

การปรับปรุงพื้นที่ผิวตัวดูดซับจากเปลือกมะขามสำหรับการดูดซับสีทาร์ตราซีน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การปรับปรุงพื้นที่ผิวตัวดูดซับจากเปลือกมะขามสำหรับการดูดซับสีทาร์ทราซีน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Surface modification of adsorbent from tamarind shell for
tartrazine adsorption



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง

การปรับปรุงพื้นที่ผิวตัวดูดซับจากเปลือกมะขามสำหรับการดูดซับ
สีทาร์ทราซีน

โดย

นางสาวกฤติยากร ทูลธรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์

ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์

ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์

ผศ.ดร.พรสวรรค์

อ.อัสวแสงรัตน์

ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์)

กรรมการ

(อ. บุญชัย โชติวิริยาณิษฐ์)

กรรมการ

(ดร. ธีชนันต์ สมานมูลย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การปรับปรุงพื้นที่ผิวตัวดูดซับจากเปลือกมะขามสำหรับการดูดซับสีทาร์ทราซีน
โดย	นางสาวกฤติยากร ทูลธรรม
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัครแสงรัตน์ ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงพื้นที่ผิวตัวดูดซับจากเปลือกมะขามสำหรับการดูดซับสีย้อมอาหารชนิดทาร์ทราซีน การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกมะขามแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ การคาร์บอนไนซ์เปลือกมะขามที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 2 h หลังจากนั้นทำการกระตุ้นด้วย KOH เป็นเวลา 1 h (AC1) การไฮโดรเทอร์มัลด้วย H₂SO₄ (AC2) และการไฮโดรเทอร์มัลด้วย H₂SO₄ ต่อด้วยการแช่ในกรด HCl (AC3) จากการตรวจสอบพื้นที่ผิวด้วยวิธีการทดสอบการดูดซับไอโอดีน พบว่า ถ่านกัมมันต์ AC1, AC2 และ AC3 มีค่าเลขไอโอดีนเท่ากับ 231.99, 389.37 และ 372.47 mg/g ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าเลขไอโอดีน ของ AC2 และ AC3 เทียบกับตัวดูดซับ AC1 เท่ากับ 67.84% และ 60.55% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ AC2 มีค่าเลขไอโอดีนมากที่สุด และเมื่อทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน พบว่า ขนาดตัวดูดซับ 150-250 µm มีความสามารถในการดูดซับดีกว่าขนาดตัวดูดซับ 425-600 µm เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจาก 1.5 g เป็น 5 g ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น และที่ pH 6 เป็นช่วง pH ที่เหมาะสมในการดูดซับสีทาร์ทราซีน เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีนด้วยตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะ pH 6 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 µm และความเข้มข้นสารละลายสีทาร์ทราซีนเริ่มต้น 20 mg/L พบว่า ที่เวลา 120 นาที AC1, AC2 และ AC3 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีทาร์ทราซีนเท่ากับ 13.41%, 14.74% และ 14.56% ตามลำดับ โดย AC2 และ AC3 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีทาร์ทราซีนสูงกว่า AC1 เล็กน้อย

Report Title Surface modification of adsorbent from tamarind shell for tartrazine adsorption

By Ms. Kittiyakorn Tooltham

Degree Bachelor of Engineering

Program Chemical Engineering

Year 2017

Advisor Assist.Prof.Dr. Pornsawan Assawasaengrat
Dr. Pongsert Sriprom

ABSTRACT

The surface modification of adsorbent from tamarind shell for tartrazine adsorption was studied. The preparation of tamarind shell were 3 methods. Carbonization at 400 °C for 2 h then activated by KOH for 1 h (AC1). Hydrothermal by H₂SO₄ at 110 °C for 24 h then activated by KOH for 1 h (AC2). Finally, AC2 were immersed in HCl by stirring for 24 h (AC3). The surface area of AC1, AC2 and AC3 were determined by the iodine number method. The iodine numbers of AC1, AC2 and AC3 were 231.99, 389.37 and 372.47 mg/g, respectively. The increasing percentage of iodine number for AC2 and AC3 based on AC1 showed that 67.84% and 60.55%, respectively. The impact of parameters showed that 150-250 µm size of adsorbents had a higher adsorption capacity than 425-600 µm and when the amount of adsorbent was increased from 1.5 g to 5 g, the adsorption capacity of the adsorbent was increased. In addition the maximum of %removal was found at pH 6. Comparison of adsorption capacity from AC1, AC2 and AC3 at pH 6, 1.5 g of adsorbent, 150-250 µm and 20 mg / L of initial concentration showed that at 120 min, %removal of AC1, AC2 and AC3 were 13.41%, 14.74% and 14.56%, respectively. %Removal of AC2 and AC3 were slightly higher than AC1.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร. พรสวรรค์ อัครแสงรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร. พงษ์เสริฐ ศรีพรหม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ เสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหาของงานวิจัยรวมทั้งให้ความเอาใจใส่ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง ในเล่มปริญญานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ดียิ่งขึ้น ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ ต่างๆในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์ทั้งสองท่านและขอกราบขอบพระคุณ เป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ อ. บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์และ ดร. ธีชนันต์ สมานมุลย์ กรรมการ สอบหัวข้อปริญญานิพนธ์ที่ให้ข้อเสนอแนะและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อปริญญานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา สนับสนุนเครื่องมือ ตลอดจนให้ความรู้ในวิชาต่างๆ ที่เป็น ประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณวงศกร สองเมืองแก่น คุณปริณา หนูเกตุ และคุณอธิพงษ์ ไพคำนาม ที่คอยให้ คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยครั้งนี้ตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุน ทำให้ ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กฤติยากร ทูลธรรม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 สีทาร์ทราซีน(Tartrazine).....	3
2.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon).....	4
2.2.1 ชนิดของสารดูดซับและการประยุกต์ใช้.....	4
2.2.2 โครงสร้างถ่านกัมมันต์.....	5
2.3 การปรับสภาพเบื้องต้น.....	7
2.3.1 การคาร์บอนไนซ์ (Carbonization).....	7
2.3.2 การกระตุ้น (Activation).....	7
2.4 การดูดซับ (Adsorption).....	9
2.4.1 ประเภทของการดูดซับ.....	9
2.4.2 กลไกการดูดซับ.....	10
2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ.....	11
2.4.4 กระบวนการถ่ายโอนมวลในระบบดูดซับ.....	12
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13

บทที่ 3	ขั้นตอนการทดลอง	15
3.1	วัสดุและสารเคมีที่ใช้	15
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์.....	15
3.3	วิธีดำเนินการ.....	16
3.3.1	ขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกมะขาม	16
3.3.2	ขั้นตอนการทดสอบค่าเลขไอโอดีน	17
3.3.3	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน(Tartrazine) ด้วยตัวดูดซับจากเปลือกมะขาม.....	19
บทที่ 4	ผลการทดลอง	21
4.1	การศึกษาการทดสอบค่าเลขไอโอดีน.....	22
4.2	ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	23
4.2.1	ผลของขนาดตัวดูดซับ	23
4.2.2	ผลของปริมาณตัวดูดซับ.....	24
4.2.3	ผลของค่า pH	24
4.2.4	ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน(Tartrazine) ด้วยตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด.....	25
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	27
5.1	สรุปผลการทดลอง	27
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ	28
เอกสารอ้างอิง.....		29
ภาคผนวก ก.....		32
ภาคผนวก ข.....		33
ภาคผนวก ค.....		39

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างโมเลกุลสีทาร์ทราซีน3
2.2	แสดงโครงสร้างของถ่านกัมมันต์.....5
2.3	หมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดของถ่านกัมมันต์.....6
2.4	การดูดซับโมเลกุลกรดด้วยถ่านกัมมันต์ที่มีผิวเป็นเบส.....6
2.5	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอนไนซ์.....7
2.6	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วย $ZnCl_2$8
2.7	การเกิดแรงดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลของแก๊สสองโมเลกุลที่มีความแตกต่าง ของสภาพขั้วคู่ จุดดำแสดงอิเล็กตรอนซึ่งมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา.....10
2.8	ขั้นตอนกลไกการดูดซับ 11
2.9	ขั้นตอนกระบวนการถ่ายโอนมวลในระบบดูดซับ 12
4.1	แผนภาพการเตรียมถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 แบบ.....21
4.2	แสดงผลการทดสอบค่าเลขไอโอดีนของตัวดูดซับที่มีวิธีเตรียมแตกต่างกัน..... 22
4.3	ผลของขนาดตัวดูดซับ.....23
4.4	ผลของปริมาณตัวดูดซับ..... 24
4.5	ผลของค่า pH..... 25
4.6	การดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน(Tartrazine) ด้วยตัวดูดซับ AC1, AC2 และ AC3 26
ก-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีทาร์ทราซีนกับค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 426 nm.....32

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของวัตถุดิบบางชนิดที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์	4
2.2 การกระตุ้นทางเคมีของวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่างๆ.....	8
ก-1 ค่าการดูดกลืนแสง(absorbance) ที่ความยาวคลื่น 426 nm.....	32
ข-1 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของขนาดตัวดูดซับ ขนาด150-250 μm ปริมาณ 1.5 g ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6.....	33
ข-2 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของขนาดตัวดูดซับ ขนาด 426-600 μm ปริมาณ 1.5 g ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L Ph 6.....	33
ข-3 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของปริมาณตัวดูดซับที่ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6.....	34
ข-4 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของปริมาณตัวดูดซับที่ 5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6.....	34
ข-5 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของค่าพีเอช ที่ pH 2 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L	35
ข-6 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของค่าพีเอช ที่ pH 3 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L.....	35
ข-7 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของค่าพีเอช ที่ pH 4 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L	36
ข-8 ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับAC1 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6.....	36
ข-9 ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ AC2 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6	37
ข-10 ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับAC3 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6.....	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ถ่านกัมมันต์(Activated Carbon) เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวและมีความพรุนสูง มีความสามารถในการดูดซับสูง และถูกนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการบำบัดน้ำ ดูดกลิ่น ดูดสี ย้อม เป็นต้น วัสดุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ อาทิเช่น พีต ถ่านหิน ลิกไนต์ กะลามะพร้าว รวมไปถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เนื่องจากวัสดุดิบดังกล่าวมีองค์ประกอบคาร์บอนสูง ผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับได้ดีและมีราคาถูก หาได้ง่าย[1] กระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การคาร์บอนไนซ์ (Carbonization) ซึ่งเป็นกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) โดยใช้ความร้อนในสภาวะอับอากาศเพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า ถ่านชาร์[2] ขั้นตอนต่อมาคือการกระตุ้นถ่านกัมมันต์เพื่อทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น แบ่งการกระตุ้นออกเป็น 2 แบบ คือ การกระตุ้นทางเคมี(Chemical activation) จะได้โครงสร้างรูพรุนมาก ใช้อุณหภูมิในการก่อถ่านกัมมันต์ต่ำและใช้เวลาไม่นาน[3] และการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) จะใช้ก๊าซในการออกซิไดซ์เช่น ไออน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ร่วมกับความร้อน วิธีนี้จะใช้เวลานานกว่าและใช้อุณหภูมิสูง

เปลือกมะขามจัดเป็นหนึ่งในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่คงเหลือจากแหล่งอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ซึ่งมีการนำมาใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อยและมักจะถูกทิ้งหรือนำไปเผาทิ้ง[4] จากงานวิจัยการเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกมะขามโดยแช่ในกรดซัลฟิวริก[5] ได้พื้นที่ผิวเท่ากับ $95.2 \text{ m}^2/\text{g}$ ซึ่งพบว่าตัวดูดซับที่ได้มีพื้นที่ผิวค่อนข้างต่ำ งานวิจัยนี้จึงต้องการปรับปรุงตัวดูดซับให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น โดยจากการศึกษางานวิจัยการสังเคราะห์ตัวดูดซับจากไบสับปะรดโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มัล(Hydrothermal) ร่วมกับการกระตุ้นทางเคมี[6] พบว่า ได้พื้นที่ผิวสูงถึง $1681 \text{ m}^2/\text{g}$ ในขณะเดียวกันภาคอุตสาหกรรมได้มีการนำสีมาปรุงแต่งอาหารเพื่อให้อาหารนั้นดูสวยงาม นำมารับประทาน โดยสีทาร์ทราซีน(Tartrazine) เป็นหนึ่งในสีย้อมชนิดเอโซ (Azo dyes) ซึ่งเป็นสีที่ใช้ในเครื่องดื่ม ของหวาน ลูกกวาด ลูกอม เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์อื่นๆ[7] ซึ่งพบว่ามีแค่ 20% ที่สามารถเคลือบติดผิวลูกกวาด ที่เหลืออีก 80% ถูกปล่อยลงสู่น้ำทิ้ง นำมาสู่การเกิดมลภาวะน้ำทิ้งที่มีสีผสมอาหารเจือปนจากโรงงานอุตสาหกรรม

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการปรับปรุงพื้นที่ผิวตัวดูดซับจากเปลือกมะขามสำหรับการดูดซับสีย้อมอาหารทาร์ทราซีน และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีนด้วยตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกมะขาม

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการปรับปรุงพื้นที่ผิวตัวดูดซับจากเปลือกมะขาม
- 1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน (Tartrazine) ด้วยตัวดูดซับจากเปลือกมะขาม

