สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเตรียมและการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของเปลือกสับปะรด เพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย

Preparation and Surface Modification of Pineapple Peels for Phosphate Removal from Wastewater

ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

b. 12780820
i.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถาบัน
เลขทะเบียน 142660
วัน เดือน ปี 23 มี.ค. 2559

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การเตรียมและการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของเปลือกสับปะรดเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2558

ประจำปีงบประมาณ 2558 **จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน** 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี **ตั้งแต่** ตุลาคม พ.ศ. 2557 ถึง กันยายน พ.ศ. 2558

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย

ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการเตรียมวัสดุดูดซับเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตจากเปลือกสับปะรด เปลือกสับปะรดที่ผ่านการปั่นและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช ถูกนำไปปรับสภาพด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลการทดลองพบว่าปริมาณของ NaOH อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้จะมีผลต่อค่าความจุในการดูดซับไอโอดีนและค่าความจุในการดูดซับเมธทิลีนบูลของวัสดุ รวมทั้งหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุ เมื่อนำวัสดุที่ปรับสภาพด้วยด่างมาแช่ในสารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ พบว่าเปลือกสับปะรดดังกล่าวสามารถดูดซับเฟอร์ริคไอออนได้สูงสุด 14 มิลลิกรัมต่อกรัม การแช่เปลือกสับปะรดที่เคลือบผิวด้วยเฟอร์ริคไอออน (Fe^{3+}) ในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลาร์ นาน 10 นาที เพิ่มการดูดติดผิวของ Fe^{3+} ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอสเฟตของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วยด่างและเพิ่มการดูดซับของเฟอร์ริคไอออนด้วยการแช่ใน NH_4OH สอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับของแลงก์เมียร์ โดยมีค่าความจุในการดูดซับฟอสเฟตสูงสุดเท่ากับ 35.33 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อกรัม

คำสำคัญ : การกำจัดฟอสเฟต การปรับสภาพเบื้องต้น การเคลือบผิว ลิกโนเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Preparation and Surface Modification of Pineapple Peels for Phosphate Removal from Wastewater

Researcher: Asst.Prof.Dr. Usarat Thawornchaisit

Faculty: Science **Department:** Chemistry

ABSTRACT

An adsorbent for phosphate removal was prepared from pineapple peels. The pineapple peels that were blended and sieved to particle size of 200 mesh were pretreated with NaOH. Results showed that quantity of NaOH, temperature and reaction time affected the sorption capacity of iodine and methylene blue in the pretreated pineapple peels as well as the functional groups present in the peels. The alkaline pretreated samples were then soaked with 0.1 M Ferric ions. It was found that the peels adsorbed Fe^{3+} with maximum sorption capacity of 14 mg/g. Soaking of the Fe^{3+} coated pineapple peels in 1.0 M NH_4OH for 10 min. increases the Fe^{3+} fixation on the surface. The adsorption of phosphate by Fe^{3+} and NaOH modified pineapple peels was best described by Langmuir isotherm with the maximum adsorption capacity of 35.33 mg PO_4^{3-}/g of adsorbent.

Keywords : Phosphate removal, pretreatment, surface coating, lignocellulose

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่จัดสรรเงินทุนในการวิจัย รวมทั้งสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำความคิดสู่การปฏิบัติ ซึ่งช่วยให้เห็นผลที่เป็นรูปธรรม รวมทั้งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาตนเองในการด้านการทำงานวิจัย การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากงบประมาณเงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ประเภทส่งเสริมนักวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญรูป VII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 อุตสาหกรรมสับปะรดในประเทศไทย 4
2.1.1 องค์ประกอบของเศษเหลือจากสับปะรด 4
2.1.2 การใช้ประโยชน์ของเศษเหลือจากสับปะรด 4
2.2 วัสดุลิกโนเซลลูโลส 6
2.2.1 การปรับปรุงคุณภาพของวัสดุ 8
2.2.2 การดัดแปรพื้นผิวของวัสดุ 8
2.3 การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน 9
2.4 ฟอสฟอรัสในน้ำ 10
2.4.1 แหล่งที่มาของฟอสเฟตในน้ำ 10
2.4.2 ผลกระทบของฟอสเฟตต่อคุณภาพน้ำ 11
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 15
3.1 การเตรียมเปลือกสับปะรด 16
3.2 การศึกษาสมบัติของเปลือกสับปะรด 16
3.3 การปรับสภาพเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 16
3.3.1 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส และระดับความเข้มข้นของ NaOH 16
3.3.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิ 17
3.4 การเติมเฟอร์ริคไอออน 17
3.4.1 ศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส 17
3.4.2 ศึกษาผลของพีเอช 18
3.4.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของ Fe^{3+} 18
3.4.4 การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดติดของ Fe^{3+} บนพื้นผิวเปลือกสับปะรด 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 ศึกษาการคายซับของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+} 19
3.5 การทดสอบความสามารถในการกำจัดโพลีฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์.....19
3.5.1 การเตรียมสารละลายโพลีฟอสเฟต 19
3.5.2 การศึกษาผลของระยะเวลา.....19
3.5.3 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ 20
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....21
4.1 การปรับสภาพเปลือกสับปะรดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....21
4.1.1 ผลของระยะเวลาสัมผัส และความเข้มข้นของ NaOH.....21
4.1.2 ผลของอุณหภูมิ.....25
4.2 การเคลือบผิวเปลือกสับปะรดด้วยเฟอร์ริคไอออน.....26
4.2.1 ผลของระยะเวลาสัมผัส.....26
4.2.2 ผลของพีเอช.....29
4.2.3 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้น.....31
4.2.4 การศึกษาการคายซับจากเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+}และเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH 34
4.2.5 สมบัติทางด้านพื้นผิวของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุง 36
4.3 การกำจัดโพลีฟอสเฟตด้วยเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ.....37
4.3.1 ผลของระยะเวลาสัมผัส 37
4.3.2 ผลของปริมาณวัสดุ.....38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....41
5.1 สรุปผลการวิจัย 41
บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....42
เอกสารอ้างอิง.....43
ภาคผนวก 47
ภาคผนวก ก เอกสารผลงานวิจัยที่ได้รับจากการทำโครงการวิจัย.....47
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....60
ประวัติผู้วิจัย.....62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบทางเคมีแยกวิเคราะห์ตามส่วนต่างๆ ของสับปะรด (%วัตถุแห้ง) 4

2.2 องค์ประกอบเยื่อใยในวัสดุลิกโนเซลลูโลส 6

2.3 ลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน 10

2.4 การจำแนกประเภทของฟอสฟอรัส 11

3.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันตัวอย่าง 16

4.1 ลักษณะ FT-IR สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ที่อุณหภูมิ 30°C และเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง 24

4.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนและค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของเปลือกสับปะรดไม่ปรับปรุงและที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0% (w/v) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 25

4.3 ลักษณะ FT-IR สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0% (w/v) นาน 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิต่างกัน 26

4.4 ค่าการดูดซับไอโอดีน (I.N.) และค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (M.B.N) ของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} ด้วยการแช่ใน 0.10 M $FeCl_3$ (pH=2) 28

4.5 ลักษณะ FT-IR สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน 29

4.6 ค่าการดูดซับไอโอดีน (I.N.) และค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (M.B.N) ของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} โดยแช่ใน 0.1 M $FeCl_3$ นาน 30 นาที 30

4.7 ลักษณะ FT-IR สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน Fe^{3+} เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ที่มีค่าพีเอชต่างกัน นาน 30 นาที 31

4.8 ค่าการดูดซับไอโอดีน (I.N.) และค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (M.B.N) ของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} โดยการแช่ใน $FeCl_3$ pH 2 นาน 30 นาที 33

4.9 ลักษณะ FT-IR สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน $FeCl_3$ (pH=2) ที่มีความเข้มข้น Fe^{3+} ต่างกัน นาน 30 นาที 34

4.10 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุนและปริมาตรของรูพรุนรวมด้วยวิธีการของบีอีที (BET) โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน 37

4.11 ไอโซเทอร์มแบบแลงก์เมียร์ที่อธิบายสมดุลการดูดซับโพลีฟอสเฟตด้วยเปลือกสับปะรด 39

4.12 ไอโซเทอร์มแบบฟรุนด์ลิชที่อธิบายสมดุลการดูดซับโพลีฟอสเฟตด้วยเปลือกสับปะรด 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แผนภาพขั้นตอนการผลิตสับปะรดกระป๋อง และน้ำค้นสับปะรดกระป๋อง....5

2.2 องค์ประกอบและการจัดเรียงโครงสร้างของลิกโนเซลลูโลส....6

2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส....7

2.4 การปรับสภาพเซลลูโลสด้วย NaOH....8

2.5 การแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนไอออนบนหมู่ฟังก์ชัน hydroxyl ของเซลลูโลสกับ เฟอร์ริคไอออน ...9

3.1 แผนภาพการดำเนินงานวิจัย....15

4.1 (ก) ค่าความสามารถการดูดซับไอโอดีน (I.N.) และ (ข) ค่าการดูดซับเมธทิลีนบูล (M.B.N.) ของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ที่ระยะเวลาสัมผัสแตกต่างกัน....22

4.2 องค์ประกอบของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาสัมผัสต่างกัน....23

4.3 องค์ประกอบของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0%(w/v) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างกัน....25

4.4 ความเข้มข้นที่เหลือของ Fe^{3+} ในสารละลายและความจุในการดูดซับ Fe^{3+} ของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน 0.1 M $FeCl_3$ (pH=2) เป็นเวลาต่างกัน....27

4.5 องค์ประกอบของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} เมื่อแช่ใน 0.1 M $FeCl_3$ (pH=2) ด้วยเวลาต่างกัน....28

4.6 ความเข้มข้นที่เหลือของ Fe^{3+} ในสารละลายและความจุในการดูดซับ Fe^{3+} ของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน 0.1 M $FeCl_3$ ซึ่งมีค่าพีเอชต่างกัน นาน 30 นาที....30

4.7 FT-IR spectrum ของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน Fe^{3+} เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่มีค่าพีเอชต่างกัน นาน 30 นาที....31

4.8 ความเข้มข้นที่เหลือของ Fe^{3+} ในสารละลายและความจุในการดูดซับ Fe^{3+} ของเปลือกสับปะรดที่แช่ในสารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์ที่มีพีเอช 2 ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกัน นาน 30 นาที....32

4.9 FT-IR spectrum ของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน Fe^{3+} ที่มีความเข้มข้นต่างกัน นาน 30 นาที....33

4.10 ความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในน้ำกลั่นที่แช่เปลือกสับปะรด เมื่อ (ก) เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และ Fe^{3+} (ข) เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH และเส้นประแสดงเกณฑ์ความเข้มข้นสูงสุดของเหล็กสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม....35

4.11 การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดติดของ Fe^{3+} บนพื้นผิวเปลือกสับปะรดด้วย NH_4OH....35

4.12 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า ของ (A) เปลือกสับปะรดก่อนปรับปรุง (B) เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH (C) เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และ Fe^{3+} และ (D) เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติด Fe^{3+} บนพื้นผิวด้วย NH_4OH....36

4.13 ความสามารถในการกำจัดสารละลายโพลีฟอสเฟตเข้มข้น 10 mg/L ของเปลือกสับปะรดปริมาณ 2 กรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่างกัน....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14 ความสามารถในการกำจัดสารละลายโพลีฟอสเฟตเข้มข้น 10 mg/L ของเปลือกสับปะรดชิ้นใช้ในปริมาณต่างกัน 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เปลือกสับปะรดเป็นเศษเหลือจากการแปรรูปสับปะรดทั้งจากการตัดแต่งเพื่อบริโภคสดและจากกระบวนการแปรรูปสับปะรด ซึ่งถ้าคิดจากพื้นที่ปลูกประมาณ 6 แสนไร่ จะมีเศษเปลือกสับปะรดเกิดขึ้นโดยรวมประมาณ 1.62 ล้านตันของทั้งประเทศ (สุมน, 2557) ที่ผ่านมาการใช้ประโยชน์ของเปลือกสับปะรดส่วนใหญ่คือนำไปผสมและใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่การใช้ประโยชน์ในลักษณะนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าต่ำ คณะผู้วิจัยจึงต้องการเพิ่มแนวทางการใช้ประโยชน์ของเปลือกสับปะรดด้วยการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้น ประกอบกับการที่เปลือกสับปะรดมีองค์ประกอบที่เป็นเยื่อใยโดยเฉพาะอย่างยิ่งเซลลูโลสในปริมาณสูง อีกทั้งเซลลูโลส ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเส้นใยเป็นโครงร่างหลวมๆ โดยโมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เซลลูโลสมีสมบัติเป็นวัสดุตัวกลาง (matrix) ที่สามารถจะตรึง anchor group เข้ากับโมเลกุลด้วยพันธะเคมีและให้อัตราการแลกเปลี่ยนไอออนที่สูงได้ (พอตา, 2547) ด้วยเหตุนี้การนำเปลือกสับปะรดมาพัฒนาเป็นตัวดูดซับแบบแลกเปลี่ยนไอออนของเซลลูโลส (cellulose-based exchanger) สำหรับกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำ จึงจัดเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์จากวัสดุดังกล่าวให้สูงขึ้น

การเพิ่มขึ้นของประชากรและการขยายตัวของชุมชน ทำให้ปริมาณน้ำเสียชุมชนที่เกิดขึ้นมีมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากอัตราการเกิดน้ำเสียชุมชนโดยเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้นจาก 170-288 ลิตร/คน-วัน ในปีพ.ศ. 2545 เป็น 183-406 ลิตร/คน-วัน ในปีพ.ศ. 2555 (กรมควบคุมมลพิษ, 2556) การใช้ผงซักฟอกที่มีเกลือของฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบในการทำความสะอาดสิ่งของเครื่องใช้ในบ้านเรือน ทำให้น้ำเสียชุมชนมีฟอสเฟตปนเปื้อนอยู่ระหว่าง 1-90 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นอยู่กับลักษณะของกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยในชุมชนและกิจกรรมที่เป็นอาชีพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2556) เมื่อมองในระยะยาว การปล่อยน้ำเสียดังกล่าวลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยที่ไม่ได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสม จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication) ที่จะส่งผลเสียต่อสัตว์น้ำ เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวจึงมีการกำหนดความเข้มข้นสูงสุดของฟอสเฟตที่อนุญาตให้ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ต้องมีค่าไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีการดูดซับจัดเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียชุมชน เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและสามารถติดตั้งเพื่อใช้งานได้ในแหล่งชุมชนทั่วไป (รัตนภร และคณะ, 2554) งานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่าการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยผลพลอยได้ทางการเกษตร เช่น ขี้เลื่อยของต้นสนเยรูสาเลม (Aleppo pine) (Benyoucef and Amrani, 2011) เส้นใยปาล์ม (Ismail, 2012) ขุยมะพร้าว (Krishnan and Haridas, 2008) สามารถทำให้ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด แต่มีข้อจำกัดคือความจุในการดูดซับฟอสเฟตยังมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการใช้ความร้อนหรือสารเคมีในการปรับปรุงโครงสร้างหรือสมบัติของวัสดุดูดซับ (รัตนภร และคณะ, 2554; Nguyen *et al.*, 2012) ประกอบกับงานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติด้วยการแทนที่ไอออนบวกของเหล็กหรืออะลูมิเนียม สามารถเพิ่มความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำให้กับวัสดุกล่าวได้ (Krishnan and Haridas, 2008; Kim, 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายหลักคือนำเปลือกสับปะรดมาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับที่มีความจุฟอสเฟตเพื่อใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน โดยนำเปลือกสับปะรดมาปรับปรุงสมบัติด้วยการปรับสภาพทางกายภาพ-เคมีและการดัดแปรพื้นผิวด้วยสารเคมีเพื่อให้ได้วัสดุดูดซับจากเปลือกสับปะรดที่สามารถกำจัดฟอสเฟตได้ ผลลัพธ์ที่ได้คือทำให้เปลือกสับปะรดสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายและมีมูลค่าสูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาตัวดูดซับที่มีความจุฟอสเฟตจากเปลือกสับปะรด
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในการบำบัดฟอสเฟตในน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีระยะเวลาในการศึกษาวิจัย 1 ปี เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2558 และมีขอบเขตการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนใหญ่ดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมเปลือกสับปะรด

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาสมบัติของเปลือกสับปะรดที่เตรียมได้

ขั้นตอนที่ 3 การปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของเปลือกสับปะรด แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยคือ

3.1 การปรับสภาพเปลือกสับปะรดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.2 การดัดแปรพื้นผิวเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการเติมเฟอร์ริค-ไอออน

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตในน้ำ

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ สรุปผล จัดทำรายงานและนำเสนอผลงาน

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

แนวทางในการทำวิจัยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมเปลือกสับปะรด

เปลือกสับปะรดที่ใช้เป็นเปลือกสับปะรดที่เหลือทิ้งจากการปลอกและตัดแต่งสับปะรดเพื่อบริโภคสด นำไปล้างด้วยน้ำสะอาด ตากแดด และอบแห้ง แล้วจึงนำมาบดด้วยเครื่องบดแบบใบมีดตัดและนำมาร่อนคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาสมบัติของเปลือกสับปะรดที่เตรียมได้

ตัวอย่างเปลือกสับปะรดจะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ โดยสมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ หมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope: SEM) ทดสอบความสามารถในการดูดซับไอโอดีนและเมธทิลีนบลู วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุนและปริมาตรรูพรุนรวมด้วยเทคนิคการดูดซับทางกายภาพของไนโตรเจน (คำนวณโดยใช้สมการของ BET)

ขั้นตอนที่ 3 การปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของเปลือกสับปะรด

3.1 การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ปัจจัยที่ทำการศึกษาหรือตัวแปรต้นได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรตามคือ สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพเทียบกับเปลือกสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ โดยสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่

- หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)
- ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope: SEM) (เฉพาะสภาวะที่ดีที่สุด)
- ทดสอบความสามารถในการดูดซับไอโอดีนและเมธทิลีนบลู นำตัวดูดซับที่สามารถดูดซับไอโอดีนและเมธทิลีนบูลได้สูงสุดไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมด้วยเทคนิควิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมด้วยเทคนิคการดูดซับทางกายภาพของไนโตรเจน (คำนวณโดยใช้สมการของ BET)

3.2 การเติมเฟอร์ริคไอออน

ปัจจัยที่ทำการศึกษาหรือตัวแปรต้น ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส พีเอชของสารละลาย และความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์

ตัวแปรตามที่ต้องทำการวิเคราะห์ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเปลือกสับปะรดที่เติมเฟอร์ริคเทียบกับเปลือกสับปะรดที่ก่อนปรับปรุง โดยสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่

- วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FT-IR
- วิเคราะห์พื้นผิวด้วยเครื่อง SEM
- ทดสอบความสามารถในการดูดซับไอโอดีนและเมธทิลีนบลู และศึกษาการคายซับ Fe^{3+} ของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุง นำตัวดูดซับที่สามารถดูดซับไอโอดีนและเมธทิลีนบูลได้สูงสุดและมีการคายซับ Fe^{3+} น้อยสุดไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมด้วยเทคนิค BET

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตในน้ำ

น้ำตัวอย่างที่ใช้คือ สารละลายฟอสเฟต (PO_4^{3-}) โดยทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงเทียบกับเปลือกสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับปรุง ซึ่งมีปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส และปริมาณตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ สรุปผล และจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ตัวดูดซับที่มีสามารถกำจัดฟอสเฟตในน้ำ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการลดภาวะมลพิษทางน้ำและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้
2. เป็นแนวทางในจัดการและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
3. เป็นแนวทางในการพัฒนาตัวดูดซับเพื่อบำบัดมลพิษในน้ำเสียชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมสับปะรดในประเทศไทย

สับปะรดจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประเทศไทย ดังจะเห็นได้จากผลผลิตที่มีมากถึง 2 ล้านตันต่อปี และมีผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นจาก 3.30 ตัน ในปี 2553 เป็น 3.80 ตัน ในปี 2557 ซึ่งในปี 2558 คาดว่าผลผลิตจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากราคาที่เกษตรกรขายได้ตั้งแต่ปี 2556 เป็นต้นมาอยู่ในเกณฑ์ดี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) ทั้งนี้ผลผลิตประมาณร้อยละ 10 ของผลผลิตทั้งหมดจะบริโภคภายในประเทศในรูปผลสด อีกร้อยละ 90 ของผลผลิตทั้งหมดจะเป็นวัตถุดิบป้อนเข้าสำหรับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์สับปะรดแปรรูป ซึ่งผลิตภัณฑ์เกือบทั้งหมดจะส่งออก ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์สับปะรดกระป๋องและน้ำคั้นสับปะรดกระป๋อง จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสัดส่วนการค้าสูงสุด คิดเป็นมูลค่าการส่งออกถึงร้อยละ 69 และร้อยละ 24 ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์สับปะรดทั้งปี ตามลำดับ (อังคณา และคณะ, 2557) สำหรับกระบวนการผลิตน้ำคั้นสับปะรดและสับปะรดกระป๋อง จะเริ่มจากเกษตรกรจำหน่ายสับปะรดที่ผ่านการตัดยอด และลำต้นให้กับโรงงานแปรรูป ซึ่งโรงงานจะทำการปอกเปลือก และคว้านแกนก่อนที่จะทำการตัดตกแต่งและบรรจุใส่กระป๋อง (รูปที่ 2.1) ดังนั้นสับปะรดหนึ่งผล ซึ่งทั่วไปจะหนักประมาณ 1.7 กิโลกรัมต่อผล เมื่อเข้าสู่กระบวนการแปรรูปในโรงงาน จะมีเศษเหลือจากการทำสับปะรดกระป๋อง (cannery waste) ประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อผล (สมบัติและคณะ, 2537 อ้างถึงในจินดา, 2547)

2.1.1 องค์ประกอบของเศษเหลือจากสับปะรด

เศษเหลือจากเปลือกสับปะรดนี้ทั่วไปเรียกว่าเปลือกหรือกากสับปะรด เนื่องจากจะพบเปลือกสับปะรด ทั้งเปลือกข้าง ส่วนหัว ส่วนล่าง เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ในเศษเหลือยังพบไส้(แกนกลาง) และเศษเนื้อเป็นส่วนประกอบในปริมาณมากน้อยแล้วแต่โรงงาน ซึ่งทำให้ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเหลือของสับปะรดมีค่าแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีแยกวิเคราะห์ตามส่วนต่างๆ ของสับปะรด (%วัตถุแห้ง)

