

ผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกส้ม เพื่อดูดซับสีข้อมในน้ำเสีย
ด้วยการกระตุ้นทางเคมี



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM ORANGE PEELS
TO REMOVE DYES IN WASTEWATER BY CHEMICAL ACTIVATION



JIRATCHAYA MUEANSRI
NATTHARINEE UDOMSAKSAKUL

ADVISOR
Asst. Prof. Dr. Thachanan Samanmulya

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกส้มเพื่อดูดซับสีย้อมในน้ำเสีย ด้วยการกระตุ้นทางเคมี		
นักศึกษา	จิรัชญา หมื่นศรี	รหัสนักศึกษา	63010145
	ณัฐริณี อุดมศักดิ์สกุล	รหัสนักศึกษา	63010301
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ปีการศึกษา	2566		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ธัชนันต์ สมานมุลย์		

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะกรรมการ

.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.ธัชนันต์ สมานมุลย์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันต์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.วลัยรัตน์ จันทระอมพร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกส้มเพื่อดูดซับสีข้อมในน้ำเสีย ด้วยการกระตุ้นทางเคมี		
นักศึกษา	จิรัชญา หมื่นศรี	รหัสนักศึกษา	63010145
	ณัฐฐริณี อุดมศักดิ์สกุล	รหัสนักศึกษา	63010301
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ปีการศึกษา	2566		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ธัชนันต์ สมานมุลย์		

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมส้มมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นผลไม้เศรษฐกิจของประเทศไทย ผู้คนนิยมบริโภคผลส้ม และนำส้มไปคั้นน้ำ จึงทำให้เปลือกส้มกลายเป็นของเสียชีวมวล วิจัยเล่มทำการศึกษากำมันต์ที่ผลิตจากเปลือกส้มด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน แล้วนำไปกระตุ้นทางเคมี ซึ่งสารเคมีที่ใช้กระตุ้น ได้แก่ ซิงค์ (II) คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ร้อยละ 30 โดยมวล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร้อยละ 50 โดยมวล และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) ร้อยละ 30 โดยมวล ด้วยอัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อสารกระตุ้น เท่ากับ 1:4 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโดยการหาค่าการดูดซับไอโอดีนและค่าการดูดซับเมทิลีนบลู นำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์พฤติกรรมการดูดซับด้วยแบบจำลองแลงเมียร์ไอโซเทอมและฟรุน ดริชไอโซเทอม จากผลการศึกษาพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด และเมื่อคำนวณค่าการดูดซับเมทิลีนบลูสูงสุดของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูสูงสุด เท่ากับ 43.668 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากถึงร้อยละ 96.18

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์ เปลือกส้ม เมทิลีนบลู การบำบัดน้ำเสีย

Thesis Title	PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM ORANGE PEELS TO REMOVE DYES IN WASTEWATER BY CHEMICAL ACTIVATION		
Student	Jiratchaya Mueansri	Student ID	63010145
	Nattharinee Udomsaksakul	Student ID	63010301
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Chemical Engineering		
Year	2023		
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Thachanan Samanmulya		

ABSTRACT

The orange industry is significant because it is an economic fruit of Thailand. People consume oranges widely, and oranges are often used for juicing, leading to the accumulation of orange peels as biomass waste. A study about the production of activated carbon from orange peels using hydrothermal carbonization process, followed by chemical activation. The chemicals used for activation are 30%wt zinc chloride ($ZnCl_2$), 50%wt potassium hydroxide (KOH), and 30%wt potassium carbonate (K_2CO_3). The ratio of activated carbon to activating agent was 1:4 by weight, and impregnation for 24 hours. Subsequently, the activated carbon obtained was studied for its adsorption efficiency by determining the adsorption capacities for iodine and methylene blue. The obtained values were then analyzed for adsorption behavior using Langmuir and Freundlich isotherm models. From the study results, it was found that activated carbon produced from hydrothermal carbonization at 210°C for 3 hours and at 270°C for 1 hour, followed by activation with potassium hydroxide, exhibited the highest iodine adsorption capacity. When calculating the maximum methylene blue adsorption capacity of the activated carbon, the one produced from hydrothermal carbonization at 270°C for 1 hour showed the highest value, which is 43.668 mg/g. It has an absorption efficiency of up to 96.18%

Keyword: Activated carbon, Orange peel, Methylene blue, wastewater treatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาถ่านกัมมันต์จากเปลือกส้มเพื่อดูดซับสีย้อมในน้ำเสียด้วยการ กระตุ้นทางเคมี เพื่อการสำเร็จการศึกษาของนักศึกษาในระดับปริญญาตรีสามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จ จุล่งไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจากผู้ช่วย ศาสตราจารย์ชัชชนันต์ สมานมุลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะ ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ รวมถึงติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินงานวิจัย และสนับสนุนทุนในการวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่สนับสนุนวิชาการ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหา อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ และคอยอำนวยความสะดวกตลอดการจัดทำ งานวิจัย

นอกจากนี้ขอขอบคุณ เพื่อนพี่น้อง ในสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ข้อแก้ไข และข้อปรับปรุงต่างๆ รวมถึงครอบครัวที่ให้การสนับสนุนจนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

จิรัชญา หมื่นศรี
ณัฐริณี อุดมศักดิ์สกุล

27 มีนาคม 2567

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เปลือกส้ม.....	3
2.1.1 องค์ประกอบของเปลือกส้ม.....	3
2.2 ถ่านกัมมันต์.....	5
2.3 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน.....	5
2.4 ชนิดของถ่านกัมมันต์.....	6
2.4.1 แบ่งตามขนาดอนุภาค.....	6
2.4.2 แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น.....	6
2.4.3 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์.....	7
2.5 คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์.....	7
2.5.1 ไอโอดีนนัมเบอร์.....	7
2.5.2 ค่าความหนาแน่น.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3	ค่าความแข็ง.....	7
2.5.4	ค่าการกระจายตัวของอนุภาค.....	8
2.5.5	ปริมาณเก่า.....	8
2.5.6	เมทิลีนบลู.....	8
2.6	การดูดซับของถ่านกัมมันต์.....	8
2.6.1	กลไกการดูดซับ.....	8
2.6.2	ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	9
2.6.3	ไอโซเทอมการดูดซับ.....	10
2.7	สีย้อมเมทิลีนบลู.....	11
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการ.....	13
3.1	วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	13
3.1.1	วัตถุประสงค์.....	13
3.1.2	สารเคมี.....	13
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	14
3.2.1	อุปกรณ์.....	14
3.2.2	เครื่องมือ.....	14
3.3	วิธีการทดลอง.....	15
3.3.1	การวิเคราะห์เชิงปริมาณของเปปไทด์.....	15
3.3.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบเคมี.....	16
3.3.3	ขั้นตอนการเตรียมไฮโดรซาร์.....	17
3.3.4	ขั้นตอนการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์.....	18
3.3.5	ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู.....	18
3.3.6	การวิเคราะห์หาคุณสมบัติการดูดซับไอโอดีน.....	21

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	23
4.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณของเปลือกส้ม.....	23
4.1.1 ปริมาณความชื้น	23
4.1.2 ปริมาณสารระเหย	24
4.1.3 ปริมาณเถ้าและคาร์บอนคงตัว.....	24
4.2 การวิเคราะห์ห้องประกอบทางเคมี.....	26
4.3 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน	27
4.4 วิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลู.....	28
4.2.1 การดูดซับไอโอดีน.....	28
4.2.2 การดูดซับเมทิลีนบลู.....	30
4.5 การประมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็กและทั้งหมด	33
บทที่ 5 สรุปการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ.....	35
5.1 สรุปการดำเนินงาน	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
บรรณานุกรม.....	37
ภาคผนวก	39
ก.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณของเปลือกส้ม	40
ก.1.1 ปริมาณความชื้น	40
ก.1.2 ปริมาณสารระเหย	41
ก.1.3 ปริมาณเถ้าและคาร์บอนคงตัว.....	41
ก.2 วิเคราะห์ห้องประกอบเคมี	42
ก.2.1 การเตรียมสารสำหรับการวิเคราะห์เชิงเคมี.....	42
ก.2.2 ปริมาณเฮมิเซลลูโลส	43
ก.2.3 ปริมาณลิกนิน	44
ก.2.4 ปริมาณเซลลูโลส	44

ก.3 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน.....	45
ก.3.1 ข้อมูลผลการทดลอง.....	45
ก.4 วิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน.....	47
ก.4.1 การเตรียมสารสำหรับการทดสอบไอโอดีน.....	47
ก.4.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.100 นอร์มอล.....	48
ก.4.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.100 ± 0.001 นอร์มอล.....	49
ก.4.4 ข้อมูลการทดลองหาค่าการดูดซับไอโอดีน.....	50
ก.5 วิเคราะห์การดูดซับเมทิลีนบลู.....	53
ก.5.1 กราฟมาตรฐานสำหรับสารละลายเมทิลีนบลู.....	53
ก.5.2 ข้อมูลการดูดซับเมทิลีนบลูของไฮโดรซาร์และถ่านกัมมันต์.....	54
ก.5.3 คำนวณหาปริมาตรจำเพาะ รูพรุนขนาดเล็ก และรูพรุนทั้งหมดของตัวดูดซับ.....	56

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงเคมีของเปลือกส้ม.....	3
ก.1 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในเปลือกส้ม.....	40
ก.2 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยในเปลือกส้ม.....	41
ก.3 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าในเปลือกส้ม.....	41
ก.4 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเปลือกส้ม.....	43
ก.5 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินในเปลือกส้ม.....	44
ก.6 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสในเปลือกส้ม.....	44
ก.7 แสดงข้อมูลการหาลำยผลผลิตของไฮโดรซาร์.....	45
ก.8 แสดงค่าการทดสอบสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.100 นอร์มอล.....	48
ก.9 แสดงค่าการทดสอบสารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.100 ± 0.001 นอร์มอล.....	49
ก.10 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของเปลือกส้มและไฮโดรซาร์.....	50
ก.11 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์.....	51
ก.12 แสดงค่าการดูดกลืนแสง ณ ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร.....	53
ก.13 แสดงค่าการดูดซับสีของไฮโดรซาร์และถ่านกัมมันต์ (210 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง).....	54
ก.14 แสดงค่าการดูดซับสีของไฮโดรซาร์และถ่านกัมมันต์ (270 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง).....	55
ก.15 แสดงข้อมูลการคำนวณหาปริมาณจำเพาะ รุพรูปขนาดเล็ก และรุพรูปทั้งหมด.....	56

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส.....	4
2.2 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส.....	4
2.3 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน	4
2.4 ถ่านกัมมันต์	5
2.5 การแบ่งขนาดของถ่านกัมมันต์.....	6
2.6 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู.....	11
4.1 แผนภูมิแสดงปริมาณความชื้นในเปลือกส้ม.....	23
4.2 แผนภูมิแสดงปริมาณสารระเหยในเปลือกส้ม.....	24
4.3 แผนภูมิแสดงปริมาณเถ้าในเปลือกส้ม.....	25
4.4 แผนภูมิแสดงปริมาณขององค์ประกอบต่างๆในเปลือกส้ม.....	25
4.5 แผนภูมิแสดงปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในเปลือกส้ม.....	26
4.6 แผนภูมิแสดงร้อยละผลผลิตของไฮโดรซาร์ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	27
4.7 แผนภูมิแสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของไฮโดรซาร์ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	28
4.8 แผนภูมิแสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่สภาวะต่างๆ.....	29
4.9 พลอตแลงเมียร์ไอโซเทอมสำหรับไฮโดรซาร์ โมเดล 3.....	30
4.10 พลอตฟรูดริชไอโซเทอม (สภาวะ 210 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง).....	30
4.11 พลอตแลงเมียร์ไอโซเทอม ในรูปแบบโมเดล 2 (สภาวะ 210 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง).....	31
4.12 แผนภูมิแสดงค่าการดูดซับสูงสุดที่สภาวะต่างๆ.....	31
4.13 แผนภูมิแสดงร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลีนบลู.....	32
4.14 แผนภูมิแสดงค่าประมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ.....	33
4.15 แผนภูมิแสดงค่าปริมาณปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก.....	33
4.16 แผนภูมิแสดงค่าประมาณปริมาตรรูพรุนทั้งหมด.....	34
ก.1 ตัวอย่างเปลือกส้มหลังอบแห้ง.....	40
ก.2 เปลือกส้มหลังเผา เพื่อหาปริมาณสารระเหย	41
ก.3 ตัวอย่างขั้นตอนการหาปริมาณเชิงเคมี.....	44
ก.4 ตัวอย่างการนำ Stainless-steel autoclave เข้าตู้อบลมร้อน.....	46
ก.5 ตัวอย่างการกรองและล้างไฮโดรซาร์ที่ได้.....	46
ก.6 ตัวอย่างไฮโดรซาร์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.7 ตัวอย่างขั้นตอนการทดสอบไอโอดีน.....	52
ก.8 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและค่าการดูดซับ	53
ก.9 ตัวอย่างการทดลองหาค่าการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ.....	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมการผลิตส้มเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญในประเทศไทย เนื่องจากส้มเป็นผลไม้เศรษฐกิจของประเทศไทย นิยมปลูกกันหลากหลายสายพันธุ์ เช่น ส้มเขียวหวาน จากสถิติในปี 2565 พบว่ามีปริมาณผลผลิตส้มเขียวหวาน 288,467 ตัน[1] ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นจากปีที่ผ่านมา ผลส้มที่ได้มักนำมาบริโภค รวมถึงเป็นสินค้าที่ส่งออกไปยังต่างประเทศ ส้มเป็นผลไม้ที่ให้ผลผลิตเกือบตลอดปี และสามารถนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจได้หลากหลาย รวมถึงสามารถเพิ่มมูลค่าทางตลาดจากผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้ ข้อมูลเบื้องต้นพบว่าผลผลิตส้มทั่วโลกมีประมาณ 51.8 พันล้านตัน ซึ่งนำมาแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้น 2 พันล้านตัน โดยอุตสาหกรรมการแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้นจะมีของเสียจากกระบวนการผลิตประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในจำนวนนี้เป็นเปลือกส้มประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการกำจัดของเสียเป็นจำนวนมากเหล่านี้ ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายของโรงงานและต้องคำนึงถึงกฎหมายทางอุตสาหกรรม ดังนั้นการแปรรูปของเสียให้มีมูลค่าสูงขึ้นจะช่วยให้โรงงานลดค่าใช้จ่าย และสามารถเพิ่มกำไรให้กับโรงงานได้[2]

การใช้ถ่านกัมมันต์บำบัดและกำจัดสิ่งปนเปื้อน เช่น สี ย้อม โลหะหนัก ในน้ำเสียจากกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยอาศัยวิธีการดูดซับ เป็นวิธีการที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ คือ ถ่านหินและไม้ไผ่[3] ปัจจุบันสี ย้อมถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆอย่างแพร่หลาย เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีสันที่สวยงาม ตัวอย่างอุตสาหกรรมที่ใช้สี ย้อม เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ และอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง เป็นต้น อุตสาหกรรมเหล่านี้มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิต ทำให้น้ำทิ้งที่ถูกปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีสี ย้อมปนเปื้อน ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดสี ย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำเสียด้วยวิธีการที่เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม[4]

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเปลือกส้มซึ่งเป็นของเสียชีวมวลจากอุตสาหกรรม มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากลักษณะและองค์ประกอบของเปลือกส้มส่วนใหญ่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เหมาะแก่การนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ เพื่อใช้ในการดูดซับสี ย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยในการวิจัยนี้จะใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล แล้วกระตุ้นด้วยวิธีการทางเคมี โดยใช้กรด-เบสในการกระตุ้น จากนั้นวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการดูดซับสี ย้อมเมทิลีนบลู เพื่อหาสภาวะที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดซับสี ย้อมที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกส้ม
2. เพื่อศึกษาชนิดสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกส้ม
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกส้ม

1.3 ขอบเขตการทำงาน

1. เตรียมไฮโดรซาร์จากเปลือกส้มด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน และนำไปกระตุ้นด้วยวิธีการทางเคมี เพื่อให้ได้เป็นถ่านกัมมันต์
2. ศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้กรด-เบส ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3)
3. ศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์จากเปลือกส้ม

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ถ่านกัมมันต์จากเปลือกส้มสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสีย้อมเมทิลีนบลูได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. หากมีการนำไปใช้ต่อยอดในระดับอุตสาหกรรม จะสามารถลดของเสียชีวมวลจากกระบวนการผลิต และสามารถเพิ่มมูลค่าของของเสียได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เปลือกส้ม

