

การลดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จาก  
เปลือกทุเรียน

THE REDUCTION OF PHOSPHATE FROM WASTEWATER  
BY MAGNETIC BIOCHAR DERIVED FROM DURIAN PEELS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# THE REDUCTION OF PHOSPHATE FROM WASTEWATER BY MAGNETIC BIOCHAR DERIVED FROM DURIAN PEELS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF  
SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2017




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การลดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์  
จากเปลือกทุเรียน  
The Reduction of Phosphate from Wastewater  
by Magnetic Biochar Derived from Durian Peels

ชื่อนักศึกษา นางสาวจิตรา พรสมบูรณ์ รหัสนักศึกษา 57050574  
นางสาววิศรา ดำริห์ รหัสนักศึกษา 57050636  
นางสาวอิชยา วงศ์นเรศ รหัสนักศึกษา 57050667

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชา เคมี  
ปีการศึกษา 2560  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี  
สิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการ	
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การลดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิตรา พรสมบุญ รหัสนักศึกษา 57050574 นางสาววิศรา ดำริห์ รหัสนักศึกษา 57050636 นางสาวอิชยา วงศ์นเรศ รหัสนักศึกษา 57050667
ปริญญา ภาควิชา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
คณะ	เคมี
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

### บทคัดย่อ

การดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนมาดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของระยะเวลา (0-180 นาที), pH (2-8), อุณหภูมิ (อุณหภูมิห้อง, 45, 55 องศาเซลเซียส), ความเข้มข้น (10, 20, 30, 40, 50 มิลลิกรัมต่อลิตร), ปริมาณ (0.025, 0.500, 1.000, 2.000 กรัม) ไอโซเทอร์มของการดูดซับ Langmuir, Freundlich, Tempkin, Dubinin radushkevich ไอโซเทอร์ม ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับ การเกิดปฏิกิริยาอันดับ 1-2 และ Elovich model รวมทั้งศึกษาค่าทางอุณหพลศาสตร์ และคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้ SEM, FTIR และ XRD จากการศึกษาพบว่าที่ระยะเวลา 60 นาที pH ที่ 3 อุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณตัวดูดซับที่ 1 กรัม ให้ผลการดูดซับที่ดีที่สุด 88 – 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของ Langmuir, Freundlich, Tempkin, Dubinin radushkevich ค่าทางอุณหพลศาสตร์ ค่าพลังงานอิสระมาตรฐาน ( $\Delta G^0$ ) แสดงว่าการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนสามารถเกิดขึ้นได้เองโดยธรรมชาติ

**คำสำคัญ :** ฟอสเฟต, ถ่านชีวภาพแม่เหล็ก, การดูดซับ, ไอโซเทอร์ม, อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	The Reduction of Phosphate from Wastewater by Magnetic Biochar Derived from Durian Peels
<b>Students</b>	Miss Jitra Pornsomboon Student ID 57050574 Miss Varisara Damli Student ID 57050636 Miss Itsaya Wongnared Student ID 57050667
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
<b>Department</b>	Chemistry
<b>Faculty</b>	Science
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
<b>Academic Year</b>	2017
<b>Advisor</b>	Assist. Prof. Dr.Chompoonut Chaiyaraksa

### Abstract

Adsorption is one of the methods getting attention in wastewater treatment because it is an economical and effective way to treat. This research produced magnetic biochar from durian peels and used to adsorb phosphate. The study was on the effect of adsorption time (0-180 minute), pH (2-8), temperature (room temperature, 45, 55 degree celsius), phosphate concentration (10, 20, 30, 40, 50 milligrams per liter), the amount of adsorbent (0.025, 0.500, 1.000, 2.000 gram) to the adsorption. The study was also on adsorption isotherm (Langmuir, Freundlich, Tempkin, Dubinin radushkevich (D-R) isotherm), kinetic (Pseudo-first order, Pseudo-second order, Elovich), and thermodynamics. The physical characteristic of adsorbents was determined by SEM, FTIR, and XRD. The adsorption was maximum when using 1 gram of adsorbent, 60 minutes of adsorption time, solution pH 3 at room temperature to treat 10 milligrams per liter phosphate. The maximum adsorption was 88-90 percent. Adsorption isotherm followed Freundlich, Tempkin, and Dubinin radushkevich. The value of  $\Delta G^0$  reduced when increasing temperature. The adsorption was exothermic and can occur naturally.

**Keyword :** Phosphate, Magnetic biochar, Adsorption, Isotherm, Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถเสร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือมาจากบุคคลหลายฝ่ายเป็นอย่างดี ผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ คอยช่วยเหลือ แนะนำแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดการทดลอง ทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้ออกมาสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.กสินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ คณะกรรมการ สอบที่ช่วยชี้แนะข้อบกพร่องและแนวทางการแก้ไข้ปัญหา รวมทั้งตรวจสอบและติชมโครงการพิเศษ เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี เจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ และช่วยอำนวยความสะดวกต่างๆ จนทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคุณแม่ พ่อคุณแม่ บุคคลในครอบครัว ตลอดจนเพื่อนๆ ในสาขาเคมีสิ่งแวดล้อม พี่ๆ เพื่อนๆ ในคณะวิทยาศาสตร์ ที่คอยให้ความรัก ความเข้าใจ เป็นกำลังใจ และเป็นທີ່ปรึกษาที่ดีตลอด การทำโครงการพิเศษฉบับนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำสำนึกในพระคุณทุกท่านและถือโอกาสกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความกรุณา ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ทำให้คณะผู้จัดทำมีแรงใจในการทำโครงการพิเศษเล่มนี้ออกมาสมบูรณ์ที่สุด

จิตรา พรสมบูรณ์

วริศรา ดำริห์

อิษยา วงศ์นเรศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป .....	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์ .....	ท
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขต .....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>4</b>
2.1 น้ำเสียบ้านเรือน .....	4
2.1.1 ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากบ้านเรือน .....	4
2.1.1.1 ทางกายภาพ .....	4
2.2.1.2 ทางเคมี .....	4
2.2.1.3 ทางชีวภาพ .....	5
2.1.2 ผลกระทบของน้ำเสีย .....	5
2.2 ฟอสเฟตในน้ำ .....	6
2.2.1 แหล่งที่มาของฟอสเฟตในน้ำ .....	6
2.2.2 ผลกระทบที่เกิดจากฟอสเฟต .....	6
2.3 ฟอสเฟตในผงซักฟอก .....	7
2.3.1 ผงซักฟอก .....	7
2.3.1.1 ชนิดของผงซักฟอก .....	7
2.3.1.2 ส่วนประกอบของผงซักฟอก .....	8
2.3.1.3 กลไกการทำความสะอาดของผงซักฟอก .....	9
2.3.2 ผลของชนิดและปริมาณสารซักฟอกต่อคุณภาพน้ำทิ้ง .....	10
2.4 การดูดซับ .....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 ประเภทของตัวดูดซับ .....	11
2.4.1.1 การดูดซับทางกายภาพ .....	11
2.4.1.2 การดูดซับทางเคมี .....	11
2.5 กลไกการดูดซับ .....	12
2.6 แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ .....	12
2.6.1 แรงแวนเดอร์วาลส์ .....	12
2.6.2 ไฟฟ้าสถิต .....	13
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ .....	13
2.8 ทุเรียน .....	14
2.9 ถ่านชีวภาพ .....	15
2.9.1 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ .....	15
2.10 ถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์ .....	16
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	16
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>19</b>
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี .....	19
3.1.1 อุปกรณ์ .....	19
3.1.2 สารเคมี .....	19
3.2 การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟต .....	20
3.2.1 การเตรียมสารละลายสต็อกฟอสเฟต .....	20
3.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร .....	20
3.2.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอสเฟต .....	20
3.3 การเตรียมวัสดุดูดซับ .....	20
3.3.1 การเตรียมเปลือกทุเรียน .....	20
3.3.2 การปรับสภาพเปลือกทุเรียนเป็นถ่านชีวภาพ .....	20
3.3.3 การล้างถ่านชีวภาพเพื่อกำจัดเถ้า .....	21
3.3.4 การปรับสภาพถ่านชีวภาพให้มีสภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ .....	21
3.3.4.1 การเตรียมสารละลายปรับสภาพ .....	21
3.3.4.2 การปรับสภาพถ่านชีวภาพให้มีสภาพเป็นแม่เหล็ก .....	21
3.4 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัววัสดุดูดซับ .....	21
3.4.1 การหาค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ .....	22
3.5 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับฟอสเฟต .....	22
3.5.1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณของตัววัสดุดูดซับ .....	22
3.5.2 ศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อการดูดซับ .....	22
3.5.3 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดซับ .....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.4	ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในระบบที่มีผลต่อการดูดซับ .....	23
3.5.5	ศึกษาอิทธิพลของการคายซับฟอสเฟตของตัววัสดุดูดซับ .....	23
3.6	ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของตัววัสดุดูดซับ .....	24
3.7	ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ .....	24
3.8	ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับ .....	24
3.9	ศึกษาทางอุณหพลศาสตร์ .....	24
<b>บทที่ 4</b>	<b>ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>25</b>
4.1	ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน .....	25
4.1.1	การวิเคราะห์ด้วย Scanning electron microscope (SEM) .....	25
4.1.2	การวิเคราะห์ด้วย Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) .....	26
4.1.3	การวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction (XRD) analysis .....	27
4.2	การศึกษาค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ .....	29
4.3	การศึกษาอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายฟอสเฟต .....	29
4.3.1	อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับ .....	29
4.3.2	อิทธิพลของค่า pH .....	31
4.3.3	อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต .....	33
4.3.4	อิทธิพลของอุณหภูมิของสารละลายฟอสเฟต .....	34
4.4	การเปรียบเทียบการกำจัดฟอสเฟตด้วยตัววัสดุดูดซับ .....	36
4.5	การศึกษาการคายซับของตัววัสดุดูดซับ .....	37
4.6	ไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟต .....	37
4.6.1	สมการการดูดซับของแลงเมียร์ .....	37
4.6.2	สมการการดูดซับของฟรุนดริช .....	39
4.6.3	สมการการดูดซับของเทมกิน .....	40
4.6.4	สมการการดูดซับของ Dibinin radushkevich .....	42
4.7	จลนศาสตร์ของการดูดซับฟอสเฟต .....	45
4.7.1	แปรผันความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอสเฟต .....	45
4.7.2	แปรผันอุณหภูมิของสารละลายฟอสเฟต .....	48
4.8	พลังงานการกระตุ้นของการดูดซับฟอสเฟต .....	53
4.9	อุณหพลศาสตร์ของการดูดซับฟอสเฟต .....	55
4.9.1	ค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของการดูดซับฟอสเฟต .....	55
4.9.2	ค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการดูดซับฟอสเฟต .....	56
4.9.3	ค่าการเปลี่ยนแปลงอิสระกิบส์ของการดูดซับฟอสเฟต .....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	58
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	59
เอกสารอ้างอิง .....	60
ภาคผนวก .....	63
ภาคผนวก ก .....	64
ภาคผนวก ข .....	65
ภาคผนวก ค.....	80
ภาคผนวก ง .....	81
ภาคผนวก จ .....	89
ภาคผนวก ฉ .....	90
ภาคผนวก ช .....	91
ภาคผนวก ซ .....	92
ภาคผนวก ฌ .....	94
ภาคผนวก ญ .....	96



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับทางเคมี .....	12
2.2 ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน .....	15
2.3 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ .....	16
3.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ .....	21
4.1 ความยาวคลื่นของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ .....	26
4.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับของ Langmuir, Freundlich, Temkin และ D-R .....	45
4.3 ค่าคงที่ของสมการต่างๆ .....	51
4.4 ค่าคงที่ของอัตราเร็วในการดูดซับฟอสเฟตที่อุณหภูมิต่างๆ .....	53
4.5 ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับที่อุณหภูมิต่างๆ .....	55
4.6 ค่าคงที่ทางอุณหพลศาสตร์ .....	57
ก.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอสเฟต .....	64
ข.1 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 0.025 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....	65
ข.2 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 0.500 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....	66
ข.3 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....	67
ข.4 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 2.000 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....	68
ข.5 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH ต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที .....	69
ข.6 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....	70
ข.7 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.8 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....	72
ข.9 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....	73
ข.10 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....	74
ข.11 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส .....	75
ข.12 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส .....	76
ข.13 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส .....	77
ข.14 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ที่มีผลต่อการคายซับฟอสเฟตในน้ำกลั่นที่ pH ต่างๆ ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง .....	78
ข.15 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์ จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง.....	79
ค.1 ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอสเฟตและความเข้มข้นของฟอสเฟตที่เหลือ ในสารละลายที่ใช้ในการหาไอโซเทอร์มของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟต ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....	80
ง.1 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับ ฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการ ดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
<p>ง.2 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....</p>	82
<p>ง.3 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....</p>	83
<p>ง.4 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....</p>	84
<p>ง.5 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง .....</p>	85
<p>ง.6 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส .....</p>	86
<p>ง.7 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส .....</p>	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.8 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุมปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.0 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส .....	88
จ.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาค่าพลังงานกระตุ้นของการดูดซับ ในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม pH เท่ากับ 3 .....	89
ฉ.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาค่าเอนทัลปีมาตรฐานของการดูดซับ ในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม pH เท่ากับ 3 .....	90
ช.1 ค่า pH ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ไม่ได้ใส่ตัวดูดซับ, ค่า pH เริ่มต้น และ pH สุดท้ายของการทดลองหาค่าประจุพื้นผิวที่เป็นศูนย์ .....	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัววัสดุดูดซับ .....	25
4.2 สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันของตัววัสดุดูดซับโดยใช้เครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) .....	26
4.3 กราฟของถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียนและถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน โดยวิธี X-ray diffraction (XRD) analysis .....	28
4.4 ประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของตัววัสดุดูดซับ .....	29
4.5 เปรียบเทียบการกำจัดฟอสเฟตเมื่อปริมาณตัวดูดซับต่างกัน โดยใช้น้ำหนักปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 0.025, 0.500, 1.000 และ 2.000 กรัม และใช้ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง .....	30
4.6 ความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุล เมื่อใช้น้ำหนักปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 0.025, 0.500, 1.000 และ 2.000 กรัม และใช้ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง .....	31
4.7 เปรียบเทียบการกำจัดฟอสเฟตเมื่อ pH ของสารละลายต่างกัน โดยใช้ pH เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 และใช้ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 60 นาที .....	32
4.8 ความสามารถในการดูดซับเมื่อ pH ของสารละลายต่างกัน โดยใช้ pH เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 และใช้ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 60 นาที .....	32
4.9 เปรียบเทียบการกำจัดฟอสเฟตเมื่อความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตต่างกัน โดยใช้ ความเข้มข้น เท่ากับ 10, 20, 30, 40 และ 50 และใช้ pH ของสารละลายเท่ากับ 3 ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 60 นาที .....	33
4.10 ความสามารถในการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตต่างกัน โดยใช้ ความเข้มข้น เท่ากับ 10, 20, 30, 40 และ 50 และใช้ pH ของสารละลายเท่ากับ 3 ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.000 กรัม ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 60 นาที .....	34
4.11 เปรียบเทียบการกำจัดฟอสเฟตเมื่ออุณหภูมิของสารละลายฟอสเฟตต่างกัน โดยใช้ อุณหภูมิ เท่ากับ 33, 45 และ 55 โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ของสารละลายเท่ากับ 3 ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.0 กรัม ทำการทดลองเป็นเวลานาน 60 นาที .....	35
4.12 ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟต เมื่ออุณหภูมิของสารละลายฟอสเฟตต่างกัน โดยใช้ อุณหภูมิ เท่ากับ 33, 35, 45 และ 55 โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ของสารละลายเท่ากับ 3 ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม ทำการทดลองเป็นเวลานาน 60 นาที .....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 เปรี่เซนต์การกำจัดฟอสเฟตที่เวลาต่างกัน .....	36
4.14 ผลของการศึกษาการคายซับในน้ำกลั่นที่มีค่า pH เท่ากับ 2 ถึง 8 ของถ่านชีวภาพแม่เหล็ก สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการดูดซับฟอสเฟตมาแล้ว .....	37
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $C_e/q_e$ กับ $(C_e)$ .....	38
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ .....	40
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $q_e$ กับ $\ln C_e$ .....	41
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln q_e$ กับ $[RT \ln (1+1/C_e)]^2$ .....	42
4.19 แบบจำลองการดูดซับอันดับหนึ่ง (Pseudo first order model) เมื่อใช้ความเข้มข้นของ สารละลายในการดูดซับที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร .....	46
4.20 แบบจำลองการดูดซับอันดับสอง (Pseudo second order model) เมื่อใช้ความเข้มข้น ของสารละลายในการดูดซับที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร .....	46
4.21 สมการของ Elovich เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายในการดูดซับที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร .....	47
4.22 การแพร่ภายในสารดูดซับ (Intra particle diffusion) เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลาย ในการดูดซับที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร .....	47
4.23 แบบจำลองการดูดซับอันดับหนึ่ง (Pseudo first order model) เมื่อใช้อุณหภูมิใน การดูดซับที่ 33, 45 และ 55 องศาเซลเซียส .....	48
4.24 แบบจำลองการดูดซับอันดับสอง (Pseudo second order model) เมื่อใช้อุณหภูมิใน การดูดซับที่ 33, 45 และ 55 องศาเซลเซียส .....	48
4.25 สมการของ Elovich เมื่อใช้อุณหภูมิในการดูดซับที่ 33, 45 และ 55 องศาเซลเซียส .....	49
4.26 การแพร่ภายในสารดูดซับ (Intra particle diffusion) เมื่อใช้อุณหภูมิในการดูดซับที่ 33, 45 และ 55 องศาเซลเซียส .....	49
4.27 แบบจำลองการดูดซับอันดับสอง (Pseudo second order model) ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	53
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการอาร์เรเนียสที่อุณหภูมิ 33, 45 และ 55 องศาเซลเซียส... ..	54
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการแวนฮอฟฟ์ที่อุณหภูมิ 33, 45 และ 55 องศาเซลเซียส.... ..	56
5.1 ทดสอบความเป็นแม่เหล็กของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน.....	58
ช.1 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน .....	92
ฉ.1 สเปกตรัมของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) .....	95
ญ.1 โครงสร้างของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี X-ray diffraction (XRD) analysis .....	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$C_0$	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่ถูกดูดซับในก๊าซหรือของเหลว
$C_e$	ความเข้มข้นหลังจากเข้าสู่สภาวะสมดุลของสารที่ถูกดูดซับ
$C_t$	ความเข้มข้นที่เวลานั้นๆของสารที่ถูกดูดซับในก๊าซหรือของเหลว
$q_e$	จำนวนการดูดซับที่ยึดต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล
$q_D$	ปริมาณสูงสุดของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับแบบชั้นเดียว
$q_t$	จำนวนการดูดซับที่ยึดต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ
$k_1$	ค่าคงที่อัตราสำหรับแบบจำลองการดูดซับอันดับหนึ่ง
$k_2$	ค่าคงที่อัตราสำหรับแบบจำลองการดูดซับอันดับสอง
$K_L$	ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ หรือค่าคงที่ของแลงเมียร์
$K_F$	ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น
$K_{DR}$	ค่าคงที่การดูดซับของ Dubinin-Radushkevich
$K_{id}$	ค่าคงที่อัตราเร็วในการดูดซับของการแพร่ภายในรูพรุน
$b_o$	ค่าคงที่ Temkin ซึ่งสัมพันธ์กับความร้อนของการดูดซับ
$A$	ค่าคงที่สมดุลของการยึดเกาะ
$A$	แฟกเตอร์ความถี่
$E$	พลังงานที่ดูดซับเฉลี่ยของการดูดซับ
$E_a$	พลังงานก่อกัมมันต์ (Activation Energy) ของปฏิกิริยา
$K$	เคลวิน
$R$	ค่าคงที่ของแก๊ส ( $8.314 \text{ Jmol}^{-1}/\text{K}^{-1}$ )
$T$	เวลา (นาท)
$V$	ปริมาณของสารละลายหรือก๊าซ
$W$	น้ำหนักแห้งของสารดูดซับที่ใช้
$1/n$	ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ
$\mu\text{g}$	ไมโครกรัม
$\text{mg}$	มิลลิกรัม
$\text{kg}$	กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์(ต่อ)

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
g	กรัม
L	ลิตร
kJ	กิโลจูล
J	จูล
mol	โมล
min	นาที
$\alpha$	อัตราเร็วในการดูดซับ
$\beta$	สัมประสิทธิ์ของการคายซับ
$-\Delta H$	ความร้อนคายออกมาจากระบบ (Exothermic)
$+\Delta H$	ความร้อนจะถูกดูดเข้าไปในระบบ (Endothermic)
$S_1$	เอนโทรปี ณ สภาวะเริ่มต้น
$S_2$	เอนโทรปี ณ สภาวะสุดท้าย
$\Delta S$	การเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปี
$\Delta G$	การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระ
nm	นาโนเมตร
mm	มิลลิเมตร
pH	ค่าความเป็นกรดและด่าง
S	น้ำตัวอย่าง
$^{\circ}\text{C}$	องศาเซลเซียส
Ln	ลอการิทึมธรรมชาติ
Log	ลอการิทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมนุษย์มีการใช้น้ำ ในการอุปโภคบริโภคในการดำรงชีวิตประจำวัน และกิจกรรมต่างๆ มากมาย แต่ละกิจกรรมส่งผลกระทบต่อให้เกิดปัญหามลภาวะน้ำเน่าเสียภายในชุมชน สาเหตุหลักมาจากการใช้น้ำในการซักล้าง น้ำเสียที่ได้มักมีสิ่งเจือปนจำพวกฟอสเฟตเป็นจำนวนมาก ซึ่งมาจากผงซักฟอกที่ใช้ในการซักผ้า และฟองที่เกิดจากการซักล้าง ส่งผลให้อากาศไม่สัมผัสกับน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนภายในน้ำลดลงจึงทำให้สัตว์น้ำตาย และฟอสเฟตที่เกิดขึ้นยังเป็นปุ๋ยให้พืชน้ำได้ดี ทำให้พืชน้ำมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ไปกีดขวางการสัญจรทางน้ำ ส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียที่ตามมา ดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้น ชุมชนควรตระหนักและหาทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยลดปริมาณการซักล้าง การใช้ผงซักฟอก และควรมีการบำบัดน้ำเสียที่ดีภายในชุมชน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมปริมาณของฟอสเฟตที่จะระบายสู่แหล่งน้ำให้มีปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ วิธีการกำจัดฟอสเฟตมีหลายวิธี วิธีแรก คือ กระบวนการทางเคมี (Chemical treatment processes) เป็นเทคนิคที่เติมสารเคมีลงไปเพื่อเข้าทำปฏิกิริยากับฟอสเฟต วิธีบำบัดดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตได้สูง แต่อย่างไรก็ตาม ตะกอนที่ได้อาจมีสารพิษเจือปน และการใช้สารเคมีบางชนิดอาจมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก วิธีที่สอง คือ กระบวนการทางชีวภาพ (Biological treatment processes) เป็นเทคนิคที่ใช้สิ่งมีชีวิตเข้ามาในการบำบัด ซึ่งตะกอนที่ได้จากการกำจัดฟอสเฟตจะปล่อยฟอสเฟตออกมา หากอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน และมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตเพียง 5% วิธีที่สาม คือ การดูดซับ ซึ่งการดูดซับเป็นกระบวนการทางกายภาพวิธีหนึ่ง (Physical treatment processes) (Windsor, 1980) ซึ่งการดูดซับเป็นกระบวนการบำบัดที่ไม่ซับซ้อน ไม่มีการเติมสารเคมีลงไป ใช้เวลาในการบำบัดไม่นาน ใช้สถานที่ไม่มากนัก และยังสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติ (รัชนิย์, 2555)

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการดูดซับ โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ คือ เปลือกทุเรียนมาทำเป็นถ่านชีวภาพปรับสภาพให้มีความเป็นแม่เหล็กเป็นตัวดูดซับ เนื่องจากทุเรียนจัดเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งของไทย โดยเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งในและต่างประเทศโดยมีมูลค่าการส่งออกในแต่ละปีที่สูงถึง 70-80% (มูทิตา, 2559) เปลือกทุเรียนเป็นของเหลือทิ้งจำนวนมากและเกษตรกรส่วนใหญ่จะกองทิ้งไว้ ส่งผลให้เกิดปัญหาในการกำจัดและเกิดขยะจำนวนมากจนเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาพบว่า ภายในเปลือกทุเรียน มีส่วนประกอบที่เป็นเส้นใยค่อนข้างมาก โดยนอกเหนือจากส่วนที่เป็นพอลิแซคคาไรด์แล้ว ยังประกอบไปด้วยลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเยื่อเซลลูโลส ซึ่งสูงถึง 30% (Asasutjarit และคณะ, 2009) เปลือกทุเรียนจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพราะหาได้ง่ายและมีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง การนำวัสดุธรรมชาติมาทำเป็นถ่านกัมมันต์จะทำให้ผลผลิตที่ได้มีความพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและยังมีความสามารถในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี (Hayashi และคณะ, 2000) นอกจากนั้นยังมีนักวิจัยที่นำเปลือกทุเรียนมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพพบว่า ในภาวะที่เหมาะสมถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีค่าการดูดซับไอโอดีนและค่าการดูดซับเมทิลีนบลูสูงกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า (วัลยา, 2554) ปัจจุบันมีการพัฒนาถ่านชีวภาพให้มีสภาพเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งถ่านชีวภาพสภาพเป็นแม่เหล็ก (Magnetic biochar) มี

คุณสมบัติเป็นแม่เหล็กที่ดีและมีพื้นที่ผิวสูงจึงมีความสามารถเป็นตัวดูดซับได้ดีในการบำบัดน้ำเสีย (Thines และคณะ, 2017) นอกจากนี้ยังช่วยแยกตัวดูดซับออกจากน้ำที่บำบัดแล้วได้ง่ายขึ้นโดยใช้แม่เหล็ก ซึ่งมีนักวิจัยเคยปรับปรุงคุณภาพถ่านชีวภาพจากเปลือกมะพร้าวให้มีสภาพเป็นแม่เหล็กด้วยเทคนิคไมโครเวฟเพื่อกำจัดตะกั่วกับแคดเมียมในน้ำเสียพบว่า ถ่านชีวภาพจากเปลือกมะพร้าวสภาพเป็นแม่เหล็กมีพื้นที่ผิวสูงขึ้นและมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กได้ดีเยี่ยมและยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสีย (Yap และคณะ, 2016) จึงเลือกใช้ตัวกลางในการดูดซับเป็นถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน โดยทำการศึกษาพื้นที่ผิวและองค์ประกอบต่างๆ ของเปลือกทุเรียนทั้งก่อนการปรับปรุงคุณภาพและหลังการปรับปรุงคุณภาพ นอกจากนี้ยังศึกษาถึงปัจจัยที่เหมาะสมในการดูดซับ ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ รวมทั้งศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับ ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการดูดซับเพื่อนำค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับที่เหมาะสมไปหาค่าพลังงานกระตุ้นของการดูดซับและทางอุณหพลศาสตร์มีการพิจารณาค่าของเอนทัลปีมาตรฐาน ( $\Delta H^\circ$ ) ค่าเอนโทรปีมาตรฐาน ( $\Delta S^\circ$ ) และพลังงานอิสระมาตรฐานของกิบส์ ( $\Delta G^\circ$ ) ของการดูดซับ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ และถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ
2. โดยศึกษาอิทธิพลของพีเอช (pH) ของน้ำเสีย, ความเข้มข้นของน้ำเสีย, ปริมาณตัวดูดซับและอุณหภูมิในการดูดซับ ที่มีผลต่อการดูดซับฟอสเฟต
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ และ ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ
4. เพื่อศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ
5. เพื่อศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับ
6. เพื่อศึกษาหาค่าพลังงานกระตุ้นจากสมการอาร์เรเนียส
7. เพื่อศึกษาอุณหพลศาสตร์ของการดูดซับ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. นำเปลือกทุเรียนไปผ่านกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อให้ได้ถ่านชีวภาพจากนั้นนำไปผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ คือ ทำให้ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน

2. นำถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ และที่ปรับปรุงคุณภาพ คือ การทำให้ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ มาศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีโดยใช้เครื่อง SEM, FTIR, XRD และหาค่า Zero point charge

3. ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับฟอสเฟต ด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ และที่ปรับปรุงคุณภาพคือ การทำให้ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ โดยทำการแปรผันพารามิเตอร์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการใช้งานที่กรมศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ - แปรผันค่า pH ดังนี้ 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ - แปรผันปริมาณของตัวดูดซับดังนี้ 0.025, 0.500, 1.000 และ 2.000 กรัม ซึ่งมีการนำไปใช้

- แปรผันความเข้มข้นของน้ำเสีย ดังนี้ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- แปรผันอุณหภูมิในการดูดซับ ดังนี้ อุณหภูมิห้อง (33 องศาเซลเซียส), 45 และ 55 องศาเซลเซียส

4. ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ และที่ปรับปรุงคุณภาพคือ การทำให้ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์

5. ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับทั้งแบบ Langmuir, Freundlich, Temkin, และ Dubinin radushkevich โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแปรผันปริมาณความเข้มข้น

6. ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการดูดซับ 4 แบบ คือ แบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (Pseudo first order), อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง (Pseudo second order), Elovich model และ Intraparticle diffusion model โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการแปรผันความเข้มข้นของน้ำเสียและอุณหภูมิ

7. ศึกษาค่าพลังงานกระตุ้นโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการแปรผันอุณหภูมิ

8. ศึกษาค่าทางอุณหพลศาสตร์ คือ เอลท์ลีย์ ( $\Delta H^\circ$ ) จากสมการของแวนฮอฟฟ์ โดยใช้ข้อมูลจากค่าเอนโทรปี ( $\Delta S^\circ$ ) และการแปรผันอุณหภูมินำไปหาค่าพลังงานอิสระของกิบส์ ( $\Delta G^\circ$ )

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ตัวดูดซับที่มีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการลดภาวะมลพิษทางน้ำและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้
2. เป็นแนวทางในการจัดการและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
3. เป็นแนวทางในการพัฒนาตัวดูดซับเพื่อบำบัดมลพิษในน้ำเสียชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 น้ำเสียบ้านเรือน (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

น้ำเสียจากบ้านเรือนเกิดจากกิจกรรมการใช้้ต่าง ๆ ของผู้ที่พักอาศัยภายในบ้านเรือน เช่น การอาบน้ำ การชำระล้างร่างกาย การขับถ่าย การประกอบอาหาร การล้างภาชนะ การซักล้าง เป็นต้น ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำเสีย ปริมาณ และลักษณะน้ำเสียที่แตกต่างกันตามกิจกรรมต่างๆ ได้แก่ น้ำเสียจากครัวหรือที่ล้างจาน ปริมาณน้ำเสีย 45 ลิตร/คน/วัน น้ำเสียจากส้วม ปริมาณน้ำเสีย 20 ลิตร/คน/วัน น้ำเสียจากห้องน้ำ ปริมาณน้ำเสีย 65 ลิตร/คน/วัน น้ำเสียจากการซักผ้าปริมาณน้ำเสีย 20 ลิตร/คน/วัน ปริมาณน้ำเสียรวมที่ 150 ลิตร/คน/วัน โดยปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน จะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้หรืออาจประเมินได้จากจำนวนผู้อยู่อาศัยในบ้านเรือน

#### 2.1.1 ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากบ้านเรือน

ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากบ้านเรือนมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกิจกรรมการใช้้และช่วงเวลาของการเกิดน้ำเสีย เช่น น้ำเสียจากครัว (การประกอบอาหาร การล้างภาชนะ) จะมีเศษอาหาร ไขมันและน้ำมันเจือปนเป็นหลัก และน้ำเสียที่เกิดจากการซักล้างหรือการอาบน้ำ จะมีสบู่สารซักฟอก สำหรับน้ำเสียจากส้วม จะมีสิ่งปฏิกูลและแอมโมเนียเจือปนอยู่ในน้ำเสียด้วย ซึ่งลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากบ้านเรือนประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ แบ่งออกเป็นลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีววิทยา ดังนี้

##### 2.1.1.1 ทางกายภาพ

ของแข็ง ของแข็งในน้ำเสียอยู่ในรูปของของแข็งที่สามารถตกตะกอนได้ของแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำสำหรับของแข็งซึ่งมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สามารถตกตะกอนในแหล่งน้ำได้ ทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำและส่งผลกระทบให้เกิดสภาวะไม่มีออกซิเจนใต้น้ำได้รวมทั้งเกิดการสะสมของตะกอนของแข็งที่ย่อยสลายได้ช้า ทำให้แหล่งน้ำเกิดการตื้นเขิน มีความขุ่นสูง และมีผลกระทบต่อ การดำรงชีพของสัตว์น้ำ

##### 2.1.1.2 ทางเคมี

1. สารอินทรีย์ได้แก่คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ซึ่งเกิดจากเศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตองพืชผัก เป็นต้น สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำ (Dissolved oxygen) ลดลงจนเกิดสภาพเน่าเหม็นได้ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมนวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่าสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก ก่อให้เกิดการเน่าเหม็นได้ง่าย

2. สารอนินทรีย์ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ทำให้เกิดสภาพน้ำปนเปื้อนหรือเป็นอุปสรรคในกระบวนการผลิตน้ำประปา เช่น คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ เป็นต้น

3. โลหะหนักและสารพิษ โดยปกติโลหะหนักและสารพิษที่จะปะปนมากับน้ำเสียจากบ้านเรือนมีปริมาณที่น้อยมากหรือตรวจไม่พบ ซึ่งหากพบในแหล่งชุมชนอาจมาจากอุตสาหกรรมใน เอกสารครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ ตู้ช่อมารถ หรือจากการใช้ยาฆ่าแมลง เป็นต้น อย่างไรก็ตามไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. น้ำมันและไขมัน ซึ่งส่วนใหญ่มาจากพืชและสัตว์ที่ใช้ในการทำอาหาร สบู่จากการอาบน้ำ ฟองสารซักฟอกจากการชำระล้าง สารเหล่านี้มีน้ำหนักเบาและลอยน้ำ ทำให้เกิดสภาพไม่น่าดูและขัดขวางการถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศสู่แหล่งน้ำทำให้ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและคุณภาพน้ำ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มค่าความสกปรกในน้ำ

5. สารลดแรงตึงผิว/สารซักฟอก ได้แก่ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่ น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

6. ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae bloom) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงต่ำมากในช่วงกลางคืน อีกทั้งยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำ ไนโตรเจนเป็นธาตุจำเป็นในการสร้างเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ไนโตรเจนจะเปลี่ยนสภาพเป็นแอมโมเนีย ถ้าหากในน้ำมีออกซิเจนพอเพียงก็จะถูกย่อยสลายเป็นไนไตรต์และไนเตรท ดังนั้น การปล่อยน้ำเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนสูงจึงทำให้ออกซิเจนที่มีอยู่ในลำน้ำลดน้อย

7. ซัลไฟด์ (Sulfide) เป็นสารประกอบของกำมะถัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์และมีอยู่ในน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนโดยเฉพาะจากอูจระะ เมื่อสารประกอบอินทรีย์จากเศษอาหาร ทั้งพืชและสัตว์ถูกจุลินทรีย์ย่อยในสภาวะไม่มีอากาศ เช่น ในบ่อส้วม หรือห้องร่อนน้ำครำ จะกลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) หรือก๊าซไข่เน่า ซึ่งมีกลิ่นเหม็น แต่ถ้าหากมีออกซิเจนพอเพียงก็จะถูกแปรสภาพต่อไปเป็นสารที่มีชื่อเรียกว่า “ซัลเฟต” ซึ่งไม่มีกลิ่น ดังนั้น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ จึงมักมีกลิ่นเหม็นอันเกิดจากก๊าซไข่เน่านี้

### 2.1.1.3 ทางชีวภาพ

จุลินทรีย์น้ำเสียจากบ้านเรือนมีจุลินทรีย์จำนวนมากปะปนมากับน้ำเสีย เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา โปรโตซัว ไวรัส เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงได้อย่างรวดเร็วทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น และจุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชนได้

### 2.1.2 ผลกระทบของน้ำเสีย

ปัญหาการระบายน้ำเสียจากบ้านเรือนส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาด้านสารอินทรีย์ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สารอินทรีย์หรือสารประกอบอินทรีย์หมายถึง สารที่มีธาตุคาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบ ทั้งที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตและเกิดจากการสังเคราะห์เช่น สิ่งขับถ่ายหรือสิ่งปฏิภูลจากมนุษย์และสัตว์ซากพืช ซากสัตว์ เศษอาหาร เศษผักผลไม้เศษใบไม้เศษแกลบ เป็นต้น สารอินทรีย์ส่วนใหญ่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ตามธรรมชาติ ผลกระทบต่อสุขอนามัยและสิ่งแวดล้อม ทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมเกิดการเน่าเสียและมีกลิ่นเหม็นเนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ ออกซิเจนจะใช้ออกซิเจนละลายในน้ำในการย่อยสลายสารอินทรีย์และเมื่อออกซิเจนละลายในน้ำมีปริมาณน้อยลง จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เหลือต่อเกิดเป็นสารต่างๆ เช่น ก๊าซไข่เน่า (ไฮโดรเจนซัลไฟด์) ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็น และก๊าซมีเทน

2. น้ำมันและไขมัน เช่น น้ำมันรถยนต์น้ำมันเครื่อง น้ำมันหล่อลื่น น้ำมันทอดอาหาร และน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว เป็นต้น

ผลกระทบต่อสุขอนามัยและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากน้ำมันจะลอยเป็นฟิล์มบนผิวน้ำขัดขวางการแลกเปลี่ยนถ่ายเทออกซิเจนระหว่างน้ำและอากาศ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ และเป็นพิษต่อสัตว์และพืชที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางน้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีโทษต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชนอย่างยิ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เชื้อโรค หมายถึง จุลินทรีย์ซึ่งสามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อหรือโรคติดเชื้อได้เช่น ไวรัส แบคทีเรีย รา โปรโตซัว และหนอนพยาธิที่มาของเชื้อโรค ได้แก่สิ่งขับถ่ายหรือสิ่งปฏิภูลจากมนุษย์และ สัตว์ซากสัตว์ ผลกระทบต่อสุขอนามัยและสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดการแพร่กระจายโรคต่างๆ สุ่มมนุษย์ และสัตว์ได้ เช่น โรคติดเชื้อระบบทางเดินอาหาร ระบบหายใจ ระบบผิวหนัง เป็นต้น

## 2.2 ฟอสเฟตในน้ำ

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติและที่พบในน้ำเสียมักพบในรูปโมเลกุลของฟอสเฟต ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น

1. ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี ซึ่งแพลงตอนพืชสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้แก่  $PO_4^{3-}$ ,  $HPO_4^{2-}$  และ  $H_2PO_4^-$  เป็นต้น

2. โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) เป็นอนุพันธ์ของฟอสเฟตที่ประกอบด้วยโมเลกุลของฟอสเฟตมากกว่า 1 หมู่ เช่น  $Na_3(PO_4)$ ,  $Na_5P_3O_{10}$  และ  $Na_4P_2O_7$  จัดเป็นสารประกอบที่พบได้มากในน้ำทิ้งจากบ้านเรือน หรือน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นส่วนผสมน้ำยาทำความสะอาด เมื่อสลายตัวจะกลายเป็นออร์โธฟอสเฟต

3. สารอินทรีย์ฟอสเฟต (Organic phosphate) สารฟอสฟอรัสประเภทนี้จะพบได้ในสารละลาย สารแขวนลอย หรืออินทรีย์วัตถุที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ เช่น Nucleic Acid, Phospholipids และ Sugar phosphate (ยาแก้ไข้, 2553)

### 2.2.1 แหล่งที่มาของฟอสเฟตในน้ำ

ฟอสเฟตส่วนใหญ่มาจาก 2 แหล่งใหญ่ คือธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์

1. ธรรมชาติ เช่น ผงฝุ่นฟอสฟอรัสในอากาศจะถูกพัดพาและตกลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ รวมทั้งฝนที่ตกลงมาสู่พื้นดินที่จะชะเอาหินฟอสเฟตลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังมาจากมูลของนกบางชนิด เศษซากพืชซากสัตว์ที่ตายทับถมกันบริเวณแหล่งน้ำ

2. กิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่

- โรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ย การผลิตสารกำจัดศัตรูพืช และการผลิตสารซักล้างและผงซักฟอก ซึ่งโรงงานเหล่านี้จะมีน้ำทิ้งที่มีฟอสเฟตในปริมาณที่สูง

- เกษตรกรรม เกษตรกรจะใช้ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และยาปราบศัตรูพืชในการเกษตร ซึ่งสารเหล่านี้จะถูกชะไหลลงสู่แหล่งน้ำ เกิดการสะสมในแหล่งน้ำมากขึ้น

- ชุมชน ได้แก่ บ้านเรือน โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน วัด สำนักงาน ซึ่งน้ำทิ้งจากสถานที่เหล่านี้จะมีการปนเปื้อนของฟอสเฟตในปริมาณที่สูง ซึ่งเกิดจากกิจกรรมการซักล้างทำความสะอาด ซึ่งกิจกรรมต่างๆเหล่านี้เป็นสาเหตุหลักในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (ธงชัย, 2539)

### 2.2.2 ผลกระทบที่เกิดจากฟอสเฟต

ฟอสฟอรัสจัดเป็น Growth limiting nutrient ของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายในแหล่งน้ำ เมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ฟอสฟอรัสจะกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชสาหร่ายอย่างรวดเร็ว เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ยูโทรฟิเคชัน ซึ่งเกิดในแหล่งน้ำจืด เช่น คู คลอง หนอง บึง ซึ่งเกิดจากแหล่งน้ำได้รับธาตุอาหารในปริมาณมากเกินไปจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศ คุณภาพแหล่งน้ำ และความหลากหลายทางชีวภาพลดลง อีกทั้งแพลงก์ตอนพืชบางชนิดสามารถสร้างสารพิษได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์ในลักษณะห่วงโซ่อาหาร เมื่อสัตว์น้ำกินแพลงก์ตอนเข้าไปจะถูกสะสมอยู่ในตัวสัตว์น้ำได้ (วสันต์, 2556)

## 2.3 ฟอสเฟตในผงซักฟอก (ศูนย์วิจัยสุขภาพกรุงเทพ, 2557)

### 2.3.1 ผงซักฟอก

เป็นสารซักล้างที่ผลิตขึ้นมาใช้แทนสบู่ มีสารลดแรงตึงผิวชนิดสังเคราะห์และชนิดธรรมชาติเป็นส่วนประกอบหลัก เป็นเกลือโซเดียมซัลโฟเนตของไฮโดรคาร์บอน สำหรับใช้ซักผ้า ครอบคลุมถึงผงซักฟอกที่มีลักษณะเป็นผงเม็ดเล็ก ๆ หรือเกล็ดอัดขึ้นรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว แท่ง หรือลักษณะอื่น แต่ไม่ครอบคลุมถึงผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดเหลว

ผงซักฟอกเป็นสารซักล้างที่ผลิตขึ้นมาใช้แทนสบู่ ซึ่งเป็นเกลือโซเดียมซัลโฟเนตของไฮโดรคาร์บอน ผงซักฟอกมีข้อดีเหนือสบู่ คือ สามารถทำงานได้ดี แม้น้ำกระด้างที่มีไอออน  $Ca^{2+}$   $Fe^{2+}$   $Fe^{3+}$  และ  $Mg^{2+}$  ถ้าหมู่แอลคิลเป็น เส้นตรง (LBS : Linear Alkylbenzene Sulfonate) จะถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์ได้ดี เกิดมลพิษน้อย แต่ถ้าหมู่แอลคิลเป็น โซ่กิ่ง จุลินทรีย์จะย่อยได้ยาก

#### 2.3.1.1 ชนิดของผงซักฟอก

แบ่งตามสารลดแรงตึงผิว ได้ 4 ประเภท

1. ผงซักฟอกประเภทแอนไอออนิก มีสารลดแรงตึงผิวเป็นไอออนลบ สามารถชำระล้างคราบสกปรกประเภทดินโคลนออกจากผ้าฝ้ายและเส้นใยธรรมชาติอื่น ๆ ได้ดีเป็นพิเศษ มีฟองมาก และจะทำงานได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง
2. ผงซักฟอกประเภทแคทไอออนิก มีสารลดแรงตึงผิวเป็นไอออนบวก
3. ผงซักฟอกประเภทรันไอออนิก มีสารลดแรงตึงผิวเป็นสารที่ไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน มีฟองน้อย ทำงานได้ดีในทุกสภาพน้ำ ไม่จำเป็นต้องเติมสารที่ทำให้น้ำอ่อน ดังเช่น ประเภทแอนไอออนิก สารประเภทรันไอออนิกนี้จะมีความสามารถในการชำระคราบไขมันออกจากพอลิเอสเตอร์และเส้นใยสังเคราะห์อื่น ๆ ได้ดีเป็นพิเศษ
4. ผงซักฟอกประเภทแอมโฟเทอริก มีสารลดแรงตึงผิวที่สามารถแตกตัวเป็นได้ทั้งไอออนบวกและไอออนลบ

#### 2.3.1.2 ส่วนประกอบของผงซักฟอก

##### 1. บิลเดอร์ ฟอสเฟต

1. บิลเดอร์ ฟอสเฟต เป็นส่วนประกอบของผงซักฟอกประมาณร้อยละ 30-50 ทำให้น้ำมีสภาพเป็นเบส เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายได้ดี
2. ฟอสเฟตจะรวมตัวกับไอออนของโลหะในน้ำกระด้างเป็นสารเชิงซ้อน ทำให้ไอออนของโลหะในน้ำกระด้างไม่สามารถขัดขวางการกำจัดสิ่งสกปรกของผงซักฟอกได้
3. โพลีฟอสเฟต ช่วยทำให้น้ำมันกระจายออกเป็นเม็ดเล็กๆ จนแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ สิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำกระจายตัว และช่วยปรับสภาพของน้ำกระด้างให้เป็นน้ำอ่อน
4. สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (STPP) ช่วยลดความกระด้างของน้ำเป็นตัวช่วยให้น้ำเป็นด่างเพื่อให้ผงซักฟอกทำงานดีขึ้น และเป็นตัวกันสิ่งสกปรกที่หลุดออกไม่ให้กลับมาจับที่ผ้าอีก สารนี้ลดความกระด้างได้ผลเป็นอย่างดี

##### 2. สารลดแรงตึงผิว

1. สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารที่เมื่อละลายน้ำแล้ว จะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ สารลดแรงตึงผิวอาจเป็นสารเคมีประเภท Anionic, Cationic หรือ Nonionic ประเภทใดประเภทหนึ่ง หรือส่วนผสมของสารเหล่านี้ สารลดแรงตึงผิวมีคุณสมบัติช่วยให้เกิดฟอง และยังช่วยทำให้พื้นผิวสกปรกเปียกน้ำ ตลอดจนสามารถดึงสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิวและกระจายอยู่ในน้ำรั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลาย ได้แก่ เกลือโซเดียมแอลคิลซัลโฟเนต โซเดียมแอลคิลเบนซิลซัลโฟเนต โดยผสมอยู่ประมาณร้อยละ 30 สารลดแรงตึงผิวเป็นหัวใจของผงซักฟอก เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้คราบสกปรกที่ติดอยู่กับเนื้อผ้าหลุดออกได้ง่าย ปัจจุบันผู้ผลิตส่วนใหญ่นิยมใช้สารลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Linear alkylbenzenesulfonate หรือ LAS)

3. สารลดความตึงผิวสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ คือ Anionic surfactants, Nonionic surfactants, Cationic surfactants

### 3. สารลดความตึงผิวประเภทแอนไอออน (Anionic surfactants)

สารลดความตึงผิวประเภทนี้มีประจุไฟฟ้าลบ (-) มีความสามารถในการชำระล้างคราบสกปรกประเภทดินโคลน ออกจากผ้าฝ้ายและเส้นใยธรรมชาติอื่นๆ ได้ดีเป็นพิเศษ มีฟองมาก และจะทำงานได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง แต่จะใช้ได้ไม่ดีในน้ำกระด้าง

### 4. สารลดความตึงผิวประเภทนอนไอออน (Nonionic surfactants)

สารลดความตึงผิวชนิดนี้ไม่มีประจุไฟฟ้า มีฟองน้อย ทำงานได้ดีในทุกสภาพน้ำ ไม่จำเป็นต้องเติมสารที่ทำให้น้ำอ่อน ดังเช่นสารลดความตึงผิวประเภทแอนไอออน สารประเภทนอนไอออนมีความสามารถในการชำระคราบไขมันออกจากพอลิเอสเตอร์และเส้นใยสังเคราะห์อื่นๆ ได้ดีเป็นพิเศษ

### 5. สารลดความตึงผิวประเภทแคตไอออน (Cationic surfactants)

สารลดความตึงผิวประเภทนี้มีประจุไฟฟ้าบวก (+) นิยมผสมในน้ำยาปรับผ้านุ่มมากกว่าสารซักฟอก เพราะประจุไฟฟ้าบวกจะไปช่วยทำให้เกิดความสมดุล หลังจากเสื้อผ้าได้รับประจุไฟฟ้าลบในระหว่างการซัก

### 6. สารลดความกระด้างของน้ำ

1. สารลดความกระด้างของน้ำไม่ได้ช่วยให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากเนื้อผ้าโดยตรง แต่จะช่วยให้สารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยจะรักษาสมาดุลความเป็นกรดด่างของน้ำ และช่วยทำให้น้ำลดความกระด้างลง จึงทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากเนื้อผ้าได้โดยง่าย

2. โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate: STPP) เป็นสารลดความกระด้างของน้ำที่ผู้ผลิตนิยมใช้กันมากที่สุด

3. สารลดความกระด้างของน้ำชนิดอื่นๆ ได้แก่ เกลือของกรดไนตริกไตรเอซิดิก (NTA) เกลือของกรดซิตริก เกลือของกรดโพลีคาร์บอกซิลิก (PAC) เกลือฟอสเฟต และซีโอไลต์

4. ผงซักฟอกในประเทศไทยบางสูตรนิยมใช้สารซีโอไลต์ แทนสาร STPP

### 7. สารป้องกันการตกตะกอน

ผงซักฟอกส่วนใหญ่ใส่สารป้องกันการตกตะกอน เพื่อมิให้เกิดตะกอนขึ้นระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ปัจจุบันนิยมใช้โซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

### 8. สารที่ทำหน้าที่กันสนิมหรือรักษาความเป็นด่าง

ช่วยรักษาความเป็นด่างของผงซักฟอกตลอดการซัก ทำให้ผงซักฟอกไม่กัดภาชนะที่ซัก และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิว สารที่ทำหน้าที่กันสนิมหรือรักษาความเป็นด่าง ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต และโซเดียมคาร์บอเนต

### 9. สารเพิ่มความสดใส

สารเพิ่มความสดใส (Optical brighteners) มีคุณสมบัติดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดการเรืองแสงและสะท้อนเข้าตา ทำให้ดูเหมือนผ้าขาวสดใส

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อภัยพิบัติไม่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การแปรสภาพเป็นสบู่ (Saponifiable) พวกไขมันต่างๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับด่างจะแปรสภาพเป็นสบู่ซึ่งสามารถจะละลายหรือแขวนลอยในน้ำได้

การแขวนลอยในน้ำ (Emulsion) ผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปิโตรเลียมอื่นๆ ที่ไม่ละลายน้ำสามารถขจัดออกได้โดยสารลดแรงตึงผิว จะเอาส่วนของโมเลกุลที่ละลายได้ในน้ำมันเข้าไป ทำให้น้ำมันแขวนลอยและกระจายอยู่ในน้ำได้

การกระจายตัว (Dispersion) สิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ฝุ่นละอองต่างๆ เมื่อถูกขจัดออกมาแล้วอาจรวมตัวกันเอง ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถกลับไปจับเส้นใยได้อีก ซึ่งสารพวกซิลิเกตจะป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกเหล่านี้รวมตัวกัน

การป้องกันการกลับเข้าไปจับใหม่ (Redeposition) สิ่งสกปรกที่ไม่ละลาย เมื่อถูกขจัดออกมาแล้ว จะถูกแขวนลอยอยู่ในน้ำ แต่อาจกลับเข้าไปจับเส้นใยได้อีก จึงจำเป็นต้องเติมสารป้องกันการเข้าไปจับเส้นใยของสิ่งสกปรกจนกว่าจะมีการซักล้าง

### 2.3.2 ผลของชนิดและปริมาณสารซักฟอกต่อคุณภาพน้ำทิ้งและประสิทธิภาพในการซักผ้า (รุ่งทิพย์และขจีจิรัส, 2544)

จากการศึกษาลักษณะคุณภาพน้ำที่เหลือจากการซักผ้าในครัวเรือนทั่วไป พบว่าปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิด เอบีเอส ปริมาณฟอสเฟตค่า PH ค่า BOD และค่า COD ของน้ำทิ้งจากการซักผ้ามีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดมาก และจากการสำรวจพฤติกรรมการใช้สารซักฟอกของประชาชนในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าประชาชนส่วนมากใช้ปริมาณสารซักฟอกมากกว่าที่แนะนำข้างบรรจุกฎหมาย ทั้งนี้คาดว่าจะช่วยให้ประสิทธิภาพการซักดีขึ้น ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวจะยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมการใช้สารซักฟอกต่างชนิดกัน คุณภาพของน้ำทิ้งอาจต่างกันรวมถึงประสิทธิภาพในการซักอาจแตกต่างกันด้วย ซึ่งพบว่าปัญหามลพิษทางน้ำมักเกิดน้ำทิ้งตามบ้านเรือนที่ปนเปื้อนสารซักฟอกในปริมาณสูงจึงเป็นที่น่าสนใจว่าในการใช้สารซักฟอกแต่ละครั้งปริมาณที่ใช้มีความเหมาะสมในการทำความสะอาดเพียงพอหรือไม่เพื่อเป็นแนวทางในการรณรงค์ให้มีการใช้สารซักฟอกที่เหมาะสมและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมต่อไป

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ปริมาณสารซักฟอกและชนิดของสารซักฟอกเพื่อดูว่าการเพิ่มปริมาณสารซักฟอกจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำความสะอาดเสื้อผ้าหรือไม่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคในการพิจารณาใช้ปริมาณของสารซักฟอกที่เหมาะสมกับการทำความสะอาดผ้าแต่ละครั้งมิให้สารตกค้างที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากเกินไป อย่างไรก็ตามสารลดแรงตึงผิวที่มีผลต่อคุณภาพน้ำทิ้งและประสิทธิภาพในการซักผ้าในการศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์เฉพาะชนิด Alkyl benzene sulfonate-ABS เนื่องจากเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

## 2.4 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่า Adsorbent ในการดูดซับโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุด

สมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับโดยในการเกาะติดจะมี Driving force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี (ปรารธนา, 2555)

#### 2.4.1 ประเภทของตัวดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander waals forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

##### 2.4.1.1 การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander waals forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจายชนิด (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิด การผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วยสารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

##### 2.4.1.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1.ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50-400 กิโลจูลต่อโมล
2.อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3.แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4.การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5.การดูดซับบนแก๊ส-ของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดเฉพาะบางระบบ
6.พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7.รูปแบบชั้นของการดูดซับ	Monolayer และ multilayer	Monolayer

ที่มา : Pradthana (2008)

## 2.5 กลไกการดูดซับ (นิพนธ์, 2554)

กลไกการดูดซับสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแพร่ภายนอก (External diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของ ตัวดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 การแพร่ภายใน (Internal diffusion) เป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแพร่กระจายเข้าสู่พื้นที่ผิวภายในโพรงตัวดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับติดที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้น ควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวด้วย

## 2.6 แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ

### 2.6.1 แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander waals forces)

เป็นแรงระหว่างโมเลกุลมีความแข็งแรงน้อยจึงต้องการพลังงานในการสลายพันธะหรือแรงระหว่างโมเลกุลน้อยมาก โมเลกุลที่ยึดจับกันด้วยแรงชนิดนี้มีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวต่ำมากโดยปกติโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจะประพฤติตัวเป็นกลาง ในบางครั้งอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปรวมอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของอะตอมหรือโมเลกุล ทำให้เกิดสภาพขั้วชั่วคราวขึ้น โดยตำแหน่งที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปรวมกันจะเกิดสภาพที่เป็นประจุลบ (d-) และตำแหน่งที่ไม่มีอิเล็กตรอนจะเกิดสภาพประจุที่เป็นบวก (d+) โมเลกุลที่มีสภาพขั้วแบบชั่วคราวสามารถเหนี่ยวนำทำให้โมเลกุลในสภาวะปกติมีสภาพขั้วโดยที่ตำแหน่งที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นมีประจุเป็นลบจะไปผลักอิเล็กตรอนของอีกโมเลกุลให้ไปอยู่ด้านตรงข้าม ทำให้เกิดอีกโมเลกุลมีสภาวะขั้วชั่วคราวอีกโมเลกุล ทำให้โมเลกุลทั้งสองมีประจุบวกและลบ

เรียกว่า Polarizability และเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุบวกและลบ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะเป็นใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 ไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force)

เกิดจากความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าภายในหรือบนพื้นผิวของวัสดุหนึ่ง ประจุยังคงอยู่กับที่จนกระทั่งมันสามารถจะเคลื่อนที่โดยอาศัยการไหลของอิเล็กตรอน (กระแสไฟฟ้า) หรือมีการปลดปล่อยประจุ ไฟฟ้าสถิตมีชื่อที่ขัดกับไฟฟ้ากระแสที่ไหลผ่านเส้นลวดหรือตัวนำอื่นและนำส่งพลังงานประจุไฟฟ้าสถิตสามารถสร้างขึ้น เมื่อไรก็ตามที่สองพื้นผิวสัมผัสกันและแยกจากกัน และอย่างน้อยหนึ่งในพื้นผิวนั้นมีความต้านทานสูงต่อกระแสไฟฟ้า (และดังนั้นมันจึงเป็นฉนวนไฟฟ้า) แรงนั้นเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และ แรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้านี้ โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

## 2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (นิพนธ์, 2550)

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ เนื่องจากตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะสามารถดูดซับโมเลกุลของสารที่ดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย ส่วนอัตราการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ

2. ขนาดและลักษณะของสารดูดซับ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ เนื่องจากการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถของตัวถูกละลายลดลง เพราะในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายน้ำได้น้อยจะสามารถดูดซับได้ดี นอกจากนี้แล้ว ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสัมพันธ์กับการดูดซับ คือ ถ้าอัตราการเคลื่อนที่ภายในรูพรุนเป็นอัตราควบคุมกลไกแล้วความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดของโมเลกุลของตัวดูดซับ คือเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะลดลง (ประวัชรณ์, 2555)

3. พีเอช มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับด้วย โดยทั่วไปไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดกับพื้นผิวของตัวดูดซับได้ดี

4. อุณหภูมิ กระบวนการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic) ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลงแต่การดูดซับของเหลวนั้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำๆมีค่าน้อยมาก เนื่องจากของเหลวมีค่าความจุความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิทำให้เกิดการกระตุ้นหมู่ฟังก์ชัน เช่น หมู่แอลกอฮอล์ (Alcoholic) คาร์บอนิลิก (Carbonylic) และ ฟีนอลิก (Phenolic) ซึ่งอยู่บนพื้นผิวของการดูดซับทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) บนตัวดูดซับกับประจุบวกบนโมเลกุลของสีย้อมบางชนิด นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (Mass transfer coefficient) มีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาณตัวดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น (พรสวรรค์ และคณะ, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยเวลาที่สัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาที่สัมผัสเลยจากช่วงนี้ไปแล้วก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเลย

6. ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ Film diffusion หรือ Pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ फिल्मน้ำล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนาแน่นมาก ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่จะเข้าไปในตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ภายนอกเป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบาง ทำให้การแพร่ภายในเป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ความปั่นป่วนในถังการดูดซับ คือความเร็วของน้ำที่ผ่านถึงต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด ซึ่งตามทฤษฎีถ้าเพิ่มความเร็วจะทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากความปั่นป่วนสูงขึ้น (ประรัชกรณ์, 2555)

## 2.8 ทูเรียน

ทูเรียนเป็นไม้ผลยืนต้นไม่ผลัดใบ ลำต้นตรงสูง แตกกิ่งเป็นมุมแหลม ปลายกิ่งตั้งกระจาย กิ่งกลางลำต้นขึ้นไป เปลือกชั้นนอกของลำต้นสีเทาแก่ ผิวขรุขระหลุดลอกออกเป็นสะเก็ด ไม่มียาง ใบเป็นใบเดี่ยว โดยทั่วไปทูเรียนจะให้ผลเมื่อมีอายุ 4-5 ปี โดยจะออกตามกิ่งและสูกหลังจากผสมเกสรไปแล้ว 3 เดือน ผลเป็นผลสดชนิดผลเดี่ยว อาจยาวมากกว่า 30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางอาจยาวกว่า 15 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 1-3 กิโลกรัม เป็นรูปรีถึงกลม เปลือกทูเรียนมีหนามแหลมเมื่อแก่ผลมีสีเขียว เมื่อสุกมีสีน้ำตาลอ่อน แตกตามแต่ละส่วนของผลเรียกเป็นพู เนื้อในมีตั้งแต่สีเหลืองอ่อนถึงแดง ขึ้นกับชนิด เนื้อในจะนุ่ม กิ่งอ่อนกิ่งแข็ง มีรสหวาน เมล็ดมีเยื่อหุ้ม กลมรี เปลือกหุ้มสีน้ำตาลผิวเรียบ เนื้อในเมล็ดสีขาว รสชาติฝาด ทูเรียนเป็นผลไม้ที่มีกลิ่นเฉพาะตัว ซึ่งเป็นส่วนผสมของสารระเหยที่ประกอบไปด้วยเอสเทอร์ คีโตน และสารประกอบกำมะถัน ทูเรียนเป็นผลไม้ที่มีน้ำตาลสูง ทั้งยังอุดมไปด้วยกำมะถันและไขมัน

ทูเรียนเป็นพืชพื้นเมืองของอินโดนีเซีย, มาเลเซีย และบรูไน ทูเรียนนั้นขึ้นได้ดีในดินร่วนซุยหรือดินร่วนปนทราย ชอบแสงแดด ชอบน้ำปานกลาง สามารถเจริญเติบโตในพื้นที่ที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และจะชะงักหยุดเจริญเติบโตเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า 22 องศาเซลเซียส ทูเรียนจะให้ผลผลิตหลังการปลูก 5-6 ปี ช่วงอายุที่ให้ผลผลิตสูงประมาณ 10 ปีขึ้นไป ถึงแม้ว่าทูเรียนจะไม่มีถิ่นกำเนิดในไทยแต่ก็สามารถปลูกได้ในทุกพื้นที่ของประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ส่งออกหลักในการส่งออกทูเรียน จากผลผลิต 781,000 ตัน ที่ผลิตได้ในประเทศไทย จากผลผลิตรวมทั่วโลก 1,400,000 ตัน และในปี พ.ศ. 2542 มีการส่งออกถึง 111,000 ตัน

ทูเรียนเป็นผลไม้ที่มีผลผลิตเป็นฤดูกาล ในไทยฤดูกาลของทูเรียนในภาคตะวันออก คือ เดือนเมษายนถึงมิถุนายน และภาคใต้คือเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม ทูเรียนจะมีราคาสูงกว่าเมื่อเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น ส่วนที่รับประทานได้ของทูเรียนนั้นคือเยื่อหุ้มเมล็ดหรือที่เรียกกันว่า "เนื้อ" หรือ "พู" ซึ่ง มีน้ำหนักเพียง 15-30% ของน้ำหนักรวมของผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 ถ่านชีวภาพ (Biochar) (ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2557)

ถ่านชีวภาพ (Biochar) คือ ถ่านที่ผลิตจากมวลชีวภาพหรือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้จากธรรมชาติ เช่น เศษไม้ เศษวัสดุทางการเกษตร ไม่ว่าจะเป็น ตอซัง ชังข้าวโพด เปลือกผลไม้ แม้กระทั่งมูลสัตว์นำมาผ่านกระบวนการเผาไหม้ที่มีการควบคุมอุณหภูมิและอากาศหรือจำกัดอากาศให้เข้าไปเผาไหม้น้อยที่สุดซึ่งกระบวนการเผาไหม้นี้เรียกว่า “การแยกสลายด้วยความร้อน” (Pyrolysis) มีการดำเนินการอยู่ 2 วิธี คือ การแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า (Slow pyrolysis) และแบบเร็ว (Fast pyrolysis) การแยกสลายแบบช้า คือ การเผาไหม้ด้วยการแยกสลายสารอินทรีย์แบบช้าๆ ใช้ระยะเวลาเป็นชั่วโมง และใช้อุณหภูมิระหว่าง 350-600 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (EEDA, 2009) การแยกสลายด้วยความร้อนแบบเร็วจะใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้เป็นวินาที ในกระบวนการเผาไหม้มีเครื่องมือและอุปกรณ์ควบคุมการทำงานทุกขั้นตอน ใช้อุณหภูมิในการเผาตั้งแต่ 500-1000 องศาเซลเซียส ซึ่งทั้ง 2 วิธีการนี้จะได้ผลผลิตแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1.ส่วนที่เป็นน้ำมัน (Bio oil) 2.ส่วนที่เป็นแก๊ส (Bio gas) 3.ส่วนที่เป็นถ่านชีวภาพ (Biochar) ซึ่งปริมาณผลผลิตที่ได้นี้จะแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของการผลิต ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน

กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน	ถ่าน (Char)	ของเหลว (Liquid)	แก๊ส (Gas)
แบบช้า (Slow Pyrolysis) -ใช้อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส) -ใช้เวลานาน (ชั่วโมง)	35%	30%	35%
แบบเร็ว (Fast Pyrolysis) -ใช้อุณหภูมิปานกลาง (500-600 องศาเซลเซียส) -ใช้เวลาน้อย (วินาที)	12%	75%	13%

หมายเหตุ : อุณหภูมิโดยเฉลี่ยในการเผาไหม้ประมาณ 500 องศาเซลเซียส จะได้ผลผลิตที่เป็นถ่านชีวภาพมากกว่า 50% (winsley, 2007)

ที่มา : ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2557)

### 2.9.1 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

วัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ เมื่อนำมาผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน หรือ ผ่านกระบวนการเผาไหม้แล้ว จะได้ถ่านชีวภาพที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และซีลีเนียม แต่จะเปลี่ยนแปลงได้ตามชนิดของวัตถุดิบที่นำมาทำเป็นถ่านชีวภาพ นอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 2.3 และที่สำคัญคือ มีพื้นที่ผิวภายในมาก โดยมีค่าประมาณ 10-400 ตารางเมตรต่อกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการเผาถ่านชีวภาพที่มีความคงตัวสูงย่อยสลายได้ช้าจึงช่วยกักเก็บคาร์บอนได้ยาวนานและไม่ทำปฏิกิริยากับสารใดๆ ด้วยลักษณะทางกายภาพมีประจุไฟฟ้าและมีความพรุนสูง สามารถกักเก็บน้ำและเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพ	คุณสมบัติ
1.องค์ประกอบของธาตุ	- คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์
2.ความคงตัว	-สลายตัวได้ช้ามีอายุการใช้งานได้ยาวนาน
3.พื้นที่ผิวจำนวนมาก	- ช่วยดูดซับธาตุอาหารไว้บนพื้นที่ผิวทั้งภายนอกและภายในรูพรุน
4.มีความพรุนจำนวนมาก	- ช่วยกักเก็บน้ำ,ไม่จับตัวแน่น,เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์
5.มีสถานะเป็นประจุลบ	- ช่วยดูดซับธาตุอาหารที่มีประจุ

ที่มา : ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2557)

## 2.10 ถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์ (Magnetic biochar)

### 2.10.1 การผลิตอนุภาคแม่เหล็ก (K.R. Thines และคณะ, 2017)

วิธีนี้เป็นที่รู้จักทั่วไปว่าเป็นขั้นตอนที่ง่ายที่สุดในการผลิตอนุภาคแม่เหล็ก โดยทั่วไป  $Fe_3O_4$  และ  $\gamma-Fe_2O_3$  ถูกทำขึ้นโดยการผสมของเหล็กเฟอร์รัสและเหล็กเฟอร์ริก ตามสมการที่ 1 ซึ่งการตกตะกอนที่สมบูรณ์ของ  $Fe_3O_4$  เกิดขึ้นที่ความเป็นกรดต่างระหว่าง 8 และ 14 ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน



อนุภาคแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเป็นสารละลายที่ไม่เสถียรและมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน(Oxidation) เปลี่ยนเป็นเหล็กออกไซด์ ตามสมการที่ 2



ไอออนของ  $Fe^{2+}$  จะหลุดออกกลายเป็น Hexa-aqua complexes ในสภาพที่เป็นกรดและไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิวของอนุภาคแม่เหล็กเกิดขึ้นภายใต้สภาวะพื้นฐานซึ่งวิธีนี้สามารถผลิตอนุภาคแม่เหล็กได้จำนวนมาก แต่ถูกจำกัดโดยการกระจายตัวของอนุภาค

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 กุลธิดา สะอาด (2557) ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านชีวภาพโดยใช้ไพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้นเพื่อใช้ในการกำจัดไอออนทองแดงในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ โดยทำการศึกษาถ่านชีวภาพทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ ถ่านจากเปลือกทุเรียน ถ่านจากเอกสารนี้เปลือกมังคุด ถ่านจากกะลามาพร้าว ถ่านจากเมล็ดลำไย ถ่านจากเปลือกขุ่น และได้ทำการทดลองใช้ปริมาณถ่านชีวภาพที่ 0.5,1.0,1 และ 1.5 กรัม ภายใต้สภาวะที่พีเอชของสารละลายเท่ากับ

5 จำนวนรอบในการเขย่าสารละลาย เท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 90 นาที ผลการศึกษาพบว่า ถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ปริมาณ เท่ากับ 1.5 กรัม สามารถกำจัดไอออนทองแดงได้สูงสุด และ ถ่านจากเมล็ดลำไยที่ปริมาณ เท่ากับ 0.5 กรัม สามารถกำจัดไอออนทองแดงได้ต่ำสุด ดังนั้น ชนิดและปริมาณจึงมีปฏิสัมพันธ์กันโดยประสิทธิภาพของการดูดติดและร้อยละการกำจัดไอออนทองแดงจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารดูดซับ ลักษณะและขนาดรูพรุนของถ่าน

2.11.2 ยุทธพร ดวงจินดา (2559) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในสารละลายด้วยถ่านที่ได้จากเปลือกทุเรียน โดยศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดเหล็ก ได้แก่ ระยะเวลาการดูดซับเข้าสู่สมดุล, ไอโซเทอมของการดูดซับ และ พีเอชของสารละลาย ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาในการดูดซับเข้าสู่สมดุลนั้นเกิดที่ระยะเวลา 15 นาที และระยะเวลาในการดูดซับในการดูดซับที่ 60 นาที จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายเหล็กสูงสุดถึง ร้อยละ 68 จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารละลายเหล็กด้วยถ่านจากเปลือกทุเรียนนั้น เป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ นอกจากนี้ยังพบว่าถ่านจากเปลือกทุเรียนสามารถกำจัดเหล็กในสารละลายได้ดีขึ้นเมื่อสภาวะเป็นกรดที่ pH เท่ากับ 3 และในสภาวะที่เป็นเบสที่ pH เท่ากับ 9

2.11.3 Lie, *et al.* (2012) ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านจากต้นไผ่ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วย  $Fe^{3+}$  เพื่อใช้กำจัดสารหนู ( $AsO_4^{3-}$ ) ในสารละลายโดยนำถ่านจากต้นไผ่มาแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปล้างและนำมาแช่ในสารละลาย  $FeCl_3$  เข้มข้น 0.1 โมลาร์เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างและอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยถ่านจากต้นไผ่ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วย  $Fe^{3+}$  จะมีพื้นที่ผิวลดลงจาก 58.67 ตารางเมตรต่อกรัม เหลือ 13.07 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการยึดเกาะของ  $Fe^{3+}$  บนถ่านจากต้นไผ่ ซึ่งถ่านจากต้นไผ่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วย  $Fe^{3+}$  จะมีความจุสูงสุดในการดูดซับสารหนูเท่ากับ 19.67 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.11.4 Ronghua Li, *et al.* (2016) ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านชีวภาพจากขานอ้อยให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วย MgO (MMSB) เพื่อใช้ในการดูดซับฟอสเฟตในสารละลาย จากการศึกษาพบว่าปริมาณ  $Mg^{2+}$  ที่เพิ่มขึ้นจะดูดซับฟอสเฟตได้ดีกว่าถ่านชีวภาพจากขานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (SB) และถ่านชีวภาพจากขานอ้อยที่ผ่านการเคลือบเหล็ก (MSB) โดยดูดซับได้ดีเมื่อมีปริมาณ  $Mg^{2+}$  เพิ่มขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งดูดซับได้ถึง 99.5% ของสารละลายซึ่งดูดซับฟอสเฟตได้ถึง 121.25 มิลลิกรัมวาลเลนซ์ต่อกรัม และดูดซับได้ดีที่ pH 4

2.11.5 Liu, *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านจากเปลือกกระเจี๊ยบและทำการปรับปรุงคุณภาพด้วย  $Fe^{3+}$  เพื่อใช้ในการดูดซับ  $Cr^{6+}$  ในสารละลาย แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก เป็นการเตรียมถ่าน โดยนำเปลือกกระเจี๊ยบมาแช่ในกรด  $H_3PO_4$  เข้มข้น 45 เปอร์เซ็นต์ (v/v) เป็นเวลานาน 1 คืน และนำมาเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขั้นตอนที่ 2 ทำการปรับปรุงคุณภาพของพื้นที่ผิวของถ่านจากเปลือกกระเจี๊ยบด้วยการแช่ในสารละลาย  $FeCl_3$  เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลานาน 12 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า ถ่านจากเปลือกกระเจี๊ยบสามารถดูดซับ  $Cr^{6+}$  ได้สูงสุด 11.83 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.11.6 Qi Yang (2017) ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านชีวภาพจากกากตะกอนน้ำเสียและปรับปรุงคุณภาพโดยการศึกษาความแตกต่างของเหล็กระหว่าง การตกตะกอนร่วมกันทางเคมีของ  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  และ  $FeCl_3$  เพื่อใช้ในการดูดซับฟอสเฟต การทดสอบเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงด้วย  $FeCl_3$  มีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตถึง 111:0 มิลลิกรัม/กรัม

ซึ่งมากกว่าตัวอย่างที่เตรียมไว้ทั้งหมดและยังทำงานได้ดีแม้จะอยู่ภายใต้การรบกวนของค่า pH และ ไอออนที่มีอยู่ร่วมกันในการวิเคราะห์ XRD ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเหล็กที่อยู่ในถ่านชีวภาพที่ได้จากกากตะกอน น้ำเสียที่เคลือบด้วย  $FeCl_3$  จะอยู่ในรูปแบบของออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการดูดซับฟอสเฟต นอกจากนี้การแลกเปลี่ยนลิแกนด์ก็มีบทบาทสำคัญในการดูดซับฟอสเฟต ซึ่งถ่านชีวภาพที่ได้จากการกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดไปแล้ว 5 ครั้ง จะสามารถดูดซับฟอสเฟตได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น Genesys 105 ยี่ห้อ Thermo scientific บริษัท Thermo Fisher Scientific Inc. ประเทศอังกฤษ
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) รุ่น 1455 VP ยี่ห้อ Leo บริษัท ซายน์ เอ็นจิเนียร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ประเทศ USA
3. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer) รุ่น Genesys 105 ยี่ห้อ Thermo scientific ประเทศ USA
4. เครื่องบดสับ รุ่น CP-390 ยี่ห้อ OTTO ประเทศ Thailand
5. เครื่องกรองลดความดัน (Filter pressure) รุ่น Aspirator A-35 ยี่ห้อ EYELA ประเทศ Japan
6. เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter) รุ่น C860 ยี่ห้อ Consort ประเทศ Belgium
7. เครื่องกวนมอเตอร์ รุ่น MR Hei-Tec ยี่ห้อ Heiolph ประเทศ Japan
8. เทอโมมิเตอร์ขนาด 100 C° (Thermometer)
9. ตู้อบสาร (Oven) รุ่น UM400 ยี่ห้อ Memmert ประเทศ Germany
10. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด รุ่น ML204 ยี่ห้อ Mettler Toledo ประเทศ Switzerland
11. กระดาษกรอง (Filter papers) ยี่ห้อ Whatman เบอร์ 42
12. ตะแกรงร่อน (Sieved) 35 mesh มาตรฐาน ASTM E11 ประเทศ England
13. กรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel)
14. ขวดน้ำกลั่น (Wash bottle)
15. เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

##### 3.2.2 สารเคมี

1. เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) เกรดวิเคราะห์, ยี่ห้อ Fisher scientific, บริษัท European distribution center, ประเทศเบลเยียม
2. เฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) เกรดวิเคราะห์, ยี่ห้อ Fisher scientific, บริษัท European distribution center, ประเทศเบลเยียม
3. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  conc.) เกรดวิเคราะห์, บริษัท Merck, ประเทศเยอรมันนี
4. กรดไนตริกเข้มข้น ( $\text{HNO}_3$  conc.) เกรดวิเคราะห์, ยี่ห้อ Fisher chemical, บริษัท European Distribution Center ประเทศเบลเยียม
5. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาทเรต ( $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) เกรดวิเคราะห์, ยี่ห้อ Carlo erba, บริษัท Carlo erba reagenti SPA. ประเทศอิตาลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กรดแอสคอบิก ( $C_6H_8O_6$ ) เกรตวิเคราะห์, ยี่ห้อ Fisher scientific ประเทศ สหรัฐอเมริกา
8. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $KH_2PO_4$ ) เกรตวิเคราะห์, ยี่ห้อ Carlo erba, บริษัท Carlo erba reagenti SPA. ประเทศอิตาลี
9. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl conc.) เกรตวิเคราะห์, ยี่ห้อ Fisher chemical, บริษัท European distribution center ประเทศเบลเยียม
10. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรตวิเคราะห์, ยี่ห้อ Loba chemie, บริษัท Loba chemie Pvt. Ltd. ประเทศอินเดีย
11. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกรตวิเคราะห์, ยี่ห้อ Fisher Chemical, บริษัท European Distribution Center ประเทศเบลเยียม
12. น้ำกลั่น (Distilled water)
13. เปลือกทุเรียน

### 3.2 การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟต

#### 3.2.1 การเตรียมสารละลายสต็อกฟอสเฟต

ชั่ง  $KH_2PO_4$  มา 0.2195 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร จะได้สารละลายสต็อกฟอสเฟตเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 3.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายสต็อกฟอสเฟตเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 10 มิลลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 3.2.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอสเฟต

ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 0, 0.125, 0.250, 0.500, 1.000 และ 2.000 มิลลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิตร เติมน้ำยารวม (Combine reagent) จำนวน 8 มิลลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น และเขย่าสารละลายให้เข้ากัน จะได้สารละลายฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 0, 0.05, 0.10, 0.20, 0.40 และ 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร

### 3.3 การเตรียมวัสดุดูดซับ

#### 3.3.1 การเตรียมเปลือกทุเรียน

1. นำเปลือกทุเรียนมาล้างด้วยน้ำทำความสะอาด แล้วตัดเป็นชิ้นเล็กๆ
2. นำเปลือกทุเรียนมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

#### 3.3.2 การปรับสภาพเปลือกทุเรียนเป็นถ่านชีวภาพ

1. นำเปลือกทุเรียนที่เตรียมได้ในข้อ 3.3.1 ไปผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ผลผลิตที่ได้คือ ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน
2. นำถ่านชีวภาพที่ได้ไปบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 mesh
3. นำถ่านชีวภาพที่ผ่านการร่อนแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้วางใจใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตาม มีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์เพื่อเก็บไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

### 3.3.3 การล้างถ่านชีวภาพเพื่อกำจัดเถ้า

1. นำถ่านชีวภาพที่ได้ในข้อ 3.3.2 ไปล้างด้วย 0.1 M HCl ด้วยชุดกรองแบบลดความดัน
2. จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นต่อจนสารละลายที่ผ่านจากการกรองมาจะมี pH เป็นกลาง
3. นำถ่านชีวภาพที่ผ่านการล้างแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์เพื่อเก็บไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

### 3.3.4 การปรับสภาพถ่านชีวภาพให้มีสภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์

#### 3.3.4.1 เตรียมสารละลายปรับสภาพ

1. ชั่งเฟอร์ริคคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) มา 30 กรัม มาผสมกับ เฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 16.7 กรัม

2. นำมาละลายน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร

#### 3.3.4.2 การปรับสภาพถ่านชีวภาพให้มีสภาพเป็นแม่เหล็ก (Jingge Shang *et al.*, 2016)

1. ชั่งถ่านชีวภาพที่ได้ในข้อ 3.3.3 มา 30 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลายที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.4.1 ผสมกันและคนให้เข้ากัน
2. จากนั้นนำมาปรับ pH ให้ได้ประมาณ 10.5 ด้วย 10 M NaOH
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องกวนสารละลาย (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน
4. จากนั้นนำไปให้ความร้อนต่อเป็นเวลานาน 1 ชั่วโมงด้วยเตาให้ความร้อนแบบหลุม (Heating mantle)
5. พอลบ 1 ชั่วโมงก็ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. จากนั้นนำมากรองแบบลดความดันด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล (Ethanol) หลายๆ ครั้ง
7. นำถ่านชีวภาพที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
8. ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์เพื่อเก็บไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

## 3.4 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ

วัสดุดูดซับที่เตรียมได้ในข้อ 3.3.3 และ 3.3.4 จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีตามรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 3.1

### ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
วิเคราะห์พื้นที่ผิว	Scanning electron microscopy (SEM)
ศึกษาหมู่ฟังก์ชันต่างๆในวัสดุดูดซับ	Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)
วิเคราะห์โครงสร้างผลึก	X-ray diffraction (XRD) analysis
หาค่า Zero point charge	pH drift method

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษา pH drift method ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1 การหาค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ (Point of zero charge, $pH_{pzc}$ )

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.01 โมลต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ปรับ pH ของสารละลายเป็น 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร
3. เมื่อปรับ pH ได้ตามต้องการแล้วจึงใส่ถ่านชีวภาพที่สภาพเป็นแม่เหล็กจากการทดลอง 3.3.4 ปริมาณ 0.150 กรัม ลงไปในขวดรูปชมพู่แล้วปิดฝาขวดให้สนิท
4. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวัด pH ภายหลังจากการเขย่าอีกครั้ง
5. นำไปเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-เบสเริ่มต้น ( $pH_i$ ) และความเป็นกรด-เบสสุดท้าย ( $pH_f$ ) โดยประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของตัวดูดซับหาได้จากเส้นความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นและความเป็นกรด-เบสสุดท้ายตัดกับเส้นทแยงมุม

## 3.5 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสีย

### 3.5.1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณของวัสดุดูดซับ

1. ซั่งถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ จากข้อ 3.3.4 มาอย่าง 0.025 กรัมในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรจากข้อ 3.2.2 ลงไปตัวอย่างละ 200 มิลลิลิตร
2. ปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 3 ด้วยกรด  $H_2SO_4$  เข้มข้น 0.1 โมลาร์
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
4. ใต้น้ำเสียสังเคราะห์ 2 มิลลิลิตร โดยในช่วง 60 นาทีแรก ให้ใต้น้ำเสียสังเคราะห์ทุก ๆ 10 นาที หลังจากนั้นใต้น้ำเสียทุกๆ 30 นาที จนครบที่เวลา 180 นาที
5. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วย Syringe Filters
6. แล้วนำส่วนใสไปวัดปริมาณฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธีทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA, 1995)
7. ทำการทดลองข้อ 1-6 ซ้ำ แต่ปรับปริมาณตัวดูดซับจาก 0.025 เป็น 0.050, 0.100 และ 0.200 กรัม ตามลำดับ

### 3.5.2 ศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ซั่งถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ จากข้อ 3.3.4 มาในปริมาณที่เหมาะสมตามการทดลองก่อนหน้านี้ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรจากข้อ 3.2.2 ลงไปในตัวอย่างละ 200 มิลลิลิตร
2. ปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 2 ด้วยกรด  $H_2SO_4$  เข้มข้น 0.1 โมลาร์
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลาที่เหมาะสมกับการดูดซับเข้าสู่สมดุล ที่อุณหภูมิห้อง

### 4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองแบบลดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แล้วนำส่วนใสไปวัดปริมาณฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธีทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA, 1995)

6. ทำการทดลองข้อ 1-6 ซ้ำ แต่ปรับค่า pH ของสารละลายจาก 2 เป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.10 โมลาร์

### 3.5.3 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ชั่งถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ จากข้อ 3.3.4 มาใน ปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองก่อนหน้า ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรจากข้อ 3.2.2 ลงไปตัวอย่างละ 200 มิลลิลิตร

2. ปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.5.2

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลาที่เหมาะสม ที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล ที่อุณหภูมิห้อง

4. เก็บน้ำเสียสังเคราะห์ 2 มิลลิลิตร โดยเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ทุก ๆ 10 นาที จนครบที่เวลา

5. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วย Syringe Filters

6. แล้วนำส่วนใสไปวัดปริมาณฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธีทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA, 1995)

7. ทำการทดลองข้อ 1-6 ซ้ำ แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

### 3.5.4 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในระบบที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ชั่งถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ จากข้อ 3.4.4 มาในปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองก่อนหน้า ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้นตามความเหมาะสมจากการทดลองก่อนหน้า ลงไปตัวอย่างละ 200 มิลลิลิตร

2. ปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.5.2

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลาที่เหมาะสม ที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล ที่อุณหภูมิห้อง

4. เก็บน้ำเสียสังเคราะห์ 2 มิลลิลิตร โดยเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ทุก ๆ 10 นาที จนครบที่เวลา

5. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วย Syringe Filters

6. แล้วนำส่วนใสไปวัดปริมาณฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธีทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA, 1995)

7. ทำการทดลองข้อ 1-6 ซ้ำแต่เปลี่ยนอุณหภูมิจาก อุณหภูมิห้อง, 45 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

### 3.5.5 ศึกษาอิทธิพลของการคายซับฟอสเฟตของถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จาก เปลือกทุเรียน

1. ชั่งถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ที่ผ่านการดูดซับฟอสเฟตแล้วมาในปริมาณ 1.0 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ลงไป 200 มิลลิลิตร สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2. ปรับ pH ของสารละลายให้มีค่า เท่ากับ 2 ด้วยกรด  $H_2SO_4$  เข้มข้น 0.01 โมลาร์ นำไปใช้

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองแบบลดความดัน

5. แล้วนำส่วนใสไปวัดปริมาณฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธีทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA, 1995)

6. ทำการทดลองข้อ 1-6 ซ้ำ แต่ปรับค่า pH ของสารละลายจาก 2 เป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.01 โมลาร์

### 3.6 ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ (Biochar) และถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ (Magnetic biochar)

1. ชั่งถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ จากข้อ 3.3.3 และ ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ จากข้อ 3.4.4 มาในปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.5.1 ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต เข้มข้นตามความเหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.5.2 ลงไปตัวอย่างละ 200 มิลลิลิตร

2. ปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.5.3

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลาที่เหมาะสม ที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.5.4

4. เก็บน้ำเสียสังเคราะห์ 2 มิลลิลิตร โดยเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ทุก ๆ 10 นาที จนครบเป็นเวลา

5. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วย Syringe Filters

6. แล้วนำส่วนใสไปวัดปริมาณฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธีทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA, 1995)

### 3.7 ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

โดยใช้ไอโซเทอร์มของ Langmuir, Freundlich, Temkin และ Dubinin-radushkevich isotherm โดยนำข้อมูลจากการทดลอง 3.5.3 มาวิเคราะห์

### 3.8 ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับ

โดยศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการดูดซับ 4 แบบคือ

- แบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับ 1 (Pseudo first order)

- อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับ 2 (Pseudo second order)

- Elovich model และ Intraparticle diffusion model

- หาค่าพลังงานกระตุ้นจากสมการอาร์เรเนียส

โดยนำข้อมูลจากการทดลอง 3.5.3 และ 3.5.4 มาวิเคราะห์

### 3.9 ศึกษาทางอุณหพลศาสตร์

- คำนวณค่าเอนทัลปี ( $\Delta H^\circ$ ) จากสมการของแวนฮอฟฟ์

- หาค่าพลังงานอิสระของกิบส์ ( $\Delta G^\circ$ )

- หาค่าเอนโทรปี ( $\Delta S^\circ$ )

โดยนำข้อมูลจากการทดลอง 3.5.4 มาวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

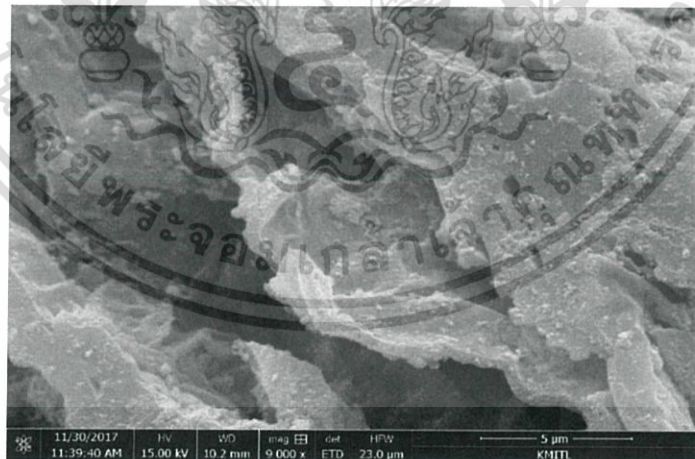
#### 4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน

##### 4.1.1 การวิเคราะห์ด้วย Scanning electron microscope (SEM)

นำถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพและปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ ไปศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวโดยใช้เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ถ่ายภาพพื้นผิวดูดซับก่อนปรับปรุงคุณภาพ, ปรับปรุงคุณภาพแล้ว ผลการทดลองแสดงดังในรูปที่ 4.1



(a)



(b)

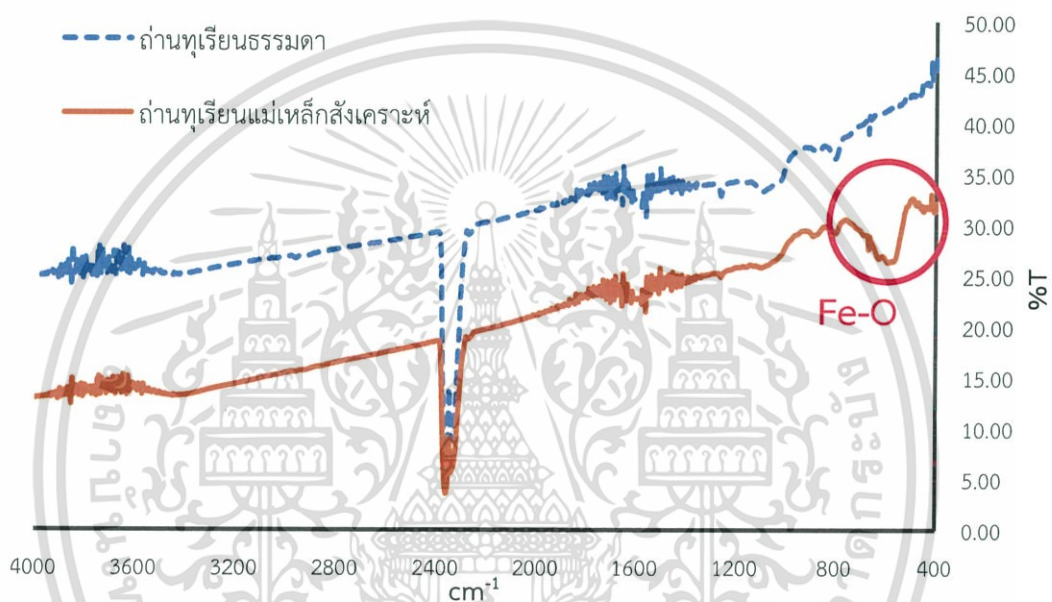
รูปที่ 4.1 (a) และ (b) คือลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพและปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ ที่กำลังขยาย 9000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 พบว่าถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ จะมีพื้นผิวเรียบและมีลักษณะพื้นผิวที่ไม่มีระเบียบ แต่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ จะมีลักษณะพื้นผิวขรุขระที่เหมือนมีสารเกาะติดอยู่ ซึ่งอาจเป็น Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ที่อยู่ในขั้นตอนการปรับสภาพให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ เข้าไปเคลือบติดที่ผิวตัวดูดซับ

#### 4.1.2 การวิเคราะห์ด้วย Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

นำถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ยังไม่ปรับปรุงคุณภาพ และ ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ มาศึกษาหมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบสารโดยใช้เครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันของถ่านชีวภาพโดยใช้เครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

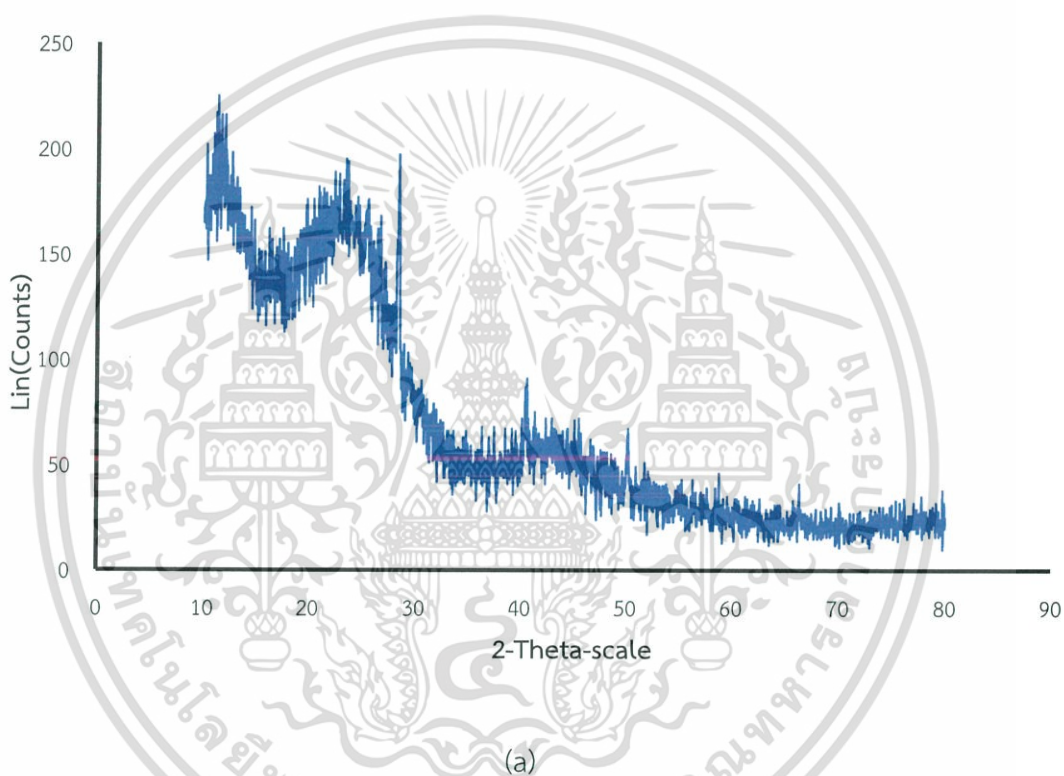
ตารางที่ 4.1 ความยาวคลื่นที่หมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ

Wavenumber ( $\text{cm}^{-1}$ )		หมู่ฟังก์ชัน
ถ่านชีวภาพ	ถ่านชีวภาพแม่เหล็ก	
2341.58	2360.87	$\text{C}\equiv\text{C}$ Stretching
1,582–1,977	1,582–1,977	$\text{C}=\text{O}$ Stretching
1,420–1,570	1,420–1,570	$\text{C}=\text{C}$ Stretching
804.32–873.75	802.39–889.18	$\text{C}-\text{H}$ Stretching
	588.29	$\text{Fe}-\text{O}$

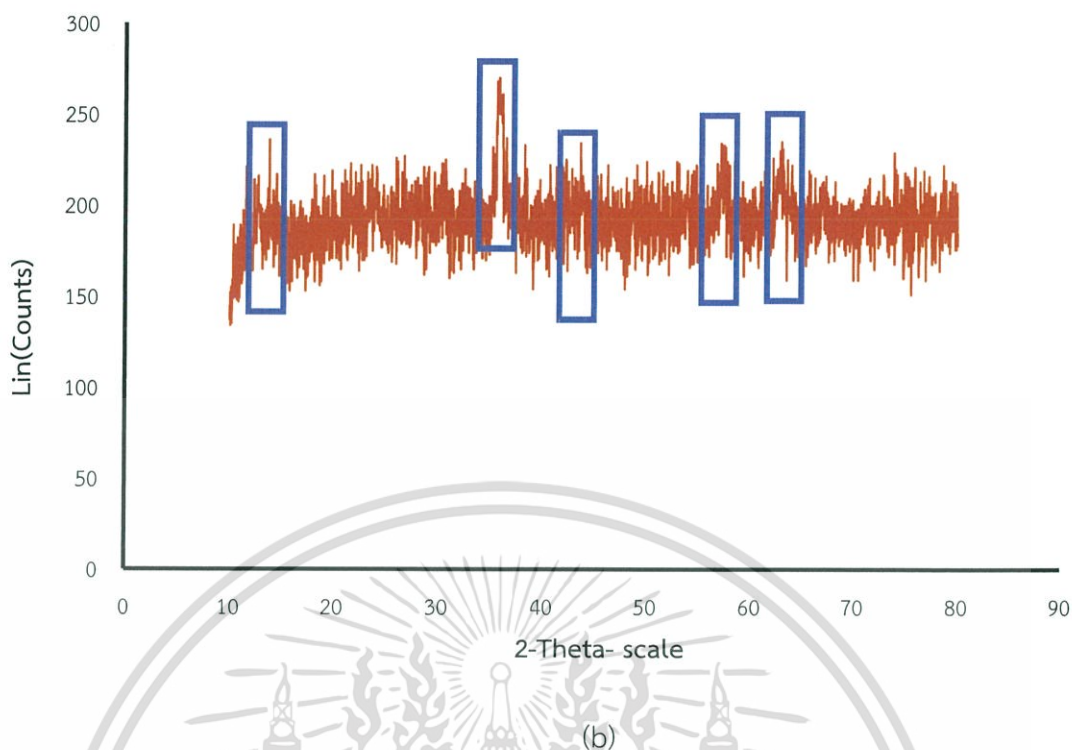
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 พบว่า FTIR สเปกตรัมของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนทั้งปรับสภาพและไม่ได้ปรับสภาพมีลักษณะคล้ายกันโดยพบพีค C=C Stretching ซึ่งเป็น อัลไคล์ที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ต่อกันด้วยพันธะสามระหว่างคาร์บอน (C) กับ คาร์บอน (C) (M.W. Yapa และคณะ, 2016) พีค C=O Stretching ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทคาร์บอนิล (Carbonyl compounds) พีค C=C Stretching เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทอะโรมาติก (Aromatic compounds) พีค C-H Stretching เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอลิฟาติก (กลุจิตา, 2557) ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดคือ เมื่อนำถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับสภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์มีการเพิ่มขึ้นของพีคที่เลขคลื่น  $588.29\text{ cm}^{-1}$  ที่แสดงถึงการยึดของพันธะ Fe-O

#### 4.1.3 การวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction (XRD) analysis



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

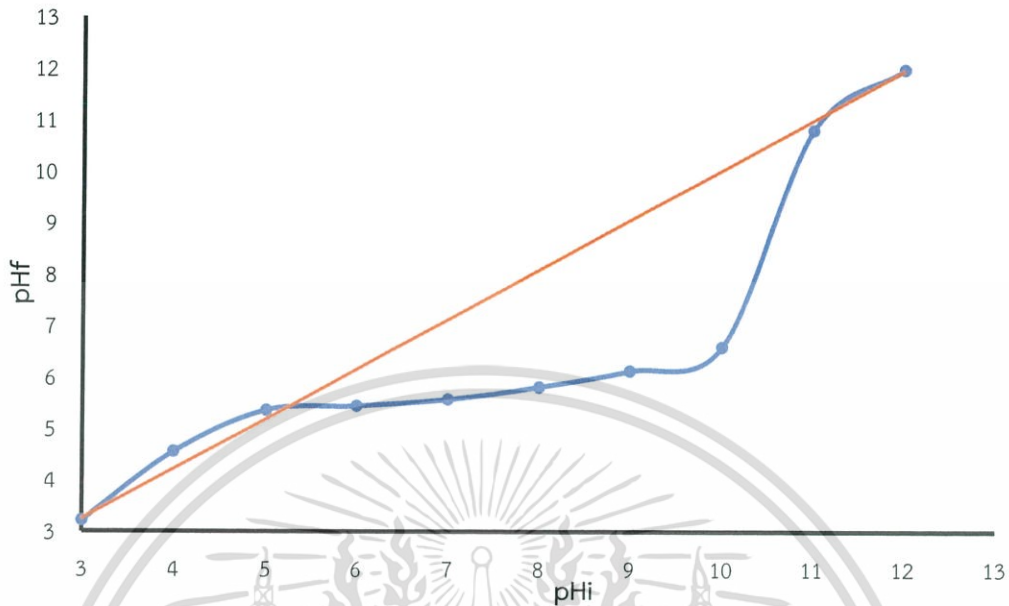


รูปที่ 4.3 (a) และ (b) คือกราฟของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนและกราฟของถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนโดยใช้วิธี X-ray diffraction (XRD) analysis

จากการตรวจหาโครงสร้างของถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่ใช้วิธี X-ray diffraction (XRD) analysis จะได้รูปแบบการเลี้ยวเบน (Diffraction pattern) แสดงดังรูปที่ 4.3 จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของถ่านชีวภาพ ตำแหน่งพีคจะปรากฏที่มุมเทต้า (Theta) ตำแหน่งของพีคแสดงในตำแหน่งที่  $13.0^{\circ}$ ,  $35.8^{\circ}$ ,  $43.2^{\circ}$ ,  $57.8^{\circ}$  และ  $63.0^{\circ}$  ซึ่งสอดคล้องกับพีคของการเลี้ยวเบนของ  $\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (Standard) แสดงว่าโครงสร้างของถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนเป็นโครงสร้างของ  $\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Q.Yang และคณะ (2018) ที่ได้ศึกษาการกำจัดฟอสเฟตโดยใช้ถ่านชีวภาพที่ได้มาจากกากตะกอนน้ำเสียปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เหล็กที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลวิเคราะห์ XRD บ่งบอกลักษณะของถ่านชีวภาพจากตะกอนน้ำเสียที่ปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เหล็กแบบที่ 1 เป็นโครงสร้างของ  $\text{-Fe}_2\text{O}_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การศึกษาค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ (Point of zero charge, $pH_{pzc}$ )



รูปที่ 4.4 ประจุที่ผิวเป็นศูนย์ ( $pH_{pzc}$ ) ของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์

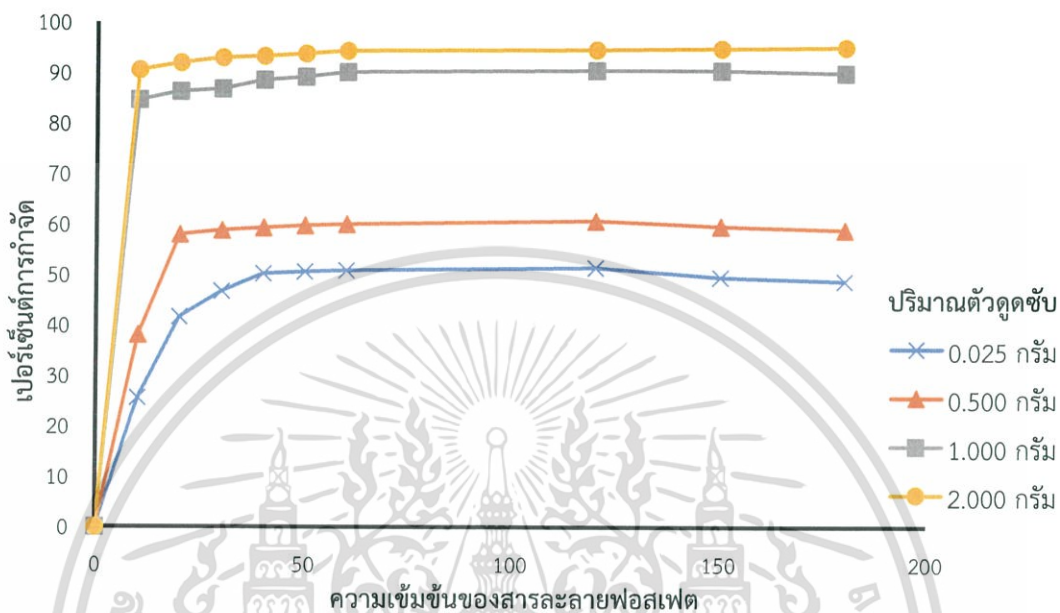
การหาค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของถ่านเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยทำให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-เบสเริ่มต้น ( $pH_i$ ) และความเป็นกรด-เบสสุดท้าย ( $pH_f$ ) พบว่าค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของของถ่านเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยทำให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์มีค่าเท่ากับ  $pH$  5.40 ซึ่งประจุที่ผิวเป็นศูนย์หมายถึงค่าความเป็นกรด-เบสที่ทำให้ประจุที่ผิวของตัวดูดซับมีค่าเป็นกลาง หรือประจุรวมที่ผิวมีค่าเป็นศูนย์ Ngah และคณะ (2012) อธิบายได้ว่า เมื่อความเป็นกรด-เบสของสารละลายมีค่าน้อยกว่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ ผิวของตัวดูดซับจะแสดงประจุเป็นบวก และเมื่อความเป็นกรด-เบสของสารละลายมีค่ามากกว่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ ผิวของตัวดูดซับจะแสดงประจุเป็นลบ พิจารณาได้ว่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายมีค่าน้อยกว่า  $pH$  5.40 ประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของถ่านเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยทำให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์จะแสดงค่าเป็นบวก ดังนั้นจึงสามารถดูดซับไอออนที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี ในทางตรงกันข้ามหากความเป็นกรด-เบสของสารละลายมีค่ามากกว่า  $pH$  5.40 ประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของถ่านเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยทำให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์จะแสดงค่าเป็นลบ จะเกิดการดูดซับไอออนที่มีประจุลบได้เพียงเล็กน้อย

## 4.3 การศึกษาอิทธิพลต่างๆ ที่ผลต่อการดูดซับสารละลายฟอสเฟต

### 4.3.1 อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับ

การศึกษาผลของปริมาณของถ่านเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยการทำให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร  $pH$  ของสารละลายค่าไม่ต่ำกว่า 3 ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของถ่านเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยทำให้

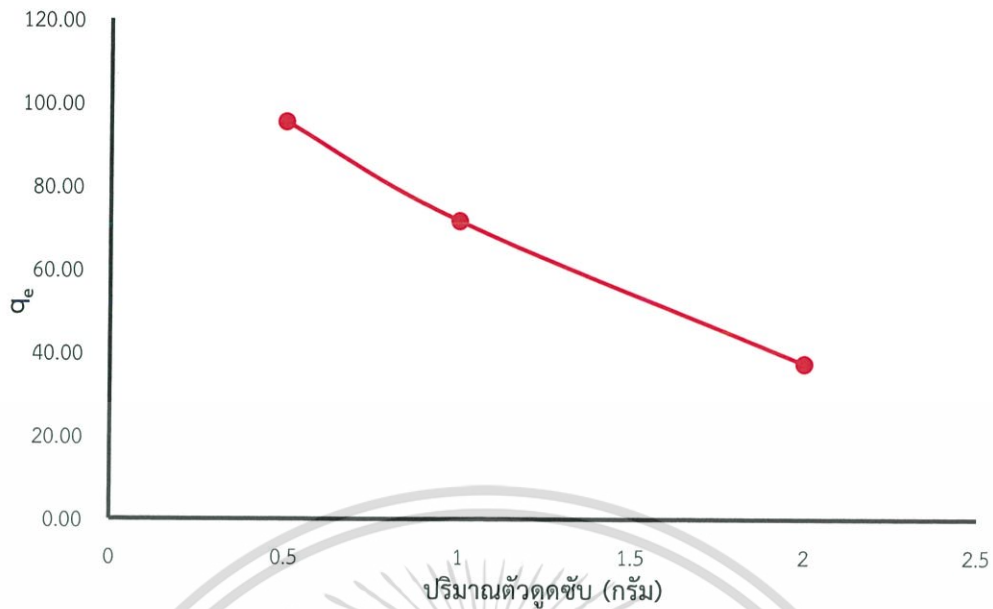
เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ที่ดัดนี้คือ 0.025, 0.500, 1.000 และ 2.000 กรัม ต่อสารละลายฟอสเฟต ปริมาตร 200 มิลลิลิตร สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัด ฟอสเฟตที่เวลาต่างๆ กับปริมาณตัวดูดซับ ได้ดังรูปที่ 4.5 และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตกับปริมาณตัวดูดซับ ได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตเมื่อปริมาณตัวดูดซับต่างกัน

จะเห็นได้ว่าการดูดซับในช่วง 10 นาทีแรก จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะค่อยๆเกิดการดูดซับอย่างช้าๆ จนเข้าสู่สมดุลในช่วงเวลาที่ 60 เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของฟอสเฟตไปยังพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนและผ่านเข้าไปในรูพรุนภายในซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นเข้าสู่สมดุลอย่างช้าๆ และเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจาก 0.025 กรัม ไปเป็น 0.500, 1.000 และ 2.000 กรัม พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 48.72 ไปเป็น 58.95, 90.03 และ 95.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมากขึ้น โดยพื้นที่ผิวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณถ่านเปลือกทุเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



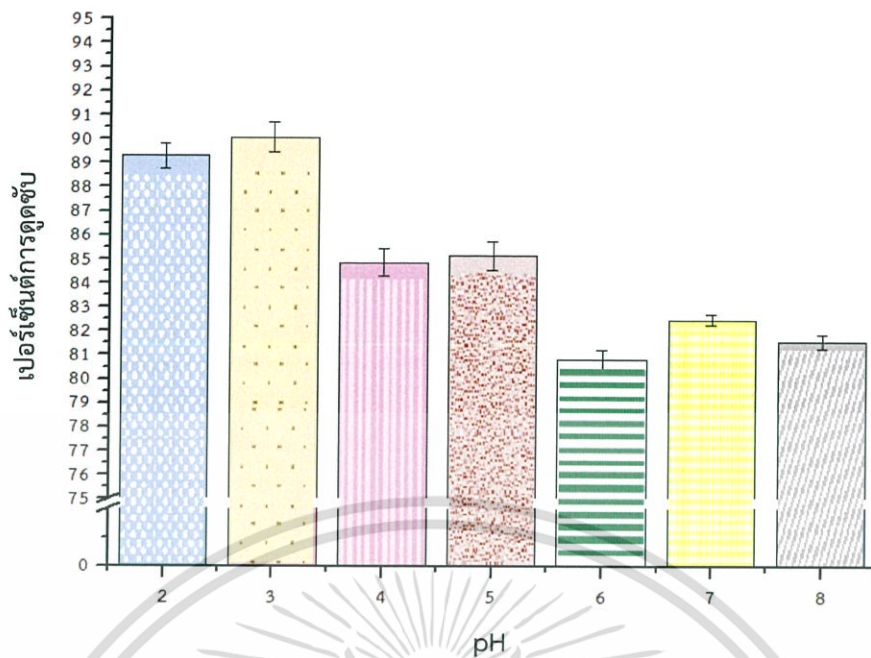
รูปที่ 4.6 ความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุล

จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับในปริมาณ 0.025, 0.500, 1.000 และ 2.000 กรัม พบว่าความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อปริมาณถ่านแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0.025 กรัม ถึง 0.500 กรัม และความสามารถในการดูดซับจะลดลงอย่างช้าๆ ผลการศึกษาสรุปได้ว่าเมื่อค่าความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตคงที่ ถ้าปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นที่เวลาต่างๆ มีค่าลดลงน้อยกว่าจำนวนเท่าของน้ำหนักตัวดูดซับที่มีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับมีค่าลดลง ในการทดลองนี้จึงเลือกปริมาณถ่านแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 1.000 กรัม และใช้เวลาในการดูดซับ เท่ากับ 60 นาที ในการทดลองต่อไป

#### 4.3.2 อิทธิพลของค่า pH

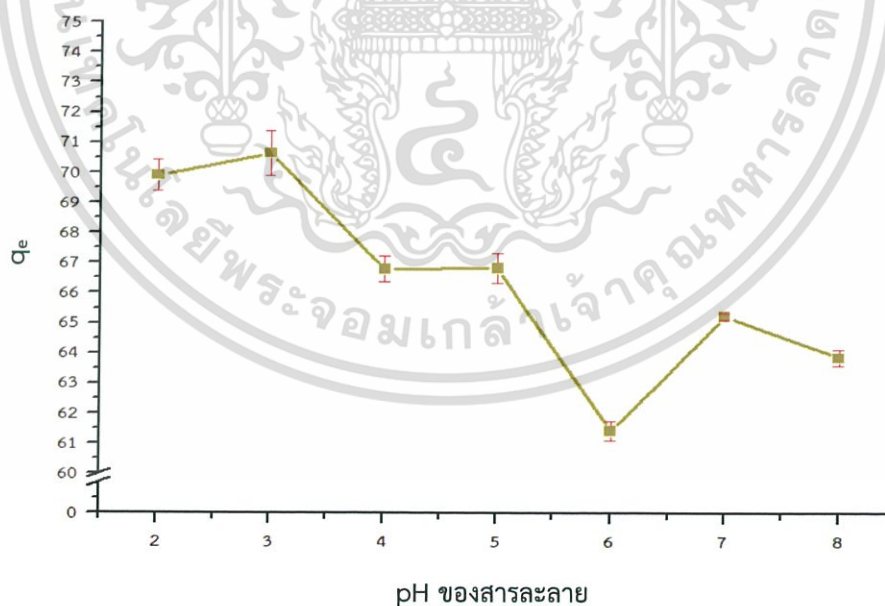
การศึกษาผลของ pH ของสารละลายเริ่มต้นในการดูดซับสารละลายฟอสเฟต โดยใช้ปริมาณถ่านแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่ 1.000 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้อง ทำการดูดซับเป็นเวลานาน 60 นาที เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเริ่มต้นดังนี้ 2, 3, 4, 5, 6, 7, และ 8 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตกับค่า pH ของสารละลาย ได้ดังรูปที่ 4.5 และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตกับค่า pH ของสารละลาย ได้ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตเมื่อ pH ของสารละลายต่างกัน

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าที่ pH เท่ากับ 3 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตสูงที่สุด เท่ากับ 90.06 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์การดูดซับลดลงตามลำดับเมื่อ pH สูงขึ้นแต่เมื่อ pH เท่ากับ 7 และ 8 เปอร์เซ็นต์การกำจัดก็เพิ่มขึ้นเล็กน้อย