1.3 ขอบเขตโครงการ

- 1.3.1 การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกมะขามแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้
 - 1.3.1.1 เตรียม ถ่านกัมมันต์ AC1 โดย การคาร์บอนไนซ์ต่อดัวยกระตุ้นด้วย KOH
 - 1.3.1.2 เตรียม ถ่านกัมมันต์ AC2 โดย การไฮโดรเทอร์มัลด้วย H_2SO_4 ต่อดัวยกระตุ้นด้วย KOH และการคาร์บอนไนซ์
 - 1.3.1.3 เตรียม ถ่านกัมมันต์ AC3 โดย นำถ่านกัมมันต์ AC2 แห้ด้วย HCl
- 1.3.2 วิเคราะห์คุณลักษณะของตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกมะขาม
 - 1.3.2.1 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยการทดสอบค่าเลขไอโอดีนตามมาตรฐานของ ASTM-D4607-94
- 1.3.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน (Tartrazine)
 - 1.3.3.1 ตัวแปรอิสระ
ขนาดตัวดูดซับ
ปริมาณตัวดูดซับที่ใช้
สภาวะความเป็นกรด-เบส
 - 1.3.3.2 ตัวแปรตาม
การดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน (Tartrazine)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 เป็นการนำวัสดุวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์
- 1.4.2 เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
- 1.4.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงตัวดูดซับในลำดับต่อไป

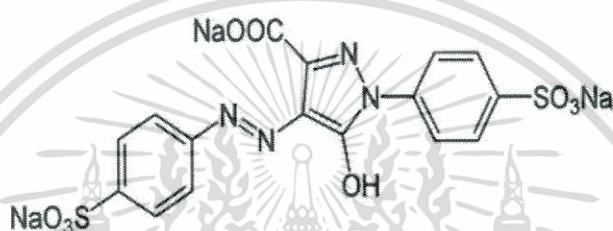
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สีทาร์ทราซีน (Tartrazine)

สีทาร์ทราซีน(Tartrazine) หรือเกลือไตรโซเดียมของ 5-ไฮดรอกซี-1-พารา-ซัลโฟนิล-4-(พารา-ซัลโฟฟีนีลอะโซ) ไพราโซล-3-คาร์บอกซิลิก แอซิด (trisodium salt of 5-hydroxy-1-p-sulfophenyl-4-(p-sulfophenylazo) pyrazol-3-carboxylic acid) [8]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลสีทาร์ทราซีน [9]

มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{16}H_6N_4Na_3O_9S_2$ น้ำหนักโมเลกุล 534.37 มีคุณลักษณะดังนี้ 1. เป็นผงสีเหลืองละลายได้ในน้ำ มีสีอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของน้ำหนัก 2. จำนวนน้ำหนักที่หายไป โดยการอบแห้งที่ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง รวมกับจำนวนคลอไรด์และซัลเฟต คิดคำนวณเป็นโซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมซัลเฟต ตามลำดับ ทั้งหมดต้องไม่เกินร้อยละ 15 ของน้ำหนัก 3. สารที่ไม่ละลายในน้ำ (water-insoluble matter) ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนัก 4. สารที่สกัดได้ด้วยอีเทอร์ (Ether-extractable matter) ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนัก 5. สารหนู (คิดเป็น As) ไม่เกิน 3 มิลลิกรัม ต่อ 1 กิโลกรัม 6. ตะกั่ว (คิดเป็น Pb) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อ 1 กิโลกรัม 7. สีอื่น (subsidiary dyes) ไม่เกินร้อยละ 1 ของน้ำหนัก 8. สารที่เกิดขึ้นระหว่างการสังเคราะห์ (intermediates) ไม่เกินร้อยละ 0.5 ของน้ำหนัก สีทาร์ทราซีน (สีเหลือง) ถ้ารับประทานเกิน 7.5 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม จะจับตามเยื่อบุกระเพาะอาหารและลำไส้ ทำให้การดูดซึมของอาหารบกพร่องไป นอกจากนั้นอันตรายจากสารอื่น ที่ติดตามเนื่องจากการสังเคราะห์สีได้แก่ โลหะหนักต่าง ๆ เช่น โครเมียม แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว สารหนู พลวง เป็นต้น โลหะหนักเหล่านี้จะเป็นอันตรายต่อร่างกายได้ แม้ได้รับเพียงปริมาณเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)[10]

ถ่านกัมมันต์ได้จากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักนำมาผ่านการก่อกัมมันต์ (activation) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว และเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซับ วัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ได้ควรเลือกใช้วัตถุดิบที่มีปริมาณคาร์บอนสูง ปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ และราคาถูกตัวอย่าง วัตถุดิบจากธรรมชาติที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง วัสดุเหลือทิ้งทางชีวภาพเช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ชานอ้อย แกลบข้าว ชี้อ้อย เมล็ดผลไม้ เป็นต้น ดังตารางที่แสดงตัวอย่างของวัตถุดิบชนิดต่างๆที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้ยังพบว่า วัตถุดิบที่มีความหนาแน่นต่ำ และปริมาณสารระเหยสูงเช่น ไม้ ลิกนิน จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นต่ำ และมีขนาดรูพรุนค่อนข้างใหญ่ จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการดูดซับของเหลว สำหรับเปลือกถั่ว นัท กะลามะพร้าว จะมีความหนาแน่นสูงกว่าไม้ จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 2.1 สมบัติของวัตถุดิบบางชนิดที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์[10]

วัตถุดิบ	คาร์บอนคงตัว(%)	สารระเหย(%)	ปริมาณเถ้า(%)	ความหนาแน่น(%)
ไม้เนื้ออ่อน	40-45	55-60	0.3-1.1	0.4-0.5
ไม้เนื้อแข็ง	40-42	55-60	0.3-1.2	0.55-0.80
ลิกนิน	35-40	58-60	-	0.30-0.40
เปลือกถั่ว นัท	40-45	55-60	-	1.4
ลิกไนต์	55-70	25-40	5.6	1.00-1.35
ปิทมินัส	65-80	20-30	2-12	1.25-1.50

โดยปกติแล้วคุณลักษณะที่สำคัญของตัวดูดซับคือ การมีความพรุนสูง การวัดสมบัติทางกายภาพเกี่ยวกับความพรุนจึงมีความสำคัญ โครงสร้างความพรุนของตัวดูดซับสามารถหาได้โดยการใช้วิธีมาตรฐาน โดยมีสมบัติที่สำคัญได้แก่ พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน กระจายของรูพรุน เป็นต้น

2.2.1 ชนิดของสารดูดซับและการประยุกต์ใช้ สามารถแบ่งตามคุณลักษณะได้ดังนี้[11]
แบ่งตามขนาดรูพรุน ประกอบด้วย

- ก. ถ่านกัมมันต์ชนิดรูพรุนขนาดเล็ก(Micropore) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 nm ใช้ในการดูดซับก๊าซหรือสารระเหย
- ข. ถ่านกัมมันต์ชนิดรูพรุนขนาดกลาง(Mesopore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 1.5-200 nm ใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาเชิงตัวเร่ง (Catalytic reaction) ใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น ฟอสฟอรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

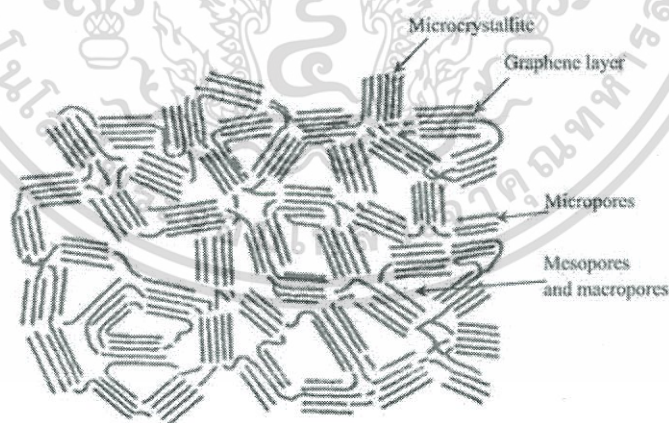
ค. ถ่านกัมมันต์ชนิดรูพรุนขนาดใหญ่(Macropore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 200 nm เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนขนาดเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและการผลิตยา

แบ่งตามลักษณะของรูปร่างดังนี้

- ก. ประเภทผง(Powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านระแกรงร่อนขนาด 150 μm ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผงใช้สำหรับฟอกสีและการผลิตยา
- ข. ประเภทเกร็ด(Pellet) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านระแกรงร่อนขนาด 150 μm ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นเม็ด ซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด ใช้สำหรับทำให้ก๊าซบริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการที่มีปฏิกิริยาในสถานะแก๊ส
- ค. ประเภทขึ้นรูปเป็นแท่ง(Extruded) ใช้ในเบตนิ่งเพื่อการดูดซับสารปนเปื้อนที่ต้องการอัตราการดูดซับสูงๆ

2.2.2 โครงสร้างถ่านกัมมันต์

โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ มีลักษณะเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ กล่าวคือ อะตอมของคาร์บอนเรียงตัวเป็นชั้นๆ แสดงดังรูปที่ 2.2 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์แตกต่างจากแกรไฟต์ โดยโครงสร้างเป็นผลึกเล็กมาก(Microcrystallites) มีองค์ประกอบกันเป็นวงหกเหลี่ยม ด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน เส้นผ่านศูนย์กลางของชั้นคาร์บอนที่สร้างผลึกเล็กๆมีขนาดประมาณ 150 อังสตรอม และ ระยะห่างระหว่างผลึกเล็กๆนี้เท่ากับ 20-50 อังสตรอม

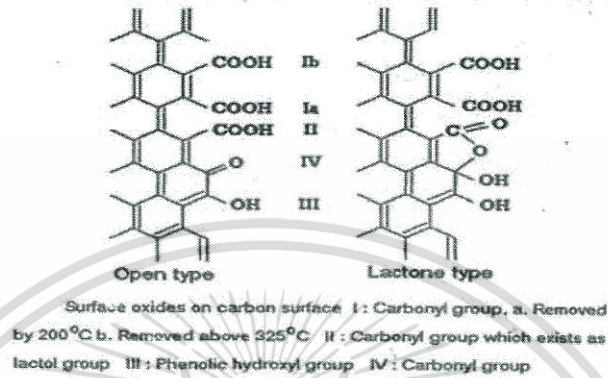


รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของถ่านกัมมันต์[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

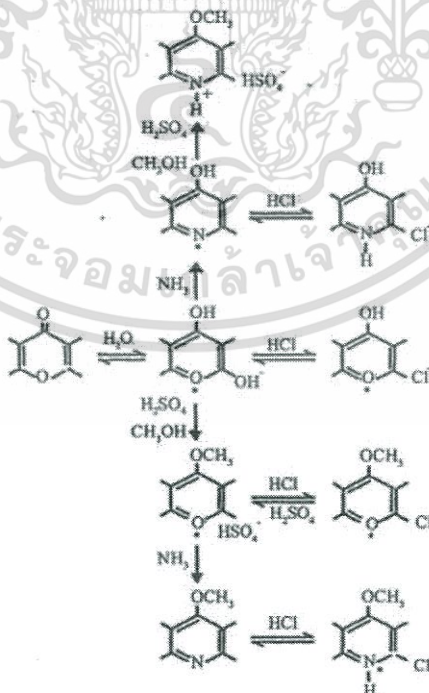
สมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีลักษณะที่ผิวเป็นกรดหรือเบสขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น ในขณะที่สมบัติทางกายภาพแสดงถึงขนาดรูพรุนและพื้นที่ผิว

- ก. ชนิดเป็นกรด มักเกิดในถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นที่อุณหภูมิไม่สูงมาก หมู่ฟังก์ชันที่เกาะบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์จะมีสมบัติคล้ายกรด ได้แก่ คาบอนิล อัลดีไฮด์ คีโตน แอนไฮไดรด์ เป็นต้น ดังแสดงดังรูป 2.3 ผิวถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ดูดซับโมเลกุลเบสได้ดี



รูปที่ 2.3 หมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดของถ่านกัมมันต์[12]

- ข. ชนิดเป็นเบส เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูง หมู่ฟังก์ชันที่เกาะบนผิวถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับโมเลกุลของกรดได้ดี หมู่ฟังก์ชันนี้ได้แก่ ไฮดรอกซิล-คาร์บอนเนต เป็นต้น ตัวอย่างปฏิกิริยาการดูดซับกรดไฮโดรคลอริกของถ่านกัมมันต์แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การดูดซับโมเลกุลกรดด้วยถ่านกัมมันต์ที่มีผิวเป็นเบส[12]

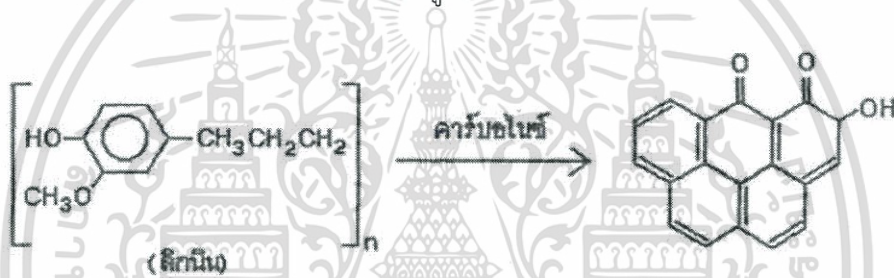
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การปรับสภาพเบื้องต้น

