

การปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลังด้วย
เพคติน, ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย

MODIFICATION OF THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH
BY PECTIN, CHITOSAN AND COTTON FIBERS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-SC-M-014-012

การปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาρχจากแป้งมันสำปะหลังด้วย
เพกติน, ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย

**MODIFICATION OF THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH
BY PECTIN, CHITOSAN AND COTTON FIBERS**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2556

KMITL-2013-SC-M-014-012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MODIFICATION OF THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH
BY PECTIN, CHITOSAN AND COTTON FIBERS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013
KMITL-2013-SC-M-014-012**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาarchจากแป้งมันสำปะหลังด้วยเพคติน
ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย
Modification of Thermoplastic Cassava Starch by Pectin,
Chitosan and Cotton Fibers

นักศึกษา

นางสาวรารวรรณ พัฒนสิน

รหัสประจำตัว

53651018

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีพอลิเมอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ	
รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์	
ผศ.ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์	
รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 25 เมษายน พ.ศ. 2556 เวลา 9.00 - 12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 502 ชั้น 5 อาคารจุฬาภรณ์วิทยาลัยฯ 1

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศษณี ธนะบริพัฒน์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ 14 เดือน พค พ.ศ. 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลังด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย
นักศึกษา	นางสาวรรรณ พัฒนสิน
รหัสประจำตัว	53651018
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตา์ช (Thermoplastic starch, TPS) โดยการใช้แป้งมันสำปะหลังมาเป็นส่วนผสมหลัก ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในอัตราส่วนผสมแป้งกับกลีเซอรอลเป็น 65 : 35 สมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ในปริมาณต่างๆ นอกจากนี้ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย, ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย และเพคตินผสมไคโตซานและเส้นใยฝ้าย การผสมแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลทำด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) แล้วนำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) จากการศึกษาหุ้มฟังก์ชันพบฟิล์มเกิดขึ้นที่ตำแหน่งประมาณ 1720 cm^{-1} และ 1550 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการใส่เพคติน และไคโตซานเข้าไปในเมทริกซ์ของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชตามลำดับ จากการศึกษาสมบัติการดูดน้ำพบว่าเทอร์โมพลาสติกที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ดูดซับน้ำได้น้อยที่สุด จากการศึกษาสัณฐานวิทยา (SEM) พบว่าเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย สามารถกระจายตัวและเข้ากันได้ดีกับเทอร์โมพลาสติกสตา์ช นอกจากนี้เทอร์โมพลาสติกสตา์ชที่ปรับปรุงเพคตินและเส้นใยฝ้าย ให้ค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดูลัสสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกสูตร ส่วนเสถียรภาพทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชเพิ่มขึ้น ในทุกๆ ตัวอย่างของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชที่มีการปรับปรุง สุดท้ายการย่อยสลายโดยการฝังดินพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตา์ชที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย สามารถย่อยสลายได้เร็วที่สุด

Thesis Title	Modification of thermoplastic cassava starch by pectin, chitosan and cotton fibers
Student	Miss. Worawan Pattanasin
Student ID	53651018
Degree	Master of Science
Program	Polymer Technology
Year	2013
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Jutarat Prachayawarakorn

Abstract

This research studied on properties of thermoplastic starch (TPS) prepared from cassava starch using glycerol as a plasticizer at the ratio of starch : glycerol; 65:35. Properties of the TPS were modified by different contents of pectin, chitosan and cotton fibers, In addition, the combinations of pectin and cotton fibers; chitosan and cotton fibers; and pectin, chitosan and cotton fibers were also studied. Cassava starch and glycerol were mixed using an internal mixer and, then, shaped by a compression molding machine. It was found from FT-IR spectra that the new addition wavenumbers of 1720 cm^{-1} and 1550 cm^{-1} were observed by the incorporation of pectin and chitosan into the TPS matrix, respectively. The lowest water absorption was found in the TPS modified by both chitosan and cotton fibers. For morphology, obtained from Scanning Electron Microscope (SEM), the results illustrated that pectin, chitosan or cotton fibers were well distributed and compatible with the TPS matrix. The highest maximum load, stress at maximum load and Young's modulus were obtained by the TPS modified by both pectin and cotton fibers. Moreover, thermal stability of the TPS was also improved in all of the modified TPS. Finally, the quickest degradation was found in the TPS modified by both pectin and cotton fibers.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยนี้ที่
กรุณาให้คำปรึกษาและข้อแนะนำต่างๆ เกี่ยวกับโครงการวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ภัทราวุธ มนต์วิเศษ รศ.ดร. มาลินี ชัยสุภกิจสินธ์
และ ผศ.ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบโครงการวิจัยโดยช่วยกรุณา
ตรวจทาน และแก้ไขโครงการวิจัยฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และ คุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงาน
ทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือ รวมถึงให้
คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ ตลอดจนการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ ที่ศูนย์บริการเครื่องมือ อาคารจุฬารัตน์วลัยลักษณ์ 2 คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้
ความช่วยเหลือและสอนเทคนิคต่างๆ เกี่ยวกับเครื่องมือ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิคา มารดา และบุคคลท่านอื่นๆ ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ซึ่ง
ผู้จัดทำมิได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

วรวรรณ พัฒนสิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย	I
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	X
สารบัญรูปภาพ	XII
สารบัญคำย่อ	XVI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 พลาสติกย่อยสลายได้	4
2.1.1 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	6
2.1.2 ประเภทของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยทางชีวภาพ	6
2.1.2.1 พลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน	8
2.1.2.2 สมบัติของพอลิเมอร์	9
2.1.2.3 การย่อยสลายทางชีวภาพ	10
2.1.2.4 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์	12
2.1.2.5 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด	12
2.1.2.6 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน	12
2.1.2.7 การทดสอบโดยการฝังดิน	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 แป้ง	13
2.2.1 องค์ประกอบภายในแป้ง	13
2.2.2 โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง	17
2.2.3 สมบัติของแป้ง	20
2.2.3.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย	20
2.2.3.2 การเกิดเจลาทีโนเซชัน	20
2.2.3.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน	21
2.3 มันสำปะหลัง	23
2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมันสำปะหลัง	23
2.3.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง	24
2.3.3 กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	24
2.3.4 การนำแป้งมาทำเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช	24
2.4 พลาสติกไซเซออร์	25
2.5 เพคติน	27
2.5.1 แหล่งที่มาของเพคติน	27
2.5.2 โครงสร้างของเพคติน	28
2.5.3 สมบัติของเพคติน	28
2.5.4 ประโยชน์ของเพคติน	29
2.6 ไลโคซาน	29
2.6.1 ลักษณะทั่วไปของไคตินและไลโคซาน	29
2.6.2 การผลิตไคตินและไลโคซาน	30
2.6.3 สมบัติของไลโคซาน	32
2.6.4 การใช้ประโยชน์จากไลโคซาน	33
2.7 เส้นใยฝ้าย	33
2.7.1 องค์ประกอบทางเคมี	34
2.7.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี	35
2.8 การขึ้นรูปโดยการกดอัด	36
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	42
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	42
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	44
3.3 วิธีการทดลอง	45
ตอนที่ 1 การศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับ กลีเซอรอล	45
ตอนที่ 2 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง	45
ตอนที่ 3 การขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง	46
ตอนที่ 4 การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้ง มันสำปะหลังด้วยเพคติน และ เส้นใยฝ้าย	46
ตอนที่ 5 การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้ง มันสำปะหลังด้วยไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย	48
ตอนที่ 6 การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้ง มันสำปะหลังด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย	49
3.4 วิธีการทดสอบ	50
3.4.1 การทดสอบการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน	50
3.4.2 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	50
3.4.3 การวัดสี	50
3.4.4 การดูความชื้น	51
3.4.5 การทดสอบสัณฐานวิทยา	51
3.4.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล	51
3.4.7 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	52
3.4.8 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน	53
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	54
4.1 การศึกษาการเตรียมและการขึ้นรูป	54
4.2 การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วย เพคตินและเส้นใยฝ้าย	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FT-IR	55
4.2.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	59
4.2.3 การวัดสี	62
4.2.4 การดูดความชื้น	63
4.2.5 สัณฐานวิทยา	65
4.2.6 สมบัติเชิงกล	67
4.2.6.1 สมบัติเชิงกลเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย เพคติน	67
4.2.6.2 สมบัติเชิงกลเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย เพคตินและเส้นใยฝ้าย	69
4.2.7 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	71
4.2.8 การย่อยสลายโดยการฝังดิน	72
4.2.8.1 การศึกษาการย่อยสลายจากกล้องดิจิทัล	72
4.2.8.2 การศึกษาการย่อยสลายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด	73
4.3 การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุง ด้วยไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย	80
4.3.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FT-IR	80
4.3.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	82
4.3.3 การวัดสี	84
4.3.4 การดูดความชื้น	85
4.3.5 สัณฐานวิทยา	87
4.3.6 สมบัติเชิงกล	89
4.3.6.1 สมบัติเชิงกลเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุง สมบัติด้วยไคโตซาน	89
4.3.6.2 สมบัติเชิงกลเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุง สมบัติด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย	91

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.7 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	93
4.3.8 การย่อยสลายโดยการฝังดิน	96
4.3.8.1 การศึกษาการย่อยสลายจากกล้องดิจิตอล	96
4.3.8.2 การศึกษาการย่อยสลายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด	97
4.4 การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุง ด้วยเพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย	105
4.4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FT-IR	105
4.4.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	107
4.4.3 การวัดสี	108
4.4.4 การดูความชื้น	110
4.4.5 สัณฐานวิทยา	112
4.4.6 สมบัติเชิงกล	114
4.4.7 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	116
4.4.8 การย่อยสลายโดยการฝังดิน	118
4.4.8.1 การศึกษาการย่อยสลายจากกล้องดิจิตอล	118
4.4.8.2 การศึกษาการย่อยสลายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด	119
4.5 การเปรียบเทียบผลของเทอร์โมพลาสติกที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุง ด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย, ไคโตซานและเส้นใยฝ้ายและเพคตินผสม ไคโตซานและเส้นใยฝ้ายที่มีต่อสมบัติต่างๆ	125
4.5.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FT-IR	125
4.5.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	126
4.5.3 การวัดสี	127
4.5.4 การดูความชื้น	128
4.5.5 สัณฐานวิทยา	130
4.5.6 สมบัติเชิงกล	132
4.5.7 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	133

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.8 การย่อยสลายโดยการฝังดิน	134
4.4.8.1 การศึกษาการย่อยสลายจากกล้องจุลทรรศน์	135
4.4.8.2 การศึกษาการย่อยสลายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	136
แบบส่องกราด	
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	139
เอกสารอ้างอิง	141
ภาคผนวก	146



สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ประเภทของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพ	7
ตารางที่ 2.2	ประเภทพลาสติกที่มีเป็งเป็นองค์ประกอบ	8
ตารางที่ 2.3	สมบัติของพอลิเมอร์ที่มีเป็งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่ผลิตเพื่อการค้า	10
ตารางที่ 2.4	การนำพลาสติกที่มีเป็งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานไปใช้ประโยชน์	11
ตารางที่ 2.5	สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน	14
ตารางที่ 2.6	สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลส	15
ตารางที่ 2.7	สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกทิน	16
ตารางที่ 2.8	อัตราการกินตัวของเป็งแต่ละชนิด	23
ตารางที่ 2.9	องค์ประกอบทางเคมีของเป็งมันสำปะหลังโดยทั่วไป	23
ตารางที่ 2.10	สมบัติทางกายภาพและเคมี	26
ตารางที่ 2.11	ปริมาณเพคตินในผลไม้ชนิดต่าง ๆ	27
ตารางที่ 2.12	สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคโตซาน	32
ตารางที่ 2.13	การใช้ประโยชน์จากไคโตซาน	33
ตารางที่ 2.14	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้าย	34
ตารางที่ 2.15	สมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยฝ้าย	35
ตารางที่ 3.1	องค์ประกอบทางเคมีของเป็งมันสำปะหลังโดยทั่วไป	42
ตารางที่ 3.2	องค์ประกอบของเพคติน	42
ตารางที่ 3.3	องค์ประกอบของไคโตซาน	43
ตารางที่ 3.4	สมบัติของเส้นใยฝ้าย	43
ตารางที่ 3.5	มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช	50
ตารางที่ 4.1	ลักษณะของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัด	54
ตารางที่ 4.2	หมู่ฟังก์ชันที่เหมือนกันของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแต่ละตัวอย่าง	55
ตารางที่ 4.3	ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย	61
ตารางที่ 4.4	อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย	71

สารบัญตาราง(ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.5	ลักษณะชิ้นงานของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย เนื่องจากการฝังดิน	78
ตารางที่ 4.6	ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย	84
ตารางที่ 4.7	อุณหภูมิการสลายตัว (°C) ของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานที่ปริมาณ 0 6 และ 10 % และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก	95
ตารางที่ 4.8	ลักษณะชิ้นงานของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย เนื่องจากการฝังดิน	103
ตารางที่ 4.9	ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย	109
ตารางที่ 4.10	อุณหภูมิการสลายตัว (°C) ของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก	116
ตารางที่ 4.11	ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์จากแป้งมันสำปะหลัง ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย เพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และ เพคตินผสมไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก	127
ตารางที่ 4.12	อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์	133

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	แผนภาพแสดงการย่อยสลายของพลาสติกในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ	6
รูปที่ 2.2	วัฏจักรของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้	11
รูปที่ 2.3	โครงสร้างทางเคมีของแป้ง	14
รูปที่ 2.4	โครงสร้างของอะมิโลส	14
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน	16
รูปที่ 2.6	ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งชนิดต่าง ๆ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ ธรรมดา (กำลังขยาย 40 เท่า)	18
รูปที่ 2.7	ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งชนิดต่าง ๆ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบอิเล็กตรอนที่กำลังขยาย (ก) - (จ) 1,000 เท่า และ (ฉ) 3,000 เท่า	19
รูปที่ 2.8	การเกิดรีโตรีเคชัน	22
รูปที่ 2.9	กลไกการคืนตัวของแป้ง	22
รูปที่ 2.10	โครงสร้างของเพคติน	28
รูปที่ 2.11	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคตินและไคโตซาน	31
รูปที่ 2.12	IR spectra ของไคโตซาน	31
รูปที่ 2.13	โครงสร้างซ้ำของ poly (1,4- β -D-anhydroglucopyranose)	34
รูปที่ 2.14	เครื่อง Compress molding	36
รูปที่ 3.1	แผนผังการปรับปรุงสมบัติเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งสำปะหลังด้วย เพคติน และเส้นใยฝ้าย	47
รูปที่ 3.2	แผนผังการปรับปรุงสมบัติเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแป้งมันสำปะหลังด้วย ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย	48
รูปที่ 3.3	แผนผังปรับปรุงสมบัติเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังด้วย ไคโตซานและเพคติน	49
รูปที่ 3.4	ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ	52
รูปที่ 4.1	อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน	56

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.2	อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย	57
รูปที่ 4.3	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างแป้งมันสำปะหลัง เพคตินและเส้นใยฝ้าย	58
รูปที่ 4.4	ดิฟเฟรกโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช	59
รูปที่ 4.5	ดิฟเฟรกโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย	60
รูปที่ 4.6	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ความชื้นสัมพัทธ์ (ก) 50% และ (ข) 100%	63
รูปที่ 4.7	สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 100 เท่า 300 เท่า	64
รูปที่ 4.8	สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีปรับปรุงด้วยเพคติน	67
รูปที่ 4.9	สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย	69
รูปที่ 4.10	เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ	70
รูปที่ 4.11	การย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ได้จากภาพกล้องจุลทรรศน์	72
รูปที่ 4.12	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วย เพคติน (TPS)	73
รูปที่ 4.13	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน (TPSP6)	74
รูปที่ 4.14	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน (TPSP10)	75
รูปที่ 4.15	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย (TPSF5)	76
รูปที่ 4.16	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน และเส้นใยฝ้าย (TPSP10F5)	77

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.17	อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์จากแป้งมันสำปะหลัง ได้ปรับปรุงสมบัติ ด้วยโคโคซานในปริมาณต่างๆ	80
รูปที่ 4.18	อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์จากแป้งมันสำปะหลัง ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยโคโคซานและเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ	81
รูปที่ 4.19	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างแป้งมันสำปะหลัง โคโคซาน และเส้นใยฝ้าย	82
รูปที่ 4.20	ดิฟเฟร็กโตแกรมของโคโคซาน	82
รูปที่ 4.21	ดิฟเฟร็กโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย โคโคซานและเส้นใยฝ้าย	83
รูปที่ 4.22	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ (ก) 50% และ (ข) 100%	86
รูปที่ 4.23	สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์ ที่ปรับปรุง สมบัติด้วยโคโคซานและเส้นใยฝ้าย	88
รูปที่ 4.24	สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์ด้วยโคโคซาน	90
รูปที่ 4.25	สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์ด้วยโคโคซานและเส้นใยฝ้าย	92
รูปที่ 4.26	เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุง ด้วยโคโคซานและ เส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ	94
รูปที่ 4.27	การย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์ที่ได้จากภาพกล้องจุลทรรศน์	96
รูปที่ 4.28	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ ไม่ได้ปรับปรุงด้วยโคโคซาน (TPS)	98
รูปที่ 4.29	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ ปรับปรุงด้วยโคโคซาน (TPSC6)	99
รูปที่ 4.30	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ ปรับปรุงด้วยโคโคซาน (TPSC10)	100
รูปที่ 4.31	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย (TPSF5)	101

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.32	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย (TPSC10F5)	102
รูปที่ 4.33	อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังได้ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินและไคโตซาน	105
รูปที่ 4.34	อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังได้ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย	106
รูปที่ 4.35	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างแป้งมันสำปะหลังเพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย	107
รูปที่ 4.36	ดิฟเฟรคโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย	108
รูปที่ 4.37	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และ (ข) 100%	111
รูปที่ 4.38	สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน ไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย	112
รูปที่ 4.39	สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย	115
รูปที่ 4.40	เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย	117
รูปที่ 4.41	การย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ได้จากภาพกล้องจุลทรรศน์	119
รูปที่ 4.42	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย (TPS)	120
รูปที่ 4.43	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 (TPSP5C5)	121

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.44	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย (TPSF5)	122
รูปที่ 4.45	สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซาน ในอัตราส่วน1:1 และเส้นใยฝ้าย (TPSP5C5F5)	123
รูปที่ 4.46	เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังของทุกสูตร	125
รูปที่ 4.47	เปรียบเทียบดิฟแฟรคโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังของทุกสูตร	127
รูปที่ 4.48	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ความชื้นสัมพัทธ์ (ก) 50% และ (ข) 100% ของทุกสูตร	129
รูปที่ 4.49	เปรียบเทียบสัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลของทุกสูตร	130
รูปที่ 4.50	เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังของทุกสูตร	132
รูปที่ 4.51	เปรียบเทียบเทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลของทุกสูตร	134
รูปที่ 4.52	เปรียบเทียบการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ได้จากภาพกล้องจุลทรรศน์ของทุกสูตร	135
รูปที่ 4.53	เปรียบเทียบสัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังของทุกสูตร	136

สารบัญย่อ

คำย่อ	ความหมาย
TPS	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุง
TPSF	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย
TPSP6	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 6 % โดยน้ำหนัก
TPSP10	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10 % โดยน้ำหนัก
TPSP10F5	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10 % โดยน้ำหนักและเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก
TPSC6	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน 6 % โดยน้ำหนัก
TPSC10	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน 10 % โดยน้ำหนัก
TPSC10F5	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน 10 % โดยน้ำหนักและเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก
TPSP5C5	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและ ไคโตซานในอัตราส่วน 1:1
TPSP5C5F5	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและ ไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ปัจจุบันปริมาณการใช้พลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากพลาสติกมีราคาถูก น้ำหนักเบา สามารถกันน้ำได้ดีและไม่เป็นสนิม ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆ ได้ง่ายกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น กระจก โลหะ และแก้ว ทำให้ปริมาณขยะซึ่งเกิดจากพลาสติกมีปริมาณเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัด จนเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีการคิดค้นและพัฒนาพลาสติกชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถย่อยสลายได้ เพื่อลดปัญหาการย่อยสลายยากของพลาสติกในปัจจุบัน

พลาสติกย่อยสลาย (Degradable plastic) คือ พลาสติกที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้เฉพาะ ก่อให้เกิดการสูญเสียสมบัติบางประการ ซึ่งสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าพลาสติกโดยทั่วไป เมื่อสัมผัสกับสภาพแวดล้อม

วัสดุธรรมชาติชนิดหนึ่งที่มีความนิยมนำมาทำพลาสติกย่อยสลายได้ คือ แป้ง (Starch) เนื่องจากแป้งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร หาได้ง่าย ราคาถูก และสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งเรียกพลาสติกที่ทำมาจากแป้งนี้ว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (TPS) และประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากที่สุดในโลก จากข้อมูลทางสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์พบว่า ในปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยผลิตแป้งมันสำปะหลังประมาณ 23.15 ล้านตัน [1] ประมาณครึ่งหนึ่งของแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้ใช้ในประเทศ และที่เหลือสำหรับส่งออก การใช้แป้งมันสำปะหลังที่มากที่สุด คือ การบริโภคในครัวเรือน

ข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch, TPS) คือ ขึ้นงานจากแป้งจะมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีนัก มีการดูดความชื้น และมีความว่องไวต่อน้ำมาก เนื่องจากภายในโครงสร้างโมเลกุลของ TPS นั้น มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมาก ทำให้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานจริง จึงต้องทำการปรับปรุงสมบัติเพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น การตัดแปรโครงสร้างทางเคมี การผสมทางกายภาพระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชกับพอลิเมอร์อื่นๆ และการผลิตวัสดุคอมโพสิต (Composite material) ที่มีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเป็นเมทริกซ์เพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับพอลิเมอร์อื่น

นอกเหนือจากพอลิเมอร์ที่ได้จากแป้ง ยังมีพอลิเมอร์ชนิดอื่น เช่น เพคติน ไคโตซาน หรือ เส้นใยฝ้าย ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีที่มีโครงสร้างพื้นฐานมาจากพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งพอลิเมอร์กลุ่มนี้ สามารถย่อยสลายได้

เพคติน (Pectin) [4] เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) หรือพอลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural polymer) ที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง โดยใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารก่อเจล ในผลิตภัณฑ์แยม เจลลี่ และสารเพิ่มความคงตัวของระบบคอลลอยด์ใน เครื่องดื่ม น้ำผลไม้ และผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อคล้ายเยลลี่

ไคโตซาน (Chitosan) [5] คือ สารพอลิเมอร์ชีวภาพที่สกัดจากไคติน ซึ่งเป็นโครงสร้างของ เปลือกกุ้ง กระจกปู แกนปลาหมึก และผนังเซลล์ของเห็ด ราบางชนิด ไคติน-ไคโตซาน จัดเป็น โคพอลิเมอร์ที่อยู่ร่วมกันในธรรมชาติ มีสมบัติพื้นฐานช่วยเพิ่มความเหนียว สามารถย่อยสลายได้ ง่าย ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) [6] เป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ เส้นใยธรรมชาติเป็นเส้นใยที่ได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุ ตัวอย่างเช่น ป่าน (Flax) ปอกระเจา (Jute) เส้นใยไม้ (Wood fibers) เส้นใยฝ้าย (Cotton fibers) เป็นต้น เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุที่หาง่าย มักมี ราคาถูก น้ำหนักเบา และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้วเส้นใยธรรมชาติมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารเสริมแรง เนื่องจากมีความแข็งแรง และความหนาแน่นต่ำ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการเตรียมและปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติก สตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังด้วยเส้นใยปอ และเส้นในนุ่น [2] โดยใช้เทคนิคการอัดขึ้นรูป (Compression molding) พบว่าการเติมเส้นใยปอและนุ่นลงไป ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากแป้งมันสำปะหลังมีสมบัติเชิงกลโดยรวมดีขึ้น จากการศึกษาการปรับปรุงฟิล์มแป้งกล้วยด้วย เพคตินและเส้นใยฝ้าย [3] พบว่าการเติมเพคตินและเส้นใยฝ้าย ทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีขึ้น แต่ เมื่อปริมาณเพคติน และเส้นใยฝ้ายมากเกินไป ส่งผลให้สมบัติเชิงกลโดยรวมลดลง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) จากแป้งมันสำปะหลัง ด้วยพอลิเมอร์ธรรมชาติจากเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ซึ่งคาดว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จะมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น และสามารถย่อยสลายได้ ตามธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic Cassava Starch) ด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ในอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลที่แตกต่างกัน คือ 70 : 30, 65 : 35 และ 60 : 40
- 1.3.2 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เพคติน ไคโตซาน ในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 0%, 2%, 4%, 6%, 8% และ 10% โดยน้ำหนัก และที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก
- 1.3.3 วิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้
 - 1.3.3.1 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน
 - 1.3.3.2 วิเคราะห์โครงสร้างผลึก
 - 1.3.3.3 ทดสอบการวัดสี
 - 1.3.3.4 ทดสอบการดูดซับน้ำ
 - 1.3.3.5 ทดสอบสัณฐานวิทยา
 - 1.3.3.6 ทดสอบสมบัติเชิงกล
 - 1.3.3.7 ทดสอบสมบัติทางความร้อน
 - 1.3.3.8 ทดสอบสมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลได้
- 1.4.2 สามารถปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังด้วยเพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้ายได้
- 1.4.3 เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ ที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในงานบรรจุภัณฑ์

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พลาสติกย่อยสลายได้ (Degradable plastic) [7-8]

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ (Degradable plastic) เป็นวัสดุที่มีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็นที่ยอมรับอย่างมากในปัจจุบันได้รับการยอมรับในปลายปี ค.ศ.1960 ด้วยแนวคิดว่าจะทำให้เป็นการแก้ปัญหามลพิษพลาสติก การพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้จึงเกิดขึ้นอย่างกว้างขวาง American Social for Testing and Materials (ASTM) ได้ให้คำจำกัดความของพลาสติกย่อยสลายว่าเป็นพลาสติกที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเมื่ออยู่ใต้อุณหภูมิที่เหมาะสม เป็นผลให้เกิดการสูญเสียสมบัติบางประการซึ่งสามารถวัดได้ โดยการใช้วิธีตรวจสอบตามมาตรฐานต่างๆ ของพลาสติก โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยแสง (Photodegradable plastic) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่ง ที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แดกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ หรือสถานะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่งขึ้นพลาสติกที่มีการฉาบด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2. พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางเคมีโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidatively degradable plastic) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความชื้น แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (stabilizing additive) แสงและความชื้นจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว

3. พลาสติกย่อยสลายได้โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytically degradable plastics) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิเอโนไฮดรอกซ์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาทำให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic

hydrolysis) และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External Catalytic Degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายใน โมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอสคาไลด์ (Alkaline metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายใน โมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

4. พลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยทางชีวภาพ (Biodegradable plastics) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน ขั้นแรกจะเป็นการย่อยสลายให้โมเลกุลแตกออก เรียกว่าขั้น Depolymerization จะเกิดภายนอกสิ่งมีชีวิต (ปกติจะเป็นแบคทีเรียหรือรา) เนื่องจากขนาดและสมบัติที่ไม่ละลายของพอลิเมอร์ จุลินทรีย์จะจับเอนไซม์ออกมาซึ่งจะตัดพอลิเมอร์ทั้งแบบ Endo (ตัดพันธะแบบคู่) และแบบ Exo (ตัดพันธะจากมอนอเมอร์ปลายสุดก่อนอย่างมีลำดับ) จนได้สารประกอบที่เล็กลง จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นที่สอง คือ Mineralization สารประกอบที่ได้จากการย่อยจากขั้นแรกจะเข้าสู่เซลล์ จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปแบบ ATP ก๊าซต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) น้ำ เกลือต่าง ๆ และชีวมวล (Biomass) ปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นแบบทั่วไปของกระบวนการย่อยสลายแต่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลาย จุลินทรีย์และสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น มีหลายกรณีที่ขั้นแรกสามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ได้ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ประสิทธิภาพของการย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ ชนิดของจุลินทรีย์และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้แก่ ออกซิเจน ความชื้นและอุณหภูมิ

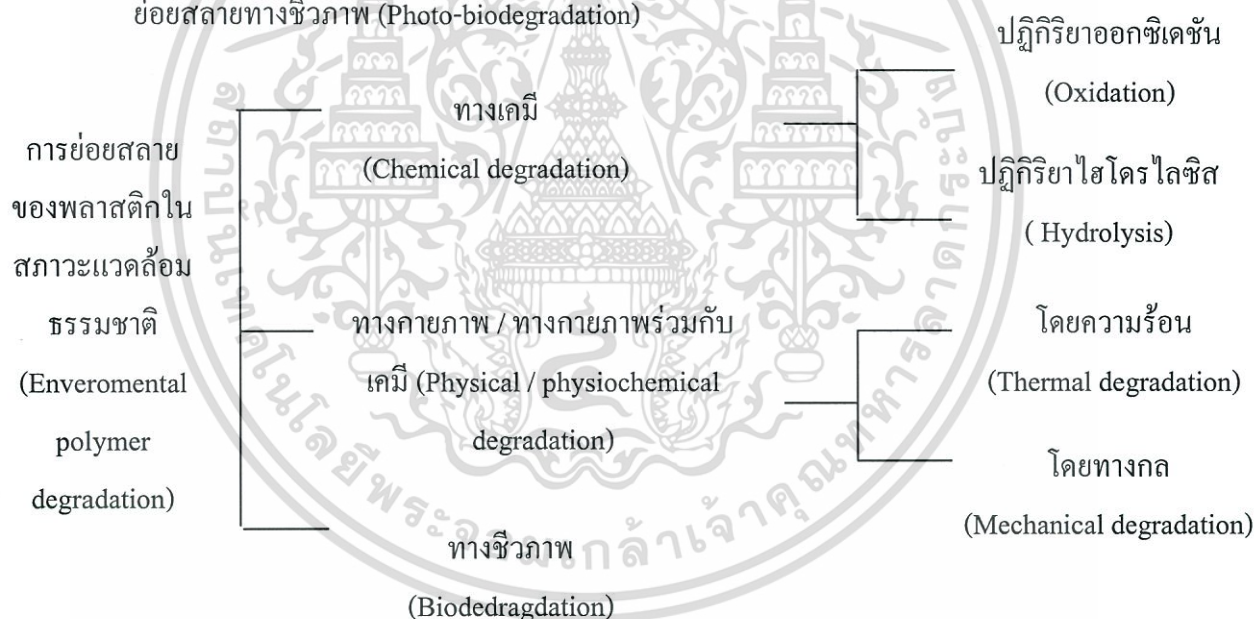
นอกจากนี้ยังพบว่า มีการใช้คำว่า พลาสติกย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ (Environmentally Degradable Plastics, EDP) ซึ่ง หมายถึง พลาสติกที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ในสภาวะแวดล้อม เช่น กรด ต่าง น้ำ และออกซิเจนในธรรมชาติ แสง จากดวงอาทิตย์ แรงเค้นจากการกระทบของเม็ดฝนและแรงลม หรือจากเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี กลายเป็นสารที่ถูกดูดซึม และย่อยสลายต่อได้อย่างสมบูรณ์ โดยจุลินทรีย์ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารอนินทรีย์ และมวลชีวภาพ เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย โดยการย่อยสลายและการดูดซึมนี้อาจเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมในสภาวะแวดล้อม และคำว่าพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสภาวะแวดล้อม (Environmental Friendly

Plastics) หรือ พลาสติกสีเขียว (Green Plastics) หมายถึง พลาสติกที่ทำให้ภาระในการจัดการขยะลดลง และส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อยกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

2.1.1 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastics) [9]

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีความหมายหรือคำจำกัดความตามมาตรฐาน DIN 103.2 ระบุว่า การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ของวัสดุพลาสติก (Biodegradation of a plastic material) คือ กระบวนการที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์วัสดุพลาสติกจะ ได้ชื่อว่าเป็นพลาสติกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์สามารถแบ่งได้ 4 ประเภทคือ

1. การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)
2. กระบวนการหมักเพื่อทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยจุลินทรีย์
3. การย่อยสลาย 2 ขั้นตอน โดยผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก่อนแล้วจึงเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ
4. การย่อยสลาย 2 ขั้นตอน โดยผ่านปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง ก่อนแล้วจึงเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ (Photo-biodegradation)



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงการย่อยสลายของพลาสติกในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ [7]

2.1.2 ประเภทพลาสติกย่อยสลายได้โดยทางชีวภาพ

พลาสติกย่อยสลายได้โดยทางชีวภาพสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ

1. พลาสติกที่มีแปรงเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน
2. พอลิเอสเทอร์
3. พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ประเภทของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพ [9-10]

	ประเภทพอลิเมอร์	รายละเอียด	ประเภทวัตถุดิบ
พลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน	แป้งที่มีสมบัติเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic starch, TPS)	มีแป้งเป็นส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 70 และผ่านการทำให้เป็นเจลลาติน	แป้งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่เตรียมได้จากวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้
	แป้งผสมพอลิเอสเทอร์แบบสายโซ่ตรง (Starch-aliphaticpolyester blends)	แป้งนำไปผสมกับพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรง เช่น PLA PCL PBS PBSA	- แป้งเตรียมได้จากวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้ - พอลิเอสเทอร์เตรียมได้จากทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีและวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้
	แป้งผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Starch-PVA blends)	แป้งนำไปผสมกับ PVA	- แป้งเตรียมได้จากวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้ - PVA จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี
พอลิเอสเทอร์	พอลิแลคติกแอซิด (PLA) $\left[\text{-}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}\text{-}\overset{\text{CH}_3}{\text{CH}}\text{-O}\text{-} \right]_n$	พอลิเอสเทอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรง ที่มีกรดแลคติกหรือแลคไทด์เป็นมอนอเมอร์	เตรียมได้จากวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้
	พอลิไฮดรอกซีอัลคานอยล์ (PHAs) $\left[\text{-}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}\text{-}(\text{CH}_2)_m\text{-}\overset{\text{R}}{\text{CH}}\text{-O}\text{-} \right]_n$	กลุ่มพอลิเอสเทอร์แบบสายโซ่ตรง ซึ่งผลิตได้ทางธรรมชาติโดยแบคทีเรีย	เตรียมได้จากวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้
พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ชนิดอื่น	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) $\left[\text{-}\text{CH}_2\text{-}\overset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{-} \right]_n$	พอลิเมอร์ที่สามารถละลายน้ำได้ และการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส	เตรียมได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี
	พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ด้วยแสง	พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างที่มีพันธะเคมีที่แตกหักง่ายภายใต้แสง UV	เตรียมได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี
	Controlled degradation additive master-batches	พลาสติกที่มีการเติมสารเติมแต่งเพื่อให้สามารถย่อยสลาย	เตรียมได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 พลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน (Starch-based plastics) [9]

ตารางที่ 2.2 ประเภทพลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ

	ประเภทของพลาสติก	รายละเอียด
เทคโนโลยีปลายทางนำ	แป้งที่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Starch)	<p>1. <u>การคอมพาวด์</u></p> <p>- TPS มีปริมาณแป้ง (อะไมโลส) เป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 70 และเป็นแป้งที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเจลาติน (Gelatinized starch) โดยทั่วไปแป้งมักถูกเติมสารเติมแต่ง เช่น สารปรับสภาพพลาสติก (Plasticizer) ถูกดัดแปรโครงสร้าง และ/หรือ ผสมกับวัสดุอื่นๆ เพื่อให้ได้สมบัติที่มีประโยชน์และเหมาะสมในการนำไปใช้งาน และการย่อยสลายทางชีวภาพ</p> <p>2. <u>การขึ้นรูป</u></p> <p>- TPS สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูป เช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไป</p>
	แป้งผสมพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรง	<p>1. <u>การคอมพาวด์</u></p> <p>- โดยทั่วไปมักมีการใช้พอลิเอสเทอร์ประมาณร้อยละ 50 - 60 ผสมกับแป้ง เพื่อลดต้นทุนการผลิต และมีการเติมสารเสริมสร้างพลาสติก เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น และช่วยให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น</p> <p>- แป้งที่ผสมกับพอลิเอสเทอร์ที่ย่อยสลายได้เช่น PLA และ PCL ได้รับความสนใจมากในปัจจุบันในการพัฒนาพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ อย่างไรก็ตามพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีแป้งร้อยละ 45 ผสมกับ PCL มีความแข็งแรงไม่เพียงพอต่อการใช้งานโดยส่วนใหญ่ เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวเพียง 60 องศาเซลเซียส และเริ่มอ่อนตัวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้งาน</p> <p>- PBS และ PBSA เป็นพอลิเอสเทอร์อีกชนิดที่นำมาผสมกับแป้งเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกล จากการวิจัยพบว่าแป้งผสมกับ PBSA ในสัดส่วนร้อยละ 5 - 30 โดยน้ำหนัก จะมี Tensile strength ต่ำกว่า ที่มี PBSA อย่างเดียว และ Tensile strength จะต่ำลงเล็กน้อยเมื่อมีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลน้อยมากต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว และสมบัติในการขึ้นรูป</p> <p>- พลาสติกที่มีปริมาณแป้งเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่สูง (มากกว่าร้อยละ 60) จะเปราะและแตกหักง่าย จึงมีการเติมสารปรับสภาพ</p>

	<p>พลาสติกกลงไปเพื่อช่วยลดความเปราะ และเพิ่มความยืดหยุ่น</p> <ul style="list-style-type: none"> - การเติมสารช่วยผสม เช่น พอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตัดแปรด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride functionalised polyester) ประมาณร้อยละ 5 จะช่วยให้แข็งและพอลิเอสเทอร์ผสมเข้ากันได้ดี และไม่แยกตัว (Phase stability) <p><u>2. การขึ้นรูป</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - แข็งผสมพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรงมักใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตแผ่นหรือฟิล์มพลาสติกคุณภาพสูง โดยกระบวนการขึ้นรูปแบบอัดรีดเป็นแผ่นฟิล์ม การเป่าเป็นฟิล์มบาง และการขึ้นรูปด้วยความร้อน
<p>แข็งผสม PVA</p>	<p><u>1. การคอมพาวด์</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - มีการเติมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมต่อการใช้งาน <p><u>2. การขึ้นรูป</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - แข็งผสม PVA มักนำไปขึ้นรูปโดยการอัดรีด หรือเป่าเป็นแผ่นฟิล์ม และการทำเป็นโฟม

2.1.2.2 สมบัติของพอลิเมอร์ [9]

นอกเหนือจากการย่อยสลายได้ทางชีวภาพแล้ว TPS บางเกรดยังสามารถละลายในน้ำอีกด้วย PBSA เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและแสดงสมบัติทางเทอร์โมพลาสติกดีมาก จากการวิจัยพบว่าแข็งผสมกับ PBSA ในสัดส่วนร้อยละ 5 - 30 โดยน้ำหนัก จะมี Tensile strength ต่ำกว่า ที่มี PBSA อย่างเดียว และ Tensile strength จะต่ำลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณแข็งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณแข็งที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลน้อยมากต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวและสมบัติในการขึ้นรูป

ตารางที่ 2.3 สมบัติของพอลิเมอร์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่ผลิตเพื่อการค้า [11]

สมบัติ	Starch(>85%)/copolyester (Mater-Bi® NF01U)	Starch/PCL (Mater-Bi®ZF03U/A)	Starch/PLA (Bio-flex 219F)
ลักษณะ	N/A*	N/A*	เมื่ด, สีน้ำตาล
ความหนาแน่น (กรัม/มล.)	1.1 - 1.3	1.23	1.38
T_m (°C)	110	64	>125
Decomposition temperature (°C)	N/A*	N/A*	>280
Tensile strength at yield (MPa)	25	31	17.01
Elongation at yield (%)	600	900	319.96
Flexural Modulus (MPa)	120	180	335.6

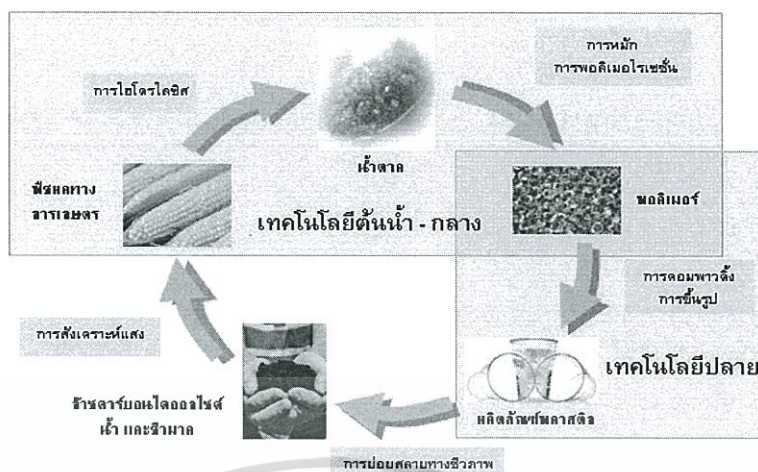
หมายเหตุ N/A* คือ ไม่มีข้อมูล

2.1.2.3 การย่อยสลายทางชีวภาพ [11]

การย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานจะเกิดขึ้นที่ตัวเชื่อมไกลโคซิดิกระหว่างโมเลกุลน้ำตาลโดยเอนไซม์ ทำให้ความยาวสายโซ่พอลิเมอร์สั้นลงและง่ายต่อการย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีวเคมี สำหรับพลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าร้อยละ 60 อนุภาคของแป้งทำหน้าที่เป็นตัวประสานอย่างอ่อนๆ และเป็นส่วนที่เกิดการย่อยสลาย ซึ่งพลาสติกจะแตกตัวเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ เท่านั้น แต่จะไม่ถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์

- จากการทดสอบการฝังกลบพบว่าแป้งผสมพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์ที่มีโครงสร้างแบบสายโซ่ตรงนี้สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 8 สัปดาห์ และจากการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการทดสอบโดยการฝังกลบ พบว่าการเติมแป้งเพียงร้อยละ 5 ลงใน PBSA จะทำให้พลาสติกถูกย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับ ที่มี PBSA อย่างเดียว
- เนื่องจาก PVA ละลายในน้ำ ดังนั้นการย่อยสลายของพลาสติกผลิตจากแป้งผสมกับ PVA จึงเกิดผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และการย่อยสลายทางชีวภาพของโมเลกุลน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 วัฏจักรของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ [11]

ตารางที่ 2.4 การนำพลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานไปใช้ประโยชน์ [11]

ประเภท	การนำไปใช้ประโยชน์
แป้งที่มีสมบัติเทอร์โมพลาสติก	<ul style="list-style-type: none"> • TPS ถูกนำไปใช้งานในรูปแบบของแผ่นฟิล์ม เช่น ถุงต่างๆ และฟิล์มสำหรับหีบห่อ รูปโฟมกันกระแทก (Foam loose fill packaging) และผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยการฉีด เช่น ภาชนะบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น • โฟม TPS สามารถนำไปใช้แทนโฟม PS ในการใช้งานต่างๆ อีกด้วย
แป้งผสมพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรง	<ul style="list-style-type: none"> • แป้งผสมกับพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์ที่มีโครงสร้างแบบสายโซ่ตรงมักนำไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบแผ่นหรือฟิล์มพลาสติกคุณภาพสูงในงานด้านบรรจุภัณฑ์ และอื่นๆ • พลาสติกจากแป้งผสมกับ PBS หรือ PBSA ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นพลาสติก และทำให้เป็นรูปร่างโดยกระบวนการขึ้นรูปแบบเทอร์โมฟอร์ม (Thermoform) เพื่อผลิตเป็นถาดใส่ขนมประเภทบิสกิต หรือฟิล์มพลาสติก
แป้งผสม PVA	<ul style="list-style-type: none"> • แป้งผสมกับ PVA ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตโฟมกันกระแทก โดยบริษัท Novamont ประเทศอิตาลี โดยมีชื่อทางการค้าว่า Mater-Bi® ซึ่งสามารถละลายในน้ำภายในเวลา 3 นาที ซึ่งโฟมกันกระแทกนี้มีโครงสร้างโพรงเซลล์แบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.4 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์ [8]

(ก) การใช้กล้องจุลทรรศน์

เมื่อสังเกตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้งที่ฝังดินเป็นเวลา 6 เดือน ก่อนที่จะล้าง นำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบเส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่บนพอลิเมอร์ และเมื่อนำมาล้างและสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบรูเล็กๆ ในพอลิเมอร์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งจากพอลิเมอร์ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

(ข) การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

พบว่าพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งที่ฝังไว้ในดินมีสีที่เปลี่ยนแปลงไป และมีขนาดเล็กลง เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในส่วนที่เป็นแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่าชั้นพอลิเมอร์มีจุดดำและเป็นทางสีขาว ซึ่งแสดงว่าแป้งถูกย่อยสลาย เหลือเพียงส่วนของพอลิเอทิลีน

2.1.2.5 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด

สเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะทางเคมีของวัสดุพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาส่วนแสงอินฟราเรดของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในพอลิเมอร์จะทำให้เกิดการดูดซับความยาวคลื่นในช่วงดังกล่าวสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุลหรือกลุ่มอะตอมในโมเลกุล ความหนาแน่นของการดูดซับและความยาวคลื่นจะทำให้เกิดแถบสเปกตรัม ซึ่งมีลักษณะของแถบที่เฉพาะตัว ไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทั้งหมดของพอลิเมอร์

สเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่หายไปในระหว่างการย่อยสลายพอลิเมอร์ นอกจากนี้ขณะที่จุลินทรีย์ย่อยสลายแป้งจะเกิดรูขึ้นที่บริเวณพื้นผิวพอลิเมอร์ที่รูเหล่านี้จะมีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากสเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด

2.1.2.6 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน

วิธีวิเคราะห์ด้วยความร้อนมีหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์จุดหลอมเหลวผลึก โดย Differential Thermal Analysis (DTA) หรือ Differential Scanning Calorimeter (DSC) การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียโดยใช้ Thermogravimetric Analysis (TGA)

- การศึกษาโดยใช้ DSC พบว่าในระหว่างการย่อยสลาย ลักษณะอสัณฐาน (Amorphosity) ของพอลิเมอร์จะลดลง โดยที่ส่วนอสัณฐานของพอลิเอทิลีนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ได้มากกว่าส่วนผลึก
- การศึกษาโดยใช้ TGA เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้ศึกษาการย่อยสลายแป้งในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิเอทิลีนกับแป้ง โดยใช้วิเคราะห์ปริมาณแป้งก่อนและหลังการย่อยสลาย

2.1.2.7 การทดสอบโดยการฝังดิน

การทดสอบจะต้องตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หน้า 2 มิลลิเมตร 30 x 120 มิลลิเมตร² ตัวอย่างละ 2 ชิ้น ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เป็นเวลา 35 วัน การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยระมัดระวังเนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดิน ทำการเปรียบเทียบเศษวัสดุที่เหลือเมื่อเวลาต่าง

2.2 แป้ง [12]

แป้งเป็นสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) มีอยู่ในพืชแทบทุกชนิด มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยกลูโคส กระบวนการผลิตแป้งนั้นมีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ หลักการทั่วไปคือ แยกเมล็ดแป้งจากองค์ประกอบอื่น เช่น เส้นใย โปรตีน เกลือแร่ จากนั้นทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างน้ำ ทำการปั่นแยกและอบแห้ง ในกระบวนการผลิตเหล่านี้จะได้แป้งแขวนลอยในน้ำ เนื่องจากแป้งไม่ละลายในน้ำเย็น

สมบัติของแป้งสามารถแยกได้ 2 ประเภท คือ

1. Starch ผลิตได้จากพืชผลการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และจากพืชหัวชนิดต่างๆ เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง สำหรับกระบวนการผลิตแป้งต้องใช้แบบเปียก (wet grinding) ซึ่งทำให้แยก starch ออกมาได้
2. Flour ผลิตได้จากโม้แบบแห้ง และยังคงเหลือองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ด้วย จึงทำให้สมบัติต่างไปจาก starch

แป้งมันสำปะหลังเป็นประเภท Starch เม็ดแป้ง (Starch granule) ไม่ละลายในน้ำเย็น รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับแหล่งของพืชที่ให้แป้ง

2.2.1 องค์ประกอบภายในแป้ง [6]

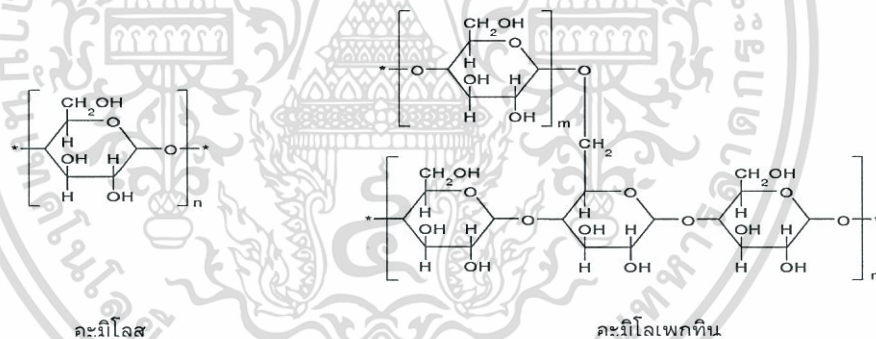
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจนในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย Anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ Glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde group) เรียกว่า Reducing end group แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะมิโลส และ อะมิโลเพกทิน

ตารางที่ 2.5 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน [8]

สมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพกทิน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	$\alpha - 1, 4$	$\alpha - 1, 4$ และ $\alpha - 1, 6$
ขนาด	20 0-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัว เป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้งดังรูปที่ 2.3 ได้แก่

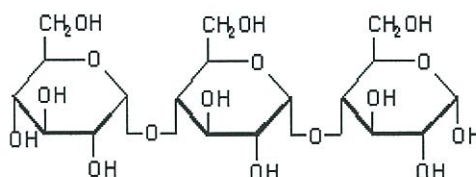
1. อะมิโลส (Amylose)
2. อะมิโลเพกทิน (Amylopectin)
3. สารตัวกลาง (Intermediate material)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง [8]

1. อะมิโลส

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1, 4 ($\alpha - 1, 4$) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะมิโลส [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

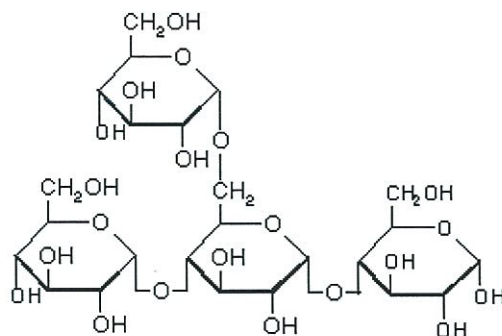
ตารางที่ 2.6 สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลส [8]

แหล่งแป้ง	ปริมาณ อะมิโลส (%)	β - Amylolysis Limit (%)	ขนาด โมเลกุล (DP)เฉลี่ย	จำนวน สายเฉลี่ย (NC)	ความยาว สายเฉลี่ย (CL)	โมเลกุล กิ่ง (%)
แป้งสาลี	28	88	1,300	4.8	270	27
แป้งข้าวโพด	28	82	930	2.7	340	44
แป้งข้าวเจ้า	17					
- อินดิกา		73	1,000	4.0	250	49
- จาโปนิก		81	1,100	3.4	320	31
แป้งมันสำปะหลัง	17	75	2,600	7.6	340	42
แป้งมันฝรั่ง	21	80	4,900	9.5	240	

ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง อะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพกทิน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (Amorphous) และส่วนผลึก (Crystalline) การศึกษาการเกิดเจลลาทีโนซของแป้งมันฝรั่ง พบอะมิโลสในส่วนรอบนอกของเม็ดแป้งมากกว่าที่จะอยู่ในส่วนใจกลางเม็ดแป้ง อะมิโลสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะพบเป็นเกลียวคู่กับอะมิโลเพกทินอยู่ใจกลางเม็ดแป้ง สำหรับอะมิโลสขนาดโมเลกุลเล็กจะพบอยู่ตามขอบเม็ดโครงสร้างของอะมิโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (Helix) เกลียวที่คล้ายตัว (Interrupted helix) หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (Random coil) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้องอะมิโลสอยู่ในลักษณะที่เป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คล้ายตัว แต่ในตัวทำละลายบางชนิดอะมิโลสจะอยู่ในลักษณะม้วนอย่างไม่เจาะจง นอกจากนี้โครงสร้างของอะมิโลสยังขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลด้วย อะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 6,500 ถึง 160,000 จะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง (Double helix) ส่วนอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 หรือมากกว่า 160,000 จะมีโมเลกุลเป็นม้วนอย่างไม่เจาะจง และอาจมีบางส่วนละลายได้

2. อะมิโลเพกทิน

อะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก α -1, 4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีขนาดโมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1, 6 ดังรูปที่ 2.5 สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกทินจากแป้งชนิดต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.7



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน [8]

หน่วยกลูโคสที่มีกลูโคซิดิกชนิด α -1, 6 มีอยู่ประมาณ 5 % ของปริมาณกลูโคสใน อะมิโลเพกทิน ทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของอะมิโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะมิโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส คือ ประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะมิโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

ตารางที่ 2.7 สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกทิน [8]

แหล่งแป้ง	ปริมาณ อะมิโลเพกทิน (%)	ขนาด โมเลกุลเฉลี่ย (DP)	ความยาว สายเฉลี่ย (CL)	จำนวน สายเฉลี่ย (NC)	ความยาวสาย ภายนอกเฉลี่ย (CL)	โมเลกุล กิ่ง (%)
แป้งสาลี	72	4,800	19	250	13	5
แป้งข้าวโพด	72	8,200	22	370	15	6
แป้งข้าวเจ้า	83					
- อินเดียคา		4,700	21	220	14	6
- จาโปนิก		12,800	19	670	13	5
- ข้าวเหนียว		18,500	18	1,000	12	5
แป้งมันสำปะหลัง	79	9,800	24	410	15	8
แป้งมันฝรั่ง	83					

3. สารตัวกลาง

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิด องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะมิโลเพกทินแต่ใหญ่กว่าอะมิโลส และสารตัวกลางนี้มีโครงสร้างเป็นลักษณะเชิงกิ่งเช่นเดียวกับอะมิโลเพกทิน แต่จะมีกิ่งที่ยาวกว่า ปริมาณหรือสัดส่วนของอะมิโลส อะมิโลเพกทิน และสารตัวกลางในเมล็ดแป้งไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับสภาพการเพาะปลูก เช่น เวลาในการเพาะปลูกและปริมาณน้ำระหว่างการเพาะปลูก เป็นต้น

4. ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเม็ดแป้ง

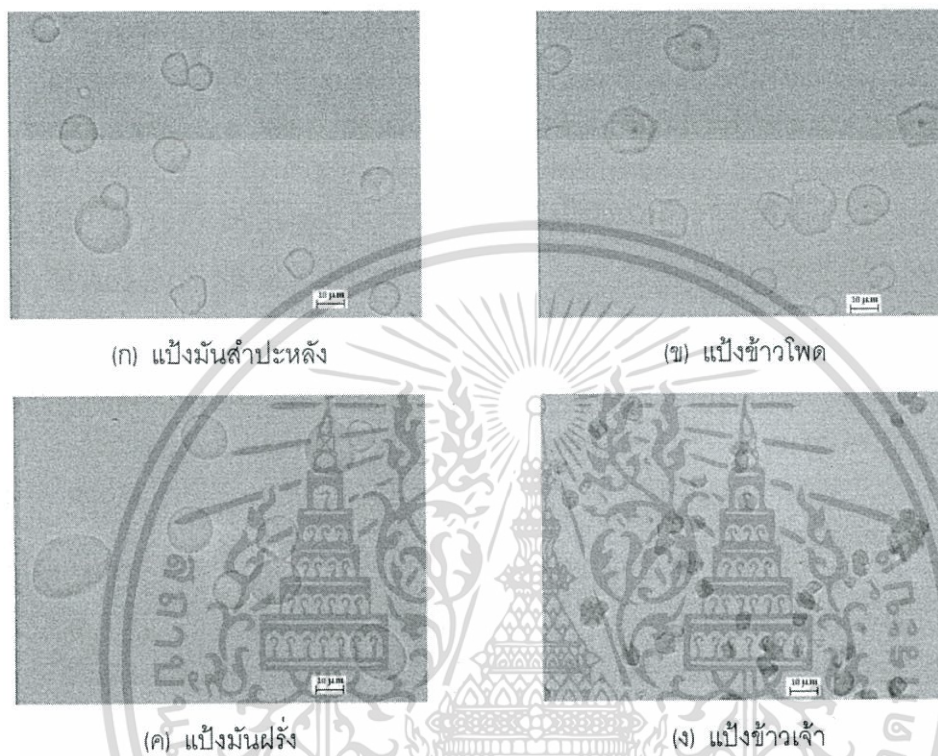
ส่วนประกอบอื่น ๆ ภายในเม็ดแป้ง แบ่งออกเป็น

1. ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particulate material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลาย และผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง
2. ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง (Surface material) ซึ่งสามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเม็ดแป้ง
3. ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง (Internal components) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง
4. ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแป้งที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีนเถ้า และฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด

2.2.2 โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง

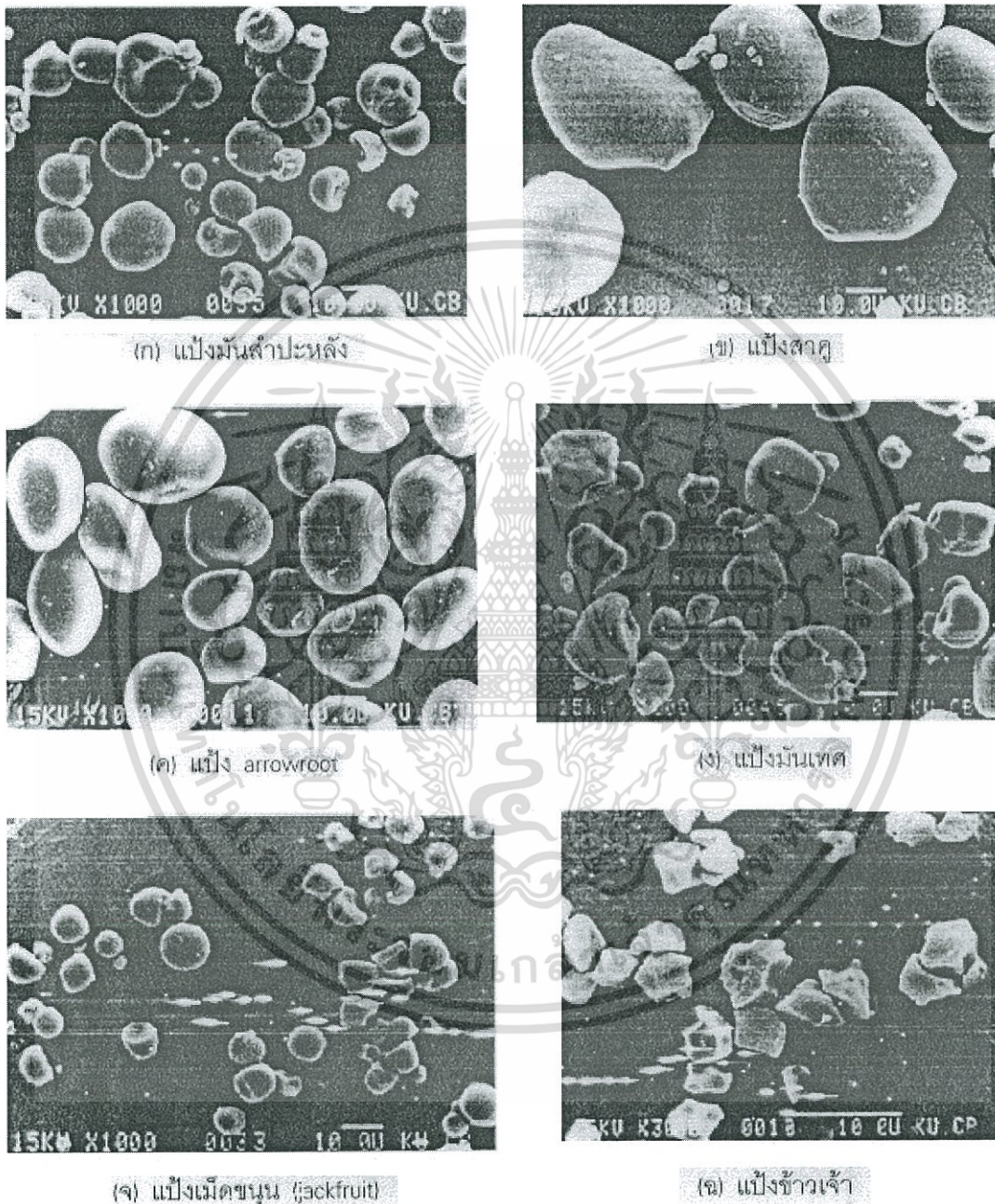
แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้ง (Granule) ขนาดเล็ก โดยเมื่อตรวจสอบลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา (รูปที่ 2.6) และแบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope) (รูปที่ 2.7) พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งของแป้งนั้น ๆ

เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) โดยโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนอสัณฐาน ส่วนสายโซ่ของอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ (Double helices) ซึ่งบางส่วนจะเกิดโครงสร้างที่เป็นผลึก ส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะมิโลสและสายโซ่ยาวของอะมิโลเพกทิน เม็ดแป้งจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่



รูปที่ 2.6 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแบริ่งชนิดต่าง ๆ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา (กำลังขยาย 40 เท่า) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งชนิดต่าง ๆ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน
ที่กำลังขยาย (ก) - (จ) 1,000 เท่า และ (ฉ) 3,000 เท่า [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 สมบัติของแป้ง [8]

2.2.3.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย[8]

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10 ถึง 17 %

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก (Crystal water) น้ำในรูปแบบอิสระ (Bond water) และน้ำในรูปแบบอิสระ (Free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้น 8 ถึง 10 % สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้งจะได้สูตรซิมโนไฮเดรต $[n(C_6H_{10}O_5).H_2O]$

แป้งดิบจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาทีไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเจลาทีไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัวทำให้การละลายความหนืดและความใสเพิ่มมากขึ้น สมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (Birefringence) ในเม็ดแป้งจะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง รูปแบบในการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป

2.2.3.2 การเกิดเจลาทีไนเซชัน [8]

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (Micelles) ดังนั้นการจัดเรียงตัวในลักษณะนี้จะทำให้แป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะคูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาทีไนเซชัน (Gelatinization) อุณหภูมิเริ่มเจลาทีไนซ์มักจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด

การเกิดเจลลิตีในเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลลียึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ เมื่อใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65°C (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นกับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลลียึดหยุ่นในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามาและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เรียกว่าการเกิดเจลลิตีในเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินเข้ม เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิคือไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจลลิตีในเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่าง ๆ ได้ดีกว่า

2.2.3.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน [8]

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตีในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัว (Setback) ดังรูปที่ 2.8 เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า Syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขรุขระและมีความหนืดเพิ่มขึ้น

การคืนตัวของแป้งเปียกและสารละลายแป้งทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่นและทึบแสง เกิดขึ้นส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกที่ร้อน เกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจลและโมเลกุลน้ำถูกบีบออกมานอกเจล ในการคืนตัวของแป้งเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น

การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดอะมิโลส อะมิโลเพกทิน และองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ

ในแป้งในสถานะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดี ในช่วง pH 5-7 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง ในการชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก เช่น แคลเซียมไนเตรท และยูเรีย กลไกการคืนตัวของแป้งแสดงได้ดังรูปที่ 2.9

ปริมาณและขนาดของอะมิโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสเพกทินสูง อัตราในการคืนตัวจะสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) เมื่อขนาดโมเลกุล (Degree of polymerization) ของอะมิโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการคืนตัวจะลดลงเมื่อโมเลกุลของอะมิโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้อะมิโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 ถึง 160 °C อะมิโลสเพกทินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเกิดรีโทรเกรเดชัน [8]



รูปที่ 2.9 กลไกการคืนตัวของแป้ง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 อัตราการคืนตัวของแป้งแต่ละชนิด [8]

ชนิดของแป้ง	%การตกตะกอนของส่วนที่ไม่ละลาย		
	5 วัน	10 วัน	30 วัน
แป้งมันฝรั่ง	10	15	20
แป้งข้าวโพด	37	48	62
แป้งสาลี	45	48	52
แป้งมันสำปะหลัง	11	12	13
แป้งข้าวโพดเหนียว	0.2	0.5	1

2.3 มันสำปะหลัง [11]

2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง ชื่อวิทยาศาสตร์ *Manihot esculenta* (L.) Crantz ในภาษาอังกฤษจะเรียกแป้งมันสำปะหลังว่า Tapioca starch, Cassava starch, Monioc starch เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากหัวของมันสำปะหลังมีแป้งในปริมาณมากแต่มีสารอื่นๆ เช่น โปรตีน ไขมัน ในปริมาณต่ำ จึงเป็นแหล่งแป้งบริสุทธิ์ชั้นเลิศ ที่สามารถสกัดออกมาได้ง่ายและมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ได้อย่างหลากหลาย คุณสมบัติที่สำคัญของแป้งมันสำปะหลังคือ แป้งสีขาว ไม่มีกลิ่น กาวแป้งเปียกใสและมีความเหนียวสูง ด้วยสมบัติเหล่านี้ทำให้แป้งมันสำปะหลังมีความสะดวกและพร้อมที่จะนำไปใช้ผสมกับสารแต่งกลิ่นรสและสารแต่งสี นอกจากนี้มันสำปะหลัง ยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแปรรูปอีกมากมาย เช่น ผงชูรส สารให้ความหวานและแอลกอฮอล์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.9 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังโดยทั่วไป [13]

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	12.59
แป้ง	87.0
ไขมัน	0.1
โปรตีน	0.1
เถ้า	0.2
ฟอสฟอรัส	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง [13]

เม็ดแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะคล้ายถ้วยมีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-35 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยโดยจำนวนเท่ากับ 20 ไมครอน เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์จะเห็นลักษณะกากบาทสีดำเรียกว่า Birefringence ภายในเม็ดแป้งประกอบด้วยอะไมโลสและ อะไมโลสเพกทินซึ่งมีการจัดเรียงตัวต่างกันแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบแรกสายพอลิเมอร์ของอะไมโลส เรียงตัวขนานกันอย่างเป็นระเบียบมีอะไมโลส บางส่วนเรียงขนานกับส่วนที่เป็นสายตรงส่วนนอก ของอะไมโลสเพกทินและยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้โมเลกุลบริเวณนี้จับกันอย่างหนาแน่น และมีแรงยึดเหนี่ยวสูง บริเวณนี้เรียกว่า Crystalline หรือ Micelles เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดลักษณะ Birefringence ของเม็ดแป้ง Crystalline regions นี้มีความสามารถในการดูดน้ำ และ พองตัวต่ำมาก ส่วนแบบที่สองโมเลกุลเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ แรงดึงดูดระหว่างสายพอลิเมอร์ของอะไมโลสและอะไมโลสเพกทินต่ำกว่าแบบแรก บริเวณที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบนี้เรียกว่า Amorphous regions เป็นส่วนที่ดูดน้ำได้ดี และ พองตัวได้ง่าย

2.3.3 กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลัง มีขั้นตอนการผลิตดังนี้

1. น้ำมันสำปะหลังสดที่ซื้อเข้าเครื่องซังน้ำหนักวัดเปอร์เซ็นต์ของแป้งที่มีในหัวมัน
2. การทำความสะอาดและจัดเตรียมหัวมัน เริ่มตั้งแต่ น้ำหัวมันสดเข้าสู่เครื่องร่อนจากนั้นลำเลียงเข้าสู่เครื่องล้าง เพื่อทำความสะอาดหัวมันแล้วจึงนำเข้าสู่เครื่องสับ และชูดเปลือกเพื่อให้หัวมัน มีขนาดเล็กกลงและแยกเอาเปลือกออกแล้วเข้าสู่เครื่องบด
3. เมื่อบดเสร็จแล้ว จะส่งเข้าเครื่องสกัด (Extractor) แยกเอากากและน้ำแป้งออกจากกัน กากมันนี้จะถูกนำไปตากแดดให้แห้งเพื่อให้เป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์

2.3.4 การนำแป้งมาทำเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch)

แป้งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีกลูโคสเป็นมอนอเมอร์ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการศึกษา และ ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้จากแป้งหลากหลายชนิด เนื่องจากแป้งเป็นวัตถุดิบที่สามารถหาได้ง่าย มีมากในธรรมชาติและมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดพลาสติก ทั้งนี้ในระยะเริ่มต้นมีการใช้แป้งเป็นสารเพิ่มเนื้อ (filler) ใน polyolefin ต่อมา มีการปรับปรุงโครงสร้างของแป้งให้สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการอัดรีดกลายเป็นแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติคล้ายกับ low density polyethylene โดยทั่วไปเราไม่สามารถนำแป้งมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ตามวิธีการขึ้นรูป thermoplastic ทั่วๆ ไป เพราะแป้งจะไม่เกิดการไหลขึ้นเมื่อเราให้ความร้อน ในกระบวนการขึ้นรูป ดังนั้นการจะนำแป้งมาทำเป็น thermoplastic starch จำเป็นที่จะต้องเติม plasticizer เช่น glycerol, ehanolamine, พอร์มาไมด์ และ ซอร์บิทอลลงไป ซึ่งภายใต้อุณหภูมิสูงประมาณ 90-180 องศาเซลเซียสและได้รับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเฉือนอย่างเพียงพอจะทำให้แป้งสามารถหลอม และไหลได้สามารถนำมาขึ้นรูปขึ้นงานด้วยกระบวนการต่างๆ ได้ เช่น single screw extrusion, twin screw extrusion, compression molding

เทอร์โมพลาสติกสตา์ช (Thermoplastic starch) หมายถึงวัตถุที่สามารถหลอมตัวและนำไปขึ้นรูปแบบต่างๆ ได้ โดยการใช้ความร้อนและความดัน จากสมบัติของแป้งที่กล่าวข้างต้นจะเห็นว่าโดยธรรมชาติแล้ว แป้งไม่มีคุณสมบัติเป็นเทอร์พลาสติกได้โดยการใช้สารเติมแต่ง (additive) คือ พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ช่วยทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลงซึ่งจะทำให้โมเลกุลของอะไมโลส และ อะไมโลสเพกทิน เป็นอิสระมากขึ้น ดังนั้นเราจึงนำแป้งมาขึ้นรูปเป็นแบบต่างๆ ได้ ซึ่งพลาสติกที่ผลิตได้โดยวิธีนี้จึงเรียกว่า เทอร์โมพลาสติกสตา์ช (thermoplastic starch)

2.4 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) [13]

สารเสริมสภาพพลาสติกหรือที่รู้จักกันในนาม พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารเคมีที่เติมลงในพลาสติกและยางเพื่อทำให้พลาสติกอ่อนตัวและคัดโค้งได้ ทำให้สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ พลาสติกที่อุณหภูมิต่ำกว่าเดิมสารเคมีประเภทนี้พบว่าถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกตั้งแต่สมัย Alexander Parkers ผลิต Parkesine โดยใช้กำมะถันเป็นพลาสติไซเซอร์ ซึ่งต่อมา Hyatt ใช้กำมะถันผสมในเซลลูโลสไนไตรต เพื่อช่วยให้พลาสติกขึ้นรูปได้ง่าย

สารเคมีที่ใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ควรมีสมบัติ

1. เป็นสารประกอบอินทรีย์ ส่วนมากเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดสูงควรมีน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่ำประมาณ 300 ด้วยเหตุนี้ที่อุณหภูมิต่ำจึงมีอัตราการละลายในเนื้อพอลิเมอร์ช้า
2. ควรมีพารามิเตอร์การละลายใกล้เคียงกับพลาสติกหรือยางที่ผสม
3. พลาสติไซเซอร์ไม่ควรตกผลึกในช่วงอุณหภูมิขณะใช้งาน เว้นเสียแต่จะสามารถเกิดแรงดึงดูดจำเพาะกับพอลิเมอร์ได้

หน้าที่เบื้องต้นของพลาสติไซเซอร์ คือ ช่วยให้เกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุล พลังงานในการหมุนพันธะ (Bond rotation) จึงลดลงทำให้พอลิเมอร์ไหลได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการสลายตัว (Decomposition temperature) ทั้งนี้เพราะสารประเภทนี้เมื่อผสมกับพลาสติกจะแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์จึงเท่ากับลดความแข็งแรงของพอลิเมอร์

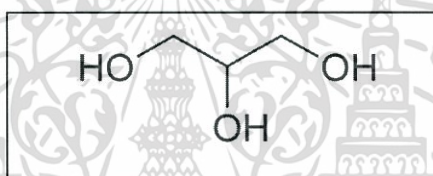
สรุปหน้าที่สำคัญของพลาสติกไฮเซอร่าได้แก่

1. ลดความหนืด ทำตัวคล้ายตัวทำละลายและสารหล่อลื่นลดแรง van der waals ระหว่างโซ่พอลิเมอร์ แต่แตกต่างจากตัวทำละลาย ตรงที่ว่าต้องมีน้ำหนักโมเลกุลสูงประมาณ 300 เพื่อที่จะได้ไม่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์พลาสติกและยางระหว่างการใช้งาน

2. ต้องทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น เพิ่มความอ่อนตัวทำให้ดัดโค้งง่าย โดยลดค่า Tg ของพอลิเมอร์ทำให้สภาพดัดโค้งหยุ่นตัวเพิ่มขึ้นและเมื่อปริมาณของพลาสติกไฮเซอร่าเพิ่มขึ้นทำให้ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ลดลงแต่ความยาว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น รวมทั้งความทนแรงกระแทกดีขึ้นด้วย

Glycerol

- ชื่อเคมี IUPAC 1,2,3-propanetriol ;1,2,3-Trihydroxypropane
- ชื่อเคมีทั่วไป Glycerol , Glycerine
- สูตรโมเลกุล $C_3H_5(OH)_3$
- สูตรโมเลกุล



ตารางที่ 2.10 แสดงสมบัติทางกายภาพและเคมี

สถานะ	ของเหลว
สี	ใสคล้ายน้ำมัน
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	92.90
จุดเดือด (°C)	290
จุดหลอมเหลว (°C)	18
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ = 1)	1.26
ความหนืด (mPa.sec)	1400
ความดันไอ (มม.ปรอท)	0.0025
ความหนาแน่นไอสัมพัทธ์ (อากาศ = 1)	3.1
ความสามารถในการละลายน้ำ (กรัม/100มล)	ละลายได้ที่ 20 °C
ความเป็นกรดต่าง (pH)	5 ที่ 20 °C
จุดวาบไฟ(°C)	199
จุดลุกไฟได้เอง(°C)	370

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เพคติน [2]

2.5.1 แหล่งที่มาของเพคติน

เพคตินเป็นสารประกอบโพลีเมอร์ที่พบในผนังเซลล์ของพืชชั้นสูง จัดเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต เช่นเดียวกับ แป้งและเซลลูโลส แม้ว่าเพคตินปกติจะเกิดขึ้นมากในเนื้อเยื่อของพืชที่ยึดติดอยู่กับองค์ประกอบของมิดเดิลลามেলাและส่วนที่เป็นความหนาของผนังเซลล์ แต่แหล่งของเพคตินที่ใช้ในทางการค้ามีค่อนข้างจำกัด เพราะความสามารถในการเกิดโครงสร้างของเจลของเพคติน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลและระดับการแทนที่ด้วยเมทิล (Degree of methylation : DM) แหล่งของเพคตินที่แตกต่างกัน เพคตินที่ได้จะมีความสามารถในการเกิดเจลได้ในสภาวะแตกต่างกัน

เพคตินจำนวนมากพบอยู่ที่ผนังเซลล์ของผลไม้ เป็นสารอาหารที่สำคัญและมีความสำคัญเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ เพราะมีคุณสมบัติในการเกิดเจลได้ เพคตินได้จากของเหลือในกระบวนการผลิตน้ำผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล ส้ม มะนาว เนื้อของหัวบีทที่ใช้ทำน้ำตาล หรือของเหลือจากการสกัดน้ำตาล เป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นแหล่งที่ดีของเพคตินที่มีคุณภาพดีได้จากเปลือกมะม่วงสุก

ตารางที่ 2.11 ปริมาณเพคตินในผลไม้ชนิดต่างๆ

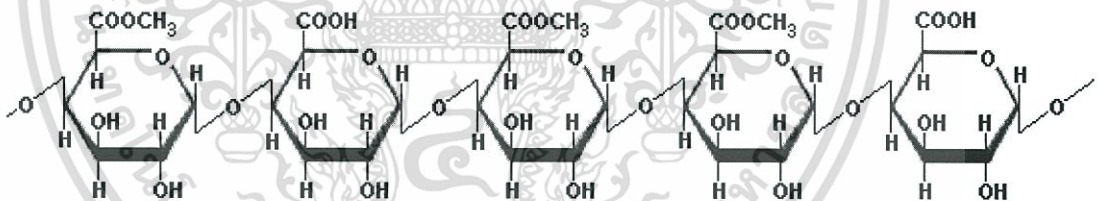
ชนิดพืช	ปริมาณเพคติน
ถั่วลิสง	5.98%
ส้มเขียว	3.90%
ถั่วเหลือง	3.45%
มะนาว	2.90%
ส้ม	2.36%
แครอท	2.00%
ฟักทอง	1.24%
กระเทียม	1.11%
กล้วย	0.94%
มัน	0.83%
แอปเปิ้ล	0.78%
สตอเบอร์รี่	0.75%
ถั่วเขียว	0.70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดพืช	ปริมาณเพคติน
องุ่น	0.19%
แตงโม	0.18%
แตงกวา	0.16%
สับปะรด	0.09%
พริกเขียว	0.09%

2.5.2 โครงสร้างของเพคติน

เพคตินเป็น โพลีแซคคาไรด์เชิงซ้อนที่ประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) 150 -500 หน่วย (น้ำหนักโมเลกุล 30000 – 100000) และ ส่วนที่ถูกเอสเทอร์ไฟต์ (esterified) กับกลุ่มเมทอกซี (methox group) ส่วนที่เป็นสายโซ่ตรง (backbone chain) จะประกอบด้วย แอล รา มโนส (L- rhamnose) และส่วนที่เป็นกิ่งกับสายโซ่หลักที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ประกอบด้วย บีต้า- ดี – กาแลคโทไพราโนส (β -D-galactopyranose) และ แอลฟา แอลออลาบีโนฟูราโนส (α -L-arabinofuranose)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของเพคติน [14]

2.5.3 สมบัติของเพคติน

1.การละลาย เพคตินละลายได้ในน้ำเย็นและน้ำร้อนให้สารละลายที่มีความข้นหนืด แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ปัญหาที่ควรระวัง คือการจับตัวเป็นก้อนของเพคตินเมื่อนำไปละลายน้ำ วิธีการแก้ไขโดยทั่วไปนิยมใช้เครื่องผสมความเร็วสูงช่วยในการละลายเพคติน โดยค่อยเติมเพคตินในน้ำร้อนอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเปิดเครื่องความเร็วสูงเป็นเวลา 5-10 นาที

2.ความหนืดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับการเอสเทอร์ไฟเคชั่นของเพคติน ความเข้มข้น อุณหภูมิ พีเอช และ เกลือชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การเกิดเจล จัดเป็นสมบัติที่สำคัญที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรม สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบโดยใช้ระดับการเอสเทอร์ไฟด์

3.1 เพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลสูง (High methoxy pectin : HM) จะมี DE มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถเกิดเจลได้เมื่อมีของแข็ง ที่ละลายได้เป็นตัวกลางปกติจะใช้ซูโครส มากกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ ที่มีความเป็นกรด- ต่างเฉลี่ย 2.0 – 3.5

3.2 เพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำ (Low methoxy pectin : LM) จะมี DE ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์สามารถเกิดเจลได้เมื่อใช้แคลเซียมไอออนเป็นตัวเหนียวนำ และสามารถเกิดได้เมื่อมีของแข็ง ที่ละลายได้เป็นตัวกลางในปริมาณ 10 – 20 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นกรด - ต่างเฉลี่ย 2.5 – 6.5 สถานะนี้สามารถทำให้เกิดเจลของเพคตินมีความคงตัวได้ 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์

2.5.4 ประโยชน์ของเพคติน

มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางค์มาช้านาน โดยใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารก่อเจล ในผลิตภัณฑ์แยม เจลลี่ และสารเพิ่มความคงตัวของระบบคอลลอยด์ ในเครื่องดื่มน้ำผลไม้และผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อคล้ายเยลลี่ ในช่วง 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา มีการนำเพคตินมาใช้ในทางเภสัชกรรมและอุตสาหกรรมยาเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเพคตินมีสมบัติเฉพาะที่ทำให้สามารถนำมาใช้เก็บกักหรือนำส่งยา โปรตีน และ เปปไทด์ เป็นต้น และ จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทไฟเบอร์ หรือ เส้นใยอาหารที่ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบการย่อยในร่างกายมนุษย์ ซึ่งได้รับความสนใจจากนักโภชนาการมากขึ้น เพราะจากการวิจัยให้ผลออกมาว่าอาหารที่มีไฟเบอร์สูงจะช่วยป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ หรือในทางกลับกันคนที่กินอาหารที่มีไฟเบอร์น้อยก็มีความเสี่ยงที่จะเกิดโรคต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น

2.6 ไคโตซาน [3]

2.6.1 ลักษณะทั่วไปของไคตินและไคโตซาน [5]

ไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีมากเป็นอันดับสองของโลก รองจากเซลลูโลส (Cellulose) ดังรูป 2.11(ก) จัดเป็นสารจำพวกพอลิเมอร์ชีวภาพกลุ่มเดียวกับคาร์โบไฮเดรตพอลิเมอร์ แต่มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีคล้ายและแตกต่างคล้ายกับเซลลูโลส เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันในโครงสร้าง

ไคติน มีชื่อทางเคมีว่า Poly [β -(1 \rightarrow 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose] รูปที่ 2.11 (ข) เป็นพอลิเมอร์อินทรีย์โมเลกุลยาวที่มีโครงสร้างคล้ายกับเซลลูโลส ต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ C-2 โดยเซลลูโลสจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ส่วนไคตินจะประกอบด้วยหมู่อะซิทามิโด (acetamido group) ไคตินมีสูตรทั่วไปคือ $(C_8H_{13}NO_5)_n$ ประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 47.29 โดย

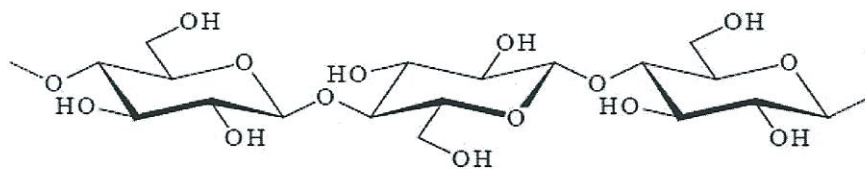
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนัก ไฮโดรเจน 6.45 โดยน้ำหนัก ไนโตรเจนร้อยละ 6.89 โดยน้ำหนัก และออกซิเจนร้อยละ 39.47 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามไคตินในธรรมชาติจะมีบางหน่วยที่ไม่มีหมู่อะซิติล (-CO-CH₃) โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10 ในสายพอลิเมอร์ เมื่อพิจารณาจากสูตรโครงสร้างของไคติน พบว่าเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ ซึ่งทำให้ไคตินละลายในสารทั่วไปได้ง่าย การใช้ประโยชน์จากไคตินจึงไม่แพร่หลายนัก อย่างไรก็ตามสามารถดัดแปลงไคตินวิธีทางเคมีเพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้งานมากขึ้น โดยการเตรียมเป็นไคโตซาน

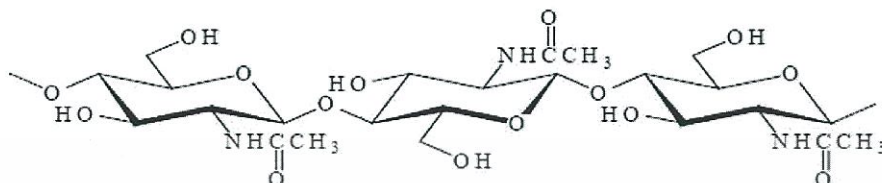
ไคโตซาน มีชื่อทางเคมีว่า Poly (D-glucosamine) หรือ poly- β (1,4)-2-acetamino-2-deoxy-D-glucose สามารถเตรียมขึ้นได้โดยการแยกหมู่แอสติลออก (Deacetylation) จากไคตินเหลือเป็นหมู่เอมิโน (-NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ดังแสดงในรูป รูปที่ 2.11 (ค) โดยทั่วไปถ้าหมู่แอสติลถูกตัดหรือ หลุดไปประมาณร้อยละ 90-100 จะเรียกว่า Fully deacetylated chitosan ในทางทฤษฎีไคตินประกอบด้วยไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และในไคโตซานมีไนโตรเจนประมาณร้อยละ 8.70 แต่ในทางปฏิบัติการแยกหมู่แอสติลออกมักไม่สมบูรณ์ ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนจะไม่แน่นอน จะอยู่ในช่วง 6.89-8.70 เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไคโตซานแล้ว จะเห็นว่าไคโตซานมีประจุบวกบนหมู่เอมิโน ถือเป็น Cationic polymer และสมบัติ Polyelectrolyte ของไคโตซานมีสมบัติในการดูดซับ สารจำพวกอินทรีย์รวมถึง Polychlorinated biphenyls โปรตีน และ Nucleic acid รวมถึงไอออนโลหะ เนื่องจากสมบัติการดูดซับที่ดี ไคโตซานจึงทำหน้าที่เป็น Coagulating agent ได้ดี นอกจากนี้มีสมบัติในการละลายในตัวทำละลายกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดฟอร์มิก สารละลายกรดแอสติก เป็นต้น และละลายได้เล็กน้อยในกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดเกลือ เป็นต้น จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ไคโตซานใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าไคติน และหมู่ไฮดรอกซีในไคโตซานมีสมบัติที่สำคัญในการดูดซับโลหะหนัก

2.6.2 การผลิตไคตินและไคโตซาน [15]

ไคโตซานหรืออนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิติลของไคติน หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา deacetylation โดยแช่ไคตินในสารละลายด่างเข้มข้น ซึ่งไคโตซานที่ได้นี้ มีชื่อทางเคมีว่า poly [β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] เป็น โพลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เกือบทั้งหมดและน้ำที่มีค่า pH เป็นกลางหรือด่าง แต่สามารถละลายในกรดอ่อน



(ก) โครงสร้างของเซลลูโลส

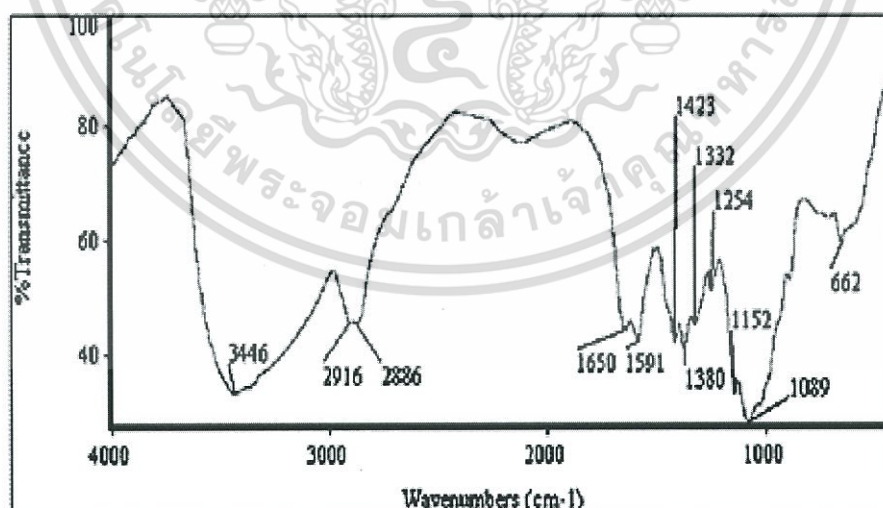


(ข) โครงสร้างของไคติน



(ค) โครงสร้างของไคโตซาน

รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคตินและไคโตซาน [15]



รูปที่ 2.12 IR spectra ของไคโตซาน [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมวิธีการผลิตไคตินและไคโตซานมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ ซึ่งในระดับอุตสาหกรรมมักจะใช้วิธีทางเคมี และวัตถุดิบส่วนใหญ่มาจากกากของเหลือในอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง อาทิ เปลือก - หัวกุ้งกระดองปูและแกนปลาหมึก โดยสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของไคตินและไคโตซานที่ได้มีความหลากหลายขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (Species) ของสัตว์เหล่านี้ รวมถึงกรรมวิธีการผลิต ดังนั้นกระบวนการผลิตที่นำเอาเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาผสมผสานกับกระบวนการผลิตทางเคมี จึงมีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้สมบัติของผลิตภัณฑ์ไคตินและไคโตซานตามต้องการ และเหมาะสมกับการนำไปใช้

2.6.3 สมบัติของไคโตซาน

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคโตซาน ดังแสดงในตารางที่ 2.12
 ตารางที่ 2.12 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคโตซาน [5]

ลักษณะเฉพาะ	ไคโตซาน
น้ำหนักโมเลกุล (คาลตัน)	(1-5) ผลิตภัณฑ์ทางการค้า
ระดับสายโซ่ (Degree of polymerization) เฉลี่ย จากจำนวนหน่วยใน 1 โมเลกุล	600-1800
องค์ประกอบอุดมคติ (องค์ประกอบเอมพิริคัล)	$C_6H_{11}O_4N$
ปริมาณไนโตรเจน (%) (ผลิตภัณฑ์ทางการค้า)	7-9.5
% ความชื้น (ผลิตภัณฑ์ที่แห้งในอากาศ)	2-10
ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล	60-80
ความหนืด (cP)	250-2500 (1%ในกรดแอซิดิก) ไม่คงตัว
% เถ้าที่อุณหภูมิ 900 °C	<1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 การใช้ประโยชน์จากโคโคซาน

ในการใช้ประโยชน์จากโคโคซานสามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางโดยอาศัยคุณลักษณะโดยทั่วไป แบ่งได้เป็นกลุ่มดังแสดงในตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 การใช้ประโยชน์จากโคโคซาน [5]

การใช้ประโยชน์	ตัวอย่าง	การใช้ประโยชน์	ตัวอย่าง
การบำบัดน้ำ (Water Treatment)	<ul style="list-style-type: none"> ● การกำจัดไอออนโลหะหนัก ● ฟลอคกูแลนต์/โคแอกกูแลนต์ - โปรตีน (Protein) - ดี (Dyes) - กรดอะมิโน (Amino Acids) - กรดกรอง (Filtration) 	เทคโนโลยีชีวภาพ (Biotechnology)	<ul style="list-style-type: none"> ● การตรึงเอ็นไซม์ ● การคัดแยกโปรตีน ● โครมาโทกราฟี ● การฟื้นฟูเซลล์ ● การตรึงเซลล์ ● ข้าวกลูโคส
อุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษ (Pulp and Paper)	<ul style="list-style-type: none"> ● การบำบัดพื้นผิว ● การถ่ายภาพ ● กระดาษก๊อปปี้คาร์บอน 	อุตสาหกรรมเกษตร (Agriculture)	<ul style="list-style-type: none"> ● การเคลือบเมล็ดพืช ● การเคลือบใบ ● ทำปุ๋ย ● ควบคุมการหลั่งสารเคมีของพืชผล
อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง (Cosmetics)	<ul style="list-style-type: none"> ● น้ำยาเคลือบเล็บ ● ให้ความชุ่มชื้น ● โลชั่นอาบน้ำ 	เยื่อแลกเปลี่ยน (Membrane)	<ul style="list-style-type: none"> ● ควบคุมการซึมผ่าน ● การแยกตัวทำละลาย ● รีเวิร์สออสโมซิส

2.7 เส้นใยฝ้าย (Cotton fiber) [17]

ฝ้ายเป็นเส้นใยที่นิยมมากที่สุดในกลุ่มเส้นใยเซลลูโลส มีอัตราการผลิตและการใช้งานสูงประเทศที่ส่งออกฝ้ายเป็นหลัก ได้แก่ สหรัฐอเมริกา จีน อินเดีย ปากีสถาน แอฟริกา เป็นต้น

ฝ้ายมาจากปุยฝ้ายของพืชตระกูล *Gossypium* และมีหลายชนิด แต่เส้นใยฝ้ายในตลาดส่วนใหญ่ทั่วโลกเป็นพันธุ์พื้นเมืองที่มีชื่อว่า กอสลีเปียม ฮิสซุตัม (*Gossypium hirsutum*) และ กอสลีเปียม บาบาดินส์ (*Gossypium barbadense*) จากประเทศอเมริกา เส้นใยฝ้ายมีความแตกต่างกันในเรื่องความยาว ความแข็งแรง การยืดตัว ความละเอียด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง) ความแตกต่างนี้มา

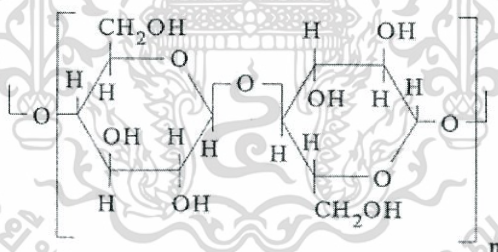
จากพันธุ์และสภาพแวดล้อมในการปลูกฝ้าย เช่น ปริมาณน้ำฝน ปริมาณความชื้น ปริมาณแสงแดด และวิธีการเก็บเกี่ยว

ฝ้ายเป็นเซลลูโลสที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ดังนั้น โครงสร้างทางเคมี คือ poly (1,4- β -D-anhydroglucopyranose) แสดงดังรูปที่ 2.13 โครงสร้างภายนอกของฝ้ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เส้นใยฝ้ายมีความละเอียดมาก มีความยาวเส้นใยตั้งแต่ 10-65 มิลลิเมตร ขึ้นกับคุณภาพของเส้นใย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 11-22 ไมครอน (ไมโครเมตร=10⁻⁶ เมตร)

2.7.1 องค์ประกอบทางเคมี

ตารางที่ 2.14 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้าย [18]

Components	Whole fiber (%)	Primary Wall (Fiber Surface) (%)
Cellulose	94.0	54
Protein	1.3	14
Pectin	0.9	9
Wax	0.6	8
Ash	1.2	3
Others	-	4



รูปที่ 2.13 โครงสร้างซ้ำของ poly (1,4- β -D-anhydroglucopyranose) [19]

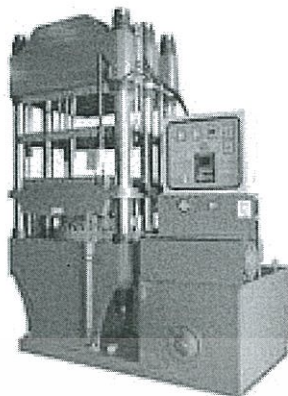
2.7.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี

ตารางที่ 2.15 สมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยฝ้าย [6]

Property	Evaluation
Shape	Fairly uniform in width, 12-20 microns; length varies from ½ to 2½ inches; typical length is ⅞ to 1¼ inches.
Luster	Low
Tenacity (strength)	
• Dry	
• Wet	3.0-5.0 g/d 3.3-6.0 g/d
Resiliency	Low
Density	1.54-1.56 g/cm ³
Moisture absorption	
• raw:conditioned	
saturation mercerized:	8.5%
• conditioned	
• saturation	15-25% 8.5-10.3%
Dimensional stability	Good
Resistance to	
• acids	damage, weaken fibers
• alkalis	resistant; no harmful effects
• organic solvents	high resistance to most
• sunlight	Prolonged exposure weakens fibers
• microorganisms	Mildew and rot-producing bacteria damage fibers
• insects	Silverfish damage fibers
Thermal reactions	
• to heat	
• to flame	Decomposes after prolonged exposure to temperatures of 150 °C or overburns readily

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การขึ้นรูปโดยการกดอัด [20]



รูปที่ 2.14 เครื่อง Compress molding [21]

เทคนิคการกดอัด (Compressing molding) เป็นเทคนิคการแปรรูปพอลิเมอร์ ที่เก่าแก่ที่สุด เทคนิคหนึ่ง แต่ก็มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ปัจจุบันใช้เทคนิคการอัดพลาสติกกลุ่มเทอร์โมเซต และยาง นอกจากนี้ยังเป็นที่ยอมรับใช้กับเทอร์โมพลาสติกที่แปรรูปด้วยเทคนิคอื่นได้ยาก

ส่วนประกอบหลักของเครื่อง คือ แผ่นเหล็กอัด (platens) จำนวน 2 ชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ อีกแผ่นหนึ่งยึดติดกับที่ ทำให้สามารถปิดเปิดเบ้าได้ เนื่องจากเบ้าถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กทั้ง 2 แผ่นนี้ ส่วนประกอบอื่น คือ อุปกรณ์ให้ความร้อน ระบบไฮดรอลิก และอุปกรณ์หล่อเย็น

วิธีการขึ้นรูปทำได้โดยนำวัสดุผสมเข้าไปในเบ้าและให้ความร้อนขณะอัดจากนั้นใช้ระบบหล่อเย็นโดยใช้น้ำไหลหมุนเวียนเข้าสู่ระบบท่อใกล้ช่องว่างของเบ้า

ความดันที่ใช้ในการอัดเบ้าต้องใช้ให้น้อยที่สุด แต่มากพอที่ทำให้พลาสติกไหลเต็มช่องว่างของเบ้า แต่ไม่สูงจนทำให้พลาสติกรั่วไหลออกจากรอยแยกเบ้า ระดับความดันที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาของชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูป

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปนัดดา พวงเกษม [22] ศึกษาฟิล์มบริโกลที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง และทดสอบสมบัติ โดยพบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง ที่มีสมบัติที่เหมาะสมนำไปใช้ประโยชน์ได้ จากการเตรียมน้ำ แป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 และเติมซอร์บิทอลร้อยละ 30 เป็นพลาสติกไซเซออร์ แผ่นฟิล์มที่ได้มี ลักษณะใส ผิวเรียบ ความหนาเฉลี่ย 0.063 มิลลิเมตร มีค่าการต้านทานแรงดึงขาด 1.77 กิโลกรัม ต่อ มิลลิเมตร การดึงยืดร้อยละ 10.13 ค่าการซึมผ่านของออกซิเจน 6 มิลลิเมตรต่อตารางเมตร สามารถต้านทานน้ำมันได้ 120 วัน ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ

กาญจนา อุทัยฉาย และคณะ [23] ได้ศึกษาการเตรียมเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากแป้ง (TPS) โดยนำแป้งและกลีเซอรอลผสมกันด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ แล้วจึงนำไปขึ้นรูป เป็นชิ้นตัวอย่างด้วยเทคนิคการอัดเข้าแม่พิมพ์ ในการทดลองได้ใช้แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว ผสมกับกลีเซอรอลที่อัตราส่วนกลีเซอรอล 15%, 20%, 25% และ 30% w/w รวมถึงศึกษาการพัฒนาสมบัติเชิงกลของ TPS ด้วยการเติมผงแคลเซียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 - 0.355 มม. และ 0.038-0.150 มม. ผสมกับแป้งในอัตราส่วนผงแคลเซียม 1% และ 3% w/w ผลการ ทดลองพบว่า TPS ที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวและกลีเซอรอล 15% w/w มีค่า Tensile strength มาก ที่สุด และการเติมผงแคลเซียมขนาด 0.038-0.150 มม. ปริมาณ 1% w/w ทำให้ TPS มี Tensile strength และ Impact strength สูงขึ้น

ธีระพงษ์ บัวศรี และคณะ [24] ได้พัฒนาเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีความว่องไวต่อ ความชื้นลดลง โดยการเคลือบผิวเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วย Fatty acids, Chitosan และ Chitosan derivatives จากการทดสอบสมบัติความว่องไวต่อการดูดความชื้น พบว่า ชิ้นงานเทอร์โมพลาสติก สตาร์ชที่เคลือบผิวมีการดูดความชื้น ได้น้อยกว่าชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้เคลือบผิว ชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย Chitosan และ Chitosan derivatives มีการยึดติดกันระหว่างสารที่นำมา เคลือบผิวกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชได้ดีกว่าชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เคลือบด้วย Fatty acid แต่ชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เคลือบผิวด้วย Fatty acid มีการดูดซับความชื้น ได้น้อยกว่า ชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เคลือบด้วย Chitosan และ Chitosan derivatives หลังจากเก็บ ชิ้นงานไว้ในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ที่ 53% เป็นเวลา 15 วันทำให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง และความต้านทานต่อแรงกระแทกของชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้เคลือบผิวมีการ เปลี่ยนแปลงลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่มีการเคลือบผิว

เกศศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ [13] ผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง คือ นำแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ผสมกับกลีเซอรอล หรือ กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต ร้อยละ 0.2 5 และ 10 โดยใช้เครื่องอัดรีดในการผสม จากการปรับปรุงด้วยปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะเรียบขึ้น แต่ทนทานต่อการแตกเมื่อพับลดลง การผสมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรตในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ในปริมาณต่างกัน ไม่ส่งผลต่อความเรียบของฟิล์ม และจากการผสมแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรอล พบว่าฟิล์ม มีความใส ยืดหยุ่นดี ส่วนฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าผสมกับกลีเซอรอล มีสีขาวขุ่น ยืดหยุ่นพอใช้ และฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้ายังมีความเปราะบางกว่าฟิล์มที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง

ภูริศา ทศวิไล และคณะ [25] ศึกษาสมบัติของฟิล์มประกอบของแป้งข้าวเจ้าและเพคติน ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ (ร้อยละ 0, 1, 2 และ 3) พบว่า ฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้ามีการต้านทานแรงดึงต่ำ แต่มีการดึงยืดที่สูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 4.58 MPa และ ร้อยละ 45.40 ตามลำดับ และฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยเพคตินทั้ง 3 ความเข้มข้นมีการต้านทานแรงดึงเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของ เพคตินที่มากขึ้น โดยมีค่าระหว่าง 10.25 - 38.56 MPa ส่วนการดึงยืดของฟิล์ม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และการซึมผ่านของไอน้ำและการละลายน้ำของฟิล์มประกอบลดลง เมื่อความเข้มข้นของเพคตินเพิ่มสูงขึ้น และฟิล์มประกอบจากแป้งข้าวเจ้าผสมเพคติน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 มีการซึมผ่านของไอน้ำและการละลายน้ำของฟิล์มต่ำที่สุดเท่ากับ 59.2 กรัมต่อตารางเมตร และร้อยละ 40.77 ตามลำดับ

ชยาภา วีระโพธิ์ประสิทธิ์ และคณะ [3] ศึกษาการเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วยด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย โดยการขึ้นรูปด้วยวิธีการเทหล่อ เมื่อใส่สารละลายเพคตินและเส้นใยฝ้าย ทำให้ฟิล์มแป้งกล้วยมีความเป็นผลึกสูงขึ้น ส่วนสมบัติการดูดซับน้ำฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมเพคติน 50% มีการดูดซับน้ำมากที่สุด สำหรับสถาบันวิทยาพบว่า มีความเข้ากันได้ระหว่างแป้งกล้วยกับสารละลายเพคติน และจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันพบว่า การปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้ายส่งผลให้พีคที่ตำแหน่ง O-H stretching เกิดการเคลื่อนที่ของตำแหน่งเลขคลื่นที่ลดลง นอกจากนี้พบว่า ฟิล์มแป้งกล้วยที่ใส่สารละลายเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 10% ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด และสำหรับการสมบัติด้านการซึมผ่านของไอน้ำพบว่า ฟิล์มแป้งกล้วยที่เติมเพคติน 50% มีค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงที่สุด และจากการศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของฟิล์มแป้งกล้วยพบว่าเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มมีเสถียรภาพทางความร้อนมากขึ้น ส่วนสมบัติการย่อยสลายด้วยการฝังดิน พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้าย 10% มีแนวโน้มย่อยสลายช้าที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุพจิพ สุขกันตะ และคณะ [26] ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้จากไคโตซาน - เจลาติน โดยศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคโตซานที่ผลิตได้ ศึกษาการละลายไคโตซานในกรด 3 ชนิด ได้แก่ กรดแลคติก โพรพิโอนิก และ ซิตริก รวมถึงการนำสารละลายไคโตซานที่ได้ไปผลิตเป็นแผ่นฟิล์มไคโตซาน ทำการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ และ ทางกลของแผ่นฟิล์มให้ได้มาตรฐานโดยการเติมพลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด คือ กลีเซอรอล และ ซอร์บิทอล เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มไคโตซานที่มีสมบัติดีขึ้น ผลการทดลองพบว่า ไคโตซานที่ผลิตได้ในห้องปฏิบัติ มีค่าความชื้นร้อยละ 6.85 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.34 ไขมันร้อยละ 0.1 เถ้าร้อยละ 0.25 ระดับการกำจัดหมู่อะซิดิลร้อยละ 86.7 และค่าความหนืด 230 เซนติพอยส์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับไคโตซานที่ขายตามท้องตลาด ในการนำไคโตซานที่ผลิตได้นี้ไปทดลองเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ ได้ทำการคัดเลือกปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติฟิล์ม เช่น ปริมาณไคโตซาน ชนิดและความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ ปริมาตรของสารละลายไคโตซานอัตราส่วนของเจลาติน รวมถึงชนิดของพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสม พบว่าฟิล์มขนาด 20 x 25 ซม.² ที่เตรียมจากสารละลายไคโตซานและเจลาติน ร้อยละ 1 ในกรดโพรพิโอนิกเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 150 มล. และมีส่วนผสมของกลีเซอรอล ร้อยละ 0.5 ให้สมบัติของแผ่นฟิล์มดีที่สุด โดยมีสมบัติดังนี้ ค่าการต้านทานแรงดึง 70.385 นิวตัน/มม.² ค่าการยืดตัวเมื่อขาด 13.463 มม./มม. และการต้านทานแรงฉีกขาดเท่ากับ 617.7 มิลลินิวตัน

R. Sothonvit และ N. Pitak [27] งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ที่มีผลต่อฟิล์มแป้งกล้วย โดยใช้ น้ำ 100 มิลลิลิตร แป้งกล้วยปริมาณต่าง ๆ กัน คือ 4 6 และ 8% โดยน้ำหนัก กลีเซอรอล 30 และ 50 % โดยน้ำหนัก เพคติน 0 และ 1% โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิการเกิดเจลาติโนเซชัน 75 ถึง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปเข้าสู่อบ ที่อุณหภูมิ 50 ถึง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าแป้งกล้วยมีลักษณะแข็งสีเหลือง แป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพคตินมีค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มแป้งกล้วย ส่วนฟิล์มแป้งที่มีส่วนผสมกลีเซอรอล 50% ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดสูงสุด และยังพบว่าเมื่อกลีเซอรอลและเพคตินมีปริมาณมากขึ้นทำให้การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนในแป้งกล้วยลดลง นอกจากนี้วัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารแห้งยังสามารถย่อยสลายได้เองโดยการฝังดิน

M. L. Fishman และ คณะ [28] ศึกษาการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้และย่อยสลายได้จากแป้งผสมเพคตินโดยขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีด โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในการทดลองผสมเพคตินและเม็ดแป้งที่มีอะไมโลสสูง และกลีเซอรอลในปริมาณต่าง ๆ โดยทำการขึ้นรูปเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ นำฟิล์มที่ได้ทดสอบสมบัติเชิงกลทางความร้อน ด้วยเครื่อง Dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) ซึ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำในระหว่างการอัดรีดซึ่งใช้ในการควบคุมการเกิดเจลาทีไนซ์ของแป้งได้ และข้อมูลจากเทคนิค DMTA พบว่าปริมาณความชื้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการอัดรีด ส่งผลถึงการเกิดเจลาทีไนซ์ของแป้ง ซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มแป้งผสมเพคติน และพบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) มีค่า -50 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิห้องฟิล์มสามารถดึงยืดได้

C. Xiao และ คณะ [29] ศึกษาการผสมไคโตซานกับแป้งบุก (Konjac glucomannan) แล้วทำการหล่อฟิล์มเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล และความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มไคโตซาน พบว่า อัตราส่วนระหว่างไคโตซานต่อแป้ง 7:3 สามารถผสมเข้ากันได้ดีที่สุดในฟิล์มที่ได้มีความใส รวมทั้งยังมีสมบัติทางความร้อน (Thermal properties) ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่าการยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) สูงที่สุด เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่อะมิโนของไคโตซานกับหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งบุก และยังพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งบุกแผ่นฟิล์มที่ได้ละลายน้ำได้ดีขึ้น

M. Hasagawa และ คณะ [30] ศึกษาสมบัติของฟิล์มระหว่างไคโตซานกับเซลลูโลส พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานความชื้นของแผ่นฟิล์มมีค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่าง $12 - 19\%$ โดยน้ำหนัก และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผสมปริมาณความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มลดลง โดยไคโตซานขัดขวางการตกผลึกของเซลลูโลส อัตราส่วนที่ใช้ไคโตซาน 30% ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด เนื่องจากเซลลูโลสกับไคโตซาน มีความเป็นขั้ว จึงเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกัน และไคโตซานทำให้ขนาดวิภาคของเซลลูโลสลดลง และเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุล นอกจากนี้ยังพบว่าความร้อน ทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีสมบัติเชิงกลลดลง โดยความร้อนทำลายแรงระหว่างโมเลกุล

Y. Lu และคณะ [31] ได้ศึกษาสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชคอมโพสิตจากแป้งข้าวสาลีที่ผสมเส้นใยป่านรามิ โดยใช้ความยาว 538.5 ± 125.3 นาโนเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 85.4 ± 25.3 นาโนเมตร เพื่อเตรียมเป็นฟิล์มด้วยกระบวนการหล่อแบบ (Casting) โดยใช้ปริมาณเส้นใยที่ $0\%, 5\%, 10\%, 15\%, 20\%, 25\%, 30\%$ และ 40% โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่า ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณเส้นใยมากขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง นอกจากนี้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า เส้นใยมีการกระจายตัวที่ดิบบนเมทริกซ์ของแป้ง อีกทั้งเมื่อปริมาณเส้นใยมากขึ้น ทำให้คอมโพสิตมีสมบัติการดูดซับความชื้นได้น้อยลง จึงกล่าวได้ว่า การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชโดยใช้เส้นใยป่านรามิ ทำให้โครงสร้างของคอมโพสิตมีลักษณะเป็นโครงร่างสาม

มิติ และมีแรงกระทำระหว่างพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใยกับเส้นใย และเส้นใยกับเมทริกซ์ของแป้ง

L. Dobircan และคณะ [32] ได้ศึกษาเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวสาลีที่มีโปรตีนสูง เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้ายความยาวระดับนาโนเมตรถึงมิลลิเมตร โดยทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีด ปริมาณเส้นใยฝ้ายที่ใช้ คือ 0 5 7.5 10 และ 15 % โดยน้ำหนัก ทำการผสมด้วยเครื่องผสมก่อนทำการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อเส้นใยมากขึ้นทำให้ค่าการดึงยึดได้น้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณ 15 % โดยน้ำหนัก ค่าการดึงยึดที่ได้ลดลง 78 % เมื่อเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ไม่ได้ผสมเส้นใยฝ้าย และที่ปริมาณเส้นใยฝ้าย 10 % โดยน้ำหนัก ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด เนื่องจากเส้นใยฝ้ายกับเมทริกซ์มีความเข้ากันได้ดี และมีการกระจายตัวที่ดี และส่งผลให้เกิดการกระจายแรงระหว่างเส้นใยฝ้ายกับเมทริกซ์มีความสม่ำเสมอ และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเสริมแรงด้วยเส้นใยป่าน (Flax) พบว่าแนวโน้มของสมบัติเชิงกลเป็นไปในแนวเดียวกันแต่ค่าความแข็งแรงดึงและการดึงยึดสูงกว่าการใช้เส้นใยฝ้าย แต่ทำการขึ้นรูปโดยใช้สภาวะการอัดรีดที่อุณหภูมิและความดันต่างกัน และภาพจาก SEM แสดงให้เห็นว่ามีการกระจายตัวที่ดีของเส้นใยบนเมทริกซ์ แต่เมื่อใส่เส้นใยที่มากเกินไปพบว่าเส้นใยเริ่มจับตัวกันเป็นก้อน เช่นจากการศึกษาที่ปริมาณการใช้เส้นใย 15 % โดยน้ำหนัก การกระจายตัวของเส้นใยเริ่มไม่สม่ำเสมอจึงส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีค่าลดลง และจากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) แสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยลงไปไม่ได้มีผลต่อความเป็นผลึกของคอมโพสิตที่ได้ โดยลักษณะที่คล้ายกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ไม่ได้ผสมเส้นใย สำหรับสมบัติทางความร้อนจากการวิเคราะห์ด้วย TGA พบว่าการใส่เส้นใยไม่ส่งผลให้สมบัติทางความร้อนมีการเปลี่ยนแปลง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. แป้งมันสำปะหลัง ตรา ดาว จาก บริษัท เจ้าพระยาพีชไร้ 2999 (กำแพงเพชร) จำกัด โดยมีองค์ประกอบดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังโดยทั่วไป

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	12.59
แป้ง	87.0
ไขมัน	0.1
โปรตีน	0.1
เถ้า	0.2
ฟอสฟอรัส	0.01

2. กlycerol (Glycerol) เกรดการค้า จากบริษัท Lab System
3. เพคตินชนิดผง จาก บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด โดยมีองค์ประกอบดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของเพคติน

รายละเอียด	ผลวิเคราะห์
Stability Index units	141
Degree of Esterfication (%)	72
Loss on drying (%)	8
pH in a 1% solution units	3.6
Particle size on 60 mesh (250 micron) (%)	0.3

4. ใคโตซานชนิดผง (Food Grade) จากบริษัท โบนาพีเคสมาร์เก็ตติ้ง จำกัด โดยมีองค์ประกอบดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของไคโตซาน

รายละเอียด	ผลวิเคราะห์
Raw material	Fresh Shrimp Shell
Appearance	White to Yellow
Moisture content	Less than 10%
Ash content	Less than 1%
Solution(1% in 1% acetic acid)	Clear
Solubility	More than 99.9%
Insolubility (%)	Less than 1%
Turbidity	Less than 50 NTUs
Viscosity	500-1,000 (mPa.S(cPs))
Molecular weight	500,000-1,000,000
Deacetylation	95%Min
Particle size	30 Mesh
รายละเอียด	ผลวิเคราะห์
Heavy metal	Less than 10 PPM
Microbial content	
Total Plate Count	Less than 100 Cfu/g
Yeast & Mold	Less than 50 Cfu/g
E.coll	Nil
Salmonella	Nil
Coliform	Nil

5. เส้นใยฝ้าย

ตารางที่ 3.4 สมบัติของเส้นใยฝ้าย

สมบัติทั่วไป	หน่วย	ค่าที่ได้
ความยาว (L)	mm	2.00
เส้นผ่านศูนย์กลาง (D)	μm	1
L/D ratio	-	200/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) : Brabender รุ่น PL 2000/PL 2001
2. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) : LABTECH ENGINEERING รุ่น LP 20
3. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) : LLYOD INSTRUMENT LTD.
รุ่น LR 5K
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก : Precisa Instrument
5. แม่พิมพ์หนา 2 มิลลิเมตร
6. เครื่องทดสอบทางความร้อน TGA (Thermogravimetric analyzer, TGA) : Perkin Elmer
Instrument Co., Ltd รุ่น Pyris I TGA HT
7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) : LEO รุ่น
1455VP
8. เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer,
FTIR) : Perkin Elmer รุ่น FTIR Spectrum GX
9. เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) : XRD รุ่น D 8 Advance
10. เครื่องวัดสี Spectrophotometer
11. เกรียง
12. เวอร์เนียร์
13. ไมโครมิเตอร์

3.3 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอล

- 3.3.1.1 ชั่งน้ำหนักแป้งและกลีเซอรอล ใส่ลงในภาชนะ ตามอัตราส่วน 70 : 30, 65 : 35 และ 60 : 40
- 3.3.1.2 นำทั้ง 3 สูตรข้างต้นมาเก็บในภาชนะปิดสนิทเป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้กลีเซอรอลซึมเข้าไปในแป้ง หลังจากนั้นนำของผสมที่เตรียมได้มาผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส [5] และที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที สังเกตลักษณะทางกายภาพของของผสมที่ได้
- 3.3.2.3 นำเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแต่ละสูตรที่ได้จากการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) มาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่น้ำหรือความชื้นออกจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช
- 3.3.2.4 ขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ได้ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) โดยใช้แม่พิมพ์ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทำความสะอาดแม่พิมพ์แล้วทาน้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) ลงไปบนแม่พิมพ์ด้านที่มีการสัมผัสกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช วางแผ่นใสบนแม่พิมพ์
- 3.3.2.5 ใส่เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชลงในแม่พิมพ์ และนำแม่พิมพ์ไปใส่เครื่องอัดขึ้นรูป และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 5 นาที โดยไม่มีการประกบแม่พิมพ์ จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานที่อุณหภูมิ 140 °C (อุณหภูมิเดียวกันกับการผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช) และใช้ความดันในช่วง 1300 psi เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นหล่อเย็นต่ออีก 5 นาที
- 3.3.2.6 จากนั้นเปรียบเทียบลักษณะของชิ้นงานทั้ง 3 สูตร คือ ที่อัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอล 70 : 30 65 : 35 และ 60 : 40 และเลือกสูตรที่ดีที่สุด

ตอนที่ 2 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง

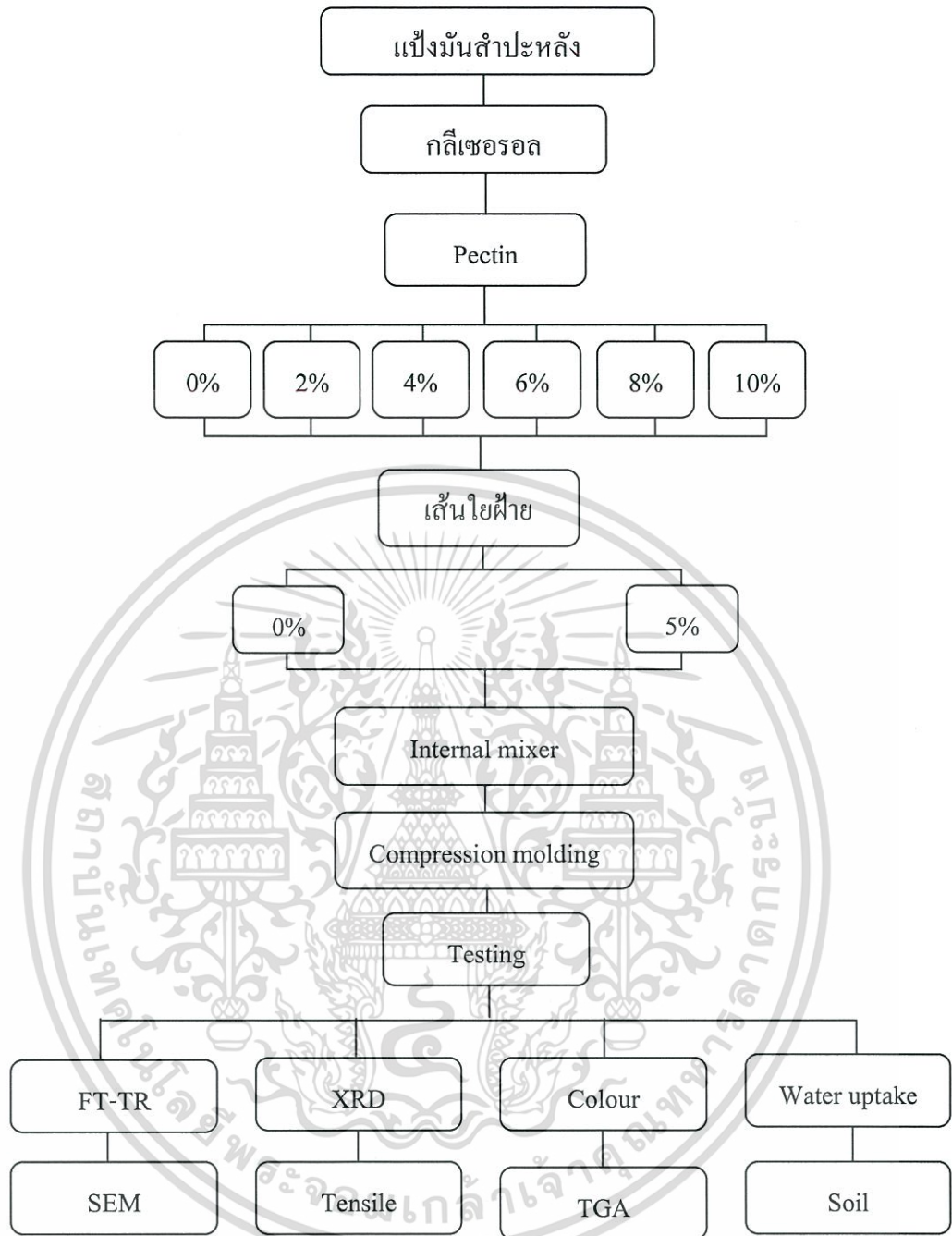
- 3.3.1.1 ชั่งน้ำหนักแป้งและกลีเซอรอล ในอัตราส่วน 65 : 35 คือ สูตรที่มีการขึ้นรูปเหมาะสมที่สุด
- 3.3.1.2 เก็บของผสมที่ได้ในภาชนะที่ปิดสนิทเป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้กลีเซอรอลซึมเข้าไปในแป้ง หลังจากนั้นนำของผสมที่เตรียมได้มาผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที สังเกตลักษณะทางกายภาพของของผสมที่ได้

