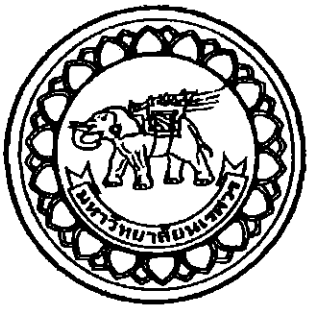
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร



การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์จากหญ้าแฝก และการประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ACTIVATED CARBON AND ZEOLITE SYNTHESIS FROM VETIVER GRASS AND APPLICATIONS FOR WASTEWATER TREATMENT

นายจรูญศักดิ์ คำน้อย รหัส 53364352
นายเสกสิทธิ์ คำบาง รหัส 53364611
นายเอกชัย มีสุวรรณ รหัส 53364642

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 20 ก.ค. 2558
เลขทะเบียน 16900227
เลขเรียกหนังสือ ฟร
มหาวิทยาลัย ค 183 ก 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2556

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์จากหญ้าแฝกและการประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย**	
ผู้ดำเนินโครงงาน	**นายจรูญศักดิ์ คำน้อย**	**รหัส 53364352**
	นายเสกสิทธิ์ คำบาง	รหัส 53364611
	นายเอกชัย มีสุวรรณ	รหัส 53364642
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา	
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	
ปีการศึกษา	2556	

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา)

.....กรรมการ
(ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์อำพล เตโชวาณิชย์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์จากหญ้าแฝกและการประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายจรูญศักดิ์ คำน้อย	รหัส 53364352
	นายเสกสิทธิ์ คำบาง	รหัส 53364611
	นายเอกชัย มีสุวรรณ	รหัส 53364642
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา	
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	
สถาบัน	มหาวิทยาลัยนเรศวร	
ปีการศึกษา	2556	

บทคัดย่อ

หญ้าแฝกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในการป้องกันการพังทลายของดินและการไหลบ่าของน้ำ ในโครงงานนี้จึงศึกษาการใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝกอีกด้านหนึ่ง คือ นำมาใช้เป็นสารดูดซับ (เช่น ถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์) ในการบำบัดน้ำเสียการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ ทำได้โดยการเผาหญ้าแฝกที่ 300 องศาเซลเซียสในขณะเดียวกันการสังเคราะห์ซีโอไลท์ ทำได้โดยการเผาหญ้าแฝกที่ 750องศาเซลเซียส เติมสารสร้างโครงสร้าง (เช่น TPABr) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสุดท้ายนำขี้เถ้าจากหญ้าแฝกไปเผาต่อที่อุณหภูมิ 550องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้สามารถบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะใสและไม่มีสีซึ่งมีคุณภาพดีกว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยใช้ถ่านกัมมันต์ (การค้า) เมื่อความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อมสูงขึ้น 2-10 เท่า ก็ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของถ่านกัมมันต์แต่ประสิทธิภาพการบำบัดของซีโอไลท์จะลดลงเล็กน้อยที่ความเข้มข้นสูงสุด นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ยังไม่สามารถระบุชนิดของซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้ และยังคงต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

Project title	ACTIVATED CARBON AND ZEOLITE SYNTHESIS FROM VETIVER GRASS AND APPLICATIONS FOR WASTEWATER TREATMENT
Name	Mr.Jarunsak Khumnoy ID. 53364352
	Mr.Seksit Kambang ID. 53364611
	Mr.Egachai Meesuwan ID. 53364642
Project advisor	Dr.Wilawan Khanitchaidecha
Major	Environmental Engineering
Department	Civil Engineering
Institution	Naresuan University
Academic year	2013

Abstract

Vetiver grass has been widely used as soil erosion control and runoff protection. In this project, other uses of vetiver grass as adsorbent materials (i.e., Activated carbon and zeolite) for wastewater treatment were investigated. The activated carbon was synthesized by annealing the vetiver grass in a furnace at 300°C. In the meanwhile, the zeolite was synthesized by annealing the vetiver grass in a furnace at 750°C, then adding a structure directing substrate (i.e., TPABr) and NaOH, and finally annealing the semi-solid of vetiver grass ash at 550°C for 5 hours. The activated carbon and zeolite were able to treat the synthetic dye wastewater effectively. The treated water was clear and colorless, which was better quality than the treated water using commercial activated carbon. When the concentrations of dye wastewater were increased 2-10 times, it had no effects on the removal efficiency of activated carbon, however the removal efficiency of zeolite was slightly decreased at the highest concentration. According to the X-ray diffraction (XRD) analysis, the type of zeolite was not identified and the further study is need.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดีได้โดยได้รับความอนุเคราะห์ และสนับสนุนจาก ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาและคำแนะนำ รวมทั้งแนวทางแก้ไขแก้ไขในระหว่างการดำเนินการศึกษาโครงงานนี้

คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณคุณเฉลา บตีรัฐ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาหญ้าแฝก เพื่อใช้ในการศึกษา และขอขอบพระคุณคุณวิชญา อิ่มกระจ่าง และคุณยุพา เอี่ยมบัวหลวง ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำอย่างดีในการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม และขอขอบพระคุณนายแพทย์สมเกียรติ ตังพิทักษ์กุล (โรงสีเอี่ยมเฮงล้ง (สระบุรี) จำกัด) สำหรับทุนการศึกษาที่ใช้ในระหว่างการดำเนินการศึกษา ซึ่งส่งผลให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้คณะผู้ดำเนินโครงงานขอขอบพระคุณดร. อุปถัมภ์ นาครักษ์ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์ อาจารย์อำพล เตโชวาณิชย์ และอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อเสนอแนะต่างๆรวมทั้งเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการทุกท่าน สำหรับการประสานงานที่ดีตลอดระยะเวลาในการทำปริญญานิพนธ์

คณะผู้ดำเนินงานหวังว่า ข้อมูลในโครงงานฉบับนี้คงเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจในด้านเทคโนโลยีการบำบัดน้ำ หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องไม่มากก็น้อย

คณะผู้ดำเนินโครงงาน
นายจรูญศักดิ์ คำน้อย
นายเสกสิทธิ์ คำบาง
นายเอกชัย มีสุวรรณ
ธันวาคม 2556

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน 2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.6 แผนการดำเนินงาน 3
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน 3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4
2.1 หญ้าแฝก 4
2.2 ซีโอไลท์ 6
2.3 ถ่านกัมมันต์ 11
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 15
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 15
3.2 การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ 15
3.3 การสังเคราะห์ซีโอไลท์ชนิด ZSM-5 16
3.4 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ 16
3.5 การวิเคราะห์การบำบัดน้ำเสีย 16
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 17
4.1 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ 17
4.2 ลักษณะของซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้ 18
4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์สังเคราะห์ 21
4.4 ผลของความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อมต่อประสิทธิภาพในการบำบัด 22

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 26
เอกสารอ้างอิง 27
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 28

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน....3
ตารางที่ 4.1 น้ำหนักก่อนและหลังเผาหญ้าแฝกที่อุณหภูมิ 300°C.... 17
ตารางที่ 4.2 น้ำหนักก่อนและหลังเผาหญ้าแฝกที่อุณหภูมิ 750°C.... 19

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 หญ้าแฝก 5
รูปที่ 2.2 ซีโอไลท์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ 8
รูปที่ 2.3 ซีโอไลท์สังเคราะห์ 9
รูปที่ 2.4 การบำบัดสารอินทรีย์ปนเปื้อน (Xylene) ด้วยกระบวนการดูดซับของซีโอไลท์ 10
รูปที่ 2.5 การบำบัดสารปนเปื้อนด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุของซีโอไลท์ 11
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ชนิดผง (ซ้าย) และถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (ขวา) 11
รูปที่ 2.7 กลไลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ 12
รูปที่ 4.1 พีค XRD ของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (เผา 300 °C) 17
รูปที่ 4.2 พีค XRD ของถ่านกัมมันต์ (Kalyaniและคณะ 2556) 18
รูปที่ 4.3 พีค XRD ของขี้เถ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลท์ (เผา 750 °C) 19
รูปที่ 4.4 พีค XRD ของซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้ 20
รูปที่ 4.5 พีค XRD ของซีโอไลท์ ZSM-5 ที่ได้จากขี้เถ้าจากแกลบข้าว (Kordatos และคณะ 2551) 20
รูปที่ 4.6 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียจากสีย้อมมาตรฐาน 21
รูปที่ 4.7 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวดูดซับต่างๆ ของน้ำเสียจากสีย้อมมาตรฐาน 21
รูปที่ 4.8 น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวดูดซับต่างๆ (จากซ้ายไปขวา): ไม่เติม,ถ่านกัมมันต์ (การค้า), ถ่านกัมมันต์สังเคราะห์ และซีโอไลท์สังเคราะห์ 22
รูปที่ 4.9 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวดูดซับต่างๆ ของน้ำเสียจากสีย้อมเข้มข้น 2 เท่า 23
รูปที่ 4.10 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวดูดซับต่างๆ ของน้ำเสียจากสีย้อมเข้มข้น 5 เท่า 23
รูปที่ 4.11 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวดูดซับต่างๆ ของน้ำเสียจากสีย้อมเข้มข้น 8 เท่า 24
รูปที่ 4.12 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวดูดซับต่างๆ ของน้ำเสียจากสีย้อมเข้มข้น 10 เท่า 24
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนที่ 664 นาโนเมตรของน้ำเสียจากสีย้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ 25

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อมในประเทศไทยขยายตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งอุตสาหกรรมนี้มีบทบาทสำคัญในการผลิตเสื้อผ้า และเครื่องนุ่งห่ม โดยปกติอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อมจะเกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตจำนวนมาก และปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ตลอดจนโลหะหนักบางชนิด และมีสีที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งถ้าปล่อยน้ำเสียเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือปราศจากการบำบัดที่เหมาะสมจะส่งผลต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ คือ ทำให้ค่าสารอินทรีย์ในน้ำสูงขึ้น ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลง มีโลหะหนักปนเปื้อน และทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำ เนื่องจากสีเป็นที่น่ารังเกียจ ที่สำคัญประชาชนไม่สามารถใช้แหล่งน้ำดังกล่าวในการอุปโภค-บริโภคได้อย่างปลอดภัย นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในแหล่งน้ำด้วย สารเคมีในสีย้อมยังมีความเป็นพิษสูง และมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น 2-แนฟทิลามีน (2-Naphthylamine) และเบนซิไดน์ (Benzidine) หลายงานวิจัยที่มุ่งเน้นการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมไม่ใช่เป็นเพราะความเป็นพิษของสีย้อม แต่อยู่ที่สีของน้ำเสีย เนื่องจากสีย้อมเป็นสารที่มีสีเข้ม ดังนั้นแม้มีสีอยู่ในน้ำเพียงปริมาณเล็กน้อย ก็สามารถทำให้น้ำมีสีเป็นที่รังเกียจของผู้พบเห็นได้ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้สีในน้ำทิ้งไม่เป็นที่น่ารังเกียจ และค่าสีมาตรฐานที่กำหนดไว้ในน้ำดื่มต้องไม่เกิน 5 แพลทินัม-โคบอลต์ (Platinum-Cobalt)

