

การผลิตถ่านกัมมันต์จากยุงมะขามสำหรับดูดซับแอมโมเนีย
Production of Activated Carbon from Tamarind pulp
for ammonia Adsorption



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การผลิตถ่านกัมมันต์จากยุงมะขามสำหรับดูดซับแอมโมเนีย
Production of Activated Carbon from Tamarind pulp
for ammonia Adsorption

จัดทำโดย
ไชยวัฒน์ ญ ล้ำปาง รหัสนักศึกษา 58080163

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก


.....
(ดร. พงษ์เสรีฐ ศรีพรหม)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

14 / มี. ย. / 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การผลิตถ่านกัมมันต์จากยุงมะขามสำหรับดูดซับแอมโมเนีย
ชื่อนักศึกษา	ไชยวัฒน์ ณ ลำปาง รหัสนักศึกษา 58080163
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม

บทคัดย่อ

ปัญหาพิเศษนี้ ได้ศึกษาการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากยุงมะขามด้วยวิธีการกระตุ้นต่างๆ ได้แก่ การกระตุ้นด้วย NaOH (ACTP1), กระตุ้นด้วย H₂SO₄ (ACTP2), กระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลรวมกับ H₂SO₄ (ACTP3) และ กระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลด้วย H₂SO₄ รวมกับ NaOH (ACTP4) ทำการศึกษาลักษณะรูพรุนและพื้นผิวด้วยการดูดซับไอโอดีนและหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวดูดซับด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) จากนั้นทำการศึกษาปัจจัยและสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนียด้วย Response Surface Methodology โดยการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา 3 ปัจจัย 3 ระดับ ได้แก่ ระยะเวลา (X₁: 10-180 นาที) ปริมาณถ่านที่ใช้ (X₂: 0.5-2 กรัม/100mL) และ pH (X₃: 2-11) พบว่า วิธี กระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลรวมกับ H₂SO₄ (ACTP3) ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุด ซึ่งแสดงว่ามีพื้นที่ผิวมากที่สุด จากการศึกษาถึงสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนียสถานะที่ทำให้ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแอมโมเนียได้สูงที่สุด คือที่ เวลา 95 นาที ปริมาณถ่านที่ใช้ 2.0 กรัม/100mL และ pH 11 โดยให้ร้อยละการกำจัดแอมโมเนียสูงที่สุดถึง 46.24 หรือค่าการดูดซับ 2.56 mg/g

คำสำคัญ: ยุงมะขาม, ถ่านกัมมันต์, ไฮโดรเทอร์มอล, แอมโมเนีย, การดูดซับ

Special problem title	Production of Activated Carbon from Tamarind pulp for ammonia Adsorption
Student name	Chaiyawat na Lampang Student ID 58080163
Program	Bachelor of Science in Food Process Engineering
Year	2019
Advisor	Dr.Pongsert Sriprom

ABSTRACT

This special problem was studied about ammonia adsorption using activated Carbon from tamarind pulp. The activated carbon was prepared by different activated method such as activated by NaOH (ACTP1), activated by H₂SO₄ (ACTP2), Hydrothermal and activated by H₂SO₄ (ACTP3) and Hydrothermal with H₂SO₄ and activated by NaOH (ACTP4). The functional group on activated carbon were characterized by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) respectively. The experimental was designed by Box-Behnken Designed (BBD) with 3 factors at 3 levels such as adsorption time (X₁: 10-180 min.), activated carbon dosage (X₂: 0.5-2 g/100 mL) and pH (X₃: 2-11). The optimal condition was determined by Response Surface Methodology (RSM). The results shown that Hydrothermal and activated by H₂SO₄ (ACTP3) was the highest iodine number, which indicating that activated carbon prepared by ACTP3 method has higher surface area. The optimum condition of maximum ammonia adsorption was pH 11, 2.0 g/100mL of activated carbon dosage and 95 min for contact time with 46.24% of Ammonia removal which was 2.56mg/g of adsorption capacity.

Keywords: Tamarind pulp, Activated Carbon, Hydrothermal, Ammonia, Adsorption

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษเรื่องการผลิตถ่านกัมมันต์จากยู้งมะขามสำหรับดูดซับแอมโมเนีย จะสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีไม่ได้ หากไม่ได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายๆ ท่าน ข้าพเจ้าขอขอบคุณบุคคลสำคัญที่จะเอ่ยนามดังต่อไปนี้ เป็นอย่างยิ่งที่ช่วยให้คำแนะนำ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนช่วยให้การทำปัญหาพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ซึ่งได้แก่ บิดามารดา ที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอด ดร.พงษ์เสรีฐ์ ศรีพรหม อาจารย์ที่ปรึกษา และผศ.ดร.พรสวรรค์ อังศวแสงรัตน์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ บริษัท ปิ่นเพชร จำกัด ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องของวัสดุดิบและอื่นๆ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคุณอาจารย์ในสาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหารที่อบรมสั่งสอน ให้คำปรึกษาต่าง ๆ ยักรวมถึงเพื่อน ๆ สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหารที่ช่วยเหลือ และให้กำลังใจกันในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

สำหรับคุณงามความดีที่เกิดจากปัญหาพิเศษครั้งนี้ข้าพเจ้าขอมอบให้กับ บิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ไชยวัฒน์ ณ ลำปาง
25 พฤษภาคม 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ยุงมะขาม	4
2.2 แอมโมเนีย (NH_3)	5
2.3 ถ่านกัมมันต์	6
2.4 การนำไปใช้ประโยชน์	6
2.5 การกระตุ้น (Activation)	6
2.6 ทฤษฎีการดูดซับ	7
2.7 การดูดซับ (Adsorption)	8
2.8 คุณสมบัติสำคัญ (Key Properties)	8
2.9 การวิเคราะห์คุณสมบัติ	9
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	13
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี	13
3.2 อุปกรณ์	14
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	14
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	22
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate Analysis)	22
4.2 การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์	23
4.3 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากยู้งมะขาม	24
4.4 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนีย	25
4.5 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ	34
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก	39
ภาคผนวก ก	40
ภาคผนวก ข	41
ประวัติผู้เขียน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ปัจจัยและระดับของแต่ละตัวแปรอิสระที่ใช้ในการทดลอง	20
3.2	การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ในการดูดซับแอมโมเนีย	21
4.1	ผลการวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณของยุ่งมะขาม	22
4.2	ผลการทดสอบเลขค่าไอโอดีนของตัวดูดซับด้วยวิธีที่แตกต่างกัน	23
4.3	การออกแบบการทดลองและผลการทดลองที่สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนีย	26
4.4	การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย	27
4.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกำจัดแอมโมเนีย	28
4.6	สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับแอมโมเนีย	33
4.7	การยืนยันสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับแอมโมเนีย	33
4.8	การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับ	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 มะขาม	4
2.2 โครงสร้างโมเลกุลของแอมโมเนีย	5
2.3 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และทางเคมี (Chemisorption)	8
2.4 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) บนซีโอไลต์ (Zeolite)	9
2.5 ลักษณะการทำงานของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)	9
2.6 แผนผังแสดงส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis spectrophotometer แบบลำแสงเดี่ยว	11
2.7 แผนผังแสดงส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis spectrophotometer แบบลำแสงคู่	11
3.1 ชั่งน้ำหนักเปียก	14
3.2 ล้างยุงมะขาม	14
3.3 แตากแดด	15
3.4 นำไปอบให้แห้ง	15
3.5 วิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์จากยุงมะขาม	18
4.1 ผล FT-IR ของถ่านกัมมันต์จากยุงมะขาม	24
4.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้น	25
4.3 การวิเคราะห์การดูดซับแอมโมเนียของถ่านกัมมันต์	25
4.4 กราฟผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง	29
4.5 แผนภูมิพาราโบลของอิทธิพลในแต่ละปัจจัย	30
4.6 กราฟแสดงผลกระทบของ 3 ปัจจัย	31
4.7 กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยร่วมทั้ง 3 ระดับ	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาพิเศษ

มะขาม (*Tamarindus indica* L.) ในอุตสาหกรรมเกษตรนั้นสามารถมาทำประโยชน์ได้อย่างหลากหลายและสามารถนำมาใช้ได้หลายส่วน ทั้งใบอ่อน ฝักอ่อน ฝักแก่และเมล็ด ซึ่งมะขามนั้นอุดมไปด้วยวิตามินและกรดอินทรีย์หลายชนิด ซึ่งในประเทศไทยนั้นได้มีการนำมะขามนั้นมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ อาทิเช่น มะขามแช่อิ่ม มะขามอบแห้ง มะขาม4รส มะขามคลุกเสวย และอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งเป็นการนำส่วนเนื้อของมะขามมาใช้ในการผลิต จึงทำให้เกิดของเสียในอุตสาหกรรมนั้นคือขี้มะขาม ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับขี้มะขาม ถ่านกัมมันต์จึงเป็นหนึ่งในตัวเลือกในการเพิ่มมูลค่าของขี้มะขาม

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่ประกอบไปด้วยคาร์บอน มีพื้นที่ผิวที่สูงมาก และมีความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนที่สูงมากอีกด้วย เนื่องจากถ่านกัมมันต์นั้นมีรูพรุนเล็กๆ จำนวนมาก อีกทั้งยังสามารถเพิ่มความสามารถในการดูดซับได้ ซึ่งมีอยู่ 2 จีฬหลักๆ ได้แก่ การกระตุ่นทางเคมี (Chemisorption) และการกระตุ่นทางกายภาพ (Physical adsorption) ซึ่งได้มีการวิจัยหลายคนได้ศึกษาวิธีการกระตุ่นต่างๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น ถ่านกัมมันต์จากแกลบ 3.2 mg/g (Zhu et al.,2012), ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2.3 mg/g (Boopathy et al.,2013) และถ่านกัมมันต์ทั่วไป 0.5 mg/g (Shi et al.,2013) โดยจากการศึกษาจากงานวิจัยต่างๆ พบว่าการเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลนั้นสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์และการกระตุ่นด้วยกรด-เบส สามารถเพิ่มปริมาณของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ได้เป็นอย่างดี

ซึ่งในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ อุตสาหกรรมเลี้ยงกุ้ง แอมโมเนียเป็นตัวแปรคุณภาพน้ำที่สำคัญ เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพราะเป็นทั้งสารพิษต่อสัตว์น้ำและปุ๋ยสำหรับการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช (Hargreaves, 1998) ซึ่งแอมโมเนียเป็นสารพิษที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำในความเข้มข้นที่ต่ำ ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของแอมโมเนียโดยเฉลี่ยจากสัตว์ทะเล 17 ชนิด อยู่ที่ 1.86 mg/L (USEPA, 1984, 1987 อ้างตาม Randall and Tsui, 2002) ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแอมโมเนียส่วนใหญ่ได้มาจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและอาหารเหลือตกค้าง โดย Funge-Smith and Briggs (1998) พบว่า สารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้งประมาณ 40-60% เกิดจากอาหารกุ้ง เมื่อสารอินทรีย์เหล่านี้ถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียจะได้แอมโมเนียออกมา นอกจากนี้แล้วน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงก็มีแอมโมเนียปนเปื้อนอยู่เช่นกันแต่มีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแอมโมเนียที่ได้จากการขับถ่ายของสัตว์น้ำหรืออาหารเหลือตกค้าง เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียใน

บ่อเลี้ยงสูงขึ้นอย่างมาก อาจทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ ซึ่งเมื่อแอมโมเนียในน้ำสูงเกินไปทำให้เอกซารีนเป็นเอกซารีนที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักวิทยาศาสตร์ไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัตว์น้ำขับถ่ายแอมโมเนียได้น้อยและทำให้ระดับแอมโมเนียในเลือดและในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ค่า pH ในเลือดสูงขึ้นและส่งผลเสียต่อปฏิกิริยาต่างๆ ของเอนไซม์ ลดความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนในเลือด ทำให้เนื้อเยื่อมีความต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น (Lawson, 1995) ซึ่งส่งผลให้สัตว์น้ำกินอาหารลดลง ทำให้การเจริญเติบโตช้า หรือลดความสามารถด้านภูมิคุ้มกันของสัตว์น้ำ ซึ่งจะส่งผลถึงคุณภาพของกุ้งรวมไปถึงการเสียสภาพและส่วนแบ่งของตลาดในการส่งออกกุ้ง ดังนั้น

ปัญหาพิเศษนี้จึงได้ทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้มะขาม เพื่อใช้ในการดูดซับแอมโมเนีย ซึ่งสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการส่งออกกุ้ง เพื่อลดปัญหาในด้านคุณภาพของกุ้งที่ไม่ได้มาตรฐานและลดอัตราการตายของกุ้งได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์และปรับปรุงพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากขี้มะขาม

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแอมโมเนีย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้มะขามแบ่งออกเป็น 4 วิธี ดังนี้

