

การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ด้วยเมงกานีสซีโอไลต์ ใน

แบบจำลองคลองวนเวียน

Ammonia Nitrogen Removal from Mixed Swine and Chicken Farm Wastewater Using Manganese Zeolite in the Oxidation Ditch Model

ศัลป์ชัย มณีชัย

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม. 10900

สุขุม ไร่ใจ และ อสิริยา วุฒิสินธุ์

ภาควิชาการจัดการประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม. 10900

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ด้วยเมงกานีสซีโอไลต์ในแบบจำลองคลองวนเวียนขนาด 34,633 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยทำการทดลองแบบน้ำไหลต่อเนื่อง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน และศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ อัตราการไหลน้ำเสีย ระยะเวลาการสัมผัสของเมงกานีสซีโอไลต์กับน้ำเสีย ขนาด และปริมาณของเมงกานีสซีโอไลต์ จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าเมงกานีสซีโอไลต์สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ในแบบจำลองคลองวนเวียนได้เฉลี่ยร้อยละ 78 ด้วยเมงกานีสซีโอไลต์ขนาด 1.5 มิลลิเมตร ปริมาณที่ใช้ 25,225 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อปริมาณน้ำเสีย 12 ลิตร ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อชั่วโมง และมีระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับซีโอไลต์ 120 นาที โดยค่าพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 8.6 ที่อุณหภูมิห้อง

คำสำคัญ : การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน / เมงกานีสซีโอไลต์ / น้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่

Abstract

This research was to study the ammonia nitrogen removal from mixed swine and chicken farm wastewater using manganese zeolite in the oxidation ditch model at 33,633 cubic centimeters volume size. The studies were designed as successive experiments to find out factors effecting on capacity and efficiency of ammonia nitrogen removal which were flow rates, touching times, size and quantities of manganese zeolite. The results shown that manganese zeolite could remove ammonia nitrogen by ion exchange and adsorption in the oxidation ditch model at efficiency rate of about 78 percents by manganese zeolite size of 1.5 millimeters, at quantity of 25,225 cubic centimeters per 12 liters of mixed swine and chicken farm wastewater and at flow rate of 20 liters in 120 minutes touching time. The pH of experimented wastewater was 8.6 at room temperature.

Key words: Ammonia nitrogen Removal / Manganese Zeolite / Mixed Swine and Chicken Farm Wastewater

1. บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตและเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ (กัณทริย์, 2547) จาก การเพิ่มขึ้นของประชากรโลกทำให้มีการใช้น้ำ เพื่อการอุปโภคบริโภค และประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ มากขึ้น เมื่อน้ำผ่านการใช้แล้ว คุณภาพของน้ำย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ปนเปื้อนมาทั้งใน รูปแบบของสารประกอบอินทรีย์ สารแขวนลอย เชื้อโรค และ สารพิษต่าง ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้น้ำเน่าเสียและ เป็นปัญหาลิ่งแวดล้อมสำคัญที่นับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรและไก่ นั้น สารปนเปื้อนที่พบในน้ำเสียจากแหล่งนี้ ส่วนใหญ่มักเป็นมูลสัตว์และเศษอาหาร จากการเลี้ยงสัตว์ ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ซึ่งเป็นที่มาของสารประกอบพวกไนโตรเจน และเมื่อผ่านเข้าสู่วงจร ของไนโตรเจน (nitrogen cycle) จะทำให้เกิดสารแอมโมเนีย โดยแอมโมเนียในแหล่งน้ำจะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ สารละลายแอมโมเนียมไอออน (ionized ammonia, NH_4^+) และแอมโมเนียอิสระ (un-ionized ammonia, NH_3) โดยที่แอมโมเนียอิสระ (NH_3) จะมีความเป็นพิษมากกว่ารูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ถึง 50 เท่า (สุชาติ, 2546) เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมนอกจากนี้ แอมโมเนีย ในแหล่งน้ำยังสามารถเปลี่ยนแปลงรูปเป็นไนเตรต (NO_3) ได้โดยกระบวนการ ออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งไนเตรตนี้เองเป็นสาร อาหารที่สำคัญของพวกสาหร่ายและแพลงก์ตอน อันจะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ในแหล่งน้ำ แสดงให้เห็นว่าถ้ามีการปล่อยน้ำเสียจากฟาร์มสุกรและไก่โดยไม่ผ่านการ กำจัดแอมโมเนียออกก่อน ย่อมจะสร้างปัญหาคุณภาพให้กับแหล่งน้ำรองรับได้