การบำบัดน้ำเสียด้วยซีโอไลท์ จัดเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของซีโอไลท์คือ มีความพรุนสูงทำให้มีพื้นที่ผิวมากและมีความสามารถในการดูดซับสูง นอกจากนี้ซีโอไลท์ยังมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนด้วย ทำให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อเทียบกับวัสดุดูดซับอื่น เช่น ถ่านกัมมันต์ ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากซีโอไลท์ในปรับปรุงคุณภาพน้ำต่างๆ เช่น ลดความกระด้างของน้ำ ดูดซับก๊าซพิษ และใช้จับโลหะหนักหรือสารกัมมันตรังสีในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม เป็นต้น เนื่องจากต้นทุนในการสังเคราะห์ซีโอไลท์ ค่อนข้างสูง ทำให้มีความพยายามที่จะหาวัตถุดิบใหม่ๆ มาใช้ในสังเคราะห์ซีโอไลท์ เช่น ขี้เถ้าจากแกลบข้าว ขี้เถ้าจากดินขาวธรรมชาติขี้เถ้าจากชานอ้อยเพื่อช่วยลดต้นทุนการสังเคราะห์

หญ้าแฝกจึงนับเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลท์ได้ เนื่องจากมีซิลิกา (Si) เป็นองค์ประกอบสำคัญ ซึ่งเป็นธาตุหลักที่จำเป็นอย่างยิ่งในการสังเคราะห์ซีโอไลท์ นอกจากนี้การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝกในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะใช้ประโยชน์จากรากเพื่อป้องกันดินถล่ม การใช้ประโยชน์จากใบหญ้าแฝกยังไม่มีมากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากใบหญ้าแฝกมาสังเคราะห์เป็นซีโอไลท์และถ่านกัมมันต์ เพื่อเป็นวัสดุดูดซับในการบำบัดน้ำเสีย โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมเป็นหลัก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 สังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากใบหญ้าแฝก

1.2.2 สังเคราะห์ซีโอไลท์จากใบหญ้าแฝก

1.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมด้วยถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์สังเคราะห์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์จากวัสดุธรรมชาติ ที่หาได้ง่าย ราคาถูก

1.3.2 ทราบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมของถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์สังเคราะห์

1.3.3 เป็นแนวทางในการใช้พัฒนาวัสดุดูดซับ เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรมต่อไป

1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.4.1 หาแหล่งที่ปลูกหญ้าแฝก และทำการขอตัวอย่างหญ้าแฝกเพื่อใช้ในการศึกษา

1.4.2 เตรียมใบหญ้าแฝกสำหรับการสังเคราะห์ และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซสเซียส เพื่อสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์

1.4.3 นำใบหญ้าแฝกไปเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซสเซียส เพื่อเตรียมสังเคราะห์ซีโอไลท์

1.4.4 นำถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้ไปทดลองบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อดูประสิทธิภาพในการบำบัด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ และซีโอไลท์จากแหล่งข้อมูลต่างๆ

1.5.2 นำใบหญ้าแฝกไปตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซสเซียส

1.5.3 นำใบหญ้าแฝกแห้งไปเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซสเซียสเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลท์

1.5.4 นำถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้ไปทดลองบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดกับถ่านกัมมันต์การค้า

1.5.5 สรุปผล เขียนเล่มวิทยานิพนธ์ และนำเสนอโครงงาน

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	เดือน					
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	—	—	—	→	
2. สังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากใบหญ้าแฝก		↔				
3. สังเคราะห์ซีโอไลท์จากใบหญ้าแฝก			↔	→		
4. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมด้วยถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์สังเคราะห์				↔	→	
5. เขียนเล่มวิทยานิพนธ์ และนำเสนอโครงงาน						↔

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1.7.1 ค่าสารเคมี	1,200	บาท
1.7.2 ค่าใช้บริการเครื่องมือวิเคราะห์	1,000	บาท
1.7.3 ถ่ายเอกสารและเข้าเล่มวิทยานิพนธ์	800	บาท
รวมเป็นเงิน	3,000	บาท

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 หญ้าแฝก

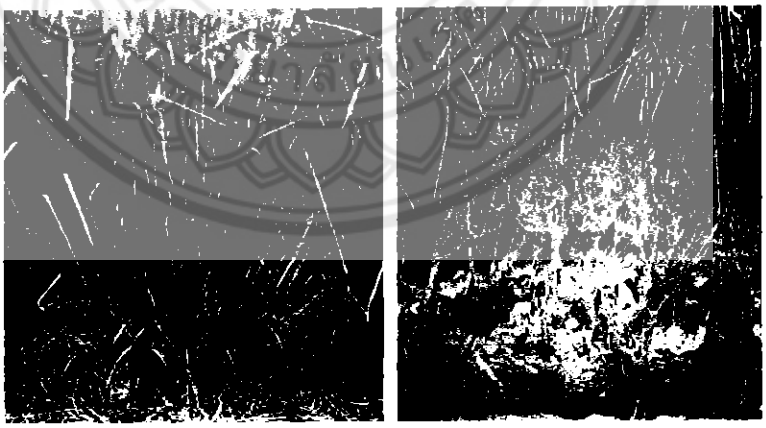
หญ้าแฝก มีชื่อวิทยาศาสตร์ (Vetiveria zizanioides) ชื่อสามัญคือ (Vetiver Grass) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่อยู่ในตระกูล หญ้าเช่นเดียวกับ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย และตะไคร้ ลักษณะ สำคัญของหญ้าแฝก คือ ขึ้นเป็นกอหนาแน่น ขนาดกอค่อนข้าง ใหญ่ประมาณ 5-20 เซนติเมตร ต่างจากหญ้าอื่นๆ อย่างชัดเจน ส่วนของใบมีรูปร่างแคบยาว ปลายใบสอบแหลม ด้านหลังใบมีสี เขียวเข้มกว่าด้านท้องใบ ส่วนโคนของลำต้นจะแบนเกิดจากส่วน ของโคนใบที่จัดเรียงพับซ้อนกัน ลำต้นแท้จะมีขนาดเล็กซ่อนอยู่ใน กาบใบบริเวณผิวหน้าดิน สำหรับช่อดอกจะอยู่บนก้านช่อดอกซึ่งสูงประมาณ 1.50 เมตร หรืออาจสูงถึง 2 เมตร ช่อดอกหญ้าแฝกจะกางออกเป็นรูปฉัตร ความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ฐานกว้าง 15 เซนติเมตร ช่อดอกจะมีทั้งสีน้ำตาล น้ำตาลแดง เทา หรือสีขาวนวล เมล็ดมีลักษณะกลมยาว หญ้าแฝกเป็นพืชที่สามารถปลูกได้แทบทุกภูมิภาคของประเทศไทย เป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี ชาวบ้านรู้จักหญ้าแฝกกันในชื่อ แฝกลุ่ม ขนาก และแฝกท้องขาว เป็นต้น ที่พบในประเทศไทยมีอยู่ 2 สายพันธุ์ คือ หญ้าแฝกหอม (Vetiveria zizanioides Nash) และหญ้าแฝกดอน (Vetiveria nemoralis A. Camus) จากทั้งหมด 12 สายพันธุ์

หญ้าแฝกลุ่มหรือหญ้าแฝกหอม (Vetiveria zizanioides) มีการสันนิษฐาน ว่ามีถิ่นกำเนิดที่ประเทศอินเดีย และมีการนำมาเพาะขยายพันธุ์ไปปลูก ในหลายพื้นที่ทั่วโลก ลักษณะสำคัญของหญ้าแฝกลุ่ม คือ กอเป็นพุ่ม ขนาดใหญ่ ใบยาวประมาณ 45-100 เซนติเมตร ตั้งตรงสูง สีของใบ ออกสีเขียวเข้ม เนื้อใบมีไขเคลือบมาก จึงค่อนข้างเนียนนุ่ม ดอกมีสีอม ม่วง ดอกย่อยไม่มีรยางค์แข็ง ส่วนรากหยั่งลึกได้มากกว่า 1 เมตร ขึ้นอยู่กับสภาพของดิน นอกจากนี้ราก ก็ยังมีกลิ่นหอม เนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหย ซึ่งเป็นสารพวก Alkaloids จึงทำให้หญ้าแฝกลุ่ม มีอีกชื่อ หนึ่งว่าหญ้าแฝกหอมด้วย หญ้าแฝกลุ่มหรือแฝกหอม พบมีการปลูกในพื้นที่ลุ่มซึ่งมีความชุ่มชื้นและมีน้ำขัง ในประเทศไทยสามารถแบ่ง ออกเป็น 11 กลุ่ม คือ กำแพงเพชร 2 สงขลา 1 สงขลา 2 สงขลา 3 ตรัง 1 ตรัง 2 สุราษฎร์ธานี ศรีลังกา เชียงราย เชียงใหม่ และแม่ฮ่องสอน

หญ้าแฝกดอน (Vetiveria nemoralis) สันนิษฐานว่ามีถิ่น กำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ ประเทศไทย ลาว เขมร และ เวียดนาม พบเจริญเติบโตอยู่ในธรรมชาติทั่วไป ลักษณะสำคัญ คือ กอ มีลักษณะเป็นพุ่ม รูปร่างใบยาว สอบปลายแหลม แต่ปลายใบจะโค้งลง เหมือนกอของต้นตะไคร้ กอไม่ตั้งตรงเช่นเดียวกับหญ้าแฝกลุ่ม ใบมีสี เขียวออกซีด และเนื้อใบจะมีไขเคลือบน้อย ทำให้ค่อนข้างสาก ส่วน ของดอกมีหลายสี เช่น สีขาวครีม สีม่วง ดอกย่อยมีรยางค์แข็ง ส่วน ของรากนั้นค่อนข้างสั้นประมาณ 80-100 เซนติเมตร และไม่มีกลิ่นหอม หญ้าแฝกดอน ส่วนใหญ่มักพบในพื้นที่ที่ค่อนข้างแห้งแล้ง ในประเทศไทย สามารถแบ่งออกเป็น 17 กลุ่ม คือ อุดรธานี 1 อุดรธานี 2 นครพนม

1 นครพนม 2 ร้อยเอ็ด ชัยภูมิ เลย สระบุรี 1 สระบุรี 2 ห้วยขา แข้ง กาญจนบุรี นครสวรรค์ ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี จันทบุรี พิษณุโลก และกำแพงเพชร

