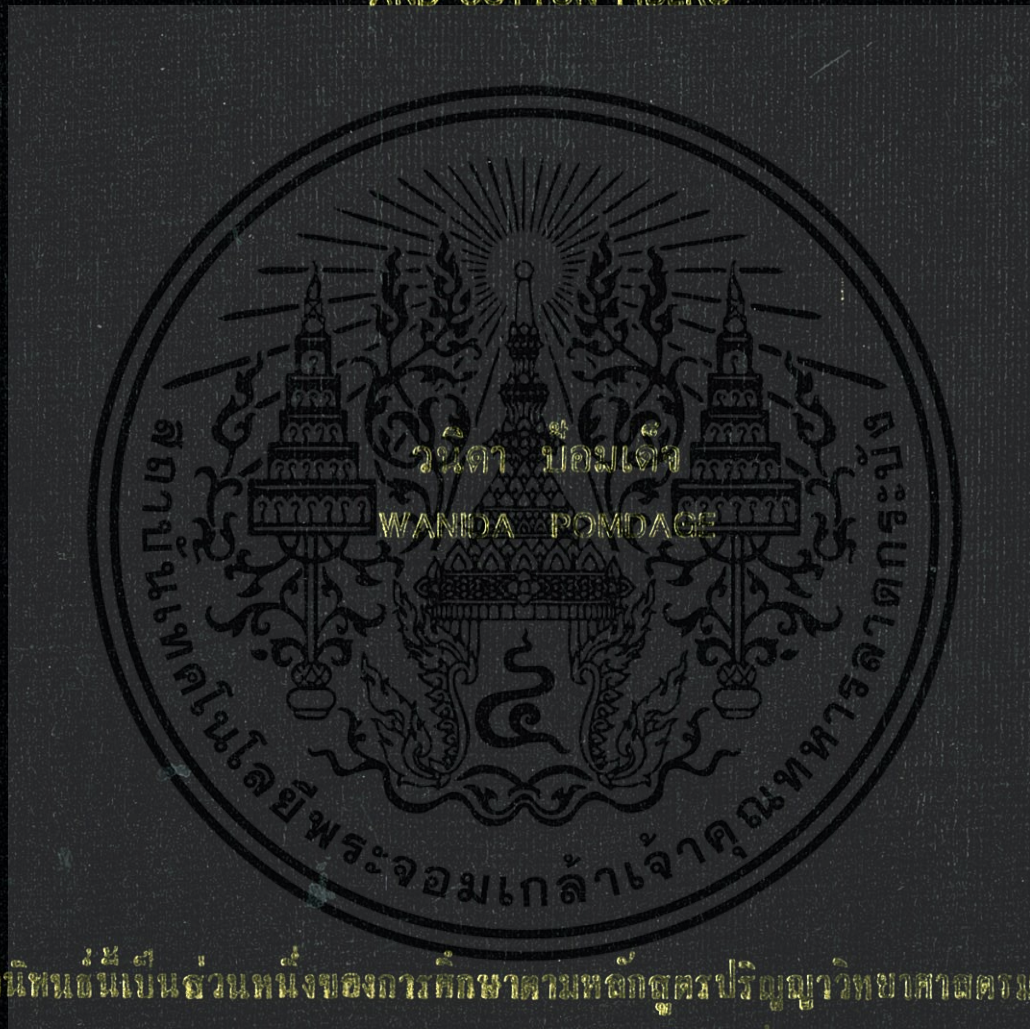


การปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาarchจากแป้งมัน  
สำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยสารก่อเจลและเส้นใยฝ้าย

MODIFICATION OF POLYMER BLEND BETWEEN  
THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH AND LOW-DENSITY  
POLYETHYLENE USING GELLING AGENTS  
AND COTTON FIBERS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าของนักศึกษาชั้นปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-SC-M-014-013

การปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมัน  
สำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยสารก่อเจลและเส้นใยฝ้าย

**MODIFICATION OF POLYMER BLEND BETWEEN  
THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH AND LOW-DENSITY  
POLYETHYLENE USING GELLING AGENTS  
AND COTTON FIBERS**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

**KMITL-2013-SC-M-014-013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MODIFICATION OF POLYMER BLEND BETWEEN  
THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH AND LOW-DENSITY  
POLYETHYLENE USING GELLING AGENTS  
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-014-013**  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2013**

**FACULTY OF SCIENCE**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาarchจากแป้งมัน  
สำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยสารก่อเจลและ  
เส้นใยฝ้าย

Modification of Polymer Blend Between Thermoplastic Cassava  
Starch and Low-Density Polyethylene Using Gelling Agents and  
Cotton Fibers

นักศึกษา

นางสาววนิดา บ่อมเต็จ

รหัสประจำตัว

53651014

ปริญญา


วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีพอลิเมอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรีชญาวรรการ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี	
รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์	
ผศ.ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์	
รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรีชญาวรรการ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 25 เมษายน พ.ศ. 2556 เวลา 13.00 – 16.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 316 ชั้น 3 อาคารปฏิบัติการใหม่

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว  
  
(รองคณบดีคณาจารย์ ดร.ศุภณัฐ ธีระบุรินทร์)  
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจาก แป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยสารก่อเจล และเส้นใยฝ้าย
นักศึกษา	นางสาวนิตดา ป้อมแดง
รหัสประจำตัว	53651014
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารการ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมและศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-density Polyethylene, LDPE) ใช้กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยมีการเติมสารช่วยผสม คือ มาลิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride-graft-polyethylene, MAPE) และสารให้สี คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) นำไปผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) แล้วนำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ทำการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมด้วยสารก่อเจล ได้แก่ อะการ์ (Agar), คาร์ราจีแนน (Carrageenan) และโซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate) ที่ 2, 4, 6, 8 และ 10% โดยน้ำหนัก จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ได้จากการขึ้นรูปมาศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อนและการย่อยสลาย โดยผลจากการใช้เทคนิค FTIR พบว่าพีคของการสั่นที่ตำแหน่งของ OH-stretching ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์ คาร์ราจีแนน หรือ โซเดียมอัลจิเนตมีการเลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ต่ำลง นอกจากนี้ พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE มีแนวโน้มการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารก่อเจลและเส้นใยฝ้ายลงไป เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่าสารก่อเจลสามารถเข้ากันได้ดีกับวัฏภาคของ TPCS และเส้นใยมีการกระจายตัวที่ดีและสามารถเข้ากับเมทริกซ์ TPCS/LDPE ได้ นอกจากนี้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์ คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนต มีสมบัติเชิงกลที่สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง โดยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงด้วยสารก่อเจล 10% โดยน้ำหนักที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้ายมีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด สำหรับสมบัติทางความร้อน พบว่าการใช้เส้นใยฝ้ายร่วมกับคาร์ราจีแนนหรือโซเดียมอัลจิเนตในพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดใจอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมทำให้มีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนเพิ่มขึ้น ท้ายที่สุดการเติมสารก่อเจลลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการปรับปรุง

**คำสำคัญ :** พอลิเมอร์ผสม, เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช, แป้งมันสำปะหลัง, พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และสารก่อเจล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Modification of polymer blend between thermoplastic cassava starch/low-density polyethylene using gelling agents and cotton fibers
<b>Student</b>	Miss Wanida Pomdage
<b>Student ID</b>	53651014
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Polymer Technology
<b>Year</b>	2013
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr. Jutarat Prachayawarakorn

### Abstract

This research focused on the preparation and properties of polymer blend between thermoplastic cassava starch (TPCS) and low-density polyethylene (LDPE). Glycerol was used as a plasticizer. The compatibilizer, maleic anhydride-graft-polyethylene (MAPE) and colourant, titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) were added into the TPCS/LDPE blend. The polymer blend was compounded using an internal mixer. The specimens were shaped with injection molding machine. Properties of the TPCS/LDPE blend were studied with different gelling agents, i.e. agar, carrageenan and sodium alginate at 2, 4, 6, 8 and 10 wt%. Different TPCS/LDPE blends were, then, analyzed for physical, mechanical, morphological, thermal and biodegradable properties. It was found from FTIR spectra that the peak in the region of OH stretching shifted to lower wavenumber for the TPCS/LDPE blends modified by agar, carrageenan or sodium alginate. Besides, water absorption of the TPCS/LDPE blends slightly increased by the addition of a gelling agents and cotton fibers. For morphology, obtained from Scanning Electron Microscopy (SEM) the results illustrated that all of the gelling agents were well compatible with the TPCS phase and cotton fibers were well dispersed on the TPCS/LDPE matrix. Moreover, the mechanical properties of the TPCS/LDPE blends modified by carrageenan or sodium alginate were greater than those of the blend without the modification. The greatest mechanical properties were obtained from the TPCS/LDPE blends modified by 10 wt% of the gelling agents with the addition of cotton fibers. The incorporation of cotton fibers into the blends modified by agar, carrageenan or sodium alginate caused the increased in the thermal degradation temperatures. Finally, the gelling agent modified TPCS/LDPE blends degraded quicker than the non-modified blend.

**Keywords :** polymer blend, thermoplastic starch, cassava starch, low-density polyethylene and gelling agents



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตี IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาarchจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยสารก่อเจลและเส้นใยฝ้าย (Modification of polymer blend between thermoplastic cassava starch/low-density polyethylene using gelling agents and cotton fibers) ดำเนินงานได้เป็นอย่างดี โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) และได้รับความช่วยเหลือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้จัดทำ จากบุคลากรและหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ เกี่ยวกับงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์ รศ.ดร. มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ และ ผศ.ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ และช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และ คุณสุคิดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือ รวมถึงให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ ตลอดจนการดำเนินงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยไต่ถามและให้กำลังใจตลอดมา ตลอดจนเพื่อนๆ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้การทำงานวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมายที่ยังมิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ซึ่งผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาววนิดา ป้อมเต็จ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	XII
สารบัญรูป.....	XIV
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	XX
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....</b>	<b>5</b>
2.1 พลาสติกย่อยสลายได้.....	5
2.2 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ.....	6
2.2.1 ลักษณะของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	8
2.2.2 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย.....	9
2.2.2.1 การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน.....	9
2.2.2.2 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป.....	9
2.2.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์.....	10
2.2.2.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด.....	10
2.2.2.5 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน.....	11
2.2.2.6 การทดสอบโดยการฝังดิน.....	11
2.3 พอลิเมอร์ผสม.....	11
2.3.1 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ผสม.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัด VI อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 แป้ง.....	12
2.4.1 องค์ประกอบภายในแป้ง.....	13
2.4.2 โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง.....	18
2.4.3 สมบัติของแป้ง.....	18
2.4.3.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย.....	18
2.4.3.2 การเกิดเจลาทีนในเซชัน.....	19
2.4.3.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน.....	19
2.4.4 แป้งในรูปเทอร์โมพลาสติกสตา์ช.....	21
2.5 มันสำปะหลัง.....	21
2.5.1 สมบัติของแป้ง.....	22
2.5.2 ชนิดของแป้งมันสำปะหลัง.....	23
2.6 พลาสติก.....	23
2.6.1 พอลิเอทิลีน.....	24
2.6.1.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ.....	24
2.7 อะคาร์.....	25
2.8 คาร์ราจีแนน.....	27
2.9 แอลจินต.....	30
2.10 พลาสติกไซเซชันและพลาสติกไซเซอร์.....	32
2.11 สารช่วยผสม.....	33
2.12 เส้นใยฝ้าย.....	35
2.12.1 โครงสร้าง.....	35
2.13 การขึ้นรูปแบบฉีด.....	37
2.13.1 ส่วนประกอบเครื่อง.....	37
2.13.2 ส่วนชุดฉีด.....	37
2.13.3 ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์.....	37
2.13.4 ส่วนฐานของเครื่องฉีด.....	38
2.13.4.1 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก.....	38
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง VII ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	48
3.1 สารเคมี.....	48
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	51
3.3 วิธีการทดลอง.....	53
3.3.1 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอ ทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....	53
3.3.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมัน สำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....	53
3.3.3 การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติก สตาร์ชแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ด้วยอะคาร์.....	54
3.3.4 การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติก สตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ด้วยคาร์ราจีแนน.....	54
3.3.5 การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติก สตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ด้วยโซเดียมอัลจิเนต.....	54
3.3.6 การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติก สตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ด้วยสารก่อเจล และเส้นใยฝ้าย.....	55
3.4 วิธีการทดสอบ.....	58
3.4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (Infrared Spectroscopy).....	58
3.4.2 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) .....	58
3.4.3 การทดสอบสัณฐานวิทยา (Morphology).....	58
3.4.4 สมบัติทางกายภาพ (Physical properties).....	58
3.4.4.1 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี.....	58
3.4.4.2 ปริมาณการดูดซับน้ำ (Water absorption).....	59
3.4.5 การวัดดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index : MFI) .....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	60
3.4.6.1 ความแข็งแรงดึง ชั่งมอดูลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด .....	60
3.4.6.2 ความแข็งกด (Hardness) .....	61
3.4.6.3 สมบัติความแข็งแรงกระแทก.....	61
3.4.7 การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	61
3.4.8 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน.....	61
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....</b>	<b>62</b>
4.1 การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ด้วยอะคาร์ และเส้นใยฝ้าย.....	63
4.1.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR.....	63
4.1.2 XRD.....	67
4.1.3 สัณฐานวิทยา.....	71
4.1.4 การวัดสี.....	74
4.1.5 การดูดซับน้ำ.....	75
4.1.6 ดัชนีการไหล.....	76
4.1.7 สมบัติเชิงกล.....	77
4.1.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อน.....	83
4.1.9 การย่อยสลายโดยการฝังดิน.....	86
4.2 การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ด้วยคาร์ราจีแนนและ เส้นใยฝ้าย.....	90
4.2.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR.....	90
4.2.2 XRD.....	93
4.2.3 สัณฐานวิทยา.....	95
4.2.4 การวัดสี.....	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัด IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