การนำซีโอไลต์ธรรมชาติที่มีคุณสมบัติในการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุ มาใช้ในการบำบัดแอมโมเนียที่ ปนเปื้อนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรและไก่ โดยการนำน้ำเสียมาผ่านแบบจำลองคลองวนเวียน นับเป็นทางเลือกอีก ทางหนึ่งในการกำจัดแอมโมเนียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจากรายงานการวิจัยของ ทศนีย์ และคณะ (2540) ได้ ศึกษาการใช้ซีโอไลต์เปรียบเทียบกับวัสดุอื่น ๆ ในระบบชั้นดินก่อดินที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากห้องสุขาบริเวณ โรงอาหารกลางมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผลการทดลองพบว่า การใช้ซีโอไลต์ธรรมชาติในระบบชั้นดินก่อดิน เพื่อบำบัดน้ำเสียจากห้องสุขา มีประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และแอมโมเนีย ในไนโตรเจนได้ร้อยละ 94.7, 92.3, 99.3 และ 99.8 ตามลำดับ นอกจากนี้ซีโอไลต์ที่ผ่านการใช้งานจากระบบบำบัด แล้ว ยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยการรีเจนเนอเรต (regeneration) ได้ จึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการ บำบัดน้ำเสียได้ดีทางหนึ่ง

2. วิธีการ

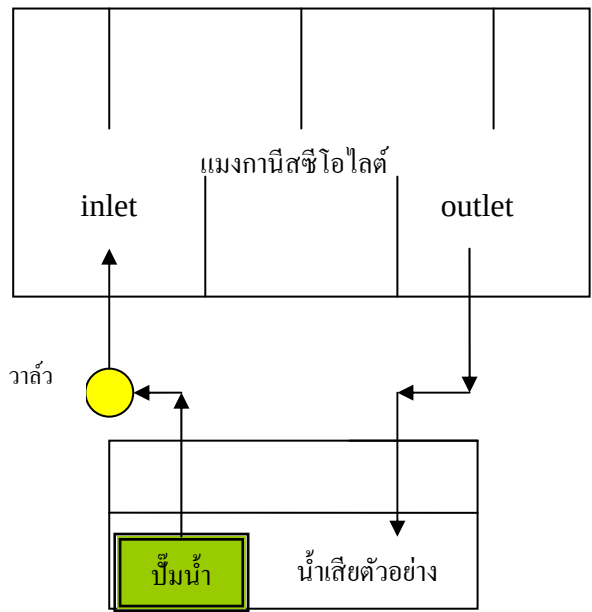
1. การเตรียมการทดลอง

1.1 สร้างแบบจำลองคลองวนเวียน

(The Oxidation ditch model) ขนาดความจุ 33,633 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 3 ชุด (รูปที่ 1) ซึ่งแบบจำลองคลอง วนเวียนดังกล่าวนี้ เป็นระบบจำลองที่ได้ออกแบบให้มีการหมุนเวียนน้ำเสียเข้า-ออก (inlet-outlet) ภายใน



รูปที่1 แบบจำลองคลองวนเวียนขนาด 33,663 ลูกบาศก์เซนติเมตร (Oxidation Dich Model)



รูปที่2 แผนผังจำลองคลองวนเวียน

1.2 เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มสุกรและไก่ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาจากบ่อฝัง (Oxidation pond) ซึ่งมีการเติมน้ำเพื่อเพิ่มอากาศ มีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ในช่วง 20- 25 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า pH อยู่ในช่วง 7-9

2. การทำการทดลอง

2.1 การทดลองการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ด้วยแมงกานีสซีโอไลต์ลักษณะ ขนาด (1.5 - 5.0 มิลลิเมตร) (รูปที่ 3) ในแบบจำลองคลองวนเวียน มีหัวข้อและวิธีการทดลองดังนี้



รูปที่3 แมงกานีสซีโอไลต์ลักษณะขนาด 1.5– 5.0 มิลลิเมตร

การทดลองที่ 2.1.1 ทดสอบอัตราการไหลที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยแมงกานีสซีโอไลต์ลักษณะขนาด

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องปั้มน้ำดูดน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ผ่านระบบแบบจำลองคลองวนเวียนที่มีแมงกานีสซีโอไลต์ลักษณะขนาดบรรจุเต็มพื้นที่ที่มีระดับความสูง 0.5 ของแบบจำลองทั่วถึงทุกบริเวณในแบบจำลอง ปรับอัตราการไหลด้วยระบบวาล์วให้มีอัตราการไหลที่ 20, 40, 60 และ 80 ลิตรต่อชั่วโมง ใช้เวลาทดสอบ 60 นาที เมื่อน้ำเสียไหลวนเวียนอยู่ในแบบจำลองครบระยะเวลาที่กำหนดแล้วทำการตรวจสอบการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำตัวอย่าง

การทดลองที่ 2.1.2 ทดสอบระยะเวลาการสัมผัสของน้ำเสียกับแมงกานีสซีโอไลต์ที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยแมงกานีสซีโอไลต์ลักษณะขนาด

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องปั้มน้ำดูดน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ผ่านระบบแบบจำลองคลองวนเวียนที่มีแมงกานีสซีโอไลต์ลักษณะขนาดบรรจุเต็มพื้นที่ที่มีระดับความสูง 0.5 ของแบบจำลองทั่วถึงทุกบริเวณในแบบจำลอง ปรับอัตราการไหลด้วยระบบวาล์วให้มีอัตราการไหลเท่ากับระดับที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 2.1.1 ใช้เวลาทดสอบที่ 30, 60 และ 120 นาที เมื่อน้ำเสียไหลวนเวียนอยู่ในแบบจำลองครบระยะเวลาที่กำหนดแล้วทำการตรวจสอบการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำตัวอย่าง