หญ้าแฝกมีระบบรากที่มีขนาดใหญ่ และมีความพิเศษต่างจากรากของหญ้าทั่วไป จึงถูกนำมาใช้ในการป้องกันหน้าดินได้อย่างดี กล่าวคือ ระบบรากของหญ้าทั่วไป เป็นลักษณะระบบรากฝอย (fibrous roots) แตกออกจากส่วนลำต้นใต้ดินกระจายออกแผ่กว้างเพื่อยึดพื้นดินตามแนวนอน (horizontal) ส่วน ระบบรากในที่เจริญในแนวดิ่ง (vertical) นั้นไม่ลึกมาก ขณะที่ระบบรากหญ้าแฝกเป็นระบบรากฝอย มี 2 ขนาด คือ เส้นโตและเส้นเล็กฝอยขนาดเล็ก เส้นโตจะเหนียวและแข็งเจาะลงไปในดินได้ลึก เส้นขนาดเล็ก จะแตกแขนงออกมาจากเส้นใหญ่ สานกัน คล้ายร่างแหช่วยยึดเกาะดินได้มั่นคง การปลูกหญ้าแฝกเพื่อป้องกันการพังทลายของดิน จะต้อง ปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวเดี่ยวตามแนวระดับขวางความลาดชัน ของพื้นที่เป็นช่วงๆ แถวของหญ้าแฝกจะต้องปลูกถี่ สำหรับ กล้ารากเปลือยโดยต้องปลูกระยะห่างกัน 5 เซนติเมตร นอกจากนี้เรายังสามารถปลูกหญ้าแฝกเพื่อรักษาความชุ่มชื้นให้แก่ดิน ด้วยการปลูกเป็นแถว ระหว่างพืชหรือไม้ผล โดยปลูกหญ้าแฝกทุกแถวพืช หรือเว้น 1-2 แถว แล้วจึงปลูกหญ้าแฝก 1 แถว เป็น ต้น แต่ถ้าปลูกเพื่อปรับปรุงพื้นที่เสื่อมโทรม เช่น นากุ้งร้าง อาจต้องอาศัยการปลูกเต็มทั้งพื้นที่ มีระยะห่าง ระหว่างต้นและระหว่างแถว 50x50 เซนติเมตร สำหรับการปลูกหญ้าแฝก ควรปลูกในช่วงต้นฤดูฝนเพราะจะทำให้หญ้าแฝกตั้งตัวได้เร็ว การดูแล รักษาก็ไม่ยากนัก โดยรดน้ำ 15 วันต่อครั้งในช่วงฤดูแล้ง ใส่ปุ๋ยหมัก1 ครั้งในช่วงต้นฤดูฝน และกำจัด วัชพืชตามความเหมาะสมเท่านั้น



รูปที่ 2.1 หญ้าแฝก

2.1.1 การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝก

หญ้าแฝกสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้

- ใช้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ
- ใช้มุงหลังคา
- ใช้เป็นสมุนไพร
- ใช้ทำเครื่องสำอาง
- ใช้เป็นวัตถุดิบทำในการทำกระดาษกระเป๋าถือ เชือกเสื่อตะกร้า
- ใช้เป็นอาหารสัตว์พวกแกะ โค กระบือ
- ใช้เป็นวัสดุคลุมดินรองคอกสัตว์ทำวัสดุเพาะเห็ด

การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝกที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง คือ การใช้เพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ โดยจะปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวตามแนวระดับขวางความลาดเท แถวหญ้าแฝกนี้จะช่วยชะลอความเร็วของน้ำที่ไหลบ่าและดักเก็บตะกอนดินเอาไว้ น้ำที่ไหลบ่าบางส่วนก็จะซึมลงสู่ดินชั้นล่างและไหลผ่านแนวหญ้าแฝก เมื่อแถวหญ้าแฝกทำหน้าที่ดักตะกอนดินเป็นระยะเวลายาวนานก็จะเกิดการทับถมของตะกอนดินหน้าแถวหญ้าแฝกเพิ่มขึ้นทุกๆ ปีในที่สุดก็จะเกิดคันดินขึ้นมาช่วยลดความแรงของกระแสน้ำตามธรรมชาติ และหญ้าแฝกจะช่วยแก้ปัญหาการพังทลายของดิน ไม่ให้เกิดเป็นร่องน้ำแบบลึก (Gully erosion) ในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงและไม่มีการจัดการระบบการอนุรักษ์ดินและน้ำ นอกจากนี้หญ้าแฝกยังช่วยรักษาความชุ่มชื้นของดินอีกด้วย

2.1.2 การประยุกต์ใช้หญ้าแฝกในการบำบัดน้ำเสีย

เนื่องจากพบว่าหญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพดินที่มีโลหะหนักปนเปื้อน จึงมีการนำหญ้าแฝกมาปลูกเพื่อใช้ดูดซับโลหะหนักจากดิน และให้น้ำทิ้งอุตสาหกรรมไหลผ่านในอัตราการไหลที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีการนำหญ้าแฝกไปปลูกเพื่อรักษาสภาพแวดล้อม เช่น ปลูกหญ้าแฝกรอบขอบบ่อบำบัดน้ำทิ้ง

2.2 ซีโอไลท์

ซีโอไลท์ (Zeolite) มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก (Zein แปลว่า to boil และ Lithos แปลว่า stone) หมายถึง หินเดือด (Boiling stone) ซีโอไลท์จัดเป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (Crystallinealuminosilicates) หน่วยย่อยของซีโอไลท์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) 1 อะตอม และออกซิเจน 4 อะตอม (SiO_4 หรือ AlO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedron) โดยอะตอมของซิลิคอน(หรืออะลูมิเนียม)อยู่ตรงกลางล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ ซึ่งโครงสร้างสามเหลี่ยมสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม และใช้ออกซิเจนร่วมกันก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ซีโอไลท์เป็นผลึกแข็ง มีลิ

เกตที่มีน้ำผลึกของโลหะอัลคาไลน์หรือโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทซึ่งโดยมากจะเป็นโลหะโซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม สตอลเซียม และแบเรียมสูตรอย่างง่ายของซีโอไลท์เป็นดังนี้

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

n= วาเลนซีของแคตไอออน (M) โดยมาก เท่ากับ 1 และ 2 ของโลหะอัลคาไลหรือโลหะอัลคาไลน์เอิร์ท ตามลำดับ

x = จำนวนโมลของ SiO_2โดยมากจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2

y = จำนวนโมลของน้ำที่อยู่ในช่องว่างของผลึกซีโอไลท์

2.2.1 โครงสร้างของซีโอไลท์

โครงสร้างปฐมภูมิ SiO_4 และ AlO_4 แต่ละหน่วย จะจัดเรียงตัวในลักษณะรูปทรงสี่หน้าเชื่อมต่อกันโดยอะตอมของซิลิกอนและอะลูมิเนียมอยู่ตรงกลางส่วนอะตอมของออกซิเจนอยู่ที่จุดยอดมุมสามเหลี่ยมทรงสี่หน้า

โครงสร้างทุติยภูมิ เกิดจากโครงสร้างปฐมภูมิแต่ละหน่วยมาเชื่อมต่อกัน โดยอาศัยจุดยอดมุมทั้งสี่เป็นจุดเชื่อมต่อ เพื่อให้ได้เป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น โครงสร้างที่เกิดจากโครงสร้างขั้นปฐมภูมิมาเชื่อมต่อกันเป็นวงขนาดเล็กในรูปแบบต่างๆ กัน เช่น สี่เหลี่ยม ห้าเหลี่ยม และแปดเหลี่ยมโดยเป็นวงเดี่ยว หรือวงซ้อนก็ได้

โครงสร้างรูปทรงหลายหน้า เกิดจากโครงสร้างทุติยภูมิมาเชื่อมต่อกันเกิดเป็นโพรงที่มีขนาดใหญ่

โครงสร้างของซีโอไลท์เป็นแบบเปิดประกอบไปด้วยช่องว่างจำนวนมากซึ่งมีไอออนบวกและโมเลกุลของน้ำเกาะเชื่อมอยู่ภายใน ไอออนบวกนี้สามารถเปลี่ยนกับไอออนบวกอื่นได้ คือมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) เมื่อโมเลกุลของน้ำผ่านเข้ามาในช่องว่างทำให้ไอออนที่อยู่ในสารละลายสามารถแลกเปลี่ยนกับไอออนที่อยู่ในโครงสร้างได้คุณสมบัติดังกล่าวนำไปใช้ในการลดความกระด้างของน้ำ (Water softening) โดยซีโอไลท์จะแลกเปลี่ยนอะตอมของโซเดียมไอออน (Na^+) กับแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ที่มีอยู่ในน้ำกระด้าง เมื่อน้ำกระด้างไหลผ่านเม็ดของซีโอไลท์ดังนั้นน้ำที่ผ่านออกมาจะมีปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นก็จะเป็นการป้องกันการเกิดตะกรัน นอกจากนี้โลหะหนักอื่นๆ เช่น ตะกั่วไอออน (Pb^{2+}) ปรอทไอออน (Hg^{2+}) แคดเมียมไอออน (Cd^{2+}) และซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ก็สามารถแลกเปลี่ยนได้เช่นเดียวกันเมื่อได้รับความร้อนโมเลกุลของน้ำภายในช่องว่างจะหลุดออกมาและน้ำจะระเหยออกมาอย่างต่อเนื่องโดยโครงสร้างโมเลกุลไม่เปลี่ยนแปลงหรือบุบสลายหลังจากที่มีการระเหยของน้ำ (Dehydration) และช่องว่างในโครงสร้างโมเลกุลสามารถถูกเติมด้วยน้ำได้เช่นเดิม (Reversible dehydration)

2.2.2 ประเภทของซีโอไลท์

ซีโอไลท์สามารถแบ่งตามวิธีการเกิดได้ 2 ประเภท คือ ซีโอไลท์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural or mineral zeolite) และซีโอไลท์สังเคราะห์ (Synthetic zeolite) โดยซีโอไลท์แต่ละประเภทจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันโครงสร้างของซีโอไลท์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีมากกว่า 35 ชนิด ส่วนโครงสร้างของซีโอไลท์สังเคราะห์มีประมาณ 100 ชนิด

ซีโอไลท์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ส่วนมากค้นพบจากการทำเหมืองแร่ โดยจะเป็นกลุ่มของผลึกอะลูมิโนซิลิเกตของโมโนหรือไดวาเลนท์เบส (Mono and divalent bases) อาจมีการสูญเสียน้ำบางส่วนหรือทั้งหมด โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง ตัวอย่างซีโอไลท์ประเภทนี้ เช่น Faujasite, Erionite, Offretite, Chabaziteและ Clinoptilolite ซีโอไลท์ประเภทนี้เดิมนำมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง หลังจากได้ค้นพบคุณสมบัติการเป็นการแลกเปลี่ยนประจุจึงได้นำมาใช้เป็นสารดูดซับในอุตสาหกรรมแยกก๊าซธรรมชาติและแยกแอมโมเนียในกระบวนการกำจัดน้ำทิ้ง