2.3.1 การคาร์บอนไนซ์ (Carbonization)

ขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์เป็นขั้นตอนแรกของการสร้างรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้น ในระหว่างการคาร์บอนไนซ์ ธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหย เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน จะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างในรูปของก๊าซและน้ำมันหาร์ ซึ่งจะได้ถ่านที่มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะเกิดช่องว่างรูพรุนระหว่างผลึก โดยการคาร์บอนไนซ์เป็นการ ไพโรไลซิสในที่อับอากาศ เพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอน โดยโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกของชีวมวลจะกลายเป็นโครงสร้างของถ่าน ส่วนโครงสร้างโมเลกุลขนาดเล็กจะสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำ น้ำมันหาร์ และก๊าซต่างๆ [2]

จากรูปที่ 2.5 เมื่อใช้ความร้อนไล่ความชื้นและสารระเหยต่างๆออกจากวัตถุดิบ ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งสีดำ เรียกว่าถ่านชาร์ ส่วนที่หลุดออกมาคือ ก๊าซและน้ำมันหาร์ กระบวนการคาร์บอนไนซ์จึงเป็นการเพิ่มร้อยละของคาร์บอนให้สูงขึ้น



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอนไนซ์[13]

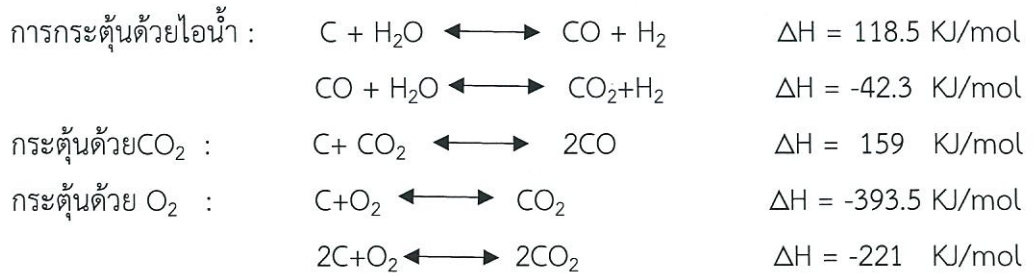
2.3.2 การกระตุ้น (Activation)[11]

การกระตุ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโครงสร้างคาร์บอนด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสาร ปฏิกิริยาที่เกิดระหว่างการกระตุ้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดเนื่องจากวิธีการกระตุ้นทางเคมีมีหลากหลายวิธี และประสิทธิภาพของการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการเตรียมถ่านก่อนการกระตุ้นด้วย โดยทั่วไปการผลิตถ่านกัมมันต์ ด้วยการกระตุ้นมี 2 วิธี ดังนี้

ก. การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation)

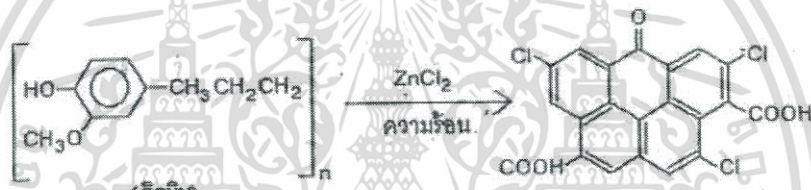
ทำให้ถ่านชาร์พัฒนาความพรุนมากขึ้น โดยการใช้สารออกซิไดซ์ เช่น CO_2 O_2 เป็นต้น โดยใช้อุณหภูมิกระตุ้นในช่วง 800-1000 องศาเซลเซียส แก๊สออกซิไดซ์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับชาร์ที่เหลืออยู่ และอะตอมคาร์บอนในถ่านชาร์เกิดปฏิกิริยา แก๊สซิฟิเคชัน (gasification) ทำให้คาร์บอนถูกนำไปก่อให้เกิดรูพรุนใหม่ และยังทำให้พื้นที่ผิวมีอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข. การกระตุ้นทางเคมี

เป็นการผสมวัตถุดิบกับสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นแล้วนำไปผ่านกระบวนการคาร์บอนเนชันในช่วงอุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส สารเคมีที่ใช้ เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดซัลฟิวริก เป็นต้น กลไกการเกิดรูพรุนโดยวิธีการเตรียมทางเคมียังไม่ทราบชัดเจน จะแตกต่างกันไปตามสารเคมีที่ใช้ โดยคาดว่าสารเคมีจะมีบทบาทในการทำลายโครงสร้างเดิมของวัตถุดิบ ข้อดีของการเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีนี้คืออุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นต่ำกว่าการกระตุ้นทางกายภาพ แต่มีข้อเสียคืออาจมีสารเคมีตกค้างอยู่ในถ่านกัมมันต์



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วย $ZnCl_2$ [12]

นอกจากนี้ยังสามารถรวมขั้นตอนการคาร์บอนเนชันและการกระตุ้นเป็นขั้นตอนเดียวกันโดยเริ่มต้นจากวัตถุดิบที่ไม่ผ่านการคาร์บอนเนชันมาก่อน กระบวนการนี้มีข้อดีคือสามารถกระทำได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติและทำให้เกิดรูพรุนที่ดีกว่า[14]

อย่างไรก็ตามกระบวนการที่ประกอบด้วยการกระตุ้น 2 แบบ (ทางกายภาพและทางเคมี) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมได้ดีและใช้กันอย่างแพร่หลาย[15]

ตารางที่ 2.2 การกระตุ้นทางเคมีของวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่างๆ[11]

สารกระตุ้น	วัตถุดิบทางการเกษตร
$ZnCl_2$	กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง เม็ดอัลมอนต์
KOH	ชังข้าวโพด เปลือกลูกมาคาตาเมีย เม็ดมะกอก เปลือกถั่วลิสง
H_3PO_4	เปลือกถั่วลิสง เม็ดอัลมอนต์ ชังข้าวโพด
K_2CO_3	ชังข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้วิธีปรับสภาพเบื้องต้นสามารถแบ่งออกเป็น 4 วิธี[16]

ก. การปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพ (physical pretreatment)

เป็นการลดขนาดของวัตถุดิบและทำให้เส้นใยเซลลูโลสแตกออกเพื่อเพิ่มพื้นผิว เช่นการบด การให้ความร้อน เป็นต้น

ข. การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี (chemical pretreatment)

การใช้กรด (acid pretreatment) การใช้กรดแก่เช่น กรดไฮโดรคลอริก หรือซัลฟูริก จะทำให้เอมิเซลลูโลสละลายน้ำออกมา การใช้ด่าง(alkaline pretreatment) ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้ลิกนินและเอมิเซลลูโลสละลายออกมา รวมทั้งทำให้เกิดการพองตัว(swelling) เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุดิบ

ค. การปรับสภาพด้วยวิธีเคมี-ฟิสิกส์ (physico-chemical pretreatment)

เป็นการปรับสภาพโดยใช้วิธีการทางกายภาพร่วมกับวิธีการทางเคมี เช่น การบด และตามด้วยการให้ความร้อน จะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ของพืชได้

ง. วิธีการทางกายภาพ (biological pretreatment)

เป็นการใช้จุลินทรีย์หรือเอนไซม์ เพื่อปรับสภาพวัตถุดิบให้ง่ายต่อการสลายเป็นน้ำตาล เช่น การใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นสายยาว ช่วยลดความเป็นผลึก หรือใช้จุลินทรีย์บางชนิดย่อยสลายลิกนินได้ เป็นต้น

2.4 การดูดซับ (Adsorption)[10]

การดูดซับ(Adsorption) บ่งบอกถึงความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือแก๊สให้มาเกาะจับและติดบนผิว ปรากฏการณ์เช่นนี้จัดเป็นการเคลื่อนย้ายสาร(Mass Transfer)จากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็ง โมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ(Adsorbate) ส่วนพื้นผิวที่เป็นที่เกาะจับเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) การเกิดกระบวนการถูกดูดซับ เรียกว่า กระบวนการดูดซับ(Adsorption process)

2.4.1 ประเภทของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์(electrostatic force) การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมลและสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

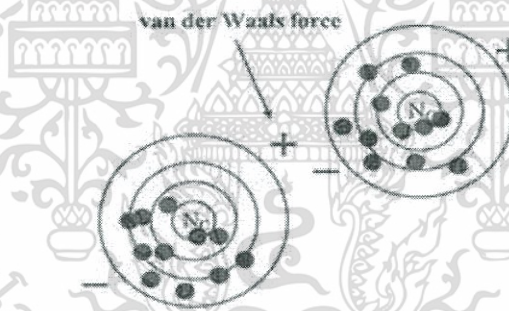
การดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล ส่งผลให้การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับนั้นทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว(monolayer) เท่านั้น

แรงดึงดูดสำหรับการดูดซับทางกายภาพ

แรงดึงดูดที่ทำให้เกิดลักษณะการดูดซับทางกายภาพแบ่งออกเป็น

- ก. แรงแวนเดอร์วาลส์(van der waals force) หรือแรงระหว่างโมเลกุล (intermolecular force)
- ข. แรงไฟฟ้าสถิต(electrostatic or coulombic force) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดเสริมที่เกิดขึ้นในกรณีที่สารดูดซับของแข็ง หรือสารดูดซับเกิดสภาพมีขั้ว(polarity)

แรงดึงดูดโดยแรงแวนเดอร์วาลส์เกิดได้จากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอน(electron cloud) ซึ่งเคลื่อนที่รอบๆนิวเคลียสของอะตอม รูปร่างของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้เกิดสภาพขั้วคู่(electric dipole) ที่ระดับต่างกันระหว่างอะตอม ให้เกิดแรงดึงดูดอย่างอ่อนระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับและสารดูดซับดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเกิดแรงดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลของแก๊สสองโมเลกุลที่มีความแตกต่างของสภาพขั้วคู่ จุดดำแสดงอิเล็กตรอนซึ่งมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา

2.4.2 กลไกการดูดซับ

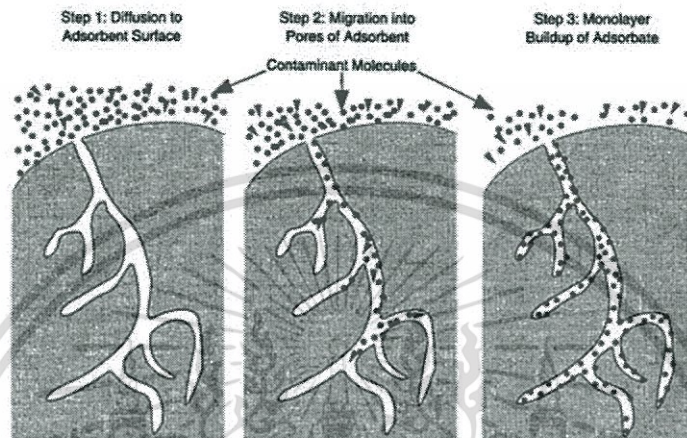
ในทางทฤษฎี เราสามารถแบ่งกลไกการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแพร่ภายนอก(External diffusion) เป็นกลไกที่โมเลกุลของสารที่ต้องการแยก(Adsorbate) จะเข้าถึงสารดูดซับ(Adsorbent) ซึ่งพื้นผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มอยู่ (Liquid film) โดยโมเลกุลดังกล่าวจะแทรกตัวผ่านชั้นของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ และเกี่ยวข้องกับกลไกการแพร่ของโมเลกุล(molecular diffusion) และการถ่ายเทมวลสารแบบพา (convection mass transfer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 การแพร่ภายใน(Internal diffusion) เป็นกลไกที่โมเลกุลของสารที่ต้องการแยกจะแทรกตัวหรือแพร่เข้าถึงช่องว่างภายในสารดูดซับ(pore diffusion)เพื่อให้เกิดการดูดซับ โดยในขั้นนี้จะเกี่ยวข้องกับกลไกการแพร่ของโมเลกุลในระบบของแข็ง (diffusion in solids)

ขั้นตอนที่ 3 ปฏิกริยาพื้นผิว(Surface reaction) เป็นกลไกที่โมเลกุลของสารที่ต้องการแยกติดที่ผิวของสารดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ผ่านมา



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนกลไกการดูดซับ

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and surface of adsorbents) โดยอัตราเร็วในการดูดซับจะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับ ส่วนพื้นที่ผิวของสารดูดซับจะมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการดูดซับโดยพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลได้มากกว่าชนิดที่มีพื้นที่ผิวน้อย

ความสามารถในการละลายและขนาดของสารที่ถูกดูดซับ (Solute solubility and size) กล่าวได้ว่าขนาดของสารหรือโมเลกุลที่อยู่ในสารละลายมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในโพรงของสารดูดซับ โดยการดูดซับเกิดขึ้นได้ดีเมื่อสารถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่าโพรงของสารดูดซับ

อุณหภูมิ (Temperature) ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมียังมีผลต่อความสามารถในการดูดซับโดยเปลี่ยนความสามารถในการละลาย เช่น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิซึ่งปกติจะทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลงอีกทางหนึ่งด้วย

