



การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของซีโอไลต์สำหรับบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน
ในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาร้า

THE STUDY OF ZEOLITE ABSORPTION FOR AMMONIA-NITROGEN TREATMENT
IN WASTEWATER FROM FERMENTED FISH PRODUCTION PROCESS

สุวดี แพบัว

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2564

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของซีโอไลต์สำหรับบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน
ในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาร้า



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THE STUDY OF ZEOLITE ABSORPTION FOR AMMONIA-NITROGEN TREATMENT
IN WASTEWATER FROM FERMENTED FISH PRODUCTION PROCESS



SUWADEE PHAEBUA

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Environmental Technology & Resources Management)
Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของซีโอไลต์สำหรับบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

ในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาข้าว

ของ

สุวดี แพบัว

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(อาจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน) (อาจารย์ ดร.สันทนา นาคะพงศ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรินทน์ งามนิยม)

| | |
|------------------|---|
| ชื่อเรื่อง | การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของซีโอไลต์สำหรับบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาร้า |
| ผู้วิจัย | สุวดี แพบัว |
| ปริญญา | วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต |
| ปีการศึกษา | 2564 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์ ดร. ฌภัทร โพธิ์วัน |

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของซีโอไลต์สำหรับบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาร้า โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของซีโอไลต์ ได้แก่ เวลา ปริมาณของซีโอไลต์ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำเสียที่เหมาะสม โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ด้วยโปรแกรม Design Expert ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยซีโอไลต์ อยู่ที่เวลา 30 นาที ปริมาณซีโอไลต์ 250 กรัม และค่า pH 6.0 จากปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำเสียก่อนผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ เท่ากับ 600.40 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร เมื่อผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ตามสภาวะที่เหมาะสมพบว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลง เท่ากับ 106.60 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งซีโอไลต์สามารถกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำเสีย ได้ร้อยละ 82.30 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ และฟรุนด์ลิช พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์เหมาะสมกว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนด์ลิช ที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.9565 และ 0.9052 เมื่อทดสอบการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำเสียด้วยซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ พบว่าสามารถบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำเสียได้ร้อยละ 90 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ ในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีประสิทธิภาพการบำบัดที่สูง เมื่อเทียบกับการใช้ซีโอไลต์หรือถ่านชีวภาพในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว คือ ร้อยละ 81 และ 55 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การดูดซับ; แอมโมเนีย-ไนโตรเจน; ซีโอไลต์; ถ่านชีวภาพ

| | |
|----------------|---|
| Title | THE STUDY OF ZEOLITE ABSORPTION FOR AMMONIA-NITROGEN TREATMENT IN WASTEWATER FROM FERMENTED FISH PRODUCTION PROCESS |
| Author | SUWADEE PHAEBUA |
| Degree | MASTER OF SCIENCE |
| Academic Year | 2021 |
| Thesis Advisor | Naphat Phowan , Ph.D. |

The aims of this research were to study zeolite absorption for ammonia-nitrogen treatment in wastewater from the fermented fish production process. The study looked at the factors affecting the ammonia-nitrogen adsorption capacity of zeolite, including the amount of zeolite, reaction time, and pH of the wastewater samples. This study used a two-level factorial experiment design (2^k Factorial Design) with a design expert. It was found that the optimum condition of ammonia-nitrogen adsorption with zeolite was at 30 min, the zeolite weight was 250 g and the pH value was 6.0. The ammonia-nitrogen content of the wastewater before the zeolite adsorption was 600.40 mg-N/L. When undergoing zeolite adsorption under appropriate conditions, the ammonia-nitrogen content was reduced by 106.60 mg-N/L. The zeolite was able to remove 82.30% of ammonia-nitrogen in wastewater. It was more suitable than the Freundlich adsorption isotherm. The R^2 values were 0.9565 and 0.9052. In this research, the adsorption of ammonia-nitrogen in wastewater by zeolite and biochar was also studied. It was found that 90% of ammonia-nitrogen can be treated in wastewater, indicating the use of zeolite with biochar. The ammonia-nitrogen adsorption had high treatment efficiency compared to the use of zeolite or biochar for ammonia-nitrogen adsorption alone were 81% and 55%, respectively.

Keyword : Absorption; Ammonia-Nitrogen; Zeolite; Biochar

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีจากความกรุณาและความช่วยเหลือในทุกด้านจาก อาจารย์ ดร. ฌักทรี โพธิ์วัน อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการทำงานวิจัย การตรวจทานแก้ไขเป็นอย่างดีตลอดมา ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์ ได้แก่ อาจารย์ ดร. สันทนา นาคะพงส์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. อรินทร์ม งามนิยม ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบปริญญาานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ สำหรับวิเคราะห์ทดสอบในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และความอนุเคราะห์จากโรงงานผลิตปลาร้าในพื้นที่ ต. โพนางดำตก อ. สรรพพยา จ. ชัยนาท ในการเก็บน้ำตัวอย่างสำหรับนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ให้คำอบรมสั่งสอน และคอยเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจและต้องการศึกษาเป็นอย่างยิ่ง

สุวดี แพบัว

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูปภาพ | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 14 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ | 14 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 16 |
| 1.3 สมมติฐานการวิจัย..... | 16 |
| 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย | 16 |
| 1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย | 17 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 17 |
| บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม..... | 18 |
| 2.1 สารดูดซับที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง | 18 |
| 2.2 แอมโมเนีย | 24 |
| 2.3 กระบวนการแอมโมเนียฟิเคชัน..... | 26 |
| 2.4 น้ำทิ้งจากการผลิตปลาไร้ | 26 |
| 2.5 การดูดซับ..... | 26 |
| 2.6 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) | 29 |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 30 |

| | |
|---|----|
| บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง | 33 |
| 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี..... | 33 |
| 3.2 วิธีการทดลอง | 34 |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย | 42 |
| 4.1 การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์..... | 42 |
| 4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ได้แก่ เวลา ปริมาณของซีโอไลต์ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำทิ้ง | 45 |
| 4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง..... | 49 |
| 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) | 50 |
| 4.5 การทดสอบหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสมจากปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) | 51 |
| 4.6 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าด้วยซีโอไลต์..... | 52 |
| 4.7 การศึกษาการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพสำหรับการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า..... | 56 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ | 58 |
| 5.1 อภิปรายผล | 58 |
| 5.2 สรุปผลการวิจัย..... | 60 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 61 |
| บรรณานุกรม | 62 |
| ภาคผนวก..... | 65 |
| ภาคผนวก ก | 66 |

ประวัติผู้เขียน..... 70



สารบัญตาราง

หน้า

| | |
|---|----|
| ตาราง 1 การวิเคราะห์น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า ต.โพนางดำตก อ.สรรพยา จ.ชัยนาท เทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดิน กรมควบคุมมลพิษ | 15 |
| ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระที่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ | 25 |
| ตาราง 3 การเตรียม Calibration Solution ของสารละลายแอมโมเนีย-ไนโตรเจน..... | 36 |
| ตาราง 4 แสดงปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) | 38 |
| ตาราง 5 ผลการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ จากการสร้างกราฟมาตรฐาน โดยศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในช่วง 0.10 – 2.00 mg-N/L | 43 |
| ตาราง 6 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)..... | 46 |
| ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า โดยวิเคราะห์ตามการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ | 48 |
| ตาราง 8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) | 51 |
| ตาราง 9 แสดงสถานะที่เหมาะสมจากปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ และร้อยละการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งของซีโอไลต์ | 52 |
| ตาราง 10 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ที่มีปริมาณแตกต่างกัน ... | 53 |
| ตาราง 11 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่ 6.0 เวลา 30 นาที ด้วยซีโอไลต์ที่มีปริมาณแตกต่างกัน | 54 |
| ตาราง 12 ค่าคงที่ไอโซเทอร์มแลงเมียร์ และพุนดลิจ การดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งด้วยซีโอไลต์..... | 54 |

ตาราง 13 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิต
ปลาสำเร็จ.....56

ตาราง ก1 การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ 67



สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย | 17 |
| ภาพประกอบ 2 โครงสร้างซีโอไลต์ชนิดคลินิกอปติโลไลต์ ⁽⁴⁾ | 19 |
| ภาพประกอบ 3 แสดงลักษณะการทำงานของซีโอไลต์ ⁽³⁾ | 20 |
| ภาพประกอบ 4 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของซีโอไลต์ ⁽⁴⁾ | 20 |
| ภาพประกอบ 5 แสดง Zeolite Surface ⁽³⁾ | 21 |
| ภาพประกอบ 6 แสดง Zeolite A (LTA-type structure) ⁽³⁾ | 21 |
| ภาพประกอบ 7 โครงสร้างเซลลูโลส ⁽⁶⁾ | 23 |
| ภาพประกอบ 8 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส ⁽⁶⁾ | 23 |
| ภาพประกอบ 9 ค่าการดูดกลืนแสงของ Calibration Solution ของสารละลายแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่วัดได้จากเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer..... | 43 |
| ภาพประกอบ 10 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน | 44 |
| ภาพประกอบ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Residuals กับค่า Normal %Probability50 | |
| ภาพประกอบ 12 กราฟโครงร่าง (Contour plot) (ก) และกราฟพื้นผิวตอบสนอง (Response surface plot) (ข) | 50 |
| ภาพประกอบ 13 แลงเมียร์ไอโซเทอรั่มของการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง ด้วยซีโอไลต์ | 55 |
| ภาพประกอบ 14 ฟรอนต์ไอโซเทอรั่มของการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง ด้วยซีโอไลต์ | 55 |
| ภาพประกอบผนวก ก1 กราฟแสดงค่าการวิเคราะห์ทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ ที่วัดได้จากเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer (แกน Y คือ Peak Height และแกน X คือ เวลา) | 67 |

| | |
|--|----|
| ภาพประกอบผนวก ก2 กราฟแสดงการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าด้วยซีโอไลต์ ที่วัดได้จากเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer (แกน Y คือ Peak Height และแกน X คือ เวลา) | 68 |
| ภาพประกอบผนวก ก3 กราฟแสดงการศึกษาการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจาก โรงงานผลิตปลาร้าด้วยซีโอไลต์ (การทดลองที่ 1) ที่วัดได้จากเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer (แกน Y คือ Peak Height และแกน X คือ เวลา) | 68 |
| ภาพประกอบผนวก ก4 กราฟแสดงการศึกษาการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจาก โรงงานผลิตปลาร้าด้วยถ่านชีวภาพ (การทดลองที่ 2) และซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ (การทดลอง ที่ 3) ที่วัดได้จากเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer (แกน Y คือ Peak Height และแกน X คือ เวลา)..... | 69 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำทิ้งเป็นปัญหาด้านมลพิษที่สำคัญ ส่วนใหญ่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมปล่อยน้ำทิ้งที่ไม่ได้รับการบำบัดหรือบำบัดไม่ได้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งพบว่าโรงงานผลิตปลาร้าที่มีอยู่หลายแห่งในประเทศไทยก็ถือเป็นต้นเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาน้ำทิ้งขึ้น เนื่องจากมีความจำเป็นต้องใช้น้ำปริมาณมากในกระบวนการต่าง ๆ ของการผลิตปลาร้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนของการล้างปลา หากน้ำทิ้งเหล่านี้ไม่ได้รับการบำบัดอย่างถูกวิธี และถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะทำให้เกิดปัญหามลพิษต่าง ๆ ตามมา ทั้งปัญหาด้านกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์และการตกค้างของมลสารต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากน้ำเน่าเสีย เป็นเหตุให้เกิดการตายของสัตว์น้ำหรือพืชต่าง ๆ ในแหล่งน้ำ และอาจเป็นผลทำให้แหล่งน้ำนั้นไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีก

โรงงานผลิตปลาร้า จะมีสารปนเปื้อนที่พบในน้ำทิ้งจำพวกสารอินทรีย์ซึ่งเป็นที่มาของสารประกอบไนโตรเจน และเมื่อผ่านเข้าสู่วัฏจักรของไนโตรเจน (Nitrogen cycle) จะทำให้เกิดสารแอมโมเนีย โดยแอมโมเนียในแหล่งน้ำจะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ สารละลายแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และแอมโมเนียอิสระ (NH_3) โดยแอมโมเนียอิสระจะเป็นพิษมากกว่าแอมโมเนียมไอออนถึง 50 เท่า ซึ่งจะเกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และยังส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม แอมโมเนียในแหล่งน้ำสามารถเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรท (NO_3) จากกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) โดยไนเตรทที่เกิดขึ้นนี้เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสาหร่ายและแพลงก์ตอน ทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ⁽¹⁾ โดยกรมควบคุมมลพิษกำหนดค่ามาตรฐานน้ำในแหล่งน้ำผิวดินควรมีค่าแอมโมเนียไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร หากในแหล่งน้ำนั้นมีแอมโมเนียปนเปื้อนอยู่สูง และไม่มีการบำบัดที่ถูกต้องจะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ หากมีการปล่อยน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า โดยไม่มีการกำจัดแอมโมเนียก่อนอาจทำให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพน้ำได้ ผู้วิจัยเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าว และได้เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า ต.โพนางดำตก อ.สรรพยา จ.ชัยนาท เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าคุณภาพตัวอย่างน้ำทิ้งเบื้องต้น (ตาราง 1)

ตาราง 1 การวิเคราะห์น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า ต.โพนางดำตก อ.สรรพยา จ.ชัยนาท เทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดิน กรมควบคุมมลพิษ

| พารามิเตอร์ | ผลการวิเคราะห์ (mg-N/L) | | มาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดิน กรมควบคุมมลพิษ ⁽²⁾ |
|--|-------------------------|-----------------------|---|
| | Waste 1 | Waste 2 | |
| แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH ₃ -N) | 5.70 | 418.50 | 0.5 mg-N/L |
| ไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO ₂ ⁻ -N) | <0.02 | <0.02 | not detect |
| ไนเตรท-ไนโตรเจน (NO ₃ ⁻ -N) | <0.05 | <0.05 | 5 mg-N/L |
| โซเดียม | 52.0 | 93,600.0 | - |
| คลอไรด์ | 63.0 | 178,221.0 | - |
| พีเอช (pH) | 6.3 | 5.6 | 5.0 – 9.0 |
| ซีโอดี (COD) (mg/L) | 3,328.0 | ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ | - |
| บีโอดี (BOD) (mg/L) | 2,370.0 | >7,000 | <1.5 mg/L |
| ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสเฟต (mg-P/L) | 23.5 | 533.2 | - |

หมายเหตุ : Waste 1 คือ ตัวอย่างน้ำทิ้งจากขั้นตอนการล้างปลา

Waste 2 คือ ตัวอย่างน้ำทิ้งจากขั้นตอนการหมักปลา

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีการดูดซับด้วยซีโอไลต์มาใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และอินทรีย์ในน้ำ เช่น แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน โดยซีโอไลต์เป็นสารที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ดี เนื่องจากซีโอไลต์เป็นแร่ที่พบได้

ทั่วไปในธรรมชาติ นอกจากนี้ซีโอไลต์บางชนิดที่ใช้แล้วยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยการรีเจนเนอเรต (Regenerate) ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายและลดต้นทุนในการบำบัดน้ำทิ้งได้

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะใช้ซีโอไลต์ในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่อยู่ในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาร้า โดยจะทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของ ซีโอไลต์ในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ได้แก่ เวลา ปริมาณของซีโอไลต์ ความเป็นกรดต่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำทิ้งที่เหมาะสมที่ซีโอไลต์ใช้สำหรับการกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า โดยการดูดซับของซีโอไลต์

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า

1.3 สมมติฐานการวิจัย

ปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมต่อความสามารถของซีโอไลต์จะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ดีมากขึ้น

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า ต.โพนางดำตก อ.สรรพยา จ.ชัยนาท