ตอนที่ 3 การขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง

- 3.3.3.1 นำเทอร์โมพลาสติกสตาโรลแต่ละสูตรที่ได้จากการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) มาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่น้ำหรือความชื้นออกจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรล
- 3.3.3.2 ขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ได้ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) โดยใช้แม่พิมพ์ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทำความสะอาดแม่พิมพ์แล้วทาน้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) ลงไปบนแม่พิมพ์ด้านที่มีการสัมผัสกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรล วางแผ่นโสบนแม่พิมพ์
- 3.3.3.3 ใส่เทอร์โมพลาสติกสตาโรลลงในแม่พิมพ์ และนำแม่พิมพ์ไปใส่เครื่องอัดขึ้นรูป และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 5 นาที โดยไม่มีการประกบแม่พิมพ์ จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานที่อุณหภูมิ 140 °C และใช้ความดันในช่วง 1300 psi เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นหล่อเย็นต่ออีก 5 นาที
- 3.3.3.4 นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปทดสอบด้วยวิธีต่างๆ

ตอนที่ 4 การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย

- 3.3.4.1 ปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง ที่เตรียมได้ในตอนที่ 2 มาปรับปรุงด้วยผงเพคติน 0% 2% 4% 6% 8% 10% โดยน้ำหนัก และนำสูตรที่ดีที่สุดมาปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก
- 3.3.4.2 จากนั้นเก็บไว้ในภาชนะปิดเป็นเวลา 1 คืน และนำของผสมที่เตรียมได้มาผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
- 3.3.4.3 ใส่เทอร์โมพลาสติกสตาโรลลงในแม่พิมพ์ และนำแม่พิมพ์ไปใส่เครื่องอัดขึ้นรูป และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 5 นาที โดยไม่มีการประกบแม่พิมพ์ จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานที่อุณหภูมิ 140 °C และใช้ความดันในช่วง 1300 psi เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นหล่อเย็นต่ออีก 5 นาที
- 3.3.4.4 นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปทดสอบต่อไป

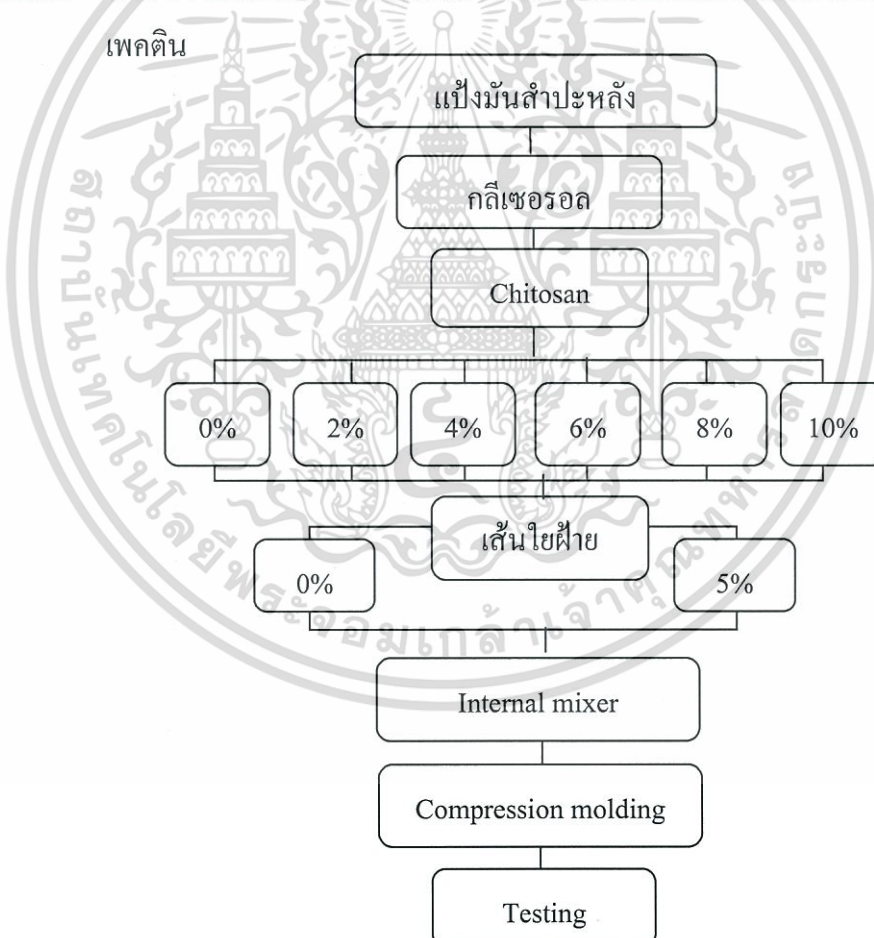


รูปที่ 3.1 แผนผังการปรับปรุงสมบัติเทอร์โมพลาสติกของโพลียูรีเทนจากแป้งมันสำปะหลังด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 5 การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลังด้วยไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย

- 3.3.5.1 ปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมได้ในตอนที่ 2 โดยปรับปรุงด้วยเกลือไคโตซาน 0% 2% 4% 6% 8% 10% โดยน้ำหนัก และนำสูตรที่ดีที่สุดมาปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก
- 3.3.5.2 จากนั้นเก็บไว้ในภาชนะปิดเป็นเวลา 1 คืน และนำของผสมที่เตรียมได้มาผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
- 3.3.5.3 ใส่เทอร์โมพลาสติกสตาโรซลงในแม่พิมพ์ และนำแม่พิมพ์ไปใส่เครื่องอัดขึ้นรูป และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 5 นาที โดยไม่มีการประกบแม่พิมพ์ จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 5 นาที
- 3.3.5.4 นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปทดสอบเช่นเดียวกับการปรับปรุงด้วยเพคติน

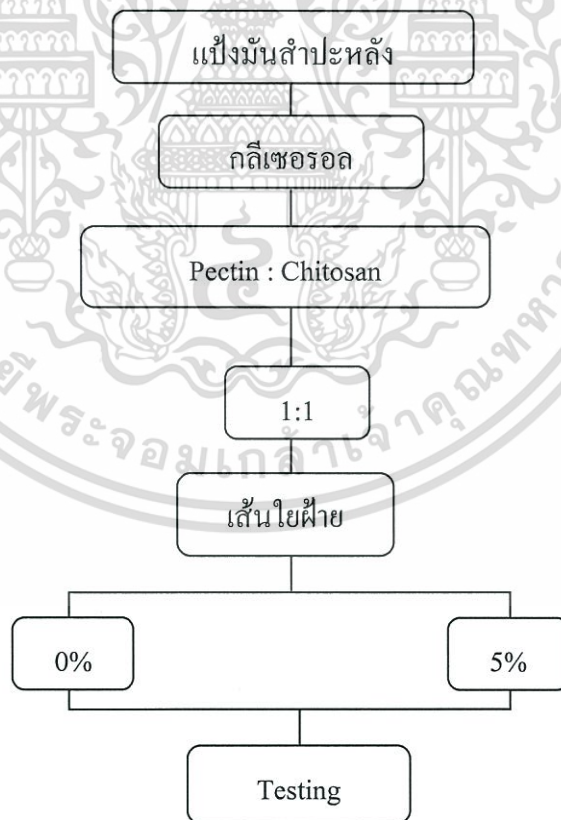


รูปที่ 3.2 แผนผังการปรับปรุงสมบัติเทอร์โมพลาสติกสตาโรซแป้งมันสำปะหลังด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 6 การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลังด้วยเพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย

- 3.3.6.1 ปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง ที่เตรียมได้จาก ตอนที่ 2 โดยปรับปรุงด้วยผงเพคตินและเกล็ดไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 และปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก
- 3.3.6.2 จากนั้นเก็บไว้ในภาชนะปิดเป็นเวลา 1 คืน และนำของผสมที่เตรียมได้มาผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
- 3.3.6.3 ใส่เทอร์โมพลาสติกสตาโรลลงในแม่พิมพ์ และนำแม่พิมพ์ไปใส่เครื่องอัดขึ้นรูป และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 5 นาที โดยไม่มีการประกบแม่พิมพ์ จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานที่อุณหภูมิ 140 °C และใช้ความดันในช่วง 1300 psi เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นหล่อเย็นต่ออีก 5 นาที
- 3.3.6.4 นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปทดสอบเช่นเดียวกับการปรับปรุงด้วยเพคติน



รูปที่ 3.3 แผนผังปรับปรุงสมบัติเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 การทดสอบการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่างโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy) โดยนำสารตัวอย่างมา 2-3 มิลลิกรัม มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้งแล้วจำนวน 0.2-0.5 กรัม ให้เข้ากัน ใส่ลงในแม่พิมพ์แล้วนำเข้าเครื่องอัดเม็ดภายใต้ความดัน 10^4 kg/cm^2 นาน 5 นาที แล้วนำเม็ดออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

3.4.2 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) [33]

วิเคราะห์หาโครงสร้างของผลึก ขนาดของอนุภาคและองค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่างโดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆ กัน เพื่อระบุวัฏภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer โดยเตรียมสารตัวอย่างที่มีความหนา $200 \mu\text{m}$ และขนาดของมุมตกกระทบที่ใช้ (2θ) ในช่วง $3-33^\circ$ ด้วยอัตราเร็ว $1^\circ/\text{นาที}$ แล้วปล่อยรังสีเอกซ์เข้าชิ้นตัวอย่าง

3.4.3 การวัดสี (Color measurement) [33]

ทดสอบชิ้นงานแห้งที่ได้จากการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องวัดสีตามมาตรฐาน ASTM D-1925 เตรียมตัวอย่างโดยตัดชิ้นงานให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร แล้วเปรียบเทียบกับแถบมาตรฐานโดยวัดทั้งสิ้น 10 จุด เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานตามระบบของ Hunter และ CIE ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้งสเดนหรือซินอน D 65/10° โดย

- L^* : ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)
 $L = 0$ = perfect black sample
 $L = 100$ = perfect white sample
- a^* : ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว (red-green)
 a เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีแดง
 a เป็น - สีจะไปในทิศทางของสีเขียว
- b^* : ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (yellow-blue)
 b เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีเหลือง
 b เป็น - สีจะไปในทิศทางของสีน้ำเงิน
- C^* : ความสดใของสี
 สามารถคำนวณได้จาก $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$
- h° : เป็นตัวเลขที่ระบุตำแหน่งของสีมีหน่วยเป็นองศา

สามารถคำนวณได้จาก $h^\circ = \tan^{-1}[b^*/a^*]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ปริมาณการดูดความชื้น (Moisture absorption)

ทดสอบชิ้นงานแห้งที่ได้จากการอัดขึ้นรูปตามมาตรฐาน ASTM E 104 [34] นำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จดน้ำหนักไว้ จากนั้นนำไปเก็บในบรรยากาศที่อิ่มตัวด้วยแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และน้ำกลั่น (Distilled water) ความชื้นสัมพัทธ์ 100% โดยนำชิ้นงานชิ้นมาบันทึกน้ำหนักทุกๆ 1 วัน ปริมาณการดูดความชื้นสามารถคำนวณได้จาก

$$M_t (\%) = (W_w - W_d) / W_d \times 100$$

เมื่อ M_t คือ เปอร์เซนต์ความชื้น
 W_d คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนทดสอบ
 W_w คือ น้ำหนักของชิ้นงานหลังทดสอบ

3.4.5 การทดสอบสัณฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) (Cryogenic fracture) เตรียมตัวอย่างที่ได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป โดยศึกษาการกระจายตัวของเฟลคดิน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้ายในเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์

3.4.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทดสอบสมบัติ ตามมาตรฐาน ดังตารางที่ 3.5 [35]
 ตารางที่ 3.5 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่เตรียมได้

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
แรงดึง (Load)	ASTM D 638	N
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Young's modulus, E)	ASTM D 638	MPa
การดึงยืด (Elongation)	ASTM D 638	mm
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Strain at break)	ASTM D 638	%

3.4.6.1 แรงดึง ความแข็งแรงดึง มอดุลัส การดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 พร้อมทั้งใช้โปรแกรม WINDAP ซินงานที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นรูปคัมเบลล์ จำนวน 10 ซินงาน ต่อ 1 สูตร ทดสอบตามสภาวะดังนี้

Test speed	:	40 mm/min
Gauge length	:	40 mm
Load cell	:	100 N



รูปที่ 3.4 ลักษณะซินงานคัมเบลล์ที่นำมาทดสอบจากเครื่อง Compression molding [36]

ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)} = F/A$$

$$\text{มอดุลัส (Young's modulus, E)} = (F/A) / [(L-L_0)/L_0]$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (\% Elongation at break)} = [(L-L_0)/L_0] * 100$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยืดซินงานตัวอย่าง (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของซินงานตัวอย่าง (mm^2)

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงยืดซินงานตัวอย่าง (mm)

L_0 คือ ระยะที่ซินงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (mm)

3.4.7 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

ศึกษาอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว (Onset degradation temperature) และ เปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักที่อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว (% weight loss at onset degradation temperature) ของตัวอย่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA) โดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 16 มิลลิกรัม แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยใช้บรรยากาศของไนโตรเจน (N_2) ที่อุณหภูมิในช่วง 50-700 องศาเซลเซียส และมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียส/นาที เมื่อได้ TGA เทอร์โมแกรมแล้ว จึงนำมาทำอนุพันธ์ของเทอร์โมแกรม (Derivative thermogram) ได้เป็น DTG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน [37]

ตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหนา 2 มม. ขนาด 20 x 50 มม.² ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยการฝังดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 อนุกรมมิในการย่อยสลาย 32 ± 2 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 15-20% และเก็บตัวอย่างด้วยความระมัดระวัง จากนั้นดูการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของชิ้นงานด้วยกล้องดิจิทัล และกล้องอิเล็คตรอนแบบส่องกราด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ในปริมาณต่างๆ จากนั้นทำการศึกษาสมบัติเชิงกล สัมพันธวิทยา สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และการย่อยสลายด้วยการฝังดิน จากการศึกษาสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้ายได้ผลดังนี้

4.1 การศึกษาการเตรียมและการขึ้นรูป

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรอล ให้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัด

อัตราส่วนระหว่างแป้ง:กลีเซอรอล	ลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการกดอัด
70 : 30	ชิ้นงานไม่เต็มแม่แบบ ลักษณะสีขาวขุ่น เนื่องจากใส่แป้งในปริมาณมากเกินไป ทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีความหนืดสูง ส่งผลให้ไหลไม่เต็มแม่แบบ
65 : 35	ชิ้นงานเต็มแม่แบบ ลักษณะสีขาวขุ่น
60 : 40	ชิ้นงานเต็มแม่แบบ ลักษณะสีขาวขุ่น

จากตารางที่ 4.1 พบว่าอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอล ทั้ง 65 : 35 และ 60 : 40 ให้ลักษณะของชิ้นงานที่เต็มแม่แบบเหมือนกัน และเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชสามารถไหลได้อย่างต่อเนื่อง แต่เราเลือกอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลที่ 65 : 35 เนื่องจากอัตราส่วน 65 : 35 ใช้กลีเซอรอลในปริมาณที่น้อยกว่า ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงที่มากกว่าอัตราส่วน 60 : 40 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังต่อกลีเซอรอลที่ 65 : 35 มาทำการปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้ายต่อไป

4.2 การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย

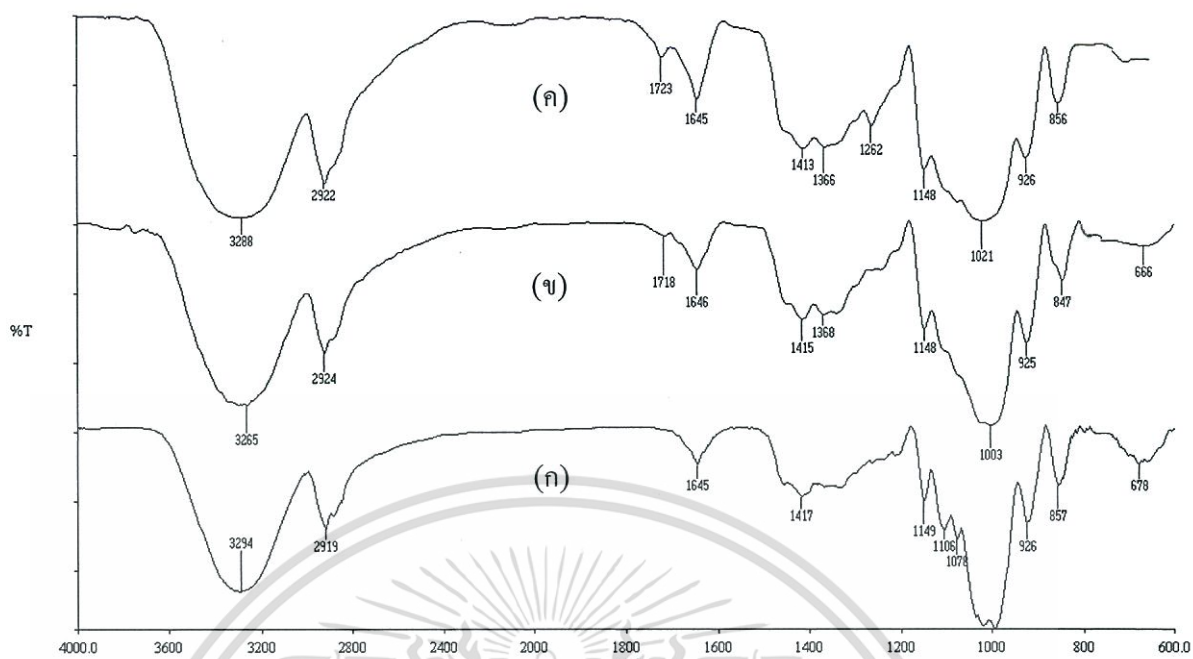
การศึกษาการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ ด้วยเพคตินปริมาณ 6% และ 10% โดยน้ำหนัก และเทอร์โมพลาสติกที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก และปรับปรุงด้วยเพคติน 10% ร่วมกับเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ให้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

จากการศึกษา Fourier-Transform Infrared Spectroscopy ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง โดยศึกษาผลของการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย พิคปรากฏมีลักษณะคล้ายกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.1-4.2

ตารางที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชันที่เหมือนกันของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแต่ละตัวอย่าง [38-40]

เลขคลื่น (cm^{-1})	ลักษณะการสั่น
3200-3600 (v)	O-H stretching
2800-3000 (m→s)	Alkanes C-H stretching
1640	Bounded water
1445-1485 (m)	O-H-bending
1410 (s)	C-H wagging (in-plane bending)
1300-1000 (s)	C-O stretching
1200-1000 (s)	C-H bending
900-940 (s)	C-H out-of-plane bending
800-860 (s)	C-H out-of-plane bending
735-770 (s)	C-H out-of-plane bending
723 (s)	C-H ของ CH_2 - rocking

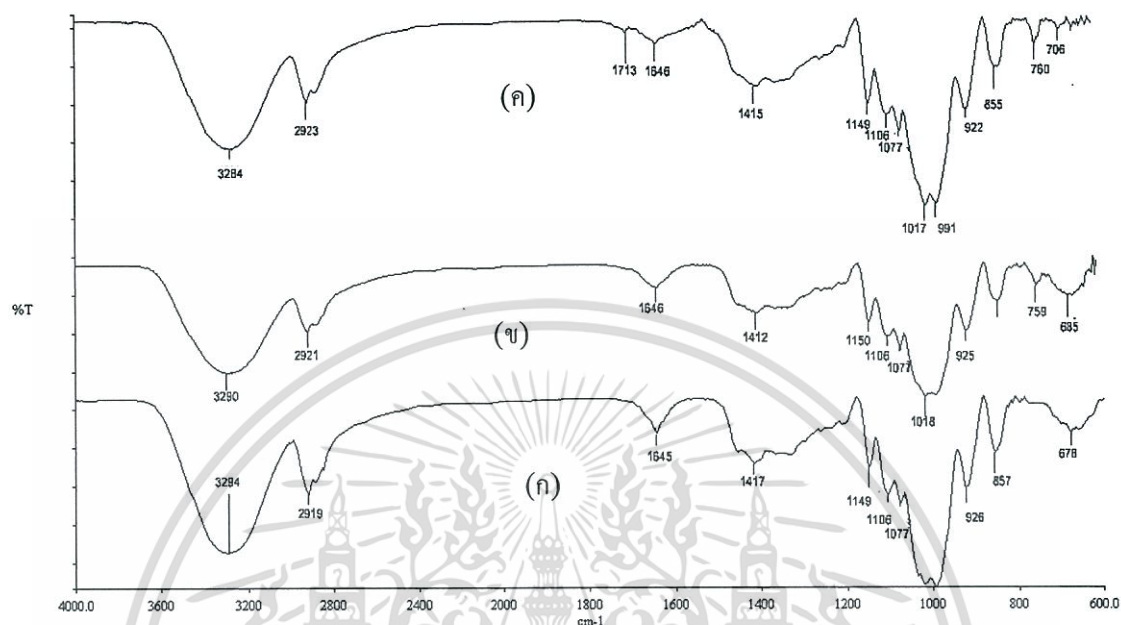


รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินในปริมาณต่างๆ (ก) TPS (ข) TPSP6 และ (ค) TPSP10

รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง ที่ปริมาณเพคตินต่างๆ พบว่าอินฟราเรดทุกสูตรมีโครงสร้างหลักที่คล้ายคลึงกันซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลลูโลสตามลักษณะดังนี้แถบพีคที่ความยาวคลื่น 3200-3500 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ O-H stretching จากแป้งและกลีเซอรอล แถบพีคในช่วง 2800-2900 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบ C-H stretching ของ CH_2 ของแป้งแถบพีค 1650 cm^{-1} ซึ่งสามารถอธิบายถึงการเพิ่มขึ้นของโมเลกุลน้ำแล้วเกิด Dehydration เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรดชัน ซึ่งการ Hydrated ของ OH group ในแป้งพีคช่วง 1400 cm^{-1} เป็นพีคของ O-H bending พีคช่วง 1300-1100 cm^{-1} ลักษณะการสั่นแบบ C-O stretching ของแป้ง และแถบพีคช่วง 1200-1100 cm^{-1} ลักษณะการสั่นแบบ C-H bending พีคช่วง 800-850 cm^{-1} ลักษณะการสั่นแบบ C-H bending [38-39]

สำหรับความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน พบว่าการเติมเพคตินลงไป ทำให้พีคที่ตำแหน่ง 3200-3500 cm^{-1} ที่แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นลดลง แสดงถึงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นใหม่ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ A.Pawlak and M.Mucha [40] และ K.Aoi et al [41] โดยรายงานวิจัยทั้งสองได้กล่าวว่า พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างสององค์ประกอบที่ผสมกันสามารถศึกษาได้จากเทคนิค FT-IR โดยที่เมื่อสององค์ประกอบมีความเข้ากันได้ จะทำให้เกิดอันตรกิริยาเคมีขึ้นระหว่างองค์ประกอบ (พันธะไฮโดรเจน) ที่ 1 และองค์ประกอบที่ 2 โดยทำให้อินฟราเรดสเปกตรัมมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบเดี่ยวๆ นอกจากนี้มีพีค

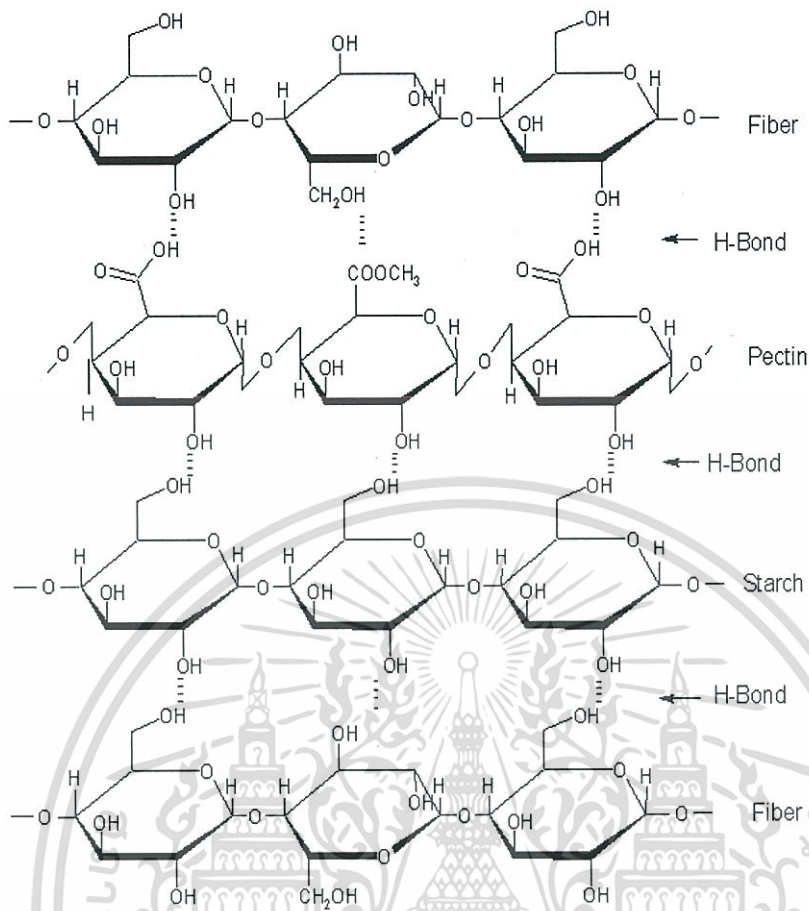
ใหม่เกิดขึ้น คือ ที่ประมาณ 1720 cm^{-1} ซึ่งเป็นเกิดจากการสั่นแบบ C=O stretching ซึ่งมีความเข้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใส่เพคตินที่เพิ่มขึ้น (6% และ 10% โดยน้ำหนัก) ซึ่งแสดงถึงหมู่คาร์บอกซิล (COOH) ในโครงสร้างของเพคติน [42]



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ (ก) TPS (ข) TPSF5 และ (ค) TPSP10F5 เมื่อเติมเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ลงไปในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจะพบพีคที่มีลักษณะคล้ายกับพีคของแป้ง เนื่องจากแป้งและเส้นใยฝ้าย ลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกัน

สำหรับความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วย เส้นใยฝ้ายและปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย รูปที่ 4.2 (ข) จากสเปกตรัมของเส้นใยฝ้ายพบพีคที่ 759 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ CH_2 - rocking นอกจากนี้ยังพบว่าพีค $3300\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงการสั่นของ O-H stretching มีการเคลื่อนตำแหน่งของเลขคลื่นไปยังตำแหน่งที่ลดลง แสดงถึงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นใหม่ ระหว่างองค์ประกอบที่ 1 และองค์ประกอบที่ 2 ทำให้อินฟราเรดสเปกตรัมมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบเดี่ยวๆ [41-42]

สำหรับความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย รูปที่ 4.2 (ค) พบพีคที่ 1713 cm^{-1} ซึ่งเป็นเกิดจากการสั่นแบบ C=O stretching ซึ่งแสดงอยู่ในหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล (COOH) ของเพคติน และพบพีคที่ 760 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ CH_2 - rocking ของเส้นใยฝ้าย นอกจากนี้ยังพบว่าพีค $3300\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงการสั่นของ O-H stretching มีการเคลื่อนไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่ลดลง แสดงถึงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นใหม่ระหว่างแป้งมันสำปะหลัง เพคติน และเส้นใยฝ้าย ถึงอันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างแป้งมันสำปะหลัง เพคตินและเส้นใยฝ้ายแสดงดังรูปที่ 4.3

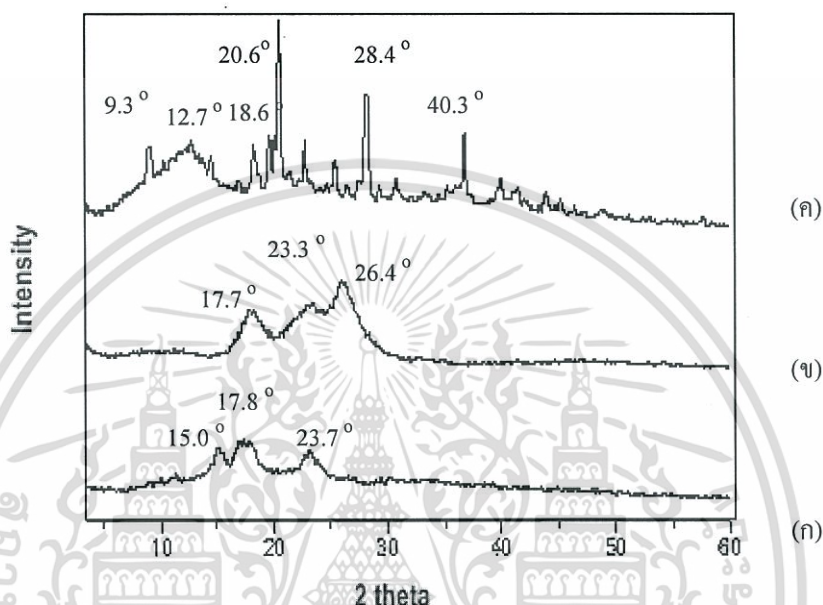


รูปที่ 4.3 อันตรกิริยาที่คาดว่าเกิดขึ้นระหว่างแป้งมันสำปะหลัง เพคตินและเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

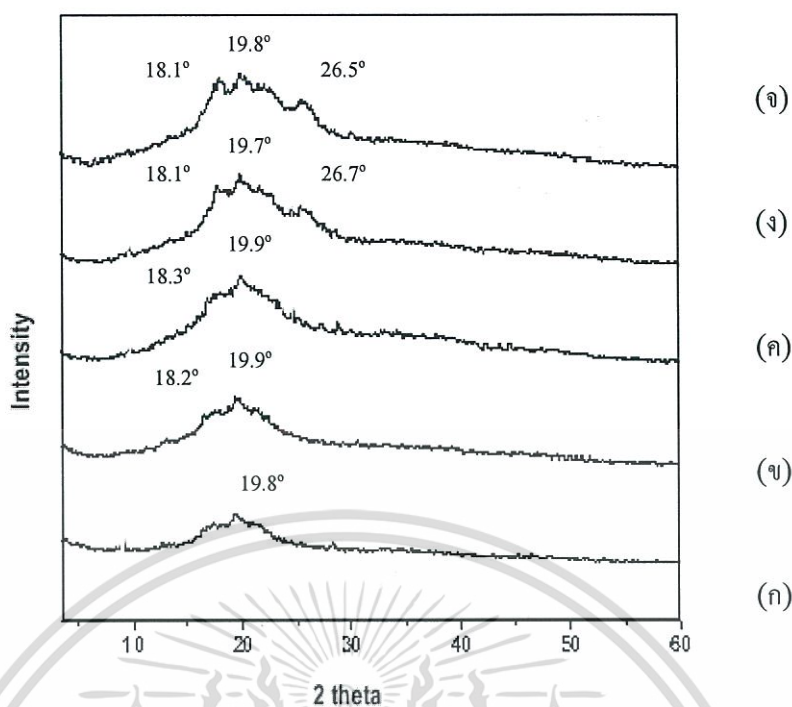
การศึกษาโครงสร้างผลึกของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน โดยใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) โดยขนาดของมุมตกกระทบที่ใช้ 2θ ในช่วง $3-60^\circ$ ด้วยอัตราเร็ว 1° /นาที ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 ดิฟแฟร็กโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

(ก) แป้งมันสำปะหลังบริสุทธิ์ (ข) เส้นใยฝ้าย และ (ค) เพคติน

จากรูป 4.4 (ก) แสดง X-ray diffraction patterns ของแป้งมันสำปะหลังบริสุทธิ์ ให้พีกที่มุม 2θ เท่ากับ 15.0° , 17.8° และ 23.7° ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบ B-type [43] (ข) แสดง X-ray diffraction patterns ของเส้นใยฝ้ายพบพีกที่มุม 2θ เท่ากับ 17.7° , 23.3° และ 26.4° โครงสร้างแบบ Cellulose I [44] (ค) แสดง X-ray diffraction patterns ของเพคตินพบพีกที่มุม 2θ เท่ากับ 9.3° , 12.7° , 18.6° , 20.6° , 28.4° และ 40.3° แสดงโครงสร้างผลึกแบบ β -Helix [46, 47]



รูปที่ 4.5 คิฟแฟร็กโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย

(ก) TPS (ข) TPSP6 (ค) TPSP10 (ง) TPSF5 และ (จ) TPSP10F5

เมื่อนำแป้งมันสำปะหลังมาผ่านกระบวนการขึ้นรูป และปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย พบว่าโครงสร้างของแป้งหายไป เกิดเป็นโครงสร้างใหม่ที่มีความเป็นผลึกลดลง (V_H -type) [45] แสดงดังรูปที่ 4.4 (ก) ให้พีคของผลึกที่มุม 2θ เท่ากับ 19.8°

รูปที่ 4.5 (ข) (ค) และ (ง) แสดง X-ray diffraction patterns ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน จะเห็นว่าความเข้มของพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 18.2° และ 19.9° มีความเข้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเพคตินมีพีคเด่นที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 18.6° และ 20.6° เมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดการซ้อนทับกันระหว่างแป้งและเพคติน ทำให้ความเข้มของพีคที่เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกที่ปรับปรุงด้วยเพคติน มีแนวโน้มความเป็นผลึกมากกว่าเทอร์โมพลาสติกที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคติน

รูปที่ 4.5 (ง) และ (จ) แสดง X-ray diffraction patterns ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย ให้พีคของผลึกที่เกิดขึ้นใหม่ คือ ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.5° ซึ่งเกิดจากการเติมเส้นใยฝ้าย และพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 18.1° และ 19.8° มีแนวโน้มความเข้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย ซึ่งแสดงแนวโน้มความเป็นผลึกที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย

4.2.3 การวัดสี

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินใน ปริมาณที่แตกต่างกัน โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer เพื่อวัดค่า L^* a^* b^* C^* และ H° ผลการ ทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย

ตัวอย่าง	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี				
	L^*	a^*	b^*	C^*	H°
TPS	44.2	-1.0	3.5	3.7	74.2
TPSP6	25.3	2.7	16.5	16.7	73.4
TPSP10	20.4	5.8	16.6	17.6	70.5
TPSF5	64.9	1.9	9.6	9.8	78.6
TPSP10F5	38.3	9.6	18.0	25.0	67.3

หมายเหตุ ค่า L^* กำหนดค่าความสว่าง ค่า a^* กำหนดสีเหลืองหรือสีเขียว ถ้า $a^* > 1$ แสดงสีแดง และถ้า $a^* < 1$ แสดงสีเขียว ค่า b^* กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ถ้า $b^* > 1$ แสดงสีเหลือง และถ้า $b^* < 1$ แสดงสีน้ำเงิน ค่า C^* แสดงค่าความสดใของสี และค่า H° ระบุตำแหน่งของสีเทียบกับมาตรฐาน

ค่าความสว่าง (L^*)

จากตารางที่ 4.3 พบว่า TPSF5 มีค่าความสว่างมากที่สุด รองมาได้แก่ TPS, TPSP10F5, TPSP6 และ TPSP10 ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการเติมเส้นใยฝ้ายมีค่าความ สว่างเพิ่มขึ้น สำหรับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน พบว่าเมื่อมีการเติม เพคติน ทำให้ค่าความสว่างของชิ้นงานตัวอย่างมีค่าลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานตัวอย่างที่มีการ เติมเพคตินมีสีเข้มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณของเพคตินที่ใช้ต่างกัน (6 และ 10% โดยน้ำหนัก) พบว่าสีของชิ้นงานตัวอย่างมีแนวโน้มเข้มขึ้น ตามปริมาณเพคตินที่เพิ่มขึ้น

ค่า a^*

TPSP10F5 มีสีออกแดงมากที่สุด รองมาได้แก่ TPSP10, TPSP6 ส่วน TPSF5 มีสีออกไป ทางเขียว และ TPS แสดงสีเขียวมากที่สุด และ เมื่อพิจารณาปริมาณของเพคตินที่ใช้ต่างกัน (6 และ 10 % โดยน้ำหนัก) พบว่าชิ้นงานมีสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเพคตินมากขึ้น

ค่า b^*

TPSP10F5 มีสีออกเหลืองมากที่สุด รองมา คือ TPSP10, TPSP6, TPSF5 และ TPS เมื่อ พิจารณาปริมาณของเพคตินที่ใช้ต่างกัน (6 และ 10% โดยน้ำหนัก) พบว่าชิ้นงานมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของเพคตินมากขึ้น

ค่า C*

TPSP10F5 รองลงมา TPSP10, TPSP6 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วน TPSF5 และ TPS มีค่าความสดใสน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาปริมาณของเพคตินที่ใช้ต่างกัน (6 และ 10% โดยน้ำหนัก) พบว่าชิ้นงานตัวอย่างมีความสดใสของสีเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเพคตินมากขึ้น

ค่า H°

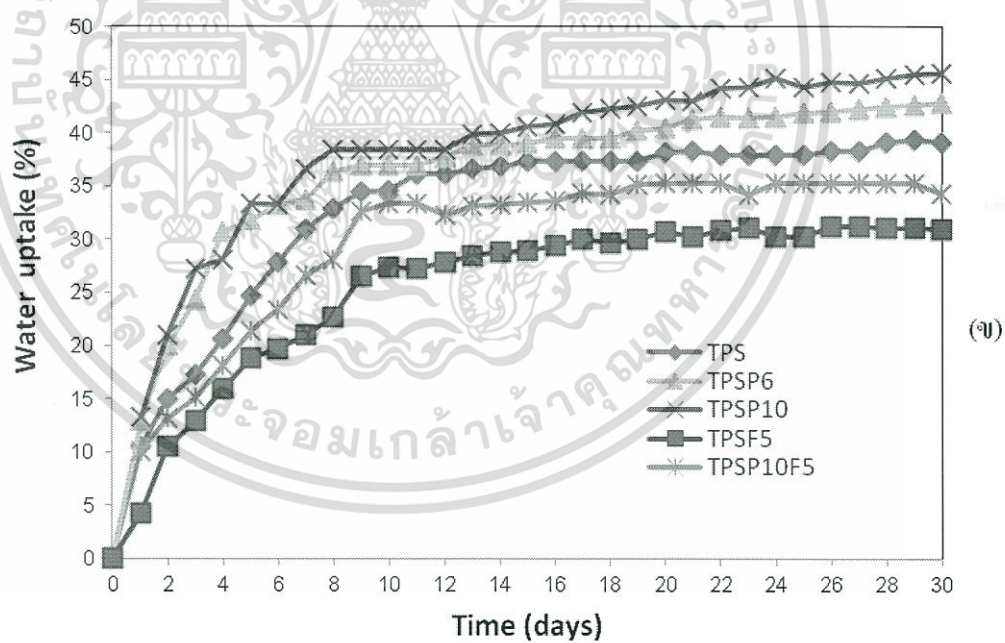
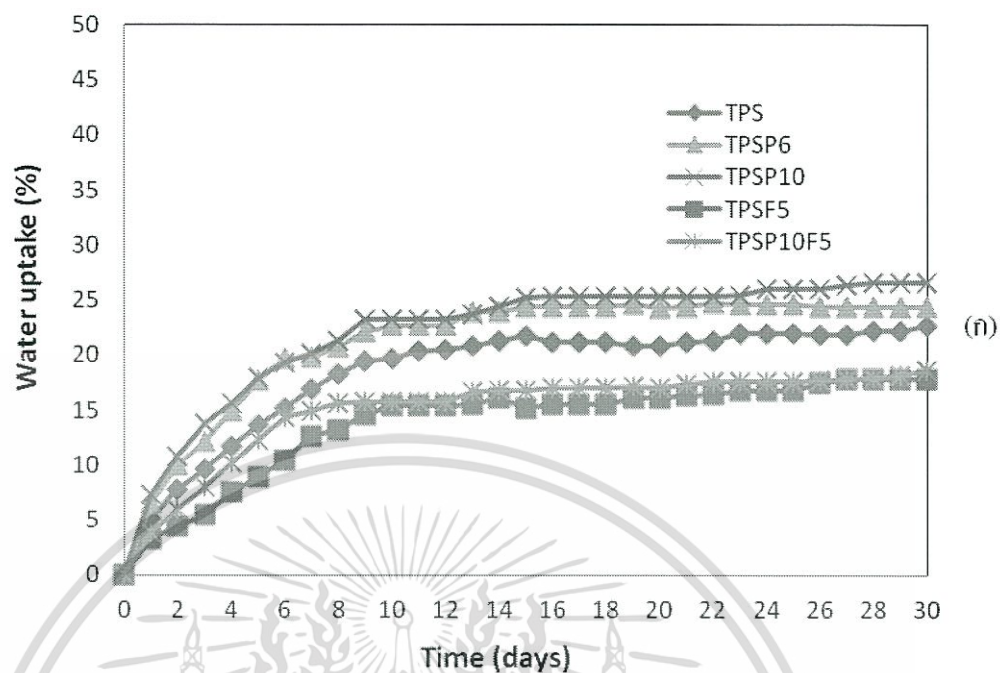
ค่าตำแหน่งของสี (H°) เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของเพคตินเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณของเพคตินที่ใช้ต่างกัน (6 และ 10 % โดยน้ำหนัก) พบว่า TPSP10F5 ให้ค่า H° สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งของสีมาตรฐาน โดยภาพรวมแล้วชิ้นงานตัวอย่างของมีสีออกไปทางสีน้ำตาล เนื่องจากผงของเพคตินก่อนนำมาขึ้นรูปเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์มีสีน้ำตาล จึงส่งผลให้ชิ้นงานมีสีออกไปทางสีน้ำตาล

4.2.4 การดูความชื้น

ศึกษาการดูความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่มีการปรับปรุงด้วยเพคติน และเส้นใยฝ้าย TPS, TPSP6, TPSP10, TPSF5 และ TPSP10F5 ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และ 100% แสดงดังรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.6 แสดงการดูความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่มีการปรับปรุงด้วยเพคตินที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนักและ เส้นใยฝ้ายปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และ 100% ตามลำดับ ภายในระยะเวลา 30 วัน พบว่าในช่วง 10 วันแรกชิ้นงาน มีการดูความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อเวลาผ่านไปการดูความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนกระทั่งอิ่มตัว โดยเปอร์เซ็นต์การดูความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ของ TPS, TPSP6, TPSP10, TPSF5 และ TPSP10F5 เท่ากับ 22.6, 24.4, 26.6, 16.9 และ 18.6% ตามลำดับ และ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เปอร์เซ็นต์การดูความชื้น เท่ากับ 39.1, 42.9, 45.6, 30.1 และ 34.3% ตามลำดับ ซึ่ง TPSF5 มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูความชื้นน้อยที่สุด เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความเป็นผลึกมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง จึงส่งผลให้เส้นใยฝ้ายดูความชื้นได้น้อยกว่าแป้ง และจากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ M. Gaspar et al. [48] นอกจากนี้เส้นใยฝ้ายยังประกอบด้วยเซลลูโลสเรียงตัวขนานกัน และอัดแน่นกันเป็นชั้นๆ ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูความชื้นน้อยกว่าแป้ง สำหรับเพคตินที่มีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกันกับแป้ง จึงส่งผลให้ TPSP10 มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูความชื้นมากที่สุด เนื่องจากเพคตินมีหมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิล (COOH) เป็นหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งมีความเป็นขั้วทำให้มีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ นอกจากนี้เพคตินยังสามารถเกิดลักษณะที่เป็นเจลทำให้สามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้ [48]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

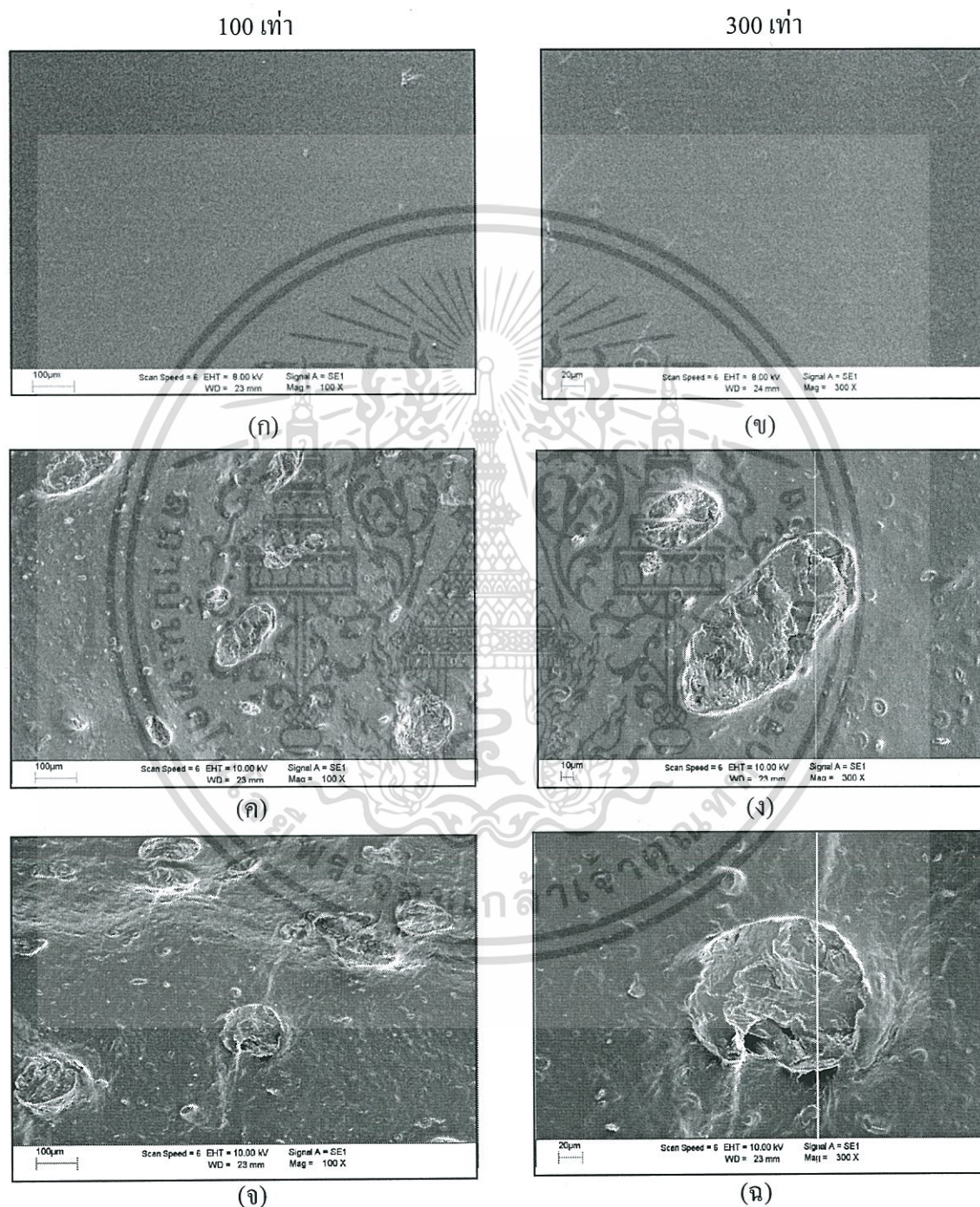


รูปที่ 4.6 เปรอ์เซ็นต์การดูดความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตา์ซ์ที่ความชื้นสัมพัทธ์
(ก) 50% และ (ข) 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

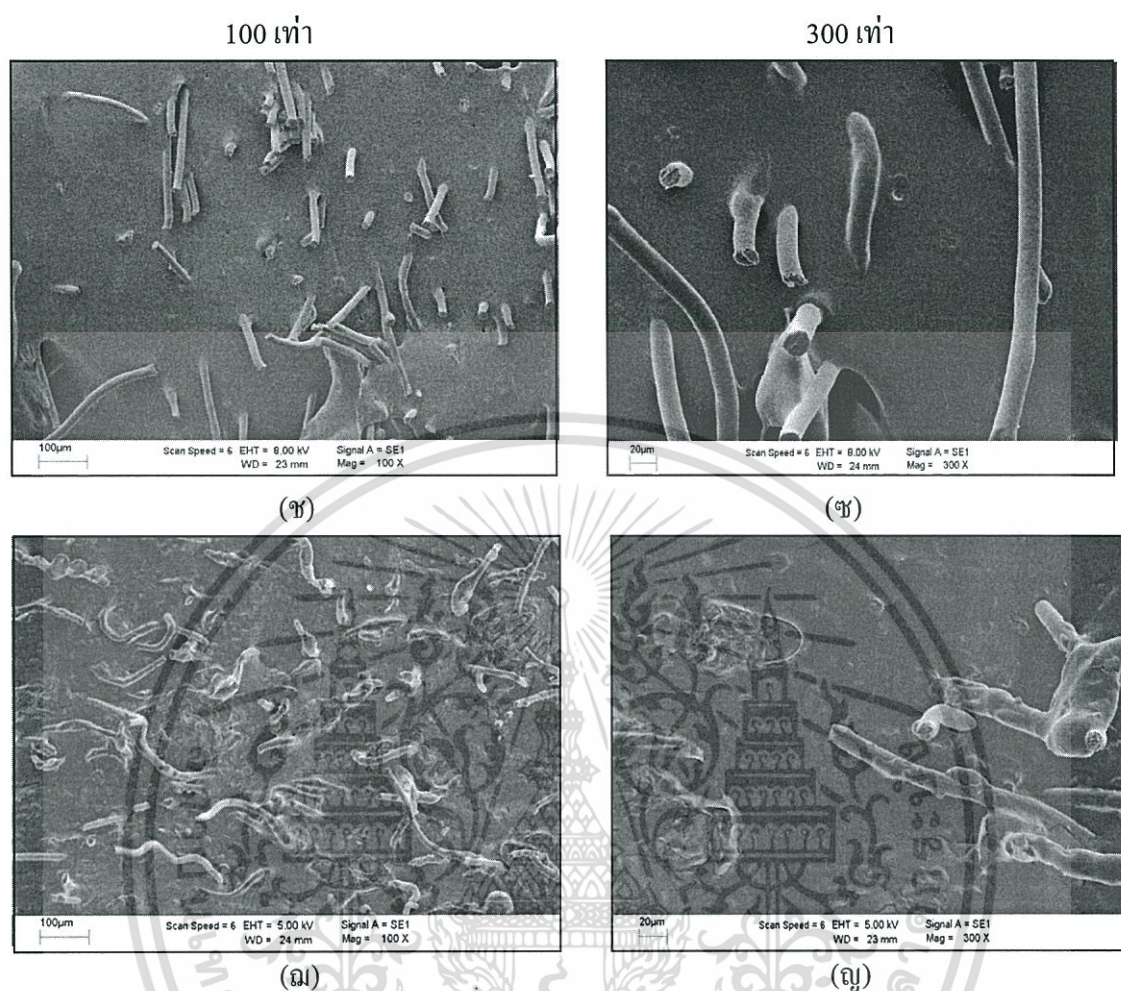
4.2.5 สัณฐานวิทยา

การศึกษาลักษณะการกระจายตัวและความเข้ากันได้ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย ทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า



รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า (ก)-(ข) TPS (ค)-(ง) TPSP6 และ (จ)-(ฉ) TPSP10 (ช)-(ซ) TPSF5 และ (ณ)-(ญ) TPSP10F5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 (ต่อ)

จากรูปที่ 4.7 (ก)-(ข) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 0% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่าตามลำดับ พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน

รูปที่ 4.7 (ค)-(ง) และ (จ)-(ฉ) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 6% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่าตามลำดับ แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 6% และ 10% โดยน้ำหนัก พบว่าเพคตินไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับ TPS แต่เพคตินมีการกระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ของ TPS เนื่องจาก TPS และเพคตินมีโครงสร้างที่คล้ายกัน คือ มีหมู่ไฮดรอกซิลเหมือนกัน ซึ่งแสดงลักษณะโครงสร้างที่มีความเป็นขั้วเหมือนกัน ทำให้มีความเข้ากันได้ระหว่าง TPS และเพคติน โดยไม่พบช่องว่างระหว่างวัฏภาคของ TPS และเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 (ข)-(ซ) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วย เพคติน 0% และเส้นใยฝ้ายที่ 5% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่าตามลำดับ พบว่า เส้นใยฝ้ายไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับเมทริกซ์ของ TPS แต่มีการกระจายตัวที่ดีในเมทริกซ์ของ TPS และยังพบว่า มี TPS เกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยฝ้าย (Surface wetting) ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ ระหว่างวัฏภาคของ TPS และเส้นใยฝ้าย เนื่องจาก TPS และเส้นใยฝ้าย มีโครงสร้างที่คล้ายกัน คือ มีหมู่ไฮดรอกซิลเหมือนกัน จึงเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.7 (ณ)-(ญ) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วย เพคติน 10% และเส้นใยฝ้ายที่ 5% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่าตามลำดับ พบว่า TPS เพคตินและเส้นใยฝ้าย ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เพคตินและเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดีใน TPS และจากการที่ TPS เพคตินและเส้นใยฝ้ายมีลักษณะ โครงสร้างที่คล้ายกัน ทำให้ TPS บางส่วนเกาะ อยู่บนพื้นผิวของเส้นใยฝ้ายและเพคติน ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ของวัฏภาคของ TPS เพคติน และเส้นใยฝ้าย

4.2.6 สมบัติเชิงกล

การศึกษาสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่มีกลีเซอรอล เป็นพลาสติกไซเซอร์ ในอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังต่อกลีเซอรอล 65 : 35 และปรับปรุง ด้วยเพคตินที่ปริมาณ 0%, 2%, 4%, 6%, 8% และ 10% โดยน้ำหนัก จากนั้นนำสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุง และสูตรที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุดตามไล่เส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ให้ผลการทดลองดังนี้

4.2.6.1 สมบัติเชิงกลเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่มีการปรับปรุงด้วยเพคติน

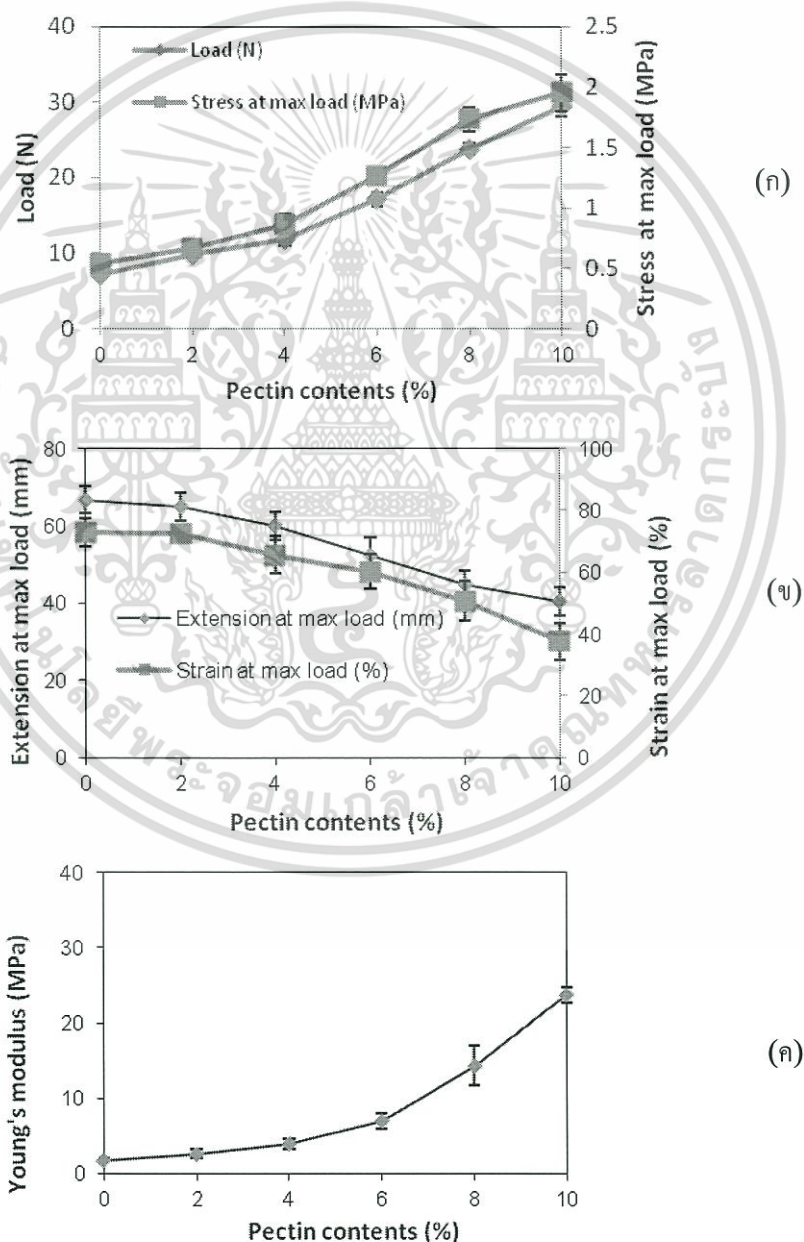
ผลการทดลองสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้ปริมาณเพคติน 0%, 2%, 4%, 6%, 8% และ 10% โดย น้ำหนัก

รูปที่ 4.8 (ก) และ (ค) แสดงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงด้วย เพคตินที่ปริมาณ 0%, 2%, 4%, 6%, 8% และ 10% โดยน้ำหนัก พบว่าค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดูลัสของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเพคตินที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเพคติน และ TPS สามารถเข้ากันได้ดี และไม่มีช่องว่างระหว่างวัฏภาค และโครงสร้าง โมเลกุลของ TPS และ เพคติน มีความเป็นขั้วเหมือนกัน คือ TPS มีหมู่ไฮดรอกซิล และเพคตินมี หมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ FT-IR (รูปที่ 4.1) พบว่า ตำแหน่งของการสั่นแบบ O-H stretching มีการเคลื่อนตำแหน่งของเลขคลื่นไปยังตำแหน่งที่ลดลง และจากผลของ XRD (รูปที่ 4.4) พบว่าจากการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมัน สำปะหลังด้วยเพคติน ส่งผลให้ความเข้มของพีคมีค่าสูงขึ้น แสดงถึงความเป็นผลึกที่เพิ่มมากขึ้น

และยังสอดคล้องกับผลทางสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.7) พบว่าอนุภาคของเพคตินกระจายตัวแทรกอยู่ อกสาร และยังคงสอดคล้องกับผลทางสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.7) พบว่าอนุภาคของเพคตินกระจายตัวแทรกอยู่ อกสาร ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิภาคของ TPS จึงทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยสูตรที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10% โดยน้ำหนัก มีสมบัติที่ดีที่สุด

รูปที่ 4.8 (ก) แสดงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงด้วยเพคตินที่ปริมาณ 0 %, 2%, 4%, 6%, 8% และ 10% โดยน้ำหนัก ในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ค่าการดึงยึด และเปอร์เซ็นต์ความเครียดลดลง เนื่องจากเพคติน และ TPS สามารถเข้ากันได้ดี มีโครงสร้างโมเลกุลที่มีความเป็นขั้วเหมือนกัน จึงเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างกัน จึงส่งผลให้ชิ้นงานมีลักษณะแข็งแรงมากขึ้น และมีความยืดหยุ่นของชิ้นงานลดลง



