



โครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์

เรื่อง

การสกัดและตรวจสอบคุณลักษณะของเซลลูโลสจากเปลือกผลทุเรียน

Extraction and characterization of cellulose from fruit-hulls of durian

(Durio zibethinus L.)

โดย

นสภ.อรรรรณ	จันทร์กุลโล	รหัสบัณฑิต 56210037
นสภ.ภาสกร	ประเสริฐรุ่งพาณิชย์	รหัสบัณฑิต 56210049
นสภ.ชนนิกานต์	คงพ่วง	รหัสบัณฑิต 56210068
นสภ.ชนาธิป	ไชยกุลวัฒนา	รหัสบัณฑิต 56210076

โครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาบัณฑิต ปีการศึกษา 2560

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

โครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์

เรื่อง

การสกัดและตรวจสอบคุณลักษณะของเซลลูโลสจากเปลือกผลทุเรียน

Extraction and characterization of cellulose from fruit-hulls of durian

(Durio zibethinus L.)

โดย

นสภ.อรรรรณ	จันทร์กุลโล	รหัสบัณฑิต 56210037
นสภ.ภาสกร	ประเสริฐรุ่งพาณิชย์	รหัสบัณฑิต 56210049
นสภ.ชนนิกานต์	คงพ่วง	รหัสบัณฑิต 56210068
นสภ.ชนาธิป	ไชยกุลวัฒนา	รหัสบัณฑิต 56210076

โครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาบัณฑิต ปีการศึกษา 2560

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

คำนำ

ปัจจุบันมีการนำสิ่งของหรือวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆเพิ่มมากขึ้น เช่น สารตั้งต้นของเครื่องสำอาง ยา และส่วนประกอบในยา เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการพัฒนาสูตรตำรับของยา เนื่องจากวัสดุจากธรรมชาติเหล่านั้นมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับสารที่มาจากการสังเคราะห์ จึงได้นำคุณสมบัติดังกล่าวมาใช้ในการพัฒนาการประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ โดยมีการศึกษาที่นำสารสกัดจากวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ทางเภสัชกรรม เช่น ใช้เป็นสารช่วยในตำรับต่างๆ เช่น สารเพิ่มความหนืด สารก่อเจล เป็นต้น

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการนำวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ คือ เปลือกทุเรียน มาศึกษาวิธีการสกัด และศึกษาการตรวจสอบคุณลักษณะในเบื้องต้น เพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปประยุกต์ใช้ทางเภสัชกรรมในอนาคต

คณะผู้วิจัย

วันที่ 14 พฤศจิกายน 2560

โครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์ปีการศึกษา 2560

เรื่อง การสกัดและตรวจสอบคุณลักษณะของเซลลูโลสจากเปลือกผลทุเรียน

ผู้จัดทำโครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์

นสภ.อรรชรณ	จันทร์กุลโล	รหัสนิสิต 56210037
นสภ.ภาสกร	ประเสริฐรุ่งพาณิช	รหัสนิสิต 56210049
นสภ.ชนนิกานต์	คงพวง	รหัสนิสิต 56210068
นสภ.ชนาธิป	ไชยกุลวัฒนา	รหัสนิสิต 56210076

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์

ภก.ดร.ณัฐธัญ เจริญศรีวิไลวัฒน์

ภญ.ดร.สมาวดี เปลี่ยนวงษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อสกัดและตรวจสอบคุณลักษณะของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ ได้แก่ หมอนทอง ชะนี และกระดุม โดยสกัดเปลือกทุเรียนส่วนขาวเขียวและส่วนขาวด้วยสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนโดยใช้เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและความเป็นผลึกโดยใช้เครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Differential scanning calorimetry (DSC) และ Powder x-ray diffractometer (XRD) จากงานวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนอยู่ในช่วงร้อยละ 13.43 ถึง 25.49 ภาพจาก SEM แสดงลักษณะเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนมีรูปร่างเป็นแท่งโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7 ถึง 16 ไมครอน ผลสเปกตรัม FTIR ยืนยันว่าสามารถกำจัดสารอื่นออกจากเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนได้ ข้อมูลจาก DSC และ XRD พบว่าเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนมีค่าความเป็นผลึกมากกว่าเปลือกทุเรียนที่ยังไม่ได้สกัด นอกจากนี้พบว่าเซลลูโลสจากพันธุ์ชะนีส่วนขาวมีมวลโมเลกุลโดยความหนืดสูงที่สุด ซึ่งจากผลการวิจัยแสดงซึ่งจากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนในแต่ละสายพันธุ์ที่ความเข้มข้นและส่วนที่แตกต่างกัน ให้เซลลูโลสที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน ดังนั้นเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนอาจมีคุณสมบัติและศักยภาพที่สามารถประยุกต์ใช้ในการเป็นสารช่วยในตำรับทางเภสัชกรรมได้

อาจารย์ที่ปรึกษา.....

Senior Project Academic Year 2017

Title : Extraction and characterization of cellulose from fruit-hulls of durian

(Durio zibethinus L.)

By

Miss Orawan	Junkunlo	ID 56210037
Mr. Passakorn	Prasertrungpanich	ID 56210049
Miss Chonnikan	Kongpuang	ID 56210068
Mr. Chanatip	Chaikulwattana	ID 56210076

Advisor

Dr. Natthan Charernsriwilaiwat

Dr. Samarwadee Plianwong

.....

Abstract

The objectives of the recent study were to extract and characterize cellulose from durian fruit rind of three different types such as Mhonthong, Chanee and Kradom. The various concentrations NaOH solution was used to extract durian fruit rinds. The exocarp-mesocarp part and the mesocarp part of durian fruit rinds was investigated. The cellulose powder from durian fruit rinds was observed under scanning electron microscope (SEM). The chemical structure and crystallinity of these cellulose powder were examined using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Differential scanning calorimetry (DSC) and powder x-ray diffractometer (XRD). The yield of cellulose powder was in the range of 13.43 - 25.49%. The SEM images show that the cellulose powder was spindle liked shape and had diameters in the range of 7 - 16 μ m. The FTIR spectrum confirmed the removal of others component from the cellulose powder. From the DSC and XRD data, all of the cellulose powder showed more crystallinity index than untreated powder. The cellulose powder extracted from Chanee's mesocarp part showed the highest viscosity molecular weight (M_v). These results imply that the cellulose powder from the different type of durian fruit rinds, various NaOH concentration and different parts exhibited similarity in properties. In conclusion, these cellulose powder may have properties and potential to apply in pharmaceutical excipients.

Major advisor.....

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์ ภก.ดร.ณัฐธัญ เจริญศรีวิไลวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ภญ.ดร.สมาวดี เปลี่ยนวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษาเพิ่มเติมและให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆระหว่างทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ ภก.ฐาปกรณ์ เจริญยิ่ง และคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ

ขอขอบคุณบุคลากรคณะเภสัชศาสตร์ และคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยทุกๆด้าน และขอขอบพระคุณที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอขอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง และสุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจในการศึกษาเล่าเรียนและการทำวิจัยเสมอมา

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญเรื่อง	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
สารบัญตารางภาคผนวก	ฌ
สารบัญภาพภาคผนวก	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	25
บทที่ 4 ผลการวิจัย	33
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	55

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แสดงสเปกตรัมของเซลลูโลส หมู่ฟังก์ชัน และโครงสร้าง	15
ตารางที่ 2 แสดงค่า k และ a ของพอลิเมอร์และตัวทำละลายชนิดต่างๆ	19
ตารางที่ 3 แสดงการแปลผลค่า Compressibility Index และ Hausner Ratio	28
ตารางที่ 4 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ต่างๆ	33
ตารางที่ 5 แสดงผลการประเมินลักษณะทางกายภาพของผงเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกทุเรียน	35
ตารางที่ 6 แสดงผลการประเมินลักษณะทางกายภาพของเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกทุเรียน	36
ตารางที่ 7 แสดงค่า Compressibility Index และ Hausner Ratio	42
ตารางที่ 8 แสดงค่า Crystalline index	46
ตารางที่ 9 แสดงค่าความหนืดแท้จริง (intrinsic viscosity, η) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	49

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงลักษณะการเชื่อมสายของเซลลูโลส	7
รูปที่ 2 แสดงลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสและหน่วยของเซลลูโลส	8
รูปที่ 3 แสดงสเปกตรัม FTIR ระหว่างรูปผลึก (crystalline) เซลลูโลสกับรูป อสัณฐาน (amorphous) เซลลูโลส (A_c คือรูปผลึก (crystalline), A_{am} คือรูป อสัณฐาน (amorphous) เซลลูโลส)	9
รูปที่ 4 แสดงการสูญเสียของมวลจากเทอร์โมแกรม	10
รูปที่ 5 แสดงลักษณะของผงเซลลูโลสที่อุณหภูมิต่างๆ	10
รูปที่ 6 แสดงการทำงานของเครื่อง fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR)	13
รูปที่ 7 แสดง UATR-FTIR spectra	14
รูปที่ 8 แสดงสเปกตรัมของเซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน	15
รูปที่ 9 แสดงการทำงานของเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)	16
รูปที่ 10 แสดงรูปที่ได้จากการส่องด้วย SEM พบว่าสามารถเห็นรูปร่าง ขนาดและ ความแตกต่างได้ อย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มร้อยละของการถูกไฮโดรไลซิส	17
รูปที่ 11 แสดงหลักการของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์	18
รูปที่ 12 แสดงรูปแบบของ XRD พบว่าเมื่อเพิ่มการไฮโดรไลซิสไม่มีต่อผลึกของ เซลลูโลสและรูปแบบ XRD	19
รูปที่ 13 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาความหนืด	21
รูปที่ 14 แสดงหลักการของเครื่องใช้ tapped density tester	24
รูปที่ 15 แสดงเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการทดสอบลิกนินด้วยวิธี phloroglucinol	37

รูปที่ 16 แสดงเส้นใยเซลลูโลสที่กำลังขยาย 50 และ 2,500 เท่า ของทุเรียนหมอนทองขาวเขียว 1) 20% 2)17.5% 3)15% ทุเรียนหมอนทองขาว 4) 20% 5)17.5% และ 6)15%	38
รูปที่ 17 แสดงเส้นใยเซลลูโลสที่กำลังขยาย 50 และ 2,500 เท่า ของทุเรียนชะนีขาวเขียว 1) 20% 2)17.5% 3)15% ทุเรียนชะนีขาว 4) 20% 5)17.5% และ 6)15%	39
รูปที่ 18 แสดงเส้นใยเซลลูโลสที่กำลังขยาย 50 และ 2,500 เท่า ของทุเรียนหมอนทองขาวเขียว 1) 20% 2)17.5% 3)15% ทุเรียนหมอนทองขาว 4) 20% 5)17.5% และ 6)15%	40
รูปที่ 19 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ส่วนขาวเขียว ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5	43
รูปที่ 20 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองส่วนขาวเขียว	43
รูปที่ 21 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5	44
รูปที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนส่วนขาว	45
รูปที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนส่วนขาวเขียว	45
รูปที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนส่วนขาวด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter	47
รูปที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนส่วนขาวเขียวด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter	47

สารบัญตารางภาคผนวก

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์หมอนทอง ที่สกัดด้วยโซเดียม ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15	56
ตารางที่ 2 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์หมอนทอง ที่สกัดด้วยโซเดียม ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5	57
ตารางที่ 3 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์หมอนทอง ที่สกัดด้วยโซเดียม ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20	57
ตารางที่ 4 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ชะนีที่สกัด ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15	58
ตารางที่ 5 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ชะนีที่สกัด ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5	58
ตารางที่ 6 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ชะนีที่สกัด ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20	59
ตารางที่ 7 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์กระดุมที่ สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15	59
ตารางที่ 8 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์กระดุมที่ สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5	60
ตารางที่ 9 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์กระดุมที่ สกัดด้วยโซเดียม ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20	60
ตารางที่ 10 แสดงผลการศึกษาความหนาแน่นของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสาย พันธุ์หมอนทองด้วยเครื่อง tapped density tester	61
ตารางที่ 11 แสดงผลการศึกษาความหนาแน่นของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสาย พันธุ์ชะนีด้วยเครื่อง tapped density tester	62
ตารางที่ 12 แสดงผลการศึกษาความหนาแน่นของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสาย พันธุ์กระดุมด้วยเครื่อง tapped density tester	63

ญ

ตารางที่ 13 แสดงผล ln ความหนืดสัมพัทธ์ ต่อความ ต่อความเข้มข้น 0.4, 0.5, 0.6 เซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนในแต่ละสายพันธุ์	71
ตารางที่ 14 แสดงผล $\eta_{\text{intrinsic}}$ และมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตรเซลลูโลสของเปลือกทุเรียน	72
ตารางที่ 15 แสดงค่า Crystalline index	77

สารบัญรูปภาคผนวก

	หน้า
รูปที่ 1 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ส่วนขาว เขียนด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15	65
รูปที่ 2 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ส่วนขาว เขียนด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20	65
รูปที่ 3 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ส่วนขาว ด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15	66
รูปที่ 4 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ส่วนขาว ด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5	66
รูปที่ 5 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ส่วนขาว ด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20	67
รูปที่ 6 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองส่วนขาว	67
รูปที่ 7 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์ชะนีส่วนขาวเขียว	68
รูปที่ 8 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์ชะนีส่วนขาว	68
รูปที่ 9 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์กระดุมส่วนขาวเขียว	69
รูปที่ 10 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์กระดุมส่วนขาว	69
รูปที่ 11 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ ด้วย ไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15	70
รูปที่ 12 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ ด้วย ไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20	70
รูปที่ 13 แสดงกราฟเส้นตรงของทุเรียนพันธุ์หมอนทองส่วนขาว ($n = 1$)	73
รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายและ $\ln$ ความหนืด	74

สัมพัทธ์ต่อความเข้มข้น 0.4, 0.5, 0.6 ในทุเรียนพันธุ์หมอนทอง	
รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายและ ln ความหนืด	75
สัมพัทธ์ต่อความเข้มข้น 0.4, 0.5, 0.6 ในสายพันธุ์ชะนี	
รูปที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายและ ln ความหนืด	76
สัมพัทธ์ต่อความเข้มข้น 0.4, 0.5, 0.6 ในสายพันธุ์กระดุม	
รูปที่ 17 แสดงผลการทดสอบโดยใช้เครื่อง Differential scanning calorimetry	80
(DSC) pan solid	

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันทุเรียน (*Durio zibethinus* L.) จัดเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยที่ส่งออกไปยังหลายประเทศทั่วโลก เนื่องมาจากทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว อาทิเช่น รูปร่าง กลิ่น และรสชาติ ด้วยเหตุนี้ทำให้ทุเรียนได้รับความนิยมอย่างมากจากผู้บริโภคทั้งในรูปแบบของผลสด โดยพบว่ามีผู้นำผลทุเรียนมาทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด เช่น ทุเรียนกวน ทุเรียนม้วน ลูกอมทุเรียน เป็นต้น ซึ่งการบริโภคทุเรียนไม่ว่าจะมีการบริโภคจากผลิตภัณฑ์รูปแบบใดจะเหลือสิ่งที่ตกค้างเหลืออยู่ คือ เปลือกทุเรียน นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปทุเรียนที่ส่งออกไปต่างประเทศจึงทำให้มีส่วนเปลือกทุเรียนที่เหลือทิ้งจำนวนมาก ซึ่งพบว่าจากผลทุเรียนร้อยละ 100 จะบริโภคเนื้อทุเรียนได้ประมาณร้อยละ 15 ถึง 30 ของผลทุเรียน จึงทำให้เกิดเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งประมาณร้อยละ 70 ถึง 85 ของผลทุเรียน นำมาซึ่งปัญหาในการทำลาย ถึงแม้ว่าเปลือกทุเรียนจะสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ แต่กว่าจะเกิดการย่อยสลายนั้นต้องใช้เวลาอันยาวนาน ซึ่งทำให้เกิดผลเสียต่อมนุษย์ ทั้งในด้านทัศนียภาพและด้านสิ่งแวดล้อม ที่ผ่านมามีการศึกษาพบว่าเปลือกทุเรียนมีความชื้นร้อยละ 11.27 ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนร้อยละ 39.3 และออกซิเจนร้อยละ 53.74 นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเปลือกทุเรียนนั้นประกอบไปด้วยสารต่างๆ ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส (hemi-cellulose) ประมาณร้อยละ 15.5 โฮโลเซลลูโลส (holocellulose) ประมาณร้อยละ 47.1 เซลลูโลส (cellulose) ประมาณร้อยละ 31.6 และลิกนิน (lignin) ประมาณร้อยละ 10.9 ของเปลือกทุเรียนแห้ง (1, 2) จึงทำให้มีงานวิจัยมากมายในการนำเปลือกทุเรียนที่ไม่ก่อเกิดประโยชน์มาพัฒนาให้เกิดมูลค่าจากขยะเปลือกทุเรียนที่เกิดขึ้น ดังเช่นได้มีการสกัดนำสารพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) จากเปลือกทุเรียนนำมาตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและทดสอบฤทธิ์ และนอกเหนือจากนี้มีการนำเปลือก ทุเรียนมาสกัดเป็นเซลลูโลสเพื่อพัฒนาเป็นคาร์บอกซีเซลลูโลส (carboxycellulose)

ในการนำไปพัฒนาเป็นแผ่นฟิล์ม และนำสกัดเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนมาศึกษาลักษณะทางกายภาพ อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเซลล์โลสที่ได้จากเปลือกทุเรียนในสายพันธุ์อื่นๆ เช่น หมอนทอง ชะนี ก้านยาว และกระดุม เป็นต้น อีกทั้งยังไม่มี การตรวจสอบมวลโมเลกุลของเซลล์โลสที่ได้จากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ต่างๆ

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาวิธีการสกัดเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ต่างๆ ส่วนของเปลือกทุเรียน exocarp - mesocarp (ส่วนขาวเขียว) และ mesocarp (ส่วนขาว) และนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเซลล์โลสที่ได้ โดยการศึกษาลักษณะทางกายภาพและสัณฐานวิทยาของเซลล์โลสที่ได้ด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) การศึกษาลักษณะทางเคมีของเซลล์โลสด้วยเครื่อง fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) เพื่อระบุหมู่ฟังก์ชันของเซลล์โลส การศึกษาความผลึกของเซลล์โลสด้วยเครื่อง x-ray diffraction (XRD) และ differential scanning calorimeter (DSC) การศึกษามวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยหาจากความหนืดของเซลล์โลส

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ต่างๆ
2. เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ต่างๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถพัฒนาการสกัดเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ

กรอบแนวคิด

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม
- ชนิดของพันธุ์ทุเรียน - ส่วนของเปลือกทุเรียน (ส่วน exocarp - mesocarp) - ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการสกัด	- ลักษณะทางกายภาพ สัณฐานวิทยา - ร้อยละของผลผลิต (% yield) - มวลโมเลกุลของเซลล์โลส - ลักษณะความเป็นผลึก - การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

นิยามศัพท์

เซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์ที่เป็นสายยาว ไม่แตกกิ่ง ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลหลายโมเลกุล โดยมี ดี-กลูโคส เป็นหน่วยย่อยหลักขององค์ประกอบเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์ที่เป็นสายสั้น แตกกิ่ง ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลหลายโมเลกุล โดยมี ไทโรส กาแลคโทส และอะลาบินอส เป็นหน่วยย่อยขององค์ประกอบเฮมิเซลลูโลส

ไฮโดรเซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์ที่มีองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสกับเซลลูโลส หลังจากผ่านกระบวนการสกัดที่มีการกำจัดลิแกนด์ออก

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1.ทุเรียน (Durian)

1.1 ทุเรียน (*Durio zibethinus*) เป็นไม้ผลในวงศ์ฝ้าย (Malvaceae) ในสกุลทุเรียน (*Durio*) เป็นไม้ผลเมืองร้อนที่เป็นที่นิยมมากในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง (3)

โดยทุเรียนสามารถปลูกได้ดีในดินร่วนซุยหรือดินร่วนปนทราย ชอบแสงแดดชอบน้ำปานกลาง สามารถเจริญเติบโตในพื้นที่ที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและจะหยุดเจริญเติบโต เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า 22 องศาเซลเซียส (72 องศาฟาเรนไฮต์) โดยพันธุ์ทุเรียนที่ปลูกในประเทศไทยจำแนกได้เป็น 6 กลุ่ม ตามลักษณะรูปร่างใบ ปลายใบ ฐานใบ ทรงผล และรูปร่างของหนาม คือ กลุ่มกบ (D99) กลุ่มลวง กลุ่มก้านยาว (D158) กลุ่มกำป็น (D114) กลุ่มทองย้อย และกลุ่มเบ็ดเตล็ด (D169) ซึ่งพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทยมี 4 พันธุ์ คือ หมอนทอง (D159) ชะนี (D123) ก้านยาว (D158) และกระดุม (D24) (4)

1.2 ลักษณะทางกายภาพและส่วนประกอบของทุเรียน

ทุเรียนเป็นไม้ผลยืนต้นที่ไม่ผลัดใบ ลำต้นตรงสูง แตกกิ่งเป็นมุมแหลม เปลือกชั้นนอกลำต้นสีเทาแก่ ผิวขรุขระ ใบเดี่ยวเรียวแหลม กระจายทั่วกิ่งอยู่ตรงกันข้ามในระนาบเดียวกัน ก้านใบกลม ผิวใบเรียบลื่น ใบด้านบนมีสีเขียว ท้องใบมีสีน้ำตาลเส้นใบด้านล่างนูน ขอบใบเรียบ เส้นใบเป็นร่างแห ดอกเป็นดอกช่อมีกลีบเลี้ยง กลีบดอก และดอกสมบูรณ์เพศ มีกลิ่นหอม ลักษณะดอกคล้ายระฆังคว่ำสีขาว ให้ผลเมื่ออายุ 4 ถึง 5 ปี ออกดอกตามกิ่งปีละ 1 ถึง 2 ครั้ง สุกหลังจากผสมเกสรไปแล้ว 3 เดือน ผลที่ได้เป็นผลเดี่ยวรูปทรงรี มีเปลือกหนา และหนามแหลม ผลแก่มีสีเขียว ผลสุกมีสีน้ำตาลอ่อน เนื้อมีสีเหลืองอ่อน ขึ้นอยู่กับสภาพของดินและพันธุ์ของทุเรียน แต่ละส่วนของผลเรียกเป็นพู เนื้อในเมล็ดสีขาว รสชาติฝาด (5)

ในส่วนเปลือกของทุเรียนมีส่วนประกอบที่เป็นเส้นใยจำนวนมากโดยนอกเหนือจากเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ยังมีเยื่อเซลลูโลสสูงถึงร้อยละ 30 ของเปลือก (3)

โดยลักษณะของผลทุเรียนแต่ละสายพันธุ์มีดังนี้ พันธุ์กระดุม ผลจะมีขนาดค่อนข้างเล็ก น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ผลมีลักษณะค่อนข้างกลมด้านหัวและด้านท้ายผลค่อนข้างแบน ก้นผลบวมเล็กน้อย หนามเล็กสั้นและถี่ ขั้วค่อนข้างเล็กและสั้น ลักษณะของพูเต็มสมบูรณ์ ร่องพูค่อนข้างลึก เนื้อละเอียดอ่อนนุ่มสีเหลืองอ่อน เนื้อค่อนข้างบาง รสชาติหวานไม่ค่อยมัน และง่ายเมื่อสุกจัด เมล็ดมีขนาดใหญ่ พันธุ์ชะนี (D123) ผลมีขนาดปานกลางถึงใหญ่ น้ำหนักประมาณ 2.5 ถึง 3 กิโลกรัม ผลมีรูปทรงหูด กล่าวคือ กลางผลป่อง หัวเรียว ก้นตัด ร่องพูค่อนข้างลึกเห็นได้ชัด ขั้วผลใหญ่และสั้น เนื้อละเอียด สีเหลืองจัดเกือบเป็นสีจำปา ปริมาณมาก รสชาติหวานมัน เมล็ดค่อนข้างเล็กและมีจำนวนเมล็ดน้อย พันธุ์หมอนทอง (D159) ผลมีขนาดใหญ่ น้ำหนักประมาณ 3 ถึง 4 กิโลกรัม ทรงผลค่อนข้างยาวมีป้าผล ปลายผลแหลม พูมักไม่ค่อยเต็มทุกพู หนามแหลมสูงฐานหนามเป็นเหลี่ยม ระหว่างหนามใหญ่จะมีหนามเล็กวางแซมอยู่ทั่วไป ซึ่งเรียกหนามชนิดนี้ว่า เขี้ยว ก้านผลใหญ่แข็งแรง ช่วงกลางก้านผลจนถึงปากปลิงอ่อนใหญ่เป็นทรงกระบอก เนื้อหนา สีเหลืองอ่อนละเอียด เนื้อค่อนข้างแห้งไม่แฉะติดมือ รสชาติหวานมัน ส่วนใหญ่เมล็ดน้อยและดิบ พันธุ์ก้านยาว (D158) ผลมีขนาดปานกลาง น้ำหนักประมาณ 3 กิโลกรัม ทรงผลกลมเห็นพูไม่ชัดเจน พูเต็มทุกพู หนามเล็กถี่สั้นสม่ำเสมอทั้งผล ก้านผลใหญ่และยาวกว่าพันธุ์อื่นๆ เนื้อละเอียด สีเหลืองหนาปานกลาง รสชาติหวานมัน เมล็ดมากค่อนข้างใหญ่