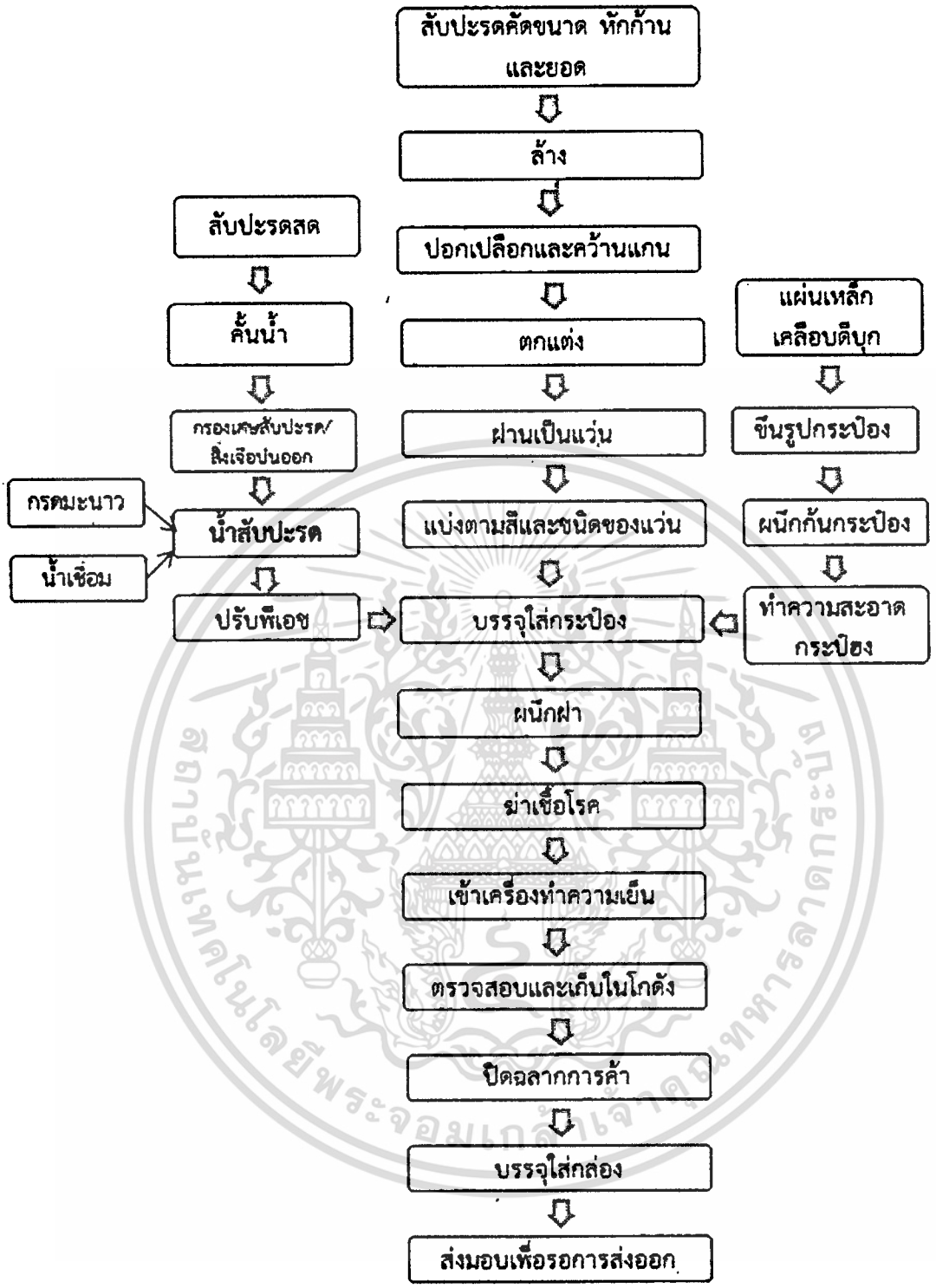
ส่วนประกอบ	เปลือกด้านข้าง	ส่วนหัว	ส่วนล่าง	แกน(ไส้)	เศษเนื้อ
ความชื้น	85.8	84.9	85.9	88.6	84.5
โปรตีน	4.4	4.1	5.4	3.2	3.6
ไขมัน	1.5	1.2	1.4	1.3	1.2
เยื่อใย	8.1	11.6	13.4	8.9	4.7
เถ้า	4.9	5.4	7.6	3.8	4.2

ที่มา: วรพงษ์และวิภา (2528) อ้างถึงในจินดา (2547)

2.1.2 การใช้ประโยชน์ของเศษเหลือจากสับปะรด

เศษเหลือของสับปะรดจัดเป็นวัสดุที่มีน้ำในปริมาณมาก นอกจากนี้ยังมีเยื่อใยในปริมาณสูง (ตารางที่ 2.1) ทำให้เศษเหลือสับปะรดสามารถนำมาใช้ประโยชน์หลากหลาย ที่สำคัญคือการใช้เป็นอาหารสัตว์ ทั้งในรูปของสภาพสด หมักและแห้ง (สุมน, 2557) ด้วยเหตุที่เยื่อใยที่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แผนภาพขั้นตอนการผลิตสับปะรดกระป๋อง และน้ำค้นสับปะรดกระป๋อง
ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
(http://exim.go.th/doc/research/business/industry_profile/อุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง%20270447.pdf)

ในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งรวมไปถึงปลือกสับปะรดนั้นมักประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในปริมาณสูง (ตารางที่ 2.2) ประกอบกับสารทั้งสองนั้น โดยเฉพาะเซลลูโลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของกลูโคส (Glucose) เกิดเป็นโครงสร้างแบบโครงร่างหลวมๆ ที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี สามารถดัดแปรหรือตรึง anchor group เข้ากับโมเลกุลของเซลลูโลสได้ ส่งผลให้คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุสูงขึ้น ทำให้การแปรรูปเปลือกสับปะรดให้เป็นโพลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) และนำมาพัฒนาต่อเพื่อเป็นเรซินและหรือตัวดูดซับจึงจัดเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น

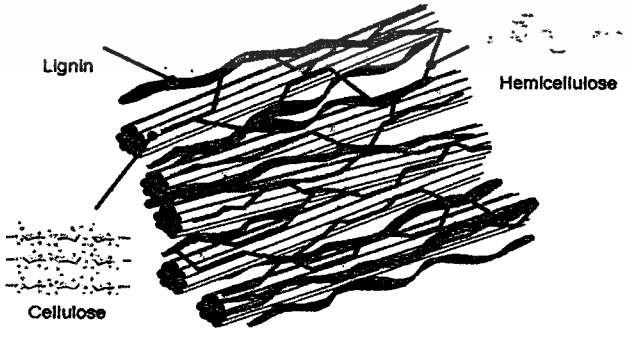
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบเยื่อใยในวัสดุลิกโนเซลลูโลส

แหล่งที่มา	ส่วนประกอบของพืช	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	เถ้า
วรพงษ์และวิภา (2528)[1/]	เปลือกสับปะรดด้านข้าง	10.4	15.0	1.7	4.9
วรพงษ์และวิภา (2528)[1/]	ส่วนหัว	15.2	21.7	1.9	5.4
วรพงษ์และวิภา (2528)[1/]	ส่วนล่าง	17.6	26.5	2.8	7.6
จินตาและคณะ (2542)[1/]	เปลือกสับปะรด	24.65	29.78	2.89	n/a
จินตาและคณะ (2542)[1/]	จุกสับปะรด	23.2	24.7	2.67	n/a
ปรัชญาและคณะ (2544)[1/]	ใบสับปะรด	21.15	15.19	3.10	n/a
อาทิตย์และศรเทพ (2556)	เปลือกสับปะรด	33.25	44.5	6.86	3.46
หรรษาและเนริสา (มปป.)[2/]	ชานอ้อย	34.08	20.31	8.93	n/a
หรรษาและเนริสา (มปป.)[2/]	เปลือกถั่วลิสง	35.13	12.96	9.04	n/a
หรรษาและเนริสา (มปป.)[2/]	รำข้าวเจ้า	8.30	17.58	2.38	n/a
ปรัชญาและคณะ (2542)[1/]	หญ้าขนสด	34.96	26.02	4.15	n/a
Badal et al. (2005)[2/]	ฟางข้าวสาลี	48.57	27.7	8.17	n/a
Zhu et al. (2005)[2/]	ฟางข้าว	38.56	19.69	13.64	n/a

[1/]อ้างถึงในจินดา (2547)
[2/]อ้างถึงในวราภรณ์และคณะ (2556)

2.2 วัสดุลิกโนเซลลูโลส

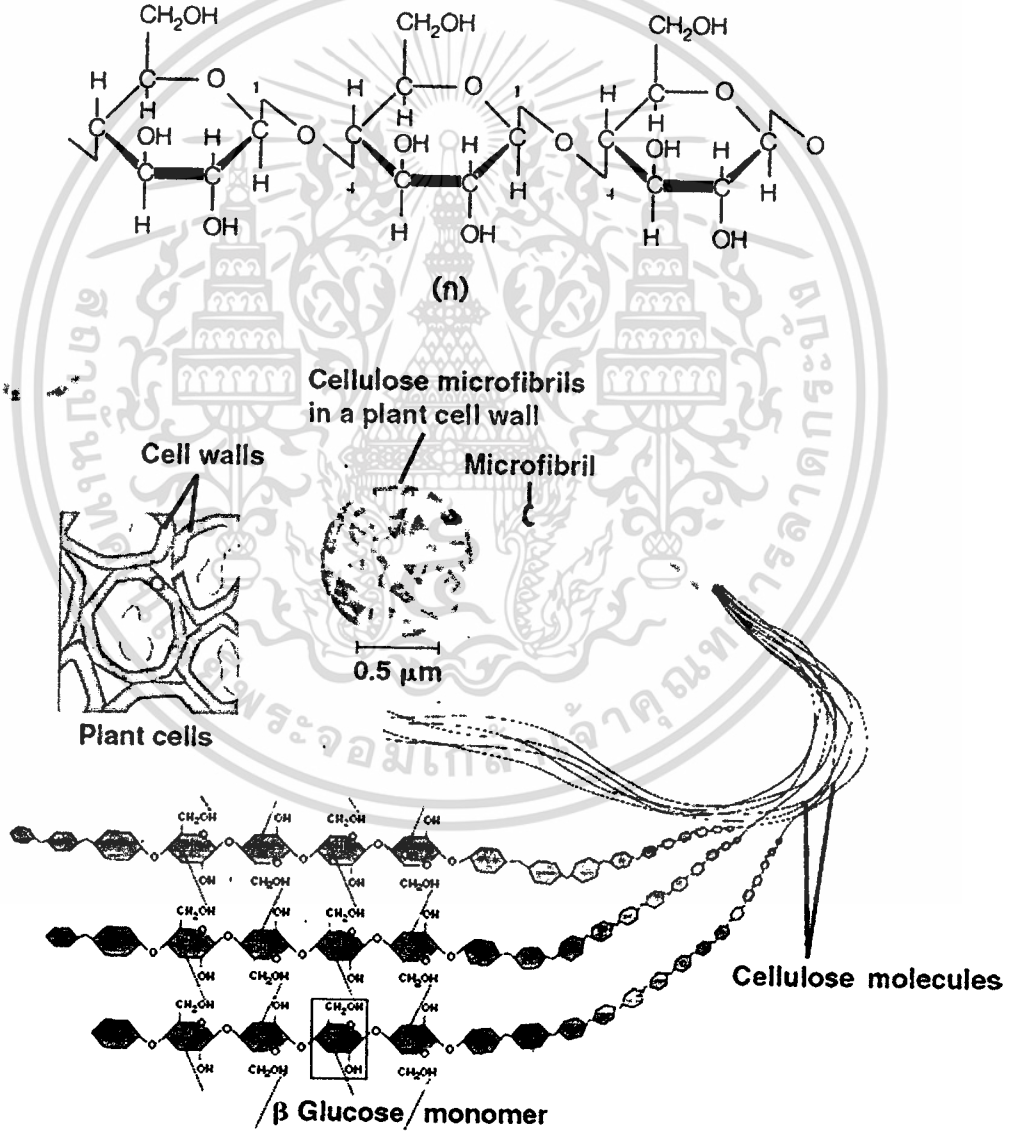
วัสดุลิกโนเซลลูโลส หมายถึงชีวมวลที่มีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ โดยมีลักษณะการจัดเรียงโครงสร้างของโมเลกุลเป็นดังรูปที่ 2.2 ลิกโนเซลลูโลสพบได้ทั่วไปในอาณาจักรของพืช ทั้งในต้นไม้ใหญ่-เล็กและในต้นหญ้า นอกจากนี้ยังพบได้ที่ผนังเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวและ flagellate บางชนิด รวมไปถึงเยื่อหุ้มเซลล์ของรา ในกรณีของพืช พบว่ามีปริมาณแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชและส่วนประกอบต่างๆของพืช (ตารางที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบและการจัดเรียงโครงสร้างของลิกโนเซลลูโลส
ที่มา: Niklas และคณะ (2013) อ้างถึงในกันตพัฒน์ (2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลส ซึ่งองค์ประกอบสำคัญของวัสดุลิกโนเซลลูโลสนั้น จัดเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegragable) มีโครงสร้างทางเคมีและองค์ประกอบที่มีขนาดใหญ่ รวมทั้งมีมวลโมเลกุลสูง เนื่องจากประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเบตาดังรูปที่ 2.3(ก) ในปริมาณมากถึง 10,000 หน่วยโดยประมาณ สายโซ่ของโมเลกุลกลูโคสจะมีการเรียงตัวขนานกันไปและจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) ในลักษณะเป็นมัดยาวรวมกันที่เรียกว่า ไฟบริล (fibril) ดังรูปที่ 2.3(ข) ซึ่งทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสมีลักษณะแข็งและมีผลึกค่อนข้างสูง ส่งผลให้ละลายในสารละลายอินทรีย์โดยทั่วไปได้ยาก คุณสมบัติเหล่านี้ส่งเสริมให้เซลลูโลสสามารถนำไปใช้งานทางด้านวิศวกรรมได้ นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงและดัดแปรทางเคมี ทำให้สามารถนำอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ผ่านการปรับปรุงนี้ไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่นใช้เป็นยา เครื่องสำอาง อาหาร และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา: http://bio1151.nicerweb.com/Locked/media/ch05/cellulose.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจากองค์ประกอบในผนังเซลล์ของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส ถูกห่อหุ้มด้วยลิกนินและเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 2.1) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์พืช และทำให้ผนังเซลล์ทนทานต่อการทำปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้นก่อนการนำวัสดุลิกโนเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์ใดๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาปรับปรุงให้เป็นวัสดุตัวกลาง (matrix) จึงควรนำวัสดุดังกล่าวมาผ่านการระบวนการปรับปรุงคุณภาพ เพื่อลด/กำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสในส่วนผนังเซลล์ รวมทั้งทำให้โครงสร้างความเป็นผลึกของเซลลูโลสลดลง ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการทำปฏิกิริยาให้กับวัสดุที่ผ่านการปรับปรุง

2.2.1 การปรับปรุงคุณภาพของวัสดุ

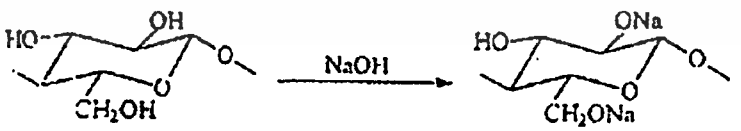
การปรับปรุงคุณภาพวัสดุในกรณีของการดูดซับนั้น ทั่วไปทำไปเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและความสามารถในการทำปฏิกิริยาให้กับวัสดุ ซึ่งขั้นตอนการปรับปรุงที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้สามารถแบ่งได้เป็นสองขั้นตอนหลักดังนี้คือ

1. การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical modification)

วิธีการทางกายภาพจะใช้วิธีการทางกล เช่น การบด ตัด หรือโม่ เข้าไปลดขนาดของวัตถุดิบ ซึ่งขนาดของวัสดุที่ได้จากการตัดจะมีขนาด 10-30 มิลลิเมตรและหลังจากการโม่หรือบดจะมีขนาด 0.2-2 มิลลิเมตร (วนิดา, 2553) นอกจากการลดขนาดของวัตถุดิบแล้ว วิธีการนี้ยังทำให้โครงสร้างผลึก (Crystalline) ของเส้นใยที่ประกอบด้วยไมโครไฟบริลจำนวนมากแตกออก เพิ่มพื้นที่ผิวและลดจำนวนโมโนเมอร์เฉลี่ยในโมเลกุลของโพลิเมอร์ หรือองศาของการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of Polymerization, DP) ซึ่งจะส่งผลให้การย่อยลิกโนเซลลูโลสเกิดได้ดีขึ้น 5-25% (วนิดา, 2553)

2. การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical modification)

เป็นวิธีการใช้สารเคมี เช่น สารละลายกรด สารละลายด่าง ตัวทำละลายอินทรีย์หรือตัวออกซิแดนซ์ (Oxidant reagent) ในการปรับปรุงโครงสร้างของวัสดุ โดยมีจุดมุ่งหมายคือกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ลดความเป็นผลึกและเกิดการบวมตัวของเซลลูโลส ส่งผลให้วัสดุที่ผ่านการปรับปรุงมีความพรุนและความสามารถในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายด่างเจือจาง เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยด่างก่อนนำมาใช้เป็นตัวดูดซับ จะช่วยลดปัญหาการเพิ่มขึ้นของค่า BOD, COD และ TOC ในน้ำเสียที่เกิดจากสารอินทรีย์ละลายได้จากวัสดุ (Xuang *et al.*, 2006) โดย NaOH เป็นสารเคมีที่เลือกใช้ เนื่องจากเป็นด่างแก่ สามารถกำจัดลิกนินได้ดีและมีราคาถูก (ชัชนันท์และเฉลิม, 2555) นอกจากนี้ด่างยังสามารถทำให้เซลลูโลสเกิดการบวมตัวและลดความเป็นผลึกของเซลลูโลสด้วย ทำให้หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยามากขึ้น ได้ alkaline cellulose เป็นผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 2.4 (พอตา, 2547)



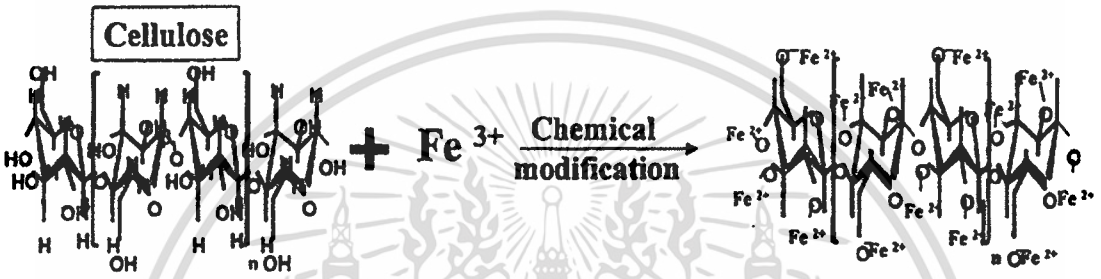
รูปที่ 2.4 การปรับสภาพเซลลูโลสด้วย NaOH

2.2.2 การดัดแปรพื้นผิวของวัสดุ

การดัดแปรพื้นผิวของวัสดุ (surface modification) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของวัสดุให้มีความเหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยากับสารที่สนใจหรือสารที่ต้องการบำบัด ในกรณีของลิกโนเซลลูโลส โดยเฉพาะเซลลูโลส พบว่ามีหมู่ฟังก์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hydroxyl เป็นส่วนประกอบ ทำให้วัสดุมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ดี แต่เนื่องจากสารที่ต้องการบำบัดในงานวิจัยนี้คือ ฟอสเฟต (phosphates) ซึ่งเป็นไอออนลบ ด้วยเหตุนี้การดัดแปรพื้นผิวของลิกโนเซลลูโลสที่ผ่านการปรับปรุงให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ จึงเป็นขั้นตอนจำเป็นในกรณีของการใช้ประโยชน์วัสดุดังกล่าวเพื่อบำบัดไอออนลบในน้ำ งานวิจัยของ Kim (2010) พบว่าการพัฒนาตัวดูดซับทางการเกษตรโดยอาศัยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างหมู่ Hydroxyl ของเซลลูโลสกับไอออนบวกของโลหะบางประเภท อย่างเช่นเฟอร์ริคไอออน (Fe^{3+}), เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) สามารถเพิ่มความสามารถในการกำจัดไอออนลบของฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และสารหนู (AsO_4^{3-}) ในน้ำได้ ทั้งนี้ไอออนบวกของโลหะดังกล่าวจะเกิดปฏิกิริยาแบบแทนที่ ณ ตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของเซลลูโลส ทำให้พื้นผิวของวัสดุมีประจุบวกเพิ่มขึ้นดังตัวอย่างของการแทนที่หมู่ไฮโดรเจนอะตอมด้วยเฟอร์ริคในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนไอออนบนหมู่ฟังก์ชัน hydroxyl ของเซลลูโลสกับเฟอร์ริคไอออน (Kim, 2010)

2.3 การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน

การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (Exchange adsorption) เป็นการดูดซับที่มีการแลกเปลี่ยนไอออนของตัวถูกดูดซับในสารละลายกับไอออนในของแข็ง โดยพอตา (2547) ได้สรุปว่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญดังต่อไปนี้

1. *ไอออนในสารละลาย*

- *จำนวนประจุ* โดยไอออนที่มีวาเลนซ์สูงกว่าจะเกิดการแลกเปลี่ยนได้ดีกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ ซึ่งลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนแสดงในตารางที่ 2.3
- *น้ำหนักอะตอมและขนาด* ซึ่งจะมีบทบาทในกรณีของไอออนที่มีวาเลนซ์เท่ากัน ไอออนที่มีน้ำหนักอะตอมสูงกว่าจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนดีกว่าไอออนที่มีน้ำหนักอะตอมต่ำกว่า เช่น $Ba^{2+}>Sr^{2+}>Ca^{2+}>Mg^{2+}$
- *ความเข้มข้นของไอออนนั้นๆ ในสารละลาย* โดยไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำกว่าแต่มีความเข้มข้นสูงกว่าอาจมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์สูงกว่าแต่มีความเข้มข้นต่ำกว่า

2. สมบัติของวัสดุที่แลกเปลี่ยน

- *ระดับการเชื่อมขวาง (Degree of cross linking)* โดยวัสดุที่มีระดับการเชื่อมขวางสูงกว่าจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีกว่าวัสดุที่มีระดับการเชื่อมขวางต่ำ
- ชนิดของหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ถ้าส่วนโครงร่างของตัวกลาง (matrix) มีประจุลบประจำตัว Functional group จะมีประจุบวก วัสดุดังกล่าวจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange capacity) หาก matrix มีประจุบวกประจำตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional group จะมีประจุลบ ทำให้วัสดุมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (anion exchange capacity)

ตารางที่ 2.3 ลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

ไอออนบวก	ไอออนลบ	ลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน
Fe^{3+}	CO_3^{2-}	มากสุด ↑
Al^{3+}	SO_4^{2-}	
Pb^{2+}	SO_3^{2-}	
Ba^{2+}	HPO_4^{2-}	
Sr^{2+}	CNS^-	
Cd^{2+}	CNO^-	
Zn^{2+}	NO^-	
Cu^{2+}	Br^-	
Fe^{2+}	Cl^-	
Mn^{2+}	CN^-	
Ca^{2+}	HCO^-	
Mg^{2+}	$HSiO^-$	
K^+	OH^-	
NH^+	F^-	
Ba^+		
H^+		
Li^+		น้อยสุด ↓

2.4 ฟอสฟอรัสในน้ำ

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติและที่พบในน้ำเสียมักพบในรูปโมเลกุลของฟอสเฟต ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 ชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.4

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

2. *โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate)* เป็นอนุพันธ์ของฟอสเฟตที่ประกอบด้วยโมเลกุลของฟอสเฟตมากกว่าหนึ่งหมู่ เช่น $Na_3(PO_4)$, $Na_5P_3O_{10}$ และ $Na_4P_2O_7$ จัดเป็นสารประกอบที่พบได้มากในน้ำทิ้งจากบ้านเรือน หรือน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาด เมื่อสลายตัวจะกลายเป็นออร์โธฟอสเฟต

3. *สารอินทรีย์ฟอสเฟต (Organic phosphate)* สารฟอสฟอรัสประเภทนี้จะพบได้ในสารละลาย สารแขวนลอย หรืออินทรียวัตถุที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ เช่น Nucleic acid, Phospholipids และ Sugar phosphate (ยาโก๊ะ, 2553)

2.4.1 แหล่งที่มาของฟอสเฟตในน้ำ

ฟอสเฟตส่วนใหญ่จะมาจาก 2 แหล่งใหญ่ คือธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 การจำแนกประเภทของฟอสฟอรัส

สารประกอบฟอสฟอรัส	สูตรทางเคมี
Othophosphate	$H_2PO_4^{3-}$, HPO_4^{2-}, PO_3^{2-}
Inorganic Condensed Phosphate	
-Pyrophosphate	$HP_2O_7^{3-}$, P_2O^{4-}, $CaP_2O_7^{2-}$, $MnP_2O_7^{2-}$
- Tripolyphosphate	$HP_3O_{10}^{4-}$, $P_3O_{10}^{3-}$, $CaP_3O_{10}^{2-}$
- Trimetaphosphate	$HP_3O_9^{2-}$, $P_3O_9^{2-}$, CaP_3O^{9-}
Organic orthophosphate	
-Sugar phosphate	Glucosel phosphate, Adenosine
- Inositol phosphate	Monophosphate
- Phospholipid	Inositol Mono and Hexaphosphate
- Phosphoproteins	Glycerophosphate, Phosphatidic acids, Phosphocreatine