ส้มเขียวหวาน มีชื่อสามัญว่า Mandarin หรือ Tangerine เป็นส้มเปลือกอ่อน ปอกเปลือกและแยกกลีบง่าย เป็นตระกูลส้มที่สามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย นิยมปลูกกันมากในภาคเหนือ เนื่องจากเป็นไม้ผลกิ่งเมืองร้อน ไม่ชอบสภาพอากาศที่หนาวจัดหรือร้อนจัดจนเกินไป สามารถปลูกได้ในทุกลักษณะดินที่ไม่มีน้ำขัง ส้มเขียวหวานเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเนื่องจากมีรสชาติหอมหวาน และมีสรรพคุณทางยา เป็นผลไม้ที่ไม่รับประทานเปลือก นิยมนำมาแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้นขายตามท้องตลาด และในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้[5]

2.1.1 องค์ประกอบของเปลือกส้ม

ตัวอย่างเปลือกส้มถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยวิธี SEM-EDS ผลการทดสอบองค์ประกอบต่างๆของเปลือกส้ม แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงเคมีของเปลือกส้ม[6]

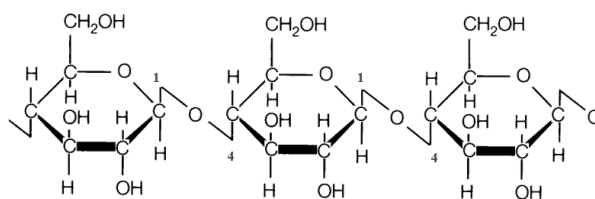
การวิเคราะห์		องค์ประกอบ (%โดยน้ำหนัก)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (%)
เชิงปริมาณ (Proximate)	ความชื้น (Moisture)	73.530	0.477
	สารระเหย (Volatiles)	99.261	0.074
	เถ้า (Ash)	0.052	0.004
	คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)	0.687	0.078
เชิงเคมี (Chemical)	ลิกนิน (Lignin)	19.801	3.595
	โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose)	78.110	4.404
	เซลลูโลส (Cellulose)	69.096	9.015
	เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	5.433	5.433

2.1.1.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ เกิดจากกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวมากกว่า 2,000 โมเลกุล เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่งปีตา-1,4 โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

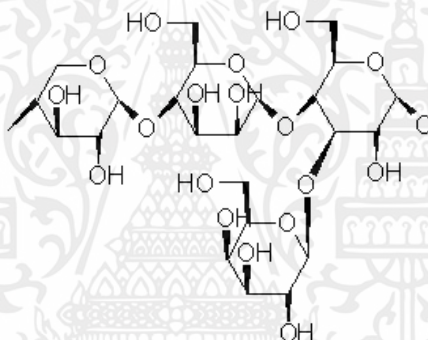
เซลลูโลสเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช และเป็นเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ โดยในแต่ละปีพืชทั่วโลกสามารถผลิตเซลลูโลสได้มากถึงหนึ่งแสนล้านตัน[7]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

2.1.1.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

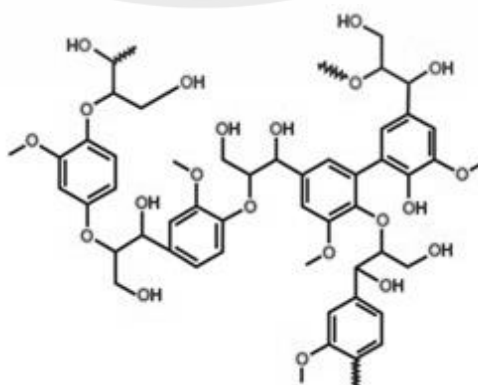
เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ ที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิดเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ ซึ่งเฮมิเซลลูโลสเป็นใยอาหารที่สามารถอุ้มน้ำได้ แต่ไม่ละลายน้ำ[7] ความต่างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสคือ เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์แบบสายตรง ในขณะที่เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์เชื่อมโยง[8]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส

2.1.1.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทใยอาหาร โครงสร้างโมเลกุลเป็นประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มักพบในผนังเซลล์ของพืช มีโครงสร้างเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นสายโซ่โมเลกุลของออกซิเจนตติฟีนิลโพรเพน (oxygenated phenyl propane) เป็นส่วนที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับเซลล์ และลิกนินเป็นส่วนที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้[7]



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ คือ ถ่านที่ผลิตจากวัตถุดิบทางธรรมชาติที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยนำมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะโครงสร้างที่เป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีสมบัติในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก สามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ใช้ฟอกหรือกรองอากาศ ใช้สกัดโลหะ เช่น ทองคำ ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำดื่ม ใช้ในการดูดซับมลพิษในอากาศ ใช้เป็นไส้กรองของหน้ากากนิรภัยเพื่อกรองแก๊สพิษ รวมทั้งเป็นอีกทางเลือกในการกำจัดและบำบัดมลพิษหรือสารปนเปื้อนในน้ำเสีย เช่น สีย้อม โลหะหนัก โดยอาศัยหลักการการดูดซับ[9]



รูปที่ 2.4 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

2.3 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน (Hydrothermal Carbonization)

เป็นกระบวนการทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงสภาพโครงสร้างของสารชีวมวลด้วยความร้อน โดยใช้ น้ำเป็นตัวกลางในการให้ความร้อน ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิในช่วง 180-300 องศาเซลเซียส และความดันสูงประมาณ 20-25 บาร์ ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันจะทำในช่วงที่น้ำอยู่ภายใต้สภาวะวิกฤตไปจนถึงช่วงเหนือวิกฤต[10] กระบวนการนี้ไม่จำเป็นต้องทำให้วัตถุดิบแห้ง เนื่องจากสามารถใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูงได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะเป็นไฮโดรชาร์ปนกับของเหลว ดังนั้นการทำให้เป็นถ่านกัมมันต์ จึงต้องทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์ก่อนแล้วนำไปกระตุ้น ซึ่งกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานต่ำกว่ากระบวนการไพโรไลซิสแลกระบวนการคาร์บอนในเซชันทั่วไป แต่มีร้อยละผลได้ของถ่านกัมมันต์ที่สูงกว่า[11]

2.4 ชนิดของถ่านกัมมันต์

2.4.1 แบ่งตามขนาดอนุภาค[12]

2.4.1.1 ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powdered activated carbon)

มีลักษณะเป็นผงจากการบด มักนำมาใช้ดูดซับสารในสถานะของเหลว นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยารักษาโรค สารเคมี การกรองน้ำ และการบำบัดน้ำเสีย

2.4.1.2 ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (Granular activated carbon)

มีลักษณะเป็นเกล็ด มีหลากหลายขนาดแตกต่างกัน เกิดขึ้นจากการบดและการร่อนคัดขนาด ใช้บำบัดของเหลวหรือก๊าซที่มีปริมาณมากๆ สามารถฟื้นฟูสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำได้ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสารเคมี เวชภัณฑ์ อุตสาหกรรมยานยนต์ และการกรองอากาศเสีย

2.4.1.3 ถ่านกัมมันต์แบบอัดแท่ง (Extruded activated carbon)

มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ได้จากการอัดผ่านเครื่อง แล้วตัดออกเป็นท่อนเท่าๆ กัน ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์มีความแข็ง เหมาะสำหรับการใช้งานหนัก ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ในการดูดซับแก๊สและไอระเหย ใช้ในการกำจัดสารเคมีที่มีพิษ และใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ



รูปที่ 2.5 การแบ่งขนาดของถ่านกัมมันต์; (ก) ถ่านกัมมันต์แบบผง
(ข) ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (ค) ถ่านกัมมันต์แบบอัดแท่ง

2.4.2 แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น[13]

2.4.2.1 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี (Chemical activated carbon)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ กระตุ้นที่อุณหภูมิประมาณ 450-900 องศาเซลเซียส ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ แต่อาจก่อให้เกิดสารตกค้างในถ่านกัมมันต์

2.4.2.2 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical activated carbon)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซเป็นตัวกระตุ้น ก๊าซที่ใช้ในการกระตุ้นเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ หรือไอน้ำ ทำภายใต้สภาวะจำกัดของอากาศที่อุณหภูมิประมาณ 600-950 องศาเซลเซียส ทำให้ได้รูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่าวิธีการกระตุ้นทางเคมี นิยมใช้ดูดซับก๊าซและไอระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์[12]

2.4.3.1 ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดเล็ก (Micropore)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับเนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับมากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้น นิยมใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดซับแก๊สและไอระเหย

2.4.3.2 ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดกลาง (Mesopore)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนระหว่าง 2-50 นาโนเมตร ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูพรุนเป็นเมโซพอร์ ได้แก่ ซิลิกาเจล (silica gels) และอะลูมินาเจล (alumina gels) มักนำไปใช้ดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่

2.4.3.3 ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคที่ถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็ก และมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับ

2.5 คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์[13]

2.5.1 ไอโอดีนัมเบอร์ (iodine number)

เป็นค่าสำคัญที่ใช้บอกประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์และเป็นตัวที่บ่งบอกพื้นที่ผิวทั้งหมด โดยการดูดซับไอโอดีนจากสารละลายเทียบกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ (กรัม) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน หลังถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2.5.2 ค่าความหนาแน่น (Apparent density)

เป็นการทดสอบเพื่อหาหน้าหนักของถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยปริมาตรโดยปริมาตรในนี้หมายถึงปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาค ปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์และปริมาตรของเนื้อถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าความหนาแน่นสูงจะเป็นถ่านที่มีคุณภาพ สามารถดูดซับได้ดี

2.5.3 ค่าความแข็ง (Hardness/Abrasion Number)

เป็นค่าความต้านทานการสึกกร่อนของถ่านกัมมันต์ ค่านี้จะบอกถึงความสามารถในการทนต่อแรงเสียดสีและความสามารถในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อกระบวนการล้างวัสดุกรอง ซึ่งค่านี้จะแตกต่างอย่างชัดเจนตามชนิดวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle size distribution)

ถ่านที่มีขนาดอนุภาคละเอียดมากจะยิ่งเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านให้มากขึ้น ซึ่งมีผลให้โมเลกุลของก๊าซถูกดูดซับเข้าไปในโครงสร้างถ่านได้เร็วขึ้น

2.5.5 ปริมาณเถ้า (Ash content)

หากปริมาณเถ้ามากประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จะลดลง เถ้าที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตส่งผลต่อโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ ซึ่งปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นมักขึ้นอยู่กับปริมาณสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในวัตถุดิบแต่ละชนิดที่นำมาทำ ซึ่งมีการกำหนดปริมาณสารอนินทรีย์ที่มีได้ควรอยู่ในช่วงร้อยละ 2-10

2.5.6 เมทิลีนบลู (Methylene blue)

ถ่านกัมมันต์ที่โครงสร้างมีรูพรุนจะดูดซับโมเลกุลขนาดกลาง เช่น สีย้อมเมทิลีนบลู ซึ่งเป็นตัวแทนของสารที่มีโมเลกุลขนาดเมโซพอร์ ค่าเมทิลีนบลูมีหน่วย มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งประสิทธิภาพในการกรองหรือดูดซับสารจะต่ำลง เนื่องจากที่ว่างภายในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์น้อยลง จึงต้องทำการเปลี่ยนถ่านกัมมันต์ใหม่เข้าไปทดแทน โดยถ่านกัมมันต์ที่ถูกใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ด้วยการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นซ้ำเพื่อกำจัดสารที่ถูกดูดซับ

2.6 การดูดซับของถ่านกัมมันต์

2.6.1 กลไกการดูดซับ^[3]

การดูดซับเป็นกระบวนการแยกสารที่ต้องการแยกสารละลายของเหลวหรือแก๊ส โดยให้สารละลายหรือแก๊สผสมสัมผัสกับตัวดูดซับ สารแต่ละชนิดมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดการดูดซับต่างกัน การดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับ สมบัติทางเคมีที่ผิวของตัวดูดซับ และสารที่เป็นตัวถูกดูดซับ โดยกลไกการดูดซับมี 2 ประเภท ดังนี้

2.6.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับ (adsorbent) กับสารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) โดยแรงยึดเหนี่ยวเป็นแบบแวนเดอร์วาลส์ จึงเป็นการยึดเหนี่ยวที่ไม่แข็งแรงและไม่มีพันธะเคมีเกิดขึ้น ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ เกิดความร้อนออกมาเล็กน้อย แต่มากกว่าความร้อนของการควบแน่น สามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในพื้นที่ที่โมเลกุลเดินทางมาถึงผิวหน้า แต่กรณีที่ตัวดูดซับมีรูพรุนสูง อัตราการดูดซับจะช้าลงเนื่องจากถูกจำกัดด้วยอัตราเร็วของการแพร่ภายในรูพรุน การดูดซับทางกายภาพเกิดขึ้นบนพื้นผิวของตัวดูดซับ ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณการดูดซับสูงมากต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ การดูดซับทางกายภาพเป็นกระบวนการผันกลับได้ เมื่อลดความดันหรือเพิ่มอุณหภูมิของระบบจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง และทำให้ตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ออกจากตัวดูดซับ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การคายซับ (desorption) ซึ่งเป็นวิธีการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง

2.6.1.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง มีความแตกต่างกับการดูดซับทางกายภาพ โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับ การดูดซับแบบนี้เกิดความร้อนสูงมากและไม่สามารถเกิดการคายซับได้ เพราะองค์ประกอบที่ถูกดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบผันกลับไม่ได้ ปรากฏการณ์นี้จะขึ้นกับสารที่ถูกดูดซับ และสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าสารบางชนิดที่อุณหภูมิกปกติไม่เกิดการดูดซับทางเคมี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิก็สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้

2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ[3]

2.6.2.1 พื้นที่ผิวและโครงสร้างรูพรุน

วัสดุที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับจะต้องมีพื้นที่ผิวสูงเมื่อเทียบกับมวล พื้นที่ผิวเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของตัวดูดซับ ในที่นี้หมายถึงความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ความเป็นรูพรุนยังมีส่วนช่วยในการดูดซับเพิ่มขึ้นอีกด้วย

2.6.2.2 ขนาดของตัวดูดซับ

โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลงทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่หากโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมีความพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน เพราะฉะนั้นความสามารถในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดของวัตถุ

2.6.2.3 เคมีที่ผิวหน้า

หมู่ฟังก์ชันที่ผิวโมเลกุลของตัวดูดซับจะมีผลต่อกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด ความสามารถในการดูดซับก็จะลดลง

2.6.2.4 ความสามารถในการละลายของสารที่ถูกดูดซับ

สารที่มีความสามารถในการละลายต่ำจะดูดซับได้ดีกว่าสารที่มีความสามารถในการละลายสูง เนื่องจากความแรงพันธะระหว่างตัวทำละลายและตัวถูกละลายมีค่าน้อย สารละลายแต่ละชนิดมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophobic) และไม่ชอบน้ำ (hydrophilic) โดย

ส่วนที่ชอบน้ำจะถูกดูดซับด้วยสารดูดซับ ในขณะที่ส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะไปเกาะด้านโมเลกุลน้ำแทน

2.6.2.5 น้ำหนักของโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล

สารละลายที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น การดูดซับจะเพิ่มขึ้น พบได้จากการดูดซับกรดอินทรีย์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ เช่น กรดฟอร์มิก กรดโพรพอยอนิก กรดบิวเทอริก นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลยังส่งผลต่อการละลาย สารที่มีโครงสร้างที่ยาวความสามารถในการละลายจะลดลง และการดูดซับโดยสารดูดซับจะมากกว่า

2.6.2.6 ความมีขี้ของตัวถูกละลายและตัวทำละลาย

ความสามารถในการดูดซับลดลงเนื่องจากความมีขี้ เพราะสารที่มีขี้จะมีความสามารถในการละลายมากกว่าสารที่ไม่มีขี้

2.6.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับขนาดของรูพรุน

ถ้าขนาดของรูพรุนมีขนาดเล็กกว่าขนาดของสารที่ถูกดูดซับ โมเลกุลจะไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนได้ ทำให้ไม่เกิดการดูดซับโดยรูพรุน

2.6.2.8 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย

ถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการดูดซับสารออกจากสารละลาย ดังนั้นค่าความเป็นกรด-เบสของตัวทำละลายจะมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายจะมีผลต่อการแตกตัวของไอออนของตัวถูกละลาย ถ้าสารละลายเป็นกรด จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ลดลง เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะเกาะติดที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้ดีและทำให้ถ่านมีรูพรุนน้อยลง

2.6.2.9 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมิมีผลต่อการดูดซับอย่างมากถ้าอยู่ในสถานะของเหลว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลาย จะทำให้อัตราการดูดซับสูงขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับลดลง

2.6.3 ไอโซเทอมของการดูดซับ

การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของสารดูดซับแต่ละชนิด สามารถทำได้โดยการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุล และปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ[14]

