โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การสังเคราะห์ทรายแมวจากซีโอไลต์

Synthesis of Cat Litter From Zeolite

ชื่อนิสิต นายเจษบดินทร์ ทวีทรัพย์เพิ่มพูน **เลขประจำตัว** 6033215823

นายพีรกานต์ มงคลสินธุ์ **เลขประจำตัว** 6033256523

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรื่อง

การสังเคราะห์ทรายแมวจากซีโอไลต์

เสนอ

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตามระเบียบการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์

1. นาย เจษบดินทร์ ทวีทรัพย์เพิ่มพูน 6033215823
2. นาย พีรกานต์ มงคลสินธุ์ 6033256523

อนุมัติโดย

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันทนีย์ พุกกะคุปต์)
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม

หัวข้องานวิจัย การสังเคราะห์ทรายแมวจากซีโอไลต์

โดย นายเจษบดินทร์ ทวีทรัพย์เพิ่มพูน
นายพีรกานต์ มงคลสินธุ์

สาขาวิชา เซรามิกและวัสดุศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.วันทนีย์ พุกกะคุปต์

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

การศึกษาพบว่าผู้วิจัยสามารถใช้ pitcher ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานเซรามิค ทำปฏิกิริยากับโซเดียม ไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งเป็นเบสแก่ สังเคราะห์ Zeolite ได้ ด้วยวิธีการ Hydrothermal ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยการแช่ในน้ำอุ่น และจากผลการวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction เพื่อยืนยันผลการสังเคราะห์ Zeolite พบว่า ผู้วิจัยสามารถสังเคราะห์ Zeolite ได้ 2 ชนิด ได้แก่ Hydroxy Sodalite และ Faujasite Na-X โดยทั้ง 2 ชนิด มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่สูง การศึกษาวิธีการสังเคราะห์ทรายแมวผู้วิจัยเลือกใช้ส่วนผสมของ Zeolite และ ดินเหนียว (Bentonite) ตามสัดส่วน 85 : 15 ตามลำดับ โดยเป็นสูตรทั่วไปของทรายแมวปกติ และในช่วงต้นผู้วิจัยใช้วิธีการขึ้นรูปโดยการใช้เครื่อง Rotary Pan แต่มีข้อเสีย คือ ต้องมีการคัดขนาดและชิ้นงานที่มีขนาดไม่เหมาะสมกับการใช้งานจะถูกนำไปขึ้นรูปใหม่ซ้ำไปมาทำให้เสียเวลาและเปลืองทรัพยากร จึงมีการเปลี่ยนมาใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการ Extrusion โดยจำลองด้วยการใช้หลอดฉีดยา ซึ่งวิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพการขึ้นรูปได้ดีกว่า โดยขึ้นรูปได้ทั้งหมดไม่ต้องนำไปขึ้นรูปซ้ำ

Title	Synthesis of Cat Litter from Zeolite
Authors	Mr. Jasbadin Thaweesubpermpoon Mr. Peerakarn Mongkolsin
Department	**Materials Science**
Advisor	**Asst. Prof. Dr. Thanakorn Wasanapiarnpong**
Co-advisor	**Assoc. Prof. Dr. Wantanee Buggakupta**
Academic Year	**2020**

Abstract

The purpose of this study is to utilize ceramic pitcher (waste materials from ceramic factory) by react with sodium hydroxide. Synthesis of zeolites at 80 ^{o}C in walm water for 24 h and confirm phases by X-ray diffraction analysis. In order to determine the synthesized zeolites, there are two types of zeolites, namely hydroxysodalite and faujasite Na-X. Both types have high specific surface area. The study on the synthetic method of cat litter is based on the mixture of zeolite and bentonite clay. In this study, there was a problem, that is, the selection and reuse of specimens of inappropriate size resulted in a waste of time and evidence. Therefore, it has been replaced by extrusion forming method. The results show that this method has better forming efficiency and does not need to be repeated.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากผู้มีพระคุณทุกท่าน ดังต่อไปนี้

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์ ผู้ให้คำปรึกษาและคอยแนะนำในสิ่งที่เป็นประโยชน์กับผู้วิจัย

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.วันทนีย์ พุกกะคุปต์ ผู้ให้คำปรึกษาและคอยแนะนำในสิ่งที่เป็นประโยชน์กับผู้วิจัย

คณาจารย์และบุคลากรสาขาวิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการที่เป็นประโยชน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยสนับสนุนเงินทุนในงานวิจัย

ท้ายนี้ขอขอบคุณบุคคลท่านอื่นที่ไม่ได้เอ่ยนาม เช่น พี่ประจำศูนย์เครื่องมือต่าง ๆที่ คอยให้ความช่วยเหลือตลอดจนอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ รวมถึงกลุ่มคนที่คอยดูแลและให้กำลังใจในการทำงานวิจัยจนผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เจษบดินทร์ ทวีทรัพย์เพิ่มพูน

พีรกานต์ มงคลสินธุ์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ.....ก,ข

บทที่ บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....1

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 คุณสมบัติของซีโอไลต์.....3

2.2 ZeoliteSynthesis.....5

2.2.1 ขั้นการริเริ่มเกิดผลึก(Nucleation).....7

2.2.2 ขั้นการเลี้ยงผลึก(CrystalGrowth).....7

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ (SynthesisVariables).....8

2.2.4 Si/Al ratio.....8

2.2.5 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X จากดินขาวธรรมชาติ.....9

2.3 ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ซีโอไลต์.....9

2.3.1 Scanning Electron Microscopy (SEM).....9

2.3.2 X-ray Diffractometer (XRD).....10

2.4 การกักเก็บแอมโมเนียมของซีโอไลต์.....10

2.4.1 กระบวนการ SCR catalyst.....11

2.4.2 หน่วยปฏิกรณ์ดูดซับ (Adsorber Unit).....12

2.4.3 Ion Exchange Resis.....12

2.5 ประเภทของทรายแมว.....13

หน้า

บทที่ 3

การดำเนินงาน.....14

3.1 เก็บตัวอย่างทรายแมวในท้องตลาด 14

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....14

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ 14

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ทรายแมว 14

3.3 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....15

3.3.1 แร่ซีโอไลต์ 15

3.3.2 ดินเบนโทไนต์ 15

3.3.3 pitcher.....15

3.3.4 น้ำ 15

3.4 แผนภูมิขั้นตอนการสังเคราะห์ซีโอไลต์และทรายแมว.....16

3.5 การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล.....17

3.5.1 การเตรียมซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ.....17

3.5.2 การเตรียมตัวอย่างทรายแมว.....18

3.5.3 การทดสอบชิ้นงาน.....21

3.5.4 วิเคราะห์ผลการทดลองและปรับปรุงส่วนผสม.....21

3.6 ระยะเวลาในการดำเนินงาน.....22

บทที่ 4 การดำเนินงาน.....23

4.1 การตรวจสอบชนิดของ Zeolite.....23

กราฟแสดงการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ในแต่ละสูตรของสารตัวอย่าง.....24

หน้า

4.2 ผลวิเคราะห์การขึ้นรูปทรายแมว.....26

4.3 ผลการทดสอบทรายแมว.....27

4.3.1 การดูดซับน้ำ.....27

4.3.2 การดูดซับแอมโมเนีย.....28

4.3.3 Surface area.....28

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....29

เอกสารอ้างอิง.....30

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน แมว เป็นสัตว์เลี้ยงลำดับต้น ๆ ที่มนุษย์เรานิยมนำมาเลี้ยงไว้ประจำบ้านด้วยบุคลิก นิสัยขี้ประจบ บวกกับความน่ารักน่าเอ็นดูของแมว จึงทำให้ใครหลายคนเลือกที่จะเลี้ยงแมวไว้เป็นเพื่อนเล่นคลายเหงา แต่การเลี้ยงแมวนั้นก็ยังมีปัญหาที่พบ โดยเฉพาะในชุมชนเมืองหรือแม้แต่ในกรุงเทพมหานครที่ผู้คนอาศัยอยู่ในบ้านจัดสรร ตึกแถว อาพาร์ทเมนท์ หรือคอนโด ซึ่งไม่มีพื้นที่ให้แมวออกไปเดินเล่นและขับถ่ายของเสียนอกบ้าน ทำให้มีกลิ่นอึและฉี่ของแมวที่เหม็น ซึ่งหากขาดการดูแลที่เหมาะสมแล้ว กลิ่นเหล่านี้นอกจากจะสร้างความรำคาญ ให้กับสมาชิกในบ้านแล้ว ยังก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพ และรบกวนเพื่อนบ้านใกล้เรือนเคียงของเราอีกด้วย ทางเลือกหนึ่งที่เข้ามาช่วยแก้ ปัญหาเรื่องนี้คือ วัสดุที่เรียกว่า ทรายแมว

ทรายแมว คือวัสดุที่สังเคราะห์มาเพื่อให้มีคุณสมบัติที่สามารถดูดซับของเหลว กลบและเก็บกลิ่นที่แมวขับถ่ายออกมา โดยทรายแมวส่วนใหญ่ที่ขายในท้องตลาดมีองค์ประกอบที่นำมาใช้ผลิตหลายประเภท เช่น ซิลิกาเจล ดินเหนียวเบนโตไนต์ ถ่านไม้ ซังข้าวโพด ไม้สน เป็นต้น แต่วัสดุเหล่านี้แม้จะดูดซับความชื้นได้ดี แต่ก็มักกักเก็บกลิ่นไว้ไม่ค่อยได้ จึงทำให้เกิดกลิ่นเหม็นได้ อีกทั้งเมื่อใช้งานแล้วจะต้องนำไปกำจัดทิ้งไม่เกิดประโยชน์อีกด้วย เพื่อให้สอดคล้องกับแขนงวิชาที่ได้เรียนมา ตัวผู้วิจัยได้เลือกแร่ซีโอไลต์ สารประกอบกลุ่มอะลูมินโนซิลิเกตไฮเดรต ที่มีความพรุนตัวสูง มีสมบัติเป็นตัวกักเก็บของเหลวได้ดี นอกจากนี้แล้วซีโอไลต์ยังดูดซับแอมโมเนียได้ดี ลดปัญหากลิ่นเหม็นได้ หากใช้งานแล้วยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ใส่ต้นไม้เพื่อให้ปลดปล่อยแอมโมเนียเป็นปุ๋ยให้กับต้นไม้อย่างช้า ๆ ได้อีกด้วย