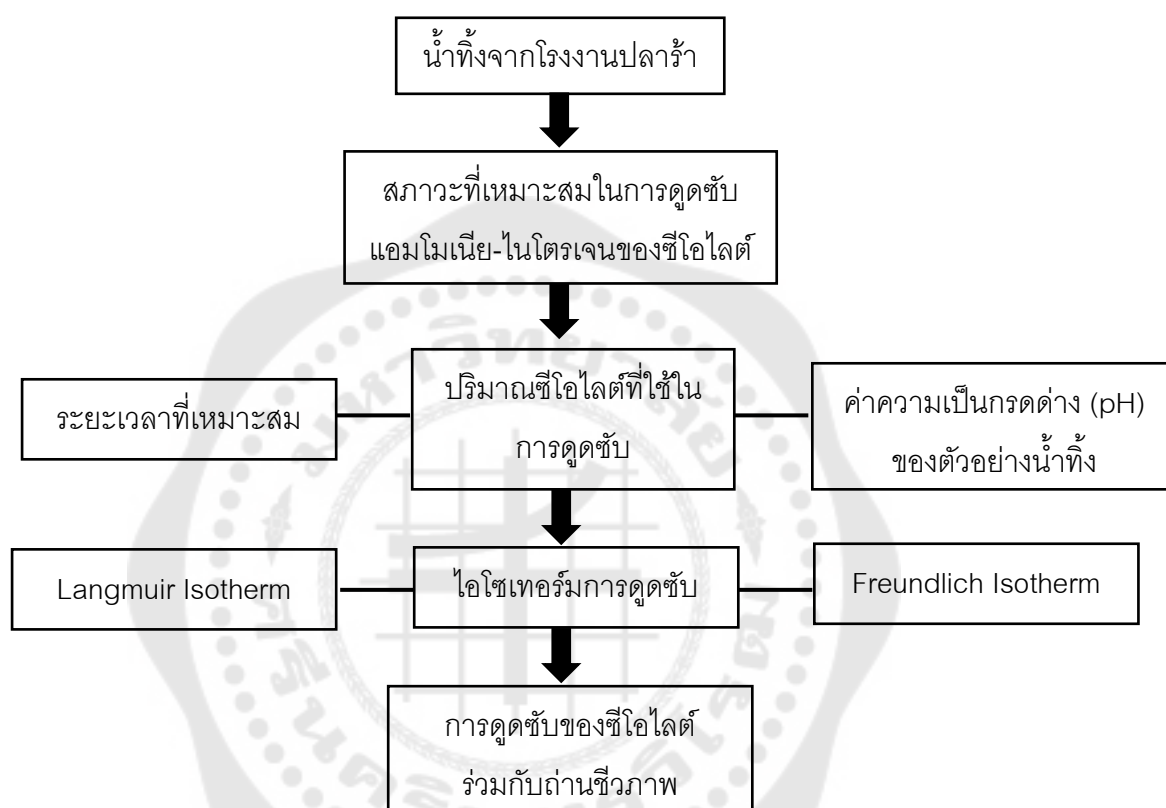
1.4.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของซีโอไลต์ ได้แก่ ระยะเวลาที่เหมาะสม ปริมาณของซีโอไลต์ และความเป็นกรดต่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำทิ้ง

1.4.3 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับ โดยใช้ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) และ แบบฟรุนด์ลิช (Freundlich Isotherm)

1.4.4 ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ ในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า ต.โพนางดำตก อ.สรรพยา จ.ชัยนาท

1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย

ศึกษาการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งโดยใช้ซีโอไลต์และการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบและแนวคิดในการศึกษา ดังนี้



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของซีโอไลต์ในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า

1.6.2 ได้สภาวะที่เหมาะสมของการใช้ซีโอไลต์ในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า

1.6.3 สามารถเสนอแนะแนวทางในการบำบัด ปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 สารดูดซับที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง

2.1.1 ซีโอไลต์ (Zeolite)

ซีโอไลต์ เป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (Crystalline Aluminosilicates) ประกอบด้วย SiO_4 หรือ AlO_4 สร้างพันธะเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า ซึ่งโครงสร้างจะเชื่อมต่อกันที่มุม และมีโซ่ออกซิเจนร่วมกันทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้น มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลทำให้ซีโอไลต์มีลักษณะเป็นผลึกแข็ง รูพรุน และมีช่องว่างต่อเชื่อมกันเป็นระเบียบ ซีโอไลต์ยังมีประจุบวกของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม เกาะอยู่อย่างหลวม ๆ และยังมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่างในโครงผลึกสามารถต้มให้เดือดระเหยออกไปได้ ซีโอไลต์มีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย โดยเฉพาะซีโอไลต์ประเภทที่มีการแทนที่ของตำแหน่งอะตอมซิลิคอนด้วยอะลูมิเนียม หรือธาตุอื่น ๆ จึงทำให้ซีโอไลต์มีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการยึดจับและการถ่ายเทโปรตอน และขึ้นอยู่กับความสามารถในการแพร่โมเลกุลในโพรงซีโอไลต์ด้วย และเมื่อมีการแลกเปลี่ยนโปรตอนด้วยไอออนของโลหะ ซีโอไลต์จะมีสมบัติการเร่งปฏิกิริยาพิเศษมากขึ้น⁽³⁾

เนื่องจากซีโอไลต์มีขนาดของโพรงที่สม่ำเสมอ จึงมีสมบัติพิเศษในการดูดซับโมเลกุลของสารที่มีลักษณะเล็กกว่าขนาดของโพรงได้ ทำให้มีความเจาะจงต่อสารที่ถูกดูดซับสูงด้วยเหตุนี้ซีโอไลต์จึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สารกรองโมเลกุลหรือโมเลกุล่าซีฟ (Molecular Sieve) มีการค้นพบ แร่ซีโอไลต์ในธรรมชาติอย่างน้อย 40 ชนิด สำหรับซีโอไลต์สังเคราะห์มีประมาณ 150 ชนิด ซีโอไลต์เป็นแร่ธาตุที่มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ที่มีอยู่ในซีโอไลต์กับไอออนบวกที่มีอยู่ในน้ำ เช่น ไอออนบวกของโลหะหมู่สอง แอมโมเนียไอออน เป็นต้น⁽⁴⁾

ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของซีโอไลต์ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้⁽⁴⁾

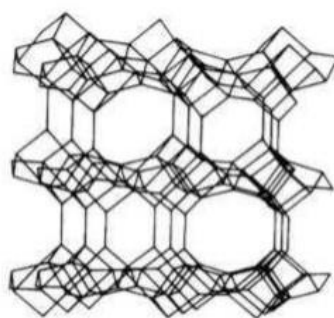
1. ธรรมชาติและคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนของซีโอไลต์ ได้แก่ ความพรุนขนาดของรูพรุน และความสามารถในการจับไอออนบวกของซีโอไลต์ชนิดนั้น ๆ เป็นต้น
2. อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอออนบวกขณะเกิดการแลกเปลี่ยนของไอออนชนิดของไอออนลบที่เกี่ยวข้องกับการละลายของไอออนบวกในสารละลาย ชนิดของตัวทำละลายในสารละลายนั้น ๆ เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์หรือน้ำ

2.1.1.1 แหล่งที่มาของซีโอไลต์

ซีโอไลต์สามารถเกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ⁽⁵⁾

1. ซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Mineral Zeolites) ซึ่งส่วนมากจะพบจากการทำเหมืองแร่ เป็นกลุ่มของผลึกอะลูมิโนซิลิเกตของโมโนหรือไดวาเลนต์เบส มีการสูญเสียน้ำผลึกบางส่วนหรือทั้งหมด โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ตัวอย่าง เช่น Faujasite Erionite Offretite Chabazite Clinoptilolite เป็นต้น ซีโอไลต์ธรรมชาติเดิมนำมาใช้ประโยชน์ในการแยกแอมโมเนียในขบวนการกำจัดน้ำทิ้ง

ซีโอไลต์ชนิดคลินอปติโลไลต์ (Clinoptilolite) เป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตธรรมชาติโดยจะมีความจำเพาะเจาะจงต่อแอมโมเนียสูง ตัวอย่างสูตรผลึกคลินอปติโลไลต์ เช่น $\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_30\text{O}_{72} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ คลินอปติโลไลต์มีขนาดช่องว่างของรู ในรูปไฮเดรต 4.0×5.5 , 4.4×7.2 , 4.1×4.7 อังสตรอม มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแอมโมเนียม 1.6 – 1.8 มิลลิอีควิวาเลนต์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง⁽⁴⁾ โดยซีโอไลต์ชนิดคลินอปติโลไลต์มีโครงสร้าง ดังแสดงภาพประกอบ 2



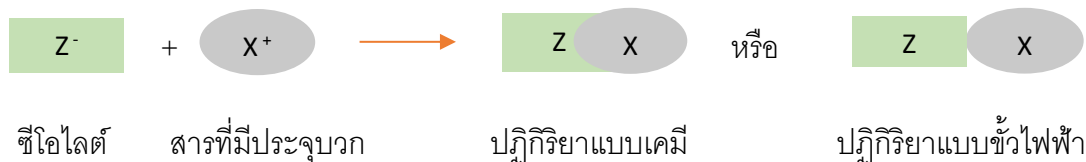
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างซีโอไลต์ชนิดคลินอปติโลไลต์⁽⁴⁾

2. ซีโอไลต์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมี (Synthetic Zeolite) โดยเกิดขึ้นมาจากการทำปฏิกิริยาเบสิกออกไซด์ต่าง ๆ เช่น SiO_2 , K_2O , Al_2O_3 และ Na_2O ในระบบที่มีน้ำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ของซีโอไลต์ที่มีน้ำผลึก และการสังเคราะห์สามารถทำให้เกิดได้เป็นเจล รวมถึงรูปที่เป็นรูพรุนที่มีลักษณะคล้ายเม็ดทราย ได้แก่ Zeolite A, F, M และ Y เป็นต้น

2.1.1.2 การทำงานของซีโอไลต์

ซีโอไลต์ทำงานในลักษณะปฏิกิริยาเคมีโดยการแลกเปลี่ยนไอออน หรือปฏิกิริยาแบบขั้วไฟฟ้า เมื่อใส่ซีโอไลต์ลงในน้ำ ซีโอไลต์จะเป็นประจุลบหรือขั้วลบ Z^- แล้วไปจับกับสารที่มี

ประจุบวกหรือขั้วบวก X^+ ที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น โลหะหนัก แอมโมเนีย และซัลไฟด์ เป็นต้น ดังภาพประกอบ 3⁽³⁾



ภาพประกอบ 3 แสดงลักษณะการทำงานของซีโอไลต์⁽³⁾

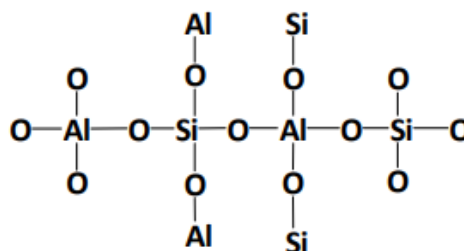
2.1.1.3 โครงสร้างของซีโอไลต์

สูตรของซีโอไลต์ $M_{2n}O \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$

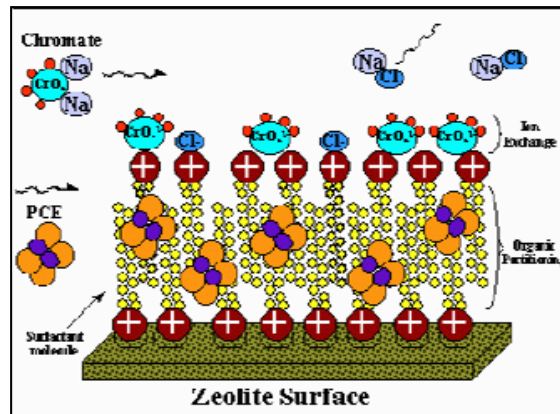
n = วาเลนซ์ของแคทไอออน (M) โดยมาก เท่ากับ 1 และ 2 ของโลหะอัลคาไลน์ หรือโลหะอัลคาไลน์เอิร์ท ตามลำดับ

x = จำนวนโมลของ SiO_2 โดยมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 2

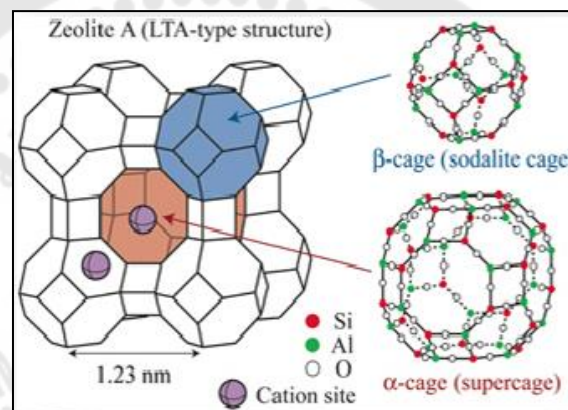
y = จำนวนโมลของน้ำที่อยู่ในช่องว่างของผลึกซีโอไลต์⁽⁵⁾



ภาพประกอบ 4 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของซีโอไลต์⁽⁴⁾



ภาพประกอบ 5 แสดง Zeolite Surface ⁽³⁾



ภาพประกอบ 6 แสดง Zeolite A (LTA-type structure) ⁽³⁾

2.1.1.4 ประโยชน์ของซีโอไลต์

ลักษณะสำคัญที่ทำให้ซีโอไลต์กลายเป็นสารที่เป็นประโยชน์ คือ โครงสร้างรูพรุนที่เป็นระเบียบของซีโอไลต์เมื่อใช้เป็นตัวกรองสารที่ต้องการ มีการนำซีโอไลต์มาใช้ประโยชน์ได้แก่ ⁽³⁾

1. ตัวแลกเปลี่ยนประจุ โดยประจุบวกของโลหะที่เกาะกับซีโอไลต์นั้นเกาะอยู่แบบหลวม ๆ พร้อมทั้งจะแลกเปลี่ยนกับโลหะอื่นเมื่ออยู่ในสารละลาย นำหลักการนี้มาใช้ลดความกระด้างของน้ำ โดยโลหะอัลคาไลน์ เช่น โพแทสเซียม หรือโซเดียม ที่เกาะกับซีโอไลต์เกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับแมกนีเซียมและแคลเซียม ซึ่งเป็นประจุของโลหะในน้ำที่ทำให้เกิดน้ำกระด้าง และยังได้นำซีโอไลต์มาใช้ลดความกระด้างของน้ำแทนฟอสเฟตที่มีอยู่ในผงซักฟอกเพราะฟอสเฟตมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นหลักการแลกเปลี่ยนประจุสามารถนำซีโอไลต์มาใช้สำหรับดูดซับแอมโมเนียออกจากน้ำทิ้ง โดยการแลกเปลี่ยนประจุบวกของโลหะโซเดียมกับแอมโมเนียที่อยู่ใน

โพรงของซีโอไลต์ รวมทั้งสามารถกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากไอเสียเครื่องยนต์ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน และก๊าซออกซิเจนที่ปลอดภัย

2. ตัวดูดซับ การใช้ซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับใช้ทั้งในกระบวนการทำให้แห้ง (Dehydration) การทำให้บริสุทธิ์ (Purification) และการแยกสาร (Separation) ซีโอไลต์มีสมบัติในการเลือกทำปฏิกิริยาตามรูปร่างสามารถเลือกให้มีการดูดซับเฉพาะบางโมเลกุล ส่วนการทำให้แห้ง ซีโอไลต์ที่มีประจุบวกสามารถดูดซับน้ำได้ดีเป็นพิเศษและสามารถเกิดปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้เมื่อมีการให้ความร้อนน้ำก็จะระเหยออกไปหมด เมื่อซีโอไลต์มีการสัมผัสกับไอน้ำอีกครั้งก็สามารถเกิดการดูดซับน้ำได้ หรือนำไปใช้ดูดซับสารอื่นแทน เช่น ตะกั่ว ก๊าซไอโอไดน หรือแอมโมเนียแบบย้อนกลับได้ เป็นต้น