1.3 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของเปลือกทุเรียน

1.3.1 ฤทธิ์การต้านแบคทีเรีย

Surasak และคณะ ปี ค.ศ. 2013 ทำการศึกษาโดยนำสารสกัดหยาบของเปลือกทุเรียนมาทดสอบฤทธิ์การต้านแบคทีเรีย โดยวิธีการแพร่สารละลายในวุ้น (agar diffusion method) และวิธีการเจือจางในอาหารเหลว (broth dilution method) พบว่าเปลือกทุเรียนมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus.*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella typhimurium* และ *Escherichia coli* โดยมีขนาดวงใสสูงสุดดังนี้ 8.00 ± 0.00 , 8.81 ± 0.23 , 8.19 ± 0.23 และ 8.00 ± 0.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (6)

Tantipaibulvut และคณะ ปี ค.ศ. 2012 ได้ทำการทดลองสารสกัดจากเปลือกทุเรียนด้วยอะซิโตน โดยใช้วิธีการแพร่สารละลายในวุ้น (agar-well diffusion method) และ

(broth dilution method) พบว่าเปลือกทุเรียนที่ใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *B. subtilis*, *S. aureus*, *E. coli* และ *S. typhimurium* โดยมีขนาดวงใส 16.3 ± 1.2 , 15.0 ± 1.7 , 13.7 ± 0.6 และ 16.3 ± 1.5 ตามลำดับ ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ (3)

1.4 สารสำคัญของทุเรียน

1.4.1 ฟีนอลิก

Leontowicz และคณะ ปี ค.ศ. 2008 รายงานว่าเปลือกทุเรียนหมอนทองเมื่อสกัดด้วยไฮโดรคลอริก 1.2 โมลาร์ ในร้อยละ 50 ของเมทานอลต่อน้ำ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 361.4 ± 35.3 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด (7)

Haruenkit และคณะ ปี ค.ศ. 2010 รายงานว่าสารสกัดจากเปลือกทุเรียนด้วยอะซิโตน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 44.36 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง สารสกัดจากเปลือกทุเรียนด้วยน้ำร้อน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 3.93 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง และสารสกัดจากเปลือกทุเรียนด้วยเอทานอล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 13.94 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (8)

1.4.2 สารพฤษเคมี

Balram และคณะ ปี ค.ศ. 2014 รายงานว่าพบสเตอรอยด์และเทอร์ปีนอยด์ ในสารสกัดปิโตรเลียมอีเทอร์และสารสกัดคลอโรฟอร์ม แทนนิน ฟลาโวนอยด์ และซาโปนินในสารสกัดเอทิลอะซิเตตและสารสกัดเมทานอล คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในสารสกัดเมทานอล (9)

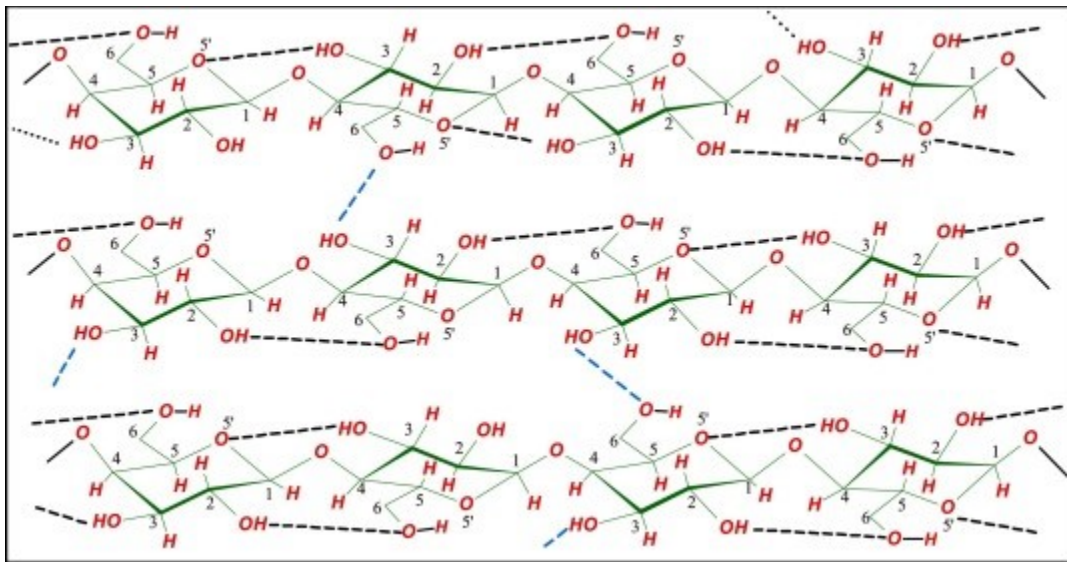
1.4.3 แทนนิน

แทนนินมีฤทธิ์เป็นยาฝาดสมานโดย Haruenkit และคณะ ปี ค.ศ. 2010 ได้ทำการศึกษาหาสารสำคัญในทุเรียนหมอนทอง พบว่าในทุเรียนหมอนทองผลอ่อนและ สุกมากเกินไป ประกอบด้วยสารแทนนิน 0.7 ± 0.07 mg CE/g ในทุเรียนหมอนทองผลโตเต็มวัยและผลสุกประกอบไปด้วยสารแทนนิน 0.8 ± 0.07 mg CE/g (8)

2. เซลลูโลส (Cellulose)

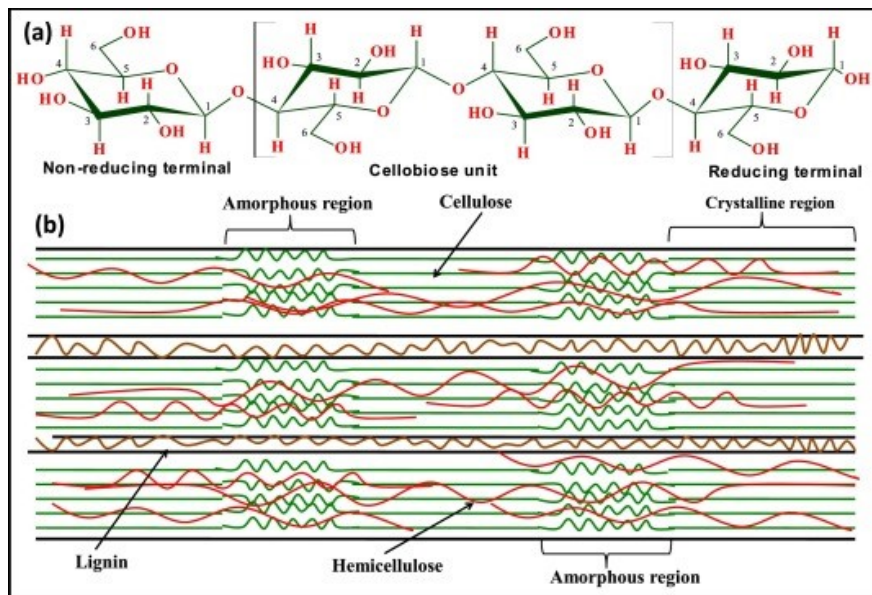
2.1 ลักษณะและคุณลักษณะของเซลลูโลส

เซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymer) ที่พบมากที่สุดบนโลก ซึ่งเป็นองค์ประกอบผนังเซลล์ของพืชใบเขียว สาหร่าย และกลุ่มแบคทีเรีย เช่น กลุ่มแบคทีเรียแกรมบวกที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต ภายในโมเลกุลของเซลลูโลสประกอบไปด้วย เบต้า-ดี-กลูโคสไพราโนส โดยแต่ละโมเลกุลของกลูโคสจะเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกและระหว่างโมเลกุลเชื่อมระหว่างสายโดยแรงไดโพล-ไดโพล และพันธะไฮโดรเจน ดังรูปที่ 1



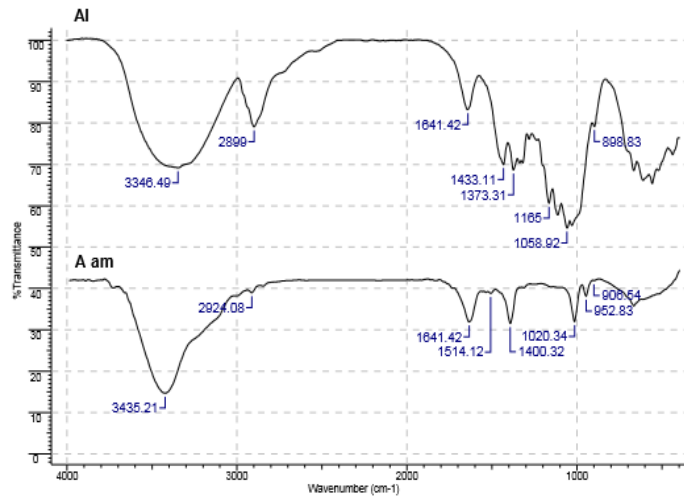
รูปที่ 1 แสดงลักษณะการเชื่อมสายของเซลลูโลส

นอกจากนี้ยังสามารถพบเซลลูโลสได้ 2 รูปแบบ คือ แอลฟา-กลูโคสไพราโนส และเบต้า-กลูโคสไพราโนส ซึ่งการจัดเรียงของกลูโคสมีผลต่อการจัดเรียงและการแตกกิ่งก้านของพอลิเมอร์ โดยมีการเชื่อมภายในโมเลกุลแบบ (1,4) เบต้า-กลูโคสไพราโนสและการเชื่อมระหว่างสายที่ตำแหน่ง C-6 ของ OH ของโมเลกุลหนึ่ง กับ O ของ C-3 อีกโมเลกุล ในลักษณะดังกล่าวจะได้สายโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงและไม่แตกแขนง จึงทำให้เส้นใยพอลิเมอร์มีความแข็งแรง แต่เพราะและลักษณะโมเลกุลของเซลลูโลส คือ รูปผลึก (crystalline) และอสัณฐาน (amorphous) ซึ่งลักษณะผลึกที่ได้นั้นมีความแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ขึ้นดังรูปที่ 2 (10)



รูปที่ 2 ภาพแสดงลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสและหน่วยของเซลลูโลส (10)

ซึ่งงานวิจัย Ciolacu และคณะ ปี ค.ศ. 2010 ได้มีการศึกษาลักษณะโครงสร้างของรูปอสัณฐาน (amorphous) ของเซลลูโลส โดยงานวิจัยได้กล่าวว่าในธรรมชาติเซลลูโลสที่อยู่ในรูปอสัณฐาน (amorphous) จะไม่ค่อยตัวในน้ำและความชื้นจึงทำให้มักพบเซลลูโลสที่อยู่ในรูปผลึก (crystalline) จึงเป็นที่มาของการศึกษาของงานวิจัยนี้ โดยงานวิจัยได้ใช้เครื่อง x-ray diffraction (XRD) เพื่อดูลักษณะของโครงสร้างภายในโมเลกุล เครื่อง fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) เพื่อดูลักษณะของผลึกที่แตกต่างกันจากหมู่ฟังก์ชันของผงเซลลูโลส และ differential scanning calorimetry (DSC) เพื่อศึกษาการสูญเสียความร้อนและการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพหุสัณฐานของรูปผลึก (crystalline) ตัวอย่างจากงานวิจัย เช่น สเปกตรัมของ FTIR เป็นต้น ดังรูปที่ 3 (11)

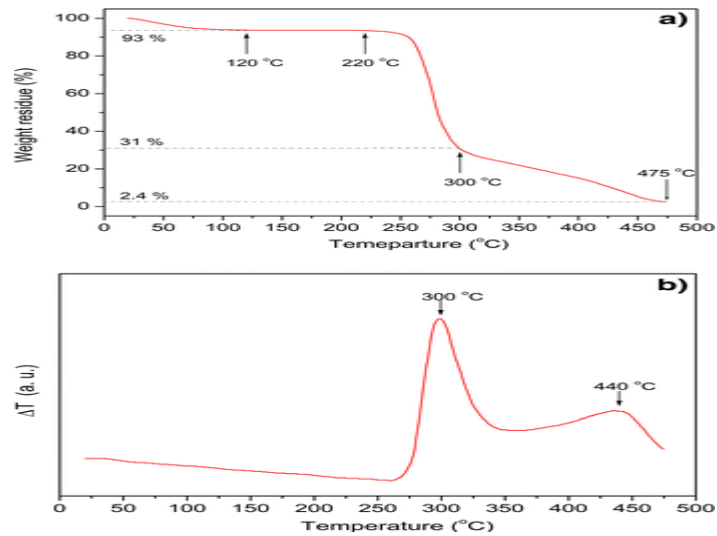


รูปที่ 3 แสดง สเปกตรัม FTIR ระหว่างรูปผลึก (crystalline) เซลลูโลสกับรูปอสัณฐาน (amorphous) เซลลูโลส (Ai คือรูปผลึก (crystalline), A_{am} คือรูปอสัณฐาน (amorphous) เซลลูโลส)

เซลลูโลสมีสูตรโครงสร้างคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ โดย n คือจำนวนของโมเลกุล เบต้า-D-กลูโคส ไพราโนส ภายในเซลลูโลสโดยจำนวนของโมเลกุลดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตภัณฑ์ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ตัวอย่างเช่น ในฝ้ายและแบคทีเรียมีค่า n เฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 800 ถึง 10,000 หน่วย และในเปลือกข้าวมีค่า n เฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 6,000 ถึง 7,000 หน่วย และลักษณะของผลึกเซลลูโลสที่นั่นมีความแตกต่างกันโดยขึ้นกับแหล่งผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์เซลลูโลสขึ้น เช่นเดียวกับจำนวนของโมเลกุลของเซลลูโลสที่ได้ (10)

2.1.1 คุณสมบัติกับเซลลูโลส

จาก Szczes และคณะ ปี ค.ศ. 2008 ได้ศึกษาพหุสัณฐานของเซลลูโลสโดยใช้เครื่อง differential scanning calorimetry (DSC) และเครื่อง thermogravimetry (TG) พบว่าเมื่อนำผงเซลลูโลสมาให้อุณหภูมิ 1.25 องศาเซลเซียสต่อนาที ผ่านเครื่อง DSC และ TG พบว่าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เริ่มมีการสูญเสียน้ำหนักไปร้อยละ 7 และพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 220 ถึง 300 องศาเซลเซียส เริ่มมีการสลายตัวของเซลลูโลส โดยพบว่าการสูญเสียมวลไปร้อยละ 62 จากมวลเริ่มต้น ดังรูปที่ 4 ประกอบกับลักษณะสีของเซลลูโลสที่เปลี่ยนไปจากเดิมสีขาวเป็นสีน้ำตาลเข้ม ดังรูป 5 ซึ่งทางคณะวิจัยได้กล่าวว่าผงเซลลูโลสจะเริ่มมีการสลายตัวที่ 220 องศาเซลเซียส (12)



รูปที่ 4 แสดงการสูญเสียของมวลจากเทอร์โมแกรม จาก TG (12)



รูปที่ 5 แสดงลักษณะของผงเซลลูโลสที่อุณหภูมิต่างๆ

โดย Sample 1 ที่อุณหภูมิเริ่มต้น ถึง 120 องศาเซลเซียส Sample 2 และ 3 ที่อุณหภูมิระหว่าง 220 ถึง 300 องศาเซลเซียส sample 4 ที่อุณหภูมิมากกว่า 400 องศาเซลเซียส (12)

2.1.2 การละลายของเซลลูโลส

จาก Zhou และคณะ ปี ค.ศ. 2000 ได้ศึกษาการละลายของเซลลูโลส โดยพบว่าเซลลูโลสสามารถละลายได้ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 6 ถึง 8 โดยน้ำหนัก และสามารถเพิ่มการละลายได้ด้วยสารละลายยูเรียความเข้มข้นร้อยละ 2 ถึง 4 โดยน้ำหนัก โดยอัตราส่วนที่สามารถละลายเซลลูโลสได้มากที่สุด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก และสารละลายยูเรียความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก และการค่าละลายจะลดลงเมื่อผ่านการละลายไปประมาณ 100 วัน (12)

จาก Zhang และคณะ ปี ค.ศ. 2008 ได้ทำการศึกษาการละลายของเซลลูโลส ในสารละลายผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH/Urea/Thiourea/H₂O) โดยพบว่าการใช้สารละลายผสมระหว่าง NaOH/Urea/Thiourea สามารถละลายเซลลูโลสได้มากกว่าการใช้ NaOH/Urea และ NaOH/Thiourea เมื่อทำการทดสอบในแต่ละอัตราส่วนของสารผสม NaOH:Urea:Thiourea ดังนี้ คือ 7:12:4.5 (wt%), 7.5:10:5 (wt%), 8:8:6.5 (wt%), 8.5:6:5.5 (wt%), 9.0:4:5.5 (wt%), 9.5:0:4.5 (wt%) และ 10:2:5.5 (wt%) โดยผลการทดลองที่ได้จะนำมาคำนวณหาการละลายจากสมการ $S_a = [W_1/(W_1+W_2)]$ โดย W_1 คือ มวลของเซลลูโลสที่ละลาย W_2 คือ มวลของเซลลูโลสที่ส่วนไม่ได้ละลายและก่อเป็นเจล พบว่าการละลายของเซลลูโลสมากที่สุด คือการใช้ NaOH/Urea/Thiourea/H₂O ในอัตราส่วน 8:8:6.5 (wt%) ทำให้ได้ค่าการละลายเซลลูโลส (S_a) 0.84 และการละลายเซลลูโลสต่ำที่สุด คือการใช้ NaOH/Urea/Thiourea/H₂O ในอัตราส่วน 7:12:4.5 (wt%) ทำให้ได้ค่าการละลายเซลลูโลส (S_a) 0.49 (13)

2.2 วิธีการสกัดเซลลูโลส

จาก Oliveira และคณะ ปี ค.ศ. 2017 ได้นำเปลือกข้าวโอ๊ตและเปลือกข้าวมาสกัดเซลลูโลสไฟเบอร์ โดยนำเปลือกมาล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วทำให้แห้งที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นบดผ่านร่อนขนาด 32 แล้วนำผงที่ได้ล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทำน้ำวนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน โดยที่จุดสิ้นสุดของปฏิกิริยาให้กรองสารละลายแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดปริมาณมาก (ทำซ้ำ 7 ครั้ง) หลังจากนั้นนำเปลือกข้าวโอ๊ตมาฟอกเพื่อกำจัดลิกนินที่เหลือด้วยโดยใช้ผงเปลือกข้าวโอ๊ตและผงเปลือกข้าวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 27 กรัมและกรดกลูตาเมต 75 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร ผสมกับสารโซเดียมคลอไรด์ 17 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร ซึ่งสารละลายทั้งสองจะต้องมีอัตราส่วนที่เท่ากัน โดยทำให้เป็นน้ำวนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศแล้วล้างด้วยน้ำปริมาณมาก (ทำซ้ำ 4 ครั้ง) จากนั้นนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยได้ผลผลิตของเปลือกข้าวเท่ากับ 19.8 กรัม และเปลือกข้าวโอ๊ตเท่ากับ 18.4 กรัม จากเปลือกเริ่มต้น 100 กรัม (14)

จาก Rahman และคณะ ปี ค.ศ. 2015 ศึกษาคุณสมบัติและลักษณะทางสัณฐานวิทยา เซลลูโลสนาโนไฟเบอร์ของทุเรียน ซึ่งนำเปลือกทุเรียนมาผ่านกระบวนการจนทำให้เป็นเซลลูโลสไฟเบอร์ โดยเริ่มจากล้างเปลือกทุเรียนแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นบดจนได้ลักษณะเป็นผง หลังจากนั้นนำผงมาชะด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยคนตลอดเวลา จากนั้นกรองและล้างของแข็งด้วยน้ำหลายๆครั้ง เพื่อกำจัดส่วนที่เป็นเบส นำส่วนที่กรองได้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการบดอีกครั้งหนึ่ง (15)

จาก Penjumras และคณะ ปี ค.ศ. 2014 ได้นำเปลือกทุเรียนมาบด จากนั้นนำเปลือกทุเรียนที่บดไปชั่ง 20 กรัม นำไปล้างด้วยน้ำกลั่น เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก จากนั้นเติมกรดอะซิติกและโซเดียมคลอไรด์ ทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำผงเปลือกไปแช่น้ำ 1 คืน จากนั้นนำมาล้างน้ำและนำผงที่ได้มาผ่านกระบวนการสกัดที่อุณหภูมิห้อง เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในไฮโดรเซลลูโลส แล้วคนทุกๆ 5 นาที แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 ครั้งในช่วงเวลา 40 นาที และทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นเติมน้ำ แล้วทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วกรอง และค่อยๆเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป จากนั้นล้างด้วยน้ำแล้วค่อยๆเติมกรดอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นไปกรองแล้วล้างด้วยน้ำ แล้วไปอบจนแห้ง ซึ่งร้อยละของเซลลูโลสที่ได้เท่ากับ 33.12 ± 0.108 กรัม (16)

2.3. การนำเซลลูโลสไปประยุกต์ใช้

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมของสิ่งทอ พลาสติก เกษตรกรรม เป็นต้น โดยยกตัวอย่างงานวิจัยที่มีการนำเซลลูโลสไปประยุกต์ใช้ดังนี้

Trache และคณะ ปี ค.ศ. 2016 ได้ทำการศึกษาโดยนำเซลลูโลสไปพัฒนาเป็นรูปผลึก (crystalline) โดยผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส เพื่อนำไปใช้เป็นสารช่วยในรูปแบบยาเม็ด (17)

Celebi และคณะ ปี ค.ศ. 2016 ได้ศึกษาการขนส่งยาไอบูโพรเฟนผ่านผิวหนังจากเจลที่ได้จากออกซิไดซ์เซลลูโลสและผลิตภัณฑ์ยาครีมทั่วไป พบว่ายานขนส่งเข้าสู่ชั้นเนื้อเยื่อได้ผิวหนัง แต่เจลจากออกซิไดซ์เซลลูโลส สามารถบรรจุได้น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ทั่วไป ซึ่งอาจลดความแรงและลดอาการไม่พึงประสงค์จากยาเมื่อใช้เวลานานได้ (18)

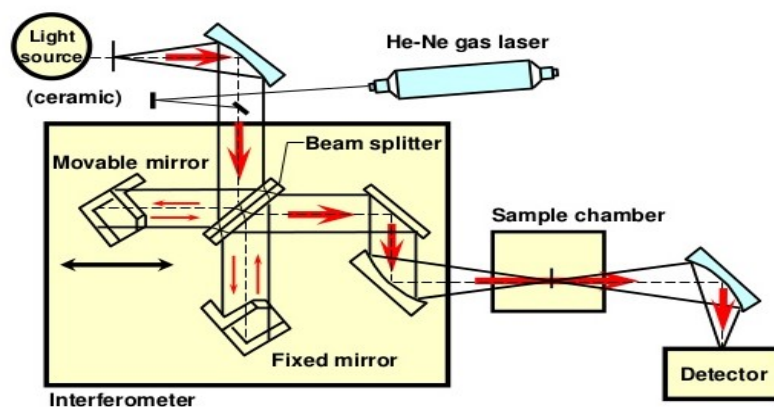
Rachtanapun และคณะ ปี ค.ศ. 2012 ได้นำเซลลูโลสมาพัฒนาเป็นฟิล์มคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม สำหรับยาน้ำแขวนและการเตรียมฟิล์ม (19)

Charoenvai และคณะ ปี ค.ศ. 2014 ได้นำเซลลูโลส ที่ได้จากเปลือกทุเรียนมาพัฒนาเพื่อนำมาใช้เป็นถุงพลาสติก ชนิด HDPE (20)

2.4 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของเซลลูโลส

2.4.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยใช้ fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

FTIR จะใช้การวัดความเข้มเข้มแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กันอย่างต่อเนื่องเปรียบเทียบกับเวลา (time-domain spectrum) จากนั้นจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสเปกตรัมของความเข้มของแสงต่อความยาวคลื่นหรือเลขคลื่นโดยการ fourier transform ด้วยคอมพิวเตอร์จะได้ออกมาเป็น fourier transform spectrum ด้วยวิธีการนี้จะช่วยให้การวิเคราะห์มีความรวดเร็วเพิ่มขึ้นพร้อมทั้ง resolution ดีขึ้นด้วย (21) ดังรูปที่ 6