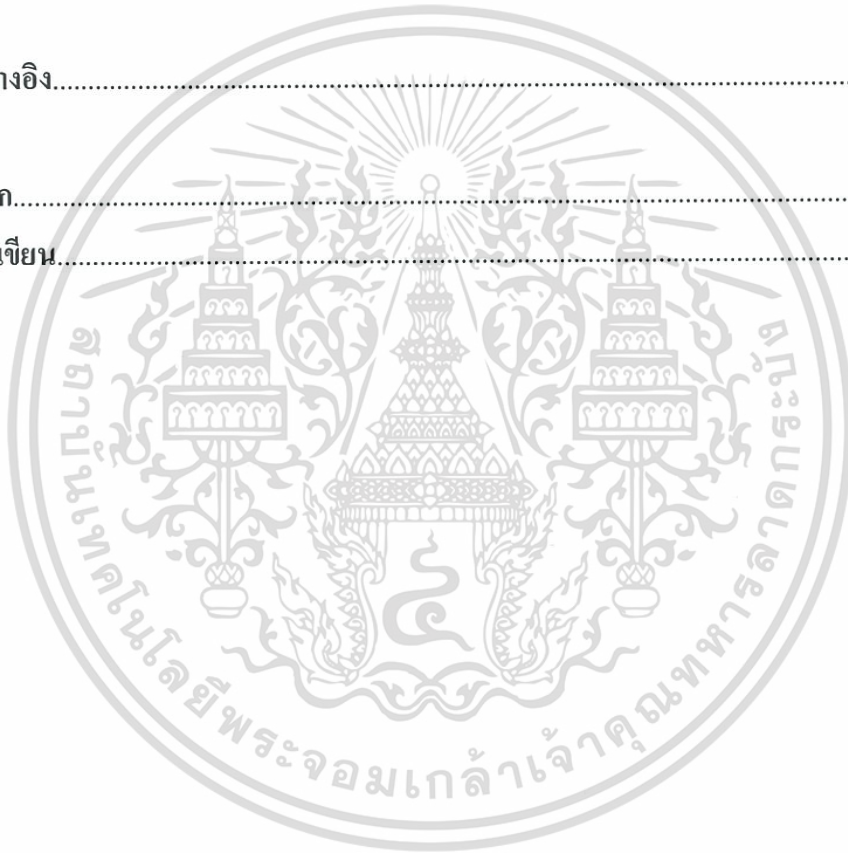
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.5 การดูดซับน้ำ.....	99
4.2.6 ดัชนีการไหล.....	100
4.2.7 สมบัติเชิงกล.....	101
4.2.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อน.....	106
4.2.9 การย่อยสลายโดยการฝังดิน.....	108
4.3 การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่เตรียมได้จากจากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และพอลิเอทิลีนชนิดความ หนาแน่นต่ำ (LDPE) ด้วยโซเดียมอัลจินเตและเส้นใยฝ้าย.....	112
4.3.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR.....	112
4.3.2 XRD.....	115
4.3.3 สัมฐานวิทยา.....	118
4.3.4 การวัดสี.....	120
4.3.5 การดูดซับน้ำ.....	121
4.3.6 ดัชนีการไหล.....	122
4.3.7 สมบัติเชิงกล.....	123
4.3.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อน.....	127
4.3.9 การย่อยสลายโดยการฝังดิน.....	129
4.4 ผลของอะการ์ คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจินเตที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE).....	133
4.4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR.....	133
4.4.2 XRD.....	136
4.4.3 สัมฐานวิทยา.....	138
4.4.4 การวัดสี.....	142
4.4.5 การดูดซับน้ำ.....	143
4.4.6 ดัชนีการไหล.....	145
4.4.7 สมบัติเชิงกล.....	146
4.4.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อน.....	152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัด X อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.9 การย่อยสลายโดยการฝังดิน.....	155
<b>บทที่ 5</b> สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	161
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	161
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	162
<b>เอกสารอ้างอิง</b> .....	163
<b>ภาคผนวก</b> .....	169
<b>ประวัติผู้เขียน</b> .....	185



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	สัญลักษณ์ที่บ่งถึงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพและมาตรฐานรับรองการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	7
2.2	สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน.....	13
2.3	สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลส.....	15
2.4	สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกทิน.....	17
2.5	ลักษณะของแป้งมันสำปะหลัง (มอก. 274-2521).....	22
2.6	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้าย.....	36
3.1	สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกรดชนิด (DNDV-0405 R).....	48
3.2	องค์ประกอบทางเคมีของผงวุ้นทรานานาเงือก.....	48
3.3	สมบัติของแคปปา-คาร์ราจีแนน เกรดอาหาร (Carrageenan KL-805).....	49
3.4	สมบัติของโซเดียมอัลจิเนต เกรดอาหาร (H050912406).....	50
3.5	สมบัติของมาลิกแอนไฮดรายด์กราฟต์พอลิเอทิลีน เกรด การค้า MB 100D.....	50
3.6	อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน, และโซเดียมอัลจิเนต โดยมีมาลิกแอนไฮดรายด์กราฟต์พอลิเอทิลีน เป็นสารช่วยผสม.....	56
3.7	สถานะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป.....	57
4.1	อักษรย่อแทนสูตรพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในการทดลอง.....	62
4.2	หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏเหมือนกันของพอลิเมอร์ผสม.....	63
4.3	เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์เส้นใยฝ้าย โดยใช้เทคนิค XRD.....	70
4.4	ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์และเส้นใยฝ้าย.....	74
4.5	ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์และเส้นใยฝ้าย.....	76
4.6	อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงด้วยอะการ์และเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ.....	84

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
4.7	เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนเส้นใยฝ้าย โดยใช้เทคนิค XRD.....	95
4.8	ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย.....	98
4.9	ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน และเส้นใยฝ้าย.....	100
4.10	อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่าง ๆ.....	107
4.11	เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตเส้นใยฝ้าย โดยใช้เทคนิค XRD .....	117
4.12	ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ TPCS ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย.....	120
4.13	ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย.....	122
4.14	อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ.....	128
4.15	ค่าการวัดสีของLDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยของ อะการ์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10%โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย.....	142
4.16	ค่าดัชนีการไหลของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10%โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย.....	145
4.17	อุณหภูมิการสลายตัว (°C) ของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย.....	154

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างทางเคมีของแป้ง.....	14
2.2	โครงสร้างของอะมิโลส.....	14
2.3	ลักษณะเกลียวของอะมิโลส.....	16
2.4	โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน.....	16
2.5	การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม.....	19
2.6	การเกิดรีโทรเกรเดชัน.....	20
2.7	กลไกการคืนตัวของแป้ง.....	20
2.8	ลักษณะ โครงสร้างของ LDPE.....	25
2.9	โครงสร้างอะคาร์.....	26
2.10	แบบจำลองแสดงการเกิด โครงข่ายเจลของอะกาโรส.....	26
2.11	โครงสร้างของแคปป์า-คาร์ราจีแนน.....	28
2.12	โครงสร้างของไอโอต้า-คาร์ราจีแนน.....	28
2.13	โครงสร้างของแลมด้า-คาร์ราจีแนน.....	28
2.14	กลไกการเกิดเจลของคาร์ราจีแนน.....	29
2.15	โครงสร้างของอัลจินต.....	30
2.16	การประกบกันระหว่างบริเวณพอลิเมอร์ไอออนของ $Ca^{+2}$ อยู่ในซอก ....	31
2.17	โครงสร้างของกลีเซอรอล.....	33
2.18	โครงสร้างของมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิเอทิลีน.....	34
2.19	โครงสร้างหน่วยซ้ำของ Poly (1, 4- $\beta$ -D-anhydroglucopyranose).....	35
2.20	สัณฐานวิทยาของเส้นใยฝ้าย.....	36
2.21	เครื่อง Injection Molding.....	37
3.1	แผนการดำเนินงานในงานวิจัย.....	52
3.2	ลักษณะชิ้นงานคัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ.....	60
4.1	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย อะคาร์ที่ปริมาณต่างๆ.....	64
4.2	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS, LDPE, อะคาร์และ MAPE.....	65
4.3	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS และอะคาร์.....	66

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	อินฟราเรดสเปกตรากของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้าย.....	66
4.5	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS และเส้นใยฝ้าย.....	67
4.6	ดิฟแฟร็กโทแกรมของ LDPE.....	67
4.7	ดิฟแฟร็กโทแกรมของ Titanium dioxide.....	68
4.8	ดิฟแฟร็กโทแกรมของ TPCS เส้นใยฝ้าย และอะคาร์.....	68
4.9	ดิฟแฟร็กโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์.....	69
4.10	สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์เส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า.....	72
4.11	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์.....	75
4.12	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์.....	78
4.13	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้าย.....	80
4.14	ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้าย.....	82
4.15	เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ.....	84
4.16	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้าย ที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์.....	87
4.17	พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ ที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่อะคาร์ 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12 สัปดาห์.....	89
4.18	อินฟราเรดสเปกตรากของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณต่างๆ.....	90

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.19	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS, LDPE, คาร์ราจีแนน และ MAPE...	91
4.20	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS และคาร์ราจีแนน.....	92
4.21	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย.....	92
4.22	ดิฟแฟร็กโทแกรมของคาร์ราจีแนน.....	93
4.23	ดิฟแฟร็กโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย.....	94
4.24	สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 300 เท่า	97
4.25	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย.....	99
4.26	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน.....	101
4.27	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย.....	104
4.28	ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย.....	105
4.29	เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ.....	107
4.30	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย ที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์.....	109
4.31	พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่คาร์ราจีแนน 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12 สัปดาห์.....	111
4.32	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ TPCS ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณต่างๆ.....	112

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.33	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS, LDPE, โซเดียมอัลจิเนต และ MAPE	113
4.34	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS และ โซเดียมอัลจิเนต.....	114
4.35	อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วย โซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย.....	114
4.36	ดิฟแฟรกโทแกรมของโซเดียมอัลจิเนต.....	115
4.37	ดิฟแฟรกโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ TPCS ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย โซเดียมอัลจิเนต.....	116
4.38	สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ TPCS ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย โซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า.....	119
4.39	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ TPCS ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย โซเดียมอัลจิเนต.....	121
4.40	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย โซเดียมอัลจิเนต.....	123
4.41	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย โซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย.....	125
4.42	ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย โซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย.....	126
4.43	เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงด้วย โซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ.....	128
4.44	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย โซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย ที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์.....	130
4.45	พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่ โซเดียมอัลจิเนต 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12 สัปดาห์.....	132
4.46	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยสารก่อเจล.....	133

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.47 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยสารก่อเจลและเส้นใยฝ้าย.....	135
4.48 ดิฟแฟรกโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก .....	136
4.49 ดิฟแฟรกโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย.....	137
4.50 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า.....	150
4.51 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วย อะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า.....	141
4.52 เปรอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยของ อะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก.....	143
4.53 เปรอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยของ อะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนักและเส้นใยฝ้าย.....	144
4.54 สมบัติเชิงกลของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต.....	147
4.55 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย.....	149
4.56 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต.....	150

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.57	ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย.....	151
4.58	เทอร์โมแกรมของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก...	152
4.59	เทอร์โมแกรมของ พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย.....	153
4.60	สมบัติเชิงกลของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนักที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์.....	156
4.61	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์.....	157
4.62	LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนักที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์.....	159
4.63	LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์.....	160