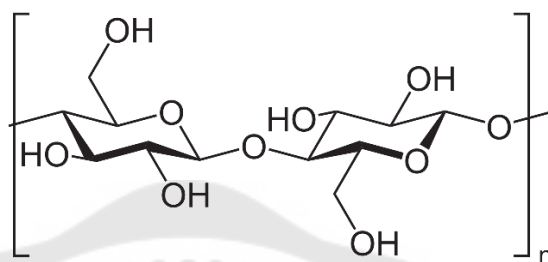
3. ใช้ในการเกษตร ลดการใช้ปุ๋ย สามารถเก็บกักปุ๋ยให้อยู่ในดินได้นาน ทำให้พืชสามารถใช้ประโยชน์จากปุ๋ยในดินได้อย่างเต็มที่ โดยสามารถเก็บกักปุ๋ยได้มากกว่า 80% ทั้งยังสามารถดูดซับสารพิษที่มีการตกค้างอยู่ในดิน ช่วยลดความเป็นพิษในดินที่มีสาเหตุจากสารตกค้างจากยาฆ่าวัชพืชและแมลง ช่วยทำให้ดินร่วน น้ำซึมผ่านและระบายน้ำได้ดี ในทางการเลี้ยงสัตว์ ซีโอไลต์สามารถดูดซับสารพิษออกจากทั้งตัวอาหารสัตว์และอวัยวะภายใน ระบบย่อยอาหาร และซีโอไลต์ยังช่วยในการกระตุ้นให้ระบบย่อยและดูดซึมอาหารของสัตว์ทำงานได้ดียิ่งขึ้น รวมถึงยังช่วยลดกลิ่นของมูลสัตว์อีกด้วย

4. การประยุกต์ใช้ซีโอไลต์ในการกลั่นปิโตรเลียม ให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอื่น ๆ

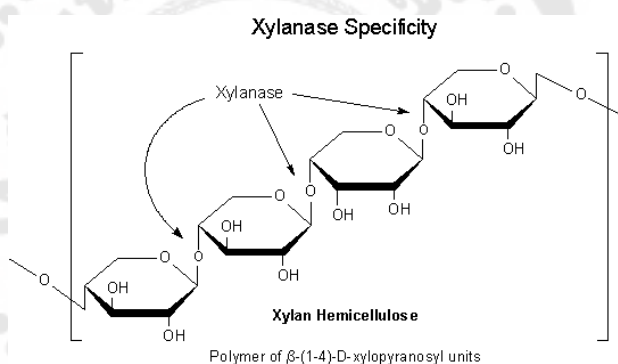
2.1.2 ถ่านชีวภาพ (biochar)

ถ่านชีวภาพ ผลิตจากชีวมวล (Biomass) เช่น ผักตบชวา แกลบ ชังข้าวโพด กากอ้อย หรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ มีการใช้ความร้อนย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนตั้งแต่ 10 - 500 องศาเซลเซียส กระบวนการย่อยสลายดังกล่าว เรียกว่า กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis) ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทอะโรมาติก (Aromatic Compound) ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) และคาร์บอนิล (Carbonyl group) เมื่อผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าจะทำให้ลักษณะผิวของชีวมวลเปลี่ยนไป คือ เริ่มมีรูพรุน ธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอน ได้แก่ ไฮโดรเจน ออกซิเจนจะแตกตัวในรูปของแก๊ส ที่เรียกว่า การคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) อนุภาคคาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมกลุ่มเป็นถ่านชีวภาพที่มีประจุลบ ซึ่งช่วยดูดซับไอออนโลหะหนักหรือธาตุอาหารที่มีประจุบวกได้ แต่ยังคงมีน้ำมันดินตกค้างอยู่ใน

ช่องว่างทำให้ถ่านมีการดูดซับต่ำ จึงมีการนำถ่านชีวภาพไปปรับปรุงคุณภาพของดินทราย ถ่านชีวภาพจึงเป็นวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน องค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นเส้นใยและมีเฮมิเซลลูโลสทำหน้าที่เป็นตัวยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกัน รวมถึงลิกนินที่ช่วยให้เส้นใยยึดเหนี่ยวกันอย่างแข็งแรง ทั้งหมดนี้จึงเรียกว่า ชีวมวลลิกโนเซลลูโลส ดังภาพประกอบ 7 และ 8 ⁽⁶⁾



ภาพประกอบ 7 โครงสร้างเซลลูโลส ⁽⁶⁾



ภาพประกอบ 8 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส ⁽⁶⁾

2.1.2.1 ประโยชน์ของถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพ ถือเป็นวัสดุดูดซับที่มีประโยชน์หลายด้าน ได้แก่ ⁽⁷⁾

1. นำไปปรับปรุงดินเพื่อปลูกพืช เพิ่มคุณภาพและปริมาณของผลผลิตทางการเกษตร ลดระยะเวลาการปลูกพืชบางชนิดได้ และมีการนำถ่านชีวภาพไปใช้ทางการเกษตร เช่น ปลูกข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง ไม้ดอกไม้ประดับ พืชสวน กาแฟ และนำไปใช้ปลูกพืชร่วมกับวัสดุอื่นในการผลิตผลผลิตทางการเกษตร

2. ดูดซับแก๊สและลดกลิ่นของการหมักปุ๋ย และช่วยตรึงไนโตรเจน ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและลดระยะเวลาการหมักดูดซับกลิ่นและแก๊สจากมูลสัตว์ในฟาร์ม รวมถึงระบบบำบัดน้ำทิ้งในฟาร์ม

3. ดูดซับแร่ธาตุที่ปนเปื้อนไปในแหล่งน้ำ เช่น ฟอสเฟต ไนเตรท

4. ดูดซับสารเคมีและโลหะหนัก ลดการดูดซับสารเคมีที่ใช้กำจัดวัชพืชและศัตรูพืช และลดการดูดซับโลหะหนักที่อยู่ในดินและน้ำของพืชที่ปลูก โดยถ่านชีวภาพจะตรึงสารเคมีและโลหะหนักกลุ่มนี้ไว้ จึงช่วยลดผลกระทบต่อพืชที่ปลูกจากสารเคมีและโลหะหนักที่ปนเปื้อน โดยเฉพาะพืชผักสวนครัวและพืชสมุนไพร ทั้งยังช่วยในการบำบัดน้ำทิ้งในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักและสารเคมี

2.2 แอมโมเนีย

แอมโมเนียเป็นสารมลพิษที่พบได้ในน้ำทิ้ง น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน แอมโมเนียเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีน ด้วยปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) ดังสมการที่ 1 แอมโมเนียอาจถูกกำจัดได้โดยจุลินทรีย์นำไปใช้เป็นสารอาหาร การสร้างเซลล์ หรือถูกออกโตโทรฟิคแบคทีเรีย (Autotrophic Bacteria) เปลี่ยนเป็นไนไตรท์และไนเตรท



แอมโมเนียมีผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา เช่น เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยรูปที่เป็นพิษคือแอมโมเนียอิสระ (NH_3)⁽⁴⁾

2.2.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อมีปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในแหล่งน้ำมีค่ามากเกินไป

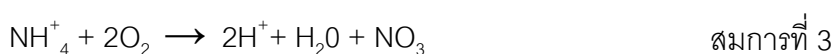
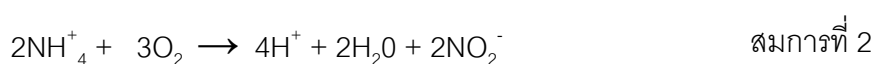
1. เป็นพิษต่อปลาและสัตว์น้ำ ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียอิสระ (NH_3) (ตาราง 2) แอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะประกอบด้วยแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) ปริมาณของแอมโมเนียอิสระจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่าง โดยที่ค่าความเป็นกรดต่างสูง ๆ น้ำจะมีแอมโมเนียอิสระมากขึ้น ดังนั้นค่าความเป็นพิษแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นตามค่าความเป็นกรดต่างที่สูงขึ้น⁽⁸⁾

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระที่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ

| พารามิเตอร์ | ผลการวิเคราะห์ | | ระดับความเข้มข้นของ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg-N/L) ⁽⁹⁾ | ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ ⁽⁹⁾ |
|--|----------------|------------|--|--|
| | (mg-N/L) | | | |
| | Waste 1 | Waste 2 | | |
| แอมโมเนีย- ไนโตรเจน (NH ₃ -N) | | | 0.1 – 0.4 | สัตว์เจริญเติบโตช้า |
| | | | 0.5 – 1 | สัตว์มีอาการเครียด หายใจเร็ว |
| | 5.70 | 418.50 | 2 – 3 | สัตว์มีอาการเครียด หายใจ เร็ว อ่อนแอ เกิดการติดเชื้อ จากแบคทีเรียและเริ่มตาย |
| | | | 4 – 5 | อัตราการตายเพิ่มขึ้น |
| | | | 6 – 7 | |

จะเห็นได้ว่าแอมโมเนียแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยในแหล่งน้ำก็เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ โดยกรมควบคุมมลพิษได้กำหนดค่ามาตรฐานน้ำในแหล่งน้ำผิวดินควรมีค่าแอมโมเนียไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร⁽²⁾

2. ลดระดับออกซิเจนละลายน้ำ การทิ้งน้ำทิ้งที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำทำให้ค่าออกซิเจนละลายลดลงได้ เนื่องจากการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเป็นไนเตรท-ไนโตรเจน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ดังสมการที่ 2 และ 3



2.3 กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน

แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) กระบวนการที่เกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน โดยแบคทีเรียที่อยู่ในแหล่งน้ำ จะย่อยสลายอาหารที่มีในน้ำให้ได้พลังงาน นำไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยการย่อยโปรตีนที่มีในอาหารแบคทีเรียจะปล่อยแอมโมเนียออกมา ทำให้มีการสะสมของแอมโมเนีย ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง โดยปกติแอมโมเนียจะเป็นพิษกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ โดยไม่รวมแพลงก์ตอน ฟิช และแบคทีเรียที่ใช้แอมโมเนียเป็นอาหาร⁽¹⁰⁾

2.4 นำทิ้งจากการผลิตปลาร้า

ปลาร้า หมายถึง ผลิตภัณฑ์ปลาหมักที่ได้นำปลาสดมาหมักกับเกลือ และข้าวคั่วหรือรำข้าวในอัตราส่วนที่เหมาะสม ก่อนจะหมักในภาชนะนาน 7-8 เดือน หรือเป็นปี จนได้เนื้อปลาดี น้ำตาลหรือสีเหลือง เนื้อและน้ำมีรสเค็ม⁽¹¹⁾

2.4.1 ขั้นตอนการทำปลาร้า

1. คัดเลือกปลาที่มีขนาดพอเหมาะ ไม่ควรเลือกใช้ปลาที่ขนาดใหญ่เกินไป เพราะจะใช้เวลาในการหมักเพิ่มมากขึ้น จากนั้นนำมาล้างน้ำทำความสะอาด 1-2 ครั้ง
2. หากเป็นปลามีเกล็ด ให้ขูดเกล็ดให้หมดก่อน หากเป็นปลาที่มีก้านครีบแข็งและเงี่ยง ต้องตัดก้านครีบและเงี่ยงออกก่อน และอาจตัดหัวปลาทิ้งด้วยก็ได้ หลังจากนั้น นำปลามาควักไส้ออกให้หมด ก่อนจะล้างทำความสะอาด 2-3 ครั้ง
3. นำปลาที่ล้างแล้วใส่ถังหรือภาชนะ จากนั้นเติมเกลือและข้าวคั่วหรือรำข้าว น้ำอุ่น คลุกผสมให้เข้ากัน
4. นำส่วนผสมที่คลุกได้ที่แล้วเทใส่ภาชนะหรือถังสำหรับหมัก รััดปิดปากให้แน่น พร้อมหมักทิ้งไว้ในที่ร่มนาน 6-10 เดือน หรือมากกว่าตามขนาดของปลาที่ใช้

จากขั้นตอนการทำปลาร้าข้างต้นจะพบว่า การเกิดน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตนั้นจะพบในขั้นตอนการล้างปลา ซึ่งน้ำที่เกิดจากการล้างปลานี้ หากมีการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีบ่อบำบัดรองรับหรือไม่มีการบำบัดเบื้องต้น จะส่งผลให้เกิดมลพิษต่อแหล่งน้ำได้

2.5 การดูดซับ

การดูดซับ คือ การเคลื่อนย้ายมวลสาร (Mass Transfer) โดยสารที่อยู่ในช่องของเหลวถูกเคลื่อนย้ายมาหรือเกาะอยู่บนพื้นผิวของของแข็ง ทำให้สามารถกำจัดสารนั้นออกจากของเหลวได้ โมเลกุลของสารต่าง ๆ ซึ่งมาสะสมหรือถูกดูดซับติดที่พื้นผิวถูกเรียกว่า สารถูกดูดซับ

(Adsorbate) และเรียกของแข็งที่ทำการดูดซับว่า สารดูดซับ (Adsorbent) โดยมีขั้นตอนของการดูดซับ 3 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

1. การเคลื่อนย้ายเชิงมหภาค (Macrotransport) เป็นการเคลื่อนย้ายของสารที่ถูกดูดซับผ่านน้ำเข้าสู่พื้นผิวของสารดูดซับ
2. การเคลื่อนย้ายเชิงจุลภาค (Microtransport) เป็นการแพร่กระจายของสารที่ถูกดูดซับเข้าหาช่องว่างภายในของพื้นที่ผิวสารดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ การแพร่ผ่านชั้นฟิล์มของน้ำ (Film Diffusion) และการแพร่สู่ช่องว่างหรือโพรง (Pore Diffusion)
3. การดูดซับ (Adsorption) คือ การยึดเกาะกันของตัวถูกดูดซับและสารดูดซับ ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นนั้นอาศัยทั้งแรงทางเคมีและกายภาพ⁽¹²⁾

2.5.1 ไอโซเทอรัมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

สภาวะสมดุลการดูดซับระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับที่ถูกลดซับติดสารดูดซับต่อมวลของสารดูดซับกับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่ละลายอยู่ในสารละลาย (น้ำ) ที่อุณหภูมิคงที่ ความสัมพันธ์นี้เมื่อเขียนกราฟจะได้เส้นแนวโน้มที่เรียกว่า ไอโซเทอรัมของการดูดซับ ซึ่งหาได้จากการทดลอง โดยใช้สารละลาย (น้ำ) ที่ทราบค่าหรือปริมาณของสารที่ถูกดูดซับที่ต้องการกำจัดในปริมาตรที่คงที่ และทำการแปรเปลี่ยนปริมาณของสารดูดซับ กำหนดระยะเวลาที่สัมผัส จากนั้นจึงทำการหาค่าหรือปริมาณของสารที่ถูกดูดซับที่ละลายในน้ำที่ผ่านการทดลอง สามารถคำนวณหาค่าขีดความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) ได้ดังสมการที่ 4

$$q_e = (X/m) = V(C_0 - C_e) / m \quad \text{สมการที่ 4}$$

โดยที่ q_e = ค่าขีดความสามารถในการดูดซับ หรือปริมาณของสารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับ (X) ต่อมวลของสารดูดซับ (m) ที่สภาวะสมดุล หน่วยเป็น มิลลิกรัมของสารที่ถูกดูดซับต่อกรัมของสารดูดซับ

C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่ถูกดูดซับในสารละลาย (น้ำ) หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

C_e = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่ละลายอยู่ในสารละลาย (น้ำ) ที่สภาวะสมดุล หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

V = ปริมาตรของสารละลาย (น้ำ) ที่มีสารถูกดูดซับอยู่ หน่วยเป็น ลิตร

m = มวลของสารดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็นกรัม

ไอโซเทอร์มของการดูดซับได้ถูกพัฒนาขึ้นหลายไอโซเทอร์ม ภายใต้สมมติฐานต่าง ๆ เช่น Langmuir Isotherm , Freundlich Isotherm เป็นต้น⁽¹²⁾