2.6.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ เป็นพื้นฐานของการดูดซับอื่นๆ โดยพื้นที่ผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (Homogeneous adsorption surface) การดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว มีสมมติฐานว่ามีการดูดซับสูงสุดสัมพันธ์กับโมเลกุลตัวถูกละลายที่จัดเรียงเพียงชั้นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนพื้นผิวตัวดูดซับ โมเลกุลของตัวดูดซับไม่เกิดการซ้อนกัน พลังงานของการดูดซับคงที่ และไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับในแนวระนาบบนพื้นผิวตัวดูดซับ

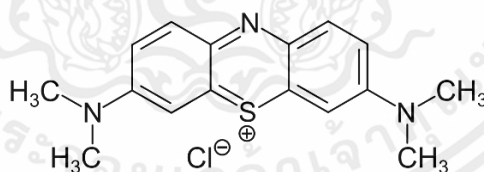
2.6.3.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช เป็นการดูดซับแบบที่ตัวถูกดูดซับเรียงซ้อนกันหลายชั้นด้วยพันธะอ่อนๆ มีสมมติฐานว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous adsorption surface) พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด

2.7 สีย้อมเมทิลีนบลู (MB)

สีย้อมมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมยาง และอุตสาหกรรมการแพทย์ โดยอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมหลักที่มีการใช้สีย้อมในปริมาณมาก เพื่อให้สีกับเส้นใย ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมนี้ประกอบไปด้วยสีที่เข้มข้น สารแขวนลอย ค่า pH ที่แปรปรวน ค่า COD สูงเกินไป อนุมูลอิสระ รวมไปถึงสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ

สีย้อมเมทิลีนบลู ($C_{16}H_{18}ClN_3S$) เป็นสารประกอบเคมีอะโรมาติกเฮเทอโรไซคลิก มีน้ำหนักโมเลกุลแล 319.85 กรัมต่อโมล มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงสีเขียวเข้ม สามารถละลายน้ำได้ดี เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายสีน้ำเงินประจวบ เป็นสีย้อมพื้นฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการย้อมผ้าฝ้าย ผ้าไหม และอื่นๆ แต่หากสีย้อมเมทิลีนบลูมีความเข้มข้นสูง เมื่อมีการสัมผัสกับดวงตาอาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บที่กระจกตาในมนุษย์ได้ และการได้รับสารเข้าสู่ร่างกายในปริมาณ 500 มิลลิกรัม อาจก่อให้เกิดภาวะโลหิตจาง เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ ปวดท้อง คลื่นไส้ และเหงื่อออกมาก [15]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จอห์น กวาเม เบเตียโก และคณะ[4] ศึกษากระบวนการทำถ่านกัมมันต์จากเปลือกส้มเพื่อนำไปบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยสีย้อมอย่างเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ ซึ่งสีย้อมจำพวกนี้ก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม และก่อให้เกิดมะเร็งในสิ่งมีชีวิตรวมถึงมนุษย์ด้วย การบำบัดด้วยการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นหนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด จากงานวิจัยเลือกใช้เปลือกส้มเหลือทิ้งจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกษตรเนื่องจากเป็นทางเลือกที่คุ้มค่ากว่าถ่านหินที่มีราคาแพง โดยเริ่มจากการนำเปลือกส้มไปอบให้แห้งแล้วนำมาเผาด้วยกระบวนการเผาแบบดั้งเดิมภายใต้สภาวะแก๊สเฉื่อยเพื่อให้ได้ชาร์ จากนั้นนำไปกระตุ้นด้วยการแช่สารเคมีให้ชุ่ม ได้แก่ H_2SO_4 $NaOH$ KOH $ZnCl_2$ และ H_3PO_4 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า สำหรับการดูดซับเมทิลีนบลู สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นที่ดีที่สุดเรียงลำดับ ดังนี้ $ZnCl_2 > KOH > H_3PO_4 > NaOH > H_2SO_4$ ตามลำดับ สำหรับการดูดซับเมทิลออเรนจ์สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นที่ดีที่สุดเรียงลำดับ ดังนี้ $ZnCl_2 > H_2SO_4 > KOH > NaOH > H_3PO_4$ ตามลำดับ โดยที่ KOH ใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมงเพื่อให้ได้สมดุลในการดูดซับสำหรับการดูดซับเมทิลีนบลู แต่ใช้เวลาเพียง 4 ชั่วโมงเพื่อให้สมดุลในการดูดซับเมทิลออเรนจ์ ในขณะที่สมดุลในการดูดซับของ $ZnCl_2$ ต้องใช้เวลามากถึง 20 ชั่วโมง

นอร์ อติลลา ราซิดี และคณะ[11] ศึกษากระบวนการการทำถ่านกัมมันต์ 3 วิธีการที่แตกต่างกัน ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์หรือเตาเผา วิธีไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน และวิธีไมโครเวฟ ในงานวิจัยสรุปว่า เครื่องปฏิกรณ์หรือเตาเผาเป็นวิธีการที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นวิธีการดั้งเดิม ซึ่งมีข้อเสียคือต้องมีค่าการบำรุงรักษา มีการใช้พลังงานสูงในการเผาเนื่องจากใช้อุณหภูมิสูงและเวลานาน วิธีไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน เหมาะสำหรับชีวมวลที่มีความชื้นสูง โดยที่ชีวมวลที่จะนำมาใช้ในกระบวนการไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้งก่อน ใช้อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ได้ร้อยละผลิตของไฮโดรชาร์สูง แต่ข้อเสียคือต้องใช้น้ำในปริมาณมาก ซึ่งไม่เหมาะสมกับพื้นที่ที่ขาดแคลนน้ำ วิธีไมโครเวฟ เป็นวิธีที่ใช้เวลารวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง ลดการใช้พลังงานและได้ร้อยละผลิตสูงเทียบเท่ากับวิธีไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน แต่เป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนในการออกแบบอุปกรณ์

แอนโทเนียลา และคณะ[16] ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันของเปลือกส้ม โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 180 210 240 และ 300 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 180 และ 300 นาที กำหนดเงื่อนไขอัตราส่วนเปลือกส้มแห้งต่อน้ำเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 1:6 โดยน้ำหนัก ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 3.6 โดยจากงานวิจัยพบว่าอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวไม่ได้มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลผลิตไฮโดรชาร์ ดังนั้นจากผลการทดลองสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาส่งผลต่อผลผลิตของไฮโดรชาร์อย่างมาก โดยที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เวลาทำปฏิกิริยา 180 นาที ส่งผลให้ได้ผลผลิตของไฮโดรชาร์มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 54.1

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

3.1 วัสดุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัสดุดิบ

3.1.1.1 เปลือกส้ม

3.1.2 สารเคมี

- 3.1.2.1 ซิงค์ (II) คลอไรด์ ($ZnCl_2$), AR grade, KEMAUS
- 3.1.2.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH), AR grade, KEMAUS
- 3.1.2.3 โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3), AR grade, KEMAUS
- 3.1.2.4 เมทิลีนบลู ($C_{16}H_{18}ClN_3S$), Laboratory grade, KEMAUS
- 3.1.2.5 กรดไฮโดรคลอริก (HCl), AR grade, QRèC
- 3.1.2.6 ไอโอดีน (I_2), AR grade, KEMAUS
- 3.1.2.7 โซเดียมไฮโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$), AR grade, KEMAUS
- 3.1.2.8 น้ำแป้ง, AR grade, KEMAUS
- 3.1.2.9 เอทานอล (C_2H_6O), AR grade, RCI Labscan
- 3.1.2.10 โพสแทสเซียมอะซิเตต (CH_3CO_2K), AR grade, KEMAUS
- 3.1.2.11 อาซิโตน (C_3H_6O), AR grade, RCI Labscan
- 3.1.2.12 โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนส ($KMnO_4$), AR grade, QRèC
- 3.1.2.13 ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4), AR grade, QRèC
- 3.1.2.14 เฟอริกไนเตรตนาโนไฮเดรต ($Fe(NO_3)_3(H_2O)_9$), AR grade, QRèC
- 3.1.2.15 ซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$), AR grade, RCI Labscan
- 3.1.2.16 กรดอะซิติก (CH_3COOH), AR grade, RCI Labscan
- 3.1.2.17 น้ำปราศจากไอออน
- 3.1.2.18 น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 อุปกรณ์

- 3.2.1.1 ปีกเกอร์ (Beaker)
- 3.2.1.2 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 3.2.1.3 ปิเปต (Pipette)
- 3.2.1.4 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
- 3.2.1.5 กระดาษกรอง (Filter paper)
- 3.2.1.6 เครื่องชั่งดิจิตอล 5 ตำแหน่ง (Digital scale)
- 3.2.1.7 เตาเคลือบ (Crucible)
- 3.2.1.8 ขวดเก็บสารตัวอย่าง (Duran bottle)
- 3.2.1.9 กรวยกรองแก้ว (glass funnel)
- 3.2.1.10 แท่งแก้วคนสาร (glass stirring rod)
- 3.2.1.11 กระบอกตวง (Graduated cylinder)
- 3.2.1.12 บิวเรต (Burette)
- 3.2.1.13 กรวยกรองบูชเนอร์ (Buchner)
- 3.2.1.14 คิวเวทท์ (Cuvette)
- 3.2.1.15 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.2.2 เครื่องมือ

- 3.2.2.1 เตาเผา (Furnace) รุ่น FO110C
- 3.2.2.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert
- 3.2.2.3 Stainless-steel autoclave
- 3.2.2.5 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Sieve shaker)
- 3.2.2.6 ตู้ควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaking incubator)
- 3.2.2.7 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer)
- 3.2.2.8 เตาแผ่นความร้อน (Hot plate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณของเปลือกส้ม (Proximate Analysis)

3.3.1.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ชั่งน้ำหนักเบ้าเคลือบ (Crucible) พร้อมฝาและบันทึกค่า นำเปลือกส้ม ปริมาณ 10 กรัม ใส่ลงไปในเบ้าเคลือบ นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า จากนั้นนำเบ้าเคลือบเข้าตู้อบลมร้อน ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำเบ้าเคลือบออกจากตู้อบลมร้อน รอให้เย็นลง ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า คำนวณปริมาณความชื้น ดังสมการต่อไปนี้

$$M(\%) = \frac{M_{wet} - M_{dried}}{M_{wet}} \times 100 \quad (3.1)$$

โดย M_{wet} คือ น้ำหนักของเปลือกส้ม (กรัม)

M_{dried} คือ น้ำหนักของเปลือกส้มหลังอบแห้ง (กรัม)

3.3.1.2 ปริมาณสารระเหย (Volatiles content)

ชั่งน้ำหนักเบ้าเคลือบ (Crucible) พร้อมฝาและบันทึกค่า นำเปลือกส้ม ปริมาณ 10 กรัม ใส่ลงไปในเบ้าเคลือบ นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า จากนั้นนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วนำเบ้าเคลือบออกจากเตาเผา รอให้เย็นลง ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า คำนวณปริมาณสารระเหย ดังสมการ

$$VM(\%) = \frac{M_{dried} - M_{solid}}{M_{wet}} \times 100 \quad (3.2)$$

โดย M_{dried} คือ น้ำหนักของเปลือกส้มหลังอบแห้ง (กรัม)

M_{wet} คือ น้ำหนักของเปลือกส้ม (กรัม)

M_{solid} คือ น้ำหนักของของแข็งที่เหลือจากการเผา (กรัม)

3.3.1.3 ปริมาณเถ้า (Ash content)

ชั่งน้ำหนักเบ้าเคลือบ (Crucible) พร้อมฝาและบันทึกค่า นำเปลือกส้ม ปริมาณ 10 กรัม ใส่ลงไปในเบ้าเคลือบ นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า จากนั้นนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วนำเบ้าเคลือบออกจากเตาเผา รอให้เย็นลง นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า คำนวณปริมาณเถ้า ดังสมการ

$$ASH(\%) = \frac{M_{ash}}{M_{wet}} \times 100 \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย M_{ash} คือ น้ำหนักของเถ้า (กรัม)

M_{wet} คือ น้ำหนักของเปลือกส้ม (กรัม)

3.3.1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว สามารถคำนวณได้เมื่อทราบปริมาณสารระเหย และปริมาณเถ้า โดยใช้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$FC (\%) = 100 - VM - ASH \quad (3.4)$$

3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (USDA Method)

3.3.2.1 ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

1. นำตัวอย่างเปลือกส้มอบแห้ง 1 กรัม ผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร (20 ถึง 30 เมช) ใส่ลงในบีกเกอร์ที่เหมาะสมสำหรับการทำรีฟลักซ์
2. เติม Acid-detergent fiber และ decahydronaphthalene 100 มิลลิลิตร และ 2 มิลลิลิตร ตามลำดับ
3. นำบีกเกอร์ไปตั้งไฟให้เดือดเป็นเวลา 5 ถึง 10 นาที จากนั้นนำไปรีฟลักซ์เป็นเวลา 60 นาที (เมื่อเริ่มเดือด ปรับความร้อนให้เดือดอย่างช้าๆ และคงที่)
4. จากนั้นทำการกรองโดยใช้ชุดกรองสุญญากาศ ทำการล้างด้วยน้ำร้อน 2 ครั้ง (น้ำอุณหภูมิ 90 ถึง 100 องศาเซลเซียส)
5. ล้างซ้ำด้วยอะซิโตน จนกว่าจะใสไม่มีสี
6. เมื่อไม่มีสีแล้ว นำกระดาษกรองไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
7. นำกระดาษกรองที่ผ่านการอบแห้งไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเปลือกส้มจากน้ำหนักที่หายไป

3.3.2.2 ปริมาณลิกนิน (Lignin)

1. นำกระดาษกรองใส่ลงในเบ้าเคลือบ (crucible) แล้วนำเบ้าเคลือบใส่ลงในหม้อที่มีน้ำเย็น โดยปรับระดับน้ำเย็นให้สูงกว่าฐานเบ้าเคลือบประมาณ 2 ถึง 3 เซนติเมตร
2. เติม saturated potassium permanganate และ Lignin buffer solution อัตราส่วน 2:1 เป็นปริมาตรรวม 25 มิลลิลิตร
3. ใช้แท่งแก้วคนสาร เพื่อสลายการเกาะตัวเป็นก้อนของตัวอย่าง (lumps)
4. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 ถึง 100 นาที (เพิ่มเติม : อาจต้องเติม permanganate solution เพิ่มเติมในระหว่างที่ตั้งทิ้งไว้

เพื่อให้สารละลายในหม้อมีสีม่วงตลอดเวลา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำเข้าเคลือบออก แล้วกรองให้แห้งโดยใช้ชุดกรองสุญญากาศ จากนั้นเติมสารละลาย Demineralizing ประมาณครึ่งหนึ่งของเข้าเคลือบ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที
6. กรองอีกครั้งให้แห้งโดยใช้ชุดกรองสุญญากาศและเติมสารละลาย Demineralizing เพิ่มจนกว่าเส้นใยจะมีสีขาว หรือประมาณ 20 ถึง 30 นาที
7. เติมและล้างเข้าเคลือบด้วยเอทานอลความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นกรองให้แห้งด้วยชุดกรองสุญญากาศ
8. ล้างซ้ำด้วยอะซิโตน จากนั้นกรองให้แห้งด้วยชุดกรองสุญญากาศ
9. นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
10. ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณลิกนินในเปลือกส้มจากน้ำหนักที่หายไป

3.3.2.3 ปริมาณเซลลูโลส (Cellulose)

1. นำตัวอย่างที่แห้งแล้วใส่เข้าเคลือบ แล้วชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปเผาให้เป็นเถ้า ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
2. ชั่งน้ำหนักเข้าเคลือบ คำนวณหาปริมาณเซลลูโลสในเปลือกส้มจากน้ำหนักที่หายไป

3.3.2.2 ปริมาณโฮโลเซลลูโลส (Holocellulose)

การประมาณการหาปริมาณโฮโลเซลลูโลส สามารถคำนวณได้เมื่อทราบปริมาณเซลลูโลส และปริมาณเฮมิเซลลูโลส โดยใช้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\text{Holocellulose} = \text{Hemicellulose} + \text{Cellulose} \quad (3.5)$$