จากการเพิ่มขึ้นของประชากรแมว และความต้องการใช้ทรายแมวที่มีเพิ่มขึ้นตาม จึงเป็นเหตุให้ผู้วิจัยจัดทำการวิจัยนี้ขึ้นมา โดยตัวผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาเกี่ยวกับการใช้งาน ลักษณะ และสมบัติของทรายแมวที่มีจำหน่ายในท้องตลาด รวมไปถึงการพัฒนาสมบัติและเลือกใช้วัสดุให้ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์จากหินผุ ที่มีราคาถูกนำมาเป็นองค์ประกอบของทรายแมว

1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้ดินเบนโตไนต์ที่มีความเหนียวและทำให้ทรายเกาะกันเป็นก้อนเมื่อสัมผัสกับฉี่แมว

1.2.3 เพื่อลดปัญหาในการกำจัดทรายแมวที่ใช้งานแล้วมาใช้เป็นปุ๋ยเนื่องจากซีโอไลต์มีสมบัติการดูดซับแอมโมเนียได้ดีแล้วจึงปลดปล่อยอย่างช้า ๆ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 รวบรวมตัวอย่างทรายแมวที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบและทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ องค์ประกอบทางแร่ องค์ประกอบทางเคมี พื้นที่ผิวจำเพาะ การดูดซึมน้ำและสารเคมี

1.3.2 ศึกษาเงื่อนไขการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-X จากหินผุ เพื่อใช้ในการผลิตทรายแมวที่มีสมบัติในการดูดซับน้ำและแอมโมเนีย เพื่อให้มีคุณภาพใกล้เคียงหรือดีกว่าทรายแมวที่ขายในท้องตลาด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 รู้และเข้าใจถึงวัตถุดิบและองค์ประกอบหลักของทรายแมวที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด

1.4.2 สามารถสังเคราะห์ทรายแมวที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าและอาจมีราคาถูกกว่าทรายแมวในท้องตลาดได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติของซีโอไลต์

ซีโอไลต์ (Zeolite) คือสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (crystalline aluminosilicates) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO_4 หรือ AlO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปทรงเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedron) โดยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) อยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ ซึ่งโครงสร้างสามเหลี่ยมสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม (ใช้ออกซิเจนร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ซีโอไลต์เป็นผลึกแข็ง มีรูพรุนและช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบในสามมิติ ขนาดตั้งแต่ 2-10 อังสตรอม (1 อังสตรอมเท่ากับ $1x10^{-10}$ เมตร)นอกจากซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) และออกซิเจนแล้ว ในโครงสร้างโมเลกุลของซีโอไลต์ยังมีประจุบวกของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม เกาะอยู่อย่างหลวม ๆ และยังมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่างในโครงผลึกสามารถต้มให้เดือดระเหยออกไปได้

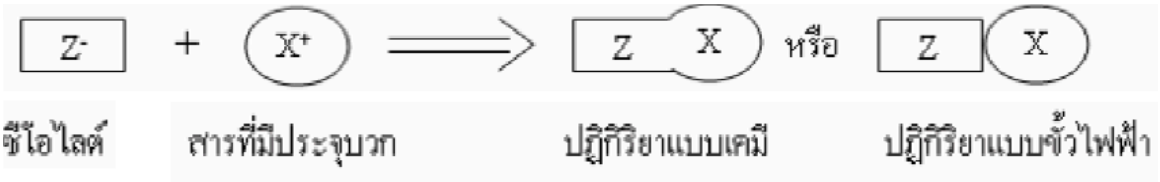
การจัดประเภทซีโอไลต์ กำหนดจากลักษณะองค์ประกอบของโพรงและช่องว่างเหล่านั้นจากโครงสร้างที่เฉพาะตัวของซีโอไลต์ จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายอย่าง ซึ่งแต่เดิมมักจะถูกนำใช้เพียงในด้านสมบัติ molecular sieve ปัจจุบันพบว่าซีโอไลต์ มีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งซีโอไลต์ประเภทที่มีการแทนที่ตำแหน่งของอะตอม Si ด้วย Al หรือธาตุอื่นๆ ซึ่งทำให้ ซีโอไลต์ มีสมบัติเป็นacid catalyst ลักษณะและขนาดของโพรงและช่องว่างต่างๆ ที่มีอยู่ทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในโพรง zeolites มี selectivity สูง ทำให้สมบัติในการเร่งปฏิกิริยาของ ซีโอไลต์ มีความเฉพาะตัวและเป็นที่สนใจความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของซีโอไลต์ นอกจากจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการยึดจับ guest และการถ่ายทอดโปรตอนแล้วยังขึ้นกับความสามารถในการแพร่ของโมเลกุล guest ในโพรงซีโอไลต์ อีกด้วยนอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนด้วยอิออนของโลหะจะทำให้ zeolites มีสมบัติการเร่งปฏิกิริยาพิเศษมากขึ้น ซึ่งอิออนโลหะที่ใส่เข้าไปจะเป็นชนิดเดียวหรือหลายชนิดที่เรียกว่า co-cation ก็ได้

ซีโอไลต์นั้นอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติในรูปของแร่ธาตุ มีการทำเป็นเหมืองซีโอไลต์ในพื้นที่หลายแห่งของโลก หรืออาสังเคราะห์ขึ้นได้โดยกระบวนการทางเคมี เพื่อประโยชน์ทางการค้า ซึ่งจะทำให้ได้ซีโอไลต์ที่มีสมบัติเฉพาะเจาะจง รวมทั้งอาจมีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ในห้องปฏิบัติการเพื่อประโยชน์ในการศึกษาลักษณะทางเคมีของซีโอไลต์เองด้วย

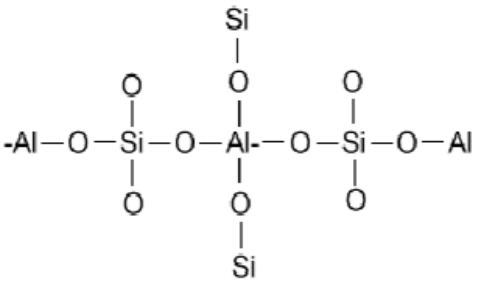
ซีโอไลต์นั้นมีมากกว่า 600 ชนิด แต่สามารถแบ่งกลุ่มตามชนิดของโครงสร้างได้ประมาณ 40 ชนิด ซึ่งความแตกต่างในโครงสร้างนี้มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของซีโอไลต์ เช่น โครงสร้างผลึกความหนาแน่น ขนาดของโพรง ความแข็งแรงของพันธะ เป็นต้น การจำแนกชนิดของซีโอไลต์นั้นอาศัยขนาดและรูปร่างของโพรงซีโอไลต์เป็นหลัก ซึ่งจะทำให้นำซีโอไลต์ไปใช้ประโยชน์ในงานที่แตกต่างกันไป

2.1.1 การทำงานของซีโอไลต์

จะทำงานในลักษณะปฏิกิริยาเคมี โดยการแลกเปลี่ยนไอออน หรือปฏิกิริยาแบบขั้วไฟฟ้าเมื่อใส่ซีโอไลต์ลงในน้ำ ซีโอไลต์จะแสดงตัวเป็นประจุลบหรือขั้วลบ Z- แล้วไปจับกับสารพวกที่มีประจุบวกหรือขั้วบวก X+ ที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น แอมโมเนียมและซัลไฟด์ หรือโลหะหนักเป็นต้น ดังรูปที่ 2.1

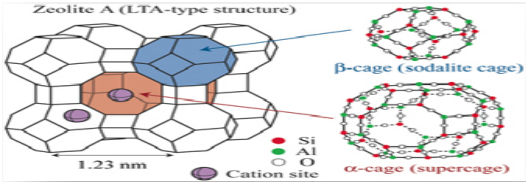


รูปที่ 2.1 ลักษณะการทำงานของซีโอไลต์

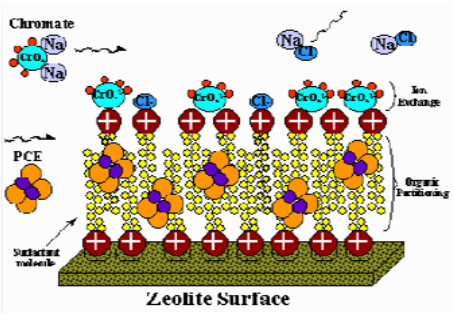


รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานทางเคมีของซีโอไลต์

2.1.2 โครงสร้างของซีโอไลต์



รูปที่ 2.3 ซีโอไลต์ Surface



รูปที่ 2.4 ซีโอไลต์ A (LTA-type structure)

2.2 การสังเคราะห์ซีโอไลต์

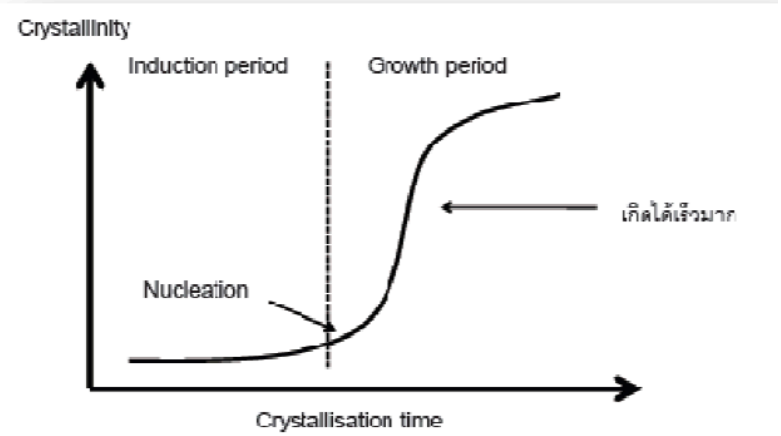
ปัจจุบันการสังเคราะห์ซีโอไลต์ มีหลายวิธีการ เช่น การใช้ Microwave ในการให้ความร้อน การใช้สารละลายที่มีฟลูออไรด์ การสังเคราะห์โดยไม่ใช้น้ำ เป็นต้น การสังเคราะห์แบบดั้งเดิม ใช้สารละลาย เบส เป็นตัวกลาง บาร์เรอร์ (Barrer, 1950s) สังเคราะห์เลียนแบบ ซีโอไลต์ที่พบในธรรมชาติ นำไปสู่การสังเคราะห์ซีโอไลต์ใหม่ ๆ ที่มีชนิด โครงสร้าง และอัตราส่วนธาตุต่าง ๆ ตามที่เราต้องการ กระบวนการก่อผลึกจะเกิดในระบบปิด (Autogeneous Pressure) ผ่านการเป็นเจลของสารประกอบ ภายใต้สมดุลการเป็นสารละลายและเจล เรียกว่ากระบวนการโซล-เจล (Sol-Gel Process)

