การกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปรด้วยเฟอร์ริกไอออน

REMOVAL OF PHOSPHATE IN SYNTHETIC WASTEWATER WITH ACTIVATED CARBON MODIFIED BY FERRIC ION

ชลันทร ธรรมอินราช

ธนัท เกตุเรือง

ปราชญ์เทวัญ แดงจอหอ

สหรัฐ ชูไพฑูรย์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOVAL OF PHOSPHATE IN SYNTHETIC WASTEWATER WITH ACTIVATED CARBON MODIFIED BY FERRIC ION

CHALUNTORN THAMINRAT
TANUT KETRUEANG
PRACHTAYWAN DAENGJOHO
SAHARADT CHUPAITOON

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การกำจัดฟอสเฟตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปลงด้วยเฟอร์ริคไอออน Removal of Phosphate in Synthetic Wastewater with Activated Carbon Modified by Ferric Ion
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชลันทร ธรรมอินราช รหัสนักศึกษา 62050379 นายธนัท เกตุเรือง รหัสนักศึกษา 62050393 นายปราชญ์เทวัญ แดงจอหอ รหัสนักศึกษา 62050411 นายสหรัฐ ชูไพฑูรย์ รหัสนักศึกษา 62050456
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.บรรจง บุญชม ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการ	
รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปรด้วยเฟอร์ริกไอออน

ชื่อนักศึกษา นางสาวชลันทร ธรรมอินราช รหัสนักศึกษา 62050379
นายธนัท เกตุเรือง รหัสนักศึกษา 62050393
นายปราชญ์เทวัญ แดงจอหอ รหัสนักศึกษา 62050411
นายสหรัฐ ชูไพฑูรย์ รหัสนักศึกษา 62050456

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราห์ด้วยถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ โดยแช่ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม ในเฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ 30 มิลลิลิตร คิดเป็นอัตราส่วน 1:30 จากนั้นปั่นกวนพร้อมทั้งหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มอล จนได้ pH 11 ตั้งทิ้งไว้ 24 ชม. แล้วนำไปกรองและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิเคราะห์ความเข้มข้นของเหล็กที่เคลือบอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์ดัดแปรโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของเหล็กเริ่มต้นและสุดท้ายในสารละลายด้วยเทคนิคฟีแนนโทรลีน วิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปร ได้แก่ หมู่ฟังก์ชั่นด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FTIR) การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และธาตุองค์ประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดและอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุ (SEM-EDS) จากนั้นนำถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ดัดแปรไปศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยแปรค่าปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ เช่น ระยะเวลา ค่าความเป็นกรด-เบส ปริมาณถ่านกัมมันต์ และความเข้มข้นฟอตเฟสเริ่มต้น จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ดัดแปรพบว่า มีหมู่ฟังก์ชั่นของ FeOOH มีลักษณะผิวค่อนข้างขรุขระ และมีเหล็ก 44.20% โดยน้ำหนัก จากผลการศึกษาปัจจัยต่างๆ พบว่า การกำจัดฟอตเฟสในน้ำของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ดัดแปรมีประสิทธิภาพสูงในช่วงระยะเวลา 30 นาที โดยประสิทธิภาพในการกำจัดฟอตเฟสจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเป็นกรด ที่พีเอช 5 เวลาสัมผัส 120 นาที ความเข้มข้นฟอสเฟต 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ดัดแปรมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตร้อยละ 55.85 และ 94.63 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : เฟอร์ริกคลอไรด์, ถ่านกัมมันต์ดัดแปร, ออร์โธฟอสเฟต

Title	Removal of Phosphate in Synthetic Wastewater with Activated Carbon Modified by Ferric Ion
Students	Miss Chaluntorn thaminrat Student ID 62050379
	Mr. Tanut ketrueang Student ID 62050393
	Mr. Prachtaywan daengjoho Student ID 62050411
	Mr. Saharadt Chupaitoon Student ID 62050456
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
School	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2022
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon

Abstract

This special project studied the adsorption efficiency of phosphate in synthetic wastewater by activated carbon modified with ferric chloride. 1 g of activated carbon was soaked in 30 ml of 0.5 M ferric chloride (ratio of 1:30 w/v). The mixture was stirred and dropped 6 N sodium hydroxide until pH 11 was reached. Then, the mixture was leaved for 24 h. Modified activated carbon was filtered and dried in an oven at 80 °C for 24 h. The iron concentration coated on the surface of the modified activated carbon was measured by analyzing iron concentrations in the filtrate at initial and end of reaction using the phenanthroline method. The physical and chemical properties of activated carbon and modified activated carbon were characterized such as functional group analysis using Infrared Spectroscopy (FTIR), morphological analysis and elemental analysis using Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS). The adsorption efficiency of orthophosphate in synthetic wastewater using activated carbon and modified activated carbon were also examined. Various factors affecting its adsorption efficiency were investigated such as contact time, pH value, amount of activated carbon, and initial phosphate concentration. The characterization results showed that modified activated carbon contained FeOOH, rough surface and iron composition 44.20% by weight. The experimental results indicated that phosphate removal efficiencies of activated carbon and modified activated carbon were high within 30 min and tended to increase in acid condition. At pH 5, contact time 120 min and initial phosphate concentration of 50 mg/L, phosphate removal efficiencies of activated carbon and modified activated carbon were 55.85 and 94.63 %, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords: ferric chloride, modified activated carbon, orthophosphate

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเรื่อง การกำจัดฟอสเฟตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปลงด้วยเฟอร์ริคไอออน สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และการสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา ให้ความรู้ทางด้านวิชาการ ด้านการวางแผน ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความใส่ใจอย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบคุณกรรมการคุมสอบโครงงานพิเศษ ได้แก่ ผศ.ดร.ชวาล ศรีวงษ์ และ ผศ.ดร.บรรจง บุญชม ที่กรุณาสละเวลามาเข้าร่วมรับฟัง ให้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะโครงงานพิเศษนี้ ทำให้โครงงานพิเศษเล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ พี่ๆ นักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาเคมีที่คอยให้คำปรึกษา ดูแล และให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาสารเคมี ด้านอุปกรณ์ ด้านเทคนิคต่างๆ อีกทั้งยังสอนการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ในการทำโครงงานพิเศษเล่มนี้ ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการสาขาวิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการจัดการด้านการเงิน ทำให้โครงงานพิเศษเล่มนี้ ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้เป็นส่วนหนึ่งของสถาบันการศึกษา ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ได้รับการศึกษา คอยให้กำลังใจ คอยอบรมสั่งสอน และเป็นแรงผลักดันในการดำเนินงานวิจัย รวมถึงเพื่อน ๆ ในสาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อมทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือ และแนะนำ ทำให้โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ชลันทร ธรรมอินราช
ธนัท เกตุเรือง
ปราชญ์เทวัญ แดงจอหอ
สหรัฐ ชูไพฑูรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย (TH SarabunPSK 16) ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... จ
สารบัญรูป ..... ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์ (ถ้ามี) ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ถ่านกัมมันต์ 4
2.1.1 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ 4
2.1.2 คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ 5
2.1.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ 5
2.2 รูปของฟอสฟอรัส 6
2.2.1 แหล่งของฟอสฟอรัส 7
2.2.2 ยูโทรฟิเคชั่น 8
2.3 เฟอริกคลอไรด์ 8
2.3.1 ประโยชน์ของเฟอริกคลอไรด์ 8
2.3.2 การเก็บรักษา 8
2.3.3 ข้อควรระวัง 8
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 11
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 11
3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ 11
3.1.2 สารเคมี 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

3.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษา....12
3.3 การเตรียมหรือโหลดไอออนของโลหะลงบนถ่าน....12
3.3.1 วิธีการเตรียมสารเคมี....12
3.3.2 วิธีการเติมสารดัดแปรลงบนถ่านกัมมันต์....12
3.4 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายออร์โธฟอสเฟต....13
3.4.1 ชนิดของวัสดุที่ศึกษา....13
3.4.2 วิธีการเตรียมสารละลายสต๊อคออร์โธฟอสเฟต....13
3.4.3 การศึกษาผลของระยะเวลาที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายออร์โธฟอสเฟต....14
3.4.4 การศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรดด่างที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายออร์โธฟอสเฟต....14
3.4.5 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของสารละลายออร์โธฟอสเฟต....15
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล....16
4.1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์....16
4.2 ศึกษาความสามารถในการดูดซับ....21
4.2.1 ศึกษาหาระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับ....21
4.2.2 การศึกษาหาความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสม....21
4.2.3 การศึกษาหาปริมาณของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ดัดแปรที่เหมาะสมในการดูดซับ....23
4.2.4 การศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับ....24
4.2.5 การหาไอโซเทอมของการดูดซับ....24
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....27
5.1 สรุปผลการวิจัย....27
5.2 ข้อเสนอแนะ....28
เอกสารอ้างอิง....29
ภาคผนวก....31
ภาคผนวก ก....31
ภาคผนวก ข....36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1. ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ 12
2. ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบธาตุในถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเฟอร์ริกไอออน วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS 19
2. ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และฟรุนดลิชของงการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วยถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการดัดแปร 26
3. ตารางที่ ข-1.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค EDS ของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้รับการดัดแปร 37
4. ตารางที่ ข-1.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค EDS ของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้รับการดัดแปร 37
5. ตารางที่ ข-2.1 ผลของระยะเวลาของชุดควบคุมต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต 38
6. ตารางที่ ข-2.2 ผลของระยะเวลาของถ่านกัมมันต์ดัดแปรต่อออร์โธฟอสเฟต 38
7. ตารางที่ ข-2.3 ผลของระยะเวลาของถ่านกัมมันต์ต่อออโธฟอสเฟต 39
8. ตารางที่ ข-3.1 ผลของพีเอชของชุดควบคุมต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต 39
9. ตารางที่ ข-3.2 ผลของพีเอชของถ่านกัมมันต์ดัดแปรต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต 39
10. ตารางที่ ข-3.3 ผลของพีเอชของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต 40
11. ตารางที่ ข-4.1 ผลของความเข้มข้นของชุดควบคุมต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต 40
12 ตารางที่ ข-4.2 ผลของความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ดัดแปรต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต 40
13. ตารางที่ ข-4.3 ผลของความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต 41
14. ตารางที่ ข-5.1 ผลของปริมาณของถ่านกัมมันต์ดัดแปรต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต 41
15. ตารางที่ ข-5.2 ผลของปริมาณของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต 41
16. ตารางที่ ข-5.3 ผลของปริมาณของชุดควบคุมต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1 รูปที่ 4.1 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ (ก) ก่อนการดัดแปร และ (ข) หลังการดัดแปรด้วยเฟอร์ริคไอออน..... 16
2 รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังการดัดแปรด้วยเฟอร์ริคไอออน..... 17
3 รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิค X-ray energy dispersive spectra (EDS) (ก) ก่อนการดัดแปร (ข) หลังการดัดแปรด้วยเฟอร์ริคไอออน 18
4 รูปที่ 4.4 ค่าเลขคลื่นของแถบต่างๆที่เกิดขึ้นในอินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ (ก) ก่อนการดัดแปร (ข) หลังการดัดแปรด้วยเฟอร์ริคไอออน 20
5 รูปที่ 4.5 แสดงค่าเลขคลื่นของแถบต่างๆที่เกิดขึ้นในอินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์..... 21
6. รูปที่ 4.6 แสดงค่าเลขคลื่นของแถบต่างๆที่เกิดขึ้นในอินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์เคลือบผิวด้วยเหล็ก..... 22
7. รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตในน้ำของชุดควบคุม ชุดทดลองที่ใช้ถ่านกัมมันต์และชุดทดลองที่ใช้ถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเหล็ก 23
8. รูปที่ 4.8 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตของชุดควบคุมถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเหล็ก และถ่านกัมมันต์..... 24
9. รูปที่ ข-1 Fourier transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ของถ่านกัมมันต์..... 36
10. รูปที่ ข-2 Fourier transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ของถ่านกัมมันต์ดัดแปร... 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
KH2PO4	โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต
NaOH	โซเดียมไฮดรอกไซด์
FeCl3	เฟอร์ริกคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารหลักในจุดเริ่มต้นของสายใยอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ แต่ปริมาณฟอสฟอรัสที่มากเกินไปใน ทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำ โดยเฉพาะสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืช เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication) ปัญหาดังกล่าวพบได้ในแหล่งน้ำจืด และในปัจจุบันยังพบเกิดขึ้นบ่อยครั้งในทะเลและตามชายฝั่ง ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นถือเป็นหนึ่งในปัญหามลพิษทางน้ำที่สำคัญที่เกิดขึ้นในทุกทวีปทั่วโลก การเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของพืชน้ำ ทำให้เกิดการเสียสมดุลของสิ่งมีชีวิตในน้ำ นอกจากนี้สาหร่ายบางชนิดสามารถผลิตสารพิษ ซึ่งถ้ามีปริมาณมากไปอาจทำให้ปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำตายได้ รวมทั้งทำให้น้ำมีสีและกลิ่นไม่พึงประสงค์ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเมื่อนำไปผลิตเป็นน้ำใช้

น้ำเสียชุมชน จัดเป็นหนึ่งในแหล่งที่มาสำคัญของฟอสฟอรัสในน้ำ การใช้สารซักล้างและผงซักฟอกที่มีฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบในรูปเกลือฟอสเฟต จัดเป็นกิจกรรมหนึ่งที่ทำให้น้ำเสียชุมชนมีอนุมูลของฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบ ทั้งนี้ความเข้มข้นของฟอสเฟตทั้งหมด (Total Phosphates) ที่พบในน้ำเสียชุมชนมีค่าระหว่าง 5.8-6.20 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร โดยจะพบในรูปออร์โธฟอสเฟต (orthophosphates) เป็นหลักในปริมาณระหว่าง 2.86-4.20 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร (พงศ์ศักดิ์และคณะ, 2550) นอกจากนี้พบว่าตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ค่อนข้างต่ำ จำเป็นต้องมีกระบวนการบำบัดน้ำเพิ่มก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม (พงศ์ศักดิ์และคณะ, 2550)

การดูดซับจัดเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและสามารถติดตั้งเพื่อใช้งานได้ในแหล่งชุมชนทั่วไป (รัตนภรและคณะ, 2554) ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นเคมีภัณฑ์ที่สำคัญมากสำหรับอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำดื่มเพื่อการดูดสีดูดกลิ่น ใช้ในการดูดซับโลหะหนักในการประปา ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่นำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพและวิธีการทางเคมี หรือทั้งสองวิธีร่วมกัน เพื่อทำให้เกิดโครงสร้างทางกายภาพของถ่านเกิดรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมหาศาล โดยรูพรุนที่เกิดขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยเฉพาะโมเลกุลขนาดเล็ก (ธิยา, 2542) เนื่องจากพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบได้แก่ O–H, C=O, C–O, $–CO_3$ (Mopoung et al., 2015) ทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ได้ดีสามารถดูดซับแคทไอออนอย่างเช่นโลหะหนักในน้ำได้เป็นอย่างดี แต่มีประสิทธิภาพในกำจัดไอออนลบในน้ำค่อนข้างต่ำ ทำให้การปรับปรุงสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวของถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตเป็นขั้นตอนที่จำเป็น งานวิจัยก่อนหน้ามีการศึกษาเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตของถ่านชีวภาพ (biochar) และถ่านไฮโดร (hydrochar) ด้วยการโหลดโลหะชนิดต่างๆ ผลการศึกษาพบว่าสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่โหลดบนถ่าน โดยถ่านที่มีการเติมเหล็กจำพวกเฟอร์ริคมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับถ่านที่มีการเติมเหล็กจำพวกเฟอร์รัส แคลเซียม หรือ แมกนีเซียม (Thawornchaisit et al,, 2019; Thawornchaisit et al., 2021) ในขณะที่งานวิจัยเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตยังมีไม่มาก โครงงานพิเศษนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ที่เติมโมเลกุลของเหล็กลงไปในโครงสร้างของถ่าน พร้อมทั้งศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเตรียมถ่านกัมมันต์เคลือบอนุภาคเหล็ก
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์เคลือบอนุภาคเหล็ก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา คือ ถ่านกัมมันต์แบบผง
2. การผลิตถ่านกัมมันต์เคลือบอนุภาคเหล็ก โดยใช้วิธีการตกตะกอนอ้างอิงตามอ้างอิงตาม Yang et al. (2018) และกัมญาพร (2565)

- สารประกอบเหล็กที่ใช้ในการศึกษาคือเฟอร์ริคคลอไรด์เฮกซะไฮเดรท ($FeCl_3.6H_2O$) และความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้คือ 0.5 M ทำการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ตามที่ระบุไว้ในข้อ 3 และวิเคราะห์ปริมาณเหล็กที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธีการทางสเปกโทรโฟโตเมทรีด้วยการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กกับสารละลายฟีแนนโทรลีน (Phenanthroline)

3. การศึกษาสมบัติของวัสดุได้แก่ พื้นที่ผิว หมู่ฟังก์ชั่นบนพื้นผิว ธาตุที่เป็นองค์ประกอบและลักษณะทางสัณฐานวิทยา
4. การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์เคลือบด้วยเหล็ก
   - ชนิดของสารละลายฟอสเฟตที่ใช้ คือ KH_2PO_4
   - ตัวแปรต้นหรือปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ระยะเวลาสัมผัส (30, 40, 60, 90, 120, 150, 180, 360 นาที) พีเอช (5, 7, 10) ปริมาณตัวดูดซับ (1, 1.5, 2 กรัม) และความเข้มข้นเริ่มต้น (5, 10, 25, 50, 100 มิลลิกรัมต่อลิตร)
   - ตัวแปรตามคือ ความเข้มข้นของฟอสเฟตที่เหลือในน้ำและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุหลังดูดซับได้แก่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบและหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว

เอกสารนี้ ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ชนิดของวัสดุทางเลือกที่ใช้ในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำ
2. ได้แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์
3. เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพในการดูดซับเพื่อกำจัดไอออนลบในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Activated carbon หรือ Activated charcoal เป็นสารคาร์บอนที่ต้องนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือวิธีทางกายภาพก่อน ทำให้มีโครงสร้าง รูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะภายในจำนวนมาก จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูง ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเป็นหลัก (ร้อยละ 87 ถึง 97) และมีธาตุอื่นๆ เป็นองค์ประกอบอยู่บ้าง เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน กำมะถัน และไนโตรเจน รวมทั้งสารประกอบต่างๆ ทั้งที่มีอยู่เดิมในวัตถุดิบตั้งต้น ที่ใช้ในการผลิตหรือสารที่เติม เข้าไปในระหว่างกระบวนการผลิตและสามารถเพิ่มพลังการดูดซับได้อีกโดยใช้สารเคมีปรับสภาพ

ประเภทของถ่านกัมมันต์มีหลักๆ 3 ประเภท ดังนี้

1. ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powdered activated carbon) โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์ชนิดผง มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยระหว่าง 0.15 ถึง 25 มิลลิเมตร ใช้ต้นทุนที่ต่ำ มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ ถ่านกัมมันต์แบบผงส่วนใหญ่จะใช้งานกับของเหลว โดยผสมลงในของเหลวและเมื่อมีการดูดซับแล้วจึงแยกถ่านกัมมันต์ชนิดผง โดยวิธีตกตะกอนและการกรองแยกออกมา

2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon) มีขนาดหลากหลายแตกต่างกันตามการบดและการร่อนคัดขนาด มีขนาดตั้งแต่ 0.2 ถึง 5 มิลลิเมตร ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดจะมีข้อได้เปรียบกว่าชนิดผงด้านความแข็งของเมล็ดถ่าน ใช้งานระยะยาวกว่า ไม่สกปรก เปรอะเปื้อนในการใช้งาน และสามารถนำไปฟื้นฟูเพื่อใช้ซ้ำได้ ถ่านกัมมันต์แบบเม็ดใช้งานได้ทั้งกับแก๊ซและของเหลว

3. ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดขึ้นรูป (Extruded activated carbon) มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ถึง 5 มิลลิเมตร ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดขึ้นรูปจะมีความแข็งแรงมากที่สุด เหมาะกับการใช้งานหนัก การใช้งานส่วนใหญ่ของถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ จะเป็นการทำให้สารทำละลายกลับมาใช้ซ้ำใหม่ (Solvent recovery) การฟอกอากาศและใช้ในอุปกรณ์ควบคุมการระเหยของน้ำมันรถยนต์

2.1.1 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ผงถ่านกัมมันต์ (powdered activated carbon) นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยารักษาโรค สารเคมียางรถยนต์ โครงสร้าง อาคาร เหมืองแร่ บำบัดน้ำเสีย และการกรองน้ำ เม็ดถ่านกัมมันต์ (granular activated carbon) ใช้ในการกรองอากาศเสีย อุตสาหกรรมสารเคมีและเวชภัณฑ์ยาน ยนต์ ใช้ในการถ่ายเทพลังงานความร้อน การกลั่นแยกก๊ธรรมชาติ และถ่านกัมมันต์แบบอัดแท่ง (extruded activated carbon) ใช้ในการกำจัดสารเคมีที่มีพิษ ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมถึงการนำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์

1. ไอโอดีนนัมเบอร์ (iodine number) เป็นค่าสำคัญที่ใช้บอกประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์และเป็นตัวบ่งชี้พื้นที่ผิวทั้งหมด โดยการดูดซับไอโอดีนจากสารละลายเทียบกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 3 กรัม เมื่อความความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2. ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าความหนาแน่นสูงจะเป็นถ่านที่มีคุณภาพดีสามารถดูดซับได้ดี

3. ค่าความแข็ง (hardness/abrasion number) เป็นค่าความต้านทานการสึกกร่อนของถ่านกัมมันต์ ค่านี้จะบอกถึงความสามารถในการทนต่อแรงเสียดสีและความสามารถในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อกระบวนการล้างวัสดุกรอง ซึ่งค่านี้จะแตกต่างอย่างชัดเจนตามชนิดวัตถุดิบและระดับที่ถ่านถูกกระตุ้น

4. ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (particle size distribution) ถ่านที่มีขนาดอนุภาคละเอียดมากเท่าใดก็จะยิ่งเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านให้มากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้โมเลกุลก๊าซถูกดูดซับเข้าไปในโครงสร้างถ่านได้เร็วขึ้น

5. ปริมาณเถ้า (ash content) หากปริมาณเถ้ามากประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จะลดลงและลดประสิทธิภาพการนำถ่านไปกระตุ้นซ้ำ

6. เมทิลีนบลู (methylene blue) ถ่านกัมมันต์ที่โครงสร้างมีรูพรุนจะดูดซับโมเลกุลขนาดกลาง เช่น สีย้อม เมทิลีนบลู สารที่ให้สีนี้ถูกใช้เป็นตัวแทนของสารที่มีโมเลกุลขนาดกลาง ค่าเมทิลีนบลูมีหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัม

เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งประสิทธิภาพในการกรองหรือดูดซับสารจะต่ำลง เนื่องจากที่ว่างภายในโครงสร้างถ่านมีน้อยลงจึงต้องทำการเปลี่ยนถ่ายถ่านเก่าออกและใส่ถ่านใหม่เข้าไปทดแทนโดยถ่านที่ถูกใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ด้วยการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นซ้ำ (re-activated) เพื่อกำจัดสารต่าง ๆ ที่ถ่านดูดซับไว้ออกไปให้หมดก่อน

2.1.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถใช้วัสดุใด ๆ ก็ได้ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น เปลือกไม้ ไม้ไผ่ ถ่านหิน กะลามะพร้าว ฯลฯ ซึ่งกระบวนการผลิตมี 2 วิธีคือ

1. การกระตุ้นทางกายภาพ (physical reactivation) เป็นการนำถ่านที่ผ่านการเผาไหม้ในสภาพอับอากาศ หรือจำกัดอากาศทำให้มีออกซิเจนน้อย มากระตุ้นโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือไอน้ำที่มีอุณหภูมิกระตุ้น (activation temperature) ประมาณ 600-950 องศาเซลเซียส ซึ่งจำเป็นต้องใช้พลังงานสูงมาก เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในทางอ้อม ทั้งยังไม่สามารถควบคุมสมบัติของ

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่านกัมมันต์ให้คงที่ได้ รวมถึงพื้นที่ผิวและรูพรุน เกิดในปริมาณน้อย

2. การกระตุ้นด้วยสารเคมี (chemical activation) เป็นการเปลี่ยนวัตถุดิบโดยใช้สารเคมีบางชนิด เช่น ซิงค์คลอไรด์ (zinc chloride) กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) ร่วมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 450-900 องศาเซลเซียส ในภาคอุตสาหกรรมนิยมผลิตถ่านด้วยวิธีนี้มากกว่าวิธีกระตุ้นทางกายภาพเนื่องจากใช้ความร้อนและเวลาในการผลิตน้อยกว่าแต่บางครั้งถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการผลิตวิธีนี้อาจมีปัญหาเรื่องสารตกค้างได้ เช่น การพบสังกะสีตกค้างในผลิตภัณฑ์ สังกะสีเป็นโลหะหนักเมื่อเข้าสู่ร่างกายมากขึ้น เกิดการสะสมที่บริเวณตับและไตทำให้โครโมโซมผิดปกติ เสี่ยงต่อการเป็นมะเร็ง

2.2 รูปของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสพบทั้งในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียในรูปของฟอสเฟต และโมเลกุลของฟอสเฟต ปัจจุบันนิยมจำแนกฟอสฟอรัสออกเป็น 3 ชนิด คือ ออโธฟอสเฟต คอนเดนซ์ฟอสเฟต (พอลิฟอสเฟตต่าง ๆ) และสารอินทรีย์ฟอสเฟตอาจพบฟอสฟอรัสได้ทั้งในรูปสารละลาย สารแขวนลอยในน้ำ ตะกอนดินก้นบ่อ ตลอดจนในตัวของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ออโธฟอสเฟต และ คอนเดนซ์ฟอสเฟตมักพบในรูปเป็นสารละลายในน้ำ และรวมเรียกว่า soluble reactive phosphorus สารอินทรีย์ฟอสเฟตในน้ำอาจอยู่ในรูปสารละลายเชิงซ้อน หรือในรูปตะกอนแขวนลอยก็ได้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2545) โดยสารประกอบฟอสเฟตในน้ำอาจแบ่งได้ ดังนี้ (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2522)

1. ออโธฟอสเฟต (Orthophosphate) ที่พบมาก คือ
   - trisodium phosphate (Na_2PO_4)
   - disodium phosphate (Na_2HPO_4)
   - monosodium phosphate (NaH_2PO_4)
   - diammonium phosphate $(NH_4)_2\ HPO_4$
2. โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) ที่พบมาก คือ
   - sodium hexametaphosphate $Na_3(PO_4)_6$
   - sodium tripolyphosphate ($Na_5P_3O_{10}$)
   - tetrasodium pyrophosphate ($Na_4P_2O_7$)
3. อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic phosphate) ที่พบมาก คือ
   - nucleic acid
   - phospholipids
   - sugar phosphate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 แหล่งของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสมีที่ มาจาก 2 แหล่งใหญ่ ๆ ด้วยกัน (อุบลวรรณ กมลศิริประเสริฐ, 2536) คือ