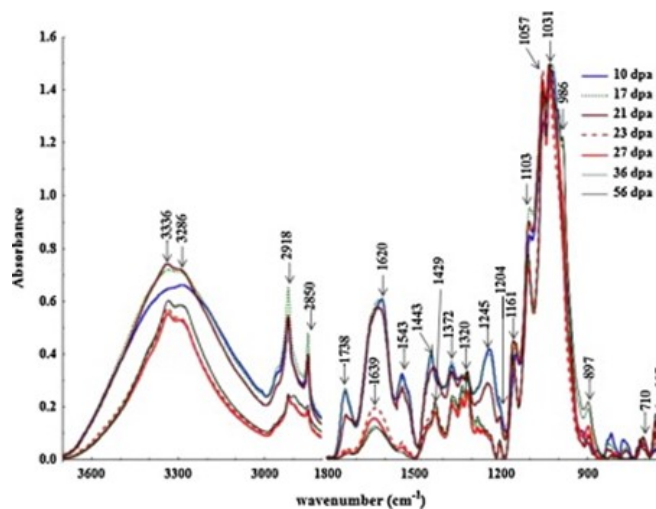


รูปที่ 6 แสดงการทำงานของเครื่อง fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

จาก Le Normand และคณะ ปี ค.ศ. 2014 ทำการตรวจสอบคุณลักษณะของเปลือกต้นสนโดยใช้เครื่อง Perkin-Elmer Spectrum 2000 FTIR with ATR crystal accessory วิเคราะห์ที่ 2 cm^{-1} resolution ใน $4,000$ ถึง 600 cm^{-1} interval ร่วมกับ OMNIC 7.0 software ซึ่งสามารถแสดงผลของคุณลักษณะได้มากกว่าวิธีของ (Pandey, 1999) พีคหลักที่พบคือ O-H stretch band ($3,306$ ถึง $3,330\text{ cm}^{-1}$) และ C-H stretch band ($2,897$ ถึง $2,923\text{ cm}^{-1}$) ที่เกี่ยวข้องกับ

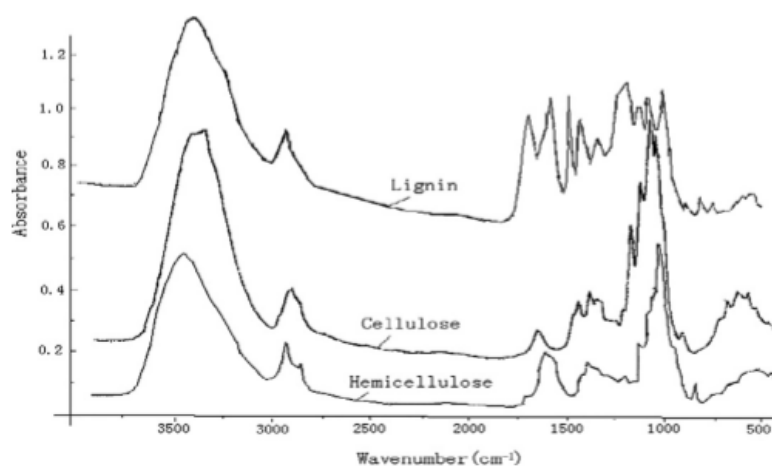
โครงสร้างอะลิฟาติกใน พอลิแซ็กคาไรด์และพบที่ 1735 cm^{-1} เกี่ยวกับหมู่อะซิทิลและยูรอนิก เอสเทอร์ (acetyl, uronic ester) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงเฮมิเซลลูโลส (22)

จาก Abidi และคณะ ปี ค.ศ. 2014 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเซลลูโลสใน คอตตอนไฟเบอร์เมื่อได้รับการเลี้ยงดูที่แตกต่างกันโดยใช้ FTIR spectroscopy ซึ่ง UATR-FTIR ติดตั้ง ZnSe-Diamond crystal ซึ่งผลรวมของ 5,400 FTIR spectra ต้องการ 2 cultivars $\times$ 15 dpa $\times$ (30 spectra $\times$ 3 technical replications) $\times$ 2 independent greenhouse growth replications โดยเก็บผลที่ spectrum resolution 4 cm^{-1} ร่วมกับการวิเคราะห์เพิ่ม 32 ครั้งเหนือ ช่วงจาก 4000 cm^{-1} ถึง 650 cm^{-1} พบว่าเมื่อได้รับการพัฒนาที่ต่างกันจะส่งผลให้ปริมาณ เซลลูโลสแตกต่างกันไปด้วยดังรูปที่ 7 (23)



รูปที่ 7 แสดง UATR-FTIR spectra

จาก Yang และคณะปี ค.ศ. 2007 ได้ศึกษาคุณลักษณะของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน โดยใช้เทคนิค fourier transform infrared spectroscopy และ differential scanning calorimetry ซึ่งผลของ FTIR ที่ได้ (2) ดังรูปที่ 8



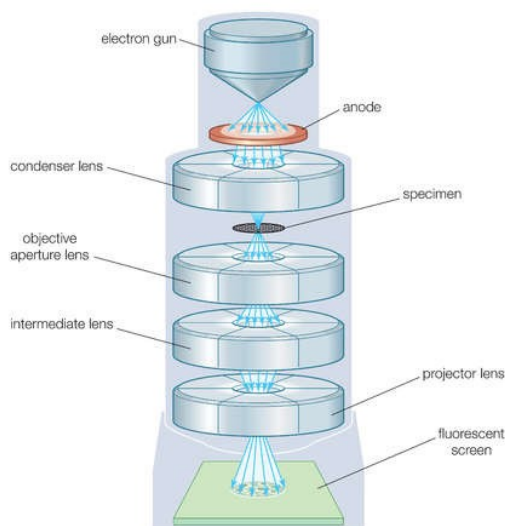
รูปที่ 8 แสดงสเปกตรัมของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (2)

ตารางที่ 1 แสดงสเปกตรัมของเซลลูโลส หมู่ฟังก์ชัน และโครงสร้าง

Wave number (cm ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน	โครงสร้าง
3600-3000	OH stretching	Acid methanol
2860-2970	C-H stretching	Ketone, aliphatic, aromatic
1510-1560	C=O stretching	Ketone และ Carbonyl
1632	C=C	Benzene
1613 (กว้าง) 1450 (กว้าง)	C=C stretching	Aromatic
1470-1430	O-CH ₃	Methoxyl-O-CH ₃
1440-1400	OH bending	Acid
1402	CH bending	
1232	C-O-C stretching	Aryl-alkyl ether linkage
1215	C-O stretching	Phenol
1170	C-O-C stretching vibration	Pyranose ring
1108	OH association	C-OH
1060	C-O stretching และ C-O deformation	C-OH (ethanol)
700-900	C-H	Aromatic hydrogen
700-400	C-C stretching	

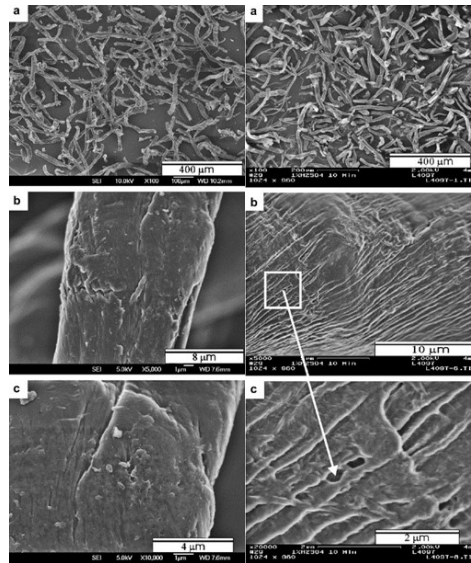
2.4.2 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและสัณฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) เป็นเครื่องที่ใช้ในการดูโครงสร้างของสิ่งต่างๆ ในรูปแบบ 3 มิติ โดยหลักการทำงานเกิดจากการที่ primary electron วิ่งไปกระทบพื้นผิวของวัตถุทำให้มีการสะท้อนกลับของพลังงานในรูปแบบต่างๆ เช่น back-scatter electron, รังสีเอ็กซ์ (x-rays) หรือ secondary electron เป็นต้น และในลำกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จะมีตัวรับสัญญาณที่ทำหน้าที่รับและเปลี่ยน secondary electron ให้เป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (electrical signal) แล้วส่งสัญญาณไปยังจอภาพ (cathode ray tube) เพื่อทำให้เกิดภาพที่ตามองเห็นได้ โดยภาพที่ออกมาจะมีลักษณะ 3 มิติ จากนั้นจะบันทึกภาพลง photographic ดังรูปที่ 9 (24)



รูปที่ 9 แสดงการทำงานของเครื่อง scanning electron microscope (SEM)

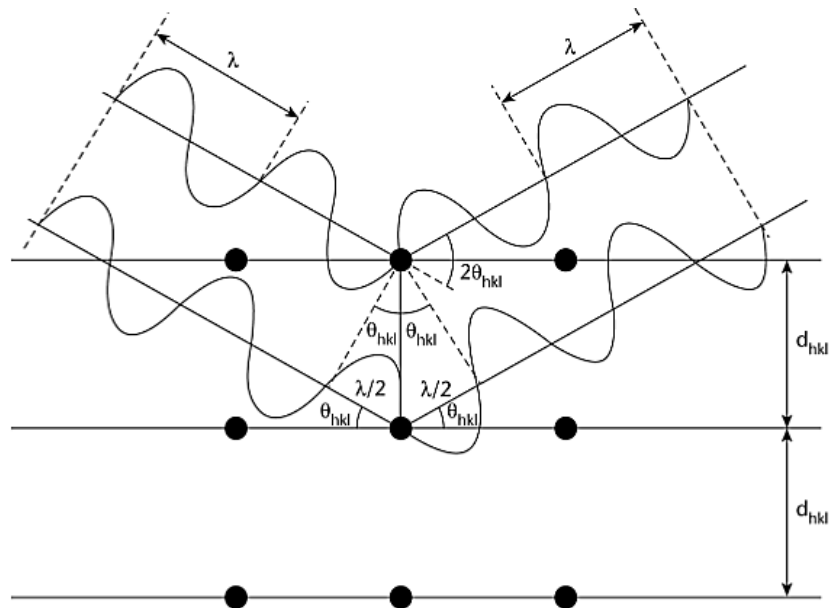
จาก Zhao และคณะ ปี ค.ศ. 2007 ศึกษาโครงสร้างของเซลล์ลูโลสไฟเบอร์จาก Sigma-Aldrich โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยทำงานที่ 2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เพื่อส่องภาพตัวอย่างเซลล์ลูโลสหลังจากที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสที่ร้อยละต่างๆ ตัวอย่างที่นำมาส่องจะทำการเคลือบด้วยคาร์บอนเพื่อเพิ่มการเหนียวแน่นตัวอย่าง จากการตรวจสอบ พบว่าการกระจายของเส้นใยชัดเจน มีความกว้าง 300 ถึง 500 นาโนเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ถึง 20 นาโนเมตร และพบว่าร้อยละ 1 ของเส้นใยจะเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวโดยการถูกไฮโดรไลซิส (25)



รูปที่ 10 แสดงรูปที่ได้จากการส่องด้วย SEM พบว่าสามารถเห็นรูปร่าง ขนาดและความแตกต่างได้อย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มร้อยละของการถูกไฮโดรไลซิส (30)

2.4.3 การตรวจสอบความเป็นผลึกด้วยเครื่อง XRD

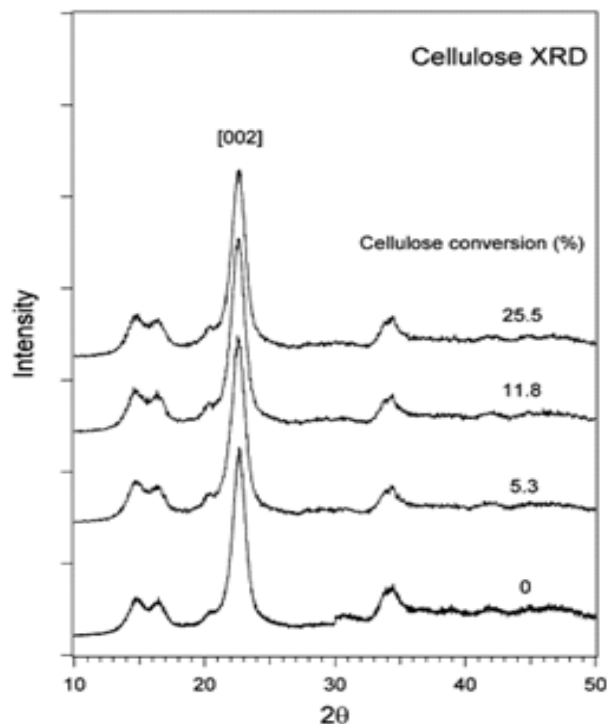
เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffractometer : XRD) เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึก การจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุลของสารประกอบต่างๆ โดยอาศัยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆ ตามแนวคิดของ Bragg ที่กล่าวว่า เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบระนาบของอะตอมภายในผลึกที่มุมตกกระทบ รังสีเอ็กซ์บางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ (เลี้ยวเบน) ที่มุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงหลักการของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

Le Normand และคณะ ปี ค.ศ. 2014 ได้ศึกษาความเป็นผลึกของเซลล์โลสจากเปลือกของต้นสน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ที่อุณหภูมิต่ำ มี monochromatic $\text{CuK}\alpha$ เป็นแหล่งกำเนิดของรังสี ($\lambda = 0.1539$ นาโนเมตร) ในช่วง 2θ คือ 10° ถึง 50° โดยมีอัตราการวิเคราะห์เท่ากับ 1.0 nm^{-1} ใช้เวลาวิเคราะห์ทั้งหมด 5 นาที (22)

จาก Zhao และคณะ ปี ค.ศ. 2007 ศึกษาโครงสร้างของเซลล์โลสไฟเบอร์ จาก sigma-aldrich โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ โดยมี $\text{CuK}\alpha$ เป็นแหล่งกำเนิดของรังสี ($\lambda = 0.1542$ นาโนเมตร, 50 กิโลโวลต์ และ 40 มิลลิแอมแปร์) ในช่วง 2θ คือ 10° ถึง 50° (25)



รูปที่ 12 แสดงรูปแบบของ XRD พบว่าเมื่อเพิ่มการไฮโดรไลซิสไม่มีต่อผลึกของเซลลูโลสและรูปแบบ XRD

จาก Sunkyu Park และคณะ ปี ค.ศ. 2010 ได้ศึกษาเทคนิคต่างๆในการวัด Crystalline index (CI) ของเซลลูโลสโดยงานวิจัยได้ใช้เทคนิค x-ray diffractometer ด้วย Peak high method ในการหาค่า CI เทียบกับเทคนิค Carbon-13 nuclear magnetic resonance ด้วย NMR C4 peak separation method ผลที่ได้พบว่าเทคนิค x-ray diffractometer มีค่า CI ของ Avicel PH-101, Sigma α -cellulose เท่ากับ 91.7 ± 1.5 , 78.0 ตามลำดับ และเทคนิค Carbon-13 nuclear magnetic resonance มีค่าเท่ากับ 56.7 ± 2.2 , 41.5 ตามลำดับ (26)

2.4.4 การตรวจสอบมวลโมเลกุล (M_v) ด้วย viscometry

เป็นการวัดมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (M_v) ซึ่งเป็นการหาโมเลกุลโดยอาศัยความหนืดของสารละลายของพอลิเมอร์ (31) โดยอาศัยหลักของ Mark-Houwink ได้กล่าวว่า น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ จะมีความสัมพันธ์กับความหนืดโดยหากพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลมากมีผลทำให้ความหนืดมากของสารละลายพอลิเมอร์มากขึ้นไปด้วย การหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยได้โดยอาศัยความหนืดโดยเตรียมพอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปของสารละลายเจือจาง (27)

$$\text{จาก } [\eta] = k(M_v)^a$$

โดยให้ $[\eta]$ = intrinsic viscometry

K, a = ค่าคงที่ของ Mark-Houwink

โดยค่า k และ a จะเป็นค่าคงที่เฉพาะของแต่ละคู่ของพอลิเมอร์และตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิหนึ่ง หมายความว่าหากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือพอลิเมอร์มีผลทำให้ ค่า k และ a เปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปแล้ว a จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1 ซึ่งการหาค่า k และ a จากสมการของ Mark-Houwink โดยใช้การใส่ค่า natural log (ln) จะได้

$$\ln([\eta]) = \ln k + a \ln [M_v]$$

จากนั้นวัดค่า intrinsic viscosity ของสารละลายพอลิเมอร์ที่ทราบค่า M_v ดังนั้นเมื่อสมการมาสร้างกราฟระหว่าง $\ln([\eta])$ กับ $\ln [M_v]$ จะได้ เป็นสมการเส้นตรงโดยความชันของสมการ คือ ค่า a และจุดตัดแกน y คือ $\ln k$ โดย จาก Brandrup และคณะ ปี ค.ศ. 1975 (28) ได้ทำการศึกษาค่าของตัวทำละลายและพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า k และ a ของพอลิเมอร์และตัวทำละลายชนิดต่างๆ

พอลิเมอร์	ตัวทำละลาย	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$k \times 10^3$	a
ซิส-พอลิบิวตะไดอิน	เบนซีน	30	33.7	0.715
พอลิสไตรีน	เบนซีน	25	39	0.58
พอลิไวนิลอะซิเตด	เบนซีน	30	22	0.65
พอลิเอทิลอะคริเลต	อะซิโตน	25	51	0.59

การหาค่า intrinsic viscosity $[\eta]$ เพื่อใช้ในการคำนวณหา M_v

โดยค่า $[\eta]$ สามารถคำนวณจากได้สมการของ

1. Huggins equation

$$\eta_{sp}/C = [\eta] + k' [\eta]^2 C$$

โดย C = ความเข้มข้นของสายละลายพอลิเมอร์

η_{sp} = specific viscosity

K' = Huggins coefficient

2. Kramer equation

$$\ln \eta_{rel} / C = [\eta] - k'' [\eta]^2 C$$

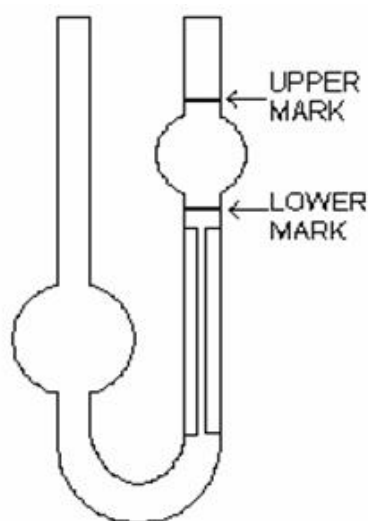
โดย C = ความเข้มข้นของสายละลายพอลิเมอร์

η_{rel} = relative viscosity

K'' = Kramer coefficient

หมายเหตุ $k' + k'' = 0.5$

แต่ในทางปฏิบัติสามารถหาค่า η_{sp} และ η_{rel} ได้โดยวัดความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้เครื่อง viscometry ในแบบต่างๆโดยในที่นี้จะยกตัวอย่าง viscometer แบบ Oswald ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาความหนืด

โดยค่าความหนืดที่วัดได้จากค่าจากการไหลของสารผ่าน capillary ในเครื่อง viscometer จะมีค่าเท่ากับ

$$\eta = At p \quad \text{----- (1)}$$

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างค่าความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ (η) กับค่าความหนืดของสารละลายบริสุทธิ์ (η_0) จะมีค่าเท่ากับ η_{rel}

$$\eta_{rel} = \eta / \eta_0$$

เมื่อแทนค่าสมการ (1) ลงไป

$$\text{จะได้ } \eta_{rel} = At p / At_0 p_0$$

$$\eta_{rel} = t / t_0$$

โดยความหนาแน่นของสารละลายพอลิเมอร์ที่เจือจางมากจะถือว่าความหนาแน่นของสารละลายบริสุทธิ์จะเท่ากับสารละลายพอลิเมอร์ ซึ่งในการทดลองสามารถหาเวลาในการเดินทางไหลผ่านช่วงที่ปริมาตรคงที่ได้จะสามารถหา ค่า η_{rel} ได้ และสามารถหาค่า η_{sp} ได้จากสมการ

$$\eta_{sp} = \eta_{rel} - 1$$

โดยการเตรียมสารละลายตัวอย่างพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ อย่างน้อย 4 ค่า โดยความเข้มข้นที่ใช้ไม่ควรจะสูงมากนัก โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 1 ถึง 20 g/dm³ (28)

จาก Striegel ปี ค.ศ. 1995 ศึกษาคุณลักษณะของพอลิแซ็กคาไรด์ (เซลลูโลส) โดยละลายใน Me₂NAC-LiCl แล้วตรวจสอบด้วย viscometry ใน gel-permeation chromatography (GPC) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เซลลูโลสในท้องตลาดกับเซลลูโลสจากคอตตอนไฟเบอร์ ได้ค่า $[\eta]_w$ 1.04 และ 0.71 ค่า a 1.0 และ 0.7 ค่า log k -5.1 และ -4.0 และพบว่าเซลลูโลสในท้องตลาดมีการกระจายมวลโมเลกุลกว้าง มวลโมเลกุลต่ำ ตรงกันข้ามกับเซลลูโลสคอตตอนไฟเบอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูง (29)

จาก Immergut และคณะ ปี ค.ศ. 1953 ได้ศึกษาการหามวลโมเลกุลของเซลลูโลสและความสัมพันธ์ของสารละลายเซลลูโลสในตัวทำละลายต่างๆ โดยอาศัยหลักการของ Mark-Houwink พบว่าค่า K ของ Mark-Houwink เท่ากับ 1.33×10^{-4} และ a เท่ากับ 0.905 ใน

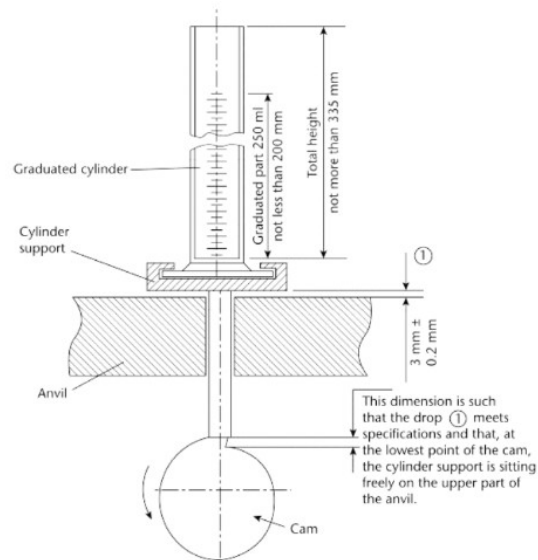
การสลายละลาย cupriethylenediamine โดยเซลลูโลสที่นำมาใช้ศึกษามีมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (M_n) มีค่าเท่ากับ 30,000 ถึง 450,000 g/mol (30)

2.4.5 การศึกษาหาความหนาแน่น (density)

การหาความหนาแน่นทำได้โดยใช้เครื่อง pycnometer เป็นการหาค่าความหนาแน่นของวัตถุที่มีรูปร่างไม่คงที่ โดยคิดจากความหนาแน่นที่แท้จริงไม่รวมช่องว่างหรือรูพรุน

จาก Penjumras และคณะ ปี ค.ศ. 2014 ได้ศึกษาหาค่าความหนาแน่นของเซลลูโลสได้สกัดจากเปลือกทุเรียน โดยทำการวัดความหนาแน่น 3 ส่วน ได้แก่ เปลือกทุเรียนที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการใดๆ ไฮโดรเซลลูโลสและเซลลูโลส เครื่องมือที่ใช้วัด คือ helium pycnometer micromeritics (AcuuPyc II1340, USA) ที่อัตราที่สมดุล 1.00 psig/min ตัวอย่างที่ทดสอบจะทำการชั่งน้ำหนักทั้งหมด 5 ครั้ง ที่ความดัน 19.5 psig พบว่าความหนาแน่นของเปลือกทุเรียนที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการใดๆ ไฮโดรเซลลูโลสและเซลลูโลสมีค่าเท่ากับ 1.46 ± 0.002 , 1.48 ± 0.002 และ 1.59 ± 0.005 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการขจัดส่วนอสัณฐาน (amorphous) ออกเหลือเพียงเซลลูโลสรูปผลึก (crystalline) ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น คาดว่าการเพิ่มขึ้นของส่วนผลึกส่งผลให้เพิ่มความเหนียว ความแข็งและความแข็งแรงเนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลถูกทำให้เป็นระเบียบและหนาแน่น (16)

นอกจากนี้ตามข้อกำหนดของ USP 39 ในการทดสอบหาความหนาแน่นโดยการใช้ tapped density tester โดยอาศัยหลักการอัดแน่นของผงตัวอย่าง ในการคำนวณหาค่า tapped density และ bulk density ซึ่งทาง USP 39 ได้มีข้อกำหนดวิธีการหาค่า tapped density คือควรใช้ graduated cylinder ขนาด 250 มิลลิลิตรและผงตัวอย่างจะต้องมีปริมาตรไม่ต่ำกว่า 200 มิลลิลิตร จากนั้นประกอบ graduated cylinder เข้ากับ tapped density tester และทำการบันทึก bulk volume (V_0) กำหนดวิธีการ tapping ตามข้อกำหนด USP คือ ที่การ tapping 10 ครั้ง 500 ครั้ง และ 1,250 ครั้ง ทำการบันทึกปริมาตรหลังจากการเคาะ 10 ครั้ง เป็น V_{10} , 500 ครั้ง เป็น V_{500} และ 1250 ครั้ง เป็น V_{1250} โดยถ้าความแตกต่างของ V_{500} และ V_{1250} เกิน 2 มิลลิลิตร ให้ทำการวัด V_{1250} ซ้ำ จนกว่าความต่างจะไม่เกิน 2 มิลลิลิตร โดยการคำนวณหาค่า tapped density จากน้ำหนักของผงตัวอย่างต่อปริมาตรสุดท้ายและ compressibility index เท่ากับ $100 \times (V_0 - V_{สุดท้าย} / V_0)$ (31)