รูปที่ 4.8 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีปรับปรุงด้วยเพคติน

เอกสารนี้เป็น (ก) แรงดึง ความแข็งแรงดึง (ข) การดึงยึด เปอร์เซ็นต์ความเครียด และ (ค) โมดูลัส สำหรับการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

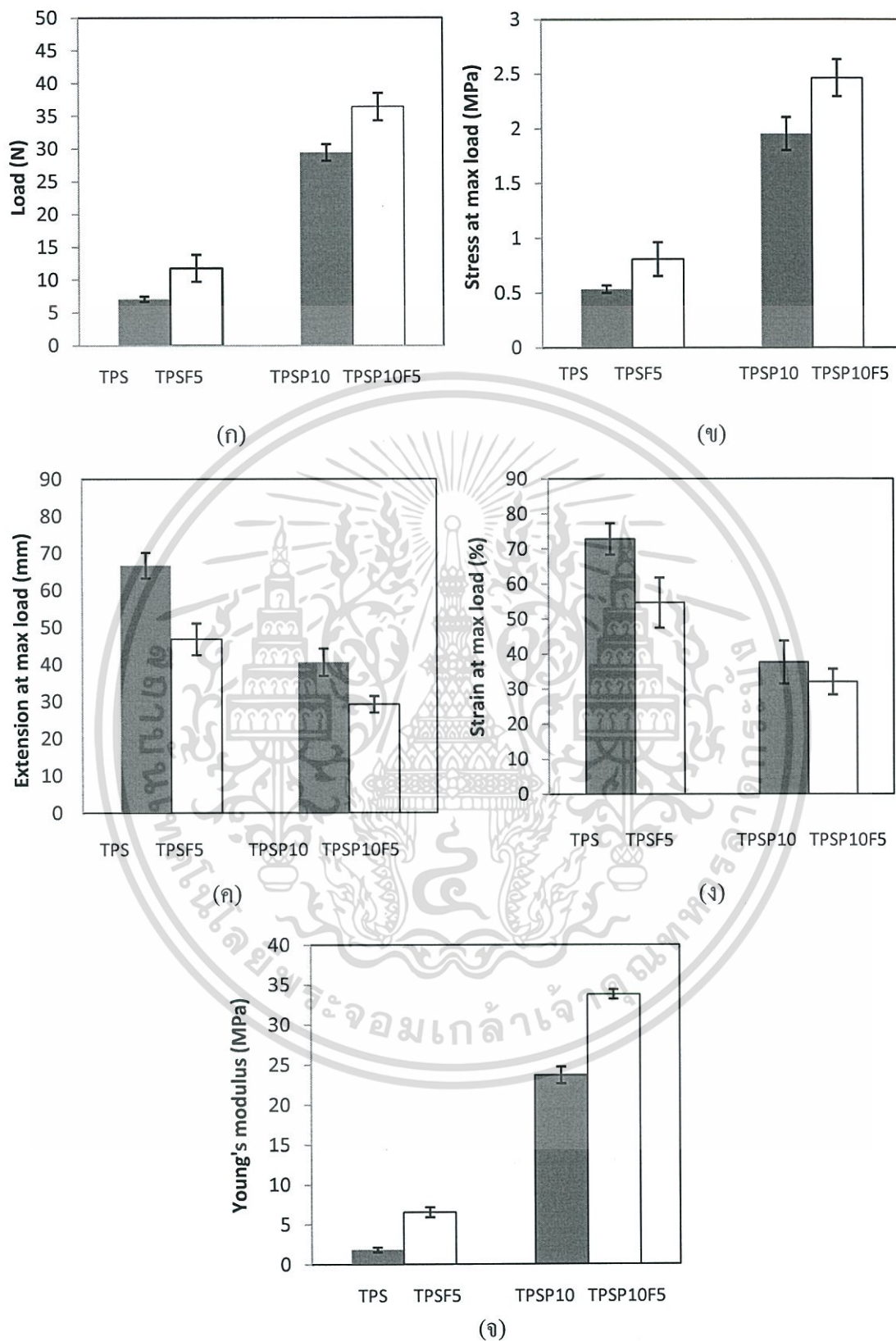
4.2.6.2 สมบัติเชิงกลเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่มี การปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย

จากรูปที่ 4.9 (ก) (ข) และ (จ) แสดงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่มีปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย โดยนำสูตรที่สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด คือ สูตรที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10% โดยน้ำหนัก มาใส่เส้นใยฝ้ายปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก เพื่อปรับปรุงสมบัติ จากผลการทดลองพบว่าแรงดึง ความแข็งแรงดึงและมอดูลัสของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเส้นใยฝ้ายที่เติมลงไปมีความเหนียวและความแข็งแรงสูง จึงทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงให้กับเทอร์โมพลาสติกสตาบิล อีกทั้งแป้งมันสำปะหลังและเส้นใยฝ้ายยังมีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกัน คือ มีหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกัน ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย สามารถรับแรงได้มากขึ้น

จากรูปที่ 4.9 (ค) และ (ง) แสดงค่าการดึงยืด และ เปอร์เซ็นต์ความเครียด ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าการดึงยืด และเปอร์เซ็นต์ความเครียด มีค่าลดลงเมื่อใส่เส้นใยฝ้าย เนื่องจากเส้นใยฝ้ายที่เติมลงไปทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงให้กับเทอร์โมพลาสติกสตาบิล จึงส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาบิลมีความยืดหยุ่นลดลง

นอกจากนี้ผลของสมบัติเชิงกลยังสอดคล้องกับผล FT-IR (รูปที่ 4.2) ซึ่งมีลักษณะ Shift ของหมู่ O-H Stretching ที่ตำแหน่ง $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงถึงการเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างแป้งกับเส้นใยฝ้าย จึงทำให้แรงดึง ความแข็งแรงดึงและมอดูลัส มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยฝ้ายสามารถเข้ากับแป้งได้ดี เพราะในโครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นขั้วเหมือนกัน และมีความสัมพันธ์กับสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.7) คือ เส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดีในเมทริกซ์ของ TPS จากนั้นยังพบว่ามี TPS เกาะอยู่บนผิวของเส้นใยฝ้ายและเพคติน และยังพบว่าเส้นใยฝ้ายฝังตัวอยู่ในเมทริกซ์ของ TPS ซึ่งแสดงถึงการเข้ากันได้ระหว่าง TPS เพคตินและเส้นใยฝ้าย

จึงสรุปได้ว่าสูตรที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก คือ สูตรที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด มีแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดูลัส เพิ่มขึ้น 413%, 364% และ 1735% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย

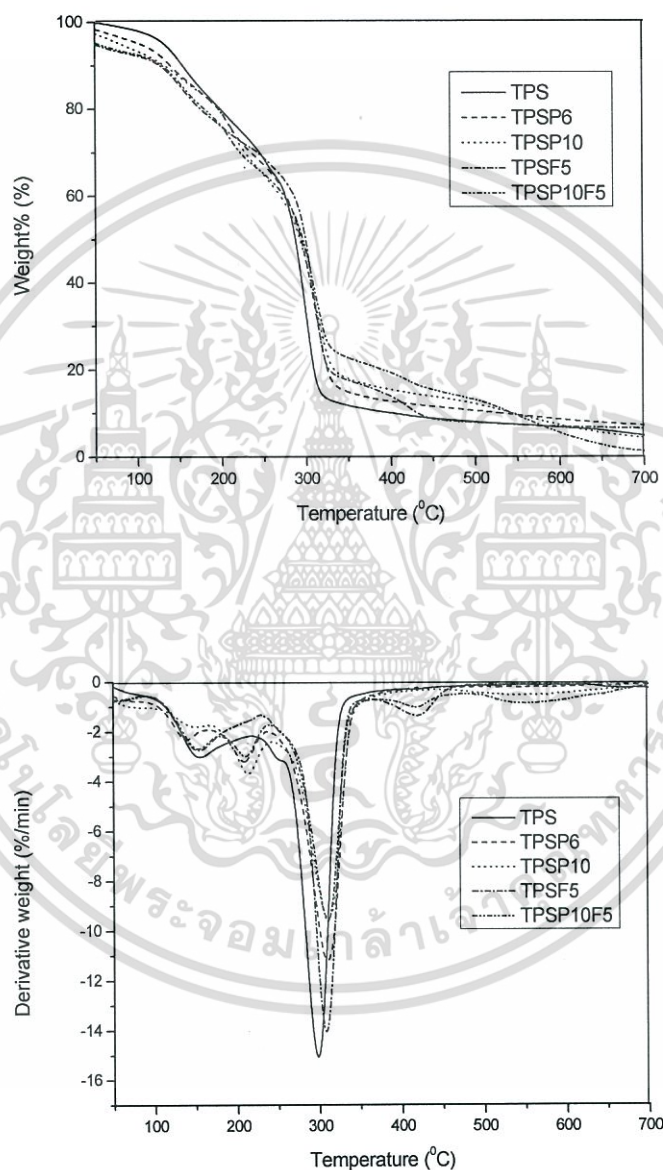


รูปที่ 4.9 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

การศึกษาอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวทางความร้อน (Onset degradation temperature) และเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินที่ปริมาณ 0 6 และ 10 % โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.10 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย

ตัวอย่าง	อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$)				น้ำหนักที่หายไป (%)
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (เพคติน)	ช่วงที่ 3 (แป้ง)	ช่วงที่ 4 (เส้นใยฝ้าย)	
TPS	119.7	-	278.7	-	70.6
TPSP6	131.5	202.4	284.0	-	59.8
TPSP10	142.4	203.6	282.5	-	62.6
TPSF5	143.3	-	286.9	391.4	54.5
TPSP10F5	139.1	202.3	281.0	381.6	44.9

จากรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.4 พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคตินมีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว 2 ช่วง กล่าวคือ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 119.7°C เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของกลีเซอรอล [50, 51] และ ช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิ 278.7°C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลัง [32] จากการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังด้วยเพคตินที่ปริมาณ 0 %, 6% และ 10% โดยน้ำหนักโดยน้ำหนัก ซึ่งเพคตินมีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวประมาณ 191.7°C [ภาคผนวกรูปที่ ง.2] และที่ปริมาณเพคติน 6 % และ 10% โดยน้ำหนัก พบว่ามีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของแป้งอยู่ที่ 284.0°C และ 282.5°C ตามลำดับ

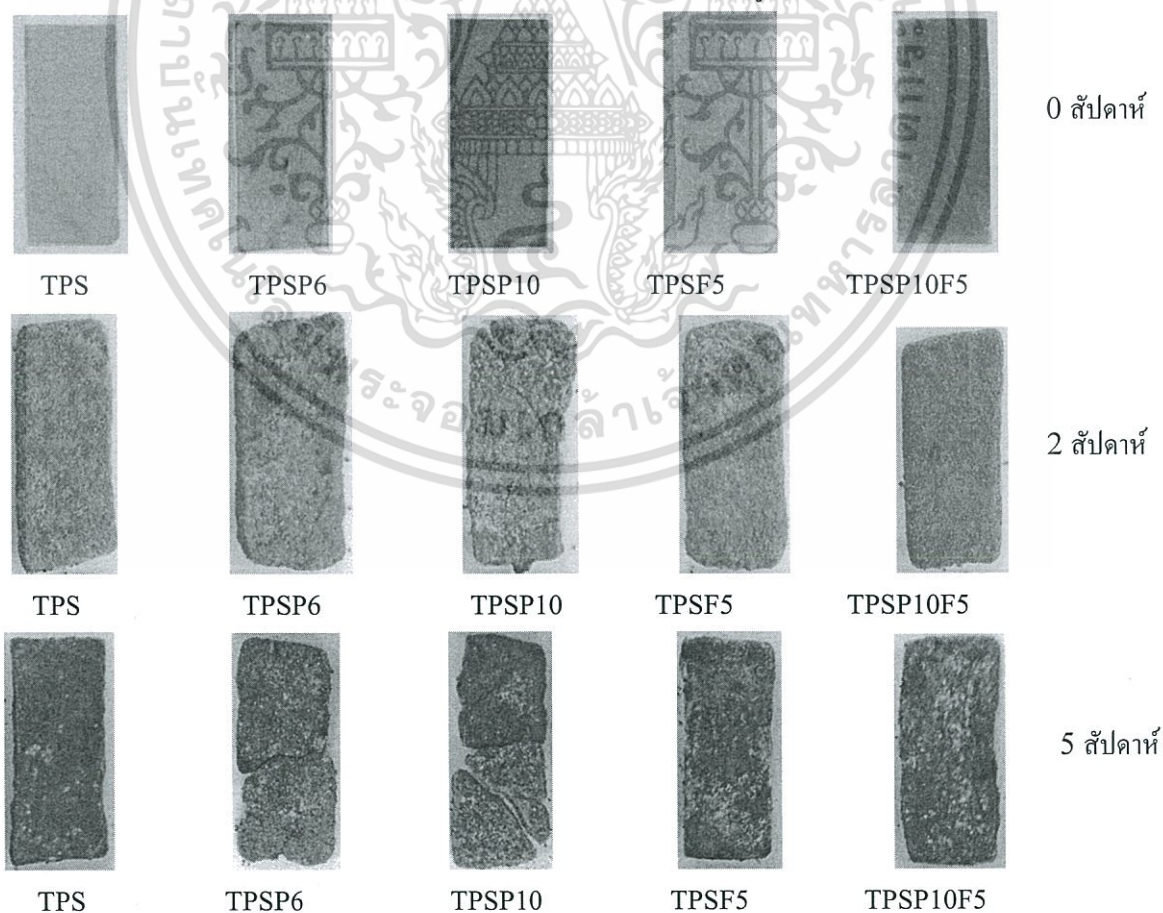
ส่วนเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย พบว่ามีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวมี 4 ช่วง ซึ่งช่วงสุดท้ายเป็นช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของเส้นใยฝ้ายมีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวประมาณ $381.6 - 391.4^{\circ}\text{C}$ [52] จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งในเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่มีการปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งอยู่ในช่วง 44.9 - 70.6% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมเพคตินและเส้นใยฝ้ายทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลลดลง จึงอธิบายได้ว่าการเติมเพคตินและเส้นใยฝ้าย ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย

4.2.8 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

สมบัติการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์ทดสอบโดยการฝังดิน เปรียบเทียบลักษณะของชิ้นงานที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป 5 สัปดาห์

4.2.8.1 การศึกษาการย่อยสลายจากกล้องดิจิทัล

การศึกษาลักษณะการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย จากรูปที่ 4.11 พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์ที่มีการปรับปรุงด้วยเพคตินที่ปริมาณ 0, 6 และ 10 % โดยน้ำหนัก และเพคติน 10% + เส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มการย่อยสลายที่เหมือนกันเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์เกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินซึ่งบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานมีเชื้อราเกิดขึ้นบริเวณทั่วชิ้นงาน และเกิดการแตกหักย่อยสลายของชิ้นงานเมื่อเวลาผ่านไป จากนั้นพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์ที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10% โดยน้ำหนัก เกิดการย่อยสลายได้มากที่สุดเพราะเพคตินมีหมู่คาร์บอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชัน จึงทำให้สามารถดูดความชื้นได้มากกว่าสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุงและเกิดการย่อยสลายได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติการดูดความชื้น (หัวข้อที่ 4.2.4) และเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายมีการย่อยสลายช้าที่สุด เนื่องจากเส้นใยฝ้ายประกอบด้วยเซลลูโลสจัดเรียงตัวขนานกัน และอัดแน่นกันเป็นชั้นๆ ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดความชื้นน้อยกว่าแป้ง

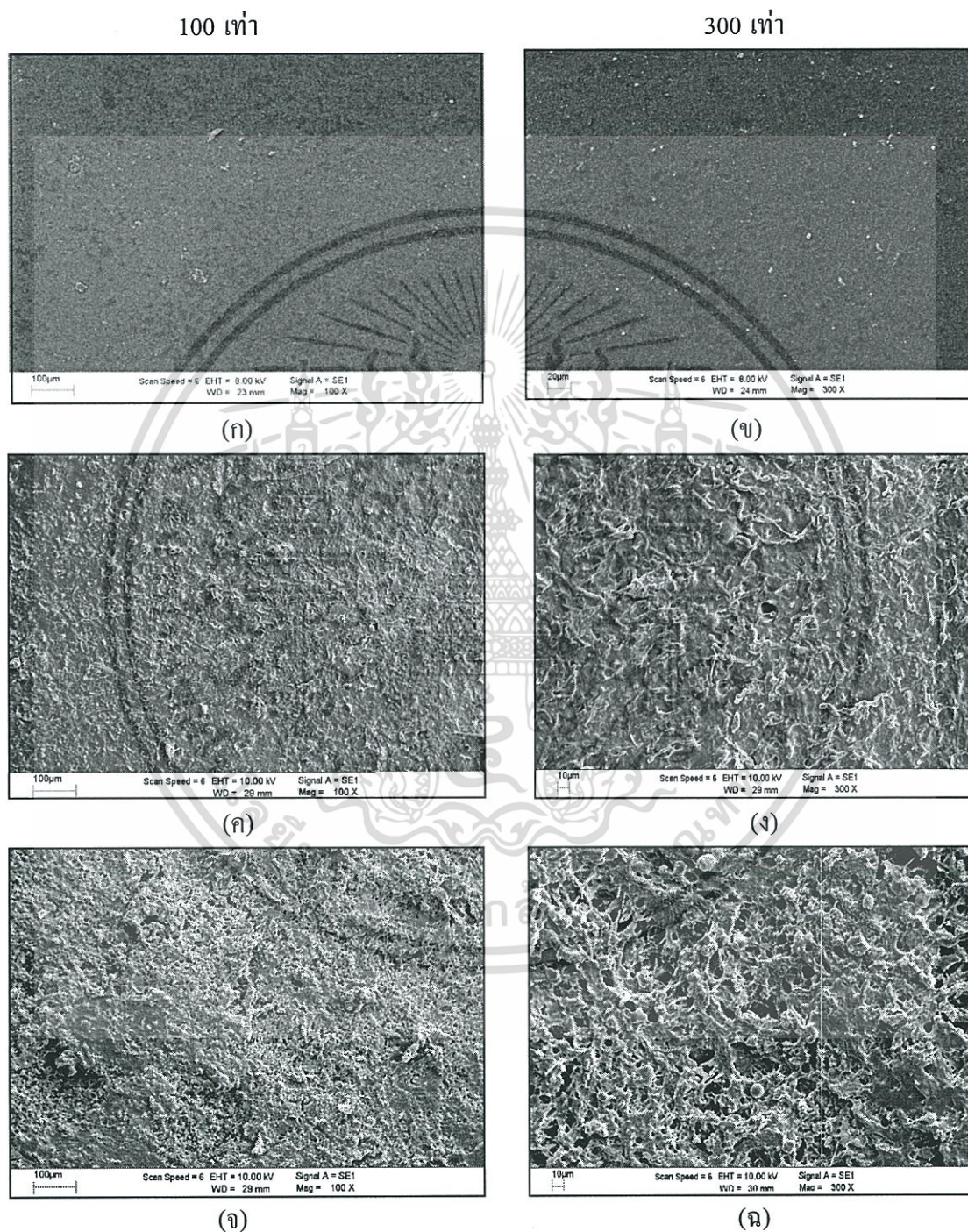


รูปที่ 4.11 ภาพการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์ที่ได้จากกล้องดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8.2 การศึกษาการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากล่องจูลทรศน์อเล็กตรอนแบบส่องกราด

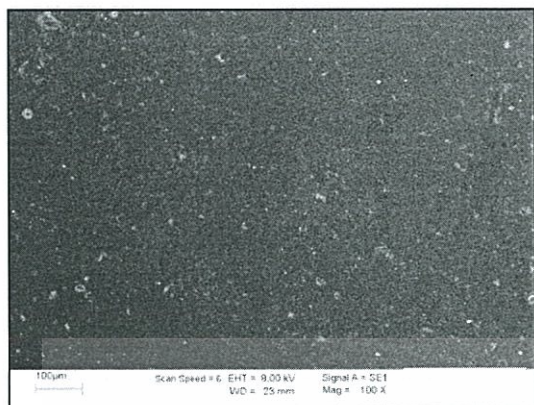
เพื่อศึกษาลักษณะการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย โดยใช้ล่องจูลทรศน์อเล็กตรอนแบบส่องกราด



รูปที่ 4.12 ลักษณะวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วย TPS ที่กำลังขยาย 100 เท่า - 300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ และ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

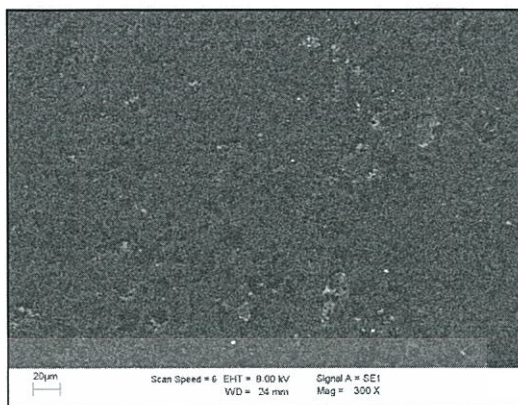
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 เท่า



(ก)

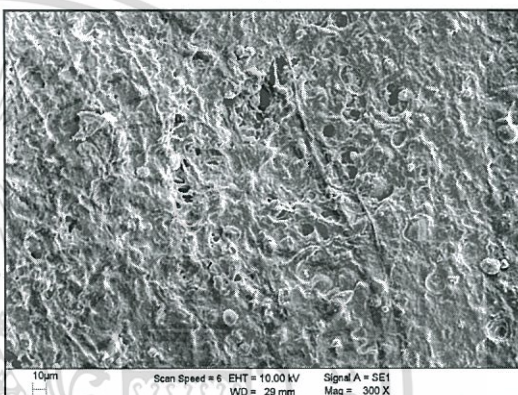
300 เท่า



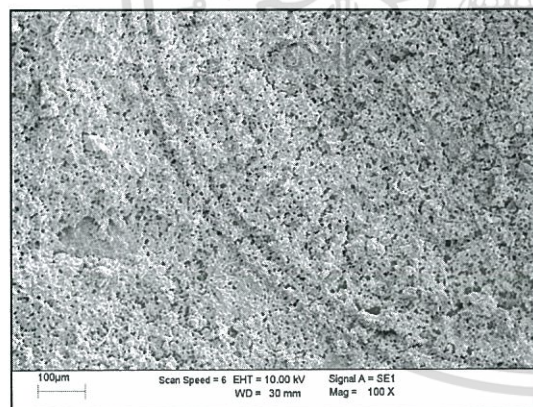
(ข)



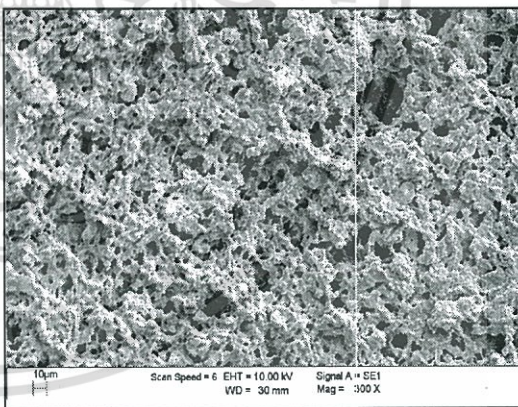
(ค)



(ง)



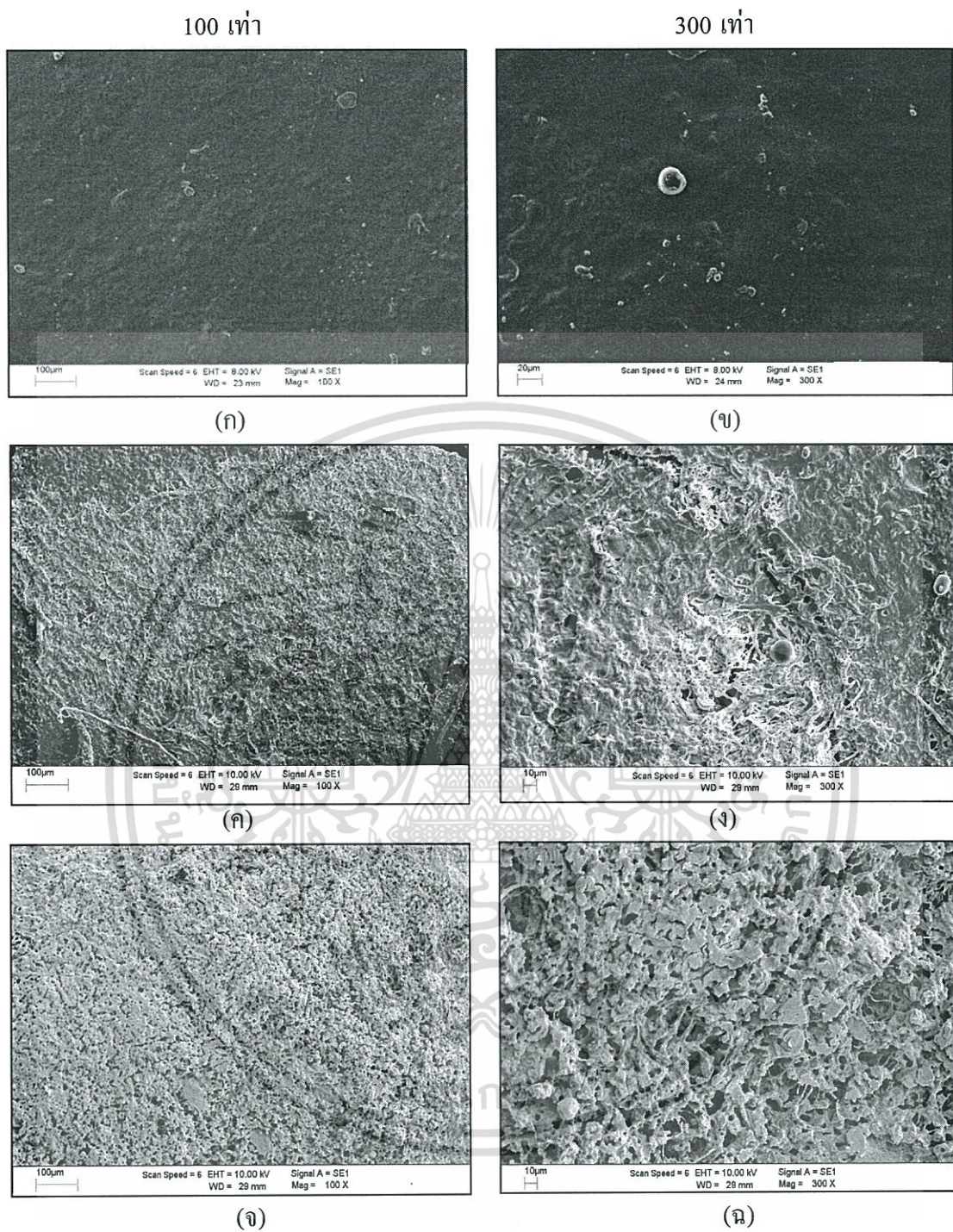
(จ)



(ฉ)

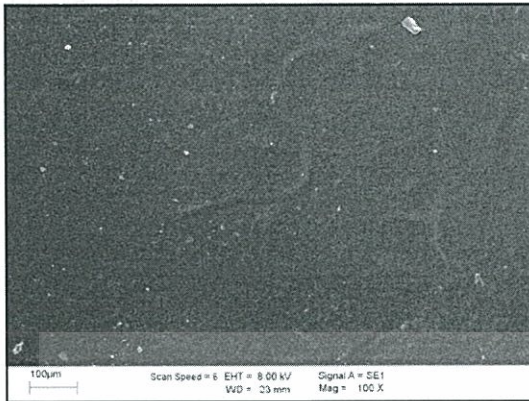
รูปที่ 4.13 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย เพคติน TPSP6 ที่กำลังขยาย 100 เท่า - 300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ และ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



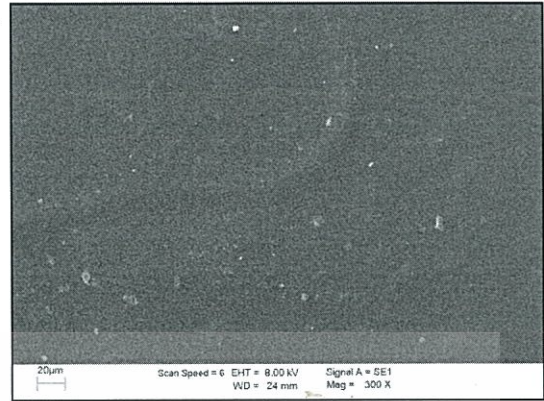
รูปที่ 4.14 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากเป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย เพคติน TPSP10 ที่กำลังขยาย 100 เท่า - 300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ และ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

100 เท่า

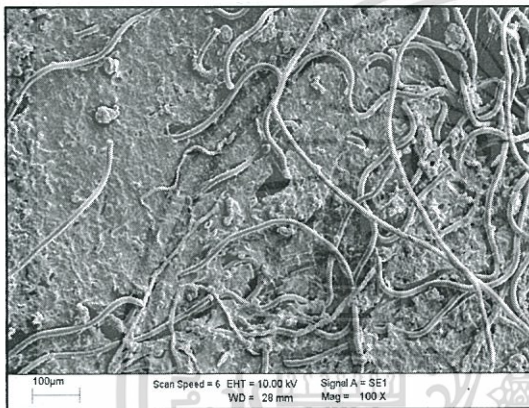


(ก)

300 เท่า



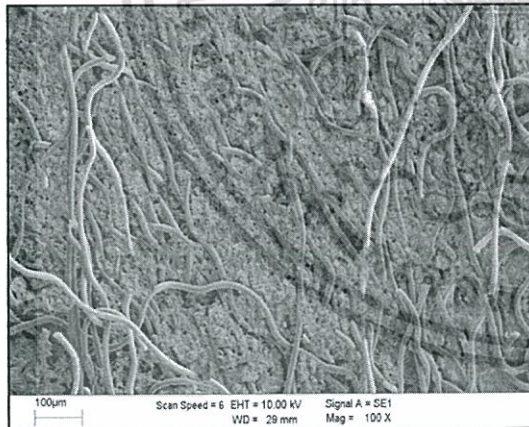
(ข)



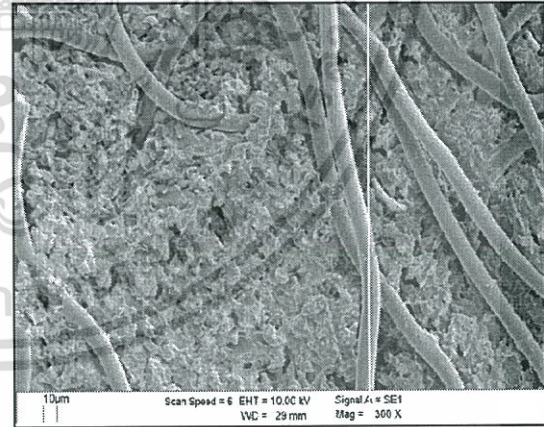
(ค)



(ง)



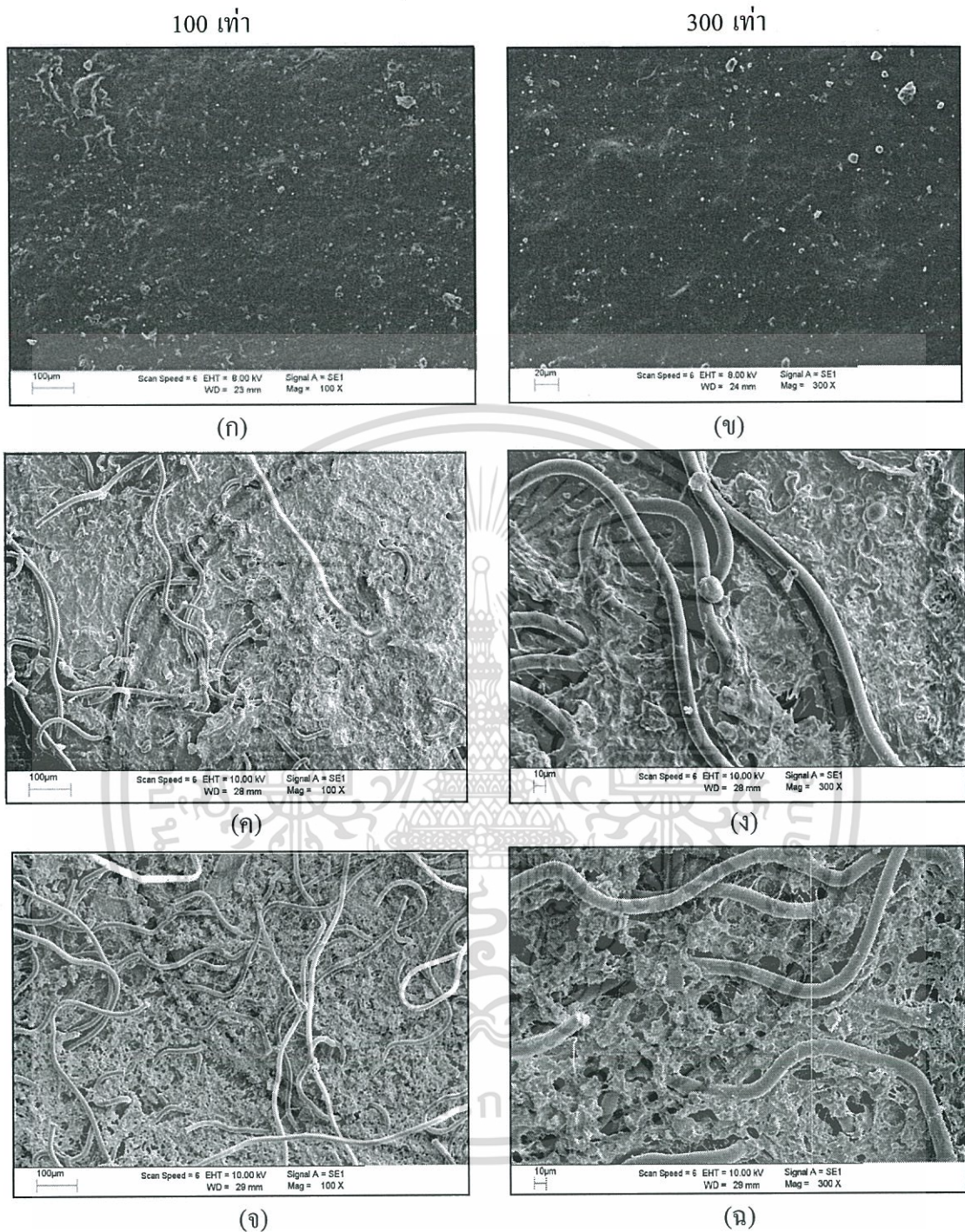
(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.15 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย TPSF5 ที่กำลังขยาย 100 เท่า - 300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ และ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย เพคตินและเส้นใยฝ้าย TPSP10F5 ที่กำลังขยาย 100 เท่า - 300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ และ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ลักษณะชิ้นงานของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย
เนื่องจากการฝังดิน

สูตร	ลักษณะชิ้นงานของเทอร์โมพลาสติกสตาบิล
TPS	เมื่อผ่านไป 1 วัน ชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้น ยังไม่มีการ ย่อยสลายของชิ้นงาน เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มมีการ ย่อยสลายเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราขึ้น และมี รูทั่วทั้งชิ้นงาน จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน ชิ้นงานมีเชื้อรา เพิ่มมากขึ้น และ ชิ้นงานมีลักษณะรูทั่วชิ้นงานที่ใหญ่ขึ้น
TPSP6	เมื่อผ่านไป 1 วัน ชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้น ยังไม่มีการ ย่อยสลายของชิ้นงาน เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มมีการ ย่อยสลายเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราขึ้น และมี รูทั่วทั้งชิ้นงาน จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน ชิ้นงานมีเชื้อรา เพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ชิ้นงานมีลักษณะรูทั่วชิ้นงานที่ ใหญ่ขึ้น และมีลักษณะที่ขาดออกจากกัน
TPSP10	เมื่อผ่านไป 1 วัน ชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้น ยังไม่มีการ ย่อยสลายของชิ้นงาน เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มมีการ ย่อยสลาย เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราขึ้น และ มีรูทั่วทั้งชิ้นงาน จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน ชิ้นงานมีเชื้อ ราเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ชิ้นงานมีลักษณะรูทั่วชิ้นงานที่ ใหญ่ขึ้น และมีลักษณะที่ขาดออกจากกัน
TPSF5	เมื่อผ่านไป 1 วัน ชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้น ยังไม่มีการ ย่อยสลายของชิ้นงาน เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มมีการ ย่อยสลายเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราขึ้น และมี รูทั่วทั้งชิ้นงาน จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน ชิ้นงานมีเชื้อรา เพิ่มมากขึ้น และชิ้นงานมีลักษณะรูทั่วชิ้นงานที่ใหญ่ขึ้น
TPSP10F5	เมื่อผ่านไป 1 วัน ชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้น ยังไม่มีการ ย่อยสลายของชิ้นงาน เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มมีการ ย่อยสลายเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราขึ้น และมี รูทั่วทั้งชิ้นงาน จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน ชิ้นงานมีเชื้อรา เพิ่มมากขึ้น และ ชิ้นงานมีลักษณะรูทั่วชิ้นงานที่ใหญ่ขึ้น

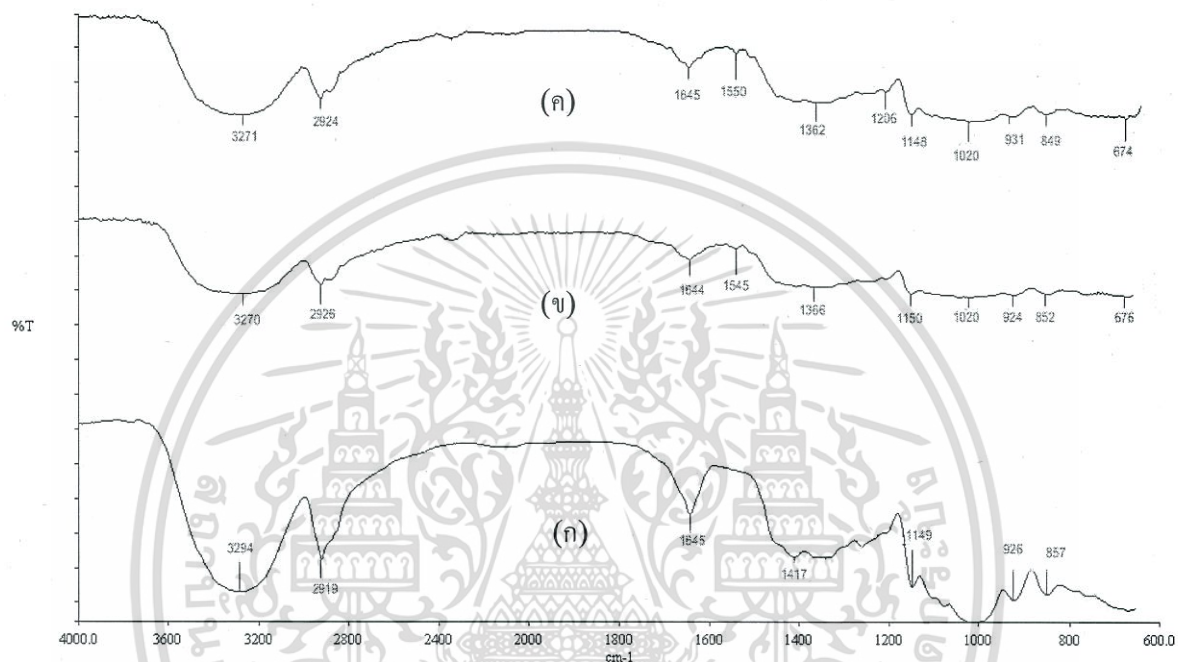
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินดังรูปที่ 4.12-4.16 พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงด้วยเพคตินที่ปริมาณ 0% 6% และ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มการย่อยสลายที่เหมือนกันเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรลเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินซึ่งบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจน จากกล้องอิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราด จะเห็นว่าเกิดรูพรุนเพิ่มมากขึ้นบริเวณทั่วทั้งชิ้นงาน และจากกล้องดิจิตอลจะสังเกตเห็นปริมาณเชื้อราบนผิวของชิ้นงานที่เพิ่มมากขึ้นตามวันและเวลาที่มากขึ้น และเมื่อพิจารณาปริมาณของเพคตินที่ใช้แตกต่างกัน พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10% โดยน้ำหนัก เกิดการย่อยสลายได้เร็วที่สุด เนื่องจากเพคตินมีหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิล (COOH) และไฮดรอกซิล (OH) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ จึงส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสามารถดูดความชื้นได้มากกว่าเทอร์โมพลาสติกที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย ซึ่งสอดคล้องกับผลของการดูดความชื้น คือ เทอร์โมพลาสติกที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10% มีค่าการดูดความชื้นมากที่สุด และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชยาภา วีระโพธิ์ประสิทธิ์ และคณะ [6] ที่แสดงให้เห็นว่าฟิล์มแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพคตินมีการย่อยสลายได้เร็วกว่าฟิล์มแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคตินเช่นกัน และเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย มีการย่อยสลายช้าที่สุดเนื่องจากเส้นใยฝ้ายประกอบด้วยเซลลูโลสเรียงตัวขนานกันและอัดแน่นกันเป็นชั้นๆ ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดความชึ้นน้อยกว่าแป้ง จึงส่งผลให้ส่วนที่เป็นเมทริกซ์ของแป้งเกิดการย่อยสลายก่อนส่วนที่เป็นเส้นใยฝ้าย

4.3 การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย

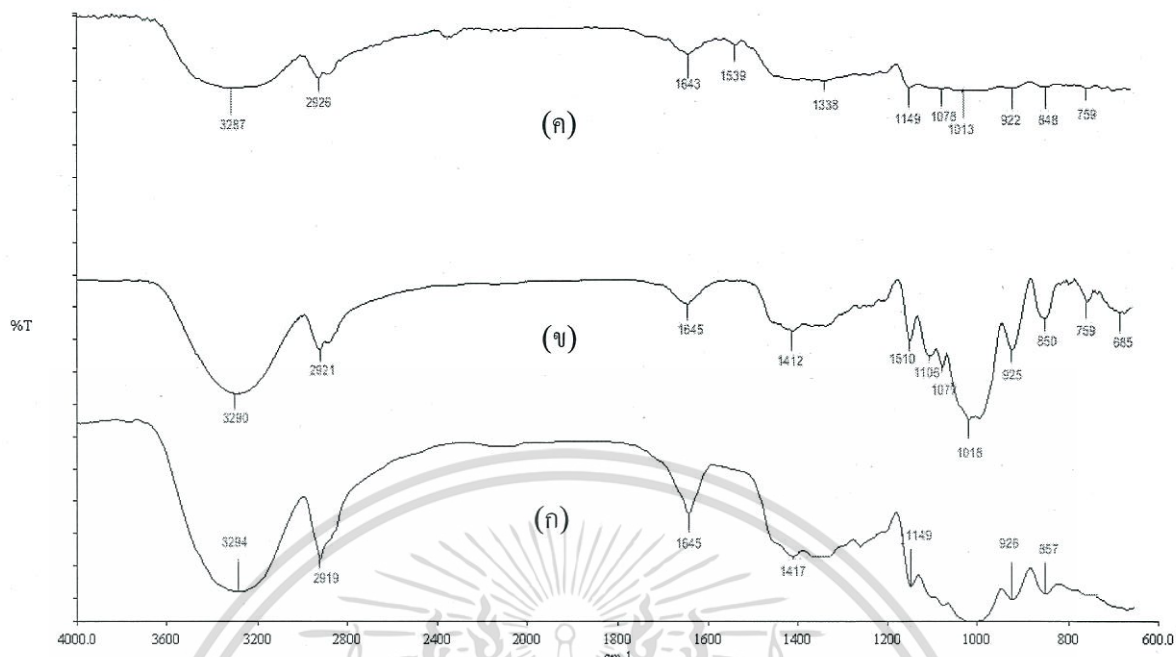
4.3.1 Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

จากการศึกษา Fourier-Transform Infrared Spectroscopy ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.17 และ 4.18



รูปที่ 4.17 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังได้ปรับปรุงด้วยไคโตซานในปริมาณต่างๆ (ก) TPS (ข) TPSC6 และ (ค) TPSC10

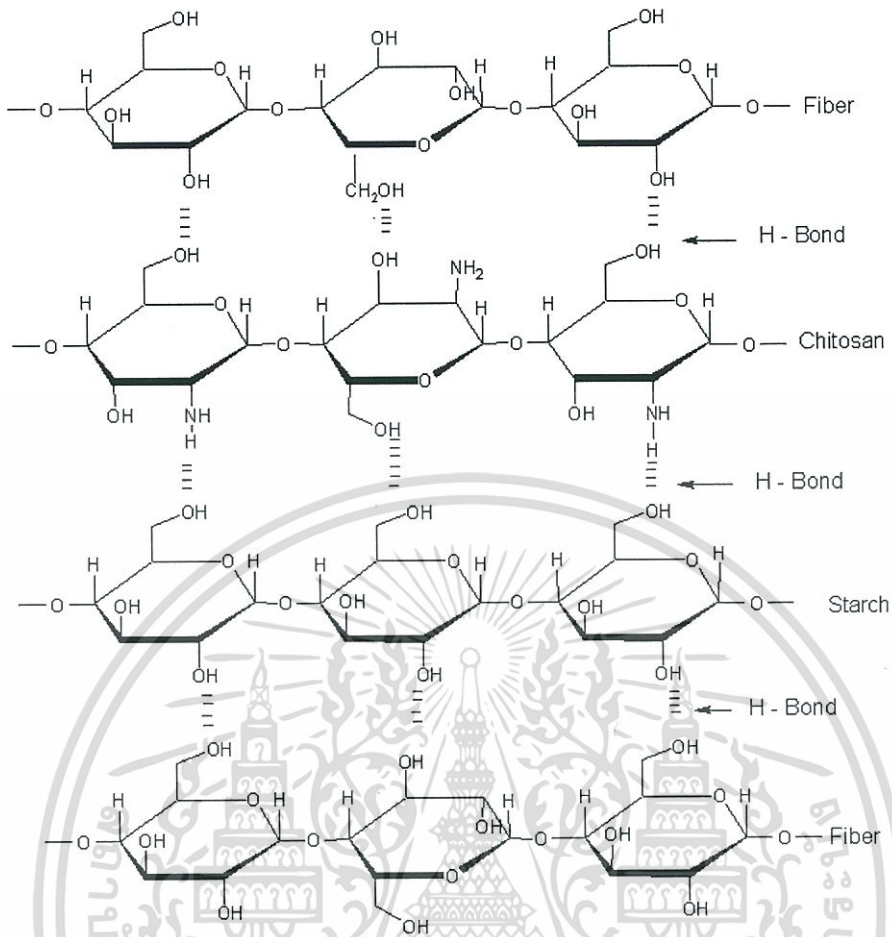
จากรูปที่ 4.17 (ข) และ (ค) แสดงสเปกตรัมของรอยละการส่งผ่านแสงของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานในปริมาณ 6 และ 10% โดยน้ำหนัก สำหรับความแตกต่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยไคโตซาน พบว่าการเติมไคโตซานลงไป ทำให้เกิดพีคใหม่ขึ้นที่ตำแหน่งประมาณ 1550 cm^{-1} ซึ่งแสดงลักษณะการสั่นแบบ N-H bending ของ NH_2 ของไคโตซาน [53, 54] เนื่องจากไคโตซานมีโครงสร้างหลักประกอบด้วยกรดอะมิโน ความเข้มของสเปกตรัมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น และจากการเติมไคโตซานมีผลให้พีคที่ตำแหน่ง $3200\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นลดลง แสดงถึงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นใหม่ระหว่างของแป้งและไคโตซาน [41, 42]



รูปที่ 4.18 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังได้ปรับปรุงด้วย ไคโตซานและเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ (ก) TPS (ข) TPSF5 และ (ค) TPSC10F5

เมื่อเติมเส้นใยฝ้ายลงในสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุง พบว่าพีคที่ได้มีลักษณะคล้ายกับพีคของแป้ง เนื่องจากแป้งและเส้นใยฝ้ายลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกัน ดังรูปที่ 4.18 (ข) ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายและไม่ได้ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย จากสเปกตรัมของเส้นใยฝ้ายพบพีคที่ 759 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ CH_2 - rocking นอกจากนี้ยังพบว่าพีค $3300\text{-}3500 \text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงการสั่นของ O-H stretching มีการเคลื่อนตำแหน่งของเลขคลื่นไปยังตำแหน่งที่ลดลง แสดงถึงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นใหม่ระหว่างองค์ประกอบที่ 1 และองค์ประกอบที่ 2 ทำให้อินฟราเรด สเปกตรัมมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบเดี่ยวๆ

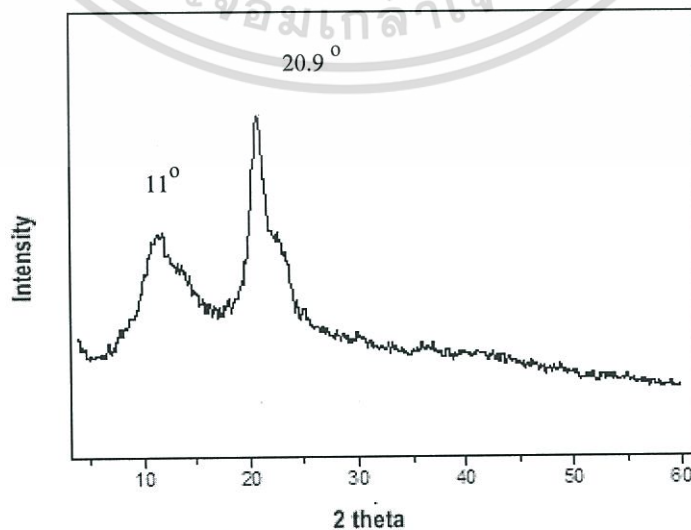
และการปรับปรุงด้วยเทอร์โมพลาสติกสตาโรซด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ดังรูปที่ 4.18 (ค) พบพีคที่ตำแหน่ง 1540 cm^{-1} ซึ่งแสดงลักษณะการสั่นแบบ N-H bending ของ NH_2 ของไคโตซาน และพีคของเส้นใยฝ้ายที่ตำแหน่ง 759 cm^{-1} ซึ่งแสดงลักษณะการสั่นแบบ CH_2 - rocking ซึ่งเป็นพีคที่เพิ่มขึ้นจากสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุง นอกจากนี้ยังพบว่าพีค $3300\text{-}3500 \text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงการสั่นของ O-H stretching มีการเคลื่อนตำแหน่งของเลขคลื่นไปยังตำแหน่งที่ลดลง แสดงถึงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นใหม่ ดังรูปที่ 4.19 ซึ่งแสดงถึงอันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างแป้งมันสำปะหลัง ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย



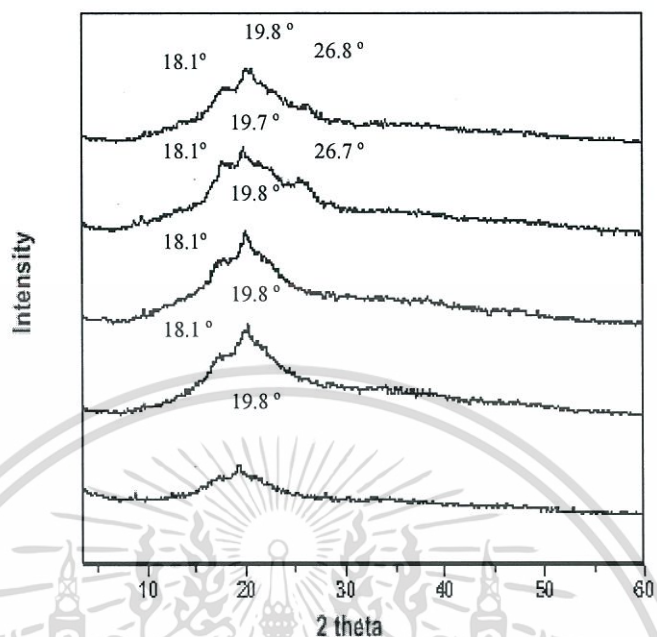
รูปที่ 4.19 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างแป้งมันสำปะหลัง ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย

4.3.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

การศึกษาโครงสร้างผลึกของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง ที่ปรับปรุงด้วย ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.20 และ 4.21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ดิฟแฟรกโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาอ์ซ์ที่มีการปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย (ก) TPS (ข) TPSC6 (ค) TPSC10 (ง) TPSF5 และ (จ) TPSC10F5

จากรูปที่ 4.20 แสดงดิฟแฟรกโตแกรมของไคโตซาน ให้พีคของผลึกที่มุม 2θ เท่ากับ 10° และ 20° เมื่อนำแป้งมันสำปะหลังมาผ่านกระบวนการขึ้นรูป แสดงดังรูปที่ 4.21 (ก) ให้พีคของผลึกที่มุม 2θ เท่ากับ 19.8° พบว่าเกิดเป็นโครงสร้างใหม่ที่มีความเป็นผลึกลดลง (V_H -type) [45]

จากรูปที่ 4.21 (ข) และ (ค) แสดงดิฟแฟรกโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาอ์ซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน จากรูปที่ 4.20 ไคโตซานแสดงพีคเด่นที่มุม 2θ เท่ากับ 20.9° และแป้งแสดงพีคเด่นที่มุม 2θ เท่ากับ 19.8° ทำให้เกิดการซ้อนทับกันระหว่างพีคแป้งและไคโตซาน ส่งผลให้พีคในตำแหน่ง 19.6° มีความเข้มเพิ่มสูงขึ้น เทอร์โมพลาสติกสตาอ์ซ์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานจึงมีแนวโน้มความเป็นผลึกมากกว่าเทอร์โมพลาสติกที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยไคโตซาน

จากรูป 4.21 (ง) แสดงดิฟแฟรกโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาอ์ซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย และ (จ) แสดงดิฟแฟรกโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาอ์ซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ซึ่งทั้ง 2 สูตรให้พีคของผลึกที่เกิดขึ้นใหม่ คือ ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.7° ซึ่งเป็นพีคของเส้นใยฝ้าย และจากการเติมเส้นใยฝ้ายส่งผลให้พีคที่มุม 2θ เท่ากับ 18.1° และ 19.7° มีแนวโน้มความเข้มของพีคที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของพีคนี้แสดงถึงแนวโน้มความเป็นผลึกที่มากขึ้น

4.3.3 การวัดสี

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซานในปริมาณที่แตกต่างกัน และ เส้นใยฝ้ายที่ 5% โดยน้ำหนัก โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer เพื่อวัดค่า L^* a^* b^* C^* และ H° ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

ตัวอย่าง	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี				
	L^*	a^*	b^*	C^*	H°
TPS	44.2	-1.0	3.5	3.7	74.2
TPSC6	52.8	2.4	18.7	18.8	79.7
TPSC10	54.0	3.9	22.3	22.7	76.9
TPSF5	64.9	1.9	9.6	9.8	78.6
TPSC10F5	55.4	5.8	24.5	22.8	73.8

หมายเหตุ ค่า L^* กำหนดค่าความสว่าง ค่า a^* กำหนดสีเหลืองหรือสีเขียว ถ้า $a^* > 1$ แสดงสีแดง และถ้า $a^* < 1$ แสดงสีเขียว ค่า b^* กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ถ้า $b^* > 1$ แสดงสีเหลือง และถ้า $b^* < 1$ แสดงสีน้ำเงิน ค่า C^* แสดงค่าความสดใของสี และค่า H° ระบุตำแหน่งของสีเทียบกับมาตรฐาน

ค่าความสว่าง (L^*)

จากตารางที่ 4.6 พบว่า TPSF5 มีค่าความสว่างมากที่สุดรองลงมา คือ TPSC10F5, TPSC10, TPSC6 และ TPS ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการเติมเส้นใยฝ้ายมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น และยังพบว่าเมื่อมีการเติมไคโตซาน ทำให้ค่าความสว่างของชิ้นงานตัวอย่างมีค่ามากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานตัวอย่างที่มีการเติมไคโตซาน มีสีออกสว่างไปทางสีเหลืองขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณของไคโตซาน ที่ใช้ต่างกัน (6 และ 10 % โดยน้ำหนัก) พบว่าสีของชิ้นงานตัวอย่างมีแนวโน้มสว่างขึ้น

ค่า a^*

TPSC10F5 มีสีออกแดงมากที่สุด รองมา คือ TPSC10, TPSC6 ส่วน TPSF5 มีสีออกไปทางเขียว และ TPS สีออกไปทางสีเขียวมากที่สุด และ เมื่อพิจารณาปริมาณของไคโตซาน ที่ใช้ต่างกัน (6 และ 10 % โดยน้ำหนัก) พบว่าชิ้นงานมีสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของไคโตซานมากขึ้น

ค่า b^*

TPSC10F5 มีสีออกเหลืองมากที่สุด รองมา คือ TPSC10, TPSC6, TPSF5 และ TPS เมื่อพิจารณาปริมาณของไคโตซานในปริมาณต่างๆ (6 และ 10 % โดยน้ำหนัก) พบว่าชิ้นงานมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของไคโตซานมากขึ้น

ค่า C*

TPSC10F5 รองลงมา คือ TPSC10, TPSC6 ซึ่งมีสีใกล้เคียงกัน ส่วน TPSF5 และ TPS มีค่าความสโตสน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาปริมาณของโคโคซานในปริมาณต่างๆ (6 และ 10 % โดยน้ำหนัก) พบว่าชิ้นงานตัวอย่างมีความสโตสของสีเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของโคโคซานมากขึ้น

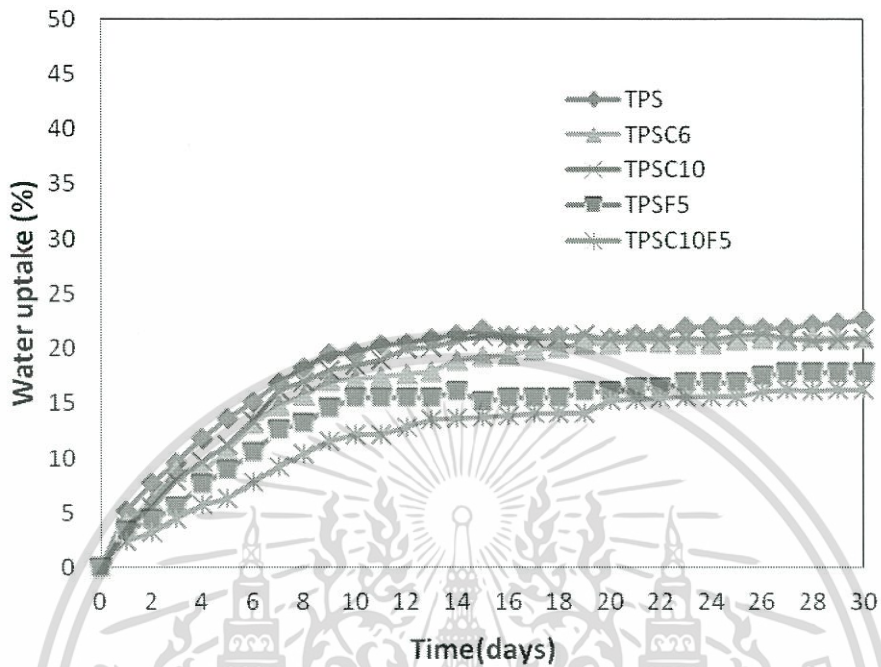
ค่า H°

ค่าตำแหน่งของสี (H°) เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของโคโคซานเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณของโคโคซานในปริมาณต่างๆ (6 และ 10 % โดยน้ำหนัก) พบว่า TPSC10F5 ให้ค่า H° สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งของสีมาตรฐาน โดยภาพรวมแล้วชิ้นงานตัวอย่างของมีสีออกไปทางสีเหลือง เนื่องจากเกิดของโคโคซานก่อนนำมาขึ้นรูปเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาโรลมีสีเหลือง จึงส่งผลให้ชิ้นงานที่ปรับปรุงด้วยโคโคซานมีสีออกไปทางสีเหลืองมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้ปรับปรุง