การทดลองที่ 2.1.3 ทดสอบหาปริมาณแมงกานีสซีโอไลต์ลักษณะขนาดที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องปั้มน้ำดูดน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ผ่านระบบแบบจำลองคลองวนเวียนที่มีแมงกานีสซีโอไลต์ลักษณะขนาดบรรจุเต็มพื้นที่ที่มีระดับความสูง 0.25, 0.5 และ 0.75 ของแบบจำลองทั่วถึงทุกบริเวณในแบบจำลอง โดยใช้อัตราการไหลและระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสมของน้ำเสียกับแมงกานีสซีโอไลต์ที่ได้จากการทดลองที่ 2.1.1 และ 2.1.2 เมื่อน้ำเสียไหลวนเวียนอยู่ในแบบจำลองครบระยะเวลาที่กำหนดแล้วทำการตรวจสอบการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำตัวอย่าง

2.2 การทดลองการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ด้วยแมงกานีสซีโอไลต์กำหนดขนาด (1.5 มิลลิเมตร) (รูปที่ 4) ในแบบจำลองคลองวนเวียน มีหัวข้อและวิธีการทดลองดังนี้



รูปที่4 แมงกานีสซีโอไลต์กำหนดขนาด 1.5 มิลลิเมตร

การทดลองที่ 2.2.1 ทดสอบอัตราการไหลที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยแมงกานีสซีโอไลต์กำหนดขนาด

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องปั้มน้ำดูดน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ผ่านระบบแบบจำลองคลองวนเวียนที่มีแมงกานีสซีโอไลต์กำหนดขนาดบรรจุเต็มพื้นที่ที่มีระดับความสูง 0.5 ของแบบจำลองทั่วถึงทุกบริเวณในแบบจำลอง ปรับอัตราการไหลด้วยระบบวาล์วให้มีอัตราการไหลที่ 20, 40, 60 และ 80 ลิตรต่อชั่วโมง ใช้เวลาทดสอบ 60 นาที เมื่อน้ำเสียไหลวนเวียนอยู่ในแบบจำลองครบระยะเวลาที่กำหนดแล้วทำการตรวจสอบการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำตัวอย่าง

การทดลองที่ 2.2.2 ทดสอบระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสมของน้ำเสียในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยแมงกานีสซีโอไลต์กำหนดขนาด

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องปั้มน้ำดูดน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ผ่านระบบแบบจำลองคลองวนเวียนที่มีแมงกานีสซีโอไลต์กำหนดขนาดบรรจุเต็มพื้นที่ที่มีระดับความสูง 0.5 ของแบบจำลองทั่วถึงทุกบริเวณในแบบจำลอง ปรับ

การทดลองที่ 2.2.3 ทดสอบหาปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน (Ammonia-N) โดยใช้วิธี Indophenol (ประยุกต์จากวิธีฟิเนต) (Nimura, 1973) วิธีทดสอบหาปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน (Ammonia-N) โดยใช้วิธี Indophenol (ประยุกต์จากวิธีฟิเนต) (Nimura, 1973) วิธีทดสอบหาปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน (Ammonia-N) โดยใช้วิธี Indophenol (ประยุกต์จากวิธีฟิเนต) (Nimura, 1973)

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องปั้มน้ำคูน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ผ่านระบบแบบจำลองคลองวนเวียนที่มีแอมโมเนียในโตรเจน (Ammonia-N) โดยใช้วิธี Indophenol (ประยุกต์จากวิธีฟิเนต) (Nimura, 1973) วิธีทดสอบหาปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน (Ammonia-N) โดยใช้วิธี Indophenol (ประยุกต์จากวิธีฟิเนต) (Nimura, 1973) วิธีทดสอบหาปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน (Ammonia-N) โดยใช้วิธี Indophenol (ประยุกต์จากวิธีฟิเนต) (Nimura, 1973)

ทำการตรวจสอบปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในตัวอย่างน้ำเสียทุกครั้งก่อนผ่านระบบแบบจำลองคลองวนเวียนในการทดลองที่ 2.1 ถึง 2.2 และทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละชุดการทดลอง

3. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน (Ammonia-N) ด้วยวิธี Modified Indophenol (ประยุกต์จากวิธีฟิเนต) (Nimura, 1973) วิธีวิเคราะห์ดังนี้

1. ผสมสารละลาย Phenol และ Sodium nitroprusside ในอัตราส่วน 50: 1 (สารละลาย -a)
2. ผสมสารละลาย Potassium carbonate และ Anti-formin ในอัตราส่วน 100: 5 (สารละลาย -b)
3. นำตัวอย่างมา 10 มิลลิลิตร เติมสารละลาย -a 1 มิลลิลิตร และสารละลาย -b 2 มิลลิลิตร
4. ทิ้งไว้ 30 นาที
5. แช่ใน Water Bath (ที่ 75 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที เขย่าตลอดเวลา
6. ลดอุณหภูมิในน้ำไหล
7. ถ้าเกิดตะกอนทิ้งให้ตกตะกอนก่อน
8. นำไปวัดค่า Absorbance ที่ 625 นาโนเมตร

