

การใช้ประโยชน์ของเปลือกสับประดัดดแปรผิวด้วยเฟอร์ริก  
ไอออนในการกำจัดไอออนลบในน้ำ

APPLICATION OF FERRIC ION-MODIFIED PINEAPPLE  
PEELS FOR REMOVAL OF ANIONS IN WATER



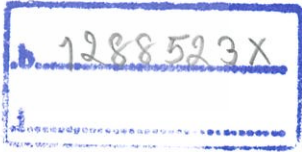
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การใช้ประโยชน์ของเปลือกสับประดัดดแปรผิวด้วยเฟอร์ริก  
ไอออนในการกำจัดไอออนลบในน้ำ

APPLICATION OF FERRIC ION-MODIFIED PINEAPPLE  
PEELS FOR REMOVAL OF ANIONS IN WATER



กรรณิการ์ แสงฉาย  
ณัฐชา ชินวงษ์  
ปาริฉัตร นาครัक्षा



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF FERRIC ION-MODIFIED PINEAPPLE  
PEELS FOR REMOVAL OF ANIONS IN WATER



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การใช้ประโยชน์ของเปลือกสับแปรรูปด้วยเฟอร์ริก  
ไอออนในการกำจัดไอออนลบในน้ำ

Application Of Ferric Ion-Modified Pineapple Peels For  
Removal Of Anions In Water

ชื่อนักศึกษา

นางสาววรรณิการ์ แสงฉาย รหัสนักศึกษา 56050666

นางสาวณัฐชา ชินวงษ์ รหัสนักศึกษา 56050690

นางสาวปาริฉัตร นาครักษา รหัสนักศึกษา 56050724

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี




ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี  
สิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ ประธานกรรมการ	
อ.ปัทมา สีพหาวงศ์ กรรมการ	
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การใช้ประโยชน์ของเปลือกสับปะรดตัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนในการกำจัดไอออนลบในน้ำ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกรรณิการ์ แสงฉาย รหัสนักศึกษา 56050666 นางสาวณัฐชา ชินวงษ์ รหัสนักศึกษา 56050690 นางสาวปาริฉัตร นาครักษา รหัสนักศึกษา 56050724
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อูสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกสับปะรดตัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนในการกำจัดไอออนลบ ได้แก่ ฟอสเฟต และคลอไรด์ในน้ำ เปลือกสับปะรดที่ใช้เตรียมขึ้นโดยการปรับสภาพด้วย 2.0% NaOH และเคลือบผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนตามสภาวะที่ระบุในงานวิจัยของกันตพัฒน์ (2558) ผลการศึกษาการกำจัดฟอสเฟตในน้ำพบว่า วัสดุดังกล่าวสามารถกำจัดฟอสเฟตเข้มข้น 1 mg/L ได้สูงถึง 93.67% เมื่อใช้ปริมาณวัสดุเท่ากับ 20 g/L ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 8 ชั่วโมง เมื่อทดสอบความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ในน้ำพบว่า วัสดุดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์น้อยมาก (0.78%) เมื่อใช้ปริมาณเปลือกสับปะรดตัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนเท่ากับ 200 g/L ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 4 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามพบว่า การแช่เปลือกสับปะรดตัดแปรพื้นผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนในน้ำสามารถเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำ

คำสำคัญ : เปลือกสับปะรด ไอออนลบ การตัดแปรพื้นผิววัสดุ ฟอสเฟต คลอไรด์

Title	Application Of Ferric Ion-Modified Pineapple Peels For Removal Of Chloride In Water
Students	Miss Kannika Sangchai Student ID 56050666 Miss Natcha Chinawong Student ID 56050690 Miss Paichat Naklaksa Student ID 56050724
Degree	Bachelor of Science in Environmental Chemistry
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Asst.Prof.Dr. Usarat Thawornchaisit

### Abstract

This special project investigated efficiency of Ferric ion-modified pineapple peels for removal of anions including phosphate and chloride in water. The pineapple peels were prepared by pretreatment with 2.0% (w/v) of NaOH and surface coating with 0.1 M  $Fe^{3+}$  according to the procedure reported by Kantapat (2558). Results from phosphates removal study showed that phosphate removal efficiency of 93.67% was achieved when the pineapple peels of 20 g/L were contacted with 1 mg/L phosphate solution for 8 hours. Results from chloride removal study showed that Ferric ion-modified pineapple peels removal of chlorides by was very low when the peels of 200 g/L were contacted with NaCl solution for 4 hours. In addition, the release of chlorides was also observed when soaking of the Ferric ion-modified pineapple peels in water

**Keywords :** pineapple peels, anion, modification of surface material, phosphate and chloride

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ทางผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง และให้ความอนุเคราะห์กับงานวิจัยนี้ ดังนี้ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาสละเวลาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดการทำวิจัย รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ และอาจารย์ปัทมา สีนหวางค์ที่ให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณพี่ๆนักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาเคมีที่ช่วยจัดหาสารเคมีและสอนการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ต่างๆ ขอขอบคุณคุณกัณฑ์พัฒน์ที่ให้คำปรึกษางานวิจัย รวมถึงร้านขายผลไม้วัดสมานรัตนารามที่เอื้อเพื่อเปลือกสับปรดที่ใช้เป็นวัสดุหลักของงานวิจัยนี้ และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นที่รัก ผู้ให้กำลังใจงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ทำการศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้อง หากมีข้อเสนอแนะประการใดเพื่อปรับปรุงให้ดีขึ้น ทางผู้จัดทำขอน้อมรับข้อเสนอและคำติชมด้วยความยินดี ขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง



กรรมิการ์ แสงฉาย  
ณัฐชา ชินวงษ์  
ปาริฉัตร นาครักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 อุตสาหกรรมสับปะรดในประเทศไทย.....	3
2.2 วัสดุประเภทพอลิโนเซลลูโลส.....	4
2.3 การปรับปรุงคุณภาพวัสดุ.....	5
2.4 การดัดแปรพื้นผิวของวัสดุ.....	6
2.5 การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน.....	7
2.6 กรด-เบส แบบฮาร์ด-ซอฟต์.....	8
2.6.1 Soft and hard bases.....	8
2.6.2 Soft and hard acids.....	9
2.6.3 หลักการ Hard and Soft acids and bases และความเสถียรของ สารประกอบเชิงซ้อน.....	9
2.7 การละลายของเกลือ.....	9
2.8 ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ.....	10
2.8.1 ข้อมูลทั่วไปของฟอสฟอรัส.....	10
2.8.2 ที่มาของฟอสฟอรัสในน้ำ.....	10
2.8.3 ผลกระทบของฟอสฟอรัสในน้ำ.....	10
2.9 คลอไรต์ในแหล่งน้ำ.....	11
2.9.1 ที่มาของคลอไรต์ในแหล่งน้ำ.....	11
2.9.2 ผลกระทบของคลอไรต์ในแหล่งน้ำ.....	11
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>14</b>
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	14
3.1.1 อุปกรณ์.....	14
3.1.2 สารเคมี.....	14

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การเตรียมเปลือกสับปรดตัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริคไอออน.....	15
3.3 การศึกษาคุณสมบัติในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำ .....	16
3.3.1 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส และความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต	16
3.3.2 การศึกษาผลของปริมาณวัสดุ .....	16
3.4 การศึกษาคุณสมบัติในการกำจัดคลอไรด์ในน้ำ.....	17
3.4.1 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส.....	17
3.4.2 การศึกษาผลของปริมาณวัสดุ .....	17
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>18</b>
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีวัสดุ .....	18
4.1.1 ค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู.....	18
4.1.2 พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของวัสดุ.....	19
4.1.3 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด .....	20
4.1.4 สมบัติความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ.....	20
4.2 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำ .....	21
4.2.1 ผลของระยะเวลาสัมผัสและความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต.....	21
4.2.2 ผลของปริมาณวัสดุ.....	23
4.3 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ในน้ำ.....	23
4.3.1 ผลของระยะเวลาสัมผัส .....	23
4.3.2 ผลของปริมาณวัสดุ.....	25
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>27</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	27
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	27
บรรณานุกรม.....	28
ภาคผนวก.....	31
ภาคผนวก ก.....	32
ภาคผนวก ข.....	36

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากสับประด ..... 4	4
2.2 ลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ..... 8	8
4.1 ค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue Number, MBN) ..... 18	18
4.2 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุด้วยวิธีของบีอีที (BET) โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน ..... 19	19
4.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ ..... 21	21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตสับปรดกระป๋อง .....	3
2.2 โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส	5
2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส.....	5
2.4 การปรับปรุงเซลลูโลสด้วยต่าง .....	6
2.5 การเพิ่มประจุวบนพื้นผิวตัวดูดซับโดยอาศัยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน .....	7
4.1 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า.....	20
4.2 ปริมาณฟอสเฟตที่เหลืออยู่ที่ระยะเวลาต่างกัน และความเข้มข้นต่างกัน .....	21
4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตที่ระยะเวลาต่างกัน และความเข้มข้นต่างกัน.....	22
4.4 ปริมาณฟอสเฟตที่เหลืออยู่ และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตที่ปริมาณวัสดุต่างกัน.....	23
4.5 ปริมาณคลอไรด์ที่เหลืออยู่ แลประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน..	24
4.6 ปริมาณคลอไรด์ที่เหลืออยู่ แลประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ที่ปริมาณวัสดุต่างกัน .....	25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สภาพน้ำกร่อยในแหล่งน้ำธรรมชาติ จัดเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในประเทศไทย โดยมีสาเหตุสำคัญจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้ในช่วงที่ผ่านมาประเทศไทยตอนบน บางส่วนและภาคกลางของประเทศประสบปัญหาภัยแล้ง ปริมาณน้ำจืดในแหล่งน้ำผิวดินมีความจุน้อยลง ประกอบกับการรุกของน้ำทะเล ทำให้แหล่งน้ำผิวดินในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ประสบภัยแล้งมีสภาพเป็นน้ำกร่อย และมีค่าความเค็มของน้ำเกินมาตรฐาน (กรมชลประทาน, 2557) น้ำกร่อยเป็นน้ำที่มีค่าคลอไรด์สูง หากปนอยู่ในน้ำ น้ำชลประทาน หรือน้ำใต้ดินที่อยู่ใกล้ผิวดินจะทำให้เกิดเกลือสะสมในดินบริเวณรากพืช เมื่อมีปริมาณมากขึ้นทำให้พืชไม่สามารถดึงน้ำจากดินได้ตามปกติ ส่งผลให้น้ำที่จะนำไปใช้ได้ลดลง พืชก็จะมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง มีอาการคล้ายพืชขาดน้ำ (พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา อังกฤษ-ไทย, 2530) นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อผู้ป่วยที่เป็นโรคไต เพราะจะเป็นการเพิ่มความเค็มให้แก่ร่างกายหากนำไปใช้บริโภค จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทำให้จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อยให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมก่อนการนำไปใช้ในการอุปโภค-บริโภคและใช้ประโยชน์อื่นๆต่อไป

วิธีการลดค่าความเค็มของน้ำในปัจจุบัน ทำโดยการระบายน้ำจากเขื่อนเพื่อเจือจางน้ำเค็มเป็นระยะๆ ตามจังหวะการขึ้นลงของน้ำทะเล แต่ข้อจำกัดที่สำคัญคือต้องใช้น้ำจำนวนมากวิธีการดังกล่าวจะทำได้โดยไม่มีประสิทธิภาพ ในกรณีที่มีปริมาณน้ำฝนลดลง ทำให้ต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีอื่นร่วมด้วย ได้แก่ การกลั่น (distillation) การกรองด้วยเยื่อเมมเบรนแบบ Reverse Osmosis หรือ Electrodialysis เป็นต้น วิธีการเหล่านี้ส่วนใหญ่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง เนื่องจากต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึง 3.5-12 kwh/m<sup>3</sup> (Kim, 2008) ดังนั้นเพื่อให้ได้วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อยที่มีค่าใช้จ่ายต่ำลงและสามารถนำไปประยุกต์กับน้ำดื่มชุมชน กุสวดีและรัตน (2534) จึงได้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อยอย่างง่ายด้วยวัสดุกรองที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน งานวิจัยดังกล่าวได้รายงานว่าคุณสมบัติวัสดุธรรมชาติที่มีรูพรุน มีกลุ่มฟังก์ชันอย่างเช่น เซลลูโลส สามารถแลกเปลี่ยนคลอไรด์ไอออนได้มากที่สุด แต่เนื่องจากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์ด้วยวัสดุดังกล่าว ยังมีข้อมูลวิจัยอยู่น้อยมาก ประกอบกับงานวิจัยของกันตพัฒน์ (2558) ได้พัฒนาวัสดุกำจัดไอออนลบจำพวกฟอสเฟตจากเปลือกสับปะรดซึ่งวัสดุดังกล่าวอาจมีความสามารถในการกำจัดไอออนลบอื่นๆในน้ำ แต่ยังคงขาดผลการทดสอบยืนยันสมมติฐานดังกล่าว โครงการพิเศษจึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เปลือกสับปะรดที่ดัดแปลงพื้นผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนในการกำจัดไอออนลบอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลอไรด์ในน้ำ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เปลือกสับปะรดที่ดัดแปรพื้นผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนในการกำจัดไอออนลบในน้ำ

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ศึกษา คือ เปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงและดัดแปรพื้นผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนที่เตรียมขึ้นตามสภาวะที่ระบุไว้ในงานวิจัยของกันตพัฒน์ (2558)

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุ ได้แก่ ค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue Number, MBN) พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน ปริมาตรรูพรุนด้วย BET ลักษณะพื้นที่ผิวของวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) และไอออนลบ (Anion Exchange Capacity)

#### 3. ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาความสามารถในการกำจัดไอออนลบ

- ชนิดของไอออนลบ :  $\text{PO}_4^{3-}$  และ  $\text{Cl}^-$

ตัวแปรต้นที่ศึกษา ได้แก่

- ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนลบ

$\text{PO}_4^{2-}$  : 1, 5 และ 10 mg/L

$\text{Cl}^-$  : 2,000 mg/L

- ระยะเวลา : 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 24 ชั่วโมง

- ปริมาณวัสดุ

$\text{PO}_4^{3-}$  : 0.10, 0.25, 0.50 และ 1.00 กรัม

$\text{Cl}^-$  : 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5 กรัม

ตัวแปรตาม คือ ความเข้มข้นที่เหลือของไอออนลบในน้ำ

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วัสดุกำจัดไอออนลบในน้ำที่ทำได้ง่าย และราคาถูก
2. ได้วิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำที่มีค่าใช้จ่ายต่ำลง
3. เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเค็มหรือน้ำกร่อยในอนาคตได้