1. กระตุ้นด้วย NaOH
2. กระตุ้นด้วย H_2SO_4
3. กระตุ้นด้วยไฮโดรเพอร์ออกไซด์ร่วมกับ H_2SO_4
4. กระตุ้นด้วยไฮโดรเพอร์ออกไซด์ด้วย H_2SO_4 ร่วมกับ NaOH

1.3.2 วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์

1. วิเคราะห์พื้นที่ผิวเบื้องต้นด้วยค่าเลขไอโอดีน
2. วิเคราะห์หุ้มนุ้ฟุ้งชั้นบนพื้นที่ผิวด้วย FT-IR

1.3.3 ศึกษาสภาวะและปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแอมโมเนีย (NH_3)

1. ออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลด้วย Response Surface Methodology (RSM)

ตัวแปรต้น

เวลาในการดูดซับ

ปริมาณตัวดูดซับที่ใช้

สภาวะความเป็นกรด-เบส

ตัวแปรตาม

ร้อยละการกำจัดแอมโมเนีย (NH_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 เป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์
- 1.4.2 เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร
- 1.4.3 เป็นแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงถ่านกัมมันต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยี่มะขาม

มะขาม (*Tamarindus indica* L.) อยู่ในวงศ์ถั่ว (Fabaceae) และอยู่ในวงศ์ย่อยราชพฤกษ์ (Caesalpinioideae) มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกาและมีการนำเข้ามาปลูกในแถบเอเชีย มีลักษณะเฉพาะคือ เป็นไม้ยืนต้น สูง 15-30 เมตร เปลือกสีเทาหรือสีน้ำตาลเข้ม ใบ แบบใบประกอบ แบบขนนก ยาว 5-10 ซม. กว้าง 2-4 ซม. ใบย่อย รูปขอบขนาน จำนวน 10-20 คู่ ออกตรงข้าม ยาว 1.2-2 ซม. กว้าง 3-5 มม. ขอบใบเรียบ ปลายเป็นติ่งแหลม ช่อดอก แบบช่อเชิงลดห้อยลง ก้านช่อดอก ยาว 5-10 มม. กลีบเลี้ยง เป็นแผ่นรูปช้อน 2 แผ่น ยาว 1-1.2 ซม. กลีบดอก มี 5 กลีบ กลีบเจริญ 3 กลีบ สีเหลืองอ่อนมีเส้นภายในสีแดง กลีบดอก 2 กลีบลดรูป เกสรเพศผู้มีก้านเกสรเชื่อมติดกัน เกสรที่สมบูรณ์ 3 อัน อีก 2 อันเป็นเส้นเรียว เกสรเพศเมีย เหนือกลีบเลี้ยง ปลายเกสร เป็นก้านรูปรี ผล แบบฝัก โค้ง ค่อนข้างแบน ยาว 7-15 ซม. กว้าง 2-3 ซม. เปลือกเมื่อแก่สีน้ำตาลเข้ม เมล็ดสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ มีสรรพคุณทางยา เช่น เป็นยาระบาย ขับพยาธิไส้เดือน ขับเสมหะ และมีคุณค่าทางโภชนาการ ยอดอ่อนและฝักอ่อนมีวิตามินเอมาก มะขามเปียกสเปรี้ยว ทำให้ชุ่มคอ ลดความร้อนของร่างกายได้ดี และอุดมด้วยกรดอินทรีย์ มีคุณสมบัติขาระล้างความสกปรกรูขุมขน คราบไขมันบนผิวหนังได้ดีมากและเนื้อไม้ปลูกเป็นไม้ประดับ และให้ร่มเงา ทำเป็นเครื่องการเกษตร (Wikipedia).



ภาพที่ 2.1 มะขาม

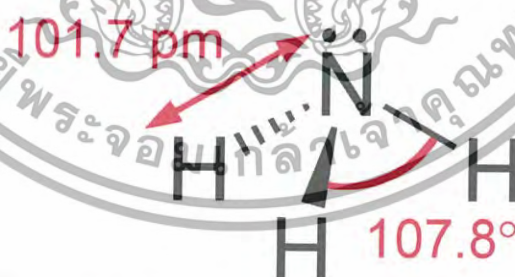
ที่มา: <https://en.wikipedia.org/wiki/Tamarind>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยู้งมะขามประกอบไปด้วยกรดทาร์ทาริก, กรดซิตริกและกรดมาลิก, โปแทสเซียมไบคาร์บอเนต, เพคติน, กัม, น้ำ และเส้นใย (Nyari and Abdullahi, 2004) ซึ่งถูกนำไปใช้เป็นเครื่องตีให้กับผู้ที่พื้นตัวจากอาการป่วยเพื่อให้ลำไส้ทำงานเป็นปกติ (Morton, 1987)

2.2 แอมโมเนีย (NH_3)

แอมโมเนีย (ภาษาอังกฤษ คือ ammonia) เป็น สารประกอบเคมี ที่ประกอบด้วย ธาตุ ไนโตรเจน และ ไฮโดรเจน โดยมี สูตรเคมี ดังนี้ NH_3 ที่ STP แอมโมเนียเป็น ก๊าซพิษ และ กัดกร่อน วัสดุบางชนิด มี กลิ่น ฉุนเฉพาะตัว โมเลกุลของแอมโมเนียไม่แบนราบ แต่จะมีลักษณะถูกอัดเป็นทรงสี่หน้า (tetrahedron) หรือเรียกว่าพีระมิดฐานสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นข้อสมมติฐานของทฤษฎี VSEPR รูปร่างโมเลกุลลักษณะนี้โดยรวมจะมีลักษณะเป็นไดโพล (dipole) และทำให้มันเป็นขั้ว ดังนั้น แอมโมเนียจึงละลายในน้ำได้ดีมาก อะตอมไนโตรเจนในโมเลกุลจะมี อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone electron pair) และทำให้แอมโมเนียมีฤทธิ์เป็น เบส ใน สารละลายน้ำ (aqueous solution) ที่เป็นกรด หรือเป็นกลางมันสามารถจะมีพันธะกับ ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำ (H_2O) แล้วเกิดเป็นประจุบวกของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+), ซึ่งรูปร่างปกติทรงสี่หน้าที่แอมโมเนียจะเกิด แอมโมเนียมไอออน จะขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย ประโยชน์หลักของแอมโมเนียคือ ใช้ผลิตปุ๋ย (fertilizer), วัตถุระเบิด (explosive) และพอลิเมอร์ (polymer) นอกจากนี้ยังเป็นสารสำคัญในน้ำยาทำความสะอาดกระจก แอมโมเนียมีในปริมาณเล็กน้อยในบรรยากาศ ซึ่งเกิดจากพุทรีแฟคชัน (putrefaction) ในวัตถุประเภทไนโตรเจนที่เกิดจากพืชและสัตว์ แอมโมเนียและเกลือของมันอาจพบได้ในแหล่งภูเขาไฟ ผลึกของ แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต พบมากใน ปาโกเนียน (Patagonia) กัวโน (guano) เกลือแอมโมเนียมสามารถพบได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ และในน้ำทะเลด้วย (สสารที่มีแอมโมเนียเราเรียกว่าแอมโมเนียคัล) (Wikipedia)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของแอมโมเนีย
ที่มา: Earnshaw, 1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่สามารถผลิตได้จากการนำวัสดุทางธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการกระตุ้นจนได้ผลิตภัณฑ์สีดำในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) โดยประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 80 – 90 และธาตุอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบร่วมเพียงเล็กน้อย เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน กำมะถัน ไนโตรเจน โดยโครงสร้างของถ่านกัมมันต์มีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมากและมีพื้นที่ผิวสูง โดยปริมาตรรูพรุน (pore volume) มีค่าประมาณ 0.20 ถึงมากกว่า 1.00 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม (cm^3/g) และพื้นที่ผิว (surface area) มีค่าประมาณ 600 ถึงมากกว่า 2,400 ตารางเมตรต่อกรัม (m^2/g) ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุตั้งต้นและกระบวนการกระตุ้น (Virginia and Adrián, 2012) ลักษณะทางกายภาพและปริมาณรูพรุนและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์สามารถศึกษาด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM) และเครื่องการตรวจวัดพื้นที่ผิวและความมีรูพรุนของสารตัวอย่าง (surface area and porosity analysis, BET) ตามลำดับ (Bouchelta et al., 2008; Qin et al., 2014; Saka, 2012) นอกจากนี้ โครงสร้างผลึกและหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์สามารถยืนยันได้โดยการพิสูจน์เอกลักษณ์ (characterization) ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction spectroscopy, XRD) และเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) (Hadoun et al., 2013; Sricharoenchaikul et al., 2008) ถ่านกัมมันต์ยังสามารถจำแนกได้เป็นชนิดผง (powder) มีขนาดประมาณ 15 – 25 ไมโครเมตรและชนิดเม็ด (granular) มีขนาดประมาณ 1 – 5 มิลลิเมตร

2.4 การนำไปใช้ประโยชน์

ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดผง และชนิดเม็ด ชนิดผงผลิตจากซีลื้อเป็นส่วนใหญ่ มีรูพรุนเล็กกว่า โดยจะนำไปใช้ในสารละลายหรือจำพวกของเหลว และอุตสาหกรรมเคมี เช่น สีย้อม สารเคมีอัดรูป สารทำความสะอาด การฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำตาล ไช และน้ำมันทั้งพืชและสัตว์ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ น้ำตาลกลูโคส และผงชูรส เป็นต้น ส่วนชนิดเม็ดผลิตจากกะลามะพร้าว ถ่านหิน จะมีลักษณะรูพรุนค่อนข้างใหญ่ นำมาใช้ในการดูดก๊าซและไอ ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ การขจัดอากาศ บุษรี การผลิตน้ำบริสุทธิ์ ใช้ฟอก/กรองอากาศในเครื่องปรับอากาศตามบ้านหรือสำนักงาน ใช้ผลิตกาแฟชนิดที่ไม่มีคาเฟอีน ใช้สกัดสีนแร่เช่นแร่ทองคำ ใช้กักเก็บแก๊สธรรมชาติในอุตสาหกรรมด้านพลังงาน ใช้เป็นไส้กรองของหน้ากากนิรภัยเพื่อกรองแก๊สพิษ และใช้ในอุตสาหกรรมยา เป็นต้น

2.5 การกระตุ้น (Activation)

ถ่านที่ได้จากการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรผ่านขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์จะถูกนำมาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพเพื่อทำให้มีพื้นที่ผิวและความพรุนมากขึ้นจนเกิดเป็นถ่านกัมมันต์และมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารมลพิษได้ดีขึ้น (Acharya et al., 2009; Fathy et al., 2012; Kaosuah et al., 2013; Rahman et al., 2014; Salman et al., 2011 และ Singh et al., 2008) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนนี้เรียกว่า การกระตุ้น (activation) แบ่งได้ 2 วิธี คือ การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) และการกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) (Ioannidou and Zabaniotou, 2007; Virginia and Adrián, 2012) สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.5.1 การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) ใช้สารเคมีเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนของวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 400 – 600°C โดยอุณหภูมินั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้เตรียมถ่านกัมมันต์และสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น สารเคมีที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ ได้แก่ $ZnCl_2$ KOH และ H_3PO_4 ซึ่งสารเคมีเหล่านี้มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน ทำให้เกิดการกระตุ้นทางเคมี มีข้อเสีย คือ เกิดการกัดกร่อนระหว่างกระบวนการกระตุ้น จึงต้องมีการออกแบบอุปกรณ์และเครื่องมือมาเป็นกรณีพิเศษ ทำให้ต้องเสียเวลาในการล้างสารเคมีที่ตกค้าง และทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อดีและประโยชน์ของการกระตุ้นด้วยเคมี ได้แก่ อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำ ทำให้ประหยัดพลังงาน ขั้นตอนของการคาร์บอนไนซ์และกระตุ้นเป็นขั้นตอนเดียวกัน ทำให้เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นน้อยลง ในบางครั้งก็อาจมีการแยกขั้นตอนระหว่างการคาร์บอนไนซ์และการกระตุ้นออกจากกันตามความเหมาะสมของวัสดุและสารเคมีที่ใช้ ที่สำคัญถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นทางเคมีจะมีพื้นที่ผิวและรูพรุนที่สูง (Ioannidou and Zabaniotou, 2007; Temtarasilp, 2008; Virginia and Adrián, 2012; Vitidsant, 2011)

2.5.2 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) นำถ่านที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์มากระตุ้นโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือไอน้ำที่อุณหภูมิกระตุ้น (activation temperature) ประมาณ 600 – 950°C ในบางครั้งมีการใช้อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์สูงถึง 1,000°C ซึ่งการกระตุ้นทางกายภาพเป็นการใช้พลังงานอย่างมาก และเพิ่มค่าใช้จ่ายทางอ้อม รวมถึงมีการเกิดพื้นที่ผิวและรูพรุนในปริมาณที่น้อย อีกทั้งยังไม่สามารถควบคุมสมบัติของถ่านให้คงที่ได้ (Ioannidou and Zabaniotou, 2007; Virginia and Adrián, 2012)