เตรียมสารละลายมาตรฐาน (Ammonia-N standard solution) โดยละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 4.720 กรัม ในน้ำกลั่น ปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 1,000 ppm) เลือกใช้ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ คือ 0, 0.2, 0.5, 0.8 และ 1 ppm ตามลำดับ เพื่อใช้สร้างเส้นกราฟมาตรฐาน

วิธีวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน (NH₃-N)

$$\text{ประสิทธิภาพในการกำจัด NH}_3\text{-N (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

A = ปริมาณ NH₃-N ก่อนผ่านแบบจำลองคลองวนเวียน (มิลลิกรัม/ลิตร)

B = ปริมาณ NH₃-N หลังผ่านแบบจำลองคลองวนเวียน (มิลลิกรัม/ลิตร)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อใช้อธิบายลักษณะทั่วไปของข้อมูลแบบ CRD (Completely Randomize Design) และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติด้วย One- Way Analysis of Variance ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของแต่ละชุดข้อมูลด้วยวิธีของ Duncan's

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

1. ผลการทดลองการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ด้วยเมงกานีสซีโอไลต์ลักษณะขนาด (1.5 - 5.0 มิลลิเมตร) ในแบบจำลองคลองวนเวียน

1.1 ผลการทดสอบอัตราการไหลที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยเมงกานีสซีโอไลต์ลักษณะขนาด

ผลการตรวจสอบการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียตัวอย่างพบว่า ที่อัตราการไหล 20, 40, 60 และ 80 ลิตร/ชั่วโมง สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้เฉลี่ยร้อยละ 33.12, 29.48, 19.24 และ 15.41 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) โดยที่อัตราการไหลที่ 20 ลิตร/ชั่วโมง ซึ่งเป็นอัตราที่ช้าที่สุดของการทดลอง เป็นอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยเมงกานีสซีโอไลต์ลักษณะขนาดในแบบจำลองคลองวนเวียน ทั้งนี้สอดคล้องกับ Aiyuk และ คณะ (2004) ซึ่งได้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียชุมชนโดยการใช้ Clinoptilolite ซึ่งเป็นซีโอไลต์ธรรมชาติ และพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนขึ้นอยู่กับอัตราการไหล ในอัตราการไหลต่ำจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าอัตราการไหลสูง โดยประสิทธิภาพจะลดลง 95- 47% ตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับ มั่นสิน (2527) ที่กล่าวว่าอัตราการไหลช้าการแลกเปลี่ยนไอออนจะมีประสิทธิภาพดีกว่าอัตราการไหลเร็ว แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 1-2 กรัมค่อนาที/ตารางฟุต และยังสอดคล้องกับ พงศธร (2535) ที่พบว่าเมื่อน้ำเสียผ่านชั้นของ Clinoptilolite ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของกับแอมโมเนียจะมีค่าระหว่าง 0.14-0.38 มิลลิกรัมวาเลนซ์/กรัม เมื่อปริมาตรของน้ำไหลผ่านเพิ่มมากขึ้นความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะลดลง เนื่องจากมีสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์เข้ามาแทนที่ในรูพรุนของซีโอไลต์มากขึ้น

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบอัตราการไหลที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยเมกกานีสซีโอไลด์
 ขนาด (1.5 - 5.0 มิลลิเมตร) ในแบบจำลองคลองวนเวียน

อัตราการไหลของ น้ำเสีย (ลิตร/ ชั่วโมง)	ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน (NH ₃ -N)				
	ซ้ำที่	ความเข้มข้นหลังผ่าน แบบจำลอง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่ลดลง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ลดลง ร้อยละ	ลดลงเฉลี่ย ร้อยละ
20	1	13.09	6.91	34.53	33.12 ^a
	2	13.61	6.39	31.95	
	3	13.43	6.57	32.87	ค่า S.D. = 1.31
40	1	14.21	5.79	28.95	29.48 ^b
	2	14.11	5.89	29.45	
	3	13.99	6.01	30.05	ค่า S.D. = 0.55
60	1	16.19	3.81	19.05	19.24 ^c
	2	16.02	3.98	19.89	
	3	16.24	3.76	18.79	ค่า S.D. = 0.57
80	1	17.05	2.95	14.73	15.41 ^d
	2	16.65	3.35	16.74	
	3	17.05	2.95	14.76	ค่า S.D. = 1.15

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 20.0 มิลลิกรัม/ลิตร

ค่าพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 7.85 ที่อุณหภูมิห้อง ค่า S.D. = Standard Deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ค่า^{a, b, c} และ^d แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P value < 0.05

1.2 ผลการทดสอบระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยเมกกานีสซีโอไลด์ขนาด

ผลการทดสอบระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยเมกกานีสซีโอไลด์ขนาด โดยใช้น้ำคูลน้ำเสียผ่านแบบจำลองคลองวนเวียนที่มีเมกกานีสซีโอไลด์ขนาดบรรจุที่ระดับความสูง 0.5 ของแบบจำลอง ปรับอัตราการไหลด้วยระบบวาล์วให้มีอัตราการไหลเท่ากับระดับที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 2.1.1 คือ 20 ลิตร/ ชั่วโมง และมีระยะเวลาสัมผัสต่างกัน พบว่า ในระยะเวลาสัมผัสที่ 30, 60 และ 120 นาที สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้เฉลี่ยลดลงร้อยละ 15.39, 27.56 และ 39.54 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) โดยระยะเวลาสัมผัสที่ 120 นาที จัดเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน แสดงว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสระหว่างสารแลกเปลี่ยนไอออน (เมกกานีสซีโอไลด์) กับสารละลาย (น้ำเสีย) ที่มีช่วงเวลานาน จะทำให้ความสามารถในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ดีกว่าช่วงเวลาที่สัมผัสเร็ว

จากการทดลองชี้ให้เห็นว่า ช่วงเวลาที่ใช้ในการสัมผัสานมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนได้ดีกว่าระยะเวลาในการสัมผัสเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากการแลกเปลี่ยนไอออนจะเกิดขึ้นบริเวณโพรงของซีโอไลต์ การเพิ่มระยะเวลาสัมผัส เป็นการทำให้สารละลายน้ำเสียสามารถผ่านเข้าไปยังบริเวณพื้นที่แลกเปลี่ยนไอออนได้อย่างทั่วถึง และมีระยะเวลาสัมผัสเพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ ขณะที่ระยะเวลาสัมผัสเร็ว สารละลายไม่สามารถทำปฏิกิริยากับซีโอไลต์ได้อย่างทั่วถึงและนานพอที่จะทำให้ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนเกิดได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามเมื่อปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนเมื่อเกิดขึ้นสมบูรณ์แล้ว การเพิ่มระยะเวลาการสัมผัส จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างซีโอไลต์กับแอมโมเนียเพิ่มขึ้น (มณีวรรณ, 2550)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนด้วยเมงกานีสซีโอไลต์คละขนาด (1.5 - 5.0 มิลลิเมตร) ในแบบจำลองคลองวนเวียน

ช่วงเวลาที่ใช้ทดสอบ (นาท)	ค่าแอมโมเนียในโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$)				
	ซ้ำที่	ความเข้มข้นหลังผ่านแบบจำลอง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่ลดลง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ลดลงร้อยละ	ลดลงเฉลี่ยร้อยละ
30	1	17.46	3.17	15.36	15.39 ^a
	2	17.24	3.38	16.41	
	3	17.65	2.97	14.42	ค่าS.D. = 0.99
60	1	14.79	5.83	28.28	27.56 ^b
	2	15.03	5.60	27.13	
	3	15.00	5.63	27.28	ค่าS.D. = 0.63
120	1	12.23	8.40	40.70	39.54 ^c
	2	13.03	7.59	36.82	
	3	12.15	8.48	41.11	ค่าS.D. = 2.37

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนในตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 20.63 มิลลิกรัม/ลิตร

ค่าพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 7.88 ที่อุณหภูมิห้อง ค่า S.D. = Standard Deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ค่า ^a, ^b และ ^c แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P value<0.05

1.3 ผลการทดสอบปริมาณเมงกานีสซีโอไลต์ที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนด้วยเมงกานีสซีโอไลต์คละขนาด

จากการทดสอบหาปริมาณเมงกานีสซีโอไลต์คละขนาดที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนในแบบจำลองคลองวนเวียน โดยการใช้อัตราการไหลที่ 20 ลิตร/ชั่วโมง และใช้เวลาทดสอบที่ 120 นาที พบว่าปริมาณเมงกานีสซีโอไลต์ที่ใช้ในการทดสอบปริมาณ 0.25, 0.5 และ 0.75 ของความสูงแบบจำลอง ให้ผลการ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในโตรเจนในแบบจำลองคลองวนเวียน (1.5 -5.0 มิลลิเมตร) ที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในแบบจำลองคลองวนเวียน

ปริมาณความสูงของ		ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$)			
แอมโมเนียไนโตรเจนที่ใช้ในแบบจำลอง	ซ้ำที่	ความเข้มข้นหลังผ่านแบบจำลอง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่ลดลง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ลดลงร้อยละ	ลดลงเฉลี่ยร้อยละ
0.25 (ปริมาณ 8,408.25 ลบ. ซม.)	1	17.14	3.62	17.45	18.90 ^a
	2	16.82	3.94	18.96	
	3	16.55	4.21	20.30	ค่า S.D. = 1.43
0.5 (ปริมาณ 16,816.50 ลบ. ซม.)	1	12.06	8.70	41.93	41.21 ^b
	2	12.22	8.54	41.14	
	3	12.34	8.42	40.56	ค่า S.D. = 0.69
0.75 (ปริมาณ 25,224.75 ลบ. ซม.)	1	9.00	11.75	56.59	59.03 ^c
	2	8.16	12.60	60.69	
	3	8.34	12.42	59.82	ค่า S.D. = 2.16