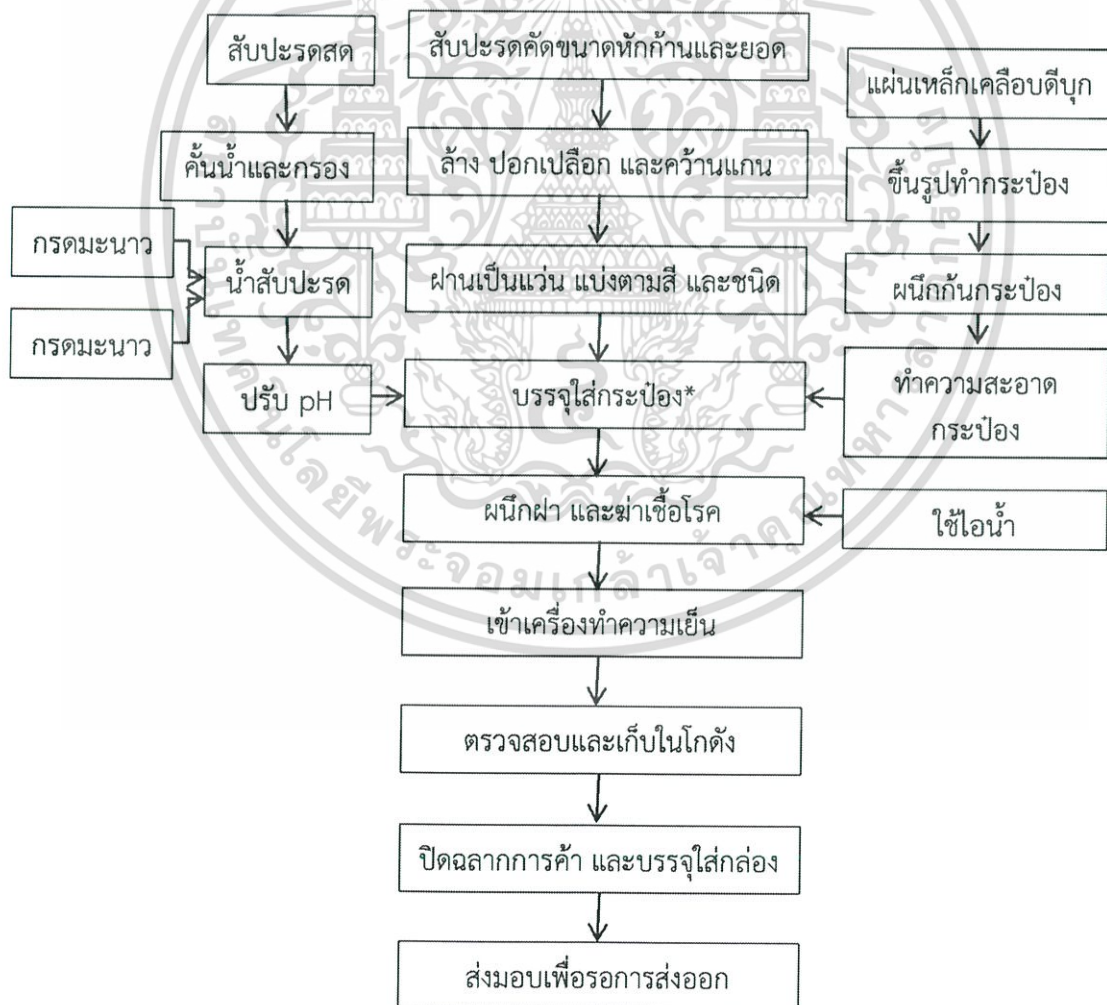
## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 อุตสาหกรรมสับปะรดในประเทศไทย

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยชนิดหนึ่ง นิยมปลูกกันมากในแถบพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นพืชที่ปลูกและเจริญเติบโตได้ง่าย เมื่อเจริญเป็นผลแล้วจะเจริญต่อไปโดยตาที่ลำต้นจะเติบโตเป็นต้นใหม่ได้อีก และสามารถตัดแปลงเป็นไม้ประดับได้อีกด้วย นอกจากนี้สับปะรดยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิตได้

นอกจากการนำสับปะรดไปแปรรูปแล้ว ยังสามารถนำผลผลิตสับปะรดไปใช้ประโยชน์ได้อีกหลายด้าน เช่น การบริโภคในรูปผลสด และการนำไปเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ เป็นต้น ซึ่งก่อนจะนำสับปะรดมาใช้ในรูปแบบต่างๆ จะต้องผ่านกระบวนการตัดยอดและลำต้นรวมถึงการปอกเปลือกก่อนจะเข้าสู่กระบวนการผลิต ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋อง

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม (2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกระบวนการดังกล่าวจะมีส่วนที่เหลือหรือที่เรียกว่ากากสับปะรด ในโรงงานอุตสาหกรรม สับปะรดกระป๋องนั้นจะมีส่วนที่เหลือมากที่สุดคือ เศษเปลือกคิดเป็นร้อยละ 29-34 ของผล รองลงมา คือจุกคิดเป็นร้อยละ 25 ของผลและแกนคิดเป็นร้อยละ 4 ของผล (สุมน, 2547) ซึ่งส่วนต่างๆของ สับปะรดองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากสับปะรด

องค์ประกอบ (%)	ส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตรของสับปะรด				
	เปลือกสด	เปลือกที่ผ่านการหมัก	เนื้อ	ใบ	จุก
น้ำหนักแห้ง	10.69	12.53	19.33	15.77	16.55
	----- % น้ำหนักแห้ง -----				
เถ้า	4.78	5.06	4.11	6.59	5.47
โปรตีน	6.23	5.65	9.13	8.70	5.91
ใย	18.63	17.63	58.42	18.72	15.40
ไขมัน	0.63	0.63	0.39	2.08	0.55
คาร์โบไฮเดรต					
ย่อยง่าย	61.76	64.88	24.89	58.23	66.19
ผนังเซลล์	70.14	63.89	78.76	50.21	51.55
ลิกนิน และ	27.42	28.08	38.84	31.09	22.28
เซลลูโลส					
ลิกนินที่ย่อย	4.03	6.03	8.17	4.15	4.02
ไม่ได้					
เซลลูโลส	23.39	22.05	30.67	26.94	18.26
เฮมิเซลลูโลส	42.72	35.81	39.92	19.12	29.27
พลังงานรวมที่					
ได้จากการนำ	3979.28	4100.38	4072.92	4174.39	4281.18
เปลือกไปเผา					

ที่มา: อนันท์และคณะ (2557)

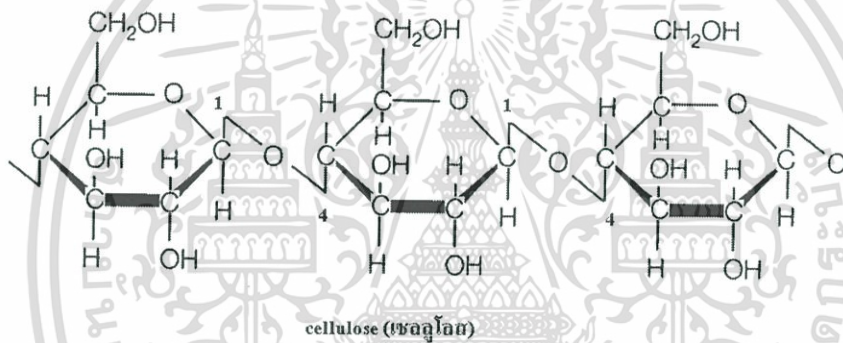
## 2.2 วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส

วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส(Lignocellulose) เป็นวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติส่วนใหญ่มี เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้างของผนังเซลล์ โดยทั่วไปพบ เซลลูโลสร้อยละ 40-60 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 20-30 และลิกนินร้อยละ 15-30 (พิชามญชุ์, สุดาทิพย์ และสุนีย์, 2556) ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรส่วนใหญ่จัดเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส



รูปที่ 2.2 โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส ที่มา : Kim (2008)

เซลลูโลสจัดเป็น สารจำพวกโพลีแซ็กคาไรด์ หน่วยโมโนเมอร์พื้นฐานคือ D-glucose ต่อกันเป็นสายยาวและเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกในรูปแบบ  $\beta$ -configuration ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 4 ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส  
ที่มา : ชัยนันท์และเฉลิม (2555)

### 2.3 การปรับปรุงคุณภาพวัสดุ

การปรับปรุงคุณภาพวัสดุจะเป็นการกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพคือทำให้ชั้นตัวกลางของวัสดุถูกทำลาย และทำให้เอนไซม์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังส่งผลต่อการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้สามารถทำงานได้มากขึ้น การปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุลิกโน-เซลลูโลสนี้เป็นการกำจัดลิกนิน และเอมิเซลลูโลส ลดความเป็นผลึกของเซลลูโลส และเพิ่มพอรุนของวัสดุ ซึ่งกระบวนการปรับปรุงสามารถแบ่งได้เป็นการ 4 วิธีดังนี้

#### 1. การปรับปรุงด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Modification)

เป็นวิธีการที่ทำให้วัสดุมีขนาดเล็กลง เช่น การทุบ การบด การม่ เป็นต้น ซึ่งเป็นการทำให้วัสดุมีพื้นที่ผิวที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น (Barka et al., 2013)

#### 2. การปรับปรุงด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biological Modification)

เป็นวิธีที่ใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์มาปรับสภาพวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยจะใช้จุลินทรีย์ในการย่อยลิกนินรวมทั้งเอมิเซลลูโลสด้วย แต่เซลลูโลสจะมีความต้านทานในการถูกจุลินทรีย์ย่อยได้มากกว่าส่วนอื่นๆของลิกโนเซลลูโลส (Kumar et al., 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Modification)

การทำปฏิกิริยาด้วยการใช้ด่าง (Alkali Pretreatment) มีผลต่อจำนวนลิกโนเซลลูโลส และผลของด่างที่ใช้ในกระบวนการแปรสภาพนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของลิกนินที่มีอยู่ในวัสดุนั้นด้วย (McMillan., 1994) การทำงานของด่างนั้นเชื่อว่าจะไปเพิ่มการพองตัวของเซลลูโลสที่ต่อสายพันธะภายในของไซ-แลนในเฮมิเซลลูโลส ทำให้ความพรุนของวัสดุเพิ่มขึ้นเมื่อทำการกำจัดสายโซ่ที่เชื่อมต่อกันในของความเป็นโครงสร้างผลึกเซลลูโลสลดความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ และสามารถแยกโครงสร้างของลิกนินและคาร์โบไฮเดรต ต่างที่นิยมใช้ในการแยกลิกนินได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH<sub>4</sub>OH) (Kim et al., 2008)



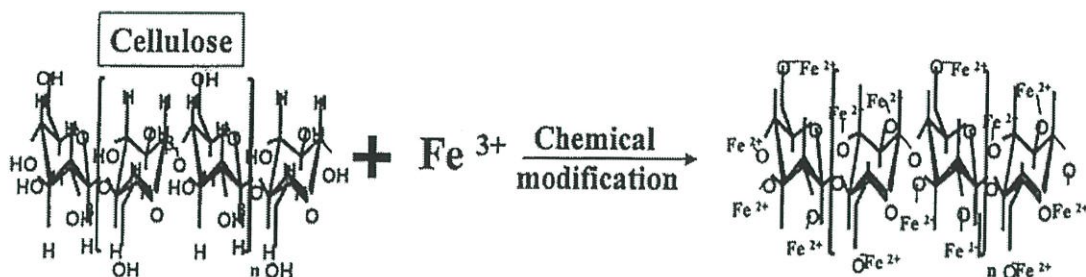
รูปที่ 2.4 การปรับปรุงเซลลูโลสด้วยด่าง  
ที่มา: พอตา (2547)

### 4. การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีทางกายภาพร่วมกับทางเคมี (Physicochemical Modification)

เป็นวิธีการที่ใช้วิธีทางกายภาพร่วมกับวิธีทางเคมี เช่น การระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam Explosion) การระเบิดด้วยแอมโมเนีย (Ammonia Fiber Explosion, Afex) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

#### 2.4 การดัดแปรพื้นผิวของวัสดุ

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเช่น เปลือกสับปะรดเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสองค์ประกอบที่พบมากที่สุดคือเซลลูโลส (พิชามญช์, สุดาพิทย์ และสุนีย์, 2556) ซึ่งเซลลูโลสนั้นมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลเป็นส่วนประกอบ ไฮดรอกซิลเป็นประจุลบซึ่งมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ดี แต่เนื่องจากสารที่ต้องการบำบัดในงานวิจัยนี้คือ คลอไรด์ (Cl<sup>-</sup>) ซึ่งเป็นประจุลบ ดังนั้นจึงต้องมีการดัดแปรพื้นผิวของวัสดุเสียก่อนเพื่อให้วัสดุมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลบได้ โดยขั้นตอนการดัดแปรนั้น เป็นการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันที่เป็นโครงสร้างของวัสดุให้มีความเหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการบำบัด ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการพัฒนาตัวดูดซับจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยอาศัยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลในเซลลูโลสกับไอออนของโลหะหนักเช่น เพอร์ริคไอออน (Fe<sup>3+</sup>), เพอร์รัสไอออน (Fe<sup>2+</sup>) และอะลูมิเนียมไอออน (Al<sup>3+</sup>) เกิดการแลกเปลี่ยนประจุกันบนพื้นผิวของวัสดุ ทำให้วัสดุมีประจุบวกเกิดขึ้นที่ผิวดังรูปที่ 2.5 นั้น โดยวัสดุนั้นสามารถใช้กำจัด ไอออนลบของฟอสเฟต (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) และสารหนู (AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) ในน้ำได้



รูปที่ 2.5 การเพิ่มประจุบวกบนพื้นผิวตัวดูดซับโดยอาศัยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน  
ที่มา: Kim (2008)

## 2.5 การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน

การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (Exchange adsorption) เป็นการดูดซับที่มีการแลกเปลี่ยนไอออนของตัวถูกดูดซับในสารละลายกับไอออนในของแข็ง (พอตา, 2547) เป็นการดูดซับที่อาศัยการดูดติดด้วยแรงไฟฟ้าสถิตบริเวณผิว เมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุ และเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงกันข้าม (วรวิทย์, 2558) และได้สรุปว่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญดังต่อไปนี้

### 1. ไอออนในสารละลาย

- จำนวนประจุโดยไอออนที่มีวาเลนซ์สูงกว่าจะเกิดการแลกเปลี่ยนได้ดีกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ ซึ่งลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนแสดงในตารางที่ 2.2

- น้ำหนักอะตอมและขนาด ซึ่งจะมีบทบาทในกรณีของไอออนที่มีวาเลนซ์เท่ากัน ไอออนที่มีน้ำหนักอะตอมสูงกว่าจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนดีกว่าไอออนที่มีน้ำหนักอะตอมต่ำกว่า เช่น  $Ba^{2+} > Sr^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+}$

- ความเข้มข้นของไอออนนั้นๆในสารละลาย โดยไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำกว่าแต่มีความเข้มข้นสูงกว่าอาจมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์สูงกว่าแต่มีความเข้มข้นต่ำกว่า

### 2. สมบัติของวัสดุที่แลกเปลี่ยน

- ระดับการเชื่อมขวาง (Degree of cross linking) โดยวัสดุที่มีระดับการเชื่อมขวางสูงกว่าจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีกว่าวัสดุที่มีระดับการเชื่อมขวางต่ำ

- ชนิดของหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ถ้าส่วนโครงสร้างของตัวกลาง (matrix) มีประจุลบประจำตัว Functional group จะมีประจุบวก วัสดุดังกล่าวจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity) หาก matrix มีประจุบวกประจำตัว Functional group จะมีประจุลบ ทำให้วัสดุมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (anion exchange capacity) (กันตพัฒน์, 2558)

ตารางที่ 2.2 ลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

ไอออนบวก	ไอออนลบ	ลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน
$\text{Fe}^{3+}$	$\text{CO}_3^{2-}$	มากที่สุด ↑ น้อยสุด
$\text{Al}^{3+}$	$\text{SO}_4^{2-}$	
$\text{Pb}^{2+}$	$\text{SO}_3^{2-}$	
$\text{Ba}^{2+}$	$\text{HPO}_4^{2-}$	
$\text{Sr}^{2+}$	$\text{CNS}^-$	
$\text{Cd}^{2+}$	$\text{CNO}^-$	
$\text{Zn}^{2+}$	$\text{NO}^-$	
$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Br}^-$	
$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	
$\text{Mn}^{2+}$	$\text{CN}^-$	
$\text{Ca}^{2+}$	$\text{HCO}_3^-$	
$\text{Mg}^{2+}$	$\text{HSiO}_3^-$	
$\text{K}^+$	$\text{OH}^-$	
$\text{NH}_4^+$	$\text{F}^-$	
$\text{Ba}^+$		
$\text{H}^+$		
$\text{Li}^+$		