1. แหล่งจาก ธรรมชาติ เช่น การละลายของหินฟอสเฟต ผงฝุ่นฟอสฟอรัสในอากาศ ซึ่งถูกฝนพัดพาให้ตกลงสู่แหล่งน้ำ รวมทั้งฝนที่ตกลงมายังพื้นดินพัดพาเศษซากดินและหินที่มีฟอสเฟตลงในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังอาจมาจากมูลนกบางชนิด เศษซากพืชซากสัตว์ที่ตายทับถมในแหล่งน้ำ ฯลฯ การสะสมดังกล่าวและอาจก่อให้เกิดปัญหา ยูโทรฟิเคชั่นในแหล่งน้ำได้

2. แหล่งที่มาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ได้แก่ น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และ การเกษตรกรรม แม้ว่าจะมีการบำบัดน้ำทิ้งดังกล่าวแล้ว แต่ยังคงมีฟอสฟอรัสเหลืออยู่ในปริมาณสูง อย่างไรก็ตามเราสามารถควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสที่ลงสู่เหล่านี้ด้วย สาเหตุจากกิจกรรมมนุษย์ได้ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่พบว่าน้ำทิ้ง มีปริมาณฟอสฟอรัสสูง ได้แก่ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานปุ๋ย ฯลฯ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2536)

2.2.2 ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication)

ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication) เป็นสภาวะที่แหล่งน้ำมีปริมาณธาตุอาหาร (โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) สูงมากกว่าปกติ ซึ่งเกิดจากการชะล้างปุ๋ย และธาตุอาหารต่าง ๆ จากพื้นที่เกษตรกรรมลงสู่แหล่งน้ำ และน้ำทะเล เป็นสาเหตุให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายหรือแพลงก์ตอน โดยเหตุการณ์นี้จะเกิดบริเวณชายฝั่งทั่วไปทุกส่วนในอ่าวไทย ชาวประมง จึงเรียกว่า ปรากฏการณ์ขี้ปลาวาพ โดยเกิดจากแพลงก์ตอนบางชนิดได้รับอาหารหรือสภาวะเหมาะสมจึงเจริญเติบโตขยายจำนวนมากและรวดเร็ว โดยแพลงก์ตอนแต่ละชนิดก็มีสีในตัวของมันเอง จึงทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนสีไปตามสีของแพลงก์ตอนที่มีมากนั้นเอง เช่น สีเขียว น้ำตาล เหลือง ขาว น้ำตาลแดง หรือสีสนิม ฯลฯ (www.deqp.go.b/cafe/detail headasp?idh-124)

ปัจจัยสำคัญในการควบคุมปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารในรูปของคาร์บอน สารอนินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แสง ความเร็ว อัตราการไหลของน้ำ และระยะ เวลากักเก็บน้ำโดยแหล่งคาร์บอนในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของคาร์บอเนตส่วน แหล่งของไนโตรเจนนั้น ได้มาจากการชะล้างปุ๋ยจากพื้นดิน และการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสมาจากหินฟอสเฟตจากการทำเหมืองแร่ อุจจาระสัตว์ ซากพืชที่ย่อยสลาย ดังนั้น อาจสรุปได้ว่าการเกิดยูโทรฟิเคชั่น คือการเพิ่มขึ้นของปริมาณมวลชีวภาพในแหล่งน้ำขณะที่ความหลากหลายของสายพันธุ์ของสัตว์และพืชจะลดลง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2536)

ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำเมื่อเกิดการ bloom แล้วเกิดการตายของสาหร่ายพร้อมกันทำให้เกิดเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ โดยการที่สัตว์น้ำเมื่อได้รับพิษจากแพลงก์ตอนพืชโดยตรง หรือในแง่ของการเข้าไปอุดตันเหงือกทำให้สัตว์แลกเปลี่ยนก๊าซไม่ได้ เป็นต้น การเกิดพิษกับคนโดยตรงผ่านอาหารทะเล โดยเฉพาะในพวกหอยสองฝา ซึ่งพิษนั้นอาจไม่เป็นต่อหอย แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หอยจะมีการสะสมพิษไว้ เมื่อคนกินหอยเหล่านั้นเข้าไป จะแสดงอาการซึ่งพิษบางชนิดทำให้เสียชีวิตได้ (www.talayhai.com/Education/43620434/43620434.php3)

2.3 เฟอริกคลอไรด์

เฟอริกคลอไรด์ (Ferric Chloride) สูตรทางเคมี $FeCl_3$ มีสีน้ำตาลแดง มีฤทธิ์เป็นกรดสูง เป็นสารเคมีที่มีความสำคัญต่อกระบวนการปรับคุณภาพน้ำ การบำบัดน้ำทิ้งจากชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ช่วยการตกตะกอน ของน้ำเสีย ที่มีโลหะหนักแขวนลอย สามารถใช้ในการตกตะกอนสี ได้ดี

2.3.1 ประโยชน์เฟอริกคลอไรด์

ใช้ในการบำบัดน้ำลดปริมาณสารแขวนลอย กำจัดสี ลดค่า BOD,COD,TOC ลดค่าฟอสเฟต การปรับสภาพตะกอน การควบคุมกลิ่น กำจัดโลหะหนัก ตัวอย่างเช่น ตะกั่ว ป็นที่ยอมรับและถูกใช้อย่างแพร่หลายในหลายประเทศทั่วโลก ใช้ในการผลิตน้ำและใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

2.3.2 การเก็บรักษา

เก็บไว้ในภาชนะที่ทนต่อการกัดกร่อน หรือภายในภาชนะที่เคลือบสารกันการกัดกร่อน

2.3.3 ข้อควรระวัง

ก่อนใช้งานควรสวมอุปกรณ์ป้องกันทุกครั้ง ห้ามสัมผัสกับสารโดยตรง สวมเสื้อผ้าให้มิดชิด ห้ามเทน้ำลงในที่ความเข้มข้นสูงและต้องทำในที่มีพัดลมดูดอากาศ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภัทราพร และคณะ (2565) ศึกษาประสิทธิภาพของกากกาแฟที่เป็นวัสดุดูดซับทางชีวภาพในการกำจัดแอมโมเนียมและออร์โธฟอสเฟตในสารละลาย การดูดซับของตัวดูดซับที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ กากกาแฟ (CG), ถ่านกากกาแฟ (CGC) และถ่านกากกาแฟที่กระตุ้นด้วย H3PO4(P-CGC) โดยทำการทดลองแบบ แบทช์ ที่สภาวะเหมาะสมของตัวดูดซับแต่ละชนิด พบว่า ที่ pH เท่ากับ 7 ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.0 มิลลิกรัมต่อ ลิตร ปริมาณตัวดูดซับ 1.0 กรัม CG ดูดซับแอมโมเนียมและออร์โธฟอสเฟตได้ดีที่ระยะเวลาสัมผัส 1 และ 30 นาที ตามลำดับ ขณะที่ CGC และ P-CGC ดูดซับแอมโมเนียมและออร์โธฟอสเฟตได้ดีที่ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที โดย CG, CGC และ P-CGC มีค่าร้อยละของการดูดซับแอมโมเนียมเท่ากับ 97.55±0.15, 98.47±0.08 และ 98.32±0.08 ตามลำดับ และออร์โธฟอสเฟตเท่ากับ 95.64±0.07, 95.30±0.05 และ 95.54±0.07 ตามลำดับ

เสาวภา (2558) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติการดูดซับฟอสฟอรัสในรูปของออร์โธฟอสเฟตด้วย CaO3 จากเปลือกไข่ไก่และ CaO จากเปลือกไข่ไก่เผา ในการศึกษาการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaO3 จากเปลือกไข่ไก่ และ CaO จากเปลือกไข่ไก่เผาวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตด้วยวิธีกรดแอสคอร์บิก พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดซับ เมื่อใช้ CaO3 จากเปลืองไข่ไก่เป็นตัวดูดซับ คือพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอชเริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ เวลาในการดูดซับ 180 นาที และปริมาณตัวดูดซับ 2.0 กรัม โดยประสิทธิภาพการดูดซับออร์โธฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 80 ส่วนการใช้ CaO จากเปลือกไข่ไก่เผาเป็นตัวดูดซับ พบว่า พีเอชเริ่มต้นอยู่ที่ช่วง 4-11 เวลาในการดูดซับ 30 นาที และปริมาณตัวดูดซับ 0.1 และ 0.5 กรัม ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 97

พัทธกมล (2561) ศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนปริมาณถ่านต่อปริมาณน้ำเดียวกัน ที่ระดับค่า pH เดียวกัน ถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีความสามารถในการดูดซับกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำได้ประสิทธิภาพดีกว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากถ่านคาร์บอนผักตบชวามีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 4.05 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนรวม 0.019 มิลลิลิตรต่อกรัม ซึ่งน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่มีปริมาณพื้นที่ผิวจ้าเพาะ 30.42 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนรวม 0.210 มิลลิลิตรต่อกรัม และถ่านคาร์บอนผักตบชวายังมีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 1,883 นาโนเมตร ซึ่งมากกว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 276.1 นาโนเมตร เพราะถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เมื่อเผากระตุ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำปฏิกิริยาทำให้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนเพิ่มมากขึ้นท้าให้ถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีรูพรุนขนาดเล็กแทรกตามพื้นผิวถ่านจำนวนมาก และเมื่อนำไปดูดซับแล้วจะเห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับก้าจัดฟอสฟอรัสได้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ การใช้อัตราส่วนปริมาณถ่านกัมมันต์ผักตบชวา 0.5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ค่าระดับเป็นกลางคือ pH 7

สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย (2563) ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากแกลบโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ ขั้นตอนแรกการคาร์บอไนซ์แกลบที่อุณหภูมิ 350 450 550 650 และ 750 °C เป็นเวลา 60 (min) วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านชาร์ตามมาตรฐาน ASTM เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ มีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 32.59 40.15 34.98 41.78 และ 39.59 ตามลำดับ นำถ่านชาร์ที่ผ่านการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 650°C แช่สารละลายด้วยสารละลายอิ่มตัวซิงค์คลอไรด์ ในอัตราส่วนถ่านชาร์ 1 กรัมต่อสารละลาย 3.11 กรัม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 0 5 10 15 20 และ 30 (min) จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิค BET ที่เวลา 0 5 10 15 20 และ 30 (min) มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 222.75 242.96 307.70 343.74 339.56 และ 306.06 (m2 g-1) ตามลำดับ ปัจจัยที่ปริมาณถ่านกัมมันต์มีผลต่อที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด จากผลการทดลองพบว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูซับเท่ากับ 0.1 (g ml-1)

ธิยา ชนะศักดิ์ (2542) ได้ศึกษาการดูดซับของฟอสเฟตบนถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ถ่านก้มมันต์ที่ไม่ได้เคลือบผิว ถ่านกัมมันต์เคลือบผิวด้วยไอออนของทองแดง (II) และถ่านกัมมันต์เคลือบผิวด้วยสารประกอบเชิงซ้อนของทองแดง (II)-ไตรเอธิลีนไดอะมีน โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรีและอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี พบว่า การดูดซับของฟอสเฟตบนถ่านกัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันต์ดังกล่าว เป็นแบบหลายชั้นโดยมีประสิทธิภาพการดูดซับของฟอสเฟตบนถ่านกัมมันต์เป็นไปตามลำดับดังนี้ ถ่านกัมมันต์เคลือบผิวด้วย Cu2+ -TEDA > ถ่านกัมมันต์เคลือบผิวด้วย Cu2+ > ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้เคลือบผิว ตามลำดับ

หัวหน้าโครงการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี2550 ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสโดยใช้วิธีกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก โดยได้ศึกษาผลของสภาวะการเตรียมในช่วงของอุณหภูมิคาร์บอไนซ์ 300-60•C อัตราส่วนสารเคมีต่อวัตถุดิบ 0.5:1-2:1 โดยน้ำหนัก และเวลาการแช่สารเคมี 0.5-2 ชั่วโมง จากผลการศึกษา พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับตัวแปรของสภาวะการเตรียมทำให้ได้ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ลดลงแต่พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิคาร์บอไนซ์ เท่ากับ 400•C อัตราส่วนสารเคมีต่อวัตถุดิบเท่ากับ 1.5:1 และเวลาการแช่สารเคมีเท่ากับ l.5 ชั่วโมง ซึ่งจากการเตรียมที่สภาวะนี้ ได้ผลผลิตถ่านกัมมันต์ร้อยละ 41.8 พื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 1.857 m^2 /g และปริมาตรรูพรุนรวมเท่ากับ 1.22 cm^3 /g เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จำนวน 2 ตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันของพื้นที่ผิวและปริมาณหมู่ฟังก์ชันกรดรวมไปทดสอบการดูดซับไอน้ำ พบว่าปริมาณการดูดรับไอน้ำขึ้นกับปริมาณหมู่ฟังก์ชันกรดและลักษณะความพรุนของถ่านกัมมันต์ ตลอดจนความดันย่อยไอน้ำ นั่นคือที่ความดันไอน้ำต่ำ ความหนาแน่นของหมู่ฟังก์ชันกรดบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์เป็นตัวแปรสำคัญต่อการดูดซับไอน้ำ โดยถ้ามีความหนาแน่นอยู่มากจะทำให้ดูดซับไอน้ำได้มากและในอัตราที่เร็วกว่า แต่ที่ความดันไอน้ำสูง ค่าพื้นที่ผิวและลักษณะความพรุนของถ่านกัมมันต์เป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการดูดซับโดยถ้ามีพื้นที่ผิวมากกว่าและรูพรุนขนาดใหญ่กว่าจะสามารถดูดซับไอน้ำได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) รุ่น 5300 ยี่ห้อ Labtech
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (balance) รุ่น MS204TS ยี่ห้อ Mettler Toledo ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
3. เครื่องเขย่าสารแนวนอน ยี่ห้อ Gallenkamp
4. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น FiveEasy Pus ยี่ห้อ Mettler Toledo ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
5. ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UN 55 บริษัท แซนต้า เทคโนโลยี จำกัด ประเทศไทย
6. โถดูดความชื้น (Desiccator)
7. เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filltration Apparatus) รุ่น A-1000S ยี่ห้อ Eyel
8. กระดาษวัดพีเอช (pH Paper) ยี่ห้อ MERCK ประเทศเยอรมนี
9. กระดาษกรองเบอร์ Whatman เบอร์ 42 ประเทศอังกฤษ
10. เครื่องแก้วต่างๆ