ที่มา: พรทวี (2557)

1. *จากธรรมชาติ* เช่น การละลายของหินฟอสเฟต ผงฝุ่นฟอสฟอรัสในอากาศ ซึ่งถูกพัดพาและตกกลับลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ รวมทั้งฝนที่ตกลงมาสู่พื้นดินพัดพาเศษดินและหินที่มีฟอสเฟตลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังอาจมาจากมูลของนกบางชนิด เศษซากพืชซากสัตว์ที่ตายทับถมกันบริเวณแหล่งน้ำ

2. *จากกิจกรรมของมนุษย์* ได้แก่

- จากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ย การผลิตสารกำจัดศัตรูพืช และการผลิตสารซักล้างและผงซักฟอก ซึ่งโรงงานเหล่านี้จะมีน้ำทิ้งที่มีฟอสเฟตในปริมาณที่สูง
- จากการเกษตรกรรม เนื่องจากเกษตรกรใช้ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และ ยาปราบศัตรูพืชมากขึ้นตามลำดับ ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และยาปราบศัตรูพืช รวมทั้งมูลสัตว์ จะถูกชะไหลลงสู่แหล่งน้ำ จึงเกิดการสะสมสารดังกล่าวในแหล่งน้ำมากขึ้น
- จากแหล่งชุมชน ได้แก่ บ้านเรือน อาคารพาณิชย์ โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน สำนักงาน ซึ่งน้ำทิ้งจากสถานที่ดังกล่าวจะมีการปนเปื้อนของฟอสเฟตที่เกิดจากกิจกรรมการซักล้างทำความสะอาด ซึ่งกิจกรรมต่างๆเหล่านี้เป็นสาเหตุหลักในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น (ธงชัย, 2539)

2.4.2 ผลกระทบของฟอสเฟตต่อคุณภาพน้ำ

ฟอสฟอรัสจัดเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช ในแหล่งน้ำทั่วไปจะมีฟอสฟอรัสในปริมาณต่ำเพื่อเป็นกลไกทางธรรมชาติในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชน้ำ รวมไปถึงแพลงก์ตอนพืช ไซยาโนแบคทีเรียและสาหร่าย ดังนั้นการระบายน้ำทิ้งที่มีสารประกอบของฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารและห่วงโซ่อาหาร แพลงค์ตอนพืชและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication) แหล่งน้ำที่ได้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวมักมีสีเขียวขุ่น ทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง นอกจากนี้มวลสาหร่ายบางส่วนอาจเกิดการจมตัวและย่อยสลายในน้ำ ผลที่ตามมาคือออกซิเจนในน้ำมีปริมาณลดลง จนส่งผลต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ (Nguyen *et al.*, 2012) คุณภาพน้ำที่เปลี่ยนไปยังสามารถก่อให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจแก่กิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมไปถึงอาจมีอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตของมนุษย์และสัตว์ที่บริโภคสารพิษที่มีอยู่ในสาหร่ายบางชนิด เพื่อป้องกันปัญหาของภาวะยูโทรฟิเคชั่น องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) จึงได้กำหนดระดับความเข้มข้นสูงสุดของฟอสฟอรัสทั้งหมดในแหล่งน้ำธรรมชาติให้มีค่าต่ำกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร (Mullins, 2009 อ้างถึงใน Nguyen *et al.*, 2012)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chowdhury *et al.* (2011) ทำการศึกษาการดูดซับมาลาไคท์กรีนด้วยแกลบที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยนำแกลบจากโรงสีข้าวมาบด ล้างให้สะอาด และอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแช่ใน NaOH เข้มข้น 5% ที่ความดัน 10 psi เป็นเวลา 15 นาที นำแกลบที่ผ่านการปรับสภาพมากรอง และอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์พื้นผิวของแกลบข้าวที่ผ่านการปรับสภาพเทียบกับแกลบข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยเครื่อง SEM พบว่าพื้นผิวของแกลบข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมีรูพรุนมากขึ้น อีกทั้งยังมีความขรุขระ และหยาบมากกว่าแกลบข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดมาลาไคท์กรีน พบว่าแกลบข้าวที่ผ่านการปรับสภาพสามารถกำจัดมาลาไคท์กรีนได้สูงสุด 97% โดยพื้นผิวของแกลบข้าวที่ผ่านการปรับปรุงหลังจากใช้ดูดซับมาลาไคท์กลีน พบว่าพื้นผิวมีความขรุขระลดลง และมีความเรียบขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

Nasuha and Hameed (2011) ทำการศึกษาการปรับสภาพใบชาที่คุณภาพไม่ผ่านเกณฑ์การผลิต (rejected tea) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อนำมาใช้ในการดูดซับเมทิลีนบลู โดยนำกากชามาล้างให้สะอาด ทำการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดจนมีขนาด 250-355 ไมโครเมตรและแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 M เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงโดยพบว่าใบชาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH มีพื้นผิวคล้ายรังผึ้ง มีรอยแตก และมีรูพรุนมากกว่าใบชาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และเมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมด้วยเทคนิค BET พบว่าใบชาที่ปรับสภาพด้วย NaOH มีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นจาก 4.2m^2/g เป็น 6.5 m^2/g และปริมาตรรูพรุนรวมเพิ่มขึ้นจาก 0.0045 cm^3/g เป็น0.0064 cm^3/g ซึ่งเมื่อนำทดสอบความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู พบว่ากากชาที่ผ่านการปรับสภาพสามารถดูดซับเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้นจาก 147 mg/g เป็น 242 mg/g

Ofomaja *et al.* (2009) ทำการศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวลูกสนด้วย NaOH เพื่อนำมาใช้ดูดซับ Cu^{2+} ในสารละลาย โดยบดลูกสนที่ผ่านการล้างและอบแห้งที่อุณหภูมิ 90°C 48 ชั่วโมง ให้มีขนาดเล็กกว่า 150 ไมโครเมตร นำลูกสน 50g ไปแช่ใน NaOH เข้มข้น 0.01, 0.05, 0.1 และ0.15 M ปริมาตร 0.5 ลิตร แช่ไว้ 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และนำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงทำการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน (Iodine number: I.N.) พบว่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของลูกสนจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ปรับสภาพ เมื่อทำการทดสอบการดูดซับ Cu^{2+}ในสารละลาย โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าพีเอชของสารละลาย ปริมาณตัวดูดซับ และอุณหภูมิ พบว่าลูกสนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.15 M สามารถดูดซับ Cu^{2+} ได้ดีที่สุด เมื่อค่าพีเอชของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 5 ใช้ตัวดูดซับปริมาณ 8 กรัมต่อลิตร และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ลูกสนสามารถดูดซับ Cu^{2+} ได้มากขึ้น

Ronda *et al.* (2013) ทำการพัฒนาตัวดูดซับจากกิ่งมะกอกเพื่อใช้ในการกำจัดตะกั่วในสารละลาย โดยนำกิ่งมะกอกที่บดจนมีขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร มาปรับสภาพด้วย H_2SO_4, HNO_3 หรือ NaOH เข้มข้น 1.0 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กำหนดความเข้มข้นของกิ่งมะกอกในสารละลายเท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร ผลจากการปรับสภาพพบว่า กิ่งมะกอกที่ปรับสภาพด้วย H_2SO_4 และ HNO_3 มีพื้นที่ผิวจำเพาะลดลงจาก 0.63 m^2/g เป็น 0.61 m^2/g และ 0.43 m^2/g ตามลำดับ โดยการปรับสภาพด้วย H_2SO_4 ส่งผลให้กิ่งมะกอกมีปริมาตรรูพรุนรวมเพิ่มขึ้นจาก 0.00154 cm^3/gเป็น 0.00165 cm^3/g ขณะที่การปรับสภาพด้วย HNO_3 ทำให้ปริมาตรรูพรุนรวมลดลงเหลือ 0.00098 cm^3/g ส่วนการปรับสภาพด้วย NaOH ส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมของกิ่งมะกอกเพิ่มขึ้นเป็น 3.53 m^2/g และ 0.00583 cm^3/gตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบการดูดซับตะกั่วในสารละลายพบว่า กิ่งมะกอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH สามารถดูดซับตะกั่วได้มากกว่ากิ่งมะกอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด้วย H_2SO_4 และ HNO_3 โดยสามารถดูดซับตะกั่วได้สูงสุด 16.04 mg/g

Yoshita *et al.* (2009) ทำการศึกษาการปรับสภาพใบชาที่ใช้แล้ว (spent tea leaf) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อนำมาใช้ในการดูดซับสารละลายตะกั่ว โดยนำใบชามาล้างให้สะอาด และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำใบชามาปรับสภาพด้วยสารละลาย NaOH ซึ่งมีปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ขนาดของใบชา ความเข้มข้นของ NaOH และระยะเวลาปรับสภาพ พบว่าใบชาที่มีขนาด 0.28 ถึง 0.45 มิลลิเมตร ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 0.3 M เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วในสารละลายมากที่สุด รองลงมาคือใบชาที่มีขนาด 0.28 ถึง 0.45 มิลลิเมตร ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 0.5 M เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยสมารถดูดซับตะกั่วได้สูงสุด 15.7 mg/g และ13.4 mg/g ตามลำดับ

Kim (2010) ทำการศึกษาการเตรียมตัวดูดซับจากวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส ได้แก่ ใยกระดาษ เมล็ดข้าวโพด และเส้นใยฝ้าย รวมทั้งศึกษาการดัดแปรพื้นผิวของวัสดุลิกโนเซลลูโลสเหล่านี้ด้วยไอออนของเหล็ก เพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับฟอสเฟตและสารหนูในน้ำด้วยการแช่วัสดุใน $FeCl_3$ เข้มข้น 0.01 ถึง 0.3 M เป็นเวลา 0.1 ถึง 2 ชั่วโมง นำไปอบให้แห้ง และนำมาแช่ในสารละลาย NH_4OH เข้มข้น 0.1 Mถึง 0.8 M เป็นเวลา 0.1 ถึง 10นาที จากนั้นนำมาล้าง และอบให้แห้ง เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตและสารหนู พบว่าวัสดุที่ผ่านการปรับปรุงสามารถลดความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำจาก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถกำจัดสารหนูให้มีความเข้มข้นลดลงจาก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

Krishnan and Haridas (2008) ทำการศึกษาการดัดแปรพื้นผิวขุยมะพร้าวด้วยเฟอร์ริคไอออน (Fe^{3+}) เพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำ โดยนำขุยมะพร้าวมาล้างให้สะอาด ตากแดดให้แห้ง และนำขุยมะพร้าวมา 50 กรัม แช่ในสารละลายเฟอร์ริกไนเตรทโนนะไฮเดรต($Fe(NO_3)_3.9H_2O$) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยแบ่งการเติม $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ เป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรก เติม $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ ที่อัตรา 15 มิลลิลิตรต่อนาที จนครบ 30 นาที และในขั้นตอนที่ 2 จะทำการเติมสารละลาย $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ ปริมาตร300 มิลลิลิตร แช่ไว้เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำมาล้าง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผลจากการพิสูจน์ด้วยเครื่อง XRD พบว่าขุยมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงมีพีคที่ 2θ= 44.70 และ 9.71 แสดงให้เห็นถึง Fe^{3+}ที่อยู่ในโครงสร้างของเซลลูโลส และเมื่อทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำ พบว่าขุยมะพร้าวที่ผ่านการดัดแปรพื้นผิวสามารถดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุด 70.92 mg/g

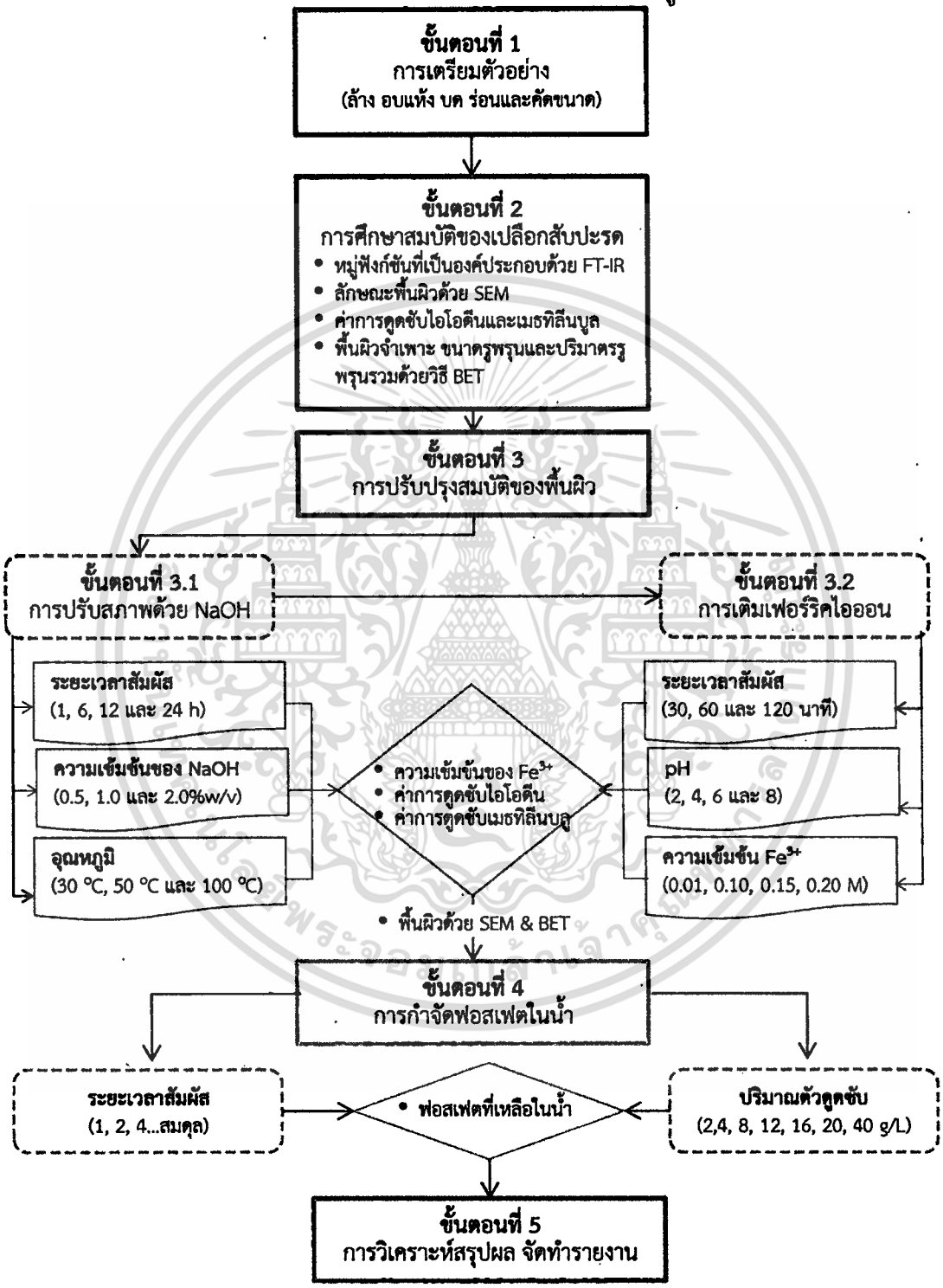
Liu *et al.* (2010) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระจับและนำมาดัดแปรพื้นผิวโดยใช้เฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เพื่อใช้ดูดซับเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในสารละลาย แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยนำเปลือกกระจับ มาแช่ในกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 45% เป็นเวลา 1 คืน และเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขั้นตอนที่ 2 ทำการดัดแปรพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระจับด้วยการแช่ในสารละลาย $FeCl_3$ เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมด้วยเทคนิค BET พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดัดแปรพื้นผิวด้วยเฟอร์ริคไอออนมีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นจาก 782 เป็น 920 m^2/g ปริมาตรรูพรุนเพิ่มขึ้นจาก 0.498 เป็น 0.618 cm^3/g และขนาดรูพรุนเพิ่มขึ้นจาก 2.55 เป็น 2.69 นาโนเมตร แสดงให้เห็นว่า Fe^{3+} ไม่มีผลต่อการลดช่องว่างของรูพรุนในถ่านกัมมันต์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในสารละลาย โดยมีปัจจัยที่ศึกษาดังนี้ ค่าพีเอชของสารละลาย ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของสารละลาย และระยะเวลาสัมผัส พบว่าเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 2 ใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 กรัมต่อลิตร จะมีความสามารถในการดูดซับมากที่สุด และตัวดูดซับสามารถดูดซับ Cr^{6+} ได้มากที่สุด เมื่อสารละลายมีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยระบบจะเข้าสู่สมดุลที่เวลา 40 นาที

Zhao *et al.* (2009) ทำการสังเคราะห์เส้นใยเซลลูโลสที่เติมเฟอร์ริคจากใยฝ้ายเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับสารหนูในน้ำ โดยนำใยฝ้ายมาแช่ในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้น 0.6 โมลาร์ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์พื้นผิวของใยฝ้ายที่ผ่านการดัดแปรกับใยฝ้ายที่ไม่ผ่านการดัดแปร พบว่าเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการดัดแปรมีรูพรุนขนาดใหญ่ (5-30 ไมโครเมตร) มีพื้นผิวที่ขรุขระ และมีพื้นที่ผิว 2.23 m^2/g ผลการดูดซับสารหนูในน้ำ พบว่าการดูดซับจะเข้าสู่สมดุลเมื่อใช้เวลา 15 นาที และเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการดัดแปรสามารถกำจัดสารหนูได้ 98%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษามีวิธีการดำเนินงานวิจัยแสดงดังแผนภาพในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การเตรียมเปลือกสับปะรด

เปลือกสับปะรดที่ใช้เป็นเปลือกสับปะรดที่เหลือทิ้งจากการปลอกและตัดแต่งสับปะรดเพื่อบริโภคสด นำไปล้างด้วยน้ำสะอาด ตากแดด และอบแห้ง แล้วจึงนำมาบดด้วยเครื่องบดแบบใบมีดตัด และนำมาร่อนคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช

3.2 การศึกษาสมบัติของเปลือกสับปะรด

เปลือกสับปะรดที่เตรียมได้ในข้อ 3.1 จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีตามรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันตัวอย่าง

สมบัติของน้ำมัน	วิธีการวิเคราะห์
- หมู่ฟังก์ชั่น (functional group)	เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)
- ลักษณะพื้นผิว	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope: SEM)
- ค่าคงที่การดูดซับไอโอดีน	ทดสอบความสามารถในการดูดซับไอโอดีน
- ค่าคงที่การดูดซับเมธทิลีนบลู	ทดสอบความสามารถในการดูดซับเมธทิลีนบลู
- พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนรวม[†]	วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดซับทางกายภาพของไนโตรเจน (คำนวณโดยใช้สมการของ BET)

[†]วิเคราะห์บางตัวอย่าง

3.3 การปรับสภาพเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.1 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส และปริมาณ NaOH

1. แช่เปลือกสับปะรดที่เตรียมได้จากข้อ 3.1 ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 30 $^{\circ}$C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กำหนดอัตราส่วนระหว่างเปลือกสับปะรดต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1:10

2. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการกรองเปลือกสับปะรดผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 และล้างด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำกลั่น จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

3. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เปรียบเทียบกับเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง สมบัติที่วิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.1

4. ทำการทดลองข้อ 1-3 ซ้ำ แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการแช่ NaOH ที่ศึกษาจาก 1 ชั่วโมง เป็น 6, 12 และ 24 ชั่วโมง

5. ทำการทดลองข้อ 1-4 ซ้ำ แต่เปลี่ยนระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 0.5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็น 1.0% และ2.0% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.3.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิ

1. แช่เปลือกสับปะรดที่เตรียมได้จากข้อ 3.1 ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้ความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.3.1 ที่อุณหภูมิ 30°C ใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกสับปะรดต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1:10

2. ทำการกรองเปลือกสับปะรดผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 และล้างด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำกลั่น นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

3. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เปรียบเทียบกับเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง สมบัติที่วิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.1

4. ทำการทดลองข้อ 1-3 ซ้ำ แต่เปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 30°C เป็น 50°C และ 100°C ตามลำดับ

3.4 การเติมเฟอร์ริคไอออน

3.4.1 ศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส

1. แช่เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วยNaOH ในสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 ในสารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) ที่มีความเข้มข้นของ Fe^{3+} เท่ากับ 0.10 โมลาร์ และปรับพีเอชของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 2 ด้วยกรด H_2SO_4 เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ทำการแช่เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกสับปะรดต่อสารละลาย $FeCl_3$ เป็น 1:3

2. กรองเปลือกสับปะรดผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ทำการวิเคราะห์ปริมาณ Fe^{3+} ที่เหลือในสารละลายด้วยเทคนิค AAS และคำนวณค่าความจุในการดูดซับ Fe^{3+}ของเปลือกสับปะรดที่เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} ตามสมการที่ 3.1

$$q = \frac{(C_0 - C_e)xV}{M} \qquad (3.1)$$

เมื่อ q = ค่าความจุในการดูดซับ Fe^{3+}ของเปลือกสับปะรด (mg/g)

C_0 = ความเข้มข้นของ Fe^{3+} ก่อนใช้แช่เปลือกสับปะรด (mg/L)

C_e = ความเข้มข้นของ Fe^{3+} หลังใช้แช่เปลือกสับปะรด (mg/L)

V = ปริมาตรของสารละลาย $FeCl_3$(L)

M = จำนวนเปลือกสับปะรด (g)

3. นำเปลือกสับปะรดที่ผ่านการกรองไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

4. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+} เปรียบเทียบกับเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH สมบัติที่วิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.1

5. ทำการทดลองข้อ 1-4 ซ้ำแต่เปลี่ยนระยะเวลาสัมผัสจาก 30 นาที เป็น 60 และ120 นาที

6. ทำชุดควบคุม ซึ่งเป็นสารละลายสารละลาย $FeCl_3$ ที่ไม่มีเปลือบสับปะรด โดยทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5

7. ทำแบลงค์ โดยแช่เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 30, 60 และ 120 นาที และวิเคราะห์ปริมาณ Fe^{3+} ในน้ำกลั่นที่ผ่านการแช่เปลือกสับปะรดด้วยเทคนิค AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

142660

3.4.2 ศึกษาผลของพีเอช

1. แช่เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ในสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 ในสารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) ที่มีความเข้มข้นของ Fe^{3+} เท่ากับ 0.10 โมลาร์ และปรับพีเอชของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 2 ด้วยกรด H_2SO_4 เข้มข้น 0.10โมลาร์ โดยใช้เวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.1 กำหนดอัตราส่วนระหว่างเปลือกสับปะรดต่อ $FeCl_3$ เป็น 1:3

2. กรองเปลือกสับปะรดผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 ทำการวิเคราะห์ปริมาณ Fe^{3+} ที่เหลือในสารละลายด้วยเทคนิค AAS และคำนวณค่าความจุในการดูดซับ Fe^{3+}ของเปลือกสับปะรดที่เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} ตามสมการที่ 3.1

3. นำเปลือกสับปะรดที่ผ่านการกรองไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

4. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+} เปรียบเทียบกับเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH สมบัติที่วิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.1

5. ทำการทดลองข้อ 1-4 ซ้ำแต่ปรับค่าพีเอชของสารละลาย $FeCl_3$ จาก 2 เป็น 4, 6 และ 8 ตามลำดับด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.10โมลาร์

6. ทำการทดลองข้อ 1-5 ซ้ำ โดยใช้ชุดควบคุม ซึ่งเป็นสารละลาย $FeCl_3$ ที่ปรับพีเอชให้มีค่าแตกต่างกันตามที่กำหนด

7. ทำแบลงค์ โดยแช่เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ในน้ำกลั่นที่ปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 2, 4, 6 และ 8 เป็นเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.1 และวิเคราะห์ปริมาณ Fe^{3+}ในน้ำกลั่นที่ผ่านการแช่เปลือกสับปะรดด้วยเทคนิค AAS