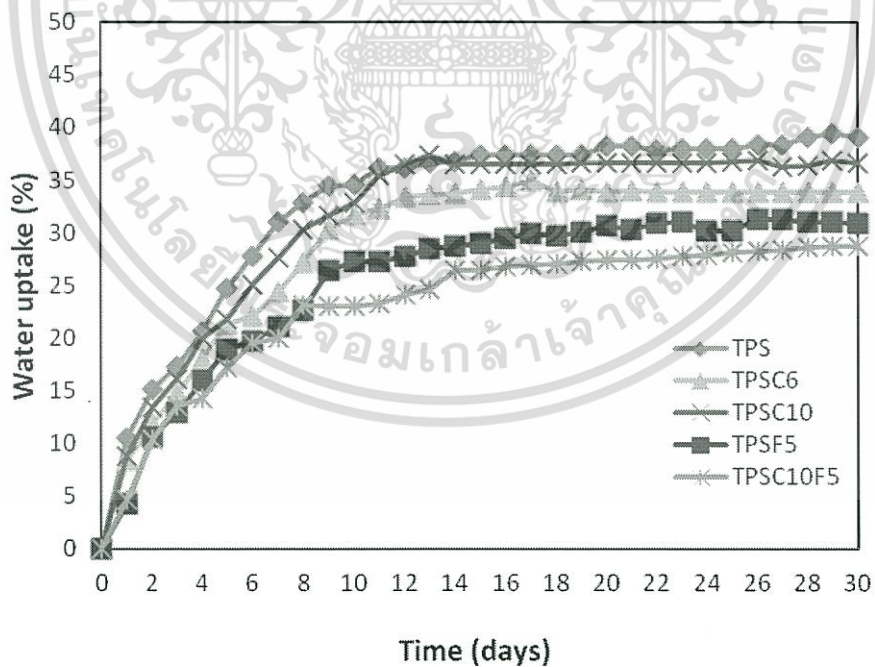
4.3.4 การดูความชื้น

ศึกษาการดูความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงด้วยโคโคซานและเส้นใยฝ้าย ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และ 100 % แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.22

รูปที่ 4.22 แสดงการดูความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงด้วยโคโคซานที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% ภายในระยะเวลา 30 วัน พบว่าในช่วง 10 วันแรกชิ้นงาน มีการดูความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อเวลาผ่านไปการดูความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนกระทั่งอิ่มตัวโดยเปอร์เซ็นต์การดูความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ของ TPS, TPSC6, TPSC10, TPSF5 และ TPSC10F5 เท่ากับ 22.6, 20.9, 21.1, 16.9 และ 16.3 % ตามลำดับ และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เปอร์เซ็นต์การดูความชื้น เท่ากับ 39.1, 33.9, 36.6, 30.9 และ 28.7 % ตามลำดับ ซึ่งเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยโคโคซาน 6% และ 10% พบว่า ดูความชื้นได้น้อยกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุง เนื่องจากโคโคซานมีความสามารถในการดูความชื้นได้น้อยกว่าแป้ง [22, 55] แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยโคโคซาน 6% และ 10% พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยโคโคซาน 10% มีความสามารถในการดูความชื้นมากกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยโคโคซาน 6% ซึ่งจากผลของ SEM (รูปที่ 4.23 จ-ฉ) จะเห็นว่ามีส่วนว่างในอนุภาคของโคโคซานเมื่อปริมาณโคโคซานมากขึ้น จึงทำให้น้ำเข้าไปในชิ้นงานมากขึ้น และส่งผลให้ผลการดูความชื้นสูงขึ้น นอกจากนี้ TPSC10F5 มีเปอร์เซ็นต์การดูความชื้นน้อยที่สุด เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความเป็นผลึกมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง [48]



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.22 เปรอ์เซ็นต์การดูดความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตา์รซ์ที่ความชื้นสัมพัทธ์

(ก) 50% และ (ข) 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 สัณฐานวิทยา

การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา เพื่อศึกษาการกระจายตัวและความเข้ากันของโคโตะซานและเส้นใยฝ้าย ในเมทริกซ์ของ TPS โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากรูปที่ 4.23 (ก)-(ข) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยโคโตะซาน 0% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่าตามลำดับ พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน

รูปที่ 4.23 (ค)-(ง) และ (จ)-(ฉ) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยโคโตะซาน 6% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่าตามลำดับ พบว่าโคโตะซานเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ใส่ลงไป โคโตะซานมีลักษณะเป็นเกล็ดไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับ TPS แต่โคโตะซานมีการฝังตัวและกระจายตัวที่ดีใน TPS และพบว่ามีลักษณะของ TPS เกาะอยู่บนพื้นผิวของโคโตะซาน ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ระหว่าง TPS และโคโตะซาน

รูปที่ 4.23 (ข)-(ซ) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยโคโตะซาน 0% และ เส้นใยฝ้ายที่ 5% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่าตามลำดับ พบว่าเส้นใยฝ้ายสามารถกระจายตัวได้ดีใน TPS จากนั้นยังพบว่ามี TPS เกาะอยู่บนผิวของเส้นใยฝ้าย ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ระหว่าง TPS และเส้นใยฝ้าย เนื่องจาก TPS และเส้นใยฝ้ายมีโครงสร้างที่คล้ายกัน คือ มีหมู่ไฮดรอกซิล อยู่ในโครงสร้างเช่นกัน

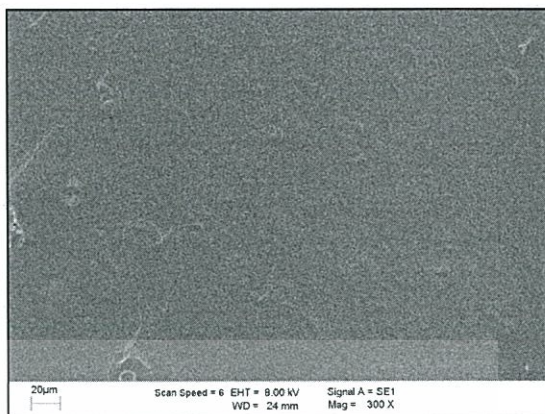
รูปที่ 4.23 (ณ)-(ญ) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ปรับปรุงด้วยโคโตะซาน 10% และเส้นใยฝ้ายที่ 5% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่าตามลำดับ พบว่า TPS โคโตะซาน และเส้นใยฝ้ายไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่โคโตะซานและเส้นใยฝ้ายสามารถกระจายตัวได้ดี และฝังตัวอยู่ในเมทริกซ์ใน TPS ยังพบว่ามี TPS เกาะอยู่บนผิวของเส้นใยฝ้ายและโคโตะซาน ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ระหว่างวัฏภาคของ TPS โคโตะซานและเส้นใยฝ้าย

100 เท่า

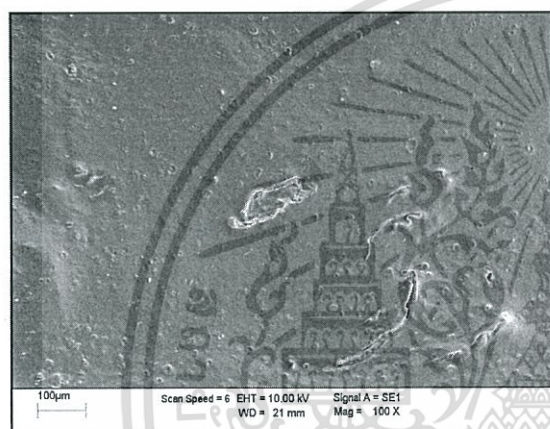


(ก)

300 เท่า



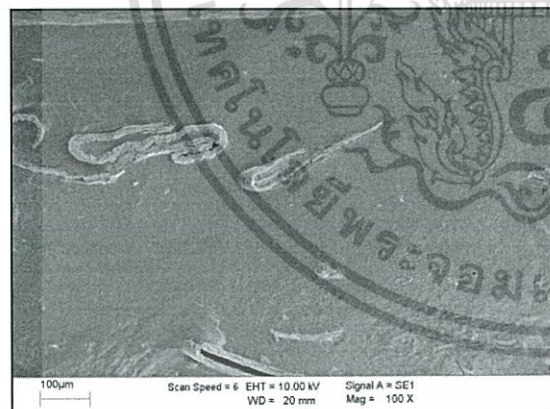
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

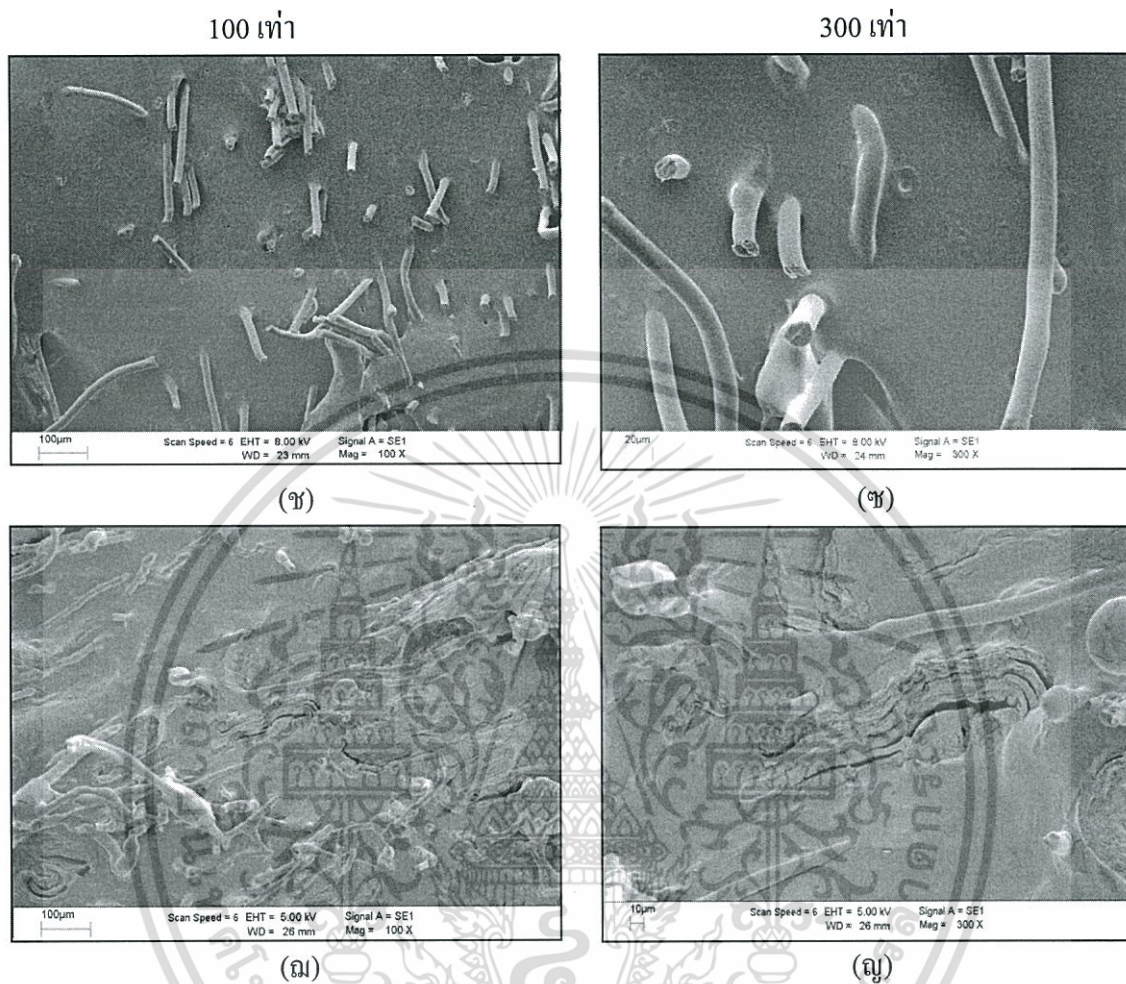


(ฉ)

รูปที่ 4.23 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ปรับปรุงด้วย
โคโคซานและเส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 100 เท่า 300 เท่า

(ก)-(ข) TPS (ค)-(ง) TPSC6 (จ)-(ฉ) และ TPSC10 (ช)-(ซ) TPSF5 และ (ณ)-(ญ) TPSC10F5

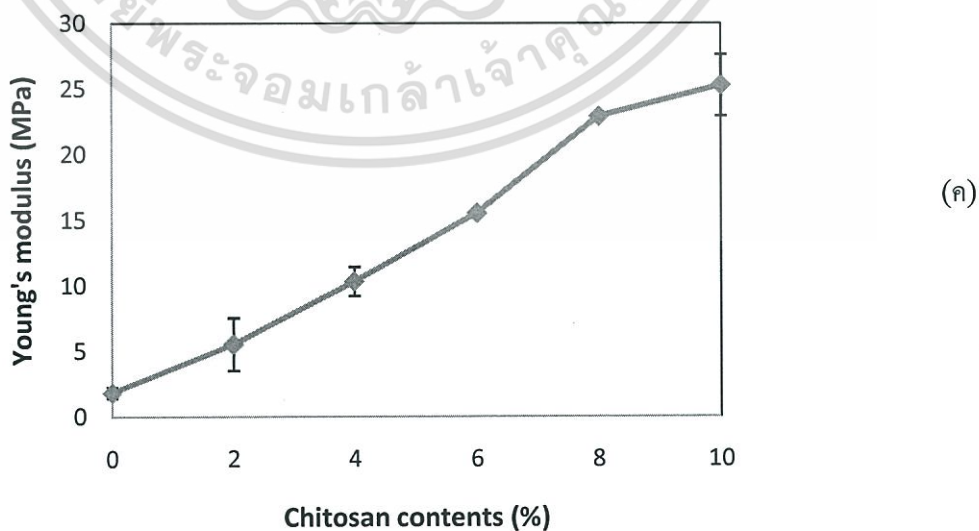
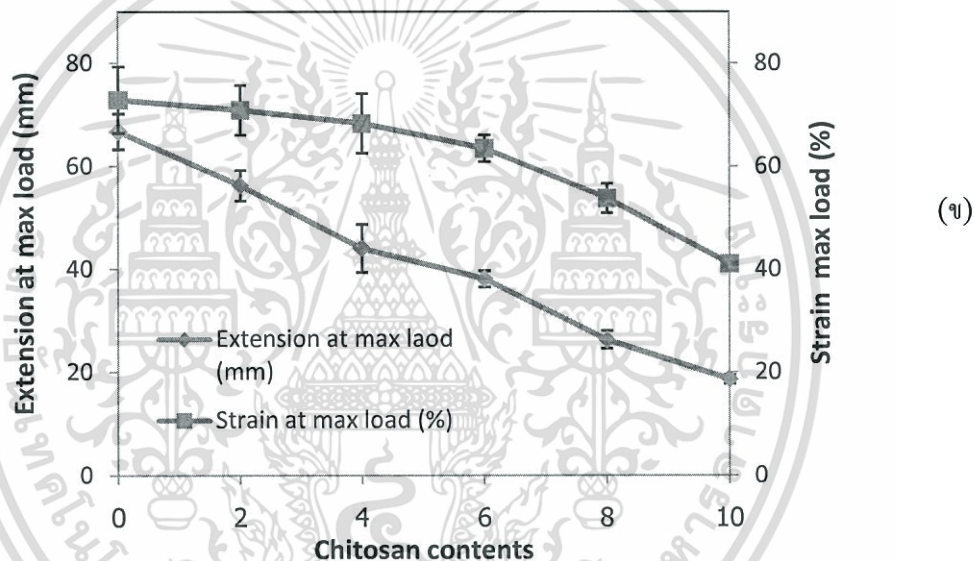
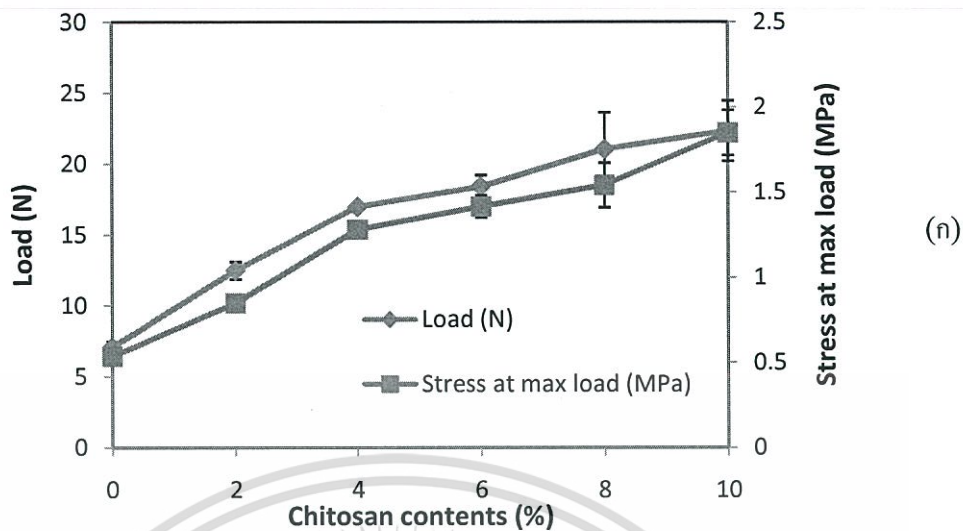
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 (ต่อ)

4.3.6 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษาได้แก่ แรงดึง ความแข็งแรงดึง การดึงยืด เปอร์เซ็นต์ความเครียด โมดูลัส โดยทดสอบสมบัติเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้ปริมาณไคโตซาน 0%, 2%, 4%, 6%, 8% และ 10% จากนั้นนำสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยไคโตซานที่มีสมบัติเชิงกลดีที่สุดมาใส่เส้นใยฝ้ายและนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป



รูปที่ 4.24 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยไคโตซาน

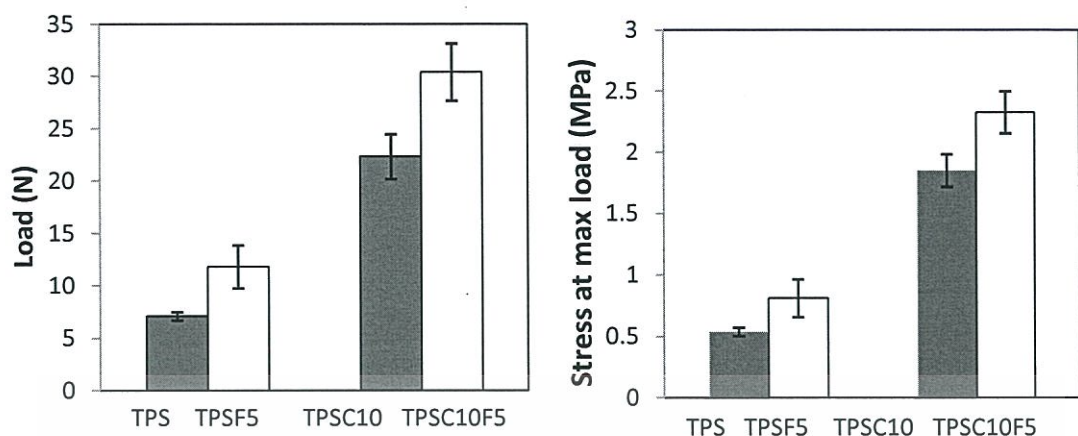
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า
 (ก) แรงดึง ความแข็งแรงดึง (ข) การดึงยืด เปอร์เซ็นต์ความเครียด และ(ค) มอดุลัส
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.24 (ก) และ (ค) แสดงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงด้วยไคโตซานที่ปริมาณ 0 %, 2%, 4%, 6%, 8% และ 10% โดยน้ำหนัก พบว่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง (รูปที่ 4.24 (ก)) และมอดูลัส (รูปที่ 4.24 (ค)) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช และมีค่าสูงสุดที่ไคโตซานปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ให้ค่าสมบัติเชิงกลสูงที่สุด กล่าวคือ เมื่อปริมาณไคโตซานมากขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้น เนื่องจากไคโตซานมีลักษณะเป็นเกล็ดของแข็งและไคโตซานที่ใช้ในงานวิจัยเป็นไคโตซานที่ได้จากเปลือกกุ้ง มีการจัดเรียงตัวแบบแอลฟา คือ ลักษณะของสายโซ่โมเลกุลเป็นแบบสวนทางกันซึ่งมีความแข็งแรงสูง [57] และจากการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่เอมิโนของไคโตซานกับหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งมันสำปะหลัง ดังนั้นเมื่อใส่ไคโตซานในปริมาณมากขึ้น ทำให้รับแรงได้มากขึ้นด้วย จึงส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้น

ส่วนค่าการดึงยืด และเปอร์เซ็นต์ความเครียด แนวโน้มลดลง และมีค่าสูงสุดที่ไคโตซาน 0% ดังรูปที่ 4.24 (ข) เนื่องจากสูตรนี้ไม่มีไคโตซาน จึงทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีความเหนียวยืดหยุ่นและดึงยืดได้ดี ส่วนเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน 2%, 4%, 6%, 8% และ 10% โดยน้ำหนัก มีค่าการดึงยืดและเปอร์เซ็นต์ความเครียดลดลง ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น ทำให้ชิ้นงานมีลักษณะแข็งเปราะ จึงดึงยืดและยืดหยุ่นได้น้อยลง

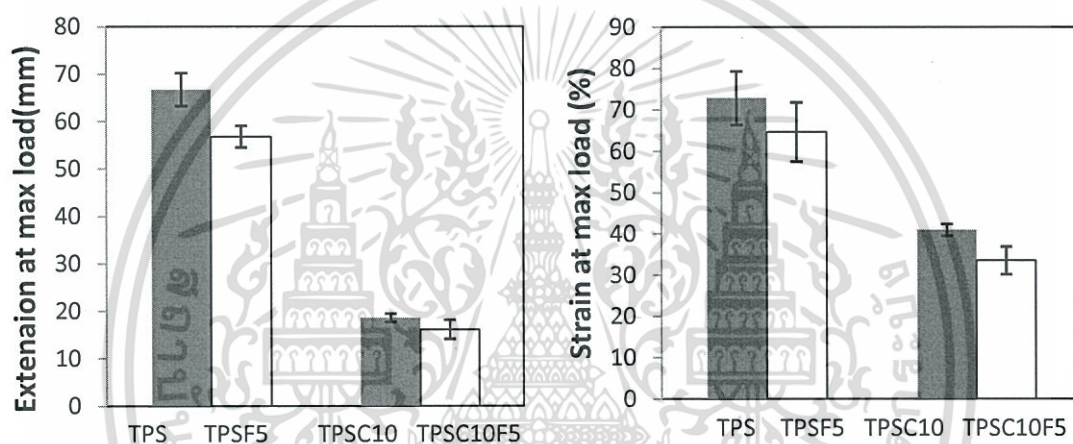
4.3.6.2 สมบัติเชิงกลเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง โดยนำสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยไคโตซาน และสูตรที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด คือ สูตรที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน 10% มาปรับปรุงสมบัติเชิงกลด้วยเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.25



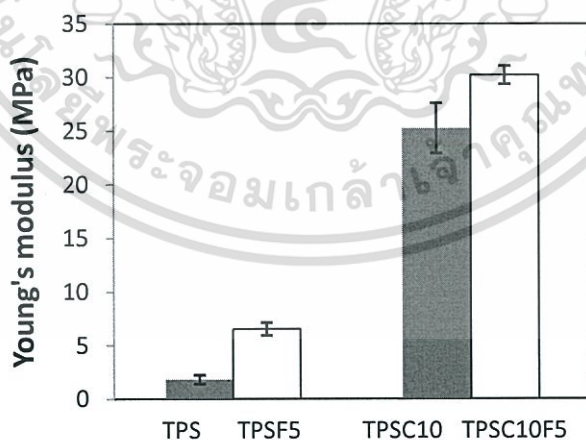
(ก)

(ข)



(ค)

(ง)



(จ)

รูปที่ 4.25 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยโคโคซานและเส้นใยฝ้าย

(ก) แรงดึง (ข) ความแข็งแรงดึง (ค) การดึงยืด (ง) เปรอร์เซ็นต์ความเครียด และ (จ) โมดูลัส

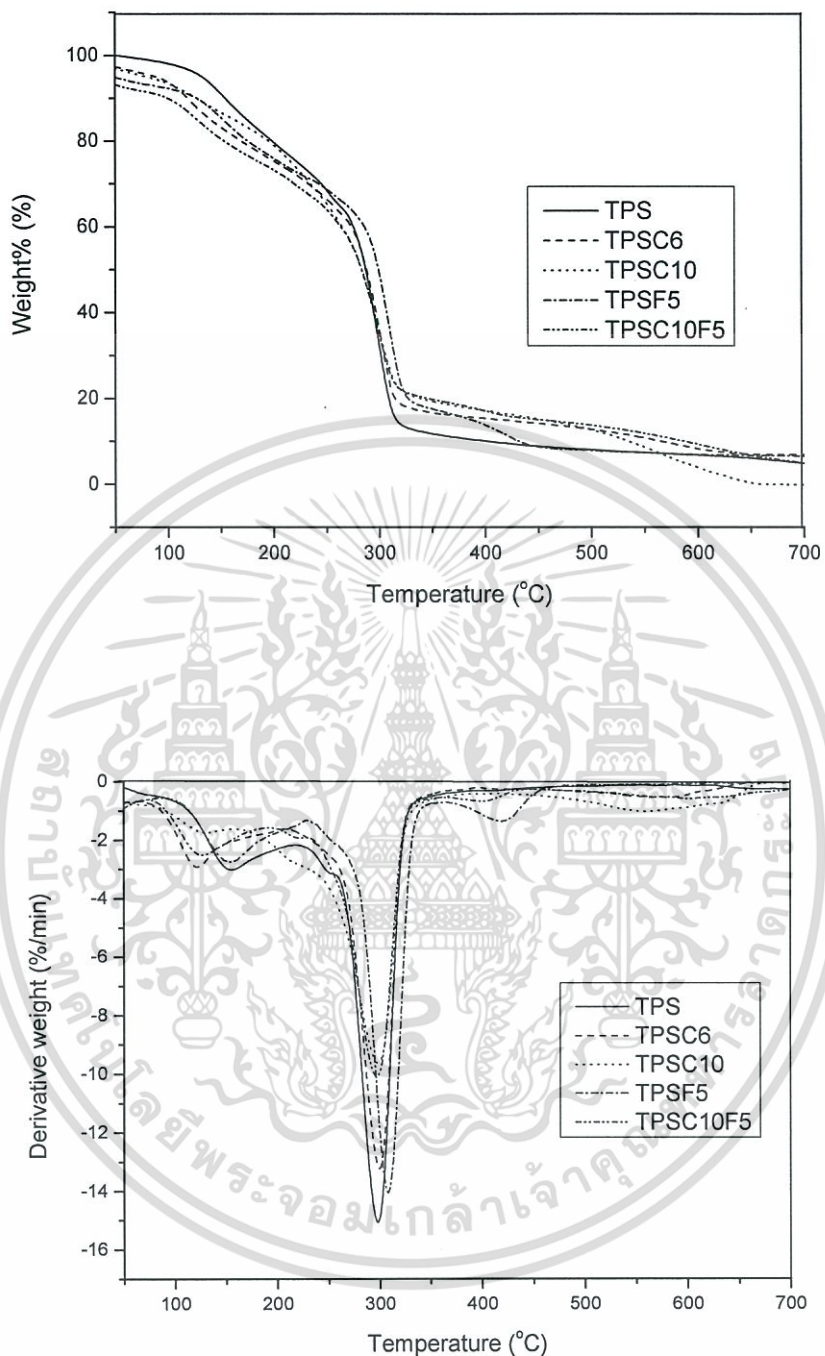
จากการนำสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยโคโคซาน และโคโคซาน 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสูตรที่มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด มาใส่เส้นใยฝ้ายในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก พบว่าค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และโมดูลัสของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใส่เส้นใยฝ้าย (รูปที่ 4.25) หมายความว่ากรรมวิธีทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) (ข) และ (จ) เนื่องจากเส้นใยฝ้าย มีความแข็งแรง และมีความเป็นผลึกมากกว่าแป้ง อีกทั้งเส้นใยฝ้ายยังมีสมบัติด้านความเหนียว ความทนทาน รวมถึงมีความหนาแน่นต่ำ ดังนั้นเส้นใยฝ้ายจึงทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงให้กับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช และแป้งมันสำปะหลังกับเส้นใยฝ้ายยังมีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกัน ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผล FT-IR ซึ่งมีลักษณะ Shift ของหมู่ O-H stretching ที่ตำแหน่ง $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ เป็นการแสดงถึงการเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างแป้งกับไคโตซานและเส้นใยฝ้าย และการศึกษาโครงสร้างผลึกพบว่า มีความเป็นผลึกที่มากขึ้นเมื่อปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย และจากการกระจายตัวที่ดีของไคโตซานและเส้นใยฝ้ายในเมทริกซ์ของแป้งมันสำปะหลัง ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สามารถรับแรงได้มากขึ้น และทำให้ความยืดหยุ่นลดลงจากนั้นเมื่อใส่เส้นใยฝ้าย ค่าการดึงยึด และเปอร์เซ็นต์ความเครียด มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน (รูปที่ 4.25 (ค) และ (ง)) เนื่องจากการใส่เส้นใยฝ้าย เส้นใยฝ้ายมีความเป็นผลึกมากกว่าแป้งและทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงให้กับ TPS ทำให้เทอร์โมพลาสติกมีความแข็งแรงมากขึ้นและมีความยืดหยุ่นน้อยลง แสดงให้เห็นว่าสูตรที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด ส่งผลให้สามารถรับแรงได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้ปรับปรุง

จากผลการทดลองเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด คือมีค่าแรงดึงเพิ่มขึ้น 324% ความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น 360% และมอดูลัสเพิ่มขึ้น 1578% เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้ปรับปรุง

4.3.7 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

เพื่อศึกษาอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวทางความร้อน (Onset degradation temperature) และเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานที่ปริมาณ 0 6 และ 10 % โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA) ซึ่งให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.26 และตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.26 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย ไคโตซานและเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$) ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานที่ ปริมาณ 0.6 และ 10 % โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$)			น้ำหนัที่หายไป
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (แป้งมัน + ไคโตซาน)	ช่วงที่ 3 (เส้นใยฝ้าย)	
TPS	119.7	278.7	-	70.6
TPSC6	135.1	287.8	-	68.4
TPSC10	133.6	282.1	-	52.9
TPSF5	143.3	286.9	391.4	54.5
TPSC10F5	130.3	282.7	385.6	48.2

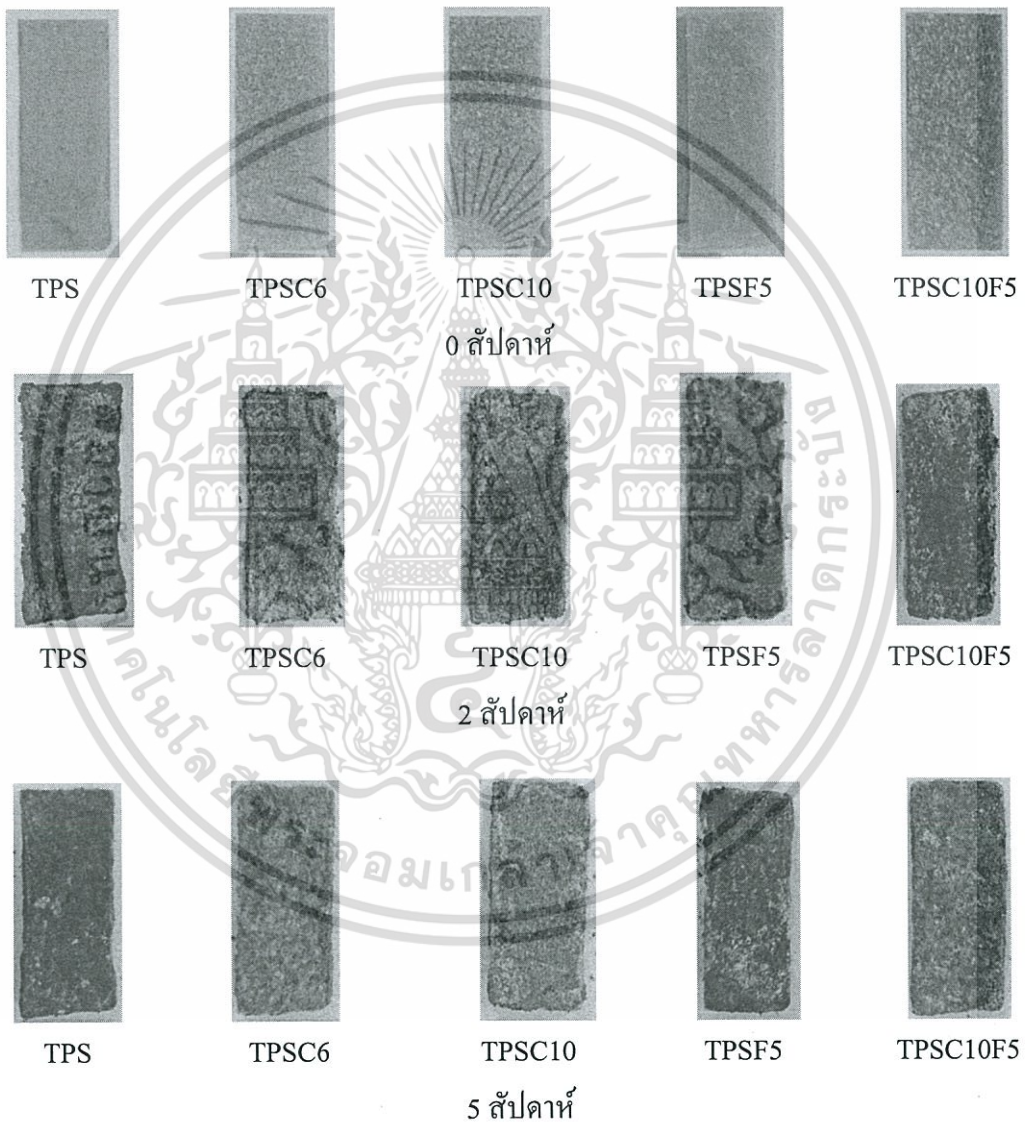
จากรูปที่ 4.26 และตารางที่ 4.7 พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย มีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว 2 ช่วง กล่าวคือ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 119.7°C เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของกลีเซอรอล [50] และ ช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิ 278.7°C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลัง [32] จากการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังด้วยไคโตซาน เกิดฟิล์มที่ซ้อนทับกันระหว่างอุณหภูมิการสลายตัวของไคโตซานและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากไคโตซานสลายตัวที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง $270 - 330^{\circ}\text{C}$ [53, 57] ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิการสลายตัวของแป้ง และจากการปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย พบว่าอุณหภูมิการสลายตัว 3 ช่วง ซึ่งช่วงสุดท้ายเป็นช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของเส้นใยฝ้าย ซึ่งสลายตัวประมาณ $385.6 - 391.4^{\circ}\text{C}$ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังในเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ไม่มีการปรับปรุง จากนั้นพบว่าการเติมไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนัที่หายไปของแป้งมันสำปะหลังในเทอร์โมพลาสติกสตาบิลลดลงอยู่ในช่วง $48.2 - 57.2\%$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ทำให้เสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

4.3.8 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

สมบัติการย่อยสลายทดสอบได้โดยการฝังดิน โดยนำชิ้นงานมาฝังดินที่ควบคุมความชื้นของดินอยู่ในช่วง 15-20 % เปรียบเทียบน้ำหนักของชิ้นงานการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานเมื่อเวลาผ่านไป 5 สัปดาห์

4.3.8.1 การศึกษาการย่อยสลายจากกล้องดิจิทัล

การศึกษาลักษณะของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลังได้ปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย



รูปที่ 4.27 ภาพการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์ที่ได้จากกล้องดิจิทัล

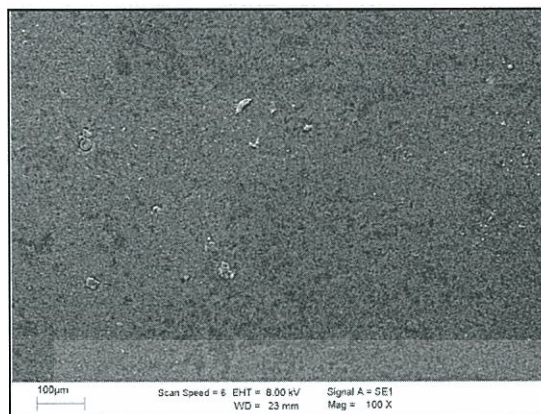
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.27 พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซานที่ ปริมาณ 0 6 และ 10 % โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มการย่อยสลายที่ เหมือนกันเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรลเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็น ได้ชัดเจนกัน คือ มีเชื้อราเกิดขึ้นบริเวณทั่ว ชิ้นงาน ประมาณ 2 สัปดาห์ โดยรวมพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงด้วยไคโตซาน 10%โดยน้ำหนัก มีปริมาณเชื้อราน้อยกว่าสูตรที่ปรับปรุงไคโตซาน 6%โดยน้ำหนัก เนื่องจาก ไคโตซานมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เพราะหมู่ NH_3^+ ในไคโตซาน สามารถ เกิด Interaction กับประจุลบของผนังเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ในดินไม่สามารถสร้างผนังเซลล์ ใหม่ได้ และเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้ายมีการย่อยสลาย เร็วที่สุด เนื่องจากแบ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในดิน

4.3.8.2 การศึกษาการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากกล้องจุลทรรศน์ อีเล็กตรอนแบบส่องกราด

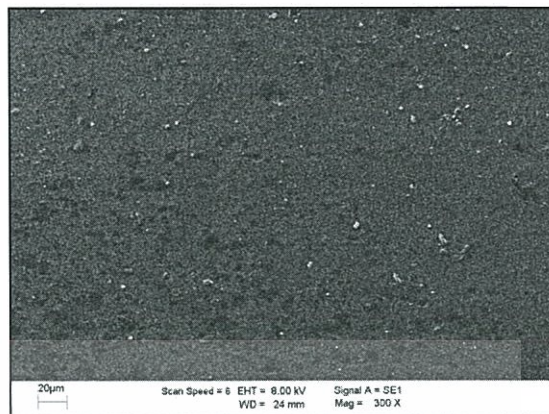
การศึกษาลักษณะการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการ ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อีเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า

100 เท่า



(ก)

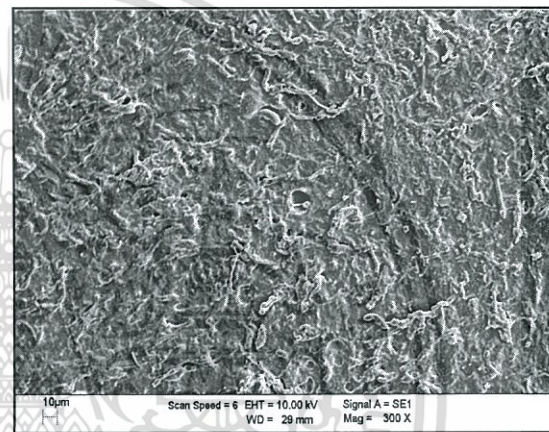
300 เท่า



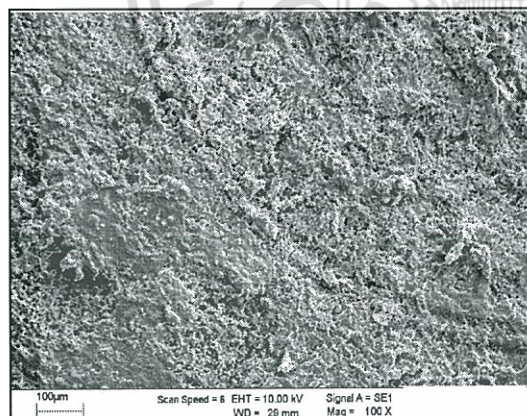
(ข)



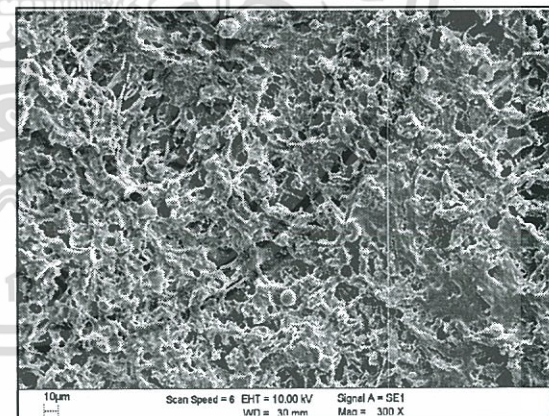
(ค)



(ง)



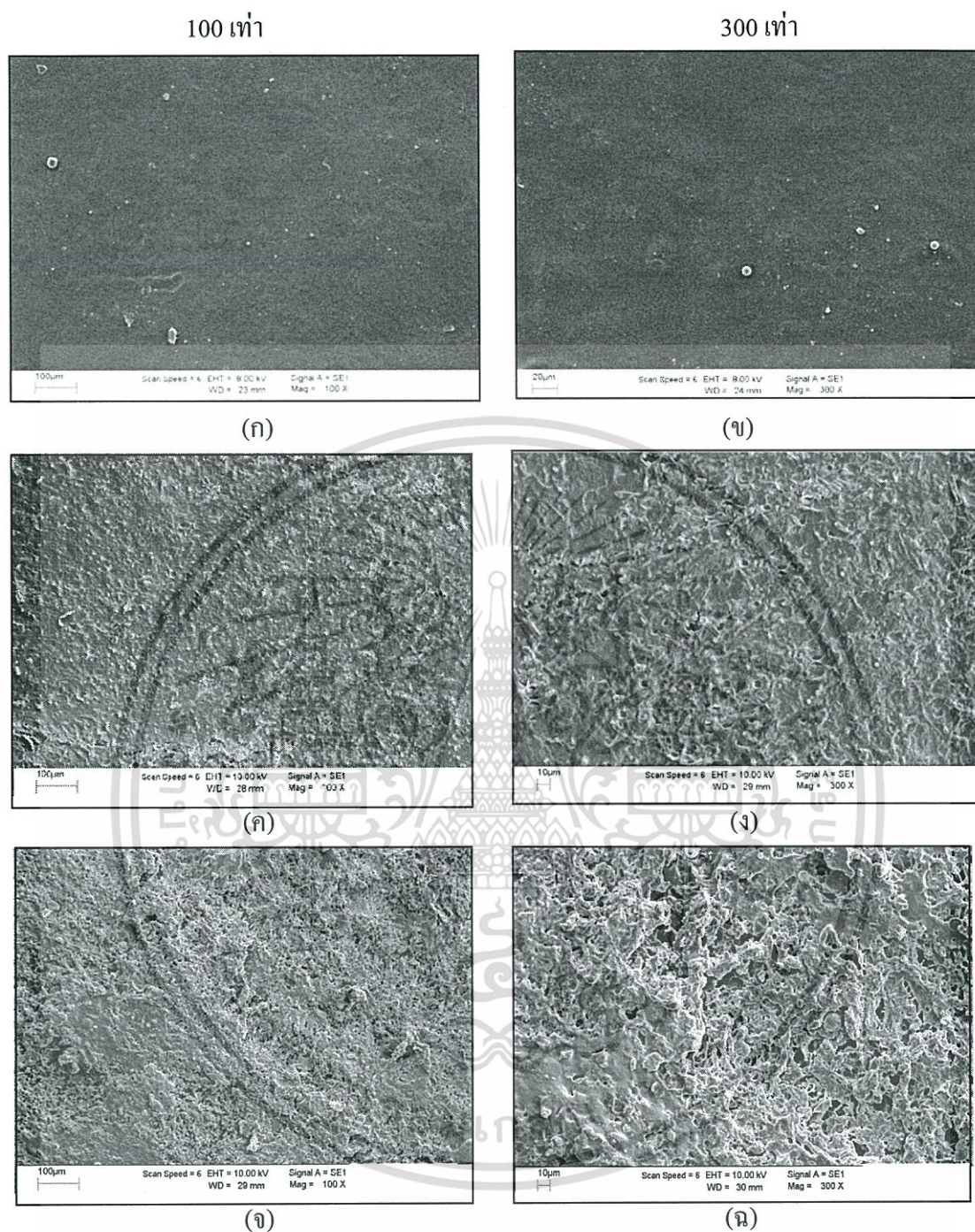
(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.28 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วย โคลิซาน TPS ที่กำลังขยาย 100 เท่า-300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ และ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

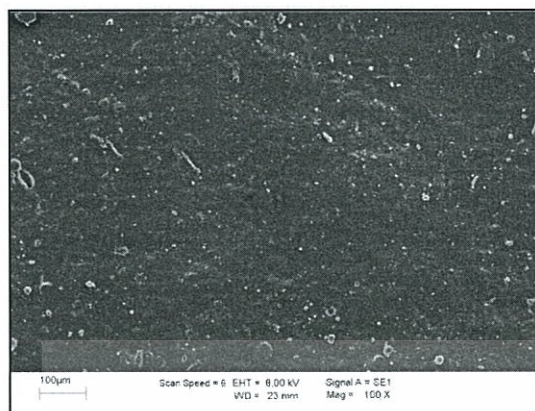
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย โคลโตซาน TPSC6 ที่กำลังขยาย 100 เท่า-300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ และ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

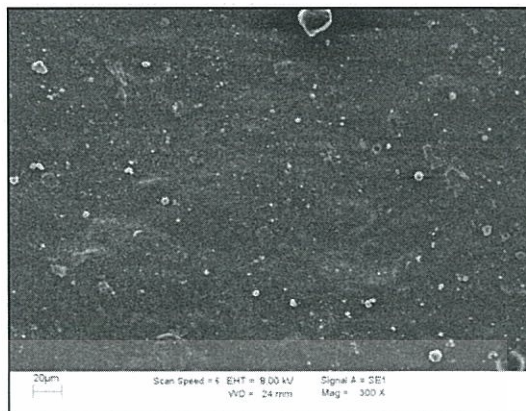
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 เท่า

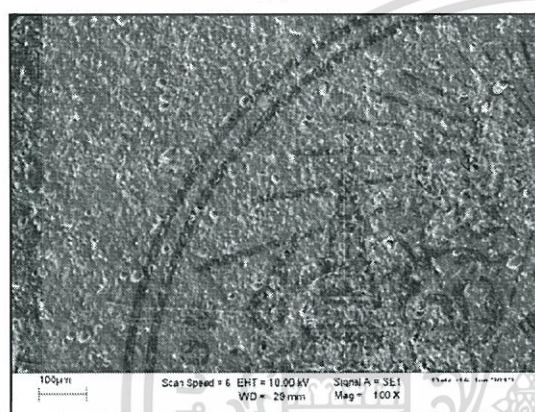


(ก)

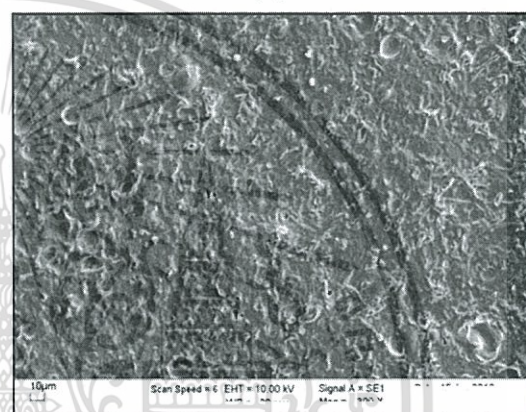
300 เท่า



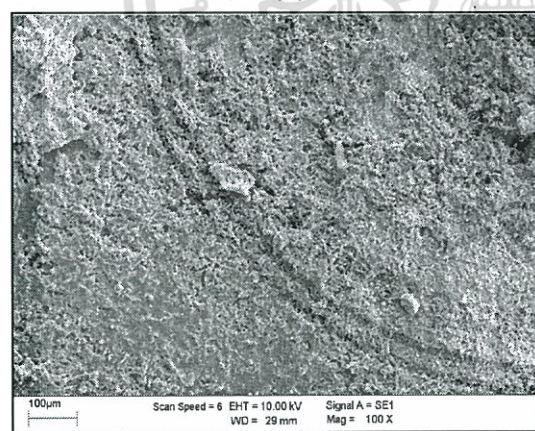
(ข)



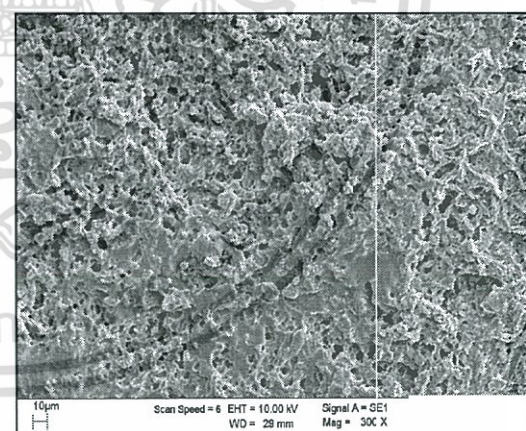
(ค)



(ง)



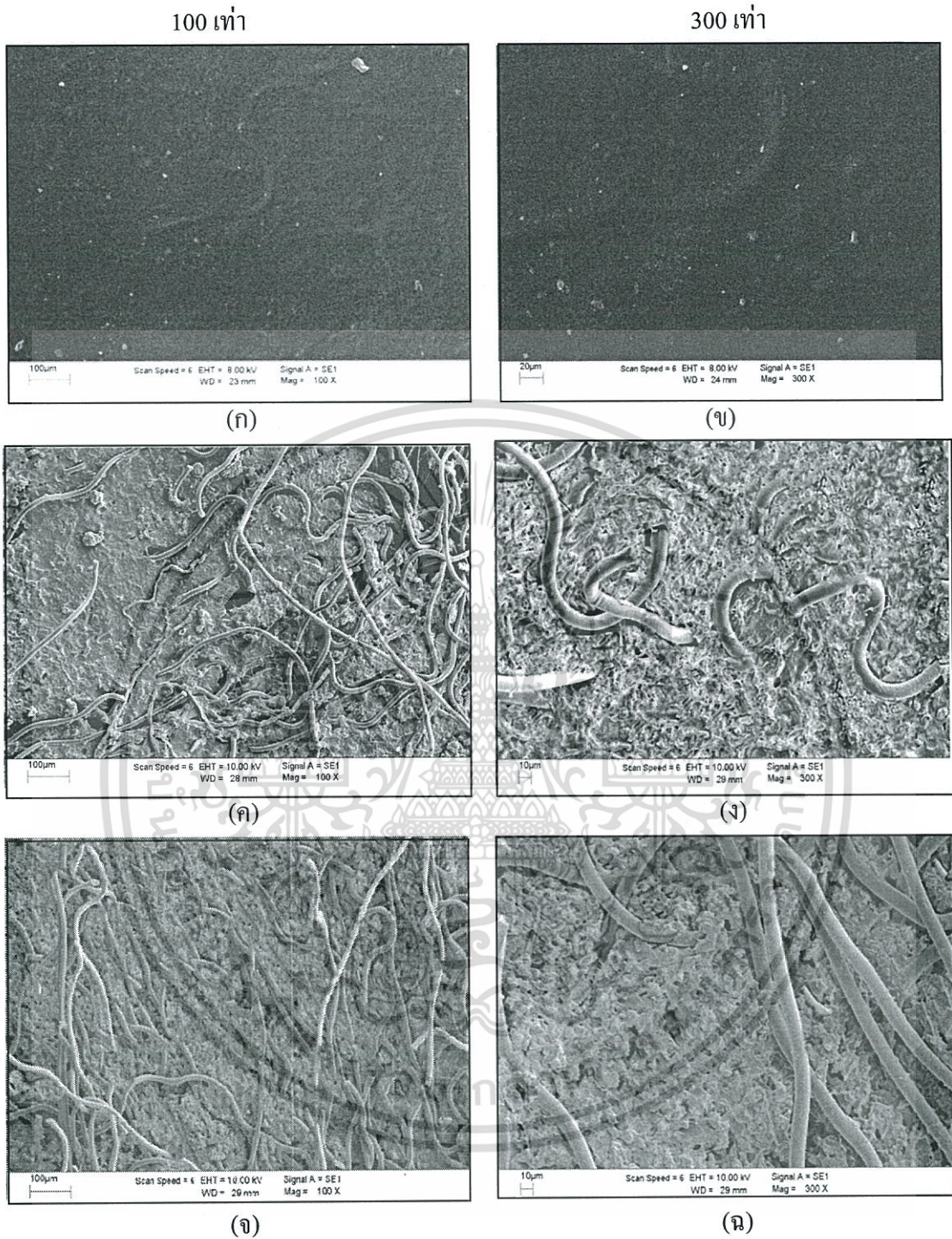
(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.30 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย ไคโตซาน TPSC10 ที่กำลังขยาย 100 เท่า-300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ และ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

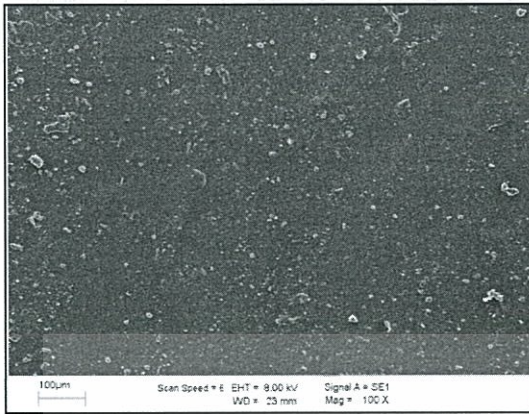
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย TPSF5 ที่กำลังขยาย 100 เท่า-300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ และ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

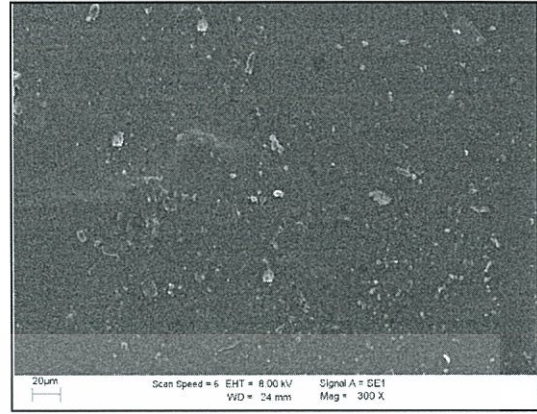
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 เท่า

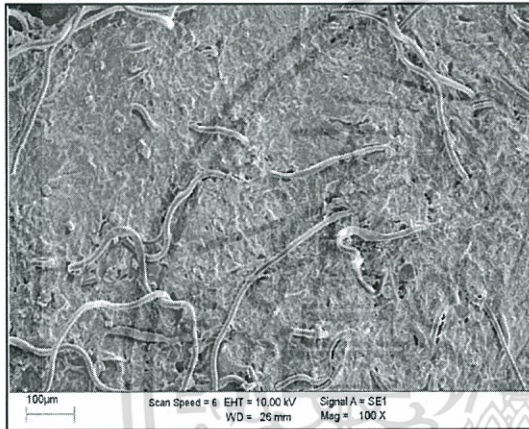


(ก)

300 เท่า



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.32 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย TPSC10F5 ที่กำลังขยาย 100 เท่า-300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ และ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ลักษณะชิ้นงานของเทอร์โมพลาสติกสไตรช์ที่ปรับปรุงด้วยโคโคซานและเส้นใยฝ้าย เนื่องจาก การฝังดิน

สูตร	ลักษณะชิ้นงานของเทอร์โมพลาสติกสไตรช์
TPS	เมื่อผ่านไป 1 วัน ชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้น ยังไม่มีการย่อยสลายของชิ้นงาน เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มมีการย่อยสลายเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราขึ้น และมีรูทั่วทั้งชิ้นงาน จากก้นเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราเพิ่มมากขึ้น และ ชิ้นงานมีลักษณะรูทั่วชิ้นงานที่ใหญ่ขึ้น
TPSC6	เมื่อผ่านไป 1 วัน ชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้น ยังไม่มีการย่อยสลายของชิ้นงาน เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มมีการย่อยสลาย เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราขึ้น และมีรูทั่วทั้งชิ้นงานจากก้นเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ชิ้นงานมีลักษณะรูทั่วชิ้นงานที่ใหญ่ขึ้น
TPSC10	เมื่อผ่านไป 1 วัน ชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้น ยังไม่มีการย่อยสลายของชิ้นงาน เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มมีการย่อยสลายเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราขึ้น และมีรูทั่วทั้งชิ้นงาน จากก้นเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ชิ้นงานมีลักษณะรูทั่วชิ้นงานที่ใหญ่ขึ้น
TPSF5	เมื่อผ่านไป 1 วัน ชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้น ยังไม่มีการย่อยสลายของชิ้นงาน เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มมีการย่อยสลายเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราขึ้น และมีรูทั่วทั้งชิ้นงาน จากก้นเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราเพิ่มมากขึ้น และชิ้นงานมีลักษณะรูทั่วชิ้นงานที่ใหญ่ขึ้น
TPSC10F5	เมื่อผ่านไป 1 วัน ชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้น ยังไม่มีการย่อยสลายของชิ้นงาน เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มมีการย่อยสลายเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราขึ้น และมีรูทั่วทั้งชิ้นงาน จากก้นเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน ชิ้นงานเริ่มมีเชื้อราเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่ระบุเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินดังรูปที่ 4.28-4.32 พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงด้วยไคโตซานที่ปริมาณ 0 6 และ 10 % โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มการย่อยสลายที่เหมือนกันเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรลเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินซึ่งบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจน จากกล้องอเล็กตรอนแบบส่องกราดจะเห็นว่าเกิดรูพรุนเพิ่มมากขึ้นบริเวณทั่วทั้งชิ้นงาน และจากกล้องดิจิตอล จะสังเกตเห็นปริมาณเชื้อราบนผิวของชิ้นงานที่เพิ่มมากขึ้นตามวันและเวลาที่มากขึ้น และเมื่อพิจารณาการย่อยสลายเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยไคโตซานและปรับปรุงด้วยไคโตซาน จะเห็นว่าเมื่อใส่ไคโตซานลงไป ชิ้นงานมีการย่อยสลายได้ช้ากว่าชิ้นงานที่ไม่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน เนื่องจากไคโตซานมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เพราะหมู่ NH_3^+ ในไคโตซานสามารถเกิด Interaction กับประจุลบของผนังเซลล์จุลินทรีย์ในดิน ทำให้จุลินทรีย์ในดินไม่สามารถสร้างผนังเซลล์ใหม่ได้ ส่งผลให้ชิ้นงานที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้ายมีการย่อยสลายช้าที่สุด และเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้ายมีการย่อยสลายเร็วที่สุด เนื่องจากแป้งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในดิน

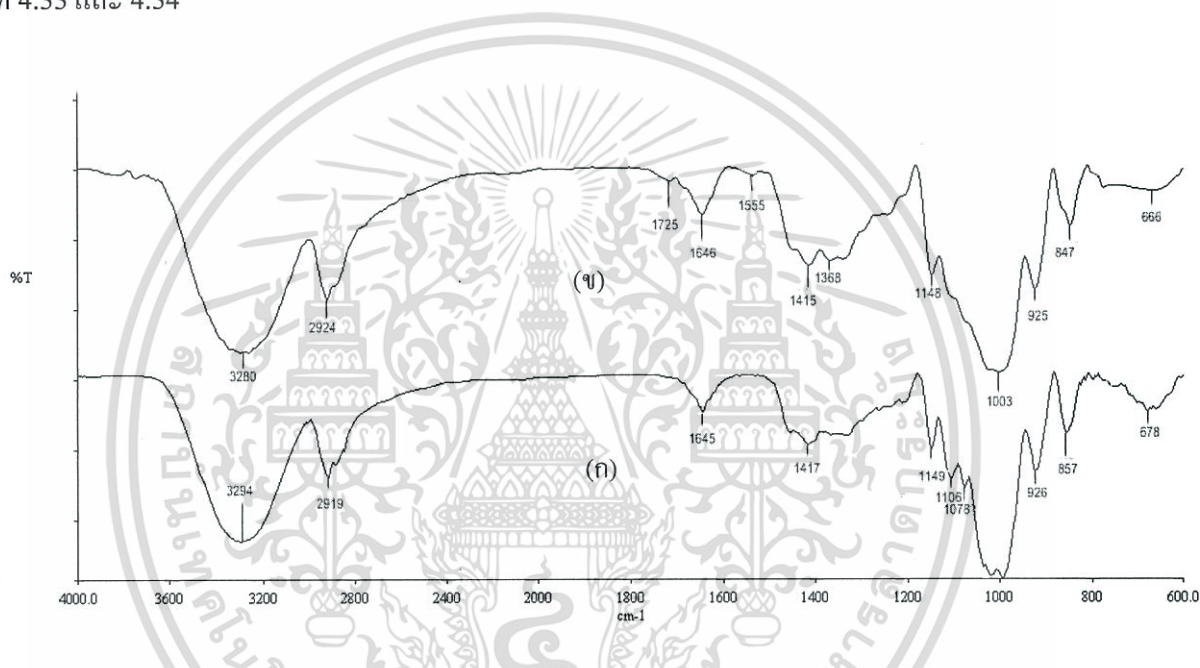


4.4 การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย

จากการทดสอบสมบัติเชิงกล การปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง ด้วยเพคตินและไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 มาทำการทดสอบสมบัติต่างๆ