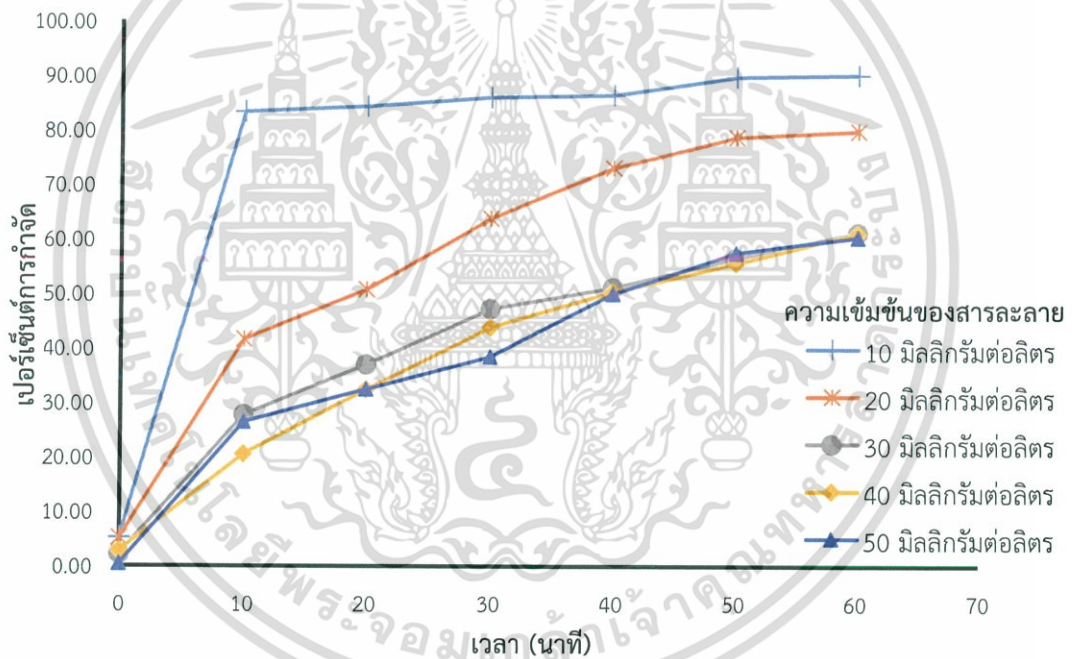
รูปที่ 4.8 ความสามารถในการดูดซับเมื่อ pH ของสารละลายต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาอิทธิพลของ pH ต่อการดูดซับ ในช่วง pH 2-8 พบว่าความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) เพิ่มสูงสุดที่ pH เท่ากับ 3 โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับ (Removal efficiency) ร้อยละ 90.07 ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ที่ pH ต่างกันจะมีปริมาณประจุบวกและประจุลบในสารละลายแตกต่างกันด้วย ที่ pH 3 เป็นสถานะที่เหมาะสมและมีประจุบวกเกิดขึ้นที่ผิวของตัวดูดซับมาก จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับสูงสุดในการทดลองนี้จึงเลือกค่า pH เท่ากับ 3 ในการทดลองต่อไป

#### 4.3.3 อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต

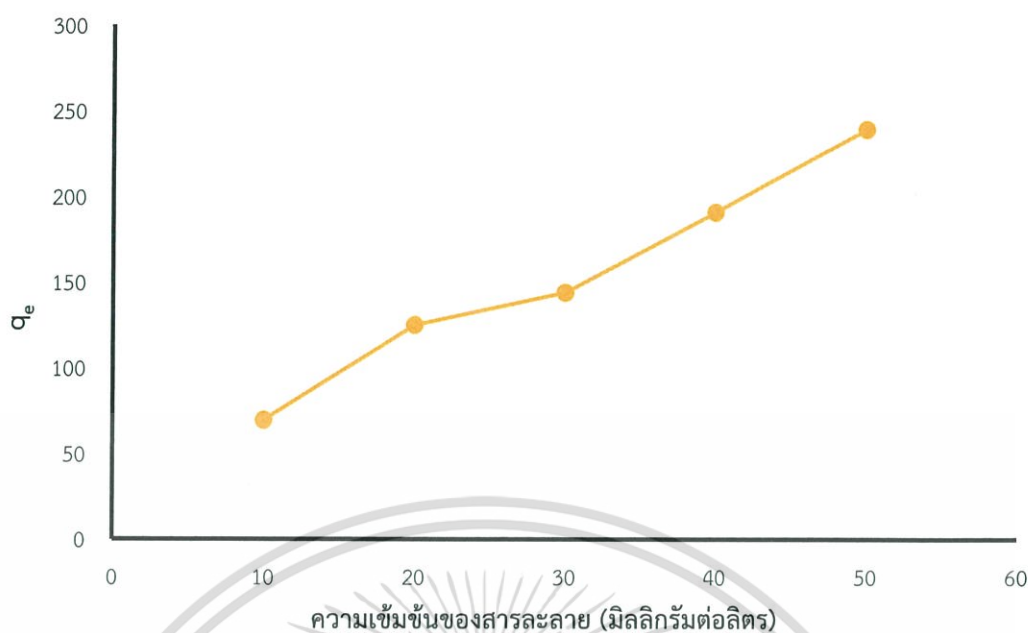
การศึกษามลของความสัมพันธ์ของสารละลายฟอสเฟตโดยใช้ถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน 1.000 กรัม pH ของสารละลายเท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลานาน 60 นาที เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเป็นดังนี้คือ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตกับความเข้มข้นของสารละลาย ได้ดังรูปที่ 4.8 และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตกับความเข้มข้นของสารละลาย ได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตเมื่อความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตต่างกัน

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอสเฟตจาก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ไปเป็น 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับลดลงจาก 90.11 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 79.87, 61.16, 61.06 และ 60.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง เนื่องจากเมื่อมีการแพร่ของโมเลกุลสารละลายไปดูดซับที่รูพรุนของถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จนถึงจุดสมดุลที่ไม่สามารถดูดซับได้แล้ว ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตที่มากขึ้นจะคงเหลืออยู่ในสารละลายมาก ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



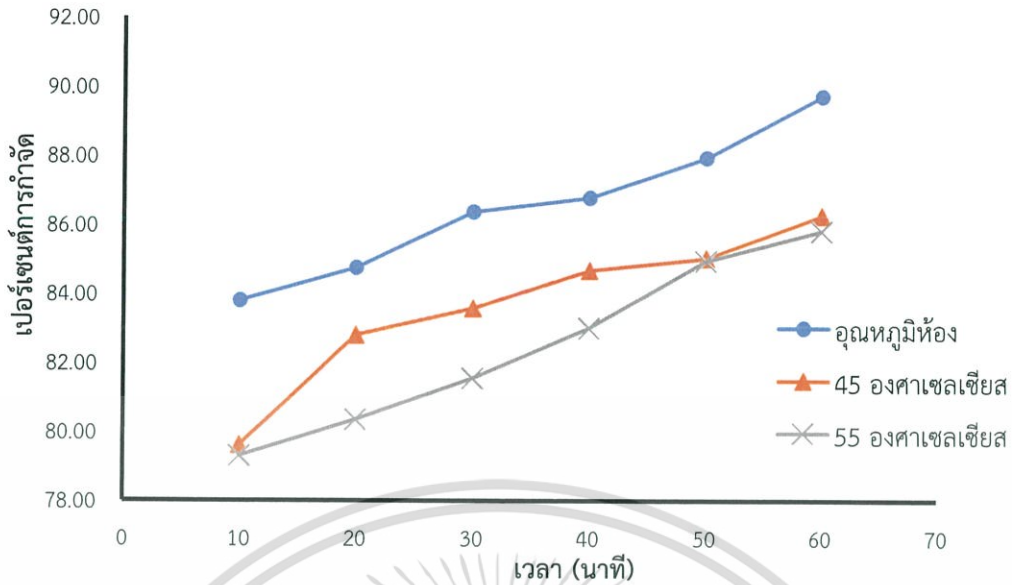
รูปที่ 4.10 ความสามารถในการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตต่างกัน

การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอสเฟต โดยความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตเริ่มต้นตั้งแต่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ในสภาวะการทดลองอื่นคงที่คือ pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัมในสารละลายฟอสเฟตปริมาตร 200 มิลลิลิตร พบว่าความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.9 เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นเป็นผลทำให้เกิดความแตกต่าง ระหว่างความเข้มข้นของฟอสเฟตในสารละลาย กับบริเวณผิวของตัวดูดซับเพิ่มสูงขึ้น เกิดแรงขับเคลื่อน (Driving force) ที่เพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตของตัวดูดซับจึงสูงขึ้น เมื่อพิจารณาที่ตัวดูดซับจะเห็นได้ว่ามีตำแหน่งที่เกิดการดูดซับเหลือพอที่จะสามารถดูดซับฟอสเฟตได้เรื่อยๆ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้น

#### 4.3.4 อิทธิพลของอุณหภูมิของสารละลายฟอสเฟต

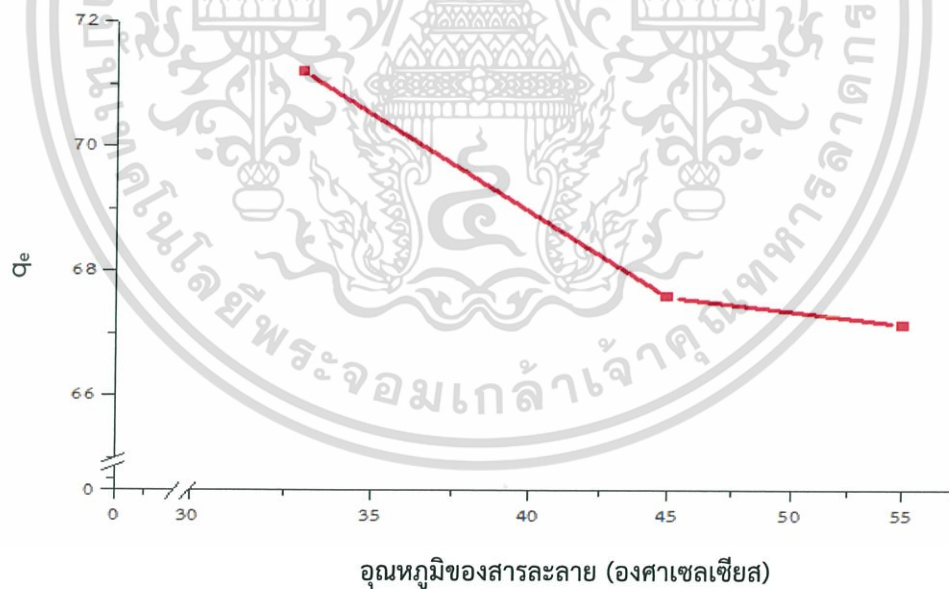
การศึกษผลอุณหภูมิในการดูดซับสารละลายฟอสเฟต โดยใช้ปริมาณถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ 1.000 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 3 เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายดังนี้ 33, 45 และ 55 องศาเซลเซียส สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตกับอุณหภูมิ ได้ดังรูปที่ 4.11 และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตกับอุณหภูมิ ได้ดังรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตเมื่ออุณหภูมิของสารละลายฟอสเฟตต่างกัน

จากรูปที่ 4.11 ทำการดูค่าที่อุณหภูมิต้อง ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตสูงสุด 89.72 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 45 และ 55 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตลดลง เป็น 86.27 และ 85.82 ตามลำดับ



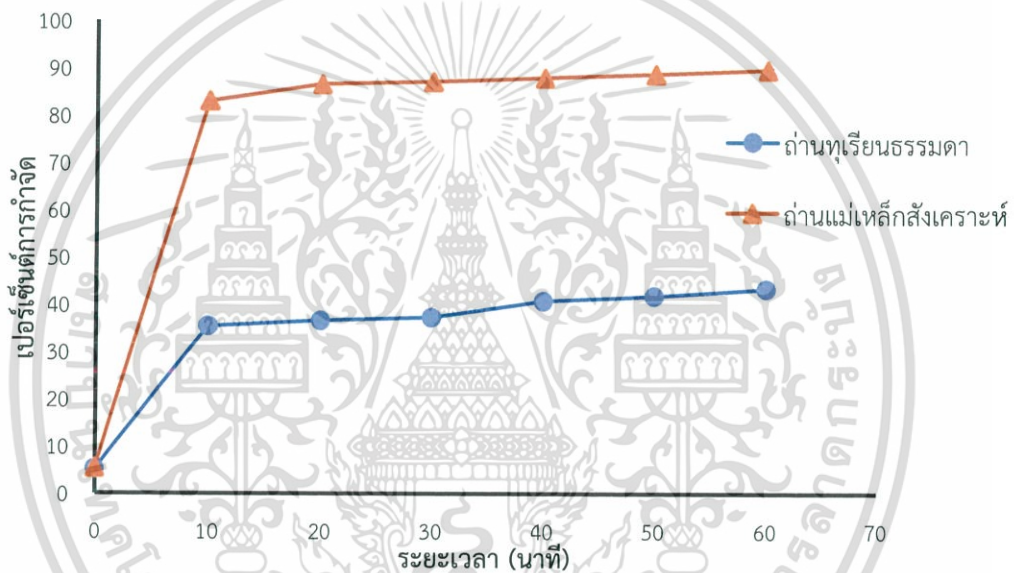
รูปที่ 4.12 ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟต เมื่ออุณหภูมิของสารละลายฟอสเฟตต่างกัน

จากรูปที่ 4.12 พบว่าความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตสูงสุดที่ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส โดยมีค่า ความสามารถในการดูดซับ เท่ากับ 71.20 และอุณหภูมิที่ 45 และ 55 มีค่าความสามารถในการดูดซับ เท่ากับ 67.59 และ 67.15 เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อกระบวนการดูดซับ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ การดูดซับจะน้อยลง อาจมีสมมติฐานได้ว่ากระบวนการดูดซับฟอสเฟตนี้เป็นการคายความร้อน อีกทั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เอกสารนี้ การทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต อาจมีผลกระทบต่อเจ้าของลิขสิทธิ์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยด้านอุณหภูมิเป็นส่วนหนึ่งของการทำให้เกิดกระบวนการคายซับ (Desorption) โดยทำให้เกิดปฏิกิริยาผันกลับ (Reversible process) ได้อีกด้วย

#### 4.4 การเปรียบเทียบการกำจัดฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนและถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

จากการศึกษาการเปรียบเทียบการกำจัดฟอสเฟตระหว่างถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ กับ ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน โดยทำการทดลองโดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัมในสารละลายฟอสเฟต 200 มิลลิลิตรที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.13 เปอร์เซนต์การกำจัดฟอสเฟตที่เวลาต่างกันโดยถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพแม่เหล็ก

จากรูปที่ 4.13 พบว่าถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ มีเปอร์เซนต์การกำจัดฟอสเฟต เท่ากับ 89.36 ซึ่งสูงกว่า ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่มีเปอร์เซนต์การกำจัดฟอสเฟต เท่ากับ 43.70 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะพื้นผิวของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์มีประจุบวกที่เกิดจากการยึดเกาะของ  $Fe^{2+}$  ที่มาจากการขั้นตอนการปรับสภาพส่งผลให้ดูดซับฟอสเฟตซึ่งเป็นไอออนลบได้ดีกว่าถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพและอาจเป็นเพราะปริมาณรูพรุนของถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์มีมากกว่าถ่านชีวภาพที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (Jingge, 2016) โดยเปอร์เซนต์การกำจัดฟอสเฟตของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 10 นาทีแรกและหลังจากนั้นจะค่อยๆเกิดการดูดซับอย่างช้าๆ จนเข้าสู่สมดุลในช่วงเวลาที่ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 การศึกษาการคายซับจากถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการดูดซับฟอสเฟต

ทำการคายซับโดยเติมถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการดูดซับฟอสเฟตมาแล้วใส่น้ำกลั่นที่มีค่า pH ระหว่าง 2 ถึง 8 เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง และนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟต สามารถเขียนกราฟระหว่าง pH ของสารละลายกับ ปริมาณฟอสเฟต ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลของการศึกษาการคายซับ

จากรูปที่ 4.14 พบว่าผลของการคายซับของถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนในน้ำกลั่นที่ pH เท่ากับ 6 มีปริมาณฟอสเฟตมากที่สุด เท่ากับ 0.0423 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองการดูดซับฟอสเฟตที่ pH ต่างๆ ซึ่งการดูดซับที่ pH เท่ากับ 6 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตได้น้อยสุด

#### 4.6 ไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน

ทำการทดลองดูดซับฟอสเฟตที่มีความเข้มข้นดังนี้คือ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน 1.000 กรัม pH ของสารละลายเท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง นำผลการทดลองมาคำนวณโดยใช้สมการการดูดซับของ Langmuir, Freundlich, Temkin และ Dubinin radushkevich ผลการคำนวณแสดงได้ดังนี้

##### 4.6.1 สมการการดูดซับของ Langmuir

สมการการดูดซับของ Langmuir เป็นแบบจำลองที่เป็นพื้นฐานทางฟิสิกส์และสามารถนำมาใช้งานได้ในช่วงที่กว้าง แต่มีข้อเสียในการใช้งาน คือ พลังงานของการดูดซับเป็นอิสระจากระดับการควบคุม แรงที่ใช้ในการดึงดูดเป็นแรงอ่อนๆ ที่สามารถผันกลับได้และจะใช้ได้ในกรณีที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้น (Monolayer)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการการดูดซับของ Langmuir คือ

$$\frac{c_e}{q_e} = \left( \frac{1}{K_L q_m} \right) + \frac{c_e}{q_m}$$

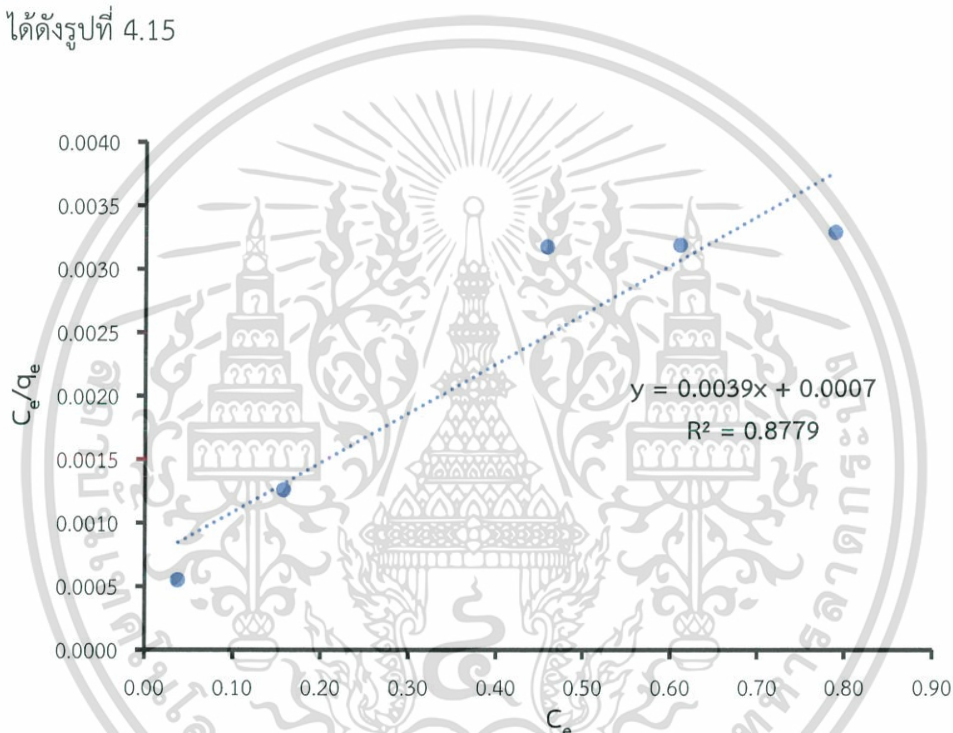
โดย  $C_e$  = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เหลือในสารละลายที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$q_e$  = ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$q_m$  = ปริมาณสูงสุดของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับแบบชั้นเดียว (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$K_L$  = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ หรือค่าคงที่ของ Langmuir (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

นำผลการทดลองมาคำนวณโดยใช้สมการการดูดซับของ Langmuir และเขียนกราฟระหว่าง  $\frac{C_e}{q_e}$  และ  $q_e$  ได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{C_e}{q_e}$  กับ  $C_e$

จากกราฟจะได้ความชัน (Slope) = 0.0039 และจุดตัดแกน  $y = 0.0007$  สามารถหาค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดต่อปริมาณของตัวดูดซับ ( $q_m$ ) ค่าคงที่สมการ Langmuir ( $K_L$ ) และค่า  $R_L$  ได้ดังนี้

$$\text{ความชัน} = \frac{1}{q_m}$$

$$0.0039 = \frac{1}{q_m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จุดตัดแกน } y = \frac{1}{K_L} q_m$$

$$0.0007 = \frac{1}{k_1 \times 256.4103}$$

$$K_L = 5.5714 \text{ ลิตรต่อมิลลิกรัม}$$

$$R_L = \frac{1}{1+K_L C_0}$$

$$R_L = \frac{1}{1+(5.5714 \times 10)}$$

$$R_L = 0.0176$$

ค่า  $R_L$  จะเป็นตัวบอกรูปร่างของไอโซเทอร์มว่าสอดคล้องกับการดูดซับแบบ Langmuir หรือไม่ ถ้า  $R_L > 1$  การดูดซับไม่เป็นแบบ Langmuir (Unfavorable),  $R_L = 1$  การดูดซับเป็นเส้นตรง (Linear),  $0 > R_L < 1$  การดูดซับเป็นแบบ Langmuir (Favorable) และ  $R_L = 0$  การดูดซับเกิดผันกลับได้ (Irreversible) ซึ่งจากผลการทดลองครั้งนี้มีค่า  $R_L$  เป็น 0.0176 สามารถสรุปได้ว่าการดูดซับที่เป็นไปตามแบบจำลองการดูดซับของ Langmuir ซึ่งมีผลการทดลองสอดคล้องกับ Q.Yang และคณะ (2018) ที่ได้ศึกษาการกำจัดฟอสเฟตโดยใช้ถ่านชีวภาพที่ได้มาจากกากตะกอนน้ำเสียปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เหล็กที่แตกต่างกัน ผลการทดลองเป็นไปตามแบบจำลองการดูดซับของ Langmuir เช่นกัน

#### 4.6.2 สมการการดูดซับของ Freundlich

สมการการดูดซับของ Freundlich มีสมมติฐานว่าการดูดซับเกิดขึ้นที่ตำแหน่งของพื้นผิว มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) พื้นผิวดูดซับขรุขระ การดูดซับเกิดขึ้นได้ทั้งกลไกทางกายภาพและเคมี การดูดซับเกิดขึ้นได้หลายชั้น พื้นผิวและพลังงานในการดูดซับจะมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสีย้อมที่สภาวะสมดุล

สมการการดูดซับของ Freundlich คือ

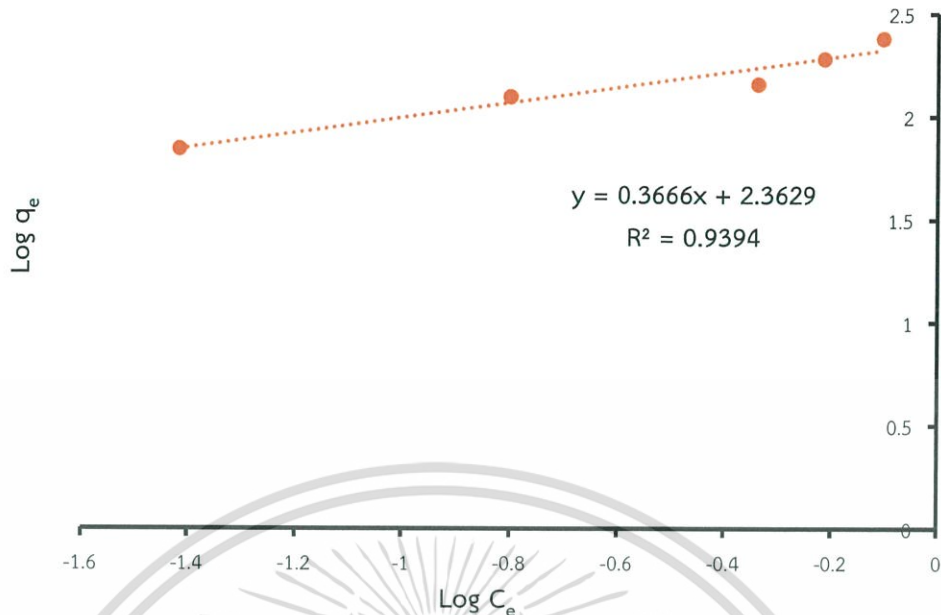
$$\text{Log } q_e = \text{Log } K_F \frac{1}{n \log C_e}$$

โดย  $K_F$  = ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น (ลิตรต่อกรัม)

$\frac{1}{n}$  = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายนำผล

การทดลองมาคำนวณโดยใช้สมการการดูดซับของ Freundlich และเขียนกราฟระหว่าง  $\text{Log } C_e$  กับ  $\text{Log } q_e$  ได้ดังรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Log  $q_e$  กับ Log  $C_e$

จากกราฟจะได้ความชัน (Slope) = 0.3666 และจุดตัดแกน y = 2.3629 สามารถหาค่าคงที่  $\frac{1}{n}$  และ  $K_F$  ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความชัน} &= \frac{1}{n} \\ 0.3666 &= \frac{1}{n} \\ \text{จุดตัดแกน y} &= \log K_F \\ 2.3629 &= \log K_F \\ K_F &= 230.6216 \text{ ลิตรต่อกรัม} \end{aligned}$$

ผลการทดลองครั้งนี้มีค่า  $\frac{1}{n}$  เท่ากับ 0.3666 และมีค่า  $K_F$  เท่ากับ 230.6216 ลิตรต่อกรัม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ เสาวภา (2558) ที่ศึกษาการดูดซับฟอสเฟตด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) จากเปลือกไข่เผาพบว่ามีค่า  $\frac{1}{n}$  เท่ากับ 0.2067 และมีค่า  $K_F$  เท่ากับ 167.7200 ลิตรต่อกรัม

#### 4.6.3 สมการการดูดซับของ Temkin

สมการการดูดซับของ Temkin จะแตกต่างจากของ Langmuir และ Freundlich ซึ่งไอโซเทอรั่มการดูดซับของ Temkin สามารถนำไปใช้ได้กับการดูดซับทางเคมี เนื่องจากในสมการจะพิจารณาถึงพลังงานกระตุ้นของตัวดูดซับไอโซเทอรั่มนี้มีสมมติฐานว่าพลังงานการดูดซับจะลดลงเป็นเส้นตรงเมื่อปริมาณผิวหน้าของตัวดูดซับถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับ (adsorbent adsorbate interactions)

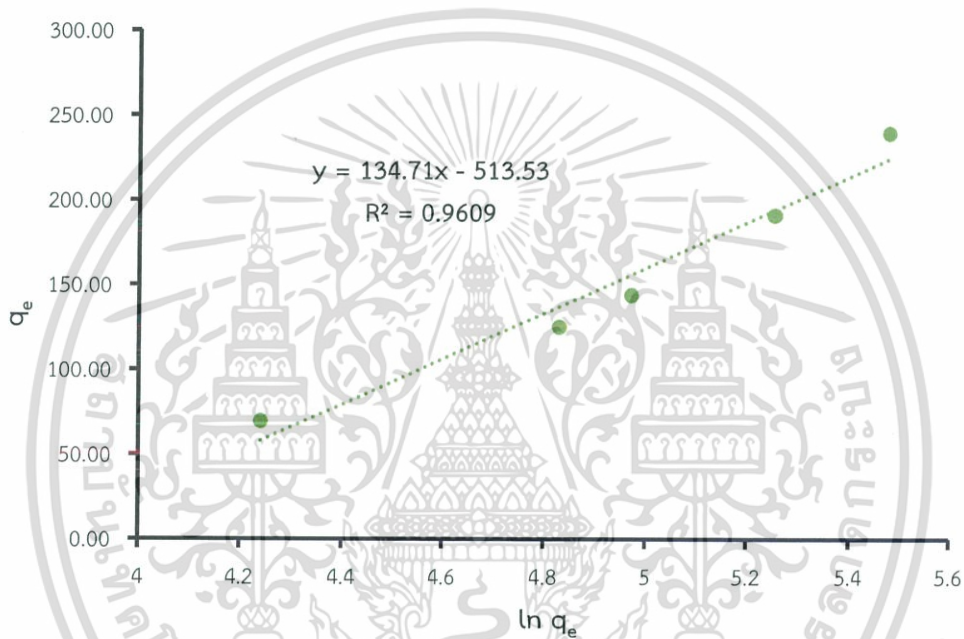
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ว่าห้ามการใช้นามเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สมการการดูดซับของ Temkin คือ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_e = \frac{RT}{b_0} \ln A + \frac{RT}{b_0} \ln C_e$$

โดย  $b_0$  = ค่าคงที่ Temkin ซึ่งสัมพันธ์กับความร้อนของการดูดซับ (จูลต่อโมล)

$A$  = ค่าคงที่สมดุลของการยึดเกาะ (ลิตรต่อกรัม) ซึ่งสอดคล้องกับพลังงานยึดเกาะสูงสุด (maximum binding energy)

นำผลการทดลองมาคำนวณโดยใช้สมการการดูดซับของ Temkin และเขียนกราฟระหว่าง  $q_e$  และ  $\ln q_e$  ได้ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $q_e$  กับ  $\ln C_e$

จากกราฟจะได้ความชัน (Slope) = 134.71 และจุดตัดแกน  $y = -513.53$  สามารถหาค่าคงที่  $b_0$  และ  $A$  ได้ดังนี้

$$\text{ความชัน} = \frac{RT}{b_0}$$

$$134.71 = \frac{RT}{b_0}$$

$$b_0 = 0.0189 \text{ จูลต่อโมล}$$

$$\text{จุดตัดแกน } y = \frac{RT}{b_0} \ln A$$

$$-513.53 = 134.71 \ln A$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \ln A &= -3.8121 \\ A &= 0.0221 \text{ ลิตรต่อกรัม} \end{aligned}$$

ผลการทดลองครั้งนี้มีค่า  $b_0$  เท่ากับ 0.0189 จูลต่อโมล และมีค่า  $A$  เท่ากับ 0.0221 ลิตรต่อกรัม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Cleide และคณะ, (2018) ที่ศึกษากลไกที่เกี่ยวข้องในการดูดซับ Pb (II) กับ Lobeira fruit (*Solanum lycocarpum*) โดยค่า  $b_0$  มีค่าเท่ากับ 0.20 จูลต่อโมล และค่า  $A$  เท่ากับ 0.38 ลิตรต่อกรัม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง

#### 4.6.4 สมการการดูดซับของ Dubinin radushkevich

สมการการดูดซับของ Dubinin radushkevich ไอโซเทอร์มได้เสนอการดูดซับเพื่อประเมินกลไกการดูดซับของตัวดูดซับ เป็นการดูดซับทางเคมีหรือทางกายภาพที่เกิดบนผิวของตัวดูดซับที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous)

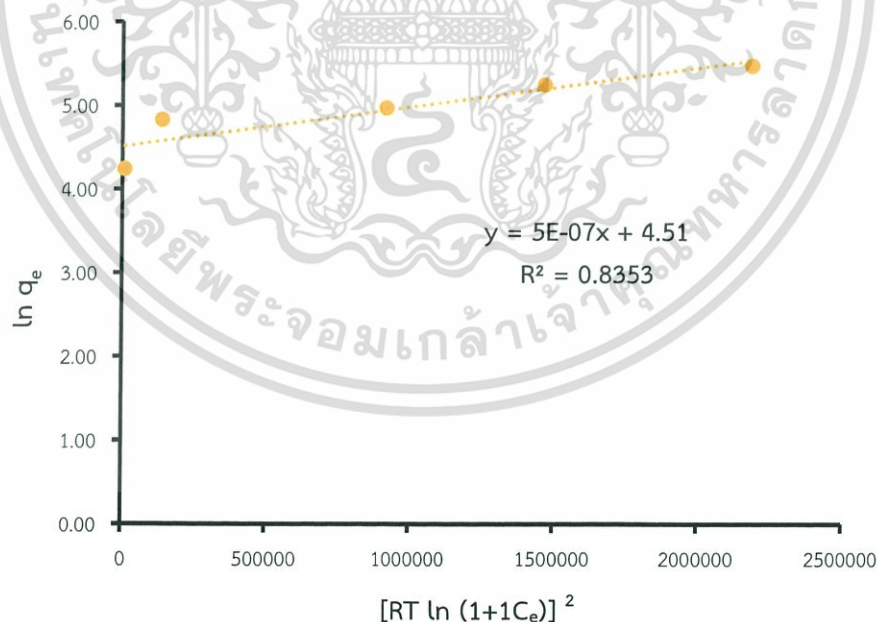
สมการการดูดซับของ Dubinin radushkevich คือ

$$\ln q_e = \ln q_D - K_{DR} [RT \ln (1+1C_e)]^2$$

โดย  $q_D$  = ปริมาณการดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$K_{DR}$  = ค่าคงที่การดูดซับของ Dubinin-Radushkevich ( $\text{mol}^2/\text{kJ}^2$ ) ซึ่งสัมพันธ์กับพลังอิสระการดูดซับเฉลี่ยต่อสารที่ถูกดูดซับ 1 โมล

นำผลการทดลองมาคำนวณโดยใช้สมการการดูดซับของ Dubinin radushkevich และเขียนกราฟระหว่าง  $\ln q_e$  และ  $[RT \ln (1+1C_e)]^2$  ได้ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln q_e$  กับ  $[RT \ln (1+1C_e)]^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะได้ความชัน (Slope) =  $5.0 \times 10^{-7}$  และจุดตัดแกน  $y = 4.51$  สามารถหาค่าคงที่  $E$  และ  $q_D$  ได้ดังนี้

$$\text{ความชัน} = K_{DR} = 5.0 \times 10^{-7}$$

$$E = \frac{1}{(2K_{DR})^{\frac{1}{2}}}$$

$$E = \frac{1}{(2(5.0 \times 10^{-7}))^{\frac{1}{2}}}$$

$$E = 1.0$$

$$\text{จุดตัดแกน } y = \ln q_D = 4.51$$

$$4.51 = \ln q_D$$

$$q_D = 90.9218$$

ในการคำนวณพลังงานอิสระจากไอโซเทอร์มการดูดซับของ D-R เมื่อได้ค่า  $E$  ระหว่าง 8-16 กิโลจูลต่อโมล จะเป็นกลไกการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนไอออน,  $E < 8$  กิโลจูลต่อโมล จะเป็นกลไกการดูดซับทางกายภาพ และเมื่อ  $E > 16$  กิโลจูลต่อโมล จะเป็นกลไกการดูดซับทางเคมี จากผลการทดลองที่ได้คือค่า  $E$  เท่ากับ 1.0 กิโลจูลต่อโมล เป็นกลไกการดูดซับทางกายภาพ Sumanjit และคณะ (2015) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของพื้นที่ผิวของดอกฝักตบชวาโดยใช้สารลดแรงตึงผิวไอออนบวกได้ค่า  $E$  เท่ากับ 0.75 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งแสดงถึงการดูดซับทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับของ Langmuir, Freundlich, Temkin และ D-R สำหรับการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์

Isotherms	Room Temp
<b>Langmuir isotherm</b>	
$q_{\max}$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	256.4103
$K_L$ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)	5.5714
$R_L$	0.0176
$R^2$	0.8779
<b>Freundlich isotherm</b>	
$K_F$ (ลิตรต่อกรัม)	230.6216
$\frac{1}{n}$	0.3666
$R^2$	0.9394
<b>Temkin isotherm</b>	
$b_0$ (จูลต่อโมล)	0.0189
$A$ (ลิตรต่อกรัม)	0.0221
$R^2$	0.9609
<b>Dubinin-Radushkevich isotherm</b>	
$K_{Dr}$	$5.0 \times 10^{-7}$
$q_D$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	90.9218
$E$ (กิโลจูลต่อโมล)	1.0
$R^2$	0.8353

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ของสมการแบบจำลองการดูดซับของ Langmuir และสมการแบบจำลองการดูดซับของ Freundlich จากตารางที่ 4.2 พบว่า จากสมการแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของ Freundlich มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เข้าใกล้ 1 มากกว่าสมการแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของ Langmuir ดังนั้นแสดงว่าการดูดซับของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ มีพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด มีลักษณะขรุขระ พื้นผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง ใช้นี้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ ไอโซเทอร์มแบบ Freundlich เป็นไอโซเทอร์มที่พัฒนาจากไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ที่เกิดบนผิวหน้าไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น

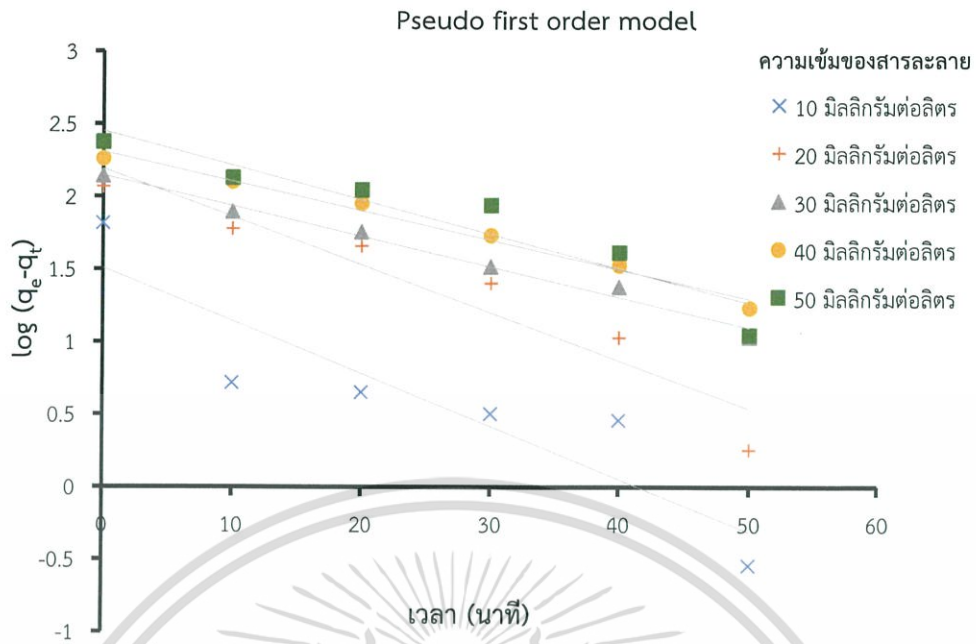
(Multilayer) ซึ่งสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของ Dubinin radushkevich เนื่องจากไอโซเทอร์มนี้ได้เสนอการดูดซับเพื่อประเมินกลไกการดูดซับของตัวดูดซับ ซึ่งเป็นได้ทั้งการดูดซับทางเคมีหรือทางกายภาพ ที่เกิดบนผิวของตัวดูดซับที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) และค่าพลังงานดูดซับอิสระ (E) สามารถบ่งบอกกลไกของการดูดซับได้ ถ้าหากค่า  $E = 8-16$  กิโลจูลต่อโมล เป็นกระบวนการดูดซับโดยการแลกเปลี่ยนไอออนทางเคมี ถ้าค่า  $E < 8$  กิโลจูลต่อโมล จะเป็นกลไกการดูดซับทางกายภาพ และถ้าค่า  $E > 16$  กิโลจูลต่อโมล จะเป็นกลไกการดูดซับทางเคมี ดังนั้นในการทดลองนี้ การดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ เป็นกลไกการดูดซับทางกายภาพ เพราะผลการทดลองพบว่า มีค่า E น้อยกว่า 8 กิโลจูลต่อโมล

#### 4.7 จลนศาสตร์ของการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน

ทำการศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน โดยแปรผันความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต และอุณหภูมิในการดูดซับใช้แบบจำลองในการพิจารณา 4 แบบ คือ แบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (Pseudo first order model), แบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง (Pseudo second order model), สมการของ Elovich และการแพร่ภายในสารดูดซับ (Intra particle diffusion) ผลการศึกษาแสดงได้ดังนี้

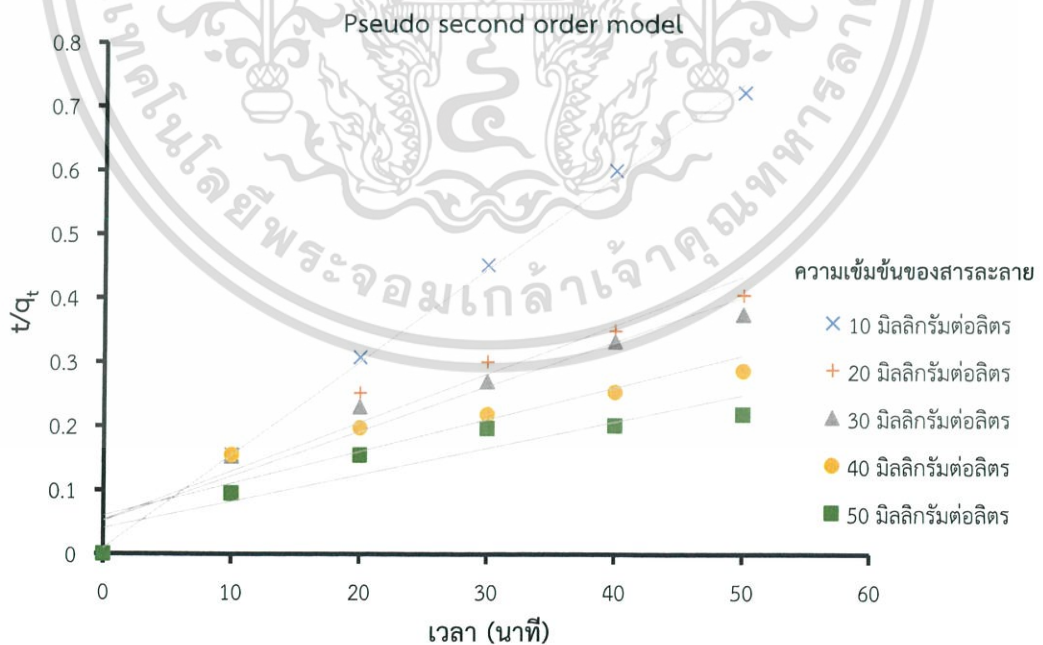
##### 4.7.1 แปรผันความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอสเฟตตั้งที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่เวลาต่างๆ ( $q_t$ ) และความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุล ( $q_e$ ) ซึ่งหาได้จากการดูดซับที่เวลาที่ให้ค่าการดูดซับสูงที่สุดกับเวลา มาแทนค่าในแบบจำลองการดูดซับอันดับหนึ่งจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุลลบความสามารถในการดูดซับที่เวลาต่างๆ  $\log(q_e - q_t)$  กับเวลา (t) แสดงได้ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แบบจำลองการดูดซับอันดับหนึ่ง (Pseudo first order model)

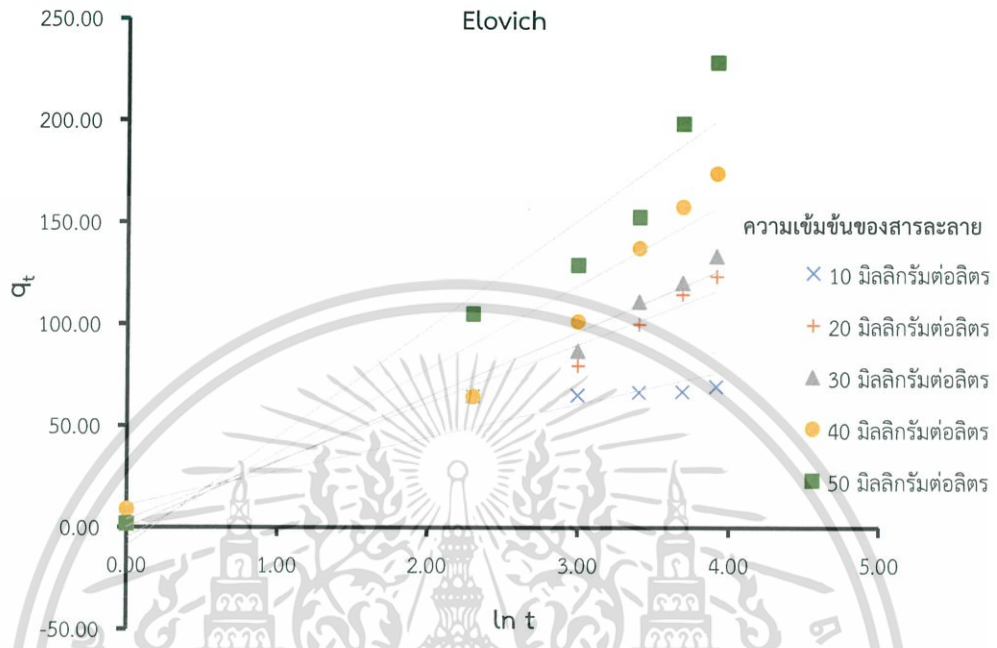
เมื่อนำค่าความสามารถในการดูดซับและเวลามาแทนค่าในแบบจำลองการดูดซับอันดับสอง จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อความสามารถในการดูดซับที่เวลาต่างๆ ( $\frac{t}{q_t}$ ) กับเวลา ( $t$ ) แสดงได้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แบบจำลองการดูดซับอันดับสอง (Pseudo second order model)

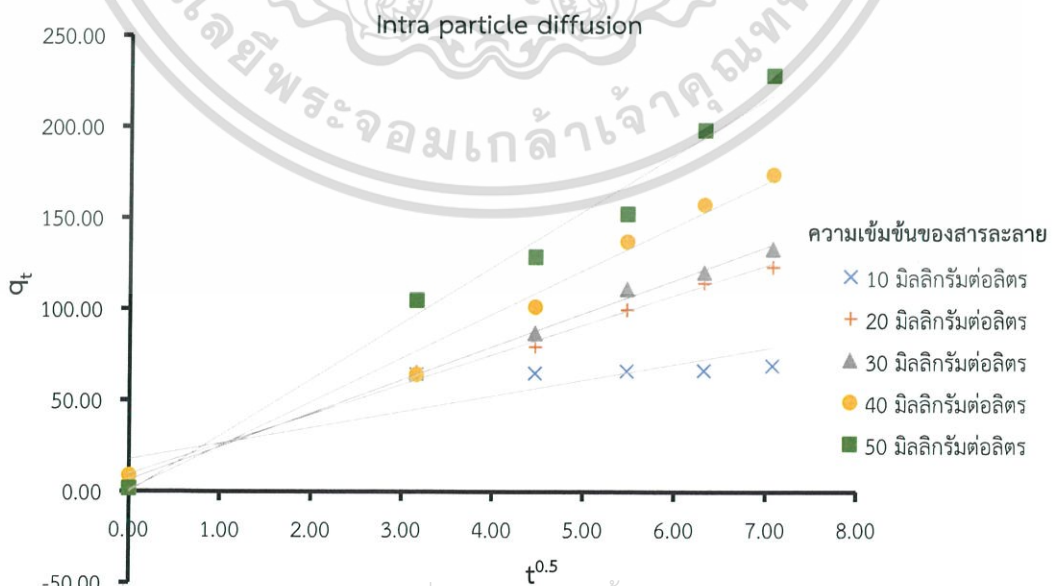
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าความสามารถในการดูดซับและเวลามาแทนค่าในสมการของ Elovich จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อความสามารถในการดูดซับที่เวลาต่างๆ ( $q_t$ ) กับเวลา ( $\ln t$ ) แสดงได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 สมการของ Elovich

เมื่อนำค่าความสามารถในการดูดซับและเวลามาแทนค่าในสมการแพร่ภายในสารดูดซับ (Intra particle diffusion) จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อความสามารถในการดูดซับที่เวลาต่างๆ ( $q_t$ ) กับ  $(t^{0.5})$  แสดงได้ดังรูปที่ 4.22

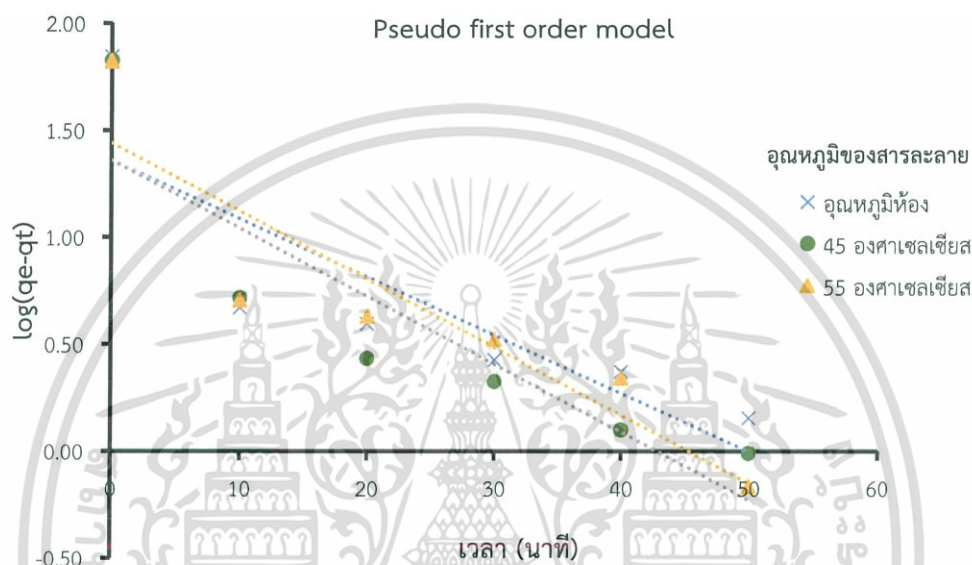


รูปที่ 4.22 การแพร่ภายในสารดูดซับ (Intra particle diffusion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

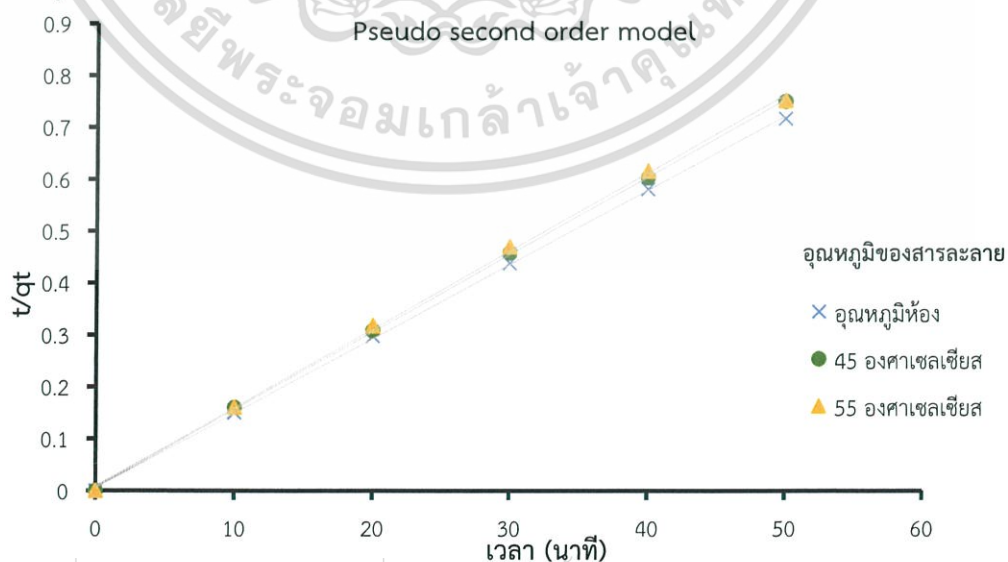
#### 4.7.2 แปรผันอุณหภูมิจากสารละลายฟอสเฟตดังนี้ อุณหภูมิห้อง, 45 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส

จากความสามารถในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ที่เวลาต่างๆ ( $q_t$ ) และความสามารถในการดูดซับที่สภาวะ ( $q_e$ ) ซึ่งหาได้จากการดูดซับที่เวลาทำให้ค่าการดูดซับสูงสุดกับเวลามาแทนค่าในแบบจำลองการดูดซับอันดับหนึ่ง จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุลลบความสามารถในการดูดซับที่เวลาต่างๆ  $\{\text{Log}(q_e - q_t)\}$  กับเวลา ( $t$ ) แสดงได้ดังรูป 4.23



รูปที่ 4.23 แบบจำลองการดูดซับอันดับหนึ่ง (Pseudo first order model)

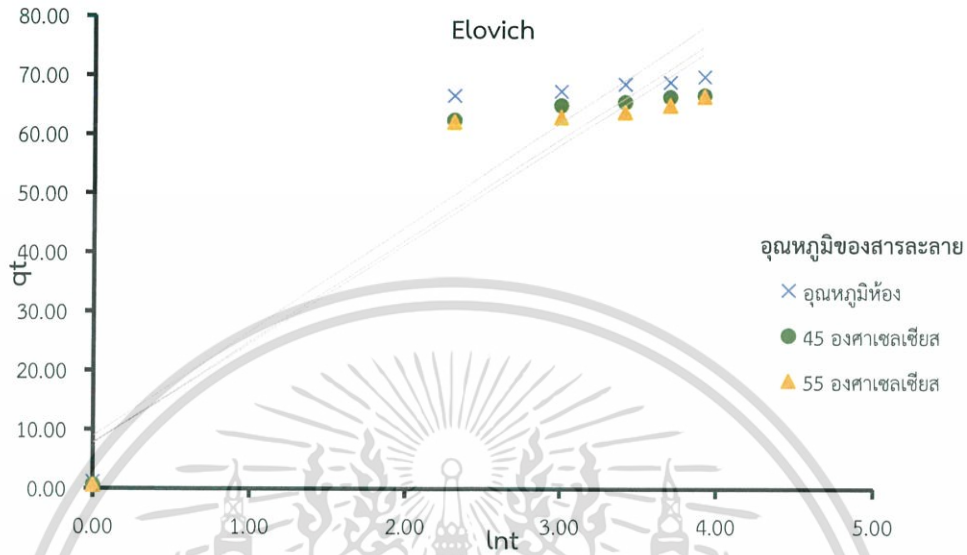
เมื่อนำค่าความสามารถในการดูดซับและเวลามาแทนค่าในแบบจำลองการดูดซับอันดับสอง จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อความสามารถในการดูดซับที่เวลาต่างๆ ( $\frac{t}{q_t}$ ) กับเวลา ( $t$ ) แสดงได้ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แบบจำลองการดูดซับอันดับสอง (Pseudo second order model)

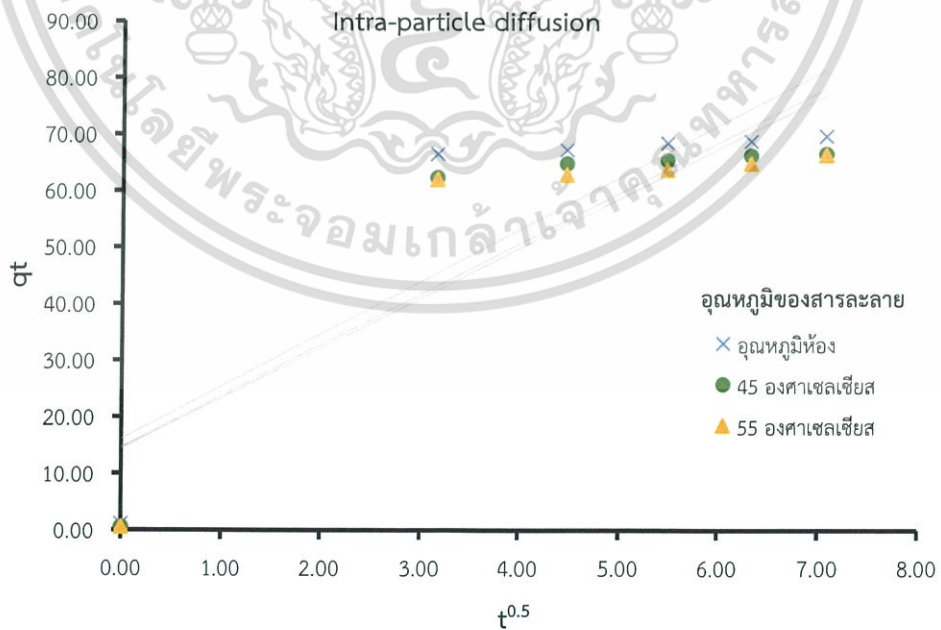
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าความสามารถในการดูดซับและเวลามาแทนค่าในสมการของ Elovich จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อความสามารถในการดูดซับที่เวลาต่างๆ ( $q_t$ ) กับเวลา ( $\ln t$ ) แสดงได้ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 สมการของ Elovich

เมื่อนำค่าความสามารถในการดูดซับและเวลามาแทนค่าในสมการแพร่ภายในสารดูดซับ (Intra-particle diffusion) จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อความสามารถในการดูดซับที่เวลาต่างๆ ( $q_t$ ) กับ ( $t^{0.5}$ ) แสดงได้ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 การแพร่ภายในสารดูดซับ (Intra particle diffusion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การใช้นามของวารสารของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (Pseudo first order model) อธิบายได้ว่า หากสารตั้งต้นตัวใดตัวหนึ่งในปฏิกิริยามีปริมาณมากเกินไปพอการเกิดปฏิกิริยาจะถือว่าความเข้มข้นของสารนั้นคงที่ตลอดเวลา แสดงให้เห็นว่าการถ่ายโอนมวลผ่านพื้นที่ผิวภายนอกมีขอบเขตอย่างจำกัด สมการตามแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเป็นดังนี้

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log } q_e - \left(\frac{k_1}{2.303}\right)t$$

โดย  $K_1$  = ค่าคงที่อัตราสำหรับแบบจำลองการดูดซับอันดับหนึ่ง (หนึ่งต่อนาที)  
เมื่อพล็อตกราฟ ความชันของกราฟจะมีค่าเท่ากับ  $\frac{k_1}{2.303}$  และจุดตัดแกน  $y$  มีค่าเท่ากับ  $\text{Log } q_e$

แบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง (Pseudo second order model) อธิบายได้ว่าการดูดซับเกิดจากแรงทางเคมี ที่เกิดจากการให้อิเล็กตรอนร่วมกันหรือแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาระหว่างพื้นที่ผิวตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นไปอย่างจำกัด

สมการตามแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสองเป็นดังนี้

$$\frac{1}{q_t} = \left[\frac{1}{k_2} q_e^{-2}\right] + \left[\frac{1}{q_e}\right]t$$

โดย  $K_2$  = ค่าคงที่อัตราสำหรับแบบจำลองการดูดซับอันดับสอง (กรัมต่อมิลลิกรัม นาที)  
เมื่อพล็อตกราฟ ความชันของกราฟจะมีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{q_e}$  และจุดตัดแกน  $y$  มีค่าเท่ากับ  $\left[\frac{1}{k_2} q_e^{-2}\right]$

แบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาของ Elovich อธิบายการดูดซับทางเคมี ซึ่งสมการนี้เหมาะสำหรับการพิจารณาการดูดซับที่พื้นที่ผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

สมการตามแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาของ Elovich เป็นดังนี้

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$$

โดย  $\alpha$  = อัตราเร็วในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม นาที)

$\beta$  = สัมประสิทธิ์ของการคายซับ (กรัมต่อมิลลิกรัม)

เมื่อพล็อตกราฟ ความชันของกราฟจะมีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{\beta}$  และจุดตัดแกน  $y$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta)$

แบบจำลองการแพร่ภายในสารดูดซับ (Intra particle diffusion) อธิบายถึงอัตราเร็วของการแพร่ของสารเข้าไปในรูพรุน

สมการตามแบบจำลองการแพร่ภายในสารดูดซับ เป็นดังนี้

$$q_t = k_{id}(t)^{\frac{1}{2}} + C$$

โดย  $k_{id}$  = ค่าคงที่อัตราเร็วในการดูดซับของการแพร่ภายในรูพรุน (มิลลิกรัมต่อกรัม นาที)