## สัญลักษณ์และคำย่อ

- ASTM วิธีการทดสอบตามมาตรฐานประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials)
- FTIR Fourier transform infrared spectrophotometer
- LDPE Low-density polyethylene
- MAPE Maleic anhydride-graft-polyethylene
- SEM Scanning electron microscope
- TGA Thermogravimetric analyzer
- TPCS Thermoplastic Cassava Starch
- TPS Thermoplastic starch
- XRD X-ray Diffractometer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ <sup>xx</sup>อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ในปัจจุบันพอลิเมอร์เป็นสารที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะพอลิเมอร์สังเคราะห์ในกลุ่มเทอร์โมพลาสติก ซึ่งมีข้อดีที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อสารเคมีต่างๆ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงเป็นที่นิยมนำไปใช้ในการผลิตเป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ มากมาย แต่ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากพอลิเมอร์สังเคราะห์เหล่านี้มีข้อเสีย คือในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีโดยเฉพาะการเผาไหม้ยังก่อให้เกิดการสะสมของมลภาวะ ซึ่งได้ขยายไปในวงกว้างต่อระบบนิเวศน์ของโลก สลายตัวได้ยากเมื่อถูกทิ้งเป็นขยะตกค้างจะตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน ยากต่อการกำจัดเนื่องจากเมื่อเผาจะก่อให้เกิดควันที่เป็นแก๊สพิษ และหากนำไปฝังกลบแต่เนื่องจากมีปริมาณมากทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ ใช้เวลาย่อยสลายเป็นร้อยปี และยังทำให้ดินบริเวณนั้นเสื่อมสภาพไม่สามารถเพาะปลูกได้ นอกจากนี้การทิ้งขยะพลาสติกโดยขาดการจัดการที่ดีอาจก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมาได้ เช่น เกิดน้ำท่วมเนื่องจากขยะพลาสติกไปอุดตันตามท่อระบายน้ำ เป็นที่สะสมของเชื้อโรคและแบคทีเรียต่างๆ เป็นต้น

จากปัญหาขยะพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีมากขึ้นและการที่ปิโตรเลียมซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิต พอลิเมอร์สังเคราะห์มีแนวโน้มจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดและมีราคาสูง ดังนั้นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) จึงเป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตพลาสติกทดแทนปิโตรเลียม พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพใช้วัตถุดิบที่ผลิตมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (Petroleum-based biodegradable plastics) และจากวัตถุดิบมวลชีวภาพ (Bio-based biodegradable plastics) ซึ่งปัจจุบันเป็นพลาสติกที่ได้รับความสนใจมากเนื่องจากผลิตจากพืช หรือวัตถุดิบที่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ (Renewable resources) สามารถถูกย่อยสลายจากการกระทำของจุลินทรีย์ในสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น ในดิน บ่อฝังกลบขยะ บ่อบำบัดน้ำเสีย แหล่งน้ำจืดหรือในทะเล

สำหรับประเทศไทย ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ด้านชีวมวล (Biomass) และมีวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการพัฒนาสู่อุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ ได้แก่ มันสำปะหลัง และอ้อย โดยมันสำปะหลังเป็นพืชที่ทำรายได้กับประเทศไทยเป็นจำนวนมาก ในปี พ.ศ. 2551 ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมีมูลค่าการส่งออกสูงเป็นอันดับ 3 ในกลุ่มผลิตผลทางการเกษตร รองจากยางพารา และข้าว โดยมีมูลค่าการส่งออก 47,765.08 ล้านบาท และมีสัดส่วน GDP ในภาคการเกษตรเท่ากับร้อยละ 1.8 ประเทศไทยสามารถผลิตมันสำปะหลังได้มากเป็นอันดับ 3 ของโลก รองจากไนจีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และบราซิล และเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยครองส่วนแบ่งการตลาดสูงถึงร้อยละ 70 ในตลาดโลกมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยเป็นอย่างมาก เพราะเป็นพืชที่เกี่ยวพันกับวิถีชีวิตทางเศรษฐกิจของประชาชนชาวไทยจำนวนมากมาช้านาน เกษตรกรมากกว่า 480,000 ครัวเรือนเป็นเกษตรกรผู้ผลิตมันสำปะหลัง ซึ่งกระจายตัวอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย ยกเว้นภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภาคที่มีการเพาะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดในประเทศโดยมีแหล่งเพาะปลูกหลักอยู่ที่จังหวัดนครราชสีมา (ผลิตมันสำปะหลังได้มากถึงร้อยละ 25 ของผลผลิตทั้งประเทศ) [1]

พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นพลาสติกที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรม แต่เนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายได้ เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงและไม่มีขั้ว ทำให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จึงทนทานต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ทำให้พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ ดังนั้นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้พอลิเอทิลีนสามารถเกิดการย่อยสลายได้ง่ายขึ้น อาจทำได้โดยการผสมส่วนที่เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติลงไปในพอลิเอทิลีน เช่น แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด เป็นต้น อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ได้จากวิธีนี้จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ 100% จุลินทรีย์จะย่อยแป้งที่กระจายอยู่ทั่วพลาสติก เกิดรูพรุน ส่วนที่เป็นพอลิเอทิลีนจะถูกทำลายต่อไปด้วยแรงกล และเนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ปลูกมากในประเทศไทย ทำให้มีราคาถูก และสามารถหาทดแทนใหม่ได้ (Renewable) ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) และนิยมนำมาใช้ในรูปของเทอร์โมพลาสติกสตาρχ (Thermoplastic starch, TPS) ซึ่งเป็นหนึ่งในพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ และการพัฒนาแป้งให้สามารถใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหาร เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยขยายตลาดและขอบเขตการใช้ประโยชน์ของแป้ง รวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งอีกด้วย

อะการ์ (Agar), คาร์ราจีแนน (Carrageenan) และ โซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายทะเล เป็นสารก่อเจล (Gelling agent) มีความยืดหยุ่นสูง และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ โดยมีงานวิจัยของ Y. Wu และคณะ [2] พบว่าการเตรียมฟิล์มเชิงประกอบจากแป้งมันฝรั่ง (Potato starch) และวุ้น ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ แป้งและวุ้นเข้ากันได้และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล การผสมวุ้นลงไปช่วยให้ฟิล์มมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และช่วยปรับปรุงการซึมผ่านไอน้ำให้ดีขึ้นอีกด้วย งานวิจัยของ D. Lafargue และคณะ [3] พบว่าการเติมแคปไซซินลงในฟิล์มแป้งมันฝรั่ง ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแคปไซซินเพิ่มขึ้น แต่ค่าการยึดตัวของฟิล์มแป้งลดลง และงานวิจัยของ A. Cordoba และคณะ [4] พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาρχจากแป้งข้าวโพด ที่มีการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาρχด้วยอัลจิเนต ทำให้มีคุณสมบัติและความแข็งแรงของเทอร์โมพลาสติกสตาρχลดลงเมื่อปริมาณของอัลจิเนตเพิ่มขึ้น แต่ทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ฅ จุดขาดและความต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิดมาเป็นสารตัวเติมในเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดิมในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ จึงคาดว่าจะช่วยให้พอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวและแข็งแรงมากยิ่งขึ้น

การปรับปรุงสมบัติของพอลิเอทิลีนหรือเทอร์โมพลาสติกสตา์ชอีกวิธีหนึ่ง คือ การเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ป่าน ปอ และเซลลูโลส เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วเส้นใยธรรมชาติมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารเสริมแรงเนื่องจากมีความแข็งแรงสูงและมีความหนาแน่นต่ำ และยังสามารถใช้แทนเส้นใยแก้วที่ใช้อยู่ทั่วไป นอกจากนี้เส้นใยธรรมชาติยังสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกเส้นใยฝ้ายมาช่วยในการเสริมแรง เนื่องจากฝ้ายเป็นเส้นใยที่นิยมนามากที่สุดในกลุ่มเส้นใยเซลลูโลส มีอัตราการผลิตและการใช้งานสูง และจากงานวิจัยของคารินทร์ โพธิ์ศรี และคณะ [5] พบว่าการเติมเส้นใยฝ้ายและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำลงในเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งถั่วเขียว ทำให้สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชเพิ่มขึ้น

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมและการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตา์ช (Thermoplastic starch, TPS) ที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) โดยมีกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นพลาสติกไซเซอร์ นำมาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-density polyethylene, LDPE) โดยมีสารช่วยผสมชนิดมาลิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride-graft-polyethylene, MAPE) และสารให้สีไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้และขึ้นรูปได้โดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) เพื่อที่จะสามารถนำพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวไปทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้ และสามารถนำมาพัฒนาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น จานรองแก้ว ถาด ถ้วย ช้อน และช้อนส้อม เป็นต้น และศึกษาถึงการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมโดยการเติมอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต เนื่องจากอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติมีโครงสร้างคล้ายแป้ง และศึกษาถึงการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมโดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งคาดว่าชิ้นงานที่เตรียมได้จะสามารถทำการย่อยสลายได้ง่ายกว่าพอลิเมอร์สังเคราะห์ และมีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับพอลิเมอร์สังเคราะห์

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้บางส่วนจากพอลิเมอร์ผสมเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์
2. เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีการปรับปรุงด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซเดียมอัลจิเนต ทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่สามารถย่อยสลายได้ ที่มีความเหนียวและแข็งแรงมากยิ่งขึ้น

3. เพื่อปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมในหัวข้อที่ 2. มาปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติเชิงกลมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์
2. ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกย่อยสลายได้ โดยการใช้ อะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต ที่ปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10% โดยน้ำหนัก
3. ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้เส้นใยฝ้าย (Cotton fibers)
4. ทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ ลักษณะวิทยา สมบัติทางความร้อน การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน การดูดซับน้ำ และสมบัติการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ที่เตรียมได้

### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเตรียมพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้บางส่วนจากแป้งมันสำปะหลังผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ให้มีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ใช้งานอยู่ทั่วไป
2. ช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบันและอนาคตที่เกิดจากการย่อยสลายได้ยากของพอลิเมอร์ที่มีการใช้งานในปัจจุบันได้
3. เพื่อแปรรูปแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีราคาถูก ให้มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงขึ้น

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 พลาสติกย่อยสลายได้ [6]

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ (Degradable plastic) หมายถึง พลาสติกที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้เฉพาะก่อให้เกิดการสูญเสียสมบัติบางประการที่สามารถวัดได้ โดยใช้วิธีการทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับพลาสติกและการใช้งานในช่วงเวลาหนึ่ง ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้ในการระบุชนิดและประเภทของวัสดุย่อยสลายได้ โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกได้เป็น 5 ประเภท คือ

1. พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยแสง (Photodegradable plastic) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง เกิดการแตกพันธะง่ายภายใต้รังสียูวี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะหรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่งขึ้นพลาสติกที่มีการฉาบด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2. การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติก ทำให้ชิ้นพลาสติกแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (รีไซเคิล)

3. พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางเคมีโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidatively degradable plastic) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจนและความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดการแตกพันธะและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว

4. พลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytically degradable plastic)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิเอโนไฮดรายด์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นจำเป็นต้องขอขานานการค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิคาร์บอเนตและพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกพันธะของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลน์ (Alkaline metal) ด่าง (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสถานะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

5. พลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน ขั้นแรกจะเป็นการย่อยสลายให้โมเลกุลแตกออก เรียกว่าขั้น Depolymerization จะเกิดภายนอกสิ่งมีชีวิต (ปกติจะเป็นแบคทีเรียหรือรา) เนื่องจากขนาดและสมบัติที่ไม่ละลายของพอลิเมอร์ จุลินทรีย์จะจับเอนไซม์ออกมาซึ่งจะตัดพอลิเมอร์ทั้งแบบ Endo (ตัดพันธะแบบลุ่ม) และแบบ Exo (ตัดพันธะจากมอนอเมอร์ปลายสุดก่อนอย่างมีลำดับ) จนได้สารประกอบที่เล็กลง จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นที่สอง คือ Mineralization สารประกอบที่ได้จากการย่อยจากขั้นแรกจะเข้าสู่เซลล์ จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปแบบ ATP แก๊สต่างๆ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) แก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) แก๊สไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) น้ำ เกลือต่างๆ และชีวมวล (Biomass) ปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นแบบทั่วไปของกระบวนการย่อยสลาย แต่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลาย จุลินทรีย์และสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น มีหลายกรณีที่ขั้นแรกสามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ได้ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้แก่ ออกซิเจน ความชื้นและอุณหภูมิ

## 2.2 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ [7]

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีคำจำกัดความตามมาตรฐาน DIN 103.2 ว่าการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ของวัสดุพลาสติก (Biodegradation of a plastic material) คือ กระบวนการที่พลาสติกถูกเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ วัสดุพลาสติกจะได้ชื่อว่าเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์นั้น สารประกอบอินทรีย์ทั้งหมดต้องถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์มากกว่า





ร้อยละ 90 โดยที่สภาพแวดล้อม และอัตราการย่อยสลายจะถูกกำหนดในการทดสอบตามมาตรฐาน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การใช้เอนไซม์ การใช้จุลินทรีย์ หรือการหมักเพื่อให้เกิดการย่อยสลาย (Composting) เป็นต้น

สำหรับคำว่า Biodegradation (หรือการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ) ย่อมาจาก Biotic degradation ในมาตรฐานต่างๆ มีคำจำกัดความที่ใช้พื้นฐานแนวคิดเดียวกัน คือ เป็นการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีต่อชิ้นวัสดุ เป็นผลให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์หรือแก๊สมีเทนและน้ำ