3.4.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของ Fe^{3+}

1. แช่เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ในสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 ในสารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) ที่มีความเข้มข้นของ Fe^{3+} เท่ากับ 0.10โมลาร์ ปรับพีเอชของสารละลายให้มีค่าที่เหมาะสมตามข้อ 3.4.2 ใช้เวลาในการแช่ที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.1 โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกสับปะรดต่อ $FeCl_3$ เป็น 1:3

2. กรองเปลือกสับปะรดผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 ทำการวิเคราะห์ปริมาณ Fe^{3+} ที่เหลือในสารละลายด้วยเทคนิค AAS และคำนวณค่าความจุในการดูดซับ Fe^{3+}ของเปลือกสับปะรดที่เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} ตามสมการที่ 3.1

3. นำเปลือกสับปะรดที่ผ่านการกรองไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

4. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+} เปรียบเทียบกับเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH สมบัติที่วิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.1

5. ทำการทดลองข้อ 1-4 ซ้ำแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของ Fe^{3+}จาก 0.10 โมลาร์ เป็น 0.01, 0.15 และ0.20 โมลาร์ ตามลำดับ

6. ทำการทดลองข้อ 1-5 โดยใช้ชุดควบคุม ซึ่งเป็นสารละลาย $FeCl_3$ ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดติดของ Fe^{3+} บนพื้นผิวเปลือกสับปะรด

1. ชั่งเปลือกสับปะรดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+} ในสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.3 จากนั้นนำไปแช่ในสารละลาย NH_4OH เข้มข้น 1.0 โมลาร์ เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกสับปะรดต่อสารละลายเป็น 1:3

2. กรองเปลือกสับปะรดผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 และนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของ*เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH* เปรียบเทียบกับ*เปลือกสับปะรดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+}* (ไม่แช่ใน NH_4OH) *เปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH* และ*เปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง* โดยสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุนและปริมาตรรูพรุนรวมด้วยเทคนิค Nitrogen Adsorption ที่อุณหภูมิ 77 K(คำนวณด้วยสมการของ BET) และวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

3.4.5 ศึกษาการดายซับของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+}

1. ชั่งเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH และ Fe^{3+} ในสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.3 มา 2 กรัม แช่ในน้ำกลั่นซึ่งปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 7 ด้วย H_2SO_4 หรือ NaOH เข้มข้นอย่างละ 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นาน 24 ชั่วโมง

2. กรองเปลือกสับปะรดผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 และทำการวิเคราะห์ปริมาณ Fe^{3+} ในน้ำกลั่นด้วยเทคนิค AAS

3. ทำการทดลองข้อ 1-2 ซ้ำ แต่เปลี่ยนวัสดุที่ใช้จาก *เปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH และ Fe^{3+}* เป็น *เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH* ที่ได้จากข้อ 3.4.4

3.5 การทดสอบความสามารถในการกำจัดโพลีฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์

3.5.1 การเตรียมสารละลายโพลีฟอสเฟต

ชั่งผงซักฟอกปริมาณ 1.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้มีโพลีฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.5.2 การศึกษาผลของระยะเวลา

1. ชั่ง*เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH* จากข้อ 3.4.4 *เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH* ในสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 และ*เปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง*จากข้อ 3.1 มาอย่างละ 0.1 กรัม เติมสารละลายโพลีฟอสเฟตลงไป 50 มิลลิลิตร

2. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. ทำการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

4. ทำการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธี Acid hydrolyzed ร่วมกับเทคนิคการทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการดูดซับจาก 1 ชั่วโมง เป็น 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ24 ชั่วโมง

6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 1-5 แต่ไม่ใส่เปลือกสับปะรดลงในสารละลายโพลีฟอสเฟต

3.5.3 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ

1. *ชั่งเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH* จากข้อ 3.4.4 *เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH* ในสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 และ *เปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุงจากข้อ 3.1* มาอย่างละ 0.1 กรัม เติมสารละลายโพลีฟอสเฟตลงไป 50 มิลลิลิตร

2. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาที่มีเหมาะสมจากข้อ 3.5.2

3. ทำการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30นาที

4. ทำการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธี Acid hydrolyzed ร่วมกับเทคนิคการทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA, 1995)

5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับจาก 0.1 กรัม เป็น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 2.0 กรัม

6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 1-4 แต่ไม่ใส่เปลือกสับปะรดลงในสารละลายโพลีฟอสเฟต

7. ทำการศึกษารูปแบบการดูดซับโพลีฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH เทียบกับเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH และเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุงด้วยไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) และไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิช (Freundlich isotherm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 การปรับสภาพเปลือกสับปะรดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

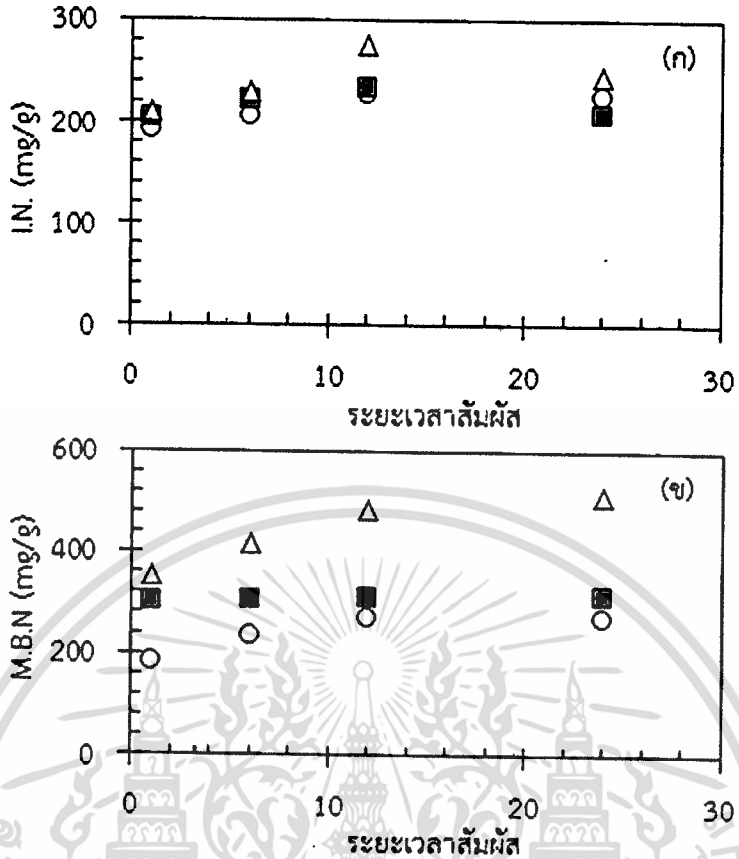
ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับสภาพเปลือกสับปะรดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ทำการศึกษาได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นของ NaOH และอุณหภูมิที่ใช้ สามารถอธิบายผลได้ดังนี้

4.1.1 ผลของระยะเวลาสัมผัส และความเข้มข้นของNaOH

การปรับสภาพเปลือกสับปะรดด้วย NaOH ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของการดูดซับ ดังจะเห็นได้จากค่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number, I.N.) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงกลไกการดูดซับทางกายภาพที่เกิดขึ้นจากพื้นที่ผิวภายในของเปลือกสับปะรด (Ofomaja *et al.*, 2009) มีค่าเพิ่มขึ้นในเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ที่ทุกระดับความเข้มข้น (รูปที่ 4.1ก) เทียบกับเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุงหรือเปลือกสับปะรดก่อนปรับสภาพ ซึ่งมีค่า I.N. เท่ากับ 80.38±0.19 มิลลิกรัมต่อกรัม เช่นเดียวกับผลของค่าความสามารถในการดูดซับเมทธิลีนบลู (Methylene Blue Number, M.B.N.) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงกลไกการดูดซับที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนของเมทธิลีนบลูกับไอออนของไฮโดรเจนที่หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของเซลลูโลส (Kaewprasit และคณะ, 1998) พบว่ามีค่าสูงกว่าในเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ในทุกระดับความเข้มข้น (รูปที่ 4.1ข)เทียบกับเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง ซึ่งมีค่า M.B.N. เท่ากับ 125.29±6.40 มิลลิกรัมต่อกรัม นอกจากนี้พบว่าค่าการดูดซับทั้งสองค่า โดยเฉพาะค่า M.B.N. มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามระดับความเข้มข้นของ NaOH และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ ซึ่งค่า I.N. และ M.B.N. ที่เพิ่มขึ้นนี้น่าจะมีสาเหตุมาจาก NaOH มีผลต่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับโดยเฉพาะส่วนที่เป็นเยื่อใย โดยการเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จะทำให้องค์ประกอบจำพวกเซลลูโลสเกิดการบวมตัวมากขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มการย่อยสลายลิกนินบนพื้นผิวของวัสดุ ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ofomaja *et al.* (2009) ที่แสดงให้เห็นว่าเปลือกของลูกสนมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ปรับสภาพ ทั้งนี้ค่า I.N. และค่า M.B.N. ของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพมีค่าสูงสุดคือ 253.86±3.37 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 512.00±6.58 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ในทุกระดับความเข้มข้นที่ศึกษา และเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุงด้วยเครื่อง FT-IR ที่เลขคลื่นในช่วง 400 ถึง 4000cm^{-1} ได้ผลดังรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.1 โดยพบว่า FT-IR สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับปรุงปรากฏพีคที่มีลักษณะกว้างที่เลขคลื่น 3375.96 cm^{-1} ซึ่งระบุได้ว่าเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) จาก O-H stretching และในช่วงเลขคลื่นประมาณ 2917.45 cm^{-1} ปรากฏพีคที่มีความเข้มต่ำ ซึ่งเป็นแถบการยืดของพันธะระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจนจาก C-H stretching ของกลุ่ม Methyl, Methylene และ Methoxy ที่พีคในช่วงเลขคลื่น 1400-1450 cm^{-1} ปรากฏการยืดของกลุ่ม CH aromatic และที่เลขคลื่นประมาณ 1000-1150 cm^{-1} ปรากฏแถบการสั่นจาก C-O stretchingของกลุ่ม Alcohol ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและเพคตินที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของเปลือกสับปะรด นอกจากนี้ยังปรากฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

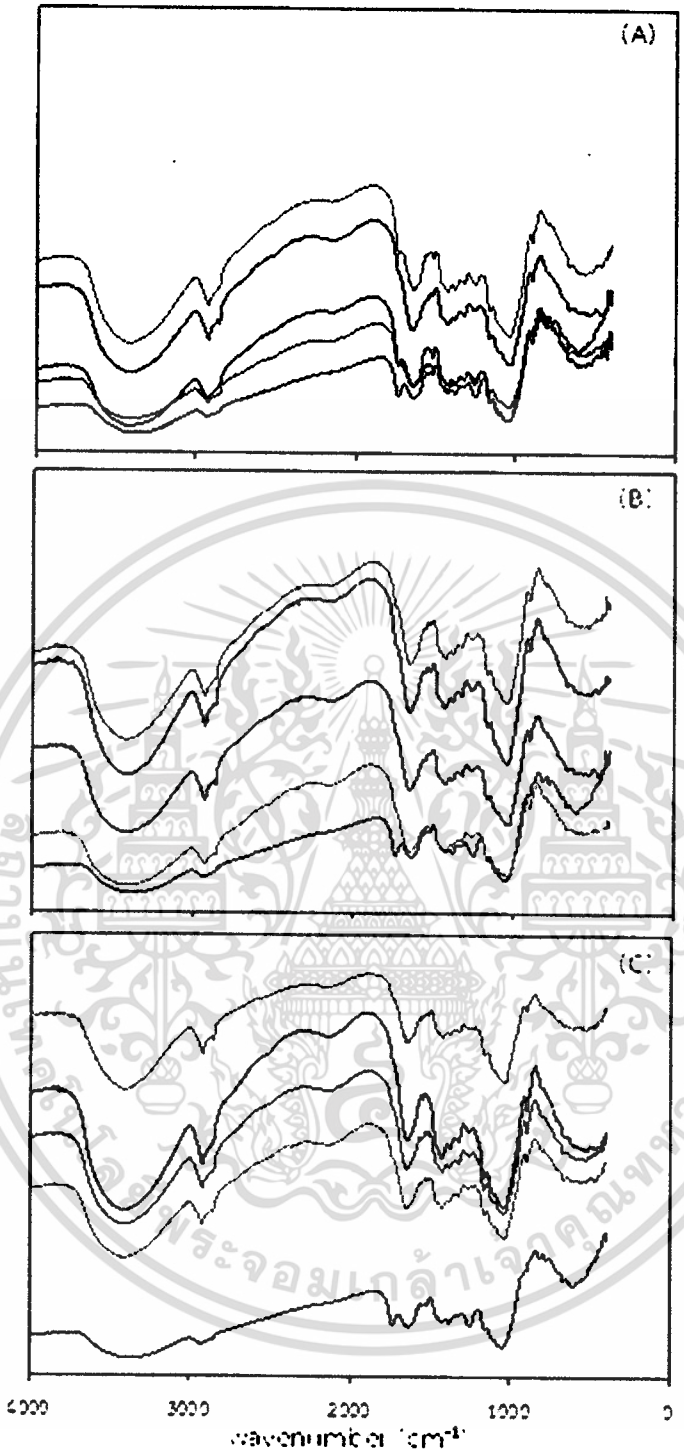


รูปที่ 4.1 (ก) ค่าความสามารถการดูดซับไอโอดีน (I.N.) และ (ข) ค่าการดูดซับเมธทิลีนบูล (M.B.N.) ของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ที่ระยะเวลาสัมผัสแตกต่างกัน เมื่อ ⊙ คือ 0.5% NaOH , ■ คือ 1.0% NaOH และ Δ คือ 2.0% NaOH

Carboxylate (COO^-) และหมู่ Ester carbonyl ที่เป็นองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสและพีคที่เลขคลื่น 1637.19cm^{-1}และ 1738.76 cm^{-1} คาดว่าเป็นพีคของ C=O stretching จากพันธลิกนิน (Ningchuan *et al.*, 2010) เมื่อพิจารณาสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH พบว่าจะปรากฏแถบการดูดกลืน (absorption band) ที่ตำแหน่งเลขคลื่นใกล้เคียงกับที่ปรากฏในเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง แต่มีความเข้มของพีคเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามระดับความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ในการปรับสภาพ และระยะเวลาในการปรับสภาพที่นานขึ้น โดยเฉพาะหมู่ hydroxyl ที่เลขคลื่นระหว่าง 3200-3500 cm^{-1}และหมู่ Carbonyl (C=O)จากกลุ่ม Carboxylate ที่เลขคลื่นระหว่าง 1600-1650 cm^{-1} รวมถึงมีการลดลงของ C=O stretching ของหมู่ Ester carbonyl ซึ่งสังเกตได้จากการลดลงของความเข้มพีคที่เลขคลื่น 1738.76cm^{-1} ทั้งนี้เพราะหมู่ Ester จะถูกไฮโดร-ไลซ์ด้วย NaOH เกิดเป็นกลุ่ม Carboxylate และAlcohol (Wan Ngah and Hanafiah, 2008) ดังสมการที่ 4.1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Souza *et al.* (2012) ที่พบว่า FT-IR สเปคตรัมของเปลือกส้มที่ปรับสภาพด้วย NaOH จะปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่เลขคลื่น 3429 cm^{-1}และหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลที่เลขคลื่น 1629 cm^{-1} ในลักษณะที่มีความเข้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวเป็นหมู่ฟังก์ชันสำคัญที่ใช้สำหรับกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะหนัก

$$RCOOR' + H_2O \xrightarrow{OH^-} RCOO^- + R'OH \qquad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 องค์ประกอบของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาสัมผัสต่างกัน เมื่อ (A) คือ NaOH 0.5% (w/v) (B) คือ NaOH 1.0% (w/v) และ (C) คือ NaOH 2.0% (w/v) โดยเส้น (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดปรับสภาพ 1 ชั่วโมง (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดปรับสภาพ 6 ชั่วโมง (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดปรับสภาพ 12 ชั่วโมง และ(—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพ 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ลักษณะ FT-IR สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ที่อุณหภูมิ 30°C และเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง

เลขคลื่น (cm^{-1})	เปลือกสับปะรด												
	ไม่ปรับปรุง	ปรับสภาพด้วย NaOH 0.5% (w/v)				ปรับสภาพด้วยNaOH 1.0% (w/v)				ปรับสภาพด้วย NaOH 2.0% (w/v)			
		1 ชม.	6 ชม.	12 ชม.	24 ชม.	1 ชม.	6 ชม.	12 ชม.	24 ชม.	1 ชม.	6 ชม.	12 ชม.	24 ชม.
3200-3500 (O-H ของ Alcohol)	b, m	b, s	b, s	b, s	b, s	b, s	b, s	b, s	b, s	b, s	b, s	b, s	b, s
2800-3000 (C-H aliphatic)	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
1730-1750 (C=O ของ Ester)	w	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw
1600-1650 (C=O ของ Carboxylate)	sh, w	sh, m	sh, m	sh, m	sh, m	sh, m	sh, m	sh, m	sh, m	sh, m	sh, m	sh, m	sh, m
1400-1450 (C-H aromatic)	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
1200-1250 (C-O ของ Carbonyl)	w	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw
1000-1150 (C-O ของ Alcohol)	sh, s	sh, s	sh, s	sh, s	sh, s	sh, s	sh, s	sh, s	sh, s	sh, s	sh, s	sh, s	sh, s

หมายเหตุ: b = board, m = medium, s = strong, sh = sharp, w = weak, vw= very weak

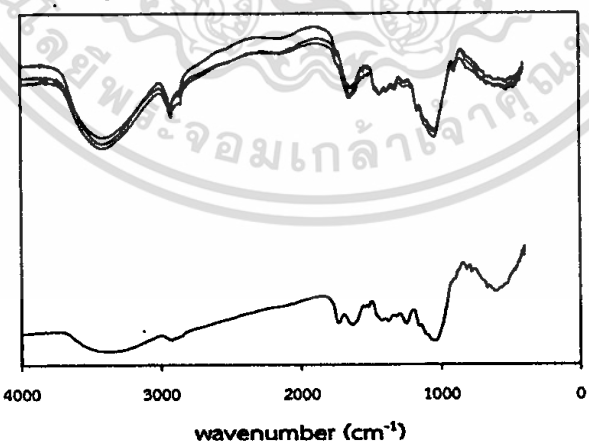
4.1.2 ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพมีผลต่อพื้นที่ผิวของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ดังจะเห็นได้จากค่า I.N. และค่า M.B.N. ของเปลือกสับปะรดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 253.86±3.37 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็น 275.09±0.94 มิลลิกรัมต่อกรัม และจาก 512.00±6.58 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็น 548.51±7.55 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการปรับสภาพจาก 30°C เป็น 50°C (ตารางที่ 4.2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiao and Xiong (2014) ที่พบว่าพื้นที่ผิวของเยื่อกระดาษที่ปรับสภาพด้วย NaOH มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพ อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการปรับสภาพเป็น 100°C ค่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีนและเมธทิลีนบูลของเปลือกสับปะรดมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากองค์ประกอบบางส่วนของลิกโนเซลลูโลสในเปลือกสับปะรดถูกทำลายที่อุณหภูมิสูง (Xu *et al.*, 2010)

ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนและค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของเปลือกสับปะรดไม่ปรับปรุงและที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0% (w/v) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตัวดูดซับ	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)
เปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง	80.38±0.19	125.29±6.40
เปลือกสับปะรดปรับสภาพที่อุณหภูมิ		
- 30°C	253.86±3.37	512.00±6.58
- 50°C	275.09±0.94	548.51±7.55
- 100°C	245.19±1.68	523.58±4.72

การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพจาก 30°C เป็น 50°C และ100°C ไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังจะเห็นได้จากลักษณะ FT-IR สเปคตรัม ที่ปรากฏแถบการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชั่นต่างๆ ตลอดจนความเข้มของสเปคตรัมมีลักษณะใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.3)



รูปที่ 4.3 องค์ประกอบของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0%(w/v) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างกันโดยเส้น (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพที่ 30°C (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพที่ 50°C และ(—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพที่ 100°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ลักษณะ FT-IR สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0% (w/v) นาน 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิต่างกัน

เลขคลื่น (cm^{-1})	เปลือกสับปะรด			
	ไม่ปรับปรุง	ปรับสภาพด้วย NaOH 2.0% (w/v) นาน 24 ชั่วโมง		
		30°C	50°C	100°C
3200-3500 (O-H ของ Alcohol)	b, m	b, s	b, s	b, s
2800-3000 (C-H aliphatic)	w	w	w	w
1730-1750 (C=O ของ Ester)	w	vw	vw	vw
1600-1650 (C=O ของ Carboxylate)	sh, w	sh, m	sh, m	sh, m
1400-1450 (C-H aromatic)	w	w	w	w
1200-1250 (C-O ของ Carbonyl)	w	vw	vw	vw
1000-1150 (C-O ของ Alcohol)	sh, s	sh, s	sh, s	sh, s

หมายเหตุ: b = board, m = medium, s = strong, sh = sharp, w = weak, vw= very weak

ด้วยเหตุที่การปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0% (w/v) นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50°C ให้เปลือกสับปะรดมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นมากที่สุด อีกทั้งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันสำคัญที่ใช้สำหรับแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะหนัก จึงเลือกสภาวะดังกล่าวเพื่อใช้ในการปรับสภาพเปลือกสับปะรด ก่อนนำไปดัดแปรพื้นผิวด้วยไอออนบวกต่อไป

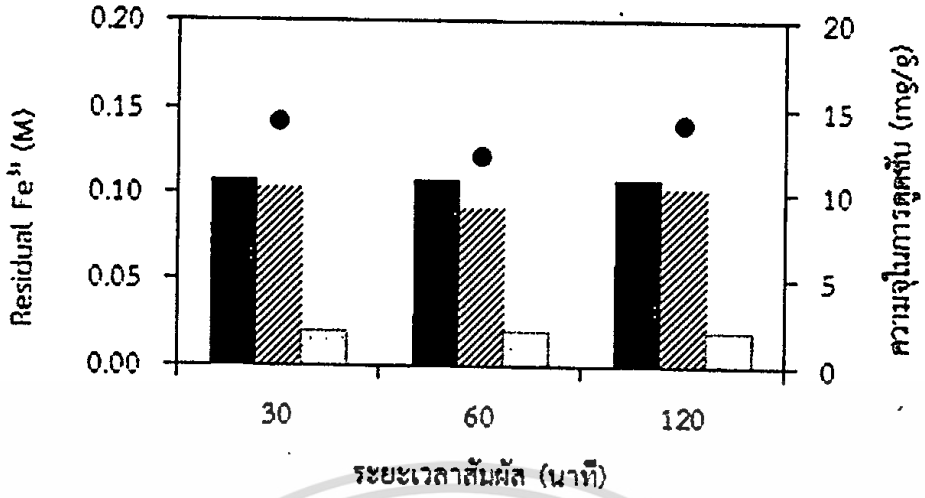
4.2 การเคลือบผิวเปลือกสับปะรดด้วยเฟอร์ริคไอออน

ในขั้นตอนนี้เป็นการเคลือบไอออนบวกของเหล็ก ซึ่งในการศึกษาคือเฟอร์ริคไอออน บนพื้นผิวของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เพื่อให้วัสดุที่ผ่านการปรับปรุงมีความสามารถในการดูดซับไอออนลบของฟอสเฟต โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส ค่าพีเอช (pH) และความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$)