2.6 ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารบนพื้นที่ผิวของสารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับตัวดูดซับ (adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่พื้นผิว (surface free energy) ต่ำจะถูกดูดซับได้ แต่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างสารถูกดูดซับกับตัวดูดซับ ปริมาณการดูดซับขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ธรรมชาติของสารถูกดูดซับกับตัวดูดซับ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ พลังงานกระตุ้นของตัวดูดซับ และสภาวะของการดูดซับ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มข้น ความดัน และพลังงานศักย์ของอันตรกิริยาระหว่างสารที่ถูกดูดซับ (อาจเป็นของแข็งของเหลวหรือแก๊ส) กับสารดูดซับ (ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง)

การดูดซับเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวสัมผัส (interface) โดยที่มีวัฏภาคหนึ่งเป็นของแข็งเสมอ และเป็นวัฏภาคคายความร้อน โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวหน้าของของแข็งของตัวดูดซับ ดังนั้นการดูดซับด้วยของแข็งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของตัวดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงดูดที่พื้นผิวของของแข็งซึ่งเป็นตัวดูดซับมีค่ามากกว่าค่าพลังงานจลน์ของโมเลกุลของของเหลวนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

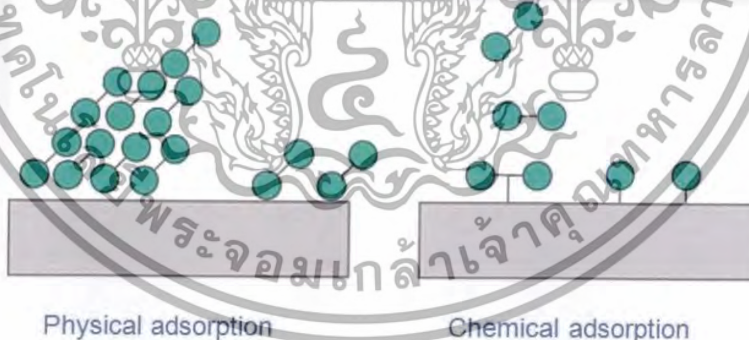
2.7 การดูดซับ (Adsorption)

กระบวนการดูดซับของถ่านกัมมันต์นั้นมี 3 รูปแบบ ได้แก่

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) ตัวดูดซับจะจับกับสารบนพื้นผิวของรูพรุนด้วยแรงดึงดูดอ่อนๆ เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces)
2. การดูดซับทางเคมี (Chemisorption) โมเลกุลของสารที่ต้องการจับกับสารเคมีที่อยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับด้วยพันธะทางเคมี มีพลังงานกระตุ้น (activation energy) เข้ามาเกี่ยวข้อง
3. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) ไอออนอิสระในสารละลายจะถูกแลกเปลี่ยนกับไอออนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

2.8 คุณสมบัติสำคัญ (Key properties)

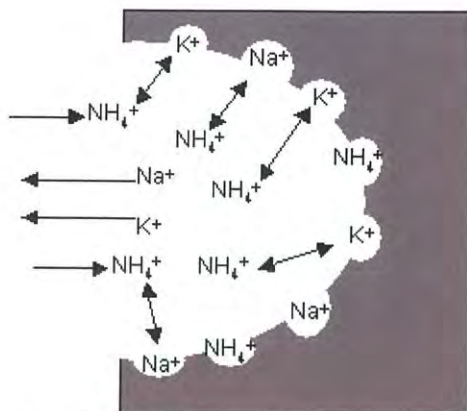
1. พื้นที่ผิว (Surface Area) พื้นที่ผิวมากขึ้น ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย
2. ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (Total Pore Volume) ช่องว่างภายในอนุภาคของถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปแล้ว ยังมีปริมาตรของรูพรุนมากเท่าไร ยังมีประสิทธิภาพมากขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ถ้าขนาดของโมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่ตรงกับขนาดรูพรุนของตัวดูดซับ จะทำให้ปริมาตรรูพรุนบางส่วนไม่ถูกใช้งาน โดยปริมาตรรูพรุนทั้งหมดจะแตกต่างกันไปตามวัสดุและวิธีการกระตุ้น
3. ขนาดรูพรุน (Pore size) คาร์บอนแต่ละชนิดมีการกระจายตัวของขนาดของรูพรุนที่เป็นเอกลักษณ์โดยขึ้นกับประเภทของถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้



ภาพที่ 2.3 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และทางเคมี (Chemisorption)

ที่มา: <https://www.emedicalprep.com/study-material/chemistry/surface-chemistry/adsorption/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



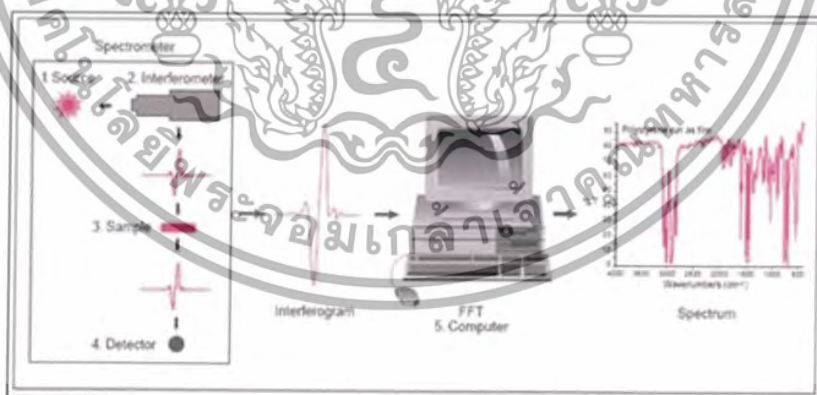
ภาพที่ 2.4 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) บนซีโอไลต์ (Zeolite)

ที่มา: http://www.wetwebmedia.com/ca/volume_1/cav1i3/zeovit/Zeolite_Filters/Zeolite_Filters.htm

2.9 การวิเคราะห์คุณลักษณะ

2.9.1 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) เป็นเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงที่อยู่ในช่วงแสงอินฟราเรด (infrared light) ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ โดยอาศัยความแตกต่างในการตอบสนองต่อรังสี Infrared ของพันธะเคมีต่างๆ ในโมเลกุลของสารแต่ละชนิด ซึ่ง FT-IR นั้นสามารถนำมาใช้ในการบอกหมู่ฟังก์ชันในสาร นิยมใช้เป็นเทคนิคสำหรับหาโครงสร้างของสารอินทรีย์ เช่น สารที่วิเคราะห์ออกจะมี หมู่ hydroxyl (-OH), methyl (-CH₃) หรือ carbonyl (-CO)



ภาพที่ 2.6 ลักษณะการทำงานของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

ที่มา: ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ (2555)

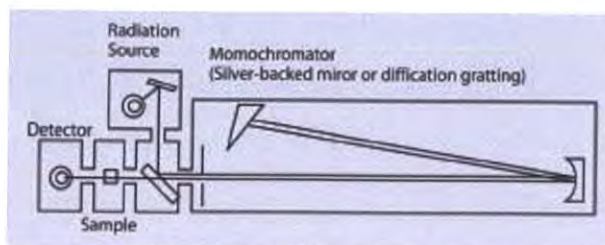
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของผลที่ได้จะเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านของแสง (%Transmittance) กับเลขคลื่น (Wave numbers) หรือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับเลขคลื่น (Wave number) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและวิเคราะห์หาสารที่มาปนเปื้อนอยู่ในตัวอย่างได้

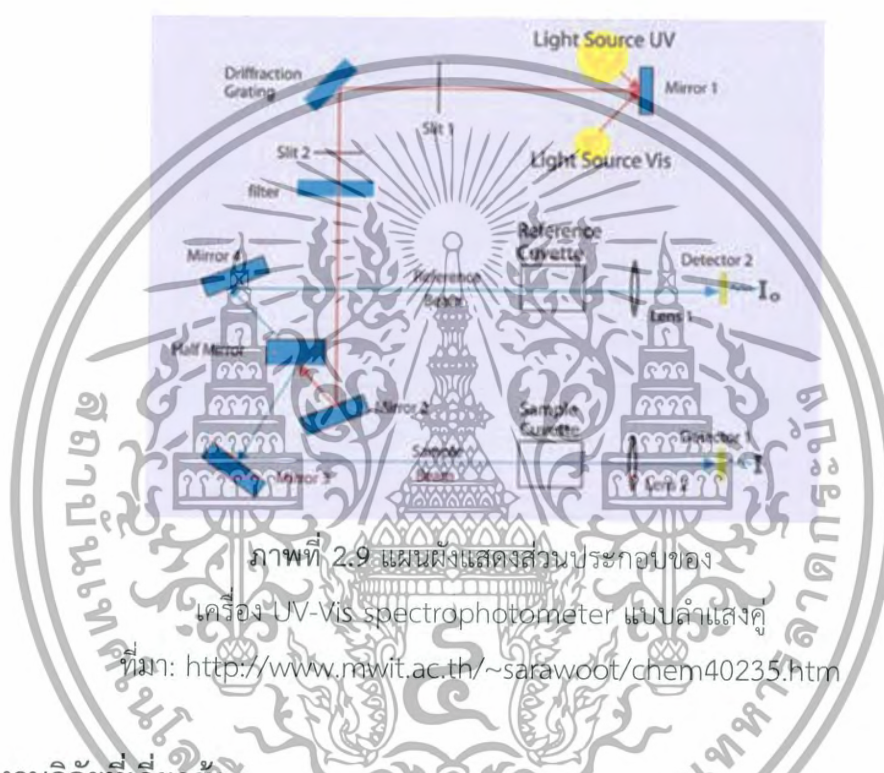
2.9.2 UV-Visible spectrophotometer

เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่นำเทคนิค UV-Vis spectroscopy ไปใช้งาน เครื่องมือตัวนี้ทำหน้าที่ในการตรวจวัด ความเข้มแสงที่ผ่านหรือสะท้อนจากตัวอย่าง เปรียบเทียบกับความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิด เครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยทั่วไปแล้ว จะมีส่วนประกอบหลักๆ ที่เหมือนกัน ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง เกรตติงหรือ โมโนโครเมเตอร์ เซลล์ที่บรรจุ สารตัวอย่าง และเครื่องตรวจ วัดแหล่งกำเนิดแสง จะต้องให้แสงที่คงที่อย่างต่อเนื่อง ตัวที่นิยมใช้ คือ หลอดทังสเตนฮาโลเจน ซึ่งให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 320-2,500 นาโนเมตร สำหรับ แหล่งกำเนิดแสงในช่วงรังสียูวีนั้นจะใช้หลอดไฮโดรเจนหรือหลอด ดิวทีเรียม ซึ่งให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 160-375 นาโนเมตร แต่แสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดนั้นจะมีความยาวคลื่นต่างๆ ดังนั้นจึงต้องใช้ โมโนโครเมเตอร์ เป็นตัวกระจายแสงออกเพื่อให้แสงที่จะผ่านไปยังตัวอย่างมีความยาวคลื่นค่าเดียว ตามที่ต้องการหลังจากนั้นแสงความยาวคลื่นค่าเดียวจะผ่านไปยังเซลล์ที่ บรรจุสารตัวอย่าง และ สารเปรียบเทียบ (cuvettes) ซึ่งมีรูปร่างต่างๆ กันออกไป แต่โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้าง ภายใน 1 เซนติเมตร (ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าระยะทางเดินของแสงที่ผ่านเข้าไปใน ตัวอย่างตาม กฎของ Beer-Lambert) เครื่อง UV-Vis spectrophotometer บางรุ่นสามารถใช้หลอดทดลองเป็น cuvettes ได้ แต่ cuvettes ที่ดีที่สุดนั้น ทำมาจากควอร์ตที่มีคุณภาพสูง สำหรับ cuvettes ที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกนั้น ก็เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป แต่สามารถใช้ได้เฉพาะ ในช่วงแสงขาวเท่านั้น เพราะแก้วและพลาสติกดูดกลืนแสงในช่วงรังสียูวีแสงในส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืนจะเดินทางผ่านตัวอย่างมาถึงเครื่องตรวจวัด สำหรับเครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้ ได้แก่ PMT (photomultiplier tube), diode arrays และ CCDs (charge coupled devices) เครื่องจะทำการ บันทึกค่าความยาวคลื่นร่วมกับค่ามุมของแต่ละความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืน ผลของสเปกตรัมที่ได้ จะแสดงในรูปของกราฟระหว่างค่า absorbance และค่าความยาวคลื่น เครื่อง UV-Vis spectrophotometer สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ แบบลำแสงเดี่ยว และแบบลำแสงคู่ สำหรับ เครื่องแบบลำแสงเดี่ยว เป็นเครื่องที่ใช้ลำแสงเดี่ยวจากแหล่งกำเนิดผ่านไปยังตัวอย่าง เครื่องมือนี้ ได้รับการออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่ายสะดวก และมีราคาไม่แพงมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 แผนผังแสดงส่วนประกอบของ
เครื่อง UV-Vis spectrophotometer แบบลำแสงเดี่ยว
ที่มา: <http://www.mwit.ac.th/~sarawoot/chem40235.htm>