3.1.2 สารเคมี

1. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) AR Grade, Fisher Scientific
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR Grade, Carlo Erba
3. เฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) AR Grade, LobaChemie
4. กรดไนตริก เข้มข้น 65% (HNO_3) AR Grade, Carlo Erba
5. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษา

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นถ่านกัมมันต์ทางการค้าแบบผง ของบริษัท Acros Organics ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ-ทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ

พารามิเตอร์	**วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ**
หมูฟังก์ชันบนพื้นผิว	เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและธาตุที่เป็นองค์ประกอบ	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุ (Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer, SEM-EDS)

3.3 การผลิตถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปรด้วยเฟอร์ริกไอออน

3.3.1 การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายสต๊อกเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตเข้มข้น 0.5 โมลาร์ เตรียมโดยชั่งเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($FeCl_3$•$6H_2O$) 135.14 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร เก็บไว้ในขวดสีชา

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มอล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 239.98 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

3.3.2 วิธีการเติมสารประกอบเหล็กลงบนถ่านกัมมันต์

1. แช่ถ่านกัมมันต์ที่ทราบน้ำหนัก ในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($FeCl_3$•$6H_2O$) เข้มข้น 0.5 โมลาร์ กำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเป็นกรัมของถ่านต่อปริมาตรสารละลายเป็นมิลลิลิตรเท่ากับ 1:30

2. ทำการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยในระหว่างการปั่นกวน ทำการหยดสารละลาย NaOH เข้มข้น 6 นอร์มอล ทีละหยดจนพีเอชของของผสมมีค่าเท่ากับ 11 และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองของผสมที่ได้แบบลดความดัน โดยใช้กระดาษกรอง Whatmann เบอร์ 42 เก็บส่วนที่เป็นของแข็งไปทำการทดลองในข้อ 4 และเก็บส่วนของสารละลายที่กรองได้ไปดำเนินการต่อในข้อ 5

4. ล้างของแข็งหรือถ่านกัมมันต์เคลือบด้วยสารประกอบเหล็กที่ได้ในข้อ 3 ด้วยน้ำปราศจากไอออนจนพีเอชของน้ำที่ผ่านการล้างมีค่าเป็นกลาง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 3.1

5. วัดค่าพีเอชและวิเคราะห์ปริมาณเหล็กที่เหลือในสารละลายด้วยวิธีการทาง สเปกโทรโฟโตเมทรี ด้วยการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กกับสารละลายฟีแนนโทรลีน (Phenanthroline)

6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-5 แต่ไม่ใส่ถ่านลงในสารละลาย

3.4 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายออร์โธฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารประกอบเหล็ก

3.4.1 วิธีการเตรียมสารละลายสต๊อคออร์โธฟอสเฟต

ชั่ง KH_2PO_4 0.4392 กรัม แล้วละลายในน้ำกลั่น ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ได้สารละลายเข้มข้น 100 mg P/L

3.4.2 ศึกษาผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต

1. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารประกอบเหล็ก (Fe(III)-AC) ที่เตรียมได้ในข้อ 3.3.2 มา 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร พีเอช 5.0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

2. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยเทคนิค Vanadomolybdophosphoric Acid Method

3. ทำการทดลองข้อ 1-2 ซ้ำ แต่เปลี่ยนระยะเวลาสัมผัสจาก 30 นาที เป็น 40, 60, 90, 120, 150, 180 และ 360 นาที ตามลำดับ

4. ทำการทดลองข้อ 1- 3 ซ้ำ แต่เปลี่ยนชนิดของวัสดุเป็นถ่านกัมมันต์ (AC)

5. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-3 แต่ไม่ใส่ตัวดูดซับลงในสารละลายออร์โธฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ศึกษาผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต

1. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารประกอบเหล็ก (Fe(III)-AC) ที่เตรียมได้ในข้อ 3.3.2 มา 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ที่มีพีเอชเท่ากับ 5 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง 3.4.2

2. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วย วิธี Vanadomolybdophosphoric Acid Method

3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนพีเอชของสารละลายออร์โธฟอสเฟตที่ใช้จาก 5 เป็น 7 และ 10 ตามลำดับ

4. ทำการทดลองข้อ 1- 3 ซ้ำ แต่เปลี่ยนชนิดของวัสดุเป็นถ่านกัมมันต์ (AC)

5. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-3 แต่ไม่ใส่ตัวดูดซับลงในสารละลายออร์โธฟอสเฟต

3.4.4 ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต

1. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารประกอบเหล็ก (Fe(III)-AC) ที่เตรียมได้ในข้อ 3.3.2 มา 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่บรรจุสารละลายออร์ที่โธฟอสเฟตเข้มข้น 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ซึ่งปรับให้มีพีเอชเหมาะสมตามที่ได้จากหัวข้อ 3.4.3 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ตามระยะเวลาเหมาะสมที่ได้จากการทดลองหัวข้อ 3.4.2

2. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธี Vanadomolybdophosphoric Acid Method

3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับจาก 1 กรัม เป็น 1.5 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ

4. ทำการทดลองข้อ 1- 3 ซ้ำ แต่เปลี่ยนชนิดของวัสดุเป็นถ่านกัมมันต์ (AC)

5. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-3 แต่ไม่ใส่ตัวดูดซับลงในสารละลายออร์โธฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 ศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต

1. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารประกอบเหล็ก (Fe(III)-AC) ในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง 3.4.4 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่บรรจุสารละลายออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ซึ่งปรับให้มีพีเอชที่เหมาะสมตามที่ได้จากหัวข้อ 3.4.3 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ตามระยะเวลาเหมาะสมที่ได้จากการทดลอง 3.4.4

2. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธี Vanadomolybdophosphoric Acid Method

3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นตัวจาก 5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4. ทำการทดลองข้อ 1- 3 ซ้ำ แต่เปลี่ยนชนิดของวัสดุเป็นถ่านกัมมันต์ (AC)

5. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-3 แต่ไม่ใส่ตัวดูดซับลงในสารละลายออร์โธฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปรด้วยเฟอร์ริค เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำ รวมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต ได้แก่ ระยะเวลา พีเอช ปริมาณของตัวดูดซับ และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

ผลการตกตะกอนเหล็กจำพวกเฟอร์ริคคลอไรด์บนผิวของถ่านกัมมันต์แบบผงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ อ้างอิงตามวิธีการของ Yang *et al*., 2018 และ กัมญาพร 2565 จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.1

(ก) (ข)

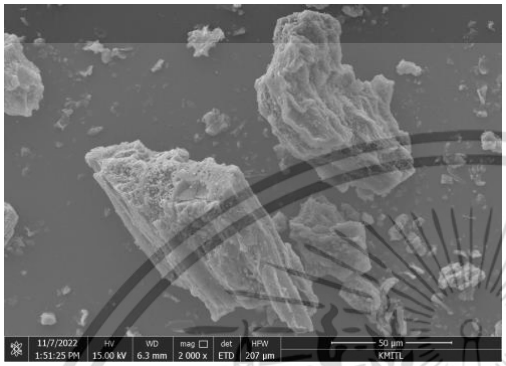
รูปที่ 4.1 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ (ก) ก่อนการดัดแปร และ (ข) หลังการดัดแปรด้วยเฟอร์ริคไอออน

จากรูปที่ 4.1 ถ่านกัมมันต์ผงที่ใช้ในการศึกษามีลักษณะเป็นผงละเอียด สีดำ เมื่อนำไปผ่านการดัดแปรพื้นผิวด้วยเฟอร์ริคไอออนพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีความเป็นผงเหมือนเดิม สีต่างไปจากเดิมเล็กน้อย โดยมีสีดำปนน้ำตาล

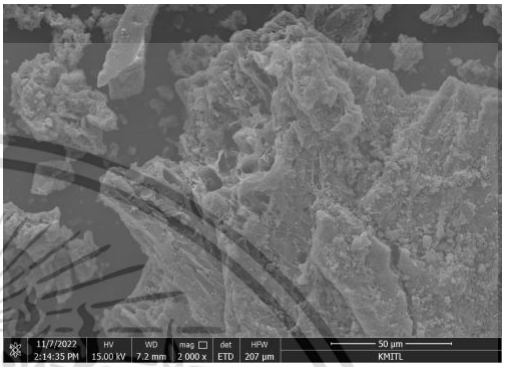
ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) แสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเฟอร์ริคไอออนมีลักษณะผิวค่อนข้างขรุขระ มีผลึกขนาดเล็กๆปรากฏที่ผิวของวัสดุมากกว่าถ่านกัมมันต์ก่อนการดัดแปร นอกจากนี้ พบว่าถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างรูพรุนชัดเจนและเป็นระเบียบ โครงสร้างจะมีลักษณะผิวแผ่นเรียบซ้อนกันเป็นชั้นๆ (รูปที่ 4.2ค และ 4.2จ) เมื่อนำไปเคลือบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

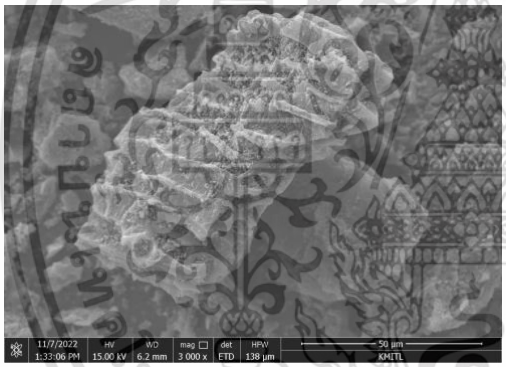
เฟอร์ริคไอออนไม่พบโครงสร้างรูพรุนที่เด่นชัด (รูปที่ 4.2ง และ 4.2ฉ) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของพัทธกมล (2561) ที่พบว่าลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านคาร์บอนผักตบชวามีลักษณะเนื้อแน่นผิวค่อนข้างเรียบ มีผนังรูพรุนหนา มีจำนวนรูพรุนน้อยและมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวา ส่วนลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุ่นของถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีลักษณะเนื้อขรุขระผนังรูพรุนบางและรู้พรุนมีขนาดเล็กจำนวนมากแทรกกระจายอยู่ทั่วทั้งผนังโพรงภายในและผิวภายนอกของเนื้อถ่าน