4.2.1 ผลของระยะเวลาสัมผัส

เมื่อทำการแช่เปลือกสับปะรดซึ่งผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ในสารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 2 เป็นเวลา 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ พบว่าปริมาณ Fe^{3+} ในสารละลายที่ใช้แช่เปลือกสับปะรด มีความเข้มข้นลดลงจากความเข้มข้นเริ่มต้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.11 โมลาร์ เหลือ 0.018 โมลาร์ (รูปที่ 4.4) เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในชุดควบคุม ซึ่งเป็นตัวอย่างสารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับชุดทดลองแต่ไม่เติมเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพ พบว่าปริมาณ Fe^{3+} มีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกับความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} ก่อนนำไปแช่เปลือกสับปะรด (รูปที่ 4.4) ประกอบกับความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในแบลงค์ ซึ่งเป็นการแช่ตัวอย่างเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพในน้ำกลั่น พบว่าน้ำกลั่นที่ผ่านการแช่เปลือกสับปะรดมีปริมาณ Fe^{3+} มีค่าต่ำว่าขีดจำกัดของเครื่องมือวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า Fe^{3+} ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นที่เหลือของ Fe^{3+} ในสารละลายและความจุในการดูดซับ Fe^{3+} ของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน 0.1 M $FeCl_3$ (pH=2) เป็นเวลาต่างกัน โดย (■) คือความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} (▨) คือความเข้มข้นที่เหลือของ Fe^{3+} ในชุดควบคุม (□) คือความเข้มข้นที่เหลือของ Fe^{3+} ในชุดทดลอง และ (●) คือความจุในการดูดซับ Fe^{3+}

ลดลงในชุดทดลองเกิดจากการยึดเกาะบนพื้นผิวเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH เมื่อทำการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี ANOVA-Duncan พบว่าความเข้มข้นของเฟอร์ริคไอออนหลังการแช่เปลือกสับปะรดในทุกช่วงเวลามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อนำไปคำนวณค่าความจุในการดูดซับ Fe^{3+} พบว่าเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH สามารถดูดซับ Fe^{3+} ได้ระหว่าง 12.13-14.11 มิลลิกรัมต่อกรัม แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระยะเวลาการแช่เปลือกสับปะรดในสารละลาย $FeCl_3$ จาก 30 นาที เป็น 60 และ 120 นาที ไม่ส่งผลให้ความจุในการดูด Fe^{3+} บนผิวของเปลือกสับปะรดมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากกระบวนการดูดซับได้เข้าสู่สภาวะสมดุลในช่วงเวลาที่ศึกษา ทำให้ความสามารถในการดูดซับ Fe^{3+} บนพื้นผิวเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ไม่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้

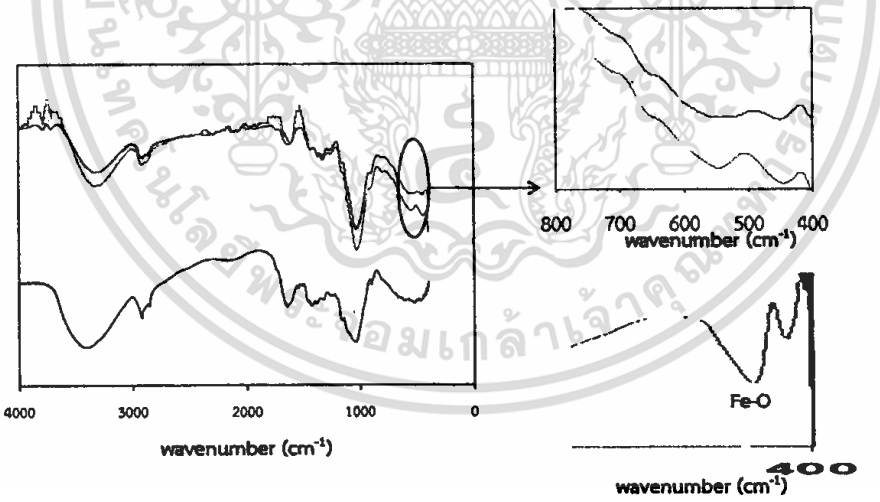
เมื่อพิจารณาค่าการดูดซับไอโอดีน (I.N.) และค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (M.B.N) ของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} (ตารางที่ 4.4) พบว่ามีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเปลือกสับปะรดซึ่งผ่านการปรับสภาพด้วย 2% NaOH นาน 24 ชั่วโมง เพียงอย่างเดียว โดยเปลือกสับปะรดดังกล่าวมีค่า I.N. และ M.B.N เท่ากับ 275.09±0.94 และ548.51±7.55 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การลดลงของค่า I.N. และ M.B.N. บอกถึงการลดลงของพื้นที่ผิวการดูดซับของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} ซึ่งสามารถใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนการยึดเกาะของ Fe^{3+} บนพื้นผิวของเปลือกสับปะรดในผลการทดลองก่อนหน้า โดยงานวิจัยของ Zhao *et al.* (2009) ซึ่งศึกษาการดัดแปรพื้นผิวของเส้นใยฝ้ายด้วย Fe^{3+} ได้พบผลในลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือเส้นใยฝ้ายมีพื้นที่ผิวลดลงจาก 8.20 ตารางเมตรต่อกรัมก่อนการดัดแปร เหลือ 2.23 ตารางเมตรต่อกรัมภายหลังการดัดแปร เมื่อทำการทดสอบทางสถิติเพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการแช่ $FeCl_3$ ต่อค่า I.N และ M.B.N. พบว่าระยะเวลาการแช่เปลือกสับปะรดใน $FeCl_3$ ตั้งแต่ 30-120 นาที ไม่มีผลต่อค่าการดูดซับทั้งสองค่าอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าการดูดซับไอโอดีน (I.N.) และค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (M.B.N) ของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} ด้วยการแช่ใน 0.10 M $FeCl_3$ (pH=2)

ระยะเวลาแช่ใน $FeCl_3$	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)
- 30 นาที	80.21±0.33	95.06±4.34
- 60 นาที	74.26±1.44	105.16±6.11
- 120 นาที	76.71±0.80	92.92±2.82

อย่างไรก็ตามพบว่า การแช่เปลือกสับปะรดซึ่งปรับสภาพด้วย NaOH ใน $FeCl_3$ ได้ทำให้ลักษณะและความเข้มของ FT-IR สเปคตรัมเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเปลือกสับปะรดซึ่งปรับสภาพด้วย NaOH เพียงอย่างเดียว (รูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.5) ทั้งนี้สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH จะมีความเข้มลดลงหลังจากผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+} โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเลขคลื่นประมาณ 3200-3500 cm^{-1} และ1600-1650 cm^{-1} ที่เป็นแถบการสั่นของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลและคาร์บอนิล แสดงให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอออนของโลหะหนักกับหมู่ฟังก์ชันดังกล่าว (Ning-chuan and Xue-yi, 2012) รวมถึงมีการปรากฏพีคที่เลขคลื่นประมาณ 444.82 cm^{-1} และ 550.83 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการยืดของพันธะ Fe-O ดังงานวิจัยของ Garcia *et al.* (2013) ที่พบแถบ FT-IR สเปคตรัมของ Fe-O ในช่วงเลขคลื่นประมาณ 445 และ 540 cm^{-1} อย่างไรก็ตามพบว่าการแปรผันระยะเวลาในการแช่ $FeCl_3$ ตั้งแต่ 30 ถึง 120 นาที ไม่ส่งผลให้สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกช่วงระยะเวลาการแช่ $FeCl_3$ นาน 30 นาที เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป



ที่มา: Garcia และคณะ , 2013

รูปที่ 4.5 องค์ประกอบของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} เมื่อแช่ใน 0.1 M $FeCl_3$ (pH=2) ด้วยเวลาต่างกัน โดยเส้น (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน Fe^{3+} นาน 30 นาที (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน Fe^{3+} นาน 60 นาที และ ( ) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน Fe^{3+} นาน 120 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ลักษณะ FT-IR สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน

เลขคลื่น (cm^{-1})	เปลือกสับปะรด			
	ปรับสภาพ	เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} เข้มข้น 0.10 M		
		30 นาที	60 นาที	120 นาที
3200-3500 (O-H ของ Alcohol)	b, m	b, w	b, w	b, w
2800-3000 (C-H aliphatic)	w	w	w	w
1600-1650 (C=O ของ Carboxylate)	sh, m	sh,w	sh,w	sh,w
1000-1150 (C-O ของ Alcohol)	sh, s	sh, m	sh, m	sh, m
550 (Fe-O)	-	w	w	w
440-450 (Fe-O)	-	w	w	w

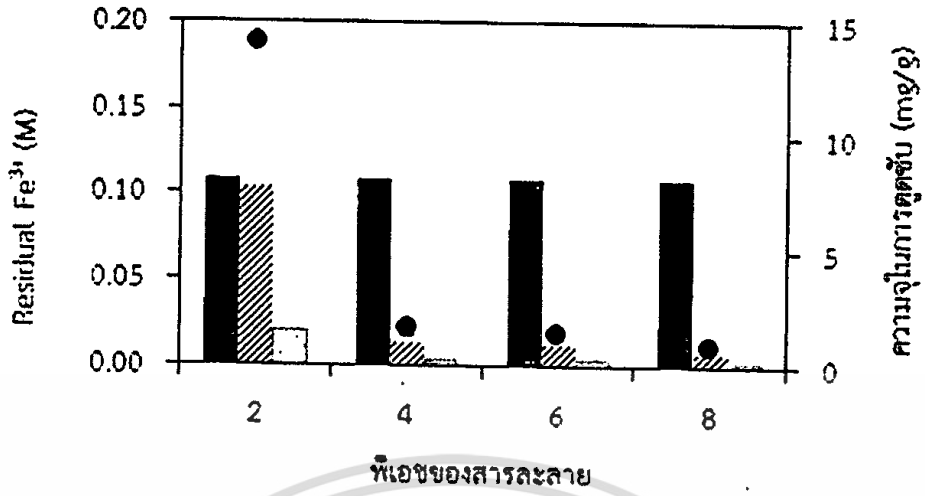
หมายเหตุ: b = board, m = medium, s = strong, sh = sharp, w = weak, vw= very weak

4.2.2 ผลของพีเอช

พีเอชของสารละลายมีผลต่อความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในสารละลายและความจุในการดูดซับของ Fe^{3+} ของเปลือกสับปะรดดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยในชุดทดลอง ซึ่งก็คือสารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์ที่แช่เปลือกสับปะรด พบว่าปริมาณ Fe^{3+} ในสารละลายมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของพีเอช เมื่อพิจารณาปริมาณ Fe^{3+} ในชุดควบคุม ซึ่งเป็นสารละลาย $FeCl_3$ ที่ปรับพีเอชให้มีค่าต่างกันแต่ไม่เติมเปลือกสับปะรด พบว่าสารละลายมีปริมาณเฟอร์ริคไอออนลดลงเช่นเดียวกันกับชุดทดลอง แต่ปริมาณการลดลงเกิดขึ้นในระดับที่ต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าการลดลงของเฟอร์ริคไอออนบางส่วนในชุดทดลอง อาจเกิดจากการตกตะกอนของ Fe^{3+} ในรูปของ $Fe(OH)_3$ เมื่อสารละลายมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น และอีกส่วนจะลดลงเนื่องจากการเกาะยึดกับพื้นผิวของเปลือกสับปะรด สอดคล้องกับผลการคำนวณค่าความจุในการดูดซับ Fe^{3+}ของเปลือกสับปะรดซึ่งผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} ที่พบว่าสามารถดูดซับ Fe^{3+} ได้น้อยลงจาก 14.11±0.114 มิลลิกรัมต่อกรัมที่พีเอชเท่ากับ 2 เหลือ 1.59±0.019, 1.36±0.025 และ 0.82±0.025 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่พีเอช 4, 6 และ 8 ตามลำดับ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Ahalya *et al.* (2006) ที่พบว่า Fe^{3+} จะเกิดการตกตะกอนอย่างรวดเร็วเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชตั้งแต่ 4 เป็นต้นไป ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับ Fe^{3+}ด้วยแกลบมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาค่าการดูดซับไอโอดีน (I.N.) และค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (M.B.N.) ของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} โดยปรับพีเอชของสารละลาย $FeCl_3$ ที่ใช้ในการทดลองให้มีค่าเป็น 2, 4, 6 และ 8 พบว่า ค่า I.N. และ M.B.N มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าพีเอชของสารละลาย (ตารางที่ 4.6) แสดงให้เห็นว่าเปลือกสับปะรดมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น สัมพันธ์กับค่าความจุการดูดซับของ Fe^{3+} ที่น้อยลงตามค่าพีเอช โดยผลการทดสอบทางสถิติเพื่อศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชในการแช่ $FeCl_3$ ต่อค่า I.N. และM.B.N. พบว่าการแช่เปลือกสับปะรดในสารละลาย $FeCl_3$ ที่มีค่าพีเอชต่างกันมีผลต่อค่าทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



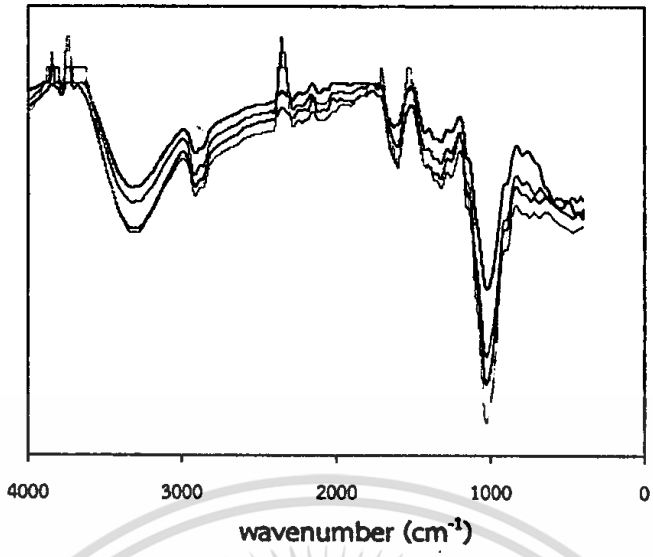
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นที่เหลือของ Fe^{3+} ในสารละลายและความจุในการดูดซับ Fe^{3+} ของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน 0.1 M $FeCl_3$ ซึ่งมีค่าพีเอชต่างกัน นาน 30 นาที โดย (■) คือความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} (▨) คือความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในชุดควบคุม (□) คือความเข้มข้นของ Fe^{3+} หลังแช่เปลือกสับปะรด และ (●) คือความจุในการดูดซับ Fe^{3+}

ตารางที่ 4.6 ค่าการดูดซับไอโอดีน (I.N.) และค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (M.B.N) ของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} โดยแช่ใน 0.1 M $FeCl_3$ นาน 30 นาที

พีเอชของสารละลาย $FeCl_3$	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)
2	80.21±0.33	95.06±4.34
4	233.72±1.97	415.74±2.08
6	239.86±2.35	439.42±1.75
8	256.17±5.39	503.12±2.46

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการเคลือบพื้นผิวด้วย Fe^{3+} ที่พีเอช 2-8 (รูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.7) พบว่าสเปคตรัมที่ตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 3200-3500 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการสั่นของ O-H stretching และพีคที่ประมาณ 1022.36 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการสั่นของ C-O stretching มีลักษณะเข้มขึ้นตามค่าพีเอชของสารละลาย $FeCl_3$ ที่ใช้ในการแช่เปลือกสับปะรด นอกจากนี้ยังพบว่ามีการลดลงของความเข้มพีคที่ประมาณ 444.82 และ 550.83 cm^{-1} ที่แสดงให้เห็นถึงการเกิดพันธะของ Fe-O บนพื้นผิวเปลือกสับปะรด แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มค่าพีเอชในสารละลายจาก 2 เป็น 4, 6 และ8 มีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Fe^{3+} กับเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการตกตะกอนของ Fe^{3+} เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นดังที่ได้อธิบายในหัวข้อก่อนหน้า ดังนั้นจึงเลือกใช้การปรับปรุงเปลือกสับปะรดที่พีเอชของสารละลาย $FeCl_3$ เท่ากับ 2 เป็นค่าที่ใช้ในการศึกษาต่อไป เนื่องจากทำให้เปลือกสับปะรดเกิดการดูดซับ Fe^{3+} ได้มากที่สุดรวมถึงมี FT-IR สเปคตรัมที่ตำแหน่งการสร้างพันธะของ Fe-O บนพื้นผิวเปลือกสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 FT-IR spectrum ของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน Fe^{3+} เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่มีค่าพีเอชต่างกัน นาน 30 นาที โดยเส้น (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 2 (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 4 (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 6 และ (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ในสารละลายที่มีค่าพีเอช 8

ตารางที่ 4.7 ลักษณะ FT-IR สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน Fe^{3+} เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ที่มีค่าพีเอชต่างกัน นาน 30 นาที

เลขคลื่น (cm^{-1})	เปลือกสับปะรด เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} เข้มข้น 0.10 M ที่มีค่าพีเอช			
	2	4	6	8
3200-3500 (O-H ของ Alcohol)	b, w	b, w	b, m	b, m
2800-3000 (C-H aliphatic)	w	w	w	w
1600-1650 (C=O ของ Carboxylate)	sh, w	sh, w	sh,w	sh, w
1000-1150 (C-O ของ Alcohol)	sh, m	sh, s	sh, s	sh, s
550 (Fe-O)	w	vw	vw	vw
440-450 (Fe-O)	w	vw	vw	vw

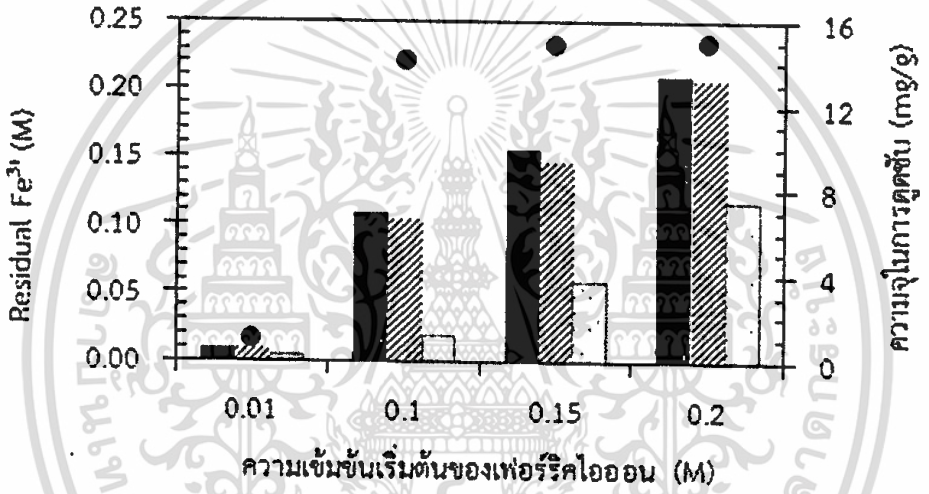
หมายเหตุ: b = board, m = medium, s = strong, sh = sharp, w = weak, vw= very weak

4.2.3 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้น

ผลการแช่เปลือกสับปะรดซึ่งผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ในสารละลาย $FeCl_3$ ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} เท่ากับ 0.01, 0.10, 0.15 และ0.20 โมลาร์ ที่พีเอชเท่ากับ 2 นาน 30 นาที พบว่าความเข้มข้นที่เหลือของ Fe^{3+} ในสารละลายที่ใช้แช่เปลือกสับปะรด (ชุดทดลอง) มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} (รูปที่ 4.8) นอกจากนี้พบว่าปริมาณ Fe^{3+} ที่เหลือใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมีค่าแปรผันตรงกับความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} และเมื่อทำการคำนวณค่าความจุในการดูดซับ พบว่าความจุในการดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} โดยเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH สามารถดูดซับ Fe^{3+} ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.10, 0.15 และ0.20 โมลาร์ ได้ 1.023±002, 14.106±0.11, 14.836±0.15และ14.928±0.36 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ประกอบกับความเข้มข้นที่เหลือของ Fe^{3+}ในชุดควบคุมมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการลดลงของ Fe^{3+} ในชุดทดลองเกิดจากการยึดเกาะของ Fe^{3+} ที่พื้นผิวเปลือกสับปะรด อย่างไรก็ตามการทดสอบทางสถิติด้วย ANOVA-Duncan พบว่าเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.10 โมลาร์ ความจุในการดูดซับจะมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการดูดซับ Fe^{3+} จนถึงจุดอิ่มตัว ทำให้ความสามารถในการดูดซับ Fe^{3+}บนพื้นผิวเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ไม่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย $FeCl_3$ที่ใช้



รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นที่เหลือของ Fe^{3+} ในสารละลายและความจุในการดูดซับ Fe^{3+} ของเปลือกสับปะรดที่แช่ในสารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์ที่มีพีเอช 2 ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกันนาน 30 นาที โดย (■) คือความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} (▨) คือความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในชุดควบคุม (□) คือความเข้มข้นของ Fe^{3+} หลังแช่เปลือกสับปะรด และ (●) คือความจุในการดูดซับ Fe^{3+}

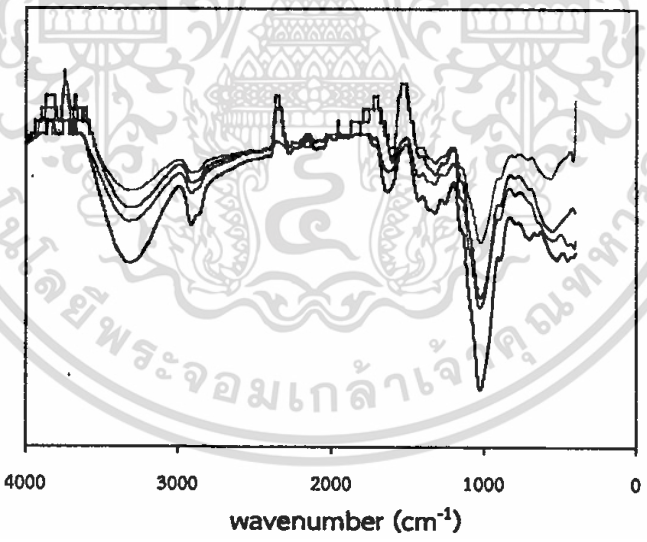
เมื่อพิจารณาค่าการดูดซับไอโอดีน (I.N.) และค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (M.B.N.) ของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} โดยการแช่ในของสารละลาย $FeCl_3$ ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน พบว่า ค่า I.N. และ M.B.N มีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} โดยการลดลงเกิดขึ้นอย่างเด่นชัดเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ Fe^{3+} ที่ใช้แช่เปลือกสับปะรกดจาก 0.01 โมลาร์เป็น 0.1 โมลาร์ (ตารางที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่าเปลือกสับปะรดมีพื้นผิวสำหรับการดูดซับน้อยลง เนื่องจากมีการยึดเกาะของ Fe^{3+}บนพื้นผิวมากขึ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR ได้สนับสนุนคำอธิบายดังกล่าว เนื่องจากพบว่าแถบการยืดของ O-H ในย่านเลขคลื่นประมาณ 3332.49cm^{-1} และการยืดของหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1620.89 cm^{-1} รวมถึงพีคที่ประมาณ 1022.36 cm^{-1}ที่แสดงถึงการยืดของพันธะคาร์บอนและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าการดูดซับไอโอดีน (I.N.) และค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (M.B.N) ของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} โดยการแช่ใน $FeCl_3$ pH 2 นาน 30 นาที

ความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} (M)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)
0.01	245.36±2.87	438.84±2.70
0.10	80.21±0.33	95.06±4.34
0.15	72.85±1.18	92.59±0.85
0.20	70.34±0.43	89.56±1.22

ออกซิเจน(C-O) ของกลุ่มแอลกอฮอล์ มีความเข้มต่ำลงภายหลังการแช่เปลือกสับปะรดในสาระลายที่มีความเข้มข้นของ Fe^{3+} เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.9) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Arief *et al.* (2008) ซึ่งพบว่าที่แถบการยืดในช่วงเลขคลื่นประมาณ 3408 cm^{-1}ที่แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) และแถบการยืดของ C-O ที่ในช่วง 1000-1200 cm^{-1} ของสาหร่ายสีเขียว มีความเข้มลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของ Cd^{2+}ที่ดูดซับ นอกจากนี้ยังพบการเพิ่มขึ้นของแถบการยืดของพันธะ Fe-O ซึ่งปรากฏในย่าน 440-450 cm^{-1}และ 530-550 cm^{-1} เมื่อแช่เปลือกสับปะรดในสารละลายที่มี Fe^{3+} เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.9)