ภาพที่ 2.9 แผนผังแสดงส่วนประกอบของ
เครื่อง UV-Vis spectrophotometer แบบลำแสงคู่
ที่มา: <http://www.mwit.ac.th/~sarawoot/chem40235.htm>

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ถ่านกัมมันต์เป็นที่นิยมมากในการนำมาใช้ดูดซับสารต่างๆ เพราะมีพื้นที่ผิวที่สูง, ปริมาตรรูพรุนมาก และมีความเสถียรต่อปฏิกิริยาเคมี แต่เนื่องจากวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์แบบดั้งเดิมนั้นทำให้ได้พื้นที่ผิวไม่เหมาะสมในการใช้ดูดซับกับแอมโมเนีย ซึ่งส่งผลต่อค่าของการดูดซับที่ต่ำ จึงมีนักวิจัยหลายคนได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ และจากที่ในยุคสมัยนี้ได้มีการนำวัสดุทางการแพทย์เหลือใช้มาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ทางเกษตร Zhu Y. และคณะ (2016) ได้มีการนำเมล็ดของอโวคาโดมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วยกรดมีเทนซัลโฟนิก (AAC-MA) เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับแอมโมเนียโดยศึกษาถึงผลของค่า pH, ปริมาณตัวดูดซับที่ใช้, ความเข้มข้นของแอมโมเนียเริ่มต้น และเวลาสัมผัส ซึ่งจากการศึกษาพบว่า Pseudo-second-order สามารถอธิบายจลนพลศาสตร์ของการดูดซับแอมโมเนียได้ดีที่สุด Langmuir isotherm มีความสามารถในการดูดซับสูงสุดในทางทฤษฎี เท่ากับ 5.4 mg/g ที่ 25 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมา Deng L. และคณะ (2017) ได้มีการเปรียบเทียบวิธีการกระตุ้นของถ่านกัมมันต์ ระหว่างการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่สภาวะที่แตกต่างกันและการกระตุ้นด้วยกรด H_2SO_4 ที่สภาวะที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาถึงโครงสร้างรูพรุนและหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์โดยใช้การดูดซับ N_2 , ไตเตรทด้วยเบสและ FT-IR บ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น การกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ $900\text{ }^{\circ}C$ สามารถเพิ่มปริมาตรของรูพรุน แบบ mesoporous จาก 10.9 เป็น 20.6 mg/g และการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยกรด H_2SO_4 ที่ $250\text{ }^{\circ}C$ เพิ่มปริมาณพื้นผิวของกลุ่ม acidic-oxygenated จาก 0.05 เป็น 1.195 $mmol/g$ และความสามารถในการดูดซับทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 10.9 เป็น 33.3 mg/g ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำจะเหมาะกับการเพิ่มพื้นที่ผิวรูพรุน ในขณะที่การเพิ่มหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะเหมาะสมกับการกระตุ้นด้วยกรด ด้วยเหตุนี้ Vu MT. และคณะ (2018) จึงได้ทำการทดลองเตรียม ถ่านกัมมันต์จากชังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 จากนั้นกระตุ้นด้วย NaOH เพื่อเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน ซึ่งผลของการกระตุ้นด้วยเบสนั้นสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะ ($1097\text{ }m^2/g$), ปริมาตรรูพรุนทั้งหมดและรูพรุนขนาด mesopore ($0.804\text{ }cm^3/g$ และ $0.589\text{ }cm^3/g$ ตามลำดับ) โดยปัจจัยสำคัญในการดูดซับขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลายและการมีอยู่ของแคตไอออน ในขณะที่การทดสอบจลนพลศาสตร์เข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็วภายใน 60 นาที ค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ $49.7\text{ }kJ/mol$ ความสามารถในการดูดซับสูงสุดแบบ Langmuir เท่ากับ $17.03\text{ }mg/g$ ที่ $20\text{ }^{\circ}C > 15.4\text{ }mg/g$ ที่ $35\text{ }^{\circ}C > 11.99\text{ }mg/g$ ที่ $50\text{ }^{\circ}C$ ซึ่งจากการศึกษา พบว่าการแลกเปลี่ยนไอออนเป็นกลไกสำคัญในการดูดซับแอมโมเนียม ในขณะที่การเข้าไปในรูพรุนและแรงดึงดูดทางไฟฟ้าเป็นกลไกรองลงมา

จากการศึกษาข้างต้น Lee W. และคณะ (2018) จึงได้มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของการเพิ่มความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียมไอออนในสารละลายด้วยการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วย สารลดแรงตึงผิวแบบแอนไอออนิก ได้แก่ Sodium dodecyl sulfate (SDS), sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) และ sodium octanoate (SO) โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของ สารละลาย $55\text{ }mg\text{ }NH_4\text{-N/L}$ และปริมาณของตัวดูดซับ $50\text{ }g/L$ จากการศึกษาพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ กระตุ้นด้วย Sodium dodecyl sulfate ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียมสูงสุดจากทั้งหมด ที่ 82% ในขณะที่เดียวกันหมู่ฟังก์ชันของซิลเฟตบน Sodium dodecyl sulfate ให้ฝั่งของการแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งเป็นกลไกหลักในการดูดซับแอมโมเนียม โดยผลของการมีอยู่ของแคตไอออนนั้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับเพียงเล็กน้อย (<5%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัสดุดิบ

ยุงมะขาม

3.1.2 สารเคมี

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, AR grade, Merck KGaA, Germany)

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH, AR grade, Merck KGaA, Germany)

กรดซัลฟิวริก (H₂SO₄, AR grade, Labscan Limited, Thailand)

กรดไนตริก 65% (HNO₃, AR grade, Labscan Limited, Thailand)

กรดไฮโดรคลอริก (HCl, AR grade, Labscan Limited, Thailand)

โซเดียมไรโตอซัลเฟต เพนตะไฮเดรต (Na₂S₂O₃·5H₂O, AR grade, Merck KGaA, Germany)

ไอโอดีน (I₂, AR grade, Merck KGaA, Germany)

โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI, AR grade, Merck KGaA, Germany)

โพแทสเซียมไอโอเตต (KIO₃, AR grade, Merck KGaA, Germany)

โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃, AR grade, Merck KGaA, Germany)

น้ำกลั่น

แอมโมเนีย (NH₃, AR grade, Merck KGaA, Germany)

โพแทสเซียมโซเดียมทาร์เทรต (KNaC₄H₄O₆·4H₂O, AR grade, Merck KGaA, Germany)

เมอคิวรีไอโอไดด์ (HgI₂, AR grade, Merck KGaA, Germany)

โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI, AR grade, Merck KGaA, Germany)

3.2 อุปกรณ์

บีกเกอร์ขนาด 100, 250, 500 และ 1000 mL (Duran, Germany)

ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 และ 500 mL (Duran, Germany)

ขวดปรับปริมาตรขนาด 10, 50, 100, 200, 250 และ 1000 mL (Duran, Germany)

บิวเรตต์ ขนาด 10 mL (Duran, Germany)

ปิเปตต์ ขนาด 10 mL (Duran, Germany)

เตาเผา (Thermo Scientific, THERMOLYNE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาอบ (redline, BINDER, Germany)

ตะแกรงขนาด 150, 250, 425 และ 600 um

เครื่องกวนแม่เหล็ก (Harmony Hotplate Stirrer, HTS-1003)

เครื่อง Incubator Shaker (ZHWHY-100B)

เครื่องวัด pH (Eu tech instruments, pH 700)

เครื่องชั่งสาร (CP225D, SARTORIUS AG, Germany)

Stainless steel reactor

เครื่อง UV-Visible spectrophotometer (PG Instruments, T60 Visible Spectrophotometer)

เยื่อสำหรับกรอง (Membrane filter, Whatman)

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.1.1 แยกยั้งมะขามออกจากเปลือกของมะขาม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักเปียก



ภาพที่ 3.1 ชั่งน้ำหนักเปียก

3.3.1.2 นำยั้งมะขามที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปล้างด้วยน้ำ จากนั้นนำไปตากแดดให้แห้ง



ภาพที่ 3.2 ล้างยั้งมะขาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 แดกแดด

3.3.1.3 นำยั้งมะขามแดกแห้งไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาชั่งน้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 3.4 นำไปอบให้แห้ง

3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis)

3.3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture, M) ความชื้นในตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM-D3173-00 โดยการนำตัวอย่างไปบดและคัดขนาดอย่างละเอียดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมครอน จากนั้นอบด้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่สภาวะเดียวกับสารตัวอย่างที่จะถูกลอบ (100 °C, 1 ชั่วโมง) หลังจากนั้นปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น 30 นาที จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นจึงนำออกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

3.3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash, A) ปริมาณเถ้าในตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM-D2867-70 โดยการนำตัวอย่างไปบดและคัดขนาดอย่างละเอียดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมครอน เฝ้าย้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 650 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วทำการชั่งน้ำหนัก จากนั้นชั่งตัวอย่างที่ถูกอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 650 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (เปิดฝาถ้วยกระเบื้องขณะเผา) จากนั้นปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วจึงเปิดฝาโถเพื่อป้องกันการสูญเสียแล้ว จึงชั่งน้ำหนักที่ได้

3.3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (Volatile Matters, VMs) ปริมาณสารระเหยในตัวอย่างถูกวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM-D5832-98 โดยวิธีการตามการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น เผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วทำการชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาปิดแล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 7 นาที ปล่อยให้เย็นลงในโถดูดความชื้น แล้วจึงชั่งน้ำหนักที่ได้

3.3.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon, FC) ทำได้โดยการคำนวณจากสมการ

$$\% \text{Fixed Carbon} = 100 - (\% \text{Moisture} + \% \text{Ash} + \% \text{Volatile Matters}) \quad (3.1)$$

3.3.3 การเตรียมถ่านกัมมันต์

นำขี้เถ้าขามที่อบแห้งแล้วมาทำการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยอัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 10 °C/นาที จะได้เป็นถ่านไปไอซาร์ จากนั้นจึงนำไปเตรียมด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

3.3.3.1 กระตุ้นถ่านกัมมันต์ (ACTP1) ด้วย NaOH

นำมาแช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อัตราส่วนไปไอซาร์ต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:3 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นจน pH เข้าใกล้ 7 จึงนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นจากนั้นจึงนำไปทำการคาร์บอนไนซ์

3.3.3.2 กระตุ้นถ่านกัมมันต์ (ACTP2) ด้วย H₂SO₄

นำไปกระตุ้นโดยแช่ลงใน H₂SO₄ โดยใช้อัตราส่วนไปไอซาร์ต่อ H₂SO₄ เท่ากับ 1:3 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น pH เข้าใกล้ 7 จากนั้นนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นแล้วจึงนำไปทำการคาร์บอนไนซ์

3.3.3.3 กระตุ้นถ่านกัมมันต์ (ACTP3) ด้วยไฮโดรเทอร์มอลและกรด H_2SO_4

นำตัวอย่างยั้งมะขามมาแช่ในน้ำกลั่น ปริมาตร 100 mL ลงใน Teflon-lined stainless steel reactor แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาแช่กับกรด H_2SO_4 ในอัตราส่วน 1:3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นจน pH เข้าใกล้ 7 แล้วนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นแล้วจึงนำไปทำการคาร์บอนไนซ์