รูปที่ 14 แสดงหลักการของเครื่องใช้ tapped density tester

2.4.6 การตรวจสอบพหุสัณฐาน (polymorphism)

เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบวัสดุโดยการวัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การหลอมเหลว การเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนรูปผลึก และการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น โดยที่พื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงความร้อนของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

จาก Yang และคณะ ปี ค.ศ. 2007 คุณสมบัติของกายภาพของเฮมิเซลลูโลส เฮลลูโลสและ ลิกนินที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเคมี (pyrolysis) โดยใช้เครื่อง DSC, TGA และ FTIR ซึ่งการในการศึกษานี้ได้ใช้ DSC ศึกษาพฤติกรรมของผลึกและการสลายตัวได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สโดยอาศัยเครื่อง TGA และ FTIR ในการศึกษาโครงสร้างที่ได้เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ (32)

จาก Szczes และคณะ ปีค.ศ. 2008 ได้ศึกษาพหุสัณฐานของเซลลูโลสและอุณหภูมิที่สลายตัวของเซลลูโลสโดยใช้เครื่อง differential scanning calorimetry (DSC) และเครื่อง thermogravimetry (TG) โดยการใช้เครื่อง DSC ให้อัตราความร้อน 5 ถึง 10 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศที่มีอาร์กอน ในการศึกษาพฤติกรรมของผลึกและ การสูญเสียโมเลกุลของน้ำภายในโมเลกุลเมื่อให้อุณหภูมิต่างๆ (12)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง และวัสดุ อุปกรณ์

1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 1.1 เปลือกผลทุเรียน สายพันธุ์หมอนทอง กระดุม และชะนี จากอำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง
- 1.2 Sodium hydroxide (Commercial grade)
- 1.3 Sodium chlorite (Commercial grade)
- 1.4 Acetic acid (RCL labscanlimited)
- 1.5 Potassium bromide (Commercial grade)
- 1.6 Acetone (RCL labscanlimited)
- 1.7 Ethanol (RCL labscanlimited)
- 1.8 Phloroglucinol solution (Commercial grade)
- 1.9 Copper II ethylenediamine solution (Merck KGaA)
- 1.10 Avicel pH 102 (Sigma aldrich)
- 1.11 Cellulose (Sigma aldrich)

2. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 2.1 Beaker ขนาด 50, 100, 600, 1000 มิลลิลิตร (Pyrex)
- 2.2 Cylinder ขนาด 10, 25, 50, 100, 1000 ml (Duran)
- 2.3 Suction flask ขนาด 1000 ml (Duran)
- 2.4 Buchner funnel
- 2.5 Pipette (Duran)
- 2.6 Micro pipette (Rainin)
- 2.7 Watch glass
- 2.8 Dropper
- 2.9 Forcep

- 2.10 Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) รุ่น Nicolet 6700 Model 912A0636
- 2.11 Differential scanning calorimetry (DSC) Perkin Elmer รุ่น Pyris sapphire
- 2.12 Scanning electron microscope (SEM) Leo รุ่น LEO 1450 VP
- 2.13 Powder x-ray diffractometer (PXRD) รุ่น Rigaku Miniflex II
- 2.14 Oswald Viscometer
- 2.15 Magnetic stirrer (Diligent) รุ่น ST-900EC
- 2.16 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Mettler toledo) รุ่น MS3002S
- 2.17 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Mettler toledo) รุ่น MS204
- 2.18 ตู้อบ (Mettmert)
- 2.19 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Mettmert)
- 2.20 เครื่องปั่น (Philips) รุ่น HR2115
- 2.21 อะลูมิเนียมฟอยล์ (Diamond)
- 2.22 ผ้าขาวบาง

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การศึกษาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรม

- 1.1 ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติและประเภทของทุเรียนที่นำมาใช้ในการสกัดเซลลูโลส
- 1.2 ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องมือและวิธีการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเซลลูโลส
- 1.3 ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องมือและวิธีการตรวจสอบลักษณะทางเคมีของเซลลูโลส

2. เตรียมและทดสอบคุณสมบัติสารสกัดเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน (16)

2.1 เตรียมสารสกัดเซลลูโลสเปลือกทุเรียน

- 2.1.1 นำเปลือกทุเรียนมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นและทำให้แห้ง (อบที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง)

2.1.2 นำเปลือกทุเรียนที่แห้งมาบดให้ละเอียด และชั่งผงเปลือกทุเรียน 5 กรัม และเติมน้ำกลั่น 120 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร

2.1.3 เติมกรดกลูเซียมอะซิติก 1 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์ 8 มิลลิลิตร ทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลาทั้งหมด 5 ชั่วโมง

2.1.4 นำบีกเกอร์ ที่มีสารละลายแช่ในอ่างน้ำร้อนเป็นเวลา 1 คืน

2.1.5 กรองสารละลายที่ได้ด้วยน้ำกลั่นจนได้สารตัวอย่างเป็นสีเหลือง

2.1.6 เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (15%, 17.5% หรือ 20%) 20 มิลลิลิตร ทุก 5 นาที จำนวน 3 ครั้ง จากนั้นตั้งสารละลายทิ้งไว้ 30 นาที

2.1.7 เติมน้ำกลั่น 120 มิลลิลิตรและตั้งสารละลายทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

2.1.8 กรองสารละลายตัวอย่างที่ได้ด้วยน้ำกลั่นและเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8.3% 200 มิลลิลิตร ตั้งสารละลายทิ้งไว้ 5 นาที

2.1.9 นำสารละลายมากรองเก็บตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นเติมกรดกลูเซียมอะซิติก 5 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

2.1.10 นำสารละลายมากรองเก็บตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นและนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.1.11 หาผลผลิตร้อยละที่ได้ (% yield) จากสมการที่ 1 และวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{น้ำหนักที่ได้จริงหลังสกัด}}{\text{น้ำหนักก่อนสกัด}} \times 100 \% \text{ ----- (1)}$$

2.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเซลล์ูโลสจากเปลือกทุเรียน

2.2.1 การประเมินสีของผงเซลล์ูโลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน

- 1) การประเมินสีของเซลล์ูโลสโดยใช้สายตา ซึ่งกำหนดให้
ความขาวแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

++++ = สีขาวมากที่สุด

+++ = สีขาวมาก

++ = สีขาว

+ = สีขาวน้อย

2.2.2 การประเมินลักษณะผิวของเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน

โดยใช้เครื่อง scanning electron microscope (SEM)

- 1) แบ่งเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการแรงเบอร์ 60
- 2) นำตัวอย่างของเซลลูโลสไปติดลงในแผ่นคาร์บอน และติดลงบนสตรับโดยพยายามติดให้ผงเรียงตัวในลักษณะชั้นเดียว ไม่เกาะกลุ่มกัน
- 3) นำตัวอย่างของเซลลูโลสที่อยู่บนสตรับไปเคลือบด้วยทอง
- 4) นำไปส่องด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 2,500 เท่า และบันทึกผล

2.2.3 การศึกษาความหนาแน่นของเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน

โดยใช้เครื่อง tapped density tester (31)

- 1) นำตัวอย่างผงเซลลูโลสที่ผ่านการแรง ด้วยแรงเบอร์ 45 มาใส่ในกระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร ให้ได้แต่ละตัวอย่างมีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม
- 2) นำกระบอกตวงดังกล่าวไปติดตั้งในเครื่อง tapped density tester
- 3) ตั้งค่าเครื่องโดยให้เคาะ 10, 500 และ 1,250 ครั้งตามลำดับ
- 4) สังเกตและบันทึกผลโดยหา Compressibility Index จากสมการที่ 2 และหา Hausner Ratio สมการที่ 3 และวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA

$$\text{Compressibility Index} = 100 \times \frac{p_{\text{tapped}} - p_{\text{bulk}}}{p_{\text{tapped}}} \text{----- (2)}$$

$$\text{Hausner Ratio} = \frac{p_{\text{tapped}}}{p_{\text{bulk}}} \text{----- (3)}$$

ตารางที่ 3 แปลผลค่า Compressibility Index และ Hausner Ratio

Compressibility Index (%)	Flow Character	Hausner Ratio
< 10	Excellent	1.00-1.11
11-15	Good	1.12-1.18
16-20	Fair	1.19-1.25
21-25	Passable	1.26-1.34
26-31	Poor	1.35-1.45
32-37	Very poor	1.46-1.59
>38	Very, very poor	>1.60

2.2.4 การศึกษาการทดสอบสารลิกนินด้วยวิธี phloroglucinol

1) นำผงเซลลูโลสตัวอย่างใส่ลงในถาดหลุม (96 well plate) โดยแยกตามชนิดของเซลลูโลสดังนี้

- Sample (ตัวอย่างสารสกัดเซลลูโลสของทุเรียนแต่ละสายพันธุ์)
 - a. หมอนทองส่วนขาวเขียว 15, 17.5 และ 20 %w/v
 - b. หมอนทองส่วนขาว 15, 17.5 และ 20 %w/v
 - c. ชะนีส่วนขาวเขียว 15, 17.5 และ 20 %w/v
 - d. ชะนีส่วนขาว 15, 17.5 และ 20 %w/v
 - e. กระดุมส่วนขาวเขียว 15, 17.5 และ 20 %w/v
 - f. กระดุมส่วนขาว 15, 17.5 และ 20 %w/v
- Positive control
 - g. ผงเปลือกหมอนทองส่วนขาวเขียว และขาว
 - h. ผงเปลือกชะนีส่วนขาวเขียว และขาว
 - i. ผงเปลือกกระดุมส่วนขาวเขียว และขาว

- Negative control
 - j. Microcrystalline cellulose
- Control
 - k. สารละลาย phloroglucinol

2) เติมสารละลาย phloroglucinol ซึ่งเตรียมจาก phloroglucinol 0.25 กรัม ละลายด้วยสารละลาย Methanol ปริมาตร 15 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร โดยนำมาเติมลงในแต่ละหลุม 50 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที โดยหากพบสารลิกนิน สารละลาย phloroglucinol จะเปลี่ยนสีเป็นสีแดง-ส้ม หากไม่พบสารลิกนิน สารละลาย phloroglucinol จะไม่เกิดการเปลี่ยนสี

3) บันทึกลงและสังเกตผลการทดลอง

2.3 การตรวจสอบเซลล์โลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนด้วยเครื่อง fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

2.3.1 แบ่งเซลล์โลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการแรง ด้วยแรงเบอร์ 60

2.3.2 นำผงเซลล์โลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนผสมกับผง KBr ที่อบไล่ความชื้นออก ในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 ลงในโกร่งหินอ่อน บดผสมให้เข้ากัน

2.3.3 นำผงละเอียดของสารผสมที่ได้ อัดลงในแม่พิมพ์ (die) และเพิ่มความดันจนถึงประมาณ 5,000 กก./ซม. และคงความดันที่ค่านั้นไว้ 1 นาที จนได้แผ่นบางใส (KBr disc)

2.3.4 นำแผ่น KBr ประกอบกับแผ่นรองรับสำหรับใส่เครื่อง fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่น 600 ถึง 4000 cm^{-1}

2.3.5 วิเคราะห์ลักษณะและตำแหน่งของพีคที่ปรากฏในสเปกตรัม เปรียบเทียบตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ และบันทึกผลการทดลอง

2.4 การตรวจสอบเซลล์โลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter (DSC)

2.4.1 แบ่งตัวอย่างเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการแรงด้วยแรงเบอร์ 60 ตัวอย่างละ 10 มิลลิกรัม

2.4.2 นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter โดยกำหนดอุณหภูมิในการทดสอบที่ 50 ถึง 460 องศาเซลเซียส อัตราเร็ว 10 ถึง 25 องศาเซลเซียสต่อนาที

2.5 การตรวจสอบเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนด้วยเครื่อง powder x-ray diffractometer (PXRD) (27)

2.5.1 แบ่งตัวอย่างเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการแรงด้วยแรงเบอร์ 60 ตัวอย่างละประมาณ 0.32 กรัม หรือ เต็มพื้นที่ขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร

2.5.2 นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง powder x-ray diffractometer โดยกำหนด start angle 5 ถึง 40 องศาเซลเซียส อัตราเร็ว 4 องศาเซลเซียสต่อนาที

2.5.3 จากนั้นหาค่า Crystalline index จากกราฟแปรผลจากเครื่อง powder x-ray diffractometer โดยวิธี peak height method จากสมการที่ 4

$$\text{Crystalline index} = (I_{002} - I_{AM})/I_{002} \times 100\% \text{-----} (4)$$

I_{002} คือ Peak intensity ที่บอกถึง Crystalline cellulose ที่ 2θ

I_{AM} คือ Intensity ส่วนของ amorphous ที่ 18°

3. การตรวจสอบมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตร (M_v) ของผงทุเรียนด้วยเครื่องมือ Oswald capillary (28)

3.1 เตรียมความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.15, และ 0.2 ตามน้ำหนัก ของผงทุเรียนแต่ละพันธุ์ในสารละลาย Copper II ethylene diamine

3.2 นำสารละลายผงทุเรียนแต่ละความเข้มข้น มาหาค่า η_{rel} (relative viscosity) โดยการหา เวลาของสารละลายผงทุเรียนแต่ละความเข้มข้นโดยใช้ oswald capillary ที่ 25°C หาค่า

T_0 = เวลาในการเคลื่อนใน oswald capillary ของสารละลาย

Copper II ethylene diamine

T = เวลาในการเคลื่อนใน oswald capillary ของสารละลายผงทุเรียน

3.3 นำค่า T_0 และ T แต่ละความเข้มข้น มาเข้าสมการที่ 5

$$\eta_{rel} = T / T_0 \text{ ----- (5)}$$

3.4 นำค่ามาพล็อตความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln \eta_{rel}/C$ กับ C จากสมการที่ 6 ของ Kramer equation

$$\ln \eta_{rel}/C = \eta + k''(\eta)^2 C \text{ ----- (6)}$$

C = ความเข้มข้นต่างๆ

k'' = Kramer coefficient

3.5 ลากจุดตัดแกน Y จะได้ค่า intrinsic viscosity (η) ของผงแต่ละพันธุ์ และนำค่า η ไปแทนในสมการที่ 7

$$\ln(\eta) = \ln k + a \ln [M_v] \text{ ของเซลลูโลสมาตรฐาน เพื่อหา } M_v \text{ ----- (7)}$$

โดยค่า $k = 1.33 \times 10^{-4}$ $a = 0.905$ เพื่อหา M_v

3.6 นำค่า M_v วิเคราะห์ทางสถิติด้วย one-way ANOVA

บทที่ 4

ผลการวิจัย

1. การเตรียมผงเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียน

1.1 การหาปริมาณเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนจากการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆโดยการหาผลผลิตร้อยละ (% yield)

จากการสกัดเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียน (*Durio zibethinus*) สามสายพันธุ์ ได้แก่ หมอนทอง (D159) กระดุม (D24) และชะนี (D123) ด้วยวิธีการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 ,17.5 และ 20 ได้ผลผลิตร้อยละเฉลี่ย (% yield) ของปริมาณเซลล์โลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ต่างๆ

ความเข้มข้น ของโซเดียมไฮ ดรอกไซด์ (%w/v)	ค่าเฉลี่ยผลผลิตร้อยละ (% yield)					
	พันธุ์หมอนทอง		พันธุ์ชะนี		พันธุ์กระดุม	
	ส่วนขาว	ส่วนขาวเขียว	ส่วนขาว	ส่วนขาวเขียว	ส่วนขาว	ส่วนขาวเขียว
15	17.03 ± 2.73	19.68 ± 0.58	19.94 ± 2.10	19.92 ± 1.28	23.18 ± 2.31	17.83 ± 0.66
17.5	17.01 ± 2.87	19.91 ± 3.27	13.68 ± 0.25	21.04 ± 1.07	17.12 ± 1.19	19.85 ± 0.97
20	15.20 ± 2.20	18.84 ± 2.48	15.57 ± 1.49	17.82 ± 1.48	15.32 ± 3.15	19.21 ± 1.33

จากผลการสกัดเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียน เมื่อดูภาพรวมของชนิดพันธุ์ทุเรียนพบว่าทุเรียนพันธุ์กระดุมมีค่าเฉลี่ยผลผลิตร้อยละสูงกว่าพันธุ์ชะนีและพันธุ์หมอนทองตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.645$) ภาพรวมของส่วนของเปลือกทุเรียนพบว่าเปลือกทุเรียนส่วนขาวเขียวมีค่าเฉลี่ยผลผลิตร้อยละสูงกว่าเปลือกทุเรียนส่วนขาวและภาพรวมของ

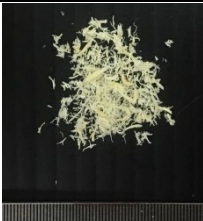
ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าความเข้มข้นร้อยละ 15 มากกว่า ร้อยละ 17.5 และร้อยละ 20 ตามลำดับ โดยในส่วนของเปลือกทุเรียนและความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.07, 0.015$) ซึ่งค่าเฉลี่ยผลผลิตร้อยละที่ได้มีความแตกต่างกับงานวิจัยของ Penjumras และ Rahman ปี ค.ศ. 2014 ที่สกัดเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ได้ค่าเฉลี่ยผลผลิตร้อยละเท่ากับ $33.12 \pm 0.108\%$ (16) แต่จากงานวิจัย Oliveira และคณะ ปี ค.ศ. 2017 นำเปลือกข้าวโพดมาสกัดเซลลูโลสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยทำให้น้ำหนักที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ได้ค่าเฉลี่ยผลผลิตร้อยละเท่ากับ 19.8 ซึ่งมีความใกล้เคียงกัน โดยกระบวนการสกัดเซลลูโลสด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (33)

2. การศึกษาลักษณะเชิงกายภาพของเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกทุเรียน

2.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเซลลูโลสจากการนำเซลลูโลสที่สกัดได้ผ่านแรงเบอร์ 16 ดังตารางที่ 5

จากผลการทดลองพบว่าเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านแรงขนาด 16 เมื่อนำมาเปรียบเทียบความขาวกันพบว่าเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนส่วนขาวมีความขาวมากกว่าเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนในส่วนขาวเขียว ยกเว้นในเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่ทั้งสองส่วนของเปลือกทุเรียนมีความขาวที่เท่ากัน นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลกับความขาวเฉพาะเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์กระดุมส่วนขาวเขียวก่อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Penjumras และ Rahman ปี ค.ศ. 2014 ที่ได้ทำการสกัดเซลลูโลสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากเปลือกทุเรียนพบว่าเซลลูโลสที่ได้มีสีขาวเช่นเดียวกัน (16)

ตารางที่ 5 แสดงลักษณะทางกายภาพของเซลล์ลูไลสจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านแรงเบอร์ด 16

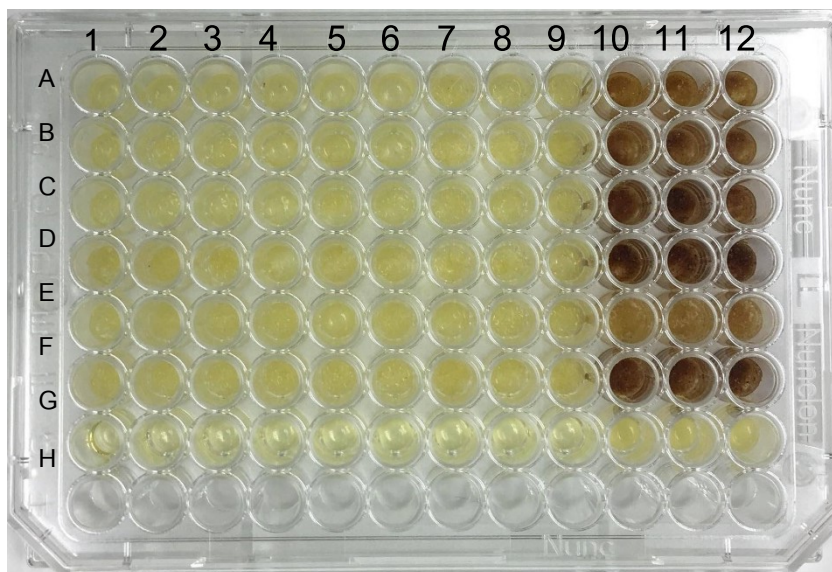
พันธุ์ทุเรียน	ส่วนของเปลือกทุเรียน	ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (% w/v)		
		15	17.5	20
หมอนทอง	ส่วนขาวเขียว			
	ส่วนขาว			
ชะนี	ส่วนขาวเขียว			
	ส่วนขาว			
กระดุม	ส่วนขาวเขียว			
	ส่วนขาว			

ตารางที่ 6 แสดงผลการประเมินลักษณะทางกายภาพของเซลล์โลสที่ได้จากเปลือกทุเรียน

พันธุ์ทุเรียน	ส่วนของเปลือกทุเรียน	ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (%w/v)	ความขาว
หมอนทอง	ส่วนขาว	15	++
		17.5	++
		20	++
	ส่วนขาวเขียว	15	++
		17.5	++
		20	++
ชะนี	ส่วนขาว	15	++++
		17.5	++++
		20	++++
	ส่วนขาวเขียว	15	+
		17.5	+
		20	+
กระดุม	ส่วนขาว	15	+++
		17.5	+++
		20	+++
	ส่วนขาวเขียว	15	+++
		17.5	++
		20	+

2.2 การทดสอบสารลิกนินในเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนด้วยวิธี phloroglucinol

จากการทดสอบสารลิกนินในเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ชะนี และกระดุม ส่วนขาวเขียวและขาว ที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15, 17.5 และ 20 ดังรูปที่ 15

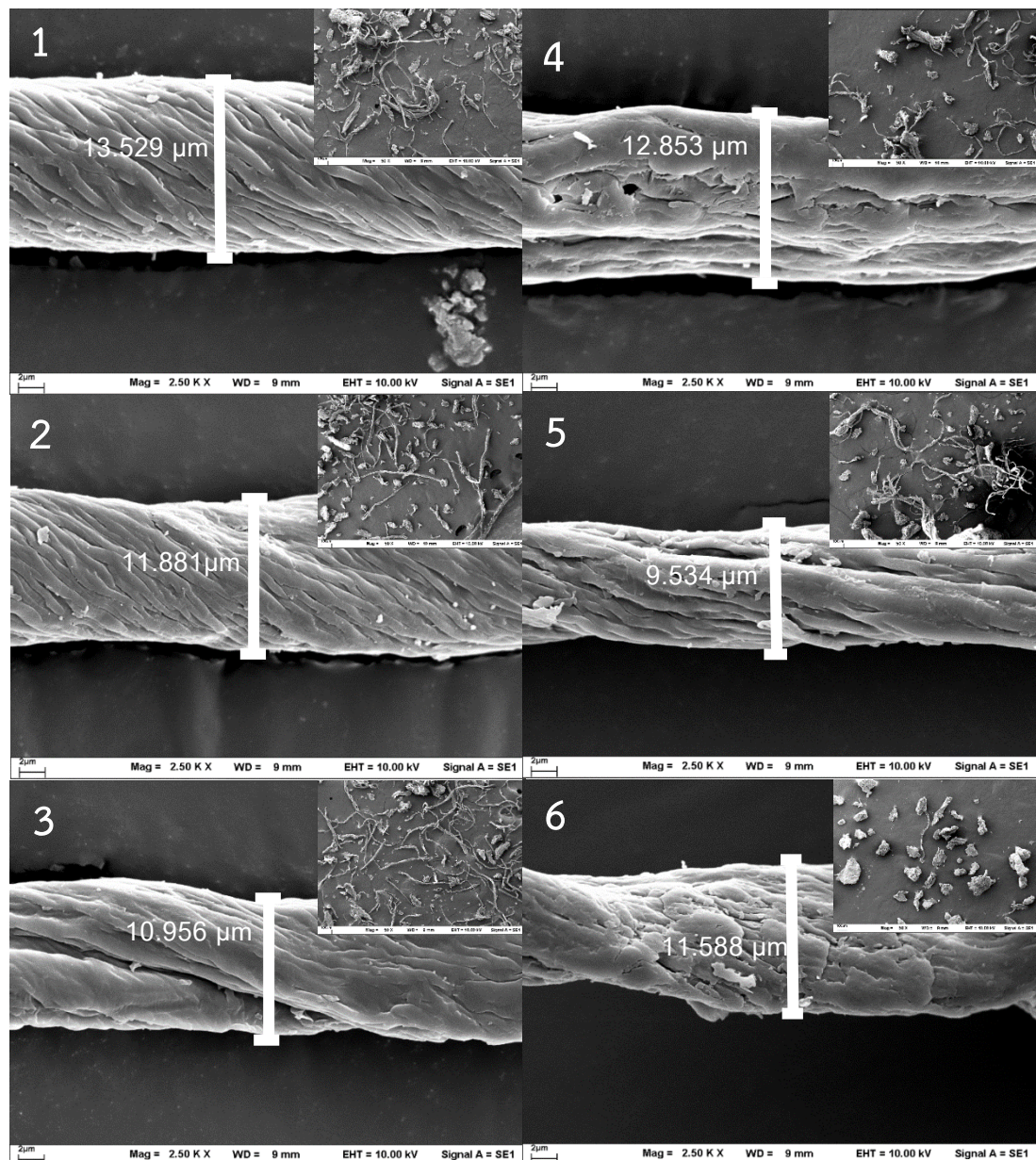


รูปที่ 15 แสดงเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการทดสอบลิกนินด้วยวิธี phloroglucinol