รูปที่ 4.9 FT-IR spectrum ของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน Fe^{3+} ที่มีความเข้มข้นต่างกัน นาน 30 นาที โดยเส้น (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.01 M (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.10 M (—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.15 M และ(—) คือสเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.20 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ลักษณะ FT-IR สเปคตรัมของเปลือกสับปะรดที่แช่ใน $FeCl_3$ (pH=2) ที่มีความเข้มข้น Fe^{3+} ต่างกัน นาน 30 นาที

เลขคลื่น (cm^{-1})	เปลือกสับปะรด เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} เข้มข้น			
	0.01 M	0.10 M	0.15 M	0.20 M
3200-3500 (O-H ของ Alcohol)	b, m	b, w	b, w	b, w
2800-3000 (C-H aliphatic)	w	w	w	w
1600-1650 (C=O ของ Carboxylate)	sh, w	sh, w	sh, w	sh, w
1000-1150 (C-O ของ Alcohol)	sh, s	sh, m	sh, m	sh, m
550 (Fe-O)	w	w	w	w
440-450 (Fe-O)	w	w	w	w

หมายเหตุ: b = board, m = medium, s = strong, sh = sharp, w = weak, vw= very weak

ด้วยเหตุที่การเพิ่มความเข้มข้นของ Fe^{3+} ตั้งแต่ 0.1 โมลาร์ ไม่ส่งผลให้ค่าความจุในการดูดซับของเปลือกสับปะรดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลของความเข้มข้น Fe^{3+} ต่อค่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีนหรือเมธทิลีนบลู รวมไปถึงหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลของเปลือกสับปะรดมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในช่วง 0.10-0.20โมลาร์ มาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

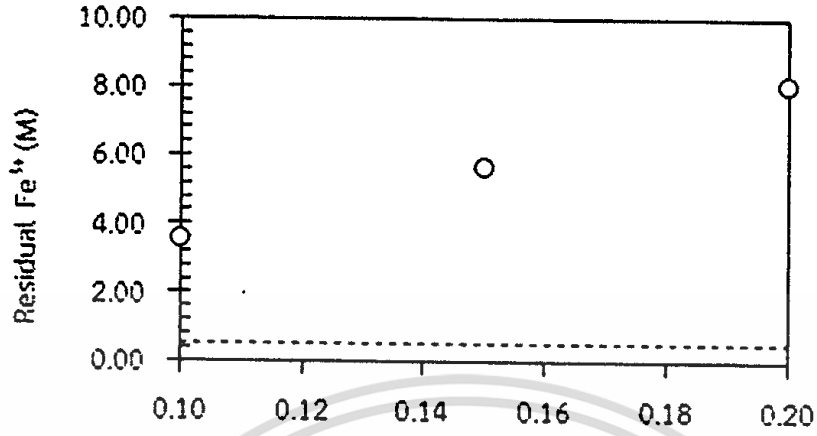
4.2.4 การศึกษาการคายซับจากเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} และเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในน้ำกลั่นที่ใช้แช่เปลือกสับปะรดซึ่งปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าน้ำกลั่นภายหลังจากแช่เปลือกสับปะรดมีปริมาณ Fe^{3+} เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} ที่ใช้ปรับปรุงเปลือกสับปะรด (รูปที่ 4.10ก) โดยปริมาณที่พบในน้ำกลั่นจะมีค่าเท่ากับ 3.571±0.074, 5.657±0.001 และ 8.079±0.147 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การคายซับได้เท่ากับ 12.65%, 20.05%, และ 28.63% ตามลำดับ อีกทั้งปริมาณที่พบมีค่าเกินเกณฑ์ความเข้มข้นสูงสุดของเหล็กสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549) แสดงให้เห็นว่าเปลือกสับปะรดซึ่งปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} มีประสิทธิภาพการเกาะติดของ Fe^{3+} บนพื้นผิวต่ำ

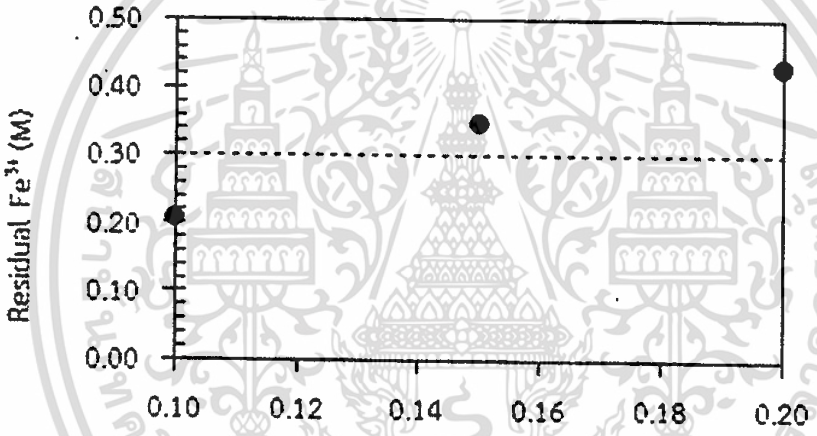
เมื่อทำการแช่เปลือกสับปะรดซึ่งปรับปรุงด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} ในสารละลาย NH_4OH เข้มข้น 1.0 โมลาร์ นาน 10 นาที และนำเปลือกสับปะรดดังกล่าวไปแช่ในน้ำกลั่นที่มีพีเอชเป็น 7 นาน 24 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในน้ำกลั่นภายหลังการแช่เปลือกสับปะรดดังกล่าวมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับผลการทดลองก่อนหน้า (รูปที่ 4.10ข) อีกทั้งปริมาณที่พบมีค่าไม่เกินเกณฑ์ความเข้มข้นสูงสุดของเหล็กสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่า NH_4OH สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดติดของเฟอร์ริคไอออนบนพื้นผิวเปลือกสับปะรด เนื่องจาก NH_3 จะทำหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นลิแกนด์ (Ligand) และใช้อิเล็กตรอนคู่โดด (lone-pair electron) สร้างพันธะกับ Fe^{3+} ดังรูปที่ 4.11 ทำให้โครงสร้างของตัวดูดซับมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น (Kim *et al.*, 2006)

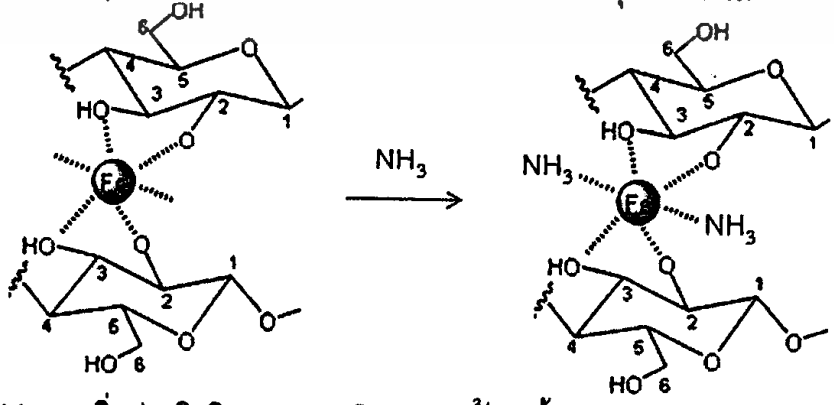


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในน้ำกลั่นที่แช่เปลือกสับปะรด เมื่อ (ก) เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และ Fe^{3+} (ข) เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH และเส้นประแสดงเกณฑ์ความเข้มข้นสูงสุดของเหล็กสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรรมน้ำบริโภคที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม

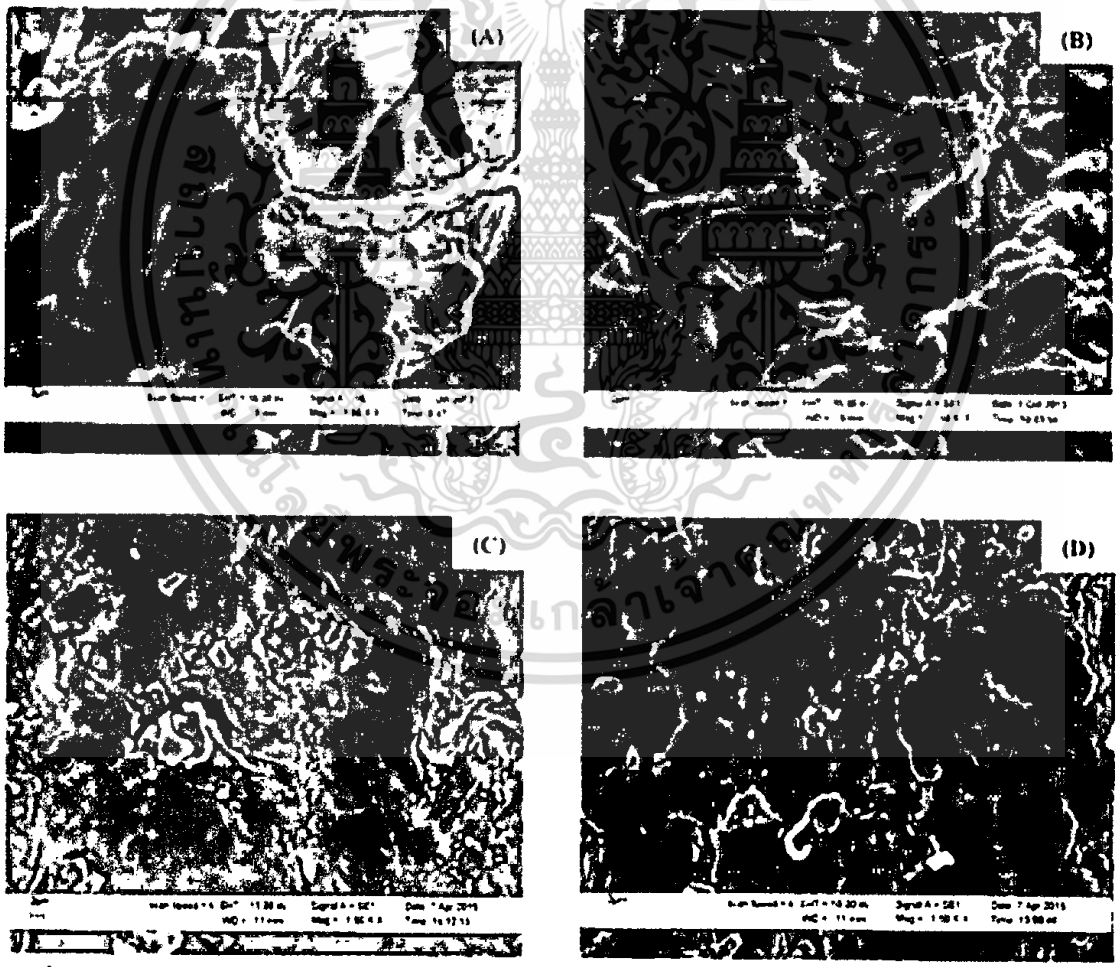


รูปที่ 4.11 การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดติดของ Fe^{3+} บนพื้นผิวเปลือกสับปะรดด้วย NH_4OH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 สมบัติทางด้านพื้นผิวของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุง

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของเปลือกสับปะรดก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของเปลือกสับปะรดก่อนปรับปรุง (ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ) มีลักษณะของพื้นผิวเป็นแผ่นเรียบและซ้อนกันเป็นชั้นๆ (รูปที่ 4.12A) เมื่อทำการปรับสภาพด้วย NaOH พบว่าพื้นผิวของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพมีลักษณะขรุขระมากขึ้น (รูปที่ 4.12B) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากความสามารถของ NaOH ในการย่อยสลายองค์ประกอบจำพวกลิกนินและทำลายความเป็นโครงสร้างแบบผลึกของเซลลูโลส (Cellulose crystalline) ส่งผลให้เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH มีพื้นผิวจำเพาะและปริมาตรของรูพรุนรวมเพิ่มมากขึ้นเป็น 26.90m^2/g และ 2.84x$10^{-2}$$cm^3/g$ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) ในขณะที่เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH ร่วมกับ Fe^{3+} มีลักษณะผิวเรียบขึ้น (รูปที่ 4.12C) เช่นเดียวกันกับเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH (รูปที่ 4.12D) แสดงให้เห็นถึงการดูดซับของเฟอร์ริคไอออนที่พื้นผิวของเปลือกสับปะรด สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์พื้นผิวจำเพาะและ



รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 1,500 เท่าของ (A) เปลือกสับปะรดก่อนปรับปรุง (B) เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH (C) เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และ Fe^{3+}และ (D) เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติด Fe^{3+}บนพื้นผิวด้วย NH_4OH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุนและปริมาตรของรูพรุนรวมด้วยวิธีการของบีอีที (BET) โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน

ชนิดของตัวดูดซับ	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	ขนาดรูพรุน (nm)	ปริมาตรของรูพรุนรวม (cm^3/g)
- เปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง	8.38	7.68	$1.61x10^{-2}$
- เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH	26.90	5.32	$2.84x10^{-2}$
- เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และ Fe^{3+}	6.33	3.64	$1.79x10^{-2}$
-เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดของ Fe^{3+}ด้วย NH_4OH	6.85	3.49	$1.80x10^{-2}$

ปริมาตรของรูพรุนรวมด้วยวิธีการของบีอีที (BET) โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน ที่พบว่าเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และ $FeCl_3$ มีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรของรูพรุนรวมลดลงเหลือ 6.33 m^2/g และ$1.79x10^{-2}$ cm^3/g เมื่อเทียบกับเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH ในขณะที่เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดของ Fe^{3+} บนผิวของสับปะรดมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่ 4.10) รวมถึงมีรูพรุนที่มีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับเปลือกสับปะรดที่ปรับปรับปรุงด้วยNaOH และ Fe^{3+} (ไม่แช่NH_4OH) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเกิดโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายตาข่าย ดังในรูปที่ 4.11 จากการสร้างพันธะระหว่าง NH_3กับ Fe^{3+} บนพื้นผิวเปลือกสับปะรด

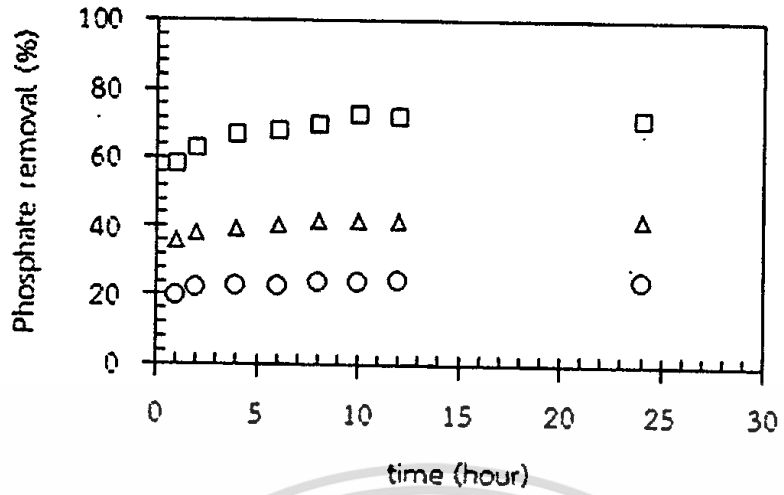
4.3 การกำจัดโพลีฟอสเฟตด้วยเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

การศึกษาความสามารถในการกำจัดโพลีฟอสเฟตของเปลือกสับปะรด 3 ชนิด ได้แก่ (1) เปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง (2) เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH และ (3) เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดของ Fe^{3+}ด้วย NH_4OH โดยทำการแปรผันระยะเวลาสัมผัสและปริมาณตัวดูดซับ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ผลของระยะเวลาสัมผัส

เมื่อพิจารณาความสามารถในการกำจัดโพลีฟอสเฟตของเปลือกสับปะรดทั้ง 3 ชนิด ที่ระยะเวลาการสัมผัสแตกต่างกัน พบว่าวัสดุที่ใช้ทดสอบทั้ง 3 ชนิดสามาถกำจัดฟอสเฟตในน้ำได้ โดยปฏิกิริยาการกำจัดฟอสเฟตเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วง 1 ชั่วโมงแรก จากนั้นความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตมีแนวโน้มคงที่ (รูปที่ 4.13) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตระหว่างวัสดุทั้งสามชนิด พบว่าเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโพลีฟอสเฟตสูงที่สุด รองลงมาคือเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH และเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง ตามลำดับ (รูปที่ 4.13) ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่พื้นผิวของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH มี Fe^{3+}ที่สามารถทำปฏิกิริยากับไอออนลบของฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

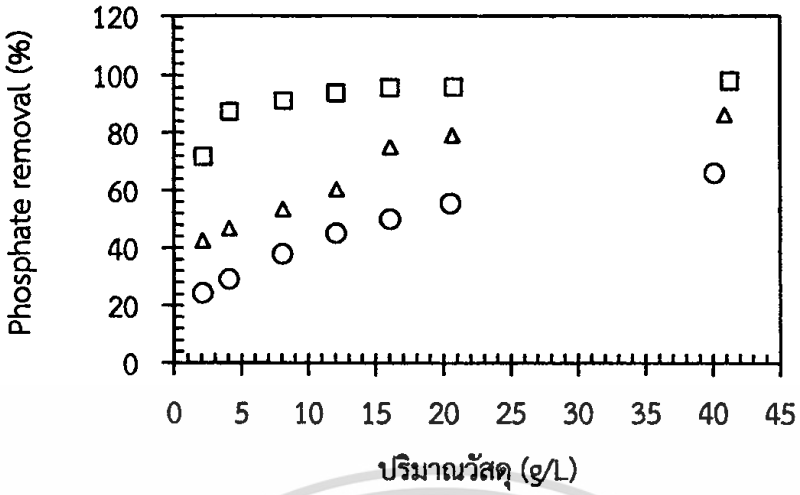


รูปที่ 4.13 ความสามารถในการกำจัดสารละลายโพลีฟอสเฟตเข้มข้น 10 mg/L ของเปลือกสับปะรดปริมาณ 2 กรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่างกัน เมื่อ ○ คือเปลือกสับปะรดก่อนปรับปรุง, Δ คือเปลือกสับปะรดปรับสภาพด้วย NaOH และ □ คือเปลือกสับปะรดปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH

4.3.2 ผลของปริมาณวัสดุ

เมื่อพิจารณาความสามารถในการกำจัดโพลีฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรของเปลือกสับปะรดทั้ง 3 ชนิดเมื่อใช้ปริมาณเปลือกสับปะรดที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 กรัมต่อลิตร ถึง 40 กรัมต่อลิตร พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดโพลีฟอสเฟตของวัสดุทั้ง 3 ชนิด มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเปลือกสับปะรดที่ใช้ (รูปที่ 4.14) ทั้งนี้เพราะการเพิ่มปริมาณวัสดุที่ใช้จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยา (Pillai *et al.*, 2013) โดยเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH มีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตได้สูงกว่าร้อยละ 90 เมื่อใช้ปริมาณวัสดุเท่ากับ 8 กรัมต่อลิตร เมื่อทำการทดสอบทางสถิติด้วยวิธีการ ANOVA-Duncan พบว่าร้อยละของการกำจัดโพลีฟอสเฟตมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้ปริมาณเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH ในปริมาณตั้งแต่ 16 กรัมต่อลิตรเป็นต้นไป เนื่องจากสัดส่วนของโพลีฟอสเฟตในน้ำเสียเมื่อเทียบกับตัวดูดซับมีน้อยลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมีแนวโน้มคงที่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ สำหรับเปลือกสับปะรดก่อนปรับปรุง และเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH พบว่ามีค่าร้อยละการกำจัดโพลีฟอสเฟตของสูงสุดเท่ากับ 66 % และ 86% ตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณ 40 กรัมต่อลิตรของเปลือกสับปะรดดังกล่าวในการบำบัดสารละลายโพลีฟอสเฟต ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และและเพิ่มการติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH อย่างเห็นได้ชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ความสามารถในการกำจัดสารละลายโพลีฟอสเฟตเข้มข้น 10 mg/L ของเปลือกสับปะรด ซึ่งใช้ในปริมาณต่างกัน เมื่อ ○ คือเปลือกสับปะรดก่อนปรับปรุง, Δ คือเปลือกสับปะรดปรับสภาพด้วย NaOH และ □ คือเปลือกสับปะรดปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสเฟตที่ดูดซับไว้โดยเปลือกสับปะรด (q) กับความเข้มข้นของโพลีฟอสเฟตที่เหลือในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล (Ce) พร้อมกับศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมต่อการอธิบายสมดุลการดูดซับโพลีฟอสเฟตของเปลือกสับปะรด เปรียบเทียบระหว่างไอโซเทอร์มแบบแลงก์เมียร์ (Langmuir isotherm) และไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิช (Freundlich isotherm) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ไอโซเทอร์มแบบแลงก์เมียร์ที่อธิบายสมดุลการดูดซับโพลีฟอสเฟตด้วยเปลือกสับปะรด

ชนิดตัวดูดซับ	แลงเมียร์ไอโซเทอร์ม			
	สมการเส้นตรง	K_L	q_m	R^2
- เปลือกสับปะรดไม่ปรับปรุง	y=30.1790x+2.8482	0.094	0.35	0.9921
- เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH	y=6.3222x+0.1707	0.027	5.86	0.9257
- เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการติดผิวของ Fe^{3+}ด้วย NH_4OH	y=0.7031x+0.0283	0.039	35.33	0.9927

ตารางที่ 4.12 ไอโซเทอร์มแบบฟรุนด์ลิชที่อธิบายสมดุลการดูดซับโพลีฟอสเฟตด้วยเปลือกสับปะรด

ชนิดตัวดูดซับ	ฟรุนดลิชไอโซเทอร์ม			
	สมการเส้นตรง	K_F	n	R^2
- เปลือกสับปะรดไม่ปรับปรุง	y=2.0270x-2.0163	0.453	1.590	0.9515
- เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH	y=1.228x-0.8514	6.537	0.814	0.8039
- เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการติดผิวของ Fe^{3+}ด้วย NH_4OH	y=0.9470+0.1142	1.301	1.056	0.9726

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าแบบจำลองการดูดซับแบบแลงก์เมียร์มีความเหมาะสมสำหรับใช้อธิบายรูปแบบการดูดซับโพลีฟอสเฟตด้วยวัสดุทั้ง 3 ชนิด มากกว่าแบบจำลองแบบฟรุนดลิช เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R^2) เข้าใกล้ 1 มากกว่า แสดงให้เห็นว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับบนพื้นผิววัสดุที่มีลักษณะแบบชั้นเดียว และมีตำแหน่งการดูดซับที่แน่นอน (โกวิทย์ และคณะ, 2551) โดยเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe^{3+}ด้วย NH_4OH มีค่าความจุสูงสุดในการดูดซับ (q_m) เท่ากับ 35.33 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าคงที่ของแลงเมียร์ (K_L) เท่ากับ 0.039 ส่วนเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH และเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุงมีค่าความจุสูงสุดในการดูดซับเท่ากับ 5.86 และ0.35 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และมีค่าคงที่ของแลงเมียร์เท่ากับ 0.027 และ 0.094ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe^{3+}ด้วย NH_4OH มีความจุในการดูดซับโพลีฟอสเฟตมากกว่าเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH และเปลือกสับปะรดก่อนการปรับปรุงอย่างเห็นได้ชัด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

เปลือกสับปะรดสามารถนำมาพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพให้เป็นวัสดุดูดซับที่มีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตได้โดยการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำไปเคลือบผิวด้วยเฟอร์ริคไอออน (Fe^{3+}) จากการศึกษาพบว่าเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50°C มีพื้นผิวในการดูดซับเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังปรากฏแถบการยืดของ O-H ซึ่งแสดงหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่เลขคลื่นในช่วง 3200-3500 cm^{-1}และแถบการยืดของ C-O ซึ่งแสดงหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลที่เลขคลื่น1600-1650cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันสำคัญสำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะหนักที่เด่นชัดขึ้น เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH สามารถดูดซับเฟอร์ริคไอออนได้สูงถึง 14 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยวัสดุดังกล่าวมีพื้นผิวลดลงเมื่อเทียบกับเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH เพียงอย่างเดียว แต่ปรากฏแถบยืดเลขคลื่นประมาณ 440-450 และ 550 cm^{-1} ที่แสดงให้เห็นถึงการสร้างพันธะของ Fe-O บนพื้นผิวเปลือกสับปะรด การแช่เปลือกสับปะรดที่เคลือบผิวด้วยเฟอร์ริคไอออนในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ นาน 10 นาที ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของการเกาะยึดของเฟอร์ริคไอออนที่ผิวหน้าของเปลือกสับปะรด จากการศึกษาการดูดซับโพลีฟอสเฟตด้วยวัสดุดูดซับต่างกัน 3 ชนิดด้วยวิธีการแช่ พบว่าสามารถดูดซับฟอสเฟตได้ปริมาณแตกต่างกันจากมากไปน้อยได้ดังนี้ เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH สามารถดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุด 35.33 มิลลิกรัมต่อกรัม เปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH 5.86 มิลลิกรัมต่อกรัม และเปลือกสับปะรดก่อนปรับปรุงมีค่าความจุสูงสุดในการดูดซับโพลีฟอสเฟตเท่ากับ 0.35 มิลลิกรัมต่อกรัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์ของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการดูดซับฟอสเฟต เพื่อเป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน

2. ควรศึกษาความสามารถในการบำบัดไอออนลบของมลสารชนิดอื่นในน้ำเสียเช่น NO_3^-, $Cr_2O_7^{2-}$และ AsO_4^{3-}ของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH และเคลือบติดผิวด้วย Fe^{3+}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

1. บทความที่นำเสนอในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่องการเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกสับปะรดเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก)
2. บทความที่นำเสนอในการประชุมวิชาการ Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2015) เรื่อง Preparation of Biosorbent from Pineapple Peels: Pretreatment with NaOH (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2556. "ระบบบำบัดน้ำเสีย : น้ำเสียชุมชน." สืบค้นเมื่อ 26 ตุลาคม 2558 จาก *http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html#top.*

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2549. **ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค เล่ม 1 และออกประกาศมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค มาตรฐานเลขที่ มอก. 257-2549.** ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 123 ตอนที่ 64ง วันที่ 6 กรกฎาคม 2549..