3.3.3 ขั้นตอนการเตรียมไฮโดรซาร์

- 3.3.2.1 นำเปลือกส้มมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน
- 3.3.2.2 นำเปลือกส้มที่ผ่านการล้าง มาอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 3.3.2.3 เอาเปลือกส้มอบแห้ง มาบดแล้วร่อนตะแกรง โดยเลือกใช้ส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แต่ไม่ผ่านตะแกรงขนาด 0.35 มิลลิเมตร
- 3.3.2.4 นำเปลือกส้มที่ผ่านการบดใส่ลงไปใน Stainless Steel Autoclave ด้วยอัตราส่วนโดยมวลต่อน้ำปราศจากไอออนเท่ากับ 1:4 และใช้เปลือกส้มปริมาณ 10 กรัม
- 3.3.2.5 นำ Stainless Steel Autoclave เข้าตู้อบลมร้อน โดยทดลองที่อุณหภูมิ 150 180 210 240 และ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 และ 180 นาที ตามลำดับ เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตไฮโดรซาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.6 กรองสารละลายและล้างไฮโดรซาร์ที่ได้ด้วยกระดาษกรอง แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

$$\text{yield (\%)} = \frac{\text{mass of hydrochar (g)}}{\text{mass of initial orange peel (g)}} \times 100 \quad (3.6)$$

3.3.4 ขั้นตอนการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์

3.3.3.1 นำไฮโดรซาร์มากระตุ้นด้วยการแช่ให้ชุ่มในสารกระตุ้น ได้แก่ ซิงค์ (II) คลอไรด์ (ZnCl_2) ร้อยละ 30 โดยมวล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร้อยละ 50 โดยมวล และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) ร้อยละ 30 โดยมวล ด้วยอัตราส่วนไฮโดรซาร์ต่อสารกระตุ้นโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:4 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.3.2 ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจนกว่าจะได้ค่า pH เป็นกลาง (กรณีกระตุ้นด้วยซิงค์ (II) คลอไรด์ (ZnCl_2) กรองด้วยกระดาษกรอง ล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และน้ำร้อน จากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจนกว่าจะได้ค่า pH เป็นกลาง)

3.3.3.3 นำถ่านตัวอย่างที่กรองได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใส่ขวดเก็บสารตัวอย่าง

3.3.5 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

3.3.4.1 ความสามารถในการดูดซับ

1. คัดขนาดผงถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกส้มให้มีขนาดน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตรแล้วนำไปชั่งปริมาณ 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่และเติมสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 0 50 100 200 400 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

2. นำขวดรูปชมพู่ไปใส่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaking Incubator) ด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3. นำสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลต วิสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร

4. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือจากการดูดซับ และนำไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับ ดังสมการ

$$q_e = (C_0 - C_e) \times \frac{V}{m} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%removal\ efficiency = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (3.8)$$

- โดย q_t คือ ความสามารถในการดูดซับสีย้อมที่เวลาต่างๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 q_e คือ ความสามารถในการดูดซับสีย้อมที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 C_e คือ ความเข้มข้นสมดุลของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 C_t คือ ความเข้มข้นที่เวลาต่างๆของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 V คือ ปริมาตรของสีย้อม (มิลลิลิตร)
 M คือ ปริมาณถ่านกัมมันต์ (กรัม)

3.3.4.2 ไอโซเทอมการดูดซับ

ไอโซเทอมการดูดซับเป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับอธิบายความสัมพันธ์ของการดูดซับระหว่างโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับกับวัสดุดูดซับ (ถ่านกัมมันต์) โดยวัดปริมาณสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นที่จุดสมดุล ที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งจะใช้สมการ 2 รูปแบบในการอธิบาย ได้แก่ สมการการดูดซับของแลงเมียร์ และสมการการดูดซับของฟรอนดริช

1. แลงเมียร์ไอโซเทอม

ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับ การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว โดยมีสมมติฐานว่าพื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันทั้งหมด (homogeneous adsorption surface) พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุกๆที่ของตัวดูดซับ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะจำกัดปริมาณของตัวดูดซับ โมเลกุลที่ถูกดูดซับจะไม่เกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียง สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$q_e = \frac{q_m K C_e}{1 + K C_e} \quad (3.9)$$

จัดรูปให้อยู่ในสมการเส้นตรง ดังสมการ

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m C_e} \quad (3.10)$$

2. ฟรอนดริชไอโซเทอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับ ภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เป็นแบบวิวิธพันธ์หรือพื้นที่ผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (heterogeneous adsorption surface) และการดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น

สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$q = KC^n \quad (3.11)$$

จัดรูปให้อยู่ในสมการเส้นตรง ดังสมการ

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3.12)$$

โดย q_e คือ ความสามารถในการดูดซับสีย้อมที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_m คือ ความสามารถในการดูดซับสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_e คือ ความเข้มข้นที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

K_L คือ ค่าคงที่สมดุลแลงเมียร์ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

K_f คือ ค่าคงที่สมดุลฟรุนดลิช (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

n คือ ค่าคงที่ฟรุนดลิช

3.3.4.2 แบบจำลองประมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific area modeling) [17]

แบบจำลองประมาณพื้นที่ผิวจำเพาะใช้เพื่ออธิบายพฤติกรรมของค่าเมทิลีนบลู้นัมเบอร์และไอโอดีนนัมเบอร์ที่สัมพันธ์กับพื้นที่ผิว คำนวณดังสมการ

$$\begin{aligned} S = & 2.28 \times 10^2 - 1.01 \times 10^{-1} MB_N + 3.00 \times 10^{-1} I_N \\ & + 1.05 \times 10^{-4} MB_N^2 + 2.00 \times 10^{-4} I_N^2 \\ & + 9.38 \times 10^{-4} MB_N I_N \end{aligned} \quad (3.13)$$

3.3.4.2 แบบจำลองประมาณรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore volume modeling)

$$\begin{aligned} V_M = & 5.06 \times 10^{-2} - 1.00 \times 10^{-3} MB_N + 1.55 \times 10^{-4} \\ & + 7.00 \times 10^{-6} MB_N^2 + 1.00 \times 10^{-7} I_N^2 \\ & - 1.18 \times 10^{-7} MB_N I_N \end{aligned} \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.2 แบบจำลองประมาณรูพรุนทั้งหมด (Total pore volume modeling)

$$V_t = 1.37 \times 10^{-1} + 1.99 \times 10^{-3} MB_N + 1.00 \times 10^{-4} I_N \quad (3.15)$$

- โดย S คือ พื้นที่ผิวจำเพาะของค่าต่างๆตั้งแต่ 119 ถึง 2105 (ตารางเมตรต่อกรัม)
 MB_N คือ ค่าเมทิลีนนัมเบอร์ ในช่วง 0 ถึง 501 (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 I_N คือ ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ในช่วง 155 ถึง 1670 (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 V_M คือ ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)
 V_t คือ ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)

3.3.6 การวิเคราะห์หาคณสมบัติการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)

3.3.5.1 คัดขนาดถ่านกัมมันต์ให้มีขนาดน้อยกว่า 0.15 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน

3.3.5.2 อบถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกส้มในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.3.5.3 นำถ่านกัมมันต์ออกจากตู้อบลมร้อน ปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

3.3.5.3 ชั่งถ่านกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิเมตร จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิดจุกและเขย่าจนผงถ่านเปียกชุ่ม

3.3.5.4 เปิดจุก และนำไปต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 วินาทีในตู้ดูดควัน แล้วปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

3.3.5.5 บีบสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ปิดฝาแล้วและเขย่าแรงๆเป็นเวลา 30 วินาที

3.3.5.6 เปิดฝาและกรองเอาถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลายด้วยกระดาษกรอง (Whatman เบอร์ 2)

3.3.5.7 บีบสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต จนสารละลายมีสีเหลืองอ่อน

3.3.5.8 หยดน้ำแบ่ง 2-3 หยด จนได้สารละลายสีน้ำเงิน แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต จนสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

3.3.5.9 ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วคำนวณปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ (X/M) และหาความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ (C) ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (DF \times B \times S)}{M} \quad (3.16)$$

เมื่อ X/M คือ ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)

N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต (นอร์มอล)

A คือ $12693 \times N_2$

B คือ $126.93 \times N_1$

M คือ น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (กรัม)

$$C = \frac{N_1 \times S}{50} \quad (3.17)$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ (นอร์มอล)

N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต (นอร์มอล)

S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

$$DF = \frac{I + H}{F} \quad (3.18)$$

เมื่อ I คือ ปริมาตรของไอโอดีน (มิลลิลิตร)

H คือ ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (มิลลิลิตร)

F คือ ปริมาตรของของเหลวที่ผ่านการกรอง (มิลลิลิตร)

DF คือ ค่าระดับการเจือจาง (Dilution factor)

$$M = \frac{A - (DF)(C)(126.93)(50)}{E} \quad (3.19)$$

เมื่อ M คือ ปริมาณคาร์บอนที่ต้องใช้ (กรัม)

A คือ $12693 \times N_2$

C คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ (นอร์มอล)

E คือ ประมาณการไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์

DF คือ ค่าระดับการเจือจาง (Dilution factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

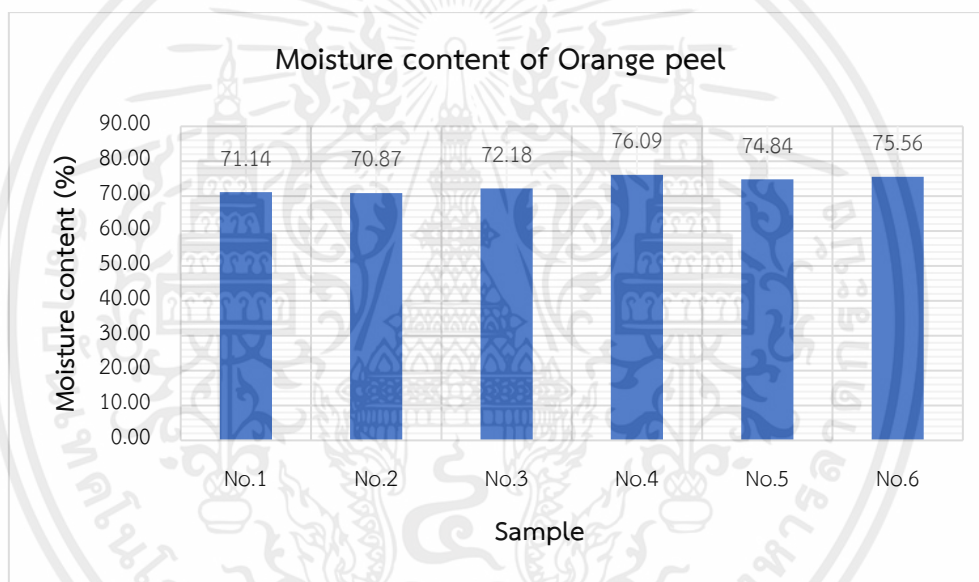
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณของเปลือกส้ม (Proximate Analysis)

4.1.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ปริมาณความชื้นของเปลือกส้มคิดจากน้ำหนักของเปลือกส้มสดและน้ำหนักของเปลือกส้มแห้งที่ผ่านการอบจากตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถกำจัดความชื้นออกได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำการหาปริมาณความชื้นของเปลือกส้มทั้งหมด 6 ครั้ง ดังรูป 4.1 เมื่อนำมาเฉลี่ยจะได้ค่าเท่ากับ 73.45 เปอร์เซ็นต์

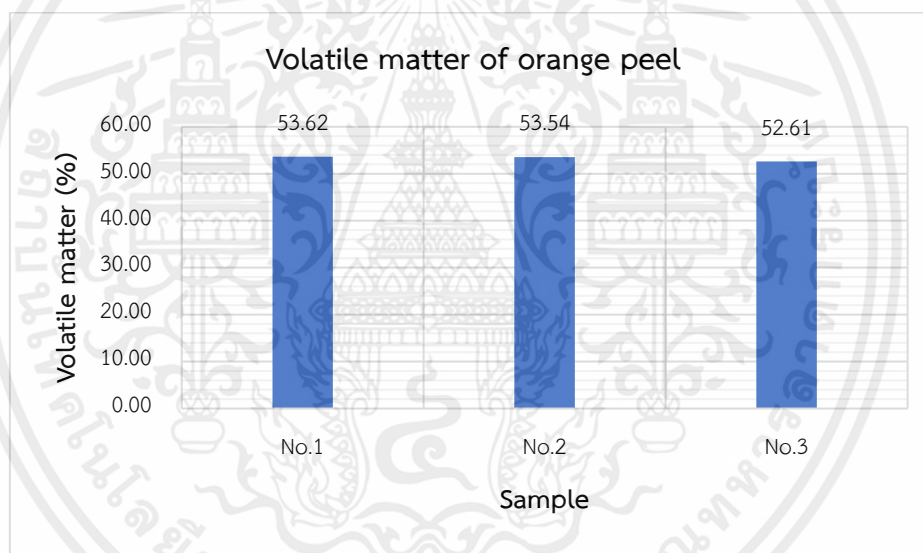


รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงปริมาณความชื้นในเปลือกส้ม

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในเปลือกส้ม พบว่าเปลือกส้มเขียวหวานที่นำมาใช้ในการวิจัยเป็นชีวมวลที่มีความชื้นสูงมาก ซึ่งไม่เหมาะสมกับการเผาแบบดั้งเดิมที่ต้องใช้พลังงานในปริมาณมากเพื่อระเหยน้ำส่วนเกินออก นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดควัน ฝุ่นละออง และมลพิษในระหว่างการเผา ดังนั้นกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมกว่า เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีกว่า โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยา ใช้พลังงานน้อยกว่า และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า

4.1.2 ปริมาณสารระเหย (Volatiles content)

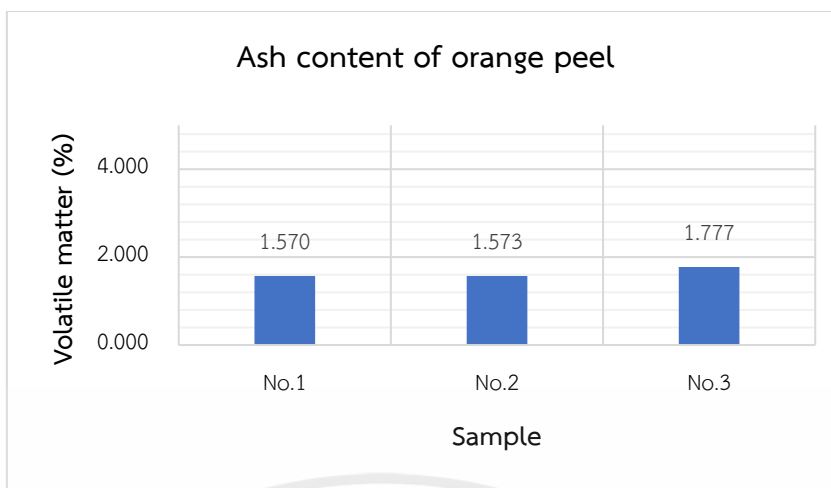
ปริมาณของสารระเหยในเปลือกส้มคิดจากน้ำหนักของเปลือกส้มก่อนเข้าเตาเผา (Muffle Furnace) และน้ำหนักหลังจากเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งทำการหาค่าปริมาณสารระเหยในเปลือกส้ม 3 ครั้ง เมื่อนำมาเฉลี่ยกันจะได้ค่าเท่ากับ 53.54 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารระเหยที่สูงส่งผลให้เกิดการสูญเสียมวลในระหว่างกระบวนการ ส่งผลให้ได้ร้อยละผลิตของไฮโดรคาร์บอนลดลง และเนื่องจากสารระเหยสามารถระเหยออกไปได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อโครงสร้างรูพรุน พื้นที่ผิว ความสามารถในการดูดซับของไฮโดรคาร์บอนให้มีประสิทธิภาพลดลง นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดมลพิษทางกลิ่น และก่อให้เกิดก๊าซที่ไม่พึงประสงค์ ดังนั้นในการนำเปลือกส้มเข้าสู่กระบวนการคาร์บอนไนเซชันจึงควรมีการควบคุมและจัดการปริมาณสารระเหยให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้น



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงปริมาณสารระเหยในเปลือกส้ม

4.1.3 ปริมาณเถ้า (Ash content) และคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