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 20.76 มิลลิกรัม/ลิตร

ค่าพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 7.90 ที่อุณหภูมิห้อง ค่า S.D. = Standard Deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ค่า^a, ^b และ ^c แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P value < 0.05

2. ผลการทดลองการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ด้วยแอมโมเนียไนโตรเจนที่ใช้ขนาด (1.5 มิลลิเมตร) ในแบบจำลองคลองวนเวียน

2.1 ผลการทดสอบอัตราการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยแมงกานีสซัลไฟด์กำหนดขนาด

ผลการทดสอบพบว่า ที่อัตราการใช้ปุ๋ย 20, 40, 60 และ 80 ลิตรต่อไร่ แมงกานีสซัลไฟด์มีความสามารถในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน ได้เฉลี่ยร้อยละ 51.21, 40.94, 30.16 และ 19.90 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) โดยที่อัตราการใช้ปุ๋ย 20 ลิตรต่อไร่ เป็นอัตราการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนโดยสามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้เฉลี่ยร้อยละ 51.21 นอกจากนี้ยังพบว่า ในทุกระดับอัตราการใช้ปุ๋ย การใช้แมงกานีสซัลไฟด์กำหนดขนาด จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าการใช้แมงกานีสซัลไฟด์ลดขนาด ทั้งนี้วิเคราะห์ว่า การใช้แมงกานีสซัลไฟด์กำหนดขนาด จะทำให้เกิดช่องว่างที่น้ำเสียสามารถไหลซึมเข้าสัมผัสกับผิวแมงกานีสซัลไฟด์ได้ทั่วถึงกว่าชนิดลดขนาด และสอดคล้องกับ Arrak et al (2006) ได้ศึกษาการใช้ซัลไฟด์ร่วมกับทรายไม่คัดขนาดในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ได้สรุปผลการศึกษาไว้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในแต่ละคอลัมน์ เมื่อปริมาณน้ำเสียผ่านคอลัมน์ในแต่ละช่วงปริมาตร พบว่าเมื่อปริมาณน้ำเสียผ่านคอลัมน์มากขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจะลดลงในทุก ๆ คอลัมน์

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบอัตราการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยแมงกานีสซัลไฟด์กำหนดขนาด (1.5 มิลลิเมตร) ในแบบจำลองคลองวนเวียน

อัตราการใช้ปุ๋ย ของน้ำเสีย (ลิตร/ไร่)	ซ้ำที่	ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน (NH ₃ -N)			
		ความเข้มข้นหลังผ่าน แบบจำลอง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่ลดลง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ลดลง ร้อยละ	ลดลงเฉลี่ย ร้อยละ
20	1	11.15	13.52	54.80	51.21 ^a
	2	13.41	11.26	45.64	
	3	11.55	13.12	53.18	ค่า S.D. = 4.89
40	1	13.89	10.78	43.69	40.94 ^b
	2	15.05	9.62	38.99	
	3	14.77	9.90	40.13	ค่า S.D. = 2.45
60	1	17.76	6.91	28.00	30.16 ^c
	2	17.44	7.23	29.31	
	3	16.49	8.18	33.16	ค่า S.D. = 2.68
80	1	20.50	4.17	16.78	19.90 ^d
	2	19.32	5.35	21.68	
	3	19.43	5.24	21.24	ค่า S.D. = 2.71

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 24.67 มิลลิกรัม/ลิตร

ค่าพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 8.90 ที่อุณหภูมิห้อง ค่า S.D. = Standard Deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ค่า^{a, b, c} และ^d แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P value < 0.05

2.2 ผลการทดสอบระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนด้วยเมงกานีสซีโอไลต์กำหนดขนาด

ผลการทดสอบระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจน ด้วยเมงกานีสซีโอไลต์ในแบบจำลองคลองวนเวียน โดยทำการทดลองใช้ปั้มน้ำดูดน้ำเสีย ผ่านแบบจำลองคลองวนเวียนที่บรรจุเมงกานีสซีโอไลต์กำหนดขนาดบรรจุที่ระดับความสูง 0.5 ของแบบจำลอง ปรับอัตราการไหลด้วยระบบวาล์วให้มีอัตราการไหลเท่ากับระดับที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 2.2.1 คือที่ 20 ลิตร/ ชั่วโมง พบว่าที่ระยะเวลาที่ 120 นาทีซึ่งเป็นระยะเวลาที่ยาวนานที่สุดของการทดลอง ให้ผลในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนได้มากที่สุดเช่นเดียวกับการทดลองแบบคลองขนาด โดยผลการทดสอบที่เวลาสัมผัส 30, 60 และ 120 นาที พบว่าสามารถกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนได้เฉลี่ยลดลงร้อยละ 18.20, 49.37 และ 59.63 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) สอดคล้องกับ มณีวรรณ (2550) ได้ศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ซีโอไลต์ขนาด 1.40 มิลลิเมตร บรรจุในขวดรูปชมพู่ปริมาณขวดละ 50 กรัมเติมน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังซึ่งมีปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนเริ่มต้น 179.0 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ปริมาตร 50 มิลลิเมตร นำไปเขย่า ใช้อัตราเร็วรอบของเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที มีเวลาสัมผัสระหว่างซีโอไลต์กับน้ำเสีย เป็นเวลา 15, 30, 60, 90, 150 และ 180 นาที ผลการทดลองพบว่าสามารถกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน โดยมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นแอมโมเนียในโตรเจนจากตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้น ที่เฉลี่ยร้อยละ 32.21, 38.54, 39.85, 43.94, 44.13 และ 45.25 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนด้วยเมงกานีสซีโอไลต์กำหนดขนาด (1.5 มิลลิเมตร) ในแบบจำลองคลองวนเวียน