นอกจากนี้ยังมีสัญลักษณ์ที่บ่งถึงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพและมาตรฐานรับรองการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์ที่บ่งถึงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพและมาตรฐานรับรองการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [8]

สัญลักษณ์	สถาบันรับรอง/ประเทศ	มาตรฐานรับรอง
	AIB-Vincotte International (AVI) เบลเยียม	ผลิตภัณฑ์ต้องผ่าน สมบัติตาม มาตรฐาน EN 13432:2000
	DIN CERTCO เยอรมนี	ผลิตภัณฑ์ต้องผ่าน สมบัติตาม มาตรฐาน ASTM 6400, DIN หรือ EN 13432
	BPI (Biodegradable Product Institute) สหรัฐอเมริกา	ผลิตภัณฑ์ต้องผ่าน สมบัติตาม มาตรฐาน ASTM 6400 หรือ ASTM 6868
	PBS (Biodegradable Plastics Society) ญี่ปุ่น	ผลิตภัณฑ์ต้องผ่าน สมบัติตาม มาตรฐาน OECD301C, JIS K 6950 (ISO 14851), JIS K6951 (ISO 14852) หรือ JIS K 6953 (ISO 14855)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีการศึกษาทั้งหมด 3 กลุ่มใหญ่ๆ ตามวัตถุประสงค์ที่  
ใช้ ได้แก่

1. กลุ่มพอลิเมอร์ชีวภาพที่ผลิตจากพืช เช่น แป้ง และเซลลูโลส เป็นต้น
2. กลุ่มพอลิเมอร์ที่ผลิตได้โดยการเพาะเลี้ยงเซลล์ของจุลินทรีย์ เช่น พอลิเบตาไฮดรอกซีบิว  
ทิเรต (Poly- $\beta$ -Hydroxybuturate) และพอลิแลคเตต (Polylactate) เป็นต้น
3. กลุ่มพอลิเมอร์จากการตัดแปรพอลิเมอร์ธรรมชาติ โดยส่วนใหญ่เป็นพลาสติกที่ผลิตจาก  
แป้ง (Starch based polymer) ที่มีการผสมสารเติมแต่งอื่นๆ เช่น กลีเซอรอล

### 2.2.1 ลักษณะของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [7, 9-11]

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นพลาสติกที่สามารถถูกจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียหรือ  
เชื้อราใช้เอนไซม์ที่มีความจำเพาะเจาะจงเปลี่ยนสภาพของพลาสติกให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้แก่  
สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) กรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) แกลีคาร์บอนด์  
ออกไซด์ และน้ำ ภายหลังจากย่อยสลายโดยจุลินทรีย์พลาสติกจะต้องมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า  
500 หน่วยซ้ำ ซึ่งโครงสร้าง ส่วนใหญ่ที่จุลินทรีย์ได้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ตรง  
เช่น พอลิเอสเทอร์ชนิดสายโซ่ตรง (Aliphatic polyester) เป็นต้น จากการศึกษาการย่อยสลายของ  
พอลิเมอร์ธรรมชาติโดยจุลินทรีย์ เช่น โปรตีน เซลลูโลส และแป้ง เป็นต้น พบว่าการย่อยสลายเริ่ม  
จากจุลินทรีย์จะใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ทำให้เกิด  
ออกซิเดชัน (Oxidation) ภายในสายโซ่พอลิเมอร์เกิดอนุมูลอิสระจนทำให้เกิดการย่อยสลายเมื่อ  
สิ้นสุดปฏิกิริยา โดยทั่วไปพอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ มี  
ความต้านทานจุลินทรีย์ได้ดี แต่สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ เมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ  
500 หน่วยซ้ำ ซึ่งสามารถวัดอัตราการสลายตัวได้ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared  
spectroscopy) โดยตรวจวัดปริมาณหมู่คาร์บอนิลที่มีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งเมื่อจุลินทรีย์ปล่อยเอนไซม์  
เข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเอทิลีน พบว่าปริมาณหมู่คาร์บอนิลมีแนวโน้มลดลง แสดงว่าการเข้าทำ  
ปฏิกิริยาของจุลินทรีย์จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วจึงเกิดการย่อยสลาย โดยการสลายตัว  
ทางชีวภาพของพลาสติกมีทั้งหมด 3 ลักษณะ ดังนี้

1. พลาสติกไม่ได้สลายตัวเนื่องจากจุลินทรีย์โดยตรง แต่ถูกจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลาย  
สารเติมแต่งในส่วนอื่นๆ ทำให้เหลือพลาสติกอยู่ในสภาพโครงสร้างรูพรุนและต่อไปจะสลาย  
กลายเป็นผงละเอียด
2. การสลายตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเอง  
(Autooxidation) ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลง เพื่อให้จุลินทรีย์สลายตัวต่อ  
เปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การสลายตัวเนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยตรง นั่นคือจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกประเภทนั้นโดยตรง เช่น พอลิคาร์โพรแลคโตน (Polycaprolactone) และพอลิไฮดรอกซีบิวทีเรตไกลิเคต (Poly hydroxybutyrate garlate) เป็นต้น

## 2.2.2 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย [12]

### 2.2.2.1 การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ของจุลินทรีย์ จะได้พอลิเมอร์คาร์บอนที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ (Soluble) ในรูปจุลินทรีย์ (Microbial) และในสถานะแก๊ส ซึ่งสามารถคำนวณพอลิเมอร์ทั้งหมดที่ถูกย่อยสลายได้จากการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในสถานะดังกล่าว ปริมาณคาร์บอนสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ใช้การคำนวณหาหน้าหนักแห่ง สมมูลมวลของคาร์บอนที่ถูกย่อยสลายสามารถแสดงได้ดังนี้

$$C_d = C_g + C_s + C_m$$

เมื่อ  $C_d$  คือ คาร์บอนที่ถูกย่อยสลาย

$C_g$  คือ คาร์บอนในสถานะแก๊ส

$C_s$  คือ คาร์บอนที่ละลายได้

$C_m$  คือ คาร์บอนในรูปจุลินทรีย์

ดังนั้นร้อยละการย่อยสลายได้ของพอลิเมอร์ (%f) สามารถคำนวณได้จาก

$$\%f = \frac{C_d}{C_i} \times 100$$

เมื่อ  $C_i$  คือ คาร์บอนเริ่มต้นในพอลิเมอร์ก่อนการย่อยสลาย

### 2.2.2.2 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทำให้เกิดการสูญเสียมวลหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุ (Mineralization) ดังนั้นการวิเคราะห์ถึงน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่หายไป จะทำให้ทราบถึงระดับการถูกย่อยสลายของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ โดยพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งในปริมาณสูง จะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของแป้งปริมาณต่ำ นอกจากนี้วัสดุที่ประกอบด้วยพอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนัก

โมเลกุลสูงจะไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ แต่พอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถถูกย่อยสลายได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน

### 2.2.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์

(ก) การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope)

เมื่อสังเกตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้งที่ฝังดินเป็นเวลา 6 เดือนก่อนที่จะล้าง นำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง จะพบเส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่บนพอลิเมอร์ และเมื่อนำมาล้างและสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง จะพบรูเล็กๆในพอลิเมอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งจากพอลิเมอร์ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

(ข) การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

SEM ใช้ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กำลังขยายที่สูงมาก โดยจะได้ภาพในลักษณะสามมิติ ซึ่งจะพบว่าพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งที่ฝังไว้ในดินมีสีที่เปลี่ยนแปลงไปและมีขนาดเล็กลง เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในส่วนที่เป็นแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่าขึ้น พอลิเมอร์มีจุดดำและเป็นทางสีขาว ซึ่งแสดงว่าแป้งถูกย่อยสลายเหลือเพียงส่วนของพอลิเอทิลีน นอกจากนี้การใช้ SEM ที่มีกำลังขยายสูงยังสามารถแสดงถึงการสร้างโคโลนิของจุลินทรีย์บนพอลิเมอร์ เมื่อนำพอลิเมอร์ที่ฝังดินไว้ 6 เดือนมาตรวจปริมาณไนโตรเจน พบว่าปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 0.06% เป็น 0.16% มาจากกรดอะมิโนของจุลินทรีย์ที่ตายอยู่บนพอลิเมอร์ นั่นคือ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและสร้างโคโลนิบนพอลิเมอร์ และย่อยสลายส่วนที่เป็นแป้งบนพอลิเมอร์ โดยจะย่อยสลายพอลิเอทิลีนเพียงเล็กน้อยหรือไม่ย่อยสลายเลย

### 2.2.2.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด

สเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด (Infrared spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะทางเคมีของวัสดุพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาส่วนแสงอินฟราเรดของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในพอลิเมอร์ จะทำให้เกิดการดูดซับความยาวคลื่นในช่วงดังกล่าวที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุลหรือกลุ่มอะตอมในโมเลกุล ความหนาแน่นของการดูดซับและความยาวคลื่นจะทำให้เกิดแถบสเปกตรัม ซึ่งมีลักษณะของแถบที่เฉพาะตัว ไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทั้งหมดของพอลิเมอร์

สเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่หายไปในช่วงการย่อยสลายพอลิเมอร์ นอกจากนี้ขณะที่จุลินทรีย์ย่อยสลายแป้งจะเกิดรูขึ้นที่บริเวณพื้นผิวพอลิเมอร์ที่รูเหล่านี้จะมีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากสเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด

### 2.2.2.5 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 ใช้ศึกษาการย่อยสลายแป้งในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง โดยใช้วิเคราะห์ปริมาณแป้งก่อนและหลังการย่อยสลาย

### 2.2.2.6 การทดสอบโดยการฝังดิน

การทดสอบจะต้องตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20 x 50 ตารางมิลลิเมตรหลายๆ ตัวอย่าง ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อครบกำหนดทุกเดือนให้ขุดตัวอย่างออกมา การทดลองใช้เวลาประมาณ 7 เดือน การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดิน ทำการเปรียบเทียบเศษวัสดุที่เหลือเมื่อเวลาต่างๆ

## 2.3 พอลิเมอร์ผสม [13]

ในอดีตมีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่เพื่อตอบสนองการนำไปใช้ประโยชน์เฉพาะทาง แต่ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้เริ่มมีการนำพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่มีอยู่มาทำการผสมแทนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ และเป็นที่รู้จักกันในชื่อของพอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) ซึ่งหมายถึงการนำพอลิเมอร์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกันทั้งนี้มีประโยชน์หลายประการด้วยกัน คือ

- หลีกเลี่ยงปัญหาของความยุ่งยากจากการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่
- ไม่ต้องลงทุนผลิตพอลิเมอร์ใหม่เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เฉพาะทาง
- สามารถนำพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเด่นแต่ละชนิดมาผสมกัน เช่น การทำพอลิเมอร์ผสมของ

เทอร์โมพลาสติกสตาเรชซึ่งมีความเปราะและมีความทนทานแรงกระแทกได้สูงกับอิลาสโตเมอร์ซึ่งไม่เปราะแต่มีความแข็งต่ำ (Stiffness) เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ใหม่ที่มีสมบัติรวมของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม ซึ่งจะแตกต่างจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักที่นำมาผสมกัน โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาวะในการผสม สมบัติการไหล ลักษณะวิทยา ซึ่งมีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้และการนำไปใช้งานของพอลิเมอร์ผสมตามต้องการ

### 2.3.1 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1 พอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียว (Miscible blend) หมายถึงพอลิเมอร์ที่นำมาผสมมีค่าบ่งชี้ความสามารถในการละลาย (Solubility parameter,  $\delta$ ) ใกล้เคียงกันเป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียว

2. พอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียว (Immiscible blend) สามารถอธิบายได้จากสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์

$$\Delta G_{\text{mix}} = \Delta H_{\text{mix}} - T\Delta S_{\text{mix}}$$

เมื่อ  $\Delta G$  คือ พลังงานอิสระกิบส์

$\Delta H$  คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในการผสม

$\Delta S$  คือ การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสม

$T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์

เนื่องจากพอลิเมอร์ส่วนมากเป็น โมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นสาเหตุทำให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสมต่ำ ส่วนค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในการผสมมักมีค่าเป็นบวก ดังนั้นทำให้ค่าพลังงานอิสระกิบส์ของพอลิเมอร์ผสมมีค่ามากกว่าศูนย์ เป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียว หรือกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์ที่นำมาผสมนั้นมีค่าบ่งชี้ความสามารถในการละลาย ( $\delta$ ) ต่างกันมาก เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียว สามารถแบ่งได้เป็น 2 ภูมิภาค คือพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของพอลิเมอร์ผสม เรียกว่า ภูมิภาคหลัก (Matrix phase) ส่วนพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบส่วนน้อยซึ่งมักจะกระจายตัวอยู่ในภูมิภาคหลัก เรียกว่า ภูมิภาคกระจาย (Dispersed phase) โดยสามารถวิเคราะห์ลักษณะวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