3.3.3.4 กระตุ้นถ่านกัมมันต์ (ACTP4) ด้วยไฮโดรเทอร์มอลด้วย H_2SO_4 ร่วมกับ NaOH

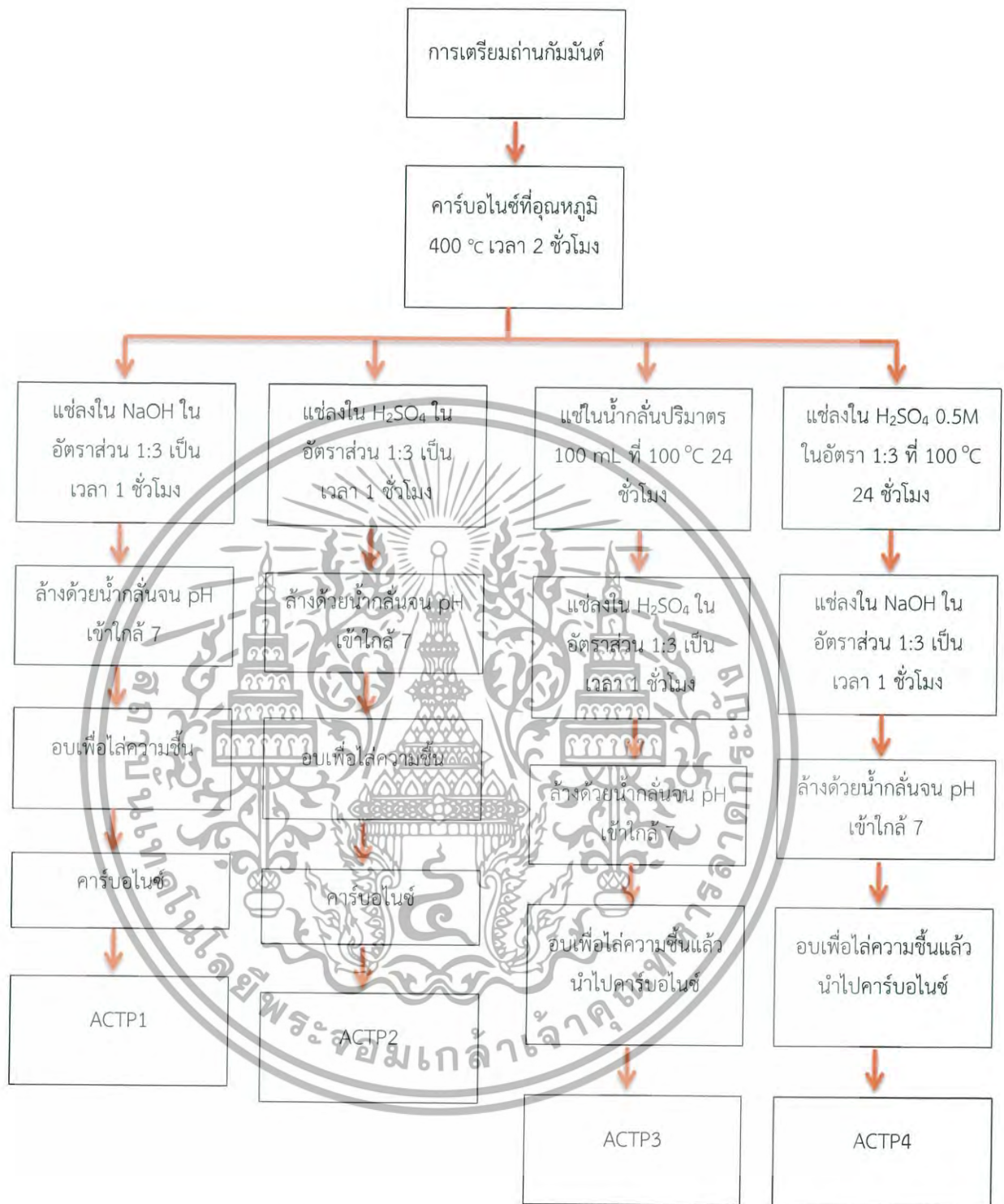
นำตัวอย่างยั้งมะขามมาแช่ลงในกรด H_2SO_4 0.5M ปริมาตร 50 mL ลงใน Teflon-lined stainless-steel reactor แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นจน pH เข้าใกล้ 7 แล้ว จากนั้นนำไปกระตุ้นโดยแช่ลงในโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อัตราส่วนไบโอชาร์ต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น pH เข้าใกล้ 7 แล้วนำไปอบเพื่อไล่ความชื้น จากนั้นนำมาทำการคาร์บอนไนซ์ต่อไป

3.3.4 การทดสอบค่าเลขไอโอดีน

นำตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่ได้มาตรวจวัดเลขค่าไอโอดีนเป็นวิธีการที่บ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันของถ่านกัมมันต์ โดยค่าของการดูดซับไอโอดีนจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก ($0.4\text{--}1.0\text{ nm}$)

โดยวิธีการทดสอบค่าเลขไอโอดีนนั้น เป็นการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM-D4607-94 ซึ่งเป็นค่าการดูดซับปริมาณไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ มีหน่วยเป็น mg/g การไตเตรทแบบไอโอดิเมทรี (Iodometry) ใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เป็นไตเตรนท์ โดยจะเลือกวิธีการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ให้ค่าเยอะที่สุดมาใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในลำดับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากยู้งมะขาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การตรวจวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ

ถ่านกัมมันต์ที่ให้ค่าเลขไอโอดีนมากที่สุด นำไปส่งตรวจเพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

3.3.6 การดูดซับแอมโมเนีย

3.3.6.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมด้วย Response Surface Methodology (RSM)

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกัมมันต์ ทำโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการหาพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) และใช้แผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design โดยกำหนดให้มีตัวแปร 3 ชนิดคือ X_1 (เวลาที่ใช้ในการดูดซับ), X_2 (ปริมาณตัวดูดซับที่ใช้) และ X_3 (ค่า pH) โดยระดับของตัวแปร 3 ระดับ จะแสดงดังในตารางที่ 3.1 และทำการทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งผลตอบสนองที่ต้องการคือ ปริมาณแอมโมเนียที่ถูกดูดซับ (Yield, Y) จากนั้น ทำการยืนยันสภาวะที่เหมาะสมโดยการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.3.6.2 การหาปริมาณแอมโมเนียที่ถูกดูดซับ

ปริมาณแอมโมเนียถูกวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM-D1426-08 โดยนำตัวอย่างน้ำมา 100 mL ใส่สารละลาย NaOH แล้วผสมกันจนได้ pH ประมาณ 10.5 จากนั้นนำไปกรองกับกระดาษกรองที่ผ่านการล้างน้ำแล้วทิ้งส่วนที่กรองได้ 25 mL แรกออกไป เจือจางตัวอย่างที่กรองได้ให้เป็น 50 mL ใส่ลงในหลอดเนสเลอร์แล้วใส่ $\text{KNaC}_2\text{H}_3\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O} \cdot 2$ หยดเพื่อป้องกันการขุ่นของตัวอย่าง จากนั้นเติม 1 mL ของสารละลายเนสเลอร์ แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Visible spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 425 nm โดยปริมาณแอมโมเนียคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{Total Ammonia, mg/L} = \frac{\text{แอมโมเนียไนโตรเจนที่พบ (mg)} \times 1000}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (mL)}} \quad (3.2)$$

3.3.6.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์

ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ถูกวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM-D3860-98 โดยนำตัวอย่างมาใส่ในขวดรูปชมพู่ 100 mL จากนั้นใส่ถ่านกัมมันต์เข้าไปในตัวอย่างที่เตรียมไว้ ปิดขวดด้วยจุกจากนั้นนำไปเข้าเครื่อง Incubator Shaker ที่ 125 rpm แล้วจึงนำมาออกมารองแยกตัวอย่างกับถ่านกัมมันต์ออกทันทีด้วยเยื่อกรอง (Membrane filter) โดยปริมาณที่ดูดซับได้ต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์คำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q = \frac{C_0 - C}{M} \times V \quad (3.3)$$

โดย : q = ปริมาณที่ดูดซับได้ต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (mg/g); C_0 = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายเริ่มต้น (mg/L); C = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายสุดท้าย (mg/L); M = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (g); V = ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (L)

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยและระดับของแต่ละตัวแปรอิสระที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ		
	-1	0	1
X_1 : ระยะเวลา (นาที)	10	95	180
X_2 : ปริมาณถ่านที่ใช้ (กรัม/100mL)	0.5	1.25	2
X_3 : pH	2	6.5	11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ในการดูดซับแอมโมเนีย

ลำดับการทดลอง	ระดับของตัวแปร		
	ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณถ่านที่ใช้ (กรัม/100mL)	pH
1	95	1.25	6.5
2	180	2	6.5
3	10	1.25	11
4	95	0.5	11
5	180	1.25	11
6	95	1.25	6.5
7	180	1.25	2
8	180	2	6.5
9	95	1.25	6.5
10	10	2	6.5
11	95	2	2
12	10	2	6.5
13	10	0.5	6.5
14	10	1.25	2
15	95	0.5	11
16	95	2	2
17	95	1.25	6.5
18	180	0.5	6.5
19	180	1.25	2
20	180	0.5	6.5
21	95	0.5	2
22	10	1.25	2
23	10	0.5	6.5
24	95	1.25	6.5
25	95	2	11
26	95	1.25	6.5
27	180	1.25	11
28	95	2	11
29	10	1.25	11
30	95	0.5	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จากยู้งมะขามด้วยวิธีที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาผลของการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในน้ำ จากนั้นนำตัวดูดซับที่ได้มาทำการตรวจสอบค่าพื้นที่ผิวด้วยวิธีการทดสอบเลขค่าไอโอดีนตามมาตรฐาน ASTM-D4607-94 จากนั้นจึงนำมาศึกษาปัจจัยในการดูดซับแอมโมเนียในน้ำ โดยได้ทำการศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ขนาดของตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ และสภาวะความเป็นกรด-เบส โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ในการหาพื้นที่ผิวดูดซับ (RSM) และใช้แผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design ซึ่งการเตรียมตัวดูดซับจากยู้งมะขามสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 วิธี ได้แก่

1. เตรียมถ่านกัมมันต์ (ACTP1) โดยการกระตุ้นด้วย NaOH
2. เตรียมถ่านกัมมันต์ (ACTP2) โดยการกระตุ้นด้วย H_2SO_4
3. เตรียมถ่านกัมมันต์ (ACTP3) โดยการกระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลร่วมกับ H_2SO_4
4. เตรียมถ่านกัมมันต์ (ACTP4) โดยการกระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลด้วย H_2SO_4 ร่วมกับ NaOH

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate Analysis)

จากตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ พบว่า ยู้งมะขาม 1 กรัม มีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 96.94 หมายความว่า สัดส่วนที่หายไปนั้น ได้แก่ ความชื้น เถ้า และสารระเหย เป็นต้น เมื่อมีการให้ความร้อนในระดับต่างๆ จะทำให้องค์ประกอบบางส่วนของยู้งมะขามนั้นหายไปเหลือไว้เพียงปริมาณคาร์บอนคงที่ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการผลิตถ่านไบโอชาร์ที่จะนำไปกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ในลำดับถัดไป

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณของยู้งมะขาม

องค์ประกอบ	ก่อน	หลัง	สัดส่วน
ความชื้น	1.00	1.00	0.14%
เถ้า	1.00	0.99	1.41%
สารระเหย	1.00	0.99	1.51%
คาร์บอนคงตัว	คำนวณได้จากสมการ		96.94%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์

จากการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ในการดูดซับมีการเตรียมจากวิธีการที่ต่างกันได้แก่ กระตุ้นด้วย NaOH (ATP1), กระตุ้นด้วย H_2SO_4 (ATP2), กระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลรวมกับ H_2SO_4 (ATP3) และ กระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลด้วย H_2SO_4 รวมกับ NaOH (ATP4) แล้วทำการหาค่าการดูดซับไอโอดีน โดยจะนำตัวดูดซับที่มีค่าการดูดซับมากที่สุดไปทำการวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งผลการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบเลขค่าไอโอดีนของตัวดูดซับด้วยวิธีที่ต่างกันได้

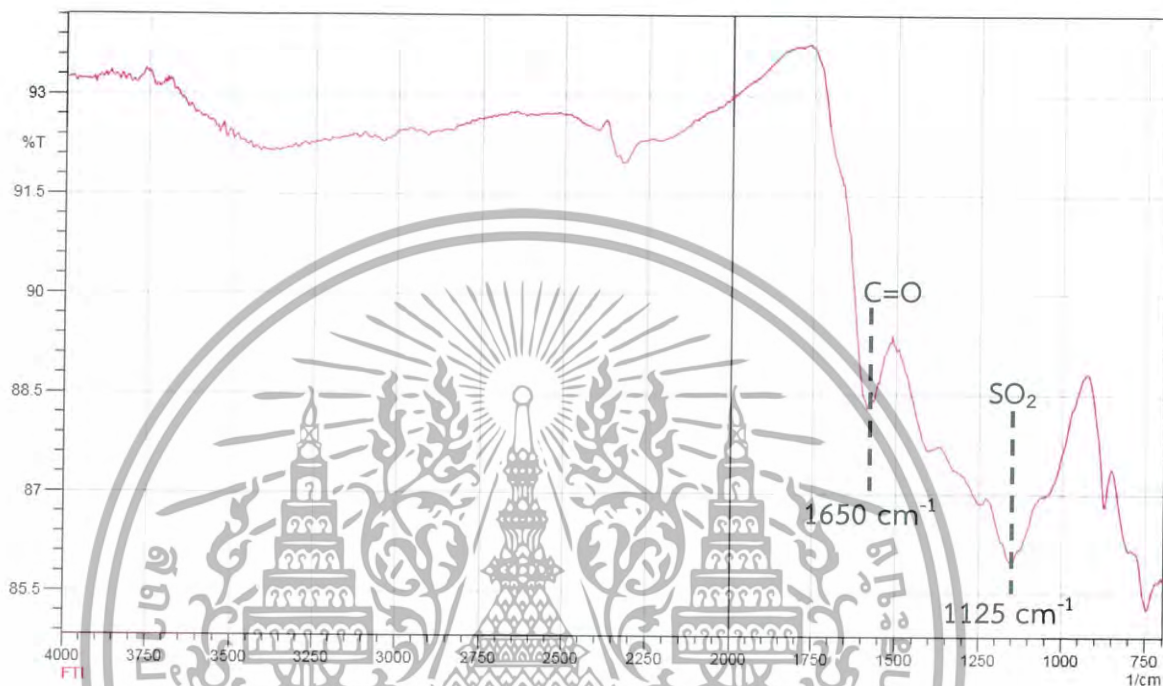
ตัวอย่าง	Iodine Number (mg/g)
ACTP1	340.12
ACTP2	502.69
ACTP3	537
ACTP4	540