รูปที่ 2.5 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ด้วยกระบวนการโซล-เจล (Sol-Gel Process)

เมื่อนำสารละลายหรือเจลของซิลิกา มาผสมกับสารละลายอะลูมินา ในสภาวะเบสที่มีการปั่นกวนจะได้เจลผสม Aluminosilicate Gel ที่เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อให้ความร้อน และ/หรือความดัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงผ่านกระบวนการ Hydrolysis และ condensation ในช่วงแรกบางส่วนจะเกิด hydrolysis อยู่ในรูสารละลายโดยอยู่ในรูปของผสมของ monomer และ oligomer เป็นเจลที่ไม่เสถียร (Unstable Gel) โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตลอดเวลา เป็นเจลสัณฐาน Amorphous Gel การจัดเรียงตัวใหม่จะให้ aluminosilicate gel ที่เป็นระเบียบมากขึ้น เรียกว่า เจลกึ่งเสถียร (Metastable Gel) ที่สภาวะนี้สำคัญอย่างยิ่งในการก่อผลึก โดยสามารถเกิด Condensation ไปเป็น unstable gel Hydrolysis ไปเป็น primary building unit ซึ่งทำให้เกิดสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated Solution) Condensation เป็น secondary building units ที่เป็น precursor ในการเกิดผลึกซีโอไลต์

รูปที่ 2.6 การสังเคราะห์ Zeolite

ในการสังเคราะห์ จำเป็นต้องควบคุมองค์ประกอบทางเคมีความเป็นเบส อุณหภูมิและความดัน หากอุณหภูมิสูงเกินไป สารละลายจะมีประจุสูง ละลายน้ำได้ดี aluminosilicate speices จะเสถียรในรูปสารละลาย และไม่เกิดเป็นผลึกซีโอไลต์ หากควบคุมให้เกิด metastable gel มากก็จะมีโอกาสเปลี่ยนไปเป็น SBUs มากขึ้น ทำให้เกิดเป็นซีโอไลต์ เรียกช่วงแรกนี้ว่า ช่วงเหนี่ยวนำ (Induction Period) หลังจากนั้นจึงเกิด ช่วงก่อผลึก (Growth Period)



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงการเกิดผลึก

2.2.1 ขั้นการริเริ่มเกิดผลึก (Nucleation)

เมื่อ aluminosilicate gel เข้าสู่สภาพ metastable gel แล้ว zeolite precursors ในรูป SBUs เริ่มจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างขนาดเล็ก Nucleation Alumina species มีบทบาทสำคัญอย่างมาก สำหรับซีโอไลต์ Si/Al ต่ำ alumina species จะเหนี่ยวนำไอออนบวกในสารละลายให้เกิดการรวมตัว และจัดเรียงโครงสร้างให้มีขนาดใหญ่ขึ้นSi/Al สูง การตกผลึกจะเหนี่ยวนำโดย Template ในสภาวะที่อุณหภูมิและความดันสูงสารละลายอิ่มตัวเร็วยิ่งขึ้น ช่วงเวลา Induction จะลดลง เกิด nucleation ได้เร็วที่อุณหภูมิต่ำ สารละลายมีความหนืดสูง การจัดเรียงตัวของ aluminosilicate species ช้า อัตราการเกิด nucleationจึงต่ำ Nuclei ไม่เสถียร สามารถถูก hydrolysis กลับไปใน solgel ได้ในช่วงนี้ การโตของผลึกจะช้า จนถึงระดับขนาดวิกฤต (Critical Size) จึงจะเสถียรอยู่ได้

2.2.2 ขั้นการเลี้ยงผลึก (Crystal Growth)

เมื่อ Nuclei มีขนาด critical size พลังงานการเกิดสูงมาก (Free Energy of Formation) และเกิดการเติบโตของผลึกอย่างรวดเร็ว โดยการลำเลียง aluminosilicate species ในเจลไปยังสารละลาย ในสภาวะที่เหมาะสมจะไม่เกิด Nucleation ในขั้นตอน crystal growth ได้ผลึกขนาดใกล้เคียงกัน โครงสร้างจะถูกกำหนดจากขั้น nucleation ซีโอไลต์ที่มี Si/Al สูง และมีขนาดผลึกใหญ่อาจมี องค์ประกอบทางเคมีของผลึกที่ผิวแตกต่างจากในเนื้อผลึกได้ เนื่องจากการตกผลึกจะถูกเหนี่ยวนำจากองค์ประกอบที่มี Al อยู่จึงอาจมีปริมาณ Al ในเนื้อผลึกมากกว่าที่บริเวณผิวนอก เมื่อผลึกขนาดใหญ่ขึ้น จะมีค่า Free Energy of Formationค่อย ๆลดลง

Si/Al ต่ำ Free Energy สูง และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลึกโตขึ้น Si/Al สูง หรือการสังเคราะห์ ที่อุณหภูมิสูง และรูปผลึกที่มีพื้นที่ผิวสูง เช่นเข็ม จะมี free Energy สูงกว่ารูปผลึกเหลี่ยม

ในช่วงท้ายของขั้น Crystal growth ผลึกจะหยุดโตเมื่อปริมาณ aluminosilicate species ถูกใช้ไปในการเกิดผลึกจนหมด แต่หาก free energy of formation ถูกใช้ไปจนหมด แล้วยังเหลือaluminosilicate species อยู่อาจนำไปสู่การ nucleation ใหม่ได้ ทำให้ขนาดผลึกไม่เท่ากัน ทำให้ซีโอไลต์ที่ได้ ไม่บริสุทธิ์ และอาจมี Amorphous Aluminosilicate ปน การตกผลึกที่สมบูรณ์จะเกิดได้เมื่อการ nucleation ให้nuclei มี critical size ใกล้เคียงกัน และเกิดขั้น crystal growth ในเวลารวดเร็ว รวมทั้ง ใช้ aluminosilicate species จนหมดในช่วงท้ายการสังเคราะห์ หากอัตราการเติบโตของผลึก (Crystal Growth) ช้ากว่าอัตราการริเริ่ม (Nucleation Rate)มากจะทำให้เกิด nucleation ขึ้นภายหลังและมีการกระจายของขนาดผลึกการลดเวลาการตกผลึกทำได้โดย การบ่ม (Aging) เจลของผสมก่อนตกผลึก โดยปั่นกวนเจลเริ่มต้นที่อุณหภูมิต่ำโดยไม่ให้ความร้อนเป็นเวลานาน อาจใช้ aging 6-24 ชม. สำหรับการสังเคราะห์ ซีโอไลต์Si/Al ต่ำ ที่ อุณหภูมิ 80-120 ^{o}C สำหรับ Si/Al สูง อาจใช้เวลามากกว่า 1 สัปดาห์ การ aging จะทำให้metastable gel เกิดได้ดีเมื่อให้ความร้อน การ nucleation เกิดได้เร็ว จำนวน nuclei มาก เร่งการโตได้อีกทาง

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์

- อัตราส่วน Si ต่อ Al Si/Al ratio
- ความเป็นเบส Basicity
- สารเทมเพลท Template
- อุณหภูมิและเวลา Temperature and Time

2.2.4 Si/Al ratio

- เจลที่มี Si/Al ratio ต่ำ จะเกิด โครงสร้างแบบ Cage Structure เช่น Zeolite A

- Si/Al ratio สูง มักจะเกิด โครงสร้าง Channel Structure เช่น ZSM-5 Ferrierite

ตารางที่ 2.1 ชนิด โครงสร้าง และสัดส่วน Si/Al ของซีโอไลต์แต่ละประเภท

ชนิด	โครงสร้าง	Si/Al
ZEOLITE A	LTA	1-1.25
ALPHA	LTA	2-3
FERRIERITE	FER	6-12
ZEOLITE Y	FAU	1.5-3
GMELINITE GME 3-4	GME	3-4
ZSM-20	FAU	3.5-5
ZSM-5	MFI	15-INFINITY
EU-1	NOVEL	50-2500
SSZ-23	CHA	250-750
BETA	BEA	12-INFINITY

ซีโอไลต์ Si/Al ต่ำ จะตกผลึกได้ เร็วกว่า ซีโอไลต์ Si/Al สูงเนื่องจาก alumina species ในเจลก่อให้เกิด interaction ระหว่าง negative charge กับ ไอออนบวก เช่น Zeolite A (Si/Al 1) ที่ 80-100 °C ใช้เวลาในการตกผลึก 1-2 ชม.ในขณะที่ Zeolite Y ที่ 100-110 °C ใช้เวลาในการตกผลึก 12-48 ชม. สำหรับพวก Si/Al สูงจะเกิดการตกเรียงตัวของ silica species รอบ สารก่อผลึก (Template) ในกรณีนี้ alumina species จะขัดขวางการจัดเรียงตัวรอบ template ทำให้ตกผลึกช้า เช่นSilicalite (Si/Al ∞) ที่ 150-180 °C ใช้เวลาในการตกผลึก 2-3 วัน ในขณะที่ ZSM-5 (Si/Al 15) ใช้เวลา 5-7 วัน

2.2.4 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X จากดินขาวธรรมชาติ

ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X จาก ดินขาวธรรมชาติด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลโดยใช้ดินขาวจากจังหวัดเพชรบูรณ์ที่มีองค์ประกอบ เป็นอะลูมิโนซิลิเกต (อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 6.20) ขั้นตอนการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X เริ่มจากการปรับปรุงคุณภาพเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในดินขาว ซึ่งประกอบด้วยการบด การเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการรีฟลักซ์กับสารละลายกรดไฮโดคลอริกเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร จากนั้นนำดินขาวทำปฏิกิริยากับเบสและเข้าสู่กระบวนการไฮโดรเทอร์มัล ตัวแปรที่ศึกษา คือ อัตราส่วนโดยโมลของซิลิกาต่ออะลูมินา อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินา อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัล และเวลาในการเกิดผลึก ภาวะที่เหมาะสมในการ