2.5.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอร์มนี้ถูกเสนอขึ้นโดย เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) เป็นไอโซเทอร์มที่ใช้กันมากสำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียวและเป็นการดูดซับทางกายภาพ การศึกษาไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลายได้ ดังสมการที่ 5⁽⁴⁾

$$q_e = bq_m C_e / (1 + bC_e) \quad \text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ q_e = ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักสารดูดซับ หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

b = ค่าคงที่แลงเมียร์ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ

q_m = ปริมาณสารถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับสูงสุด หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะสมดุล หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณสารถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับสูงสุด (q_m) และค่าคงที่แลงเมียร์ (b) สามารถคำนวณได้จากจุดตัดแกนตั้ง และความชันของความสัมพันธ์เส้นตรงระหว่างส่วนกลับของปริมาณสารถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ ($1/q_e$) กับส่วนกลับของความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะสมดุล ($1/C_e$) ดังสมการที่ 6

$$1/q_e = 1/bq_m C_e + 1/q_m \quad \text{สมการที่ 6}$$

2.5.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนด์ลิช จากสมมติฐาน คือ พลังงานการดูดซับบนพื้นผิวมีค่าไม่คงที่ โดยสามารถแบ่งพื้นที่ของการดูดซับออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามระดับของพลังงานใน

แต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยบริเวณดูดซับที่มีพลังงานการดูดซับที่เท่ากัน โดยแต่ละกลุ่มจะเกิดการดูดซับที่เป็นอิสระต่อกัน โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะถูกดูดซับแบบหลายชั้นบนพื้นผิวของสารดูดซับ ข้อจำกัดของสมการฟรุนด์ลิช คือ ปริมาณสารถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักสารดูดซับไม่เข้าสู่ค่าคงที่ ที่ความเข้มข้นสูง ๆ โดยปกติจะใช้อธิบายข้อมูลการดูดซับได้ในช่วงแคบ ๆ สมการแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารถูกดูดซับกับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะสมดุล ดังสมการที่ 7

$$q_e = X/m = K_f C_e^{1/n} \quad \text{สมการที่ 7}$$

เมื่อ q_e = ปริมาณสารถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักสารดูดซับ หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

K_f = ค่าคงที่สมดุลดูดซับของเหลวของฟรุนด์ลิช แสดงถึงความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะสมดุล หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

n = ค่าคงที่แสดงถึงความแข็งแรงในการดูดซับ

เมื่อค่า n มีค่าเพิ่มขึ้นกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับจะมีความโค้งมากขึ้นและเมื่อ n มีค่าใกล้เคียง 1 แล้ว K_f จะเปลี่ยนเป็นค่าคงที่สมดุลการดูดซับของเหลวของเฮนรี (K_H) ค่า n และ K_f สามารถคำนวณได้จากจุดตัดแกนตั้งและความชันของกราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ของค่าลอการิทึมของค่าปริมาณสารถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักสารดูดซับ ($\log q_e$) กับค่าลอการิทึมของค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะสมดุล ($\log C_e$) ดังสมการที่ 8⁽⁴⁾

$$\log q_e = \log K_f + 1/n (\log C_e) \quad \text{สมการที่ 8}$$

2.6 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

การทดลองในกรณีที่มีปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัยแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ซึ่งระดับในที่นี้อาจแทนด้วยระดับของปริมาณ (Quantity Level) เช่น เวลา อุณหภูมิ และความเป็นกรดต่าง (pH) การแบ่งระดับของปัจจัยอาจแบ่งออกเป็นระดับสูง (High) และต่ำ (Low) การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้ในกรณีที่มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายตัว

นอกจากนี้ยังมีการสมมติให้การเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น ตัวอย่างการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^2 คือกรณีที่มีปัจจัยทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ ปัจจัย A และ B ในแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับ คือ ระดับต่ำและระดับสูง การออกแบบ 2^k มีประโยชน์มากต่อการทดลองในช่วงแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่ต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้ เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการออกแบบ 2^k จะถูกนำมาใช้เพื่อกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากให้เหลือน้อยลง⁽¹³⁾

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่มีการนำซีโอไลต์มาใช้ในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีดังต่อไปนี้

มณีวรรณ เกตะวันดี และสุชุม erva (14) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยแมงกานีสซีโอไลต์ โดยผลจากการทดลอง บ่งชี้ว่า ซีโอไลต์สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ได้สูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 50 โดยขนาดซีโอไลต์เล็กกว่า 1.40 ถึง 2.00 มิลลิเมตร และในช่วง pH ของน้ำทิ้งที่ 6.0 – 8.0 ซีโอไลต์จะมีความสามารถในการกำจัด แอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ยในการกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ร้อยละ 38.8 - 51.3 และ 60.6 – 70.4 จำนวนครั้งการใช้งานซีโอไลต์ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด แอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลง และสามารถฟื้นฟูสภาพซีโอไลต์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ด้วยสารละลาย 25 กรัมต่อลิตร NaCl สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน กับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง ระยะเวลาสัมผัส และสัดส่วนของปริมาณของซีโอไลต์ต่อปริมาณน้ำทิ้ง พบว่ามีค่าการกำจัดที่ดีที่สุดที่อัตราส่วนการเจือจาง 1 : 1 ระยะเวลาสัมผัสมากกว่าหรือเท่ากับ 90 นาที และปริมาณซีโอไลต์เท่ากับหรือสูงกว่า 200 กรัม/น้ำทิ้ง 100 มิลลิลิตร โดยมีค่าเฉลี่ยในการกำจัด $\text{NH}_3\text{-N}$ ที่ร้อยละ 50.8, 43.9 และ 59.4 ตามลำดับ และจากการทดสอบไอโซเทอร์มการดูดซับสำหรับการทดลองนี้สอดคล้องกับสมการของฟรุนลิช มีค่าสมการ คือ $\log q = -3.7545 + 1.4112 \log c$ ทำให้ประเมินได้ว่าซีโอไลต์สามารถใช้ในการกำจัด $\text{NH}_3\text{-N}$ ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังได้ แต่ยังมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีปัจจัยรบกวนที่ทำให้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ เช่น การมีโลหะหนักโครเมียมในน้ำทิ้ง รวมถึงการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง

ศิลป์ชัย มณีชาติย์ (2552)⁽¹⁵⁾ ศึกษาการกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน จากน้ำเสีย ฟาร์มสุกรและไก่ด้วยแมงกานีสซีโอไซด์ ในแบบจำลองคลองวนเวียน ขนาด 34,633 ลูกบาศก์ เซนติเมตร โดยเป็นการทดลองแบบน้ำไหลต่อเนื่อง โดยศึกษาประสิทธิภาพและความสามารถในการกำจัด $\text{NH}_3\text{-N}$ และศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำทิ้ง เวลาการสัมผัส ขนาดและปริมาณของแมงกานีสซีโอไซด์กับน้ำทิ้ง ผลการศึกษาสรุปได้ว่า แมงกานีสซีโอไซด์สามารถกำจัด แอมโมเนีย-ไนโตรเจนจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรและไก่ในแบบจำลองคลองวนเวียนได้เฉลี่ยร้อยละ 78 ด้วยแมงกานีสซีโอไซด์ขนาด 1.5 มิลลิเมตร ปริมาณที่ใช้ 25,225 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อน้ำทิ้ง ปริมาณ 12 ลิตร ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อชั่วโมง และมีระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำทิ้งกับ ซีโอไซด์ 120 นาที โดยค่าพีเอชน้ำทิ้ง เท่ากับ 8.6 ที่อุณหภูมิห้อง

Mohd Ridhwan Adam. (2019)⁽¹⁶⁾ ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาและผลิตซีโอไซด์ ธรรมชาติ (HFCM) และศึกษาเทคนิคการเผาเพื่อกำจัดแอมโมเนียในน้ำทิ้ง โดยวิเคราะห์ คุณสมบัติทางกายภาพของ HFCM องค์ประกอบของซีโอไซด์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิต ความแข็งแรง การดูดซับในระยะเวลาที่แตกต่างกัน และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่เหมาะสมในการกำจัด แอมโมเนีย ผลการศึกษาแสดงถึงความสำเร็จของการผลิต HFCM ที่ประกอบด้วยซีโอไซด์ ธรรมชาติ 45 wt% ใช้การป่นที่ระยะ 5 เซนติเมตร มีอัตราการไหลของของเหลว 15 มิลลิลิตรต่อ นาที และเผาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส HFCM ที่ผลิตได้จะมีประสิทธิภาพที่ดีโดยมีความ แข็งแรง 50.92 MPa การซึมผ่าน 249.57 $\text{L/m}^2\text{h}$ และการกำจัดแอมโมเนียอยู่ที่ 90%

อัษฎรินทร์ พิธาภักดีสถิต (2559)⁽⁴⁾ ศึกษาการดูดซับธาตุอาหารจากน้ำคลองด้วย ซีโอไซด์ร่วมกับถ่านกัมมันต์ โดยทำการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับธาตุอาหารของซีโอไซด์และ ถ่านกัมมันต์ สัดส่วนและรูปแบบการใช้ซีโอไซด์ร่วมกับถ่านกัมมันต์ดูดซับธาตุอาหารในคลอง ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วการกวน 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ซีโอไซด์ดูดซับแอมโมเนีย สอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ และฟรุนด์ลิช (R^2 เท่ากับ 0.8334 และ 0.9031 ตามลำดับ) ถ่านกัมมันต์ดูดซับแอมโมเนียสอดคล้องกับ ไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ ฟรุนด์ลิช และบีอีที (R^2 เท่ากับ 0.9596 0.9113 และ 0.9440 ตามลำดับ) ซีโอไซด์และถ่านกัมมันต์ดูดซับแอมโมเนียต่อน้ำหนักสารดูดซับได้สูงสุด (q_m) เท่ากับ 0.0493 และ 0.0837 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ สัดส่วนโดยน้ำหนักของซีโอไซด์ต่อถ่านกัมมันต์ 1:5:1 (12 และ 8 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร) สามารถดูดซับแอมโมเนีย-ไนเตรตได้ ร้อยละ 58.57 43.62 ตามลำดับ และสัดส่วนซีโอไซด์ต่อถ่านกัมมันต์ 3:1 (15 และ 5 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร) สามารถดูดซับแอมโมเนีย-ไนเตรตได้ ร้อยละ 60.00 และ 11.67 ตามลำดับ การศึกษาเวลาในการ

ดูดซับธาตุอาหารในช่วง 10 – 1,440 นาที ด้วยซีโอไลต์ต่อถ่านกัมมันต์สัดส่วน 3:1 (ซีโอไลต์ 15 และถ่าน กัมมันต์ 5 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร) พบว่า เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนเตรต ซีโอดี และบีโอดี คือ 1,440 นาที



บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ ขนาด 50, 100, 250, 1000 มิลลิลิตร
2. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 25, 50, 100, 200, 500, 1000 มิลลิลิตร
3. ไมโครปิเปตอัตโนมัติ ขนาด 10, 100, 200, 1000 และ 5000 ไมโครลิตร
4. ทิปสำหรับไมโครปิเปต ขนาด 10, 100, 200, 1000 และ 5000 ไมโครลิตร
5. กระจกตวงแก้ว ขนาด 50, 100 มิลลิลิตร
6. หลอดทดลองพลาสติกชนิด PE ขนาด 13 มิลลิลิตร
7. หัวกรองสำเร็จรูปชนิด Cellulose Acetate 0.45 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร
8. หลอดหยด ขนาด 1 มิลลิลิตร
9. ช้อนตักสาร
10. แท่งแก้วคนสาร
11. ถังมือ
12. ขวดน้ำกลั่น ขนาด 500 และ 1000 มิลลิลิตร
13. pH-meter
14. เครื่องชั่ง อย่างละเอียดตศนิยม 3 ตำแหน่ง

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่อง Segment Continuous Flow Automate Analyzer ยี่ห้อ SKALAR รุ่น SAN++SA 1053 เป็นเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบฉีดสารละลายมาตรฐานและสารตัวอย่างเข้ามาผสมกับสารเคมี ในหน่วยทำปฏิกิริยาเคมี เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร และทำการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า ทั้งก่อนและหลังการใช้ซีโอไลต์ในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน⁽¹⁸⁾

3.1.3 สารเคมี

1. Potassium sodium tartrate tetrahydrate ; $C_4H_4O_6KNa \cdot 4H_2O$ (AR Grade)
2. tri-Sodium citrate dihydrate ; $C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$ (AR Grade)
3. สารละลาย Brij 35 (30%) สำเร็จรูป
4. Hydrochloric acid 37% : HCl (AR Grade)
5. Sodium hydroxide; NaOH (AR Grade)
6. Sodium salicylate ; $C_7H_5Na_2O_3$ (AR Grade)
7. Sodium nitroprusside dihydrate ; $Na_2[Fe(CN)_5NO] \cdot 2H_2O$ (AR Grade)
8. Sodium dichloroisocyanuric acid sodium salt dihydrate ;

$C_3N_3O_3Cl_2Na \cdot 2H_2O$ (AR Grade)

3.1.4 วัสดุดูดซับ

1. ซีโอไลต์ธรรมชาติชนิดคลินอปติโลไลต์ (Clinoptilolite) ลักษณะเป็นเม็ด คละขนาดประมาณ 3.00 – 5.00 มิลลิเมตร
2. ถ่านชีวภาพจากผักตบชวา ที่ผ่านการตากแห้ง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส และนำมาบดให้มีขนาดเล็ก⁽¹⁷⁾

3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการใช้ซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า ในพื้นที่ ต.โพนางดำตก อ.สรรพยา จ.ชัยนาท

3.2.1 น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1.1 การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง

น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองจะเก็บจากโรงงานผลิตปลาร้าในพื้นที่ ต.โพนางดำตก อ.สรรพยา จ.ชัยนาท โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการล้างปลาและหมักปลานำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งลงในขวดพลาสติกชนิด HDPE ขนาด 500 มิลลิลิตร และทำการรักษาสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น ให้ตัวอย่างน้ำมีค่า $pH < 2$ และนำไปเก็บไว้ในห้องเย็นหรือแช่เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับ 6 องศาเซลเซียส โดยตัวอย่างน้ำทิ้งที่ทำการรักษาสภาพนี้จะคงสภาพเก็บไว้ได้ประมาณ 28 วัน⁽¹⁸⁾

3.2.1.2 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ตัวอย่างน้ำทิ้งที่เก็บจากโรงงานผลิตปลาร้าจะถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนโดยวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ คือ

1. Colorimetric Method
2. Segmented Continuous Flow Analysis Method

ที่มา: วิธีวิเคราะห์มาจาก SKALAR Methods ⁽¹⁹⁾

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบ

1. ตัวอย่างน้ำทิ้งที่จะนำมาทดสอบจะต้องเก็บไว้ในห้องเย็นหรือแช่เย็นที่อุณหภูมิ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 องศาเซลเซียส

2. นำตัวอย่างน้ำทิ้งมาตั้งทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

3. กรณีตัวอย่าง ที่ทำการรักษาสภาพด้วยกรด ($\text{pH} < 2$) ก่อนวิเคราะห์ให้ปรับ pH ของตัวอย่างจนเป็นกลางด้วยสารละลาย NaOH

4. นำตัวอย่างมากรองด้วยหัวกรองสำเร็จรูปชนิด Cellulose Acetate 0.45 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ลงในหลอดทดลองพลาสติก ขนาด 13 มิลลิลิตร พร้อมนำไปทดสอบหาปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของตัวอย่างก่อนใช้ซีโอไลต์ในการ ดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยการวิเคราะห์หาค่าปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน จะวิเคราะห์โดยวัดด้วยเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer

3.2.3 การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์

การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ใน ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า ในงานวิจัยนี้จะทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ ด้วย กระบวนการอัตราโนมิติ โดยใช้ปฏิกิริยา Berthelot ซึ่งแอมโมเนียในตัวอย่างน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็น Monochloramine และทำปฏิกิริยากับ Salicylate จะได้เป็น 5-Amino Salicylate และ เกิดปฏิกิริยา Oxidation กับ Sodium nitroprusside ได้สารละลายสีน้ำเงินเขียว (Indophenol blue) และทำการวัดสีด้วยความยาวคลื่นแสง 660 นาโนเมตร อ้างอิงจากวิธีทดสอบปริมาณ แอมโมเนีย-ไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างน้ำโดยเทคนิค Segment Continuous Flow Analysis ⁽¹⁸⁾ ดังนี้