กันตพัฒน์ กสิบุตร. 2558. "การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกสับปะรดเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

โกวิทย์ ปิยะมังคลา, จารุวรรณ ตาหวัฒน์, ปิยวัฒน์ โพธิมงคลกุล และฉัฐรส คงสมภักดิ์. 2551. "จลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม(VI) จากโรงงานชุบโลหะโดยใช้ไคโตซานเรซิน." *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 18(1) : 68-79.

จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2547. *การใช้เศษเหลือและผลพลอยได้จากสับปะรดเป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง.* กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ชัชนันท์ นิวาสวงษ์ และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2555. "การผลิตเซลลูโลซิกเอทานอลในประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. *40*(4): 1073-1088.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2539. "แนวทางการลดปริมาณสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนจากการใช้สารซักฟอก." *Thai Environmental Engineering Journal*. 1(1) : 39-43.

พรทวี กองร้อย. 2557. "การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการซักล้างโดยแหนแดง". รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

พอตา ประสานนาม. 2547. "การกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนที่ผลิตจาก hydroxyethyl cellulose." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ยาโก๊ะ ขาเร็มดาเบะ. 2553. "การดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.

รัตนาภร ยวงสวัสดิ์, วลัยรัตน์ จันทรอัมพร และดวงกมล ณ ระนอง. 2554. "การเตรียมวัสดุดูดซับจากเปลือกหอยเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย:" *วิศวสารลาดกระบัง*. *28*(4): 31-37.

วนิดา ปานอุทัย. 2553. "การผลิตเอทานอลจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสโดยกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วราภรณ์ มงคลเคหา, วริศรา เผือกผาสุข และวริษฐา ศูนย์ปาน. 2556. "การเตรียมไฮโดรไลเสทจากเปลือกกล้วยด้วยวิธีทางกายภาพร่วมกับวิธีทางเคมี." โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. "สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2558." สืบค้นเมื่อ 17 พฤศจิกายน 2558 จาก http://www.oae.go.th/download/document_tendency/journalofecon2558.pdf.

สุมน โพธิจันทร์. 2557. "การใช้ผลพลอยได้จากสับปะรดเป็นอาหารโคเนื้อ-โคนม." สืบค้นเมื่อ 26 ตุลาคม 2558 จาก *http://expert.dld.go.th/attachments/article/166/pine_ap.pdf.*

อังคณา คงคชวรรณ, ตรี อินดราริณี เวียร์ยันโตโร, และอภิรักษ์ เพียรมงคล. 2557. "การสกัดเส้นใยจากเปลือกและแกนสับปะรด." หน้า 891-895. ใน **การประชุมวิชาการ Graduate Reserach ครั้งที่ 15** ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อาทิตย์ ปัญญาศักดิ์ และศรเทพ ธัมวาสร. 2556. "อิทธิพลของระยะเวลาการหมักและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพพีเอ็มอาร์". *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 44(1) : 55-58.

Ahalya, N. Kanamadi, D.R. and Ramachanda, V.T. 2006. "Biosorption of iron(III) from aqueous solution using the husk of *Cicer arietinum.*" *Indian Journal of Chemical Technology.* 13: 122-127.

APHA. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 19th Edition. USA: American Public Health Association.

Arief, O.V. Trilestari, K. Sunarso, J. Indraswati, N. and Ismadji, S. 2008 "Recent progress on biosorption of heavy metalsfrom liquids using low cost biosorbents: Characterization, Biosorption Parameters and Mechanism Studies." *Clean-Soil, Air, Water.* 36(12) : 937–962.

Benyoucef, S and Amrani, M. 2011. "Adsorption of phosphate ions onto low cost Aleppo pine adsorbent." *Desalination. 275*(1-3) : 231-236.

Chowdhury, S. Mishra, R. Saha, P. and Kushwaha, P. 2011. "Adsorption thermodynamic, kinetic and isosteric heat of adsorption of malachite green onto chemically modified rice husk." *Desalination. 265*(1-3) : 159-168.

Garcia, P.V. Toledo, N. Denardin, J. Yazigil, D.V. Cruz, C. Spodinie, E. and Luo, Z. 2013. "One potsolvothermal synthesis of organic acid coated magnetic iron oxide nanopartical." *Journal of the Chilean Chemical Society.* 58(4): 707-717.

Ismail, Z. 2012. "Kinetic study for phosphate removal from water by recycled date-palm wastes as agricutural by-products." *International Journal of Environmental Studies. 69*(1) : 135-149.

Jiao, C. and Xiong, J. 2014. "Accessibility and morphology of cellulose fibres treated with sodium hydroxide." *Bio Resources.* 9(4): 6504-6513.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kim, J. Mann, D.J. and Spencer, G.J. 2006. "Arsenic removal from water using Lignocellulose Adsorption Medium (LAM)." *Journal of Environmental Science and Health*. 41: 1529–1542.

Kim. J. Y. **Linocellulose-based anion-adsorbing medium (LAM) and Process for Making and using same for the selective removal of phosphate and arsenic anionic contaminants from aqueous solutions.** USA. U.S. Patent No. 7,758,756 B2. 2010.

Krishnan, K. A. and Haridas, A. 2008. "Removal of phosphate from aqueous solutions and sewage using natural and surfae modified coir pith." *Journal of Hazardous Materials. 152*(2) : 527-535.

Liu, W. Zhang, J. Zhang, C. Wang, Y. and Li, Y. 2010. "Adsorptive removal of Cr(VI) by Fe-modified activated carbon prepared from Trapa natans husk." *Chemical Engineering Journal. 162*(2) : 677-684.

Nasuha, N. and Hameed, B. H. 2011. "Adsorption of methylene blue from aqueous solution on NaOH-modified rejected tea." *Chemical Engineering Journal*. 166 : 783-786.

Nguyen, T.A. H. Ngo, H. H. Guo, W. and Nguyen, T. V. 2012. "Phosphate removal from aqueous solutions by agricultural by-products: A critical review." *Journal of Water Sustainability. 2*(3) : 193-207.

Ning-chuan, F. and Xue-yi, G. 2012. "Characterization of adsorptive capacity and mechanisms on adsorption of copper, lead and zinc by modified orange peel." *Transaction of Nonferrous Metal Society of China.* 22: 1224-1231.

Ning-chuan, F. Xue-yi, G. and Sha, L. 2010. "Enhanced Cu(II) adsorption by orange peel modified with sodium hydroxide." *Transaction of Nonferrous Metal Society of China.* 20 : 146-152.

Ofomaja, A. E. Naidoo, E. B. and Modise, S. J. 2009. "Removal of copper(II) from aqueous solution by modified pine cone powder as biosorbent." *Journal of Hazardous Materials. 168*(2-3) : 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 starch: Equilibrium and kinetic studies." *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 92: 199–205.

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.

Souza, D.V.T.M. Diniz, M.K. Massocatto, L.C. Tarly, T.R. Caetono, J. and Dragunski, C.D. 2012. "Removal of Pb(II) from aqueous solution with orange sub products chemically modified as biosorbent." *Bio Resources*. 7(2): 2300-2318.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wan Ngah, W.S. and Hanafiah, M.A.K.M. .2008. "Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents." *Bioresource Technology*. 99: 3935–3948.

Xu, J. Cheng, J.J. Sharma-Shivappa R.R. and Burns, C.J. 2010. "Sodium Hydroxide Pretreatment of Switchgrass for Ethanol Production." *Energy Fuels*. 24: 2113–2119.

Xuang, Z. Tang, Y. Li, X. Li, Y. and Luo, F. 2006. "Study on the equilibrium, kinetics, and isotherm of biosorption of lead ions onto pretreated chemically modified orange peel." *Biochemical Engineering Journal. 31* : 160-164.

Yoshita, A. Lu, J. L. Ye, J. H. and Liang, Y. R. 2009. "Sorption of lead from aqueous solutions by spent tea leaf." *African Journal of Biotechnology. 8*(10) : 2212-2217.

Zhao, Y. Huang, M. Wu, W. and Jin, W. 2009. "Synthesis of the cotton cellulose based Fe(III)-loaded adsorbent for arsenic(V) removal from drinking water." *Desalination. 249*(3) : 1006-1011.

http://bio1151.nicerweb.com/Locked/media/ch05/cellulose.html

http://exim.go.th/doc/research/business/industry_profile/อุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง% 20270447pdf.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เอกสารผลงานวิจัยที่ได้รับจากการทำโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 13

26-28 มีนาคม 2557

โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพฯ

บรรณาธิการ

ประเสริฐ ดปนียางกูร วันเพ็ญ ฮิโรจนกุล มินา พิทยโสภณอิจ พงศ์ศักดิ์ ทนุพันธ์ ขาติ เจียมไชยศรี

การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกสับปะรดเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย

PREPARATION OF ADSORBENTS FROM PINEAPPLE PEELS FOR REMOVAL OF PHOSPHATE FROM WASTEWATER

กันตพัฒน์ กสิบุตร[1], สามารถ คงทวีเลิศ[2] และ อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์[3*]

Kantapat Kasibut[1], Samart Kongtaweelert[2] and Usarat Thawornchaisit[3*]

[1]นักศึกษาบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520;[2]อาจารย์สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังกรุงเทพฯ 10520;[3*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520โทรศัพท์ : 089-451-0206,e-mail : pombana@hotmail.com

บทคัดย่อ

การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกสับปะรดเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำ โดยในขั้นแรกเปลือกสับปะรดจะถูกนำมาปรับสภาพด้วยการแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.2% โดยมวลต่อปริมาตร ที่ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นจาก 8.38 เป็น 26.90 m^2/g และปริมาตรรูพรุนรวมเพิ่มขึ้นจาก 0.016 เป็น 0.028 cm^3/g ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูที่เพิ่มขึ้นจาก 143 เป็น 333 mg/g จากการวิเคราะห์พื้นผิวเส้นใยสับปะรดด้วยเครื่อง SEM พบว่าเส้นใยสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพมีพื้นผิวขรุขระ และมีลักษณะเป็นเส้นใยชัดเจนกว่าเส้นใยสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ในขั้นต่อมานำเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพมาแช่ในสารละลาย $FeCl_3$ เข้มข้น 0.1 M เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับฟอสเฟต ผลจากการศึกษาพบว่าเส้นใยสับปะรดที่ผ่านการแช่ $FeCl_3$ สามารถบำบัดฟอสเฟตได้ดีกว่าเส้นใยสับปะรดที่ไม่ผ่านการแช่

คำสำคัญ : การกำจัดฟอสเฟต เปลือกสับปะรด ตัวดูดซับ การปรับสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

This research an adsorbent was prepared from pineapple peels and applied to removal phosphate from aqueous solution. Pineapple peels were first pretreated by soaking 2% (w/v) NaOH solution at 50°C for 24 hours which is analyzed by BET, Results showed that specific surface area of pretreated pineapple peels increased from 8.38 to 26.90 m^2/g and total pore volume increased from 0.016 to 0.028 cm^3/g corresponding to increase in Methylene Blue adsorption from 143 to 333 mg/g. Results from Scanning electron microscopes (SEM), Pretreated pineapple fiber has roughness surface and more fibrous than the non-pretreated samples. The pretreated pineapple peels was soaked in $FeCl_3$ 0.1 M for 2 hours in order to improve adsorption capacity for phosphate. The experimental removal of phosphate using $FeCl_3$ soaked pineapple peels was higher than the non-soaked samples

Keywords: Phosphate removal, Pineapple peels, Adsorbent, Pretreatment

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของประชากรและการขยายตัวของชุมชน ทำให้มีน้ำเสียจากบ้านเรือนมากขึ้น ซึ่งในปี 2552 พบว่ามีน้ำเสียจากบ้านเรือนและชุมชนมากถึง 14 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน [1] การใช้ผงซักฟอกที่มีเกลือของฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบในการทำความสะอาดสิ่งของเครื่องใช้ในบ้านเรือน ทำให้น้ำเสียชุมชนมีฟอสเฟตปนเปื้อนมากถึง 4-15 มิลลิกรัมต่อลิตร [2] และการปล่อยน้ำเสียดังกล่าวลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยที่ไม่ได้รับการบำบัด จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ สาหร่ายและพืชน้ำเจริญเติบโต เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วหรือที่เรียกว่า ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication) ซึ่งมีผลต่อความเข้มแสงที่ส่องผ่านในน้ำและทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างมาก ส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ จึงมีการกำหนดความเข้มข้นสูงสุดของฟอสเฟตที่อนุญาตให้ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ต้องมีค่าไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร [3]

วิธีการดูดซับจัดเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียชุมชน เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและสามารถติดตั้งเพื่อใช้งานได้ในแหล่งชุมชนทั่วไป [4] ซึ่งค่าใช้จ่ายในการบำบัดส่วนใหญ่คือ ราคาวัสดุดูดซับ ทำให้การพัฒนาตัวดูดซับที่มีราคาถูกเป็นหัวข้อที่หลายฝ่ายให้ความสนใจเนื่องจากลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัด นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยจัดการของเสียและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้อีกทางหนึ่ง

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยโดยมีผลผลิตเฉลี่ยถึง 2 ล้านตันต่อปี ส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตสับปะรดกระป๋องโดยมีกำลังผลิตมากกว่า 5 แสนตันต่อปี นอกจากนี้ยังเป็นผลไม้ที่คนไทยนิยมรับประทาน ทำให้มีเปลือกสับปะรดเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในโรงงานบางแห่งอาจมีถึง 200 ตันต่อวัน [5] ด้วยเหตุนี้เปลือกสับปะรดจึงเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่หาได้ง่ายและมีปริมาณมาก การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะรายงานความเป็นไปได้ในการนำเปลือกสับปะรดมาปรับปรุงสมบัติด้วยการสร้างพันธะระหว่าง Fe^{3+} กับเส้นใยเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับฟอสเฟตเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจเอกสาร

เส้นใยสับปะรดจัดเป็นวัสดุดูดซับประเภทชีวมวล การปรับสภาพด้วยด่างเช่น แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมีผลต่อองค์ประกอบจำพวกลิกโนเซลลูโลส ซึ่งกลไกการทำงานของด่างนั้นจะไปเพิ่มการพองตัวของโมเลกุลภายในต่อสายพันธะของไซแลนในเฮมิเซลลูโลส เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยา ทำให้วัสดุมีความพรุนเพิ่มขึ้น ลดความเป็นโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส ลดระดับความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่และเป็นการแยกองค์ประกอบหรือทำลายโครงสร้างของลิกนินภายในโมเลกุล [6] ซึ่งก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาการปรับสภาพกากชาด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 N พบว่ากากชาที่ผ่านการปรับสภาพมีพื้นผิวขรุขระและมีความเป็นรูพรุนสูงขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 147 mg/g เป็น 242 mg/g [7]

Ju Young. 2008. ได้ทำการศึกษาการพัฒนาตัวดูดซับฟอสเฟตและสารหนูในน้ำด้วยวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เช่น ใยกระดาษ เมล็ดข้าวโพด เส้นใยฝ้าย โดยการแช่ในสารละลาย $FeCl_3$ เข้มข้น 0.01 ถึง 0.3 M เป็นเวลา 0.1 ถึง 2 ชั่วโมง พบว่าตัวดูดซับที่ผ่านการแช่ $FeCl_3$ ในสภาวะที่เหมาะสมสามารถบำบัดฟอสเฟตและสารหนูได้ 99% [8] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Weifeng et al., 2010. ที่ทำการพัฒนาตัวดูดซับจากเปลือกกระจับด้วยสารละลาย $FeCl_3$ เข้มข้น 100 ppm เพื่อบำบัดโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ ($Cr_2O_7^{2-}$) ในสารละลาย โดยพบว่าเปลือกกระจับที่ผ่านการปรับปรุงด้วย Fe^{3+} มีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น 17.5% และมีความสามารถในการบำบัดโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์เพิ่มขึ้นจาก 65% เป็น 99% [9]

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวดูดซับ

นำเปลือกสับปะรดมาล้างให้สะอาด ตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 5-7 วัน จากนั้นทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช ทำการรวบรวมและเก็บตัวอย่างไว้ในโถดูดความชื้น

การปรับสภาพเส้นใยสับปะรด

แช่เปลือกสับปะรดที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.2% โดยมวลต่อปริมาตร ใช้อัตราส่วนระหว่างเส้นใยสับปะรดต่อ NaOH เท่ากับ 1:10 ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นใยสับปะรดมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง [10] ทำการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวม (Brunauer Emmett and Teller: BET) และวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue number : MBN) [11]

การปรับปรุงสมบัติตัวดูดซับ

ชั่งเส้นใยสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพมา 10.0 กรัม ในสารละลาย $FeCl_3$ เข้มข้น 0.1 M ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำเส้นใยสับปะรดมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 อบที่อุณหภูมิ 60°C และนำสารละลายที่กรองได้มาวิเคราะห์ปริมาณ Fe^{3+} ที่เหลืออยู่ด้วยเทคนิค AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความสามารถในการดูดซับฟอสเฟต

ชั่งเส้นใยสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติและเส้นใยสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับปรุงมาอย่างละ 2.0 กรัม เติมสารละลายฟอสเฟตเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 และนำสารละลายที่กรองได้มาวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตด้วยวิธี แอสคอร์บิค แอซิด [12]

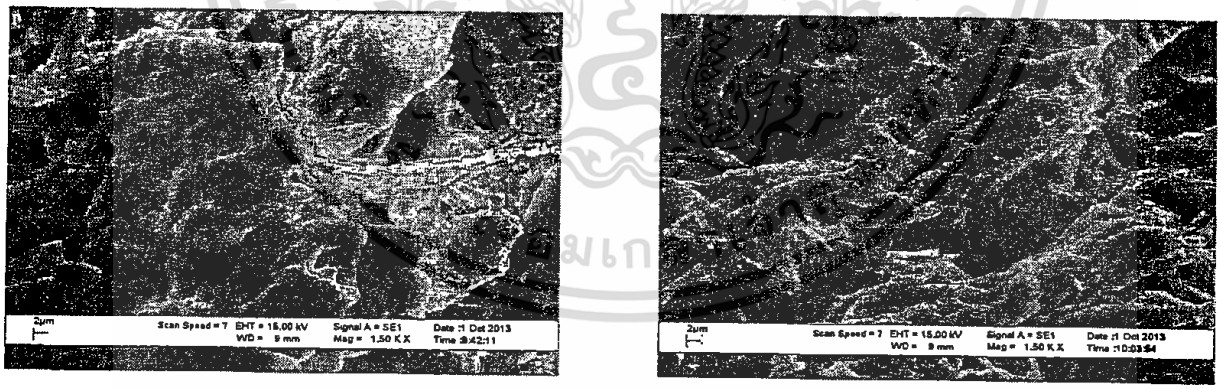
ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของการปรับสภาพเส้นใยสับปะรด

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าเส้นใยสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2% (w/v) มีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นเป็น 26.90 m^2/g ดังตารางที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูที่เพิ่มขึ้นจาก 143 mg/g เป็น 333 mg/g เนื่องจาก NaOH จะทำให้เส้นใยเกิดการพองตัวและลดความเป็นโครงสร้างของเซลลูโลส ส่งผลให้ความเป็นรูพรุนเพิ่มมากขึ้นและจากการวิเคราะห์ด้วย SEM ดังรูปที่ 1 พบว่าเส้นใยสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพมีพื้นผิวขรุขระและเป็นเส้นใยชัดเจนกว่าเส้นใยสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

ตารางที่ 1 พื้นที่ผิวและความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู

ชนิดของสารปรับสภาพ	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุนรวม (cm^3/g)	ความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (mg/g)
ไม่ปรับสภาพ	8.38	0.016	143
ปรับสภาพ	26.90	0.028	333



(a) (b)

รูปที่ 1 แสดงพื้นผิวของเส้นใยสับปะรดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องราด

(a) เส้นใยสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

(b) เส้นใยสับปรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH

ผลการปรับปรุงตัวดูดซับฟอสเฟตด้วย Fe^{3+}

จากการวิเคราะห์ปริมาณ Fe^{3+} ที่เหลือในสารละลายที่ใช้แช่เปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเทคนิค AAS พบว่าสารละลายมีปริมาณ Fe^{3+} ลดลงจาก 0.1 M เหลือ 0.0436 M แสดงให้เห็นว่าปริมาณ Fe^{3+} ที่ใช้แช่เส้นใยสับปะรดมีปริมาณลดลง วิเคราะห์การสร้างพันธะระหว่าง Fe^{3+} กับเส้นใยสับปะรดด้วยเทคนิค XRF กำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการดูดซับฟอสเฟตในสารละลาย

จากการวิเคราะห์สารละลายฟอสเฟตเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังผ่านการบำบัดด้วยเส้นใยสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติและเส้นใยสับปะรดที่ไม่ปรับปรุง พบว่าความเข้มข้นของฟอสเฟตลดลงเหลือ 31 และ 73 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติจะมี Fe^{3+} กระจายตัวอยู่ที่พื้นผิว ส่งผลให้เกิดการดูดซับกับไอออนลบของฟอสเฟตได้ดีกว่าเส้นใยสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

สรุป

ผลจากการพัฒนาตัวดูดซับฟอสเฟต โดยทำการปรับสภาพเส้นใยสับปะรดด้วย NaOH เข้มข้น 2% โดยมวลต่อปริมาตร พบว่าเส้นใยสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมเท่ากับ 26.90 m^2/g และ 0.028 cm^3/g ตามลำดับ และมีความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้นจาก 143 เป็น 333 mg/g เมื่อนำเส้นใยสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพมาแช่ในสารละลาย $FeCl_3$ พบว่าสามารถบำบัดฟอสเฟตในสารละลายได้ดีกว่าเส้นใยสับปะรดที่ไม่แช่ $FeCl_3$ 42%

เอกสารอ้างอิง

[1] Polution Control Department. 2010. Domestic wastewater treatment systems in Thailand (in Thai). (Online). Available: http://wqm.pcd.go.th/water/index.php/2010-04-12-06-22-18/2010-04-12-04-05-00/101--2552. [14 January, 2014].