ที่มา : พอตตา (2547)

## 2.6 กรด-เบส แบบฮาร์ด-ซอฟต์ (Hard-Soft Acids-Bases: HSAB)

### 2.6.1 Soft and hard bases

- Soft Lewis base คือโมเลกุลหรือไอออนซึ่งมีขนาดใหญ่ ถูกทำให้เกิดขั้วได้ง่ายมีประจุลบต่ำ หรือมีอะตอมที่ให้อิเล็กตรอนที่มี EN ต่ำ (H, C, S) เช่น  $\text{I}^-$ ,  $\text{H}^-$ ,  $\text{R}^-$ ,  $\text{R}_2\text{S}$ ,  $\text{RSH}$ ,  $\text{RS}^-$ ,  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,  $\text{R}_3\text{P}$ ,  $\text{R}_3\text{A}$ ,  $(\text{RO})_3\text{P}$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{RNC}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$

- Hard Lewis base คือโมเลกุลหรือไอออนซึ่งมีขนาดเล็ก เหนียวนำไปเกิดขั้วได้ยาก มีประจุลบสูง หรือมีอะตอมที่ให้อิเล็กตรอนที่มี EN สูง (N, F, O) เช่น  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{ROH}$ ,  $\text{RO}^-$ ,  $\text{R}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{RNH}_2$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4$

- Borderline base คือมีสมบัติอยู่กึ่งกลางระหว่าง hard และ soft base เช่น  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ ,  $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{N}_2$

ข้อสังเกต ในหมู่เดียวกัน ความแรงของ Lewis base ลดลง เมื่อขนาดอะตอมที่ให้อิเล็กตรอนใหญ่ขึ้นเช่น halide ions มีความแรงของ  $\text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$  นั่นคือ  $\text{F}^-$  เป็น hard Lewis base มากที่สุด  $\text{I}^-$  เป็น soft Lewis base มากที่สุด

### 2.6.2 Soft and hard acids

- Soft Lewis acid คือโมเลกุลหรือไอออนซึ่งอะตอมที่รับคู่  $e^-$  ถูกทำให้เกิดขั้วได้ง่าย ได้แก่ ไอออนที่มีขนาดใหญ่ มีประจุบวกต่ำหรือเป็นศูนย์ เช่น  $Cu^+$ ,  $Ag^+$ ,  $Au^+$ ,  $Tl^+$ ,  $Hg^+$ ,  $Pd^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Pt^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Tl^{2+}$ ,  $BH_3$ ,  $GaCl_3$ ,  $InCl_3$ ,  $I^+$ ,  $Br^+$ ,  $I_2$ ,  $Br_2$

- Hard Lewis acid คือโมเลกุลหรือไอออนซึ่งอะตอมที่รับคู่  $e^-$  ถูกทำให้มีขั้วได้ยาก ไอออนพวกนี้มีขนาดเล็ก มีประจุบวกสูง และมีโครงสร้าง  $e^-$  แบบ inert gas เช่น  $H^+$ ,  $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Be^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ga^{3+}$ ,  $In^{3+}$ ,  $La^{3+}$ ,  $Lu^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Co^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $As^{3+}$ ,  $Si^{4+}$ ,  $Ti^{4+}$ ,  $Zr^{4+}$ ,  $VO^{2+}$ ,  $BF_3$ ,  $SO_3$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $CO_2$ ,  $I^{5+}$ ,  $I^{7+}$

- Borderline acid คือมีสมบัติอยู่กึ่งกลางระหว่าง hard และ soft acid เช่น  $Fe^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Sn^{2+}$ ,  $Sb^{3+}$ ,  $Rh^{3+}$ ,  $SO_2$ ,  $NO^+$ ,  $GaH_3$

### 2.6.3 หลักการ Hard and Soft acids & bases และความเสถียรของ สารประกอบเชิงซ้อน



หลักการเสนอโดย Pearson มีประโยชน์ในการทำนายความเสถียรของ complex A : B Complex A : B จะเสถียรมากที่สุด เมื่อ A และ B เป็น soft ทั้งคู่ หรือ hard ทั้งคู่ และไม่เสถียรที่สุด เมื่อสารตัวหนึ่งเป็น hard ที่สุด และอีกตัวหนึ่งเป็น soft ที่สุด (เพชรลดา, 2559)

### 2.7 การละลายของเกลือ

เกลือเป็นสารประกอบไอออนิกประกอบด้วยแคตไอออนและแอนไอออนทำให้ผลผลิตที่ได้เป็นกลาง (ประจุสุทธิเป็นศูนย์) ไอออนเหล่านี้อาจเป็นอนินทรีย์ ( $Cl^-$ ) กับอินทรีย์ ( $CH_3COO^-$ ) หรือไอออนอะตอมเดี่ยว ( $F^-$ ) กับไอออนหลายอะตอม ( $SO_4^{2-}$ ) ก็ได้ เกลือสามารถเตรียมได้ 3 วิธี (กุลยาและคณะ, 2556)

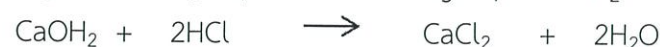
1. ปฏิกริยาสะเทิน (neutralization) ของกรดเบส เมื่อกรดและเบสทำปฏิกริยากันจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือกับน้ำ



2. ปฏิกริยาของอโลหะกับโลหะ ซึ่งเกลือจะเป็นผลิตภัณฑ์โดยตรงที่เกิดจากการทำปฏิกริยา



3. ปฏิกริยาของโลหะหรือโลหะออกไซด์กับกรด



เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) มักถูกนำมาใช้ในรูปสารละลายเจือจาง โดยใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน (Flocculating agent) และสารตกตะกอน (Precipitating agent) ในระบบบำบัดน้ำ โดยเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) จะทำปฏิกริยากับความเป็นด่างในน้ำเกิดเป็น  $Fe(OH)_3$  (โสรดาและจิริสา, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลาย Ferric chloride ในน้ำจะแตกตัวเป็น iron(ferric) ดังสมการ (Wadsindinpun, 2015)



และ chloride ions ขณะที่น้ำจะแตกตัวเป็น hydrogen และ hydroxyl ions



Ferric ions บางส่วนจะรวมตัวกับ hydrogen และ hydroxyl ions กลายเป็น ferric hydroxide สารประกอบซึ่งละลายได้น้อยและตกตะกอนในสารละลายเป็นของแข็งสีน้ำตาล



## 2.8 ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

### 2.8.1 ข้อมูลทั่วไปของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ สัตว์ และระบบนิเวศ เป็นแร่ธาตุที่พบมากในรูปธรรมชาติในรูปของเกลือฟอสเฟตต่างๆ โดยตามปกติแล้วแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งฟอสฟอรัสจำแนกออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) หรือฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Soluble Reactive Phosphorus) เป็นสารที่ความสามารถในการละลายน้ำได้ดีและแพลงก์ตอนพืช สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต
2. พอลิฟอสเฟต (Polyphosphate) เป็นสารที่พบมากในน้ำเสียจากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมเพราะเป็นส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาด เมื่อแตกตัวจะให้ออร์โธฟอสเฟต
3. อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic Phosphate) เกิดจากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพสามารถพบได้ในรูปสารละลาย สารแขวนลอยและสารอินทรีย์วัตถุที่กำลังเน่าสลายคือเป็นองค์ประกอบในสิ่งมีชีวิต (ยาโก๊ะ, 2553)

### 2.8.2 ที่มาของฟอสฟอรัสในน้ำ

ฟอสฟอรัสมีที่มาจาก 2 แหล่งใหญ่ๆคือด้วยกันคือ

1. จากแหล่งธรรมชาติ สามารถพบได้จากการละลายของหินฟอสเฟต ผงฝุ่นฟอสฟอรัสที่อยู่ในอากาศและถูกฝนพัดพาให้ตกลงสู่แหล่งน้ำ และฝนที่ตกลงมายังพาเอาเศษซากดิน และหินที่มีฟอสฟอรัสลงไปในแหล่งน้ำอีกด้วย ฟอสฟอรัสยังถูกพบได้ในมูลนกบางชนิดรวมถึงเศษซากพืช ซากสัตว์ที่ตายทับถมในแหล่งน้ำ
2. จากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ โดยทั่วไปจะพบฟอสฟอรัสมากในน้ำเสียชุมชนเช่น น้ำเสียจากการซักล้างในครัวเรือน โรงงานอุตสาหกรรมประเภทยุ่ย และโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง (ธงชัย, 2539) ถึงแม้จะได้รับการบำบัดแล้วก็ตามยังมีปริมาณฟอสฟอรัสเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก

### 2.8.3 ผลกระทบของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

ฟอสฟอรัสจัดเป็น Growth Limiting nutrient ของพืชน้ำ หรือแพลงก์ตอนพืช มักพบสารประกอบฟอสฟอรัสถูกพบในน้ำทิ้งของชุมชนจากการใช้สารซักล้าง หรือสารทำความสะอาดต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารทลวงวันเวลาหรือการเขียนเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นับผูกพันหาไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีสารประกอบของฟอสฟอรัสลงไปในน้ำ สารประกอบฟอสฟอรัสจะกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของพีชน้ำ หรือแพลงก์ตอนพืชอย่างรวดเร็วเช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีเขียว ทำให้อาหารน้ำมีสีเขียวขุ่น แหล่งน้ำมีออกซิเจนในน้ำน้อยในเวลาที่ไม่มีแสงแดด ทำให้สัตว์น้ำขาดออกซิเจนสำหรับหายใจ ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์นี้ว่า ยูโทรฟิเคชัน

## 2.9 คลอไรด์ในแหล่งน้ำ

คลอไรด์ (Chloride) เมื่ออยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปคลอไรด์ไอออน ( $Cl^-$ ) พบได้ทั่วไปในน้ำธรรมชาติและน้ำเสีย ถ้าในน้ำมีปริมาณคลอไรด์มากกว่า 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้น้ำนั้นมีรสกร่อย เนื่องจากเกิดการรวมตัวของคลอไรด์ และโซเดียม เกิดเป็นโซเดียมคลอไรด์ ( $NaCl$ ) หรือเกลือแกง นอกจากนี้คลอไรด์ยังสามารถรวมตัวกับแคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำได้ ซึ่งน้ำที่มีปริมาณคลอไรด์สูง หรือน้ำกร่อยนั้นจะมีความกระด้างถาวรซึ่งไม่สามารถกรองน้ำได้ด้วยวิธีธรรมดาได้ จะต้องใช้ระบบ Reverse Osmosis (RO) เท่านั้นและน้ำที่มีความเค็มสูงนี้ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนท่อน้ำที่ทำจากโลหะ ส่งผลให้ปริมาณเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำสูงขึ้นด้วย (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2556)

### 2.9.1 ที่มาของคลอไรด์ในน้ำ

คลอไรด์เป็นธาตุชนิดหนึ่งที่พบในองค์ประกอบของน้ำเค็ม โดยเฉพาะการพบคลอไรด์ของน้ำทะเลที่รุกเข้ามาในลำน้ำเจ้าพระยาในเดือนมีนาคม-เมษายนของทุกปี ประกอบกับช่วงเดือนนั้นเป็นฤดูแล้งจึงทำให้มีปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อนน้อย จึงไม่เพียงพอที่จะใช้ในการผลักดันน้ำเค็มให้ถอยลงไปที่ใกล้กับปากอ่าวไทยมากที่สุดหรือน้ำเสียคลอไรด์ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมดองพืชผักและผลไม้

### 2.9.2 ผลกระทบของคลอไรด์ในน้ำ

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตจะเข้าสู่กระบวนการบำบัดของโรงงานแต่เนื่องจากการจัดการของบางโรงงานไม่มีประสิทธิภาพเช่น ไม่มีการบำบัดหรือกรองด้วยวัสดุกันซึมในบ่อบำบัดน้ำเสีย ส่งผลให้เกลือแกงที่ละลายอยู่ในน้ำซึมลงไปในดิน หรือกรณีที่มีการลักลอบระบายน้ำเสียออกนอกโรงงานลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดผลกระทบหลายประการเช่น ทำให้น้ำผิวดินมีความเค็มเพิ่มขึ้น จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคได้ ทำให้ระบบนิเวศในแหล่งรองรับน้ำเสียเกิดความเสื่อมโทรมและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ ทำให้ไม่สามารถนำน้ำที่มีความเค็มไปใช้ในการเกษตรได้เพราะจะทำให้พืชหยุดการเจริญเติบโตหรือตายได้ในที่สุด

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Diola and Orozco (2014) ทำการปรับสภาพขุยมะพร้าวด้วยสารละลาย  $NaOH$  โดยนำขุยมะพร้าวมาแช่ในสารละลาย  $NaOH$  เข้มข้น 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 โมลาร์ เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างและทำการอบแห้ง ซึ่งพบว่าขุยมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วย  $NaOH$  เข้มข้น 0.5 โมลาร์ สามารถใช้กำจัด  $Cu^{2+}$  ได้มากที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงสุดเท่ากับ 94%

Mandina et al. (2013) ทำการดัดแปรพื้นผิวของเปลือกส้มด้วยกระบวนการทางเคมี เพื่อใช้กำจัด  $Cr^{6+}$  ในน้ำเสีย โดยการปรับสภาพเปลือกส้มด้วย  $NaOH$  เข้มข้น 0.10 โมลาร์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมงเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้เนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างและอบเปลือกส้มให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผล FT-IR พบว่าเปลือกส้มที่ปรับสภาพด้วย NaOH จะมีลักษณะสเปกตรัมคล้ายกับเปลือกส้มที่ไม่ปรับสภาพ แต่จะมีการลดลงของความเข้มข้นที่ประมาณ  $1740 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงหมู่ฟังก์ชันของ Ester ที่คาดว่าถูกไฮโดรไลซ์ด้วย NaOH โดยเปลือกส้มที่ผ่านการปรับสภาพจะมีความจุในการดูดซับ  $\text{Cr}^{6+}$  เพิ่มขึ้นจาก  $9.70 \text{ mg/g}$  เป็น  $13.9 \text{ mg/g}$

Ronda et al. (2013) ทำการศึกษาการปรับสภาพกิงมะกอกด้วยสารละลายที่ต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  และ NaOH เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับตะกั่วในสารละลาย โดยนำกิงมะกอกที่บดจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร มาปรับสภาพด้วย  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  และ NaOH เข้มข้นอย่างละ 0.1 โมลาร์ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างกิงมะกอกต่อสารปรับสภาพเป็น 1:10 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมด้วยเทคนิค Nitrogen Adsorption ที่อุณหภูมิ 77 K พบว่า กิงมะกอกที่ปรับสภาพด้วย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{HNO}_3$  มีพื้นที่ผิวจำเพาะลดลงจาก  $0.63 \text{ m}^2/\text{g}$  เป็น  $0.61 \text{ m}^2/\text{g}$  และ  $0.43 \text{ m}^2/\text{g}$  ตามลำดับ และการปรับสภาพด้วย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ส่งผลให้กิงมะกอกมีปริมาตรรูพรุนรวมเพิ่มขึ้นจาก  $0.00154 \text{ cm}^3/\text{g}$  เป็น  $0.00165 \text{ cm}^3/\text{g}$  ขณะที่การปรับสภาพด้วย  $\text{HNO}_3$  ทำให้ปริมาตรรูพรุนรวมลดลงเหลือ  $0.00098 \text{ cm}^3/\text{g}$  ส่วนการปรับสภาพด้วย NaOH ส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมของกิงมะกอกเพิ่มขึ้นเป็น  $3.53 \text{ m}^2/\text{g}$  และ  $0.00583 \text{ cm}^3/\text{g}$  ตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบการดูดซับตะกั่วในสารละลายพบว่า กิงมะกอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH สามารถดูดซับตะกั่วได้มากกว่ากิงมะกอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{HNO}_3$