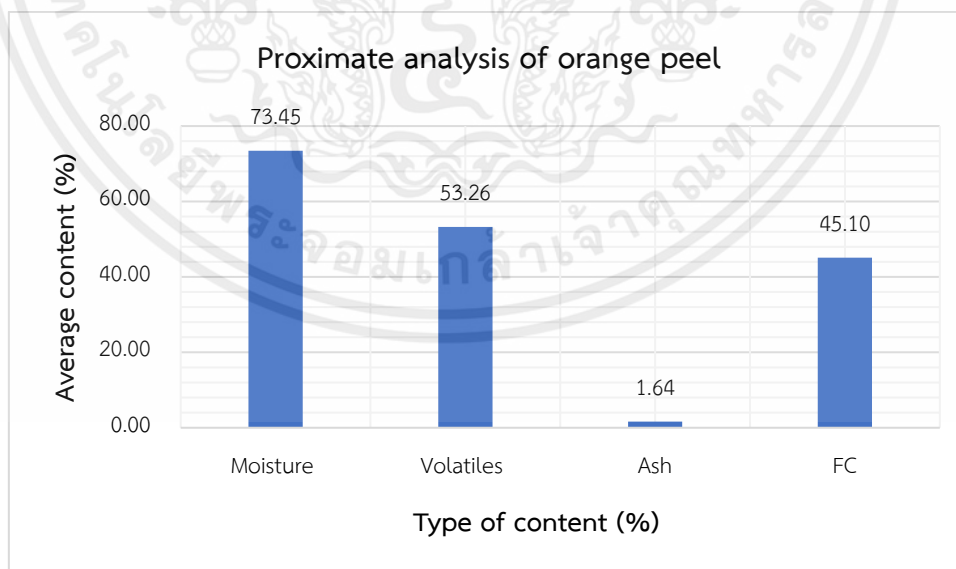
ปริมาณเถ้าในเปลือกส้มคิดจากการนำเข้าของแข็งที่เหลือจากการหาปริมาณสารระเหยไปเผาต่อที่อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูป 4.3 ซึ่งทำการหาค่าปริมาณเถ้าในเปลือกส้ม 3 ครั้ง เมื่อนำมาเฉลี่ยกันจะได้ค่าเท่ากับ 1.640 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงปริมาณเถ้าในเปลือกส้ม

ปริมาณคาร์บอนคงตัวในเปลือกส้มสามารถคำนวณได้จากปริมาณสารระเหยและปริมาณเถ้าในเปลือกส้ม โดยผลรวมของปริมาณคาร์บอนคงตัว สารระเหย และเถ้าจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าเท่ากับ 44.81 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณเถ้าและปริมาณคาร์บอนคงตัวจะมีความสัมพันธ์แบบผกผัน ปริมาณเถ้าที่ต่ำจะทำให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าสูงขึ้น ซึ่งปริมาณคาร์บอนที่สูง มีส่วนทำให้ไฮโดรคาร์ที่ได้มีความเสถียรและมีคุณภาพมากขึ้น ส่งผลให้มีค่าความสามารถในการดูดซับต่อน้ำหนักของไฮโดรคาร์มากขึ้น ในขณะที่ถ้าปริมาณเถ้ามีค่าสูงจะไฮโดรคาร์จะมีค่าการดูดซับลดลง



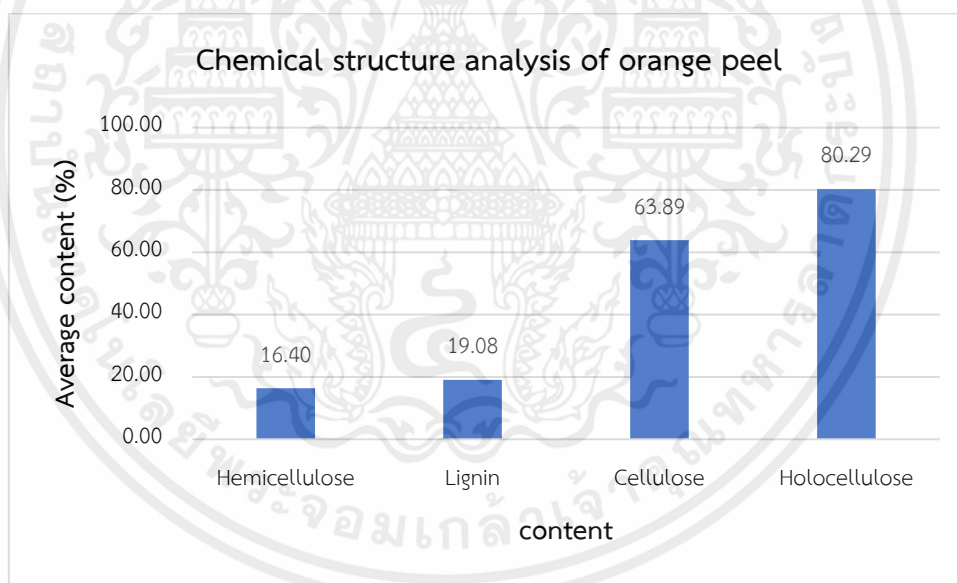
รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงปริมาณขององค์ประกอบต่างๆในเปลือกส้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น หลังจากการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเปลือกส้ม พบว่ากระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันเป็นวิธีที่เหมาะสม เนื่องจากปริมาณความชื้นในเปลือกส้มที่ค่าสูงมาก ปริมาณคาร์บอนของเปลือกส้มที่สูงในขณะที่ปริมาณเล็กน้อย ส่งผลให้ไฮโดรคาร์มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีซัน แต่ปริมาณสารระเหยให้เปลือกส้มยังเป็นปัญหา เนื่องจากส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของรูพรุน ซึ่งในส่วนนี้จะไปลดคุณภาพของไฮโดรคาร์ได้ ดังนั้นผู้จัดทำจึงมีข้อคิดเห็นว่าการจัดการปริมาณสารระเหยก่อนเข้าสู่กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical structure Analysis)

ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเปลือกส้มคิดจากน้ำหนักของเปลือกส้มที่หายไปจากกระบวนการสลายเฮมิเซลลูโลส จากนั้นสลายลิกนินต่อ แล้วคำนวณเช่นเดิม จากนั้นนำตัวอย่างที่เหลือไปเผาให้เป็นเถ้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อคำนวณหาปริมาณเซลลูโลสที่หายไป โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำค่ามาเฉลี่ยกัน จะได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดงปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในเปลือกส้ม

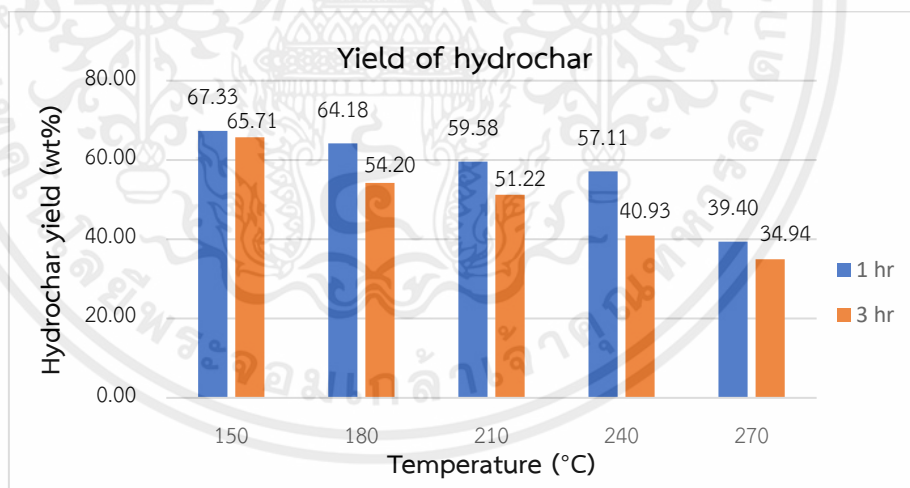
จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกส้ม ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เซลลูโลส และไฮโดรเซลลูโลส พบว่ามีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสมากถึง 80.29% โดยคิดจากน้ำหนัก ประกอบไปด้วยเซลลูโลส 63.89% โดยน้ำหนัก และเฮมิเซลลูโลส 16.40% โดยน้ำหนัก ไฮโดรเซลลูโลสเป็นสารตั้งต้นในการก่อตัวของโครงสร้างคาร์บอน ส่วนประกอบของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน ส่งผลให้ได้ร้อยละผลได้ของถ่านกัมมันต์สูงขึ้น

ปริมาณเซลลูโลสที่สูงมีผลต่อการก่อตัวของรูพรุนที่ใหญ่ขึ้น มีความเสถียรทางเคมีของถ่านกัมมันต์ ช่วยให้โครงสร้างของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มความสามารถในการดูดซับที่ดีขึ้น ปริมาณเฮมิเซลลูโลสมีผลต่อโครงสร้างคาร์บอนให้มีรูพรุนเล็กกล ซึ่งสามารถกระตุ้นเพื่อให้ได้รูพรุนขนาดไมโครพอร์และเมโซพอร์ได้ เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับสารโมเลกุลขนาดเล็กหรือแก๊สได้

ปริมาณลิกนินในเปลือกส้มมีค่า 19.08% โดยน้ำหนัก ลิกนินมีโครงสร้างที่ซับซ้อน และเชื่อมโยงกันแน่นเป็นแบบโครงข่าย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์และโลหะหนัก ดังนั้นองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เซลลูโลส และไฮโดรเซลลูโลส ในเปลือกส้มมีผลต่อคุณสมบัติในการดูดซับที่ดีขึ้นแตกต่างกัน

4.3 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน (Hydrothermal Carbonization)

จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันที่มีผลต่อร้อยละผลผลิตไฮโดรชาร์ โดยใช้อัตราส่วนเปลือกส้มแห้งต่อน้ำปราศจากไอออนเท่ากับ 1:4 ทำปฏิกิริยาภายใน Stainless-steel autoclave เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง ณ สภาวะอุณหภูมิ 150 180 210 240 และ 270 องศาเซลเซียส แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดงร้อยละผลผลิตของไฮโดรชาร์ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

จากการทดลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นร้อยละผลได้ของไฮโดรชาร์จะลดลง และเมื่อมีระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามากขึ้น จะส่งผลให้ได้ร้อยละผลผลิตของไฮโดรชาร์ลดลงเช่นเดียวกัน ดังนั้น ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ได้ร้อยละผลผลิตของไฮโดรชาร์มากที่สุด ซึ่ง ณ อุณหภูมินี้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกันไม่ได้ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตมากนัก

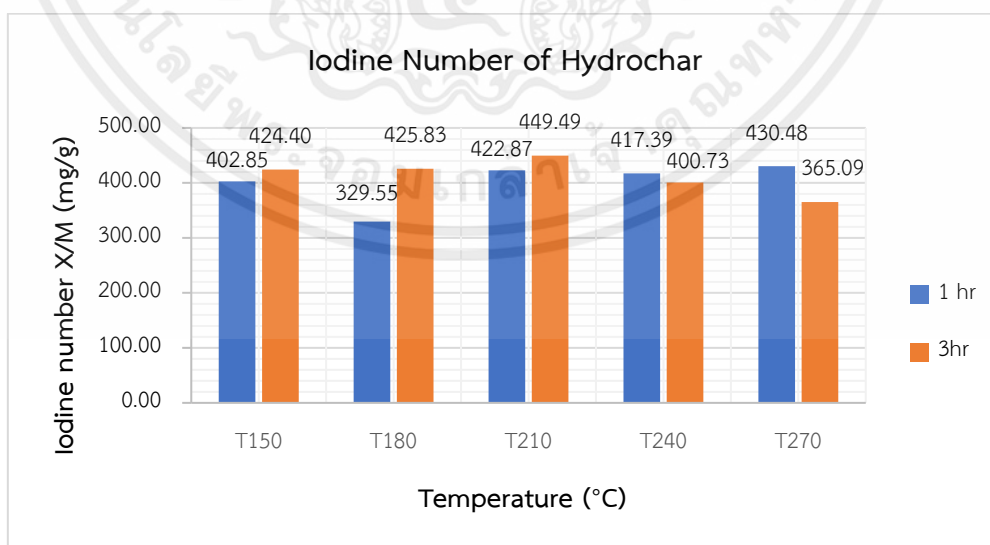
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละผลผลิตที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอาจเป็นผลจากการสลายตัวขององค์ประกอบทางเคมีในเปลือกส้มอย่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส สลายโพลีแซคคาไรด์เชิงซ้อนซึ่งก็คือเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลเชิงซ้อน ปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชัน สลายลิกนินพอลิเมอร์ให้เป็นสารอะโรมาติกที่มีขนาดเล็กลง จากนั้นเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันและการควบแน่นของน้ำตาลเชิงซ้อนและสารอะโรมาติกส่งผลให้เกิดเป็นของแข็งคาร์บอนและก่อตัวเป็นไฮโดรซาร์ โดยในระหว่างนั้นสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายและก๊าซจะถูกปลดปล่อยออกมา เนื่องจากการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมี โครงสร้าง สัณฐานวิทยาของไฮโดรซาร์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.4 วิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลู

4.4.1 การดูดซับไอโอดีน (Iodine number)

จากการทดลองหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ โดยใช้การทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM-D4607 ตัวดูดซับที่ใช้ คือ ไฮโดรซาร์ ซึ่งได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน ได้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของไฮโดรซาร์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน ณ อุณหภูมิ 150 180 210 240 และ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เท่ากับ 402.85 329.55 422.87 417.39 และ 430.48 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของไฮโดรซาร์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน ณ อุณหภูมิ 150 180 210 240 และ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที เท่ากับ 424.40 425.83 449.49 400.73 และ 365.09 ตามลำดับ



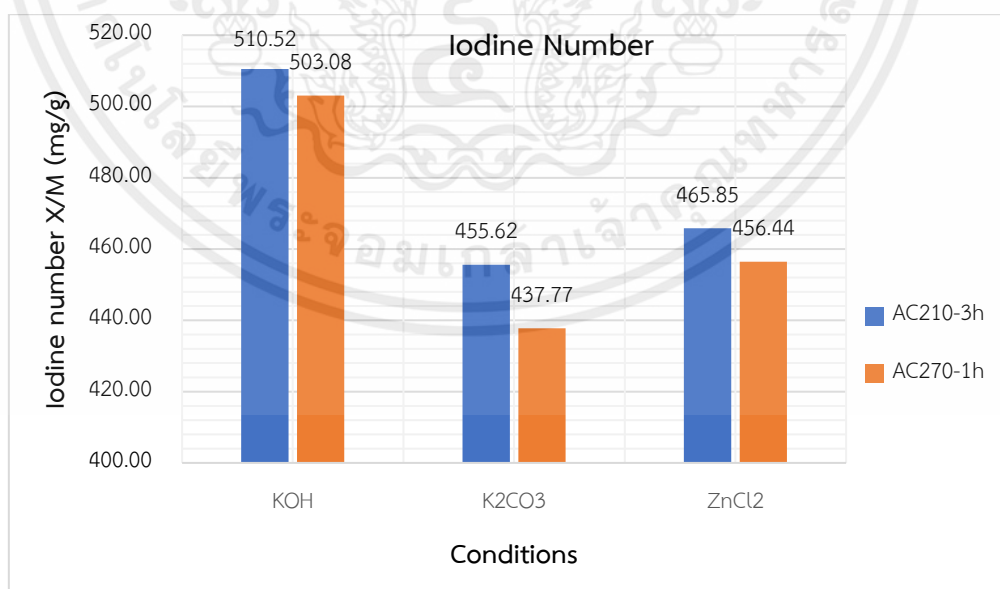
รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของไฮโดรซาร์ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองหาค่าไอโอดีนนมเบอร์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ จากผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด จึงเลือกทั้ง 2 สภาวะไปทำการกระตุ้นทางเคมี เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ เมทิลีนต่อไป

เมื่อเลือกสภาวะที่ทำให้ไฮดรอกไซด์มีค่าการดูดซับที่ดี จากการทดลองหาค่าไอโอดีนนมเบอร์ โดยใช้ตัวดูดซับคือถ่านกัมมันต์ ที่ได้จากการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์ (II) คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ร้อยละ 30 โดยมวล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร้อยละ 50 โดยมวล และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) ร้อยละ 30 โดยมวล สรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์จากไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด ตามด้วยถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วย ซิงค์ (II) คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.12

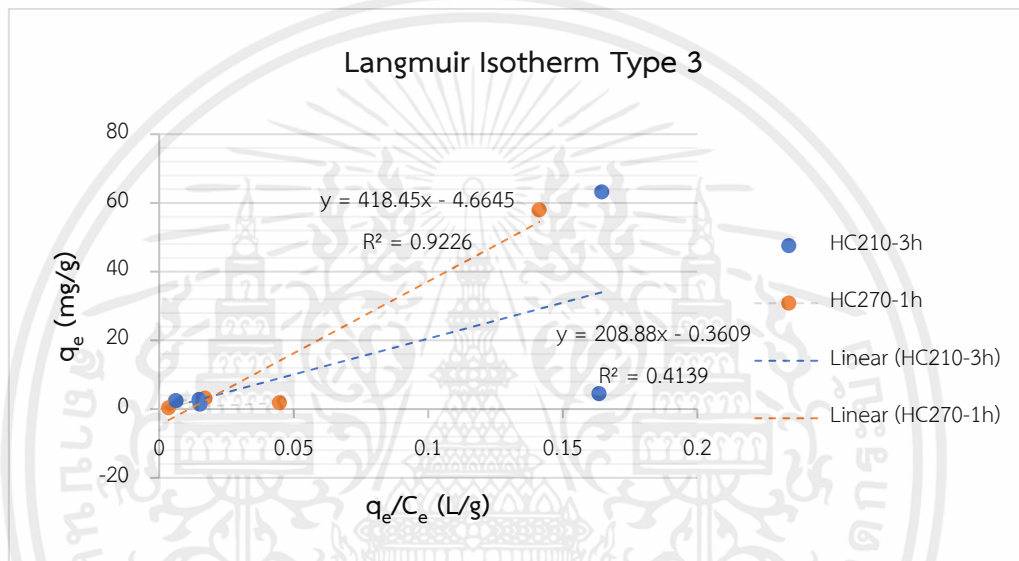
จากวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เกิดจากไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง และกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด เนื่องจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่มีความเป็นเบสแก่จะเข้าไปแทรกในชั้นอะตอมของคาร์บอน ทำให้เกิดรูพรุนที่มากขึ้น และส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากขึ้น