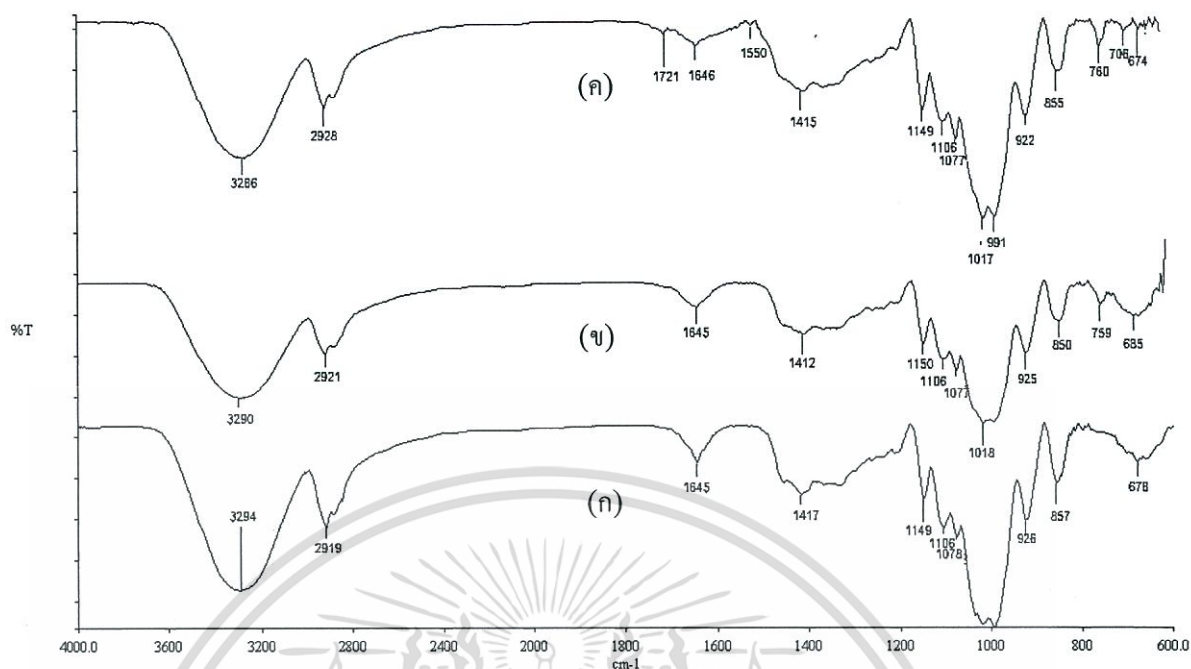
4.4.1 Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

จากการศึกษา Fourier-Transform Infrared Spectroscopy ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง โดยศึกษาผลของการปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย แสดงดังรูปที่ 4.33 และ 4.34



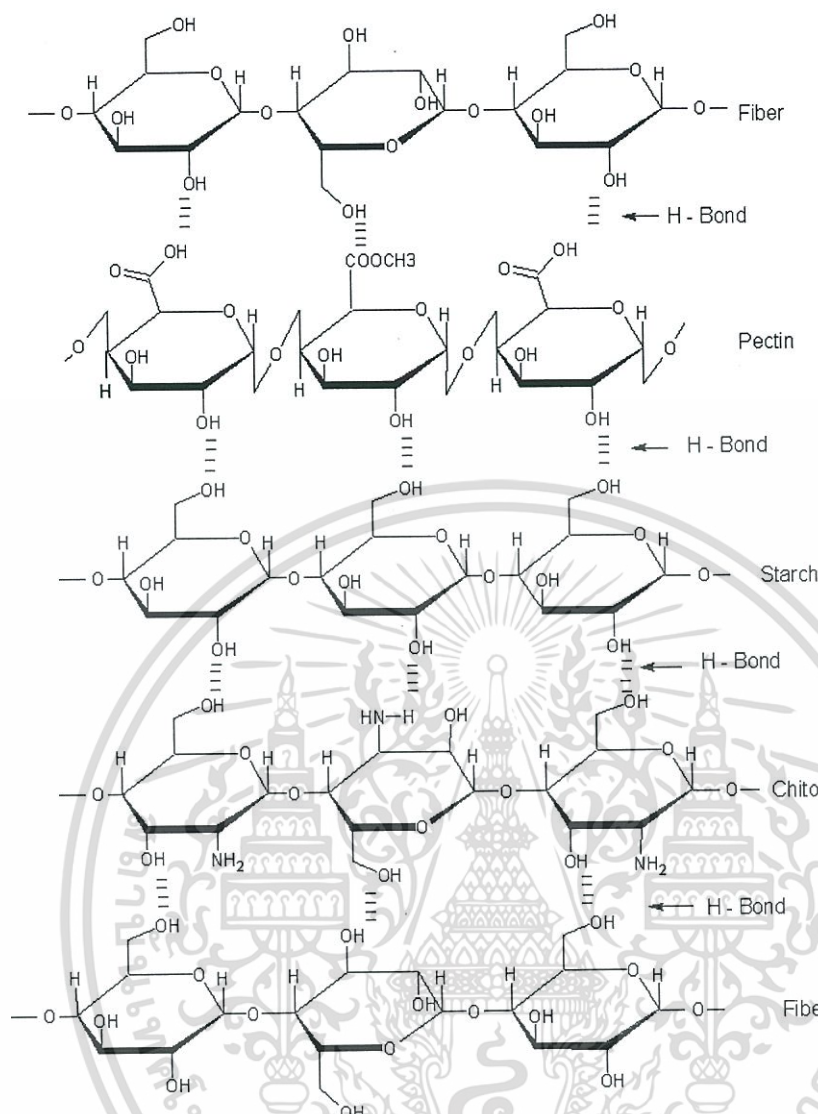
รูปที่ 4.33 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังได้ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซาน (ก) TPS และ (ข) TPSP5C5

จากรูปที่ 4.33 (ก) แสดงสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปริมาณเพคตินและไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 พบว่าอินฟราเรดมีโครงสร้างหลักที่คล้ายคลึงกันซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลลูโลส สำหรับความแตกต่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุง และปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินและไคโตซาน ดังรูปที่ 4.33 (ข) เกิดพีคใหม่ที่ตำแหน่ง 1725 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ COOH ของเพคติน [42] และ 1555 cm^{-1} N-H bending ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ NH_2 ของไคโตซาน [54] และจากนั้นการปรับปรุงด้วยไคโตซานและเพคติน ยังมีผลทำให้พีคที่ตำแหน่ง $3200\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นลดลง แสดงว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นใหม่ระหว่างของแป้งมันสำปะหลัง เพคตินและไคโตซาน [40, 41]



รูปที่ 4.34 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งมันสำปะหลังได้ปรับปรุงด้วย เพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย (ก) TPS (ข) TPSF5 และ (ค) TPSP5C5F5

จากการนำสูตรที่ดีที่สุดมาเติมเส้นใยฝ้าย รูปที่ 4.34 (ข) พืชที่ได้มีลักษณะคล้ายกับพืชของแป้ง เนื่องจากแป้งและเส้นใยฝ้ายลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกัน และสำหรับความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย ดังรูปที่ 4.34 (ค) พบพีกของเพคตินและไคโตซานที่ตำแหน่ง 1721 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกหมู่ฟังก์ชันของ COOH ของเพคติน และ 1550 cm^{-1} N-H bending ของ NH_2 ของไคโตซาน [55] จากนั้นยังพบพีกของเส้นใยฝ้ายที่ตำแหน่ง 760 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ CH_2 – rocking และยังพบว่าพีก $3300\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงการสั่นของ O-H stretching มีการเคลื่อนไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่ลดลง ซึ่งแสดงถึงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.35 ซึ่งแสดงถึงอันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างแป้งมันสำปะหลัง เพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย



รูปที่ 4.35 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างแป้งมันสำปะหลัง เพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

4.4.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

การศึกษาโครงสร้างผลึกของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง ที่มีการปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย โดยใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.36

เมื่อนำแป้งมันสำปะหลังมาผ่านกระบวนการขึ้นรูป และปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย พบว่าเกิดโครงสร้างใหม่ที่มีความเป็นผลึกลดลง (V_H -type) แสดงดังรูปที่ 4.35 (ก) ให้พีคของผลึกที่มุม 2θ เท่ากับ 19.8°

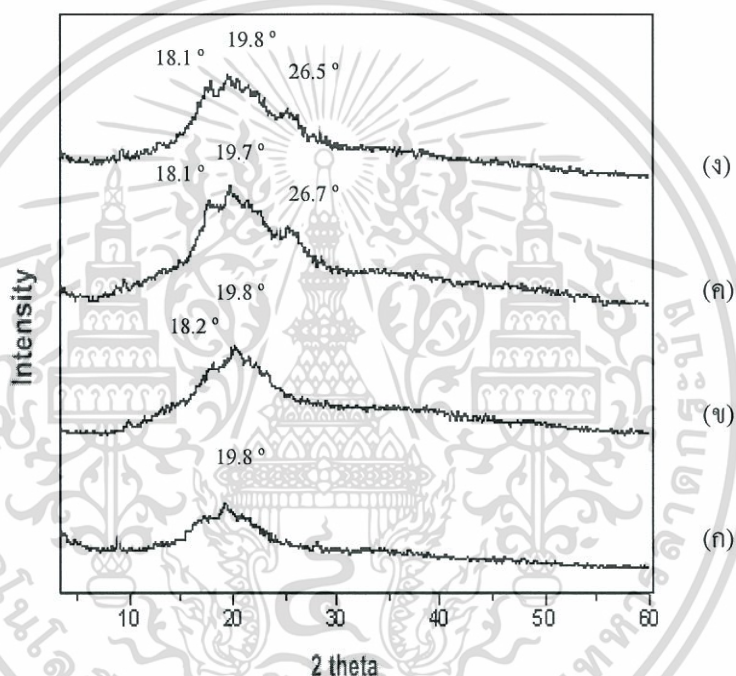
จากรูป 4.36 (ข) แสดงดิฟแฟร็กโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซาน จะเห็นเพคตินและไคโตซานทำให้ความเข้มของพีค

ที่มุม 2θ เท่ากับ 19.8° มีความเข้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากความเข้มของพีคที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเติมเพคตินและไคโตซาน ทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรละเมิดลิขสิทธิ์โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไคโตซาน มีแนวโน้มความเป็นผลึกมากกว่าเทอร์โมพลาสติกที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซาน

จากรูป 4.36 (ค) แสดงดิฟแฟรกโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย และ รูป 4.36 (ง) แสดงดิฟแฟรกโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ซึ่งพิกใหม่ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.5° ซึ่งเป็นพิกของเส้นใยฝ้าย และพิกที่มุม 2θ เท่ากับ 18.1° และ 19.8° มีความเข้มที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มความเป็นผลึกที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย



รูปที่ 4.36 ดิฟแฟรกโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย (ก) TPS (ข) TPSP5C5 (ค) TPSPF5 และ(ง) TPSP5C5F5

4.4.3 การวัดสี

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน ไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้ายในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer เพื่อวัดค่า L^* a^* b^* C^* และ H° ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน ไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย

ตัวอย่าง	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี				
	L*	a*	b*	C*	H°
TPS	44.2	-1.0	3.5	3.7	74.2
TPSP5C5	34.2	11.5	22.3	25.1	62.8
TPSF5	64.9	1.9	9.6	9.8	78.6
TPSP5C5F5	41.6	7.9	20.5	23.1	70.9

หมายเหตุ ค่า L* กำหนดค่าความสว่าง ค่า a* กำหนดสีเหลืองหรือสีเขียว ถ้า $a^* > 1$ แสดงสีแดง และถ้า $a^* < 1$ แสดงสีเขียว ค่า b* กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ถ้า $b^* > 1$ แสดงสีเหลือง และถ้า $b^* < 1$ แสดงสีน้ำเงิน ค่า C* แสดงค่าความสดใสของสี และค่า H° ระบุตำแหน่งของสีเทียบกับมาตรฐาน

ค่าความสว่าง (L*)

TPSF5 มีค่าความสว่างมากที่สุดรองลงมาได้แก่ TPS, TPSP5C5F5 และ TPSP5C5 ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าการเติมเส้นใยฝ้าย มีผลทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น และการเติมเพคตินและไคโตซาน ชีงงานที่ได้มีสีออกไปทางสีน้ำตาล ซึ่งมีความสว่างน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุง

ค่า a*

TPSP5C5F5 มีสีออกแดงมากที่สุด รองลงมาได้แก่ TPSP5C5, ส่วนTPSF5 มีสีออกไปทางเขียว และTPS แสดงสีเขียวมากที่สุด และ ทั้งนี้พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย มีผลทำให้ชีงงานมีสีแดงมากกว่าชีงงานที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

ค่า b*

TPSP5C5F5 มีสีออกเหลืองมากที่สุด รองลงมาได้แก่ TPSP5C5, TPSF5 และ TPS ทั้งนี้พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย มีผลทำให้ชีงงานมีสีเหลืองมากกว่าชีงงานที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

ค่า C*

TPSP5C5F5 รองลงมาได้แก่ TPSP5C5, TPSF5 และ TPS มีค่าความสดใสน้อยที่สุด ซึ่งพบว่าชีงงานตัวอย่างมีความสดใสของสีเพิ่มขึ้นเมื่อปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกด้วยเพคตินและไคโตซาน

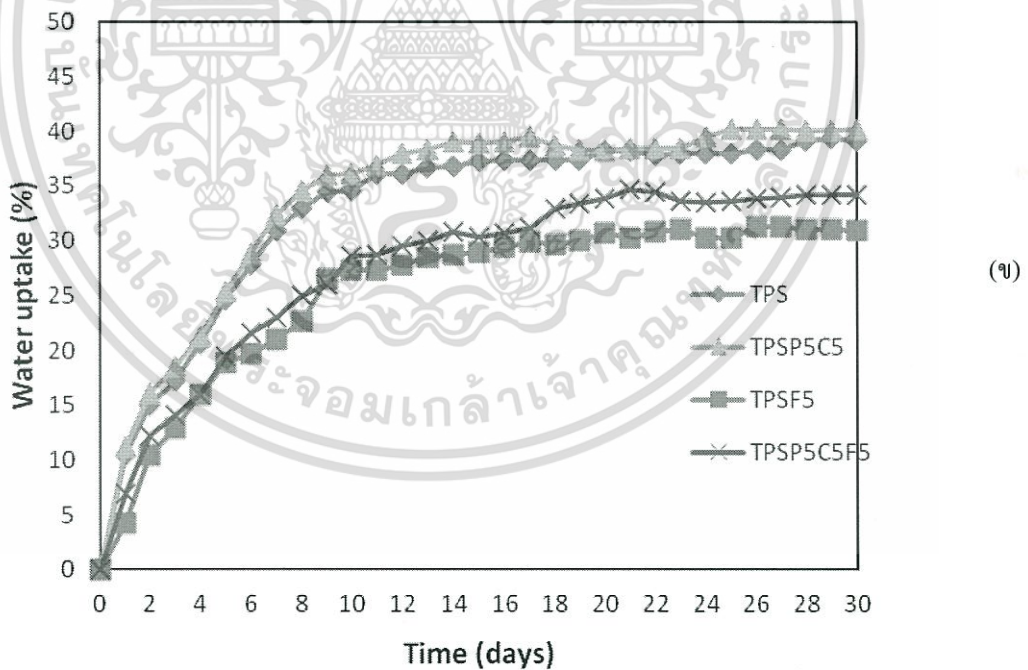
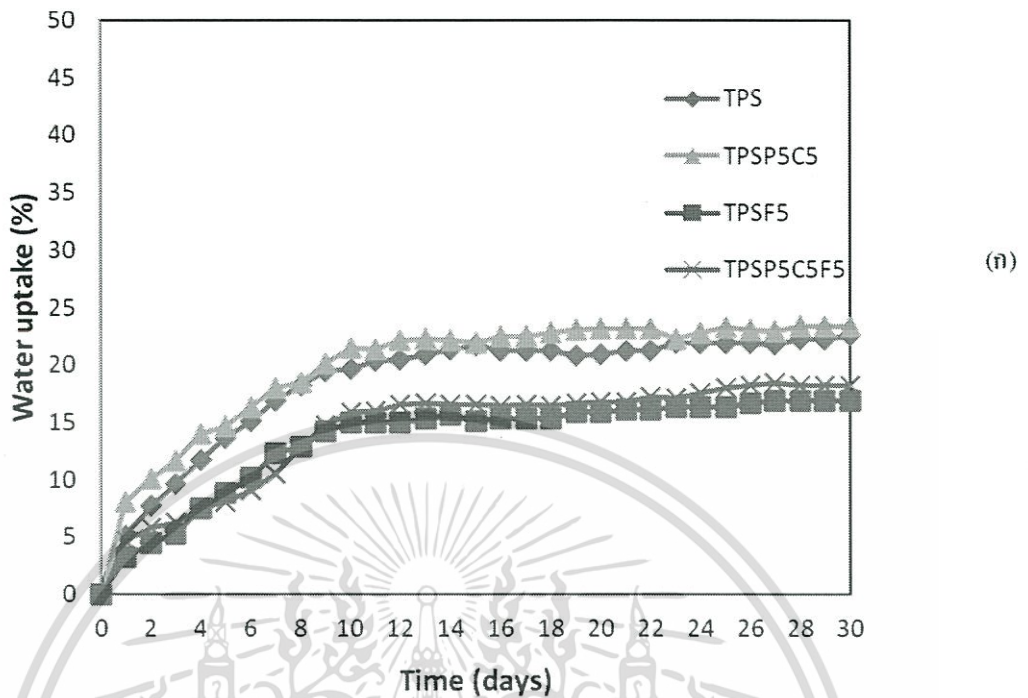
ค่า H°

ค่าตำแหน่งของสี (H°) เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน เทอร์โมพลาสติกสตาร์ซมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย ให้ค่า H° สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งของสีมาตรฐาน โดยภาพรวมชิ้นงานมีสีออกไปทางสีน้ำตาล เนื่องจากผสมผงเพคตินมีสีน้ำตาลและเกล็ดไคโตซานมีสีเหลือง จึงส่งผลให้เมื่อนำมาขึ้นรูปชิ้นงานที่ได้มีสีออกไปทางสีน้ำตาล

4.4.4 การดูความชื้น

ศึกษาการดูความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ซที่มีการปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานที่ปริมาณ 0.6 และ 10% และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก แสดงได้ดังรูปที่ 4.37

จากรูปที่ 4.37 แสดงการดูความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ซที่มีการปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 ภายในระยะเวลา 30 วัน พบว่าในช่วง 8-10 วันแรกชิ้นงานมีการดูความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อเวลาผ่านไปการดูความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนกระทั่งอิ่มตัวโดยเปอร์เซ็นต์การดูความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ซที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ของ TPS, TPSP5C5, TPSF5 และ TPSP5C5F5 เท่ากับ 22.6, 23.4, 16.9 และ 18.3% ตามลำดับ และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เปอร์เซ็นต์การดูความชื้น เท่ากับ 39.1, 40.2, 30.1 และ 34.2% ตามลำดับ ซึ่งเทอร์โมพลาสติกสตาร์ซที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซานดูความชื้นได้มากกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ซที่ไม่ได้ปรับปรุง เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ซมีส่วนของเพคตินเนื่องจากเพคตินมีหมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิล ($COOH$) เป็นหมู่ฟังก์ชัน ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ นอกจากนี้เพคตินยังสามารถเกิดลักษณะที่เป็นเจลทำให้สามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้ และสามารถดูความชื้นได้มากกว่าแป้ง [49] เนื่องจากเพคตินสามารถดูความชื้นได้มากกว่าไคโตซาน จึงส่งผลให้ TPSP5C5F5 ดูความชื้นมากขึ้น ส่วน TPSF5 มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูความชื้นน้อยที่สุด เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความเป็นผลึกมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง



รูปที่ 4.37 เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ที่ความชื้นสัมพัทธ์
(ก) 50% และ (ข) 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 สันฐานวิทยา

การศึกษาลักษณะสันฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวและความเข้ากันได้ของระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง เพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

จากรูปที่ 4.38 (ก)-(ข) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน

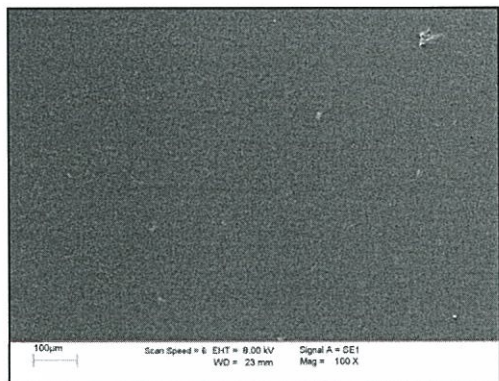
รูปที่ 4.38 (ค)-(ง) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 พบว่าเพคตินและไคโตซานมีการกระจายตัวที่ดีและฝังตัวอยู่ในเมทริกซ์ของ TPS แต่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่าง TPS เพคตินและไคโตซาน แต่เนื่องจาก TPS เพคตินและไคโตซานมีโครงสร้างที่คล้ายกัน ทำให้เกิดความเข้ากันระหว่างเพคตินและไคโตซาน คือ มี TPS เกาะอยู่บนพื้นผิวของเพคตินและไคโตซาน

รูปที่ 4.38 (จ)-(ฉ) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายที่ 5% โดยน้ำหนัก พบว่าเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดีในเมทริกซ์ของ TPS ซึ่งเส้นใยไม่รวมเป็นเนื้อกับ TPS แต่มี TPS เกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยฝ้าย ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ของวัฏภาคของ TPS และเส้นใยฝ้าย เนื่องจาก TPS และเส้นใยฝ้ายมีโครงสร้างที่คล้ายกัน

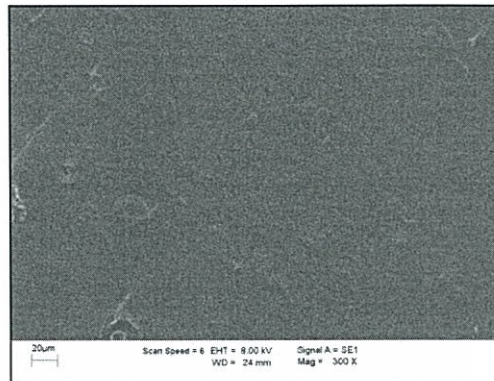
รูปที่ 4.38 (ช)-(ซ) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ ที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้ายที่ 5% โดยน้ำหนัก พบว่าเพคติน ไคโตซาน เส้นใยฝ้าย และ TPS ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ของ TPS และยังพบว่ามี TPS บางส่วนเกาะอยู่บนพื้นผิวของเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันระหว่าง TPS เพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

100 เท่า

300 เท่า



(ก)



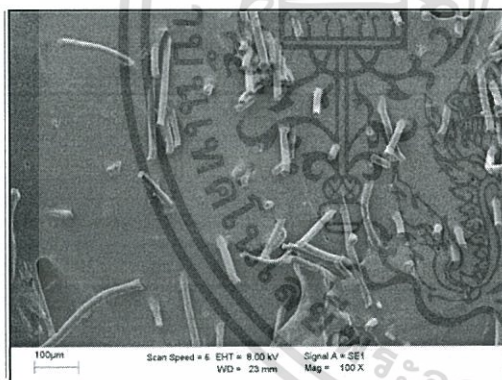
(ข)



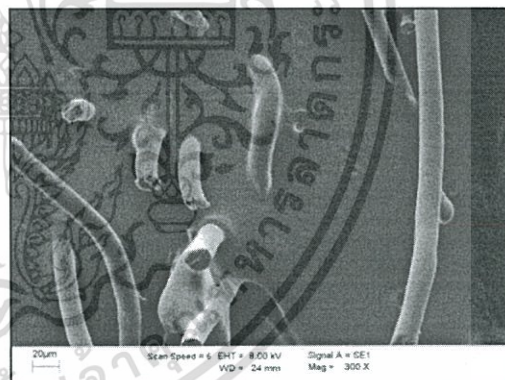
(ค)



(ง)



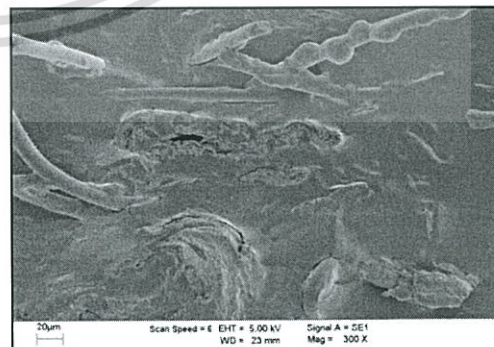
(จ)



(ฉ)



(ช)



(ฌ)

รูปที่ 4.38 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสไตรซ์ที่ปรับปรุงด้วยเพคติน

ไลโตซาน และเส้นใยฝ้าย (ก)-(ข) TPS (ค)-(ง) TPSP5C5 (จ)-(ฉ) TPSF5 และ (ฌ)-(ญ) TPSP5C5F5 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

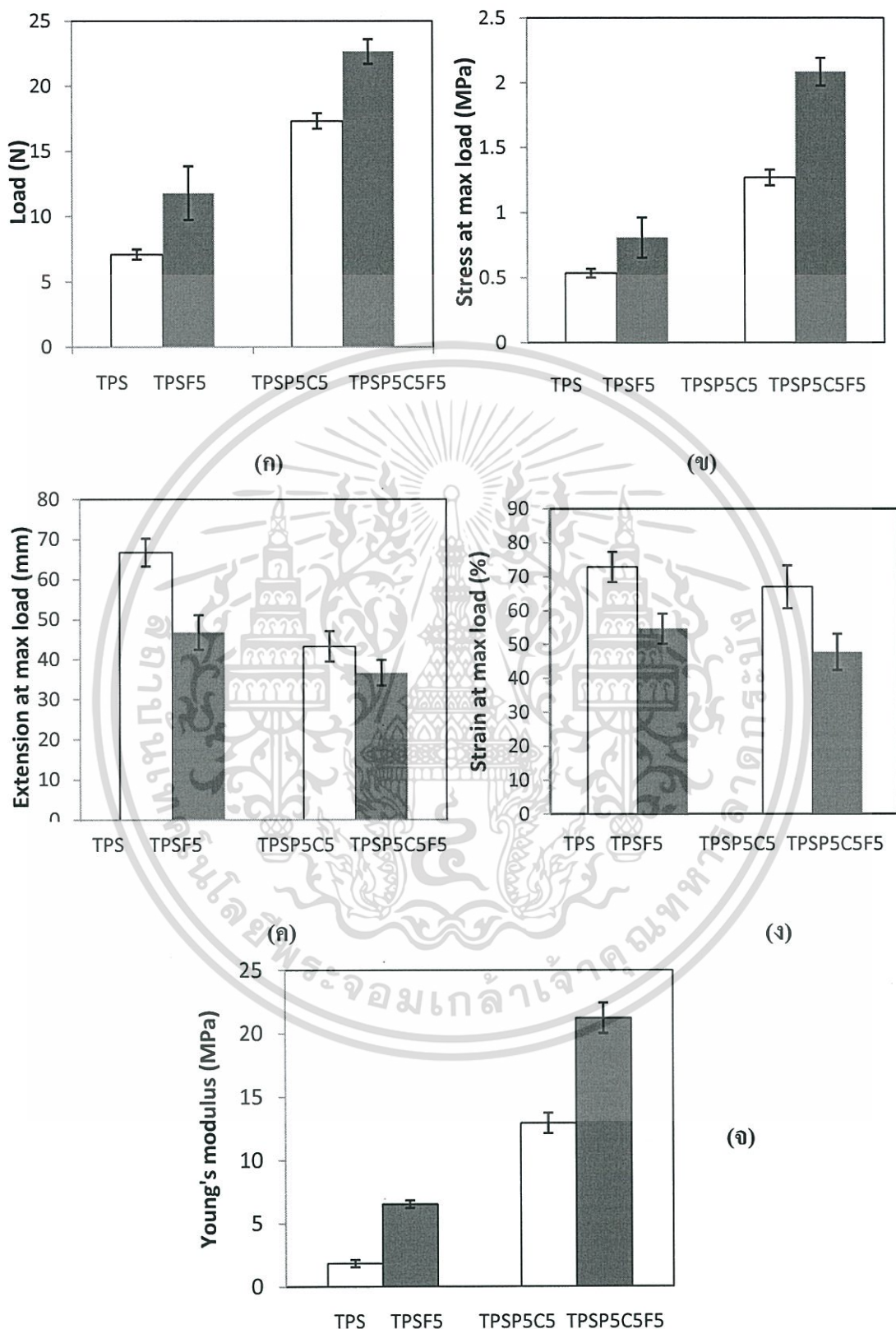
4.4.6 สมบัติเชิงกล

การศึกษาสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล ที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน ไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.39

รูปที่ 4.39 แสดงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงด้วย เพคตินและไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 พบว่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซาน เนื่องจากเพคตินเป็นสารเพิ่มความข้นหนืดและสารก่อเจล อีกทั้งไคโตซานเป็นเกลือของแข็ง จึงส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลสามารถรับแรงได้มากขึ้น และจากการสร้างพันธะไฮโดรเจน จึงทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซานมีความแข็งแรงมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซาน

รูปที่ 4.39 (ค) และ (ง) แสดงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงด้วยเพคติน และไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 พบว่ามีค่าการดึงยืด และเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่ใกล้เคียงกัน คือ มีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซาน เนื่องจากปริมาณเพคตินและไคโตซานเพิ่มขึ้น ทำให้ชิ้นงานมีลักษณะแข็งเปราะ จึงดึงยืดและยืดหยุ่นได้น้อยลง

และจากนั้นนำเพคตินและไคโตซาน 1:1 มาใส่เส้นใยฝ้ายในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก เพื่อปรับปรุงสมบัติต่อไป จากผลการทดลองพบว่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเส้นใยฝ้ายที่ใส่ลงไป ทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงให้กับเทอร์โมพลาสติกสตาโรล ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้ายมีสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้นและสามารถรับแรงได้มากขึ้น ซึ่งจากข้อมูล FT-IR แสดงลักษณะ Shift ของหมู่ O-H stretching ซึ่งแสดงถึงการเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างแป้งกับเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย และจากผลของ XRD แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาโรลด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ทำให้ความเป็นผลึกมีค่าเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาการดึงยืดและเปอร์เซ็นต์ความเครียด เมื่อใส่เส้นใยฝ้าย ค่าทั้ง 2 มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน เนื่องจากการใส่เส้นใยฝ้ายทำให้เทอร์โมพลาสติกมีความแข็งแรงมากขึ้นและมีความยืดหยุ่นน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 แต่ไม่ได้ใส่เส้นใยฝ้าย ซึ่งสอดคล้องกับผลของสัญญาณวิทยาที่แสดงให้เห็นว่าเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวฝังตัวอยู่ในเมทริกซ์ของแป้งมันสำปะหลัง และมี TPS เกาะอยู่บนผิวของเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย



รูปที่ 4.39 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยข้าว

เอกสารนี้เป็(ก) แรงดึง (ข) ความแข็งแรงดึง (ค) การดึงยืด (ง) เปอร์เซ็นต์ความเครียด และ(จ) โมดูลัส
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

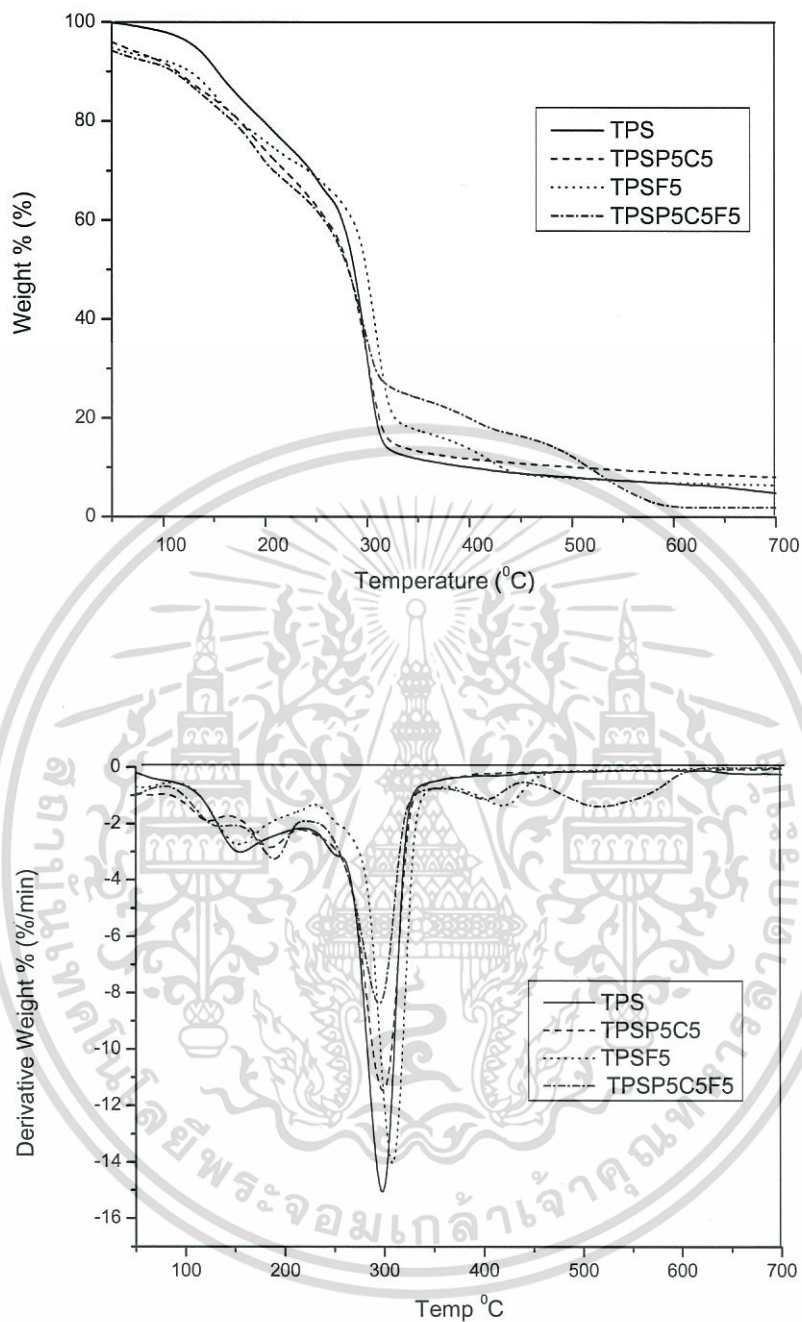
จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้ด้วยเพคติน โคลโคซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด คือ มีค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสเพิ่มขึ้น 218 %, 292 % และ 1041% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้จากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคติน โคลโคซานและเส้นใยฝ้าย

4.4.7 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

เพื่อศึกษาอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวทางความร้อน (Onset degradation temperature) และเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน โคลโคซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.40 และตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้ที่ปรับปรุงด้วยเพคติน โคลโคซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว (°C)				น้ำหนักที่หายไป (%)
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (เพคติน)	ช่วงที่ 3 (แป้งมัน+ โคลโคซาน)	ช่วงที่ 4 (เส้นใย)	
TPS	119.7	-	278.7	-	70.6
TPSP5C5	159.9	205.5	290.9	-	72.0
TPSF5	143.3	-	286.9	391.4	54.5
TPSP5C5F5	130.4	191.8	279.2	387.0	45.6



รูปที่ 4.40 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย
เพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.40 และตารางที่ 4.10 พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานมีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว 2 ช่วง กล่าวคือ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 119.7°C เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของกลีเซอรอล และช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิ 278.7°C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลัง จากการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังด้วยเพคตินและไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 พบอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของเพคตินที่ 197.0°C [3] แต่อุณหภูมิการสลายตัวของไคโตซานซ้อนทับกับพีคของแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากทั้ง 2 ตัว มีอุณหภูมิการสลายตัวที่ใกล้เคียงกัน และมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปอยู่ในช่วง 44.3 - 70.6 %

ส่วนเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย พบว่ามีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวมี 4 ช่วง ซึ่งช่วงสุดท้ายเป็นช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของเส้นใยฝ้ายมีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวประมาณ $384.1 - 391.4^{\circ}\text{C}$ และจากการเปรียบเทียบการสลายตัวของแป้งแต่ละสูตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังในเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ไม่มีการปรับปรุง และยังพบว่าการเติมเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งมันสำปะหลังในเทอร์โมพลาสติกสตาบิลลดลง ซึ่งส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย และสูตรที่มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงสุด คือ สูตรที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

4.4.8 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

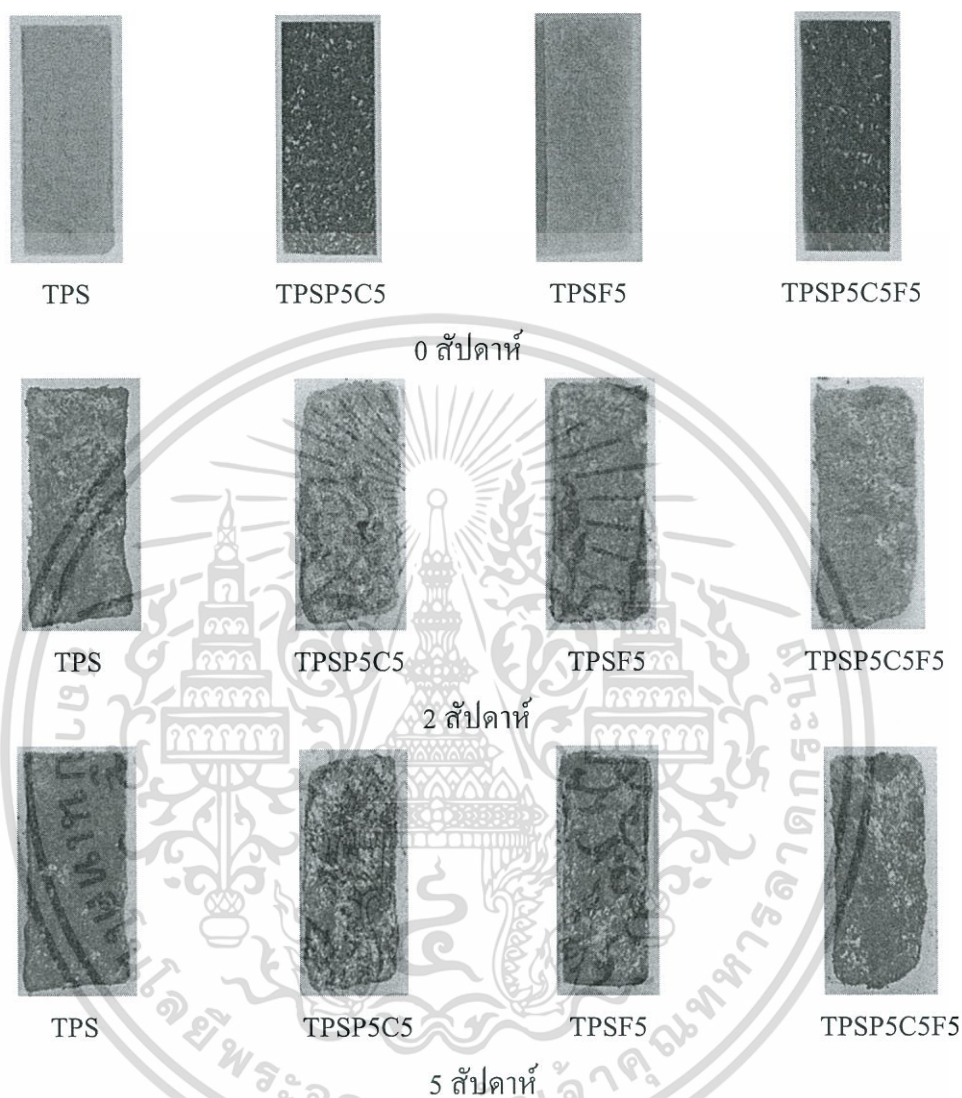
สมบัติการย่อยสลายทดสอบได้โดยการฝังดินโดยนำชิ้นงานมาฝังดิน ควบคุมความชื้นของดินคงที่ในช่วง 15-20% เปรียบเทียบน้ำหนักของชิ้นงานการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานเมื่อเวลาผ่านไป 5 สัปดาห์

4.4.8.1 การศึกษาการย่อยสลายจากกล้องจุลทรรศน์

การศึกษาลักษณะของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

จากรูปที่ 4.41 พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่มีการปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก เมื่อเวลาผ่านไป 5 สัปดาห์ มีการย่อยสลายที่คล้ายกัน คือ มีเชื้อราขึ้นทั่วบริเวณพื้นผิวของชิ้นงาน เนื่องจากการจุลินทรีย์ในดิน และจากการเปรียบเทียบแต่ละสูตรด้วยภาพจากกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซาน มีปริมาณเชื้อรามากที่สุดและเกิดการย่อยสลายได้เร็วที่สุด เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาบิลมีส่วนของเพคตินรวมอยู่ด้วย ซึ่งเพคตินมีหมู่คาร์บอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชันซึ่งเป็น

หมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ และส่วนเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงเส้นใยฝ้ายมีการย่อยสลายช้าที่สุด เนื่องจากเส้นใยฝ้ายสลายตัวยากกว่าแป้ง



รูปที่ 4.41 ภาพการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ได้จากกล่องดิจิทัล

4.4.8.2 การศึกษาการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากกล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การศึกษาการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย โดยใช้กล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า

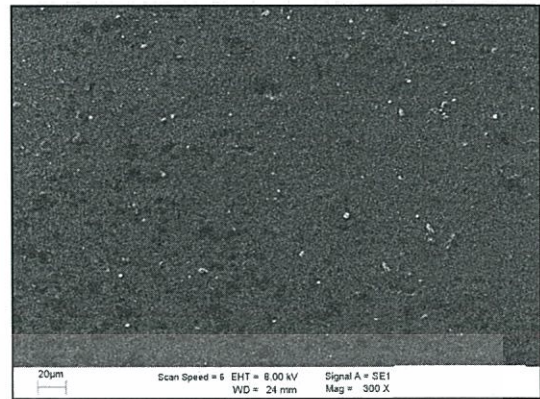
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 เท่า



(ก)

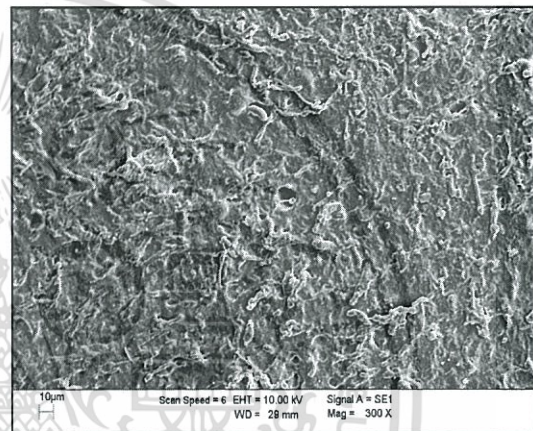
300 เท่า



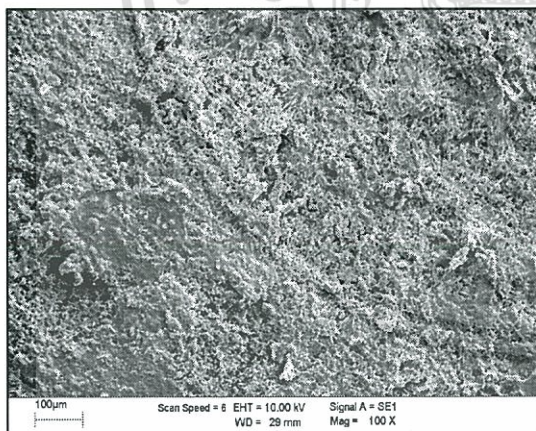
(ข)



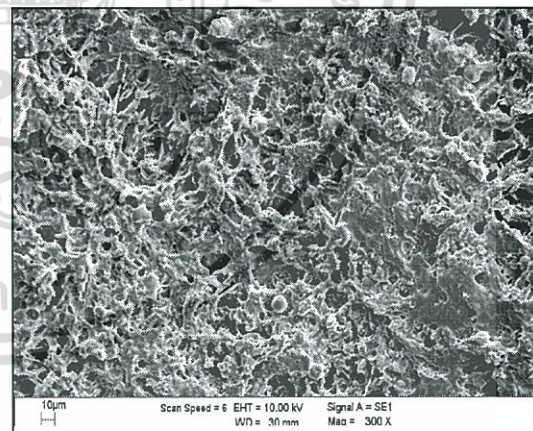
(ค)



(ง)



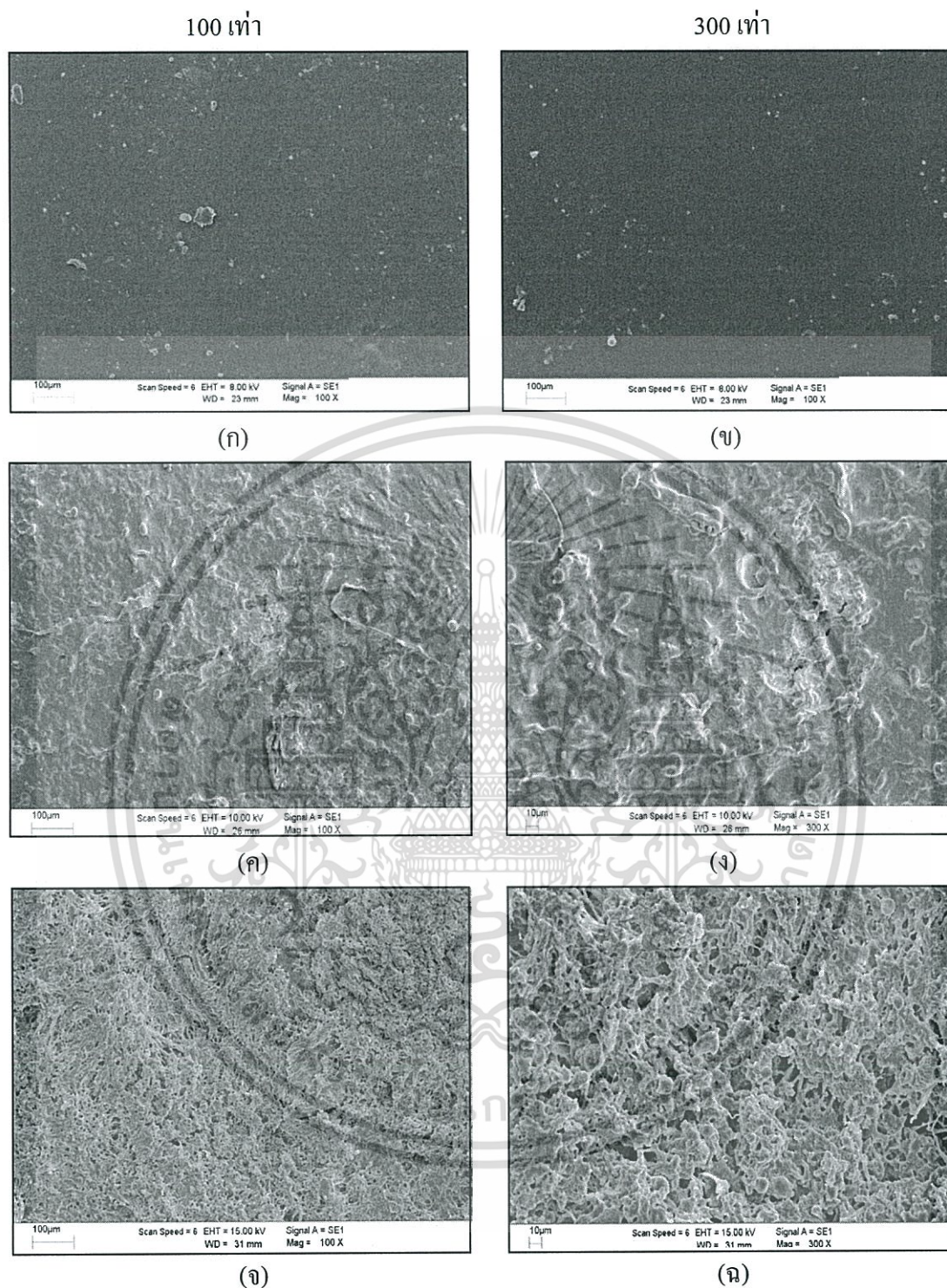
(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.42 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุง TPS ที่กำลังขยาย 100 เท่า-300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

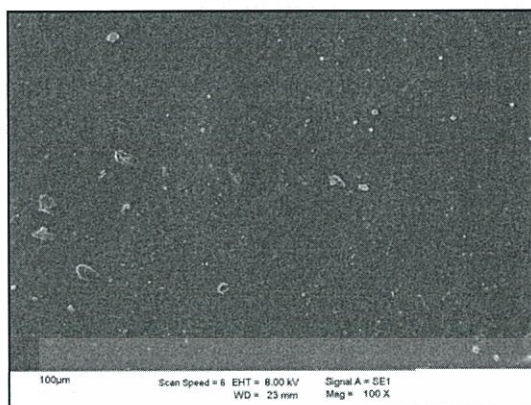
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากเป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 TPSP5C5 ที่กำลังขยาย 100 เท่า-300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ และ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

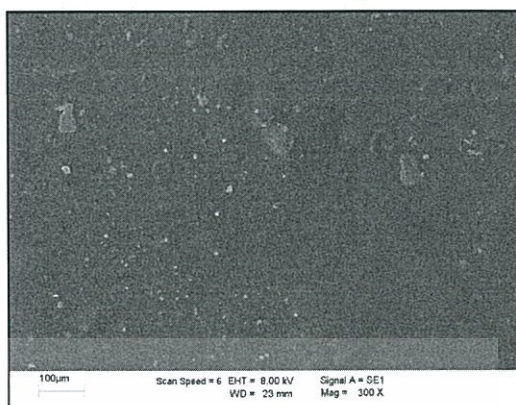
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 เท่า



(ก)

300 เท่า



(ข)



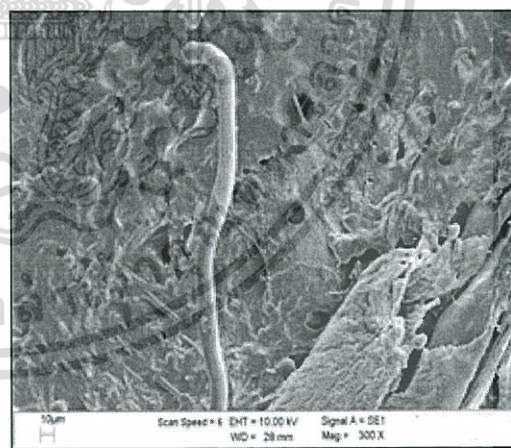
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.45 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย เพคติน ไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 และ เส้นใยฝ้าย TPSP5C5F5 ที่กำลังขยาย 100 เท่า-300 เท่า (ก)-(ข) 0 สัปดาห์ (ค)-(ง) 2 สัปดาห์ และ (จ)-(ฉ) 5 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินดังรูปที่ 4.42 - 4.45 พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินและไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก เทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่มีเชื้อราเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของชิ้นงาน ซึ่งเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งจากกล้องอิเล็คตรอนแบบส่องกราด จะเห็นว่าเกิดรูพรุนเพิ่มมากขึ้นบริเวณทั่วทั้งชิ้นงาน และจากการเปรียบเทียบเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและไคโตซานมีการย่อยสลายเร็วที่สุด เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาบิลมีส่วนของเพคตินรวมอยู่ด้วย จึงทำให้ส่วนของเพคตินเกิดการย่อยสลายก่อนไคโตซาน การที่เพคตินย่อยสลายก่อนไคโตซาน เนื่องจากเพคตินมีหมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชัน ทำให้มีความสามารถในการดูดความชื้น จึงส่งผลให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วที่สุด และเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงเส้นใยฝ้ายมีการย่อยสลายช้าที่สุด เนื่องจากเส้นใยฝ้ายย่อยสลายยากกว่าแป้ง ทำให้ส่วนที่เป็นแป้งย่อยสลายก่อนส่วนที่เป็นเส้นใยฝ้าย



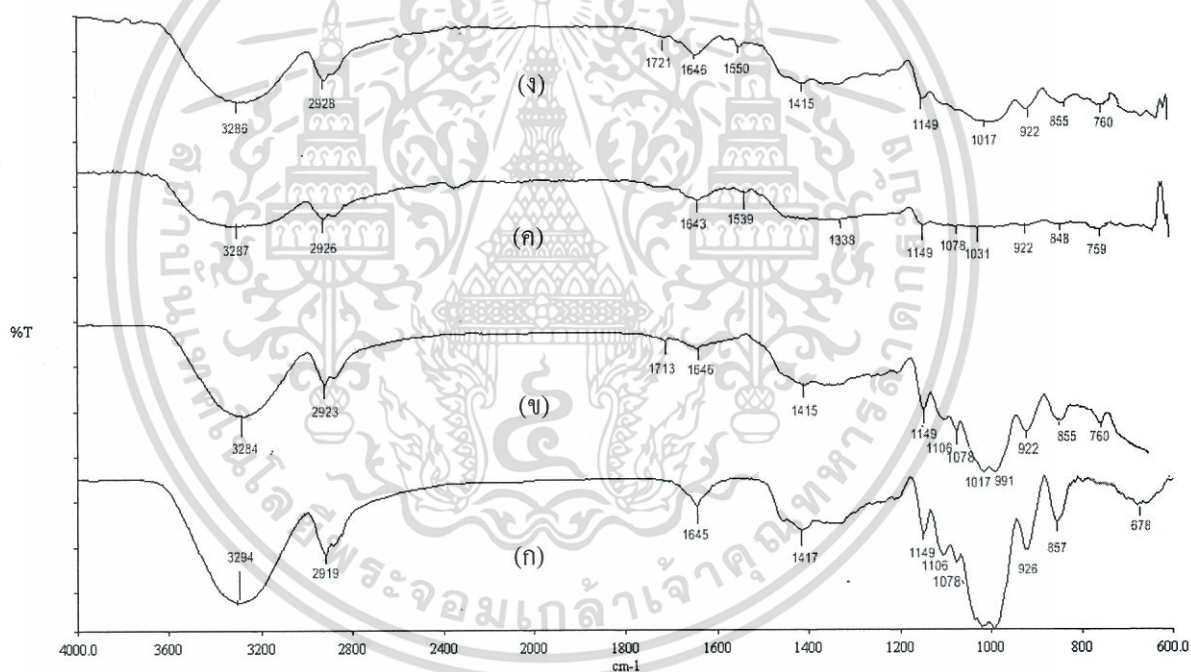
4.5 การเปรียบเทียบผลของเทอร์โมพลาสติกที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยเพคติน และเส้นใยฝ้าย, ไคโตซานและ เส้นใยฝ้าย และเพคตินผสมไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

การศึกษาในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และ เพคตินผสมไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5%

4.5.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย เพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และเพคตินผสมไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% ได้ผลการทดลองดังรูปที่

4.46



รูปที่ 4.46 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย เพคติน ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย

(ก) TPS (ข) TPSP10F5 (ค) TPSC10F5 และ (ง) TPSP5C5F5

จากรูปที่ 4.46 (ข) (ค) และ (ง) แสดงสเปกตรัมของรอยละการส่งผ่านแสงของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน และเส้นใยฝ้าย, ไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย และเพคตินผสมไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย ตามลำดับ เปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุง ดังรูปที่ 4.46 (ก) ซึ่งสเปกตรัมที่ได้นั้นมีลักษณะที่คล้ายกัน เนื่องจากแป้งมันสำปะหลัง เพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย มีลักษณะโครงสร้างที่เป็นเซลล์คล้ายกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน พบว่าการเติมเพคตินลงไป รูปที่ 4.46 (ข) มีพีคใหม่เกิดขึ้น คือ ที่ประมาณ 1713 cm^{-1} ซึ่งเป็นเกิดจากการสั่นแบบ C=O stretching ซึ่งแสดงอยู่ในหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลของเพคติน [42] และพีคที่ตำแหน่ง $3200\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching เกิดการเคลื่อนไปที่เลขคลื่นลดลง ซึ่งแสดงถึงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นใหม่

ความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย รูปที่ 4.46 (ค) พบว่าการเติมไคโตซานลงไป ทำให้เกิดพีคใหม่ขึ้นที่ตำแหน่ง 1539 cm^{-1} ซึ่งแสดงลักษณะการสั่นแบบ N-H bending ของ NH_2 ของไคโตซาน [55] และจากการเติมไคโตซานมีผลให้พีคที่ตำแหน่ง $3200\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching เกิดการเคลื่อนไปที่เลขคลื่นลดลง ซึ่งแสดงถึงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นใหม่

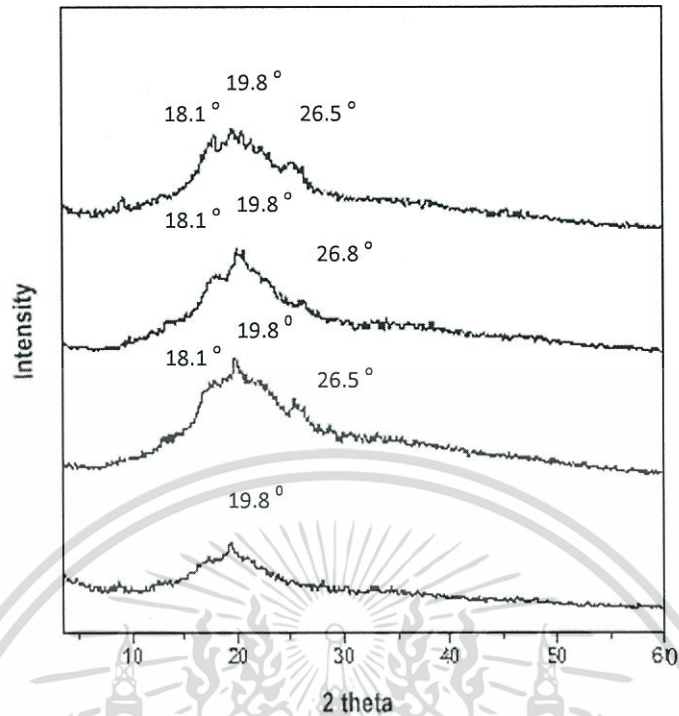
สำหรับความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินผสมไคโตซานและเส้นใยฝ้ายในรูปที่ 4.46 (ง) พบว่าเกิดพีคใหม่ที่ตำแหน่ง 1721 cm^{-1} และ 1550 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคที่เกิดจากเพคตินซึ่งแสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน COOH และไคโตซานซึ่งแสดงถึงหมู่ NH_2 ตามลำดับ และมีผลให้พีคที่ตำแหน่ง $3200\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นลดลง

และจากเติมเส้นใยฝ้ายของทุกสูตรพบพีคที่ตำแหน่งประมาณ 760 cm^{-1} เกิดขึ้น เป็นลักษณะการสั่นแบบ CH_2 -rocking ในเส้นใยฝ้าย

4.5.2 XRD

การศึกษาโครงสร้างผลึกของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และเพคตินผสมไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.47

จากรูปที่ 4.47 แสดงดิฟแฟร็กโตแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย เพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และเพคตินผสมไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% พบว่าดิฟแฟร็กโตแกรมที่ได้มีรูปแบบคล้ายกัน คือ พบพีคที่ให้พีคของผลึกที่มุม 2θ ประมาณ 18.2° และ 19.8° เนื่องจากแป้งมันสำปะหลัง เพคตินและไคโตซานมีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกัน จึงเกิดพีคที่ใกล้เคียงกันและเกิดการซ้อนทับกัน และจากการเติมเส้นใยฝ้าย พบพีคเพิ่มขึ้นที่มุม 2θ ประมาณ 26.5° จากนั้นยังพบว่าเมื่อเติมเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ส่งผลให้พีคมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุง ซึ่งแสดงถึงลักษณะความเป็นผลึกที่มากขึ้นเทอร์โมพลาสติกสตาโรล