ความปั่นป่วน (turbulence or mixing) ถ้าระบบมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำ(ของไหล) ที่อยู่รอบสารดูดซับจะมีความหนาแน่นและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาผิวของสารดูดซับ ดังนั้น การแพร่ภายในนอกก็เป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วการดูดซับ ในทางตรงข้าม ถ้าความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบางๆทำให้การแพร่ภายในเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วการดูดซับแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพีเอช (pH value) มีอิทธิพลต่อการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกไซด์ไอออนสามารถถูกดูดซับได้ค่อนข้างแข็งแรง เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับไอออนอื่นๆ นอกจากนี้ ค่าพีเอชยังมีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออน และค่าการละลายน้ำของสารต่างๆอีกด้วย

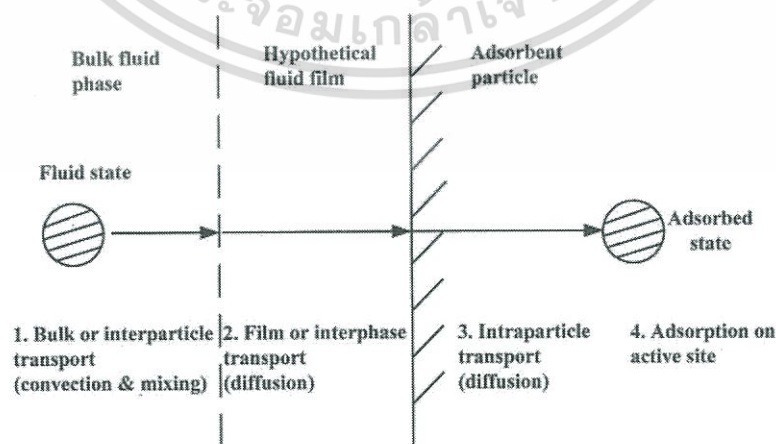
2.4.4 กระบวนการถ่ายโอนมวลในระบบดูดซับ[17]

1. การถ่ายโอนมวลสารภายนอกอนุภาค (interparticle mass transfer) เกี่ยวข้องกับกลไกการพามวล(convection) การแพร่(diffusion) และการผสม(mixing) ของสารถูกดูดซับซึ่งไหลอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาค การแพร่และการผสมของสารถูกดูดซับในช่องไหลเป็นผลมาจากการเกิดเกรเดียนต์ของความเข้มข้นของสารในวัฏภาคของไหล ทำให้เกิดการกระจายตัวหรือการผสมตามแนวแกน(axial dispersion) ซึ่งมีผลทำให้แรงขับเคลื่อนการถ่ายโอนมวลลดลง และยังเกิดการกระจายตัวตามแนวรัศมี(radial dispersion) ทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหล ซึ่งช่วยให้ความเข้มข้นของอนุภาคของไหลที่ตำแหน่งต่างๆในแนวแกนเดียวกันมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

2. การถ่ายโอนมวลระหว่างวัฏภาค (interphase mass transfer) เป็นขั้นตอนต่อจากการถ่ายโอนมวลสารภายนอกอนุภาค โดยเกิดการถ่ายโอนของสารถูกดูดซับไปยังพื้นผิวภายนอกของอนุภาค อาศัยกลไกการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มบางของของไหลที่ติดกับอนุภาคสารดูดซับ

3. การถ่ายโอนมวลสารภายในอนุภาค(intraparticle mass transfer) ขั้นตอนนี้อาศัยกลไกการแพร่ของสารถูกดูดซับจากพื้นผิวด้านนอกอนุภาคลึกเข้าไปภายในรูพรุนของอนุภาค โดยทั่วไปการแพร่มี 2 กลไก ได้แก่ การแพร่ไปตามช่องว่างรูพรุน (pore diffusion) และการแพร่ไปตามพื้นผิวของรูพรุน(surface diffusion)

4. ขั้นตอนการดูดซับ (adsorption) เกิดการดูดซับบนพื้นผิวภายนอกอนุภาค โดยปกติแล้วเกิดได้เร็วกว่าขั้นตอนที่ 2 และ 3 ดังนั้นอัตราเร็วของการดูดซับโดยส่วนใหญ่จะถูกควบคุมโดยความต้านทานการแพร่ภายใน และภายนอกอนุภาคดูดซับ



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนกระบวนการถ่ายโอนมวลในระบบดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jedsada Sodtipinta et al.,2017 [6] ศึกษาขั้นตอนการเตรียม interconnected open-channel carbon nanosheets(นาโนคาร์บอน)และศึกษาค่า Electrochemical capacitors จากไบสัปเปอร์ดซึ่งจัดเป็นหนึ่งในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยอาศัยวิธีการไฮโดรเทอร์มัล (Hydrothermal synthesis) และการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) จากนั้นเผาภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนโดยใช้อาร์กอน จากผลการทดลองถ่านกัมมันต์ที่ได้ นั้นมีปริมาณรูพรุนค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่า การสังเคราะห์นาโนคาร์บอนจากไบสัปเปอร์ดได้ผลค่อนข้างดี ซึ่งจากการวิเคราะห์BETพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยไบสัปเปอร์ดมีพื้นที่ผิว (surface area) เท่ากับ $1681 \text{ m}^2/\text{g}$ และจากการวัดค่าความจุจำเพาะ(high specific capacitance) มีค่าค่อนข้างสูง เท่ากับ 202 Fg^{-1} ที่ 5 mV s^{-1}

นางสาวกรกฎ ตรงการดี นายธีรดิษฐ์ โพธิ์ตันติมงคล และ นางสาวนิตา ศรีอเนก[18] ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาเพื่อใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อม โดยทดสอบวิธีการเตรียมตัวดูดซับ 2 วิธี คือ การปรับสภาพทางกายภาพ และการปรับสภาพทางกายภาพและเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน โดยศึกษาตัวดูดซับ4ชนิด ตัวดูดซับชนิดที่ 1 ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพ ตัวดูดซับที่2,3 และ4 ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15, 20 และ25 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ตามลำดับ จากนั้นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลส เวลาสัมผัส และ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม พบว่า ตัวดูดซับชนิดที่ 2 มีประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุด(ร้อยละ 97.29) จากการศึกษาด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์(FT-IR) และเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป(SEM) พบว่า เกิดกระบวนการดูดซับขึ้นที่หมู่ไฮดรอกซิลของตัวดูดซับเซลลูโลส ดังนั้นตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาสามารถนำไปประยุกต์เพื่อใช้ในการบำบัดสีย้อมชนิดอื่นต่อไป

Pavan Kumar Gautam et al.,2015[19] งานวิจัยนี้ศึกษาความสามารถของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากใบผักเป็ดน้ำ(Alligator weed) เพื่อกำจัดสีทาร์ทราซีน(tartrazine) ออกจากสารละลายในน้ำ โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ พีเอช ความเข้มข้นเริ่มต้นของทาร์ทราซีน เวลาและอุณหภูมิต่อพฤติกรรมดูดซับ โดยทำการทดลองแบบแบทช์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป(SEM), เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์(FT-IR), BET surface area analyzer และการหาประจุที่ผิวเป็นศูนย์ (point of zero charge, pHpzc) จากผลการทดลองพบว่า การดูดซับสีทาร์ทราซีนจะเกิดได้ดีในช่วงสภาวะสารละลายเป็นกรด จากการศึกษาจลพลศาสตร์การดูดซับด้วยโมเดล pseudo-first order, pseudo-second order, และ intraparticle diffusion models พบว่า มีลักษณะของเส้นกราฟใกล้เคียง pseudo-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

second order โดยพิจารณาจากค่า ($R^2 > 0.99$) จากการศึกษาสมดุลการดูดซับ (adsorption equilibrium) โดยการใช้ Langmuir and Freundlich isotherm พบว่า ไอโซเทอมที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับแบบจำลอง Freundlich จากผลการทดลองค่า The Freundlich adsorption capacities (K_F) ที่ได้ เท่ากับ 107.56, 131.67 and 183.4 mg/g ที่อุณหภูมิ 30 40 and 50°C ตามลำดับ จากผลการทดลองค่า ΔG° เป็นลบแสดงให้เห็นว่าการดูดซับสีทาร์ทราซีน บนตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากผักเป็ดน้ำเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเอง (spontaneous) และ จากค่า ΔH° เป็นลบ แสดงให้เห็นว่าเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน

นางสาวจริยา ประชุม นางสาวสุภาภรณ์ ชนะโชติ และ นางสาวอลิษา ขุนอาจ[20] ศึกษาการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงฟางข้าวด้วยกรดซิตริก ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ใช้ ระยะเวลาการสัมผัส อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบตัวดูดซับ ส่วนที่ 2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าพีเอช และระยะเวลาในการดูดซับ และส่วนที่ 3 ศึกษาการดูดซับของฟางข้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก จากผลการวิจัยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงฟางข้าวด้วยกรดซิตริก คือ ใช้ความเข้มข้นของกรดซิตริก 0.4 มิลลิโมลาร์ ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที และอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที พีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ คือ 5 และใช้ระยะเวลาในการดูดซับ 10 นาที ซึ่งที่สภาวะดังกล่าว ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับของฟางข้าวสูงสุด (ร้อยละ 88.99) และพบว่าฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริกให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

3.1. วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, AR grade, Merck KGaA, Germany)
2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH, AR grade, Merck KGaA, Germany)
3. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4 , AR grade, RCI Labscan Limited, Thailand)
4. กรดไนตริก 65% (HNO_3 , AR grade, RCI Labscan Limited, Thailand)
5. กรดไฮโดรคลอริก (HCl, AR grade, RCI Labscan Limited, Thailand)
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพนตะไฮเดรต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, AR grade, Merck KGaA, Germany)
7. ไอโอดีน (I_2 , AR grade, Merck KGaA, Germany)
8. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI, AR grade, Merck KGaA, Germany)
9. โพแทสเซียมไอโอเตต (KIO_3 , AR grade, Merck KGaA, Germany)
10. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3 , AR grade, Merck KGaA, Germany)
11. น้ำกลั่น
12. สีทาร์ทราซีน (Tartrazine, บริษัท อติณพ จำกัด, ประเทศไทย)
13. เปลือกมะขาม

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์

1. บีกเกอร์ขนาด 100, 250, 500 และ 1000 mL (Duran, Germany)
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL และ 500 mL (Duran, Germany)
3. ขวดปรับปริมาตรขนาด 10, 50, 100, 200, 250 และ 1,000 mL (Duran, Germany)
4. ไซริงค์ ฟิวเตอร์ (13mm, Nylon, 0.45 μm)
5. บิวเรตต์ ขนาด 10 mL (Duran, Germany)
6. ปีเปตต์ 10 mL (Duran, Germany)
7. เต้าเผา (Thermo Scientific, THERMOLYNE)
8. เต้าอบ (redLINE, BINDER, Germany)
9. ตระแกรงขนาดรู 150, 250, 425 และ 600 μm
10. เครื่องกวนแม่เหล็ก (Harmony Hotplate Stirrer, HTS -1003)
11. เครื่อง Incubator Shaker (ZHWHY-100B)
13. เครื่องวัด pH (Eu tech instruments, pH 700)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เครื่องซังสาร (CP225D, SARTORIUS AG, Germany)
15. Teflon-lined stainless steel reactor
16. เครื่อง UV-Visible spectrophotometer (PG Instruments, T60 Visible Spectrophotometer)

3.3 วิธีดำเนินการ

3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกมะขาม

3.3.1.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์ (AC1) โดยการคาร์บอนซ์ต่อด้วยกระตุ้นด้วย KOH

ทำคาร์บอนซ์โดยนำเปลือกมะขามเผาแบบอับอากาศภายใต้สภาวะ N_2 atmosphere ที่อุณหภูมิ $400^\circ C$ เป็นเวลา 2 h ใช้อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ $10^\circ C/min$ นำถ่านชาร์ที่ได้แช่ในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อัตราส่วนไปโอซาร์ต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:3 เป็นเวลา 1 h จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่ง pH เข้าใกล้ 7 แล้วนำไปอบเพื่อไล่ความชื้น

3.3.1.2 เตรียมถ่านกัมมันต์ (AC2) โดยการไฮโดรเทอร์มัลด้วย H_2SO_4 ต่อด้วยกระตุ้นด้วย KOH และการคาร์บอนซ์

นำเปลือกมะขามมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด แล้วแช่เปลือกมะขาม 5 g ใน 10%w/v ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 1 h เพื่อกำจัด lignin และ hemi-cellulose จากนั้นล้างเปลือกมะขามด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่ง pH เข้าใกล้ 7 แล้วทำขั้นตอนไฮโดรเทอร์มัล โดยการแช่เปลือกมะขามในกรดซัลฟิวริก 0.5M ปริมาตร 50 ml ใส่ลงใน Teflon-lined stainless steel reactor ให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ $110^\circ C$ เป็นเวลา 24 h จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่ง pH เข้าใกล้ 7 และอบเพื่อไล่ความชื้น แล้วนำไปกระตุ้นโดยแช่ในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ใช้อัตราส่วนไปโอซาร์ต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:3 เป็นเวลา 1 h ล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่ง pH เข้าใกล้ 7 จากนั้นทำคาร์บอนซ์โดยนำเปลือกมะขามเผาแบบอับอากาศภายใต้สภาวะ N_2 atmosphere ที่อุณหภูมิ $400^\circ C$ เป็นเวลา 2 h ใช้อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ $10^\circ C/min$

