.8 43.9 44.1 และ 42.2 ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 5) โดยประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการสัมผัส และมีค่าสูงสุดที่ระยะเวลาในการสัมผัสนาน 90 นาที และหลังจากนั้นประสิทธิภาพการกำจัดจะเริ่มคงที่ โดยเวลาสัมผัสที่นานขึ้น จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อนำข้อมูลค่าร้อยละการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างซีโอไลต์กับน้ำเสียที่เวลา 90 นาที จะแตกต่างกับระยะเวลาสัมผัสที่ 15 – 60 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับระยะเวลาสัมผัสที่ 150 และ 180 นาที

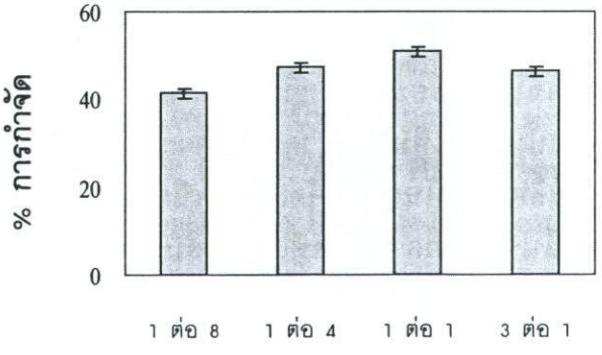
จากการทดลองชี้ให้เห็นว่า ระยะเวลาในการสัมผัสนาน จะมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจนดีกว่าระยะเวลาในการสัมผัสเร็ว ทั้งนี้ การเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์เพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เหมาะสมและเพียงพอสำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างซีโอไลต์กับน้ำเสีย เนื่องจากการแลกเปลี่ยนไอออนจะเกิดขึ้นบริเวณโพรงของซีโอไลต์ การเพิ่มระยะเวลาสัมผัส เป็นการทำให้สารละลายสามารถผ่านเข้าไปยังบริเวณพื้นที่แลกเปลี่ยนไอออนได้อย่างทั่วถึง และมีระยะเวลาเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ ขณะที่ระยะเวลาสัมผัสเร็วสารละลายไม่สามารถทำปฏิกิริยากับซีโอไลต์ได้อย่างทั่วถึงการแลกเปลี่ยนไอออนจึงเกิดไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม เมื่อปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นสมบูรณ์แล้ว การเพิ่มระยะเวลาการสัมผัส จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างซีโอไลต์กับแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยแมงกานีสซีโอไลต์จะอยู่ที่เวลา 90 นาที โดยประมาณ

6. สัดส่วนปริมาณซีโอไลต์ต่อปริมาตรน้ำเสียที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน

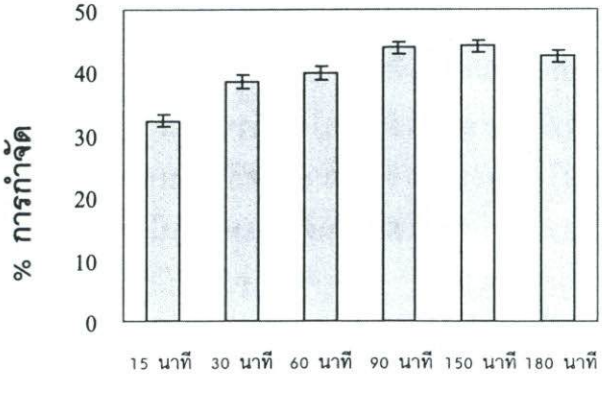
ในการทดลองชุดนี้ ได้นำซีโอไลต์ในปริมาณต่าง ๆ กัน คือ 50.0 100.0 150.0 และ 200.0 กรัม มาใช้ในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนเริ่มต้นในน้ำเสียตัวอย่างที่ 194.0 มก./ล. ผลการทดลองพบว่า ปริมาณซีโอไลต์ในสัดส่วนดังกล่าวข้างต้นมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจนจากตัวอย่างเริ่มต้นที่เฉลี่ยร้อยละ 31.96 42.26 52.92 และ 59.45 ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 6) โดยซีโอไลต์ปริมาณมากจะมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นแอมโมเนีย-ไนโตรเจนดีกว่าซีโอไลต์ปริมาณน้อย และซีโอไลต์ปริมาณ 200.0 กรัมต่อน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ดีที่สุด ขณะที่ซีโอไลต์ปริมาณ 50.0 กรัมต่อน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้น้อยที่สุด ซึ่งเมื่อนำข้อมูลค่าร้อยละการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ปริมาณแมงกานีสซีโอไลต์