สังเคราะห์ซีโอไลต์คือ อัตราส่วนโดยโมลของซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 3.0 และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 12 ที่อุณหภูมิไฮโดรเทอร์มัลเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดผลึกเท่ากับ 48 ชั่วโมง สามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ Na-X ได้ร้อยละ 88.4 และทดสอบการดูดซับคลอไรด์ในเฮกเซนที่เป็นตัวทำละลาย ใช้แล้วจากกระบวนการผลิตพอลิเมอร์โดยใช้ซีโอไลต์ Na-X ที่สังเคราะห์ได้เป็นตัวดูดซับ

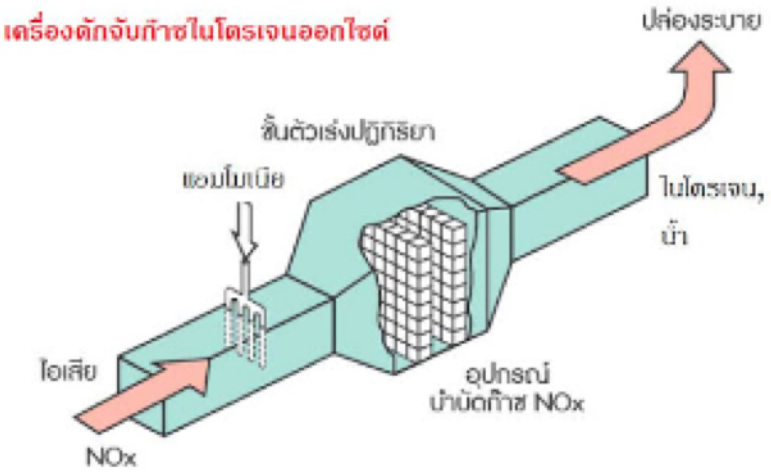
2.4 การกักเก็บแอมโมเนียมของซีโอไลต์

ซีโอไลต์มีสมบัติในความเป็นกรดที่แรงและสามารถปรับค่าความแรงของกรดได้ และมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ค่อนข้างสูงซึ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการที่ปฏิกิริยาเคมีเกิดที่อุณหภูมิสูงและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ที่อุณหภูมิสูง สามารถประยุกต์ในการดูดซับโมเลกุลสารเคมีที่เป็นมลพิษได้ทั้งในสถานะก๊าซและของเหลว ซีโอไลต์ได้ถูกนำมาเป็นวัสดุทางเลือกของกระบวนการ SCR คือกระบวนการการลดมลพิษอันเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลและเบนซิน เนื่องจากซีโอไลต์เป็นวัสดุที่มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง ซึ่งเมื่อลองทดสอบแล้วปรากฏว่าเหลือปริมาณ NH_3 น้อยที่สุด สรุปได้ว่า ซีโอไลต์เป็นวัสดุทางเลือกอีกอย่างหนึ่งสำหรับเทคโนโลยีในปัจจุบันที่ต้องการใช้ลดมลพิษที่จะถูกปลดปล่อยในสิ่งแวดล้อม กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเป็นกระบวนการที่สำคัญในอุตสาหกรรม รวมถึงใช้ประโยชน์ในการผลิตการเร่งปฏิกิริยาด้วยซีโอไลต์ที่มีตำแหน่งที่ว่องไว ชนิดต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรม และอยู่ในระหว่างการวิจัยนักวิจัยได้ให้ ความสำคัญกับการค้นคว้าและทดลองเพื่อปรับปรุงสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ทั้งในด้าน ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยา การเลือกสรรสารผลิตภัณฑ์ การทาความเข้าใจบทบาทของการเร่ง ปฏิกิริยาซีโอไลต์ที่มีตำแหน่งที่ว่องไวชนิดต่างๆ จะ เป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาการออกแบบตัวเร่ง ปฏิกิริยาต่อไป

2.4.1 กระบวนการ SCR catalyst

Miratech SCR Catalyst ให้การทำงานในกระบวนการการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีประสิทธิภาพถึง 2 ขั้นตอน- ขั้นตอนแรกคือขั้นตอนการ Oxidation ซึ่งทำหน้าที่ในการลดค่า CO และ HC, และ ขั้นตอนที่สองคือขั้นตอนของการ SCR ซึ่งจะลดค่าของ NOx (ออกไซด์ของไนโตรเจน)... ทั้งสองขั้นตอนนี้มีการทำงานร่วมกัน, สามารถลดค่าการสร้างมลพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอย่างรวดเร็วเพื่อให้ได้คุณภาพตรงตามมาตรฐานกฎข้อบังคับการควบคุมมลพิษกำหนด ในขั้นตอนของการทำปฏิกิริยาไม่ว่าจะเป็นแอมโมเนีย (ammonia) หรือ ยูเรียน้ำ (aqueous urea) ที่ถูกฉีดเข้าไปในกระแสไอเสีย ยูเรีย

(aqueous urea) จะถูกใช้แทนแอมโมเนีย (ammonia), เพราะยูเรียมีค่ามลพิษที่น้อยกว่า, และง่ายต่อการขนย้ายและจัดเก็บ ยูเรียถูกทำให้แตกตัวและจะทำลายกระแสไอเสียไปเป็น แอมโมเนีย (Ammonia)



รูปที่ 2.8 แบบจำลองระบบกรองก๊าซ SCR system

การประยุกต์การใช้งานด้านการดูดซับส่วนใหญ่มีจุดประสงค์หลักเพื่อคัดแยกของผสมในสถานะของไหล (Fluid) ดัง นั้นการนำซีโอไลต์มาใช้เป็นตัวดูด ซับนั้น ต้องคำนึงถึงขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับว่าสามารถแพร่ผ่าน window ของซีโอไลต์ได้หรือไม่และเมื่อโมเลกุลสามารถแพร่เข้าไปได้แล้วจะเกิด interaction กับรูพรุนของซีโอไลต์ชนิดนั้นๆ ได้ดีเพียงใด เราจึงสามารถพิจารณาเลือกซีโอไลต์มาใช้ในกระบวนการแยก (Separation Process) ได้อย่างเหมาะสม

2.4.2 หน่วยปฏิกรณ์ดูดซับ (Adsorber Unit)

การแยกสารโดยอาศัยการดูดซับที่ต่างกันจำเป็นต้องมีการคายซับ (Desorption) เพื่อแยกสารที่ถูกดูดซับไว้ออกมาอีกทั้งเป็นการนำตัวดูดซับ (Adsorption) กลับมาใช้ได้ใหม่อีกดังนั้นหน่วยปฏิกรณ์ดูดซับที่ใช้จึงต้องมีความเหมาะสมกับ ประเภทของสารที่ต้องการแยกด้วยโดยเราสามารถพิจารณาเลือกใช้หน่วยปฏิกรณ์ดูดซับได้จากลักษณะของ fluid ที่ต้องการแยกและวิธีการนำสารดูดซับกลับมาใช้ใหม่

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เม็ดดูดซับซีโอไลต์

สารที่ต้องการแยกอาจเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ทั้งนี้ต้องให้ fluid มีการสัมผัสกับ adsorbent มากที่สุด ซึ่งขึ้นกับถังปฏิกรณ์ที่ใช้ ลักษณะของ adsorbent และการออกแบบการไหลด้วย โดยรูปแบบของถังปฏิกรณ์เป็นที่นิยมใช้ได้แก่ ถังปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (FixedBed) ถังปฏิกรณ์แบบเบดไหล (FluidisedBed) และ ถังปฏิกรณ์ แบบถังกวน (Stirred Tank)

2.5 ประเภทของทรายแมว

ทรายแมวชนิดไม่จับเป็นก้อน (Non-clumping conventional litter) ซึ่งมีแร่ที่มีสารแมกนีเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก และมีสมบัติดูดซับน้ำได้ ทรายชนิดนี้ตามชื่อก็คือจะไม่จับตัวเป็นก้อนเมื่อมันเปียก ซึ่งเป็นจุดด้อยที่ทำให้ผู้ใช้ไม่นิยมใช้ทรายชนิดนี้ เพราะจะเก็บออกก็ยาก และ เมื่อไม่เก็บนานๆ เข้าก็จะส่งกลิ่นนั่นเอง

ทรายแมวชนิดจับเป็นก้อน (Clumping litter) มีสารเบนโทไนท์ (bentonite) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสารเบนโทไนท์เมื่อมันสัมผัสความชื้นหรือน้ำ สารจะจับตัวเป็นก้อนแข็งทำให้แยกเฉพาะส่วนที่เป็นก้อนออกมาง่าย แต่ด้วยเหตุที่ผลิตภัณฑ์มีสมบัติจับตัวเป็นก้อนได้ ดังนั้นผู้ผลิตทรายแมวชนิดนี้จึงมักระบุว่า ไม่สามารถเทลงในโถชักโครก เพราะจะทำให้เกิดการอุดตันได้ซึ่งทรายชนิดนี้ก็เป็นที่นิยมใช้กันส่วนมาก

ทรายแมวชนิดย่อยสลายทางชีวภาพได้ (Biodegradable litter) ส่วนมากนั้นจะใช้ส่วนประกอบธรรมชาติในการผลิต เช่น เศษไม้สน (pine wood pellet) ข้าวบาร์เลย์ (barley) ก้อนขี้เลื่อย (clump sawdust) เป็นต้น สำหรับผู้ที่ใส่ใจถึงเรื่องสิ่งแวดล้อมมากๆนั้นก็จะหันมาใช้ทรายแมวประเภทนี้กันมาก เพราะบางชนิดนั้นเก็บกลิ่นได้ดี จุดด้อยข้อนึงคือ มีราคาค่อนข้างสูงกว่าทรายแมวชนิดอื่น อีกข้อคือลักษณะของทรายบางตัวจะเบามาก เมื่อเลี้ยงแมวขนยาวอาจจะติดพันขนของแมวออกจากกระบะทรายมาด้วย

ทรายแมวชนิดซิลิกาเจล (Siliga gel litter) มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า คริสตัลลิทเทอร์ (crystal litter) เป็นวัสดุประเภทโซเดียมซิลิเกต (sodium silicate) มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ ทรายชนิดนี้มีข้อดีคือ สามารถเก็บกลิ่นได้นาน เก็บเฉพาะอึแมวเท่านั้น ไม่ต้องเก็บฉี่แมว ซึ่งถือว่าประหยัดได้พอสมควร แต่ยังคงมีกลิ่นอยู่ และทรายชนิดนี้น้ำหนักเบาเช่นกัน จึงอาจจะติดขนแมวออกมาด้วย