3.3.1.3 เตรียมถ่านกัมมันต์ (AC3) โดยนำถ่านกัมมันต์ AC2 แช่ด้วย HCl

นำถ่าน AC2 แช่ในกรดไฮโดรคลอริก 0.5 M ด้วยวิธี continuous stirring เป็นเวลา 24 h จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่ง pH เข้าใกล้ 7 แล้วอบเพื่อไล่ความชื้น

3.3.1.4 การคัดขนาดของตัวดูดซับ

เมื่อเตรียมตัวดูดซับเสร็จแล้ว นำไปคัดขนาดโดยการบดให้ละเอียดและคัดขนาดโดยใช้ตระแกรงร่อนให้ได้ขนาด 2 ช่วง ได้แก่ ขนาดช่วง 150-250 และ 425-600 μm ตามลำดับ จะได้ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกมะขาม AC1, AC2 และ AC3

3.3.2 ขั้นตอนการทดสอบค่าเลขไอโอดีน

การตรวจวัดค่าเลขไอโอดีนเป็นวิธีการบอกความสามารถในการดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันของถ่านกัมมันต์ โดยค่าการดูดซับไอโอดีนแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก (0.4-1.0 nm)

โดยวิธีการทดสอบค่าเลขไอโอดีนนั้น เป็นการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM-D4607-94 ซึ่งเป็นค่าการดูดซับปริมาณไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ มีหน่วยเป็น(mg/g) การไตเตรทแบบไอโอดิเมทรี(Iodometry) ใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) เป็นไตเตรนต์

3.3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

เตรียมสารละลาย 5 ชนิด ได้แก่ สารละลายไฮโดรคลอริก(HCl), โซเดียมไธโอซัลเฟต($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), สารละลายไอโอดีน, สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต(KIO_3) และน้ำแข็งสุก ขั้นตอนแรกเตรียมสารละลายไฮโดรคลอริก(HCl) ความเข้มข้น 5 %โดยน้ำหนัก ปริมาตร 100 mL จากนั้นเตรียมโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) โดยผสมโซเดียมไธโอซัลเฟต เพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)หนัก 24.820 g กับน้ำDI ปริมาตร 75 mL เติมโซเดียมคาร์บอเนต(Na_2CO_3) 0.1 g เติมน้ำDI ให้ได้สารละลายปริมาตร 1 L เก็บสารไว้ 4 วันในขวดสีชาก่อนนำมาใช้งาน จากนั้นเตรียมสารละลายไอโอดีน โดยเริ่มจากซิงไอโอดีน (I_2) 12.7 g และซิงโพแทสเซียมไอโอไดด์(KI) 19.1 g ผสมกันในบีกเกอร์ โดยเติมน้ำDI 5 mL แล้วค่อยๆคนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จนกระทั่งมีปริมาตรประมาณ50-60 mL คนทิ้งไว้เป็นเวลา 4 h แล้วนำมาปรับปริมาตรด้วยการเติมน้ำDI ให้ได้สารละลาย 1 L จากนั้นเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต(KIO_3) โดยซิงโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) 4 g นำไปอบที่อุณหภูมิ100 °C เป็นเวลา 2 L แล้วนำโพแทสเซียมไอโอเดต(KIO_3)ละลายในน้ำDI ปรับปริมาตรให้ได้สารละลายปริมาตร 1 L สุดท้ายเตรียมน้ำแข็งสุกโดยการซิงแบริ่งมัน 1 g เติมน้ำกลั่น 10 mL คนให้เข้ากัน เทลงในในน้ำเดือด 100 mL จะได้น้ำแข็งสุกซึ่งวิธีนี้ควรทำสดใหม่ทุกวัน

3.3.2.2 ขั้นตอนการเทียบค่าสารละลายมาตรฐาน

เมื่อเตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนแล้ว ทำการเทียบค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)และ สารละลายไอโอดีนที่ 1 N ดังนี้ การเทียบค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ทำได้โดยปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต(KIO_3) 25 mL และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก(HCl) 5 mL ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมโพแทสเซียมไอโอไดด์(KI) 2 g เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นไทเทรตโดยมีสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)เป็นไตเตรนต์ ไทเทรตจนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อนแล้วจึงหยดน้ำแบริ่ง 3 หยดซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตจนกระทั่งสารละลายไม่มีสี บันทึกค่าสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ที่ใช้ จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_1 = \frac{P \times R}{S_1}$$

โดยที่	N_1	คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) (N)
	P	คือ ปริมาตรโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) (mL)
	R	คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) (N)
	S_1	คือ ปริมาตรโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ใช้ในการเทียบค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) (mL)

ขั้นตอนต่อไปการเทียบค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน โดยการปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 mL ลงในขวดรูปชมพู่ ทำการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน จากนั้นหยดน้ำแบ่ง 3 หยด ไทเทรตต่อจนกระทั่งสารละลายไม่มีสี บันทึกค่าสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ที่ใช้ จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน จากสมการ

$$N_2 = \frac{S_2 \times N_1}{I}$$

โดยที่	N_1	คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) (N)
	N_2	คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (I_2) (N)
	I	คือ ปริมาตรไอโอดีน (I_2) (mL)
	S_2	คือ ปริมาตรโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ใช้ในการเทียบค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (I_2) (mL)

3.3.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการทดสอบค่าเลขไอโอดีน

นำผงถ่านที่สังเคราะห์จากเปลือกมะขาม AC1, AC2 และ AC3 มาทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน โดยขั้นแรกนำผงถ่านใส่ในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 mL เติมน้ำ HCl 5%wt ปริมาตร 10 mL แล้วนำไปต้มจนเดือด เป็นเวลา 30 s เพื่อกำจัดซัลเฟอร์แล้วตั้งทิ้งให้เย็น จากนั้นเติมน้ำไอโอดีน 100 mL เขย่าเป็นเวลา 30 s นำสารละลายมากรองเพื่อแยกผงถ่านออก ปิเปตสารละลายที่ได้จากการกรอง 50 mL ในขวดรูปชมพู่แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายด้วยโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จนได้สีเหลืองอ่อน จากนั้นหยดน้ำแบ่ง 3 หยด ทำการไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรสารละลายด้วยโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ที่ใช้ คำนวณหาค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนักคาร์บอนจากสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (DF \times B \times S)}{M}$$

โดย X/M คือ ค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนัก (mg/g)

M คือ น้ำหนักผงถ่าน (g)

A คือ $N_2 \times 12693.0$

B คือ $N_1 \times 126.93$

S_3 คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (mL)

DF คือ ค่าแฟคเตอร์การเจือจาง (Dilution factor)

3.3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน (Tartrazine) ด้วยตัวดูดซับจากเปลือกมะขาม

3.3.3.1 การทำกราฟมาตรฐานของสารละลายสีทาร์ทราซีน (Tartrazine)

เตรียมสารละลายทาร์ทราซีนความเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 mg/L ตามลำดับ จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 624 nm พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายทาร์ทราซีน (แกนนอน) กับค่าการดูดกลืนแสง (แกนตั้ง)

3.3.5.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

เปรียบเทียบขนาดตัวดูดซับ เปรียบเทียบความสามารถการดูดซับสีทาร์ทราซีนด้วยตัวดูดซับจากเปลือกมะขามขนาด 150-250 และ 425-600 μm เพื่อหาขนาดตัวดูดซับที่เหมาะสม โดยขั้นตอนแรกเตรียมสารละลายทาร์ทราซีนเข้มข้น 20 mg/L ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมตัวดูดซับ 1.5 g นำไปเขย่าด้วยเครื่อง Incubator Shaker (ZHWHY-100B) และเก็บตัวอย่างทุก 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 และ 120 min ตามลำดับ จากนั้นกรองด้วยไซริงค์ พิพเตอร์ แล้วนำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer บันทึกค่าในช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 426 nm และวิเคราะห์ผล ทำเช่นเดิมโดยเปลี่ยนขนาดตัวดูดซับเท่ากับ 425-600 μm

เปรียบเทียบปริมาณตัวดูดซับ เมื่อได้ขนาดตัวดูดซับที่เหมาะสมแล้วขั้นตอนต่อไปศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน ทำการทดลองเช่นเดิมแต่เปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับจาก 1.5 g เป็น 5 g บันทึกค่าและวิเคราะห์ผล

สถานะความเป็นกรด-เบส ทำการศึกษาสถานะความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมต่อความสามารถในการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน โดยเตรียมสารละลายทาร์ทราซีนเข้มข้น 20 mg/L ปรับ pH เท่ากับ 2 แล้วเติมตัวดูดซับ 1.5 g นำไปเขย่าด้วยเครื่อง Incubator Shaker (ZHWHY-100B) และเก็บตัวอย่างทุก 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 และ 120 min ตามลำดับ กรองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยโซริงค์ฟิวเตอร์ นำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer บันทึกค่าที่ช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 426 nm ทำเช่นเดิมโดยเปลี่ยน pH เท่ากับ 3, 4 และ 6 ตามลำดับ

3.3.5.3 การศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยตัวดูดซับที่มีวิธีเตรียมต่างกัน

เตรียมสารละลายทาร์ทราซีนเข้มข้น 20 mg/L ปรับ pH เท่ากับ 2 แล้วเติมตัวดูดซับ AC1 ปริมาณ 1.5 g เขย่าด้วยเครื่อง Incubator Shaker (ZHWHY-100B) และเก็บตัวอย่างทุก 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 และ 120 min ตามลำดับ จากนั้นกรองด้วยโซริงค์ ฟิวเตอร์ นำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer บันทึกค่าที่ช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 426 nm ทำเช่นเดิมโดยเปลี่ยนตัวดูดซับเป็น AC2 และ AC3 ตามลำดับ เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 3 แบบ และวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับโดยคำนวณจากสมการ

$$\% \text{removal} = \left(\frac{C_0 - C}{C_0} \right) \times 100$$

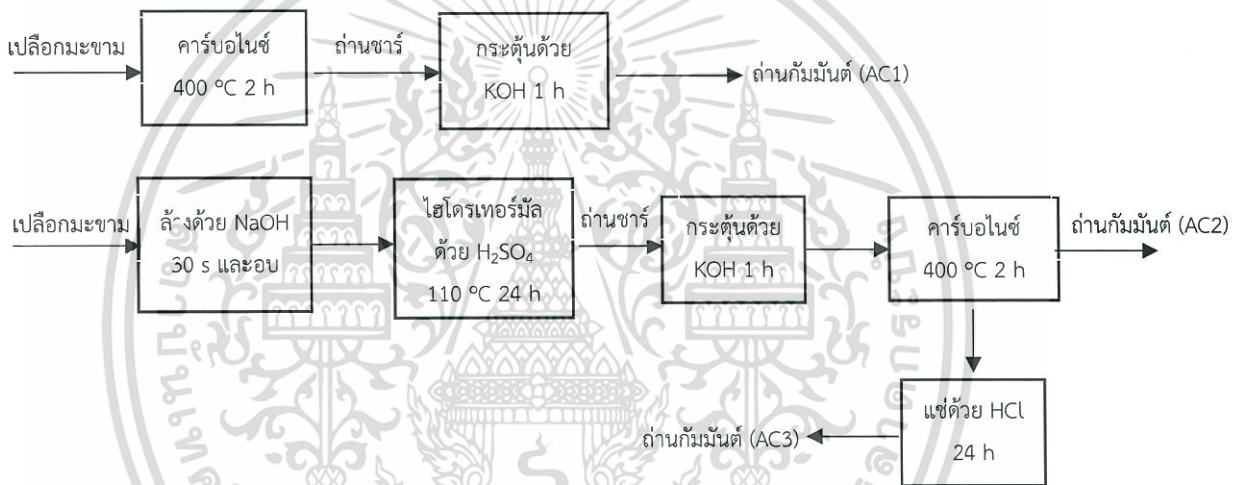
โดย C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายทาร์ทราซีน (mg/L)

C คือ ความเข้มข้นของสารละลายทาร์ทราซีน ณ เวลาใดๆ (mg/L)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกมะขามด้วยวิธีที่ต่างกันเพื่อศึกษาการปรับปรุงพื้นที่ผิวตัวดูดซับจากเปลือกมะขามดังแสดงในรูป 4.1 นำตัวดูดซับที่ได้มาตรวจสอบค่าพื้นที่ผิวด้วยวิธีการทดสอบค่าเลขไอโอดีนตามมาตรฐานของ ASTM-D4607-94 จากนั้นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีทาร์ทราซีนของตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกมะขาม ได้แก่ ขนาดตัวดูดซับ ปริมาณตัวดูดซับ และสภาวะความเป็นกรด-เบส ขั้นตอนสุดท้ายศึกษาความสามารถในการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีนด้วยตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด



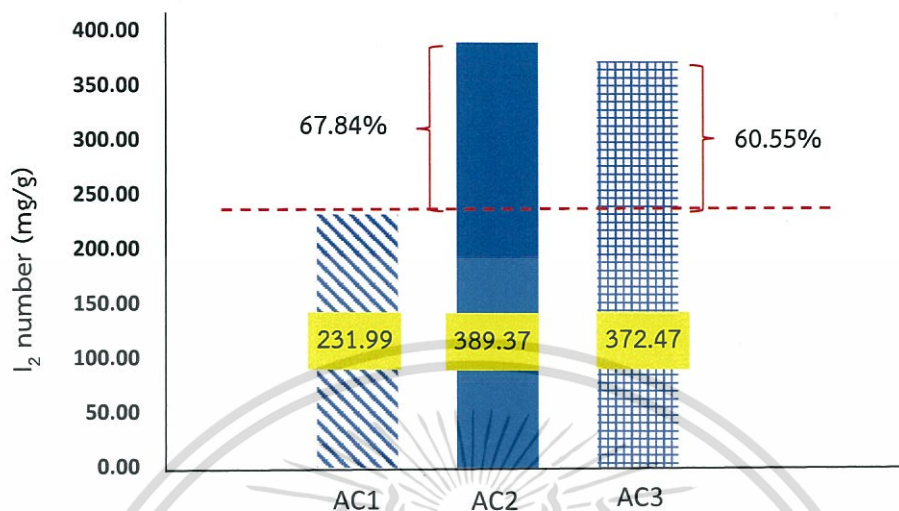
รูปที่ 4.1 แผนภาพการเตรียมถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 แบบ

การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกมะขามแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

1. เตรียม ถ่านกัมมันต์ (AC1) โดย การคาร์บอนไนซ์ต่อด้วยกระตุ้นด้วย KOH
2. เตรียม ถ่านกัมมันต์ (AC2) โดย การไฮโดรเทอร์มัลด้วย H_2SO_4 ต่อด้วยกระตุ้นด้วย KOH และการคาร์บอนไนซ์
3. เตรียม ถ่านกัมมันต์ (AC3) โดย นำถ่านกัมมันต์ AC2 แช่ด้วย HCl

โดยวิธีการเตรียมอย่างละเอียดอธิบายในบทที่ 3

4.1 การศึกษาการทดสอบค่าเลขไอโอดีน



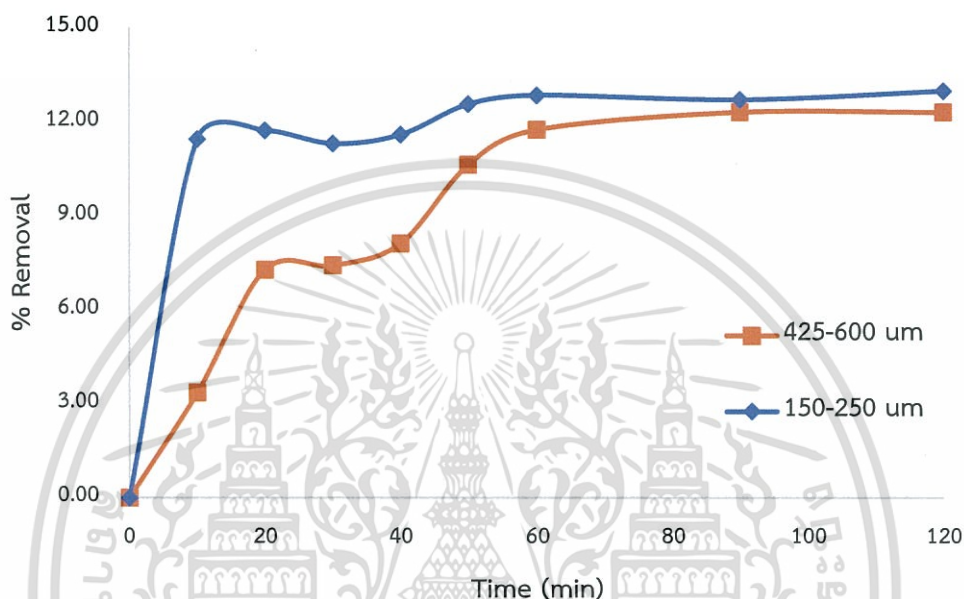
รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบค่าเลขไอโอดีนของตัวดูดซับที่มีวิธีเตรียมแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบค่าเลขไอโอดีนของตัวดูดซับ AC1, AC2 และ AC3 มีค่าเลขไอโอดีนเท่ากับ 231.99, 389.37 และ 372.47 mg/g ตามลำดับ จากผลการทดสอบค่าไอโอดีนพบว่าตัวดูดซับ AC1 มีค่าเลขไอโอดีนต่ำกว่าตัวดูดซับ AC2 และ AC3 แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับมีผลต่อค่าเลขไอโอดีน เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าเลขไอโอดีนเทียบกับตัวดูดซับ AC1 พบว่า ตัวดูดซับ AC2 และ AC3 มีค่าเลขไอโอดีนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 67.84% และ 60.55% ตามลำดับ การตรวจวัดการดูดซับปริมาณไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับโมเลกุลที่มีขนาดไมโคร (0.4-1.0 μm) [21] การเตรียมตัวดูดซับโดยการคาร์บอนไนซ์ต่อด้วยกระตุ้นด้วย KOH (AC1) ให้ค่าไอโอดีนต่ำกว่าการเตรียมตัวดูดซับโดยการไฮโดรเทอร์มัลด้วย H_2SO_4 ต่อด้วยกระตุ้นด้วย KOH (AC2 และ AC3) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของวิธีไฮโดรเทอร์มัล เป็นการกระตุ้นให้เกิดรูพรุนมากขึ้นส่งผลให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [6] การเพิ่มขึ้นของวิธีไฮโดรเทอร์มัลสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากใบสับปะรดสูงถึง $1681 \text{ m}^2/\text{g}$ และจากการเปรียบเทียบค่าเลขไอโอดีนของตัวดูดซับ AC2 และ AC3 พบว่า มีค่าเลขไอโอดีนใกล้เคียงกัน อาจเป็นเพราะการเพิ่มขึ้นของขั้นตอนการแช่ถ่านกัมมันต์ใน HCl ในขั้นตอนสุดท้าย (AC3) ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของรูพรุนขนาดไมโคร เนื่องจากการแช่ใน HCl เป็นขั้นตอนเพื่อช่วยในการกำจัด KOH ที่เหลือตกค้างหลังขั้นตอนการเผาไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 2 h [6]

4.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

4.2.1 ผลของขนาดตัวดูดซับ

เปรียบเทียบความสามารถการดูดซับสีทาร์ทราซีนด้วยตัวดูดซับที่คัดขนาดโดยใช้ตระแกรงร่อนขนาด 150-250 และ 426-600 μm ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g pH เท่ากับ 6 ทดลอง ณ อุณหภูมิห้อง 27 $^{\circ}\text{C}$ แสดงดังรูปที่ 4.3

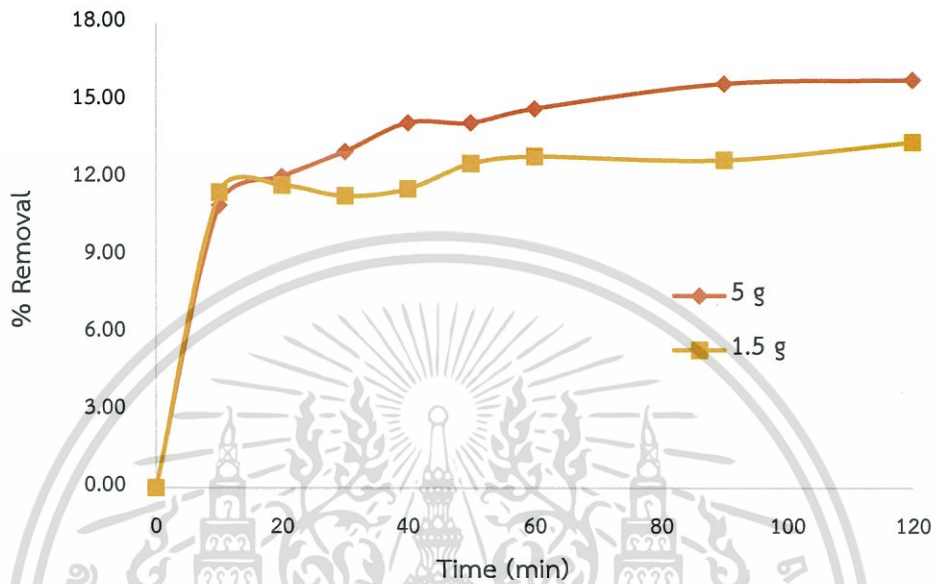


รูปที่ 4.3 ผลของขนาดตัวดูดซับต่อความสามารถการดูดซับสีทาร์ทราซีน ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g pH เท่ากับ 6

จากรูปที่ 4.3 แสดงผลของขนาดตัวดูดซับต่อความสามารถการดูดซับสีทาร์ทราซีน พบว่าที่เวลา 120 นาที ขนาดตัวดูดซับ 150-250 และ 425-600 μm มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 13.41% และ 12.31% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ขนาดตัวดูดซับ 150-250 μm มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงกว่าขนาดตัวดูดซับ 425-600 μm เล็กน้อย เนื่องจากตัวดูดซับขนาดเล็กเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับตัวดูดซับ ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสีทาร์ทราซีนเพิ่มขึ้น โดยตัวดูดซับที่ขนาดเล็กกว่าจะมีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีกว่า[2] และจากรูป 4.3 พบว่า ช่วงเวลา 0-60 นาทีแรก ขนาดตัวดูดซับ 150-250 μm จะมีอัตราการดูดซับเร็วกว่าในช่วงเริ่มต้น ส่งผลให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปเกาะติดบนพื้นผิวตัวดูดซับได้รวดเร็วกว่า[22] ขนาดตัวดูดซับ 150-250 μm จึงมีความสามารถในการดูดซับสีทาร์ทราซีนมากกว่าขนาดตัวดูดซับ 425-600 μm และตัวดูดซับทั้ง 2 ขนาด จะเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 60 นาที

4.2.2 ผลของปริมาณตัวดูดซับ

ศึกษาปริมาณตัวดูดซับ ที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน โดยเปรียบเทียบปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g และ 5 g ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L ขนาดตัวดูดซับ 150-250 μm pH เท่ากับ 6 ทดลอง ณ อุณหภูมิห้อง 27 $^{\circ}\text{C}$ แสดงดังรูปที่ 4.4

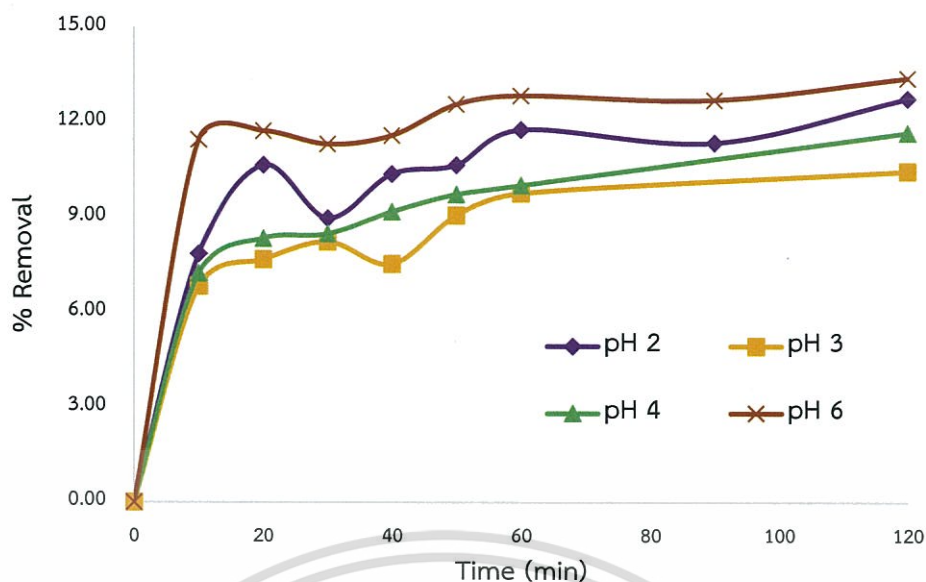


รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณตัวดูดซับต่อความสามารถการดูดซับสีทาร์ทราซีน ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L ขนาดตัวดูดซับ 150-250 μm pH เท่ากับ 6

จากรูปที่ 4.4 แสดงผลของปริมาณตัวดูดซับต่อความสามารถการดูดซับสีทาร์ทราซีน พบว่าที่ 120 นาที ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 และ 5 g มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 13.41% และ 16.10% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณตัวดูดซับ 5 g มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงกว่าปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับตัวดูดซับ เมื่อพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสีทาร์ทราซีนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย[23] และอัตราการดูดซับของทั้งคู่ จะเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 60 นาที

4.2.3 ผลของค่า pH

ศึกษาผลของค่า pH ต่อความสามารถในการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน โดยเปรียบเทียบที่ pH 2, 3, 4 และ 6 ตามลำดับ ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L ขนาดตัวดูดซับ 150-250 μm ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ทดลอง ณ อุณหภูมิห้อง 27 $^{\circ}\text{C}$ แสดงผลดังรูปที่ 4.5