ต่อปริมาตรน้ำเสียในแต่ละสัดส่วน มีผลต่อการลดความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

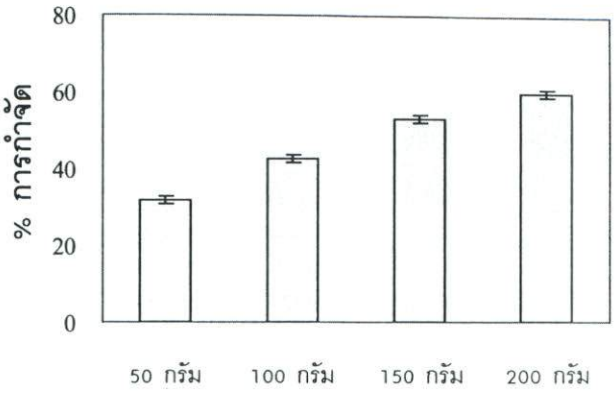
จากการทดลองชี้ให้เห็นว่า การใช้ซีโอไลต์ในปริมาณมาก จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนดีกว่าการใช้ซีโอไลต์ปริมาณน้อย เนื่องจากจะทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับเกิดปฏิกริยาที่มากขึ้น อย่างไรก็ตาม งานทดลองนี้ ยังไม่สามารถบ่งบอกได้ถึงปริมาณสูงสุดของซีโอไลต์ที่ควรใช้ จึงควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นนี้ต่อไป



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่อัตราส่วนน้ำเสียต่อน้ำประปาต่าง ๆ



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่ระยะเวลาในการสัมผัสต่าง ๆ



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่ปริมาณซีโอไลต์ต่าง ๆ

ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยแมงกานีสซีโอไลต์ ได้นำข้อมูลจากการทดลองย่อยในชุดที่ 4 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของแอมโมโนเนียไนโตรเจนเริ่มต้นที่แตกต่างกัน ไปทดสอบหา Adsorption Isotherm เพื่อหาความสัมพันธ์สำหรับอธิบายพฤติกรรมการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนของแมงกานีสซีโอไลต์ โดยทดสอบพลอตกับสมการของ Langmuir และ Freudlich จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า การดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังของแมงกานีสซีโอไลต์ มีความเข้ากันและสามารถอธิบายพฤติกรรมได้โดยสมการของ Freudlich Isotherm โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9981 และมีค่าสมการคือ $\log q = -3.7545 + 1.4112 \log C$ (ดังแสดงในตารางที่ 1) ซึ่งแสดงว่าแมงกานีสซีโอไลต์ มีความจุและความแข็งแรงในการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังดี (Favourable Adsorption)

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบ Adsorption Isotherm เป็นสมการแบบ Freudlich

ซีโอไลต์	Kf	1/n	Freudlich Isotherm
แมงกานีสซีโอไลต์	1.75×10^{-4}	0.708	$\log q = -3.7545 + 1.4112 \log C$

สรุป

การทดสอบเบื้องต้นในการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังกับแมงกานีส-ซีโอไลต์ พบว่า ซีโอไลต์สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังได้ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดที่ประมาณเฉลี่ยร้อยละ 50 ขนาดซีโอไลต์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนคือ ขนาด เล็กกว่า 1.40 มม. ถึง 2.00 มม. และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียที่เหมาะสมในการกำจัด มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 6.0-8.0