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทรายดูดซับฉี่แมวในท้องตลาด

บทที่ 3
วิธีดำเนินงาน

การวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งที่จะศึกษากระบวนการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เพื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมทรายแมวเพื่อดูดซับปัสสาวะของแมวที่จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทรายแมวที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด เนื่องจากมีสมบัติในการดูดซับแอมโมเนียที่เกิดจากปัสสาวะ โดยใช้ต้นทุนต่ำแต่ผลที่ได้เทียบเท่าหรือดีกว่าทรายแมวปกติ ซึ่งในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงสาระสำคัญเกี่ยวกับวิธีการศึกษาค้นคว้า เริ่มตั้งแต่การสำรวจความพึงพอใจและความต้องการการใช้งานทรายแมวของผู้เลี้ยงแมว แบบแผนงานการทำการทดลองทำวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ตามลำดับ

3.1 การสำรวจข้อมูลทรายแมวที่มีในท้องตลาด

การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจ และสร้างนวัตกรรม คือใช้แบบสอบถามเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้มาเพื่อวิเคราะห์ถึงความพึงพอใจของผู้บริโภค ศึกษาระดับการดำเนินงาน และนำข้อมูลไปสร้างนวัตกรรมเพื่อใช้แก้ปัญหา

3.1.1 การสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานทรายแมว

ประชากร ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ผู้ที่เลี้ยงแมว เคยใช้ทรายแมวจริง และกลุ่มจัดจำหน่ายทรายแมว

กลุ่มเป้าหมายที่ 1 เพื่อการรวบรวมข้อมูลของผู้จำหน่ายทรายแมว คือ

ผู้ประกอบการร้านจำหน่ายอุปกรณ์สำหรับสัตว์เลี้ยง จำนวน 5 ราย โดยมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

1. มีทรายแมวจำหน่าย
2. ใช้หรือเคยใช้ทรายแมว

กลุ่มเป้าหมายที่ 2 เพื่อรวบรวมข้อมูลของทรายแมว คือ

บุคคลที่เลี้ยงแมวและใช้ทรายแมว จำนวน 50 คน โดยมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

1. มีน้องแมวในครอบครอง
2. ใช้หรือเคยใช้ทรายแมว

หมายเหตุ : อาจใช้แบบสำรวจทางออนไลน์ หรือการแจกกระดาษให้ตอบแบบสอบถาม

3.1.2 เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือการวิจัยที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม โดนแบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การทำแบบสอบถามรูปแบบกระดาษ และการทำแบบสอบถามในรูปแบบออนไลน์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. แบบสอบถาม แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย แบ่งออกเป็น 4 คำถาม ดังนี้

คำถามที่ 1 เลี้ยงแมวพันธุ์อะไร

คำถามที่ 2 ใช้ทรายแมวหรือไม่

คำถามที่ 2.1 หากใช้ ระบุยี่ห้อ

คำถามที่ 3 เปลี่ยนสัปดาห์ละกี่ครั้ง

คำถามที่ 4 ความพึงพอใจในการใช้ทรายแมวยี่ห้อนี้ โดยมีความหมายของแต่ละดังนี้

5 หมายถึง พอใจมาก

4 หมายถึง พอใจ

3 หมายถึง ปานกลาง

2 หมายถึง ไม่ค่อยพอใจ
1 หมายถึง ไม่พอใจ

ข. การสร้างแบบสอบถาม

1. ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการสังเคราะห์ทรายแมว

2. กำหนดขอบเขต และโครงสร้างแบบสอบถาม เพื่อให้ครอบคลุมถึงข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการสังเคราะห์ทรายแมว

3.1.3 เก็บตัวอย่างทรายแมวในท้องตลาด

รวบรวมข้อมูลประเภท ชนิด ยี่ห้อ ของทรายแมวหรือผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกันที่มีอยู่ในท้องตลาด ทั้งในประเทศไทย และในต่างประเทศ แล้วทำการซื้อทรายแมวที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด อย่างน้อย 10 ตัวอย่าง/ยี่ห้อ/รุ่น แล้วนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะได้แก่

1. ราคาจำหน่าย ปริมาณบรรจุ ทั้งปริมาตรและน้ำหนัก
2. ความหนาแน่น
3. การกระจายขนาดของเม็ดทรายแมว และรูปทรง
4. ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางแร่
5. ทำการทดสอบสมบัติเฉพาะได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ การดูดซับน้ำ

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ทรายแมว ได้แก่

1. เครื่องบดผสมวัตถุดิบ
2. จานหมุนกลมขนาด 2 เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร โดยแกนหมุนเอียงจากแนวตั้งฉาก 45 องศา
3. เครื่องอบแห้ง
4. เครื่องขัดแยกขนาด (sieve)

3.3 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 แร่ซีโอไลต์

เป็นแร่ซีโอไลต์ที่จำหน่ายทั่วไป

3.3.2 ดินเบนโทไนต์

เป็นผงดินเหนียวที่มีจำหน่ายทั่วไป

3.3.3 น้ำ

น้ำที่ใช้จะเป็นน้ำประปา

3.4 แผนภูมิขั้นตอนการสังเคราะห์ซีโอไลต์และทรายแมว

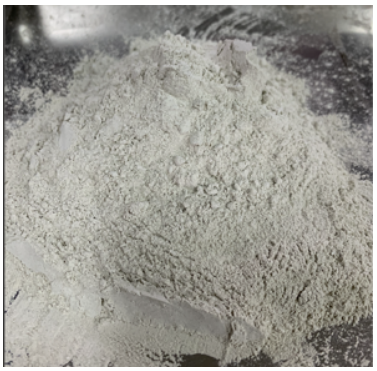
รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการทดลองเตรียมทรายแมวจากซีโอไลต์

3.5 การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการจากการสำรวจมาวิเคราะห์ โดยแบ่งเป็นพันธุ์ต่างๆ ของแมวมีผลต่อการใช้แมวยี่ห้อต่าง ๆ หรือไม่ ทรายแมวแต่ละยี่ห้อสามารถกลบหรือดูดซับกลิ่นของอึและฉี่ของแมวได้ดีหรือไม่โดยเป็นการสอบถามจากผู้ใช้งานจริง และแต่ละยี่ห้อผู้ใช้งานมีความพึงพอใจมากเพียงใด จากนั้นรวบรวมข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการสังเคราะห์ทรายแมวต่อไป

3.5.1 การเตรียมซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ็กซ์

1. เตรียมวัตถุดิบ 4 สูตร โดยเตรียม pitcher ปริมาณ 100 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 120, 100, 80 และ 60 กรัม ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 ตัวอย่าง pitcher จากโรงงาน Crown Ceramic ขนาด 325 mesh

2. ปั่นผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกัน ด้วยเครื่องปั่นผสมดิน เป็นเวลา 15 นาที

3. เผาแคลไซน์ส่วนผสมที่ได้ด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 6 ชั่วโมง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างที่ผ่านการเผาแคลไซน์

4. นำส่วนผสมที่ได้มาผ่านกระบวนการ Hydrothermal โดยการผสมน้ำ 400 กรัม และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5. กรองน้ำออก และล้างด้วยน้ำประปา 10 ครั้ง ปรับ pH ให้เป็นกลาง

6. นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

3.5.2 การเตรียมตัวอย่างทรายแมว

1. เตรียมวัตถุดิบ โดยการใช้แร่ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ็กซ์ที่เตรียมจากหัวข้อ 3.5.1 โดยใช้เป็นสูตรที่ 2 และดินเบนโทไนต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างแร่ซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้โดยใช้สูตรที่ 2

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างของดินเบนโทไนท์

2. บดผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกัน

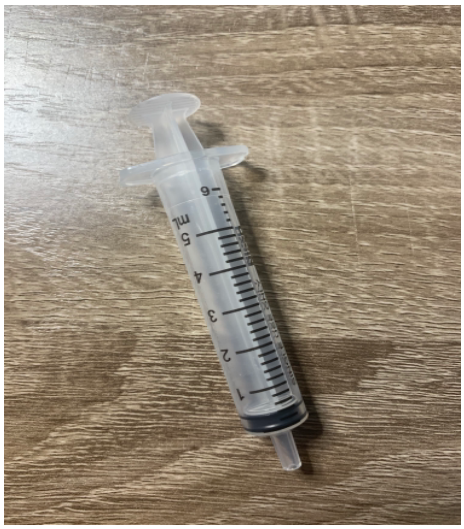
2.1 บดดินเบนโทไนท์ และซีโอไลต์ โดยใช้ โกร่งบดแร่ จากนั้นผสมตามสัดส่วน ซีโอไลต์ ต่อ เบนโทไนต์ 85 : 15 ให้เข้ากัน

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างโกร่งบดแร่

3. ผสมน้ำ 25% โดยน้ำที่ใช้เป็นน้ำประปาทั่วไป การผสมน้ำจะทำให้ส่วนผสมมีความเหนียวและจับตัวกันเนื่องจาก ดินเบนโทไนท์เป็นดินเหนียวที่มีสารอินทรีย์อยู่ปริมาณมาก ทำให้ส่วนผสมที่ได้มีการจับตัวและขึ้นรูปได้

4. ขึ้นรูปทรายแมว โดยใช้วิธีการฉีดขึ้นรูปด้วยหลอดฉีดยาขนาดปากเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร

4.1 นำวัตถุดิบที่ผสมแล้วบรรจุในหลอดฉีด



รูปที่ 3.7 หลอดฉีดยา จำลองการ Extrusion

4.2 ฉีดขึ้นรูชิ้นงานไว้บนภาชนะรองรับ โดยฉีดให้ชิ้นงานเป็นเสันตรงและไม่ซ้อนทับกัน

5. อบแห้ง อบชิ้นงานที่ได้ที่อุณหภูมิ 110 ℃ เพื่อให้น้ำระเหยออกจากชิ้นงานจนหมด

รูปที่ 3.8 ตวอย่างเครื่องอบแห้ง

http://www.greentechweb.com/index.php?lay=show&ac=cat_show_pro_detail&pid=257775

6. หักชิ้นงานให้มีความยาวประมาณ 1 ถึง 1.5 เซนติเมตร

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างทรายแมวที่ขึ้นรูปด้วยหลอดฉีดยา