3.2.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

ก่อนทำการทดสอบหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำต้องสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) โดยมีการทดลองดังนี้

เตรียม Calibration Solution จาก Standard Solution (Ammonia-N Stock Solution ความเข้มข้น 100 mg-N/L) โดยปิเปตสารละลายนี้ปริมาตรตามตาราง 3 แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำบริสุทธิ์ จากนั้นนำไปหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและค่าปริมาตรแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่วัดได้ (mg-N/L)

ตาราง 3 การเตรียม Calibration Solution ของสารละลายแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

| ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg N/L) | ปริมาตรของ Ammonia-N Stock Solution ความเข้มข้น 100 mg N/L (μ l) |
|--|--|
| 0.10 | 50 |
| 0.20 | 100 |
| 0.50 | 250 |
| 1.00 | 500 |
| 2.00 | 1000 |

3.2.3.2 ทดสอบ Calibration verification (Calibration Check)

เตรียมสารละลายมาตรฐานระดับความเข้มข้นกึ่งกลางของกราฟมาตรฐาน (ตาราง 3) ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำบริสุทธิ์ นำไปหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือว่ามีการปนเปื้อนหรือไม่ เกณฑ์การยอมรับ % Calibration check อยู่ในช่วง 85 - 115% ดังสมการที่ 9

$$\% \text{ Calibration check} = \frac{C_2 \times 100}{C_1} \quad \text{สมการที่ 9}$$

โดย C_1 = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เตรียม (mg N/L)

C_2 = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่อ่านค่าได้ (mg N/L)

3.2.3.3 ทดสอบ Lab Fortified Blank (LFB)

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการทดสอบและการกลับคืนของสารใน Blank Matrix ทำการเติมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นจุดกึ่งกลางของกราฟมาตรฐาน (ตาราง 3) ปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำบริสุทธิ์ แล้วนำไปทดสอบหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เกณฑ์ยอมรับ คือ % LFB Recovery อยู่ในช่วง 85 – 115% ดังสมการที่ 10

$$\% \text{ LFB Recovery} = \frac{\text{ค่าความเข้มข้นของ LFB ที่ทดสอบได้}}{\text{ความเข้มข้นของสารที่ทดสอบ ที่เติม LFB}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 10}$$

3.2.3.4 ทดสอบ Lab Fortified Matrix (LFM)

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการทดสอบซึ่งอาจมีผลจาก Matrix Effect เติมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.20 mg N/L ของกราฟมาตรฐาน (ตาราง 3) ปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำบริสุทธิ์ แล้วนำไปทำการทดสอบหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เกณฑ์ยอมรับ คือ % LFM Recovery อยู่ในช่วง 80 – 120% ดังสมการที่ 11

$$\% \text{ LFM Recovery} = \frac{(C_{sp} - C_s) \times 100}{C_a} \quad \text{สมการที่ 11}$$

โดย C_{sp} = ความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐาน(LFM)

C_s = ความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารละลายมาตรฐาน

C_a = ความเข้มข้นที่เติมลงในตัวอย่าง

3.2.3.5 ทดสอบ Lab Fortified Matrix Duplicate (LFMD)

ทำการทดสอบซ้ำเพื่อประเมินความเที่ยง ของการทดสอบ Lab Fortified Matrix (LFM) ในข้อ 3.2.3.4 ซ้ำ แล้วคำนวณ %RPD (Relative Percent Differce) เกณฑ์ยอมรับ คือ % RPD \leq 10% ดังสมการที่ 12

$$\%RPD = \left[\frac{(LFM - LFMD)}{(LFM + LFMD)} \right] \times 100 \quad \text{สมการที่ 12}$$

โดย LFM = ความเข้มข้นของ LFM ที่ได้ครั้งที่ 1

LFMD = ความเข้มข้นของ LFM ที่ได้ครั้งที่ 2

3.2.4 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและหาภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ได้แก่ เวลา ปริมาณ ความเป็นกรดต่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำทิ้งที่เหมาะสม

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลหาภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า โดยการดูดซับของซีโอไลต์จะมีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) โดยใช้โปรแกรม Design Expert เป็นการออกแบบที่ประกอบด้วย k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมี 2 ระดับ คือระดับต่ำและสูง จะกำหนดการทดลองทั้งหมด $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2$ เท่ากับ 2^k การทดลอง ซึ่งการออกแบบการทดลองนี้จะช่วยลดปัจจัยหลักที่ไม่มีนัยสำคัญออก และเหลือปัจจัยหลักคงเหลือที่เหมาะสมกับการทดลอง⁽¹³⁾ ดังนั้นทำการกำหนดระดับปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของซีโอไลต์ในการทดลองทุกปัจจัยจะมีปัจจัยละ 2 ระดับ ดังแสดงไว้ในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

| ปัจจัย | สัญลักษณ์ | ระดับของปัจจัย | หน่วย |
|--------------------------|-----------|----------------|-------|
| 1. เวลา | A | 30 90 | นาที |
| 2. ปริมาณน้ำหนักรีโอไลต์ | B | 50 250 | กรัม |
| 3. ความเป็นกรดต่าง (pH) | C | 6.0 8.0 | - |

ขั้นตอนการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ประกอบด้วย ปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลอง 3 ปัจจัยคือ เวลา (นาที) ปริมาณซีไอโกลด์ (กรัม) และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) โดยแต่ละปัจจัยจะประกอบไปด้วย 2 ระดับ (ตาราง 4) การทดลองทั้งหมด คือ $(2 \times 2 \times 2 \times 3)$ เท่ากับ 24 การทดลอง และได้กำหนดระดับความเชื่อมั่น $p\text{-value} < 0.05$ ซึ่งสามารถแสดงการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับโดยใช้โปรแกรม Design Expert เมื่อดำเนินการออกแบบการทดลองแล้วนั้นทำการเตรียมตัวอย่างตามรูปแบบที่ออกแบบได้จากโปรแกรม และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง ทำการเตรียมตัวอย่างน้ำตามข้อ 3.2.2 และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer

3.2.5 การแปลผล

3.2.5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองเป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม Design Expert ซึ่งเป็นการตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) โดยพิจารณาการกระจายของค่า Residuals ซึ่งใช้การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot)

3.2.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการหาค่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าผันแปรของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง โดยใช้โปรแกรม Design Expert และทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Duncan Multiple Rang Test ที่ระดับความเชื่อมั่น $p\text{-value} < 0.05$

3.2.6 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสมจากปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง ที่ผ่านการดูดซับด้วยซีไอโกลด์ที่สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการออกแบบตามข้อที่ 3.2.4 แล้วนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาคำนวณหาค่าการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของซีไอโกลด์ ดังสมการที่ 13

$$\text{ร้อยละการดูดซับ} = \frac{(A - B) \times 100}{A} \quad \text{สมการที่ 13}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำที่ก่อก่อนผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์
(mg-N/L)

B คือ ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่วัดได้หลังผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์
(mg-N/L)

3.2.7 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าด้วยซีโอไลต์

การหาความสามารถของซีโอไลต์ในการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยซีโอไลต์ โดยนำซีโอไลต์มาบรรจุลงในบีกเกอร์ ปริมาณ 50 , 100 , 150 , 200 และ 250 กรัมต่อน้ำทิ้ง 500 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าที่อัตรา 200 รอบต่อนาทีที่สภาวะที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Design Expert ตามข้อที่ 3.2.4 และทำการเตรียมตัวอย่างน้ำตามข้อ 3.2.2 และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer อย่างละ 3 ซ้ำ นำผลการทดลองมาวิเคราะห์พฤติกรรมการดูดซับโดยศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ดังนี้

3.2.7.1 การวิเคราะห์พฤติกรรมการดูดซับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำทิ้งกับสมการแลงเมียร์

นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.2.7 ไปสร้างกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับระหว่างค่า q กับ C จากนั้นพิจารณาค่า R^2 หากมากกว่าหรือเท่ากับ 0.8 แสดงว่าการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งด้วยซีโอไลต์ มีพฤติกรรมการดูดซับสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์

3.2.7.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมการดูดซับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำทิ้งกับสมการฟรุนด์ลิช

นำข้อมูลที่ได้ จากข้อ 3.2.7 ไปสร้างกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับระหว่างค่า $\log q$ กับ $\log C$ จากนั้นพิจารณาค่า R^2 หากมากกว่าหรือเท่ากับ 0.8 แสดงว่าการดูดซับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำทิ้งด้วยซีโอไลต์ มีพฤติกรรมการดูดซับสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของฟรุนด์ลิช

3.2.8 การดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าด้วยซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ

ศึกษาประสิทธิภาพของซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพที่ได้จากผักตบชวา ในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง โดยแบ่งการทดลอง เป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ใช้ซีโอไลต์ ปริมาณ 250 กรัม การทดลองที่ 2 ใช้ถ่านชีวภาพ ปริมาณ 250 กรัม และการทดลองที่ 3 ใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ ปริมาณอย่างละ 125 กรัม ลงในบีกเกอร์ โดยทั้ง 3 การทดลองจะใช้น้ำทิ้ง 500 มิลลิลิตร เขย่าที่อัตรา 200 รอบต่อนาที ที่สภาวะที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Design Expert ตามข้อที่ 3.2.4 และทำการเตรียมตัวอย่างน้ำตามข้อ 3.2.2 และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer การทดลองละ 3 ซ้ำ



บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของซีโอไลต์เพื่อบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาร้า ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ โดยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง และนำมาวิเคราะห์หาค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ และสรุป โดยนำเสนอผลการศึกษา ดังนี้

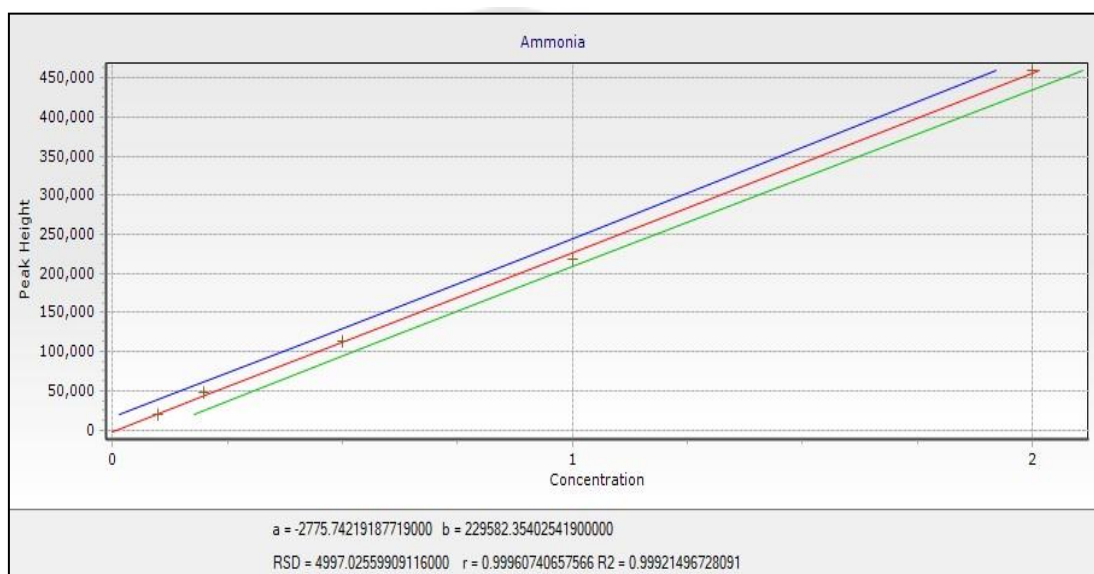
1. การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์
2. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ได้แก่ เวลา ปริมาณของซีโอไลต์ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำทิ้ง
3. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง
4. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)
5. การทดสอบหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสมจากปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)
6. การศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาร้าด้วยซีโอไลต์
7. การศึกษาการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพสำหรับการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า

4.1 การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์

4.1.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

จากการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์โดยการสร้างกราฟมาตรฐาน ดำเนินการเตรียม Calibration Solution จาก Standard Solution (Ammonia-N Stock Solution ความเข้มข้น 100 mg-N/L) ตามข้อ 3.2.3.1 ปีเปิดสารละลายนี้ปริมาตรตามตาราง 3 ทำการศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในช่วง 0.10 – 2.00 mg-N/L นำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของ Calibration Solution ของสารละลายแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่เครื่องวัดได้ จากนั้นเครื่องมือจะประมวลผล และ plot กราฟ โดยกำหนดค่า Height เป็นแกน Y และค่าความ

เข้มข้นแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg-N/L) เป็นแกน X สำหรับค่า Correlative Coefficient ที่ได้ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0.995 จากนั้นเครื่อง Segment Flow Automate analyzer จะทดสอบหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำ แล้วนำค่า Height ที่วัดได้มาเทียบกับ Calibration Curve และแสดงผลเป็นค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำตัวอย่างมีหน่วยเป็น (mg-N/L) ดังภาพประกอบ 9 ผลการทดสอบที่ได้ดังแสดงไว้ในตาราง 5 และนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาฉี่ ดังภาพประกอบ 10



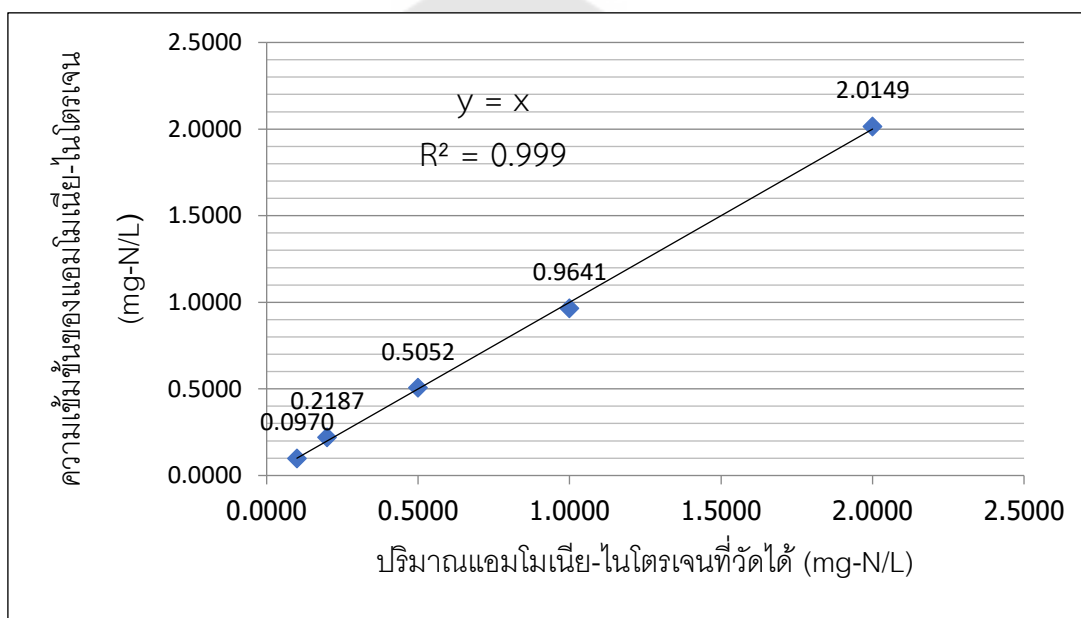
ภาพประกอบ 9 ค่าการดูดกลืนแสงของ Calibration Solution ของสารละลายแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่วัดได้จากเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer

ตาราง 5 ผลการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ จากการสร้างกราฟมาตรฐาน โดยศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในช่วง 0.10 – 2.00 mg-N/L

| ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg-N/L) | ปริมาตรของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่วัดได้ (mg-N/L) |
|--|--|
| 0.10 | 0.0970 |
| 0.20 | 0.2187 |

ตาราง 5 (ต่อ)

| ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg-N/L) | ปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่วัดได้ (mg-N/L) |
|--|---|
| 0.50 | 0.5052 |
| 1.00 | 0.9641 |
| 2.00 | 2.0149 |



ภาพประกอบ 10 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน
ที่วัดได้กับความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg-N/L)

จากผลการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ จากการสร้างกราฟมาตรฐาน ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน 0.10 – 2.00 mg-N/L ผลการทดสอบที่วิเคราะห์ได้ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.999 ซึ่งสอดคล้องกับวิธีทดสอบมาตรฐาน วิธีทดสอบปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำ ของกรมควบคุมมลพิษ⁽¹⁸⁾ ที่ระบุว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่ได้ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0.995

4.1.2 การทดสอบ Calibration verification (Calibration Check)

การทดสอบ Calibration verification (Calibration Check) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือว่ามีการปนเปื้อนหรือไม่ ผลการทดสอบ Calibration Verification วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เท่ากับ 0.4896 mg-N/L นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า % Calibration Check (สมการที่ 9) เท่ากับ 98% ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงเกณฑ์การยอมรับ 85 - 115%

4.1.3 การทดสอบ Lab Fortified Blank (LFB)

การทดสอบ Lab Fortified Blank (LFB) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการทดสอบและการกลับคืนของสารใน Blank Matrix ผลการทดสอบ LFB วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เท่ากับ 0.5099 mg-N/L นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า % LFB Recovery (สมการที่ 10) เท่ากับ 101.98% ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงเกณฑ์การยอมรับ 85 - 115%

4.1.4 การทดสอบ Lab Fortified Matrix (LFM)

การทดสอบ Lab Fortified Matrix (LFM) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการทดสอบซึ่งอาจมีผลจาก Matrix Effect ผลการทดสอบ LFM วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เท่ากับ 0.2295 mg-N/L นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า % LFM Recovery (สมการที่ 11) เท่ากับ 115% ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงเกณฑ์การยอมรับ 80 - 120%

4.1.5 การทดสอบ Lab Fortified Matrix Duplicate (LFMD)

การทดสอบ Lab Fortified Matrix Duplicate (LFMD) เพื่อประเมินความเที่ยงของการทดสอบ Lab Fortified Matrix (LFM) ในข้อ 4.1.4 โดยทำการวิเคราะห์ซ้ำ ผลการทดสอบ LFMD วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เท่ากับ 0.2192 mg-N/L นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า %RPD (Relative Percent Difference) (สมการที่ 12) เท่ากับ 3% ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงเกณฑ์ยอมรับ $\leq 10\%$

4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ได้แก่ เวลา ปริมาณของซีโอไลท์ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำทิ้ง

การศึกษานี้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับโดยใช้โปรแกรม Design Expert ขั้นตอนการออกแบบการทดลองประกอบด้วยปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยคือ เวลา (นาที)

ปริมาณซีไอไลต์ (กรัม) และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) โดยแต่ละปัจจัยจะประกอบไปด้วย 2 ระดับ (ตาราง 4) เมื่อนำข้อมูลเข้าโปรแกรมจะได้รับการทดลองทั้งหมด คือ $(2 \times 2 \times 2 \times 3)$ เท่ากับ 24 การทดลอง ซึ่งสามารถแสดงการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ดังแสดงไว้ในตาราง 6

ตาราง 6 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

| RUN | Factor 1 A:Time (min) | Factor 2 B:Weight (g) | Factor 3 C:pH |
|-----|--------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 | 30 | 50 | 8 |
| 2 | 90 | 250 | 8 |
| 3 | 90 | 250 | 8 |
| 4 | 30 | 250 | 6 |
| 5 | 90 | 50 | 6 |
| 6 | 30 | 50 | 6 |
| 7 | 90 | 250 | 6 |
| 8 | 90 | 50 | 6 |
| 9 | 30 | 250 | 8 |
| 10 | 30 | 250 | 6 |
| 11 | 30 | 50 | 8 |
| 12 | 90 | 50 | 8 |
| 13 | 30 | 50 | 6 |
| 14 | 90 | 50 | 8 |

ตาราง 6 (ต่อ)

| RUN | Factor 1 A:Time (min) | Factor 2 B:Weight (g) | Factor 3 C:pH |
|-----|--------------------------|--------------------------|---------------|
| 15 | 30 | 250 | 8 |
| 16 | 90 | 250 | 6 |
| 17 | 30 | 250 | 6 |
| 18 | 90 | 250 | 6 |
| 19 | 30 | 50 | 6 |
| 20 | 90 | 50 | 8 |
| 21 | 30 | 250 | 8 |
| 22 | 90 | 250 | 8 |
| 23 | 90 | 50 | 8 |
| 24 | 90 | 50 | 6 |

จากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า โดยเตรียมตามการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ใช้ปริมาณซีโอไลต์ ชนิดคลินอปติโลไลต์ ที่มีลักษณะเป็นเม็ด ขนาดขนาดประมาณ 3.00 – 5.00 มิลลิเมตร โดยใช้เวลา (นาที) ปริมาณซีโอไลต์ (กรัม) และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ตามตาราง 6 จากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างน้ำตามข้อ 3.2.2 และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer ก่อนดำเนินการทดสอบศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของซีโอไลต์ ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งเบื้องต้นก่อนทำการดูดซับด้วยซีโอไลต์ โดย pH ของน้ำทิ้งอยู่ที่ 6.0 – 8.0 พบว่ามีค่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ เท่ากับ 600.40 mg-N/L ซึ่งปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ตรวจพบมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำ ของกรมควบคุมมลพิษกำหนด จากนั้นทดสอบตามการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ตามตาราง 6 ได้ผลการทดลองการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ ดังแสดงในตาราง 7

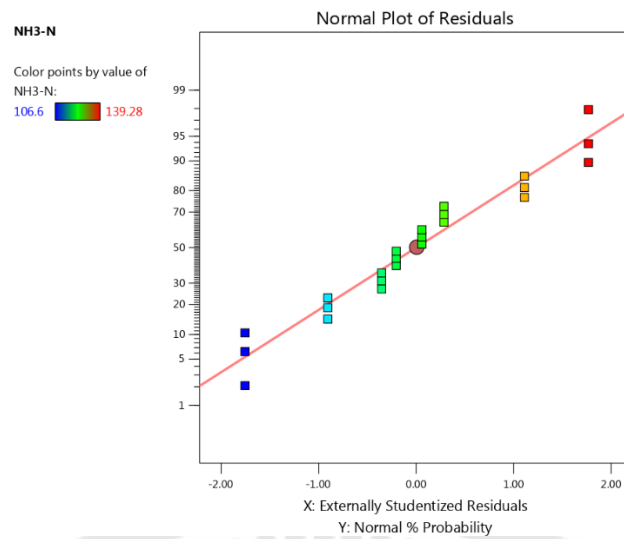
ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า โดยวิเคราะห์ตามการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

| RUN | Factor 1 A:Time (min) | Factor 2 B:Weight (g) | Factor 3 C:pH | NH ₃ -N (mg-N/L) |
|-----|--------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------------|
| 1 | 30 | 50 | 8 | 133.60 |
| 2 | 90 | 250 | 8 | 120.88 |
| 3 | 90 | 250 | 8 | 120.88 |
| 4 | 30 | 250 | 6 | 106.60 |
| 5 | 90 | 50 | 6 | 125.72 |
| 6 | 30 | 50 | 6 | 139.28 |
| 7 | 90 | 250 | 6 | 114.08 |
| 8 | 90 | 50 | 6 | 125.72 |
| 9 | 30 | 250 | 8 | 119.40 |
| 10 | 30 | 250 | 6 | 106.60 |
| 11 | 30 | 50 | 8 | 133.60 |
| 12 | 90 | 50 | 8 | 123.48 |
| 13 | 30 | 50 | 6 | 139.28 |
| 14 | 90 | 50 | 8 | 123.48 |
| 15 | 30 | 250 | 8 | 119.40 |
| 16 | 90 | 250 | 6 | 114.08 |
| 17 | 30 | 250 | 6 | 106.60 |
| 18 | 90 | 250 | 6 | 114.08 |
| 19 | 30 | 50 | 6 | 139.28 |
| 20 | 90 | 50 | 8 | 123.48 |
| 21 | 30 | 250 | 8 | 119.40 |
| 22 | 90 | 250 | 8 | 120.88 |
| 23 | 90 | 50 | 8 | 123.48 |
| 24 | 90 | 50 | 6 | 125.72 |

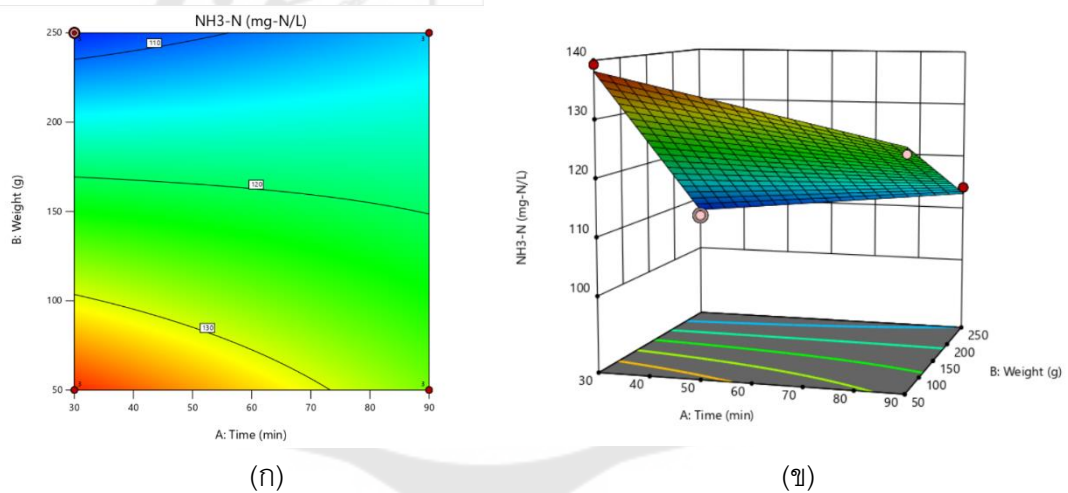
ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ได้แก่ เวลา (นาที) ปริมาณซีโอไลต์ (กรัม) และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำทิ้งที่เหมาะสม โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ตามตาราง 7 ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยซีโอไลต์ มีระดับของปัจจัยที่เหมาะสม ดังนี้ เวลา เหมาะสมที่ระดับ 30 นาที ปริมาณซีโอไลต์ (กรัม) เหมาะสมที่ระดับ 250 กรัม และค่าความเป็นกรดต่าง เหมาะสมที่ระดับ pH 6.0 จะทำให้ได้ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งลดลงมากที่สุด

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

การตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Design Expert เป็นการตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) โดยพิจารณาการกระจายของค่า Residuals ซึ่งใช้การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) โดยการนำข้อมูลที่ได้ดังแสดงในตาราง 6 มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Residuals กับค่า Normal %Probability จากกราฟพบว่าค่า Residuals มีการกระจายตัวเป็นแนวเส้นตรง แสดงว่าค่า Residuals มีการแจกแจงแบบปกติ ดังภาพประกอบ 11 และสามารถสร้างกราฟโครงร่าง (Contour plot) และกราฟพื้นผิวตอบสนอง (Response surface plot) ดังภาพประกอบ 12 (ก) และ 12 (ข) ตามลำดับ จากกราฟทั้งสองแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่ 30 นาที ปริมาณซีโอไลต์ 250 กรัม และค่าความเป็นกรดต่าง 6.0 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ซีโอไลต์สามารถดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าได้ดีที่สุด



ภาพประกอบ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Residuals กับค่า Normal %Probability



ภาพประกอบ 12 กราฟโครงร่าง (Contour plot) (ก) และกราฟพื้นผิวตอบสนอง (Response surface plot) (ข)

4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

การตรวจสอบการทดลองพบว่าไม่มีความผิดปกติของการทดลอง เพราะข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นเส้นตรง และได้นำข้อมูลจากตาราง 6 มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดโดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ($p\text{-value} < 0.05$) ดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

| Source | Sum of Squares | df | Mean Square | F-value | p-value |
|-------------|----------------|----|-------------|---------|----------|
| Model | 2219.26 | 6 | 369.88 | 188.16 | < 0.0001 |
| A-Time | 81.25 | 1 | 81.25 | 41.34 | < 0.0001 |
| B-Weight | 1400.87 | 1 | 1400.87 | 712.64 | < 0.0001 |
| C-pH | 51.16 | 1 | 51.16 | 26.02 | < 0.0001 |
| Residual | 33.42 | 17 | 1.97 | - | - |
| Lack of Fit | 33.42 | 1 | 33.42 | - | - |
| Pure Error | 0.0000 | 16 | 0.0000 | - | - |
| Cor Total | 2252.68 | 23 | - | - | - |

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าความแปรผันของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า โดยใช้โปรแกรม Design Expert พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง อย่างมีนัยสำคัญ (p -value < 0.05) คือ เวลา (นาที) ปริมาณซีโอไลต์ (กรัม) และค่าความเป็นกรดต่าง (pH)

4.5 การทดสอบหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสมจากปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

การทดสอบเบื้องต้นได้ทำการนำน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้ามาวิเคราะห์ก่อนทำการดูดซับด้วยซีโอไลต์ โดย pH ของน้ำทิ้งอยู่ที่ 6.0 – 8.0 พบว่ามีค่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเท่ากับ 600.40 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษกำหนด และได้นำน้ำทิ้งนั้นมาผ่านการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยซีโอไลต์ โดยใช้สภาวะปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ดังแสดงในตาราง 7 พบว่ามีค่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง เท่ากับ 106.60 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของซีโอไลต์ ตามสมการที่ 13 ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 แสดงสภาวะที่เหมาะสมจากปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ และร้อยละการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งของซีโอไลต์

| ปัจจัย (สัญลักษณ์) | ระดับของปัจจัย ที่เหมาะสม (หน่วย) | ปริมาณ NH ₃ -N ก่อนดูดซับด้วย ซีโอไลต์ (mg-N/L) | ปริมาณ NH ₃ -N หลังดูดซับด้วย ซีโอไลต์ (mg-N/L) | ร้อยละการ ดูดซับ |
|---------------------------------|---|---|---|---------------------|
| 1.เวลา (A) | 30 นาที | | | |
| 2.ปริมาณน้ำหนัก ซีโอไลต์ (B) | 250 กรัม | 600.40 | 106.60 | 82.30 |
| 3.ความเป็นกรด ต่าง (pH) (C) | 6.0 | | | |

4.6 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าด้วยซีโอไลต์

การทดสอบพฤติกรรมการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง สามารถอธิบายโดยศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ คือสมการดูดซับแลงเมียร์และฟรุนดลิช โดยทำการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาร้าด้วยซีโอไลต์ กำหนดให้ใช้ซีโอไลต์ ปริมาณ 50 100 150 200 และ 250 กรัม ลงในบีกเกอร์ต่อปริมาตรน้ำทิ้ง 500 มิลลิลิตร ค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่ 6.0 ทำการเขย่าที่อัตรา 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ทำการเตรียมตัวอย่างน้ำนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer ตัวอย่างละ 3 ข้ว ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน แสดงดังในตาราง 10 จากนั้นนำข้อมูลผลการทดลองมาคำนวณ หาค่าการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ตามสมการที่ 4 เมื่อใช้ปริมาณซีโอไลต์ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 10 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ที่มีปริมาณแตกต่างกัน

| ปริมาณซีโอไลต์ (กรัม) | ซ้ำที่ | ปริมาณ NH ₃ -N หลัง ดูดซับด้วยซีโอไลต์ (mg-N/L) | ค่าเฉลี่ย |
|--------------------------|--------|--|---------------------|
| 50 | 1 | 271.36 | 265.43 ^a |
| | 2 | 262.24 | |
| | 3 | 262.68 | S.D. = 5.14 |
| 100 | 1 | 238.44 | 241.21 ^b |
| | 2 | 239.72 | |
| | 3 | 245.48 | S.D. = 3.75 |
| 150 | 1 | 213.56 | 215.72 ^c |
| | 2 | 220.20 | |
| | 3 | 213.40 | S.D. = 3.88 |
| 200 | 1 | 183.04 | 178.60 ^d |
| | 2 | 177.20 | |
| | 3 | 175.56 | S.D. = 3.93 |
| 250 | 1 | 170.16 | 170.91 ^e |
| | 2 | 168.12 | |
| | 3 | 174.44 | S.D. = 3.23 |