จากการทดลองเกี่ยวกับจำนวนครั้งการใช้งานและการรีเจนเนอเรตซีโอไลต์ พบว่า จำนวนครั้งการใช้งานซีโอไลต์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนลดลงตามลำดับ และการรีเจนเนอเรตซีโอไลต์โดยการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 25 กรัม/ลิตร สามารถฟื้นฟูสภาพซีโอไลต์ให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้เท่ากับในการใช้งานครั้งแรก

สำหรับอัตราส่วนการเจือจางระหว่างน้ำเสียต่อน้ำประปาที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำเสีย พบว่า อัตราส่วนการเจือจางที่ระดับ 1:1 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ขณะที่อัตราการเจือจางที่สูงและต่ำกว่าระดับนี้ ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างแอมโมเนียไนโตรเจนกับซีโอไลต์จะมีประสิทธิภาพลดต่ำลง เนื่องจากการรบกวนของไอออนบวกและสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำประปาและในน้ำเสีย ในส่วนระยะเวลาการสัมผัสระหว่างซีโอไลต์กับน้ำเสีย พบว่า ระยะเวลาในการสัมผัสที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของแอมโมเนียมีค่าสูงขึ้น โดยปฏิกิริยาสมบูรณ์จะเกิดขึ้นในระยะเวลาการสัมผัสที่ 90 นาที จากนั้น การเพิ่มระยะเวลาสัมผัสจะไม่มีผลเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำเสีย ดังนั้นระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมสำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสม จึงอยู่ที่ประมาณ 90 นาที สำหรับการทดสอบเกี่ยวกับปริมาณซีโอไลต์ต่อปริมาตรน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน พบว่า การใช้ซีโอไลต์ปริมาณ 200 กรัมต่อน้ำเสีย 100 มล. จะให้ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนระหว่างปริมาณซีโอไลต์กับปริมาตรน้ำเสียจากโรงงานที่เหมาะสมแท้จริงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป สำหรับการทดสอบค่าไอโซเทอมของการดูดซับในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยแมงกานีสซีโอไลต์ สามารถสรุปได้ว่า การดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยแมงกานีสซีโอไลต์ มีความเข้ากันและสามารถอธิบายพฤติกรรมได้โดยสมการของ Freudlich Isotherm มีค่าสมการ คือ $\log q = -3.7545 + 1.4112 \log C$

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. 2547. **รายงานสถานการณ์คุณภาพน้ำและสภาพนิเวศวิทยา โครงการจัดทำและดำเนินงานระบบฐานข้อมูลคุณภาพสิ่งแวดล้อมของโครงการจัดการน้ำเสียเขตควบคุมมลพิษ จังหวัดสมุทรปราการ**. กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.

[2] สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2540). **คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อม**. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

[3] Nimura, Yoshihachiro. 1973. A direct estimation of microgram amounts of ammonia in water without salt-error. Bull. **Jap. Soc. Sci. Fish.** 39: 1315-1321. Qasim SR. (1999). **Wastewater Treatment Planning, design and operation 2nd** ed. Lancaster : Technomic Pub.

[4] จำรัส ลิ้มตระกูล. 2540. เคมีของซีโอไลต์. **วารสารวิทยาศาสตร์ของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ**. 51(61) : 420-423.

[5] สุชาดา ยางเอน. 2546. **การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากตู้เลี้ยงปลาโดยการกรองด้วยหินภูเขาไฟ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[6] Aiyuk, S. H. XU, A.Van Haandel and W. Verstrate. 2004. Removal of Ammonium Nitrogen from Pretreated Domestic Sewage using A Natural Ion Exchanger. **Environmental Technology**. 25: 1321-1330.

[7] Ahmet, D., Ahmet, G. and Eyyup, D. 2002. **Ammonium removal from aqueoussolution by ion-Exchange usingpacked bed natural zeolite**. Yildiz Technical University, Department of Environmental Enginerring, Turkey.