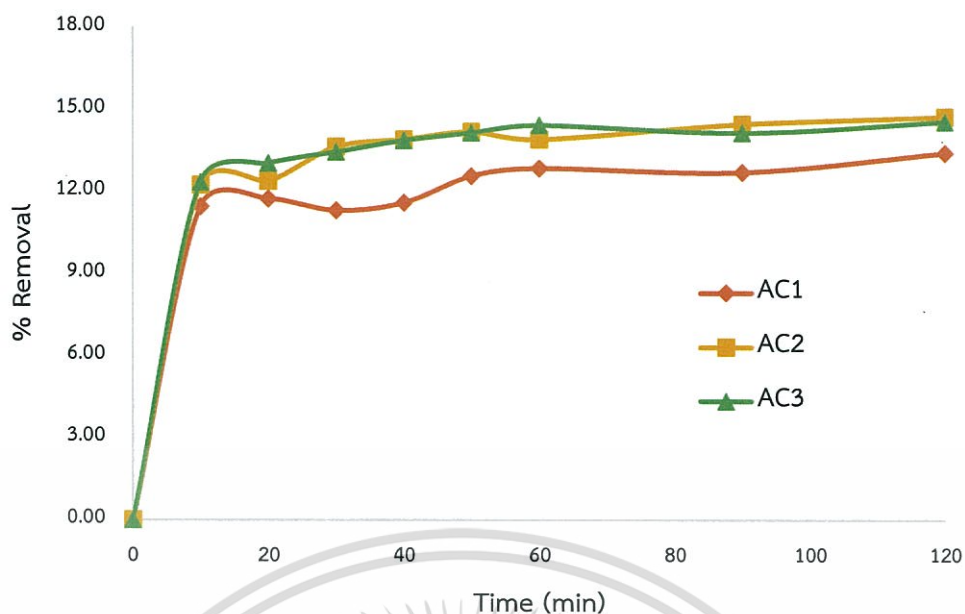


รูปที่ 4.5 ผลของค่า pH ต่อความสามารถการดูดซับสีทาร์ทราซีน ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L ขนาดตัวดูดซับ 150-250 μm ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลของค่า pH ต่อความสามารถการดูดซับสีทาร์ทราซีน งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของค่า pH ในช่วง 2 - 6 ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5 ที่ pH 6 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงกว่าที่ pH 2, 3 และ 4 ณ สภาวะเดียวกัน เนื่องมาจากสีทาร์ทราซีนจัดเป็นกลุ่มสีประเภทแอซิด (Acid dyes) [24] เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นประจุลบ ขณะที่ตัวดูดซับมีคุณสมบัติเป็นเบสที่เป็นประจุบวกจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเพราะเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุลบบนโมเลกุลสีทาร์ทราซีนและประจุบวกบริเวณพื้นผิวตัวดูดซับ[25] จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่าที่สภาวะ pH 6 มีประสิทธิภาพการดูดซับสีทาร์ทราซีนมากที่สุด ที่ช่วงเวลา 120 นาที

4.2.4 ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีน (Tartrazine) ด้วยตัวดูดซับ AC1, AC2 และ AC3

ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีนด้วยตัวดูดซับ AC1, AC2 และ AC3 โดยเปรียบเทียบที่ pH 2, 3, 4 และ 6 ตามลำดับ ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L ขนาดตัวดูดซับ 150-250 μm ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ทดลอง ณ อุณหภูมิห้อง 27 $^{\circ}\text{C}$ แสดงผลดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.6 การดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีนด้วยตัวดูดซับ AC1, AC2 และ AC3 ที่ pH 6 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาดตัวดูดซับ 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L

ความสามารถในการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีนด้วยตัวดูดซับ AC1, AC2 และ AC3 ที่ pH 6 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่า ที่เวลา 120 นาที AC1, AC2 และ AC3 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีทาร์ทราซีนเท่ากับ 13.41%, 14.74% และ 14.56% ตามลำดับ จากผลการทดลอง AC2 และ AC3 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีทาร์ทราซีน สูงกว่า AC1 เล็กน้อย สอดคล้องกับผลการทดสอบค่าเลขไอโอดีน พบว่า AC2 และ AC3 มีค่าเลขไอโอดีนสูงกว่า AC1 (389.37, 372.47 และ 231.99 mg/g ตามลำดับ) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของวิธีไฮโดรเทอร์มัล (AC2 และ AC3) เป็นการกระตุ้นให้เกิดรูพรุนขนาดไมโคร เมื่อพื้นที่ผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ AC2 และ AC3 มีความสามารถในการดูดซับสารละลายสีทาร์ทราซีนมากกว่า AC1 และเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีทาร์ทราซีนของตัวดูดซับ AC1, AC2 และ AC3 จะเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 60 นาที

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงพื้นที่ผิวตัวดูดซับจากเปลือกมะขามโดยเตรียมตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด และทดสอบค่าเลขไอโอดีนของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด พบว่า ตัวดูดซับ AC1, AC2 และ AC3 มีค่าเลขไอโอดีนเท่ากับ 231.99, 389.37 และ 372.47 mg/g ตามลำดับ โดย AC2 และ AC3 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าเลขไอโอดีนเทียบกับตัวดูดซับ AC1 เท่ากับ 67.84% และ 60.55% ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นตอนไฮโดรเทอร์มัลให้กับตัวดูดซับ AC2 และ AC3 มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวตัวดูดซับ และจากการเปรียบเทียบค่าเลขไอโอดีนของตัวดูดซับ AC2 และ AC3 พบว่า ตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิดมีค่าเลขไอโอดีนใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นตอนการแช่ถ่านกัมมันต์ในกรดไฮโดรคลอริกในขั้นตอนการเตรียม AC3 ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของรูพรุนขนาดไมโคร

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่า ขนาดตัวดูดซับมีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีทาร์ทราซีน ตัวดูดซับที่ขนาดเล็กกว่าจะมีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีกว่า โดยขนาดตัวดูดซับ 150-250 μm มีความสามารถในการดูดซับดีกว่าขนาดตัวดูดซับ 425-600 μm ผลของปริมาณตัวดูดซับต่อความสามารถในการดูดซับพบว่า ปริมาณตัวดูดซับ 5 g มีความสามารถในการดูดซับสีทาร์ทราซีนมากกว่าปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับตัวดูดซับส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-เบสของสารละลายสีทาร์ทราซีนที่ pH 2, 3, 4 และ 6 พบว่า ที่ pH 6 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงกว่าที่ pH 2, 3 และ 4 ณ สภาวะเดียวกัน เนื่องมาจากสีทาร์ทราซีนจัดเป็นกลุ่มสีประเภทแอซิด (Acid dyes) เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นประจุลบ ขณะที่ตัวดูดซับมีคุณสมบัติเป็นเบสเป็นประจุบวกจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเพราะเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุบนโมเลกุลสีทาร์ทราซีนและประจุบวกบริเวณพื้นผิวตัวดูดซับ จากการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารละลายสี ทาร์ทราซีนด้วยตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ที่ pH 6 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาดตัวดูดซับ 150-250 μm ความเข้มข้นสีทาร์ทราซีนเริ่มต้น 20 mg/L พบว่าที่เวลา 120 นาที AC1, AC2 และ AC3 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีทาร์ทราซีนเท่ากับ 13.41%, 14.74% และ 14.56% ตามลำดับ โดย AC2 และ AC3 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีทาร์ทราซีน สูงกว่า AC1 เล็กน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

นอกเหนือจากปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ขนาดตัวดูดซับ ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ปริมาณตัวดูดซับ สภาวะความเป็นกรด-เบสของสารละลาย แล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ อาทิเช่นความเข้มข้นของสารละลายและอุณหภูมิที่ควรศึกษาเพิ่มเติม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชีรติตต์ โพธิ์ตันติมงคล “ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยการกระตุ้นทางเคมีเพื่อการประยุกต์ใช้กำจัดสารมลพิษในน้ำ”.วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 (2560).
- [2] รศ.ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์. “ถ่านกัมมันต์ การผลิตและการนำไปใช้”.ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] Mohd Aslam, Masood Alam and Sumbul Rais.(2013). “Detection of Atrazine and Simazine in Ground Water of Delhi using High Performance Liquid Chromatography with Ultraviolet Detector”. Journal of Current World Environment, Vol. 8(2), 323-329 (2013).
- [4] “ เปลือกและเมล็ดมะขามเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ”[Online]. Available: <https://prezi.com/tyngagcy3cn0/presentation>
- [5] T.S. Anirudhan, P.G. Radhakrishnan.(2009). “Kinetic and equilibrium modelling of Cadmium(II) ions sorption onto polymerized tamarind fruit shell”.Journal of desalination 249 (2009) 1298–1307
- [6] Jedsada Soddipinta et,al.(2017). “Interconnected open-channel carbon nanosheets derived from pineapple leaf fiber as a sustainable active material for supercapacitors”. Journal of Industrial Crops & Products 104 (2017) 13–20
- [7] “ สีย้อมผ้า ภัยร้ายใกล้ตัว ” [Online]. Available: <https://prezi.com/tyngagcy3cn0/presentation>
- [8] “ สีส้มอาหารจากธรรมชาติ”. [Online]. Available: http://elib.fda.moph.go.th/library/default.asp?page2=subdetail&id_L1=27&id_L2=15565&id_L3=451
- [9] Sushmita Banerjee , M.C. Chattopadhyaya.(2013). “Adsorption characteristics for the removal of a toxic dye, tartrazine from aqueous solutions by a low cost agricultural by-product”. Journal of Chemistry (2017) 10, S1629–S1638

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] ศ.ดร.ชัยยศ ตั้งสถิตกุลชัย.2554. “กระบวนการดูดซับสาร(โครงการตำราเฉลิมพระเกียรติ 84 พรรษา พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ; ลำดับ 6)” .นครราชสีมา: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[11] รศ.ดร.ธนาพงษ์ วิทิตสานต์ “ถ่านกัมมันต์ การผลิตและการนำไปใช้”.ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[12] Meensirinunt, K., Vitidsant, T., “Deposition of Zinc in activated carbon from anthracite and palm-oil shell activated zinc chloride”. Proceed the 6th World Congress Chemical Engineering Conference, at Melburne in Australia 23-27 September 2001.

[13] Phungtum, P., Vitidsant, T., “Hydrocracking Polypropylene in High Pressure Hydrogen using Iron on activated carbon prepared from plam oil shell”. Proceeding the 11th National Chemical Engineering Conference, Nakornrachasrima, Thailand, 2001.

[14] Prasert Reubroycharoen, Tharapong Vitidsant, Yong Liu, Guohui Yang and Noritatsu Tsubaki, “Highly active Fischer-Tropsch synthesis Co/SiO₂ catalysts prepared from microwave irradiation”. Catalysis Communications, Volume 8, Issue 3, March 2007, Pages 50-59

[15] Yi Zhang, Satoshi Nagamori, Sukamon Hinchiranan, Tharapong Vitidsant, and Noritatsu Tsubaki, “Promotional effect of Al₂O₃ addition to Co/SiO₂ Catalysts for Fischer-Tropsch Synthesis”. Energy Fuel, 20(2), 417-421, 2006.

[16] สุภาวดี ผลประเสริฐ “การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล”. ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนราชวิถี เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400.

[17] ร.ดร. พิสุทธิ เพียรมนกุล.2557. “หน่วยกระบวนการสำหรับวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม”. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[18] กรกฎ ตรงการดี , ธีรดิษฐ์ โพธิ์ตันติมงคล และ วนิตา ศรีอเนก.2547. “การเตรียมตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาเพื่อใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อม”. ปริญญาโทวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [19] Pavan Kumar Gautam et al.,2015. “Preparation of activated carbon from Alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*) and its application for tartrazine removal: Isotherm, kinetics and spectroscopic analysis”. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 3 (2015) 2560–2568.
- [20] จริยา ประชุม, สุภาภรณ์ ชนะโชติ และ อลิษา ขุนอาจ.2556. “การดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก”. *ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.
- [21] Henning, K.D., and Schäfer, S. 2007, June 25. “Impregnated Activated Carbon for Environmental Protection.” *CPL Carbon Link* [Online serial]. Available: <http://www.activated-carbon.com/enviro.html>
- [22] วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ.2558. “ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ”. *ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิตคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร*.
- [23] Alok Mittal , Lisha Kurup, Jyoti Mittal. 2007, “Freundlich and Langmuir adsorption isotherms and kinetics for the removal of Tartrazine from aqueous solutions using hen feathers”. *Journal of Hazardous Materials* 146 (2007) 243–248
- [24] นิสافر มุหะมัด และคณะ.2559. “การดูดซับสีย้อมด้วยกากชา”. *คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา*.
- [25] กนกวรรณ ศรีม่วง และ ดร.กาญญา ครอบธรรมชาติ.2560. “ประสิทธิภาพการดูดซับสีจากน้ำเสียย้อมไหมโดยใช้เถ้าบิทูมินัสเคลือบเฟอร์ริกคลอไรด์”. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