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบ ACTP1 ที่กระตุ้นด้วย NaOH และ ACTP2 ที่กระตุ้นด้วย H_2SO_4 พบว่าการใช้ H_2SO_4 สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับได้ดีกว่าการใช้ NaOH เนื่องจาก H_2SO_4 มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนสูง ทำให้สามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างได้อย่างสม่ำเสมอ ส่วนการไฮโดรเทอร์มอลนั้น เป็นการกระตุ้นทางกายภาพซึ่งจะทำให้ผิวของถ่านไปไอซาร์เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างใหม่ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับ (ปรินทร, 2551)

ถ่านกัมมันต์ (ACTP3) ที่เตรียมโดยการกระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลรวมกับ H_2SO_4 และ ถ่านกัมมันต์ (ACTP4) ที่เตรียมโดยการกระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลด้วย H_2SO_4 รวมกับ NaOH ให้เลขค่าไอโอดีนที่ใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์ (ACTP3) โดยการกระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลรวมกับ H_2SO_4 มีความปลอดภัยและสะดวกมากกว่าวิธีที่เตรียมโดยการกระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลด้วย H_2SO_4 รวมกับ NaOH (ACTP4) ดังนั้น จึงได้ทำการเลือกวิธีเตรียมถ่านกัมมันต์ (ACTP3) โดยการกระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลรวมกับ H_2SO_4 มาทำการศึกษาถึงลักษณะของพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ รวมถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลถึงการดูดซับแอมโมเนียในลำดับถัดไป

4.3 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากยู้งมะขาม

ปัญหาพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาถึงการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกัมมันต์ และเพื่อยืนยันหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ จึงได้ทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)



ภาพที่ 4.1 พล็อต FT-IR ของถ่านกัมมันต์จากยู้งมะขาม

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากยู้งมะขามที่เตรียมด้วยการกระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลร่วมกับ H_2SO_4 พบว่า ที่ความยาวคลื่น 1125 cm^{-1} และ 1650 cm^{-1} ได้มีการยืดหดพันธะ (stretching bond) ของหมู่ Sulfonyl (SO_2) และหมู่ Carbonyl ($\text{C}=\text{O}$) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า จากการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากยู้งมะขามด้วยวิธีดังกล่าวนี้สามารถเพิ่มหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจน (Oxygen-containing functional group) บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ซึ่งมีความสำคัญในการดูดซับแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนีย

4.4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ได้ทำการศึกษาปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย และระดับของตัวแปรอิสระ 3 ระดับ คือ ระยะเวลา (X_1 : 10-180 นาที) ปริมาณถ่านที่ใช้ (X_2 : 0.5-2 กรัม/100mL) และ pH (X_3 : 2-11) ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดแอมโมเนียดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งจะได้การทดลองออกมาเป็นทั้งหมด 30 การทดลอง จากนั้นจึงได้ทำการยืนยันผลการทดลองที่สภาวะที่มีค่าร้อยละการกำจัดแอมโมเนียมากที่สุดอีก 3 การทดลอง โดยผลการทดลองการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยการกระตุ้นด้วยไฮโดรเทอร์มอลรวมกับ H_2SO_4 แสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งให้ค่าการดูดซับแอมโมเนียอยู่ระหว่างร้อยละ 0.00 ถึง 46.24



รูปที่ 4.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้น



รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์การดูดซับแอมโมเนียของถ่านกัมมันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การออกแบบการทดลองและผลการทดลองที่สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนีย

ลำดับการทดลอง	ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณถ่านที่ใช้ (กรัม/100mL)	pH	%removal
1	95	1.25	6.5	5.75
2	180	2	6.5	13.78
3	10	1.25	11	10.94
4	95	0.5	11	19.33
5	180	1.25	11	23.04
6	95	1.25	6.5	7.73
7	180	1.25	2	0.00
8	180	2	6.5	11.56
9	95	1.25	6.5	6.37
10	10	2	6.5	4.89
11	95	2	2	0.00
12	10	2	6.5	4.02
13	10	0.5	6.5	2.30
14	10	1.25	2	3.40
15	95	0.5	11	15.15
16	95	2	2	4.15
17	95	1.25	6.5	3.22
18	180	0.5	6.5	7.04
19	180	1.25	2	0.00
20	180	0.5	6.5	9.07
21	95	0.5	2	0.00
22	10	1.25	2	0.00
23	10	0.5	6.5	1.30
24	95	1.25	6.5	1.86
25	95	2	11	46.24
26	95	1.25	6.5	15.45
27	180	1.25	11	34.02
28	95	2	11	45.80
29	10	1.25	11	9.83
30	95	0.5	2	14.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	6.73	2.03	3.32	0.003	
Time(min)	3.11	1.24	2.51	0.021	1.00
Dosage(g/100mL)	3.77	1.24	3.03	0.007	1.00
pH	13.01	1.24	10.47	0.000	1.00
Time(min)*Time(min)	-4.97	1.83	-2.72	0.013	1.01
Dosage(g/100mL)*Dosage(g/100mL)	4.99	1.83	2.73	0.013	1.01
pH*pH	5.79	1.83	3.17	0.005	1.01
Time(min)*Dosage(g/100mL)	0.49	1.76	0.28	0.784	1.00
Time(min)*pH	6.46	1.76	3.68	0.001	1.00
Dosage(g/100mL)*pH	8.66	1.76	4.93	0.000	1.00

S = 4.97014 R² = 90.44% R²(adj) = 86.14%

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงผลการทดลองการกำจัดแอมโมเนียในสารละลายที่อยู่ในสถานะต่างๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลการกำจัดแอมโมเนียในสารละลายอยู่ระหว่างร้อยละ 46.24 ถึง -11.04 ซึ่งจากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดแอมโมเนียในสารละลายอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น (R²) มีค่าเท่ากับ 90.44% ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีการปรับแก้ (R²-adj) มีค่าเท่ากับ 86.14% นั่นคือตัวแปรต้น 3 ซึ่งได้แก่ เวลาในการดูดซับ ปริมาณของตัวดูดซับ และความเป็นกรด-เบส จะส่งผลต่อร้อยละการกำจัดแอมโมเนียในสารละลายได้ โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ของทั้ง 3 ตัวแปรได้ในรูปของสมการเพื่อพยากรณ์หาค่าผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง เมื่อได้ทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยและได้ทำการตัดเทอมที่ไม่มีนัยสำคัญออกไป (P-value > 0.05) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะได้สมการดังที่แสดงในสมการที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \% \text{NH}_3 \text{ removal} = & 30.09 + 0.0480 X_1 - 34.54 X_2 - 5.64 X_3 - 0.000688 X_1 * X_1 \\ & + 8.86 X_2 * X_2 + 0.2861 X_3 * X_3 + 0.01689 X_1 * X_3 + 2.567 X_2 * X_3 \end{aligned} \quad (4.1)$$

เมื่อ X_1 = ระยะเวลา (นาที)

X_2 = ปริมาณถ่านที่ใช้ (กรัม/100mL)

X_3 = pH

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกำจัดแอมโมเนีย

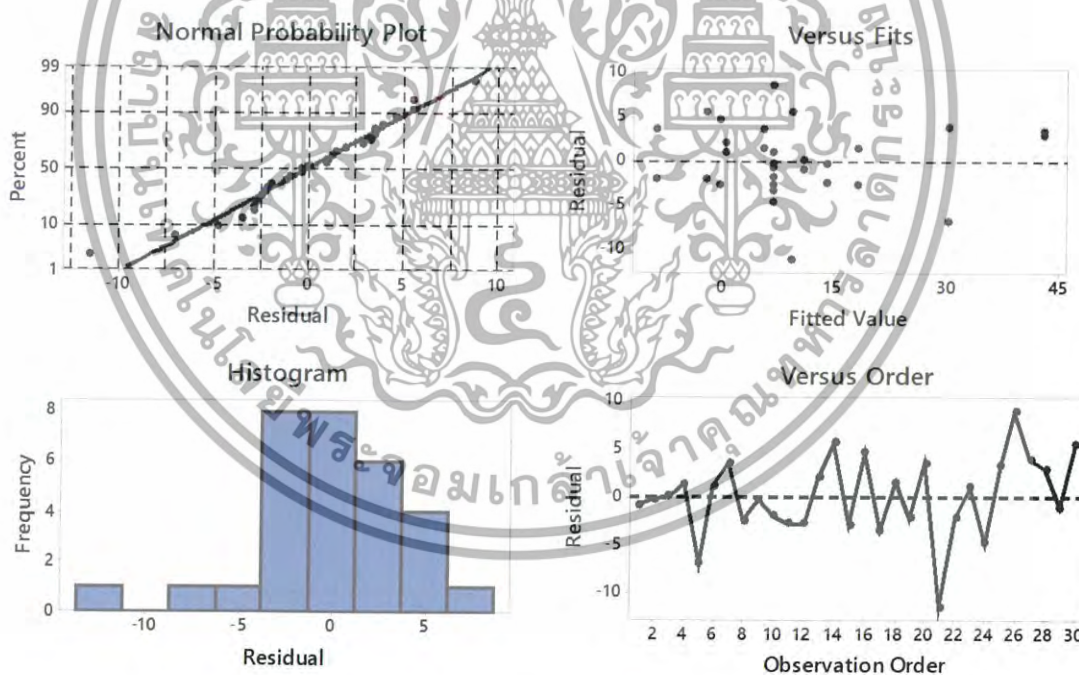
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	4675.46	519.50	21.03	0.000
Linear	3	3092.16	1030.72	41.73	0.000
Time(min)	1	155.19	155.19	6.28	0.021
Dosage(g/100mL)	1	227.49	227.49	9.21	0.007
pH	1	2709.48	2709.48	109.69	0.000
Square	3	646.94	215.65	8.73	0.001
Time(min)*Time(min)	1	182.41	182.41	7.38	0.013
Dosage(g/100mL)*Dosage(g/100mL)	1	183.52	183.52	7.43	0.013
pH*pH	1	247.85	247.85	10.03	0.005
2-Way Interaction	3	936.36	312.12	12.64	0.000
Time(min)*pH	1	333.93	333.93	13.52	0.001
Dosage(g/100mL)*pH	1	600.52	600.52	24.31	0.000
Error	20	494.05	24.70		
Lack-of-Fit	3	84.86	28.29	1.18	0.348
Pure Error	17	409.18	24.07		
Total	29	5169.50			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละการกำจัดแอมโมเนียในน้ำที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าค่า P-value ของเทอมส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อการดูดซับแอมโมเนียอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้แล้วการที่ตัวแปรต้นดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่ามีส่วนโค้งเกิดขึ้นบนพื้นผิวตอบสนอง (Montgomery, 2017) ส่วนเทอมของผลกระทบร่วมระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับและปริมาณของตัวดูดซับถือว่าไม่มีผลต่อปริมาณการดูดซับแอมโมเนีย เนื่องจากมีค่า P-value มากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อได้พิจารณาการความสมรูปของแบบจำลอง (Lack of fit) จากค่า P-value เท่ากับ 0.348 พบว่าค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้นั้นมีความสมรูปกับข้อมูล ($P\text{-value} > 0.05$) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสมการทำนายที่ได้นี้มีความแม่นยำเพียงพอในการพยากรณ์ร้อยละการกำจัดแอมโมเนีย

4.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

จากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้ง 30 การทดลองมาทำการวิเคราะห์โดยแสดงผลออกมาให้อยู่ในรูปแบบของกราฟ เพื่อนำไปตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง โดยพิจารณาจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล (residual) ดังแสดงในรูปที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 กราฟผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