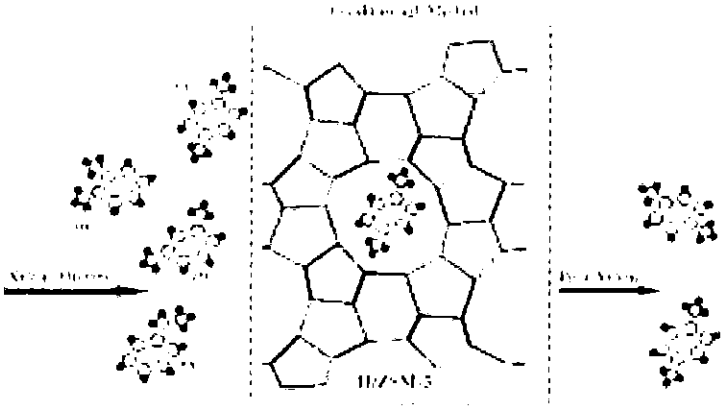
ซีโอไลท์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ เกิดจากการทำปฏิกิริยาเบสกออกไซด์ต่างๆ เช่น Al_3O_2, SiO_2, Na_2O และ K_2O ในระบบที่มีน้ำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ของซีโอไลท์ที่มีน้ำผลึก และการสังเคราะห์สามารถทำให้เกิดได้ตั้งแต่เป็นเจล (Gelatin) จนถึงรูพรุน (Porous) และลักษณะที่คล้ายเม็ดทราย (Sandlike) ตัวอย่างซีโอไลท์ประเภทนี้ ได้แก่ Zeolite A, Zeolite Y, Zeolite Fและ Zeolite M

รูปที่ 2.2 ซีโอไลท์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

รูปที่ 2.3 ซีโอไลท์สังเคราะห์

2.2.3 กระบวนการดูดซับของซีโอไลท์

การใช้ซีโอไลท์เป็นตัวดูดซับนั้นสามารถใช้ทั้งในกระบวนการทำให้แห้ง (Dehydration) การทำให้บริสุทธิ์ (Purification) และการแยกสาร (Separation) โดยซีโอไลท์มีสมบัติในการเลือกทำปฏิกิริยาตามรูปร่างอันเป็นหลักการพื้นฐานของกระบวนการดูดซับระดับโมเลกุล โดยสามารถเลือกให้มีการเลือกดูดซับเฉพาะบางโมเลกุล ส่วนการทำให้แห้งนั้น เนื่องจากซีโอไลท์ที่มีประจุบวกสามารถดูดซับน้ำได้ดีเป็นพิเศษและสามารถเกิดปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้ กล่าวคือ เมื่อมีการให้ความร้อน น้ำก็จะระเหยออกไปหมด แต่เมื่อซีโอไลต์สัมผัสกับไอน้ำอีกครั้ง ก็สามารถดูดซับน้ำได้อีก หรืออาจนำไปใช้ดูดซับสารอื่นแทน เช่นก๊าซไอโอดีน (I_2) หรือแอมโมเนีย (NH_3) นอกจากนี้ยังใช้ในการแยกก๊าซ ซึ่งโมเลกุลของก๊าซต่างชนิดจะมีความแตกต่างกันในเรื่องของปฏิกิริยาทางไฟฟ้าสถิตกับไอออนของโลหะ ในทางกลับกันซีโอไลท์บางชนิดจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำแต่จะดูดซับเฉพาะโมเลกุลสารอินทรีย์เท่านั้น ทำให้ซีโอไลท์สามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการดูดซับโมเลกุลสารเคมีที่เป็นมลพิษได้ ทั้งในสถานะก๊าซและของเหลว ซึ่งเป็นผลมาจากสมบัติทางโครงสร้างและสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilic property) ของซีโอไลท์โดยประสิทธิภาพการดูดซับของซีโอไลท์จะเพิ่มขึ้นได้ เมื่อมีการแลกเปลี่ยนโลหะแทรนซิชั่นในโครงสร้างของซีโอไลท์ เช่น เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) เนื่องจากโลหะเหล่านี้จะเข้าไปดุลประจุลบในโครงสร้างซีโอไลท์ ทำให้โครงสร้างมีความเสถียรขึ้น



รูปที่ 2.4 การบำบัดสารอินทรีย์ปนเปื้อน(Xylene) ด้วยกระบวนการดูดซับของซีโอไลท์

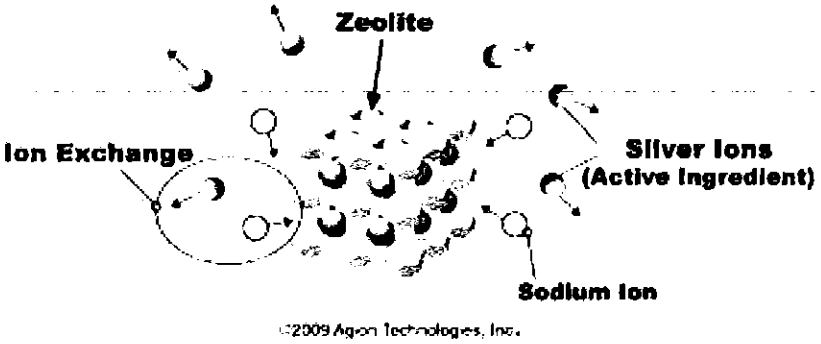
2.2.4 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของซีโอไลท์

เนื่องจากประจุบวกของโลหะที่เกาะกับซีโอไลท์นั้นเกาะอยู่อย่างหลวมๆ จึงพร้อมที่จะแลกประจุกับโลหะอื่นเมื่ออยู่ในสารละลายได้ ด้วยหลักการนี้จึงสามารถนำซีโอไลท์มาประยุกต์ใช้กับการลดความกระด้างของน้ำ โดยโลหะอัลคาไล เช่น โซเดียม(Na) หรือโพแทสเซียม (K) ที่เกาะกับซีโอไลท์จะแลกเปลี่ยนประจุกับแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ซึ่งเป็นประจุของโลหะในน้ำที่เป็นตัวการทำให้น้ำกระด้างนอกจากนี้มีการนำซีโอไลท์ในการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำเสีย โดยการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแอมโมเนีย (NH_4^+) กับโซเดียม (Na^+) ที่อยู่ในโพรงของซีโอไลท์ รวมทั้งสามารถใช้ขจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากไอเสียเครื่องยนต์ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ปลอดภัย และยังมีการนำซีโอไลท์มาใช้กำจัดไอโซโทปกัมมันตรังสีของซีเซียมและสทรอนเชียมจากกากนิวเคลียร์ได้อีกด้วยโดยมีความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนของไดวาเลนต์เป็นดังนี้

$$Zn^{2+} > Sn^{2+} > Ba^{2+} > Ca^{2+} > Ni^{2+} > Cd^{2+} > Hg^{2+} > Mg^{2+}$$

ปัจจัยที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของซีโอไลท์ ได้แก่

- ลักษณะโครงสร้างของซีโอไลท์
- ชนิดของไอออนบวก
- ความเข้มข้นของไอออนบวกในสารละลาย
- อุณหภูมิ
- ชนิดของไอออนลบที่รวมตัวกับไอออนในสารละลาย
- ตัวทำละลาย



รูปที่ 2.5 การบำบัดสารปนเปื้อน (xx) ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุของซีโอไลท์

2.3 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติหรืออินทรียวัตถุซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีจนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดีถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ตามขนาดรูพรุน ดังนี้

- ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder activated carbon: PAC) ขนาดเล็กกว่า 0.18 มิลลิเมตร
- ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Granular activatedcarbon : GAC) ขนาด 0.2 ถึง 5.0 มิลลิเมตร
-ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Pelleted activated carbon) ขนาด 0.8 ถึง 5.0 มิลลิเมตร
-ถ่านกัมมันต์ที่เป็นเส้นใย (Cloth and fibres activated carbon)

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ชนิดผง (ซ้าย) และถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (ขวา)

โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์จะใช้ชนิดใดก็ได้ แล้วแต่ความเหมาะสมในการใช้งาน ถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้ในการฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้กำจัดกลิ่นในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม เบียร์ และไวน์ ใช้ในการทำตัวละลายบริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์และอุตสาหกรรมการพิมพ์ ใช้ในการดูดซับสีและกลิ่นในการทำน้ำประปา ใช้ในเครื่องกรองน้ำหรือเครื่องทำน้ำให้บริสุทธิ์ที่มีจำหน่ายอย่างแพร่หลายอยู่ในขณะนี้ และใช้เป็นวัสดุทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ เป็นต้น ในปัจจุบันผู้ประกอบการผลิตถ่านกัมมันต์มีการ

นำเสนอรูปแบบการใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น เช่น การทำผลิตภัณฑ์ฟอกอากาศจากถ่านกัมมันต์ในรูปแบบที่สวยงามใช้ในรถยนต์ หรือในตู้เย็น เป็นต้น

2.3.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบ

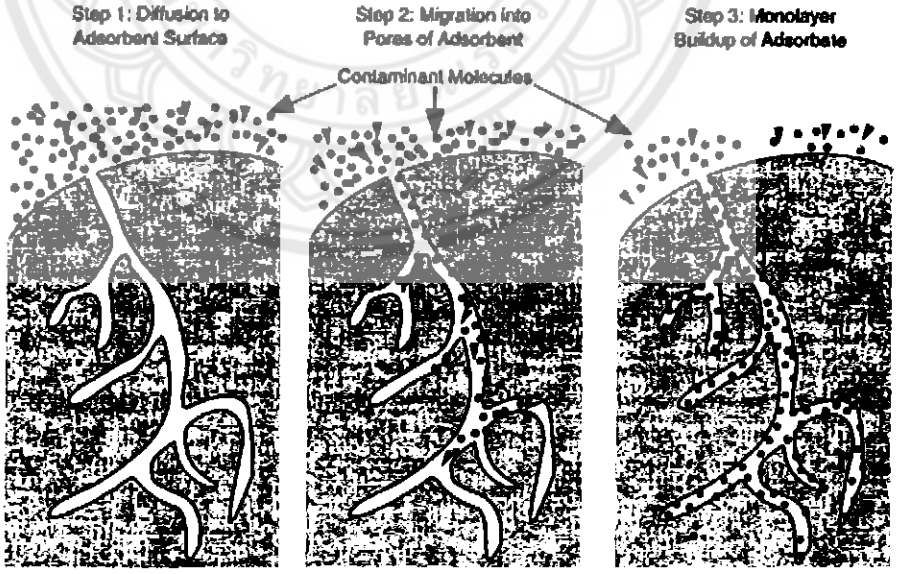
วัตถุดิบที่นำมาสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

- มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีคุณสมบัติคงที่
- ราคาถูกและหาง่าย

ตัวอย่างวัตถุดิบที่นิยมนำมาสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ได้แก่ สารเซลลูโลสที่มาจากพืช (เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ และเศษไม้เหลือทิ้ง) และวัสดุเหลือทิ้งจากทางการเกษตร (เช่น แกลบ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ขี้เลื่อย ชานอ้อย และซังข้าวโพด)

2.3.2 กระบวนการดูดซับของถ่านกัมมันต์

กระบวนการดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำเกิดขึ้นเมื่อสารปนเปื้อนมีการเคลื่อนที่โดยการแพร่กระจายไปเกาะบนผิวรอบนอกของตัวกลางก่อน ตัวกลางที่ดีจะมีลักษณะเป็นรูพรุน ภายในรูจะมีช่องเป็นโพรงลดเลี้ยวไปมา ซึ่งโมเลกุลของสารปนเปื้อนสามารถเคลื่อนที่ลึกลงไปในช่องโพรง ซึ่งจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสได้มากขึ้นทำให้ดูดซับได้มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กลไกการดูดซับของถ่านกัมมันต์

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์

1. ความปั่นป่วน

ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการกวนสารละลายหรือการไหลผ่านคอลัมน์จะมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีขนาดและคุณลักษณะทางกายภาพต่างกัน การดูดซับของถ่านกัมมันต์ต้องการความปั่นป่วนในระดับที่ต่างกันออกไป เช่น ถ่านกัมมันต์แบบผง ต้องการความปั่นป่วนสูงจึงจะเกิดการดูดซับดี เนื่องจากอัตราเร็วของการดูดซับขึ้นอยู่กับการแพร่ผ่านรูพรุนของโมเลกุลที่ถูกดูดซับเข้าสู่โพรงช่องว่างของถ่านกัมมันต์ แต่ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดต้องการความปั่นป่วนต่ำ เนื่องจากอัตราเร็วของการดูดซับขึ้นอยู่กับการแพร่ผ่านฟิล์ม ออกซีไฮเดรท

2. ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์

ขนาดของถ่านกัมมันต์เป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นถ่านกัมมันต์แบบผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด ส่วนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับไอโอดีน (Capacity of iodine adsorption) กล่าวคือกรณีที่มีพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ส่วนมากเป็นพื้นที่ผิวของช่องว่างหรือโพรงภายใน ขนาดภายนอกของถ่านกัมมันต์จะไม่ค่อยมีผลต่อการกำหนดพื้นที่ผิว ถ่านกัมมันต์ทั้งแบบผงและแบบเกล็ดจึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักไม่แตกต่างกัน จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกัน แต่ถ่านกัมมันต์แบบผงจะมีอัตราการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด

3. ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์

เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลของสารจะถูกดึงออกจากน้ำ และไปเกาะติดบนผิวถ่านกัมมันต์ สารที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนจะละลายน้ำได้ ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำอย่างเหนียวแน่น ทำให้สารนี้เกิดการดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์ได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามสารที่ละลายน้ำได้บางชนิดสามารถเกาะติดผิวถ่านกัมมันต์ได้

4. ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์

ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์มีความสำคัญอย่างมากต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในโพรงของถ่านกัมมันต์ จากการวิจัยพบว่า การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อสารที่ถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่าโพรงของถ่านกัมมันต์เพียงเล็กน้อย เนื่องจากจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างสารและถ่านกัมมันต์มากที่สุด จึงทำให้สารขนาดเล็กนี้ถูกดูดเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ก่อน จากนั้นสารขนาดใหญ่จึงจะถูกดูดเข้าสู่รูพรุนตามลาดับ

5. ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

เนื่องจากถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการดูดซับสารออกจากสารละลาย ดังนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างของสารตัวทำละลายจะมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายจะมีผลต่อการแตกตัวของไอออนของตัวถูกละลาย ถ้าสารละลายเป็นกรด จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ลดลง เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะเกาะติดที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้ดี ทำให้ถ่านมีรูพรุนน้อยลง

6. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับอย่างมากถ้าอยู่ในสภาวะของเหลว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายจะทำให้อัตราการดูดซับสูงขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับลดลง

2.3.3 การผลิตถ่านกัมมันต์

โดยทั่วไปการผลิตถ่านกัมมันต์แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน โดยทั่วไปมักใช้วิธีเผาที่ไม่มีอากาศเพื่อไม่ให้วัตถุดิบกลายเป็นเถ้า ซึ่งอุณหภูมิในการเผาประมาณ 200–400 องศาเซลเซียส และขั้นตอนการนำถ่านไปเพิ่มคุณภาพด้วยเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ ที่เรียกว่าการกระตุ้น (Activation) แบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ การกระตุ้นทางเคมี และการกระตุ้นทางกายภาพ

1. การกระตุ้นทางเคมี

เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมี เช่น แคลเซียมคลอไรด์สังกะสีคลอไรด์ กรดฟอสฟอริก เป็นต้น ซึ่งสามารถแทรกซึมได้ทั่วถึง ทำให้ส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ละลายหมดไปได้เร็วขึ้นจากนั้นนำไปเผาในถังที่มีออกซิเจนเป็นเวลาหลายชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิเผาประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส แต่มีข้อเสียตรงที่ต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ซึ่งติดมากับถ่านกัมมันต์ออกให้หมดไม่ให้เหลือตกค้างอยู่เลยเพื่อความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน

2. การกระตุ้นทางกายภาพ

เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊สหรือไอน้ำ ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูงประมาณ 800-1000 องศาเซลเซียส เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (Superheated stream) เพื่อทำให้สารอินทรีย์ต่างๆสลายไป ทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะรูพรุน (Porous) อยู่ทั่วไป ขนาดของรูพรุนที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีนี้มีข้อดีที่สามารถนำมาใช้งานได้เลยทันที โดยไม่ต้องล้างสารที่เหลือตกค้าง

นอกจากนี้ยังอาจจะใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันก็ได้ คือ เมื่อใช้สารเคมีกระตุ้นแล้วนำไปกระตุ้นต่อโดยใช้แก๊สหรือไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด เพื่อการเพิ่มจำนวนรูพรุนให้มากขึ้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

3.1.1.1 บีกเกอร์ขนาด 100, 250, 500 และ 1000 มิลลิลิตร

3.1.1.2 กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร

3.1.1.3 กระดาษกรอง GC/F

3.1.1.4 เครื่องกรองสุญญากาศ

3.1.1.5 ถ้วยเซรามิก

3.1.1.6 เตาเผารุ่น B180 ยี่ห้อ Naterthern

3.1.1.7 เตาเผารุ่น xF6 ยี่ห้อ Verstar Fernaces

3.1.1.8 ครกบด

3.1.1.9 เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กและให้ความร้อน

3.1.1.10 เครื่องปั่นน้ำผลไม้

3.1.1.11 ถังน้ำขนาด 10 ลิตร

3.1.1.12 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

3.1.1.13 เครื่อง UV-Vis

3.1.1.14 เครื่อง X-Ray Diffraction

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 หญ้าแฝก

3.1.2.2 สีเมธิลลีนบลู (Methylene blue)

3.1.2.3 เตตระโพรพิลแอมโมเนียมโบรมาย (Tetrapropylammonium bromide; TPABr)

3.1.2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.2 การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์

3.2.1หั่นใบหญ้าแฝกสด และนำไปปั่นเป็นชิ้นเล็กๆ

3.2.2 ใส่ใบหญ้าแฝกในถ้วยเซรามิก และเผาที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงโดยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังเผา

3.2.3บดชิ้นถ่านจากหญ้าแฝกในครกบดแล้วนำเก็บไว้ตู้ดูดความชื้น

3.2.4นำไปวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction; XRD)

3.3 การสังเคราะห์ซีโอไลท์ชนิด ZSM–5

3.2.1 หั่นใบหญ้าแฝกสด และนำไปปั่นเป็นชิ้นเล็กๆ

3.2.2 ใส่ใบหญ้าแฝกในถ้วยเซรามิก และเผาที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงโดยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังเผา

3.2.3 บดขี้เถ้าจากหญ้าแฝกในครกบดแล้วนำเก็บไว้ตู้ดูดความชื้น

3.2.4 นำไปวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction; XRD)

3.3.5 ใส่ขี้เถ้าจากหญ้าแฝก 6.02 กรัม ลงในบีกเกอร์250 มิลลิลิตร เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม และน้ำ 50 มิลลิลิตร นำไปปั่นกวนบนเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.6 เติมสารเตตระโพรพิลแอมโมเนียมโบรมาย 4.66 กรัม และน้ำ50 มิลลิลิตร นำไปปั่นกวนบนเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 10 วัน

3.3.7 ล้างสารที่สังเคราะห์ได้ด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI) จนค่า pH ประมาณ 7-8

3.3.8 ใส่สารที่สังเคราะห์ได้ในถ้วยกระเบื้อง นำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

3.3.9 นำซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction; XRD)

3.4 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

3.4.1 น้ำเสียเมธิลลีนบลูมาตรฐาน เตรียมได้โดยละลายสีเมธิลลีนบลู 0.032 กรัม ลงในน้ำ DI 10 ลิตร

3.4.2 ละลายสีเมธิลลีนบลู 0.064, 0.160, 0.256 และ 0.320 กรัม ลงในน้ำ DI 10 ลิตรในการเตรียมนำน้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 2, 5, 8 และ 10 เท่า

3.5 การวิเคราะห์การบำบัดน้ำเสีย

3.5.1 เตรียมน้ำเสียเมธิลลีนบลูมาตรฐานปริมาณ 50 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์4 อัน

3.5.2 ใส่ถ่านกัมมันต์สังเคราะห์ ซีโอไลท์สังเคราะห์ และถ่านกัมมันต์การค้า ลงในบีกเกอร์ที่ 1, 2 และ 3 และไม่เติมอะไรเลยในบีกเกอร์ที่ 4

3.5.3 นำบีกเกอร์ทั้ง 4 ไปปั่นกวนบนเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที

3.5.4 จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GC/F

3.5.5นำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร

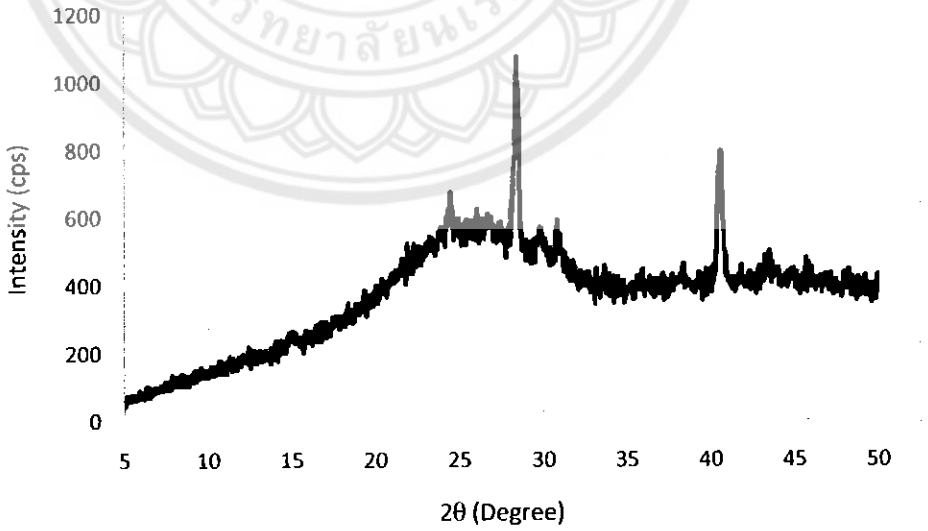
บทที่ 4
ผลการทดลองและอธิปรายผล

4.1 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้

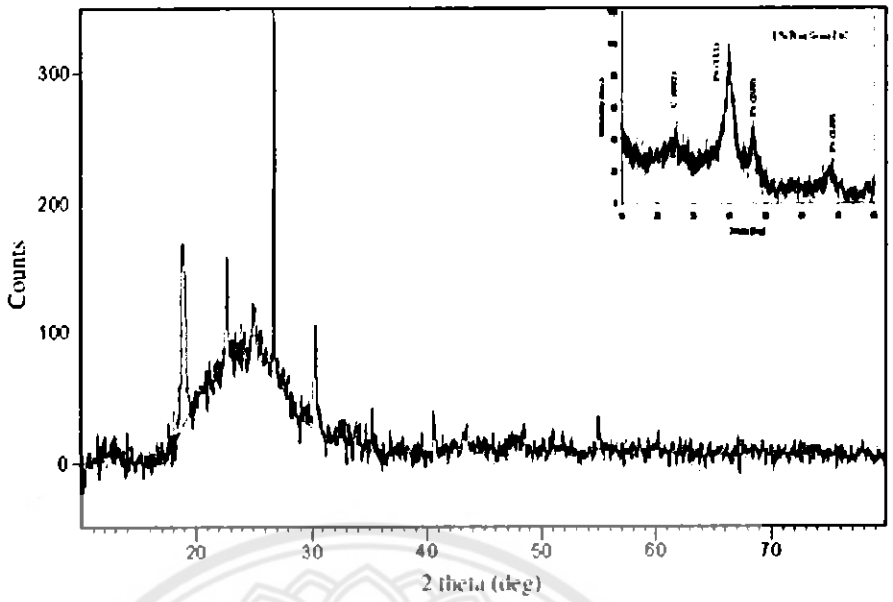
เมื่อนำใบหญ้าแฝกปั่นละเอียดปริมาณ 15 กรัม ไปเผาที่อุณหภูมิ 300° C เพื่อสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ พบว่าจะได้ขี้เถ้าเนื้อละเอียด สีดำ น้ำหนักขี้เถ้าอยู่ระหว่าง 5.0-5.8 กรัม ซึ่งขี้เถ้าที่ได้นั้นก็คือถ่านกัมมันต์ โดยเปอร์เซ็นถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้เฉลี่ยต่อน้ำหนักหญ้าแฝกสด คิดเป็น 34.73 % ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักก่อนและหลังเผาหญ้าแฝกที่อุณหภูมิ 300°C

ครั้งที่	น้ำหนักหญ้าแฝกก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักขี้เถ้าหลังเผา(กรัม)	%ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้
1	15	5.80	38.67
2	15	5.00	33.33
3	15	5.20	34.67
4	15	5.70	38.00
5	15	4.35	29.00
เฉลี่ย	15	5.21	34.73



รูปที่ 4.1 พีค XRD ของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (เผา 300°C)



รูปที่ 4.2 พีค XRD ของถ่านกัมมันต์ (Kalyani และคณะ 2556)

เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction; XRD) พบพีคเกิดขึ้นขึ้นที่ตำแหน่ง 2θ= 24 (ดังรูปที่ 4.1) ซึ่งตรงกับตำแหน่งของคาร์บอน นั่นแสดงว่าสารที่สังเคราะห์นั้น มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้พีคที่ได้มีลักษณะเป็นพีคกว้าง (Broad peak) ซึ่งแสดงถึงการจัดเรียงตัวของคาร์บอนในโมเลกุลที่จัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น (Kalyani และคณะ2556) พบว่าลักษณะของพีค XRD ที่ได้จากการทดลองนี้สอดคล้องกับพีค XRD ของถ่านกัมมันต์ดังแสดงในรูปที่ 4.2

4.2 ลักษณะของซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้

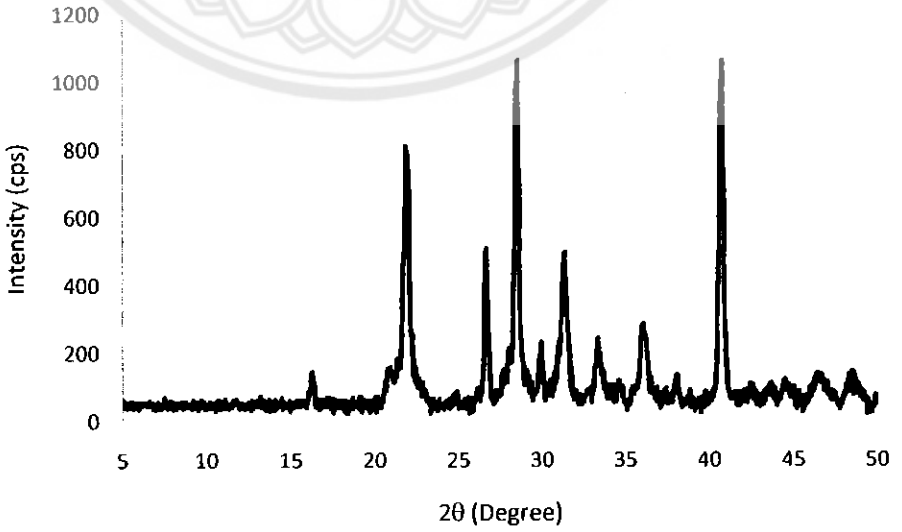
เมื่อนำใบหญ้าแฝกปั่นละเอียดปริมาณ15 กรัม ไปเผาที่อุณหภูมิ 750°C เพื่อเตรียมขี้เถ้าก่อนการสังเคราะห์ซีโอไลท์พบว่าจะได้ขี้เถ้าเนื้อละเอียด สีเทา น้ำหนักขี้เถ้าอยู่ระหว่าง 1.0-1.3 กรัม โดยเปอร์เซ็นขี้เถ้าที่ได้เฉลี่ยต่อน้ำหนักหญ้าแฝกสด คิดเป็น 7.33% ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ขี้เถ้าที่ได้นี้จะเป็นขี้เถ้าที่ไม่มีคาร์บอนเหลืออยู่ ซึ่งต่างจากขี้เถ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่จะมีคาร์บอนอยู่มาก ยืนยันได้จากผลการวิเคราะห์ XRD ดังรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าพีคตำแหน่ง 2θ=24 หายไป นอกจากนี้ลักษณะพีคที่ได้ จะมีลักษณะเป็นพีคคม (Shape peak) แสดงว่าการเผาที่อุณหภูมิสูง (เช่น 750 °C) ส่งผลให้อะตอมของธาตุต่างๆ ในโมเลกุลจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ (Crystalline)

หลังจากนำขี้เถ้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 750 °C มาเติมสารสร้างโครงสร้างเตตระโพรพิลแอมโมเนียมโบรมาย (TPABr) และสังเคราะห์ซีโอไลท์ ZSM-5 พบว่าจากน้ำหนักหญ้าแฝก 600 กรัม สังเคราะห์ซีโอไลท์ได้ประมาณ 1.93 กรัม คิดเป็น 0.32%

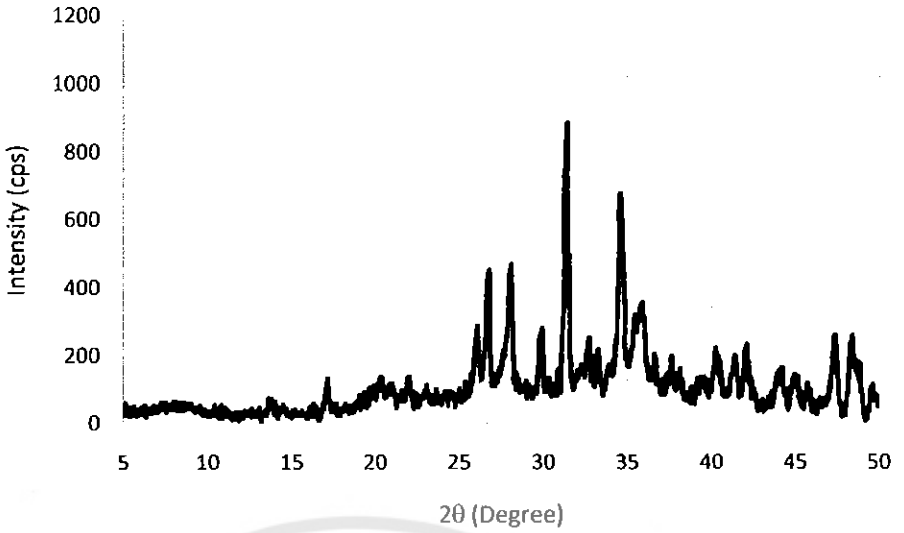
จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าพีค XRD ของซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะแตกต่างจากพีค XRD ของซีโอไลท์ ZSM-5 ที่ได้จากงานวิจัยอื่น (Kordatos และคณะ 2551) แสดงว่าการสังเคราะห์ซีโอไลท์ ZSM-5 จากหญ้าแฝกในโครงงานนี้ไม่ประสบผลสำเร็จ ทั้งนี้เป็นเพราะขี้เถ้าจากหญ้าแฝกไม่ได้ประกอบซิลิกา (Si) เป็นองค์ประกอบหลักเพียงธาตุเดียว แต่ยังประกอบด้วยธาตุอื่นๆ เช่น K และ Na ในปริมาณสูงเช่นกัน สังเกตได้จากพีคจำนวนมากที่เกิดขึ้นในรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักก่อนและหลังเผาหญ้าแฝกที่อุณหภูมิ 750 ℃