## 2.4 แป้ง [12]

“แป้ง” ในการผลิตนั้นหมายถึง คาร์โบไฮเดรต ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาว์ (Flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด (Corn flour) แป้งสาลี (Wheat flour) ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง เช่นเดียวกับแป้งข้าวเจ้า (Rice flour) ที่ยังมีโปรตีน 7 ถึง 8 % แต่เมื่อมีสิ่งเจือปน อันหมายถึง โปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ จึงเรียกว่าเป็นสตาร์ช (Starch) เช่น Corn starch และ Wheat starch เป็นต้น

### 2.4.1 องค์ประกอบภายในแป้ง [12]

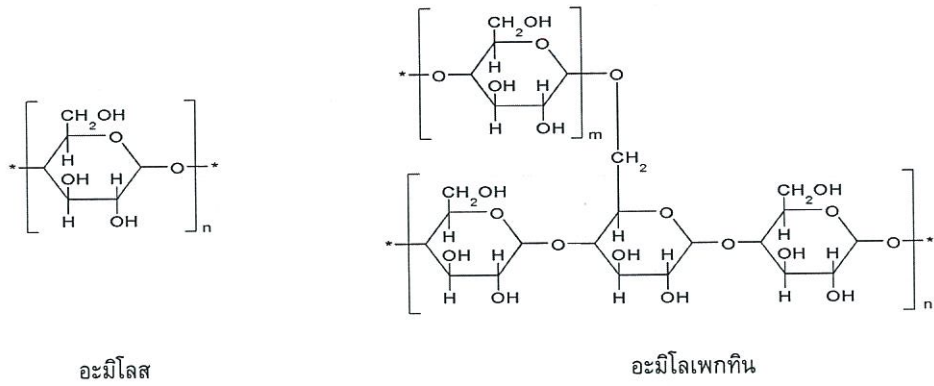
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย Anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ Glucosidic ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde group) เรียกว่า Reducing end group แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพกทิน) วางตัวในแนวรัศมี แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของ อะมิโลสและอะมิโลเพกทินแตกต่างกัน (ดังตารางที่ 2.2) ทำให้สมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน

ตารางที่ 2.2 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน [12]

สมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพกทิน
1. ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคสเกาะเป็นกิ่งก้าน
2. พันธะที่จับ	$\alpha - 1, 4$	$\alpha - 1, 4$ และ $\alpha - 1, 6$
3. ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
4. การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
5. การทำปฏิกิริยากับ ไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
6. การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับ ตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้งดังรูปที่ 2.1 ได้แก่

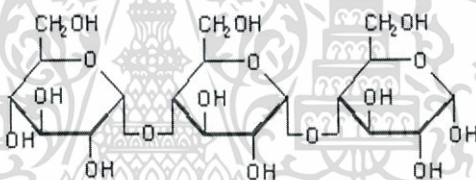
1. อะมิโลส (Amylose)
2. อะมิโลเพกทิน (Amylopectin)
3. สารตัวกลาง (Intermediate material)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง [12]

### 1. อะมิโลส

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1,4 ( $\alpha-1,4$ ) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอะมิโลส [12]

อะมิโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลปริมาณมากทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) สามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ โมเลกุลมีลักษณะเป็นเส้นตรง

แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะมิโลสสูงประมาณ 28% แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาकु มีปริมาณอะมิโลสต่ำประมาณ 20% Waxy starch ไม่มีอะมิโลสเลย และแป้งจาก Amylomaize มีอะมิโลสสูงมากถึง 80% น้ำหนักโมเลกุลของอะมิโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 คาลตัน (Da) ซึ่งอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป ในแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าในแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี แป้งแต่ละชนิดมี Degree of polymerization (DP) ของอะมิโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะมิโลสอยู่ในช่วง 1000 ถึง 6000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะมิโลสในช่วง 200 ถึง 1200 แป้งที่มีโมเลกุลของอะมิโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรดชัน (Retrogradation) ลดลง ในธรรมชาติอะมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลสของแป้งหลายๆ ชนิดดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลส [12]

แหล่งแป้ง	ปริมาณ อะมิโลส (%)	$\beta$ - 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					
- อินดิคา		73	1,000	4.0	250	49
- จาโปนิก		81	1,100	3.4	320	31
แป้งมัน	17	75	2,600	7.6	340	42
ลำปะหลัง						
แป้งมันฝรั่ง	21	80	4,900	9.5	240	

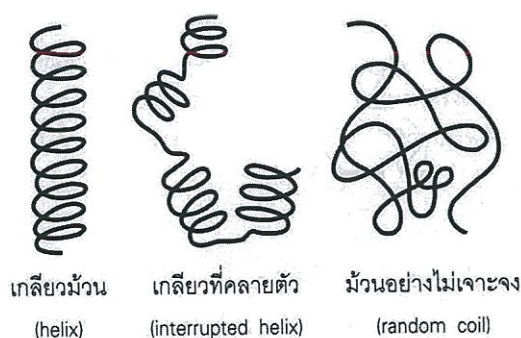
หมายเหตุ :  $\beta$ -amylolysis = %การย่อยแป้งโดย  $\beta$ -amylase

DP = Degree of polymerization

NC = Number of chain

CL = Chain length

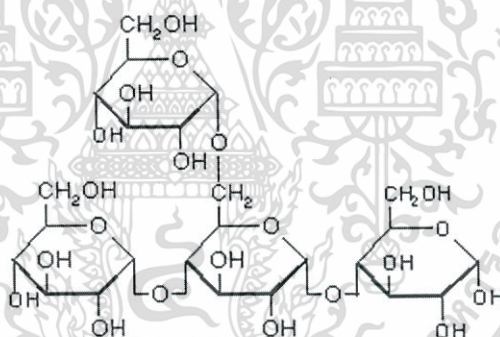
ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธะของแป้ง อะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพกทิน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (Amorphous) และส่วนผลึก (Crystalline) การศึกษาการเกิดเจลาทีนซ์ของแป้งมันฝรั่ง พบอะมิโลสในส่วนรอบนอกของเม็ดแป้งมากกว่าที่จะอยู่ในส่วนใจกลางเม็ดแป้ง อะมิโลสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะพบเป็นเกลียวคู่กับอะมิโลเพกทินอยู่ใจกลางเม็ดแป้ง สำหรับอะมิโลสขนาดโมเลกุลเล็กจะพบอยู่ตามขอบเม็ดโครงสร้างของอะมิโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (Helix) เกลียวที่คล้ายตัว (Interrupted helix) หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (Random coil) ดังรูปที่ 2.3 ในสารละลายที่อุณหภูมิห้องอะมิโลสอยู่ในลักษณะที่เป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คล้ายตัว แต่ในตัวทำละลายบางชนิดอะมิโลสจะอยู่ในลักษณะม้วนอย่างไม่เจาะจง นอกจากนี้โครงสร้างของอะมิโลสยังขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลด้วย อะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 6,500 ถึง 160,000 จะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ (Double helix) ที่แข็ง ส่วนอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 หรือมากกว่า 160,000 จะมีโมเลกุลเป็นม้วนอย่างไม่เจาะจง และอาจมีบางส่วนละลายได้



รูปที่ 2.3 ลักษณะเกลียวของอะมิโลส [12]

## 2. อะมิโลเพกทิน

อะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก  $\alpha-1, 4$  และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีขนาดโมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด  $\alpha-1, 6$  ดังรูปที่ 2.4 สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกทินจากแป้งชนิดต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน [12]

หน่วยกลูโคสที่มีกลูโคซิดิกชนิด  $\alpha-1, 6$  มีอยู่ประมาณ 5 % ของปริมาณกลูโคสในอะมิโลเพกทินทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของอะมิโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะมิโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส คือ ประมาณ  $10^7$  ถึง  $10^9$  ดาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะมิโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกทิน [12]

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

### 3. สารตัวกลาง

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิด องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะมิโลเพกทินแต่ใหญ่กว่าอะมิโลส และสารตัวกลางนี้มีโครงสร้างเป็นลักษณะเชิงกิ่งเช่นเดียวกับอะมิโลเพกทิน แต่จะมีกิ่งที่ยาวกว่า ปริมาณหรือสัดส่วนของอะมิโลส อะมิโลเพกทิน และสารตัวกลางในเมล็ดแป้งไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับสภาพการเพาะปลูก เช่น เวลาในการเพาะปลูกและปริมาณน้ำระหว่างการเพาะปลูก เป็นต้น

### 4. ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเมล็ดแป้ง

ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเมล็ดแป้ง แบ่งออกเป็น

1. ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particulate material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลาย และผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง
2. ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเมล็ดแป้ง (Surface material) ซึ่งสามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเมล็ดแป้ง
3. ส่วนที่ติดอยู่ภายในเมล็ดแป้ง (Internal components) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเมล็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง
4. ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเมล็ดแป้งที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด

## 2.4.2 โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง [12]

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

## 2.4.3 สมบัติของแป้ง [12]

### 2.4.3.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

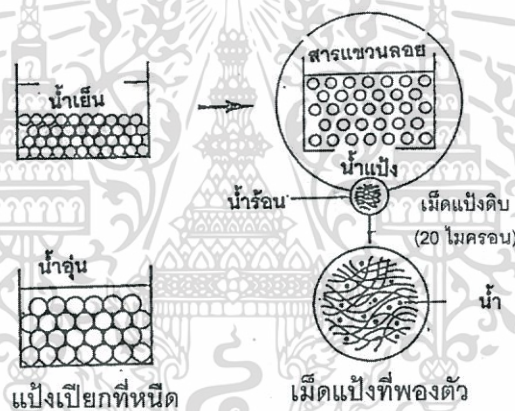
เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10 ถึง 17 %

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก (Crystal water) น้ำในรูปที่ไม่อิสระ (Bond water) และน้ำในรูปอิสระ (Free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้น 8 ถึง 10 % สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้งจะได้สูตรโมโนไฮเดรต  $[n(C_6H_{10}O_5) \cdot H_2O]$

แป้งดิบจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาทีไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเจลาทีไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัวทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มมากขึ้น สมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (Birefringence) ในเม็ดแป้งจะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง รูปแบบในการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป

### 2.4.3.2 การเกิดเจลาทีโนเซชัน

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (Micelles) ดังนั้นการจัดเรียงตัวในลักษณะนี้จะทำให้แป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผลสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาทีโนเซชัน (Gelatinization) อุณหภูมิเริ่มเจลาทีโนเซชัน มักจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม [12]

### 2.4.3.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาทีโนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัว (Setback) ดังรูปที่ 2.6 เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมา นอกเจล ซึ่งเรียกว่า Syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคืนตัวของแป้งเปียกและสารละลายแป้งทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่นและทึบแสง เกิดขึ้นส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกที่ร้อน เกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจลและโมเลกุลน้ำถูกบีบออกมาจากเจล ในการคืนตัวของแป้งเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น

การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดอะมิโลส อะมิโลเพคติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในแป้งในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดี ในช่วง pH 5-7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง ในการชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก แคลเซียมไนเตรท และยูเรีย กลไกการคืนตัวของแป้งแสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 การเกิดรีโทรเกรเดชัน [12]



รูปที่ 2.7 กลไกการคืนตัวของแป้ง [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.4 แป้งในรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช [12]

ในธรรมชาติโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินมีการจัดเรียงตัวกัน โดยมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างผลึกที่ค่อนข้างแข็งแรงอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งมีคุณสมบัติการหลอมตัวที่สูงมาก โดยปกติอุณหภูมิการหลอมตัวของเม็ดแป้งสูงกว่าอุณหภูมิการสลายตัว ทำให้แป้งไม่สามารถหลอมตัวได้ นั่นคือ ถ้าได้รับความร้อนสูง (มากกว่า 265 องศาเซลเซียส) แป้งจะเกิดการเผาไหม้ก่อนการหลอมตัว

**เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch )** หมายถึง วัสดุที่สามารถหลอมตัวและนำไปขึ้นรูปเป็นแบบต่างๆ ได้ โดยการใช้ความร้อนและความดัน จากสมบัติของแป้งที่กล่าวข้างต้น จะเห็นว่าโดยธรรมชาติแล้ว แป้งไม่มีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกเลย ซึ่งเราสามารถทำให้แป้งมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกได้โดยการใช้สารเติมแต่ง (Additive) คือ พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) ช่วยทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของอะมิโลส และอะมิโลเพกทินเป็นอิสระมากขึ้น ดังนั้นเราจึงนำแป้งมาขึ้นรูปเป็นแผ่น หรือขึ้นรูปเป็นรูปแบบต่างๆ ได้ พลาสติกที่ผลิตได้โดยวิธีนี้จึงเรียกว่า เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch ,TPS)