Liu et al. (2012) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากต้นไผ่ที่ผ่านการตัดแปรด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  เพื่อใช้กำจัดสารหนู ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ) ในสารละลาย โดยนำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากต้นไผ่มาแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้าง และแช่ลงในสารละลาย  $\text{FeCl}_3$  เข้มข้น 0.10 โมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำการล้างและอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการตัดแปรด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  จะมีพื้นที่ผิวลดลงจาก  $58.67 \text{ m}^2/\text{g}$  เหลือ  $13.07 \text{ m}^2/\text{g}$  แสดงให้เห็นถึงการยึดเกาะของ  $\text{Fe}^{3+}$  บนถ่านกัมมันต์ ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการตัดแปรด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  จะมีความจุสูงสุดในการดูดซับสารหนูเท่ากับ  $19.67 \text{ mg/g}$

Ning-chuan and Xue-yi and Sha (2012) ทำการเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกส้มเพื่อใช้กำจัดโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  ซึ่งทำการปรับสภาพเปลือกส้มด้วย NaOH โดยนำเปลือกส้มที่มีขนาด 0.45 มิลลิเมตร มาแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.8 โมลาร์ เป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรองและนำเปลือกส้มไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยพบว่าเปลือกส้มที่ปรับสภาพด้วย NaOH มีความจุสูงสุดในการดูดซับ  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  เท่ากับ 70.73, 209.8 และ  $56.18 \text{ mg/g}$  ตามลำดับ

Chowdhury et al. (2011) ทำการศึกษากการปรับสภาพแกลบข้าวด้วย NaOH เพื่อใช้ดูดซับสีมาลาโคโทกรีน โดยนำแกลบมาบด ล้างให้สะอาด และอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 5.0% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 15 นาที ที่ความดัน 10 psi จากนั้นนำแกลบข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมากรอง และอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของแกลบข้าวที่ผ่านการปรับสภาพเทียบกับแกลบข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยเครื่อง SEM พบว่าพื้นที่ผิวของแกลบข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมีรูพรุนมากขึ้น อีกทั้งยังมีความขรุขระ และหยาบมากกว่าแกลบข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดมาลาโคทกรีน พบว่าแกลบข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ สามารถกำจัดมาลาโคทกรีนได้ 97% โดยพื้นผิวของแกลบข้าวหลังจากใช้ดูดซับมาลาโคทกรีน จะมีลักษณะเรียบขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากมาลาโคทกรีนที่ถูกดูดซับจะไปเคลือบพื้นผิวของแกลบข้าว

Nasuha and Hameed (2011) ทำการศึกษาการปรับสภาพกากชาด้วยกระบวนการทางเคมีเพื่อใช้สำหรับดูดซับเมทธิลีนบลู โดยนำกากชามาล้างให้สะอาด ทำการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดจนมีขนาด 250-355 ไมโครเมตร และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงโดยพบว่ากากชาที่ผ่านการปรับสภาพมีพื้นผิวคล้าย รังผึ้ง มีรอยแตก และมีรูพรุนมากกว่ากากชาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และเมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูรวมด้วยเทคนิค Nitrogen Adsorption ที่อุณหภูมิ 77 Kพบว่ากากชาที่ปรับสภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นจาก  $4.2\text{ m}^2/\text{g}$  เป็น  $6.5\text{ m}^2/\text{g}$  และปริมาตรรูรวมเพิ่มขึ้นจาก  $0.0045\text{ cm}^3/\text{g}$  เป็น  $0.0064\text{ cm}^3/\text{g}$  ซึ่งเมื่อนำทดสอบความสามารถในการดูดซับเมทธิลีนบลู พบว่ากากชาที่ผ่านการปรับสภาพสามารถดูดซับเมทธิลีนบลูเพิ่มขึ้นจาก  $147\text{ mg/g}$  เป็น  $242\text{ mg/g}$

Liu et al. (2010) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระเจี๊ยบ และนำมาดัดแปรพื้นผิวโดยใช้  $\text{Fe}^{3+}$  เพื่อใช้ดูดซับ  $\text{Cr}^{6+}$  ในสารละลาย แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก เป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยนำเปลือกกระเจี๊ยบ มาแช่ในกรด  $\text{H}_3\text{PO}_4$  เข้มข้น 45% (v/v) เป็นเวลา 1 คืน และนำมาเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขั้นตอนที่ 2 ทำการดัดแปรพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระเจี๊ยบด้วยการแช่ในสารละลาย  $\text{FeCl}_3$  เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระเจี๊ยบสามารถดูดซับ  $\text{Cr}^{6+}$  ได้สูงสุด  $11.83\text{ mg/g}$

Ofomaja, Naidao and Modise (2009) ทำการศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวลูกสนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อนำมาดูดซับ  $\text{Cu}^{2+}$  ในสารละลาย โดยนำลูกสนมาบดจนมีขนาดเล็กกว่า 150 ไมโครเมตร แล้วทำการปรับสภาพด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01, 0.05, 0.10 และ 0.15 โมลาร์ ใช้อัตราส่วนระหว่างลูกสนต่อสารละลายเป็น 1:10 แช่ไว้ 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และนำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และทำการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน พบว่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของลูกสนจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ปรับสภาพ และเมื่อทำการทดสอบการดูดซับ  $\text{Cu}^{2+}$  พบว่าลูกสนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.15 M สามารถดูดซับ  $\text{Cu}^{2+}$  ได้มากที่สุด

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 อุปกรณ์

1. ตู้อบ บริษัท Fisher Scientific
2. เครื่องกรองระบบสูญญากาศ รุ่น Aspirator A-35 บริษัท TOKYO RIKAKIKAI CO.,LTD
3. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น ML204/01 บริษัท Mettler Toledo
4. เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) รุ่น AAS-200 บริษัท Perkinstar
5. เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน (Surface Area and Pore Size Analyzers) รุ่น Autosorb-1 serie บริษัท Quantachrome Instrument
6. เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น JSM-6355 FE บริษัท JEOL, Japan
7. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) รุ่น UH5300 บริษัท Hitachi
8. เครื่องบดหยาบ บริษัท BOSCO
9. เครื่องบดละเอียดขนาด 200 Mesh บริษัท Retsch
10. เครื่องเขย่าแนวนอน (Horizontal Shaker) บริษัท GALLENKAMP
11. โถดูดความชื้น
12. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
13. เครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติกสำหรับห้องปฏิบัติการ

##### 3.1.2 สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), AR Grade, Fisher Scientific
2. เฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), AR Grade, Fisher Scientific
3. กรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), AR Grade, Carlo Erba
4. สารละลายแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4$  Solution) 30%, AR Grade, Carlo Erba
5. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein), AR Grade, Fisher Scientific
6. กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ), AR Grade, Fisher Scientific
7. แอมโมเนียมโมลิบเดต ( $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), AR Grade, Carlo Erba
8. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาทเรท ( $(\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O})$ ), AR Grade, Carlo Erba
9. กรดแอสคอร์บิก ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ), AR Grade, Fisher Scientific
10. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), AR Grade, Carlo Erba
11. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl), AR Grade, ACS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ซิลเวอร์ไนเตรท ( $\text{AgNO}_3$ ), AR Grade, Fisher Scientific
13. โพแทสเซียมไดโครเมต ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ), AR Grade, Fisher Scientific
14. เมทิลีนบลู ( $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{Sn}_3\text{H}_2\text{O}$ ), AR Grade, Fisher Scientific
15. แอมโมเนียมอะซิเตรท ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ), AR Grade, ACS
16. แอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), AR Grade, Carlo Erba
17. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) 95%
18. กรดบอริก ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), AR Grade, Carlo Erba
19. โบรโมครีซอลกรีน ( $\text{C}_{21}\text{H}_{14}\text{Br}_4\text{O}_5\text{S}$ ), AR Grade, Fisher Scientific
20. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP), AR Grade, Carlo Erba
21. เมทิลเรด ( $\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$ ), AR Grade, Fisher Scientific

### 3.2 การเตรียมเปลือกสับปรดตัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกไอออน

นำเปลือกสับปรดพันธุ์ *ศรีราชา* มาล้างให้สะอาด ผึ่งแดด เป็นเวลา 5-7 วัน นำไปอบที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรกร่อนขนาด 200 เมช จากนั้นนำไปปรับสภาพด้วย NaOH และเคลือบผิวด้วยเฟอร์ริกไอออน ตามสภาวะที่ระบุไว้ในงานวิจัยของกันตพัฒน์(2558) โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. แช่เปลือกสับปรดที่เตรียมได้ ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.0% (w/v) ที่อุณหภูมิ  $50^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กำหนดอัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรระหว่างเปลือกสับปรดต่อ NaOH เท่ากับ 1:10

2. เมื่อครบเวลาที่กำหนดกรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 ล้างด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำกลั่น จากนั้นนำส่วนที่เป็นของแข็งไปอบที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

3. แช่เปลือกสับปรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH เป็นเวลา 30 นาที ในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) ที่มีความเข้มข้นของ  $\text{Fe}^{3+}$  เท่ากับ 0.10 โมลาร์ และปรับพีเอชของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 2 ด้วยกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น 0.10 โมลาร์ อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรระหว่างเปลือกสับปรดต่อสารละลาย  $\text{FeCl}_3$  เท่ากับ 1:5

4. เมื่อครบเวลาที่กำหนดกรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 จากนั้นนำส่วนที่เป็นของแข็งไปอบที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

5. แช่เปลือกสับปรดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  เป็นเวลา 10 นาที ในสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$  เข้มข้น 1.0 โมลาร์ อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรระหว่างเปลือกสับปรดต่อสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$  เท่ากับ 1:5

6. เมื่อครบเวลาที่กำหนดกรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 และนำส่วนที่เป็นของแข็งไปอบที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

7. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเปลือกสับปรดที่ตัดแปรพื้นผิว วิเคราะห์ค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue Number) วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมด้วยเทคนิค Nitrogen Adsorption ที่อุณหภูมิ 77 K (คำนวณด้วยสมการของ BET) วิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microscope, SEM) และวิเคราะห์ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก(Cation Exchange Capacity, CEC)

### 3.3 การศึกษาคุณสมบัติในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำ

#### 3.3.1 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมพัทธ์ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต

1. ชั่งเปลือกสับปะรดที่เตรียมมาได้จากข้อ 3.2 ปริมาณ 0.1 กรัม เติมสารละลายฟอสเฟตความเข้มข้น 1 mg/L ลงไป 50 มิลลิลิตร
2. นำไปเขย่าที่เครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. กรองสารละลายแบบลดความดัน ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
4. ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลาย ด้วยวิธี Acid Hydrolyzed ร่วมกับเทคนิคการทำให้เกิดสีด้วย Ascobic acid (APHA, AWWA and WEF,1995)
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 - 4 แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการดูดซับจาก 1 ชั่วโมง เป็น 2, 6, 8, 10, 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ
6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 - 5 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของฟอสเฟตจาก 1 mg/L เป็น 5 และ 10 mg/L
7. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 1 - 5 แต่ไม่ใส่วัสดุในสารละลายฟอสเฟต
8. ทำแปลงค์ โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 1 - 5 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายฟอสเฟต

#### 3.3.2 การศึกษาผลของปริมาณวัสดุ

1. ชั่งเปลือกสับปะรดที่เตรียมมาได้จากข้อ 3.2 ปริมาณ 0.1 กรัม เติมสารละลายฟอสเฟตความเข้มข้น 1 mg/L ลงไป 50 มิลลิลิตร
2. นำไปเขย่าที่เครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาผลของระยะเวลาตามวิธีในข้อ 3.3.1
3. กรองสารละลายแบบลดความดัน ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
4. ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลาย ด้วยวิธี Acid Hydrolyzed ร่วมกับเทคนิคการทำให้เกิดสีด้วย Ascobic acid (APHA, AWWA and WEF,1995)
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 - 4 แต่เปลี่ยนปริมาณวัสดุจาก 0.1 กรัม เป็น 0.25, 0.5 และ 1 กรัม ตามลำดับ
6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 1 - 5 แต่ไม่ใส่วัสดุในสารละลายฟอสเฟต
7. ทำแปลงค์ โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 1 - 5 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ศึกษาคุณสมบัติในการกำจัดคลอไรด์

#### 3.4.1 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส

1. ชั่งเปลือกสับปะรดที่เตรียมมาได้จากข้อ 3.2 ปริมาณ 2.5 กรัม เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์(NaCl) ความเข้มข้น 2000 mg/L ลงไป 25 มิลลิลิตร
2. นำไปเขย่าที่เครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. กรองสารละลายแบบลดความดัน ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
4. นำสารละลายที่กรองได้มาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนด้วยวิธีการของ Argentometric Method (APHA, AWWA and WEF,1995)
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 - 4 แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการดูดซับจาก 1 ชั่วโมง เป็น 2, 6, 8, 10, 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ
6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 1 - 5 แต่ไม่ใส่วัสดุในสารละลายโซเดียมคลอไรด์
7. ทำแปลงค์ โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 1 - 5 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายโซเดียมคลอไรด์

#### 3.4.2 ศึกษาผลของปริมาณวัสดุ

1. ชั่งเปลือกสับปะรดที่เตรียมมาได้จากข้อ 3.2 ปริมาณ 2.5 กรัม เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์(NaCl) ความเข้มข้น 2000 mg/L ลงไป 25 มิลลิลิตร
2. นำไปเขย่าที่เครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาผลของระยะเวลาในการดูดซับจากข้อ 3.4.1
3. กรองสารละลายแบบลดความดัน ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
4. นำสารละลายที่กรองได้มาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนด้วยวิธีการของ Argentometric Method (APHA, AWWA and WEF,1995)
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 - 4 แต่เปลี่ยนปริมาณวัสดุจาก 2.5 กรัม เป็น 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 กรัม ตามลำดับ
6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 1 - 5 แต่ไม่ใส่วัสดุในสารละลายโซเดียมคลอไรด์
7. ทำแปลงค์ โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 1 - 5 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายโซเดียมคลอไรด์

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความสามารถของเปลือกสับปะรดดัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนในการกำจัดไอออนลบในน้ำ ได้ผลการศึกษาดังนี้

#### 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ

วัสดุที่ใช้ศึกษาเป็นเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เคลือบพื้นผิวของวัสดุด้วยเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) และเพิ่มประสิทธิภาพการดูดติดของ  $\text{Fe}^{3+}$  ด้วย  $\text{NH}_4\text{OH}$  ซึ่งสภาวะในการเตรียมวัสดุอ้างอิงจากกันตพัฒน์ (2558) เมื่อนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีได้ผลดังนี้

##### 4.1.1 ค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue Number, MBN) ของเปลือกสับปะรดที่ดัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนเทียบกับเปลือกสับปะรด และเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู

ชนิดของวัสดุ	ค่าการดูดซับ (mg/g)	ค่าการดูดซับ <sup>1/</sup> (mg/g)
เปลือกสับปะรด	81.97±0.67	125.34±11.72
เปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH	357.45±12.77	512.00±6.58
เปลือกสับปะรดที่ดัดแปรพื้นผิววัสดุด้วย $\text{Fe}^{3+}$	92.87±0.99	N/A <sup>2/</sup>

<sup>1/</sup>กันตพัฒน์ (2558)