3.5.3 การทดสอบชิ้นงาน

1. ทดสอบการดูดซับน้ำของทรายแมว

1.1 นำตัวอย่างทรายแมว สูตรต่างๆ รวมทั้งทรายแมวจากท้องตลาด (อบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง) ปริมาณ 500 กรัม บรรจุไว้ในถาดพลาสติก เกลี่ยให้ทั่วและมีความหนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร

1.2 เทน้ำกลั่น ปริมาณ 100 กรัม ลงไปตรงกลางถาดทรายแมว

1.3 จับเวลานับตั้งแต่เทน้ำกลั่นลงไป 5 นาที

1.4 ใช้พลั่วตะแกรงตักทรายแมว ตักตัวอย่างที่เกาะตัวกันเป็นก้อนเนื่องจากความชื้น ออกมาใส่ไว้ในบีกเกอร์

1.5 ชั่งน้ำหนักเปียก แล้วนำไปอบให้แห้ง (ในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง) แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เพื่อคำนวณปริมาณน้ำที่ดูดซับไว้ได้

1.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำ ของตัวอย่างทรายแมวต่างๆ

2. ทดสอบการดูดซับแก๊สแอมโมเนียของทรายแมว (ตัวแทนของฉี่แมว)

2.1 นำตัวอย่างทรายแมว สูตรต่างๆ รวมทั้งทรายแมวจากท้องตลาด (อบแห้งในเตาอบที่ อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง) ปริมาณ 50 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.2 เทสารละลายแอมโมเนีย (NH_4OH) ความเข้มข้น 25% ใส่ลงไปในตัวอย่างทรายแมวที่บรรจุในขวดรูปชมพู่ แล้วปิดด้วย plastic wrap

2.3 เก็บไว้ในห้องปฏิบัติการ เป็นเวลา 7 วัน (เป็นการจำลองการดูดซับกลิ่นฉี่ของทรายแมว)

2.4 วัดปริมาณแก๊สแอมโมเนียด้วยเครื่อง Ammonia Gas Detector AR8500 โดยวัด ณ เวลาหลังหยด 1 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 1 วัน, 2 วัน, 3 วัน, 4 วัน, 5 วัน, 6 วัน, 7 วัน วิธีการวัด เปิดเครื่องวิเคราะห์ปริมาณแก๊ส เปิด plastic wrap ที่ปิดฝาภาชนะออก นำบริเวณเซนเซอร์จุ่มไปในปากขวดรูปชมพู่ทันทีแล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 60 วินาที แล้วอ่านค่าที่วัดได้

2.5 หลังจากวัดเสร็จ ปิดขวดรูปชมพู่ด้วย plastic wrap เปลี่ยนวัดขวดทดลองอื่นโดยว่าค่าเป็น 0.0 ppm ทั้งหมด จากนั้นบันทึกผล

3.5.4 วิเคราะห์ผลการทดลองและปรับปรุงส่วนผสม

โดยสังเกตุว่าทรายแมวที่ได้มีคุณสมบัติครบถ้วนหรือไม่จากการทดลอง จากนั้นปรับสัดส่วนที่ใช้ผสมของแร่ซีโอไลต์ และดินเบนโทไนท์

3.6 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

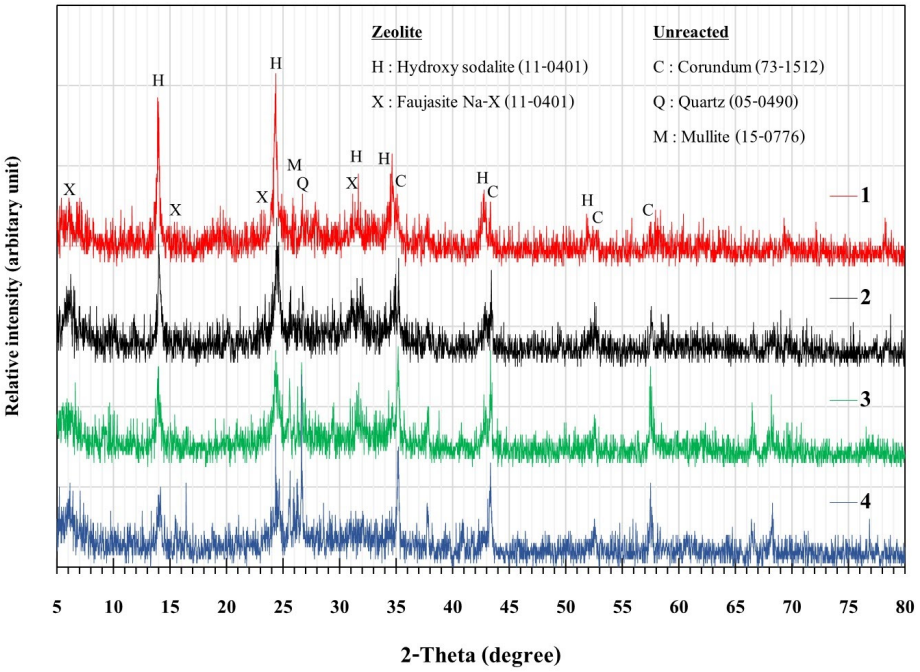
เดือน หัวข้อ	ส.ค. 2563	ก.ย. 2563	ต.ค. 2563	พ.ย. 2563	ธ.ค. 2563	ม.ค. 2564	ก.พ. 2564	มี.ค. 2564	เม.ย. 2564	พ.ค. 2564
สำรวจและหาข้อมูลการสังเคราะห์ Zeolite และการสังเคราะห์ทรายแมว	■	■	■	■	■	■	■			
จัดเตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ และวัตถุดิบที่จะใช้ในการสังเคราะห์ทรายแมว		■	■							
ทำการทดลองสังเคราะห์ทรายแมว				■	■					
ทดสอบการดูดซับน้ำ								■		
ทดสอบการดูดซับแก๊สแอมโมเนีย								■		
นำการทดลองมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล									■	
สรุปผลการทดลอง จัดทำรายงานและนำเสนอผลการทดลอง									■	■

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลองในภาพรวมของการวิเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ และผลการชึ้นรูปทรายแมว เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าทรายแมวที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่ และเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาแก้ไข และปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยผู้วิจัยได้กล่าวถึงทั้งในส่วนของผลการตรวจสอบชนิดและปริมาณของซีโอไลต์ และผลการทดสอบความสามารถของการใช้งานทรายแมวว่าสามารถดูดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากการขับถ่ายของแมว

4.1 การตรวจสอบชนิดของซีโอไลต์

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Diffraction (XRD) โดยได้ทำการวิเคราะห์สารตัวอย่าง 4 ชนิดที่ได้สังเคราะห์ขึ้นมาและคาดว่าจะเป็นซีโอไลต์ โดยใช้ ตั้งค่าการวิเคราะห์ดังนี้ เริ่มวิเคราะห์ตัวอย่างตั้งแต่มุม 5.000 องศา ถึง 80.000 องศา เปลี่ยนมุม 0.040 องศาต่อวินาที อุณหภูมิ 25 ^{o}C (อุณหภูมิห้อง)



จากการพิจารณากราฟที่ได้พบองค์ประกอบของแร่ที่น่าสนใจหลักๆอยู่ 5 ชนิด ได้แก่

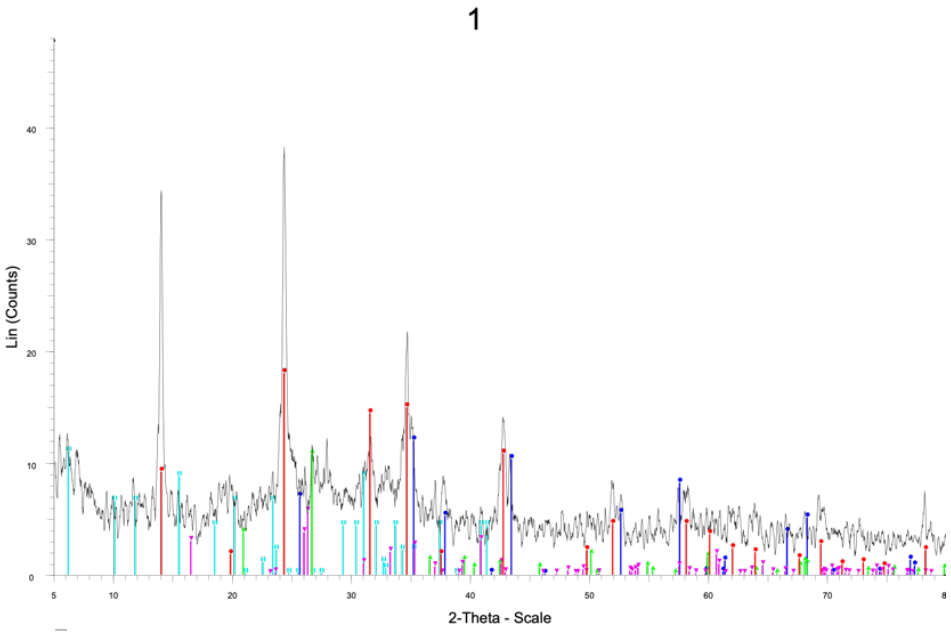
1. Faujasite - Na-X
2. Hydroxy sodalite
3. Corundum
4. Quartz
5. Mullite

โดยเมื่อพิจารณาแล้วพบแร่ Zeolite ทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ Faujasite Na-X และ Hydroxy sodalite สังเกตุได้จากกราฟ พีก H และ X ในกราฟ XRD โดยเกิดจากการทำปฏิกิริยา Hydrothermal ระหว่าง Al_2O_3, SiO_2 ใน pitcher กับ NaOH และได้ของเหลือจากกระบวนการคือ Quartz, Corundum และ Mullite ซึ่งเป็นส่วนเกินไม่ทำปฏิกิริยากับ NaOH ทำให้พิสูจน์ได้ว่าผู้วิจัยสมารถผลิต Zeolite ตามวัตถุประสงค์ข้อที่