รูปที่ 4.47 ดีฟแฟร็ก โดแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลัง (ก) TPS (ข) TPSP10F5 (ค) TPSC10F5 และ (ง) TPSP5C5F5

4.5.3 การวัดสี

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลัง ให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลัง ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย เพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และ เพคตินผสมไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี				
	L*	a*	b*	C*	H°
TPS	44.2	-1.0	3.5	3.7	74.2
TPSP10F5	38.3	9.6	18.0	25.0	67.3
TPSC10F5	54.0	5.8	24.5	22.8	73.8
TPSP5C5F5	41.6	7.9	20.5	23.1	70.9

หมายเหตุ ค่า L* กำหนดค่าความสว่าง, ค่า a* กำหนดสีเหลืองหรือสีเขียว ถ้า $a^* > 1$ แสดงสีแดง และถ้า $a^* < 1$ แสดงสีเขียว ค่า b* กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ถ้า $b^* > 1$ แสดงสีเหลือง และถ้า $b^* < 1$ แสดงสีน้ำเงิน ค่า C*

เอกสารแสดงค่าความสดใของสี และค่า H° ระบุตำแหน่งของสีเทียบกับมาตรฐาน นุญญาตให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า $b^* < 1$ แสดงสีน้ำเงิน ค่า C^* แสดงค่าความสดใสของสี และค่า H° ระบุตำแหน่งของสีเทียบกับมาตรฐาน

ค่าความสว่าง (L^*)

TPSC10F5 มีค่าความสว่างมากที่สุด รองมาได้แก่ TPS, TPSP5C5F5, และ TPSP10F5 ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าการใช้โคโคซานและเส้นใยฝ้ายทำให้ค่าความสว่างของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ซเพิ่มขึ้นและสำหรับเทอร์โมพลาสติกสไตร์ซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน และเส้นใยฝ้ายพบว่าค่าความสว่างของชิ้นงานมีค่าลดลง

ค่า a^*

TPSP10F5 มีสีออกแดงมากที่สุด รองมาได้แก่ TPSP5C5F5, TPSC10F5 และ TPS แสดงสีเขียวมากที่สุด พบว่าชิ้นงานที่ปรับปรุงด้วยเพคติน และเส้นใยฝ้ายทำให้ชิ้นงานมีแนวโน้มออกสีแดง

ค่า b^*

TPSC10F5 มีสีออกเหลืองมากที่สุด รองมาได้แก่ TPSP5C5F5, TPSP10F5 และ TPS พบว่าชิ้นงานที่ปรับปรุงด้วยโคโคซาน และเส้นใยฝ้ายทำให้ชิ้นงานมีแนวโน้มออกสีเหลือง

ค่า C^*

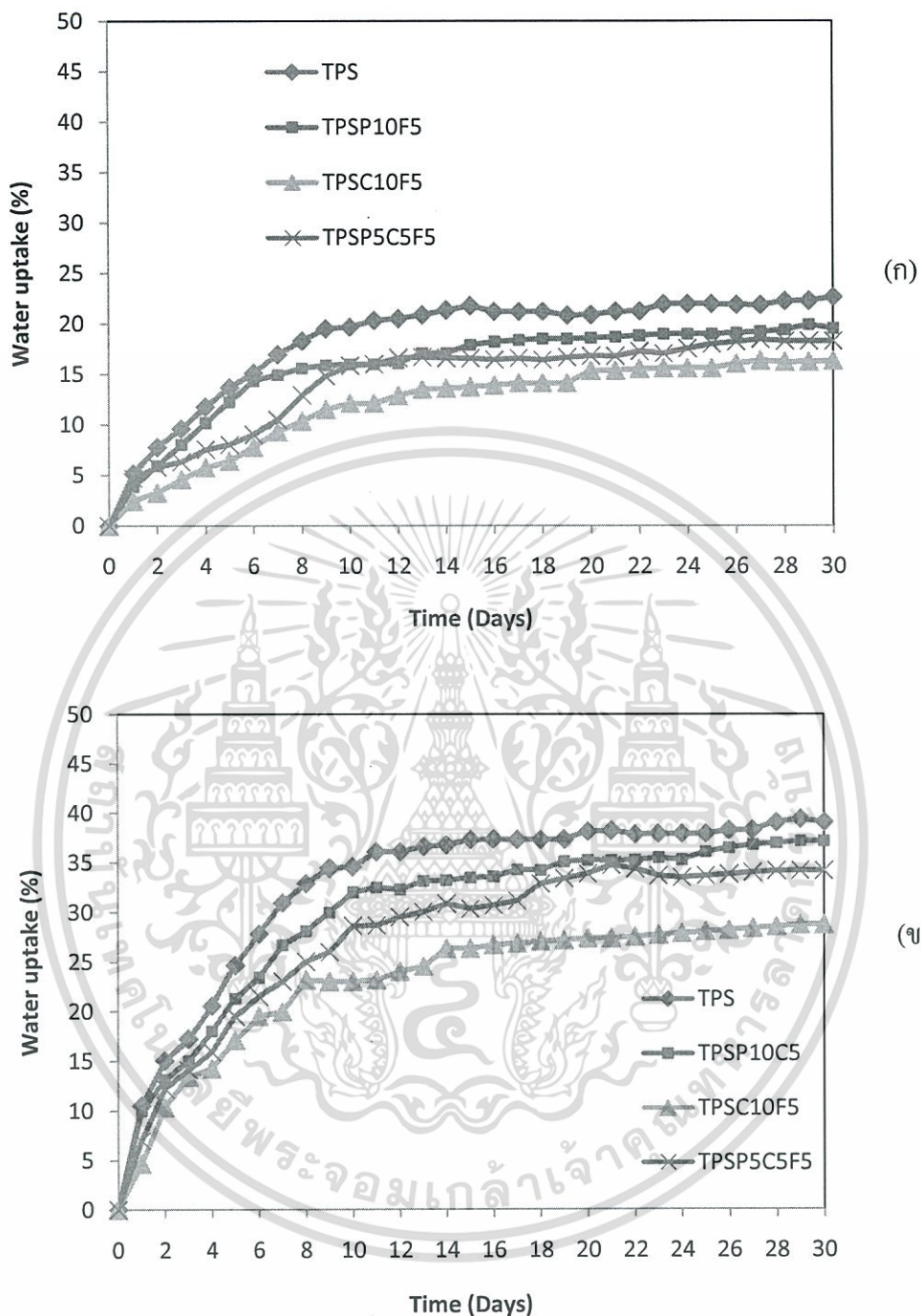
TPSP10F5 มีความสดใสมากที่สุด รองมาได้แก่ TPSP5C5F5, TPSC10F5 และ TPS มีความสดใสที่น้อยที่สุด

ค่า H°

ค่าตำแหน่งของสี (H°) เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ซ พบว่า TPSP10F5 ให้ค่า H° สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งของสีมาตรฐาน โดยภาพรวมแล้วชิ้นงานตัวอย่างมีสีออกไปทางสีน้ำตาล ส่วน TPSC10F5 ให้ค่า H° ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งของสีมาตรฐาน โดยภาพรวมแล้วชิ้นงานตัวอย่างมีสีออกไปทางสีเหลือง

4.5.4 การดูความชื้น

ศึกษาการดูความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ซจากแป้งมันสำปะหลัง ที่มีการปรับปรุงด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, โคโคซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และเพคตินผสมโคโคซาน ในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% แสดงได้ดังรูปที่ 4.48



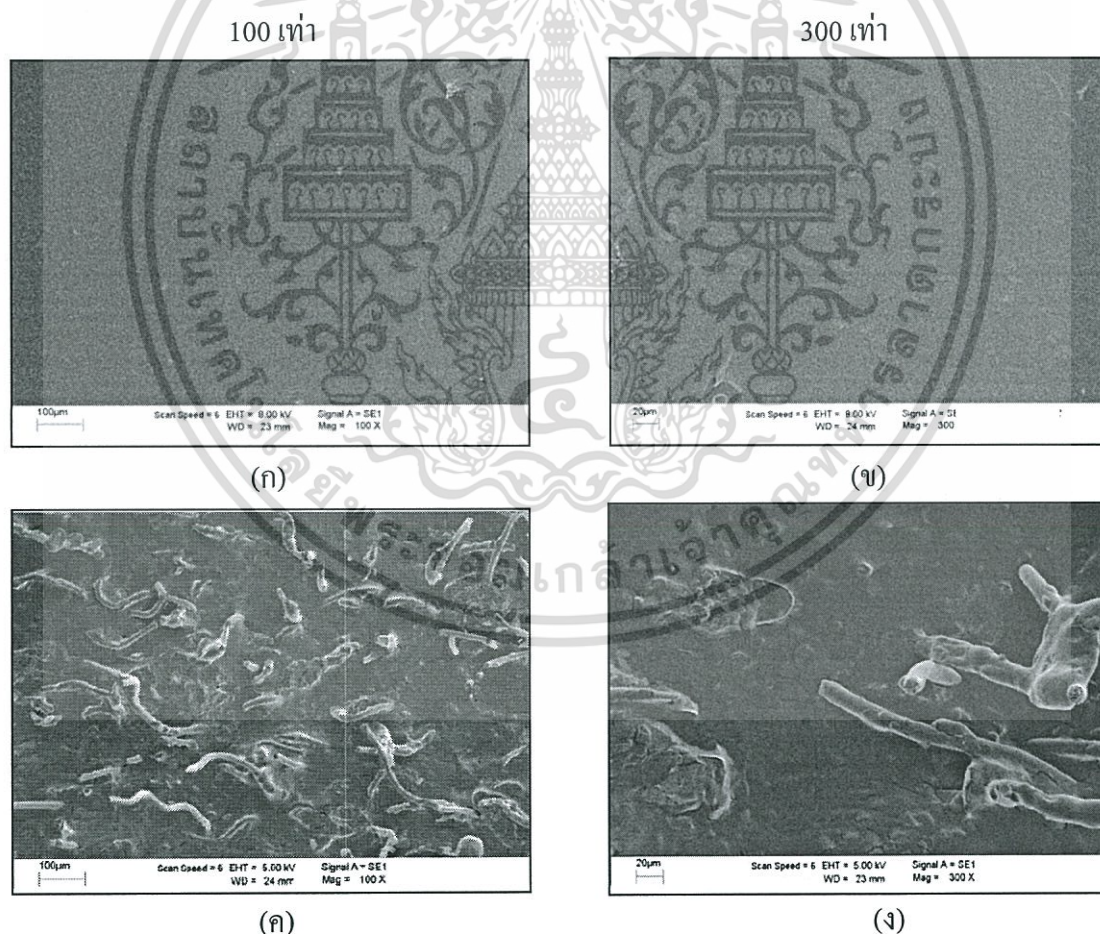
รูปที่ 4.48 เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ความชื้นสัมพัทธ์ (ก) 50% และ (ข) 100%

จากผลการทดลองการดูดความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, โคนโทซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และ เพคตินผสมโคนโทซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดเอกสาคความชื้น 50% ของสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุง, เพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, โคนโทซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% ไม่ต่างกันมากนัก อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใยฝ้าย 5% และ เพคตินผสมไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย 5% เท่ากับ 22.6%, 18.6%, 16.3% และ 18.3% ตามลำดับ และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เท่ากับ 39.1%, 34.3%, 28.7% และ 34.2% ตามลำดับ จากการใส่เส้นใยฝ้ายพบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกที่ไม่ได้ปรับปรุง เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความเป็นผลึกมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเปรียบเทียบแต่ละสูตรโดยภาพรวมพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมเพคตินและเส้นใยฝ้ายมีการดูดความชื้นมากที่สุด เนื่องจากเพคตินมีหมู่ไฮดรอกซิล (OH) และคาร์บอกซิล (COOH) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ ส่วนสูตรที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้ายมีการดูดความชื้นน้อยที่สุด เนื่องจากไคโตซานมีความสามารถในการดูดความชื้นได้น้อยกว่าแป้ง

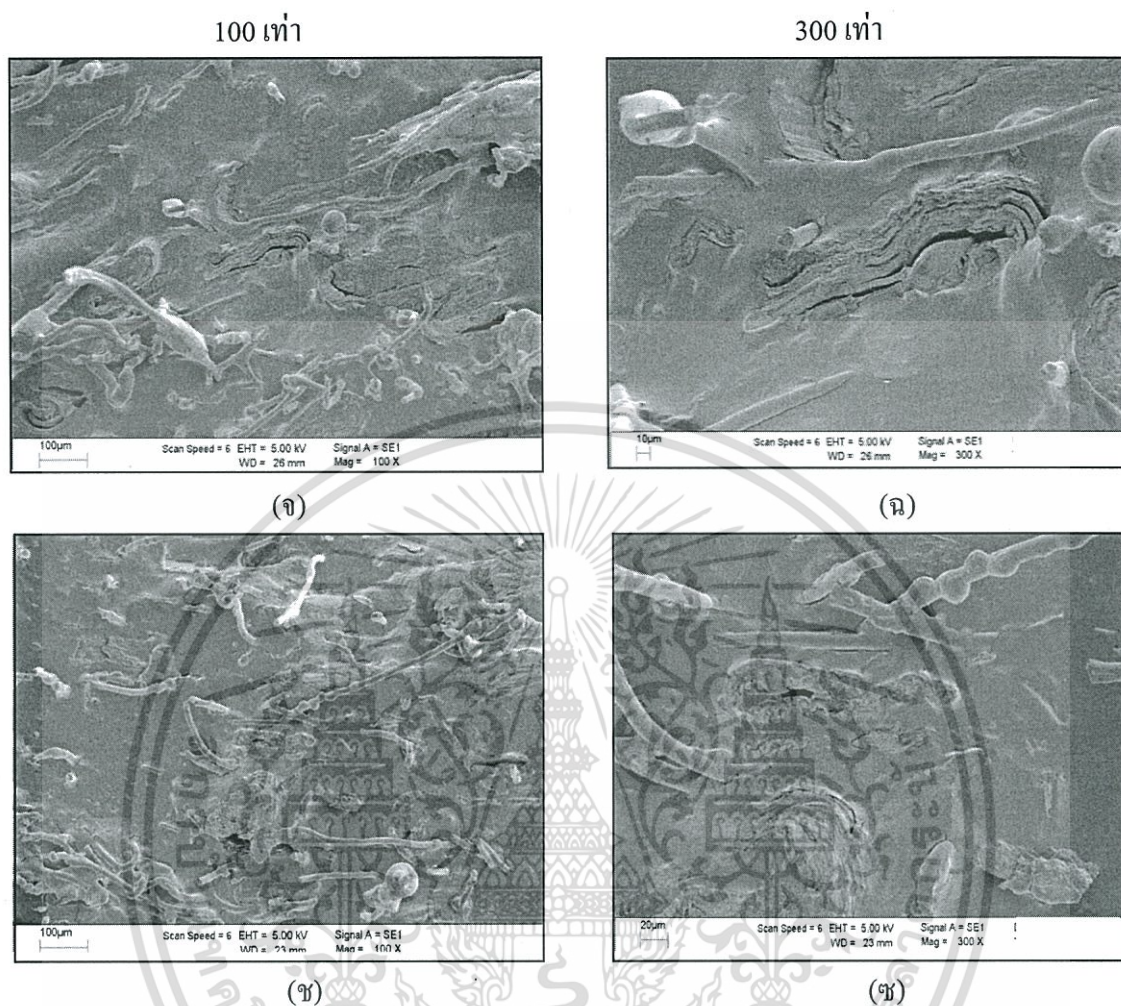
4.5.5 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และ เพคตินผสมไคโตซานและเส้นใยฝ้าย 5%



รูปที่ 4.49 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และ เส้นใยฝ้าย 5% และ เพคตินผสมไคโตซานและเส้นใยฝ้าย 5% ที่กำลังขยาย 100 เท่า 300 เท่า (ก)-(ข) TPS และ (ค)-(ง) TPSP10F5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 (ต่อ) ลักษณะวิทยาแสดงภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ปรับปรุงด้วย เพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และ เส้นใยฝ้าย 5% และ เพคตินผสมไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% ที่กำลังขยาย 100 เท่า 300 เท่า

(จ)-(ค) TPSC10F5 และ (ข)-(ด) TPSP5C5F5

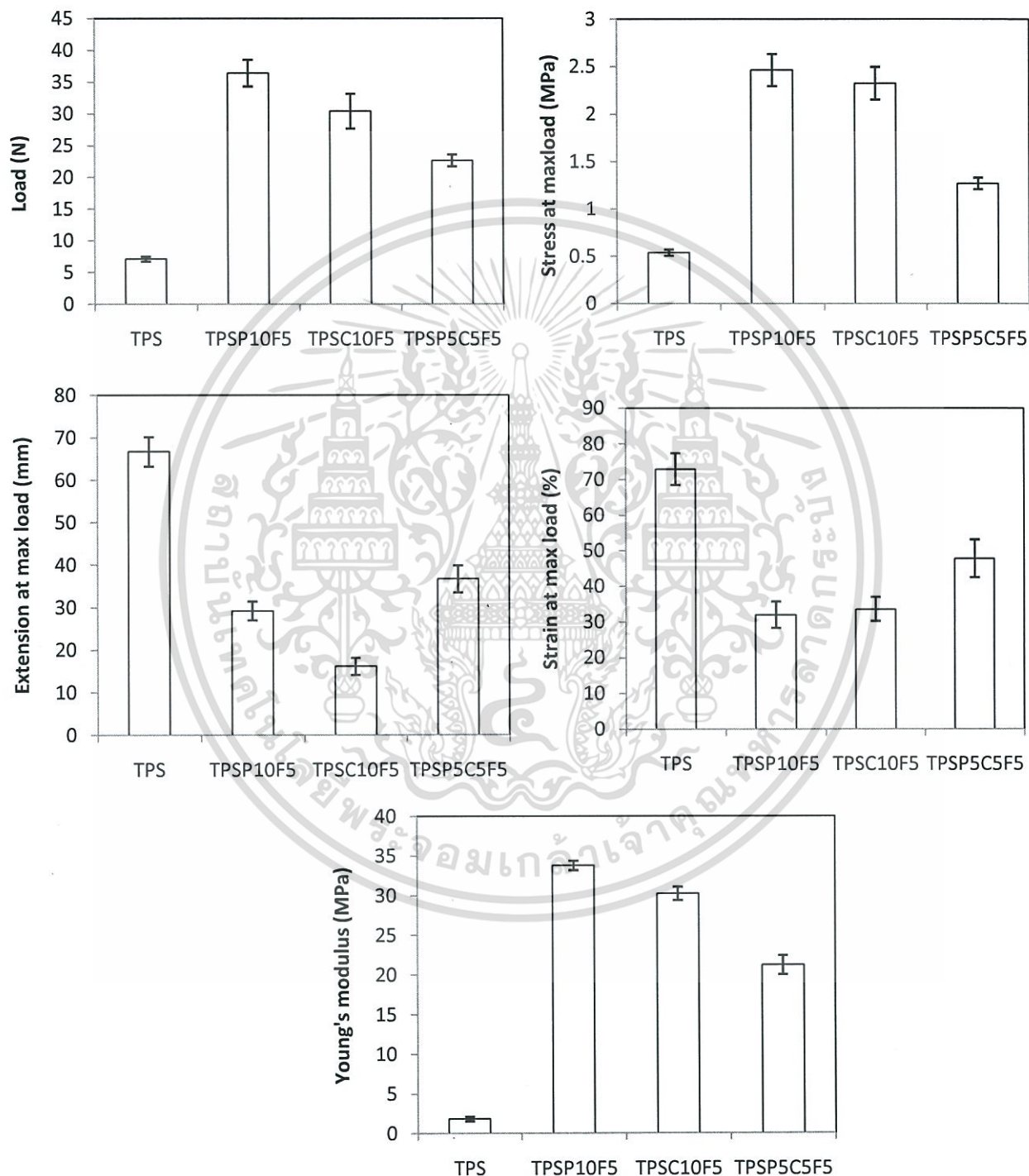
จากรูปที่ 4.49 แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และเพคตินผสมไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5%

จากการศึกษาลักษณะวิทยา พบว่าเพคตินและเส้นใยฝ้าย, ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย และเพคตินผสมไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ทุกสูตรให้ผลไปในทางเดียวกัน คือ เพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้ายไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับ TPS แต่มีการกระจายตัวที่ดี และมี TPS บางส่วนเกาะปกคลุมบนพื้นผิวของเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ระหว่าง TPS กับส่วนที่

เอกสารใส่เข้าไปเพื่อปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช นั้น ไม่นิยามให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.6 สมบัติเชิงกล

การศึกษาสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลัง ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, โคลโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และ เพคตินผสมโคลโตซาน ในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.50 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย, โคลโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ เพคตินผสมโคลโตซาน และเส้นใยฝ้าย ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้ด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และเพคตินผสมไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุง สรุปได้ว่าทุกสูตรให้ค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดูลัสที่สูงขึ้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างพันธะของแป้งและเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย และจากคิฟแฟรกโตแกรมที่แสดงความเป็นผลึกมากขึ้นเมื่อปรับปรุงด้วยสารแต่ละชนิด จากการเปรียบเทียบแต่ละสูตร ซึ่งสูตรที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด รองลงมา คือ ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และเพคตินผสมไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% นอกจากนี้สูตรที่ปรับปรุงด้วยเพคตินผสมไคโตซานและเส้นใยฝ้ายให้สมบัติเชิงกลต่ำสุดทั้งนี้เนื่องจากเพคตินและไคโตซานมีขนาดและรูปร่างของอนุภาคที่แตกต่างกันจึงเข้ากันได้ยาก

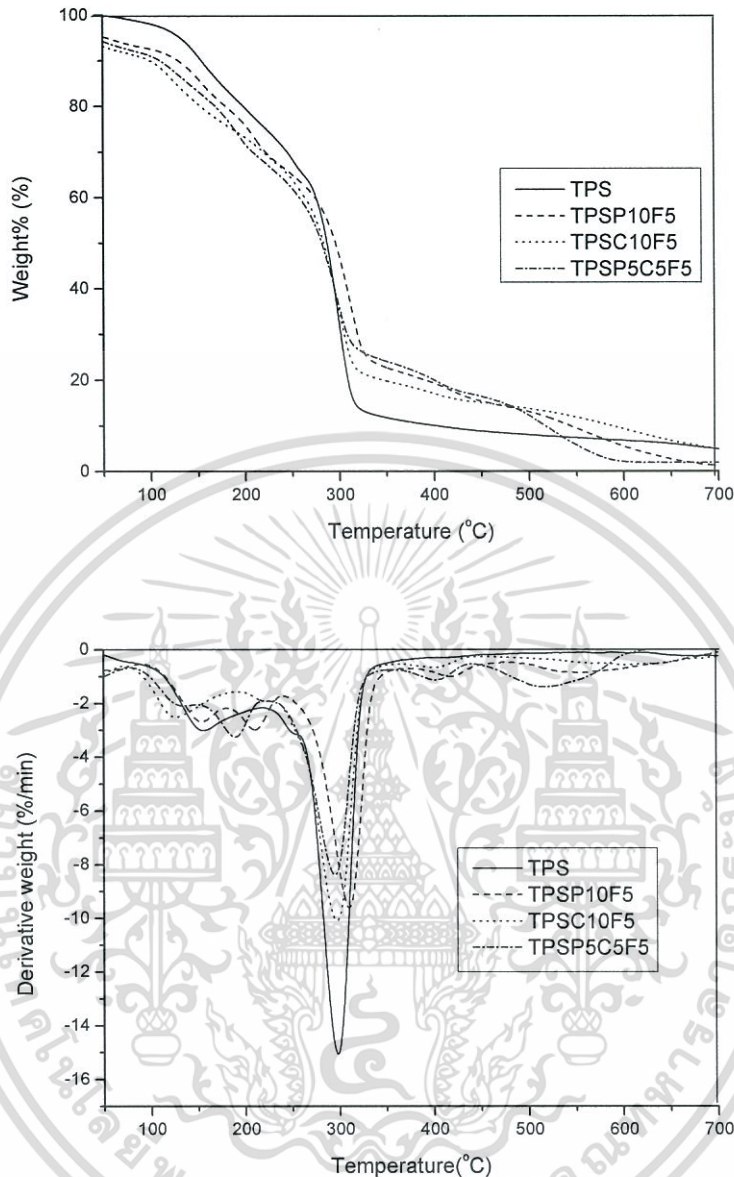
4.5.7 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้จากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และเพคตินผสมไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.51 และตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้

ตัวอย่าง	อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$)				น้ำหนักที่หายไป
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (เพคติน)	ช่วงที่ 3 (แป้ง)	ช่วงที่ 4 (เส้นใยฝ้าย)	
TPS	119.7	-	278.7	-	70.6
TPSP10F5	139.1	202.3	281.0	381.6	44.9
TPSC10F5	130.3	-	282.7	385.6	48.2
TPSP5C5F5	130.4	191.8	279.2	387.0	45.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.51 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซเซอร์จากแป้งมันสำปะหลัง

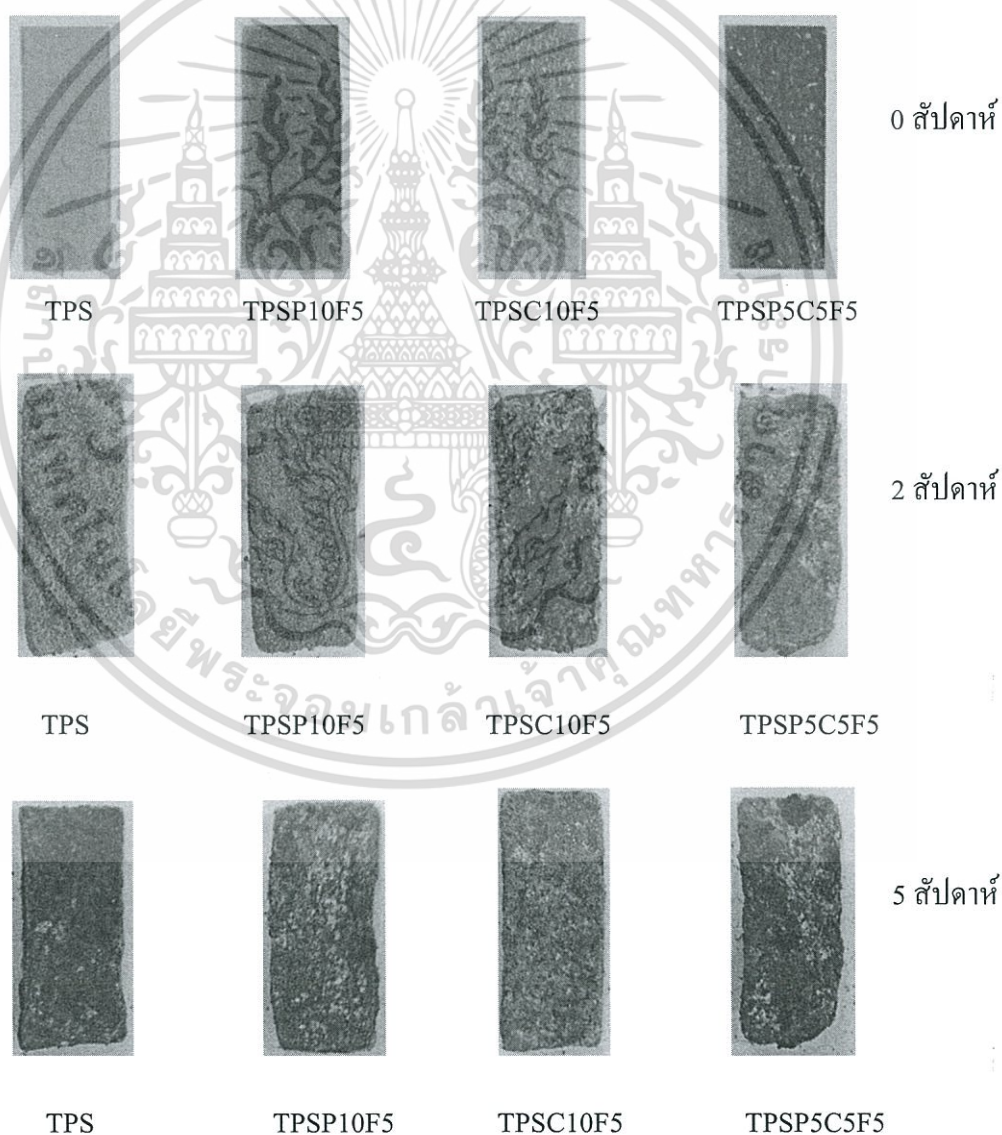
จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซเซอร์ที่ปรับปรุงด้วยเพคติน และเส้นใยฝ้าย, ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย และเพคตินผสมไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย ทุกสูตรให้อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวเพิ่มขึ้น และมีน้ำหนักการหายไปของแป้งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซเซอร์ที่ไม่ได้ปรับปรุง ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย, ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย และเพคตินผสมไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซเซอร์มีเสถียรภาพทางความร้อนมากขึ้น

4.5.8 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

สมบัติการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลทดสอบโดยการนำชิ้นงาน มาฝังดินที่ควบคุมความชื้นของดินคงที่ในช่วง 15-20% เปรียบเทียบลักษณะของชิ้นงานที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป 5 สัปดาห์

4.5.8.1 การศึกษาการย่อยสลายจากกล้องดิจิทัล

การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และเพคตินผสม ไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.52

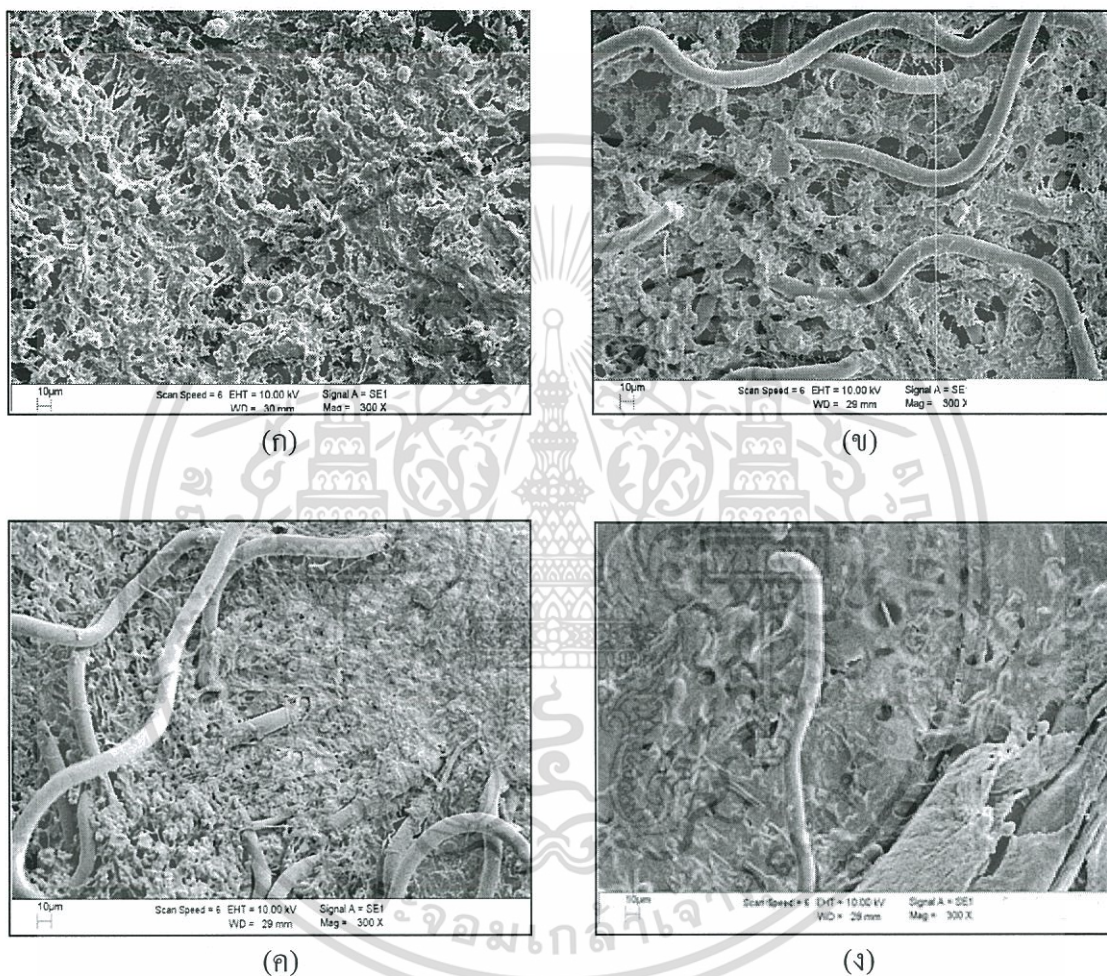


รูปที่ 4.52 ภาพการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ได้จากกล้องดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.8.2 การศึกษาการย่อยสลายกลีงจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เพื่อศึกษาลักษณะการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง ที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และเพคตินผสมไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 300 เท่า เป็นเวลา 5 สัปดาห์



รูปที่ 4.53 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ของ (ก) เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุง (ข) ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย (ค) ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย และ (ง) ปรับปรุงด้วยเพคตินผสมไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 300 เท่า

จากรูปที่ 4.52-4.56 เมื่อเปรียบเทียบการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5%, ไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% และเพคตินผสมไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยพบว่าเมื่อชิ้นงานที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานและเส้นใยฝ้าย มีการย่อยสลายได้ช้าที่สุด เนื่องจากไคโตซานมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เพราะหมู่ NH_3^+ ในไคโตซาน สามารถเกิด Interaction กับประจุลบของผนังเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ในดินไม่สามารถสร้างผนังเซลล์ใหม่ได้ และชิ้นงานที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย มีการย่อยสลายเร็วที่สุดเนื่องจากเพคตินมีหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิล (COOH) และหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ จึงส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกที่ใส่เพคตินลงไปย่อยสลายได้เร็วที่สุด และจากการใส่เส้นใยฝ้าย ส่งผลให้การย่อยสลายย่อยช้าลง เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความผลึกมากกว่าแป้ง



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติต่างๆของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด และขึ้นรูปชิ้นงาน โดยวิธีการกดอัดขึ้นรูปทำการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ด้วยเทคนิค โคลโตซานและเส้นใยฝ้าย ซึ่งสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันสเปกตรัมที่ได้พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงด้วยเทคนิค พบพิกที่ตำแหน่งประมาณ 1720 cm^{-1} จากการปรับปรุงด้วยโคลโตซานพบพิกที่ตำแหน่งประมาณ 1550 cm^{-1} และจากการเพิ่มเส้นใยฝ้ายของทุกสูตรพบพิกที่ตำแหน่งประมาณ 760 cm^{-1} เพิ่มขึ้น จากการปรับปรุงด้วยเทคนิค โคลโตซานและเส้นใยฝ้าย พบว่าพิกที่ตำแหน่งของ OH-stretching มีการเคลื่อนไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่ลดลง

2. จากการศึกษาโครงสร้างผลึกของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยเทคนิค โคลโตซานและเส้นใยฝ้าย พบว่ามีแนวโน้มความเป็นผลึกมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ

3. จากการศึกษาการวัดสี พบว่าการปรับปรุงด้วยเทคนิค จากค่า Hue angle พบว่าชิ้นงานมีสีออกสีน้ำตาล และจากการปรับปรุงด้วยโคลโตซานชิ้นงานที่ได้มีสีออกสีเหลือง และจากการปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายส่งผลให้ชิ้นงานที่ได้มีความสว่างมากขึ้น

4. จากการศึกษาการดูดความชื้น พบว่าการเติมเทคนิคทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรซมีการดูดความชื้นเพิ่มขึ้น แต่การใส่โคลโตซานหรือเส้นใยฝ้าย มีผลทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรซมีการดูดความชื้นน้อยลง ซึ่งจากการปรับปรุงด้วยโคลโตซานและเส้นใยฝ้ายทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรซ (TPSC10F5) มีการดูดความชื้นน้อยที่สุด

5. จากการศึกษาสัณฐานวิทยา พบว่าเทคนิค โคลโตซานและเส้นใยฝ้ายไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับ TPS แต่มีการกระจายตัวที่ดี และ TPS บางส่วนเกาะปกคลุมบนพื้นผิวของเทคนิค โคลโตซานรวมกับเส้นใยฝ้าย

6. จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าการปรับปรุงด้วยเทคนิครวมกับเส้นใยฝ้าย (TPSP10F5) ส่งผลให้ชิ้นงานมีสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด รองลงมา คือ โคลโตซานรวมกับเส้นใยฝ้าย (TPSC10F5) และเทคนิคผสมโคลโตซานและเส้นใยฝ้าย (TPSP5C5F5) เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ไม่ปรับปรุงสมบัติซึ่งให้ค่าสมบัติเชิงกลต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วย เพคตินและเส้นใยฝ้าย, ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย รวมถึงเพคตินผสมไคโตซานและเส้นใยฝ้าย ทุกสูตรให้อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวเพิ่มขึ้น และมีน้ำหนักการหายไปของแฉ่งลดลง

8. จากการศึกษาการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าการเติมเพคตินและเส้นใยฝ้าย ส่งผลให้ เทอร์โมพลาสติกสตาโรล มีการย่อยสลายได้มากที่สุด รองลงมา คือ เพคตินผสมไคโตซานและเส้นใยฝ้าย และน้อยที่สุด คือ ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาแปรงชนิดอื่นที่นำมาเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาโรล เช่น แปรงข้าวเจ้า แปรงข้าวเหนียว เป็นต้น ซึ่งแปรงละชนิดมีองค์ประกอบและสมบัติที่แตกต่างกัน จึงอาจส่งผลให้สมบัติที่ได้ต่างกัน
2. ศึกษาชนิดของพลาสติกไซเซออร์ต่างๆ เช่น ซอร์บิทอล ไกลคอล เป็นต้น และปริมาณที่แตกต่างกันออกไป เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ต่อไป ซึ่งพลาสติกไซเซออร์ที่ต่างกันอาจส่งผลต่อสมบัติการไหลของแปรง
3. ศึกษาการเติมเส้นใยชนิดอื่น เช่น เส้นใยตาล เส้นใยไหม เส้นใยพอลิเอสเตอร์ และเส้นใยไพลอน เป็นต้น ซึ่งเส้นใยแต่ละชนิดมีโครงสร้างทางเคมีและสมบัติที่แตกต่างกัน จึงอาจส่งผลให้สมบัติที่ได้ต่างกัน
4. ศึกษาการลดปริมาณการดูดความชื้นให้น้อยลงของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล เช่น นำชิ้นงานไปเคลือบด้วยไขมัน เพื่อปรับปรุงสมบัติการดูดความชื้นต่อไป
5. ศึกษาการขึ้นรูปด้วยวิธีอื่น เช่น การเป่า การฉีดขึ้นรูป เป็นต้น เพื่อศึกษาวิธีการขึ้นรูปที่เหมาะสมในการผลิตเป็นชิ้นงานในรูปแบบต่างๆ ต่อไป
6. การปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาโรลด้วยเพคตินผสมไคโตซาน ควรบดขนาดของไคโตซานให้มีขนาดใกล้เคียงกับเพคติน เพื่อให้การผสมสามารถเข้ากันได้ดีขึ้น ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่มากขึ้น
7. ศึกษาปริมาณเชื้อราจากการย่อยสลายโดยการฝังดิน โดยวิธีการนับเชื้อ เช่น การทดสอบหาบริเวณการยับยั้งเชื้อ (Inhibition zone) ด้วยวิธี Disc diffusion techniques เพื่อบอกปริมาณเชื้อราได้แม่นยำมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.oea.go.th>. (วันสืบค้นข้อมูล 14 กันยายน 2554)
- [2] สุภารัตน์ ชัยวัฒน์โยธิน สุวัฒน์ เมืองทะ และอารียา หาญชนะ. 2554. “สมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลคอมโพสิตจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยปอ และเส้นใยหนู่.” โครงการพิเศษภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] ชยาภา วีระโพธิ์ประสิทธิ์ ภาวิณี ถึงสุข และ ยศธร ธเนศรุ่งโรจน์. 2553. “การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยเสริมแรงด้วยเพคตินและเส้นใยฝ้าย.” โครงการพิเศษภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] จารุณี ยาห้องอากาศ. 2543. “การผลิตคาร์โบไฮเดรตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า และ เพคติน” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [5] http://www.tdx.cesca.es/tesis_upc/available/tdx-0619102-193943/05cpitol3.pdf. (วันสืบค้นข้อมูล 14 กันยายน 2554)
- [6] มณฑา จันทร์เกตุเลี้ยง. 2541. “วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมเบื้องต้น.” ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร
- [7] http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/bio-de_plas.html. (วันสืบค้นข้อมูล 20 พฤศจิกายน 2552)
- [8] กล้านรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุลปิยะจอมขวัญ. 2550. “เทคโนโลยีของแป้ง.” พิมพ์ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [9] <http://www.deh.gov.au/settlements/publication/waste/degradables/biodegradable/index.html>. (วันสืบค้นข้อมูล 12 กันยายน 2554)
- [10] <http://www.biomatnet.org/publication/1944rep.pdf>. (วันสืบค้นข้อมูล 12 กันยายน 2554)
- [11] เจริญ นาคะสรรค์. 2544. “เทคโนโลยีเบื้องต้นพลาสติก.” พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร
- [12] ลักษณ์ วงศ์กำภู และ สาวิตรี พิเชษฐกิจวัฒน์. 2544. “ศึกษาย่อยสลายได้โดยใช้สารตัวเติมธรรมชาติ.” คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [13] เกศศิณี ตระกูลทิวากร, วิภา สุโรจน์เมธากุล, ประชา บุญญสิริกุล และ สมยศ จรรยาวินาศ. 2539. “การทำฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันปะหลัง”. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

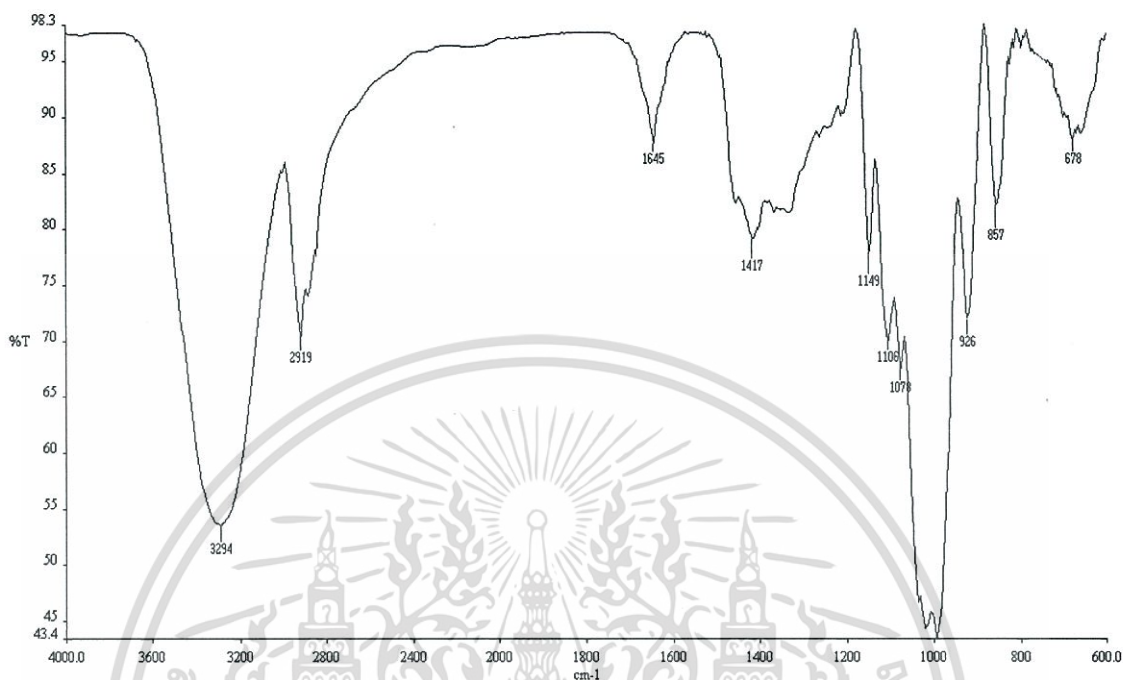
- [14] <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>. (วันสืบค้นข้อมูล 9 ตุลาคม 2554)
- [15] <http://www.mtec.or.th/image/pdf/chitin-chitosan/chapter3.pdf>. (วันสืบค้นข้อมูล 20 กันยายน 2554)
- [16] <http://www.scielo.cl/fbpe/img/bscq/v47n4/img25-02.gif>. (วันสืบค้นข้อมูล 20 กันยายน 2554)
- [17] Science-projects. Amylase. [Online]. Available : www.science-projects.com/starch.GIF. 2001. (วันสืบค้นข้อมูล 20 กันยายน 2554)
- [18] http://www.ipejbio.com/modules/xpwiki/gate.php?way=attach_&noUMB&refer=Top%2FMember%2FRanraku&openfile=080612.doc (วันสืบค้นข้อมูล 20 กันยายน 2554)
- [19] วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน. 2550. “เทคโนโลยีสิ่งทอเบื้องต้น.” พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. กราฟแมนเพรส.
- [20] <http://www.science.cmu.ac.th>. (วันสืบค้นข้อมูล 20 กันยายน 2554)
- [21] <http://www.lincheng.com.tw/prduct-3-7.html>. (วันสืบค้นข้อมูล 3 ตุลาคม 2554)
- [22] ปนัดดา พวงเกษม. 2540. “ฟิล์มบริโภคที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
- [23] K. Uthaichay, K. Hachawee, N. Arsaipanit, N. Surapat, W. Lerdwijitjarud and A. Sittatrakul “**Preparation and Testing of Thermoplastic Starch**”, 31st Congress on Science on Science and Technology of Thailand at Queen Sirikit National. 2005.
- [24] T. Buasri, M. Nomnut, S. Thammarugesakun, W. Lerdwijitjarud and A. Sittarakul “**Decrease of Moisture sensitive of Thermoplastic Starch with Fatty acids and Chitosan derivatives**”, 34th Congress on Science on Science and Technology of Thailand at Queen Sirikit National. 2008.
- [25] ฤริสา ทศวิไล, อรพิน เกิดชูชื่น และ ณีฎฐา เลหากุลจิตต์. “คุณสมบัติของฟิล์มประกอบ Biopolymer จากแป้งและเพคติน.” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 41 (2553) 597-600.
- [26] สุพิจิ สุขกันตะ, ทวีโชค พัฒนวานิชย์ และ พงษ์พันธ์ ปิยะบุตร. 2548. “การผลิตฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารจากสารประกอบไคโตซาน-เจลาติน.” โครงการวิจัย คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
- [27] R. Sothornvit and N. Pitak. “**Oxygen permeability and mechanical properties of banana film**”, Food Research International, 40 (2007) 365-370.

- [28] M. L. Fishman, D. R. Coffin, R. P. Konstance and C. I. Onwulata **“Extrusion of pectin/starch blends plasticizer with glycerol”**, Carbohydrate Polymers, 41 (2000) 317-325.
- [29] C. Xiao, S. Gao and H. Wang. **“Blend films from chitosan and konjac glucamannan solutions”**, Journal of Applied Polymer Science, 76 (2000) 509-515.
- [30] M. Hasegawa, A. Isogal, F. Onabe, M. Usuda and R. H. Atalla. **“Characterization of cellulose-chitosan blend film”**, Journal of Applied Polymer Science, 45 (2003) 1873-1879.
- [31] C. M. O. Muller, J. B. Laurindo and F. Yamashita **“Effect of cellulose addition on mechanical properties and water vapor barrier of starch-based film”**, Food Hydrocolloid, 23 (2009) 1328-1333.
- [32] L. Dobircu, P.A. Sreekumar, R. Satah, N. Leblanc, C. Terrie, R. Gattin and J.M. Saiter. **“Wheat flour thermoplastic matrix reinforced by waste cotton fiber : Agro-green composites”**, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 40 (2009) 329-334.
- [33] L. Fama, L. Gerschenson and S. Goyanes. **“Starch-vegetable fibre composites to protect food products”**, Carbohydrate Polymers, 75 (2009) 230-235.
- [34] ASTM E 104. 2002. **“Standard Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions”**, Philadelphia : American Society for Testing and Materials
- [35] A.L. Da ROZ, A.J.F. Carvalho, A. Gandind and A.A.S. Curvelo. **“The effect of plasticizers on thermoplastic starch compositions obtained by melt processing”**, Carbohydrate Polymers, 63 (2006) 417-424.
- [36] ASTM D 638. 1996. **“Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic(Metric)”**, Philadelphia : American Society for Testing and Materials.
- [37] R. Chandra and R. Rustgi **“Biodegradable polymers”**, Progress in Polymer Science, 23 (1998) 1273-1335.
- [38] C. Chung and M. Lee **“Characterization of cotton fabric scouring by FT-IR ATR spectroscopy”**, Carbohydrate Polymers, 58 (2004) 417-420.
- [39] เอ็นหทัย แน่นหนา. 2549. **สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

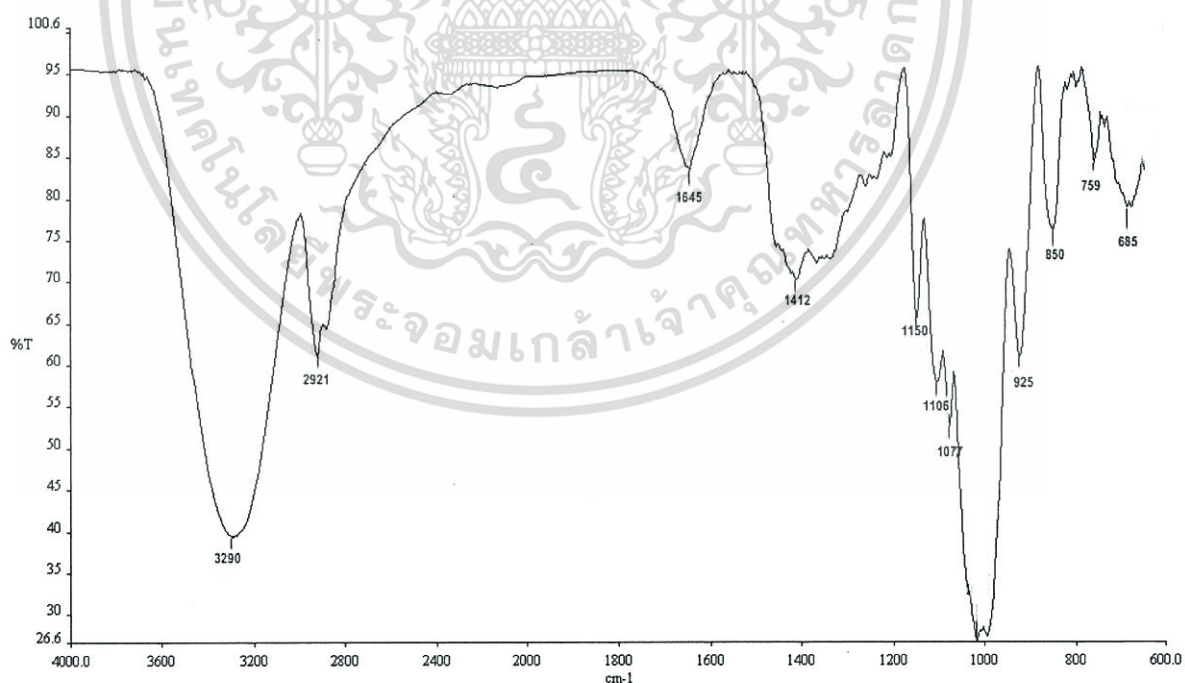
- [40] J.M. Fang, P.A. Fowler, J. Tomkinson and C.A.S. Hill. **“The preparation and characterization of a series of chemically modified potato starches”**, Carbohydrate Polymers, 47 (2002) 245-252.
- [41] A. Pawlak and M. Mucha. **“Thermogravimetric and FT-IR studies of chitosan blends”**, Thermochemica Acta, 396 (2003) 153-166.
- [42] K. Aoi, A. Takasu and M. Okada. **“DNA-based polymer hybrids Part 1. Compatibility and physical properties of poly (vinyl alcohol)/DNA sodium salt blend”**, Polymer, 41 (2000) 2846-2853.
- [43] R.K. Mishra, M. Datt, K. Pal and A.K. Banthia. **“Preparation and characterization of amidated pectin based hydrogels for drug delivery system”**, Journal of Material Science, 19 (2008) 2275-2280.
- [44] E.M. Teixeira, A.L. Da Róz, A.J.F. Carvalho and A.A.S. Curvelo **“The effect of glycerol/sugar/water and sugar/water mixtures on the plasticization of thermoplastic cassava starch Original Research Article”**, Carbohydrate Polymers, 69 (2007) 619-624.
- [45] G.O. Aspinall. **“Polysaccharide”**, Vol2, Academic Press, Florida, 2002.
- [46] M. Kumar, R.K. Mishra and A.K. Banthia. **“Development of pectin based hydrogel membranes for biomedical applications”**, Journal of Plastic Technology, 14 (2010) 213-223.
- [47] O. Mayans, M. Scott, I. Connerton, T. Gravesen, J. Benen, J. Visser, R. Pickersgill and J. Jenkins. **“Two crystal structures of pectin lyase A from Aspergillus reveal a pH driven conformational change and striking divergence in the substrate-binding clefts of pectin and pectate lyases”**, Structure, 5 (1997) 677-689.
- [48] M.Gaspar, Z. Benko, G. Dogossy, K. Reczey and T. Czigany. **“Reducing water absorption in compostable starch-based plastics”**, Polymer degradation and stability 90(2005) 563-569.
- [49] พรศักดิ์ ศรีอมรศักดิ์. **“เพคติน พอลิเมอร์ชีวภาพทางเภสัชกรรม”** โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร หน้า 188, 2551.
- [50] A.A.S. Curvelo, A.J.F. Carvalho and J.A.M. Agnelli. **“Thermoplastic starch cellulosic fibers composites preliminary results”**, Carbohydrate Polymers, 45 (2001) 183-188.
- [51] X. Ma, J. Yua and J. F. Kennedy. **“Studies on the properties of natural fibers-reinforced thermoplastic starch composites”**, Carbohydrate Polymers, 62 (2005) 19-24.

- [52] นิสานาด หลิมศิริวงษ์ รัชชานา คงจินตมาณี และ สุภรณ์ สุระกิจ. 2553. “การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวโดยใช้ผงวุ้นและเส้นใยฝ้าย.” โครงการพิเศษภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [53] G. Cardenas and S.P. Miranda. “FTIR and TGA studies of chitosan composite films”, Journal of the Chilean Chemical Society, 49 (2004) 291-295.
- [54] ศิริกุล จันทร์สว่าง และ วราพร นัตร์ไพศาลสกุล “การผลิตไคโตซานเพื่อใช้ผลิตแคลซูล” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15.2547.
- [55] กษิตส อัมประไพ อรพิน เกิดชูชื่น และ ญัญญา เลหากุลจิตต์. “การพัฒนาฟิล์มบริโกลที่มีคุณสมบัติป้องกันไอน้ำเพื่อเป็นสารเคลือบผลิตภัณฑ์บิสกิต.” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 41 (2553) 505-608.
- [56] ภาวดี เมระกานนท์. <http://www.kasetporpeang.com>. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (วันสืบค้นข้อมูล 4 พฤศจิกายน 2555)
- [57] C.G.T Neto, J.A. Giocamatti^b, A.E. Job, F.C. Ferreira, J.L.C. Fonseca, M.R. Pereira. “Thermal analysis of chitosan based networks”, Carbohydrate Polymers, 62 (2005) 97-1003.