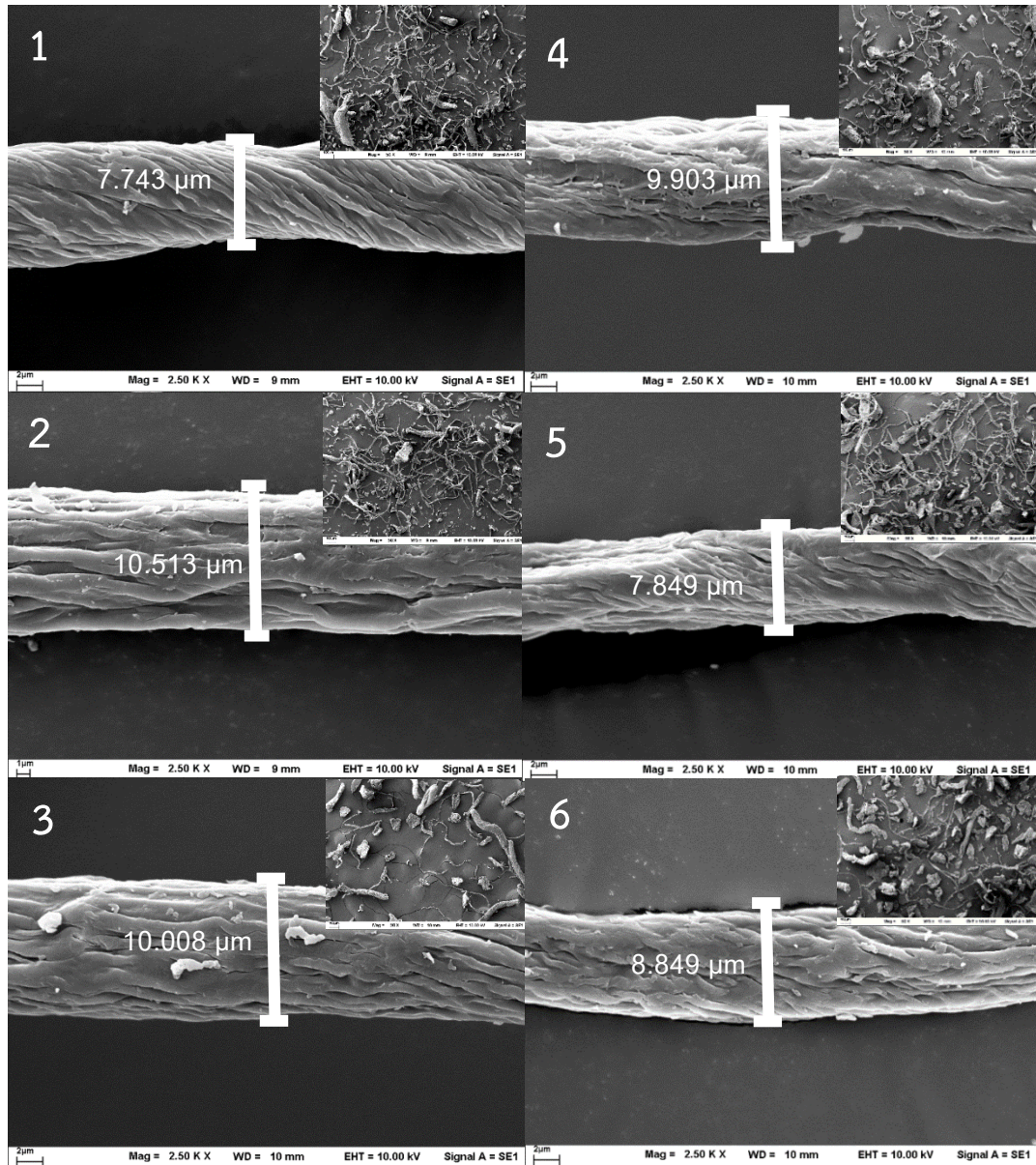
จากผลการทดลองพบว่าสารสกัดเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนทั้งสามสายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์หมอนทอง ชะนีและกระดุม ในทุกส่วนของเปลือกของทุเรียนและทุกความเข้มข้นของ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของลิกนินพบว่าเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนไม่พบการปนเปื้อนเนื่องจากให้สีของสารละลายเมื่อหยดสารละลาย phloroglucinol เป็นสีเหลืองใสทั้งหมด ซึ่งมีสีเหมือนกับสีของสารละลาย phloroglucinol ซึ่งเป็นสารควบคุมและสีของสารสกัด microcrystalline cellulose ซึ่งเป็น negative control ในการทดสอบครั้งนี้ แสดงถึงสารสกัดเซลลูโลสจากทุเรียนทั้งสามสายพันธุ์ในทุกความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่พบการปนเปื้อนของลิกนิน และพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย phloroglucinol จากสีเหลืองใสเป็นสีน้ำตาลอมส้มใน positive control คือ ผงเปลือกทุเรียนก่อนทำการสกัด ในทุเรียนทั้งสามสายพันธุ์และทุกส่วนของเปลือกของทุเรียน แสดงถึงการทำปฏิกิริยาของ สารละลาย

phloroglucinol กับลิกนินที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกทุเรียน กล่าวคือผงเปลือกทุเรียนก่อนทำการสกัดมีลิกนินปนเปื้อนอยู่

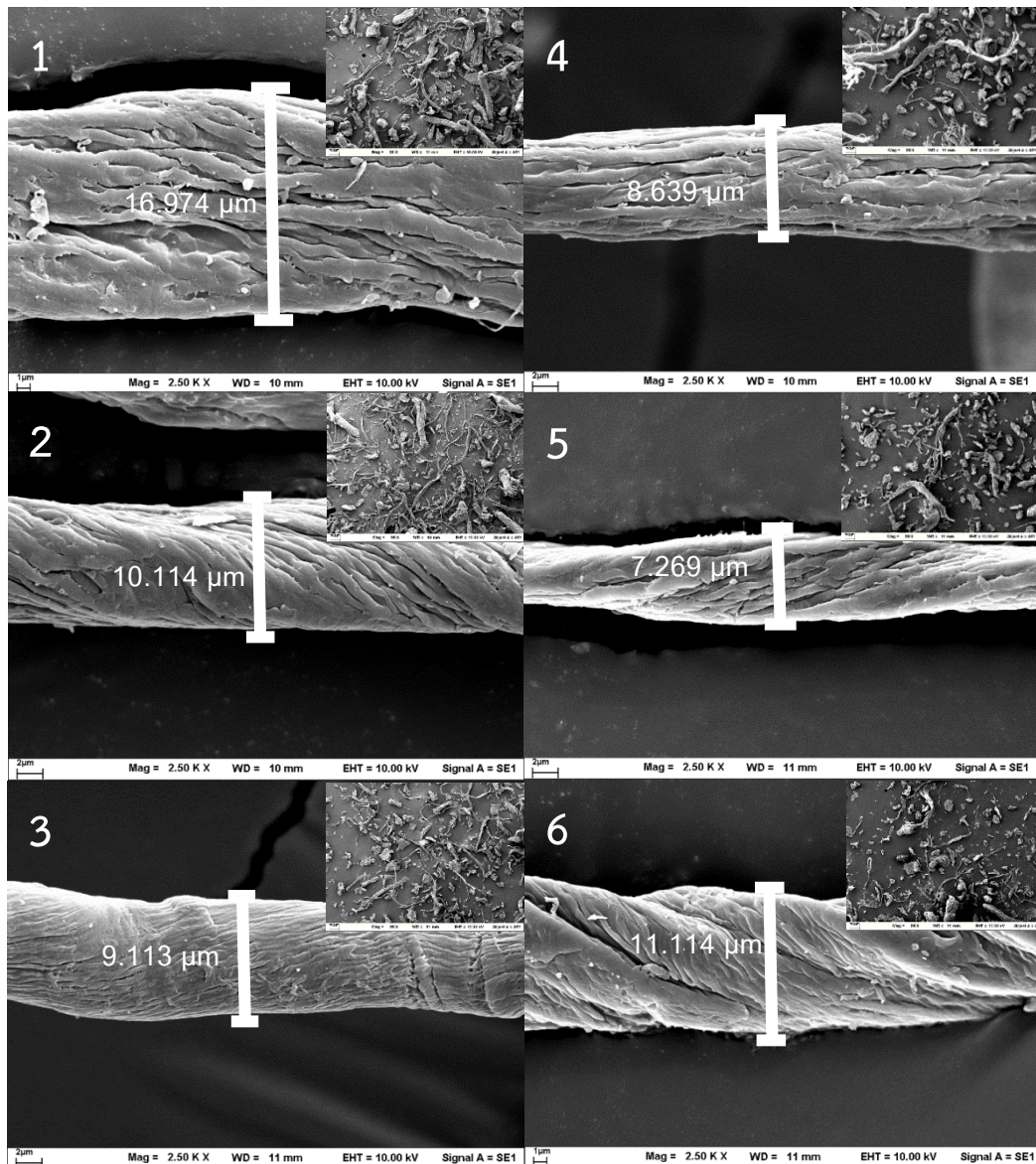
2.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของเซลล์โลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน



รูปที่ 16 แสดงเส้นใยเซลลูโลสที่กำลังขยาย 50 และ 2,500 เท่า ของทุเรียนหมอนทองขาวเขียว 1) 20% 2)17.5% 3)15% ทุเรียนหมอนทองขาว 4) 20% 5)17.5% และ 6)15%



รูปที่ 17 แสดงเส้นใยเซลลูโลสที่กำลังขยาย 50 และ 2,500 เท่า ของทุเรียนชะนีขาวเขียว 1) 20% 2) 17.5% 3) 15% ทุเรียนชะนีขาว 4) 20% 5) 17.5% และ 6) 15%



รูปที่ 18 แสดงเส้นใยเซลลูโลสที่กำลังขยาย 50 และ 2,500 เท่า ของทุเรียนหมอนทองขาวเขียว 1) 20% 2)17.5% 3)15% ทุเรียนหมอนทองขาว 4) 20% 5)17.5% และ 6)15%

จากรูปที่ 16 ถึง 18 แสดงภาพอย่างชัดเจนถึงรูปร่างและขนาดของเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านกระบวนการสกัดแล้วนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านด้วยกำลังขยาย 2,500 เท่าซึ่งลักษณะของเส้นใยที่ได้มีรูปร่างขรุขระ เป็นแท่งที่มีการมัดรวมกันเป็นเกลียวของ cellulose

fiber ขนาดเล็ก ในทุกพันธุ์ของทุเรียนและส่วนของเปลือกทุเรียน โดยส่วนของเปลือกทุเรียนส่วนขาวเขียวสามารถมองเห็นลักษณะ cellulose fiber เส้นขนาดเล็กได้มากกว่าในส่วนขาว โดยที่ขนาดของเส้นใยเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนจะแตกต่างกันตามพันธุ์ทุเรียน ส่วนของเปลือกทุเรียนและความเข้มข้นของไซโตเต็มไฮดรอกไซด์ เซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองอยู่ในช่วง 10 ถึง 13 ไมครอน พันธุ์ชะนีอยู่ระหว่าง 7 ถึง 10 ไมครอน และพันธุ์กระดุมอยู่ระหว่าง 7 ถึง 16 ไมครอน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhao และคณะ ปี ค.ศ. 2007 ที่ศึกษาลักษณะของเซลลูโลสจากฝ้าย พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลลูโลสอยู่ในช่วงระหว่าง 10 ถึง 20 ไมครอน (25)

2.4 การศึกษาความหนาแน่นของเซลลูโลสด้วยเครื่อง tapped density tester

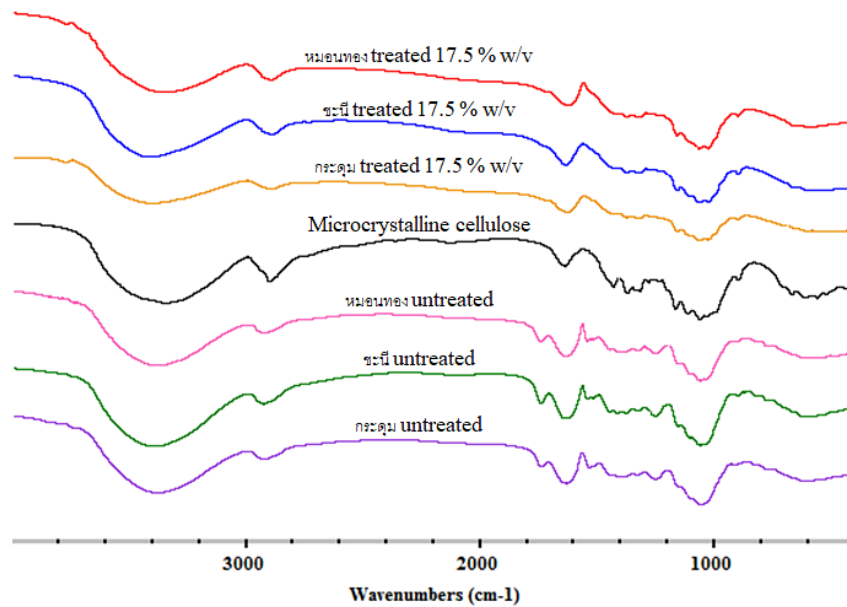
การทดสอบความหนาแน่นตาม USP method I โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 7

จากผลการทดลอง compressibility ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนด้วยเครื่อง tapped density tester พบว่าปัจจัยในเรื่องของพันธุ์ของทุเรียน ส่วนของเปลือกทุเรียน และความเข้มข้นของสารละลายไซโตเต็มไฮดรอกไซด์ไม่ส่งผลกับค่า Compressibility Index และค่า Hausner Ratio โดยเมื่อพิจารณาค่า Compressibility Index มีค่าอยู่ระหว่าง 9.22 ถึง 19.20 และค่า Hausner Ratio มีค่าอยู่ระหว่าง 1.10 ถึง 1.25 แสดงถึงเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนมีคุณสมบัติการไหลอยู่ในช่วงปานกลางค่อนข้างดีถึงดีมาก

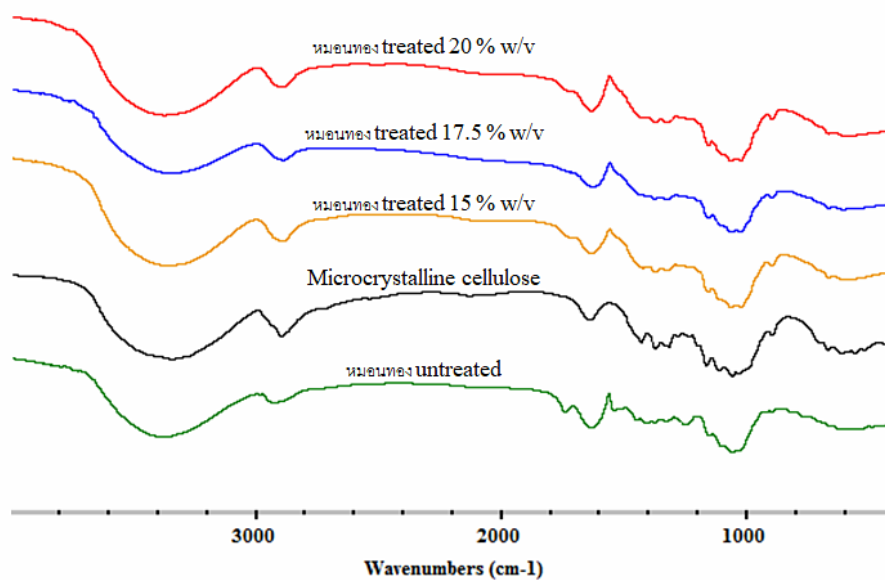
ตารางที่ 7 แสดงค่า Compressibility Index และ Hausner Ratio (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

พันธุ์ทุเรียน	ส่วนของทุเรียน	ความเข้มข้นของไซโตเดียมไฮดรอกไซด์ (%w/v)	Compressibility Index (%)	Hausner Ratio
หมอนทอง	ส่วนขาวเขียว	15	12.79 $\pm$ 3.23	1.15 $\pm$ 0.04
		17.5	14.05 $\pm$ 3.93	1.17 $\pm$ 0.05
		20	10.85 $\pm$ 3.22	1.12 $\pm$ 0.04
	ส่วนขาว	15	16.03 $\pm$ 3.45	1.19 $\pm$ 0.05
		17.5	14.16 $\pm$ 8.06	1.17 $\pm$ 0.11
		20	19.20 $\pm$ 9.45	1.25 $\pm$ 0.15
ชะนี	ส่วนขาวเขียว	15	17.19 $\pm$ 5.63	1.21 $\pm$ 0.08
		17.5	17.32 $\pm$ 4.47	1.21 $\pm$ 0.07
		20	15.40 $\pm$ 9.07	1.16 $\pm$ 0.10
	ส่วนขาว	15	15.40 $\pm$ 9.07	1.19 $\pm$ 0.14
		17.5	14.88 $\pm$ 1.14	1.18 $\pm$ 0.02
		20	15.11 $\pm$ 5.37	1.18 $\pm$ 0.08
กระดุม	ส่วนขาวเขียว	15	11.03 $\pm$ 1.36	1.12 $\pm$ 0.02
		17.5	15.56 $\pm$ 2.89	1.19 $\pm$ 0.04
		20	15.17 $\pm$ 3.05	1.18 $\pm$ 0.04
	ส่วนขาว	15	16.97 $\pm$ 2.33	1.20 $\pm$ 0.03
		17.5	12.36 $\pm$ 7.73	1.15 $\pm$ 0.10
		20	9.22 $\pm$ 4.29	1.10 $\pm$ 0.05

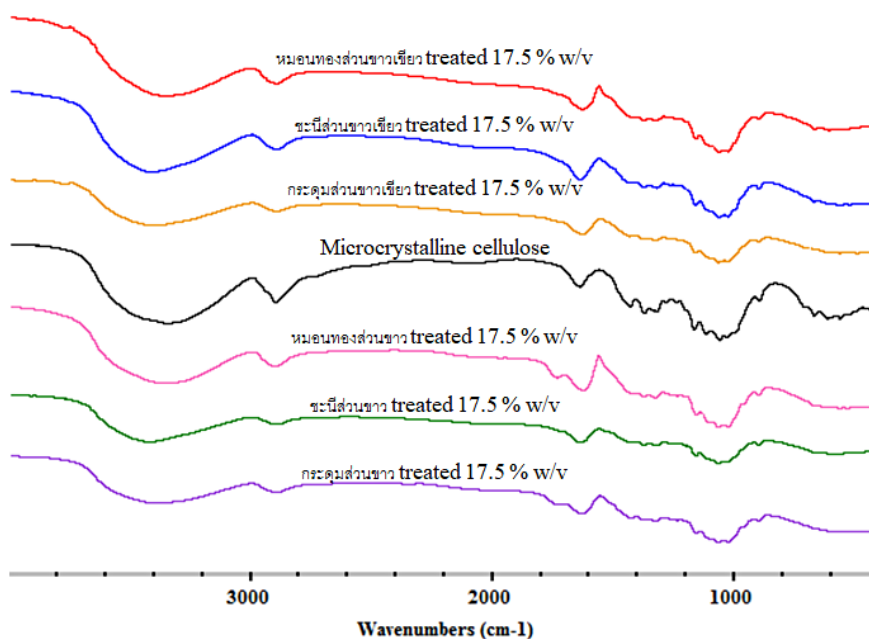
3. ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนโดยเครื่อง fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)



รูปที่ 19 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ส่วนขาวเขียว ด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5



รูปที่ 20 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองส่วนขาวเขียว



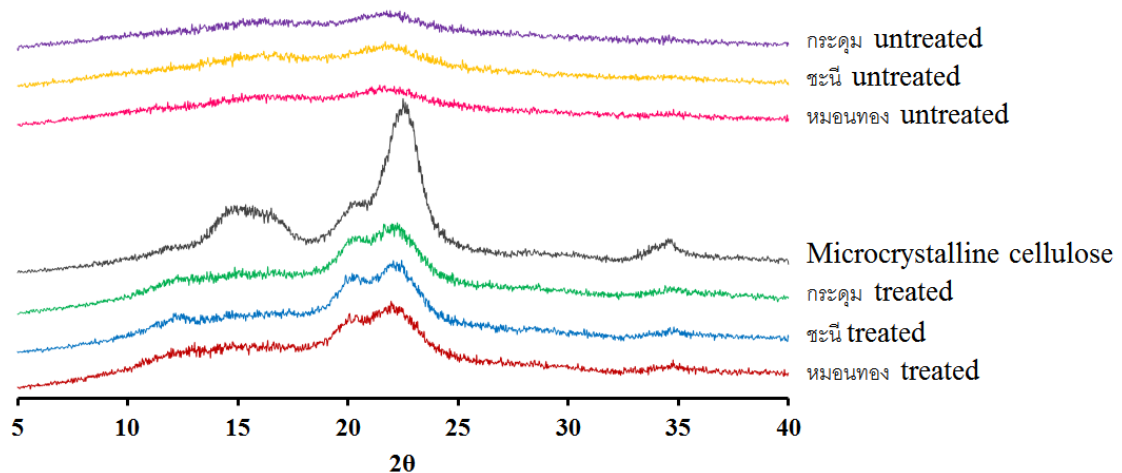
รูปที่ 21 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ ทั้งสองส่วน

จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนโดยเครื่อง fourier transform infrared spectroscopy ในสามสายพันธุ์และสองส่วนของเปลือกทุเรียน ที่ผ่านกระบวนการสกัด พบว่ามีพีคเหมือนกับเซลลูโลสมาตรฐานที่ 3200 ถึง 3400 cm^{-1} ซึ่งแสดงพีค O-H stretching vibration ของหมู่ OH ในโมเลกุลของเซลลูโลส พีค 2900 ถึง 2800 cm^{-1} แสดง C-H stretching พีคที่ 1510 ถึง 1560 cm^{-1} แสดง C=O stretching ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอนิล และพีคที่ 1425 ถึง 1430 cm^{-1} แสดง CH_2 bending ในแต่ละสเปกตรัมของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Adhikari และคณะ ปี ค.ศ. 2014 แต่พบว่าเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนมีพีคตรงกับเฮมิเซลลูโลส ทำให้ไม่สามารถแยกความต่างระหว่างเฮมิเซลลูโลสกับเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนออกจากกันอย่างชัดเจน (34) และพบความแตกต่างของพีคที่ 1730 ถึง 1800 cm^{-1} ระหว่างเปลือกทุเรียนที่ผ่านกระบวนการสกัด (treated) กับเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านกระบวนการสกัด (untreated) ซึ่งเป็นพีคของลิคินิน (2) ที่พบในเฉพาะส่วน untreated ทำให้สามารถแยก untreated กับ treated ออกจากกันได้

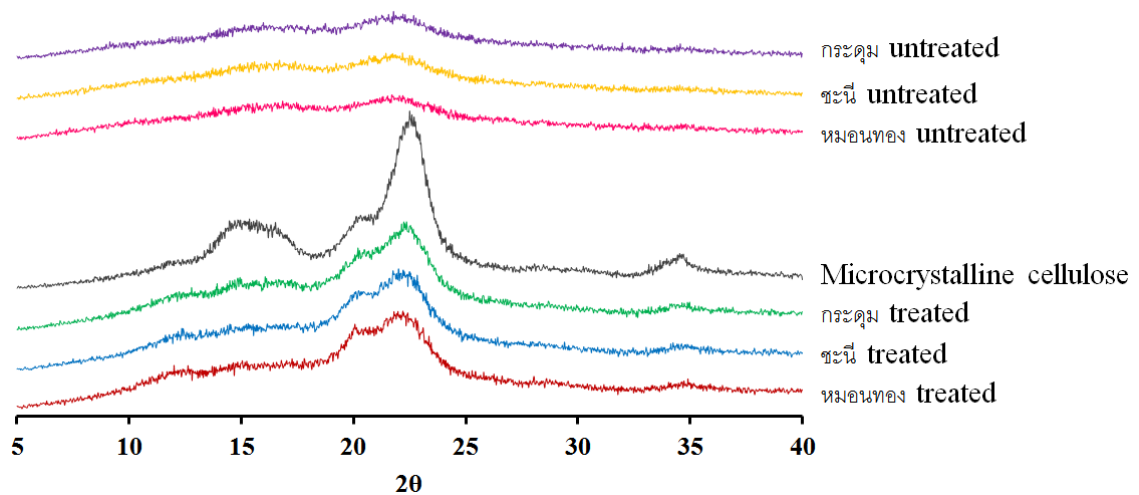
4. การศึกษาโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส

4.1 เครื่อง Powder X-rays diffraction (PXRD)

จากการศึกษาโครงสร้างผลึกโดยนำเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 22 และ 23



รูปที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนส่วนขาว



รูปที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนส่วนขาวเขียว

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสของเปลือกทุเรียนโดยเครื่อง Powder X-rays diffraction พบว่าเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการสกัด (untreated) ทั้งสามสายพันธุ์มีลักษณะกราฟรูปแบบ broad halo ที่ไม่มียอดแหลมเฉพาะเจาะจง หมายถึงโครงสร้างผลึกมีรูปแบบอสัณฐาน (amorphous) สอดคล้องกับค่า crystalline index ที่น้อยกว่าเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านกระบวนการสกัด แสดงถึงกระบวนการสกัดสามารถเพิ่มความเป็นผลึกให้กับเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนได้ ซึ่งพบว่าลักษณะกราฟมียอดแหลม ดังรูปที่ 22 และ 23 เมื่อพิจารณาค่า crystalline index เซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนส่วนขาวความเป็นผลึกของพันธุ์ชะนีมากกว่าหมอนทองและกระดุมตามลำดับ และในส่วนขาวเขียวความเป็นผลึกของพันธุ์กระดุมมากกว่าชะนีและหมอนทองตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม microcrystalline cellulose มีความเป็นผลึกสูงที่สุด ที่ค่า crystalline index เท่ากับร้อยละ 81.78 ดังตารางที่ 8

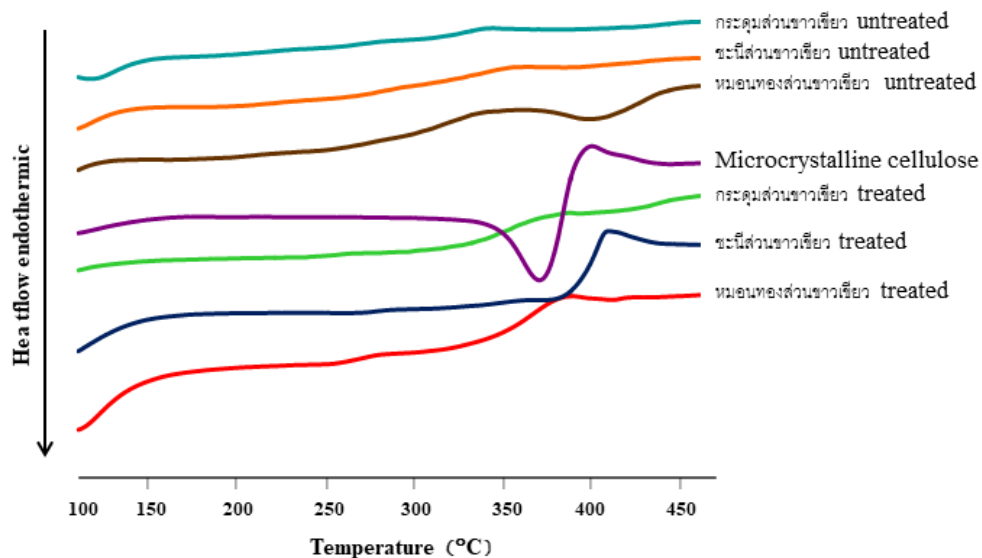
ตารางที่ 8 แสดงค่า Crystalline index

ตัวอย่าง	Intensity ที่ 18 °	Peak intensity (X°)	Crystalline index (%)
หมอนทองขาวเขียว	343	670 (22.2°)	52.66
หมอนทองขาว	314	631 (21.96°)	59.90
ชะนีขาวเขียว	310	688 (22°)	61.48
ชะนีขาว	280	646 (22.44°)	63.78
กระดุมขาวเขียว	329	738 (22.36°)	62.06
กระดุมขาว	333	638 (22.24°)	54.86
Microcrystalline cellulose	282	1191 (22.5°)	81.78
หมอนทองขาวเขียว untreated	257	344 (21.72°)	42.44
หมอนทองขาว untreated	249	329 (21.44°)	43.16
ชะนีขาวเขียว untreated	269	361 (22.18°)	43.21
ชะนีขาว untreated	238	361 (21.7°)	51.80
กระดุมขาวเขียว untreated	280	375 (21.78°)	44.53
กระดุมขาว untreated	240	311 (21.92°)	39.55

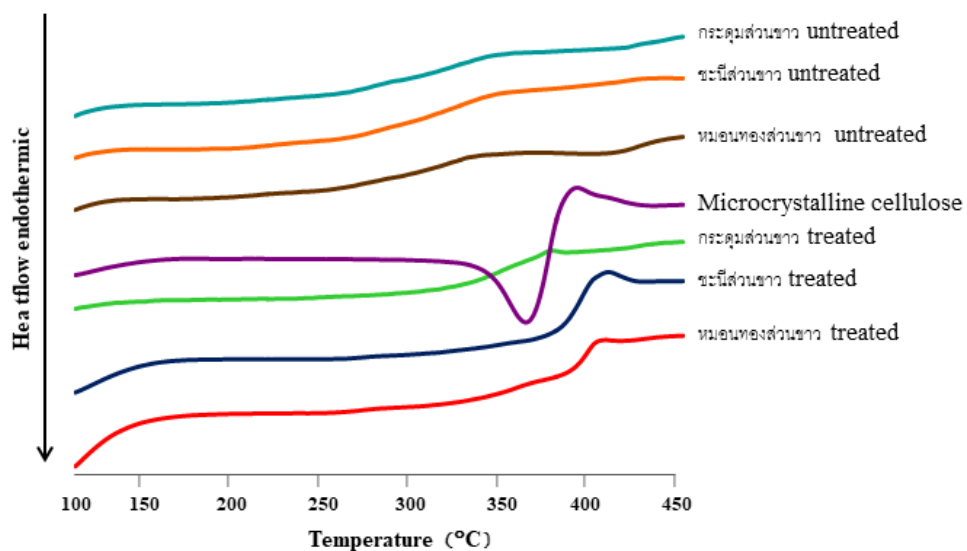
4.2 เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC)

จากการศึกษาโครงสร้างผลึกโดยนำเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่สกัดด้วยโซเดียม

ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ผลการทดลองดังรูปที่ 24 และ 25



รูปที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนส่วนขาวด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter



รูปที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนส่วนขาวเขียวด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสของเปลือกทุเรียนโดยเครื่อง differential scanning calorimeter พบว่าเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการสกัด (untreated) ทั้งสามสายพันธุ์มีลักษณะกราฟรูปแบบกว้าง ไม่แสดงพีคอย่างชัดเจน แสดงถึงความเป็นผลึก (crystalline) ต่ำหรือความเป็นผลึกแบบอสัณฐาน (amorphous) มาก ต่างจากเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านกระบวนการสกัด (treated) พบว่าลักษณะกราฟมีพีคสูงขึ้นมาเล็กน้อยที่จุดหลอมเหลว (melting point) อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส แสดงถึงกระบวนการสกัดทำให้โครงสร้างของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาในแต่ละพันธุ์ของทุเรียนส่งผลต่อความเป็นผลึก โดยพบว่าพันธุ์ชะนีความเป็นผลึกมากที่สุด รองลงมาพันธุ์หมอนทอง และกระดุมตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาความสูงของพีคเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนและ microcrystalline cellulose ที่จุดหลอมเหลวอุณหภูมิ 380 องศาพบว่าพีคของ microcrystalline cellulose มีความสูงมากกว่าเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน ซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึก (crystalline) ที่มากกว่า นอกจากนี้รูปที่ 25 เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของ microcrystalline cellulose กับสเปกตรัมของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพบว่าผลการสกัดของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนมีการปนเปื้อนขององค์ประกอบอื่นที่ไม่ต้องการอยู่ในเซลลูโลสที่สกัดได้

5. การวิเคราะห์มวลโมเลกุลโดยปริมาตร (M_v) ของเซลลูโลสโดยเทคนิค viscometry

จากการวิเคราะห์มวลโมเลกุลโดยปริมาตรโดยนำเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่สกัดด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 โดยรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงค่าความหนืดแท้จริง (intrinsic viscosity, η) และมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตร (M_v) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	intrinsic viscosity (η)	มวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตร (M_v) (g/mol)
ทุเรียนหมอนทองขาว	3.44±0.01	67,627.39 ± 113.61
ทุเรียนหมอนทองขาวเขียว	3.48±0.21	68,480.12 ± 4,108.93
ทุเรียนหมอนชะนีขาว	4.19±0.02	82,517.23 ± 454.45
ทุเรียนหมอนชะนีขาวเขียว	3.09±0.1	60,805.62 ± 1,938.08
ทุเรียนหมอนกระดุมขาว	3.02±0.06	59,493.74 ± 1,153.04
ทุเรียนหมอนกระดุมขาวเขียว	3.51±0.34	69,136.06 ± 6,760.64

หมายเหตุ: $\ln(\eta) = \ln k + a \ln [M]$ โดย ค่า $k = 1.33 \times 10^{-4}$ $a = 0.905$

จากผลการวิเคราะห์มวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตร (M_v) เซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพบว่ามวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตรเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนมีค่าอยู่ระหว่าง 59,493 ถึง 82,517 กรัมต่อโมล โดยเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์ชะนีส่วนขาวมีมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตรสูงสุดคือ $82,517.23 \pm 454.45$ กรัมต่อโมล และพบว่าเซลลูโลสในส่วนขาวเขียวมีมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตรมากกว่าส่วนขาว ดังตารางที่ 9 และพบว่าสายพันธุ์และส่วนของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนไม่มีผลต่อมวลโมเลกุลโดยปริมาตรที่ได้อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.319$, $p=0.349$)

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาการสกัดและตรวจสอบเซลล์ลูโลสจากเปลือกทุเรียนเพื่อทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัด รวมถึงส่งผลต่อการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเซลล์ลูโลส ซึ่งผลการสกัดเซลล์ลูโลสจากเปลือกทุเรียนทั้งสามสายพันธุ์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 15, 17.5 และ 20 พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยผลผลิตร้อยละ (% yield) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเซลล์ลูโลสจากเปลือกทุเรียน พบว่าผลการทดสอบความหนาแน่นของเซลล์ลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีคุณสมบัติการไหลดีกว่าเซลล์ลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์อื่นๆ และไม่พบการปนเปื้อนของลิกนินโดยการทดสอบด้วยสารละลาย phloroglucinol ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค fourier transform infrared spectroscopy ไม่พบการปนเปื้อนของลิกนินเช่นกัน แต่พบองค์ประกอบของเฮมิเซลล์ลูโลสในเซลล์ลูโลสจากเปลือกทุเรียนทุกสายพันธุ์ ซึ่งมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตร (Mv) ของเซลล์ลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ชะนีส่วนขาวที่ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 มีค่าสูงที่สุด $82,517.23 \pm 454.45$ กรัมต่อโมล นอกจากนี้เซลล์ลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านกระบวนการสกัดมีความเป็นผลึกมากกว่าเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านกระบวนการสกัด โดยพบความเป็นผลึกมากที่สุดในเซลล์ลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์ชะนี โดยข้อจำกัดของงานวิจัยพบว่าความเข้มข้นที่นำมาใช้ศึกษาไม่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพและเคมีของเซลล์ลูโลสได้แน่นอน นอกจากนี้การวิเคราะห์หามวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตร (M) ไม่สามารถควบคุมปัจจัยรบกวนได้ทำให้ส่งผลถึงมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตรที่แท้จริง และวิธีตรวจสอบคุณลักษณะไม่สามารถแยกเซลล์ลูโลสออกจากเฮมิเซลล์ลูโลสได้อย่างสมบูรณ์

ดังนั้นหากมีการนำงานวิจัยนี้ไปต่อยอดในอนาคต ทางคณะผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญในการศึกษาปัจจัยเพิ่มเติมทั้งในด้านอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการสกัดเซลล์ลูโลส ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสกัดเซลล์ลูโลส ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตร้อยละมากขึ้นหรือน้อยลง รวมถึงการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเพิ่มเติม เช่น การวิเคราะห์โครงสร้างของตัวอย่างที่สกัด การวิเคราะห์ความสามารถในการละลายของตัวอย่างที่สกัด เพื่อเป็นฐานข้อมูลในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Masrol SR, Ibrahim MHI, Adnan S. Chemi-mechanical Pulping of Durian Rinds. *Procedia Manufacturing*. 2015;2(Supplement C):171-80.
2. Yang H, Yan R, Chen H, Lee DH, Zheng C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*. 2007;86(12):1781-8.
3. Sukon Tantipaibulvut TN, Petlada Dechayuenyong. Antibacterial Activity of Some Fruit-Peel Extracts. *journal KKU*. 2012.
4. Center CHR. Durian [Available from: http://doa.go.th/hrc/chantaburi/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=65].
5. Siralertmukul K. cellulose from durian rind [Available from: <http://www.material.chula.ac.th/RADIO47/September/radio9-4.htm>].
6. Li F, Li S, Li H-B, Deng G-F, Ling W-H, Wu S, et al. Antiproliferative activity of peels, pulps and seeds of 61 fruits. *Journal of Functional Foods*. 2013;5(3):1298-309.
7. Leontowicz H, Leontowicz M, Haruenkit R, Poovarodom S, Jastrzebski Z, Drzewiecki J, et al. Durian (*Durio zibethinus* Murr.) cultivars as nutritional supplementation to rat's diets. *Food and Chemical Toxicology*. 2008;46(2):581-9.
8. Haruenkit R, Poovarodom S, Vearasilp S, Namiesnik J, Sliwka-Kaszynska M, Park Y-S, et al. Comparison of bioactive compounds, antioxidant and antiproliferative activities of Mon Thong durian during ripening. *Food chemistry*. 2010;118(3):540-7.
9. Balram Prasad Sah TP, Dr.S.Sankar2,Dr.B.Suresh. Phytochemical Investigations on the Fruits of *Durio zibenthinus* Linn. For Antimicrobial Activity. *International Journal of Pharma Sciences and Research (IJPSR)* 2014.
10. Kumar R, Sharma RK, Singh AP. Cellulose based grafted biosorbents - Journey from lignocellulose biomass to toxic metal ions sorption applications - A review. *Journal of Molecular Liquids*. 2017;232:62-93.

11. Ciolacu D, Ciolacu F, Popa VI. Amorphous Cellulose – structure and characterization. *Cellulose chemistry and technology*. 2010 45:13-21.
12. SzczeŚniak L, Rachocki A, Tritt-Goc J. Glass transition temperature and thermal decomposition of cellulose powder. *Cellulose*. 2008;15(3):445-51.
13. Zhang S, LI F-X, Yu J-Y, Li-Xia G. Dissolved state and viscosity properties of cellulose in a NaOH complex solvent. *Cellulose chemistry and thehnology*. 2008;43: 241-9.
14. Oliveira JPd, Bruni GP, Lima KO, Halal SLME, Rosa GSd, Dias ARG, et al. Cellulose fibers extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel. *Food chemistry*. 2017;221:153-60.
15. Rahman WA, Ismail SNAS, Rosli M. Morphology and properties of durian cellulose nanofibres reinforced polyvinyl alcohol/starch based composite. 2016;1774:020005.
16. Penjumras P, Rahman RBA, Talib RA, Abdan K. Extraction and Characterization of Cellulose from Durian Rind. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2014;2:237-43.
17. Trache D, Hussin MH, Hui Chuin CT, Sabar S, Fazita MRN, Taiwo OFA, et al. Microcrystalline cellulose: Isolation, characterization and bio-composites application—A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016;93, Part A:789-804.
18. Celebi D, Guy RH, Edler KJ, Scott JL. Ibuprofen delivery into and through the skin from novel oxidized cellulose-based gels and conventional topical formulations. *International Journal of Pharmaceutics*. 2016;514(1):238-43.
19. Rachtanapun P, Luangkamin S, Tanprasert K, Suriyatem R. Carboxymethyl cellulose film from durian rind. *LWT - Food Science and Technology*. 2012;48(1):52-8.
20. Charoenvai S. Durian Peels Fiber and Recycled HDPE Composites Obtained by Extrusion. *Energy Procedia*. 2014;56:539-46.
21. สำนักงานเลขาธิการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์. SEC Magazine 2014 [Available from: <http://www.sec.psu.ac.th/home/ebook/sec-magazine-2557-04-ftir/sec-magazine-2557-04-ftir.pdf>].

22. Le Normand M, Moriana R, Ek M. Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from spruce bark in a biorefinery perspective. *Carbohydrate polymers*. 2014;111:979-87.
23. Abidi N, Cabrales L, Haigler CH. Changes in the cell wall and cellulose content of developing cotton fibers investigated by FTIR spectroscopy. *Carbohydrate polymers*. 2014;100:9-16.
24. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. แนะนำกล้องจุลทรรศน์. จดหมายข่าวศูนย์เครื่องมือวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
25. Zhao H, Kwak J, Conradzhang Z, Brown H, Arey B, Holladay J. Studying cellulose fiber structure by SEM, XRD, NMR and acid hydrolysis. *Carbohydrate polymers*. 2007;68(2):235-41.
26. Park S, Baker JO, Himmel ME, Parilla PA, Johnson DK. Cellulose crystallinity index: measurement techniques and their impact on interpreting cellulase performance. *Biotechnology for Biofuels*. 2010;3(1):10.
27. Oberlerchner JT, Rosenau T, Potthast A. Overview of Methods for the Direct Molar Mass Determination of Cellulose. *Molecules*. 2015;20(6):10313-41.
28. J. Brandrup and E.H. Immergut E. *Polymer Handbook*. 2 nd ed. Wiley-Interscience: NY; 1975.
29. Striegel AM TJ. Molecular characterization of polysaccharides dissolved in Me₂NAC-LiCl by gel-permeation chromatography. *Carbohydrate Research*. 1995;267:71-90.
30. Immergut EH, Randy BG, Mark HF. Recent work on molecular weight of cellulose. *Industrial and engineering chemistry* 1953;45(11):2483-91.
31. Convention tUSP. *The United States Pharmacopeia and The National Formulary*. 12016. p. 457-9.
32. Yang H, Yan R, Chen H, Lee DH, Zheng C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*. 2007;86(12-13):1781-8.

33. Oliveira JP, Bruni GP, Lima KO, Halal S, Rosa GSD, Dias ARG, et al. Cellulose fibers extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel. Food chemistry. 2017;221:153-60.
34. Li M, Wang, L., Li, D., Cheng, Y., Adhikari, B., . Preparation and Characterization of Cellulose Nanofibers from De-Pectinated Sugar Beet Pulp. Carbohydrate Polymers. 2014;102:136-43.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

1. การเตรียมผงเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน

1.1 การหาปริมาณเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนจากการสกัดด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยการหาผลผลิตร้อยละ (% yield)

ตารางที่ 1 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์หมอนทองที่สกัดด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15

ตัวอย่าง		น้ำหนักผงแห้ง (กรัม)	น้ำหนักผง เซลลูโลส (กรัม)	ผลผลิตร้อยละ (% yield)	ค่าเบี่ยงมาตรฐาน (standard deviation)
หมอนทองขาว 15%	n = 1	5.02	0.71	14.14	
	n = 2	5.00	0.87	17.4	
	n = 3	5.01	0.98	19.56	
ค่าเฉลี่ยหมอนทองขาว 15%		5.01	0.85	17.03	2.73
หมอนทองขาว-เขียว 15%	n = 1	5.04	0.99	19.64	
	n = 2	5.02	0.96	19.12	
	n = 3	5.03	1.02	20.28	
ค่าเฉลี่ยหมอนทองขาว-เขียว 15%		5.03	0.99	19.68	0.58

ตารางที่ 2 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์หมอนทองที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5

ตัวอย่าง		น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักผง เซลลูโลส (กรัม)	ผลผลิตร้อยละ (% yield)	ค่าเบี่ยงมาตรฐาน (standard deviation)
หมอนทองขาว 17.5%	n = 1	5.02	0.71	14.14	
	n = 2	5.00	0.85	17.00	
	n = 3	5.03	1.00	19.88	
ค่าเฉลี่ยหมอนทองขาว 17.5%		5.02	0.85	17.01	2.87
หมอนทองขาว-เขียว 17.5%	n = 1	5.02	0.82	16.33	
	n = 2	5.01	1.14	22.75	
	n = 3	4.99	1.03	20.64	
ค่าเฉลี่ยหมอนทองขาว-เขียว 17.5%		5.01	1.00	19.91	3.27

ตารางที่ 3 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์หมอนทองที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20

ตัวอย่าง		น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักผง เซลลูโลส (กรัม)	ผลผลิตร้อยละ (% yield)	ค่าเบี่ยงมาตรฐาน (standard deviation)
หมอนทองขาว 20%	n = 1	5.01	0.72	14.37	
	n = 2	5.03	0.89	17.69	
	n = 3	5.02	0.68	13.55	
ค่าเฉลี่ยหมอนทองขาว 20%		5.02	0.76	15.2	2.2
หมอนทองขาว-เขียว 20%	n = 1	5.02	1.06	21.12	
	n = 2	5	0.81	16.2	
	n = 3	5.05	0.97	19.21	
ค่าเฉลี่ยหมอนทองขาว-เขียว 20%		5.02	0.95	18.84	2.48

ตารางที่ 4 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ชะนีที่สกัดด้วยโซเดียม

ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15

ตัวอย่าง		น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักผง เซลลูโลส (กรัม)	ผลผลิตร้อยละ (% yield)	ค่าเบี่ยงมาตรฐาน (standard deviation)
ชะนีขาว 15%	n = 1	5.03	0.94	18.69	
	n = 2	5.01	0.94	18.76	
	n = 3	5.01	1.12	22.36	
ค่าเฉลี่ยชะนีขาว 15%		5.02	1.00	19.94	2.10
ชะนีขาว-เขียว 15%	n = 1	5.02	0.96	19.12	
	n = 2	5.20	1.00	19.23	
	n = 3	5.00	1.07	21.4	
ค่าเฉลี่ยชะนีขาว-เขียว 15%		5.07	1.01	19.92	1.28

ตารางที่ 5 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ชะนีที่สกัดด้วยโซเดียม

ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5

ตัวอย่าง		น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักผง เซลลูโลส (กรัม)	ผลผลิตร้อยละ (% yield)	ค่าเบี่ยงมาตรฐาน (standard deviation)
ชะนีขาว 17.5%	n = 1	5.08	0.70	13.78	
	n = 2	5.05	0.70	13.86	
	n = 3	3.88	0.52	13.40	
ค่าเฉลี่ยชะนีขาว 17.5%		4.67	0.64	13.68	0.25
ชะนีขาว-เขียว 17.5%	n = 1	5.11	1.05	20.55	
	n = 2	5.12	1.14	22.27	
	n = 3	5.12	1.04	20.31	
ค่าเฉลี่ยชะนีขาว-เขียว 17.5%		5.12	1.08	21.04	1.07

ตารางที่ 6 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์ูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ชะนีที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20

ตัวอย่าง		น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักผง เซลล์ูโลส (กรัม)	ผลผลิตร้อยละ (% yield)	ค่าเบี่ยงมาตรฐาน (standard deviation)
ชะนีขาว 20%	n = 1	5.02	0.70	13.94	
	n = 2	5.04	0.85	16.87	
	n = 3	5.09	0.81	15.91	
ค่าเฉลี่ยชะนีขาว 20%		5.05	0.79	15.57	1.49
ชะนีขาว-เขียว 20%	n = 1	5.02	0.81	16.14	
	n = 2	5.04	0.93	18.45	
	n = 3	5.03	0.95	18.89	
ค่าเฉลี่ยชะนีขาว-เขียว 20%		5.03	0.90	17.82	1.48

ตารางที่ 7 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์ูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์กระดุมที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15

ตัวอย่าง		น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักผง เซลล์ูโลส (กรัม)	ผลผลิตร้อยละ (% yield)	ค่าเบี่ยงมาตรฐาน (standard deviation)
กระดุมขาว 15%	n = 1	5.03	1.17	23.26	
	n = 2	5.04	1.05	20.83	
	n = 3	5.03	1.28	25.45	
ค่าเฉลี่ยกระดุมขาว 15%		5.03	1.17	23.18	2.31
กระดุมขาว-เขียว 15%	n = 1	5.06	0.88	17.39	
	n = 2	5.03	0.88	17.5	
	n = 3	5.11	0.95	18.59	
ค่าเฉลี่ยกระดุมขาว-เขียว 15%		5.07	0.9	17.83	0.66

ตารางที่ 8 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์ูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์กระดุมที่สกัดด้วยโซเดียม

ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5

ตัวอย่าง		น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักผง เซลล์ูโลส (กรัม)	ผลผลิตร้อยละ (% yield)	ค่าเบี่ยงมาตรฐาน (standard deviation)
กระดุมขาว 17.5%	n = 1	5.03	0.93	18.49	
	n = 2	5.03	0.82	16.3	
	n = 3	5.01	0.83	16.57	
ค่าเฉลี่ยกระดุมขาว 17.5%		5.02	0.86	17.12	1.19
กระดุมขาว-เขียว 17.5%	n = 1	5.14	0.98	19.07	
	n = 2	5.11	1.07	20.94	
	n = 3	5.17	1.01	19.54	
ค่าเฉลี่ยกระดุมขาว-เขียว 17.5%		5.14	1.02	19.85	0.97