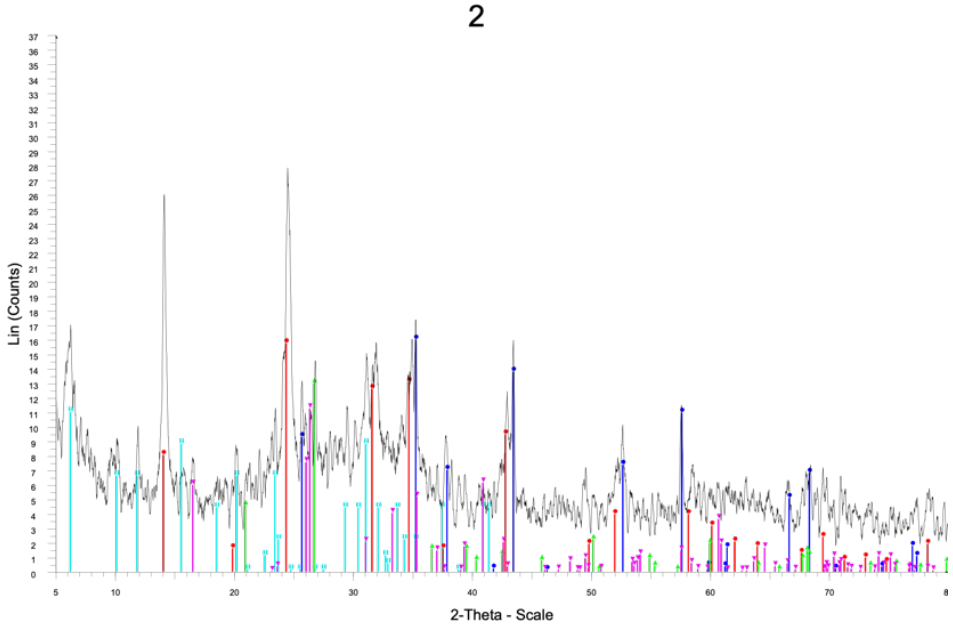
1 โดยหากพิจารณากราฟจะพบว่าสูตรที่ 2 เป็นสูตรที่มีปริมาณ Faujasite Na-X และ Hydroxy sodalite มากที่สุด สังเกตุได้จากความสูงของพีก H และ X และใช้ปริมาณ NaOH น้อยกว่าสูตรตั้งต้น 20 g ทำให้คาดการณ์ได้ว่าสูตรที่ 2 จะเหมาะสมในเรื่องของคุณสมบัติและต้นทุนในการผลิตทรายแมวต่อไป

กราฟแสดงการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ในแต่ละสูตรของสารตัวอย่าง

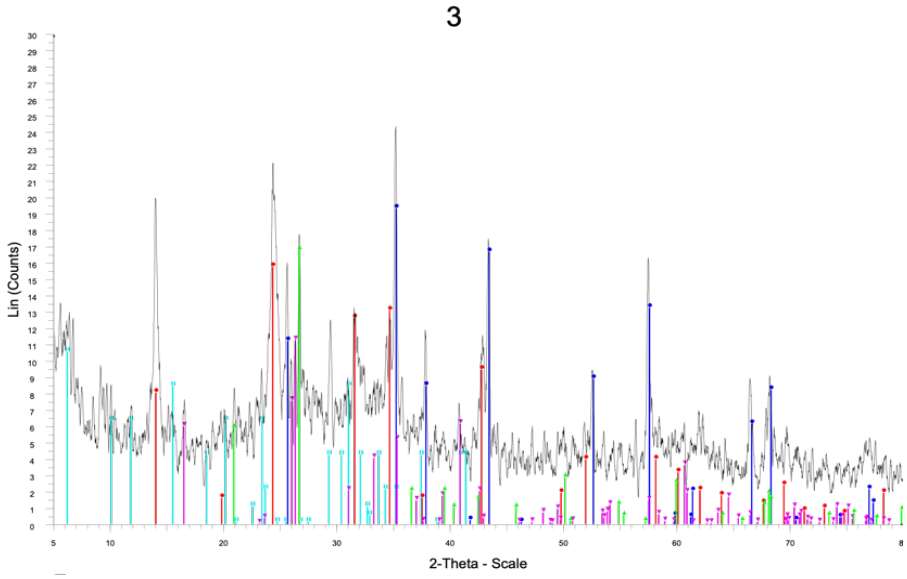
กราฟที่ 1 จากสารตัวอย่างสูตรที่ 1 ปริมาณ 6 NaOH : 5 Pitcher



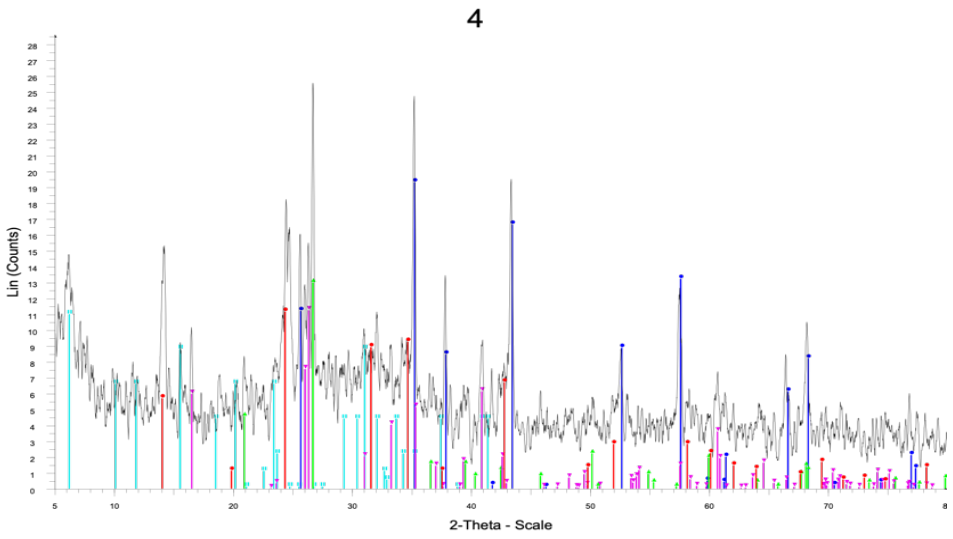
กราฟที่ 2 จากสารตัวอย่างสูตรที่ 2 ปริมาณ 5 NaOH : 5 Pitcher



กราฟที่ 3 จากสารตัวอย่างสูตรที่ 2 ปริมาณ 4 NaOH : 5 Pitcher



กราฟที่ 4 จากสารตัวอย่างสูตรที่ 2 ปริมาณ 3 NaOH : 5 Pitcher



4.2 ผลวิเคราะห์การขึ้นรูปทรายแมว

เนื่องจากผลการวิเคราะห์ด้วย Xray-Diffraction ทำให้เราทราบว่าสูตรที่ 2 มีปริมาณของ Zeolite สองชนิด คือ Hydroxy sodalite และ Faujasite Na-x ที่ใกล้เคียงกับสูตรที่ 1 แต่ใช้ปริมาณของ NaOH น้อยกว่า 20 กรัม เราจึงเลือกใช้ Zeolite สูตรที่ 2 ในการขึ้นรูปทรายแมวต่อไป เนื่องจากสูตรที่ 2 จะมีต้นทุนที่ต่ำกว่า

จากการขึ้นรูปด้วยวิธีการใช้ Rotary Pan จะต้องมีการคัดขนาดชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานได้ขนาดตามที่ต้องการ ส่วนชิ้นงานที่ไม่ได้ตามขนาดที่ต้องการต้องถูกนำไปขึ้นรูปใหม่ทำให้ต้องทำการขึ้นรูปซ้ำไปมาเป็น

การสิ้นเปลือง เราจึงเปลี่ยนเป็นวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการ Extrusion โดยการใช้เข็มฉีดยาเนื่องจากมีปริมาณวัตถุดิบที่น้อย

รูปที่ 4.2 แสดงชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการใช้เครื่อง Rotary Pan และต้องมีการคัดขนาดด้วย sieve และต้องนำ

ชิ้นงานที่ไม่ได้ขนาดไปขึ้นรูปใหม่

รูปที่ 4.3 แสดงชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการ Extrusion โดยจำลองด้วยการใช้เข็มฉีดยาเปรียบเทียบกับการขึ้นรูปด้วย Rotary Pan

4.3 ผลการทดสอบทรายแมว

4.3.1 การดูดซับน้ำ

จากการทดลองการดูดซึมน้ำของ Zeolite เปรียบเทียบกับทรายแมวอีก 2 ยี่ห้อคือ Meo และ Funcat จะเห็นได้ว่า zeolite มีการดูดซึมน้ำที่ดีกว่าเนื่องจาก ซีโอไลต์มีรูพรุนขนาดใหญ่จะดูดซับน้ำได้ปริมาณมากกว่า pearliteที่มีรูพรุนขนาดเล็ก และ zeolite ยังมีสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) ส่งผลให้มี interaction ได้ดีกับนำ้

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณและค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำ

ครั้งที่		MeO	Funcat	Zeolite
1	wet	64.80	53.07	52.77
	dry	47.73	36.44	27.46
2	wet	70.35	58.61	59.70
	dry	44.80	33.74	30.35
3	wet	65.21	55.89	54.23
	dry	42.22	36.45	30.03
4	wet	67.77	53.46	50.15
	dry	44.98	38.23	32.02
เฉลี่ย %absorption				
		49.48	53.13	81.52

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราการดูดซับแอมโมเนีย เมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน

เวลา	1 นาที	30 นาที	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	6 วัน	7 วัน
ทรายแมว 1	100	100	100	100	100	100	100	100	96.5
ทรายแมว 2	100	100	100	100	100	100	100	100	100
MeO 1	100	9.8	6.6						
MeO 2	100	6.5	6.5						
Funcat 1	100	93.6	43.6						
Funcat 2	100	100	86.6						

4.3.2 การดูดซับแอมโมเนีย

อภิปรายผลการทดลอง

เมื่อระยะเวลาที่ผ่านไปการลดลงของปริมาณแอมโมเนียที่ได้ได้จากเครื่องตรวจจับแอมโมเนีย AR8500 แสดงถึงความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียของทรายแมวทั้ง 3 ชนิด โดยพบว่าทรายแมวยี่ห้อ MeO และ Funcat แสดงถึงการลดลงของแอมโมเนียอย่างเห็นได้ชัด โดย MeO ลดลง 93.45 ppm และ Funcat ลดลง 65.10 ppm ภายในเวลา 1 วัน ต่างจากทรายแมวที่เราสามารถสังเคราะห์ได้โดยลดเพียง 1.75 ppm ภายในเวลา 7 วัน ซึ่งสามารถประเมินได้ว่ามีประสิทธิภาพที่ต่ำเม่อเทียบกับทรายแมวยี่ห้ออื่น