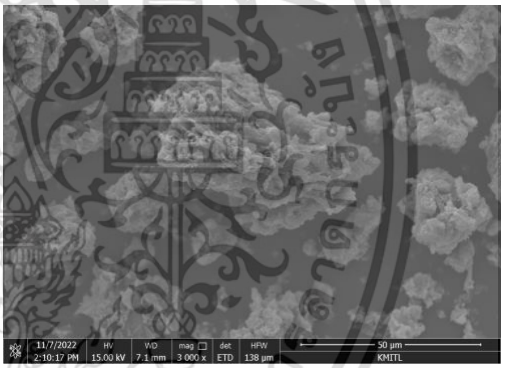
(ก) ก่อนการดัดแปร, กำลังขยาย 2,000x



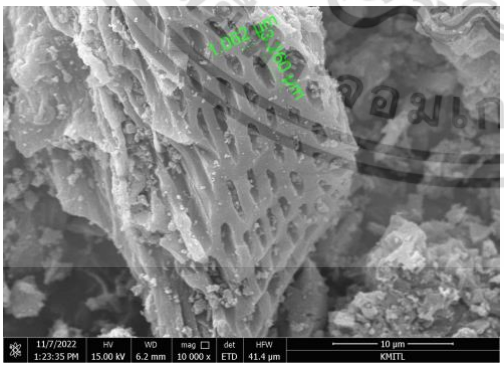
(ข) ดัดแปรด้วยเหล็ก, กำลังขยาย 2,000x



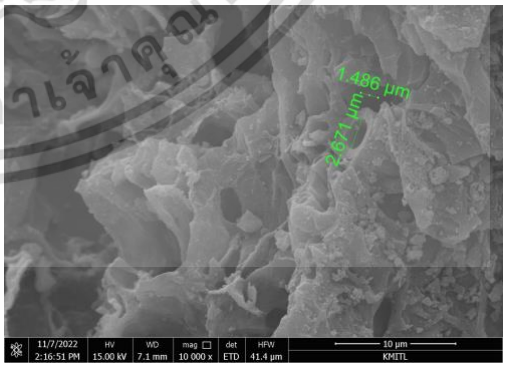
(ค) ก่อนการดัดแปร, กำลังขยาย 3,000x



(ง) ดัดแปรด้วยเหล็ก, กำลังขยาย 3,000x



(จ) ก่อนการดัดแปร, กำลังขยาย 10,000x

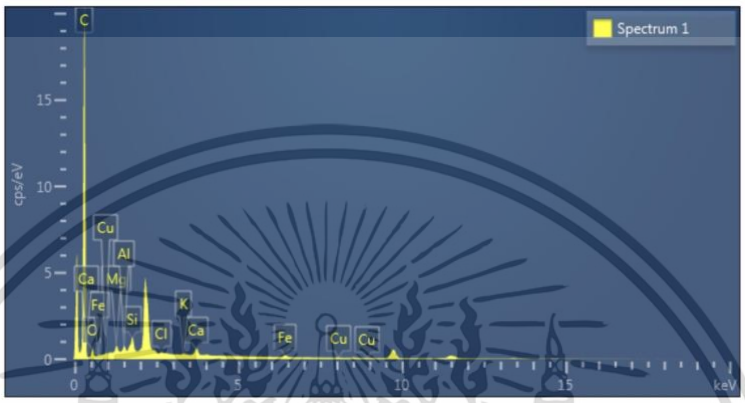


(ฉ) ดัดแปรด้วยเหล็ก, กำลังขยาย 10,000x

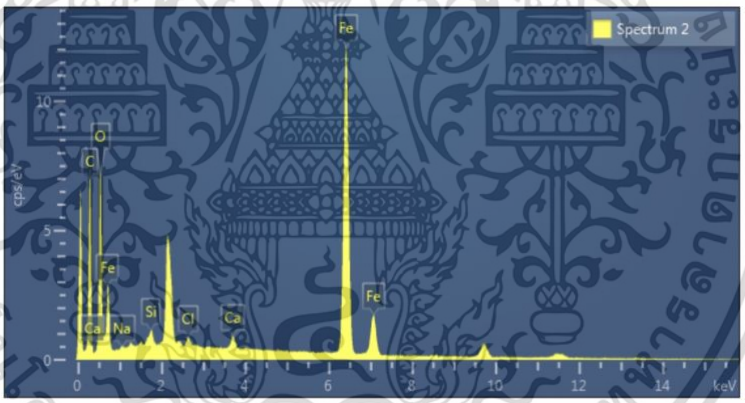
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังการดัดแปรด้วยเฟอร์ริคไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบด้วยเทคนิค X-ray energy dispersive spectra (EDS) พบว่าถ่านกัมมันต์ เป็นวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีสัดส่วนโดยน้ำหนักสูงถึง 88.95% (รูปที่ 4.3) ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์มีเหล็กเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูงขึ้น โดยสัดส่วนโดยน้ำหนักที่พบในถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นจาก 0.83% เป็น 44.20% ยืนยันถึงการเกาะติดของเหล็กบนถ่านกัมมันต์



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิค X-ray energy dispersive spectra (EDS) (ก) ก่อนการดัดแปร (ข) หลังการดัดแปรด้วยเฟอร์ริคไอออน

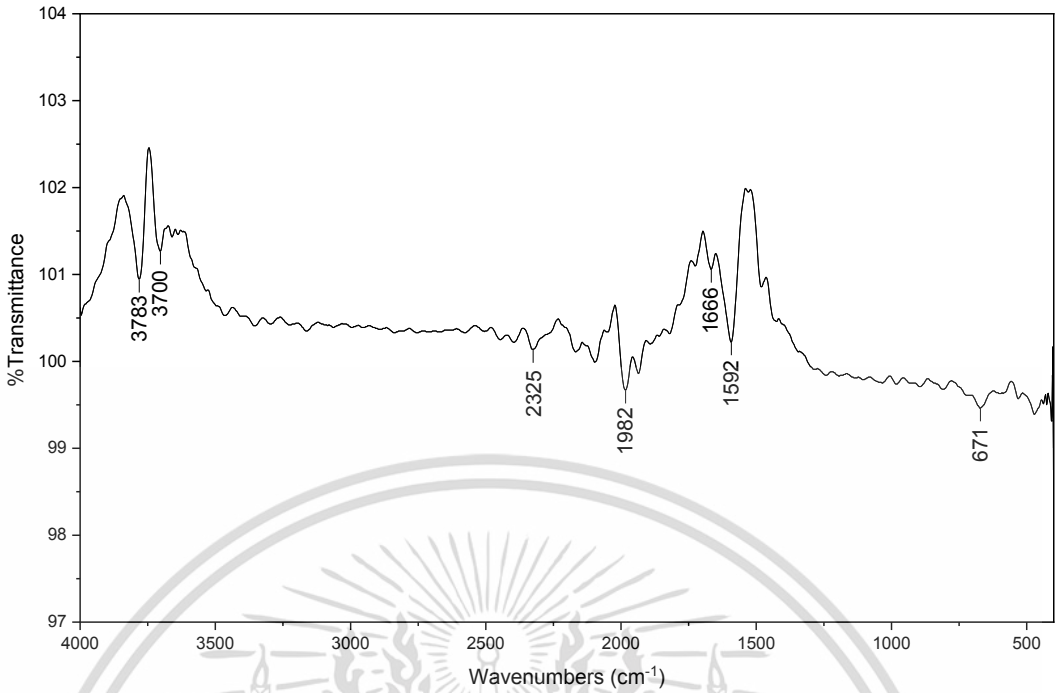
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบธาตุในถ่านกัมมันต์ แลถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปรด้วยเฟอร์ริคไอออนวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS

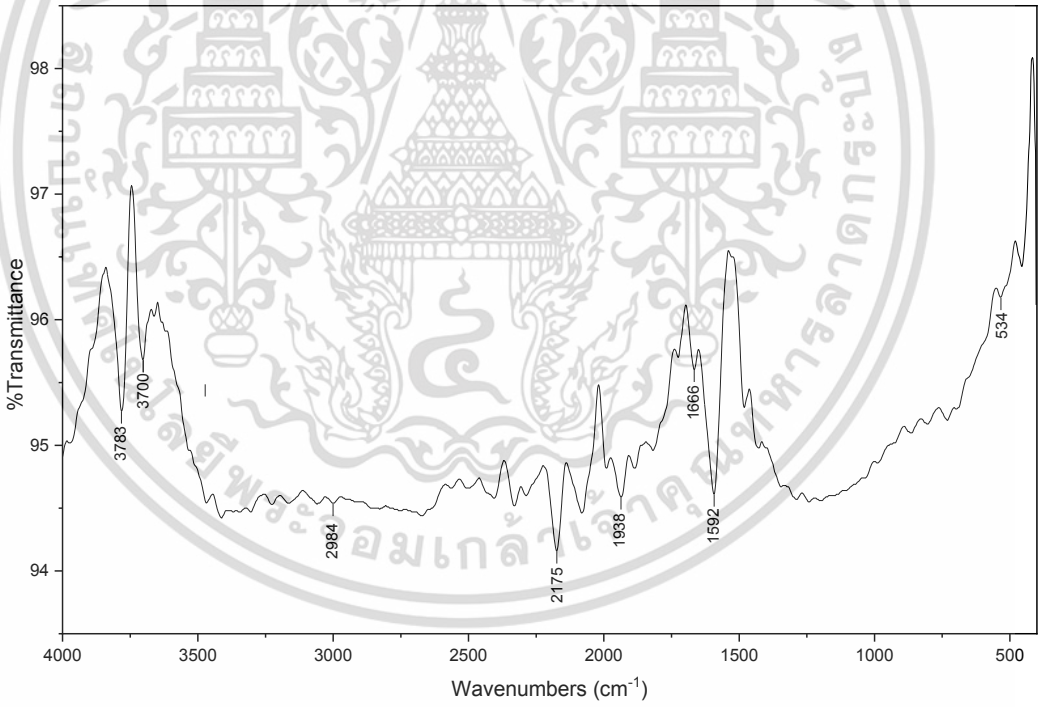
Element	Wt%		At%	
	ก่อนการดัดแปร	หลังการดัดแปร	ก่อนการดัดแปร	หลังการดัดแปร
C	88.95	34.78	93.25	58.48
O	6.52	19.42	5.13	24.52
Mg	0.57	-	0.29	-
Al	0.49	-	0.23	-
Si	0.87	0.38	0.39	0.27
Cl	0.16	0.36	0.06	0.21
K	0.14	-	0.05	-
Ca	1.08	0.59	0.34	0.30
Fe	0.83	44.20	0.19	15.99
Cu	0.40	-	0.08	-
Total :	100.00	100.00	100.00	100.00

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยอาศัยเทคนิคฟูลเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรเมทรี (FTIR) พบว่าสเปกตรัมอินฟาเรดของถ่านกัมมันต์ (รูปที่ 4.4 ก) และถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเหล็ก (รูปที่ 4.4 ข) มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยปรากฏพีคที่เลขคลื่น 3700-3800 cm^{-1} เกิดจากการสั่นของ O-H Streching ที่เกี่ยวข้องกับหมู่ไฮดรอกซิล พีคที่เลขคลื่น 1666 แสดงการสั่นในช่วง C=C Streching และพีคที่เลขคลื่น 1592 แสดงการสั่นในช่วง C=O Streching โดยถ่านกัมมันต์ดัดแปรพบหมู่ฟังก์ชั่นที่แตกต่างจากถ่านกัมมันต์ คือ พีคที่เลขคลื่น 534 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการสั่นในช่วง FeOOH Streching ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชั่น ที่พบได้ จากการดัดแปรด้วย Fe^{3+} (Liu *et al*., 2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 ค่าเลขคลื่นของแถบต่างๆที่เกิดขึ้นในอินฟราเรดสเปกตรัม
ของถ่านกัมมันต์ (ก) ก่อนการดัดแปร (ข) หลังการดัดแปรด้วยเฟอร์ริคไอออน

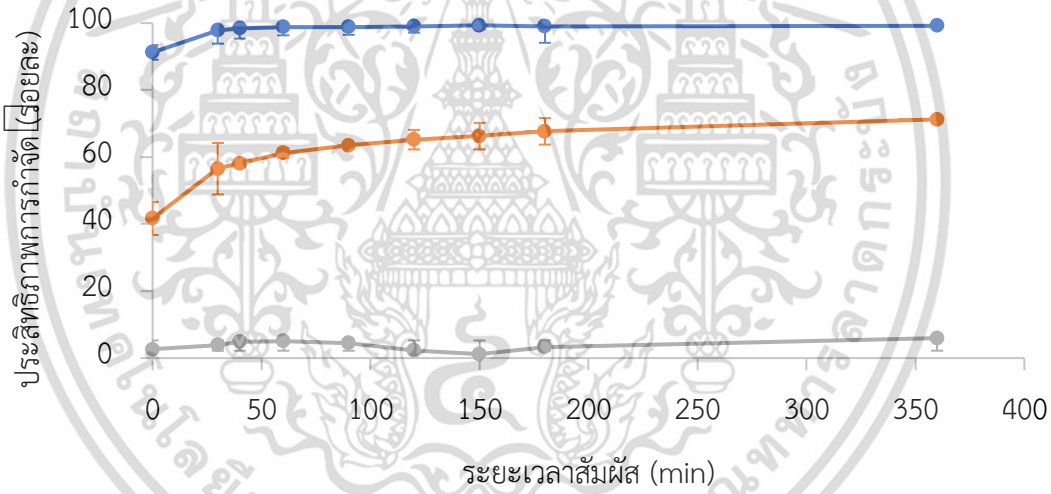
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำ

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดสารละลายออร์โธฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปรด้วยเหล็ก โดยทำการแปรผันระยะเวลาสัมผัส พีเอชเริ่มต้นของสารละลาย ปริมาณตัวดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายออร์โธฟอสเฟต ผลที่ได้เป็นดังนี้

4.2.1 ผลของระยะเวลาสัมผัส

ในการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์เคลือบเหล็ก ทำการทดลองโดยใช้ในสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีค่าพีเอช 5 กำหนดอัตราส่วนโดยน้ำหนักเป็นกรัมของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษาต่อปริมาตรเป็นมิลลิลิตรของสารละลายเท่ากับ 1:30 ทำการแปรผันระยะเวลาสัมผัสที่ต้องการศึกษาตั้งแต่ 30 นาที จนถึง 360 นาที ทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตกับถ่านกัมมันต์ก่อนการดัดแปร ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตในน้ำของชุดควบคุม (●) ชุดทดลองที่ใช้ถ่านกัมมันต์ (●) และชุดทดลองที่ใช้ถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเหล็ก (●)