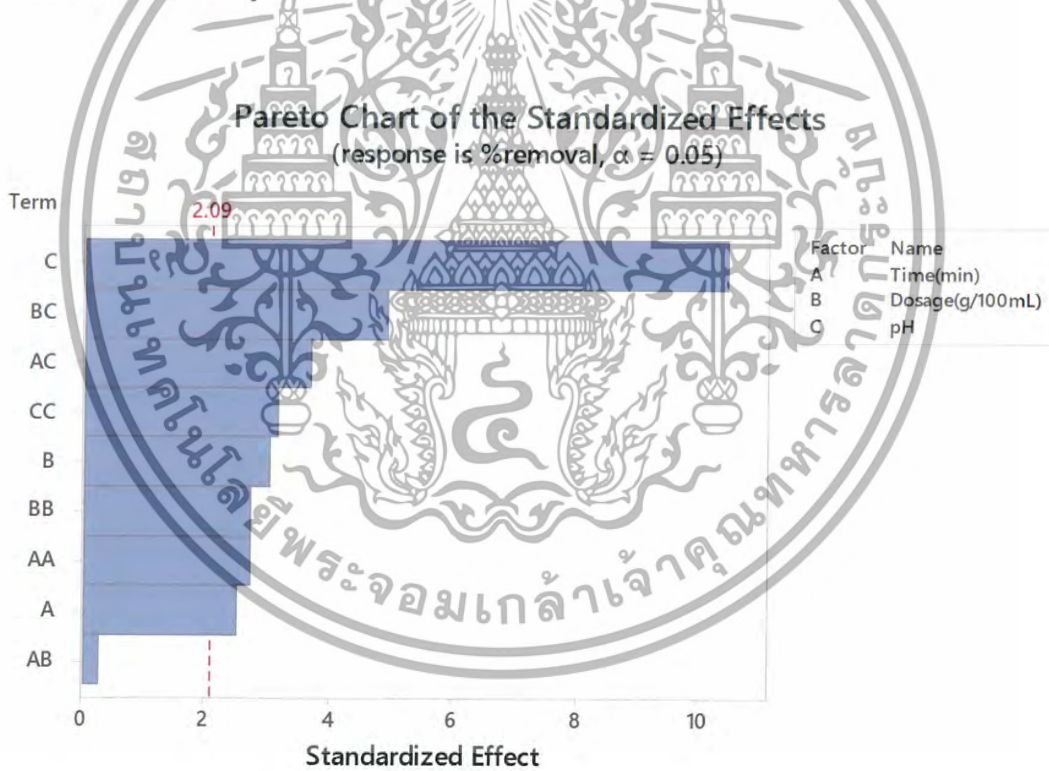
จาก Normal Probability Plot เป็นการตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (residual) พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างของปริมาณร้อยละการกำจัดแอมโมเนียที่ถูกกำจัดที่ได้ไม่มีความผิดปกติ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างนี้มีการแจกแจงแบบปกติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลดังที่แสดงใน Versus Order เมื่อพิจารณาค่าส่วนตกค้างบนแผนภูมิการกระจายพบว่า ส่วนตกค้างของปริมาณร้อยละปริมาณของแอมโมเนียที่ถูกกำจัดที่ได้มีการกระจายแบบอิสระ กระจายแบบสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลที่ได้มีความเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนที่แสดงใน Versus Fits โดยใช้แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างในแต่ละระดับปัจจัย พบว่า ข้อมูลส่วนตกค้างของปริมาณร้อยละปริมาณของแอมโมเนียที่ถูกกำจัดมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งค่าบวกและค่าลบ แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

จากการกราฟแท่งฮิสโตแกรมแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งพบว่าได้มีการกระจายตัวเป็นรูปแบบของระฆังคว่ำหรือแบบปกติ แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองนี้เป็นไปตามปกติ โดยค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่จะอยู่ตรงกลาง

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง จึงสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

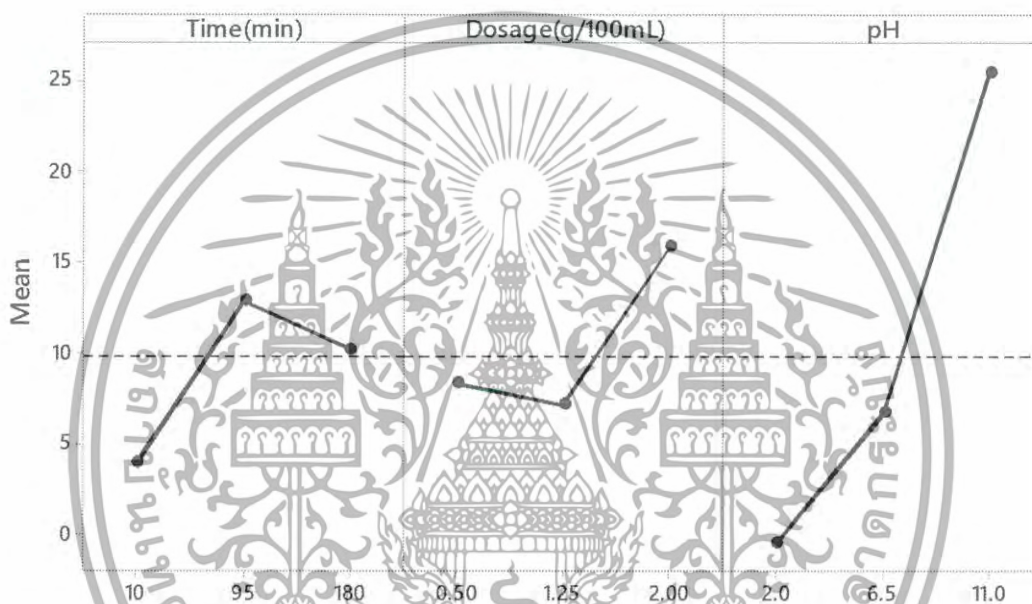


ภาพที่ 4.5 แผนภูมิพาเรโตของอิทธิพลในแต่ละปัจจัย

จากภาพที่ 4.5 แผนภูมิพาเรโต คือกราฟแท่งที่นำมาเรียงชนิดติดกัน มีเส้นความถี่สะสมซึ่งแสดงปริมาณของปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุดเรียงลำดับจนถึงปริมาณน้อยที่สุดของปัญหาหนึ่งๆ จะนำมาใช้เมื่อต้องการที่จะหาปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ โดยปัจจัยที่ต้องการหาต้องเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบ (อิทธิพล และคุณะ) ซึ่งแผนภูมินี้ได้แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนอง (RSM) และใช้แผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design ซึ่งประกอบไปด้วยอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของร้อยละการกำจัดแอมโมเนีย โดยใช้ค่า P-Value ในการ Estimated Effects and Coefficients เพื่อประเมินหาปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจากการวิเคราะห์แผนภูมิพาเรโตพบว่ามียูหนึ่งปัจจัยที่ไม่มีผลหรือมีผลน้อยมากต่อร้อยละการกำจัดแอมโมเนีย คือ ผลกระทบร่วมระหว่างเวลาและปริมาณของตัวดูดซับ (A*B) กล่าวคือมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05

4.4.3 ผลของปัจจัยหลักในการดูดซับ



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยหลัก

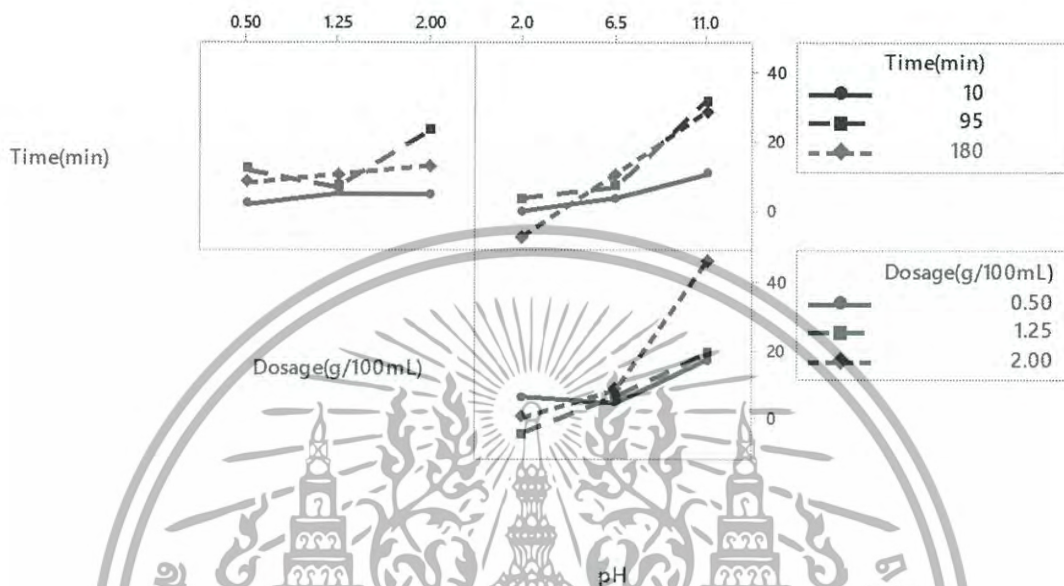
จากภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดแอมโมเนีย ซึ่งจากกราฟนี้สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ร้อยละแอมโมเนียที่ถูกกำจัดจะเพิ่มสูงขึ้นจนเข้าสู่สมดุล ในรูปแสดงให้เห็นว่าอัตราการกำจัดแอมโมเนียจะเกิดขึ้นเร็วในช่วงเริ่มต้นของการดูดซับ เนื่องจากมี Active site ในการดูดซับมากในช่วงเริ่มต้น โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของนักวิจัยอื่นๆ (Zhang et al., 2011; Zhao et al., 2013) หลังจากนั้นอัตราการกำจัดแอมโมเนียจะลดลงและเข้าสู่สมดุลในที่สุด

เมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับที่มากขึ้นจะทำให้อัตราการกำจัดแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวน Active site ที่มีอยู่ของถ่านกัมมันต์ ทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ pH ยิ่งทำให้ร้อยละแอมโมเนียที่ถูกกำจัดจะเพิ่มสูงขึ้น เพราะที่ pH สูงจะทำให้แอมโมเนียเกิดการเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปของแอมโมเนีย

4.4.4 ผลของปัจจัยร่วมต่อการดูดซับ



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยร่วมทั้ง 3 ระดับ

จากภาพที่ 4.7 กราฟแสดงให้เห็นถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยแต่ละชนิด โดยปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณการดูดซับแอมโมเนียจะมีลักษณะกราฟเป็นเส้นขนาน ซึ่งในขณะเดียวกัน ลักษณะของกราฟของปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณการดูดซับแอมโมเนียจะไม่เป็นเส้นขนาน ซึ่งกราฟนี้จะแสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะเวลาและปริมาณตัวดูดซับสูงขึ้น ระยะเวลาและค่าความเป็นกรด-เบสสูงขึ้น ปริมาณตัวดูดซับและค่าความเป็นกรด-เบสสูงขึ้น ส่งผลให้ร้อยละแอมโมเนียที่ถูกกำจัดสูงขึ้นตามไปด้วย

4.4 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ

จากภาพที่ 4.6 แสดงสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากยุ่งมะขามด้วยวิธี hydrothermal และ H_2SO_4 โดยสภาวะที่เหมาะสม คือ ใช้ระยะเวลาในการดูดซับ 180 นาที ปริมาณของตัวดูดซับ 2 กรัม/100mL และ pH 11 ซึ่งจากการประมาณ จะได้ค่าแอมโมเนียที่ถูกกำจัดประมาณ 48.05% ซึ่งเชื่อมน้ำได้ 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับแอมโมเนีย

ตัวแปร	ค่า
เวลา (นาที)	180
ปริมาณของตัวดูดซับ (กรัม/100mL)	2
pH	11
%removal	49.05

เมื่อได้ทำการยืนยันสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนียจำนวน 3 ซ้ำการทดลอง จะได้ตามตารางที่ 4.7 โดยร้อยละการกำจัดแอมโมเนียเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 48.32 หรือ 2.56 mg/g มีค่าใกล้เคียงกันกับค่าที่ได้จากการคำนวณทางสถิติ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จึงสรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากขี้เถ้าขี้เถ้าขี้เถ้าด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและ H_2SO_4 ปริมาณ 2.0 กรัม/100mL ของแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 กรัม/L ทำการดูดซับเป็นระยะเวลา 180 นาที ที่ pH เท่ากับ 11 สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 2.56 mg/g

ตารางที่ 4.7 การยืนยันสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับแอมโมเนีย

Run No.	1	2	3	เฉลี่ย
%removal	49.06	47.43	48.47	48.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ

จากสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนีย จึงได้ทำการหาความสามารถในการดูดซับของ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากยู้งมะขาม พบว่า ที่ทำการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากยู้งมะขามกระตุ้นด้วยวิธี ไฮโดรเทอร์มอลและ H_2SO_4 ปริมาณ 2.0 กรัม/100mL ของแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 กรัม/L ทำการดูดซับเป็นระยะเวลา 180 นาที ที่ pH เท่ากับ 11 สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 2.56 mg/g เมื่อนำถ่านกัมมันต์จากการทดลองนี้มาเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ได้จากงานวิจัย อื่นๆ จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากยู้งมะขามกระตุ้นด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล และ H_2SO_4 มีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดี เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ และ โครงสร้างของตัววัตถุ