4.3.3 Surface Area

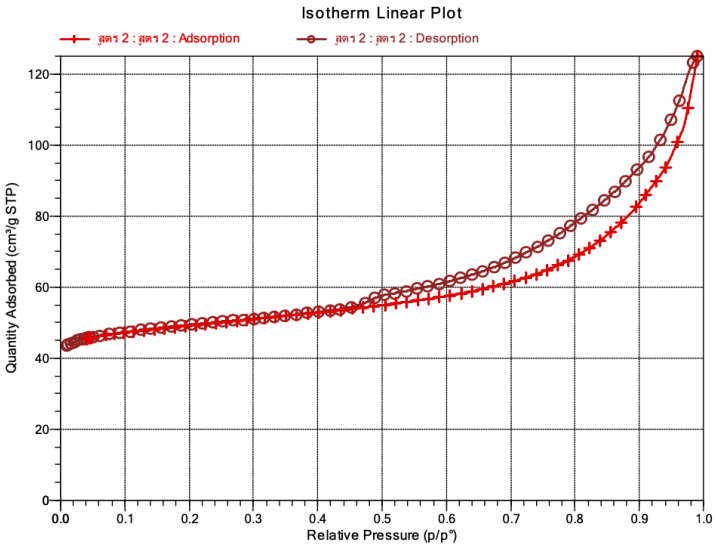
Summary Report

Surface Area

Single point surface area at p/p° = 0.289526466:	156.9720 m²/g
BET Surface Area:	153.1256 m²/g
Langmuir Surface Area:	403.1201 m²/g
t-Plot Micropore Area:	108.9991 m²/g
t-Plot external surface area:	44.1266 m²/g
BJH Adsorption cumulative surface area of pores between 17.000 Å and 3,000.000 Å width:	41.8675 m²/g
BJH Desorption cumulative surface area of pores between 17.000 Å and 3,000.000 Å width:	49.3358 m²/g
D-H Adsorption cumulative surface area of pores between 17.000 Å and 3,000.000 Å width:	41.5451 m²/g
D-H Desorption cumulative surface area of pores between 17.000 Å and 3,000.000 Å width:	49.0854 m²/g

Pore Volume

Single point adsorption total pore volume of pores less than 403.122 Å width at p/p° = 0.950000000:	0.150803 cm³/g
Single point desorption total pore volume of pores less than 403.122 Å width at p/p° = 0.950000000:	0.166062 cm³/g
t-Plot micropore volume:	0.056904 cm³/g



บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 การสังเคราะห์ Zeolite

การศึกษาพบว่าผู้วิจัยสามารถใช้ pitcher ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานเซรามิค ทำปฏิกิริยากับโซเดียม ไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งเป็นเบสแก่ สังเคราะห์ Zeolite ได้ ด้วยวิธีการ Hydrothermal ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และจากผลการวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction เพื่อยืนยันผลการสังเคราะห์ Zeolite พบว่า ผู้วิจัยสามารถสังเคราะห์ Zeolite ได้ 2 ชนิด ได้แก่ Hydroxy Sodalite และ Faujasite Na-X โดยทั้ง 2 ชนิด มีค่า Surface area ที่สูง

5.2 การสังเคราะห์ทรายแมว

การศึกษาวิธีการสังเคราะห์ทรายแมวผู้วิจัยเลือกใช้ส่วนผสมของ Zeolite และ ดินเหนียว (Bentonite) ตามสัดส่วน 85 : 15 ตามลำดับ โดยเป็นสูตรทั่วไปของทรายแมวปกติ และในช่วงต้นผู้วิจัยใช้วิธีการขึ้นรูปโดยการใช้เครื่อง Rotary Pan แต่มีข้อเสีย คือต้องมีการคัดขนาดและชิ้นงานที่มีขนาดไม่เหมาะสมกับการใช้งานจะถูกนำไปขึ้นรูปใหม่ซ้ำไปมาทำให้เสียเวลาและเปลืองทรัพยากร จึงมีการเปลี่ยนมาใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการ Extrusion โดยจำลองด้วยการใช้หลอดฉีดยา ซึ่งวิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพการขึ้นรูปได้ดีกว่า โดยขึ้นรูปได้ทั้งหมดไม่ต้องนำไปขึ้นรูปซ้ำ

5.3 การดูดซับน้ำ

การศึกษาการดูดซับน้ำของทรายแมวที่สังเคราะห์ได้ พบว่าทรายแมวส่วนผสมของ Zeolite และ Bentonite ที่สัดส่วน 85 : 15 ตามลำดับ ให้ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำที่ดีกว่าทรายแมวที่มีจำหน่ายทั่วไป

5.4 การดูดซับแอมโมเนีย (จำลองฉี่แมว)

การศึกษาการดูดซับแอมโมเนีย พบว่ามีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับทรายแมวที่มีจำหน่ายทั่วไป โดยสามารดูดซับแอมโมเนียได้เพียง 1.75 ppm เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. การทดสอบแอมโมเนียในรูปแบบของสารละลายที่มีความเข้มข้นเพียง 1% ความผิดพลาดของผลการทดลองการดูดซับแอมโมเนียของงายวิจัยนี้อาจเกิดจากสารละลายแอมโมเนียที่ใช้มีความเข้มข้นสูงเกินไป โดยสูงถึง 25%
2. ใช้รูปแบบการวัดแก๊สแอมโมเนียแบบของเหลวแทนการวัดแบบแก๊ส เนื่องจากซีโอไลต์จะสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีกับสารละลายมากกว่าสถานะแก๊ส
3. กาดทดสอบความแข็งแรงของทรายแมวเมื่อมีแรงกระทำ เนื่องจากการใช้งานทรายแมวจะมีน้ำหนักของตัวแมงลงมากดทำให้อาจเกิดการแตกหักและเป็นฝุ่นรบกวนเจ้าของแมวได้ ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบความแข็งแรงของทรายแมว

บรรณานุกรม

[1] Asensi M.A., Camblor M.A., and Martinez A. 1999 Micropor. and Mesopor. Mater. 28 427.

[2] Barri S.A. 1992 US patent 5,118,483,.

[3] Gujar A.C. and Price G.L. 2002 Micropor. and Mesopor. Mater. 54 201.

[4] Lawton S.L., J.M. Bennett, J.L. Schlenker, and M.K. Rubin 1993 J. Chem. Soc., Chem. Commun. 23 894.

[5] Paik W.C., Shin C.H., and Hong S.B., J. 2000 Chem. Soc., Chem. Commun. 1609.

[6] Paik W.C., Shin C.H., Lee J.M., Ahn B.J., and Hong S.B. 2001 J. Phys. Chem. B 105 9994.

[7] Price G.L. 2001 in: H. Robinson (editor), Verified Synthesis of Zeolitic Materials, Elsevier p.265.

[8] Sumran M., and Kongkachuichay P. 2002 KKU Engineering Journal 29(4) Oct. – Dec. 2002.

[9] Subbiah A., Cho B. K., Blint R.J., Gujar A.C., Price G.L., and Yie J.E. 2003 Applied Catalysis B: Environmental 42 155.

[10] จำรัส ลิ้มตระกูล, สุภา หารหนองบัว, จรุงศักดิ์ ย้อยนวล, อุษา อ้นทอง, ปิติ ตรีสุกล, ลักขณา หล่อตระกูล, พรพรรณ พึ่งโพธิ์, สะหรี ยูดา, มะยูโซ๊ะ กูโน, คมภัทร สาทิตโกวิทชัย. โครงสร้างพื้นผิวและสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาปิโตรเคมี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[11] นางสาวจุฬารัตน์ อุปชาย์, นางสาวนาตยา วัฒพจน์. 2549. การสังเคราะห์ซีโอไลต์. หน้า 1-9, หน้า 13-15

[12] สมสุข ไตรศุภกิตติ. (2559). การสังเคราะห์และคุณสมบัติของซีโอไลต์. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (section T). 6 (ฉบับพิเศษ 1):133 - 142.

[13] ศิรินุช ลอยหา. (2556). ซีโอไลต์และเทคโนโลยีซีโอไลต์. ว.วิทย. มข. 41(1) 56-66

[14] D. Akolekar, A. Chaffee and R. F. Howe. (1997). The transformation of kaolin to low-silica X zeolite. Zeolites. 19, 359-365.

[15] D. Georgiev, B. Bogdanov, K. Angelova, I. Markovska and Y. Hristov. (2009). Synthetic Zeolite– Structure, Clasification, Current Trends in Zeolite Synthesis Review. International Science conference 4th-5th June 2009, Stara Zagora, BULGARIA.

[16] D. Novembre, B. Di Sabatino, D. Gimeno, M. Garcia and S. Martinez. (2004). Synthesis of Na-X zeolite from tripolaceous deposits (Crotone, Italy) and volcanic zeolitised rocks (Vico volcano, Italy). Microporous and Mesoporous Materials. 75, 1-11.

[17] Eze k. A., Nwadiogbu J.O., and Nwankwere E.T. (2012). Effect of Acid Treatments on the Physicochemical Properties of Kaolin Clay. Archives of Applied Science Research. 4(2), 792-794.

[18] Gates B.C., (1992). Catalytic Chemistry, Wiley.

[19] Jalil R. Ugal, Karim H. Hassan, and Inam H. Ali. (2010). Preparation of type 4A zeolite from Iraqi kaolin: Characterization and properties measurements. Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Science. 9, 2-5.

[20] Nadia R. C. F. M. และ Denise M. M. M. (2005). Synthesis of Na-A and –X zeolite from oil shale ash. Fuel. 84, 2289-2294.

[21] S. Chandrasekhar, P. Raghavan, G. Sebastian and A. D. Damodaran. (1997). Brightness improvement studies on kaolin based zeolite 4A. Applied Clay Science. 12, 221-231.

[22] Szostak, R., (1989). Molecular Sieves: Principles of Synthesis and Identification. Van Nostrand Reinhold, New York.

[23] ประเภทของทรายแมวและข้อดีข้อเสีย. (28 เมษายน 2563). https://medium.com/@be.ba.bor.2/ทรายแมวมีกี่ชนิด-แต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียอย่างไรบ้าง-92312440d6f0