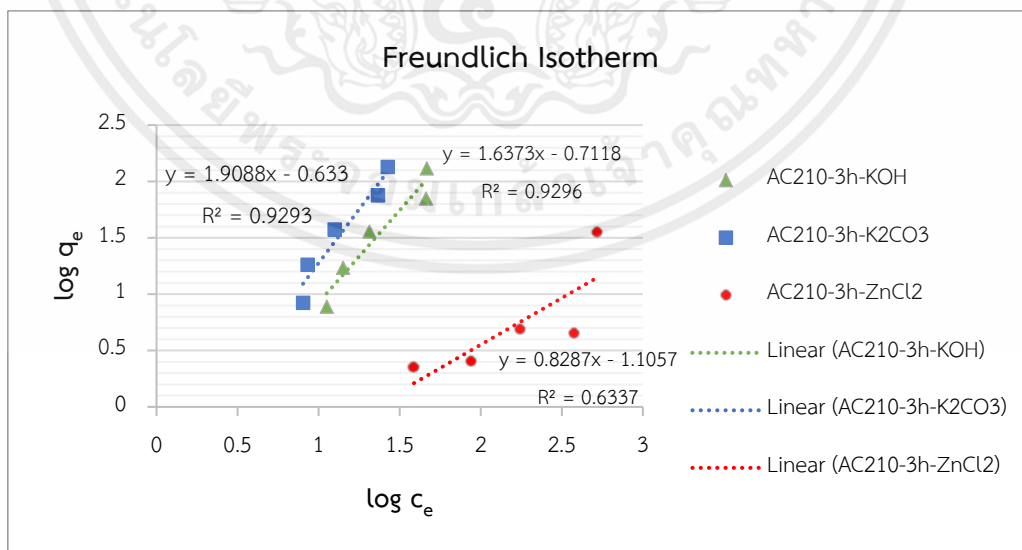
รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่สภาวะต่างๆ

4.4.2 การดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue number)

ทำการศึกษาหาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู โดยสร้างกราฟมาตรฐานค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลู ในการศึกษานี้ตัวดูดซับที่ใช้คือไฮโดรซาร์ และถ่านกัมมันต์ โดยใช้สารละลายเมทิลีนบลูปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 50 100 200 400 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อถ่านกัมมันต์ 0.100 กรัม นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ สภาวะที่ใช้คือ 25 องศาเซลเซียส 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายเมทิลีนบลูไปหาค่าการดูดซับด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์พฤติกรรมการดูดซับ โดยนำไปพลอตกราฟสมการเชิงเส้นของแลงเมียร์ไอโซเทอม ดังนี้

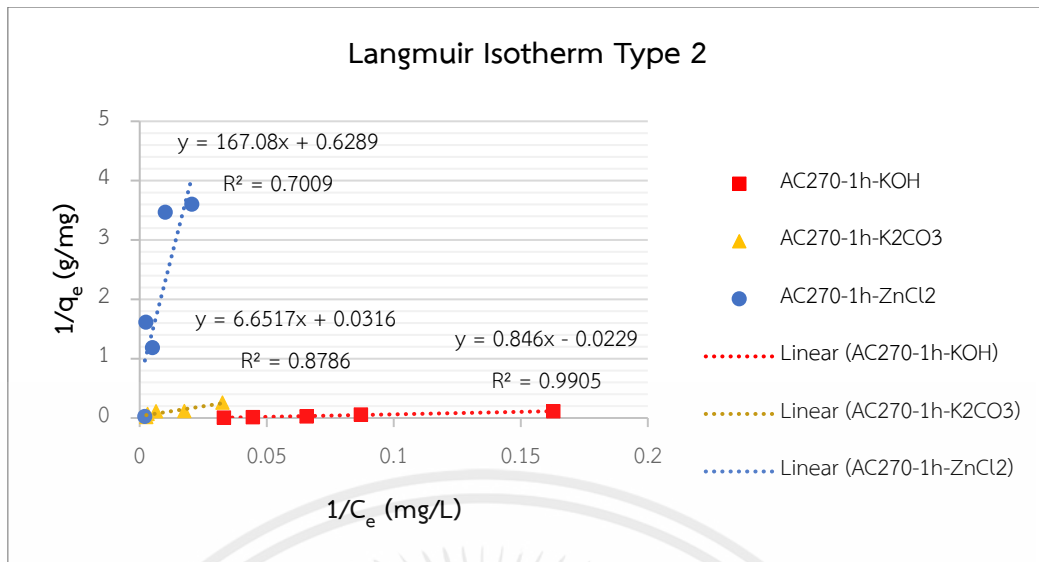


รูปที่ 4.9 พลอตแลงเมียร์ไอโซเทอมการดูดซับสำหรับไฮโดรซาร์ ในรูปแบบโมเดล 3



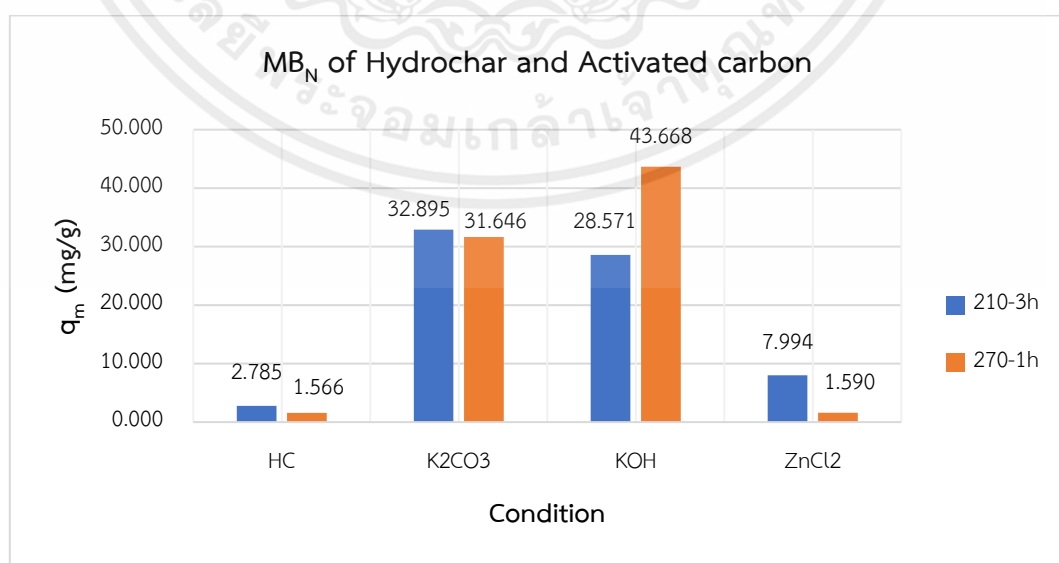
รูปที่ 4.10 พลอตฟรอนด์ลิชไอโซเทอมการดูดซับสำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



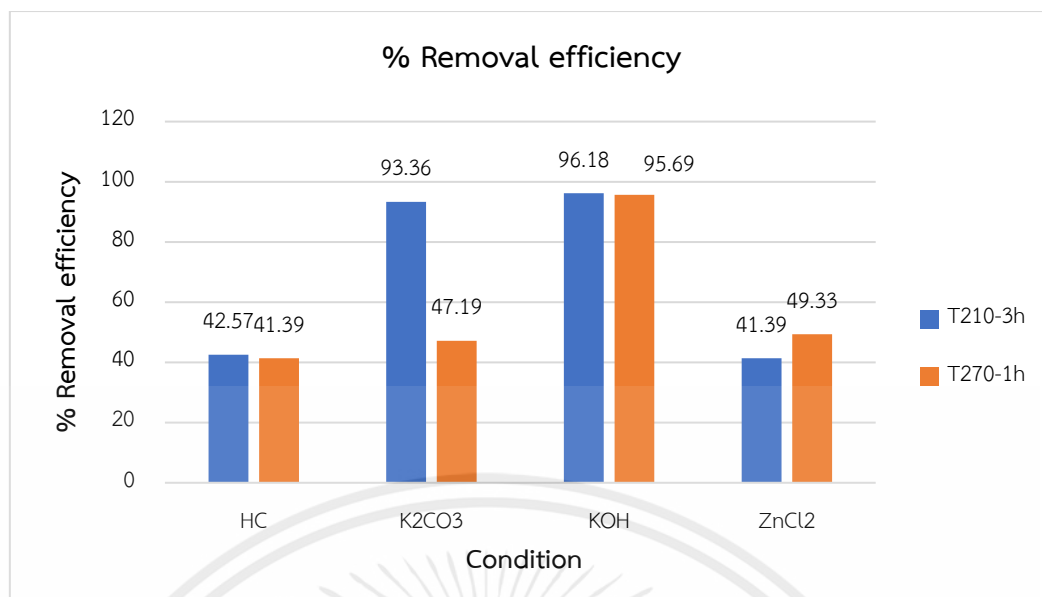
รูปที่ 4.11 พล็อตแลงเมียร์ไอโซเทอมการดูดซับสำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในรูปแบบโมเดล 2

ค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุด สามารถหาได้จากการนำค่าความเข้มข้นและค่าการดูดซับไปพลอตกราฟ โดยแกน x คือ $1/C_e$ และแกน y คือ $1/q_e$ จะสามารถหาค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกรัม) หรือ q_m ได้จากจุดตัดของกราฟ จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3.10) ค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูสูงสุดของไฮโดรซาร์และถ่านกัมมันต์ที่สภาวะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง มีค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 43.668 มิลลิกรัมต่อกรัม



รูปที่ 4.12 แผนภูมิแสดงค่าการดูดซับสูงสุดที่สภาวะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

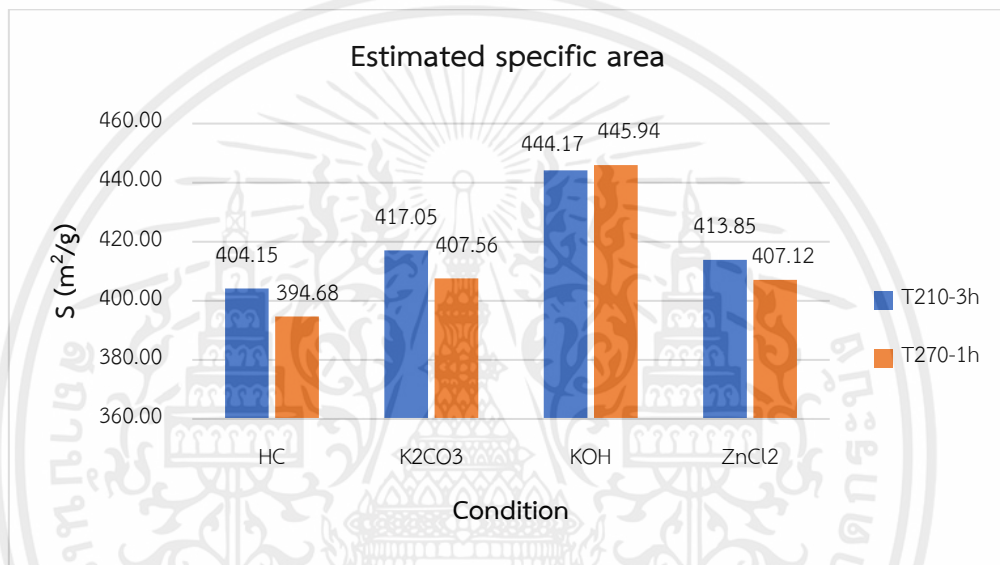


รูปที่ 4.13 แผนภูมิแสดงร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลีนบลู

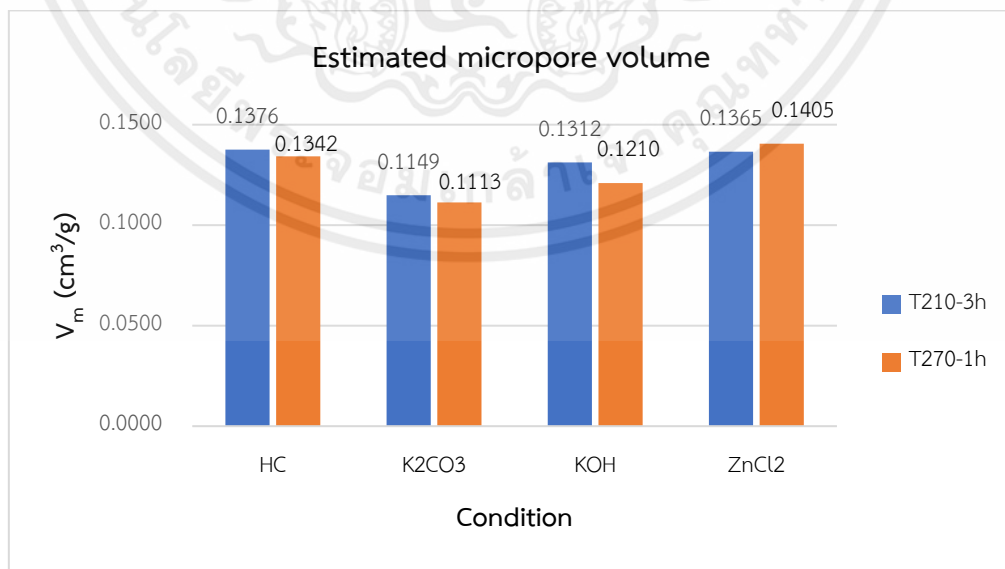
จากการคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัดเมทิลีนบลู วิเคราะห์โดยใช้เมทิลีนบลูปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อถ่านกัมมันต์ 0.100 กรัม แล้วนำไปเขย่าในตู้เขย่าเป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมคาร์บอเนตมีประสิทธิภาพในการดูดซับเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้น ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์มีค่าไม่ค้อยแตกต่างจากตอนที่ยังไม่ได้กระตุ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากการใช้เวลาในการดูดซับเมทิลีนบลูไม่เพียงพอ สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง แล้วถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดกำจัดเมทิลีนบลูได้มากที่สุด เท่ากับร้อยละ 96.18 และ 95.69 ตามลำดับ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง แล้วถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนตสามารถกำจัดเมทิลีนบลูได้รองลงมาคิดเป็นร้อยละ 93.36 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกส้มที่ถูกกระตุ้นด้วยสารเคมีมีความสามารถในการกำจัดเมทิลีนบลูค่อนข้างสูง

4.5 การประมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็กและปริมาตรรูพรุนทั้งหมด

สำหรับการประมาณพื้นที่ผิวจำเพาะของไฮโดรซาร์และถ่านกัมมันต์ที่สภาวะต่างๆ จากการคำนวณพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงขึ้น โดยที่ถ่านกัมมันต์ที่เกิดจากว่าไฮโดรซาร์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 445.94 และ 444.17 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ผิวจำเพาะของไฮโดรซาร์และถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และซิงค์คลอไรด์ ดังรูปที่ 4.13

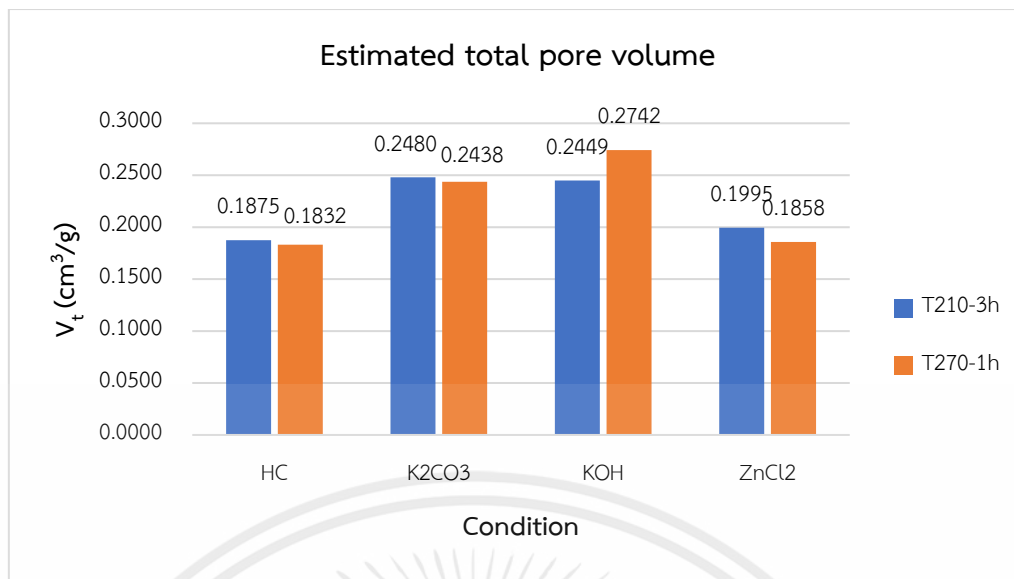


รูปที่ 4.14 แผนภูมิแสดงค่าประมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ