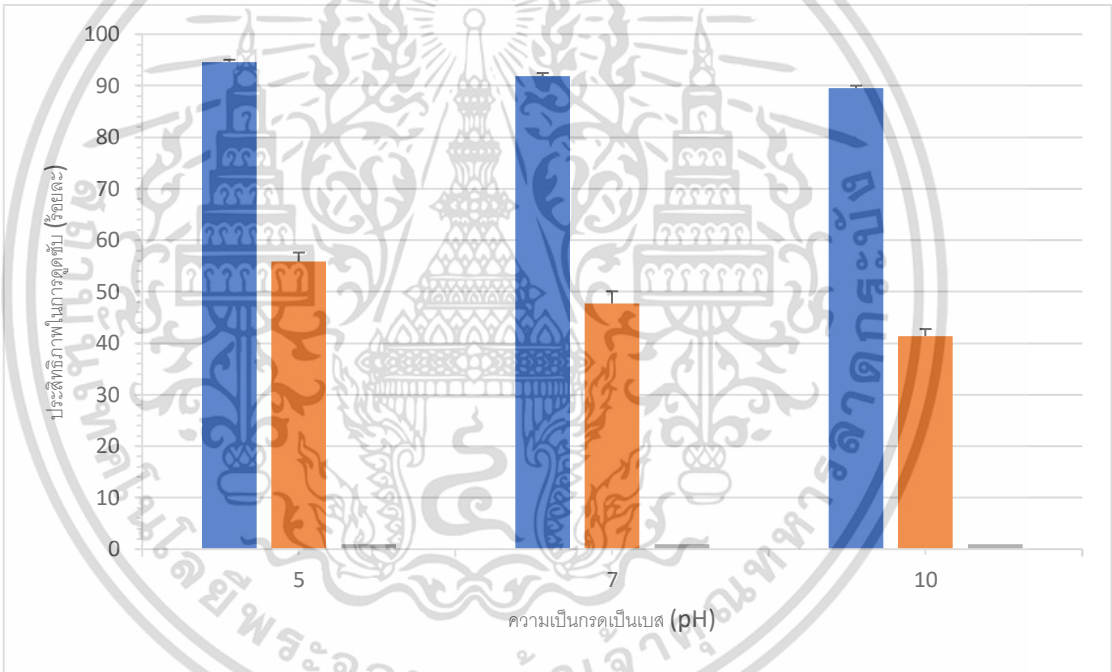
จากรูปที่ 4.5 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เคลือบเหล็กสามารถกำจัดฟอสเฟตในน้ำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยในช่วงระยะเวลา 30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปรด้วยเหล็กมีค่าสูงถึง 91.26%±0.77% (รูปที่ 4.5) ประสิทธิภาพในการกำจัดมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสเป็น 40, 60, 90, 120, 150, 180, และ 360 นาที โดยที่เวลาดังกล่าวถ่านกัมมันต์เคลือบด้วยเหล็กสามารถกำจัดฟอสเฟตได้เท่ากับ 97.88%±2.00%, 98.41%±1.52%, 98.85%±1.25%, 98.81%±1.00%, 99.03%±0.93%, 99.35%±0.59%, 99.06%±0.34%, และ 99.26%±1.24 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากัน พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำจัดฟอสเฟตได้ต่ำกว่า ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตมีค่าเท่ากับ 41.68%±2.47, 56.53%±3.84, 58.16%±59, 61.22%±0.71, 63.50%±0.40, 65.21%±1.03, 66.26%±1.98, 67.69%±2..01, 71.27%±0.49 เมื่อใช้ระยะเวลาสัมผัสนาน 30, 40, 60, 90, 120, 150, 180, และ 360 นาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการดัดแปรพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยเหล็กจำพวกเฟอร์ริคสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตของวัสดุได้

4.2.2 ผลของพีเอช

เมื่อพิจารณาความสามารถในการกำจัดสารละลายออร์โธฟอสเฟต ซึ่งมีพีเอชเริ่มต้นต่างกัน โดยใช้ถ่านกัมมันต์เทียบกับถ่านกัมมันต์เคลือบด้วยเหล็ก พบว่าพีเอชส่งผลต่อความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด (รูปที่ 4.6) โดยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตมีแนวโน้มลดลงเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตของชุดควบคุม( ) ถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเหล็ก ( ) และถ่านกัมมันต์ ( )

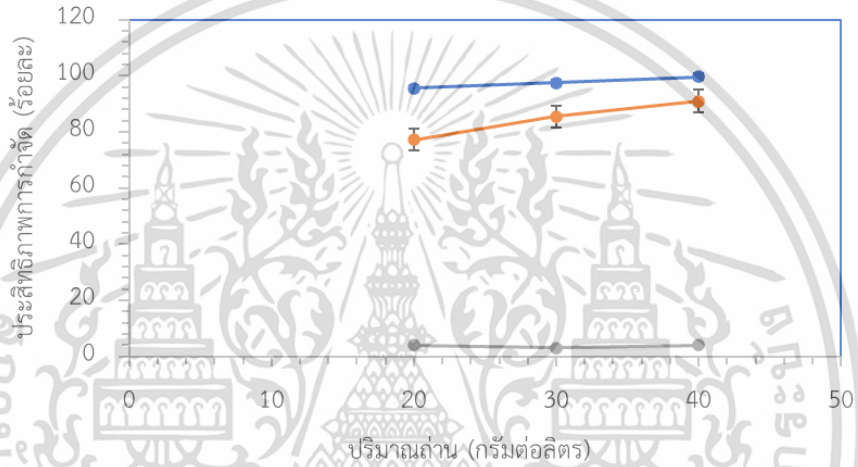
จากรูปที่ 4.6 พบว่าค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟต โดยความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อพีเอชของสารละลายมีค่าเป็นด่างมากขึ้น การกำจัดฟอสเฟตเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อตัวอย่างมีค่าพีเอชเป็น 5 ที่สภาวะดังกล่าวถ่านกัมมันต์เคลือบด้วยเหล็กสามารถกำจัดฟอสเฟตได้ 94.63%±0.87% ส่วนถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดฟอสเฟตได้ 55.85%±2.63% (รูปที่ 4.8) เมื่อพีเอชของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 7 และ 10 พบว่า ถ่านกัมมันต์เคลือบด้วยเหล็กสามารถกำจัดฟอสเฟตลดลงเหลือ 91.92%±0.58% และ 89.48%±1.21% ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสามารถกำจัดฟอสเฟตได้ 47.69%±1.68 41.37%±3.01

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ...

ตามลำดับ ทั้งนี้การลดลงของประสิทธิภาพในการกำจัดเมื่อพีเอชที่สภาพเป็นด่างมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ เสาวภา (2558) อาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) บนพื้นผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเป็นกรด ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น (เสาวภา, 2558)

4.2.3 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้

การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับทำได้โดยใช้สารละลายออร์โธฟอสเฟต เข้มข้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 5 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำการแปรผันปริมาณตัวดูดซับที่ใช้เป็น 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณถ่านที่ใช้ต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตของชุดควบคุม( ) ถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเหล็ก ( ) และถ่านกัมมันต์ ( )

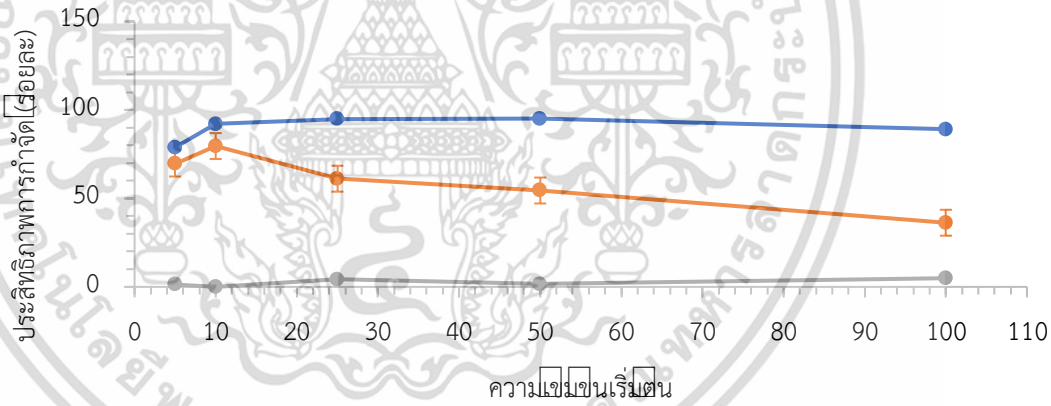
จากรูปที่ 4.7 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการบำบัด โดยประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 95.63±0.05 % 97.47±0.26% 99.59%±0.04% เมื่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 20 กรัมต่อลิตร เป็น 30 40 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในถ่านกัมมันต์ก่อนการดัดแปร โดยประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตมีค่าสูงขึ้นจาก 77.25±0.19% เป็น 85.47%±0.01, 90.97%±0.35, เมื่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 20 กรัมต่อลิตร เป็น 30 40 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้ความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตที่สูงขึ้นในระบบ เป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอสเฟต

ผลการทดสอบความสามารถในการ3

กำจัดฟอสเฟตเมื่อใช้สารละลายออร์โธฟอสเฟตซึ่งมีพีเอชเท่ากับ 5 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกัน 5, 10, 25, 50, และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 120 นาที พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 78.86%± เป็น 91.99%± เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตจาก 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.8) ที่สภาวะเดียวกัน ความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 69.69%± เป็น 79.59%± แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของฟอสเฟตจาก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้นไป พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต โดยเฉพาะถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรมีแนวโน้มลดลงจาก 61.14%± ที่ความเข้มข้น 20 mg/L เหลือ 36.25%± ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์เคลือบเหล็กมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่าการดัดแปรด้วยเหล็กสามารถเพิ่มความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.8 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตของชุดควบคุม( ) ถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเหล็ก ( ) และถ่านกัมมันต์ ( )

4.2.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการดัดแปร

การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการดัดแปรพื้นผิวด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ ทำโดยนำและถ่านกัมมันต์ดัดแปรปริมาณ 1 กรัม มาดูดซับในสารละลายออร์โธฟอสเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันคือ 5, 10, 25, 50, 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยใช้ระยะเวลา 120 นาที พีเอช 5 และปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม วิเคราะห์หาความเข้มข้นออร์โธฟอสเฟตที่เหลือใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นต่างๆ พร้อมทั้งนำมาคำนวนหาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการดัดแปร จากนั้นนำข้อมูลมาเขียนเส้นไอโซเทอร์มในการดูดซับ การศึกษาแบบจำลองการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการดัดแปรพื้นผิวด้วยเฟอร์ริค โดยใช้ข้อมูลจากการคำนวนค่าความจุในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์ดัดแปร (Qe) และความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตที่จุดสมดุล (Ce) ซึ่งอาศัยรูปแบบสมการของไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) และรูปแบบสมการของไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิช (Freundlich isotherm) ผลจากการศึกษารูปแบบการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วยไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ และไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการดัดแปร แสดงดังตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 พบว่าแบบจำลองการดูดซับแบบฟรุนดลิชมีความเหมาะสมสำหรับใช้อธิบายแบบการดูดซับออร์โธฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์ดัดแปร มากกว่าแบบจำลองแบบแลงเมียร์ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ (Correlation coefficient, R^2) เข้าใกล้ 1 มากกว่า โดยถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปรด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์จะมีค่าคงที่ของฟรุนดลิช (K_f) เท่ากับ 1.9597 ส่วนถ่านกัมมันต์มีค่าคงที่ของฟรุนดลิช (K_f) เท่ากับ 7.8289 และแบบจำลองฟรุนดลิชแสดงให้เห็นว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับบนพื้นผิววัสดุที่มีลักษณะเป็นหลายชั้น ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการดัดแปรด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์จึงอาจมีคุณสมบัติการดูดซับออร์โธฟอสเฟตเป็นลักษณะการดูดซับทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และฟรุนดลิชของงการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วยถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการดัดแปร

ชนิดตัวดูดซับ	แลงเมียร์ไอโซเทอร์ม				ฟรุนดลิชไอโซเทอร์ม			
	สมการเส้นตรง	K_L	Q_m	R^2	สมการเส้นตรง	K_F	n	R^2
-ถ่านกัมมันต์	y=0.136x-0.0244	5.6689	7.3529	0.8922	y=1.2456x+0.8937	7.8289	0.8028	0.9730
-ถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วย$FeCl_3$	y=0.1508x+0.3911	0.3858	6.6313	0.3856	y=0.6781x+0.2922	1.9597	1.4747	0.6791

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการดัดแปรถ่านกัมมันต์ด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($FeCl_3$ $6H_2O$) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำ โดยใช้วิธีการตกตะกอนให้เฟอร์ริกคลอไรด์ไปเกาะบนพื้นผิวขอถ่านกัมมันต์ โดยจากการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปรมีสภาพพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไป โดยมีเหล็กไปเกาะอยู่บนพื้นผิวของถ่าน และมีสีที่มีความน้ำตาลเล็กน้อย ยังคงมีลักษณะเป็นผงเหมือนก่อนการดัดแปร จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และองค์ประกอบธาตุ ของถ่านกัมมันต์เคลือบผิว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDS) พบว่าเมื่อผ่านการดัดแปรด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ มีลักษณะของพื้นผิวที่ขรุขระ รูพรุนไม่เป็นระเบียบเห็นได้ไม่ชัด ต่างจากถ่านกัมมันต์ก่อนดัดแปรที่พื้นผิวเรียบ และรูพรุนมีความเป็นระเบียบ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการดัดแปร มี ธาตุ Fe ที่สูงขึ้น และจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นของถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเครื่อง FTIR พบว่าหมูฟังก์ชั่นของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์มีหมู่ฟังก์ชั่นที่คล้ายกัน แต่ถ่านกัมมันต์ดัดแปรพบการสั่นของหมู่ฟังก์ชั่น FeOOH ซึ่งเป็นหมูฟังก์ชั่นที่จะพบได้เมื่อดัดแปรถ่านด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์

จากการศึกษาประสิทธิภาพและปัจจัยที่ส่งผลต่อการกำจัดฟอสเฟตในน้ำของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ดัดแปรด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ผลิตขึ้น โดยจากการทดลองพบว่า ปัจจัยต่างๆ เช่น ระยะเวลา พีเอช ปริมาณ ความเข้มข้นเริ่มต้นของออร์โธฟอสเฟต ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ดัดแปร โดยผลจากการศึกษาระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของถ่านกัมมันต์ดัดแปรมีแนวโนมที่ค่อนข้างคงที่ โดยระยะเวลาที่ 30 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงถึง 91.26% และเมื่อเวลา 360 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 99.26% เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ โดยใช้ระยะเวลาที่เท่ากันพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของถ่านกัมมันต์ดัดแปรมีประสิทธิภาพมากกว่า ผลจากการศึกษาผลของพีเอชของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ดัดแปรพบว่า เมื่อค่าพีเอชมีค่าที่สูงขึ้นเป็นพีเอช 7 และ พีเอช 10 จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง จากการศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจาก 20 กรัมต่อลิตรเป็น 30 และ 40 กรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดจะเพิ่มขึ้นด้วย และจากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของออร์โธฟอสเฟต พบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของออร์โธฟอสเฟตเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดของถ่านกัมมันต์ดัดแปรค่อนข้างคงที่
เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นต้นไป พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของถ่านกัมมันต์ลดลงจากการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับของและถ่านกัมมันต์ดัดแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองการดูดซับแบบฟรุนดลิชมีความเหมาะสมสำหรับใช้อธิบายการดูดซับออร์โธฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์ดัดแปรและแบบจำลองฟรุนดลิชแสดงให้เห็นว่าการดูดซับบนพื้นผิวของของถ่านกัมมันต์ดัดแปรอาจมีลักษณะการดูดซับเป็นลักษณะทางเคมี จากผลการทดลองศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ดัดแปรแสดงให้เห็นว่าการดัดแปรพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยเหล็กเฟอร์ริคคลอไรด์สามารถเพิ่มความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเตรียมน้ำตัวอย่างฟอสเฟตสังเคราะห์และในปริมาณมาก เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น ค่าความเป็นกรดด่าง ความเข้มข้น

2. ควรศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ดัดแปรเพิ่มเติม เช่น รูพรุน เพื่อดูลักาณะของรูพรุนว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างไรหลังจากการดัดแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2522. สารประกอบฟอสเฟตในน้ำ. วิทยานิพนธ์. คณะสาธารณะสุขศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล

ธิยา ชนะศักดิ์. 2542. ศึกษาการดูดซับของฟอสเฟตบนถ่านกัมมันต์เคลือบผิว. วิทยานิพนธ์. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2536. ยูโทรฟิเคชัน. วารสารคณะพลศึกษาปีที่ 15 (ฉบับเศษ) ธันวาคม 2555

พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์. 2550. กระบวนการบำบัดน้ำเพิ่มก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม. วิทยานิพนธ์. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พัทธกลม สมบุตร. 2561. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา. วิทยานิพนธ์. สาขาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ภัทราพร พนมชัยสว่าง, คณิตา ตังคณานุรักษ์, นพวรรณ เสมวิมล และชาลิสา วีสมหมาย. 2565. ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียมและออร์โธฟอสเฟตของกากกาแฟและถ่านกากกาแฟ. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) ปีที่ 22 ฉบับที่ 2: 2565

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ยุวรัตน์ เงินเย็น และสุพรรณี จันทร์ภิรมณ์. 2550. การเตรียมและการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากไม้. โครงงานพิเศษ. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เสาวภา ไวยสุศรี. 2559. การกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 26. ฉบับที่ 3. หน้า 475-486

อนิรุทธิ์ ส่งศรี และสุธรรม ชุมพร้อมญาติ. 2563. การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากแกลบในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดจากกระบวนการผลิตยางแผ่น. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 26 ฉบับที่ 2 (2563), 53-57

อุบลวรรณ กมลศิริประเสริฐ. 2536. การกำจัดฟอสเฟตในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบแอร์เรเตทลากูน โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

Asep Bayu Dani Nandiyanto, Rosi Oktiani, Risti Ragadhita. 2019. **How to Read and Interpret FTIR Spectroscope of Organic Material**. Indonesian Journal of Science and Technology, vol. 4, 97-118 pages, 2019

[Online] Available : https://ejournal.upi.edu/index.php/ijost/article/view/15806

(ค้นหาเมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2566)

Mopoung Sumrit, Moonsri Phansiri, Palas Wanwimon, and Khampai Sataporn 2558. **Characterization and Properties of Activated Carbon Prepared from Tamarind Seeds by KOH Activation for Fe(III) Adsorption from Aqueous Solution.** The Scientific World Journal, vol. 2015, Article ID 415961, 9 pages, 2015.

[Online] Available : https://www.hindawi.com/journals/tswj/2015/415961/

(ค้นหาเมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2566)

Thawornchaisit Usarat, Donnok Korawan, Samphoanoi Natchaphat, and Pholsil Pimwimon 2019. **Iron-modified Biochar Derived from Rice Straw for Aqueous Phosphate Removal**. Current Applied Science and Technology Vol.19 No.3, 263-275 pages, 2019

[Online] Available : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/cast/article/view/208183

(ค้นหาเมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2566)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์

ก-1 วิธีการเติมสารประกอบเหล็กลงบนถ่านกัมมันต์

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องปั่นกวน
2. เครื่องกรองลดความดันแบบสุญญากาศ (Vacuum Filltration Apparafurus)
3. เครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) รุ่น 5300 ยี่ห้อ Labtech
4. กระดาษกรองเบอร์ 42 Whatman เบอร์ 42
5. กระดาษวัดพีเอช (pH Paper) ยี่ห้อ MERCK
6. คิวเวท (Cuvette)
7. เครื่องแก้วต่างๆ

สารเคมี

1. สารละลายสต๊อกเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตเข้มข้น 0.5 โมลาร์

   วิธีการเตรียม

ชั่งเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($FeCl_3$•$6H_2O$) 135.14 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร เก็บไว้ในขวดสีชา

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มอล

   วิธีการเตรียม

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 239.98 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

การทดลอง

1. แช่ถ่านกัมมันต์ที่ทราบน้ำหนัก ในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($FeCl_3$•$6H_2O$) เข้มข้น 0.5 โมลาร์ กำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเป็นกรัมของถ่านต่อปริมาตรสารละลายเป็นมิลลิลิตรเท่ากับ 1:30
2. ทำการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยระหว่างการปั่นกวนทำการหยดสารละลาย หยดสารละลาย NaOH เข้มข้น 6 นอร์มอล ทีละหยดจนพีเอชของของผสมมีค่าเท่ากับ 11 และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. เมื่อคบตามเวลาที่กำหนด กรองของผสมที่ได้แบบลดความดัน โดยใช้กระดาษกรองเชิงปริมาณเบอร์ 42 ส่วนที่เป็นของแข็งนำไปทดลองในข้อ 4 และเก็บส่วนของสารละลายที่กรองได้ไปดำเนินการต่อในข้อ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ล้างของแข็งหรือถ่านเคลือบที่ได้ในข้อ 3 ด้วยน้ำปราศจากไอออนจนพีเอชของน้ำที่ผ่านการล้างมีค่าเป็นกลาง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์เคลือบสารประกอบเหล็กที่ผลิตได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1
5. ทำการวัดค่าพีเอชและวิเคราะห์ปริมาณเหล็กที่เหลือในสารละลายด้วย วิธีการทางสเปกโทรโฟโตเมทรี ด้วยการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กกับสารละลายฟีแนนโทรลีน (Phenanthroline)
6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-4 แต่ไม่ใส่ถ่านลงในสารละลาย

ก-2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายออร์โธฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารประกอบเหล็ก

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องเขย่าสารแนวนอน ยี่ห้อ GALLENKAMP
2. เครื่องกรองลดความดันแบบสุญญากาศ (Vacuum Filltration Apparafurus)
3. กระดาษกรองเบอร์ 42 Whatman เบอร์ 42
4. เครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) รุ่น 5300 ยี่ห้อ Labtech
5. คิวเวท (Cuvette)
6. กระดาษวัดพีเอช (pH Paper)
7. เครื่องแก้วต่างๆ

สารเคมี

1. สารละลายสต๊อคออร์โธฟอสเฟต

   วิธีการเตรียม

ชั่ง KH_2PO_4 0.4392 กรัม แล้วละลายในน้ำกลั่น ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ได้สารละลายเข้มข้น 100 mg P/L

ก-2.1 การศึกษาผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต

การทดลอง

1. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารประกอบเหล็ก (Fe(III)-AC) ที่เตรียมได้ในข้อ ก-2 มา 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร พีเอช 5.0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยเทคนิค Vanadomolybdophosphoric Acid Method
3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสจาก 30 นาที เป็น 40, 60, 90, 120, 150, 180 และ 360 นาที ตามลำดับ
4. ทำการทดลองข้อ 1-3 ซ้ำ แต่เปลี่ยนชนิดของวัสดุเป็นถ่านกัมมันต์ (AC)
5. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-3 แต่ไม่ใส่ตัวดูดซับลงในสารละลายออร์โธฟอสเฟต

ก-2.2 การศึกษาผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต

การทดลอง

1. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารประกอบเหล็ก (Fe(III)-AC) ที่เตรียมได้ในข้อ ก-2 มา 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ที่มีพีเอชเท่ากับ 5 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง ก-2.1
2. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วย วิธี Vanadomolybdophosphoric Acid Method
3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนพีเอชของสารละลายออร์โธฟอสเฟตที่ใช้จาก 5 เป็น 7 และ 10 ตามลำดับ
4. ทำการทดลองข้อ 1- 3 ซ้ำ แต่เปลี่ยนชนิดของวัสดุเป็นถ่านกัมมันต์ (AC)
5. ทำชดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-3 แต่ไม่ใส่ตัวดูดซับลงในสารละลายออร์โธฟอสเฟต

ก-2.3 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต

การทดลอง

1. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารประกอบเหล็ก (Fe(III)-AC) ที่เตรียมได้ในข้อ ก-2 มา 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่บรรจุสารละลายออร์ที่โธฟอสเฟตเข้มข้น 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ซึ่งปรับให้มีพีเอชเหมาะสมตามที่ได้จากหัวข้อ ก-2.2 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ตามระยะเวลาเหมาะสมที่ได้จากการทดลองหัวข้อ ก-2.1
2. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธี Vanadomolybdophosphoric Acid Method

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆ ... ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับจาก 1 กรัม เป็น 1.5 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ

4.ทำการทดลองข้อ 1- 3 ซ้ำ แต่เปลี่ยนชนิดของวัสดุเป็นถ่านกัมมันต์ (AC)

5.ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-3 แต่ไม่ใส่ตัวดูดซับลงในสารละลายออร์โธฟอสเฟต

ก-2.4 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต

1. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารประกอบเหล็ก (Fe(III)-AC) ในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง ก-2.3 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่บรรจุสารละลายออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ซึ่งปรับให้มีพีเอชที่เหมาะสมตามที่ได้จากหัวข้อ ก-2.2 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ตามระยะเวลาเหมาะสมที่ได้จากการทดลอง ก-2.1
2. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธี Vanadomolybdophosphoric Acid Method
3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นตัวจาก 5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
4. ทำการทดลองข้อ 1- 3 ซ้ำ แต่เปลี่ยนชนิดของวัสดุเป็นถ่านกัมมันต์ (AC)
5. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-3 แต่ไม่ใส่ตัวดูดซับลงในสารละลายออร์โธฟอสเฟต

ก-3 การวิเคราะห์เหล็ก (Iron) ด้วยวิธีฟีแนนโทรลีน

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เตาให้ความร้อน (Hot plate)
2. ลูกแก้ว
3. เครื่องแก้วต่างๆ
4. เครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) รุ่น 5300 ยี่ห้อ Labtech
5. คิวเวท (Cuvette)

สารเคมี

1.HCl conc.

2.สารละลายไฮดรอกซาลามีน

<u>วิธีการเตรียม</u>

ละลายไฮดรอกซาลามีน 10 กรัมในน้ำกลั่น 100 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตดบัฟเฟอร์

วิธีการเตรียม

ละลายแอมโมเนียมอะซิเตด 250 กรัม ในน้ำกลั่น 150 มล. แล้วเติมกรดอะซิติคเข้มข้น 700 มล. แล้วคนให้สารละลายเข้ากัน

4.สารละลายฟีแนนโทรลีน

วิธีการเตรียม

ละลายฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต 100 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 100 มล. ซึ่งหยด HCl conc. ประมาณ 2 หยด เพื่อช่วยฝนการละลาย

การทดลอง

1. ล้างเครื่องแก้วทุกชนิดด้วยไนตริก
2. ตวงสารตัวอย่างมา 50 มล. ใส่ในบิกเกอร์ เติม HCl conc. 2 มล. และสารละลายไฮดรอกซาลามีนไฮโดรคลอไรด์ 1 มล.
3. ใส่ลูกแก้ว 4-5 เม็ด ต้มให้เดือดบนเตา (Hot plate) จนเดือดเหลือสารละลายประมาณ 15-20 มล.
4. วางไว้ให้เย็น แล้วเทใส่ขวดปรับปริมาตร 50 มล. เติมอะซิเตดบัฟเฟอร์ 10 มล. และฟีแนนโทรลีน 2 มล. เขย่าให้เกิดสี จะได้สีส้ม ทิ้งไว้ 5 นาที แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มล. แล้ววางทิ้งไว้อีก 10 นาที