ช่วงเวลาที่ใช้ทดสอบ (นาที)	ซ้ำที่	ค่าแอมโมเนียในโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$)			
		ความเข้มข้นหลังผ่านแบบจำลอง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่ลดลง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ลดลงร้อยละ	ลดลงเฉลี่ยร้อยละ
30	1	18.96	5.33	21.94	18.20 ^a
	2	20.90	3.39	13.96	
	3	19.75	4.54	18.69	ค่าS.D. = 4.01
60	1	11.02	13.27	54.63	49.37 ^b
	2	13.42	10.87	44.75	
	3	12.45	11.84	48.74	ค่าS.D. = 4.97
120	1	10.43	13.86	57.06	59.63 ^c
	2	9.34	14.95	61.55	
	3	9.65	14.64	60.27	ค่าS.D. = 2.31

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนในตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 24.29 มิลลิกรัม/ลิตร

ค่าพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 8.78 ที่อุณหภูมิห้อง ค่าS.D. = Standard Deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ค่า^a, ^b และ ^c แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P value<0.05

สำหรับการทดลองในหัวข้อ 2.2 นี้ ยังพบว่า การใช้แอมกานีสซีโอไลด์กำหนดขนาด จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าการใช้แอมกานีสซีโอไลด์ละขนาดในทุกระดับของช่วงเวลาสัมผัส

2.3 ผลการทดสอบปริมาณแอมกานีสซีโอไลด์ที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนด้วยแอมกานีสซีโอไลด์กำหนดขนาด

จากการทดสอบหาปริมาณแอมกานีสซีโอไลด์กำหนดขนาดที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจน โดยใช้แอมกานีสซีโอไลด์ ขนาด 1.5 มิลลิเมตร โดยใช้อัตราการไหล 20 ลิตร/ชั่วโมง เป็นเวลา 120 นาที พบว่าปริมาณแอมกานีสซีโอไลด์ที่ใช้ในการทดสอบปริมาณ 0.25, 0.5 และ 0.75 ของแบบจำลอง ได้ผลการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนจากตัวอย่างน้ำเสีย ลดลงเฉลี่ยร้อยละ 23.67, 48.32 และ 78.21 ตามลำดับ (ตารางที่ 6) โดยปริมาณแอมกานีสซีโอไลด์กำหนดขนาดที่ระดับความสูง 0.75 ของแบบจำลอง เป็นปริมาณที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนมากที่สุด

นอกจากนี้ การใช้แอมกานีสซีโอไลด์กำหนดขนาด จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าการใช้แอมกานีสซีโอไลด์ละขนาดในทุกระดับของปริมาณแอมกานีสซีโอไลด์ที่ใช้เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบปริมาณแอมกานีสซีโอไลด์กำหนดขนาด (1.5 มิลลิเมตร) ที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนในแบบจำลองคลองวนเวียน

ปริมาณความสูงของ แอมกานีส ซีโอไลด์ ที่ใช้ในแบบจำลอง	ค่าแอมโมเนียในโตรเจน (NH ₃ -N)				
	ซ้ำที่	ความเข้มข้นหลังผ่าน แบบจำลอง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่ลดลง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ลดลง ร้อยละ	ลดลงเฉลี่ย ร้อยละ
0.25	1	17.59	5.11	22.51	23.67 ^a
(ปริมาณ 8,408.25 ลบ. ชม.)	2	17.92	4.78	21.05	
	3	16.47	6.23	27.44	ค่าS.D. = 3.35
0.5	1	9.32	13.38	58.94	48.32 ^b
(ปริมาณ 16,816.50 ลบ. ชม.)	2	13.42	9.28	40.88	
	3	12.45	10.25	45.15	ค่าS.D. = 9.44
0.75	1	5.43	17.27	76.08	78.21 ^c
(ปริมาณ 25,224.75 ลบ. ชม.)	2	4.26	18.44	81.23	
	3	5.14	17.55	77.31	ค่าS.D. = 2.69

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนในตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 22.70 มิลลิกรัม/ลิตร

ค่าพีเอชเท่ากับ 8.65 ที่อุณหภูมิห้อง ค่าS.D. = Standard Deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ค่า^a, ^b และ ^c แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P value<0.05