หมายเหตุ : ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาร้า เริ่มต้นเท่ากับ 918.59 mg-N/L ค่า S.D. (Standard Deviation) = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า ^{a, b, c, d} และ ^e แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น p-value < 0.05 โดยวิธี Duncan Multiple Rang Test

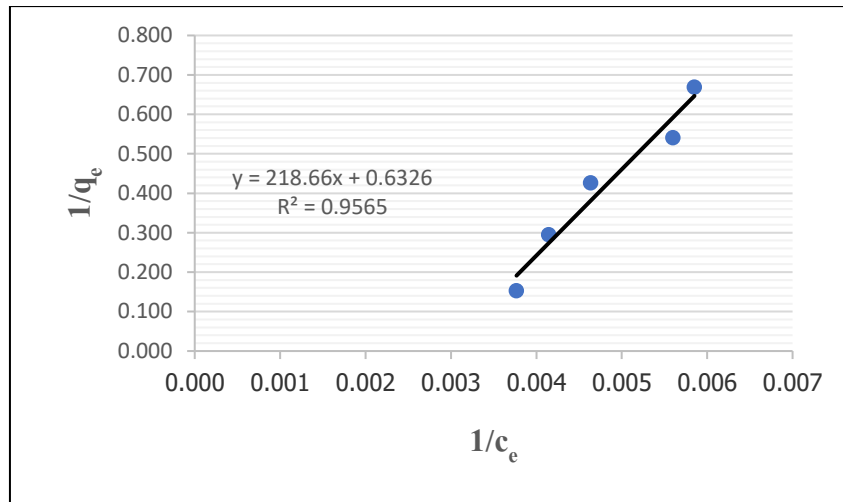
ตาราง 11 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำที่จากโรงงานผลิตปลากระป๋อง ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่ 6.0 เวลา 30 นาที ด้วยซีโอไลต์ที่มีปริมาณแตกต่างกัน

| ปริมาณ ซีโอไลต์ (กรัม) | c_e (mg/L) | q_e (mg/g) | $1/c_e$ | $1/q_e$ | $\log c_e$ | $\log q_e$ |
|------------------------------|--------------|--------------|---------|---------|------------|------------|
| 50 | 265.43 | 6.532 | 0.004 | 0.153 | 2.424 | 0.815 |
| 100 | 241.21 | 3.387 | 0.004 | 0.295 | 2.382 | 0.530 |
| 150 | 215.72 | 2.343 | 0.005 | 0.427 | 2.334 | 0.370 |
| 200 | 178.60 | 1.850 | 0.006 | 0.541 | 2.252 | 0.267 |
| 250 | 170.91 | 1.495 | 0.006 | 0.669 | 2.233 | 0.175 |

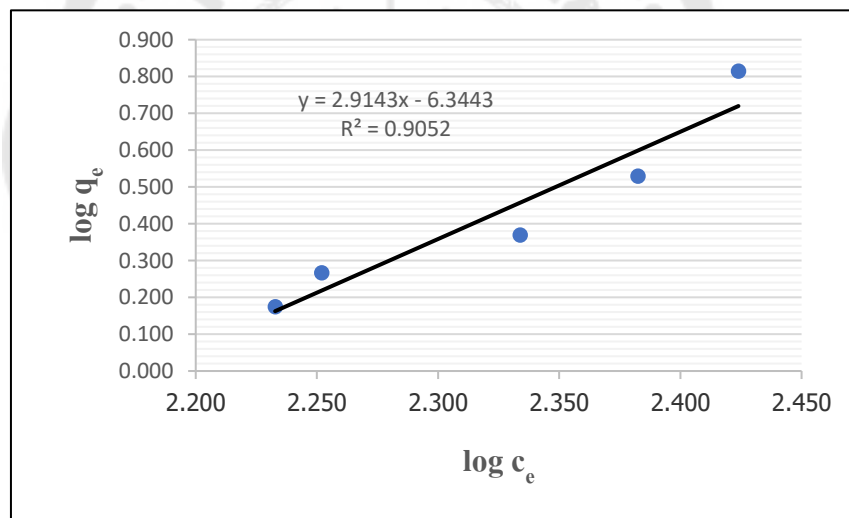
ผลการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำที่จากโรงงานผลิตปลากระป๋องของซีโอไลต์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณค่าการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (q_e) และความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำที่ผ่านการดูดซับ (c_e) ดังแสดงในตารางที่ 11 โดยใช้สมการไอโซเทอร์มแลงเมียร์ และฟรุนด์ลิช ผลการศึกษาแสดงดังตาราง 12 และภาพประกอบที่ 13-14

ตาราง 12 ค่าคงที่ไอโซเทอร์มแลงเมียร์ และฟรุนด์ลิช การดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำที่ด้วยซีโอไลต์

| ไอโซเทอร์มแลงเมียร์ | | | ไอโซเทอร์มฟรุนด์ลิช | | |
|---------------------|--------------|--------|---------------------|--------|--------|
| q_m (mg/g) | K_L (L/mg) | R^2 | K_F (L/mg) | $1/n$ | R^2 |
| 1.581 | 0.007 | 0.9565 | 0.005 | 2.9143 | 0.9052 |



ภาพประกอบ 13 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำที่
ด้วยซีโอไลต์



ภาพประกอบ 14 ฟรอนต์ลิชไอโซเทอร์มของการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำที่
ด้วยซีโอไลต์

จากตาราง 12 นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบไอโซเทอร์มการดูดซับระหว่างสมการของแลงเมียร์ และฟรอนต์ลิชโดยพิจารณาค่า R^2 หากมากกว่าหรือเท่ากับ 0.8 แสดงว่าการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำด้วยซีโอไลต์สอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มนั้น พบว่าพฤติกรรมการดูดซับของสมการไอโซเทอร์มแลงเมียร์ ($R^2=0.9565$) เหมาะสมมากกว่าสมการไอโซเทอร์ม

พหุนต์ลีซ ($R^2=0.9052$) ค่าการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงสุด (q_m) เท่ากับ 1.581 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคงที่ของแลงเมียร์ (K_L) เท่ากับ 0.007 ลิตรต่อมิลลิกรัม

4.7 การศึกษาการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพสำหรับการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า

ศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งโดยแบ่งการทดลอง เป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ใช้ซีโอไลต์ ปริมาณ 250 กรัม การทดลองที่ 2 ใช้ถ่านชีวภาพ ปริมาณ 250 กรัม และการทดลองที่ 3 ใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ ปริมาณอย่างละ 125 กรัม⁽⁴⁾ ลงในบีกเกอร์ โดยทั้ง 3 การทดลองจะใช้น้ำทิ้ง 500 มิลลิลิตร ค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่ 6.0 ทำการเขย่าที่อัตรา 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างน้ำและนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer การทดลองละ 3 ซ้ำ และได้ผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 13 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า

| การทดลองที่ (วัสดุดูดซับ) | ซ้ำที่ | ปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ (mg-N/L) | ค่าเฉลี่ย | ร้อยละการ ดูดซับเฉลี่ย |
|------------------------------|--------|---|-------------------------------------|---------------------------|
| (ซีโอไลต์) | 1 | 171.08 | 170.27 ^a S.D. = 5.03 | 81 |
| | 2 | 174.84 | | |
| | 3 | 164.88 | | |
| (ถ่านชีวภาพ) | 1 | 389.64 | 401.71 ^b S.D. = 10.96 | 55 |
| | 2 | 404.44 | | |
| | 3 | 411.04 | | |
| (ซีโอไลต์และ ถ่านชีวภาพ) | 1 | 93.00 | 87.08 ^c S.D. = 5.64 | 90 |
| | 2 | 81.76 | | |
| | 3 | 86.48 | | |

หมายเหตุ : ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาร้าเริ่มต้นเท่ากับ 895.80 mg-N/L ค่า S.D. (Standard Deviation) = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า ^{a,b} และ ^c แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น p-value <0.05 โดยวิธี Duncan Multiple Rang Test

ผลการศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า พบว่าการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งของทั้ง 3 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 (ซีโอไลต์) การทดลองที่ 2 (ถ่านชีวภาพ) และการทดลองที่ 3 (ซีโอไลต์และถ่านชีวภาพ) โดยแต่ละการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของซีโอไลต์ (การทดลองที่ 1) มีประสิทธิภาพการดูดซับได้ดีกว่าถ่านชีวภาพ (การทดลองที่ 2) ที่ร้อยละ 81 และ 55 ตามลำดับ และการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ (การทดลองที่ 3) มีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนดีที่สุด ที่ร้อยละ 90 ดังแสดงในตาราง 13



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยเรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของซีโอไลต์สำหรับบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาว่า เมื่อได้ผลการดำเนินงานวิจัยเรียบร้อยแล้ว สามารถสรุปผลการดำเนินงาน โดยแบ่งหัวข้อสรุปผลได้ดังนี้

1. อภิปรายผล
2. สรุปผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผล

5.1.1 การทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์

จากผลการศึกษาความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์หาแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยอ้างอิงจากวิธีทดสอบมาตรฐานโดยเทคนิค Segment Continuous Flow Analysis ของกรมควบคุมมลพิษ⁽¹⁸⁾ พบว่า การศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในช่วง 0.10 – 2.00 mg-N/L นำผลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานซึ่งได้ค่า R² เท่ากับ 0.999 ค่า % Calibration check เท่ากับ 98% ค่า % LFB Recovery เท่ากับ 102% ค่า % LFM Recovery เท่ากับ 115% และค่า % RPD เท่ากับ 3% ซึ่งจากผลการทดสอบทั้งหมดอยู่ในช่วงเกณฑ์ยอมรับของวิธีทดสอบมาตรฐานวิเคราะห์หาแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำของกรมควบคุมมลพิษ

5.1.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ได้แก่ เวลา ปริมาณ ความเป็นกรดต่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำทิ้งที่เหมาะสม

จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) โดยใช้โปรแกรม Design Expert โดยปัจจัยหลักมี 3 ปัจจัยคือ เวลา (นาที) ปริมาณซีโอไลต์ (กรัม) และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) จากการออกแบบการทดลองที่ได้ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน คือ เวลา 30 นาที ปริมาณซีโอไลต์ 250 กรัม และค่า pH 6.0 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mazloomi F, Jalali M (2016)⁽²⁰⁾ ที่พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนียด้วย คลินอปติโลไลต์ เท่ากับ 30 นาที ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย

ดีที่สุด เท่ากับร้อยละ 85 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ มณีวรรณและสุขุม⁽¹⁴⁾ ที่พบว่าช่วง pH 6.0 – 8.0 เป็นระดับที่เหมาะสม และการใช้ซีโอไลต์ปริมาณมากจะมีประสิทธิภาพในการกำจัด แอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ดีกว่าการใช้ซีโอไลต์ปริมาณน้อย และงานวิจัยของ Ding et al. (2015)⁽²¹⁾ ว่าที่สภาพ pH 6.0 มีอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากสารละลายในน้ำที่สูง

5.1.3 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าด้วยซีโอไลต์

การทดสอบพฤติกรรมการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า สามารถอธิบายได้จากไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนด์ลิช โดยงานวิจัยนี้พฤติกรรมการดูดซับของสมการไอโซเทอร์มแลงเมียร์ เหมาะสมมากกว่าสมการไอโซเทอร์มฟรุนด์ลิช การดูดซับที่เกิดขึ้น เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวและเป็นการดูดซับทางกายภาพ⁽⁴⁾ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al. (2006)⁽²²⁾ พบว่าการดูดซับแอมโมเนียมีความสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของแลงเมียร์มากกว่าไอโซเทอร์มของฟรุนด์ลิช ค่าปริมาณแอมโมเนียที่ถูกดูดซับ เท่ากับ 1.74 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกรัม เวลาสมดุลการดูดซับ เท่ากับ 2.5 ชั่วโมงเมื่อทดลองกับน้ำชะมูลฝอย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เสาวภา (2558)⁽²³⁾ ซึ่งได้ศึกษาการดูดซับอโรฟอสเฟตด้วยแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่เผา พบว่าสอดคล้องกับไอโซเทอร์มแลงเมียร์ เนื่องจากพื้นผิวตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียวตัวดูดซับมีการเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนแปลงตำแหน่งกันกับตัวดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ

5.1.4 การศึกษาการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้า

ผลการศึกษาการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับดีกว่าเมื่อเทียบกับการดูดซับด้วยซีโอไลต์หรือถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อัญรินทร์ พิธาภักดีสถิต (2559)⁽⁴⁾ ซึ่งศึกษาการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านกัมมันต์ 15 และ 5 กรัม/น้ำโคลง 100 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการลดแอมโมเนีย เท่ากับร้อยละ 93.33 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Feng et al. (2016)⁽²⁴⁾ ศึกษาพบว่าถ่านชีวภาพจากผักตบชวามีประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียมในน้ำทิ้งสังเคราะห์ได้ 49.837, 36.899 และ 25.826 มิลลิกรัมต่อกรัม และงานวิจัยของ กุลธิดา (2557)⁽²⁵⁾ นำถ่าน

ชีวภาพจากเปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด กะลามะพร้าว เมล็ดลำไย และเปลือกขนุน มาศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด ไอออนทองแดงในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ พบว่า เปลือกทุเรียนมีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงได้สูงสุดที่ 1.50 กรัม ส่วน เมล็ดลำไยมีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงได้ต่ำสุดที่ 0.50 กรัม ดังนั้น ชนิดของวัสดุดูดซับและปริมาณที่ใช้มีผลต่อการกำจัด ไอออนทองแดง โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของสารดูดซับ ลักษณะและขนาดรูพรุนของถ่านชีวภาพ

5.2 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ได้แก่ เวลา ปริมาณซีโอไลต์ ความเป็นกรดต่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าที่เหมาะสม สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ด้วยโปรแกรม Design Expert พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยซีโอไลต์ อยู่ที่เวลา 30 นาที ปริมาณซีโอไลต์ 250 กรัม และค่า pH ที่ 6.0 จากปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าก่อนผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ เท่ากับ 600.40 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร เมื่อผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ตามสภาวะที่เหมาะสมพบว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลง เท่ากับ 106.60 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งซีโอไลต์สามารถกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง ได้ร้อยละ 82.30

2. การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งด้วยซีโอไลต์ โดยศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ และฟรุนด์ลิช พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์เหมาะสมกว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนด์ลิช โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9565 และ 0.9052 ตามลำดับ ค่าการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ได้แก่ q_m เท่ากับ 1.581 มิลลิกรัม/กรัม K_L เท่ากับ 0.007 ลิตร/กรัม K_F เท่ากับ 0.005 และ $1/n$ เท่ากับ 2.9143

3. การศึกษาการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ ในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาร้าพบว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งก่อนผ่านการดูดซับ เท่ากับ 895.80 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร เมื่อผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งลดลง เท่ากับ 87.08 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งได้ร้อยละ 90 งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ ในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีประสิทธิภาพการกำจัดที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้

ซีโอดีหรือถ่านชีวภาพในการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว คือ ร้อยละ 81 และ 55 ตามลำดับ

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาสภาวะอื่น ๆ ที่ซีโอดีใช้ในการดูดซับเพิ่มเติม เช่น อุณหภูมิ ปริมาณ และเวลาสัมผัสที่เพิ่มขึ้น
2. ควรมีการศึกษาการดูดซับของซีโอดีร่วมกับถ่านชีวภาพที่ผลิตขึ้นจากวัสดุอื่น ๆ เช่น ไม้ แกลบ กะลามะพร้าว เป็นต้น
3. ควรศึกษาความสามารถในการดูดซับของซีโอดีในมลพิษอื่น ๆ ในน้ำทิ้ง เช่น บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น โลหะหนัก เป็นต้น
4. ควรมีการศึกษานำซีโอดีไปประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียให้ดียิ่งขึ้น
5. การนำซีโอดีไปใช้ดูดซับน้ำทิ้ง อาจมีค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อควรรศึกษาราคาจากแหล่งที่ขายให้ชัดเจน และควรวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าต่อการนำไปใช้งาน

บรรณานุกรม

1. สุชาติดา ยางเอน. การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากตู้เลี้ยงปลาโดยการกรองด้วยหินภูเขาไฟ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2546.
2. กรมควบคุมมลพิษ. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน 24 กุมภาพันธ์ ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 111 ตอนที่ 16 2537. 2537.
3. จุฬารัตน์ อุปชาภัยและนาตยา วัฒนพจน์. การสังเคราะห์ซีโอไลต์: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2549.
4. อัญรินทร์ พิธาภักดีสถิตย์. การดูดซับธาตุอาหารจากน้ำคลองด้วยซีโอไลต์ร่วมกับถ่านกัมมันต์ กรณีศึกษาคลองขุดหมื่น จังหวัดสมุทรปราการ [ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)]: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2559.
5. ดร. จิตรลดา ชูมี. การดูดซับโลหะทองแดงในสารละลายด้วยซีโอไลต์ที่สังเคราะห์จากแกลบข้าว: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา; 2555.
6. กุลธิดา สะอาด. รอบรู้วิทย์ "มารู้จักถ่านชีวภาพกันเถอะ" สสวท. มีนาคม-เมษายน 2560;45(205).
7. ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย. การผลิตถ่านชีวภาพและแนวทางการใช้ประโยชน์2562 25 ธันวาคม 2562. Available from: https://erp.mju.ac.th/acticleDetail.aspx?qid=1072&fbclid=IwAR1A2U_2YqVJIFcKCGZdUu0mO4layPADJnhBT3dN4fy42AOCX-hZF_-Ympw.
8. ชัยพร ภูประเสริฐ. ผลของค่าอัตราส่วนซีโอไลต์ต่อไนโตรเจนที่มีต่อระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ [วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.)]: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2538.
9. อังสนา ฉั่วสุวรรณและสังวาลย์ ราชธรรมมา. ผลกระทบของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำ กลุ่มทดสอบน้ำและก๊าซโครงการเคมี 2549.