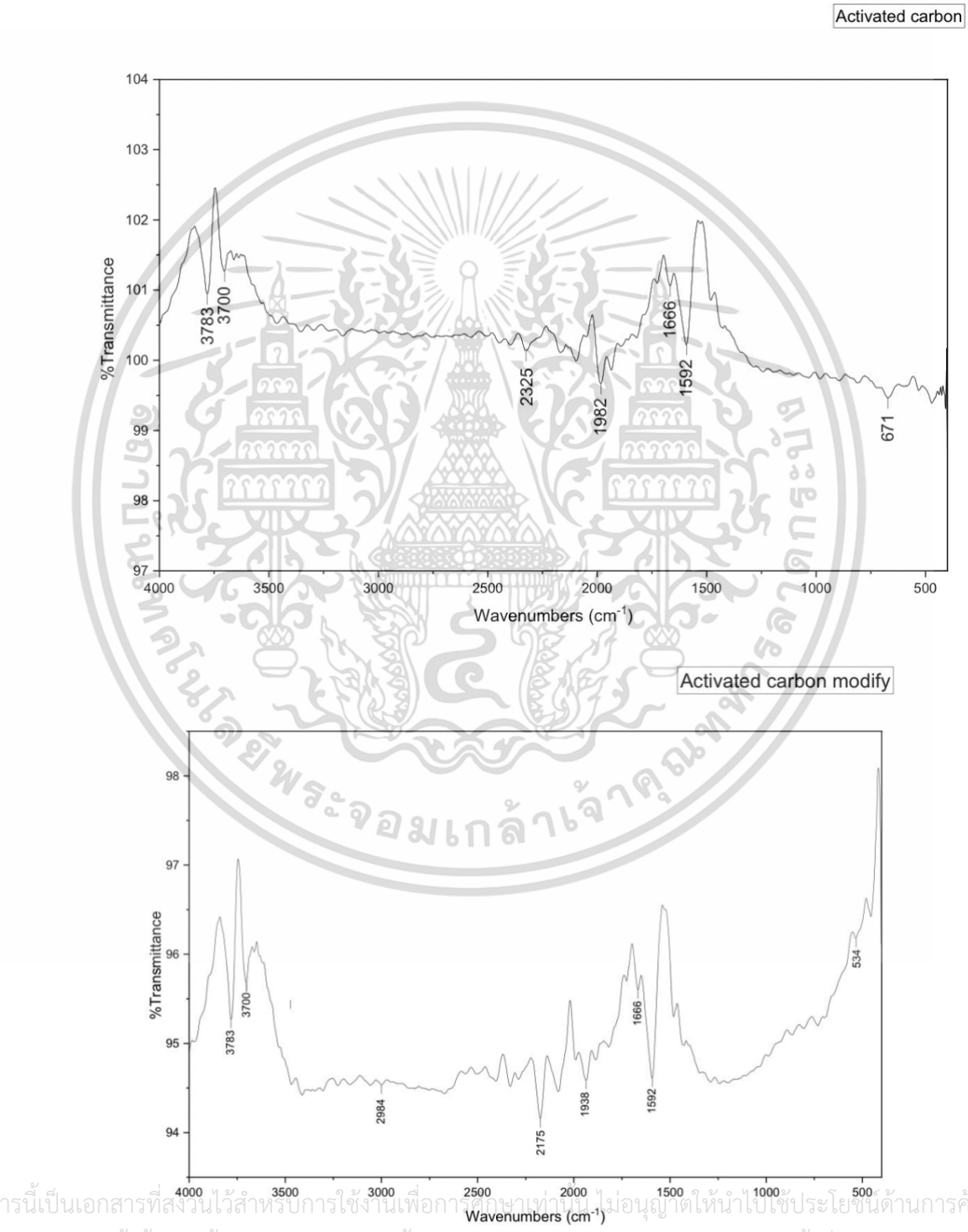
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ข-1 ผลการวิเคราะห์หมูฟังก์ชั่นของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันนต์ดัดแปร โดยอาศัยเทคนิคฟลูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์(FTIR)

รูปที่ ข-1.1 Fourier transform Infrared Spectroscopy (Ft-ir) ของถ่านกัมมันต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-1.2 Fourier transform Infrared Spectroscopy (Ft-ir) ของถ่านกัมมันต์ดัดแปร

ตารางที่ ข-1.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค EDS ของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้รับการดัดแปร

Element	Wt%	At%
C	88.95	93.25
O	6.52	5.13
Mg	0.57	0.29
Al	0.49	0.23
Si	0.87	0.39
Cl	0.16	0.06
K	0.14	0.05
Ca	1.08	0.34
Fe	0.83	0.19
Cu	0.40	0.08
Total :	100.00	100.00

ตารางที่ ข-1.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค EDS ของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้รับการดัดแปร

Element	Wt%	At%
C	34.78	58.48
O	19.42	24.52
Na	0.28	0.24
Si	0.38	0.27
Cl	0.36	0.21
Ca	0.59	0.30
Fe	44.20	15.99
Total :	100.00	100.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2 ผลของระยะเวลาต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

ตารางที่ ข-2.1 ผลของระยะเวลาของชุดควบคุมต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

ระยะเวลา (Min)	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต		ค่าเฉลี่ย	SD	ประสิทธิภาพการกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
0	48.71	48.71	48.71	0	2.56
30	47.16	48.97	47.94	1.28	3.85
40	46.60	48.51	47.56	1.35	4.87
60	45.92	49.01	47.46	2.18	5.06
90	46.88	48.63	47.75	1.24	4.48
120	47.36	50.36	48.86	2.12	2.26
150	47.71	51.10	49.40	2.40	1.18
180	47.52	49.13	48.32	1.14	3.34
360	47.02	47.02	47.02	0	5.95

ตารางที่ ข-2.2 ผลของระยะเวลาของถ่านกัมมันต์ดัดแปรต่อออร์โธฟอสเฟต

ระยะเวลา (Min)	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต			ค่าเฉลี่ย	SD	ประสิทธิภาพการกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	10.90	10.16	11.69	10.92	0.77	91.25
30	3.83	0.34	3.78	2.65	2.00	97.87
40	0.82	1.43	3.70	1.98	1.52	98.41
60	1.11	0.37	2.81	1.43	1.25	98.85
90	0.80	0.16	2.12	1.47	1.00	98.81
120	1.75	0.13	1.73	1.20	0.93	99.03
150	0.84	0.20	1.38	0.81	0.59	99.35
180	0.75	0.56	1.22	0.94	0.34	99.06
360	0.09	0.31	2.34	0.91	1.24	99.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.3 ผลของระยะเวลาของถ่านกัมมันต์ต่อออโธฟอสเฟต

ระยะเวลา (Min)	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต			ค่าเฉลี่ย	SD	ประสิทธิภาพการกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	26.31	30.38	30.76	29.15	2.47	41.68
30	19.35	26.16	19.68	21.73	3.84	56.53
40	20.41	20.76	21.56	20.91	0.59	58.16
60	19.94	18.58	19.63	19.39	0.71	61.21
90	18.44	18.51	17.78	18.24	0.40	63.50
120	16.36	18.42	17.41	17.39	1.03	65.21
150	16.1	19.12	15.38	16.86	1.98	66.26
180	18.36	14.55	15.36	16.15	2.01	67.69
360	13.84	14.74	13.97	14.36	0.49	71.27

ข-3 ผลของพีเอชต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

ตารางที่ ข-3.1 ผลของพีเอชของชุดควบคุมต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

พีเอช	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต			เฉลี่ย	SD	ประสิทธิภาพการกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	51.75	53.90	55.04	53.56	1.67	0
7	53.09	53.02	56.75	54.29	2.13	0
10	54.02	54.60	56.28	54.97	1.17	0

ตารางที่ ข-3.2 ผลของพีเอชของถ่านกัมมันต์ดัดแปรต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

พีเอช	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต			เฉลี่ย	SD	ประสิทธิภาพการกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	2.25	2.11	3.68	2.68	0.87	94.62
7	3.40	4.55	4.15	4.03	0.58	91.92
10	4.22	6.58	4.97	5.26	1.21	89.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3.3 ผลของพีเอชของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

พีเอช	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต			เฉลี่ย	SD	ประสิทธิภาพการกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	19.27	22.44	24.50	22.07	2.63	55.85
7	24.50	26.11	27.85	26.15	1.68	47.68
10	26.81	28.47	32.65	29.31	3.01	41.37

ข-4 ผลของความเข้มข้นต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

ตารางที่ ข-4.1 ผลของความเข้มข้นของชุดควบคุมต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

ความเข้มข้น (mg/l)	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต				เฉลี่ย	SD	ประสิทธิภาพการกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4			
5	6.78	4.83	7.02	5.60	6.06	1.03	1.38
10	11.70	9.71	11.35	10.70	10.86	0.87	4.22
25	27.59	28.21	36.37	28.54	30.18	4.15	4.28
50	53.52	38.42	50.78	58.89	49.37	8.67	1.69
100	91.51	100.00	108.64	107.81	101.99	8.00	4.90

ตารางที่ ข-4.2 ผลของความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ดัดแปรต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

ความเข้มข้น (mg/l)	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต				เฉลี่ย	SD	ประสิทธิภาพการกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4			
5	1.38	0.66	1.48	1.58	1.28	0.42	79.15
10	1.51	0.07	1.30	0.58	0.86	0.66	91.65
25	2.28	0.36	1.89	1.59	1.53	0.83	95.13
50	4.22	1.38	2.25	1.76	2.40	1.26	95.21
100	15.14	9.24	10.31	10.26	11.24	2.65	89.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4.3 ผลของความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

ความเข้มข้น (mg/l)	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต				เฉลี่ย	SD	ประสิทธิภาพการกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4			
5	2.31	1.13	2.87	1.02	1.83	0.91	70.11
10	2.80	2.53	2.34	1.18	2.21	0.71	78.72
25	6.87	11.88	23.96	4.17	11.72	8.76	62.81
50	20.01	16.96	30.84	22.09	22.47	5.96	55.24
100	59.21	60.88	73.04	66.90	65.01	6.29	39.38

ข-5-ผลของปริมาณต่อออร์โธฟอสเฟต

ตารางที่ ข-5.1 ผลของปริมาณของถ่านกัมมันต์ดัดแปรต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

ปริมาณ (g)	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต		เฉลี่ย	SD	ประสิทธิภาพการกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
1	2.43	2.36	2.39	0.05	95.63
1.5	1.57	1.20	1.39	0.26	97.46
2	0.25	0.20	0.22	0.04	99.58

ตารางที่ ข-5.2 ผลของปริมาณของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

ปริมาณ (g)	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต		เฉลี่ย	SD	ประสิทธิภาพการกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
1	18.90	18.63	18.76	0.19	77.24
1.5	11.98	11.99	11.98	0.01	85.46
2	7.69	7.19	7.44	0.35	90.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.3 ผลของปริมาณของชุดควบคุมต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต

ปริมาณ (g)	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต		เฉลี่ย	SD	ประสิทธิภาพการกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
1	52.73	52.69	52.71	0.03	4.14
1.5	51.53	53.33	52.43	1.27	100
2	50.76	54.68	52.72	2.77	4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า ~~นาย~~/~~นาง~~/นางสาว.....ชลันทร.....ธรรมอินราช.... รหัสประจำตัว....62050379....

นาย/~~นาง~~/~~นางสาว~~.....ธนัท.....เกตุเรือง..... รหัสประจำตัว....62050393....

นาย/~~นาง~~/~~นางสาว~~.....ปราชญ์เทวัญ...แดงจอหอ..... รหัสประจำตัว....62050411....

นาย/~~นาง~~/~~นางสาว~~.....สหรัฐ.....ชูไพฑูรย์..... รหัสประจำตัว....62050456....

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา.....เคมีสิ่งแวดล้อม.....ภาควิชา.....เคมี.....

ขอรับรองว่าโครงงานพิเศษ/~~ปัญหาพิเศษ~~/~~สหกิจศึกษา~~ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย.....การกำจัดฟอสเฟตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปลงด้วยเฟอร์ริค ไอออน.....

ชื่อภาษาอังกฤษ.....Removal of Phosphate in Synthetic Wastewater.....

.....with Activated Carbon Modified by Ferric Ion.....

ปีการศึกษา.....2565.....

เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์.....4.93.....% หรือโปรแกรม Turnitin.....%

ลงชื่อ.....ชลันทร ธรรมอินราช.....	ลงชื่อ.....ธนัท เกตุเรือง.....	ลงชื่อ.....ปราชญ์เทวัญ แดงจอหอ.....
(ชลันทร ธรรมอินราช)	(ธนัท เกตุเรือง)	(ปราชญ์เทวัญ แดงจอหอ)
นักศึกษา	นักศึกษา	นักศึกษา

ลงชื่อ.....สหรัฐ ชูไพฑูรย์.....

(สหรัฐ ชูไพฑูรย์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ~~ศ.~~ / รศ. / ~~ผศ.~~ / ดร. / ~~อ~~...สุวรรณี จรรยาพูน. อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า ~~นาย~~/~~นาง~~/นางสาว.....ชลันทร.....ธรรมอินราช.... รหัสประจำตัว....62050379....

นาย/~~นาง~~/~~นางสาว~~.....ธนัท.....เกตุเรือง..... รหัสประจำตัว....62050393....

นาย/~~นาง~~/~~นางสาว~~.....ปราชญ์เทวัญ...แดงจอหอ..... รหัสประจำตัว....62050411....

นาย/~~นาง~~/~~นางสาว~~.....สหรัฐ.....ชูไพฑูรย์..... รหัสประจำตัว....62050456....

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา.....เคมีสิ่งแวดล้อม.....ภาควิชา.....เคมี.....

ขอรับรองว่าโครงงานพิเศษ/~~ปัญหาพิเศษ~~/~~สหกิจศึกษา~~ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย.....การกำจัดฟอสเฟตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปลงด้วยเฟอร์ริค ไอออน.....

ชื่อภาษาอังกฤษ.....Removal of Phosphate in Synthetic Wastewater.....

.....with Activated Carbon Modified by Ferric Ion.....

ปีการศึกษา.....2565.....

เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์.....4.93.....% หรือโปรแกรม Turnitin.....%

ลงชื่อ.....ชลันทร ธรรมอินราช.....
(ชลันทร ธรรมอินราช)
นักศึกษา

ลงชื่อ.....ธนัท เกตุเรือง.....
(ธนัท เกตุเรือง)
นักศึกษา

ลงชื่อ.....ปราชญ์เทวัญ แดงจอหอ.....
(ปราชญ์เทวัญ แดงจอหอ)
นักศึกษา

ลงชื่อ.....สหรัฐ ชูไพฑูรย์.....
(สหรัฐ ชูไพฑูรย์)
นักศึกษา

ข้าพเจ้า ~~ศ.~~ / รศ. / ~~ผศ.~~ / ดร. / ~~อ~~...สุวรรณี จรรยาพูน. อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้