<sup>2/</sup>N/A คือ ไม่มีข้อมูล

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเปลือกสับปะรดมีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเท่ากับ 81.97 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อนำไปปรับสภาพด้วย 2% NaOH มีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้นเป็น 357.45±12.77 มิลลิกรัมต่อกรัม สอดคล้องกับผลการศึกษาของกันตพัฒน์ (2558) ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากสารละลาย NaOH มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนทำให้เกิดการย่อยสลายลิกนินบนพื้นผิวของวัสดุเปรียบเสมือนเป็นการเปิดโครงสร้างให้กับวัสดุ นอกจากนี้ทำให้องค์ประกอบจำพวกเซลลูโลสเกิดการบวมตัวมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซับเมทิลีนบลูในงานวิจัยครั้งนี้กับงานวิจัยของกันตพัฒน์ (2558) พบว่าเปลือกสับปะรดที่เตรียมขึ้นมีค่า MBN ต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าวัสดุที่ใช้ในการศึกษามีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย ส่วนเปลือกสับปะรดดัดแปรพื้นผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  พบว่ามีค่า MBN ลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะการเกาะติดของ  $\text{Fe}^{3+}$  บนพื้นผิวของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของวัสดุ

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนด้วยวิธี BET ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุด้วยวิธีของบีอีที (BET) โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน

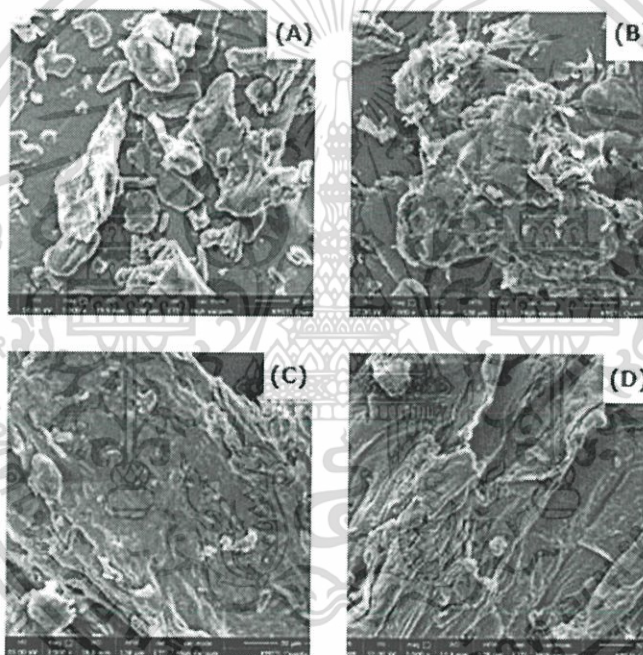
ชนิดของวัสดุ	การศึกษาครั้งนี้			กันตพัฒน์ (2558)		
	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m <sup>2</sup> /g)	ขนาดรูพรุน (nm)	ปริมาตรของรูพรุน (cm <sup>3</sup> /g)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m <sup>2</sup> /g)	ขนาดรูพรุน (nm)	ปริมาตรของรูพรุน (cm <sup>3</sup> /g)
- เปลือกสับปะรด	8.2	3.9	1.22×10 <sup>-2</sup>	8.3	7.6	1.61×10 <sup>-2</sup>
- เปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH	6.2	2.2	8.51×10 <sup>-3</sup>	26.9	5.3	2.84×10 <sup>-2</sup>
- เปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH และเคลือบพื้นผิววัสดุด้วย Fe <sup>3+</sup>	8.8	2.3	1.04×10 <sup>-2</sup>	6.3	3.6	1.79×10 <sup>-2</sup>
- เปลือกสับปะรดที่ตัดแปรผิวด้วย Fe <sup>3+</sup> และเพิ่มการดูดติดของ Fe <sup>3+</sup> ด้วย NH <sub>4</sub> OH	5.1	2.2	6.40×10 <sup>-3</sup>	6.8	3.4	1.80×10 <sup>-2</sup>

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเปลือกสับปะรด เปลือกสับปะรดที่ตัดแปรพื้นผิวด้วย Fe<sup>3+</sup> และเปลือกสับปะรดที่ตัดแปรพื้นผิวด้วย Fe<sup>3+</sup> เพิ่มการดูดติดด้วย NH<sub>4</sub>OH มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 8.2, 8.8 และ 5.1 m<sup>2</sup>/g ซึ่งผลการวิเคราะห์ BET มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของกันตพัฒน์ (2558) ส่วนเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 6.2 m<sup>2</sup>/g ลดลงจากงานวิจัยอ้างอิงที่มีค่าเท่ากับ 26.90 m<sup>2</sup>/g และไม่มีความสอดคล้องกับค่า MBN ทั้งนี้อาจเป็นผลที่เกิดมาจากวิธีการเตรียมวัสดุที่แตกต่างกันก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี BET โดยการศึกษาครั้งนี้ได้นำวัสดุที่ทดสอบไปเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง (ข้อกำหนดการใช้เครื่องมือของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จสจ.) วัสดุที่ได้ก่อนนำไปวิเคราะห์จึงมีลักษณะเป็นผงดำกัมมันต์ ซึ่งแตกต่างจากการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ BET ของกันตพัฒน์ (2558) ที่เป็นวัสดุที่ไม่ผ่านกระบวนการเผาก่อนนำไปวิเคราะห์ จึงสันนิษฐานว่าเป็นผลมาจากการปรับสภาพด้วย NaOH จะทำให้โครงร่างความเป็นผลึกลดลง เมื่อผ่านความร้อนจากกระบวนการเตรียมวัสดุจึงเกิดการแปรสภาพทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ลักษณะพื้นผิวของวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ที่กำลังขยาย 3000 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของเปลือกสับประดามีลักษณะเป็นแผ่นเล็กๆผิวเรียบดังรูปที่ 4.1(A) ส่วนเปลือกสับประดที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีลักษณะพื้นผิวขรุขระขึ้นเล็กน้อยดังรูปที่ 4.1(B) เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถย่อยสลายองค์ประกอบจำพวกลิกนิน และยังสามารถทำลายความเป็นโครงสร้างแบบผลึกของเซลลูโลส (Cellulose crystalline) ส่งผลให้เปลือกสับประดที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเป็นรูพรุนมากขึ้น ในขณะที่เปลือกสับประดที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และดัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกไอออน (ทั้งแบบที่ไม่เพิ่มการดูดติด  $\text{Fe}^{3+}$  และเพิ่มการดูดติด  $\text{Fe}^{3+}$  ด้วย  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) มีลักษณะเป็นผิวเรียบขึ้น ซึ่งน่าจะสัมพันธ์กับการเกาะติดของ  $\text{Fe}^{3+}$  บนผิวของวัสดุ ทำให้วัสดุในรูป 4.1(C) และ 4.1(D) มีลักษณะเป็นผิวเรียบกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุ 4.1(B) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ MBN ที่พบการลดลงของค่า MBN ในวัสดุดัดแปรผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า ของ (A) เปลือกสับประดก่อนปรับปรุง (B) เปลือกสับประดที่ปรับสภาพด้วย NaOH (C) เปลือกสับประดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และ  $\text{Fe}^{3+}$  และ (D) เปลือกสับประดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติด  $\text{Fe}^{3+}$  บนพื้นผิวด้วย  $\text{NH}_4\text{OH}$

#### 4.1.4 สมบัติความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) ของเปลือกสับประดดัดแปรพื้นผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  ได้ผลดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ

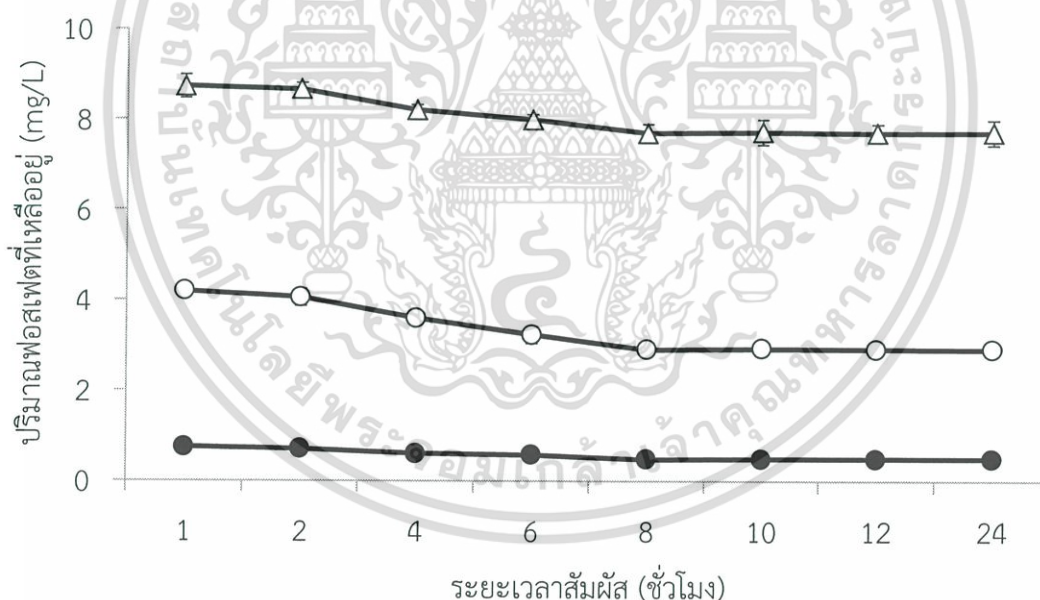
พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์
CEC	22.41±0.75 cmol/kg

จากตารางที่ 4.3 พบว่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก(CEC) ของเปลือกสับปรดัดแปรพื้นผิวด้วย  $Fe^{3+}$  มีค่าเท่ากับ 22.41±0.75 cmol/kg เมื่อนำไปเทียบกับเกณฑ์การจำแนกระดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษาลำปาง (2552) พบว่าเปลือกสับปรดัดแปรพื้นผิวด้วย  $Fe^{3+}$  มีค่า CEC อยู่ในระดับสูง

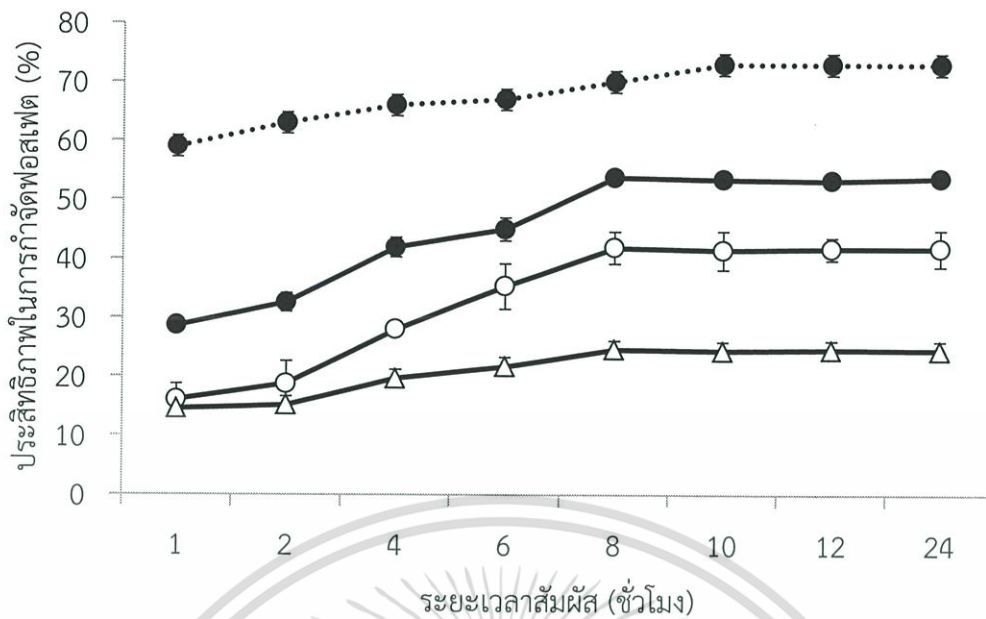
## 4.2 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำ

### 4.2.1 ผลของระยะเวลาสัมผัสและความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต

จากการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสต่อความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำของเปลือกสับปรดัดแปรพื้นผิวด้วย  $Fe^{3+}$  โดยใช้สารละลายฟอสเฟตเข้มข้น 1, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตรต่อวัสดุปริมาณ 0.1 กรัม ทำการเขย่าที่ 150 รอบต่อนาที และแปรค่าระยะเวลาสัมผัสตั้งแต่ 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 24 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ปริมาณฟอสเฟตที่เหลือน้ำเมื่อบำบัดด้วยเปลือกสับปรดที่ดัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกที่ระยะเวลาต่างกัน โดย (●) คือสารละลายฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 1 mg/L (○) คือสารละลายฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 5 mg/L และ (△) คือสารละลายฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 10 mg/L



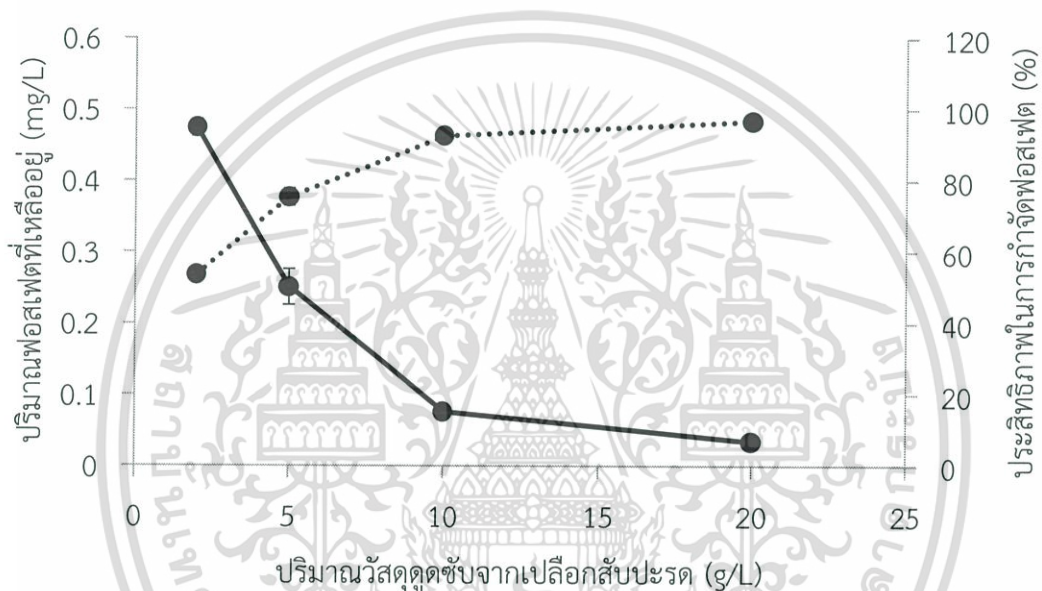
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตของเปลือกสับปรดที่ดัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกที่ระยะเวลาต่างกัน โดย (●) คือสารละลายที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟต 1 mg/L (○) คือสารละลายที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟต 5 mg/L (△) คือสารละลายที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟต 10 mg/L และ (●) คือประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตที่อ้างอิงมาจากการันตพัฒน์ (2558)