ตารางที่ 9 แสดงผลผลิตร้อยละของเซลล์ูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์กระดุมที่สกัดด้วยโซเดียม

ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20

ตัวอย่าง		น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักผง เซลล์ูโลส (กรัม)	ผลผลิตร้อยละ (% yield)	ค่าเบี่ยงมาตรฐาน (standard deviation)
กระดุมขาว 20%	n = 1	5.02	0.61	12.15	
	n = 2	5.04	0.93	18.45	
	n = 3	5.01	0.77	15.37	
ค่าเฉลี่ยกระดุมขาว 20%		5.02	0.77	15.32	3.15
กระดุมขาว-เขียว 20%	n = 1	5.04	0.95	18.85	
	n = 2	5.03	1.04	20.68	
	n = 3	5.03	0.91	18.09	
ค่าเฉลี่ยกระดุมขาว-เขียว 20%		5.03	0.97	19.21	1.33

2. การศึกษาความหนาแน่นของเซลล์ูโลสด้วยเครื่อง tapped density tester

ตารางที่ 10 แสดงผลการศึกษาความหนาแน่นของเซลล์ูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์หมอนทอง ด้วยเครื่อง tapped density tester

ตัวอย่าง		น้ำหนัก (กรัม)	V0 (mL)	V10 (mL)	V500 (mL)	V1250 (mL)	Bulk density (g/mL)	Tapped density (g/mL)	Compressibility Index (%)	Hausner Ratio
หมอนทอง	n = 1	0.96	3.60	3.48	3.06	3.06	0.27	0.31	15.00	1.18
ขาวเขียว	n = 2	0.92	3.30	3.20	3.00	3.00	0.28	0.31	9.09	1.10
15%w/v	n = 3	0.93	3.50	3.30	3.10	3.00	0.27	0.31	14.29	1.17
ค่าเฉลี่ย		0.94	3.47	3.33	3.05	3.02	0.27	0.31	12.79	1.15
หมอนทอง	n = 1	0.73	2.80	2.68	2.42	2.40	0.26	0.30	14.29	1.17
ขาวเขียว	n = 2	0.78	3.00	2.80	2.70	2.70	0.26	0.29	10.00	1.11
17.5%w/v	n = 3	0.71	2.80	2.70	2.60	2.30	0.25	0.31	17.86	1.22
ค่าเฉลี่ย		0.74	2.87	2.73	2.57	2.65	0.26	0.30	14.05	1.17
หมอนทอง	n = 1	0.85	2.80	2.70	2.60	2.60	0.30	0.33	7.14	1.08
ขาวเขียว	n = 2	0.90	3.20	2.90	2.80	2.80	0.28	0.32	12.50	1.14
20%w/v	n = 3	0.86	3.10	2.80	2.70	2.70	0.28	0.32	12.90	1.15
ค่าเฉลี่ย		0.87	3.03	2.80	2.70	2.70	0.29	0.32	10.85	1.12
หมอนทอง	n = 1	1.18	2.90	2.90	2.50	2.50	0.41	0.47	13.79	1.16
ขาว15%w/v	n = 2	0.98	2.80	2.70	2.60	2.40	0.35	0.41	14.29	1.17
	n = 3	1.02	3.00	2.80	2.40	2.40	0.34	0.43	20.00	1.25
ค่าเฉลี่ย		1.06	2.90	2.80	2.40	2.40	0.37	0.44	16.03	1.19
หมอนทอง	n = 1	0.97	2.60	2.50	2.25	2.00	0.37	0.48	23.08	1.30
ขาว	n = 2	0.98	2.70	2.70	2.50	2.50	0.36	0.39	7.41	1.08
17.5 %w/v	n = 3	0.92	2.50	2.30	2.20	2.20	0.37	0.42	12.00	1.14
ค่าเฉลี่ย		0.96	2.60	2.50	2.32	2.23	0.37	0.43	14.16	1.17

หมอนทองขาว 20%w/v	n = 1	0.76	2.80	2.40	2.10	2.00	0.27	0.38	28.57	1.40
	n = 2	0.79	3.10	2.80	2.50	2.50	0.25	0.32	19.35	1.24
	n = 3	0.80	3.10	3.00	3.00	2.80	0.26	0.29	9.68	1.11
ค่าเฉลี่ย		0.78	3.00	2.73	2.53	2.43	0.26	0.33	19.20	1.25

ตารางที่ 11 แสดงผลการศึกษาความหนาแน่นของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ชะนีด้วยเครื่อง tapped density tester

ตัวอย่าง		น้ำหนัก (กรัม)	V0 (mL)	V10 (mL)	V500 (mL)	V1250 (mL)	Bulk density (g/mL)	Tapped density (g/mL)	Compressibility Index (%)	Hausner Ratio
ชะนี	n = 1	0.95	2.78	2.60	2.30	2.20	0.34	0.43	20.86	1.26
ขาวเขียว	n = 2	0.97	2.80	2.80	2.60	2.50	0.35	0.39	10.71	1.12
15%w/v	n = 3	0.92	2.50	2.30	2.30	2.00	0.37	0.46	20.00	1.25
ค่าเฉลี่ย		0.95	2.70	2.60	2.40	2.20	0.35	0.43	17.19	1.21
ชะนี	n = 1	0.94	4.45	4.20	3.60	3.45	0.20	0.27	22.47	1.29
ขาวเขียว	n = 2	0.97	4.70	4.50	4.20	4.00	0.21	0.24	14.89	1.18
17.5%w/v	n = 3	0.98	4.80	4.40	4.10	4.10	0.20	0.24	14.58	1.17
ค่าเฉลี่ย		0.96	4.65	4.37	3.97	3.85	0.21	0.25	17.32	1.21
ชะนี	n = 1	0.97	5.10	4.80	4.00	4.00	0.19	0.24	21.57	1.28
ขาวเขียว	n = 2	0.92	4.70	4.50	4.20	4.20	0.20	0.22	10.64	1.12
20%w/v	n = 3	0.97	4.80	4.65	4.60	4.40	0.20	0.22	8.33	1.09
ค่าเฉลี่ย		0.95	4.87	4.65	4.27	4.20	0.20	0.23	13.51	1.16
ชะนีขาว	n = 1	0.75	4.45	4.10	3.40	3.30	0.17	0.23	19.51	1.24
15%w/v	n = 2	0.77	4.60	4.45	4.40	4.10	0.17	0.19	10.86	1.12
	n = 3	0.80	4.75	4.60	4.50	4.30	0.17	0.19	9.46	1.10
ค่าเฉลี่ย		0.77	4.60	4.38	4.10	3.90	0.17	0.20	13.28	1.16

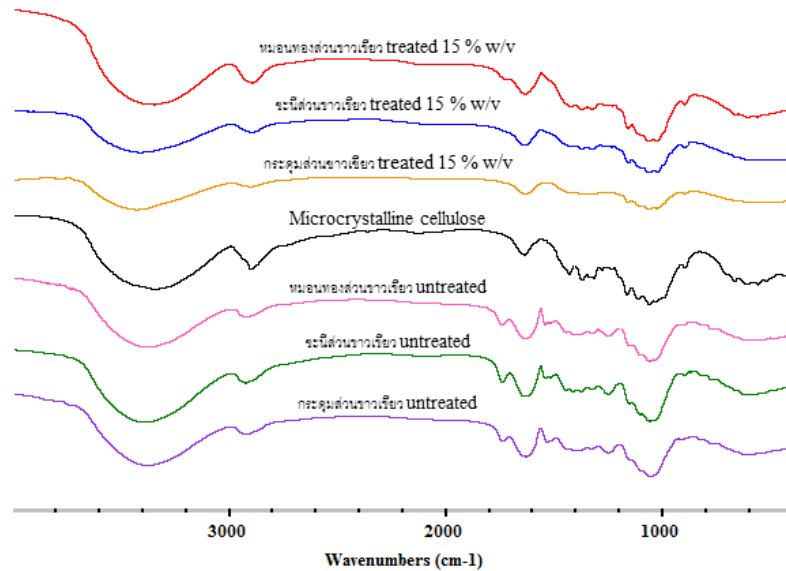
ชะนิขาว 17.5%w/v	n = 1	0.63	3.10	3.00	2.60	2.60	0.20	0.24	16.13	1.19
	n = 2	0.65	3.60	3.40	3.10	3.10	0.18	0.21	13.89	1.16
	n = 3	0.70	4.10	3.70	3.50	3.50	0.17	0.20	14.63	1.17
ค่าเฉลี่ย		0.66	3.60	3.37	3.07	3.07	0.18	0.22	14.88	1.18
ชะนิขาว 20% W/V	n = 1	0.91	4.70	4.40	3.90	3.70	0.19	0.25	21.28	1.27
	n = 2	0.95	4.80	4.50	4.50	4.20	0.20	0.23	12.50	1.14
	n = 3	0.98	5.20	4.80	4.60	4.60	0.19	0.21	11.54	1.13
ค่าเฉลี่ย		0.95	4.90	4.57	4.33	4.17	0.19	0.23	13.32	1.18

ตารางที่ 12 แสดงผลการศึกษาความหนาแน่นของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสายพันธุ์กระดุมด้วย
เครื่อง tapped density tester

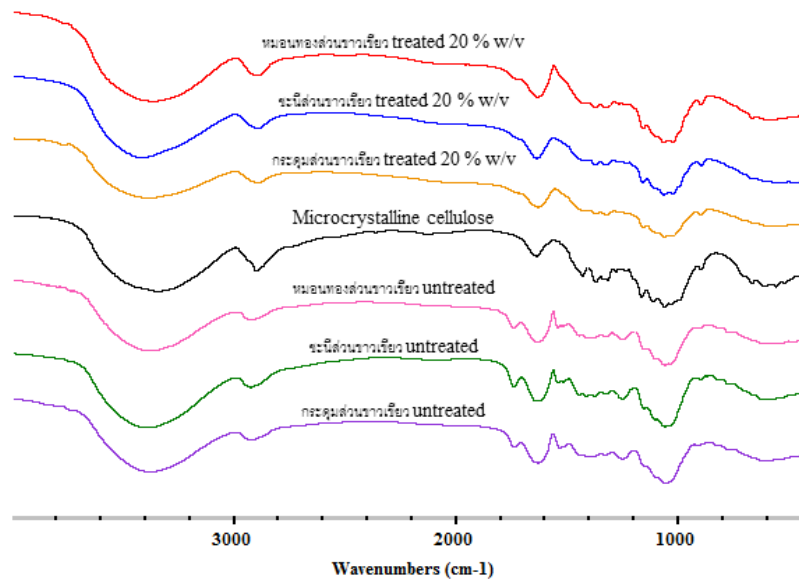
ตัวอย่าง		น้ำหนัก (กรัม)	V0 (mL)	V10 (mL)	V500 (mL)	V1250 (mL)	Bulk density (g/mL)	Tapped density (g/mL)	Compressibility Index (%)	Hausner Ratio
กระดุม	n = 1	0.92	3.66	3.60	3.26	3.20	0.25	0.29	12.57	1.14
ขาว-เขียว	n = 2	0.95	3.80	3.50	3.40	3.40	0.25	0.28	10.53	1.12
15% W/V	n = 3	0.98	4.00	3.70	3.60	3.60	0.25	0.27	10.00	1.11
ค่าเฉลี่ย		0.95	3.82	3.60	3.42	3.40	0.25	0.28	11.03	1.12
กระดุม	n = 1	0.93	3.22	3.02	2.78	2.62	0.29	0.35	18.63	1.23
ขาว-เขียว	n = 2	0.89	3.10	2.80	2.70	2.70	0.29	0.33	12.90	1.15
17.5%W/V	n = 3	0.93	3.30	2.90	2.80	2.80	0.28	0.33	15.15	1.18
ค่าเฉลี่ย		0.92	3.21	2.91	2.76	2.71	0.29	0.34	15.56	1.19
กระดุม	n = 1	0.99	3.48	3.30	3.10	2.92	0.29	0.34	16.09	1.19
ขาว-เขียว	n = 2	0.89	3.40	3.00	2.80	2.80	0.26	0.32	17.65	1.21
20% W/V	n = 3	0.92	3.40	3.20	3.20	3.00	0.27	0.31	11.76	1.13
ค่าเฉลี่ย		0.93	3.43	3.17	3.03	2.91	0.27	0.32	15.17	1.18

กระดุม	n = 1	0.90	2.82	2.68	2.38	2.30	0.32	0.39	18.44	1.23
ขาว 15%	n = 2	0.96	3.30	3.20	2.80	2.70	0.29	0.35	18.18	1.22
W/V	n = 3	0.89	2.80	2.60	2.40	2.40	0.32	0.37	14.29	1.17
ค่าเฉลี่ย		0.91	2.97	2.83	2.53	2.47	0.31	0.37	16.97	1.20
กระดุม	n = 1	0.94	3.20	3.00	2.65	2.62	0.29	0.36	18.13	1.22
ขาว	n = 2	0.99	3.90	3.60	3.40	3.30	0.25	0.30	15.38	1.18
17.5%W/V	n = 3	0.91	2.80	2.78	2.70	2.70	0.32	0.34	3.57	1.04
ค่าเฉลี่ย		0.95	3.30	3.13	2.29	2.87	0.29	0.33	10.54	1.15
กระดุม	n = 1	1.08	3.44	3.42	3.20	3.04	0.31	0.36	11.63	1.13
ขาว 20%	n = 2	9.88	3.40	3.22	3.10	3.00	0.29	0.33	11.76	1.33
W/V	n = 3	9.12	2.82	2.80	2.70	2.70	0.32	0.34	4.26	1.04
ค่าเฉลี่ย		0.99	3.22	3.15	3.00	2.91	0.31	0.34	9.22	1.10

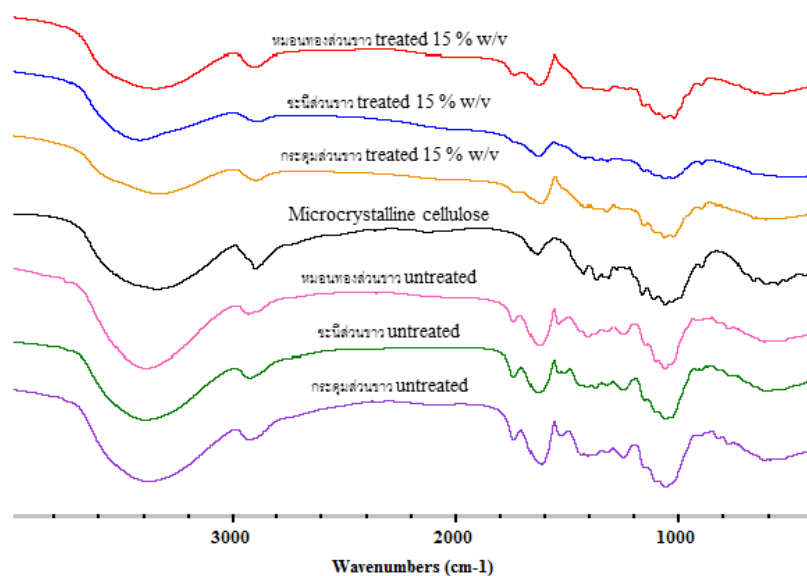
3. ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนโดยเครื่อง fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)



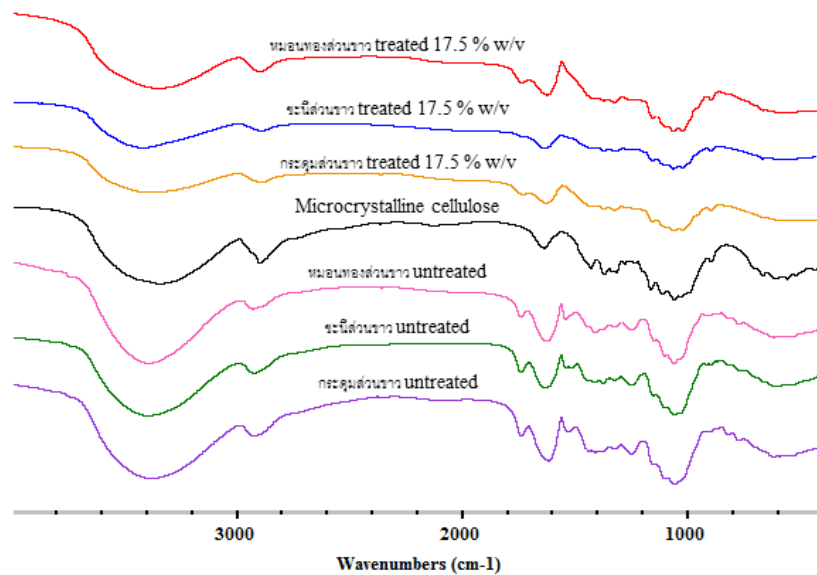
รูปที่ 1 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ส่วนขาวเขียว ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15



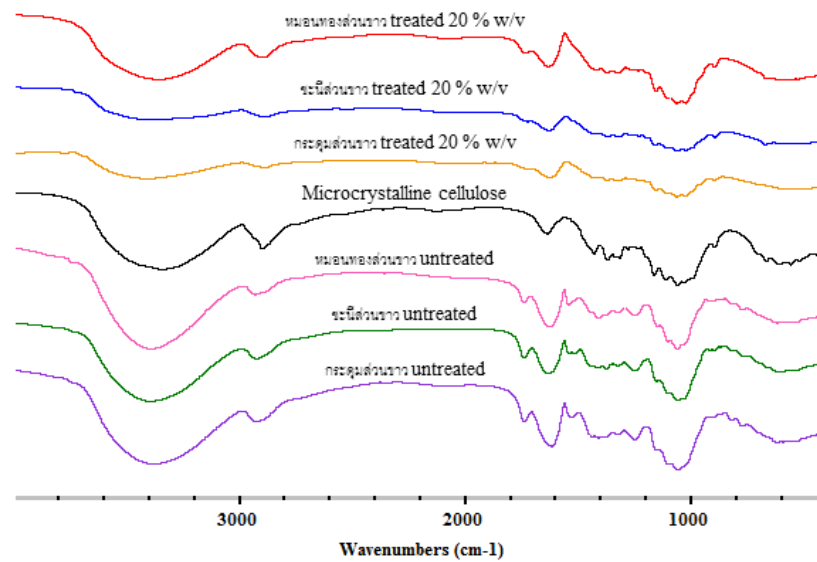
รูปที่ 2 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ส่วนขาวเขียว ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20



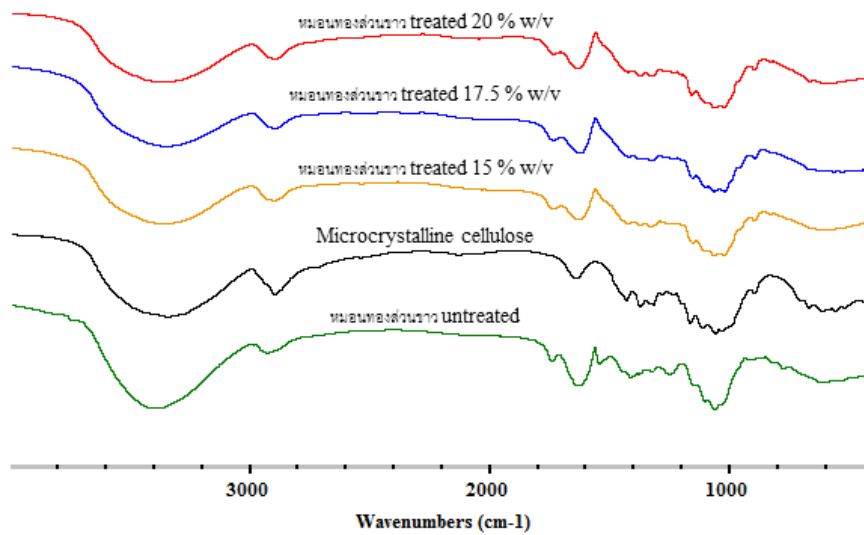
รูปที่ 3 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ส่วนขาว ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15



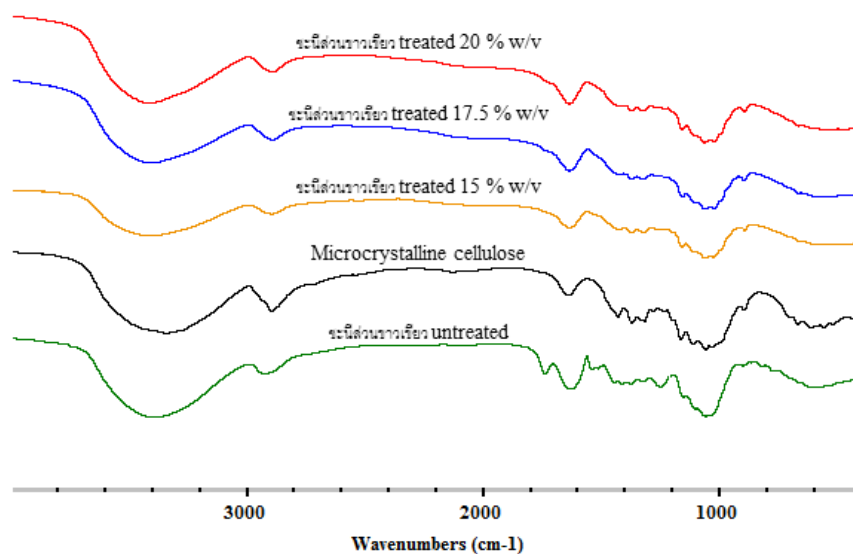
รูปที่ 4 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ส่วนขาว ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5



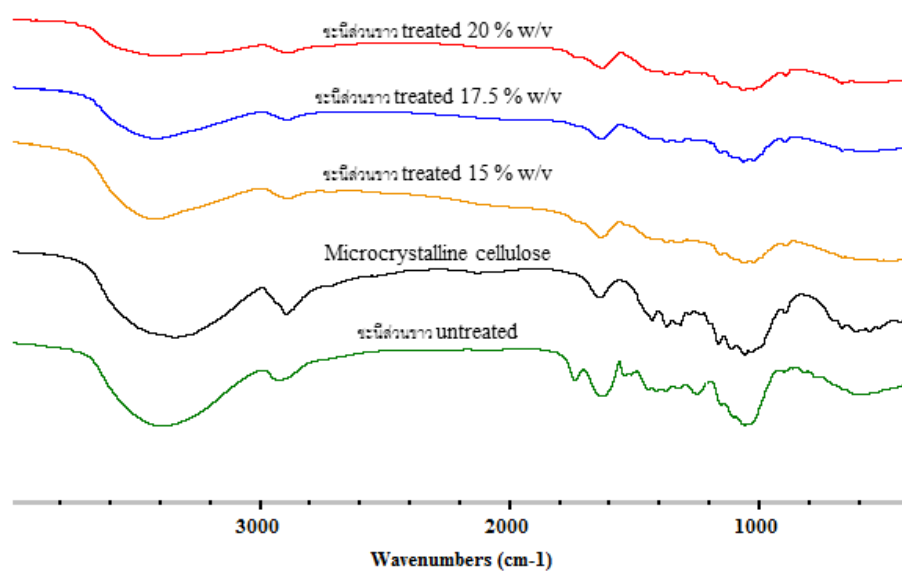
รูปที่ 5 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ส่วนขาว ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20



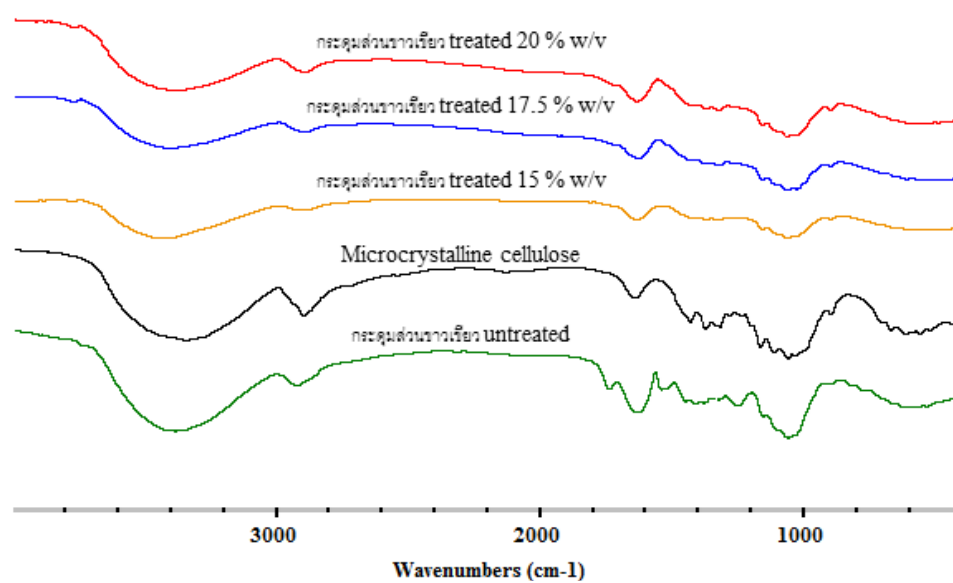
รูปที่ 6 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองส่วนขาว