10. สุภาวดี โกยคุลย์. การกำจัดไนโตรเจนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม. RMUTSB ACADEMIC JOURNAL. 2557.
11. สำนักสุขาภิบาลอาหารและน้ำ กก. คู่มือวิชาการ แนวทางการควบคุมการประกอบกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ การผลิต สะสม หรือแบ่งบรรจุอาหารหมักดองจากสัตว์ประเภท ปลา ร้า ปลา ส้ม ปลาจ่อม หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆที่คล้ายคลึงกัน. 2561.
12. ปราโมช เขียวชาญ. การปรับปรุงคุณภาพน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม ตอนที่ 2 กระบวนการดูดซับ. วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ.
13. วิวัฒน์ ยิ่งสุทธิพันธุ์. การวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์]: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2556.
14. มณีวรรณ เกตะวันดีและสุขุม ไร่ใจ. การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสีย โรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยแมงกานีสซีโอไซด์. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
15. ศิลป์ชัย มณีขัติย์. การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ด้วยแมงกานีสซีโอไซด์ในแบบจำลองคลองวนเวียน: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2552.
16. Mohd Ridhwan Adam TM, Mohd Hafiz Dzarfan Othman, Mohd Hafiz Puteh, Mohamad Arif Budiman Pauzan, A.F. Ismail, Azeman Mustafa, Mukhlis A. Rahman, Juhana Jaafar, Mohd Sohaimi Abdullah,. Feasibility study of the hybrid adsorptive hollow fibre ceramic membrane (HFCM) derived from natural zeolite for the removal of ammonia in wastewater. Process Safety and Environmental Protection. 2562;122:378-85.
17. ชาญชัย คหาปนะ. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้วัสดุดูดซับที่เตรียมจากผักตบชวา. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2563,(พฤษภาคม-สิงหาคม);15(2):58-70.
18. กรมควบคุมมลพิษ. วิธีทดสอบปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างน้ำโดยเทคนิค Segment Continuous Flow Analysis. วิธีทดสอบมาตรฐาน. 2562(1):1-9.

19. SKALAR. Methode Ammonia , Catnr 155-318w/r issue 012513/WK/99278419.
20. Mazloomi F, jalali M. Ammonium removal from aqueous solutions by natural Iranian zeolite in the presence of organic acids, cations and anions. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2016;4(2):1664-73.
21. Ding Y, Sartaj M. Statistical analysis and optimization of ammonia removal from aqueous solution by zeolite using factorial design and response surface methodology. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2015;3(2):807-14.
22. Wang Y, Liu S, Xu Z, Han T, Chuan S, Zhu T. Ammonia removal from leachate solution using natural Chinese clinoptilolite. Journal of Hazardous Materials. 2006;136(3):735-40.
23. เสาวภา ไวยสุศรี. การบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่. รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม. 2558.
24. Feng L, Kaixuan, Shen, Xiaolin, Long, Jiasheng, Wen, Xiaojie, Xie, Xiangyun, Zeng, Yanyan, Liang, Yansha, Wei, Zefeng, Lin, Wenrou, Huang, Ruida, Zhong,. Preparation and Characterization of Biochars from Eichornia crassipes for Cadmium Removal in Aqueous Solutions. 2016;10:1-13.
25. กุลธิดา สะอาด. ประสิทธิภาพการดูดติดผิวไอออนทองแดงของถ่านชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ. รายงานผลการวิจัย วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ 2557.

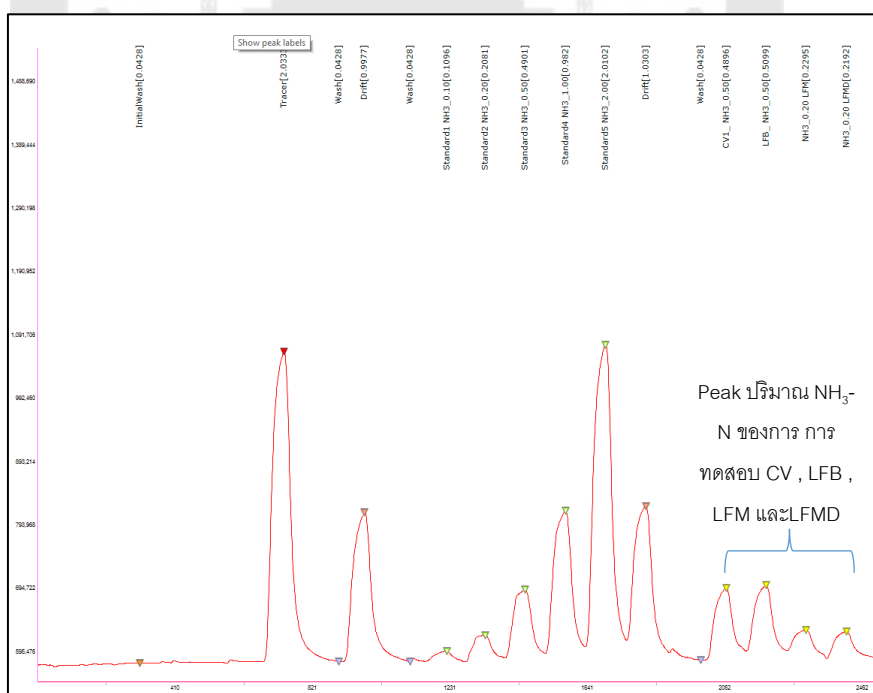




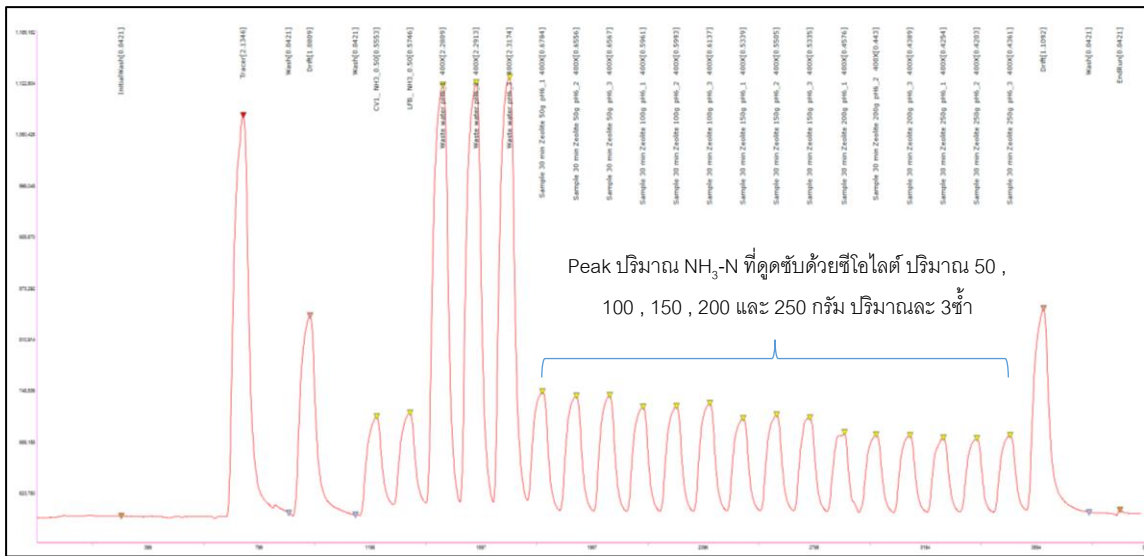
ข้อมูลผลการวิเคราะห์

ตาราง 14 การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์

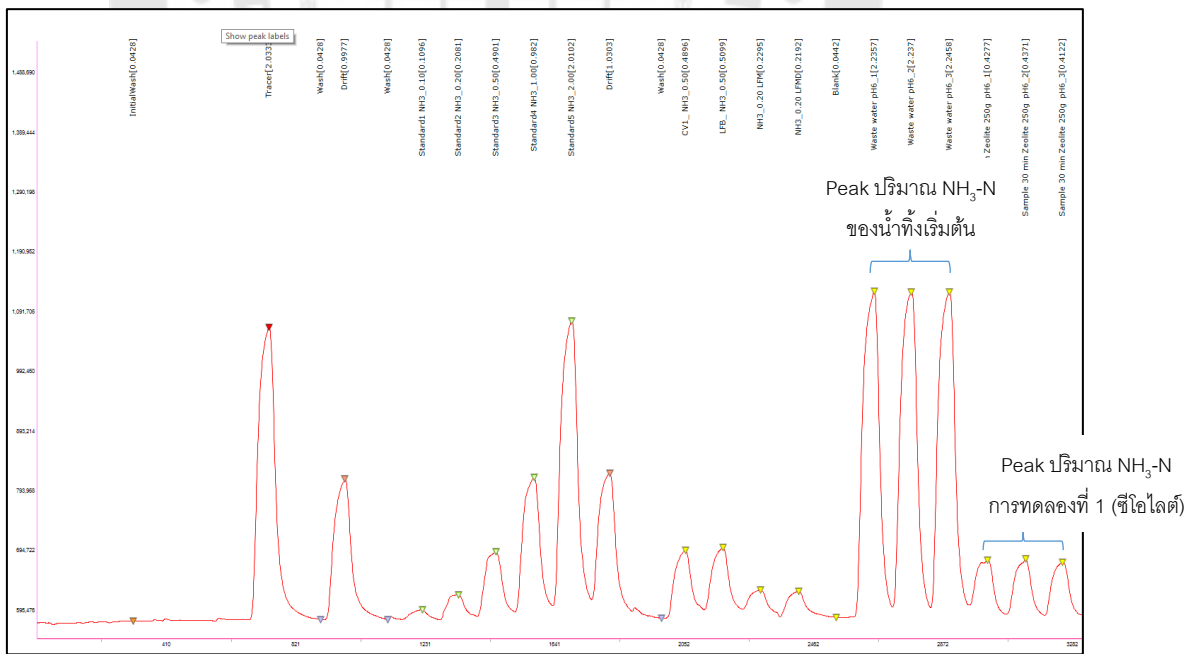
| ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg N/L) | การทดสอบ | ปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่วัดได้(mg N/L) |
|---|---------------------------------------|---|
| 0.20 | Lab Fortified Matrix (LFM) | 0.2295 |
| | Lab Fortified Matrix Duplicate (LFMD) | 0.2192 |
| 0.50 | Calibration verification (CV) | 0.4896 |
| | Lab Fortified Blank (LFB) | 0.5099 |



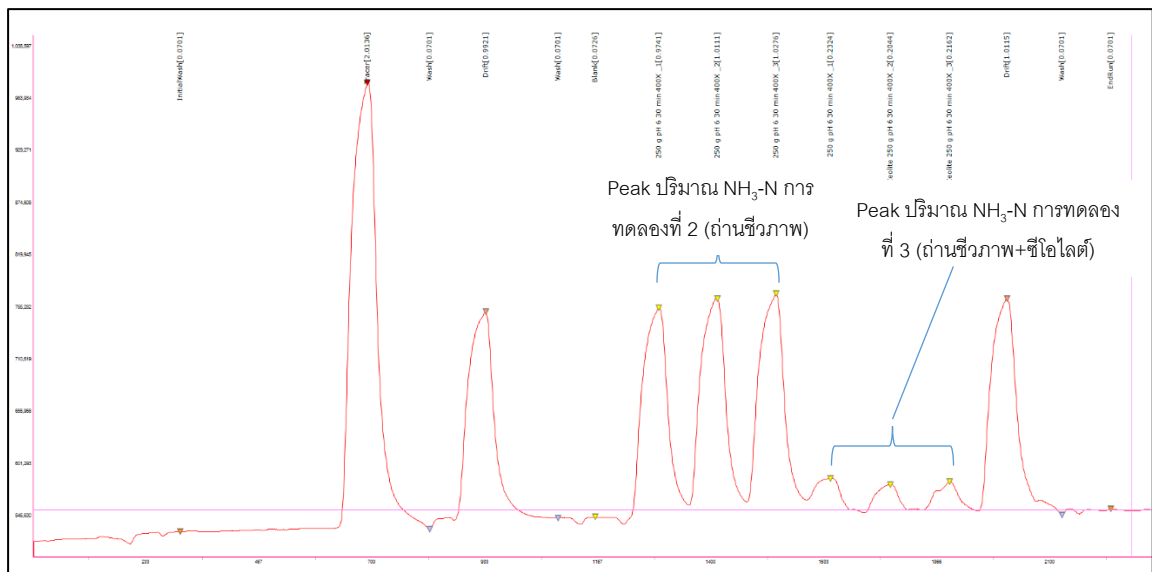
ภาพประกอบผนวก 15 กราฟแสดงค่าการวิเคราะห์ทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ ที่วัดได้จากเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer (แกน Y คือ Peak Height และแกน X คือ เวลา)



ภาพประกอบผนวก 16 กราฟแสดงการศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าด้วยซีโอไลต์ ที่วัดได้จากเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer (แกน Y คือ Peak Height และแกน X คือ เวลา)



ภาพประกอบผนวก 17 กราฟแสดงการศึกษาการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจาก โรงงานผลิตปลาร้าด้วยซีโอไลต์ (การทดลองที่ 1) ที่วัดได้จากเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer (แกน Y คือ Peak Height และแกน X คือ เวลา)



ภาพประกอบผนวก 18 กราฟแสดงการศึกษาการดูดซับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตปลาร้าด้วยถ่านชีวภาพ (การทดลองที่ 2) และซีโอไลต์ร่วมกับถ่านชีวภาพ (การทดลองที่ 3) ที่วัดได้จากเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer (แกน Y คือ Peak Height และแกน X คือ เวลา)

ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล | นางสาวสุวดี แพบัว |
| วัน เดือน ปี เกิด | 20 พฤศจิกายน พ.ศ.2533 |
| สถานที่เกิด | นครสวรรค์ |
| วุฒิการศึกษา | ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยนเรศวร ปริญญารัฐประศาสนศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาการจัดการ (วิชาเอกการบริหารทรัพยากรมนุษย์) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | เดอะทรีสต์ คอนโด งามวงศ์วาน 74/611 ม.2 ต.บางเขน อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี 11000 |