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 เห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตในน้ำที่ความเข้มข้นฟอสเฟต 1 มิลลิกรัมต่อลิตรของเปลือกสับปรดดัดแปรพื้นผิวด้วย  $Fe^{3+}$  มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาสัมผัส โดยในช่วง 1 ชั่วโมงแรก สามารถกำจัดฟอสเฟตได้  $28.61 \pm 0.44\%$  มีปริมาณฟอสเฟตในน้ำลดลงจาก  $1.04 \text{ mg/L}$  เหลือ  $0.74 \text{ mg/L}$  เมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมงเป็น 8 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นจาก  $26.61 \pm 0.44\%$  เป็น  $53.76 \pm 1.06\%$  เมื่อเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง ความสามารถในการกำจัดมีแนวโน้มคงที่ ส่วนที่ความเข้มข้น 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรมีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การกำจัดในลักษณะเดียวกันกับผลการทดลองที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงสุดอยู่ที่เวลา 8 ชั่วโมงโดยที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณฟอสเฟตลดลงจาก  $5.00 \pm 3.18 \text{ mg/L}$  เหลือเพียง  $2.91 \pm 0.14 \text{ mg/L}$  หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตเท่ากับ  $41.86 \pm 2.71\%$  และที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณฟอสเฟตลดลงจาก  $10.22 \pm 0.05 \text{ mg/L}$  เหลือเพียง  $7.70 \pm 0.20 \text{ mg/L}$  หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตต่ำที่สุดคือ  $24.63 \pm 1.94\%$  นอกจากนี้พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตดังจะเห็นได้จากประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายฟอสเฟต 1 mg/L ที่ 24 ชั่วโมง มีค่า  $53.66\%$  เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตเป็น 5 mg/L และ 10 mg/L เปลือกสับปรดสามารถกำจัดฟอสเฟตได้  $41.78\%$  และ  $24.49\%$  ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตของเปลือกสับปรดที่เตรียมขึ้นในการศึกษารั้งนี้กับงานวิจัยก่อนหน้า (กันตพัฒน์, 2558) พบว่า ณ ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 mg/L เท่ากัน เปลือกสับปรดที่เตรียมขึ้นสามารถกำจัดฟอสเฟตได้ต่ำกว่าผลการวิจัยอ้างอิงถึง  $47.12\%$  ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะวัสดุที่เตรียมขึ้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้จริงในสถานการณ์ต่างๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาครั้งนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำกว่าวัสดุที่เตรียมในงานวิจัยอ้างอิง ดังจะเห็นได้จากความสามารถในการดูดซับเมทธิลีนบลูที่มีค่าการดูดซับต่ำกว่าผลการวิจัยอ้างอิง

#### 4.2.2 ผลของปริมาณวัสดุ

จากการศึกษาผลของปริมาณวัสดุในการกำจัดฟอสเฟตด้วยเปลือกสับประดัดดแปรพื้นผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  โดยใช้ความเข้มข้นสารละลายฟอสเฟตเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง ทำการเขย่าที่ 150 รอบต่อนาที และแปรค่าปริมาณเปลือกสับประดัดที่ใช้ศึกษาตั้งแต่ 2, 5, 10 และ 20 กรัมต่อลิตร ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ปริมาณฟอสเฟตที่เหลือในน้ำ (●—) และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต (○··) เมื่อใช้เปลือกสับประดัดดแปรพื้นผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนในปริมาณต่างกัน

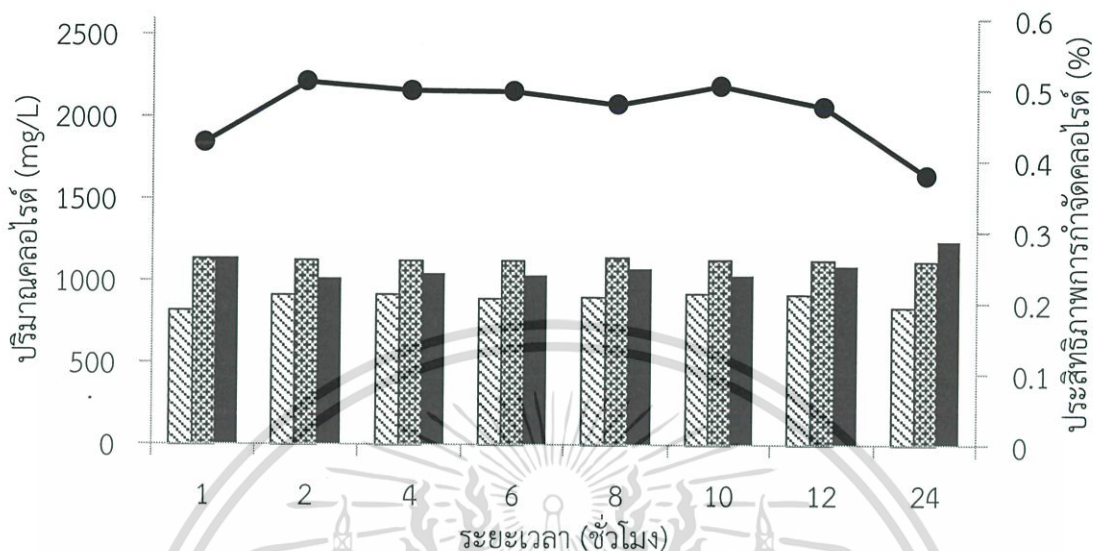
จากรูปที่ 4.4 พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตของเปลือกสับประดัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณวัสดุที่ใช้ เมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุที่ใช้จาก 2 กรัมต่อลิตร เป็น 20 กรัมต่อลิตร เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตของวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้นจาก  $53.57 \pm 1.20\%$  เป็น  $93.67 \pm 0.22\%$  ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณวัสดุที่เพิ่มขึ้น ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างฟอสเฟตกับวัสดุเพิ่มมากขึ้น (Pillai et al., 2013) จึงทำให้ปริมาณฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในน้ำลดลง

### 4.3 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ ( $\text{Cl}^-$ ) ในน้ำ

#### 4.3.1 ผลของระยะเวลาสัมผัส

จากการศึกษาผลของระยะเวลาในการกำจัดคลอไรด์ด้วยเปลือกสับประดัดดแปรพื้นผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  โดยมีความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตร 1 ลิตรต่อปริมาณวัสดุ 100 กรัม ทำการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที และแปรค่าระยะเวลาสัมผัสตั้งแต่ 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 24 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5

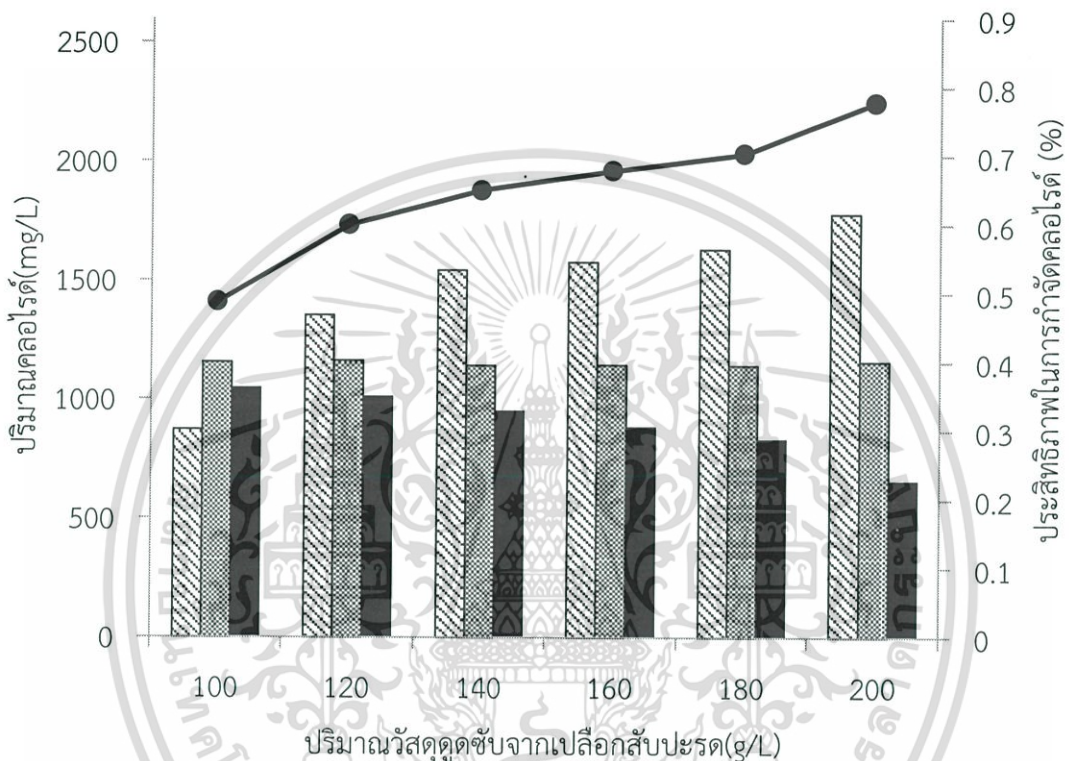


รูปที่ 4.5 ปริมาณคลอไรด์ในสารละลายเมื่อบำบัดด้วยเปลือกสับปะรดตัดแปรพื้นผิวด้วยเฟอร์ริก-ไอออนเป็นเวลาต่างกัน โดย (▨) คือปริมาณคลอไรด์ในเบลนค์ (▩) คือปริมาณคลอไรด์ในชุดควบคุม (■) คือปริมาณคลอไรด์หลังแช่ววัสดุที่ใช้ศึกษา และ (●) คือประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์

จากรูปที่ 4.5 พบว่าปริมาณคลอไรด์ที่มีอยู่ในชุดควบคุม ซึ่งเป็นสารละลาย NaCl ที่นำไปเขย่าที่เวลาต่างกัน มีระดับปริมาณใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการศึกษา แสดงให้เห็นว่าสารละลาย NaCl ไม่เกิดการสูญหายไปในช่วงการทดลอง เมื่อพิจารณาปริมาณคลอไรด์ในชุดทดลองซึ่งเป็นชุดที่มีการเติมเปลือกสับปะรดตัดแปรพื้นผิวด้วย  $Fe^{3+}$  ลงในสารละลาย NaCl พบว่าปริมาณคลอไรด์ในสารละลายมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง โดยมีปริมาณคลอไรด์ลดลงจาก  $1,170 \pm 8$  mg/L เหลือ  $1,019 \pm 12$ ,  $1,046 \pm 15$  และ  $1,035 \pm 25$  mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอไรด์เท่ากับ  $0.51 \pm 1.00\%$ ,  $0.50 \pm 1.30\%$  และ  $0.50 \pm 2.14\%$  ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มเวลาในการเขย่านานขึ้นเป็น 8, 10, 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณคลอไรด์เพิ่มขึ้นเนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็นเปลือกสับปะรดที่ตัดแปรพื้นผิวด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) จึงสันนิษฐานว่าปริมาณคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากวัสดุปลดปล่อยคลอไรด์ออกมาในสารละลาย สำหรับผลการแช่เปลือกสับปะรดในน้ำกลั่นหรือที่งานวิจัยนี้เรียกว่า เบลนค์ จะพบปริมาณคลอไรด์ในสารละลายภายหลังการแช่ววัสดุตามเวลาที่กำหนด มีปริมาณคลอไรด์อยู่ในช่วง 819-921 mg/L แสดงให้เห็นว่าเปลือกสับปะรดที่ตัดแปรพื้นผิวมีการปลดปล่อยคลอไรด์จากผิวของวัสดุ ซึ่งคลอไรด์นั้นอาจมาจากขั้นตอนการตัดแปรพื้นผิวของวัสดุ

#### 4.3.2 ผลของปริมาณวัสดุ

จากการศึกษาผลของปริมาณเปลือกสับปะรดในการกำจัดคลอไรด์ โดยใช้ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 2,000 mg/L ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาสัมผัส 4 ชั่วโมง ทำการเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที และแปรค่าปริมาณวัสดุในการดูดซับตั้งแต่ 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 g/L ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ปริมาณคลอไรด์ที่ในน้ำหลังบำบัดด้วยเปลือกสับปะรดในปริมาณต่างกัน โดย (▨) คือ ปริมาณคลอไรด์ ในแบริ่ง (▩) คือปริมาณคลอไรด์ในชุดควบคุม (■) คือปริมาณคลอไรด์หลังแช่เปลือกสับปะรดดัดแปรพื้นผิวด้วย  $Fe^{3+}$  และ (●) คือประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์

จากรูปที่ 4.6 พบว่าปริมาณคลอไรด์ในชุดควบคุมมีความเข้มข้นใกล้เคียงกันทุกช่วงของปริมาณวัสดุที่ใช้ศึกษา แสดงให้เห็นว่าสารละลาย NaCl ไม่สูญหายไปในช่วงการทดลอง เมื่อพิจารณาคลอไรด์ในชุดการทดลอง ซึ่งเป็นชุดที่มีการเติมเปลือกสับปะรดดัดแปรผิวด้วย  $Fe^{3+}$  ลงไปในสารละลาย NaCl พบว่าปริมาณคลอไรด์ในสารละลายมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา โดยใช้ปริมาณเท่ากับ 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 g/L ซึ่งมีปริมาณคลอไรด์ลดลงจาก  $1,170 \pm 4$  mg/L เหลือ  $1,046 \pm 36$ ,  $1,010 \pm 27$ ,  $950 \pm 13$ ,  $883 \pm 36$ ,  $831 \pm 144$  และ  $656 \pm 108$  mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ  $0.49 \pm 2.96\%$ ,  $0.60 \pm 2.28\%$ ,  $0.65 \pm 1.15\%$ ,  $0.68 \pm 3.04\%$ ,  $0.70 \pm 12.3\%$  และ  $0.78 \pm 9.23\%$  ตามลำดับ โดยเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณของวัสดุเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลการแช่เปลือกสับประรดในน้ำกลั่นหรือในงานวิจัยนี้เรียกว่า แบลงค์ จะพบปริมาณคลอไรด์ในสารละลายเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของวัสดุที่ใช้ มีปริมาณคลอไรด์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 872 mg/L, 1,354 mg/L, 1,542 mg/L, 1,576 mg/L, 1,630 mg/L และ 1,778 mg/L ตามลำดับปริมาณวัสดุ แสดงให้เห็นว่าเปลือกสับประรดที่ดัดแปรผิวด้วย  $Fe^{3+}$  มีการปลดปล่อยคลอไรด์จากผิวของวัสดุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดไอออนลบของเปลือกสับประรดตัดแปรพื้นผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  สามารถสรุปผลได้ดังนี้ คือ

1. เปลือกสับประรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH และเคลือบผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  ซึ่งเตรียมขึ้นตามสถานะที่ระบุในงานวิจัยกัณฑ์ (2558) มีความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (MBN) เท่ากับ  $92.87 \pm 0.99$  mg/g โดยมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ  $8.8$  m<sup>2</sup>/g ขนาดรูพรุนเท่ากับ  $2.3$  nm ปริมาตรของรูพรุนเท่ากับ  $1.04 \times 10^{-2}$  cm<sup>3</sup>/g และลักษณะสัณฐานวิทยาที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) มีลักษณะของวัสดุเป็นพื้นผิวเรียบจากการเกาะติดของ  $\text{Fe}^{3+}$  และค่า CEC มีค่าเท่ากับ  $22.41 \pm 0.75$  cmol/kg

2. เปลือกสับประรดที่ตัดแปรพื้นผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  มีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำได้ดีที่สุดที่ระยะเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 1 mg/L สามารถกำจัดฟอสเฟตคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตเท่ากับ  $53.76 \pm 1.06\%$  ที่ความเข้มข้น 5 mg/L สามารถกำจัดฟอสเฟตคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตเท่ากับ  $41.86 \pm 2.71\%$  และที่ความเข้มข้น 10 mg/L มีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำต่ำที่สุด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ  $24.63 \pm 1.94\%$  ส่วนของปริมาณวัสดุมีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำได้ดีที่สุดที่ 20 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ  $93.67 \pm 1.06\%$

3. เปลือกสับประรดที่ตัดแปรพื้นผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  มีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ต่ำ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์เท่ากับ  $0.50 \pm 1.30\%$  ที่ระยะเวลาสัมผัส 4 ชั่วโมง ในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของปริมาณวัสดุมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์สูงสุดที่  $0.78 \pm 9.23\%$  เมื่อใช้ปริมาณวัสดุเท่ากับ 200 กรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามการนำไปใช้งานมีข้อพึงระวังคือวัสดุเป็นการตัดแปรพื้นผิวด้วย  $\text{FeCl}_3$  ทำให้เมื่อนำไปแช่น้ำ วัสดุนั้นจะมีการคายซับคลอไรด์บางส่วนออกมาในสารละลาย