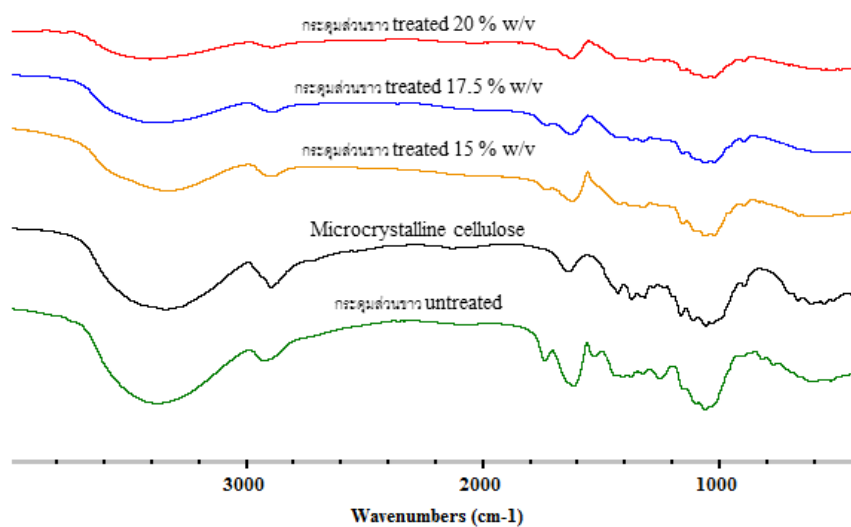
รูปที่ 7 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์ชะนีส่วนขาวเขียว



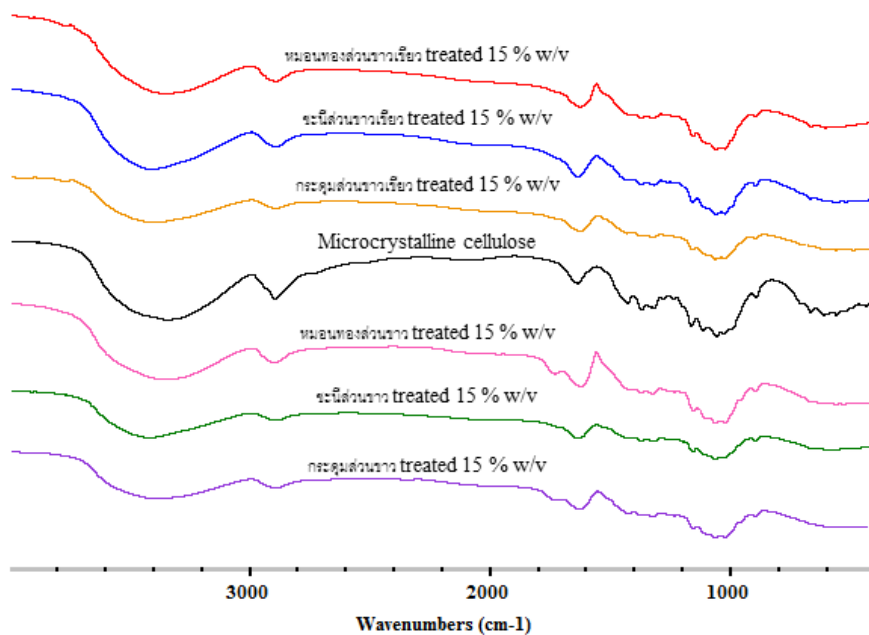
รูปที่ 8 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์ชะนีส่วนขาว



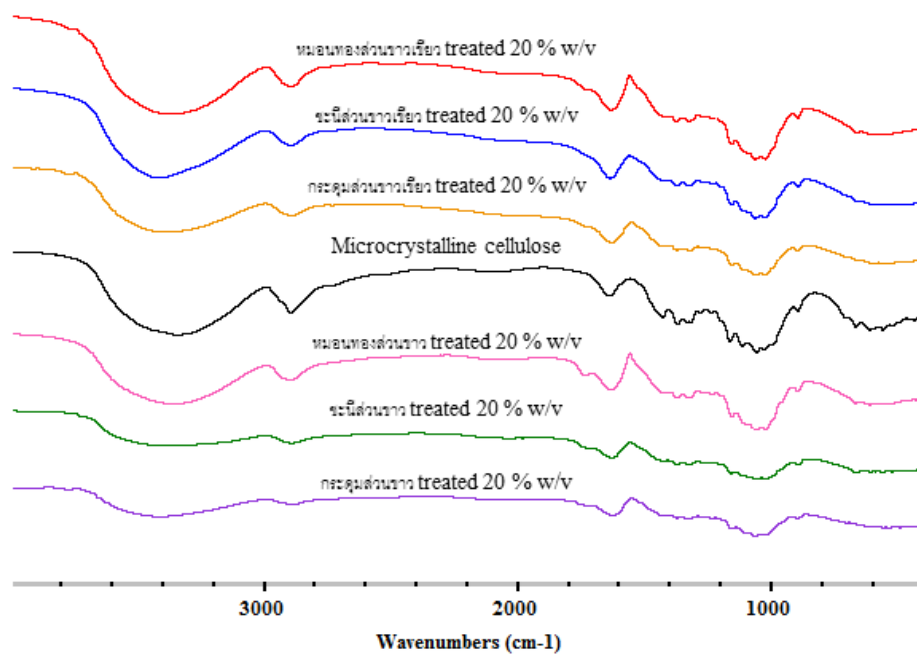
รูปที่ 9 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์กระดุมส่วนขาวเหี่ยว



รูปที่ 10 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนพันธุ์กระดุมส่วนขาว



รูปที่ 11 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 15



รูปที่ 12 สเปกตรัมของ FTIR ของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามสายพันธุ์ ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 20

4. การตรวจสอบมวลโมเลกุล (M_v) ด้วย viscometry

ตารางที่ 13 แสดงผล $\ln$ ความหนืดสัมพัทธ์ ต่อความ ต่อความเข้มข้น 0.4, 0.5 และ 0.6 เซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนในแต่ละสายพันธุ์

ตัวอย่าง		$\ln$ ความหนืดสัมพัทธ์/ ความเข้มข้น 0.4	$\ln$ ความหนืดสัมพัทธ์/ ความเข้มข้น 0.5	$\ln$ ความหนืดสัมพัทธ์/ ความเข้มข้น 0.6
หมอนทองขาว	n=1	2.52	2.34	2.08
	n=2	2.50	2.35	2.06
	n=3	2.51	2.35	2.07
หมอนทองขาวเขียว	n=1	2.64	2.36	2.11
	n=2	2.48	2.36	2.09
	n=3	2.50	2.36	2.10
ชะนีขาว	n=1	2.91	2.57	2.29
	n=2	2.88	2.57	2.27
	n=3	2.89	2.56	2.28
ชะนีขาวเขียว	n=1	2.16	1.76	1.62
	n=2	2.13	1.74	1.64
	n=3	2.12	1.72	1.65
กระดุมขาว	n=1	2.39	2.31	2.07
	n=2	2.36	2.22	2.06
	n=3	2.32	2.25	2.02
กระดุมขาวเขียว	n=1	2.63	2.33	1.98
	n=2	2.54	2.25	2.11
	n=3	2.52	2.24	2.08

ตารางที่ 14 แสดงผล $\eta_{\text{intrinsic}}$ และมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตรเซลลูโลสของเปลือกทุเรียน

ตัวอย่าง		intrinsic viscosity(η)	มวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตร (Mv) (g/mol)
หมอนทองขาว	n = 1	3.43	67,496.21
	n = 2	3.44	67,692.99
	n = 3	3.44	67,692.99
หมอนทอง	n = 1	3.72	73,202.88
ขาวเขียว	n = 2	3.34	65,725.17
	n = 3	3.38	66,512.30
ชะนีขาว	n = 1	4.22	83,041.98
	n = 2	4.18	82,254.85
	n = 3	4.18	82,254.85
ชะนีขาวเขียว	n = 1	3.20	62,970.22
	n = 2	3.06	60,215.27
	n = 3	3.01	59,231.37
กระดุมขาว	n = 1	3.09	60,805.62
	n = 2	3.00	59,034.58
	n = 3	2.98	58,641.02
กระดุมขาว เขียว	n = 1	3.91	76,941.74
	n = 2	3.31	65,134.82
	n = 3	3.32	65,331.61

ตัวอย่างวิธีการคำนวณมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยปริมาตร (M_v)

ทุเรียนพันธุ์หมอนทองส่วนขาวความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 17.5 (ครั้งที่ 1)

จาก $\eta_{rel} = T / T_0$; $T = 51.33$ วินาที และ $T_0 = 18.27$ วินาที

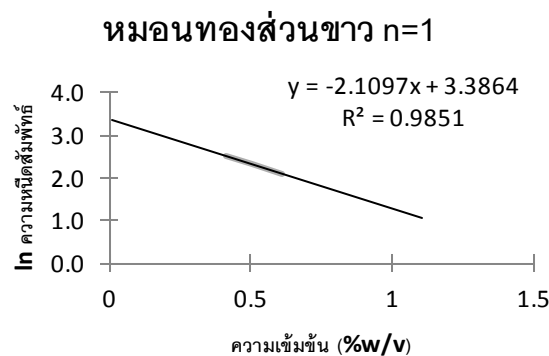
จะได้ $\eta_{rel} = 51.33/18.27 = 2.809$

จากสมการของ Kramer equation

$$\ln \eta_{rel}/C = \eta + k''(\eta)^2 C \quad ; C = \text{ความเข้มข้นต่างๆ}$$

$k'' = \text{Kramer coefficient}$

นำไปสร้างเส้นตรงได้ $\ln(2.809)/0.4 = 2.809 + k''(2.809)^2(0.4)$ ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงกราฟเส้นตรงของทุเรียนพันธุ์หมอนทองส่วนขาว ($n = 1$)

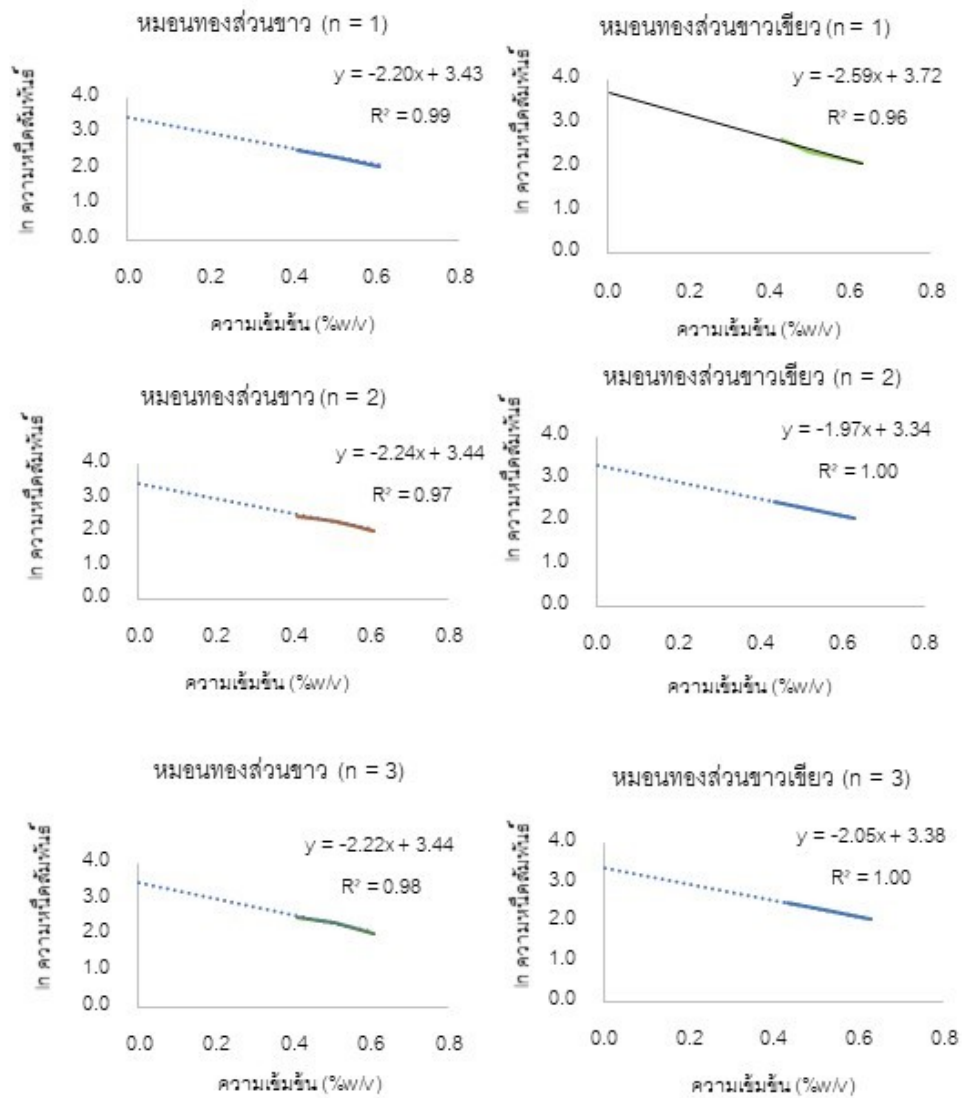
จากกราฟเส้นตรงสามารถหาสมการเส้นตรง คือ $y = -2.1097x + 3.3864$

เพราะฉะนั้นจุดตัดแกน y เท่ากับ 3.3864 ซึ่งแสดงถึง $\eta_{intrinsic}$

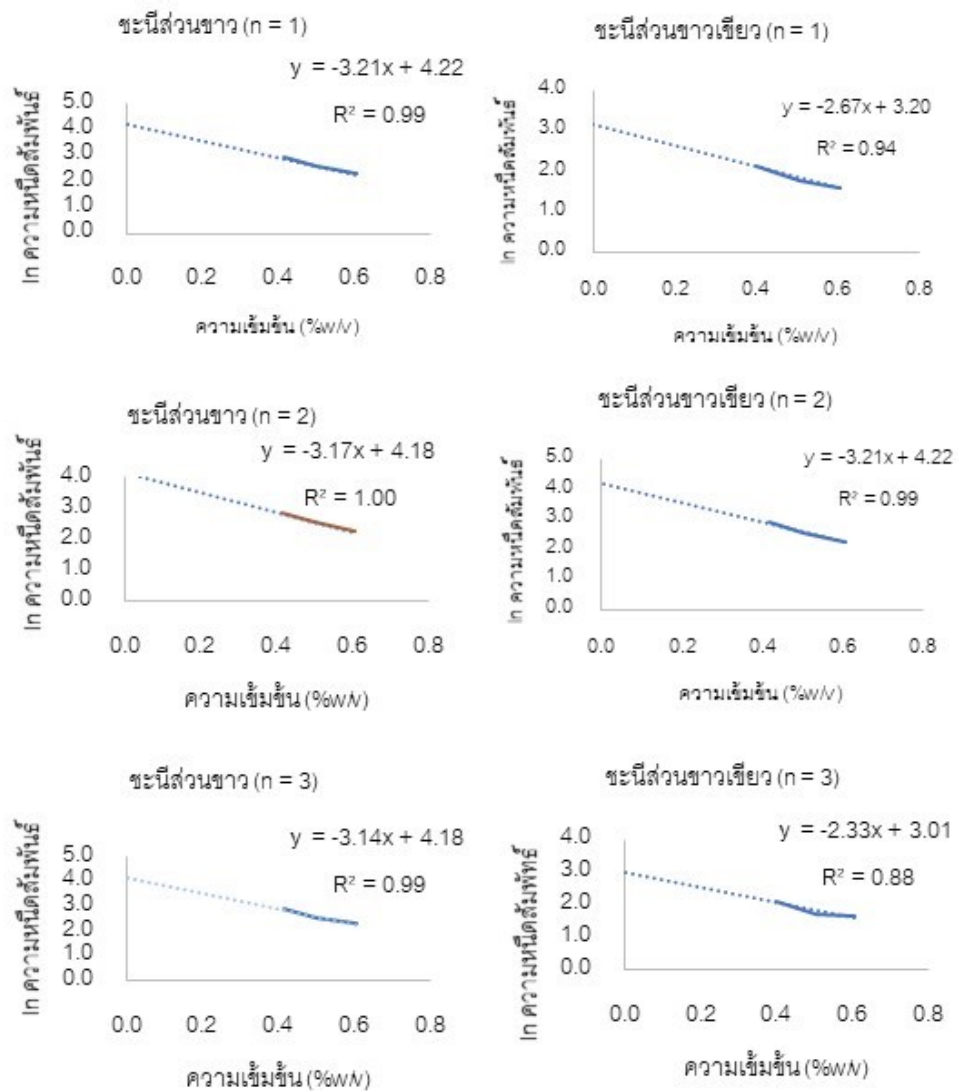
หา M_v จาก $\ln(\eta_{intrinsic}) = \ln k + a \ln [M_v]$; ค่า $k = 1.33 \times 10^{-4}$ $a = 0.905$

$$\ln(3.3864) = \ln(1.33 \times 10^{-4}) + (0.905)\ln [M_v]$$

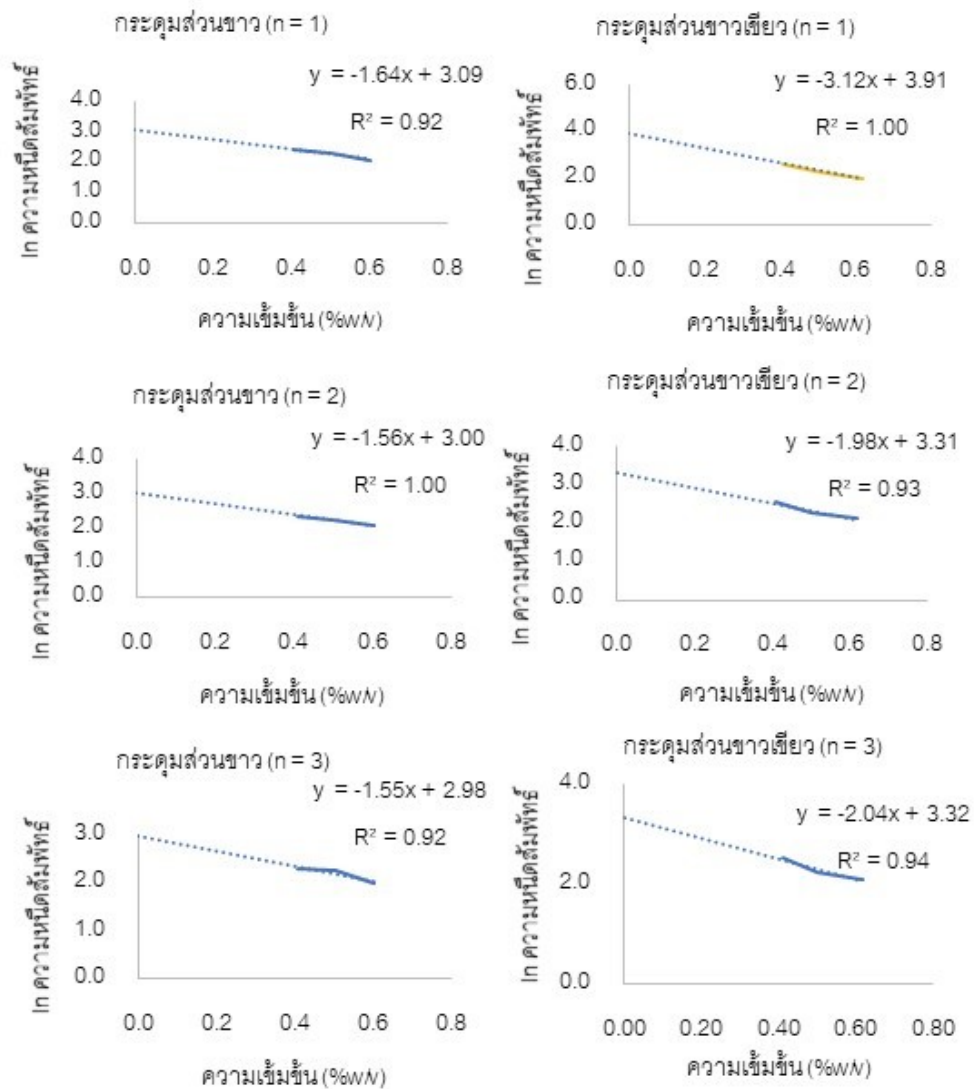
$$M_v = 70,489$$



รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายและ ln ความหนืดสัมพัทธ์ต่อความเข้มข้น 0.4, 0.5, 0.6 ในทุเรียนพันธุ์หอมทอง (อย่าให้ข้ามหน้า)



รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายและ $\ln$ ความหนืดสัมพัทธ์
ต่อความเข้มข้น 0.4, 0.5, 0.6 ในสายพันธุ์ซะนีส่ว(อย่าให้ข้ามหน้า)



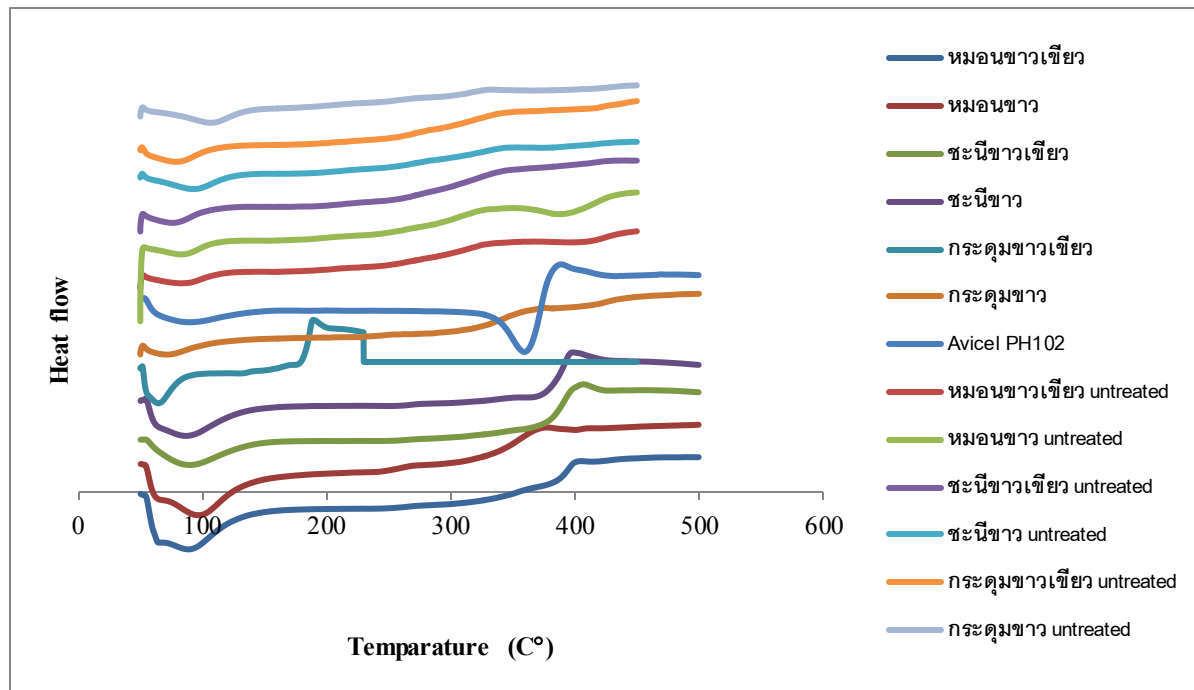
รูปที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายและ $\ln$ ความหนืดสัมพัทธ์
 ต่อความเข้มข้น 0.4, 0.5, 0.6 ในสายพันธุ์กระตุ่ม

6. การวิเคราะห์เซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนด้วยเครื่อง powder x-ray diffractometer (PXRD)

ตารางที่ 15 แสดงค่า Crystalline index (อย่าให้ข้ามหน้า)

ตัวอย่าง	Intensity ที่ 18°	Peak intensity (X°)	Crystalline index
หมอนทองขาวเขียว	343	670 (22.2°)	52.66
หมอนทองขาว	314	631 (21.96°)	59.91
ชะนีขาวเขียว	310	688 (22°)	61.48
ชะนีขาว	280	646 (22.44°)	63.78
กระดุมขาวเขียว	329	738 (22.36°)	62.06
กระดุมขาว	333	638 (22.24°)	54.86
Microcrystalline cellulose	282	1191 (22.5°)	81.78
หมอนทองขาวเขียว untreated	257	344 (21.72°)	42.44
หมอนทองขาว untreated	249	329 (21.44°)	43.16
ชะนีขาวเขียว untreated	269	361 (22.18°)	43.21
ชะนีขาว untreated	238	361 (21.7°)	51.80
กระดุมขาวเขียว untreated	280	375 (21.78°)	44.53

7. ศึกษาพหุสัณฐานของเซลลูโลสและอุณหภูมิที่สลายตัวของเซลลูโลสโดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) (อย่าให้ข้ามหน้า)



รูปที่ 17 แสดงผลการทดสอบโดยใช้เครื่อง differential scanning calorimetry (DSC) pan solid