[2] Hussain, S., Aziz, A.H., Isa, H.M., Ahmadd, A., John, V.J., Zoua, L., Beechama, S. and Umar, M. 2011. Orthophosphate removal from domestic wastewater using limestone and granular activated carbon. Desalination. 271: 265–272.

[3] Polution Control Department. 2010. Water quality standards in Thailand (in Thai). (Online). Available: http://kmcenter.rid.go.th/kcresearch/standard_out/std_water_krommonlapit.pdf. [14 January, 2014].

[4] Yaunsawat, R., Janaumporn, W. and Ranong, N.D. 2011. Preparation of adsorbents from oyster shell wastes for phosphate removal from wastewater (in Thai). Ladkrabang Engineering Journal. 28(4): 31-37.

[5] Office of Agricultural Economics. 2012. Major agricultural situation and prospects of agriculture (in Thai). (Online). Available: www.oae.go.th/download/journal/trends.2555.pdf . [14 January, 2014].

[6] Vaithanomsat, P. 2012. Separation of major chemical compositions (cellulose, hemicellulose and lignin) in oil palm trunkusing fungal pretreatment prior to ethanol fermentation (in Thai). Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute, Kasetsart University.

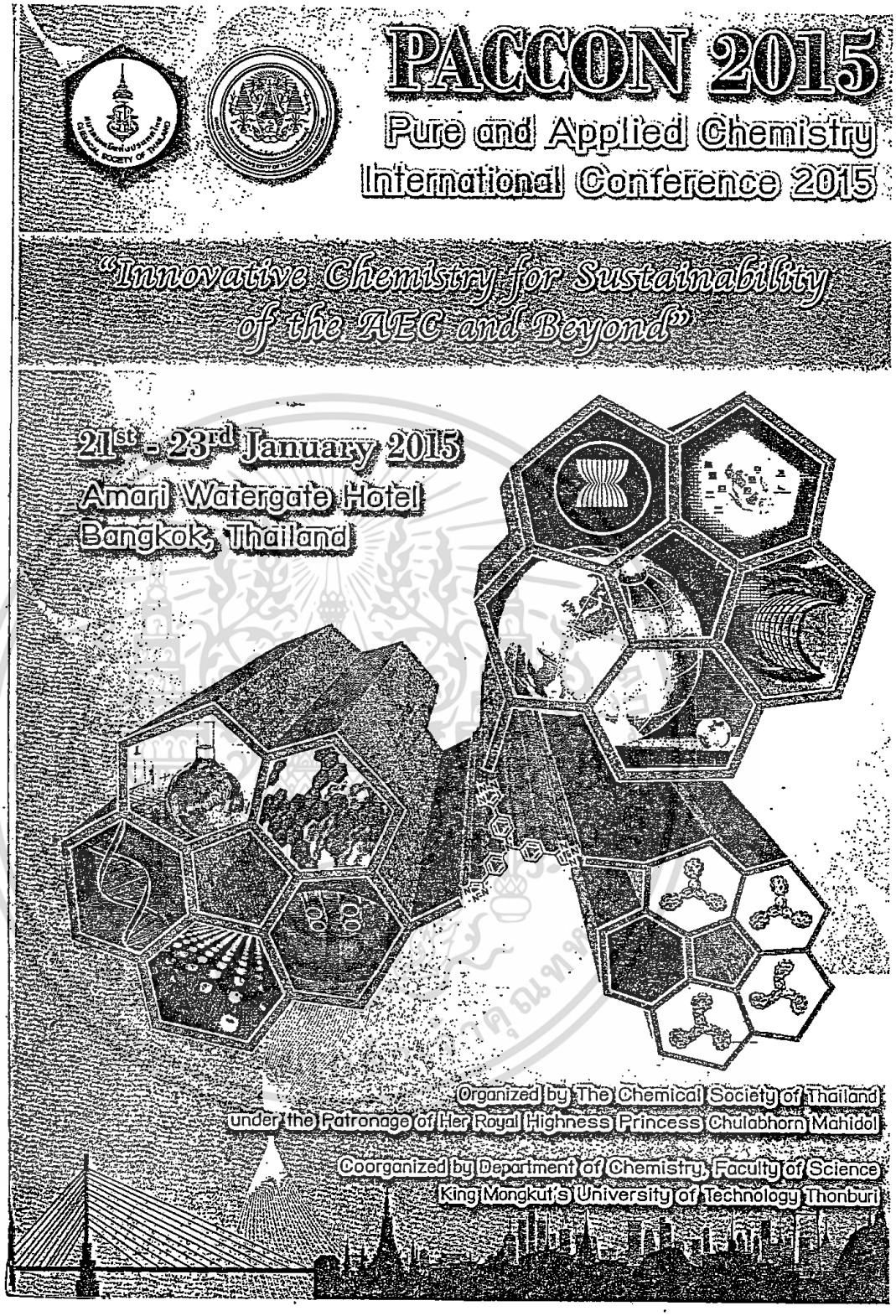
[7] Nasuha, N. and Hameed, B.H. 2011. Adsorption of methylene blue from aqueous solution onto NaOH-modified rejected tea. Chemical Engineering Journal. 166: 783–786.

[8] Kim, J. Y. 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.

[9] Liu, W., Zhang, J., Zhang, C., Wang, Y. and Li, Y. 2010. Adsorptive removal of Cr (VI) by Fe-modified activated carbon prepared from Trapanatans husk. Chemical Engineering Journal.162: 677–684.

[10] Xu, J., Cheng, J. J., Sharma-Shivappa, R. R. and Burns, J. C. 2010. Sodium hydroxide pretreatment of switch grass for ethanol production. Energy Fuels. 24: 2113-21139.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Nunes, C. A. and Guerriro, M. C. 2011. Estimation of surface area and pore volume of activated carbons by methylene blue and iodine numbers.Quim.Nova. 34: 472-476.

[12] APHA, AWWA and WEF. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. USA: American Public Health Association.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF BIOSORBENT FROM PINEAPPLE PEELS: PRETREATMENT WITH NaOH

Kantapat Kasibut*, Samart Kongtaweelert and Usarat Thawornchaisit

Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

*E-mail: pombana@hotmail.com, Tel. +66 2329 8000, Fax. +66 2329 8428

Abstract: This study present the result on enhanced surface area of pineapple peels by alkaline pretreatment compared with non-pretreated samples. The pineapple peels were crushed and sieved to particle size of 200 mesh. Pretreatment with NaOH were carried out by variation of contact time (1, 6, 12, 24 h), NaOH concentration (0.5, 1.0, 2.0%) (w/v) and reaction temperature (30, 50, 100°C). The FTIR spectra bands of pineapple peels observed at 3352.02 and 2916.09 cm^{-1} represent –OH and aliphatic C-H group and the peak at 1638.49 cm^{-1} corresponds to C=O stretching. Experimental results showed that alkaline pretreatment can improve the internal surface area of pineapple peels as seen from an increase in Methylene blue number from 125.34 mg/g of non-pretreated samples to 548.51 mg/g of the pretreated samples with 2% (w/v) NaOH at 50°C for 24 h. In addition, an increase in Iodine number was also observed in similar trend. Result from Scanning electron microscope (SEM) showed that the pretreated samples have roughness and more fibrous than non-pretreated pineapple peels.

1. Introduction

Adsorption process is widely technologies for removal of pollutants from wastewater such as heavy metal ions including to an excess of some nutrients for example phosphate and nitrate [1]. The most common adsorbent is activated carbon because that highly effective [2]. However the activated carbon was not suitable for developing countries due to their high capital and operational costs [3]. As a result, the agricultural waste materials i.e. corncob, coir pith, rice husk and pineapple peels have been applied to be adsorbent. However using the raw agricultural waste materials as biosorbent have some disadvantages especially the low sorption capacity [4], which can be overcome by modifying the surface of the materials. Alkaline pretreatment is a process, which is applied in lignocellulose bioethanol. After treatment, structures of lignocellulose materials have roughness with increasing surface area [5]. However, application of alkaline pretreatment in surface modification of biosorbent has been less studied.

Therefore, surface modification of pineapple peels by NaOH pretreatment was investigated in this research. Effects of NaOH concentration, reaction time and temperature on surface area of pineapple peels were studied.

2. Materials and Methods

2.1 Materials

Pineapple peels were washed to remove impurity such as sand and dust, the washed peels were then dried at 60°C for 24h in an oven. After that, the dried peels were blended in a food processing blender and sieved particles 200 mesh. The resultant powder was collected and used for analysis.

2.2 Pretreatment of biosorbent

A weighed amount of pineapple peels powder was pretreated with sodium hydroxide solutions with carried out by variation of contact time (1, 6, 12, 24 h), NaOH concentration (0.5, 1.0, 2.0%) (w/v) and reaction temperature (30, 50, 100°C). The powder was rinsed with distilled water and then dried at 60°C for 24h in an oven. The surface of the pretreated pineapple peels powder was determined by Scanning Electron Microscope (SEM) compared with non-pretreated samples.

2.3 Characterization of pineapple peels

2.3.1 FT-IR analysis

Fourier transform infrared (FTIR) analysis was applied on the pretreated and non-pretreated pineapple peels to determine the surface functional groups using FTIR spectroscope (FT-IR SPECTRUM GX, Perkin Elmer), where the spectra were recorded from 4000 to 400 cm^{-1}.

2.3.2 Iodine number determination

Different amount of pineapple peels sample was weighed into flasks containing 100 ml of 0.1 N iodine solutions. The flasks were then shaken for 24 h to assure equilibrium adsorption of iodine onto pineapple peels powder. The iodine number (mg/g) was determined from the titration of the residual solution with 0.1 N sodium thiosulfate. The iodine adsorption capacity was determined from the adsorbed iodine/unit mass of the adsorbent at the residual iodine concentration according to Abdullah et al. [6]

2.3.3 Methylene blue number determination

The methylene blue number is defined as the maximum amount of dye adsorbed on 1.0 g of biosorbent. In this assay, 10.0 mg of pineapple peels powder was placed in contact with 10.0 mL of methylene blue solution at different concentrations (10, 25, 50, 100, 250, 500 and 1000 mg/L) for 24 h at

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

room temperature. The remaining concentration of methylene blue was analyzed using a UV/Vis spectrophotometer at 645 nm according to Itodo et al. [7]

3. Results and Discussion

3.1 FT-IR analysis

Figure 1-3 show the FTIR characteristic of pretreated pineapple peels powder with various amount of NaOH in comparison with the non-pretreatment sample. From the spectra, the alkaline pretreated samples exhibited a broad and intense adsorption band at 3200-3600 cm^{-1} which is the characteristic of hydrogen-bonded OH strecting vibration. The peak at 2916.09 cm^{-1} representing the CH stretching vibration also increased. The intensity of the bands increased with the increment of NaOH concentration and reaction times. In addition, the adsorption peak of C=O at 1638.49 cm^{-1} also increased with NaOH pretreatment.

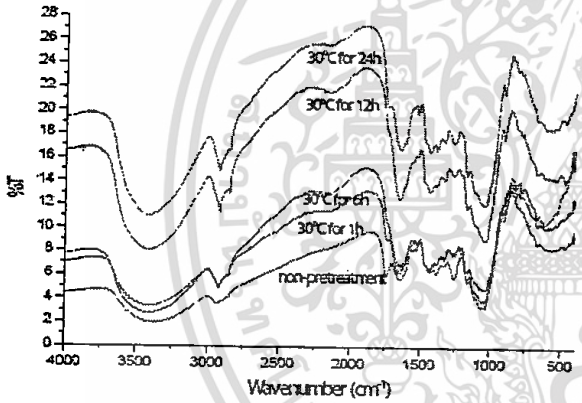


Figure 1. FT-IR spectra of 0.5% NaOH pretreatment

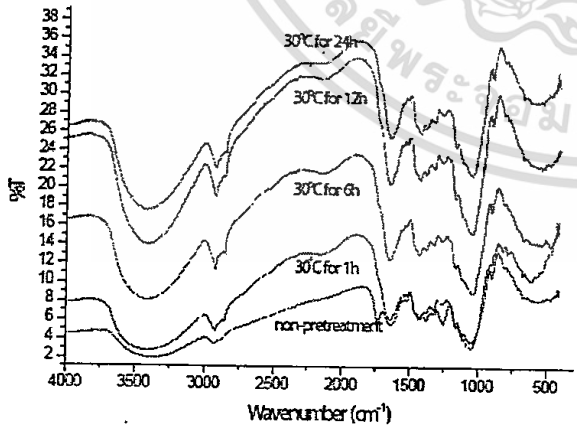


Figure 2. FT-IR spectra of 1.0% NaOH pretreatment

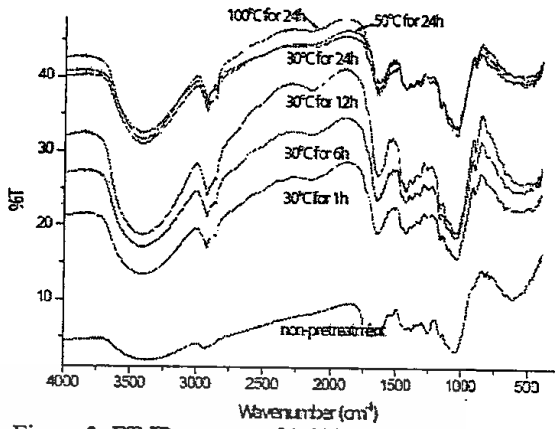


Figure 3. FT-IR spectra of 2.0% NaOH pretreatment

3.2 Iodine number analysis

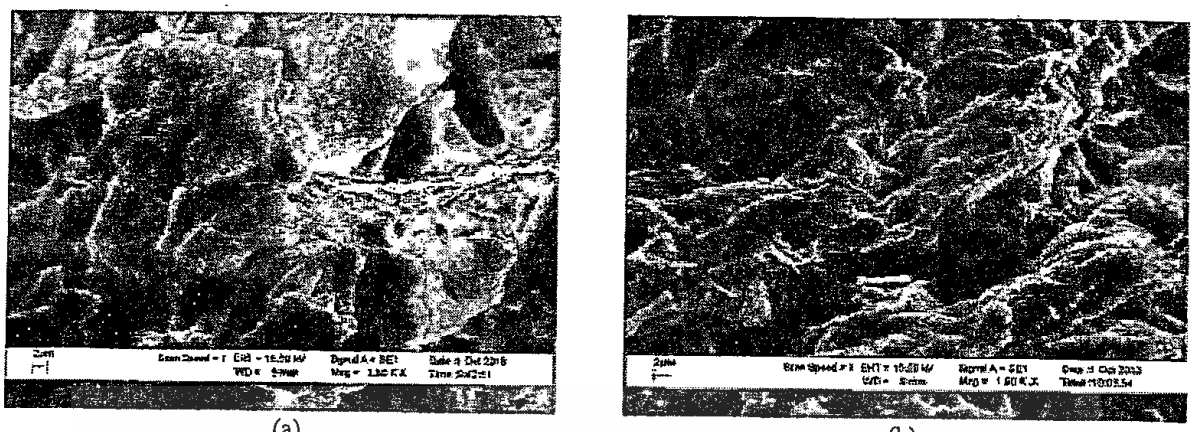
The total surface area of an adsorbent is made up of both external and internal surface. The Iodine number gives information on the internal surface of an adsorbent [9]. The Iodine number for all sample were obtained from the isotherm plot of the amount of iodine biosorbed versus that remaining in solution and the value of Iodine number (I.N.) are shown in Table 1.

Table 1: Iodine number of the pretreated and non-pretreated pineapple peels powder.

Sample	Temp. (°C)	Time (h)	I.N. (mg/g)
Non-pretreatment	-	-	80.37
0.5% NaOH pretreatment	30	1	191.29
	30	6	190.92
	30	12	226.74
	30	24	224.69
1.0% NaOH pretreatment	30	1	203.51
	30	6	220.90
	30	12	233.29
	30	24	207.74
2.0 % NaOH pretreatment	30	1	210.41
	30	6	229.45
	30	12	237.66
	30	24	253.86
	50	24	275.09
	100	24	245.19

The result shows that Iodine number increased with increasing NaOH concentration. The Iodine number of pretreated pineapple peels powder with 2.0% NaOH at 50°C for 24h was obtained to be 275.19 mg/g. This value is higher than some agricultural waste such as rice husks (68.00 mg/g) [10], sugarcane bagasse is 75.00 (mg/g) [11] and pine cone powder (17.60 mg/g) [9] due to the pineapple peels have high lignocellulosic component, that are extracted by NaOH would have opened up pore spaces and increased internal surface area of materials.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

Figure 4. SEM photographs of (a) non- pretreated pineapple peels powder (b) 2.0% (w/v) NaOH pretreated pineapple peels at 50°C for 24h.

3.3 Methylene blue number analysis

Methylene blue number was chosen in this study because of its known strong adsorption onto adsorbents and its recognized usefulness in characterizing adsorptive material [12]. Table 2 shows the Methylene blue number (M.B.N.) of biosorbent.

Table 2: Methylene blue number of pretreated and non-pretreated pineapple peels powder

Sample	Temp. (°C)	Time (h)	M.B.N. (mg/g)
Non-pretreatment	-	-	125.34
0.5% NaOH pretreatment	30	1	181.26
	30	6	235.19
	30	12	276.22
	30	24	247.54
1.0% NaOH pretreatment	30	1	302.13
	30	6	306.19
	30	12	311.80
	30	24	313.47
2.0 % NaOH pretreatment	30	1	351.08
	30	6	412.27
	30	12	483.97
	30	24	512.00
	50	24	548.51
	100	24	523.58

The adsorptive of methylene blue was found to increase with increasing contact time and NaOH concentration in pretreatment used. Raising the temperature for reaction to 50°C lead to increase Methylene blue number in the pretreated sample with 2.0% NaOH, while slight decrease in M.B.N. was observed when treatment of the powder with 2% at 100°C. This can be associates with the loss of some components of lignocellulose materials at high temperature.

3.4 Surface analysis

The SEM photographs of non-pretreated pineapple peels powder and pretreated pineapple peels powder with 2.0% (w/v) NaOH solution at 50°C for 24hr are shown in Figure 4. Pretreated sample has roughness with a large number of pores in different shapes and more fibrous then non-pretreated sample. This can be associated with the rupture and deterioration of pineapple peels resulting from reaction with NaOH [13].

4. Conclusion

Pretreatment of pineapple peels powder with NaOH solution resulted in surface modification. Iodine number when pretreated the sample with 2.0% (w/v) NaOH at 50°C for 24h were increased from 80.37 mg/g to 245.19 mg/g. Methylene blue number also increased from 125.34 mg/g to 523.51 mg/g. From SEM, pretreated sample has roughness and more fibrous then non-pretreated sample. FT-IR analysis found that hydroxyl and aliphatic C–H group of the pretreated pineapple peels at 3352.02 and 2916.09 cm^{-1} in spectra bands and that spectra bands were increased with the increment of contact time and concentration of NaOH.

Reference

[1] McSweeny, J.D., Rowell, R.M. and Min, S.H., 2006, *J. Nat. Fibers*, 3, 43–58.

[2] Nasuha, N. and Hameed, B.H., 2011, *Chemical Engineering Journal*, 166, 783–786.

[3] Moodley, K., Singh, R., Musapatika, E.T., Onyango, M.S. and Ochieng, A., 2011, *Water SA*, 37, 41-46.

[4] Nakajima, A. and Sakaguchi, T, 1990, *Biomass*, 21, 55–63.

[5] Zhu, B., Fan, T. and Zhang, D., 2008, *J. Hazard. Mater*, 153, 300–308.

[6] Abdullah, H.A., Kassim, A., Zainal, Z., Hussien, Z.M., Kuang, D., Ahmad, F. and Wooi, S.O., 2001, *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 7, 65-68.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[7] Itodo, A.U., Abdulrahman, F.W. and Hassan, L.G., Maigandi S.A. and Itodo H.U., 2010, *New York Science Journal*, 5, 25-33.
[8] Malkoc, E., 2006, *J. Hazard. Mater*, 899–908.

[9] Ofomaja, A.E., Naidoo, E.B. and Modise, S.J., 2009, *J. Hazard. Mater*, 168, 909–917.
[10] Daifullah, A.A.M., Girgis, B.S. and Gad, H.M.H., 2003, *Mater. Lett*, 57, 1723–1731.
[11] Raghuvanshi, S.P., Singh, R. and Kaushik, C.P., 2007, *Appl. Ecol. Environ. Res*, 2, 35–43.
[12] Nunes, C. A. and Guerriro, M. C., 2011, *Quim.Nova*, 34, 472-476.
[13] Nagda, G.K., Diwan, A.M. and Ghole, V.S., 2004, *Appl. Ecol. Environ. Res*, 5, 1–9.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสโครงการ/รหัสสัญญา 2558-02-05-035

แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 2 รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2558

☐ แหล่งงบประมาณแผนดิน (แบบปกติ) ✓ แหล่งเงินรายได้ (ประเภทส่งเสริมนักวิจัย)

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การเตรียมและการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของเปลือกสับปะรดเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย

(ภาษาอังกฤษ) Preparation and Surface Modification of Pineapple Peels for Phosphate Removal from Wastewater

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.) ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1/ ตุลาคม/ 2557 ถึงวันที่ 31/ มีนาคม/ 2558

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี เดือน ตั้งแต่วันที่ 1/ ตุลาคม/ 2557 ถึงวันที่ 30/ กันยายน/ 2558

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 50,000.00 บาท 100 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ด/ป) 19 พฤศจิกายน 2557

งวดที่ 2 ..... บาท ..... % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ด/ป) .....

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว			
งบดำเนินงาน.			
ค่าตอบแทน			
ค่าใช้สอย	31,000.00	-	31,000.00
ค่าวัสดุ	19,000.00	50,000.00	(31,000.00)
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน : ค่าครุภัณฑ์			
รวม	50,000.00	50,000.00	

.....

(ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์)

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

26 / มี.ค. / 58.

.....

(นางพูลทรัพย์ วิสัยเกษม)

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน

- 5 มี.ค. /2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8

หน่วยงาน สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 02-329-8000-8099 ต่อ 6249 โทรสาร 02-329-8428

e-mail kpusarat@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท.บ.	จุลชีววิทยา (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2536
M.Sc.	Environmental Science	Florida Institute of Technology, USA	2539
Ph.D.	Environmental Engineering & Science	Clemson University, USA	2545

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ การบำบัดและฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2537-2545	ทุนรัฐบาล	ทบวงมหาวิทยาลัย
2547	ทุนวิจัยประเภทส่งเสริมงานวิจัย งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2548	ทุนวิจัยประเภทส่งเสริมงานวิจัย งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2549-2550	ทุนพัฒนาศักยภาพในการทำวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่	สกอ ร่วมกับ สกว
2554-2555	ทุนวิจัยประเภทงานวิจัยเชิงบรูณาการและพาณิชย์ งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2556	ทุนวิจัยประเภทส่งเสริมนักวิจัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. Rattiya Ongmali, Saranya Phunpruch and Usarat Thawornchaisit. 2014. Cellular lipid production of a heterotrophic bacterium isolated from poultry processing wastewater. ***Songhlanakarin J. Sci Tech.*** 36(3) : 355-387.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Parichart Hasunthree, Vichuta Toomthong, Sukanda Yoschoch and Usarat Thawornchaisit. 2011. The potential of restaurant trap grease as biodiesel feedstock. ***Songhlanakarin J. Sci Tech.*** 33 : 525-530.
3. Chatchavaporn Yingsobat and Usarat Thawornchaisit. 2011. Efficiency of Triple Superphosphate fertilizer to stabilize cadmium in different soil texture characteristics. ***J. Environ. Res.*** 33: 41-55.
4. Usarat Thawornchaisit and Chongrak Polprasert. 2009. Evaluation of phosphate fertilizers for the stabilization of cadmium in highly contaminated soils. ***J. Hazard. Mater.*** 165: 1109-1113.
5. Usarat Thawornchaisit and Kesinee Pakulanont. 2007. Application of dried sewage sludge as phenol biosorbent. *Bioresource Technol.* 98 : 140-144.

การเสนอผลงานวิชาการ

1. Rattiya Ongmali, Usarat Thawornchaisit and Saranya Phunpruch. 2010. Lipid-accumulating capacity of bacteria isolated from a poultry processing wastewater. *Proceeding of the 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology*, October 4-6, 2010, Pattaya, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้