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาความสามารถของเปลือกสับประรดตัดแปรพื้นผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  ในการกำจัดไอออนลบที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่ลำดับสูงขึ้นไป เช่น  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$  และ  $\text{HPO}_4^{2-}$

2. ควรศึกษาวัสดุตัวอื่น ๆ ที่สามารถกำจัดคลอไรด์ได้

3. ควรคำนึงถึงสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนอื่นๆ ด้วย เช่น สมบัติ Hard and soft acids and bases หรือค่าคงที่การละลายของสาร

4. ก่อนจะนำเปลือกสับประรดตัดแปรพื้นผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$  ควรกำจัดคลอไรด์ไอออนก่อนนำไปใช้งานด้วยวิธีการชะล้างหลายๆ ครั้งด้วยน้ำบริสุทธิ์จนกว่าคลอไรด์ไอออนไม่มีอยู่ในเปลือกสับประรดที่ตัดแปรพื้นผิวด้วย  $\text{Fe}^{3+}$

## บรรณานุกรม

- กรมชลประทาน. 2557. รายงานสรุปสถานการณ์รุกรานน้ำเค็มและมาตรการในการลดผลกระทบ. [Online]. Available. [http://water.rid.go.th/document/report\\_salinity.pdf](http://water.rid.go.th/document/report_salinity.pdf).
- กุลยา โอตากะ, ทะยานรุ่ง เหลือสินทรัพย์ และพิทยา สีสด. 2556. เคมีเบื้องต้น(Introduction to Chemistry). [Online]. Available. [http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM103\(50\)/cover.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM103(50)/cover.pdf)
- กุลวดี รังสีพัฒนานันท์ และรัตนา มหาชัย. 2534. การศึกษาเพื่อหาวัสดุกรองน้ำกร่อย และสนิมเหล็กเจือปน. แบบรายงานการดำเนินงานโครงการมหาวิทยาลัยสนับสนุนงานตามโครงการจากในหลวง เพื่อพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามแนวพระราชดำริ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- กัณฑ์พัฒน์ กสิบุตร. 2558. “การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกสับประรดเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร.
- ชันันท์ นิवासวงษ์ และ เฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2555 “การผลิตเซลลูโลซิกเอทานอลในประเทศไทย”. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 40(4): 1073-1088.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2539. “แนวทางการลดปริมาณสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนจากการใช้สารซักฟอก”. *Thai Environmental Engineering Journal*. 1(1): 39-43.
- พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา อังกฤษ-ไทย. 2530. คณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ.
- พอลตา ประสานนาม. 2547. “การกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนที่ผลิตจาก HYDROXYETHYL CELLULOSE”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- พิชามญช์ แดงพราหม, สุดาทิพย์ จันทร และสุนีย์ นิธิสินประเสริฐ. 2556. “อิทธิพลของชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อการผลิตโอลิโกแซ็กคาไรด์ด้วยสารละลายเอนไซม์ สกัดหยาบจาก *Penicillium oxalicum* KUB-SN2-1”. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. 36(1): 73-84.
- เพชรลดา กัณฑ์. 2559. กรด-เบส(Acids-Bases). [Online]. Available. [http://www.appliedchem.mju.ac.th/goverment/25590629090647\\_appliedchem/Doc\\_25590811132819\\_543849.pdf](http://www.appliedchem.mju.ac.th/goverment/25590629090647_appliedchem/Doc_25590811132819_543849.pdf)
- ยาโก้ ขาเริ่มดาเบะ. 2553. “การดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- วรวิทย์ จันทรสุวรรณ. 2558. “ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- สมน โพธิ์จันทร์. 2547. การใช้ผลพลอยได้จากสับประรดเป็นอาหารโคเนื้อ-โคนม. [Online]. Available. [http://expert.dld.go.th/attachments/article/166/pine\\_ap.pdf](http://expert.dld.go.th/attachments/article/166/pine_ap.pdf).
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถานการณ์เศรษฐกิจที่สำคัญและแนวโน้มปี 2558. [Online]. Available. [http://www.oae.go.th/download/document\\_tendency/jour](http://www.oae.go.th/download/document_tendency/jour)

nalofecon2558.pdf

- ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษาลำปาง. 2552. การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน. [Online]. Available. [www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/3/science/bio3/indexnan8.htm](http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/3/science/bio3/indexnan8.htm)
- โศรดา ขุนโหระ และจิรสา กรงเกต. 2547. สารเคมีสำหรับบำบัดน้ำเสีย. [Online]. Available. [http://www.dss.go.th/images/st-article/cp\\_5\\_2547\\_water\\_treatment.pdf](http://www.dss.go.th/images/st-article/cp_5_2547_water_treatment.pdf)
- อนันท์ เชาว์เครือ, ญาณิกา ไทละครบุรี, โชติรส คุณมี, ชวันรัช สันทองและ สุภาวดี ฉิมทอง. 2557. “องค์ประกอบของเปลือกสับประรด”. วารสารแก่นเกษตร42 ฉบับพิเศษ1
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15<sup>th</sup> Edition. Virginia, USA: the Association of official Analytical Chemists Inc.
- APHA, AWWA and WEF. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19<sup>th</sup> Edition. USA: American Public Health Association.
- Barka, N., Abdennouri, M., Makhfouk, M. and Qourzal, S. 2013. “Biosorption characteristics of cadmium and lead onto eco-friendly dried cactus (*Opuntia ficus indica*) cladodes”. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 1: 144-149.
- Choon Ng Kim et al., 2013 Adsorption desalination: An emerging low-cost thermal desalination method. *Desalination*. 2013 308.
- Chowdhury, S., Mishra, R., Saha, P. and Kushwaha, P. 2011. “Adsorption thermodynamics, kinetics and isosteric heat of adsorption of malachite green onto chemically modified rice husk”. *Desalination* 265: 159–168.
- Diola, D.M. and Orozco, R.C. 2014. “Improved removal of copper ions from aqueous solution using NaOH-pretreated coco peat”. *ASEAN Engineering Journal*. 4(1): 86-97.
- Kim, J. 2008. “Lignocellulose based anion adsorption medium and process for marking and using same for the selective removal of phosphate and arsenic anionic contaminations from aqueous solution”. *Patent application publication*. 11: 906-954.
- Kumar, P.S., Ramalingam, S., Sathyaselvabala, V., Kirupha, D.S. and Sivanesan, S. 2011. “Removal of copper (II) ions from aqueous solution by adsorption using cashew nut shell”. *Desalination*. 266: 63-71.
- Liu, W., Zhang, J., Zhang, C., Wang, Y. and Li, Y. 2010. “Adsorptive removal of Cr (VI) by Fe- modified activated carbon prepared from trapantans husk”. *Chemical Engineering Journal*. 162: 677–684.
- Liu, X., Ao, H., Xiong, X., Xiao, J. and Liu, J. 2012. “Arsenic Removal from Water by Iron-Modified Bamboo Charcoal”. *Water Air Soil Pollut*. 223:1033–1044.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mandina, S., Chigondo, F., Shumba, M., Nyamunda, B.C. and Sebata, E. 2013. "Removal of chromium (VI) from aqueous solution using chemically modified orange (*Citrus cinensis*) peel". *Journal of Applied Chemistry*. 6(2): 66-75.
- McMillan, D. 1994. "Pretreatment of Lignocellulosic Biomass". *Enzymatic Conversion of Biomass for Fuels Production*. 292-324.
- Nasuha, N. and Hameed, B.H. 2011. "Adsorption of methylene blue from aqueous solution onto NaOH-modified rejected tea". *Chemical Engineering Journal*. 166: 783-786.
- Ning-chuan, F., Xue-yi, G. and Sha, L. 2010. "Enhanced Cu(II) adsorption by orange peel modified with sodium hydroxide". *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*. 20: 146-152.
- Nunes, C. A. and Guerrero, M. C. 2011. "Estimation of surface area and pore volume of activated carbons by methylene blue and iodine numbers". *Quim.Nova*. 34: 472-476.
- Ofomaja, A.E., Naidoo, E.B. and Modise, S.J. 2009. "Removal of copper(II) from aqueous solution by pine and base modified pine cone powder as biosorbent". *Journal of Hazardous Materials*. 168: 909-917.
- Pillai, S.S., Mullassery, D.M., Fernandez, B.N., Girija, N., Geetha, P. and Koshy, M. 2013. Biosorption of Cr(VI) from aqueous solution by chemically modified potato
- Ronda, A., Martin-Lara, M.A., Calero, M. and Blazquez, G. 2013. "Analysis of the kinetics of lead biosorption using native and chemically treated olive tree pruning". *Ecological Engineering*. 58: 278-285.
- Wadsindinpun. 2015. Ferric Chloride (กรดกัดแผ่นปรินซ์). [Online]. Available. <http://wadsin.lnwshop.com/article/4/ferric-chloride-กรดกัดแผ่นปรินซ์>



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

#### ก.1 การวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC)

เป็นการทดสอบเพื่อหาความสามารถสูงสุดในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของวัสดุดูดซับ ตามวิธีของ ผศ.กรองแก้ว และคณะ, 2558 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการโดยสรุปดังนี้

1. ชั่งวัสดุดูดซับ 5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตตเข้มข้น 1 N ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน 5 นาที แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
2. กรองสารละลายที่แช่ไว้ด้วยระบบสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองใยแก้วเป็นตัวกรอง
3. ชะล้างวัสดุดูดซับด้วยสารละลายด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต ครั้งละ 30 มิลลิลิตร จนไม่มี  $\text{Ca}^{2+}$  หลงเหลืออยู่ ทดสอบได้โดยนำสารละลายที่ล้างดินมา 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองหยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N แอมโมเนียมออกซาลेट 10% และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50% อย่างละ 2 – 3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้ามีแคลเซียมหลงเหลืออยู่จะเกิดตะกอนขาวหรือสารละลายจะขุ่น ต้องชะล้างต่อ
4. ชะล้างวัสดุดูดซับต่อ ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N ครั้งละ 30 มิลลิลิตร ทำ 3 – 4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยเอธิลแอลกอฮอล์ 95% ประมาณ 150 – 200 มิลลิลิตร จนไม่มีคลอไรด์หลงเหลืออยู่ ทดสอบการล้างโดยแบ่งเอธิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการล้างวัสดุดูดซับครั้งสุดท้ายมา 10 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง หยดสารละลาย  $\text{AgNO}_3$  0.1 N 1 – 2 หยดสังเกตว่ามีตะกอนสีขาวของซิลเวอร์คลอไรด์หรือไม่ ถ้ามีต้องล้างต่อ
5. ล้างวัสดุดูดซับต่อด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% ครั้งละ 30 มิลลิลิตร ทำ 3 ครั้ง จนได้สารละลายประมาณ 100 มิลลิลิตร
6. เทสารละลายที่กรองได้ใส่ในหลอดกลั่นเจลด์ทาล (Kjeldal tube) จากนั้นนำไปกลั่นโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ลงไป 5 มิลลิลิตร เติมกรดบอริก 3% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ และหยดอินดิเคเตอร์ผสม 5 หยด เมื่อทำการกลั่น กรดบอริกจะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว
7. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N ที่จุดยุติ สารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพูม่วง
8. ทำแบลนค์ (Blank) โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% จำนวน 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ลงไป 5 มิลลิลิตร ทำการกลั่นและไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างวัสดุ

### การคำนวณ

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในวัสดุดูดซับ

$$CEC = \frac{(A-B)N \times 100}{W}$$

- เมื่อ A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างวัสดุดูดซับ (ml)  
 B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ (ml)  
 N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)  
 W = น้ำหนักแห้งมีหน่วยเป็นกรัมของวัสดุดูดซับ

### ก.2 การทดสอบความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue Number, M.B.N)

เป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสามารถสูงสุดในการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูของวัสดุดูดซับ 1 กรัม ตามวิธีของ Nunes และ Gerrero, 2011 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการโดยสรุปดังนี้

1. ชั่งตัวดูดซับมาอย่างละ 0.01 กรัม ใส่ลงในสารละลายเมทิลีนบลูเข้มข้น 10 25 50 100 250 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. กรองตัวดูดซับออกจากสารละลายเมทิลีนบลูด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42
3. ทำการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลีนบลูที่เหลือในสารละลายด้วยเครื่อง ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร

#### การคำนวณ

ความจุในการดูดซับเมทิลีนบลู

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{M}$$

- เมื่อ  $Q_e$  = ความจุในการดูดซับ (mg/g)  
 $C_0$  = ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลีนบลู (mg/L)  
 $C_e$  = ความเข้มข้นที่เหลือของเมทิลีนบลูที่เวลาสมดุล (mg/L)  
 V = ปริมาตรสารละลายเมทิลีนบลู (ลิตร)  
 M = จำนวนตัวดูดซับที่ใช้ (กรัม)

### ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตในน้ำตัวอย่าง (Phosphate)

การวิเคราะห์ฟอสเฟตทำได้โดยการใช้กรดเข้มข้น hydrolyzed ฟอสเฟตทั้งหมดในน้ำตัวอย่างให้อยู่ในรูปของ ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Soluble reactive phosphorus) ซึ่งวิเคราะห์ตามวิธีของ APHA, AWWA and WEF, 1995 โดยขั้นตอนการดำเนินการโดยสรุปดังนี้

#### การ Hydrolyzed ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Soluble reactive phosphorus) ด้วยกรด

1. เตรียมกรดเข้มข้นโดยการรินกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc.  $H_2SO_4$ ) ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ใส่ในน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร และใส่กรดไนตริกเข้มข้น (conc.  $HNO_3$ ) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำน้ำตัวอย่างมา 100 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1 หยด ถ้าน้ำตัวอย่างเป็นสีแดงให้หยดกรดเข้มข้นจาก ข้อ 1. จนสีหายไป

3. ปิเปตกรดเข้มข้นจากข้อ 1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงไปในน้ำตัวอย่าง และทำการต้มเป็นเวลา 90 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และนำไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตด้วยวิธี Ascorbic acid

#### การวิเคราะห์ฟอสเฟตด้วยวิธี Ascorbic acid

1. เตรียมน้ำยารวมโดยผสมสารละลาย ดังนี้

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

2. เตรียมกราฟมาตรฐานจากสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (1 มิลลิลิตร = 2.5 ไมโครกรัม ฟอสเฟต) ดังตารางที่ ก.1

3. นำน้ำตัวอย่างมา 50 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1 หยด ถ้าเป็นสีแดงให้เติมกรด  $H_2SO_4$  เข้มข้น 5.0 นอร์มอล จนสีหายไป

4. นำน้ำตัวอย่างมา (ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำ) ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำยารวมปริมาตร 8 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับปริมาตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ต้องไม่เกิน 30 นาที และนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

ตารางที่ ก.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอสเฟต

สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิลิตร)	น้ำยารวม (มิลลิลิตร)	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0	8	42	50	0
2	8	40	50	0.1
6	8	36	50	0.3
10	8	32	50	0.5
12	8	30	50	0.6
16	8	26	50	0.8
20	8	22	50	1.0
24	8	18	50	1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในน้ำตัวอย่าง (Chloride)

การวิเคราะห์คลอไรด์ทำได้โดยซิลเวอร์ไนเตรท ซึ่งวิเคราะห์ตามวิธีของ APHA, AWWA and WEF, 1995 โดยขั้นตอนการดำเนินการโดยสรุปดังนี้

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 100 มิลลิลิตร หรือเจือจางให้ได้ปริมาตรสุทธิ 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 7 – 10

2. เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 4% ลงในตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร

3. ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นน้ำตาลแดงอิฐ

4. ทำแบลนด์ก็เช่นเดียวกัน แต่เปลี่ยนจากสารละลายตัวอย่างเป็นน้ำกลั่น

การคำนวณ

ปริมาณคลอไรด์ในสารละลาย

$$\text{ปริมาณคลอไรด์ (mg/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 35340}{\text{mL sample}}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของสารมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ไทเทรตกับวัสดุทดสอบ (ml)

B = ปริมาตรของสารมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ไทเทรตกับแบลนด์(ml)

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท (นอร์มอล)

## ภาคผนวก ข

### ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ตารางที่ ข.1 วิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange Capacity, CEC)

ชนิดของสาร	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ปริมาตร HCl ที่ใช้ (ml)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1. ตัวอย่าง	5.0054	5.0030	5.0023	11.60	11.50	10.90
2. แบลงค์	-	-	-	0.10	0.11	0.09

#### การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของวัสดุดูดซับที่ใช้ศึกษา (ครั้งที่ 1) ทำได้โดยนำวัสดุดูดซับที่ผ่านการชะล้าง จำนวน 5.0054 กรัม (Sample wt.) มากลั่นด้วยกรดบอริก 3% จากนั้นไทเทรตสารละลายที่กลั่นด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.0998 นอร์มัล (N) ได้ปริมาณกรดเกลือที่ใช้ 11.60 มิลลิลิตร (T) และปริมาณกรดเกลือที่ใช้ไทเทรตกับ Blank 0.40 มิลลิลิตร (ml) โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

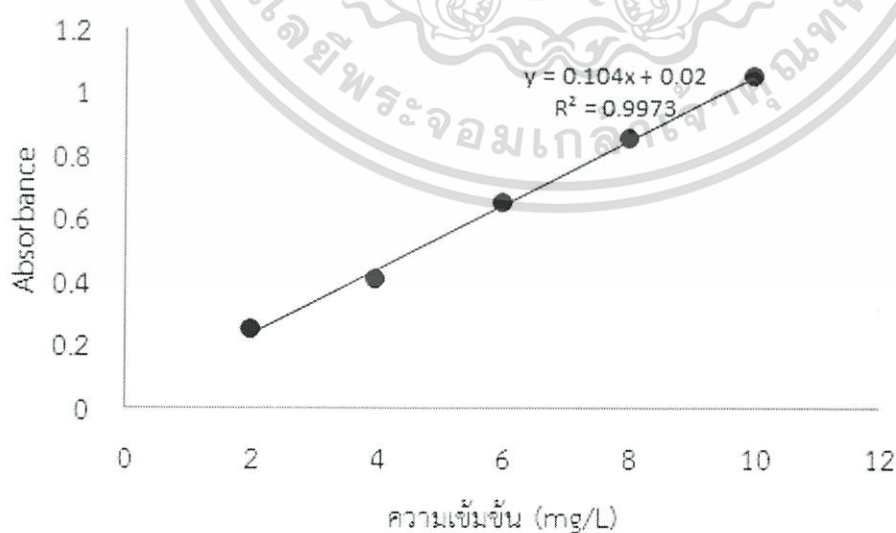
$$CEC = \frac{(A-B) \times N \times 100}{w}$$

$$CEC = \frac{(11.60 - 0.10) \times 0.0998 \times 100}{5.0054}$$

$$CEC = 22.93 \text{ cmol/g}$$

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ Methylene Blue Number ของเปลือกสับประดชนิดต่างๆ

ชนิดของ ตัวดูดซับ	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นของเมทิลีนบลู เริ่มต้น (mg/L)			ความเข้มข้นของเมทิลีนบลู ที่เหลือ (mg/L)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ปรับ สภาพ	0.0104	0.0109	0.0102	11.06	11.06	11.06	1.44	1.92	0.96
	0.0105	0.0102	0.0107	25.48	25.48	25.48	2.88	2.40	4.81
	0.0104	0.0109	0.0102	49.52	49.52	49.52	8.65	10.10	6.25
	0.0103	0.0107	0.0101	100.96	100.96	100.96	39.90	42.31	37.50
	0.0102	0.0100	0.0104	248.08	248.08	248.08	114.90	110.58	119.23
	0.0101	0.0103	0.0106	509.13	509.13	509.13	383.65	389.42	399.52
	0.0105	0.0109	0.0101	995.19	995.19	995.19	808.65	799.52	792.31
ปรับสภาพ ด้วย NaOH	0.0100	0.0106	0.0107	10.10	10.10	10.10	0.48	0.48	0.96
	0.0109	0.0100	0.0105	25.96	25.96	25.96	1.92	0.96	1.44
	0.0108	0.0109	0.0109	50.48	50.48	50.48	2.40	2.88	3.85
	0.0109	0.0108	0.0103	99.52	99.52	99.52	4.33	4.81	5.77
	0.0107	0.0102	0.0104	251.44	251.44	251.44	30.29	26.44	27.89
	0.0103	0.0104	0.0107	498.56	498.56	498.56	100.96	115.87	108.17
	0.0105	0.0109	0.0106	998.56	998.56	998.56	509.62	521.15	514.90
ปรับสภาพ ด้วย NaOH และเคลือบ พื้นผิวของ เปลือก สับประด ด้วย Fe <sup>3+</sup>	0.0104	0.0104	0.0107	10.10	10.10	10.10	0.96	0.96	1.44
	0.0109	0.0102	0.0105	25.96	25.96	25.96	3.37	1.92	2.40
	0.0109	0.0104	0.0102	50.48	50.48	50.48	5.77	4.81	4.33
	0.0108	0.0106	0.0105	99.52	99.52	99.52	18.75	15.39	20.19
	0.0107	0.0108	0.0109	251.44	251.44	251.44	53.85	69.23	75.96
	0.0100	0.0106	0.0103	498.56	498.56	498.56	186.54	221.63	193.27
	0.0100	0.0106	0.0101	998.56	998.56	998.56	579.33	625.00	663.17



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของเมทิลีนบลู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การคำนวณ

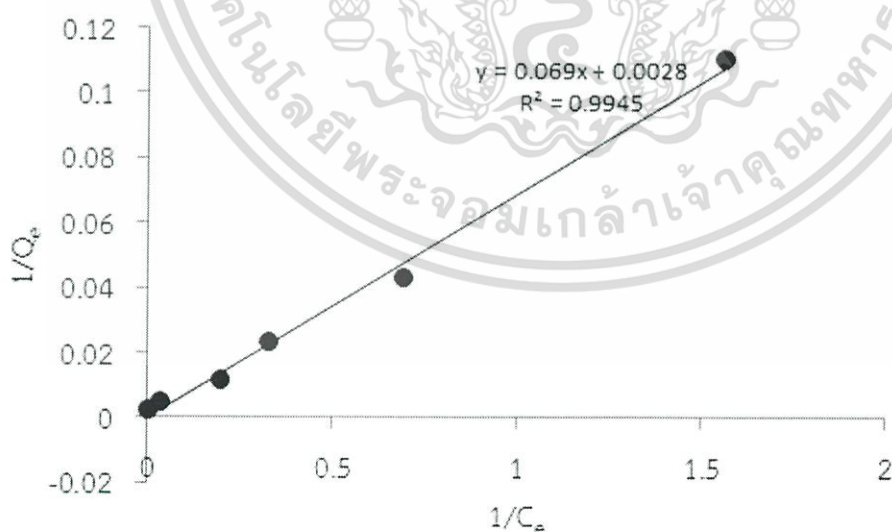
ตัวอย่างการคำนวณค่า Methylene Blue Number ของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50°C (ครั้งที่ 1) ทำได้โดยแช่เปลือกสับปะรดจำนวน 0.0104 กรัม (M) ในสารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 10.10 mg/L ( $C_0$ ) ปริมาตร 10 mL (V) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองเปลือกสับปะรดออกและวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลือ ( $C_e$ ) ได้เท่ากับ 0.64 mg/L นำมาคำนวณความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู ( $Q_e$ ) ของเปลือกสับปะรด ด้วยสมการ

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{M}$$

$$Q_e = \frac{(10.10 \text{ mg/L} - 0.64 \text{ mg/L}) \times 0.010 \text{ L}}{0.0104 \text{ g}}$$

$$Q_e = 9.0962 \text{ mg/g}$$

ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูจาก 10 mg/L เป็น 25, 50, 100, 250, 500 และ 1000 mg/L จากนั้นทำการพล็อตกราฟเส้นตรงระหว่างค่า  $\frac{1}{C_0}$  กับค่า  $\frac{1}{Q_e}$  จะได้กราฟดังรูปที่ ข.3 โดยส่วนกลับของจุดตัดแกน y ของกราฟจะเป็นค่าความจุสูงสุดในการดูดซับเมทิลีนบลู ( $Q_m$ ) หรือเป็นค่า Methylene Blue Number ซึ่งมีค่าเท่ากับ 357.1429 mg/g



รูปที่ ข.2 กราฟเส้นตรงของ Methylene Blue Number เปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

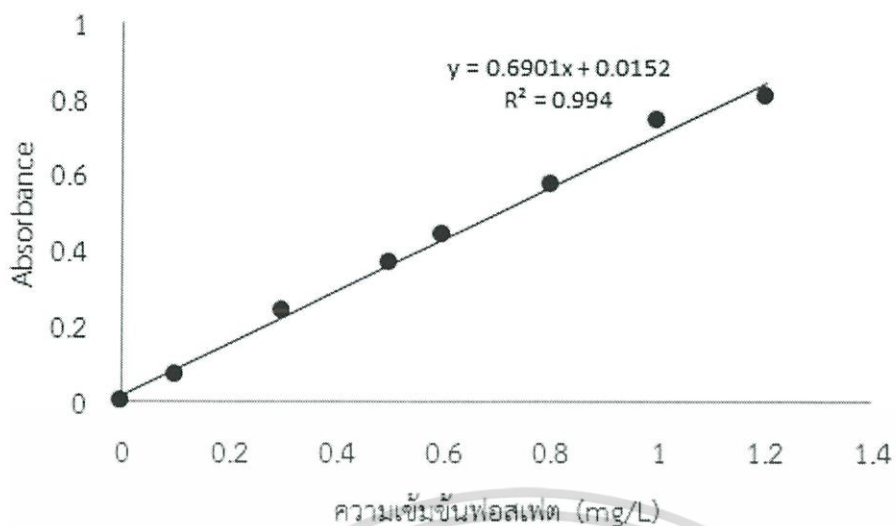
ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบการแปรผันระยะเวลาในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตต่างๆ

ความเข้มข้น (mg/L)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	Absorbance			ปริมาณฟอสเฟตก่อนดูดซับ (mg/L)			ปริมาณฟอสเฟตหลังดูดซับ (mg/L)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	1	0.526	0.530	0.524	1.029	1.039	1.047	0.740	0.746	0.737
	2	0.508	0.502	0.486	1.029	1.039	1.047	0.714	0.705	0.682
	4	0.443	0.431	0.419	1.029	1.039	1.047	0.620	0.603	0.585
	6	0.413	0.420	0.394	1.029	1.039	1.047	0.576	0.589	0.549
	8	0.349	0.338	0.353	1.029	1.039	1.047	0.484	0.468	0.489
	10	0.347	0.347	0.352	1.029	1.039	1.047	0.481	0.481	0.488
	12	0.346	0.354	0.349	1.029	1.039	1.047	0.479	0.491	0.484
	24	0.355	0.346	0.340	1.029	1.039	1.047	0.492	0.479	0.471
5	1	0.573	0.608	0.602	5.005	5.020	4.969	0.041	4.295	4.252
	2	0.552	0.570	0.604	5.005	5.020	4.969	3.890	4.020	4.266
	4	0.518	0.507	0.512	5.005	5.020	4.969	3.643	3.563	3.599
	6	0.434	0.487	0.463	5.005	5.020	4.969	3.034	3.418	3.244
	8	0.430	0.395	0.424	5.005	5.020	4.969	3.005	2.752	2.962
	10	0.428	0.436	0.394	5.005	5.020	4.969	2.991	3.049	2.745
	12	0.416	0.431	0.405	5.005	5.020	4.969	2.904	3.013	2.824
	24	0.429	0.392	0.392	5.005	5.020	4.969	2.998	2.730	2.998
10	1	0.597	0.626	0.630	10.271	10.199	10.184	8.431	8.851	8.909
	2	0.621	0.617	0.602	10.271	10.199	10.184	8.778	8.720	8.503
	4	0.581	0.590	0.574	10.271	10.199	10.184	8.199	8.329	8.097
	6	0.568	0.559	0.574	10.271	10.199	10.184	8.010	7.880	8.097
	8	0.553	0.531	0.556	10.271	10.199	10.184	7.793	7.474	7.837
	10	0.567	0.528	0.550	10.271	10.199	10.184	7.996	7.431	7.750
	12	0.534	0.560	0.547	10.271	10.199	10.184	7.518	7.895	7.706
	24	0.551	0.565	0.527	10.271	10.199	10.184	7.764	7.967	7.416

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองการแปรผันปริมาณวัสดุดูดซับฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 1 mg/L ที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง

ปริมาณวัสดุดูดซับ (g)	Absorbance			ปริมาณฟอสเฟตก่อนการดูดซับ (mg/L)			ปริมาณฟอสเฟตหลังการดูดซับ (mg/L)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.10	0.340	0.351	0.335	1.024	1.030	1.010	0.471	0.487	0.463
0.25	0.201	0.195	0.169	1.024	1.030	1.010	0.269	0.261	0.223
0.50	0.067	0.074	0.063	1.024	1.030	1.010	0.075	0.085	0.069
1.0	0.038	0.041	0.038	1.024	1.030	1.010	0.033	0.037	0.033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานฟอสเฟต

ตารางที่ ข.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ (Chloride, Cl<sup>-</sup>) ที่ระยะเวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือ (mg/L)			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	ปริมาตร AgNO <sub>3</sub> ที่ไทเทรตกับวัสดุ			ปริมาตร AgNO <sub>3</sub> ที่ไทเทรตกับแบลงค์
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	1109.66	1136.31	1182.97	0.43	60.4	61.2	62.6	27.1
2	1019.68	1006.35	1029.68	0.51	60.5	60.1	60.8	29.9
4	1029.68	1049.67	1059.67	0.50	60.9	61.5	61.8	30.0
6	1009.69	1059.67	1036.35	0.50	59.5	61.0	60.3	29.2
8	1076.33	1089.66	1066.34	0.48	61.8	62.2	61.5	29.5
10	1016.35	1056.34	1033.01	0.51	60.7	61.9	61.2	30.2
12	1083.00	1102.99	1092.99	0.48	62.5	63.1	62.8	30.0
24	1206.29	1262.94	1272.94	0.38	63.9	65.6	65.9	27.7

สารละลายตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นของ AgNO<sub>3</sub> 0.0095 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ (Chloride, Cl<sup>-</sup>) ที่ปริมาณวัสดุดูดซับต่างกัน

ปริมาณวัสดุ (กรัม)	ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือ (mg/L)			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	ปริมาณ AgNO <sub>3</sub> ที่ไทเทรตกับวัสดุ			ปริมาณ AgNO <sub>3</sub> ที่ไทเทรตกับแบลนค์
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.5	1017.06	1037.27	1084.42	0.49	57.9	58.5	59.9	27.7
3.0	1040.63	990.12	1000.22	0.60	72.9	71.4	71.7	42.0
3.5	936.23	949.71	963.18	0.65	75.4	75.8	76.2	47.6
4.0	889.09	916.03	845.31	0.68	75.0	75.8	73.7	48.6
4.5	936.23	889.09	666.82	0.70	80.0	78.6	81.5	50.2
5.0	767.85	646.61	552.31	0.78	77.4	73.8	71.0	54.6

สารละลายตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร  
ความเข้มข้นของ AgNO<sub>3</sub> 0.0095 N



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้