ภาคผนวก ก



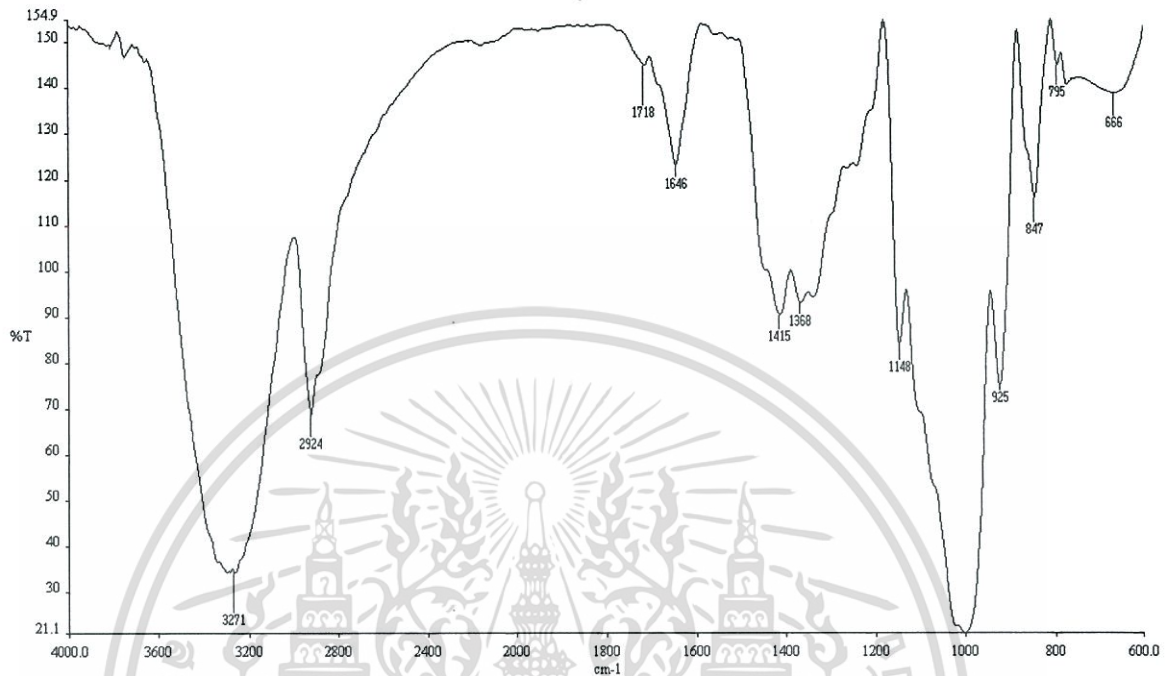
รูปที่ ก.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง



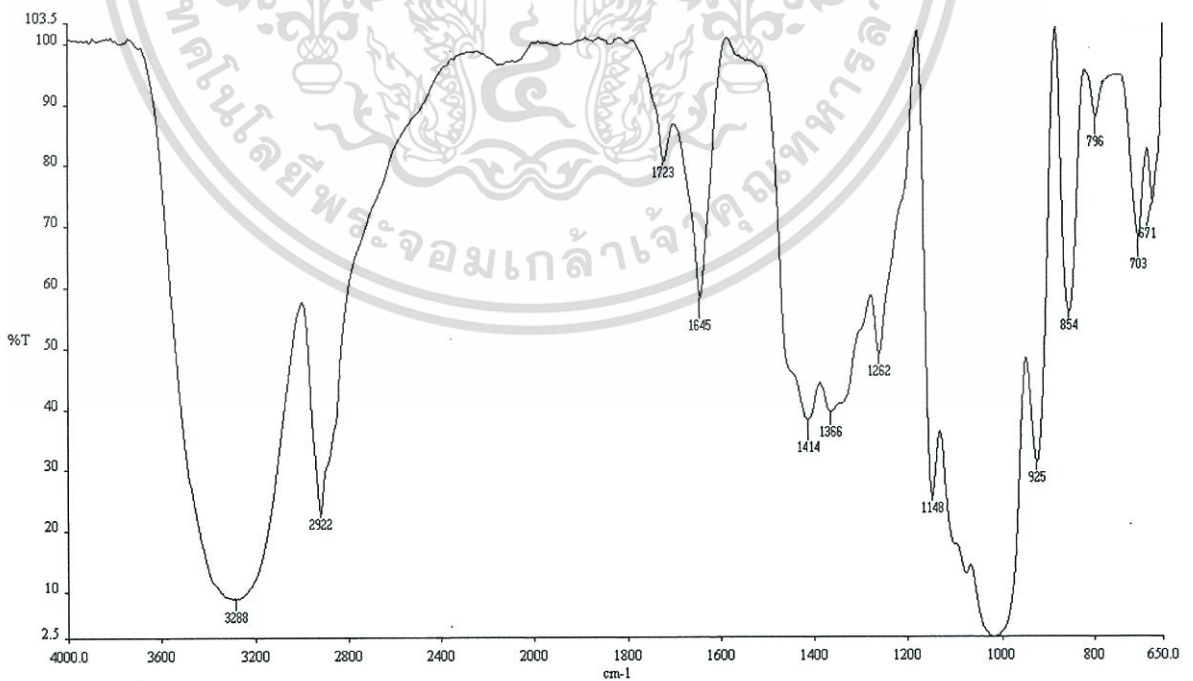
รูปที่ ก.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง

ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

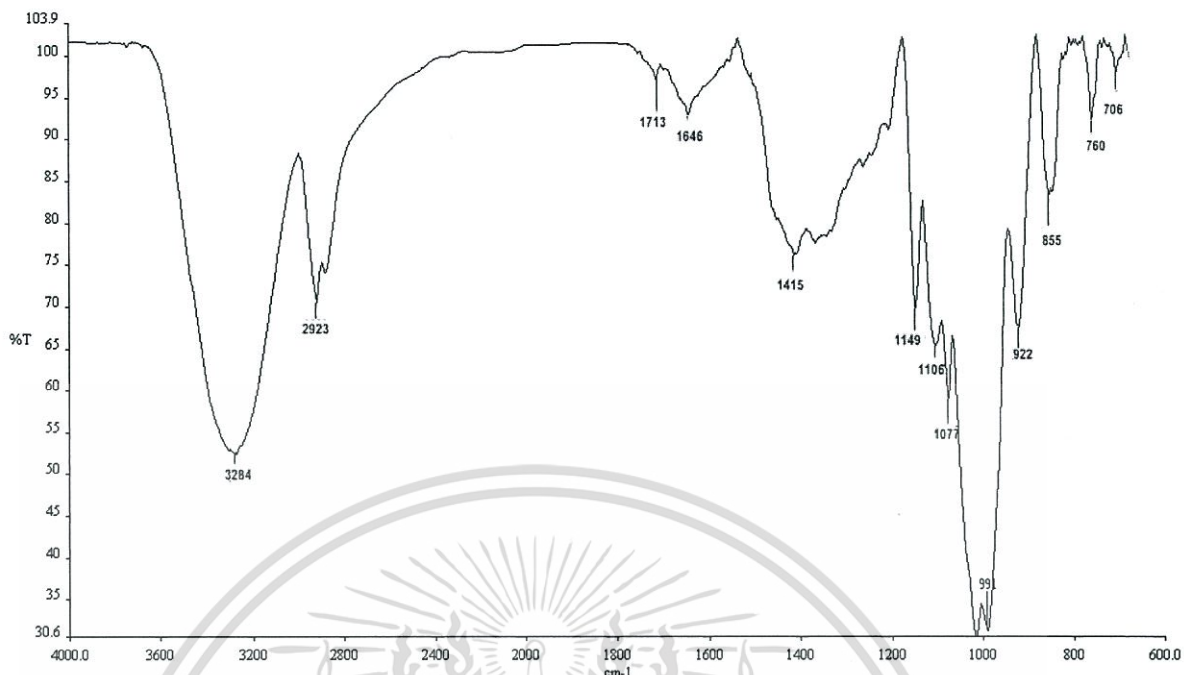


รูปที่ ก.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลัง
ที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 6% โดยน้ำหนัก

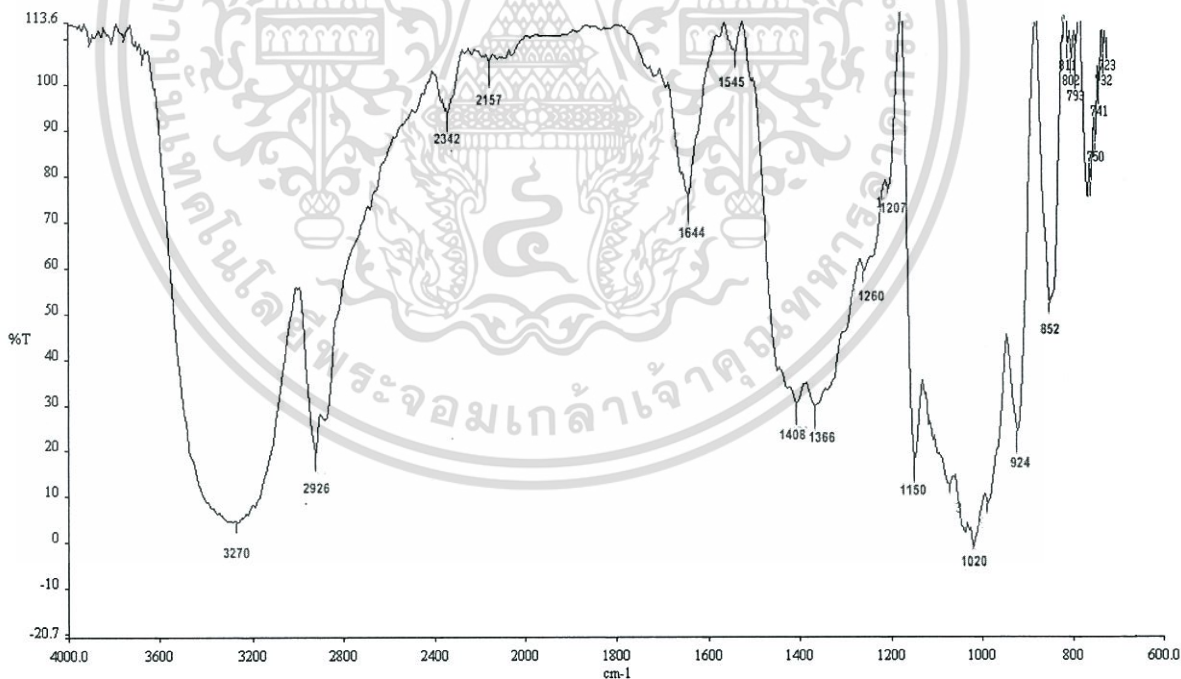


รูปที่ ก.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลัง
ที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

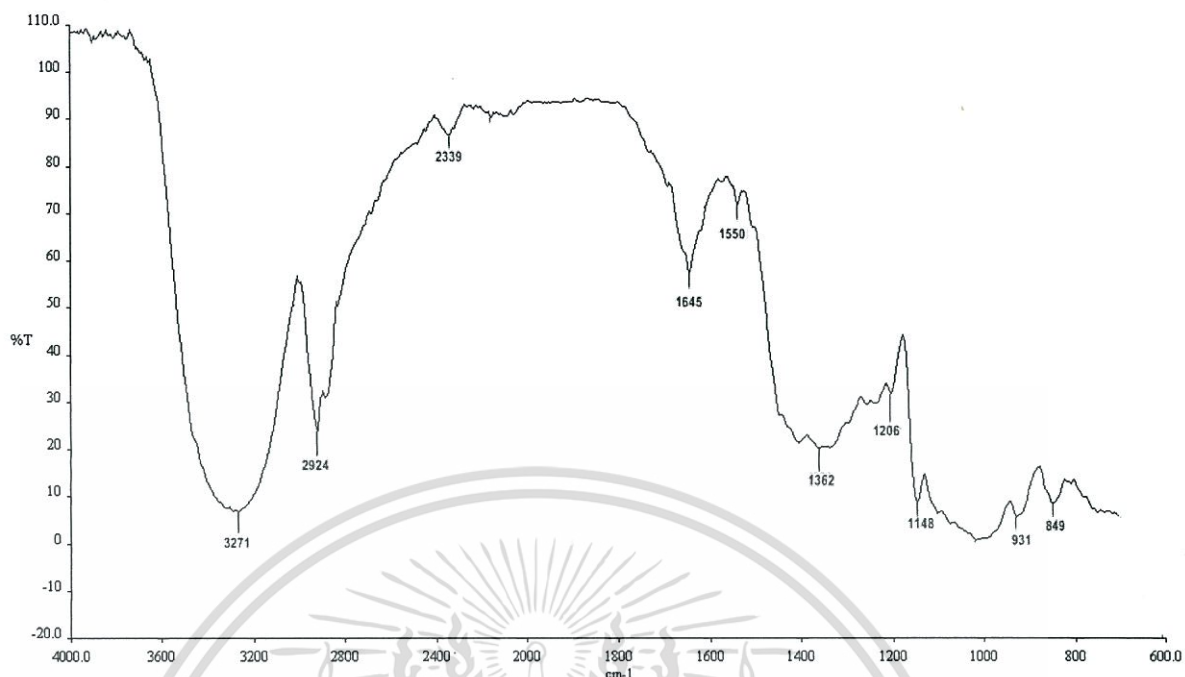


รูปที่ ก.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลัง
ที่ปรับปรุงด้วยเข็ดดิน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนักร

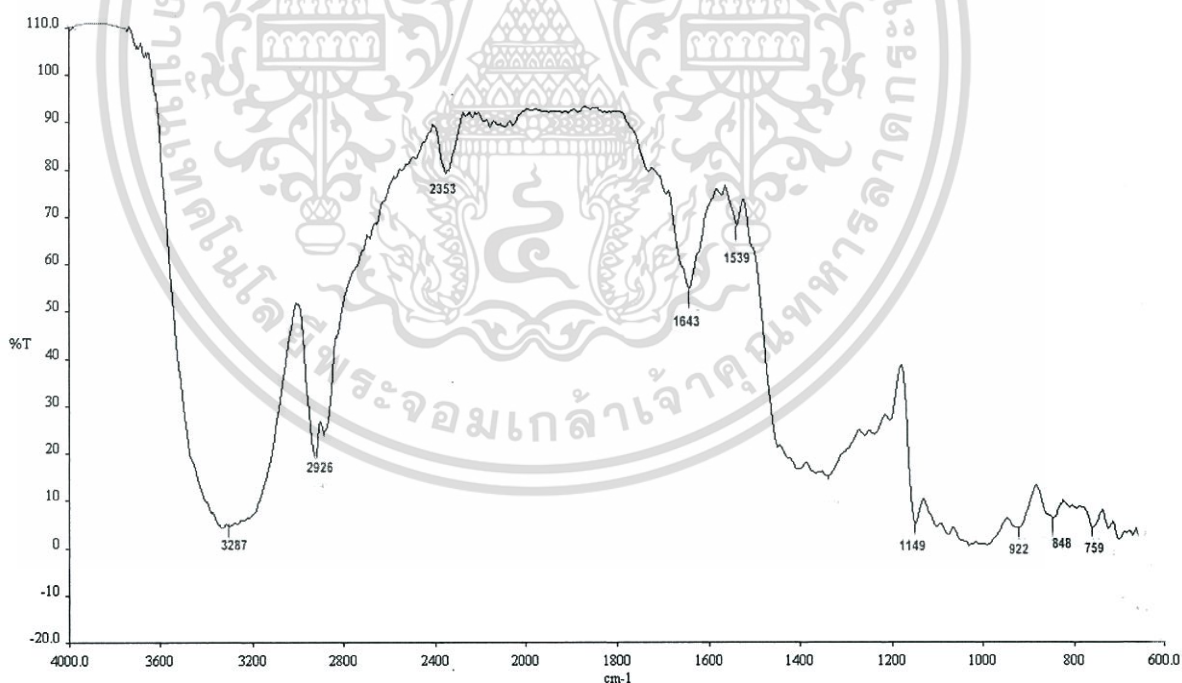


รูปที่ ก.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลัง
ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน 6% โดยน้ำหนักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

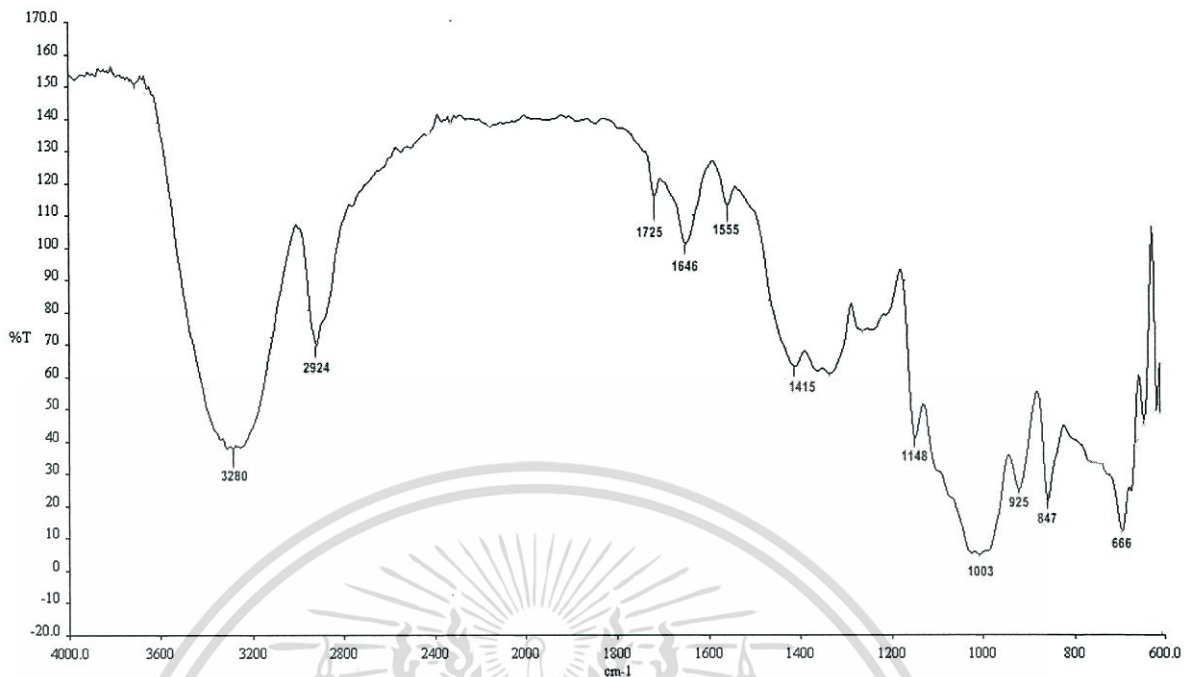


รูปที่ ก.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลัง
ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน 10% โดยน้ำหนัก

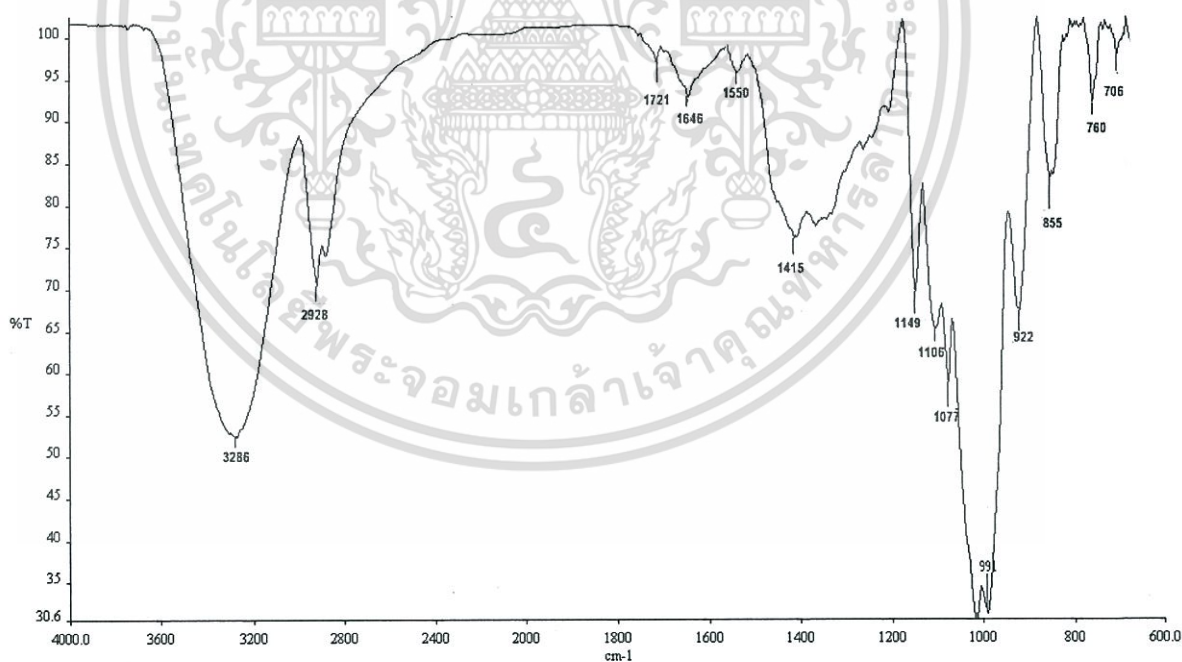


รูปที่ ก.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลัง
ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากเป็งมันสำปะหลัง
ที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและโคโคซาน (1:1)



รูปที่ ก.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากเป็งมันสำปะหลัง
ที่ปรับปรุงด้วยเพคตินและโคโคซาน (1:1) และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง

ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล				
	แรงดึง (MPa)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	การดึงยืด (mm)	เปอร์เซ็นต์ความเครียด (%)	มอดุลัสของยัง (MPa)
TPS	7.093±0.39	0.53±0.33	66.72±3.45	72.88±4.44	1.84±0.29
TPSF5	11.79±2.04	0.80±0.15	46.80±4.28	54.67±7.15	6.53±0.63
TPSP2	9.82±1.87	0.66±0.43	65.02±3.54	72.68±1.86	2.64±0.59
TPSP4	11.82±0.80	0.86±0.79	60.13±3.62	65.58±6.05	3.95±0.63
TPSP6	17.13±0.92	1.26±0.29	52.34±4.65	60.23±5.50	7.01±1.00
TPSP8	23.79±0.72	1.73±0.10	44.66±3.91	50.78±6.52	14.34±2.67
TPSP10	29.42±1.25	1.95±0.15	40.58±3.67	37.63±6.11	23.70±1.04
TPSP10F5	36.39±2.09	2.46±0.16	29.19±2.21	31.98±3.68	33.78±0.59

ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล				
	แรงดึง (MPa)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	การดัดยัด (mm)	เปอร์เซ็นต์ความเครียด (%)	มอดูลัสของยัง (MPa)
TPSC2	12.48±0.61	0.84±0.43	56.21±2.97	70.88±4.82	5.52±2.01
TPSC4	16.97±0.07	1.28±0.04	43.98±4.67	68.30±5.79	10.32±1.11
TPSC6	18.38±0.82	1.41±0.07	38.05±1.57	63.44±2.58	15.55±0.02
TPSC8	21.03±2.59	1.54±0.13	26.26±1.71	53.76±2.85	22.92±0.04
TPSC10	22.32±2.13	1.84±0.13	18.60±0.83	41.01±1.38	25.26±2.34
TPSC10F5	30.41±2.74	2.32±0.17	16.34±2.02	33.56±3.36	30.23±0.85
TPSP:C (2:1)	19.21±1.05	1.42±0.06	48.34±3.36	69.00±5.60	11.12±1.20
TPSP:C (2:1)	17.32±0.60	1.27±0.06	43.26±3.78	67.11±6.31	12.93±0.80
TPSP:C (1:2)	21.10±0.54	1.42±0.03	36.88±4.64	61.47±7.73	14.01±1.10
TPSP:C (1:1) F5	22.66±0.94	2.08±0.11	36.66±3.19	47.77±5.31	21.22±1.20

ภาคผนวก ค

เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ความชื้น 50%

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้น (%)															
	วันที่ 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TPS	0	5.15	7.77	9.60	11.76	13.67	15.12	16.94	18.28	19.51	19.67	19.67	19.67	20.87	21.32	21.74
TPSF5	0	3.19	4.46	5.30	7.54	8.79	10.21	12.27	12.90	14.21	14.95	14.95	14.96	15.34	15.69	15.13
Pectin																
TPSP6	0	6.54	9.98	12.18	14.92	17.77	19.66	19.78	20.75	22.12	22.68	22.68	22.68	23.90	23.90	24.42
TPSP10	0	7.32	10.75	13.78	15.64	17.96	19.36	20.16	21.28	23.29	23.30	23.30	23.30	23.75	24.47	25.20
TPSP10F5	0	3.87	5.94	8.04	10.17	12.28	14.34	14.94	15.62	15.71	15.81	15.81	15.81	16.63	16.78	16.83
Chitosan																
TPSC6	0	3.68	5.60	7.96	9.65	11.18	13.36	16.17	16.99	18.06	18.44	18.98	19.98	20.13	20.72	21.16
TPSC10	0	4.02	6.00	8.81	8.89	10.64	13.18	14.81	15.66	17.06	17.48	17.48	17.48	17.98	18.978	19.29
TPSC10F5	0	2.45	3.27	4.56	5.75	6.40	7.82	9.29	10.36	11.52	12.11	12.12	12.86	13.48	13.60	13.71
Pectin:Chitosan																
TPSP5C5	0	8.03	10.08	11.68	13.99	14.65	16.39	17.96	18.49	20.13	21.45	21.41	22.14	22.27	22.11	21.92
TPSP5C5F5	0	4.69	5.80	6.32	7.55	8.04	9.02	10.48	12.90	14.80	15.85	15.85	16.59	16.68	16.58	16.57

เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ความชื้น 50%

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้น (%)														
	วันที่ 16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
TPS	21.21	21.21	21.20	20.83	20.88	21.22	21.24	21.97	21.97	21.97	21.87	21.89	22.24	22.26	22.63
TPSF5	15.38	15.38	15.38	15.91	15.92	16.11	16.13	16.36	16.36	16.36	16.67	16.91	16.90	16.92	16.94
Pectin															
TPSP6	24.42	24.42	24.42	24.66	24.33	24.46	24.81	24.60	24.60	24.60	24.46	24.47	24.45	24.47	24.51
TPSP10	25.31	25.31	25.31	25.45	25.56	25.51	25.54	25.98	25.98	25.98	26.01	26.35	26.60	26.61	26.63
TPSP10F5	16.97	16.97	16.97	17.09	17.21	17.32	17.47	17.58	17.58	17.58	17.73	17.82	17.99	18.15	18.64
Chitosan															
TPSC6	20.77	20.77	20.77	20.82	20.84	20.85	20.86	20.84	20.84	20.84	21.04	20.98	20.90	20.84	20.97
TPSC10	19.77	19.77	19.77	20.47	20.58	20.68	20.56	20.93	20.93	20.93	21.43	21.49	21.45	21.37	21.56
TPSC10F5	14.11	14.11	14.11	14.53	15.32	15.36	15.53	15.61	15.61	15.61	16.07	16.35	16.22	16.25	16.34
Pectin:Chitosan															
TPSP5C5	22.54	22.54	22.54	23.08	23.20	23.19	23.12	22.29	22.29	22.29	23.02	22.90	23.38	23.48	23.47
TPSP5C5F5	16.44	16.44	16.44	16.76	16.82	16.79	17.27	17.07	17.07	17.07	18.19	18.44	18.27	18.27	18.29

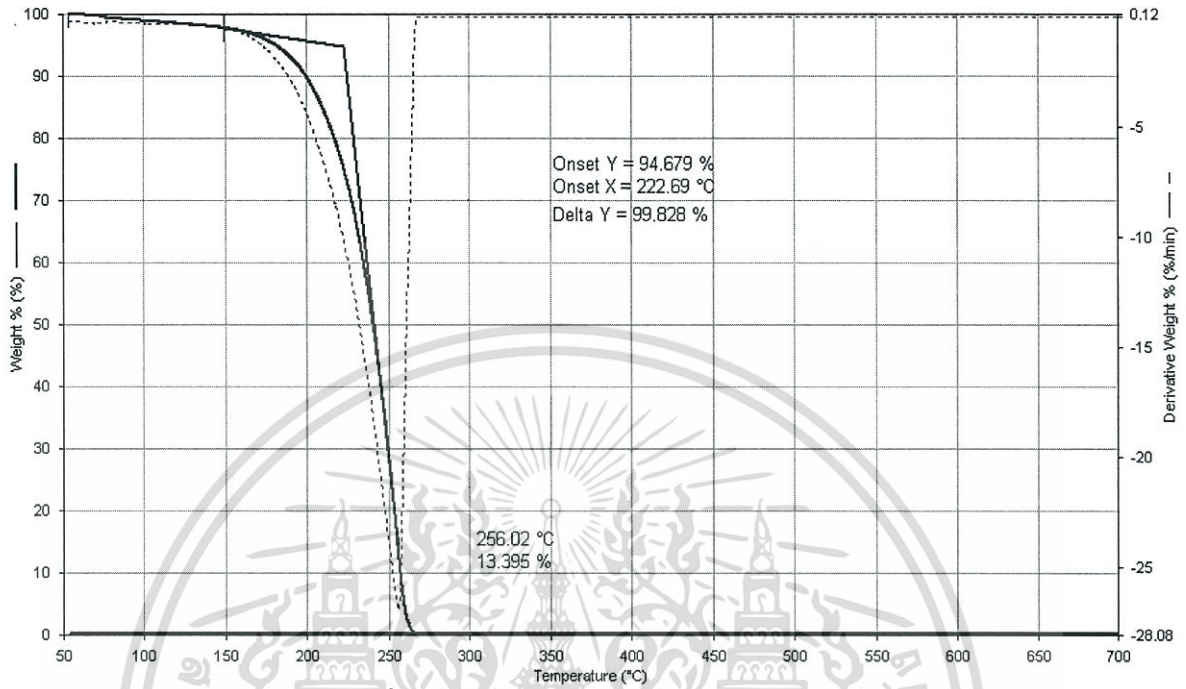
เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ความชื้น 100%

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้น (%)															
	วันที่ 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TPS	0	10.48	15.01	17.20	20.59	24.66	27.78	30.97	32.88	34.41	34.57	34.57	36.10	36.63	36.79	37.32
TPSF5	0	4.27	10.50	12.92	15.923	18.83	19.67	20.99	22.65	26.45	27.29	27.29	27.78	28.46	28.76	28.94
Pectin																
TPSP6	0	12.94	20.04	24.28	30.74	31.80	33.22	33.69	36.36	36.95	36.95	36.95	37.67	38.87	38.87	39.02
TPSP10	0	13.33	21.09	26.02	30.05	32.61	34.13	35.33	36.94	37.88	38.37	38.37	38.37	39.81	39.96	40.55
TPSP10F5	0	9.97	13.11	15.03	18.03	21.31	23.40	26.66	28.09	32.63	33.30	33.30	32.27	33.16	33.23	33.50
Chitosan																
TPSC6	0	8.30	11.77	14.70	18.03	21.31	22.06	24.32	27.08	30.29	31.63	31.63	33.30	33.63	33.66	34.02
TPSC10	0	8.68	13.30	15.98	19.89	21.70	25.037	27.59	30.26	31.57	32.89	32.89	36.47	37.33	36.48	36.47
TPSC10F5	0	4.60	10.34	13.42	14.22	17.12	19.49	19.97	23.15	23.00	23.00	23.00	24.02	24.53	26.36	26.35
Pectin:Chitosan																
TPSP5C5	0	11.15	16.01	18.55	21.261	25.34	28.79	32.32	34.57	35.93	36.08	36.08	37.96	38.32	38.96	38.84
TPSP5C5F5	0	6.97	12.20	14.10	15.91	19.51	21.52	23.01	25.01	25.97	28.63	28.63	29.51	30.02	30.87	30.35

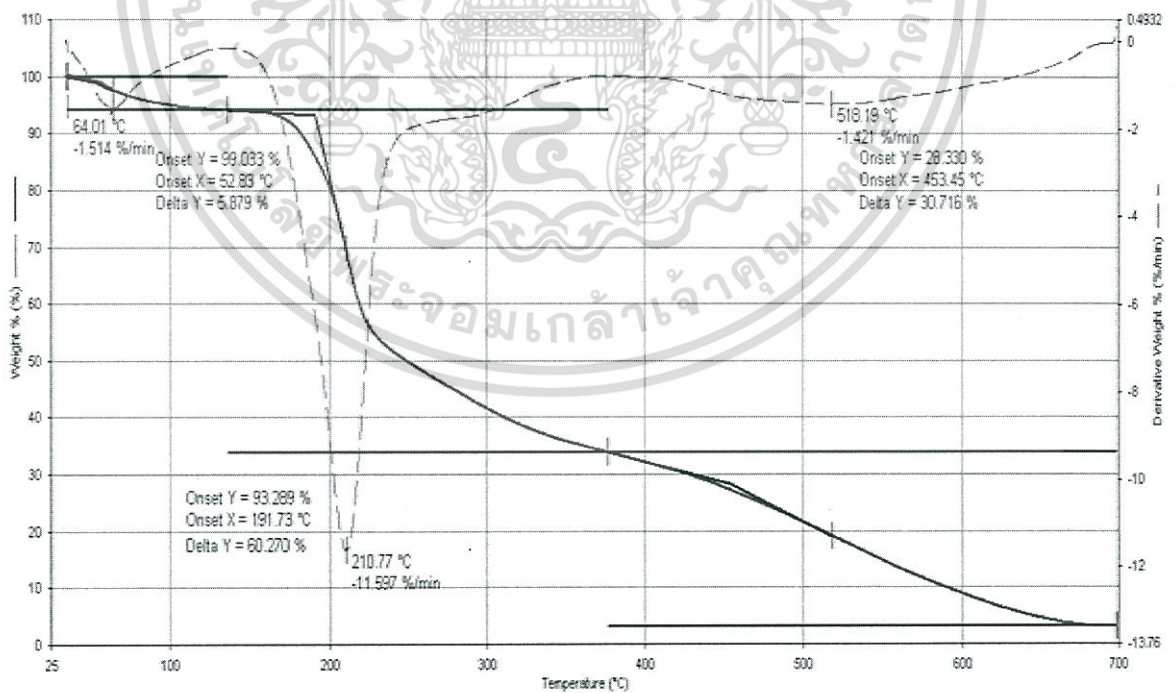
เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ความชื้น 100%

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้น (%)														
	วันที่ 16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
TPS	37.32	37.32	37.32	37.33	38.19	38.23	37.89	37.90	37.91	37.91	38.31	38.29	39.12	39.41	39.09
TPSF5	29.42	29.93	29.69	30.01	30.70	30.26	30.86	31.06	30.21	30.21	31.23	31.23	31.07	31.07	30.90
Pectin															
TPSP6	39.43	39.43	39.43	40.21	40.42	41.29	41.49	41.47	41.52	41.52	42.01	42.23	42.53	42.57	42.89
TPSP10	40.78	41.95	42.27	42.54	43.09	42.93	44.18	44.31	45.16	45.16	44.79	44.67	45.14	45.48	45.64
TPSP10F5	33.57	34.31	34.24	35.10	35.26	35.23	35.25	34.24	35.28	35.28	35.25	35.27	35.28	35.31	34.27
Chitosan															
TPSC6	34.31	34.31	33.31	34.10	33.79	33.93	33.80	33.83	33.83	33.83	33.84	33.83	33.84	33.85	33.86
TPSC10	36.47	36.47	36.47	36.61	36.61	36.61	36.61	36.61	36.62	36.62	36.88	36.22	36.35	36.86	36.61
TPSC10F5	26.69	26.69	26.69	27.21	27.38	27.38	27.55	27.72	27.89	27.89	28.23	28.40	28.57	28.74	28.74
Pectin:Chitosan															
TPSP5C5	39.02	39.02	39.02	38.36	38.19	38.45	38.38	38.48	39.48	40.13	40.13	40.21	40.04	40.04	40.21
TPSP5C5F5	31.69	31.69	31.69	33.39	33.88	34.74	34.39	33.68	33.51	33.51	33.855	34.01	34.18	34.19	34.19

ภาคผนวก ง

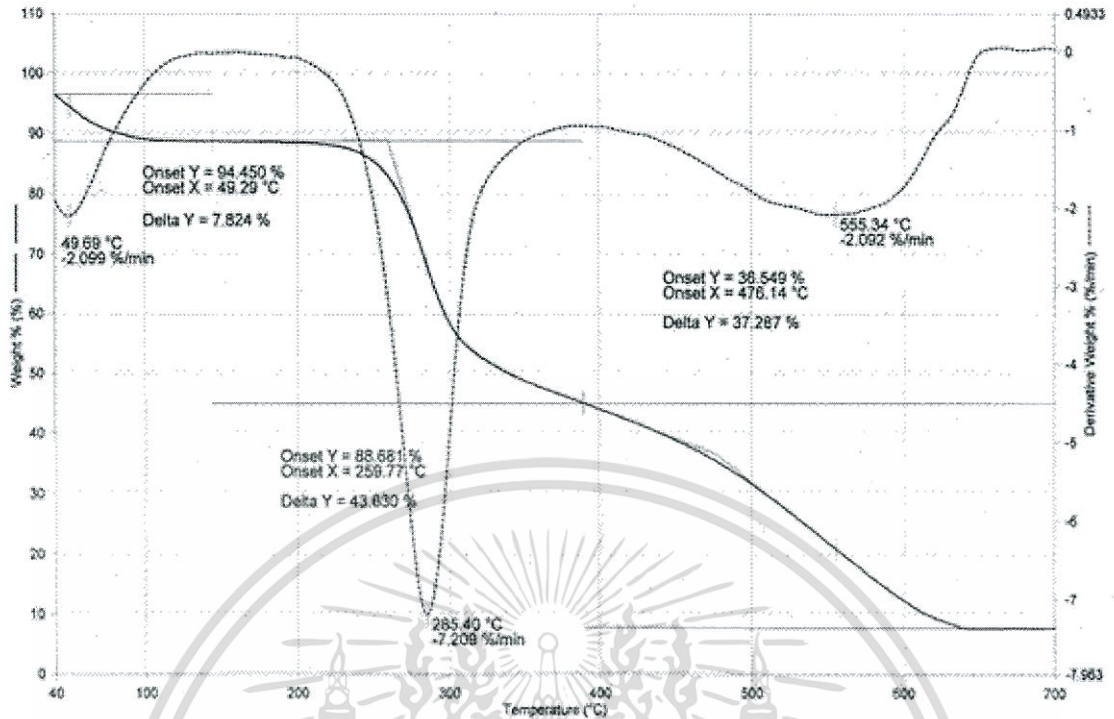


รูปที่ ง.1 เทอร์โมแกรมของกลีเซอรอล

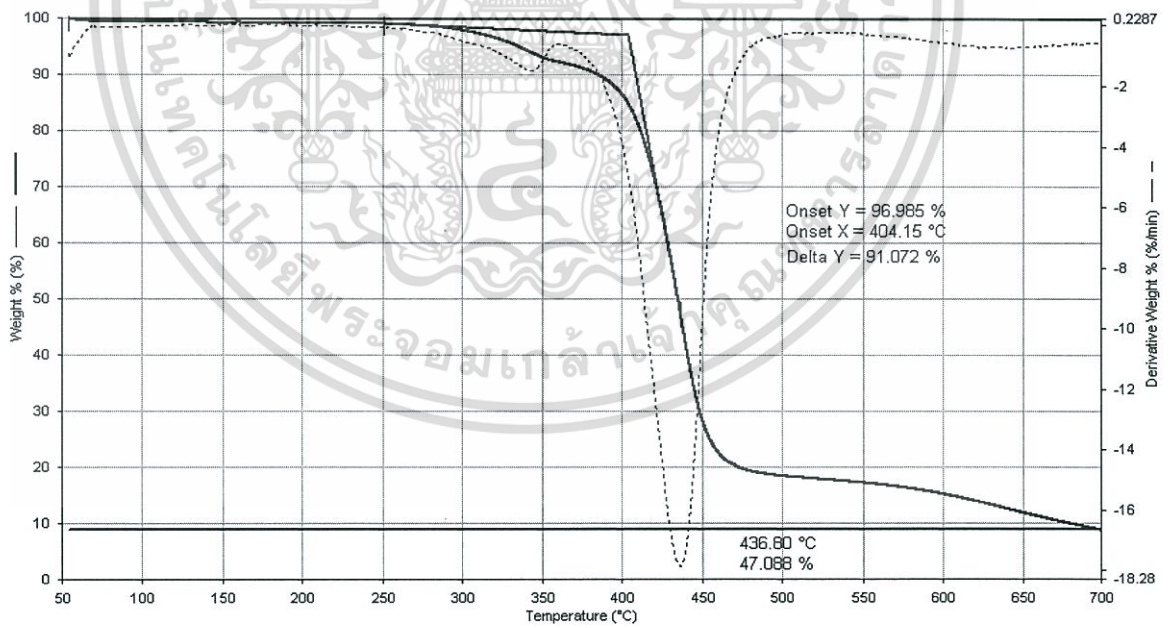


รูปที่ ง.2 เทอร์โมแกรมของเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

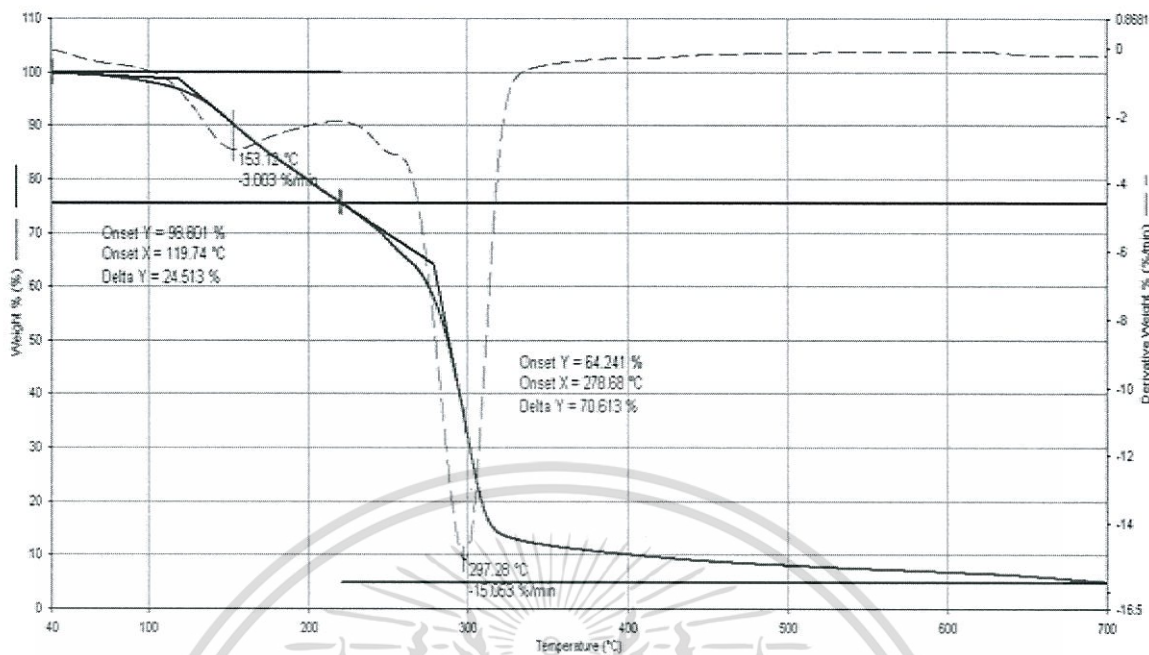


รูปที่ ง.3 เทอร์โมแกรมของไคโตซาน

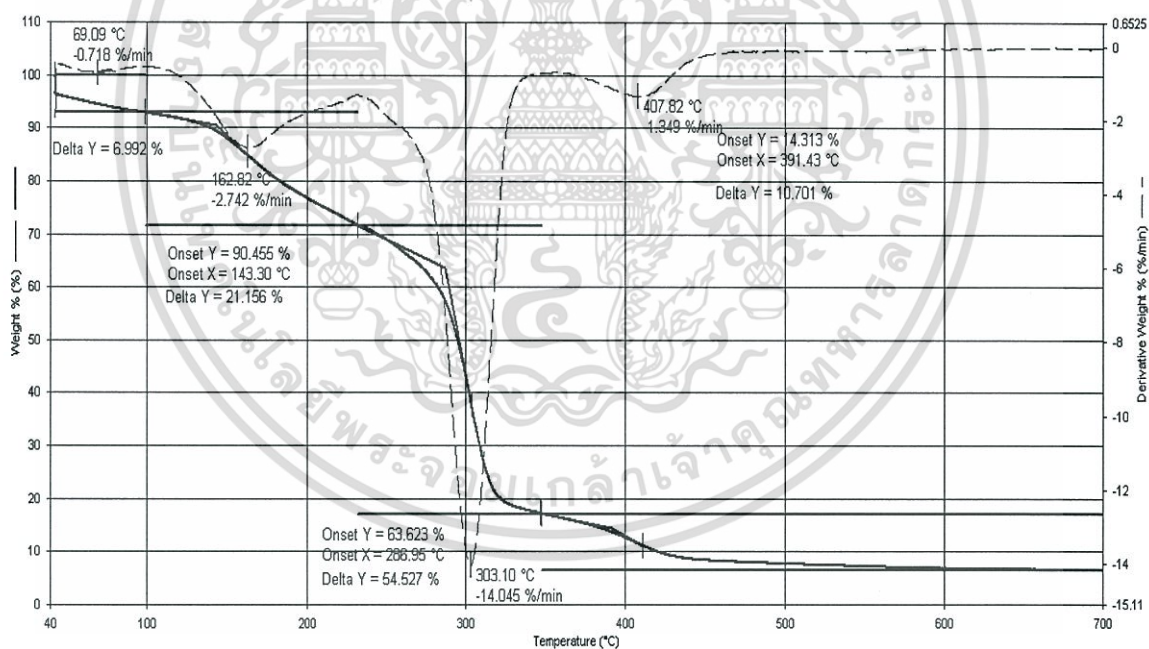


รูปที่ ง.4 เทอร์โมแกรมของเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

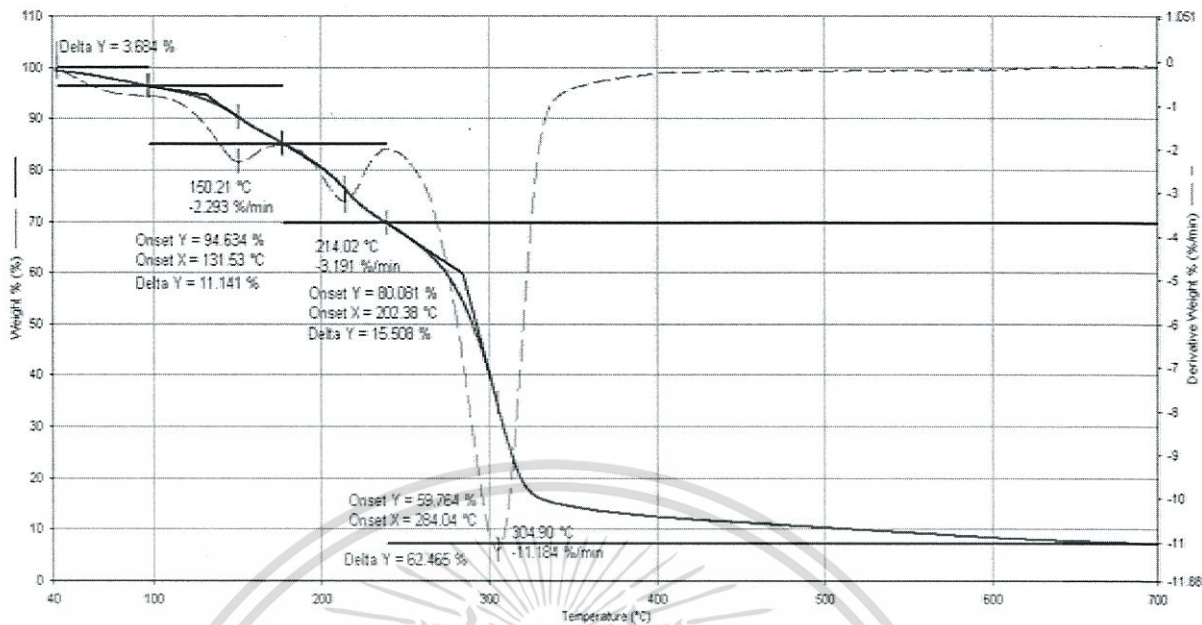


รูปที่ ๕.5 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลัง

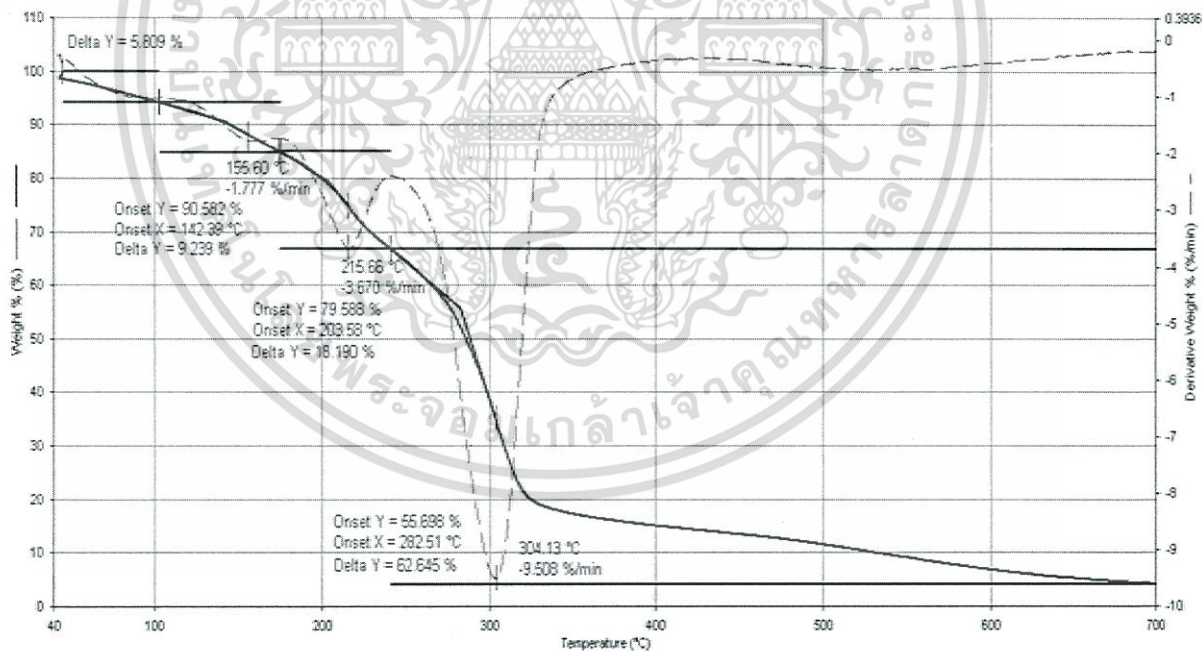


รูปที่ ๕.๖ เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลัง และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

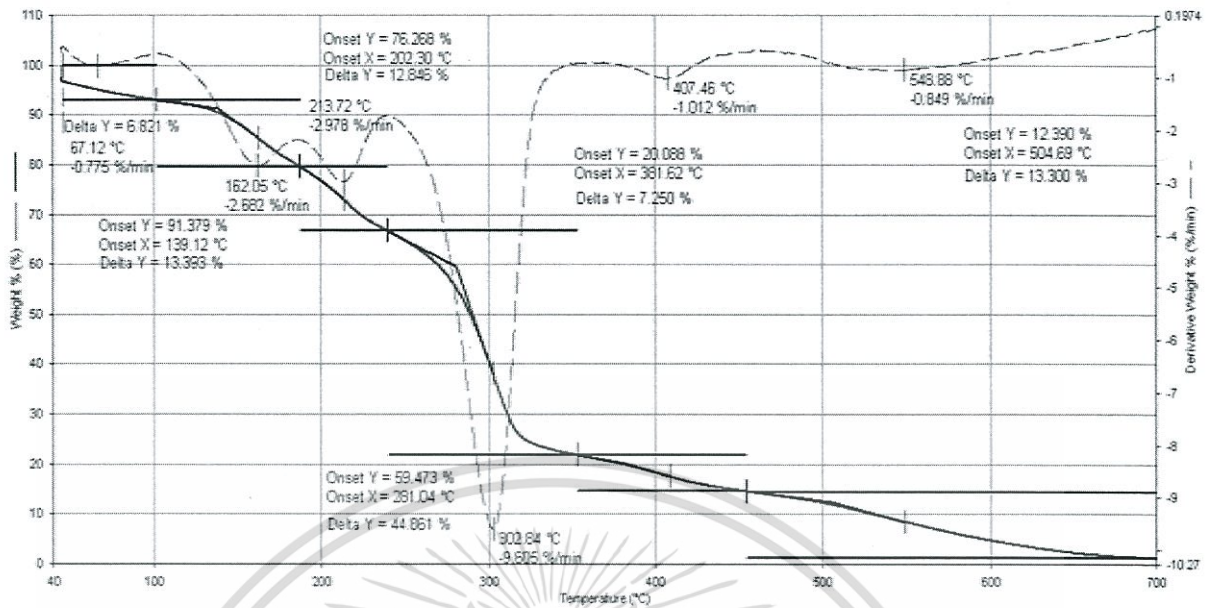


รูปที่ ง.7 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย
เพคติน 6% โดยน้ำหนัก

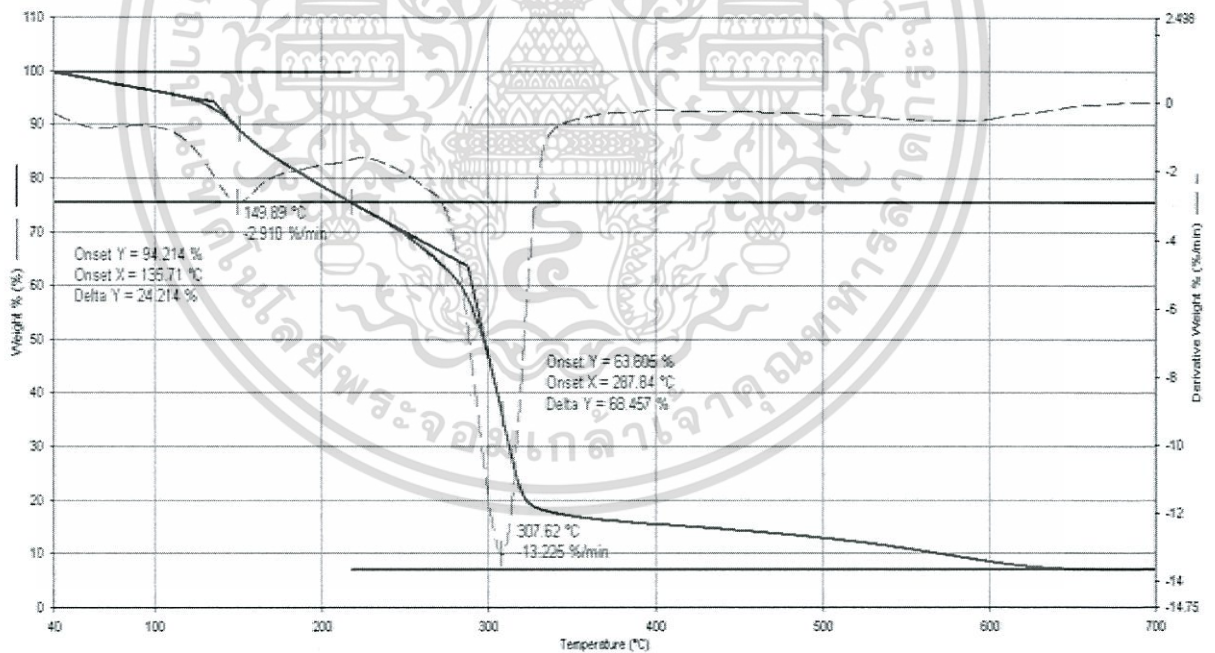


รูปที่ ง.8 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย
เพคติน 10% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

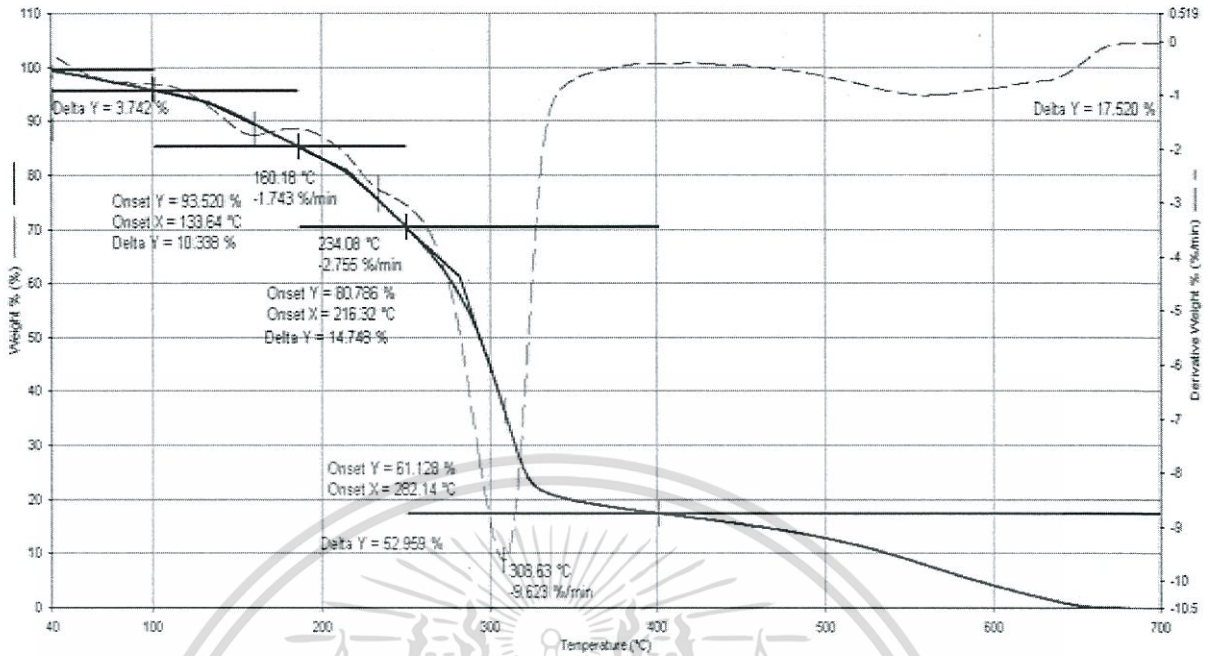


รูปที่ ง.9 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

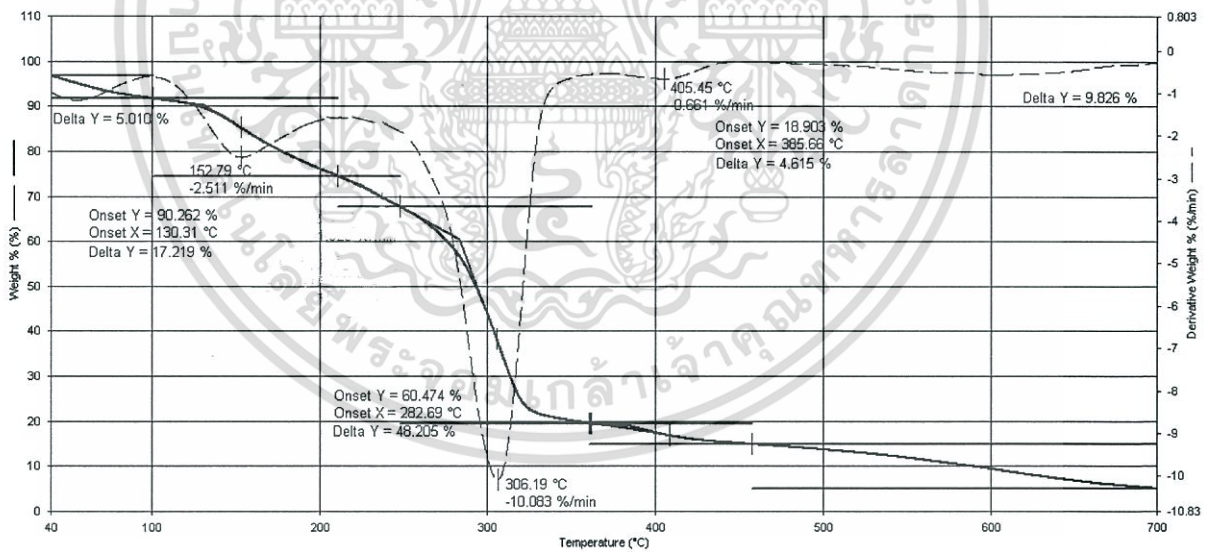


รูปที่ ง.10 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย โคลโตซาน 6% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

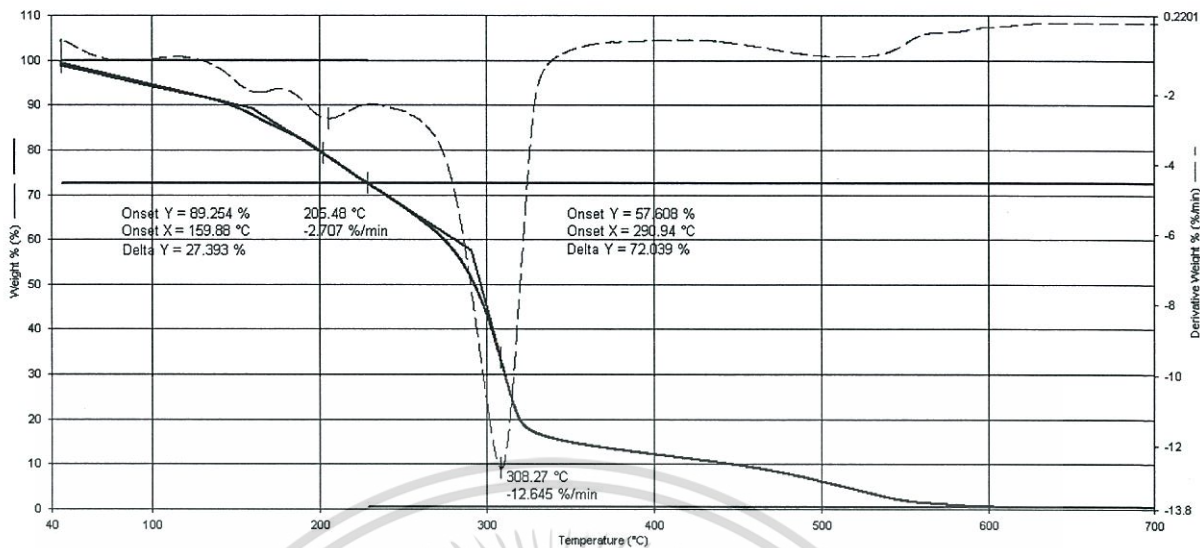


รูปที่ ง.11 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย โคลโตซาน 10% โดยน้ำหนัก

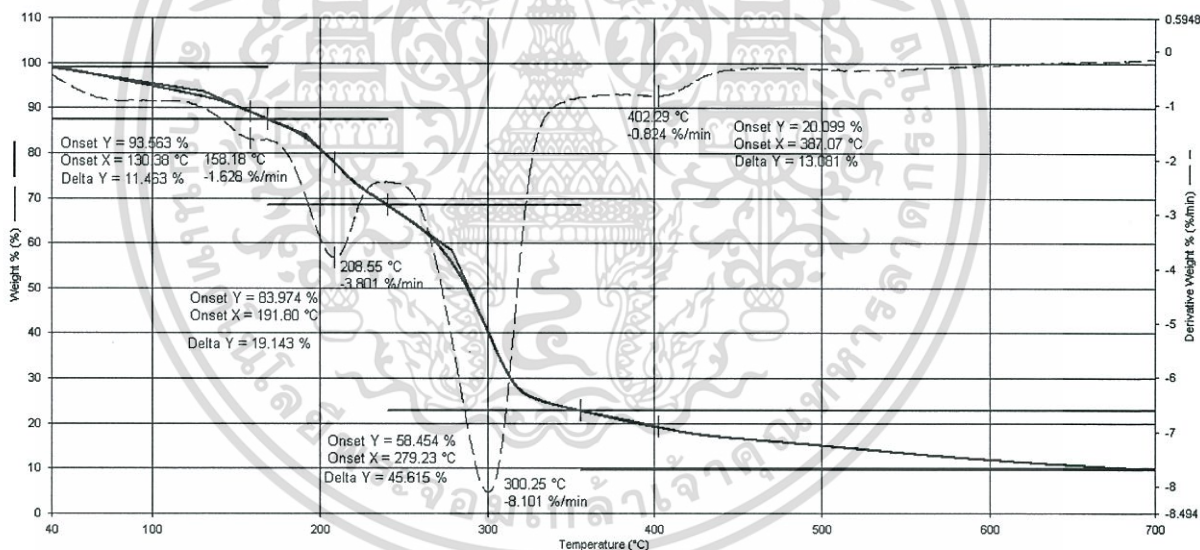


รูปที่ ง.12 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยโคลโตซาน 10% และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.13 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย เพคตินและไคโตซานในอัตราส่วน 1:1



รูปที่ ง.14 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย เพคตินและไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 และเส้นใยฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวรอรพรรณ พัฒนสิน
วัน เดือน ปีเกิด	21 ตุลาคม 2530
ประวัติการศึกษา	2549 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 2553 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
ผลงานวิชาการ	การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งมันสำปะหลัง ด้วยเพคติน ไคโตซานและเส้นใยฝ้าย MODIFICATION OF THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH BY PECTIN, CHITOSAN AND COTTON FIBER การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วทท 38)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้