#### 2.5 มันสำปะหลัง [1]

มันสำปะหลัง (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Manihot esculenta* Crantz) มีชื่อสามัญเรียกได้หลายชื่อแตกต่างกันตามท้องถิ่นและภาษาที่ใช้ ในภาษาอังกฤษ เรียกว่า Cassava หรือ Tapioca แต่โดยทั่วไปคำว่า Tapioca มักจะใช้แทนผลิตภัณฑ์ที่ทำจากมันสำปะหลัง ในภาษาสเปน โดยประเทศแถบอเมริกาใต้ และอเมริกากลาง เรียกว่า Yuca ในภาษาโปรตุเกส โดยประเทศบราซิล เรียกว่า Mandioca และในภาษาฝรั่งเศส โดยประเทศทวีปแอฟริกาที่ใช้ภาษาฝรั่งเศสเป็นภาษาพูด เรียกว่า Manioc มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกา ต่อมาได้มีการขยายการเพาะปลูกไปสู่แหล่งอื่นๆ จนทำให้มันสำปะหลังกลายเป็นพืชอาหาร (พืชที่ให้คาร์โบไฮเดรตสูง) ที่สำคัญเป็นอันดับ 5 ของโลก รองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง สำหรับประเทศไทย คาดว่าได้มีการนำมันสำปะหลังจากประเทศมาเลเซียเข้ามาปลูกในไทยเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2329 โดยเริ่มปลูกเพื่อใช้ทำแป้งและสาकुในภาคใต้ ในระหว่างแถวของต้นยางพารา ต่อมาเมื่อมีการขยายการเพาะปลูกยางพาราในเขตภาคใต้มากขึ้น การปลูกมันสำปะหลังในภาคใต้จึงค่อยๆ ลดลง และแพร่กระจายการเพาะปลูกไปยังเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากขึ้น จนกระทั่ง ปัจจุบันพบว่าไม่มีการเพาะปลูกมันสำปะหลังในภาคใต้แล้ว

มันสำปะหลังเป็นพืชเขตร้อน สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการปลูก คือ เขตร้อนช่วงบริเวณเส้นรุ้งที่ 30 องศาเหนือ ถึง 30 องศาใต้ และที่ความสูงระดับน้ำทะเลจนถึง 2,000 เมตรจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับน้ำทะเลสามารถเจริญเติบโตได้ในดินทุกชนิด แต่ชอบดินร่วนปนทรายเพราะจะลงหัวง่าย สภาพอากาศที่เหมาะสมคือที่ระดับอุณหภูมิ 10-35 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมโดยเฉลี่ยต้องไม่ต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ประเทศไทยมีสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังมากแห่งหนึ่งของโลก ข้อดีของมันสำปะหลังคือ เป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนแล้ง ได้ดีกว่าพืชอื่นๆ ต้องการการดูแลต่ำ มีโรคและศัตรูพืชรบกวนน้อย และสามารถปลูกได้ผลแม้จะปลูกในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินไม่เพียงพอ จึงทำให้เกษตรกรนิยมปลูกมันสำปะหลังกันมาก พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ พันธุ์ที่ใช้ประดับ พันธุ์ที่ใช้บริโภคเป็นอาหารโดยตรง (พันธุ์หวาน) และพันธุ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปต่างๆ (พันธุ์ขม)

### 2.5.1 สมบัติของแป้ง [14]

แป้งมันสำปะหลังมีสมบัติพิเศษ คือ มีความขาวมันวาว เมื่อผสมน้ำและให้ความร้อนจะเหนียวเป็นกาวใส กล่าวได้ว่าแป้งไทยขาวใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสี เหมาะสมมากเมื่อนำมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะในอาหารจะไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม ตลาดได้เลือกแป้งมันสำปะหลังประเภทสตาร์ช ชั้นพิเศษ เป็นสินค้ามาตรฐานในการซื้อขายเนื่องจาก เป็นประเภทที่ผลิตกันอยู่ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรม โดยมีคุณภาพตามมาตรฐานสินค้าแป้งมันสำปะหลังในประกาศของกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 4 โดยมีลักษณะแสดงตามตารางที่ 2.5 ดังนี้

ตารางที่ 2.5 ลักษณะของแป้งมันสำปะหลัง (มอก. 274-2521) [14]

ข้อกำหนด	สมบัติขั้นต่ำ
ปริมาณแป้ง	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก
ความชื้น	ไม่เกินร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก
เถ้า	ไม่เกินร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก
เยื่อ	ไม่เกิน 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อน้ำหนักแป้ง 50 กรัม
ความเป็นกรด-ด่าง	ตั้งแต่ 4.5 - 7.0
ส่วนของแป้งที่สามารถผ่านตะแกรง ขนาด 15 ไมโครเมตร	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก

หมายเหตุ : คำนวณจากน้ำหนักแห้งเป็นร้อยละ

## 2.5.2 ชนิดของแป้งมันสำปะหลัง

- แป้งมันสำปะหลังดิบ (Native starch) คือ แป้งที่เกิดจากการแปรรูปหัวมันสำปะหลังขั้นต้นโดยไม่มีการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงร่วมในการผลิต เช่น การนำหัวมันมาบดให้เป็นแป้ง แป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้จะมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว และมีความบริสุทธิ์สูง มีสิ่งปนเปื้อนต่ำ โดยจะมีปริมาณแป้ง (Starch) อยู่มากกว่าร้อยละ 95 และมีปริมาณโปรตีนและไขมัน รวมถึงฟอสฟอรัส ก่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ และเมื่อได้รับความร้อนจะมีความหนืดสูง ทำให้ได้แป้งเปียกที่ใส ไม่ทึบแสง และมีอัตราการคืนตัวต่ำ (Retrogradation)

- แป้งมันสำปะหลังแปรรูป (Modified Starch) คือ แป้งที่ได้จากการนำแป้งดิบไปผ่านกระบวนการปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางโมเลกุลเพื่อให้มีสมบัติเฉพาะ เช่น สมบัติทางด้านความเหนียว สำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท แป้งแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้แป้งมันสำปะหลังดิบเพราะมีราคาสูงกว่าแป้งดิบกว่าเท่าตัว

## 2.6 พลาสติก (Plastic) [15]

พลาสติกสังเคราะห์ คือ สารสังเคราะห์ (Synthetic materials) ที่มนุษย์คิดขึ้นมา ประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและคลอรีน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ลักษณะอ่อนตัวขณะทำการผลิต ซึ่งโดยมากใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยความร้อนหรือแรงอัดหรือทั้งสองอย่าง

พลาสติกมีสมบัติทางโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า High molecular weight คือ ในหนึ่งโมเลกุลมีจำนวนอะตอมมากกว่าสารชนิดอื่น จึงทำให้มีสมบัติดังนี้ คือ

1. สมบัติทางกายภาพ มีความแข็งแรง เหนียว ยืดหยุ่น ฯลฯ
2. สมบัติทางไฟฟ้า เป็นฉนวนไฟฟ้า
3. สมบัติทางเคมี ทนกรด ด่าง และสารเคมีอื่นๆ

พลาสติกแบ่งเป็น 2 ประเภท โดยอาศัยลักษณะของพลาสติกเมื่อถูกความร้อน

1. เทอร์โมเซตติง (Thermosetting หรือ TS) คือ พลาสติกที่มีรูปทรงถาวรเมื่อผ่านการผลิตโดยการใช้ความร้อนและแรงอัด จะนำไปหลอมละลายอีกไม่ได้ ชนิดของพลาสติกใน เมลามีนฟออร์มาดีไฮด์ (Melamine formaldehyde), ฟีนอลฟออร์มาดีไฮด์ (Phenol-formaldehyde), อีพ็อกซี (Epoxy) และยูรีเทน (Urethane) เป็นต้น

2. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics หรือ TP) คือพลาสติกที่เมื่อได้รับความร้อนแล้วสามารถเปลี่ยนรูปได้และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลังจากนำไปหล่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ เทอร์โมเซตติงพลาสติก ได้แก่ กระจกเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE), พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP), พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) และพอลิไวนิล

เอคสารคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) เป็นต้น การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.1 พอลิเอทิลีน [16]

พอลิเอทิลีน (Polyethylene หรือ Polythene) เป็นพอลิเมอร์ที่รู้จักกันมากที่สุด มีการกล่าวถึงและมีปริมาณการใช้มากที่สุด ในบรรดาเทอร์โมพลาสติกทั้งหมด การผลิตพอลิเอทิลีน ทำได้โดยใช้เทคนิคพอลิเมอไรเซชันหลายเทคนิค ได้ผลิตภัณฑ์หลายรูปแบบตั้งแต่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งมีลักษณะเป็นไข จนมีน้ำหนักโมเลกุล และระดับการเป็นผลึกสูง พอลิเอทิลีนมีหลายชนิด เช่น พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low-density polyethylene, LDPE), พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High-density polyethylene, HDPE), และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low-density polyethylene, LLDPE)

### 2.6.1.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low-density polyethylene, LDPE) [16]

พอลิเอทิลีน ที่มีการขายในเชิงพาณิชย์เป็นชนิดแรก ในปี ค.ศ. 1939 โดย Reginald Gibson และ Eric Fawcett แห่งบริษัท Imperial Chemical Industries (ICI) ในประเทศอังกฤษ มีระดับการเป็นผลึกต่ำ ผลิตโดยใช้เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ (Free-radical bulk polymerization) โดยใช้ออกซิเจนหรือเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาจะเกิดภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง กล่าวคือความดันในช่วง 1000-3000 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 250-300 °C การเตรียม LDPE สามารถทำแบบต่อเนื่องในปฏิกรณ์ที่เป็นระบบท่อ (Tubular reactor) หรือเตรียมแบบแบทช์ในปฏิกรณ์ที่เป็นถัง (Batch reactor)

ภายใต้สภาวะการผลิตที่มีอุณหภูมิและความดันสูงจะทำให้เกิดสาขาโซ่ (Side chains branching) จำนวนมากบนโมเลกุล LDPE ซึ่งสาขาโซ่เป็นแบบสาขาโซ่สั้น (Short-chains branching, SCB) และสาขาโซ่ยาว (Long-chains branching, LCB) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งโมเลกุลประกอบด้วยสาขาโซ่สั้น ที่มีอะตอมคาร์บอน 2 อะตอม (C2 หรือ Ethyl side group) และสาขาโซ่สั้นที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอน 4 อะตอม (C4 หรือ Butyl side group) ประมาณ 15 หมู่ต่อจำนวนอะตอมคาร์บอนบนสายโพลีหลัก 1,000 อะตอม ซึ่งในจำนวนอะตอมคาร์บอนที่เท่ากันนี้จะมีสาขาโซ่ยาวประมาณ 3 ถึง 4 สาขาโซ่เท่านั้น ส่วนโมเลกุลของ LDPE จะไม่มีส่วนที่ไม่เป็นสาขาโซ่ ซึ่งสามารถจะจัดเรียงตัวกันแน่นเกิดเป็นส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline region) แต่ผลของการมีหมู่สาขาโซ่จำนวนมาก ทำให้โมเลกุล LDPE ไม่สามารถจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบได้มากนัก ส่งผลให้ LDPE มีสมบัติ ดังนี้

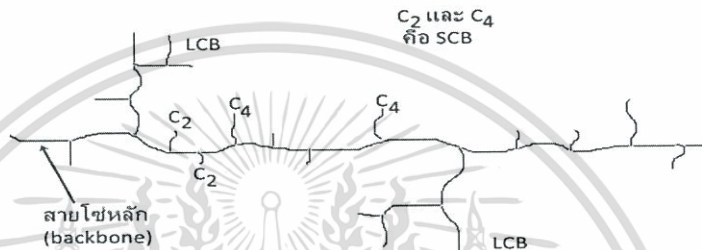
1. มีองศาของการเกิดผลึก (Degree of crystallinity) ต่ำ ประมาณ 50-70%
2. มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ (110-115°C)
3. มีความหนาแน่นต่ำ (โดยทั่วไป 0.91-0.93 g/cm<sup>3</sup>)

ลักษณะเฉพาะของ LDPE คือ ชิ้นงานที่ผลิตได้ค่อนข้างนิ่ม และมัน ค่อนข้างทึบแสง ถ้าค่อยๆ เฝายจะไม่มีควัน ให้เปลวไฟสีเหลือง มีกลิ่นไขมัน มักจะมีหยดไฟขนาดเล็กตก ทนต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเฉพาะ LDPE ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงกล่าวได้ว่า LDPE มีการทนทานต่อการแตกหักเนื่องจากความเค้น (Environmental stress cracking resistance, ESCR) ต่ำ มีสมบัติการเป็นฉนวนที่ดีเยี่ยม โดยเฉพาะสถานะที่เป็นโฟม

การประยุกต์ใช้งาน LDPE ประมาณ 3 ใน 4 ของ LDPE ที่ผลิตทั้งหมด ใช้ในการผลิตฟิล์มและแผ่นพลาสติก ซึ่งใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะผลิตถุงหิ้ว และถุงชนิดอื่นๆ ส่วนที่เหลือจะใช้เป็นฉนวนหุ้มสายไฟ ใช้ในการเคลือบผิว และผลิตชิ้นงานจากการฉีดเข้าเบ้า และท่อจากการอัดรีด เป็นต้น



รูปที่ 2.8 ลักษณะโครงสร้างของ LDPE [16]