เมื่อนำข้อมูลร้อยละการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนในทุกการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน(Analysis of variance) ด้วยวิธี One-Way ANOVA พบว่า ปริมาณการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนในแต่ละอัตราการไหลแต่ละระยะเวลาในการสัมผัส และแต่ละปริมาณชีโอไลต์ที่ใช้แต่ละปริมาณการใช้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(P value<0.05)

4. บทสรุป

จากการศึกษาความสามารถ ประสิทธิภาพ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ด้วยเมฆกานีสชีโอไลต์ในแบบจำลองคลองวนเวียนขนาดความจุ 33,633 ลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ด้วยเมฆกานีสชีโอไลต์ขนาด 1.5 – 5.0 มิลลิเมตร ปริมาณ 25,224.75 ลูกบาศก์เซนติเมตร /ปริมาณน้ำเสีย 12 ลิตร ที่อัตราการไหล 20 ลิตร/ชั่วโมง ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับเมฆกานีสชีโอไลต์ 120 นาที ค่าพีเอชน้ำเสีย 7.9 ที่อุณหภูมิห้อง สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้เฉลี่ยร้อยละ 59 และ ในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ด้วยเมฆกานีสชีโอไลต์กำหนดขนาด 1.5 มิลลิเมตร ปริมาณ 25,224.75 ลูกบาศก์เซนติเมตร /ปริมาณน้ำเสีย 12 ลิตร ที่อัตราการไหล 20 ลิตร/ชั่วโมง ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับชีโอไลต์ 120 นาที ค่าพีเอชน้ำเสีย 8.6 ที่อุณหภูมิห้อง สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้เฉลี่ยร้อยละ 78 และจากการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสองชุด พบว่า ในสภาพแวดล้อมและปัจจัยอื่นที่เหมือนกัน การใช้เมฆกานีสชีโอไลต์กำหนดขนาด จะมีความสามารถในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ดีกว่าแบบคละขนาด เนื่องจากการใช้ชีโอไลต์แบบกำหนดขนาด จะทำให้เกิดช่องว่างในระหว่างเม็ดชีโอไลต์มากกว่าชีโอไลต์คละขนาดที่อาจมีการอุดตันเกิดขึ้นได้ และมีผลทำให้น้ำเสียสามารถสัมผัสกับผิวเมฆกานีสชีโอไลต์ได้มากกว่า

5. บรรณานุกรม

- กัณห์ริย์ ศรีพงศ์พันธ์. (2547). **มลพิษทางน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 3, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, นครปฐม.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์, ประไพ อิสระ, บัญญัติ เศรษฐิ, สมชาย กริชาภิรมย์. (2524). การศึกษาเปรียบเทียบชีโอไลต์กับวัสดุอื่น ๆ ในระบบชั้นดินก่อกองที่ใช้บำบัดน้ำเสียจากห้องสุขา. **วารสารดิน และปุ๋ย**, ฉ. 19. น 76- 84.
- พงษ์ธร อุณจิตต์วรรณะ.(2535). การใช้ชีโอไลต์ปรับปรุงน้ำเสียและของเสียจากฟาร์ม. **สุกรศาสตร์** 18 (72) : 47-52.
- มันสิน ตันทุลเวสม์ และมันรักย์ ตันทุลเวสม์.(2527). **วิศวกรรมการประปา เล่ม 2**. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

- มณีวรรณ เกตewanดี. (2550). การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วย
แมงกานีสซีโอไลต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- วิทยา เทียมสุข. (2544). การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยซีโอไลต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรม
 ศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น.
- สุชาดา ขางเอน. (2546). การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากตู้เลี้ยงปลาโดยการกรองด้วยหินภูเขาไฟ. วิทยานิพนธ์
 ปริญญาโทมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อุษา อันทอง, นินนาท โชติบริบูรณ์ และธัญญา พันฤทธิ์ดำ(2543). การบำบัดแอมโมเนีย ในน้ำทิ้งจากโรงงาน
 อุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งในจังหวัดสงขลาด้วยซีโอไลต์. ภาควิชาเคมี และภาควิชาชีววิทยา คณะ
 วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. 31 น.
- Aiyuk.S. A.Van Haandel W. Verstrate. 2004. **Environmental Technology**: Remove of Amonium
 Nitrogen from Pretreated Domestic Sewage using a Natural Ion Exchanger. 25: 1321- 1330.
- Arrak Damrongsat, Kannitha Krongthamchat and Somchai Dararat. 2006. Using Zeolite and Ungraded
 Sand to Remove Ammonia Nitrogen From Swine Weastwater. **KKU Res J** 11 (4) : Oct.- Dec
- Nimura, Yoshihachiro.1973. A direct estimation of microgram amounts of ammonia in water without
 salt- error. **Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.** 39, 1315- 1321

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิต ศึกษา
 เพื่อการตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและระดับนานาชาติ บัณฑิตวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2550 และขอ
 ขอบพระคุณมหาวิทยาลัยมหิดลที่ได้ให้โอกาสในการนำเสนอผลงานวิจัยในครั้งนี้