รูปที่ 4.15 แผนภูมิแสดงค่าประมาณปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แผนภูมิแสดงค่าประมาณปริมาตรรูพรุนทั้งหมด

จากการประเมินโดยการคำนวณพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ มีปริมาตรของรูพรุนขนาดเล็กค่อนข้างคงที่หรือไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง แต่มีปริมาตรรวมของรูพรุนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แสดงว่ากระบวนการกระตุ้นไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูพรุนขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญ แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูพรุนขนาดกลางและขนาดใหญ่เป็นหลัก ซึ่งทำให้มีความสามารถในการดูดซับอนุภาคขนาดกลางและขนาดใหญ่ได้มากขึ้น ซึ่งจุดประสงค์ในงานวิจัยนี้คือต้องการถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูซึ่งมีขนาดโมเลกุลของรูพรุนขนาดกลาง ดังนั้นการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ก่อให้เกิดความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูดีขึ้น และมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุดร้อยละ 96

บทที่ 5

สรุปการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการดำเนินงาน

จากการทดลองและศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกส้มเพื่อดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำเสีย พบว่าเปลือกส้มสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพได้ โดยมีขั้นตอนในการผลิตให้เป็นถ่านกัมมันต์ เริ่มจากการใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันในการผลิตไฮโดรชาร์ ด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ จากนั้นนำไฮโดรชาร์ที่ได้ไปกระตุ้นทางเคมีด้วยสารกระตุ้น 3 ชนิด คือ ซิงค์ (II) คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ร้อยละ 30 โดยมวล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร้อยละ 50 โดยมวล และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) ร้อยละ 30 โดยมวล โดยการแช่ให้ชุ่มด้วยอัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อสารกระตุ้น คือ 1:4 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปทดลองหาค่าการดูดซับไอโอดีน ผลการศึกษาพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด คือ 510.52 และ 503.08 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างถ่านกัมมันต์ไปศึกษาหาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า สภาวะของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับเมทิลีนบลู เท่ากับ 43.668 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดเมทิลีนบลูมากถึงร้อยละ 96.18 และเมื่อประมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรของรูพรุนขนาดเล็กและปริมาตรรูพรุนรวมจากพฤติกรรมของการดูดซับเมทิลีนและการดูดซับไอโอดีนที่สัมพันธ์ พบว่ามีพื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรของรูพรุนรวมเพิ่มขึ้นเมื่อมีการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ ในขณะที่ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็กมีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงของรูพรุนขนาดกลางและขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้น เนื่องจากสีย้อมเมทิลีนบลูมีขนาดอนุภาคขนาดกลาง ดังนั้นการศึกษาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกส้มสามารถใช้ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูได้จริง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นหนึ่งในทางเลือกสำหรับการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำเสียได้และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.5.1 จากงานวิจัยพบว่าเปลือกส้มมีสารระเหยสูงมาก ส่งผลให้โครงสร้างของรูพรุนไม่สม่ำเสมอ และก่อให้เกิดแก๊สที่ไม่พึงประสงค์ ดังนั้นในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน ควรมีการจัดการ ปรับสภาพเปลือกส้มให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่กระบวนการ เพื่อให้ได้ไฮโดรชาร์จากเปลือกส้มที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีซัน

5.5.2 ควรมีการใช้เครื่องมือสำหรับตรวจวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำและขนาดรูพรุนเพิ่มเติมโดยใช้เครื่องมือ Brunauer-Emmett-Teller (BET) และ Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) เพื่อวิเคราะห์ประเภทและขนาดรูพรุนของไฮโดรชาร์และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

5.5.3 ในขั้นตอนการทดลองทดสอบการดูดซับเมทิลีนบลูควรมีการศึกษาต่อ โดยเพิ่มเวลาในการดูดซับของเมทิลีนบลูขณะเข้าเครื่องเย้าแบบควบคุมอุณหภูมิเพิ่มเติมให้แน่ใจว่า การดูดซับเมทิลีนบลูนั้นถึงจุดสมดุล



บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). สถิติผลผลิตเขียวหวานในไทย. Retrieved from สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร:
<https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/Lime%20percent%20sale%20%2065.pdf>
- [2] Laoprasert, M. A. (2562). MICROWAVE ASSISTED EXTRACTION AND DISTILLATION OF ESSENTIAL OIL, TOTAL PHENOLIC AND PECTIN FROM CITRUS RETICULATE PEELS.
- [3] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (n.d.). ถ่านกัมมันต์จากไผ่รวก.
- [4] John Kwame Bediako, S. L.-W.-H.-W.-S. (2020). Evaluation of orange peel-derived activated carbons for treatment of dye-contaminated wastewater tailings. Environmental Science and Pollution Research, 27, 1053-1068.
- [5] Repository, C. I. (n.d.). ประวัติความเป็นมาของส้มเขียวหวาน.
- [6] José R. Ayala, *. G.-A. (2021). Characterization of Orange Peel Waste and Valorization to Obtain Reducing Sugars. Molecules., 26, 134
- [7] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ศ. ด. (n.d.). Cellulose, Hemicellulose, Lignin. Retrieved from Food Network Solution:
<https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0612/cellulose-%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%A5%E0%B8%A5%E0%B8%B9%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%AA>
- [8] csdlabservices. (2021, 05 1). Cellulose VS. Hemicellulose. Retrieved from KASETSART UNIVERSITY:
<https://www.csdlabservices.com/2021/%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%81%E0%B8%95%E0%B8%81%E0%B8%95%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%AB%E0%B8%A7%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%A5%E0%B8%A5/>
- [9] ธรรมจริยวงศา, ค. (n.d.). ถ่านกัมมันต์. ภูมิปัญญาชาวบ้านสู่โรงงานอุตสาหกรรม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] สาทช. (2565). ข้าวโพด. Retrieved from สารวิทยุ:
<https://www.nstda.or.th/sci2pub/corn-modern/>
- [11] Nor Adilla Rashidi, Y. H. (2022). Biomass as acticated carbon precursor and potential in supercapacitor applications. Biomass Conversion and Biorefinery.
- [12] ข้อมูลเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์. (n.d.). (Carbonkarn) Retrieved from
<https://www.carbokarn.co.th/%E0%B8%96%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%A1%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%8C/>
- [13] What is activated carbon? (n.d.). Retrieved from vayo farm:
<https://farm.vayo.co.th/blog/activated-carbon/>
- [14] Keereeruk, A. (2018). Adsorption Isotherm. Prince of Songkla University, 12-13.
- [15] Pacharawan Ouengsirirawad, D. C. (n.d.). Adsorption of Methylene Blue Dye Using Dried Shell of Bamboo Shoots.
- [16] Antonella Satira, E. (2021). Hydrothermal Carbonization as Sustainable Process for the Complete Upgrading of Orange Peel Waste into Value-Added Chemicals and Bio-Carbon Materials, 11.
- [17] Cleiton A. Nunes; Mário C (2011). Estimation of surface area and pore volume of activated carbons by methylene blue and iodine numbers.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณของเปลือกส้ม

ก.1.1 ปริมาณความชื้น

ตารางที่ ก.1 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในเปลือกส้ม

ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกส้มก่อนอบ	น้ำหนักเปลือกส้มหลังอบ	ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1	14.690	71.139	14.690
2	14.549	70.872	14.549
3	13.362	72.179	13.362
4	11.958	76.086	11.958
5	12.590	74.836	12.590
6	12.223	75.564	12.223
ปริมาณความชื้นเฉลี่ย			72.526



รูปที่ ก.1 เปลือกส้มหลังอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.2 ปริมาณสารระเหย

ตารางที่ ก.2 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยในเปลือกส้ม

ครั้งที่	น้ำหนัก (g)					ปริมาณสารระเหย (เปอร์เซ็นต์)
	เข้าเคลือบก่อนเผา	เปลือกส้ม	เปลือกส้มแห้ง	เข้าเคลือบหลังเผา 7 นาที	ของแข็งที่เหลือหลังเผา	
1	68.4391	5.2005	3.0143	68.4391	0.2107	53.9107
2	59.9582	5.1765	3.0004	59.9582	0.2139	53.8296
3	59.9650	5.1905	3.0086	59.9650	0.2631	52.8929
ปริมาณสารระเหยเฉลี่ย						53.5444



รูปที่ ก.2 เปลือกส้มหลังเผา เพื่อหาปริมาณสารระเหย

ก.1.3 ปริมาณเถ้าและปริมาณคาร์บอนคงตัว

ตารางที่ ก.3 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าในเปลือกส้ม

ครั้งที่	น้ำหนัก (g)			ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์)
	เข้าเคลือบหลังเผา 7 นาที	เข้าเคลือบหลังเผาต่อ 4 ชั่วโมง	ของแข็งที่เหลือหลังเผา	
1	68.4391	68.5677	0.0821	1.5787
2	59.9582	60.0902	0.0818	1.5810
3	59.9650	60.1354	0.0927	1.7867
ปริมาณเถ้าเฉลี่ย				1.6488

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกส้ม

ก.2.1 การเตรียมสารสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ก.2.1.1 Acid-detergent fiber (1 ลิตร)

Sulfuric Acid = 49.04 กรัม

Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) = 20 กรัม

(1) ชั่งน้ำหนัก sulfuric acid 49.04 กรัม แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

(2) เช็ด normality ด้วยการไทเทรต ก่อนเติม detergent (CTAB) จากนั้นเติม CTAB 20 กรัม และคนให้เข้ากัน

ก.2.1.2 Decahydronaphthalene

ก.2.1.3 Acetone

ก.2.1.4 n-Hexane

ก.2.1.5 Saturated potassium permanganate (1 ลิตร)

น้ำกลั่น = 1 ลิตร

Potassium permanganate = 50 กรัม

Silver sulfate = 0.05 กรัม

(1) ละลาย Potassium permanganate (KMnO_4) 50 กรัม และ

Silver sulfate 0.05 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

(2) เติม Silver sulfate 0.05 กรัม ผสมให้เข้ากันและเก็บให้พ้นจากแสง

ก.2.1.6 Lignin buffer solution (1 ลิตร)

Ferric nitrate nanohydrate = 6 กรัม

Silver nitrate = 0.15 กรัม

Acetic acid = 500 มิลลิลิตร

Potassium acetate = 5 กรัม

Tertiary butyl alcohol = 400 มิลลิลิตร

Distilled water = 100 มิลลิลิตร

(1) ละลาย Ferric nitrate nanohydrate 6 กรัม และ Silver nitrate 0.15 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

(2) ผสมกับ Acetic acid 500 มิลลิลิตร และ Potassium acetate 5 กรัม

(3) เติม Tertiary butyl alcohol 400 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.1.7 Combined permanganate Solution (1 ลิตร)

- (1) ผสมสารละลาย saturated potassium permanganate และ สารละลาย lignin buffer ด้วยอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร
- (2) ก่อนใช้งาน สารละลายผสมที่ไม่ได้ใช้เก็บไว้ในตู้เย็น พันแสง เป็นเวลา 1 สัปดาห์
- (3) สารละลายจะสามารถใช้ได้เมื่อเป็นสีม่วงและไม่มีตะกอน (สารละลายเก่า จะมีสีแดง ควรทิ้ง)

ก.2.1.8 Demineralizing solution (1 ลิตร)

Distilled water = 250 มิลลิลิตร

Oxalic acid dehydrate = 50 กรัม

Ethanal 95% = 700 มิลลิลิตร

- (1) ละลาย Oxalic acid dehydrate 50 กรัม ใน Ethanal 95% ปริมาตร 700 มิลลิลิตร

- (2) เติม Hydrochloric acid 50 มิลลิลิตร และ น้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร จากนั้นผสมให้เข้ากัน

ก.2.1.9 Ethanol 80%

Ethanal 95% = 845 มิลลิลิตร

Distilled water = 155 มิลลิลิตร

ก.2.2 ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

ตารางที่ ก.4 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเปลือกส้ม

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)			ปริมาณ เฮมิเซลลูโลส (g)
	เปลือกส้มเริ่มต้น	กระดาษกรอง	กระดาษกรอง และ ตัวอย่างหลังอบ	
1	1.0022	1.7139	2.5023	0.2138
2	1.0007	1.6918	2.5059	0.1865
3	1.0000	1.6088	2.5166	0.0922
ปริมาณเฮมิเซลลูโลสเฉลี่ย				0.1642

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.3 ปริมาณลิกนิน (Lignin)

ตารางที่ ก.5 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินในเปลือกส้ม

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)		ปริมาณลิกนิน (g)
	กระดาษกรอง	กระดาษกรองและตัวอย่างหลังอบ	
1	1.7139	2.3032	0.1992
2	1.6918	2.3176	0.1884
3	1.6088	2.3313	0.1854
ปริมาณลิกนินเฉลี่ย			0.1910

ก.2.4 ปริมาณเซลลูโลส (Cellulose)

ตารางที่ ก.6 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสในเปลือกส้ม

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)		ปริมาณเซลลูโลส (g)
	เบ้าหลอม	ตัวอย่างและเบ้าหลอมหลังอบ	
1	95.5603	95.5700	0.5795
2	99.8298	99.8340	0.6216
3	95.5603	95.5653	0.7175
ปริมาณเซลลูโลสเฉลี่ย			0.6395



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ก.3 ตัวอย่างขั้นตอนการหาปริมาณเชิงเคมี (ก) คัดขนาดก่อนนำไปทดลอง

(ข) หลังจากขั้นตอนสลายเฮมิเซลลูโลส (ค) หลังจากขั้นตอนสลายลิกนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน

ก.3.1 ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ก.7 แสดงข้อมูลการหาร้อยละผลผลิตของไฮโดรชาร์

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเปลือกส้ม แห้งเริ่มต้น (g)	น้ำหนักเปลือก ส้มหลัง (g)	Hydrochar yield (%)	Average yield (%)
1HC150-1h	150	1	10.0016	6.5677	65.67	67.33
2HC150-1h	150	1	10.0043	6.9031	69.00	
1HC180-1h	180	1	10.0241	6.6597	66.44	64.18
2HC180-1h	180	1	10.0078	6.1979	61.93	
1HC210-1h	210	1	10.0285	5.9568	60.43	59.58
2HC210-1h	210	1	10.0008	6.0604	58.73	
1HC240-1h	240	1	10.0139	5.8736	59.49	57.11
2HC240-1h	240	1	10.0015	5.4736	54.73	
1HC270-1h	270	1	10.007	3.7803	37.78	39.40
2HC270-1h	270	1	10.0028	4.1038	41.03	
1HC150-3h	150	3	10.0117	6.3965	63.89	65.71
2HC150-3h	150	3	10.004	6.7559	67.53	
1HC180-3h	180	3	10.0175	5.5167	55.07	54.20
2HC180-3h	180	3	10.0017	5.3335	53.33	
1HC210-3h	210	3	10.0273	5.263	52.49	51.22
2HC210-3h	210	3	10.0017	4.9957	49.95	
1HC240-3h	240	3	10.0326	4.0149	40.02	40.93
2HC240-3h	240	3	10.0014	4.184	41.83	
1HC270-3h	270	3	10.0416	3.2038	31.91	34.94
2HC270-3h	270	3	10.0165	3.8047	37.98	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 ตัวอย่างการนำ Stainless-steel autoclave เข้าตู้อบลมร้อน



รูปที่ ก.5 ตัวอย่างการกรองและล้างไฮโดรชาร์ที่ได้จนกว่าค่า pH จะเป็นกลางและน้ำมีสีใส



รูปที่ ก.6 ตัวอย่างไฮโดรชาร์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน
ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4 วิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน

ก.4.1 การเตรียมสารสำหรับการทดสอบไอโอดีน

ก.4.1.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (5% โดยน้ำหนัก)

- (1) เติมกรดไฮโดรคลอริก 70 มิลลิลิตร
- (2) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 550 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากัน

ก.4.1.2 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (0.100 นอร์มอล)