## 2.7 อะการ์ [17]

อะการ์ (Agar หรือที่มักจะเรียกว่า วุ้น) เป็นกาวแลกแทนหรือพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งสกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง วงศ์ Rhodophyceae ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างของเซลล์สาหร่ายที่ใช้สกัดอะการ์ที่สำคัญได้แก่ สกุล Gelidium และ Gracilaria อะการ์ละลายได้ในน้ำร้อน (มากกว่า 90°C)

อะการ์ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. อะกาแรน (Agaran) หรือ อะกาโรส (Agarose) เป็นส่วนที่เป็นเจลได้ดี
2. อะกาโรเพกทิน (Agaropectin) ส่วนนี้ไม่สามารถเป็นเจลได้

การผลิตอะการ์จะมีส่วนที่ช่วยแยกเอาอะกาโรเพกทินออกจากอะกาแรนได้บ้าง อะกาแรนมีโครงสร้างคล้ายแคปปา (Kappa, K) และไอโอด้า (Iota, I) คาร์ราจีแนน ข้อแตกต่างคือน้ำตาลหน่วยที่สองของอะกาโรไบโอส (Agarobiose) เป็นโครงแบบ L และมีหมู่ซัลเฟตน้อยมาก (รูปที่ 2.9) หน่วยซ้ำในอะกาแรนเป็นอะกาโรไบโอสหรือ  $\beta$ -D-กาแลกโทไพแรโนซิด และ 3, 6-แอนไฮโดร- $\alpha$ -L-กาแลกโทไพแรโนซิด จับสลับกันด้วยพันธะ  $1 \rightarrow 3$  และ  $1 \rightarrow 4$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



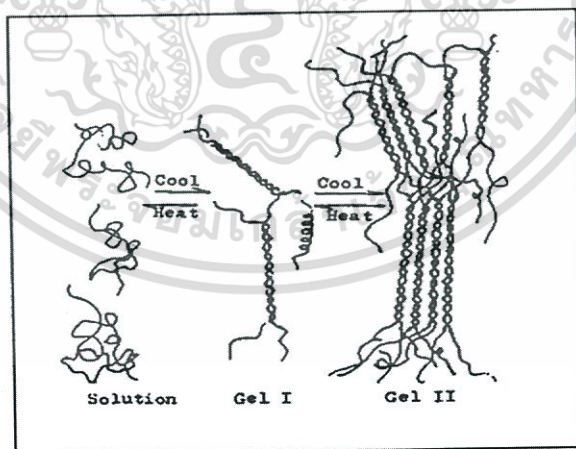
รูปที่ 2.9 โครงสร้างอะการ์ (Agarobiose) [17]

### การเกิดเจล

อะการ์เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดเจลได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง คือ เป็นเจลได้ที่แม้ความเข้มข้น 1% (ปกติใช้ในช่วง 0.5 – 2.0%) เมื่อได้รับความร้อนสูงกว่าจุดหลอมเหลวของเจล (มากกว่าหรือเท่ากับ 85°C) อะการ์จะละลาย และเมื่อเย็นตัวลง (มากกว่า 45°C) จะเกิดเจลที่ทึบแสง มีลักษณะแข็งเกร็งและเกิดซินเนอริซิสได้

การเกิดเจลของอะการ์ไม่จำเป็นต้องมีไอออนประจุบวกเหมือนแคปปา (Kappa, K) และไอโอดา (Iota, K) คาร์ราจีแนน อาศัยเพียงการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่

กลไกการเกิดเจลพบว่าจะคล้ายคาร์ราจีแนน เมื่อร้อนโมเลกุลจะอยู่ในรูปขดอย่างไม่เจาะจง และเมื่ออุณหภูมิลดลงอะกาโรสจะเป็นเกลียวชนิดวนซ้าย และมีการรวมตัวสร้างเป็นเกลียวคู่ระหว่างอะกาโรสสองสาย แล้วจึงมีการรวมกลุ่มระหว่างเกลียวคู่หลายๆ คู่ เป็นขอบเขตรอยต่อต่างๆ จนเกิดเป็นโครงข่ายที่อยู่ตัวมีน้ำแทรกตัวอยู่ภายใน (รูปที่ 2.10)



รูปที่ 2.10 แบบจำลองแสดงการเกิดโครงข่ายเจลของอะกาโรส [18]

เจลจากอะการ์เป็นชนิดผันกลับได้ด้วยความร้อนจึงสามารถหลอมละลายด้วยความร้อน (85 – 90 °C) และกลับเป็นเจลอีกเมื่ออุณหภูมิลดลง (น้อยกว่า 45 °C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

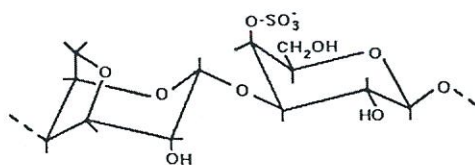
เจลที่เกิดจากอะการ์มีลักษณะเนื้อแข็ง ใส เปราะ แตกง่าย และเกิดการแยกตัวของน้ำ (Syneresis) ระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากในการเก็บรักษาจะเกิดการรวมตัวกันของเกลียวคู่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการหดตัวของร่างแหพอลิเมอร์ ซึ่งมีผลในการลดช่องว่างที่ใช้สำหรับกักเก็บน้ำ การแยกตัวของน้ำจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาอะการ์ที่มีเอสเทอร์ซัลเฟตในโครงสร้างสูงจะทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำน้อย และเมื่อให้แรงกดดันกับเจลจะทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำมาก ถ้าความเข้มข้นของอะการ์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เจลที่ได้เกิดการแยกตัวของน้ำน้อยลง การเติมน้ำตาลไรโบสและพอลิออล จะมีผลทำให้อุณหภูมิในการหลอมเหลวและการเกิดเจลต่ำลง ในขณะที่น้ำตาลชนิดอื่นจะทำให้อุณหภูมิจากการหลอมเหลวและการเกิดเจลสูงขึ้น เนื่องจากการเกิดการเชื่อมโยง (Cross-linkage) เพิ่มขึ้นโดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล ในน้ำตาลและอะการ์ และการเติมน้ำตาลเดกซ์ทริน หรือผสมกับไลค์สตีป็นกัมมีผลทำให้เจลมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดการแยกตัวของน้ำลงได้ แต่ถ้าเติมสตาร์ชหรือไซเดียมอัลจินเตจะทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลง

โดยส่วนมากนิยมใช้อะการ์เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนม ขนมหอยเชลล์ ขนมหอยคิง ใส้พาย Meringues ขนมหวาน ขนมหอยเคี้ยว และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เป็นต้น และพบว่าอะการ์สามารถช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัส และความคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภทชีสและนมหมัก รวมทั้งยังนำไปใช้ในกระบวนการทำให้ใสของไวน์ น้ำผลไม้ และน้ำส้มสายชู

## 2.8 คาร์ราจีแนน [19]

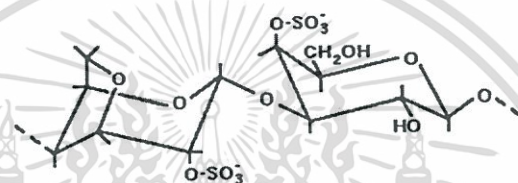
คาร์ราจีแนน (Carrageenan) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ซัลเฟตที่สกัดจากสาหร่ายทะเลสีแดง แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ แคปปา (Kappa, K) ไอโอตา (Iota, I) และแลมดา (Lambda,  $\lambda$ ) คาร์ราจีแนนทั้ง 3 ชนิด มีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลกาแลคโตสที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยกรดซัลฟูริกที่ตำแหน่งและระดับแตกต่างกัน ดังนี้

แคปปา-คาร์ราจีแนน สกัดจาก *Eucheuma cottonii* โครงสร้างประกอบไปด้วย 1,3-linked  $\alpha$ -D-galactose-4-sulfate และ 1,4-linked 3,6-anhydro- $\beta$ -D-galactose (รูปที่ 2.11) ซึ่งในโมเลกุลของ 3,6-anhydro-D-galactose คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยหมู่ซัลเฟตประมาณ 20-30% และบางส่วนของ 1,4 linked อาจเป็น Galactose-6-sulfate แทน 3,6-anhydro-D-galactose แคปปา-คาร์ราจีแนนมีความไวต่อโพแทสเซียมและสามารถตกตะกอนแยกออกมาจากคาร์ราจีแนนชนิดอื่นได้โดยใช้โพแทสเซียมคลอไรด์



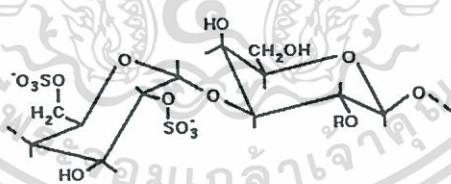
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของแคปปา-คาร์ราจีแนน [19]

ไอโอตา-คาร์ราจีแนน สกัดจาก *Eucheuma spinosum* โครงสร้างประกอบด้วย 1,3-linked  $\alpha$ -D-galactose-4-sulfate และ 1,4-linked 3,6-anhydro- $\beta$ -D-galactose-2-sulfate (รูปที่ 2.12) ไอโอด้า-คาร์ราจีแนนมีความไวต่อแคลเซียม



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของไอโอตา-คาร์ราจีแนน [19]

แลมดา-คาร์ราจีแนน ประกอบด้วย 1,3-linked  $\alpha$ -D-galactose-2-sulfate และ 1,4-linked  $\beta$ -D-galactose-2,6-disulfate (รูปที่ 2.13)

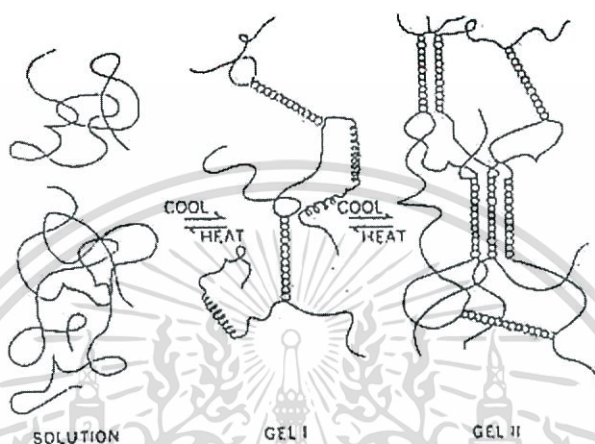


รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแลมดา-คาร์ราจีแนน [19]

### การเกิดเจล

สมบัติของคาร์ราจีแนนจะขึ้นอยู่กับประจุลบของหมู่ซัลเฟตที่อยู่ในโมเลกุลเป็นสำคัญและยังแตกต่างกันในคาร์ราจีแนนแต่ละชนิดอีกด้วย คาร์ราจีแนนละลายได้ดีและมีความคงตัวที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7 ความคงตัวจะลดลง คาร์ราจีแนนสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนได้ คาร์ราจีแนนทุกชนิดละลายในน้ำร้อน สำหรับแคปปา และไอโอตา-คาร์ราจีแนน เมื่ออยู่ในสารละลายขณะร้อน สายโซ่จะอยู่ในรูปเกลียวม้วนอย่างไม่เจาะจง แต่เมื่อเย็นตัวลงความหนืดจะเพิ่มขึ้นและเกิดเป็นเจลได้ที่  $40-60^{\circ}\text{C}$  เพราะบางช่วงของสายโซ่กาแล็กโทสเป็นเอ็กสาร์นเป็นเอ็กสาร์นที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทน สามารถไถ่กันและสร้างเป็นเกลียวคู่ (รูปที่ 2.14 GEL 1) แต่บางช่วงในโครงสร้างสามารถขวางการเป็นเกลียวคู่ เพราะมีกาแลกโทส-6-ซัลเฟต แทนที่หน่วยน้ำตาล 3,6-แอนไฮโดร เกลียวคู่ที่เกิดขึ้นสามารถรวมกลุ่มสามารถสร้างเป็นเขตรอยต่อ (Junction zones) (GEL 2) ช่วยยึดรวมโครงสร้างไว้ ทำให้เกิดก้อนเจลในที่สุด



รูปที่ 2.14 กลไกการเกิดเจลของคาร์ราจีแนน [20]

เจลที่เตรียมจากคาร์ราจีแนนมีคุณสมบัติเปลี่ยนกลับไปมาได้ด้วยความร้อน (Thermoreversible gel) และสามารถเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนได้ โดยแคลป้า-คาร์ราจีแนนให้เจลที่มีลักษณะเปราะ แตกง่าย และเกิดการแยกตัวของน้ำ การแยกตัวของน้ำจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นผลมาจากร่างแหพอลิเมอร์ในโครงสร้าง 3 มิติ ของเจลหดตัวเข้าไถ่กันมากขึ้นทำให้น้ำที่อยู่ในร่างแหถูกบีบออกมาด้านนอกของเจล พบว่าเมื่อผสมโลคัสต์บีนกัมกับแคลป้า-คาร์ราจีแนนจะช่วยลดการแยกตัวของน้ำของเจลลงได้ และการใช้บูรุ่มกับ แคลป้า-คาร์ราจีแนนจะช่วยให้เจลที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นมากกว่าการใช้แคลป้า-คาร์ราจีแนนเพียงอย่างเดียว และไอโอดา-คาร์ราจีแนนให้เจลที่มีความยืดหยุ่นและไม่เกิดการแยกตัวของน้ำ สำหรับแลมดา-คาร์ราจีแนนไม่มีสมบัติในการเกิดเจล