เมื่อพล็อตกราฟ ความชันของกราฟจะมีค่าเท่ากับ  $k_{id}$  และจุดตัดแกน  $y$  มีค่าเท่ากับ  $C$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคงที่ของแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (Pseudo first order), การเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง (Pseudo second order), สมการของ Elovich และการแพร่ภายในสารดูดซับ (Intra particle diffusion) ซึ่งคำนวณได้จากค่าความชันและจุดตัดแกน y ของกราฟที่ 4.19-4.26 สามารถสรุปและแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ของแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (Pseudo first order), การเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง (Pseudo second order), สมการของ Elovich และการแพร่ภายในสารดูดซับ (Intra particle diffusion)

	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)					อุณหภูมิ (เซลเซียส)		
	10	20	30	40	50	33	45	55
Pseudo first order								
$K_1$ (หนึ่งต่อนาที)	-0.0838	-0.0762	-0.0484	-0.0468	0.0546	-0.0626	-0.0732	-0.0732
$q_e$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	32.33	155.67	139.73	203.19	282.49	22.82	22.98	27.54
$R^2$	0.8168	0.9116	0.9853	0.9857	0.8931	0.7202	0.7931	0.8233
Pseudo second order								
$K_2$ (กรัมต่อมิลลิกรัม นาที)	0.0224	0.0076	0.0069	0.005	0.0042	0.0365	0.0347	0.0245
$q_e$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	68.97	131.58	142.86	200.00	238.10	69.93	67.11	66.26
$R^2$	0.9987	0.9372	0.9358	0.8509	0.8655	0.9997	0.9998	0.9991
Elovich								
$\alpha$ (มิลลิกรัมต่อกรัม นาที)	75.8601	57918.9252	$9.8064 \times 10^{82}$	0.0103	0.1429	128.750	155.847	150.911
$B$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	0.0603	0.0348	0.0312	0.0242	0.0188	0.0565	0.0583	0.0594
$R^2$	0.8855	0.9746	0.9771	0.9190	0.9366	0.8744	0.8842	0.8838
Intra particle diffusion								
$K_{id}$ (มิลลิกรัมต่อกรัม นาที)	8.6982	16.3690	18.2600	24.1090	30.811	9.2463	8.9756	8.8344
$R^2$	0.766	0.9962	0.9969	0.9832	0.9834	0.7493	0.7605	0.7632

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ( $R^2$ ) พบว่าแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง (Pseudo second order) ของการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตต่างกันและที่อุณหภูมิแตกต่างกัน มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เข้าใกล้ 1 มากกว่าแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (Pseudo first order) การดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้เป็นแม่เหล็กสังเคราะห์จึงมีความสอดคล้องกับแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง ซึ่งผลการทดลองได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Q.Yang และคณะ, (2018) ที่ได้ศึกษาการกำจัดฟอสเฟตโดยใช้ถ่านชีวภาพที่ได้มาจากกากตะกอนน้ำเสียปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เหล็กที่แตกต่างกัน ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสองเช่นกัน จากแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง อธิบายได้ว่าเป็นการดูดซับทางเคมี เกิดจากการแลกเปลี่ยนไอออนทางเคมีหรือการใช้อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกันของพื้นผิวถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนและโมเลกุลของฟอสเฟต เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอสเฟต ค่า  $K_2$  จะลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอสเฟตมากขึ้นจะมีค่าความสามารถในการดูดซับที่สภาวะอิ่มตัว ( $q_e$ ) เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อค่าความสามารถในการดูดซับที่สภาวะอิ่มตัวมีค่าสูงขึ้นจึงต้องใช้เวลาเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวมากขึ้น ทำให้ค่าคงที่อัตราเร็วในการดูดซับมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายฟอสเฟตมากขึ้น ค่า  $K_2$  จะลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิมิผลทำให้โมเลกุลของฟอสเฟตมีโอกาสเกิดการดูดซับได้ลดลง เพราะกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นนี้ จะเป็นลักษณะของการคายความร้อน (Exothermic) การดูดซับนี้จึงเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ (Oubagaranadin และคณะ, 2014) งานวิจัยของ Q.Yang และคณะ, (2018) ที่ได้ศึกษาการกำจัดฟอสเฟตโดยใช้ถ่านชีวภาพที่ได้มาจากกากตะกอนน้ำเสียปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เหล็กที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เป็นไปตามแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง และค่า  $K_2$  มีค่าเท่ากับ 0.018 กรัมต่อมิลลิกรัม นาที ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้

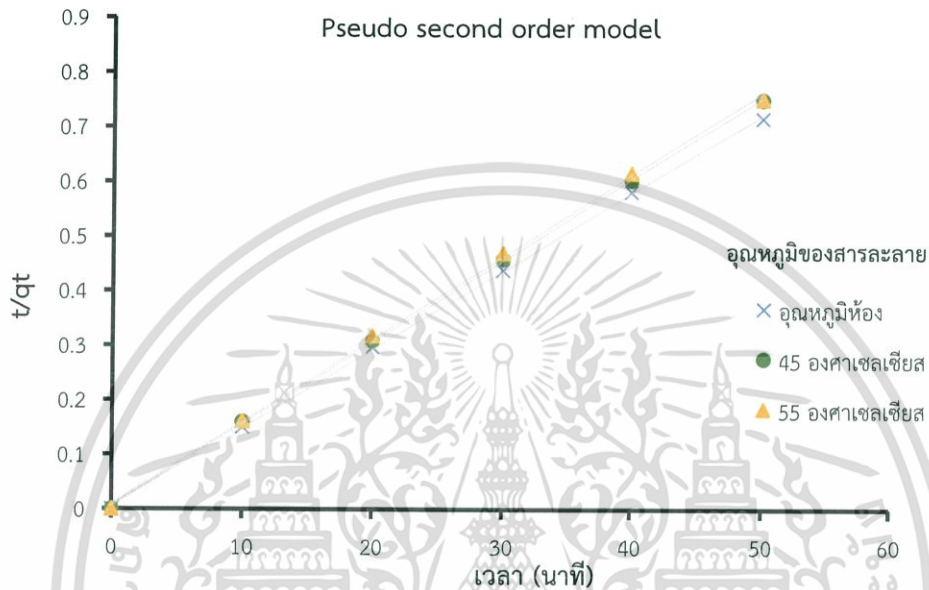
จากสมการของ Elovich ค่าคงที่ที่ได้จากผลการทดลองสอดคล้องกับวิจัยของ Samera Salimpour Abkenar และคณะ, 2015 ได้ศึกษาการดูดซับแคดเมียมด้วยถ่านที่ได้มาจากผักตบชวา ผลการศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับด้วยสมการของ Elovich ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการคายซับ (b) เท่ากับ 56.734 มิลลิกรัมต่อกรัม และอัตราเร็วในการดูดซับ (a) เท่ากับ 1.26 กรัมต่อมิลลิกรัม นาที ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลอง

สำหรับสมการการแพร่ภายในสารดูดซับ (Intra particle diffusion) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ( $R^2$ ) มีค่าไม่สูงนักจึงอาจไม่เป็นสมการที่ดีที่สุดที่จะอธิบายจลนศาสตร์ของการดูดซับได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 พลังงานกระตุ้นของการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์

จากแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง (Pseudo second order model) ทำให้สามารถหาค่าคงที่อัตราเร็วในการดูดซับที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 33, 45 และ 55 องศาเซลเซียส ได้ดังรูปที่ 4.27 และตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.27 แบบจำลองการดูดซับอันดับสอง (Pseudo second order model) ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.4 ค่าคงที่อัตราเร็วในการดูดซับฟอสเฟตที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่อัตราเร็ว ( $k_2$ ) (กรัมต่อมิลลิกรัม นาที)	$R^2$
33	0.0365	0.9997
45	0.0347	0.9998
55	0.0245	0.9991

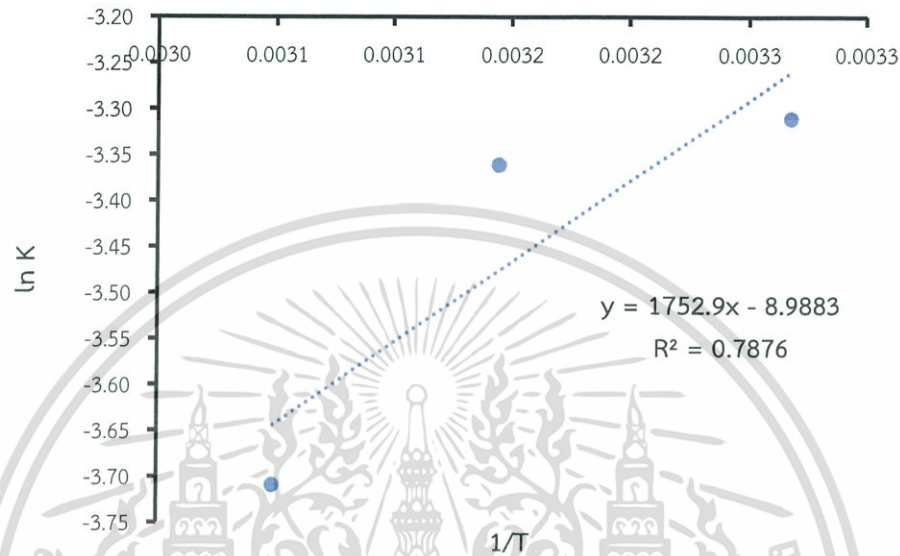
จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 33 องศาเซลเซียสไปเป็น 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีค่าคงที่อัตราเร็วในการดูดซับลดลงดังนี้ 0.0365, 0.0347 และ 0.0245 กรัมต่อมิลลิกรัม นาที ตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้การดูดซับลดลงเนื่องจากกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นนี้ เป็นลักษณะของการคายความร้อน (Exothermic) การดูดซับนี้จึงเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ (Oubagaranadin และคณะ, 2014)

จากสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  

$$\ln K = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ความชันของกราฟ คือ  $-\frac{Ea}{R}$  และจุดตัดแกน  $y$  คือ  $\ln A$   
 เมื่อทำการพลอตกราฟระหว่างล็อกการีที่มธรรมชาติของค่าคงที่อัตราเร็ว ( $\ln k$ ) และหนึ่งส่วนอุณหภูมิต่อหน่วย ( $\frac{1}{T}$ ) ทำให้สามารถหาค่าพลังงานกระตุ้น ( $Ea$ ) ได้



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการอาร์เรเนียส

จากรูปที่ 4.28 พบว่าค่าพลังงานกระตุ้นของการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนมีค่าเท่ากับ  $-14.5736$  กิโลจูลต่อโมล ซึ่งพลังงานกระตุ้นเป็นพลังงานที่น้อยที่สุดที่อุณหภูมิของสารจะต้องได้รับเพิ่มเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ ซึ่งพลังงานกระตุ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิของสารเคลื่อนที่เร็วขึ้นเนื่องจากได้รับพลังงานมากขึ้น อุณหภูมิชนกันในตำแหน่งที่เหมาะสมมากขึ้น ทำให้มีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี โดยปฏิกิริยาเคมีที่ต้องใช้พลังงานกระตุ้นมากเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ยาก แต่ปฏิกิริยาที่ใช้พลังงานกระตุ้นน้อยเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ง่าย ค่าพลังงานกระตุ้น ( $Ea$ ) สามารถบ่งบอกกลไกการดูดซับได้ ถ้าหากค่า  $Ea$  อยู่ในช่วง 5-50 กิโลจูลต่อโมล เป็นกลไกการดูดซับทางกายภาพ และถ้าค่า  $Ea$  อยู่ในช่วง 60-800 กิโลจูลต่อโมล จะเป็นกลไกการดูดซับทางเคมี (Fatih Deniz, 2011) ดังนั้นในการทดลองนี้ การดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนเป็นกลไกการดูดซับทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.9 อุณหพลศาสตร์ของการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์

การศึกษาการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ เมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.000 กรัม และใช้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ปริมาตร 200 มิลลิลิตร และใช้ความเข้มข้นของสารละลาย 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง ค่าอุณหพลศาสตร์ที่ใช้ในศึกษา ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของการดูดซับ ( $\Delta H^0$ ) การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการดูดซับ ( $\Delta S^0$ ) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ ( $\Delta G^0$ )

##### 4.9.1 ค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ( $\Delta H^0$ ) ของการดูดซับฟอสเฟต

การคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี สามารถหาค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ ( $K_c$ ) คำนวณได้จากสมการ

$$K_c = \frac{q_e}{C_e}$$

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^0}{R} - \frac{\Delta H^0}{RT}$$

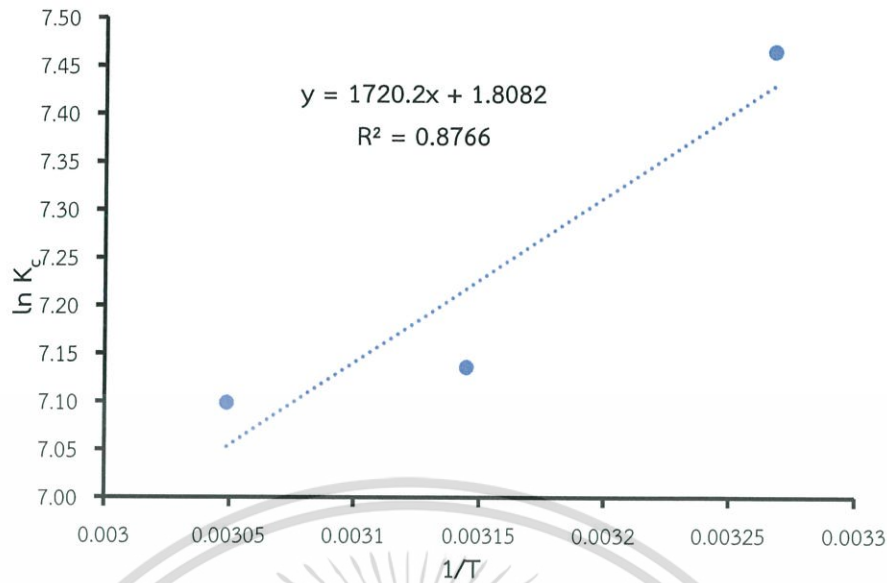
ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 33, 45 และ 55 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ ( $K_c$ )
33	1746.92
45	1256.50
55	1210.47

เมื่อนำผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ในช่วง 33, 45 และ 55 องศาเซลเซียส ของการดูดซับฟอสเฟต ความเข้มข้นของสารละลาย เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln K_c$  กับ  $\frac{1}{T}$  จะได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชัน เท่ากับ  $-\frac{\Delta H^0}{R}$  และจุดตัดแกนตั้งเท่ากับ  $\frac{\Delta S^0}{R}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการแวนฮอฟฟ์

จากความชันที่ได้จากสมการของแวนฮอฟฟ์ จะได้ค่าเอนทัลปีมาตรฐาน ( $\Delta H^0$ ) เท่ากับ  $-14.30$  กิโลจูลต่อโมล จะเห็นได้ว่าค่าเอนทัลปีมาตรฐานมีค่าเป็นลบ ( $\Delta H^0 = \text{ลบ}$ ) แสดงว่าการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์เป็นการดูดซับแบบคายความร้อน คือ เมื่ออุณหภูมิในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ลดลง และเมื่ออุณหภูมิในการดูดซับน้อยลงจะทำให้การดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้น จากงานวิจัยของ Giwa, (2013) ได้ศึกษาเทอร์โมไดนามิกของการกำจัดสีย้อมเบสิดโดยใช้แฉงโมโน Binary จากผลการทดลอง ค่า  $\Delta H^0$  เท่ากับ  $-14.82$  กิโลจูลต่อโมลชี้ให้เห็นว่าผลการดูดซับที่ได้เป็นการคายความร้อนในธรรมชาติ และจะดูดซับได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

#### 4.9.2 ค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี ( $\Delta S^0$ ) ของการดูดซับฟอสเฟต

จากจุดตัดแกนตั้งที่ได้จากสมการของแวนฮอฟฟ์เท่ากับ  $\frac{\Delta S^0}{R}$  ได้ค่าเอนโทรปีของการดูดซับ ( $\Delta S^0$ ) เท่ากับ  $15.0333$  จูลต่อโมล.เคลวิน โดยทั่วไปค่าเอนโทรปีของการดูดซับบอถึงความไม่ระเบียบระหว่างตัวดูดซับ (Absorbent) และตัวถูกดูดซับ (Absorbate) โดยที่ถ้าค่าเอนโทรปีมีค่าเป็นบวก ( $\Delta S^0 = \text{บวก}$ ) แสดงว่ามีความไม่ระเบียบระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมาก บอถึงมีการเกิดพันธะหรือมีแรงกระทำต่อกันระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ แต่ถ้าค่าเอนโทรปีมีค่าเป็นลบ ( $\Delta S^0 = \text{ลบ}$ ) แสดงว่ามีความไม่ระเบียบระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับน้อย บอถึงไม่มีการเกิดพันธะหรือไม่มีแรงกระทำต่อกันระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ จากนั้นจากค่าเอนโทรปีที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวก แสดงว่า โมเลกุลของฟอสเฟตเกิดพันธะต่อกันระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ซึ่งมีความตติแน่นของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ Sumanjit และคณะ (2015) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของพื้นที่ผิวของดอกผักตบชวาโดยใช้สารลดแรงตึงผิวไอออนบวก ผลการทดลองได้ค่า  $\Delta S^0$  เท่ากับ  $108.4$  จูลต่อโมล.เคลวิน บอถึงมีการเกิดพันธะหรือมีแรงกระทำต่อกันระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้

4.9.3 ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ ( $\Delta G^0$ ) ของการดูดซับฟอสเฟต จากค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ( $\Delta H^0$ ) และค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการดูดซับ ( $\Delta S^0$ ) นำมาแทนค่าในสมการ

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$$

ค่าพลังงานอิสระมาตรฐาน ( $\Delta G^0$ ) ของการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 33, 45 และ 55 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ -14.3046, -14.3047 และ -14.3049 กิโลจูลต่อโมล ค่าพลังงานอิสระมาตรฐานที่ได้มีค่าลบ แสดงว่า โดยธรรมชาติแล้ว การดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์สามารถเกิดขึ้นได้เอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sengil และ Ozacar (2008) การดูดซับทองแดง (II) ทางชีวภาพจากสารละลายด้วยแทนนินจากยางของต้นมิโมซ่า (Mimosa) ได้ ค่า  $\Delta G^0$  เท่ากับ -2.47 กิโลจูลต่อโมล แสดงให้เห็นว่าการดูดซับสามารถเกิดได้เองในธรรมชาติ

ตารางที่ 4.6 ค่าคงที่ทางอุณหพลศาสตร์

$\Delta H^0$ (กิโลจูลต่อโมล)	$\Delta S^0$ (จูลต่อโมล.เคลวิน)	$\Delta G^0$ (กิโลจูลต่อโมล)		
		33 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส	55 องศาเซลเซียส
-14.30	0.015	-14.3046	-14.3047	-14.3049

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีพื้นผิวเรียบและมีลักษณะพื้นผิวที่ไม่มีระเบียบ แต่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ จะมีลักษณะพื้นผิวที่เหมือนมีสารเกาะติดอยู่
2. FTIR สเปกตรัมของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนทั้งปรับสภาพและไม่ได้ปรับสภาพมีลักษณะคล้ายกันโดยพบพีค  $C\equiv C$  Stretching, พีค  $C=O$  Stretching, พีค  $C=C$  Stretching และ พีค  $C-H$  Stretching แต่ ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับสภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์มีการเพิ่มขึ้นของพีคที่เลขคลื่น  $588.29\text{ cm}^{-1}$  ที่แสดงถึงการยึดของพันธะ  $Fe-O$
3. โครงสร้างของถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่ใช้วิธี X-ray Diffraction (XRD) analysis สอดคล้องกับพีคของการเลี้ยวเบนของ  $-Fe_2O_3$  (Standard) แสดงว่าโครงสร้างของถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนเป็นโครงสร้างของ  $-Fe_2O_3$
4. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์นั้นมีความสมบัติเป็นแม่เหล็ก เนื่องจากเมื่อทำการทดลองนำแม่เหล็กมาดูดถ่านชีวภาพซึ่งสามารถดูดติดได้กับแม่เหล็กขึ้นมาได้ จึงบ่งบอกได้ว่าถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพมีความสมบัติเป็นแม่เหล็ก



รูปที่ 5.1 ทดสอบความเป็นแม่เหล็กของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน

5. ถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนมีค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ ( $pH_{pzc}$ ) ที่  $pH$  5.40

6. การดูดซับฟอสเฟตในช่วง 10 นาทีแรก จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะค่อยๆ เกิดการดูดซับอย่างช้าๆ จนเข้าสู่สมดุลในช่วงเวลาที่ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟต (% removal) จะเพิ่มขึ้น แต่ค่าความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ ( $q_e$ ) จะลดลง
8. ความสามารถในการดูดซับสูงสุดที่สูดเมื่อน้ำเสียมีค่า pH เท่ากับ 3
9. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นสารละลายฟอสเฟต ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟต (% removal) จะลดลง แต่ค่าความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ ( $q_e$ ) จะเพิ่มขึ้น
10. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสารละลายฟอสเฟต ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟต (% removal) และค่าความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ ( $q_e$ ) จะลดลง
11. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟต (% removal) สูงกว่า ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ
12. การคายซับฟอสเฟตสูงสุดเมื่อน้ำกลั่นมีค่า pH เท่ากับ 6
13. การดูดซับในครั้งนี้เป็นไปตามสมการการดูดซับแบบ Freundlich โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9394 ค่า  $K_F$  เท่ากับ 230.6216 ลิตรต่อกรัม และ ค่า  $\frac{1}{n}$  เท่ากับ 0.3666 ซึ่งสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของ Dubinin-radushkevich เนื่องจากไอโซเทอร์มนี้ได้เสนอการดูดซับเพื่อประเมินกลไกการดูดซับของตัวดูดซับ ซึ่งเป็นได้ทั้งการดูดซับทางเคมีหรือทางกายภาพ ที่เกิดบนผิวของตัวดูดซับที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) จากสมการการดูดซับของ Dubinin radushkevich ค่า E ที่ได้บ่งบอกว่าเป็นการดูดซับทางกายภาพ
14. การดูดซับในครั้งนี้เป็นไปตามแบบจำลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอสเฟต ค่า  $K_2$  จะลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายฟอสเฟต ค่า  $K_2$  จะลดลง แสดงว่ากระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic)
15. ค่าพลังงานกระตุ้นของการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนมีค่าเท่ากับ -14.5736 กิโลจูลต่อโมล จึงเป็นการดูดซับทางกายภาพและสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ
16. ค่า  $\Delta H^0$  เท่ากับ -14.30 กิโลจูลต่อโมล แสดงให้เห็นว่าผลการดูดซับที่ได้เป็นการคายความร้อน
17.  $\Delta S^0$  มีค่าเป็นบวกคือเท่ากับ 0.015 จูลต่อโมล.เคลวิน โมเลกุลของฟอสเฟตเกิดพันธะต่อกันระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ซึ่งมีความติดแน่นของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวถูกดูดซับ
18.  $\Delta G^0$  เมื่อดูดซับฟอสเฟตที่อุณหภูมิ 33, 45 และ 55 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ -14.3046, -14.3047 และ -14.3049 กิโลจูลต่อโมล ค่าพลังงานอิสระมาตรฐานที่ได้มีค่าลบ แสดงว่าโดยธรรมชาติแล้ว การดูดซับฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์สามารถเกิดขึ้นได้ และเป็นการดูดซับทางกายภาพ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของตัวดูดซับด้วยสารปรับปรุงคุณภาพชนิดอื่นเพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับ

2. ควรนำไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจริงที่มีการปนเปื้อนของฟอสเฟต

3. ควรศึกษาการนำตัวดูดซับที่ใช้แล้วมาใช้ให้เป็นประโยชน์หรือทดสอบประสิทธิภาพของ

ตัวดูดซับว่าสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือไม่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- กุลธิดา สะอาด. 2557. “ประสิทธิภาพการดูดติดผิวไอออนทองแดงของถ่านชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ.” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- ธงชัย พรณสวัสดิ์. 2539. “แนวทางการลดปริมาณสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนจากการใช้สารซักฟอก.” Thai Environmental \Engineering Journal. 1(1): 39-43.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์. 2550. “ประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมในน้ำทิ้งโรงงานย้อมผ้าด้วยการใช้ตัวดูดซับถ่านลอยลิกไนต์ผสมดินเป็นวัสดุเพาะปลูกในระบบบำบัดแบบหมุนำกรองน้ำเสีย.” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นภดล ไชยคำ, พีรวรรณ พันธุมนาจิน และ ลัดดา ผดุงทรัพย์. 2542. เคมี.1, แมคกรอ-ฮิล, กรุงเทพฯ.
- ประรัชกรณ์ สาธิตคุณ. 2546. “การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานสีออกกโดยใช้ซีโอไลต์.” ปริญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปรารธนา. 2555. กระบวนการดูดซับ. [Online]. Available: <https://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/> เข้าถึงเมื่อวันที่ 18 ตุลาคม 2560.
- ปองพล สุริยะกันธร, ฤทธิชัย อัคราชนันย์. 2557. “อิทธิพลของอุณหภูมิและความหนาของชั้นวัสดุต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของดอกคาโมมายลอบแห้ง.” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 45 (3/1) (พิเศษ). 228-231
- มุกิตา บุญลับ. 2559. [Online]. Available : <http://lnli258mutita.blogspot.com/> เข้าถึงเมื่อ 18 ตุลาคม 2560.
- ยาโก้ ขาเริ่มตาเปะ. 2553. “การดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์, มหาวิทยาลัยทักษิณ. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2560.
- ยุทธพร ดวงจินดา. 2559. “การกำจัดเหล็กในน้ำด้วยถ่านจากเปลือกทุเรียน.” วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วัลยา วิศาลบรรณวิทย์. 2554. “ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดเพื่อใช้กำจัดสีในโมลาส.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วสันต์ ธีระพิทยานนท์. [Online]. Available : <http://www.dss.go.th/images/st-article/pep-12-2556-impact-envi.pdf> เข้าถึงเมื่อวันที่ 24 ตุลาคม 2560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- คันศนีย์ รักไทยเจริญชีพ. [Online]. Available : [http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss\\_j/2558\\_63\\_197\\_p38-40.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2558_63_197_p38-40.pdf) เข้าถึงเมื่อวันที่ 24 ตุลาคม 2560.
- ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ. 2557. [Online]. Available : <http://www.mic.eng.ku.ac.th/services.php> เข้าถึงเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2560
- ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทราย. 2557. [Online]. Available : <http://www.huaysaicenter.org/Uploads/files/เอกสารองค์ความรู้ถ่านชีวภาพB.pdf> เข้าถึงเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2560
- ศูนย์วิจัยสุขภาพกรุงเทพ. 2557. [Online]. Available : <http://www.bangkokhealth.com/health/article> เข้าถึงเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2560
- เสาวภา ไวยสุศรี. 2558. “การกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่”. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ 2558. [Online]. Available <http://wqm.pcd.go.th/water/images/industry/media/2558/industryspecification.pdf> เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ตุลาคม 2560.
- Asasutjarit, c. , charoenvai s. , ltirunlabh j. , khcdari j. ,2009. “mayerials and mechanical properties of pretreated colrbased green composites”. Composites part B: Engi-neering, vol.40,Iss.7,633-637.
- Cleide S.T. Araujo, lone L.S Almeida, Helen C. Rezende, Suzana M.L.O. Marcionilio, Jose J.L. Leon, Tulio N. de Matos. 2018. “Elucidation of mechanism involved in adsorption of Pb (II) onto lobeira fruit (*Solanum lycocarpum*) using Langmuir, Freundlich and Temkin isotherms”. Microchemical Journal. Volume 137, March 2018, Pages 348-354.
- Fatih Deniz andSengul Karaman. 2011. Removal of Basic Red 46 dye from aqueous solution by pine tree leaves. **Chemical Engineering Journal**. 170:6-74.
- Giwa. 2013. “Removal of Basic Dye From Aqueous Solution By Adsorption On Melon Husk In Binary And Ternary Systems”. Department of Pure and Applied Chemistry, Ladoke Akintola University of Technology, Ogbomoso – Nigeria. Chemical and Process Engineering Research.
- Jingge Shang, Jiachang Pi, Mingzhu Zong, Yingrong Wang, Wenhong Li, Qianjiahua Liao,. 2016. “Chromium removal using magnetic biochar derived from herb-residue”. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 68 (2016) 289-294

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- K.R.Thines, E.C.Abdullah, N.M.Mubarak, M.Ruthiraan,. 2017. “Synthesis of magnetic biochar from agricultural waste biomass to enhancing route for waste water and polymer application: A review”. Volume 67, January 2017, Pages 257-276
- M. Yap, N. Mubarak, J. Sahu, E. Abdullah. 2017. “Microwave induced synthesis of magnetic biochar from agricultural biomass for removal of lead and cadmium from wastewater”. J. Industrial Eng. Chem. 45 287e295.
- Pradthana.2008. กระบวนการดูดซับ. [Online].Available : <https://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/> เข้าถึงเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2559
- Qi Yang. 2017. “Effectiveness and mechanisms of phosphate adsorption on iron-modified biochars derived from waste activated sludge”. Bioresource Technology 247 (2018) 537–544
- Ronghua Li. 2016. “Recovery of phosphate from aqueous solution by magnesium oxidedecorated magnetic biochar and its potential as phosphate-based fertilizer substitute”. Bioresource Technology 215 (2016) 209–214
- Samera Salimpour Abkenar. 2015. “Dye adsorption of cotton fabric grafted with PPI dendrimers: Isotherm and kinetic studies”. Journal of Environmental Management. Volume 163, Pages 53-61.
- Sengil IA และ Ozacar M. 2008. “Biosorption of Cu (II) from aqueous solutions by mimosa tannin gel”. Journal of Hazardous Materials. Volume 157, Issues 2–3, 15 September 2008, Pages 277-285
- Sumanjit Kaur, Seema, Rakesh Kumar Mahajan and Vinod K Gupta. 2015. “Modification of surface behavior of Eichhornia crassipes using surface active agent: An adsorption study” Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 21:189-197
- WIndsor. 1980. [Online]. Available : <http://www.ijc.org/files/publications/D16.pdf> เข้าถึงเมื่อ 15 ตุลาคม 2560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

#### ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตในน้ำตัวอย่าง

การวิเคราะห์ฟอสเฟตด้วยวิธี Ascorbic acid

เตรียมน้ำยารวมโดยผสมสารละลายดังนี้

กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5.0 นอร์มัล	ปริมาตร	50	มิลลิลิตร
แอมโมเนียมโมลิบเดต	ปริมาตร	15	มิลลิลิตร
โพแทสเซียมแอนติโมนีทาร์เทรท	ปริมาตร	5	มิลลิลิตร
กรดแอสคอร์บิก	ปริมาตร	30	มิลลิลิตร

1.) เตรียมกราฟมาตรฐานจากสารละลายฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตาราง ที่

ก.1

2.) นำน้ำตัวอย่างมา 50 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1 หยด ถ้าเป็นสีแดงให้เติมกรด  $H_2SO_4$  เข้มข้น 5.0 นอร์มัล จนสีหายไป

3.) นำน้ำตัวอย่างมา (ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำ) ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร เติมน้ำยารวมปริมาตร 8 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับปริมาตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ต้องไม่เกิน 30 นาที และนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเคื่อง ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

ตารางที่ ก.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอสเฟต

สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิลิตร)	น้ำยารวม (มิลลิลิตร)	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0	8	17	25	0
0.125	8	16.87	25	0.05
0.25	8	16.75	25	0.1
0.5	8	16.5	25	0.2
1.0	8	16	25	0.4
2.0	8	15	25	0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสารละลาย

ข.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของปริมาณของถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายฟอสเฟต

ตารางที่ ข.1 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 0.025 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน PH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

t (min)	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	q <sub>e</sub>
0	0.742	0.3977	
10	0.552	0.2960	
20	0.433	0.2323	
30	0.395	0.2120	
40	0.369	0.1981	
50	0.366	0.1964	
60	0.364	0.1954	1618.2373
120	0.360	0.1932	
150	0.374	0.2007	
180	0.380	0.2039	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 0.5 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

t (min)	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	q <sub>e</sub>
0	0.742	0.3977	
10	0.459	0.2462	
20	0.311	0.1670	
30	0.305	0.1638	
40	0.301	0.1617	
50	0.298	0.1601	
60	0.296	0.1590	95.4674
120	0.291	0.1563	
150	0.299	0.1606	
180	0.304	0.1633	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

t (min)	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	q <sub>e</sub>
0	0.742	0.3977	
10	0.113	0.0611	
20	0.101	0.0546	
30	0.097	0.0525	
40	0.084	0.0455	
50	0.079	0.0429	
60	0.072	0.0391	71.7112
120	0.069	0.0375	
150	0.069	0.0375	
180	0.073	0.0397	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 2.0 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

t (min)	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	q <sub>e</sub>
0	0.742	0.3977	
10	0.069	0.0375	
20	0.059	0.0322	
30	0.051	0.0279	
40	0.049	0.0268	
50	0.045	0.0247	
60	0.041	0.0225	37.5156
120	0.039	0.0215	
150	0.037	0.0204	
180	0.035	0.0193	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลาย ฟอสเฟต

ตารางที่ ข.5 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH ต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที

pH	Absorbance		Concentration in solution (mg/L)		q <sub>e</sub>
	Abs.0	Abs.Sample	Conc.0	Conc.Sample	
2	0.721±0.002	0.083±0.004	0.3914±0.0008	0.0419±0.0020	69.90±0.5063
3	0.722±0.003	0.078±0.004	0.3921±0.0015	0.0390±0.0023	70.64±0.7462
4	0.725±0.001	0.115±0.004	0.3936±0.0006	0.0596±0.0022	66.80±0.4430
5	0.723±0.004	0.113±0.005	0.3925±0.0019	0.0583±0.0025	66.83±0.4943
6	0.700±0.001	0.140±0.003	0.3801±0.0005	0.0729±0.0016	61.42±0.03349
7	0.728±0.002	0.133±0.002	0.3954±0.0009	0.0693±0.0011	65.23±0.1096
8	0.721±0.002	0.138±0.002	0.3916±0.0011	0.0722±0.0011	63.87±0.2759

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดซับฟอสเฟต

ตารางที่ ข.6 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

t (min)	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	q <sub>e</sub>
0	0.660	0.3657	
10	0.121	0.0643	
20	0.114	0.0605	
30	0.103	0.0541	
40	0.100	0.0525	
50	0.077	0.0396	
60	0.074	0.0382	69.5268
*C <sub>0</sub>	0.351	0.3858	

\*C<sub>0</sub> ทำการเจือจาง 2 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

t (min)	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	q <sub>e</sub>
0	1.336	0.7434	
10	0.825	0.4577	
20	0.697	0.3862	
30	0.514	0.2841	
40	0.384	0.2111	
50	0.304	0.1667	
60	0.288	0.1577	125.1662
*C <sub>0</sub>	0.707	0.7835	

\*C<sub>0</sub> ทำการเจือจาง 2 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

t (min)	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	q <sub>e</sub>
0	1.034**	1.1522	
10	0.765**	0.8515	
20	0.668**	0.7431	
30	0.560**	0.6222	
40	0.519**	0.5767	
50	0.461**	0.5115	
60	0.412**	0.4575	144.0925
*C <sub>0</sub>	1.060	1.1779	

\*C<sub>0</sub> ทำการเจือจาง 2 เท่า

\*\* ทำการเจือจาง 2 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

t (min)	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	q <sub>e</sub>
0	0.910**	1.5212	
10	0.744**	1.2442	
20	0.634**	1.0590	
30	0.527**	0.8796	
40	0.466**	0.7779	
50	0.417**	0.6594	
60	0.366**	0.6098	191.1983
*C <sub>0</sub>	0.940**	1.5658	

\*C<sub>0</sub> ทำการเจือจาง 3 เท่า

\*\* ทำการเจือจาง 3 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

t (min)	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	q <sub>e</sub>
0	1.182	1.9778	
10	0.874	1.4620	
20	0.803	1.3422	
30	0.732	1.2239	
40	0.595	0.9946	
50	0.506	0.8443	
60	0.472	0.7886	239.5732
*C <sub>0</sub>	1.191	1.9864	

\*C<sub>0</sub> ทำการเจือจาง 3 เท่า

\*\* ทำการเจือจาง 3 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายฟอสเฟต

ตารางที่ ข.11 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

t (min)	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	q <sub>e</sub>
0	0.706	0.3911	
10	0.121	0.0643	
20	0.114	0.0605	
30	0.103	0.0541	
40	0.100	0.0525	
50	0.091	0.0479	
60	0.079	0.0408	71.2027
C <sub>0</sub>	0.716	0.3968	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

t (min)	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	q <sub>e</sub>
0	0.702	0.3889	
10	0.149	0.0799	
20	0.126	0.0674	
30	0.121	0.0644	
40	0.113	0.0601	
50	0.111	0.0587	
60	0.102	0.0538	67.5940
C <sub>0</sub>	0.707	0.3918	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

t (min)	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	q <sub>e</sub>
0	0.701	0.3882	
10	0.151	0.0810	
20	0.143	0.0769	
30	0.135	0.0722	
40	0.125	0.0665	
50	0.111	0.0589	
60	0.105	0.0555	67.1471
C <sub>0</sub>	0.706	0.3912	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาการคายซับของถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการดูดซับฟอสเฟตแล้ว

ตารางที่ ข.14 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ที่มีผลต่อการคายซับฟอสเฟตในน้ำกลั่นที่ pH ต่างๆด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

pH	Absorbance	Concentration in solution (mg/L)	เปอร์เซ็นต์การคายซับ (%)
2	0.045±0.001	0.0238±0.0003	6.69±0.0929
3	0.042±0.003	0.0221±0.0003	6.21±0.0929
4	0.062±0.003	0.0337±0.0015	9.48±0.4258
5	0.054±0.003	0.0292±0.0015	8.19±0.4258
6	0.076±0.002	0.0418±0.0015	11.73±0.4258
7	0.071±0.002	0.0391±0.0009	10.98±0.2458
8	0.070±0.003	0.0381±0.0018	10.71±0.4916

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.6 ค่าการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ (Biochar) และถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ (Magnetic biochar)

ตารางที่ ข.15 ผลของปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

t (min)	ถ่านธรรมดา		ถ่านแม่เหล็กสังเคราะห์	
	Absorbance	Concentration	Absorbance	Concentration
0	0.704±0.003	0.3972±0.0015	0.702±0.002	0.3960±0.0012
10	0.489±0.002	0.2707±0.0012	0.150±0.001	0.0708±0.0004
20	0.480±0.002	0.2656±0.0009	0.124±0.002	0.0558±0.0013
30	0.476±0.002	0.2628±0.0009	0.120±0.002	0.0536±0.0009
40	0.451±0.001	0.2483±0.0006	0.114±0.002	0.0501±0.0012
50	0.443±0.001	0.2438±0.0007	0.109±0.002	0.0467±0.0009
60	0.433±0.003	0.2375±0.0015	0.102±0.003	0.0430±0.0015
C <sub>0</sub>	0.741	0.4190	0.741	0.4190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลโดยใช้ไอโซเทอร์มของการดูดซับที่สภาวะเหมาะสม

ตารางที่ ค.1 ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอสเฟตและความเข้มข้นของฟอสเฟตที่เหลือในสารละลายที่ใช้ในการหาไอโซเทอร์มของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของ สารละลายฟอสเฟต ( $C_0$ ) (mg/L)	ความเข้มข้นของฟอสเฟตที่ เหลือในสารละลาย ( $C_e$ ) (mg/L)	$q_e$
10	0.3858	0.0382	69.5268
20	0.7835	0.1577	125.1662
30	1.1779	0.4575	144.0925
40	1.5658	0.6098	191.1983
50	1.9864	0.7886	239.5732

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

### ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับโดยศึกษาอัตรา การเกิดปฏิกิริยาของการดูดซับที่สภาวะเหมาะสม

ตารางที่ ง.1 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

เวลา (min)	$q_e$	$q_t$	$t/q_t$	$\ln t$
0	69.5268	4.0177	0	0
10	69.5268	64.3038	0.1555	2.3026
20	69.5268	65.0530	0.3074	2.9957
30	69.5268	66.3373	0.4522	3.4012
40	69.5268	66.6584	0.6001	3.6889
50	69.5268	69.2411	0.7221	3.9120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

เวลา (min)	$q_e$	$q_t$	$t/q_t$	$\ln t$
0	125.1662	8.0263	0	0
10	125.1662	65.1663	0.1535	2.3026
20	125.1662	79.4663	0.2517	2.9957
30	125.1662	99.8863	0.3003	3.4012
40	125.1662	114.4863	0.3494	3.6889
50	125.1662	123.3663	0.4053	3.9120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

เวลา (min)	$q_e$	$q_t$	$t/q_t$	$Lnt$
0	144.0851	5.144604	0	0
10	144.0851	65.2846	0.1532	2.3026
20	144.0851	86.9646	0.2300	2.9957
30	144.0851	111.1446	0.2699	3.4012
40	144.0851	120.2446	0.3327	3.6889
50	144.0851	133.2846	0.3751	3.9120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

เวลา (min)	$q_e$	$q_t$	$t/q_t$	Lnt
0	191.1923	8.91569	0	0
10	191.1923	64.31569	0.1555	2.3026
20	191.1923	101.3557	0.1973	2.9957
30	191.1923	137.2357	0.2186	3.4012
40	191.1923	157.5757	0.2538	3.6889
50	191.1923	174.0757	0.2872	3.9120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.5 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิห้อง

เวลา (min)	$q_e$	$q_t$	$t/q_t$	Lnt
0	239.5695	1.725068	0	0
10	239.5695	104.8851	0.0953	2.3026
20	239.5695	128.8451	0.1552	2.9957
30	239.5695	152.5051	0.1967	3.4012
40	239.5695	198.3651	0.2016	3.6889
50	239.5695	228.4251	0.2189	3.9120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.6 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

เวลา (min)	$q_e$	$q_t$	$t/q_t$	Lnt
0	71.2065	1.1387	0	0
10	71.2065	66.5048	0.1504	2.3026
20	71.2065	67.2540	0.2974	2.9957
30	71.2065	68.5383	0.4377	3.4012
40	71.2065	68.8594	0.5809	3.6889
50	71.2065	69.7787	0.7166	3.9120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

เวลา (min)	$q_e$	$q_t$	$t/q_t$	$Lnt$
0	67.5940	0.5732	0	0
10	67.5940	62.3732	0.1603	2.3026
20	67.5940	64.8732	0.3083	2.9957
30	67.5940	65.4732	0.4582	3.4012
40	67.5940	66.3332	0.6030	3.6889
50	67.5940	66.6132	0.7506	3.9120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.8 ค่าจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและจำนวนการดูดซับฟอสเฟตต่อปริมาณตัวดูดซับที่เวลานั้นๆ ที่ใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการดูดซับในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ควบคุม ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 1.0 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

เวลา (min)	$q_e$	$q_t$	$t/q_t$	$Lnt$
0	67.1471	0.6014	0	0
10	67.1471	62.0414	0.1612	2.3026
20	67.1471	62.8614	0.3182	2.9957
30	67.1471	63.8014	0.4702	3.4012
40	67.1471	64.9414	0.6159	3.6889
50	67.1471	66.4614	0.7523	3.9120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของค่าพลังงานกระตุ้นจาก  
สมการอาร์เรเนียส ( $E_a$ )

ตารางที่ จ.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาค่าพลังงานกระตุ้นของการดูดซับ ในการดูดซับ สารละลายฟอสเฟตความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.0 กรัม pH เท่ากับ 3

อุณหภูมิ (K)	Concentration in solution (mg/L)	$q_e$ (g/kg)	1/t
306	0.0408	71.2065	0.0033
318	0.0538	67.5940	0.0031
328	0.0555	67.1471	0.0030

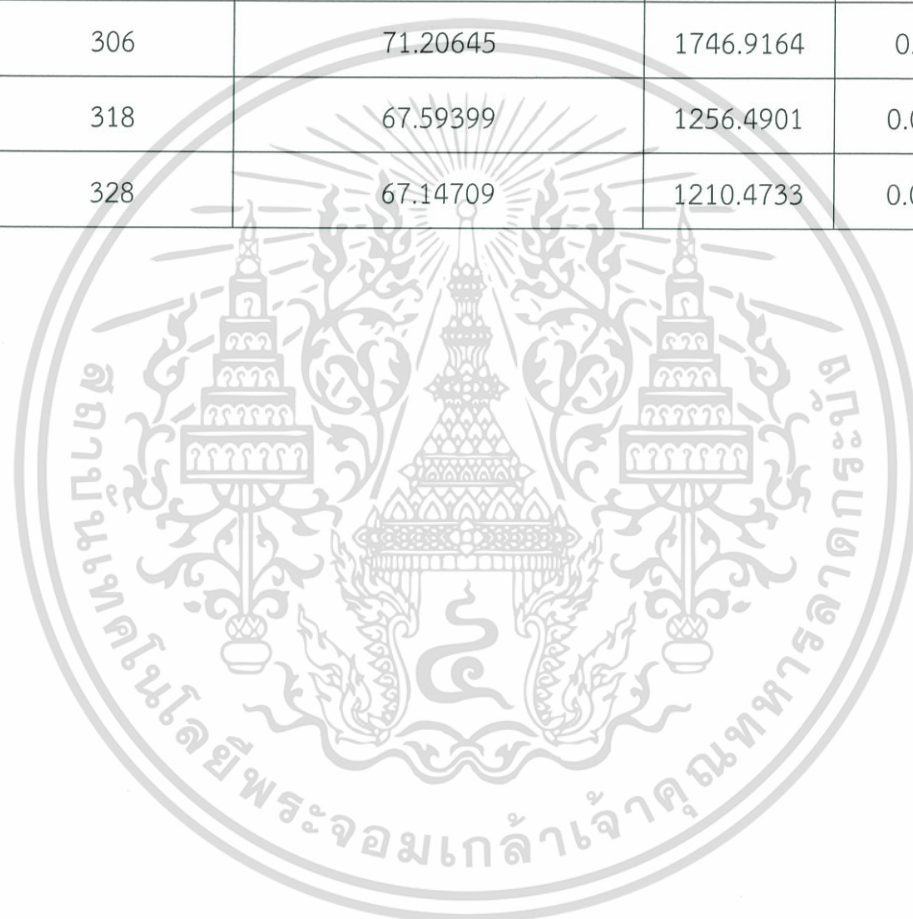
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของค่าเอนทัลปีมาตรฐาน ( $\Delta H$ )

ตารางที่ ฉ.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาค่าเอนทัลปีมาตรฐานของการดูดซับ ในการดูดซับ สารละลายฟอสเฟตความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนที่ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 1.0 กรัม pH เท่ากับ 3

อุณหภูมิ (K)	$q_e$	$K_c$	$1/t$
306	71.20645	1746.9164	0.033
318	67.59399	1256.4901	0.0031
328	67.14709	1210.4733	0.0030



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของค่าประจุพื้นผิวที่เป็นศูนย์ ( $\text{pH}_{\text{pzc}}$ )

ตารางที่ ข.1 ค่า pH ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ไม่ได้ใส่ตัวดูดซับ, ค่า pH เริ่มต้น และ pH สุดท้ายของการทดลองหาค่าประจุพื้นผิวที่เป็นศูนย์

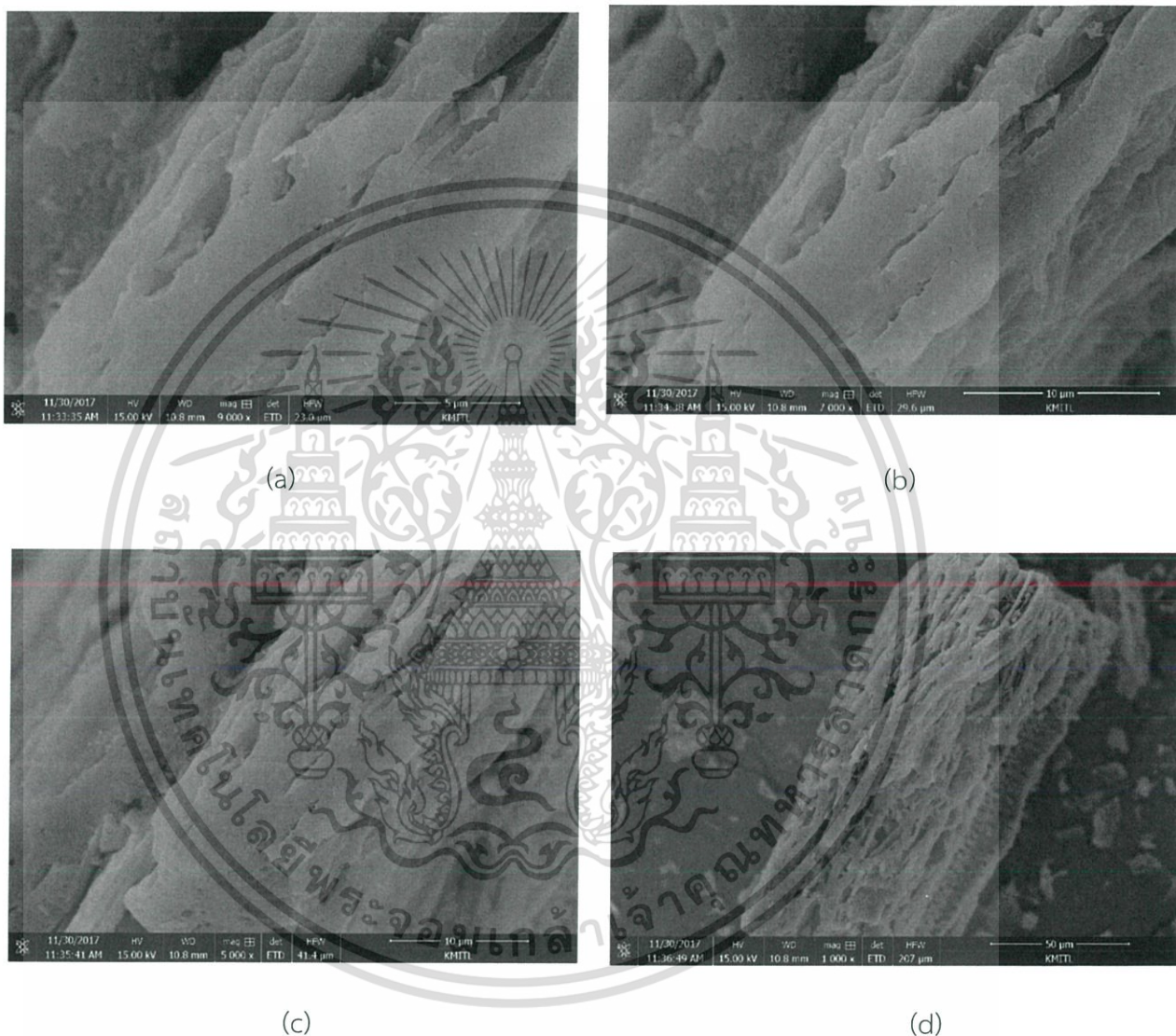
Blank	Initial pH	Final pH
3	3	3.21
4	4	4.55
5	5	5.36
6	6	5.44
7	7	5.57
8	8	5.81
9	9	6.12
10	10	6.59
11	11	10.81
12	12	11.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

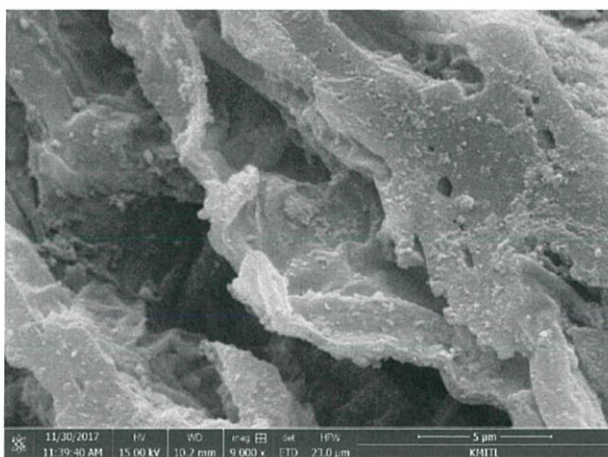
## ภาคผนวก ซ

### ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับโดยใช้ เครื่อง Scanning Electron Microscope

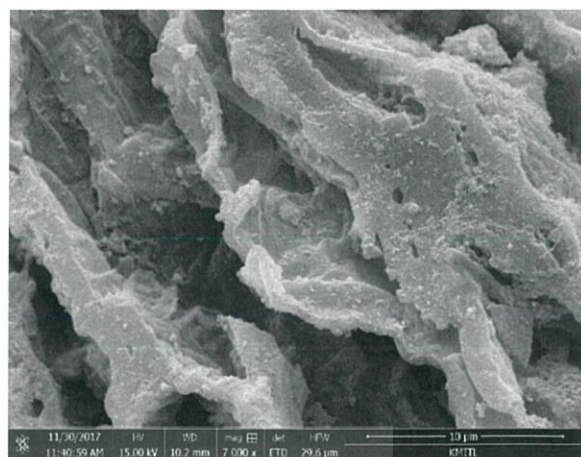
รูปที่ ซ.1 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



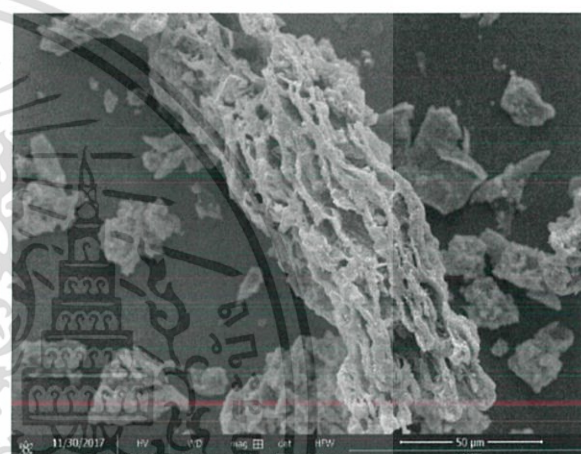
(e)



(f)



(g)



(h)

- a. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ กำลังขยาย 9000 เท่า
- b. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ กำลังขยาย 7000 เท่า
- c. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ กำลังขยาย 5000 เท่า
- d. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ กำลังขยาย 1000 เท่า
- e. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ กำลังขยาย 9000 เท่า
- f. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ กำลังขยาย 7000 เท่า
- g. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ กำลังขยาย 5000 เท่า
- h. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นแม่เหล็กสังเคราะห์ กำลังขยาย 1000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของวัสดุดูดซับโดยใช้

### Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ๓.1 สเปกตรัมของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

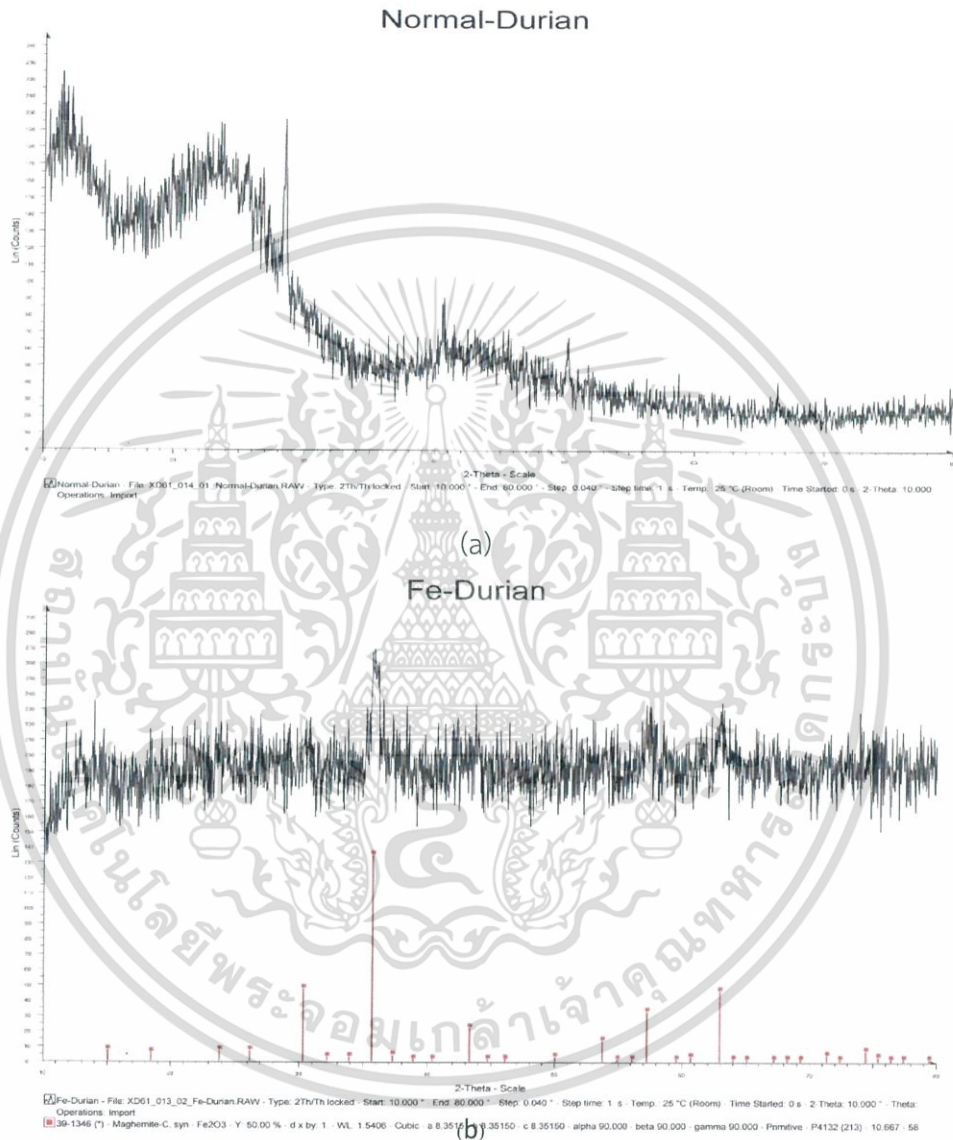
- (a) ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ ไม่ได้ทำการดูดซับฟอสเฟต
- (b) ปรับปรุงคุณภาพ ไม่ได้ทำการดูดซับฟอสเฟต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ญ

ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุดูดซับโดย  
ใช้วิธี X-ray Diffraction (XRD) analysis



รูปที่ ญ.1 โครงสร้างของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี X-ray Diffraction (XRD) analysis

- (a) ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ ไม่ได้ทำการดูดซับฟอสเฟต
- (b) ปรับปรุงคุณภาพ ไม่ได้ทำการดูดซับฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้