- (1) ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 24.820 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มใหม่ ประมาณ 75 ± 25 มิลลิลิตร
- (2) เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.10 ± 0.01 กรัม
- (3) จากนั้นปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร โดยก้วเครื่องแก้วให้สะอาด
- (4) ทิ้งไว้ 4 วัน ก่อนจะนำไปทดสอบสารละลายมาตรฐาน
- (5) เก็บในขวดสีชา

ก.4.1.3 สารละลายมาตรฐานไอโอดีน (0.100 ± 0.001 นอร์มอล)

- (1) ชั่งน้ำหนักเกล็ดไอโอดีน 12.700 กรัม และโพแทสเซียมไอโอดีน (KI) 19.100 กรัม ใส่ในบีกเกอร์
- (2) ผสมไอโอดีนและโพแทสเซียมไอโอดีนแบบแห้ง
- (3) เติมน้ำกลั่น 2-5 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ และคนให้เข้ากัน
- (4) เติมน้ำอย่างต่อเนื่องครั้งละ 5 มิลลิลิตร ขณะกวน จนกระทั่งปริมาตรรวมอยู่ที่ 50-60 มิลลิลิตร
- (5) ปล่อยให้สารละลายทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าผลึกละลายทั้งหมด
- (6) จากนั้นปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร โดยก้วเครื่องแก้วให้สะอาด
- (7) เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา

ก.4.1.4 สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (0.1000 นอร์มอล)

- (1) ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดตประมาณ 4 กรัม
- (2) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นลงในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (3) ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดตที่อบแห้งแล้ว 3.5667 ± 0.1 กรัม ไปละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
- (4) จากนั้นปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร โดยกลั่นเครื่องแก้วให้สะอาด
- (5) เก็บสารละลายไว้ในขวดแก้วที่มีจุกแก้ว

ก.4.1.5 Starch Solution

- (1) ชั่งผงแป้ง 1.0 ± 0.5 กรัม ผสมกับน้ำเย็น 5 -10 มิลลิลิตร เพื่อทำให้เป็นน้ำแป้งข้น
- (2) ต้มน้ำให้เดือดปริมาตร 25 ± 5 มิลลิลิตร
- (3) เทน้ำแป้งข้นลงในน้ำเดือด 1 ลิตร และต้มต่ออีก 4 ถึง 5 นาที
- (4) สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกวัน

ก.4.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.100 นอร์มอล

ตารางที่ ก.8 แสดงค่าการทดสอบสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.100 นอร์มอล

ตัวอย่างที่	ครั้งที่	ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ (mL)	Normality (N)
1	1	25.0	0.1000
	2	24.9	0.1004
	3	25.0	0.1000
เฉลี่ย			0.1001
2	1	25.1	0.0996
	2	25.1	0.0996
	3	25.0	0.1000
เฉลี่ย			0.0995
3	1	25.2	0.0992
	2	25.0	0.1000
	3	25.0	0.1000
เฉลี่ย			0.0998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.100 ± 0.001 นอร์มอล

ตารางที่ ก.9 แสดงค่าการทดสอบสารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.100 ± 0.001 นอร์มอล

ตัวอย่างที่	ครั้งที่	ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ (mL)	Normality (N)
1	1	25.0	0.1000
	2	25.0	0.1000
	3	25.0	0.1000
เฉลี่ย			0.1000
2	1	24.7	0.0988
	2	24.8	0.0992
	3	24.8	0.0992
เฉลี่ย			0.0990
3	1	25.0	0.1000
	2	24.8	0.0992
	3	25.0	0.1000
เฉลี่ย			0.0997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4.4 ข้อมูลการทดลองหาค่าการดูดซับไอโอดีน

ก.4.2.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของเปลือกส้มและไฮโดรซาร์

ตารางที่ ก.10 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของเปลือกส้มและไฮโดรซาร์

ตัวอย่าง	M	DF	H	F	S	X/M	เฉลี่ยค่า X/M
เปลือกส้ม	1.00012	2.2	10.0	50.0	7.1	277.94	252.75
	1.00071	2.2	10.0	50.0	37.3	227.55	
HC150-1h	1.00080	2.2	10.0	50.0	30.7	411.69	402.85
	1.00080	2.2	10.0	15.0	9.4	394.01	
HC180-1h	1.00025	2.2	10.0	50.0	31.3	395.16	329.55
	1.00025	2.2	10.0	30.0	21.6	263.95	
HC210-1h	1.00075	2.2	10.0	50.0	30.6	414.50	422.87
	1.00075	2.2	10.0	20.0	1.2	431.24	
HC240-1h	1.00047	2.2	10.0	50.0	30.6	414.61	417.39
	1.00052	2.2	10.0	50.0	30.4	420.17	
HC270-1h	1.00090	2.2	10.0	50.0	30.3	422.80	430.48
	1.00090	2.2	10.0	20.0	11.9	438.15	
HC150-3h	1.00063	2.2	10.0	50.0	29.5	445.24	424.40
	1.00018	2.2	10.0	50.0	31	403.56	
HC180-3h	1.00035	2.2	10.0	50.0	30.4	420.25	425.83
	1.00035	2.2	10.0	10.0	6.0	431.41	
HC210-3h	1.00060	2.2	10.0	50.0	29.0	459.21	449.49
	1.00040	2.2	10.0	50.0	29.7	439.76	
HC240-3h	1.00029	2.2	10.0	50.0	30.6	414.69	400.73
	1.00029	2.2	10.0	25.0	15.8	386.77	
HC270-3h	1.00041	2.2	10.0	50.0	33.5	333.69	365.09
	1.00041	2.2	10.0	20.0	12.5	396.49	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4.2.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ก.11 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

ตัวอย่าง	M	DF	H	F	S	X/M	เฉลี่ยค่า X/M
AC210-3h-KOH	1.00031	2.2	10.0	50.0	27.0	515.18	510.52
	1.00031	2.2	10.0	10.0	5.4	515.18	
	1.00031	2.2	10.0	10.0	5.5	501.22	
AC210-3h-K ₂ CO ₃	1.00032	2.2	10.0	50.0	28.9	462.13	455.62
	1.00032	2.2	10.0	10.0	5.9	445.38	
	1.00032	2.2	10.0	10.0	5.8	459.34	
AC210-3h-ZnCl ₂	1.00033	2.2	10.0	50.0	28.8	464.92	465.85
	1.00033	2.2	10.0	10.0	5.8	459.34	
	1.00033	2.2	10.0	10.0	5.7	473.29	
AC270-1h-KOH	1.00031	2.2	10.0	50.0	27.3	506.80	503.08
	1.00031	2.2	10.0	10.0	5.5	501.22	
	1.00031	2.2	10.0	10.0	5.5	501.22	
AC270-1h-K ₂ CO ₃	1.00071	2.2	10.0	50.0	29.3	450.79	437.77
	1.00071	2.2	10.0	10.0	6.1	417.30	
	1.00071	2.2	10.0	10.0	5.9	445.21	
AC270-1h-ZnCl ₂	1.00055	2.2	10.0	50.0	28.8	464.82	456.44
	1.00055	2.2	10.0	10.0	5.8	459.23	
	1.00055	2.2	10.0	10.0	5.9	445.28	

- โดยที่ *F* คือ ปริมาตรของของเหลวที่ผ่านการกรอง (มิลลิลิตร)
S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)
H คือ ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (มิลลิลิตร)
DF คือ ค่าระดับการเจือจาง (Dilution factor)
C คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ (นอร์มอล)
X/M คือ ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
M คือ ปริมาณคาร์บอนที่ต้องใช้ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ก.7 ตัวอย่างขั้นตอนการทดสอบไอโอดีน (ก) สีสารละลายก่อนทดสอบ (ข) สีของสารละลาย
 หลังหยดโซเดียมไฮโอซัลเฟตครั้งแรก (ค) สีของสารละลายหลังหยดน้ำแป้ง (ง) สีของสารละลายหลัง
 หยดโซเดียมไฮโอซัลเฟตครั้งที่สอง

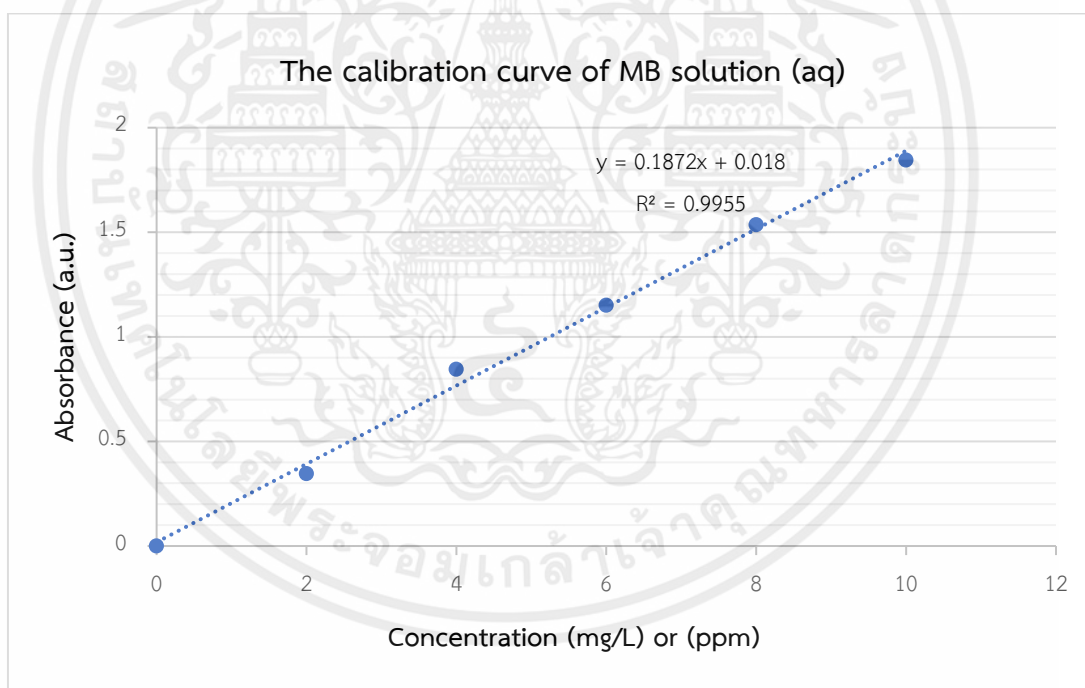
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 วิเคราะห์การดูดซับเมทิลีนบลู

ก.5.1 กราฟมาตรฐานสำหรับสารละลายเมทิลีนบลู

ตารางที่ ก.12 แสดงค่าการดูดกลืนแสง ณ ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร

ความเข้มข้น (mg/L)	Absorbance (a.u.)	R ²
0	0	0.9955
2	0.346	
4	0.845	
6	1.151	
8	1.536	
10	1.845	



รูปที่ ก.8 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและค่าการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5.2 ข้อมูลการดูดซับเมทิลีนบลูของไฮโดรซาร์และถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ก.13 แสดงค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของไฮโดรซาร์และถ่านกัมมันต์ ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ปริมาณ (g)	ปริมาตร (L)	C_0 (mg/L)	V_f/V_i	ค่าการดูดกลืนแสง @ 663 nm	C_e @663 nm (mg/L)	q_e (mg/L)
HC210-3h	0.1	0.02	50	50	0.121	27.5107	4.4979
HC210-3h	0.1	0.02	100	50	0.366	92.9487	1.4103
HC210-3h	0.1	0.02	200	50	0.715	186.1645	2.7671
HC210-3h	0.1	0.02	400	50	1.470	387.8205	2.4359
HC210-3h	0.1	0.02	700	50	1.456	384.0812	63.1838
AC210-3h-K ₂ CO ₃	0.1	0.02	50	50	0.060	11.2179	7.7564
AC210-3h-K ₂ CO ₃	0.1	0.02	100	50	0.071	14.1560	17.1688
AC210-3h-K ₂ CO ₃	0.1	0.02	200	50	0.095	20.5662	35.8868
AC210-3h-K ₂ CO ₃	0.1	0.02	400	50	0.190	45.9402	70.8120
AC210-3h-K ₂ CO ₃	0.1	0.02	700	50	0.192	46.4744	130.7051
AC210-3h-KOH	0.1	0.02	50	50	0.048	8.0128	8.3974
AC210-3h-KOH	0.1	0.02	100	50	0.050	8.5470	18.2906
AC210-3h-KOH	0.1	0.02	200	50	0.065	12.5534	37.4893
AC210-3h-KOH	0.1	0.02	400	50	0.105	23.2372	75.3526
AC210-3h-KOH	0.1	0.02	700	50	0.118	26.7094	134.6581
AC210-3h-ZnCl ₂	0.1	0.02	50	50	0.163	38.7286	2.2543
AC210-3h-ZnCl ₂	0.1	0.02	100	50	0.345	87.3397	2.5321
AC210-3h-ZnCl ₂	0.1	0.02	200	50	0.675	175.4808	4.9038
AC210-3h-ZnCl ₂	0.1	0.02	400	50	1.432	377.6709	4.4658
AC210-3h-ZnCl ₂	0.1	0.02	700	50	1.978	523.5043	35.2991

โดยที่ C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_e คือ ความเข้มข้นสมดุลของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)

q_e คือ ความสามารถในการดูดซับของสีย้อมที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V_f/V_i คือ Dilute factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14 แสดงค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของไฮโดรซาร์และถ่านกัมมันต์ ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ปริมาณ (g)	ปริมาตร (L)	C_0 (mg/L)	V_f/V_i	ค่าการดูดกลืนแสง (@ 663 nm)	C_e @ 663 nm (mg/L)	q_e (mg/L)
HC270-1h	0.1	0.02	50	50	0.171	40.8654	1.8269
HC270-1h	0.1	0.02	100	50	0.386	98.2639	0.3472
HC270-1h	0.1	0.02	200	50	0.708	184.2949	3.1410
HC270-1h	0.1	0.02	400	50	1.472	388.3547	2.3291
HC270-1h	0.1	0.02	700	50	1.554	410.2564	57.9487
AC270-1h-K ₂ CO ₃	0.1	0.02	50	50	0.133	30.7158	3.8568
AC270-1h-K ₂ CO ₃	0.1	0.02	100	50	0.231	56.8910	8.6218
AC270-1h-K ₂ CO ₃	0.1	0.02	200	50	0.601	155.7158	8.8568
AC270-1h-K ₂ CO ₃	0.1	0.02	400	50	1.239	326.1218	14.7756
AC270-1h-K ₂ CO ₃	0.1	0.02	700	50	1.471	388.0876	62.3825
AC270-1h-KOH	0.1	0.02	50	50	0.041	6.1432	8.7714
AC270-1h-KOH	0.1	0.02	100	50	0.061	11.4850	17.7030
AC270-1h-KOH	0.1	0.02	200	50	0.075	15.2244	36.9551
AC270-1h-KOH	0.1	0.02	400	50	0.102	22.4359	75.5128
AC270-1h-KOH	0.1	0.02	700	50	0.131	30.1816	133.9637
AC270-1h-ZnCl ₂	0.1	0.02	50	50	0.200	48.6111	0.2778
AC270-1h-ZnCl ₂	0.1	0.02	100	50	0.387	98.5577	0.2885
AC270-1h-ZnCl ₂	0.1	0.02	200	50	0.751	195.7799	0.8440
AC270-1h-ZnCl ₂	0.1	0.02	400	50	1.504	396.9017	0.6197
AC270-1h-ZnCl ₂	0.1	0.02	700	50	1.865	493.3226	41.3355

โดยที่ C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_e คือ ความเข้มข้นสมดุลของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)

q_e คือ ความสามารถในการดูดซับของสีย้อมที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V_f/V_i คือ Dilute factor



รูปที่ ก.9 ตัวอย่างการทดลองหาค่าการดูดซับเมทิลินบลูด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ

ก.5.3 คำนวณหาปริมาณจำเพาะ รูป-runขนาดเล็ก และรูป-runทั้งหมดของตัวดูดซับ

ตารางที่ ก.15 แสดงข้อมูลการคำนวณหาปริมาณจำเพาะ รูป-runขนาดเล็ก และรูป-runทั้งหมด

ตัวอย่าง	เมทิลินบลู นัมเบอร์	ไอโอดีน นัมเบอร์	ปริมาตร จำเพาะ	รูป-run ขนาดเล็ก	รูป-run ทั้งหมด
HC210-3h	2.785	449.487	404.148	0.138	0.187
AC210-3h-K ₂ CO ₃	32.895	455.618	417.052	0.115	0.248
AC210-3h-KOH	28.571	510.523	444.166	0.131	0.245
AC210-3h-ZnCl ₂	7.994	465.849	413.850	0.137	0.199
HC270-1h	1.566	430.476	394.679	0.134	0.183
AC270-1h-K ₂ CO ₃	31.646	437.767	407.561	0.111	0.244
AC270-1h-KOH	43.668	503.079	445.938	0.121	0.274
AC270-1h-ZnCl ₂	1.590	456.443	407.121	0.141	0.186

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้