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับ

Adsorbent	Precursor	Adsorption Temp (°C)	Initial ammonium concentration (mg/L)	Maximum Adsorption capacity (mg/g)	Reference
AC	Tamarind Pulp	25	100	2.56	This research
Ozonated AC	Coconut shell	25	200-800	1.12	Love et al. (2011)
AC	Coconut shell	20	50-2000	2.261	Boopathy et al. (2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 การศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์และปรับปรุงพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากยู้งมะขาม

การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ได้จากยู้งมะขามด้วยวิธี Hydrothermal และ H_2SO_4 เป็นวิธีที่ให้ค่าการดูดซับที่ดีและมีความเหมาะสมในการกระตุ้นมากที่สุด และได้ทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่ามีปรากฏพีคที่มีความสำคัญในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ คือ พีคจากการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 1125 cm^{-1} และ 1650 cm^{-1} แสดงถึงการสั่นของพันธะในหมู่ Sulfonfyl (SO_2) และ Carbonyl ($C=O$) ซึ่งหมู่ฟังก์ชันนี้ได้จากการกระตุ้นทางเคมีด้วย H_2SO_4 ทำให้ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดซับแอมโมเนียได้ในรูปแบบ Chemisorption

5.1.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแอมโมเนีย

จากนั้นจึงได้ทำการศึกษาต่อถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนีย โดยพิจารณา 3 ปัจจัย ได้แก่ เวลาในการดูดซับ (นาทื) ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม/100mL) และค่า pH เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design (BBD) ซึ่งจากการพิจารณาผลกระทบของปัจจัยในแต่ละชนิดพบว่า ยิ่งใช้ระยะเวลาในการดูดซับมาก จะทำให้ปริมาณแอมโมเนียที่ถูกกำจัดสูงขึ้นจนเข้าสู่สมดุล เมื่อปริมาณตัวดูดซับมาก ทำให้ปริมาณแอมโมเนียที่ถูกกำจัดสูงขึ้น และยังมีค่าความเป็นกรด-เบสสูงขึ้น ยิ่งทำให้ปริมาณแอมโมเนียที่ถูกกำจัดสูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน และในการทำนายสภาวะที่เหมาะสม พบว่า เมื่อทำการดูดซับในสภาวะที่ระยะเวลาในการดูดซับ 180 นาทื ปริมาณในการดูดซับ 2 กรัม/100mL และค่าความเป็นกรด-เบส 11 จะได้ร้อยละแอมโมเนียที่ถูกกำจัดเท่ากับ 48.05 หรือมีค่าการดูดซับเท่ากับ 2.56 mg/g

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในขั้นตอนการล้างถ่านกัมมันต์ภายหลังจากการกระตุ้นด้วยเคมี ควรทำการล้างหลายรอบเพื่อให้มั่นใจว่าถ่านกัมมันต์อยู่สภาวะที่เป็นกลางแล้ว

5.2.2 ควรทำการกรองสารละลายเนสเลอร์ก่อนทำการทดลองทุกครั้ง เพื่อป้องกันการเกิดตะกอนเป็นเหตุให้การอ่านค่าการดูดกลืนแสงคลาดเคลื่อน

5.2.3 เมื่อได้ทำการใช้ Stock solution เสร็จเรียบร้อยแล้ว ควรนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่มี

อุณหภูมิประมาณ $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทันทีเพื่อป้องกันการระเหย ทำให้ความเข้มข้นที่เตรียมไว้คลาดเคลื่อน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กฤติยากร ทูลธรรม. 2560. การปรับปรุงพื้นที่ผิวตัวดูดซับจากเปลือกมะขามสำหรับการดูดซับสีทาร์ทราซีน. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เทคนิคปฏิบัติการใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ในการวิเคราะห์ทางเคมี. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.mwit.ac.th/~sarawoot/chem40235.htm>. 14 พฤศจิกายน 2561.
- ปริญทร เต็มถาวรศิลป์. 2551. การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไม้ตงและไม้หมากู. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. 2558. ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลาย โดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2558. DOI: 10.14457/ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ. 2555. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=41&id=37. 5 พฤศจิกายน 2561.
- สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ. 2555. เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface Area and Pore Size Analyzer). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www0.tint.or.th/nkc/RD-web/instrument/instru-005.html>. 5 พฤศจิกายน 2561.
- ัญญลักษณ์ โคตะมี, พรรณทภา อติชาติ, วรณพร จันทโภาส. การใช้แผนภูมิพาราโตสำหรับการควบคุมคุณภาพในโรงงานอุตสาหกรรม.
- ธีร์วัช สิงหศิริ. 2557. สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตถ่านกัมมันต์จากต้นไมยราบยักษ์โดยการกระตุ้นด้วยไฮเดียมคลอไรด์และซิงค์คลอไรด์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.
- Adina Elena Segneanu, Ioan Gozescu, Anamaria Dabici, Paula Sfirloaga and Zoltan Szabadai (2012). Organic Compounds FT-IR Spectroscopy, Macro to Nano Spectroscopy, Dr. Jamal Uddin (Ed.), ISBN: 978-953-51-0664-7, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/macro-to-nano-spectroscopy/organiccompounds-ft-ir-spectroscopy>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Boopathy, R., Karthikeyan, S., Mandal, A.B., Sekaran, G., 2013. Adsorption of ammonium ion by coconut shell-activated carbon from aqueous solution: kinetic, isotherm, and thermodynamic studies. *Environ. Sci. Poll. Res.* 20, 533–542.
- Deng L, Lu B, Li J, Lv G, Du S, Shi J, et al. Effect of pore structure and oxygen-containing groups on adsorption of dibenzothiophene over activated carbon. *Fuel*. 2017 Jul; 200:54–61.
- Funge-Smith, S.J. and Briggs, M.R.P. (1998) Nutrient Budgets in Intensive Shrimp Ponds: Implication for Sustainability. *Aquaculture*, 164, 117–133.
- John A.Hargreaves. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*. 1998 (166): 181-212.
- Lawson, T.B., 1995. *Fundamentals of Aquacultural Engineering*, Chapman and Hall, London.
- Lee W, Yoon S, Choe JK, Lee M, Choi Y. Anionic surfactant modification of activated carbon for enhancing adsorption of ammonium ion from aqueous solution. *Sci Total Environ*. 2018 Oct; 639:1432–9.
- Love, C., Kolar, P., Classen, J., Das, L., 2011. Adsorption of ammonia on ozonated activated carbon. *Trans. ASABE* 54, 1931–1940.
- Montgomery, D.C. 2017. *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons. 427-510.
- M.G. Abukakar, A.N. Ukwuanf and R.A. Shehu, 2008. Phytochemical Screening and Antibacterial Activity of *Tamarindus Indica* Pulp Extract. *Asian Journal of Biochemistry*, 3: 134-138.
- Randall, D.J. and Tsui, T.K.N. (2002) Ammonia Toxicity in Fish. *Marine Pollution Bulletin*, 45, 17-23.
- Shi, M., Wang, Z., Zheng, Z., 2013. Effect of Na⁺ impregnated activated carbon on the adsorption of NH₄⁺-N from aqueous solution. *J. Environ. Sci.* 25 (8), 1501-1510.
- Vu MT, Chao H-P, Van Trinh T, Le TT, Lin C-C, Tran HN. Removal of ammonium from groundwater using NaOH-treated activated carbon derived from corncob wastes: Batch and column experiments. *J Clean Prod*. 2018 Apr; 180:560–70.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Wikipedia. Thermogravimetric analysis. [Online]. Available:
https://en.wikipedia.org/wiki/Thermogravimetric_analysis. 14 November 2018.
- Yahya, M.A., Al-Qodah, Z., Ngah, C.W.Z., 2015. Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 46, 218–235.
- Zhang, M., Zhang, H., Xu, D., Han, L., Niu, D., Zhang, L., Wu, W., Tian, B., 2011. Ammonium removal from aqueous solution by zeolites synthesized from low-calcium and high-calcium fly ashes. *Desalination* 277, 46–53.
- Zhao, Y., Yang, Y., Yang, S., Wang, Q., Feng, C., Zhang, Z., 2013. Adsorption of high ammonium nitrogen from wastewater using a novel ceramic adsorbent and the evaluation of the ammonium-adsorbed-ceramic as fertilizer. *J. Colloid Interface Sci.* 393, 264–270.
- Zhu Y, Kolar P, Shah SB, Cheng JJ, Lim PK, Avocado seed-derived activated carbon for mitigation of aqueous ammonium. *Ind Crops Prod.* 2016 Dec; 92:34–41.
- Zhu, K., Fu, H., Zhang, J., Li, X., Tang, J., Xu, X., 2012. Studies on removal of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ from aqueous solution by using the activated carbons derived from rice husk. *Biomass Bioenergy* 43, 18–25.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ข.1 การคำนวณหารปริมาณคาร์บอนคงที่

$$\%Fixed Carbon = 100 - (\%Moisture + \%Ash + \%Volatile Matters)$$

ข.2 การคำนวณการปริมาณแอมโมเนียในน้ำ

$$Total Ammonia, mg/L = \frac{\text{แอมโมเนียไนโตรเจนที่พบ (mg)} \times 1000}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (mL)}}$$

ข.3 การคำนวณหาปริมาณการดูดซับของถ่านกัมมันต์

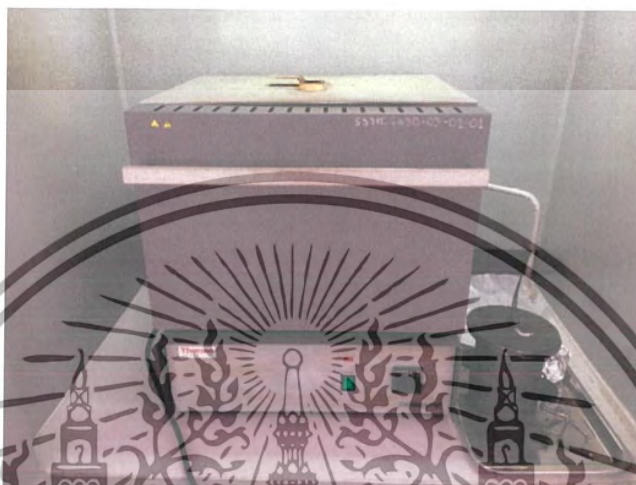
$$q = \frac{C_0 - C}{M} \times V$$

โดย : q = ปริมาณที่ดูดซับได้ต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (mg/g); C_0 = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเริ่มต้น (mg/L); C = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับสุดท้าย (mg/L); M = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (g); V = ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (L)

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ค.1 เตาเผา (Thermo Scientific, THERMOLYNE)



ค.2 เตาอบ (redline, BINDER, Germany)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 เครื่อง Incubator Shaker (ZHWHY-100B)

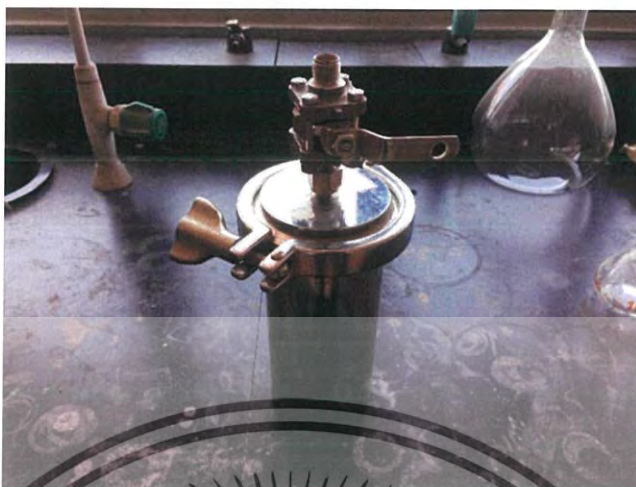


ค.4 เครื่องชั่งสาร (CP225D, SARTORIUS-AG, Germany)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.5 Stainless steel reactor



ค.6 เครื่อง UV-Visible spectrophotometer (PG-Instruments, T60 Visible Spectrophotometer)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล ไชยวัฒน์ ณ ลำปาง
 วัน เดือน ปี เกิด 3 ตุลาคม 2539
 ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น
 โรงเรียนเทพศิรินทร์ร่มเกล้า
 พ.ศ. 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
 โรงเรียนเทพศิรินทร์ร่มเกล้า, สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์
 พ.ศ. 2558 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีหลักสูตร
 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) คณะอุตสาหกรรมเกษตร
 สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ประสบการณ์การทำงาน ฝึกงานที่ National Kaohsiung University of Science and
 Technology (Nanzih Campus)
 ผลงานวิจัย
 รางวัลที่เคยได้รับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้