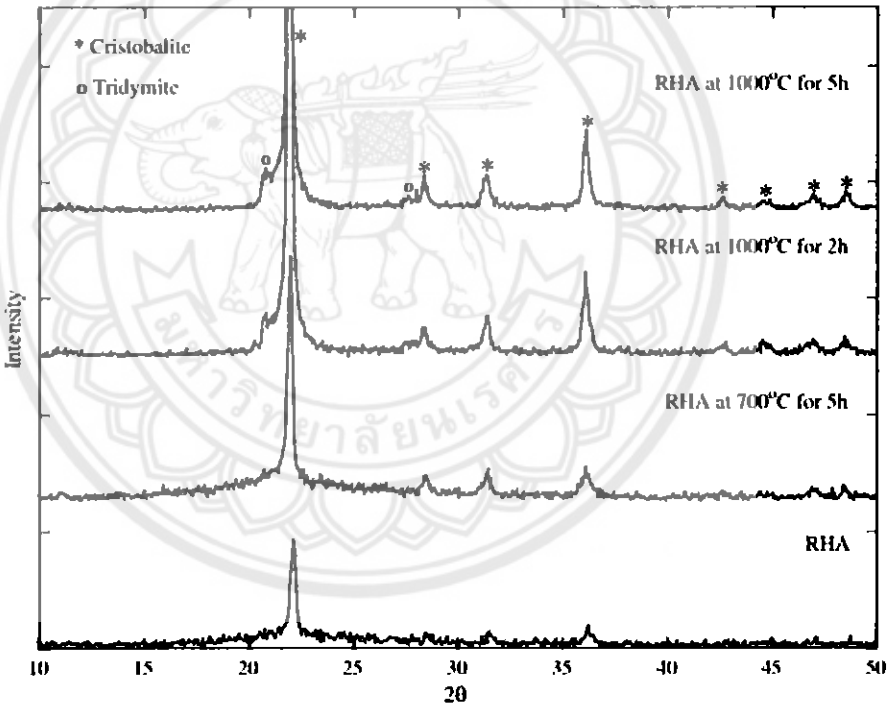
ครั้งที่	น้ำหนักหญ้าแฝกก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักขี้เถ้าหลังเผา (กรัม)	%ขี้เถ้าที่ได้
1	15	1.1	7.33
2	15	1.0	6.67
3	15	1.0	6.67
4	15	1.3	8.67
5	15	1.2	8.00
6	15	1.1	7.33
7	15	1.0	6.67
8	15	0.9	6.00
9	15	1.1	7.33
10	15	1.2	8.00
เฉลี่ย	15	1.1	7.33



รูปที่ 4.3 พีค XRD ของขี้เถ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลท์ (เผา 750 ℃)



รูปที่ 4.4 พีค XRD ของซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้



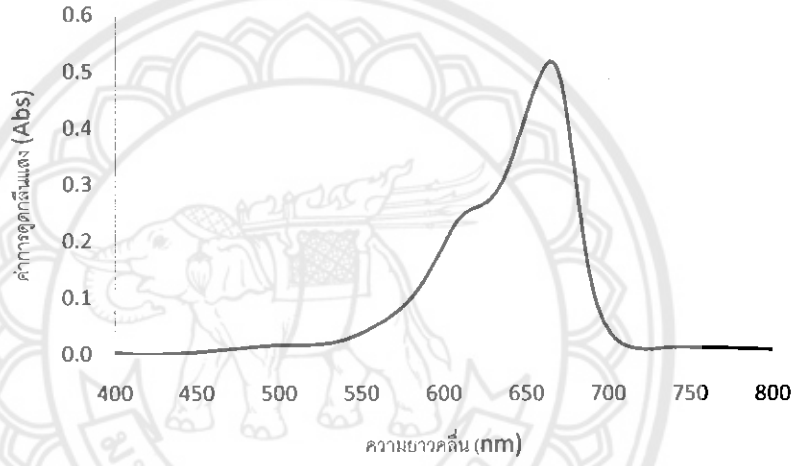
รูปที่ 4.5 พีค XRD ของซีโอไลท์ ZSM-5 ที่ได้จากขี้เถ้าจากแกลบข้าว (Kordatos และคณะ 2551)

ทั้งนี้ขี้เถ้าจากหญ้าแฝกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 750 °C ได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุซิลิกา (Si) อลูมิเนียม (Al) โพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอปซอฟชัน (Atomic adsorption spectroscopy) พบว่ามีธาตุเหล่านี้เป็นองค์ประกอบคิดเป็น 0, 5, 424, 31, 528 และ 1,318 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขี้เถ้าจากหญ้าแฝกไม่มี Si เป็นองค์ประกอบเลย ในขณะเดียวกันก็ประกอบด้วย K ปริมาณสูงมาก ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ซีโอไลท์ ZSM-5 ดังนั้นซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้อาจจะเป็นซีโอไลท์ชนิดอื่น หรืออาจเป็น

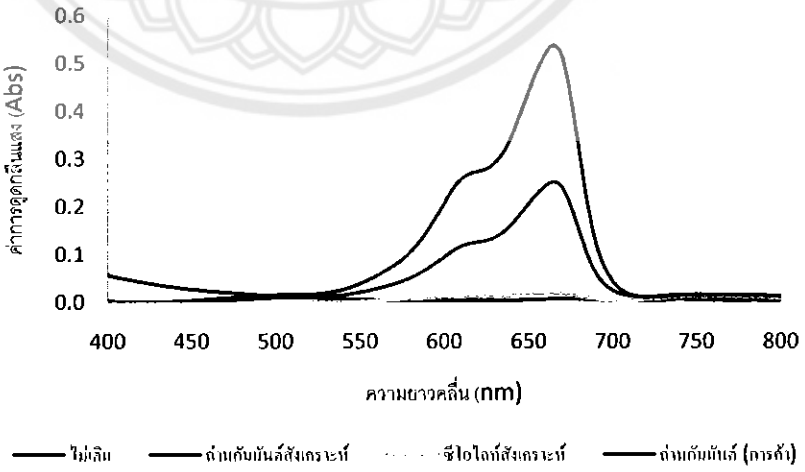
เพียงตัวดูดซับที่มีรูพรุนธรรมดาเท่านั้น (Mesoporousmaterial) ซึ่งต้องอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์อื่น เพื่อยืนยันต่อไป

4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์สังเคราะห์

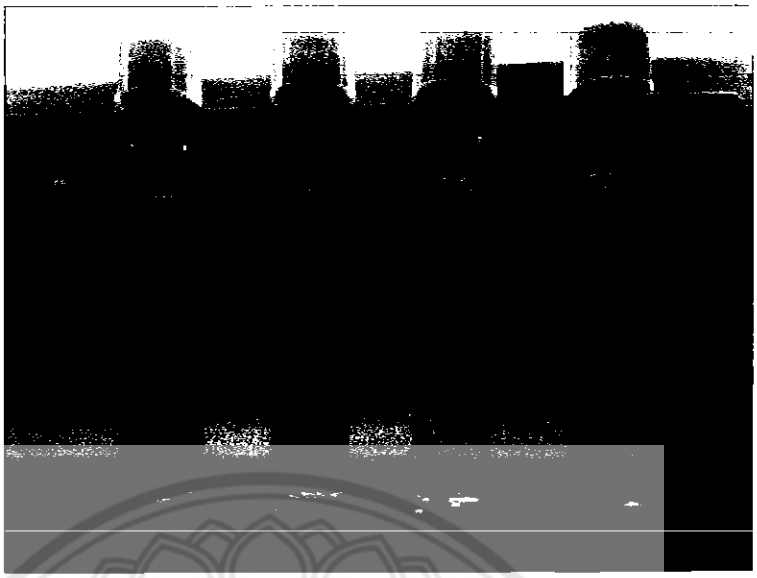
ถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้ถูกนำไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ (การค้า) โดยใช้น้ำเมธิลลีนบลูมาตรฐานเป็นน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ ซึ่งให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400-800 ดังรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียสังเคราะห์จะให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร ดังนั้นในการทดลองนี้จะศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมโดยเปรียบเทียบการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงที่ 664 นาโนเมตร เป็นหลัก



รูปที่ 4.6 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียจากสีย้อมมาตรฐาน



รูปที่ 4.7 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวดูดซับต่างๆ ของน้ำเสียจากสีย้อมมาตรฐาน

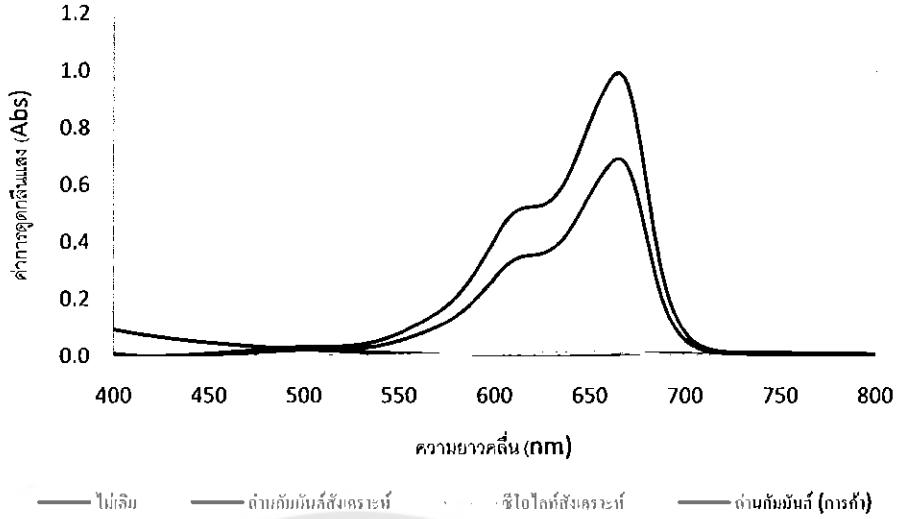


รูปที่ 4.8 น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวดูดซับต่างๆ (จากซ้ายไปขวา) : ไม่เติม,ถ่านกัมมันต์ (การค้า), ถ่านกัมมันต์สังเคราะห์ และ ซีโอไลท์สังเคราะห์