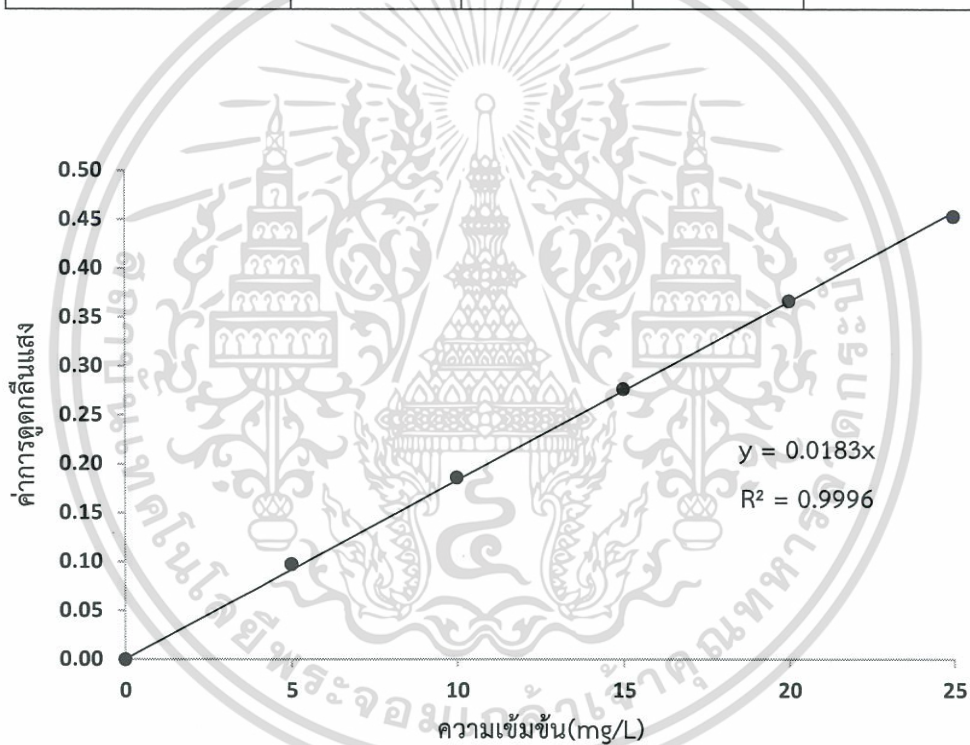
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก.1 การสร้างกราฟเทียบมาตรฐาน (Calibration curve)

ตาราง ก.1 ค่าการดูดกลืนแสง(absorbance) ที่ความยาวคลื่น 426 nm

ความเข้มข้น (mg/L)	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
5	0.101	0.097	0.094	0.097
10	0.182	0.185	0.191	0.186
15	0.277	0.278	0.274	0.276
20	0.369	0.366	0.365	0.367
25	0.450	0.454	0.456	0.453



รูปที่ ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีทาร์ทราซีนกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 426 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลอง

ข.1 การศึกษาผลของขนาดตัวดูดซับ

ตารางข.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของขนาดตัวดูดซับ ขนาด 150-250 μm ปริมาณ 1.5 g ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6

ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	เวลา (min)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ(mg/L)	%removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
19.563	0	0.361	0.355	0.358	19.563	0.0000
19.563	10	0.316	0.318	0.317	17.322	11.4525
19.563	20	0.313	0.319	0.316	17.268	11.7318
19.563	30	0.320	0.315	0.318	17.350	11.3128
19.563	40	0.311	0.322	0.317	17.295	11.5922
19.563	50	0.315	0.311	0.313	17.104	12.5698
19.563	60	0.316	0.308	0.312	17.049	12.8492
19.563	90	0.313	0.312	0.313	17.077	12.7095
19.563	120	0.307	0.313	0.310	16.940	13.4078

ตารางข.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของขนาดตัวดูดซับ ขนาด 426-600 μm ปริมาณ 1.5 g ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6

ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	เวลา (min)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ (mg/L)	%removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
19.563	0	0.358	0.357	0.358	19.536	0.0025
19.563	10	0.343	0.348	0.346	18.880	3.3590
19.563	20	0.333	0.330	0.332	18.115	7.2750
19.563	30	0.335	0.332	0.334	18.224	6.7156
19.563	40	0.328	0.331	0.330	18.005	7.8344
19.563	50	0.319	0.320	0.320	17.459	10.6316
19.563	60	0.315	0.316	0.316	17.240	11.7504

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19.563	90	0.313	0.314	0.314	17.131	12.3099
19.563	120	0.307	0.32	0.314	17.131	12.3099

ข.2 การศึกษาปริมาณตัวดูดซับ

ตารางข.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของปริมาณตัวดูดซับที่ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6

ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	เวลา (min)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ(mg/L)	%removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
19.563	0	0.361	0.355	0.358	19.563	0.0000
19.563	10	0.316	0.318	0.317	17.322	11.4525
19.563	20	0.313	0.319	0.316	17.268	11.7318
19.563	30	0.32	0.315	0.318	17.350	11.3128
19.563	40	0.311	0.322	0.317	17.295	11.5922
19.563	50	0.315	0.311	0.313	17.104	12.5698
19.563	60	0.316	0.308	0.312	17.049	12.8492
19.563	90	0.313	0.312	0.313	17.077	12.7095
19.563	120	0.307	0.313	0.310	16.940	13.4078

ตารางข.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของปริมาณตัวดูดซับที่ 5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6

ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	เวลา (min)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ(mg/L)	%removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
19.699	0	0.360	0.361	0.361	19.699	0.0000
19.699	10	0.316	0.318	0.317	17.322	12.0666
19.699	20	0.313	0.312	0.313	17.077	13.3148
19.699	30	0.315	0.312	0.314	17.131	13.0374
19.699	40	0.311	0.309	0.310	16.940	14.0083
19.699	50	0.306	0.308	0.307	16.776	14.8405
19.699	60	0.304	0.305	0.305	16.639	15.5340

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19.699	90	0.305	0.303	0.304	16.612	15.6727
19.699	120	0.303	0.302	0.303	16.530	16.0888

ข.3 การศึกษาผลของค่า pH

ตารางข.5 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของค่า pH ที่ pH 2 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L

ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	เวลา (min)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ(mg/L)	%removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
19.510	0	0.356	0.358	0.357	19.508	0.0092
19.510	10	0.324	0.334	0.329	17.978	7.8517
19.510	20	0.318	0.320	0.319	17.432	10.6525
19.510	30	0.326	0.324	0.325	17.760	8.9720
19.510	40	0.324	0.316	0.320	17.486	10.3724
19.510	50	0.320	0.318	0.319	17.432	10.6525
19.510	60	0.313	0.317	0.315	17.213	11.7729
19.510	90	0.318	0.315	0.317	17.295	11.3527
19.510	120	0.310	0.313	0.312	17.022	12.7532

ตารางข.6 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของค่า pH ที่ pH 3 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L

ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	เวลา (min)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ(mg/L)	%removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
19.590	0	0.360	0.357	0.359	19.590	0.0002
19.590	10	0.333	0.335	0.334	18.251	6.8342
19.590	20	0.330	0.332	0.331	18.087	7.6710
19.590	30	0.328	0.330	0.329	17.978	8.2289
19.590	40	0.332	0.331	0.332	18.115	7.5316
19.590	50	0.327	0.325	0.326	17.814	9.0657

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19.590	60	0.325	0.322	0.324	17.678	9.7631
19.590	120	0.322	0.320	0.321	17.541	10.4604

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของค่า pH ที่ pH 4 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L

ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	เวลา (min)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ(mg/L)	%removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
19.645	0	0.360	0.359	0.360	19.645	0.0000
19.645	10	0.335	0.332	0.334	18.224	7.2322
19.645	20	0.330	0.329	0.330	18.005	8.3449
19.645	30	0.328	0.330	0.329	17.978	8.4840
19.645	40	0.328	0.325	0.327	17.842	9.1794
19.645	50	0.324	0.325	0.325	17.732	9.7357
19.645	60	0.324	0.323	0.324	17.678	10.0139
19.645	120	0.318	0.317	0.318	17.350	11.6829

ข.4 ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารละลายสีตาร์ตราซีน(Tartrazine) ด้วยตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด

ตารางข.8 ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ AC1 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6

ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	เวลา (min)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ(mg/L)	%removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
19.510	0	0.356	0.358	0.357	19.508	0.0092
19.510	10	0.324	0.334	0.329	17.978	7.8517
19.510	20	0.318	0.320	0.319	17.432	10.6525
19.510	30	0.326	0.324	0.325	17.760	8.9720
19.510	40	0.324	0.316	0.320	17.486	10.3724
19.510	50	0.320	0.318	0.319	17.432	10.6525

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19.510	60	0.313	0.317	0.315	17.213	11.7729
19.510	90	0.318	0.315	0.317	17.295	11.3527
19.510	120	0.310	0.313	0.312	17.022	12.7532

ตารางข.9 ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ AC2 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6

ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	เวลา (min)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ(mg/L)	%removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
19.6448	0	0.359	0.360	0.360	19.645	0.0000
19.6448	10	0.315	0.316	0.316	17.240	12.2392
19.6448	20	0.315	0.315	0.315	17.213	12.3783
19.6448	30	0.311	0.310	0.311	16.967	13.6300
19.6448	40	0.310	0.309	0.310	16.913	13.9082
19.6448	50	0.308	0.309	0.309	16.858	14.1864
19.6448	60	0.310	0.309	0.310	16.913	13.9082
19.6448	90	0.306	0.309	0.308	16.803	14.4645
19.6448	120	0.308	0.305	0.307	16.749	14.7427

ตารางข.10 ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับAC3 ปริมาณตัวดูดซับ 1.5 g ขนาด 150-250 μm ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 mg/L pH 6

ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	เวลา (min)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ(mg/L)	%removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
19.6995	0	0.361	0.360	0.361	19.699	0.0000
19.6995	10	0.317	0.315	0.316	17.268	12.3440
19.6995	20	0.313	0.314	0.314	17.131	13.0374
19.6995	30	0.313	0.311	0.312	17.049	13.4535
19.6995	40	0.311	0.310	0.311	16.967	13.8696
19.6995	50	0.310	0.309	0.310	16.913	14.1470

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19.6995	60	0.308	0.309	0.309	16.858	14.4244
19.6995	90	0.310	0.309	0.310	16.913	14.1470
19.6995	120	0.309	0.307	0.308	16.831	14.5631



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การทดสอบค่าเลขไอโอดีน

ค.1 การคำนวณการเทียบค่าสารละลายมาตรฐาน

การเทียบค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

$$\text{ปริมาตรโพแทสเซียมไอโอเดต (P)} = 25 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอโอเดต (R)} = 0.1 \text{ นอร์มอล}$$

$$\text{ปริมาตรโซเดียมไธโอซัลเฟต (S}_1\text{)} = 24.4 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (N}_1\text{)} = \frac{P \times R}{S_1} = \frac{25 \times 0.1}{24.4} = 0.10246 \text{ นอร์มอล}$$

การเทียบค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

$$\text{ปริมาตรโซเดียมไธโอซัลเฟต (S}_2\text{)} = 23.6 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (N}_1\text{)} = 0.10246 \text{ นอร์มอล}$$

$$\text{ปริมาตรไอโอดีน (I)} = 25 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (N}_2\text{)} = \frac{S_2 \times N_1}{I} = \frac{23.6 \times 0.10246}{25} = 0.09672 \text{ นอร์มอล}$$

ง.2 การคำนวณหาค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนักคาร์บอน

ตัวอย่างที่1: AC1

$$\text{น้ำหนักผงถ่าน (M)} = 1.00624 \text{ กรัม}$$

$$A = N_2 \times 12693.0 = 1227.6836$$

$$B = N_1 \times 126.93 = 13.0051$$

$$\text{ค่าแฟคเตอร์การเจือจาง (DE)} = 2.2$$

$$\text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (S}_3\text{) ครั้งที่1} = 34.6 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (S}_3\text{) ครั้งที่2} = 34.9 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (S}_3\text{) เฉลี่ย} = \frac{34.6+34.9}{2} = 34.75 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนัก } \left(\frac{X}{M}\right) &= \frac{A - (DE \times B \times S)}{M} \\ &= \frac{1227.6836 - (2.2 \times 13.0051 \times 34.75)}{1.00624} \\ &= 231.99 \text{ มิลลิกรัม/กรัม} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2: AC2

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักผงถ่าน (M)} &= 1.00736 \text{ กรัม} \\
 A &= N_2 \times 12693.0 = 1227.6836 \\
 B &= N_1 \times 126.93 = 13.0051 \\
 \text{ค่าแฟคเตอร์การเจือจาง (DF)} &= 2.2 \\
 \text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (S}_3\text{) ครั้งที่1} &= 29.1 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (S}_3\text{) ครั้งที่2} &= 29.3 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (S}_3\text{) เฉลี่ย} &= \frac{29.1+29.3}{2} = 29.23 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนัก } \left(\frac{X}{M}\right) &= \frac{A - (DE \times B \times S)}{M} \\
 &= \frac{1227.6836 - (2.2 \times 13.0051 \times 29.23)}{1.00736} \\
 &= 389.37 \text{ มิลลิกรัม/กรัม}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 3: AC3

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักผงถ่าน (M)} &= 1.00923 \text{ กรัม} \\
 A &= N_2 \times 12693.0 = 1227.6836 \\
 B &= N_1 \times 126.93 = 13.0051 \\
 \text{ค่าแฟคเตอร์การเจือจาง (DF)} &= 2.2 \\
 \text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (S}_3\text{) ครั้งที่1} &= 29.8 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (S}_3\text{) ครั้งที่2} &= 29.6 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (S}_3\text{) เฉลี่ย} &= \frac{29.8+29.6}{2} = 29.7 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนัก } \left(\frac{X}{M}\right) &= \frac{A - (DE \times B \times S)}{M} \\
 &= \frac{1227.6836 - (2.2 \times 13.0051 \times 29.7)}{1.00923} \\
 &= 374.47 \text{ มิลลิกรัม/กรัม}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้