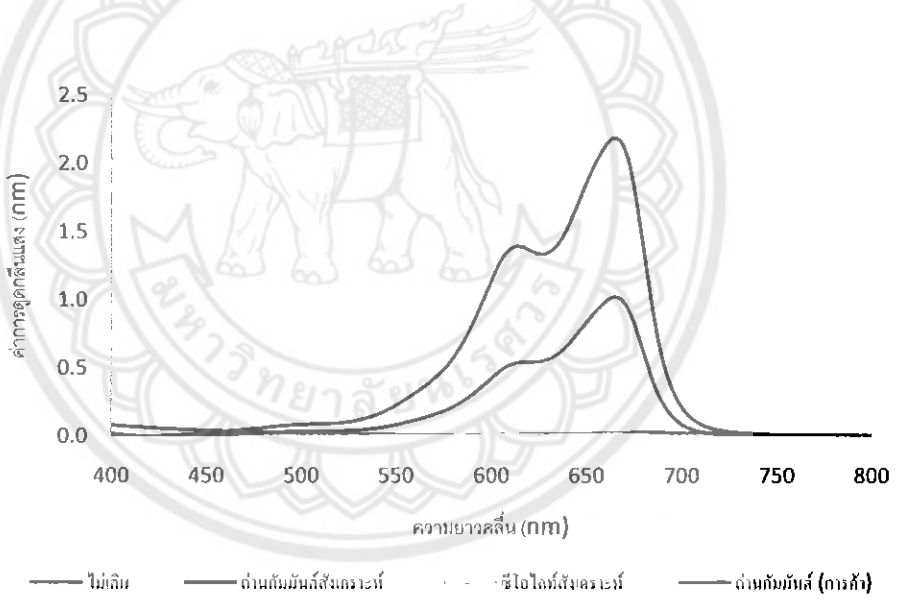
จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์สังเคราะห์ และซีโอไลต์สังเคราะห์สามารถบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมได้ดี เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ (การค้า) โดยสามารถให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมมาตรฐานได้เกือบ 100% น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะใส ไม่มีสี ส่วนถ่านกัมมันต์ (การค้า) สามารถบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมได้บางส่วน

4.4 ผลของความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อมต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

จากรูปที่ 4.9-4.10 ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อมเป็น 2 และ 5 เท่าของค่ามาตรฐาน พบว่าถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์สังเคราะห์ยังคงสามารถบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมได้ดีเป็นอย่างดี น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะใส ไม่มีสี สังเกตได้จากไม่พบค่าการดูดกลืนแสงที่ 664 นาโนเมตร เช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์ (การค้า) จะสามารถบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมได้เพียงบางส่วนเท่านั้น



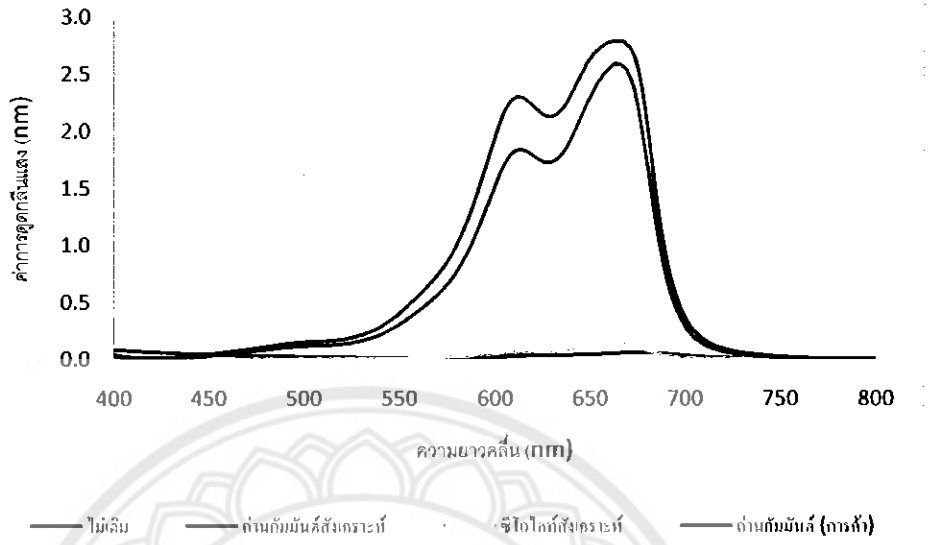
รูปที่ 4.9 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวดูดซับต่างๆ ของน้ำเสียจากสีย้อมเข้มข้น 2 เท่า



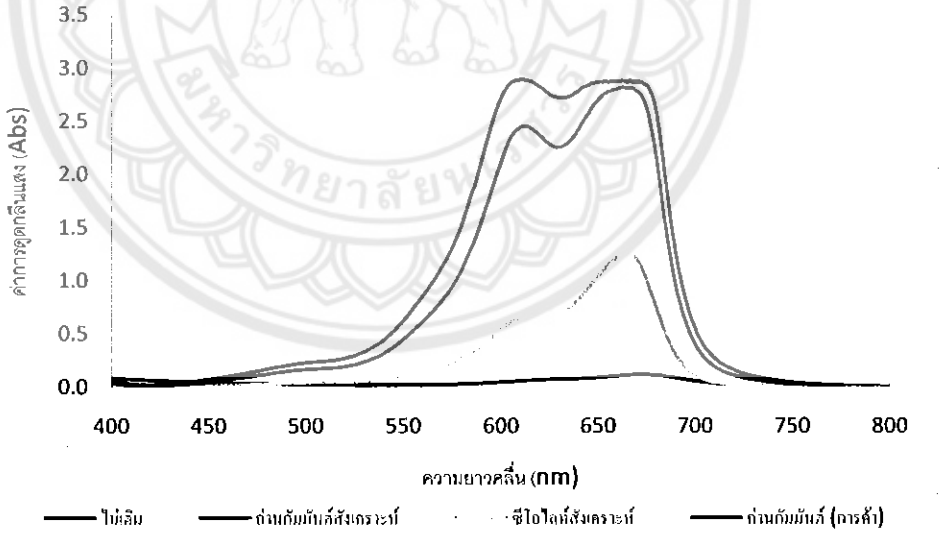
รูปที่ 4.10 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวดูดซับต่างๆ ของน้ำเสียจากสีย้อมเข้มข้น 5 เท่า

จากรูปที่ 4.11-4.12 ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อมเป็น 8 และ 10 เท่าของค่ามาตรฐาน พบว่าถ่านกัมมันต์สังเคราะห์ยังคงสามารถบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมได้ดีเป็นอย่างดี น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะใส ไม่มีสี ในขณะที่ซีโอไลท์สังเคราะห์ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นสูงได้ 100% น้ำที่ผ่านบำบัดด้วยซีโอไลท์สังเคราะห์จะมีสีฟ้าจางๆ แต่ก็ยังคงให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ (การค้า) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์สังเคราะห์จากหญ้าแฝกที่ได้จากโครงงานนี้สามารถให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ (การค้า) ที่มีขาย

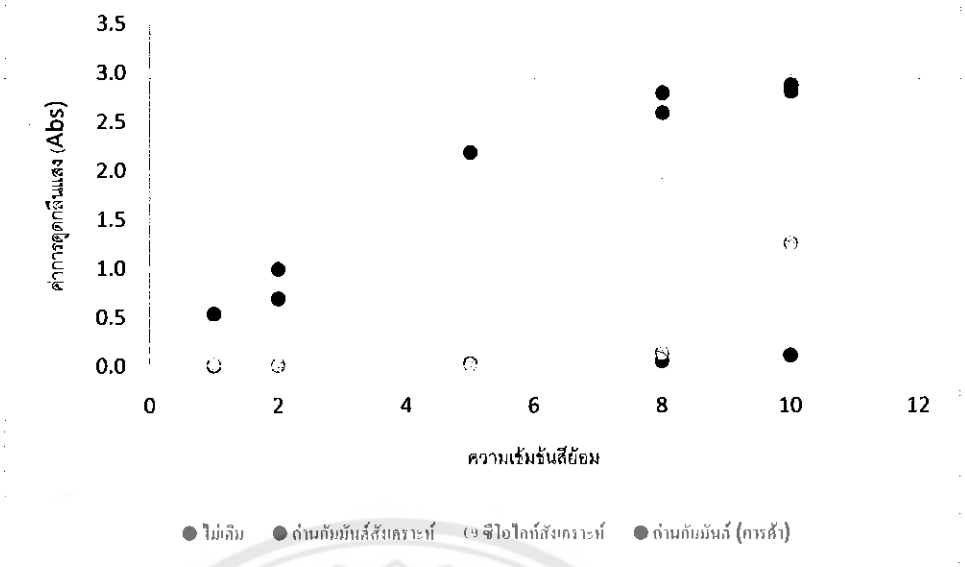
อยู่ทั่วไป และถ่านกัมมันต์สังเคราะห์จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีกว่าซีโอไลท์สังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของสีย้อมสูง (8-10 เท่า จากน้ำเสียมาตรฐาน) ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.11 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวดูดซับต่างๆ ของน้ำเสียจากสีย้อมเข้มข้น 8 เท่า



รูปที่ 4.12 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวดูดซับต่างๆ ของน้ำเสียจากสีย้อมเข้มข้น 10 เท่า



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนที่ 664 นาโนเมตรของน้ำเสียจากสีย้อมที่**ความเข้มข้นต่างๆ**

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ใบหญ้าแฝกสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์ที่มีประสิทธิภาพได้โดยให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงกว่าถ่านกัมมันต์ (การค้า)

2. ใบหญ้าแฝกที่ใช้การศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วยธาตุอะลูมิเนียม โพแทสเซียม และโซเดียมในปริมาณมาก และไม่พบซิลิกอนเลย ทำให้ไม่ประสบผลสำเร็จในการสังเคราะห์ซีโอไลท์ ZSM-5

3. น้ำเสียจากสีย้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ ไม่มีผลต่อการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์สังเคราะห์ แต่ที่ความเข้มข้นสูงสุด (10 เท่า) ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดด้วยซีโอไลท์สังเคราะห์ลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้ควรใช้เครื่องมือวิเคราะห์อื่นวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อให้ทราบว่าเป็นซีโอไลท์หรือไม่ และเป็นชนิดใด

2. ควรปรับปรุงวิธีการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นผลผลิตเพิ่มขึ้นและมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียมากขึ้น

3. ควรศึกษาความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของถ่านกัมมันต์และซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน (2548) คู่มือการใช้ประโยชน์หญ้าแฝกเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ, ศูนย์ปฏิบัติการโครงการหลวงภาคเหนือ กรมพัฒนาที่ดิน10, 4-20

พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์ และวีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์ (2553) การดูดซับสีย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ วิศวสารลาดกระบัง 27, 61–66

ศิรินุช ลอยหา (2556) ซีโอไลต์และเทคโนโลยีซีโอไลต์ Zeolite and Zeolite Technology วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 41, 56-66

Kalyam P., Anitha A., Darchen A. (2556) Activated carbon from grass-A green alternative Catalyst support for water electrolysis. International Journal of Hydrogen Energy, 38, 10364-10372

Kordatos K., GavelaS.,NtziouniA., PistiolasK.N., KyritsiA., Kasselouri-Rigopoulou V.(2551) Synthesis of highly siliceous ZSM-5 zeolite using silica from rice husk ash.Microporous and Mesoporous Materials, 115, 189-196