การเติมโลหะไอออนจะมีผลต่อการเกิดเจล เช่น แคลป้า-คาร์ราจีแนน เมื่อเติมโปแตสเซียมไอออนจะเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่น แต่ถ้าเติมแคลเซียมไอออนจะเกิดเจลที่มีเนื้อแข็งทำให้เกิดรูปทรงได้ง่าย ซึ่งตรงกันข้ามกับไอโอดา-คาร์ราจีแนน เมื่อเติมแคลเซียมไอออนจะเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่น เป็นต้น

การผสมคาร์ราจีแนนชนิดแคลป้าและไอโอดาเข้าด้วยกันทำให้มีสมบัติในการเกิดเจลได้ดีขึ้น เจลที่ได้จะมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น และเกิดการแยกตัวของน้ำน้อยลง ในทางการค้าได้มีการผสม

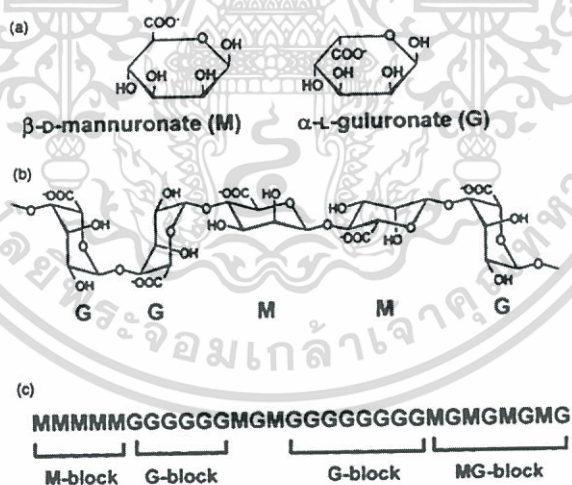
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์ราจีแนนทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน ทำให้สมบัติในการทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลดีขึ้นและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด

## 2.9 แอลจีเนต [17]

แอลจีเนต (Alginate) หรือแอลจินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างในผนังเซลล์สาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Brownalgae) โดยอยู่ในรูปสารประกอบเกลือผสมของ แคลเซียม แมกนีเซียม และ โพแทสเซียม ของกรดแอลจินิก (Alginic acid) ซึ่งไม่ละลายน้ำ มีโมเลกุลใหญ่ มีน้ำหนักโมเลกุล 20,00 – 600,000 โครงสร้างเป็น โมเลกุลสายโซ่ยาว ประกอบด้วย  $\beta$ -D-แมนนูโรนิก (D-Mannuronic acid) และกรด  $\alpha$ -L-กลูโรนิก (D-Guluronic acid) อยู่ในสายโซ่เดียวกัน แต่รูปแบบที่พบอยู่ในลักษณะของบล็อก 3 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2.15

1. บล็อกที่ประกอบด้วย กรด D-แมนนูโรนิก (M)
2. บล็อกที่ประกอบด้วย กรด L-กลูโรนิก (G) และ
3. บล็อกที่สลับกันระหว่าง กรด D-แมนนูโรนิก และ กรด L-กลูโรนิก (MG)



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของอัลจีเนต [17]

หน่วยมอนอเมอร์ กรด  $\beta$ -D-แมนนูโรนิก (M) จะอยู่ในลักษณะโครงสร้างแบบเก้าอี้  ${}^4C_1$  และการจับต่อกันระหว่างมอนอเมอร์ในบล็อก-M จะเป็นพันธะ  $\beta$ -1,4 ไกลโคซิดิก

หน่วยมอนอเมอร์กรด  $\alpha$ -L-กลูโรนิก (G) จะอยู่ในลักษณะโครงสร้างแบบเก้าอี้  ${}^4C_1$  และจับต่อกันระหว่างมอนอเมอร์ในบล็อก-G ด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4 ไกลโคซิดิก

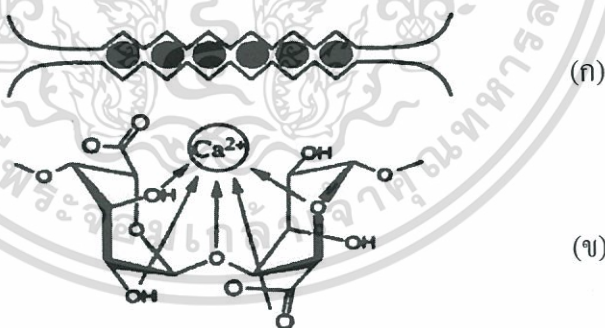
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสายโมเลกุลของแอลจินที่เป็นบล็อกรวม -G มีลักษณะโครงสร้างแบบริบบิ้นที่ถูกพับให้คงรูป มีความแข็งแรง แต่ในส่วนบล็อกรวม -M จะเป็นลักษณะโครงสร้างแบบริบบิ้นราบ (Flat) มีการบิดงอได้ง่ายกว่าบล็อกรวม -G และในส่วนบล็อกรวม -MG จะมีความแข็งแรงปานกลาง

ปริมาณของบล็อกรวมเหล่านี้แตกต่างกันไป ระหว่างสาหร่ายจากทะเลจากแต่ละแหล่งและชนิดจึงทำให้สมบัติของแอลจินแตกต่างกันไป สาหร่ายทะเลสีน้ำตาลที่ใช้สกัดแอลจินได้มีหลายชนิดเช่น *Macrocystis pyrifera*, *Laminaria digitata* และ *Laminaria hyperborea* เป็นต้น แอลจินที่สกัดขายจะอยู่ในรูปของเกลือแอลจินเนต เช่น โซเดียมแอลจินเนตและโพแทสเซียมแอลจินเนต ซึ่งละลายน้ำได้

#### การเกิดเจล

ความสำคัญของแอลจินต่ออุตสาหกรรมอาหารคือเมื่อใช้ในปริมาณน้อย (0.5 – 1.0%) และมีไอออนของแคลเซียมอยู่ด้วย สามารถเป็นเจลที่มีความกรอบและแน่น และเจลจะเกิดที่อุณหภูมิห้องและเป็นเจลคงทนต่อความร้อน การเกิดเจลได้จะขึ้นกับบล็อกรวม -G ในสายโซ่ของแอลจิน ถ้าความยาวของบล็อกรวม -G มีขนาดเหมาะสม บล็อกรวม -G ของสายโซ่แอลจินหนึ่งจะประกบกับบล็อกรวม -G ของอีกสายโซ่หนึ่ง โดยมีไอออนของ  $Ca^{+2}$  เป็นตัวเชื่อมยึดระหว่างสาย (รูปที่ 2.16) ลักษณะคล้ายกล่องวางไข่ที่จับวางซ้อนกัน ทำให้เกิดเป็นขอบเขตรอยต่อที่เชื่อมโครงข่ายไว้และมีน้ำอยู่ ถ้าภายในโครงสร้างแอลจินที่มีปริมาณของกรด  $\alpha$ -L-กลูโคโนิก (G) สูงและมีขนาดบล็อกรวม -G ที่เหมาะสมจะเกิดเจลที่มีความแข็งแรง (Strength) สูง



รูปที่ 2.16 การประกบกันระหว่างบริเวณพอลิกลูโคโนโรเนต โดยมีไอออนของ  $Ca^{+2}$  อยู่ในซอก (ก) แบบผังแสดงสายโซ่ 2 สายที่มีโครงสร้างแบบริบบิ้นพับ โดยมี O แทน  $Ca^{+2}$  และ (จ) รายละเอียดโครงสร้างที่แสดงถึงโคออร์ดิเนชันระหว่าง  $Ca^{+2}$  กับหนึ่งสายโซ่ [17]

ถ้าไม่มีไอออนของ  $Ca^{+2}$  ในสารละลายจะไม่มีเกิดเจล ตัวแอลจินจะทำหน้าที่เป็นเพียงสารช่วยเพิ่มความหนืดให้สารละลายเท่านั้น

ไอออนชนิดประจุบวก (แคตไอออน) ที่มักใช้สำหรับเตรียมเจลจากแอลจินคือ  $Ca^{+2}$  วิธีผสม  $Ca^{+2}$  ลงไปในสารละลายแอลจิน จะมีผลต่อลักษณะเจลที่ได้ ถ้าผสมเร็วเกินไปเจลที่ได้จะไม่เือกสารเป็นเอกลักษณ์ที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะเกิดเจลเป็นจุด (Spot gelation) ขึ้นและเจลที่เกิดจากแอลจินเป็นเจลที่ผันกลับไม่ได้เมื่อให้ความร้อน (Thermoirreversible) นั่นคือทนต่อความร้อน (ไม่ละลาย) แอลจินสามารถใช้ได้ในอาหารหลายชนิด เช่น เจลและไส้พายผลไม้ เป็นต้น

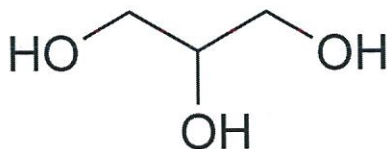
## 2.10 พลาสติไซเซชันและพลาสติไซเซอร์ [21]

พลาสติไซเซชัน (Plasticization) หมายถึง กรรมวิธีหรือกระบวนการที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติก ซึ่งอาจทำได้โดยการให้ความร้อนหรือการใส่พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) โดยพลาสติไซเซอร์จะไปลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทำให้พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากขึ้นเป็นผลให้พอลิเมอร์อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างได้ง่ายขึ้น ซึ่งกระบวนการผสมพลาสติไซเซอร์เข้าไปในพอลิเมอร์โดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างพลาสติไซเซอร์และพอลิเมอร์เรียกว่า พลาสติไซเซชันภายนอก (External plasticization) และเรียกพลาสติไซเซอร์ที่ผสมลงไปว่า พลาสติไซเซอร์ภายนอก (External plasticizer) ซึ่งพลาสติไซเซอร์ชนิดนี้จะช่วยให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติกโดยอำนาจการทำลาย

ข้อดีของพลาสติไซเซอร์ภายนอก คือ สามารถทำให้พอลิเมอร์มีความอ่อนตัวน้อยหรือมากตามความต้องการในการใช้งานได้โดยการปรับชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ที่ใส่ลงไป แต่มีจุดด้อย คือ พลาสติไซเซอร์ที่ใส่อาจถูกสกัดออกจากพอลิเมอร์ได้

เมื่อพลาสติไซเซอร์ถูกเติมลงในโครงสร้างพอลิเมอร์แล้วทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนหรือการจับกลุ่มของโมเลกุล เนื่องจากพลาสติไซเซอร์ไปจับยึดกับพอลิเมอร์ด้วยพันธะโคเวเลนต์ทุติยภูมิ (Secondary covalent) ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้เคียงกันอ่อนลง เกิดโครงสร้างที่อ่อนตัว ส่วนพลาสติไซเซอร์ภายใน เป็นสารที่เติมลงไปแล้วทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมในการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) สมบัติของพลาสติไซเซอร์ที่ดีต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ที่ใช้ โดยมีแรงระหว่างโมเลกุลของสารทั้งสองคล้ายคลึงกัน มีจุดเดือดสูง ระเหยยาก ละลายในตัวทำละลายที่ใช้ได้ดี นอกจากนี้ไม่ควรมีสี กลิ่น รส ไม่เป็นพิษ และไม่ติดไฟ ถ้าใช้พลาสติไซเซอร์ที่มีสมบัติเหมาะสมจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการแยกตัวระหว่างการทำผลิตภัณฑ์ให้แห้ง พลาสติกที่ได้จะมีลักษณะทางกายภาพที่ดี สามารถคงทนความยืดหยุ่นตลอดอายุการใช้งาน พลาสติไซเซอร์ที่นำมาใช้กับพลาสติกจากแป้งมีหลายประเภท ได้แก่ มอนอโดและโอลิแซ็กคาไรด์ พอลิอลและลิพิด หรืออนุพันธ์ของลิพิดพอลิอล (Polyols) กลีเซอรอล (Glycerol) หรือกลีเซอริน (Glycerine) เป็นพอลิอลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มีสูตรโครงสร้าง  $C_3H_8O_3$  มีน้ำหนักโมเลกุล 92 เป็นผลพลอยได้จากการผลิตสบู่และกรดไขมัน มีสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืด มีรสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาล สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีมาก เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีพอสมควร ความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง โครงสร้างโมเลกุลแสดงดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของกลีเซอรอล [22]

## 2.11 สารช่วยผสม (Compatibilizer) [23]

จากการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่เป็นแบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวจึงเป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมมีข้อบกพร่องดังนี้

- มีสมบัติการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างวัสดุภาคที่ไม่ดี
- มีค่าความตึงผิวที่พื้นที่ระหว่างสองวัสดุภาค (Interfacial tension) สูง
- มีสัณฐานวิทยา (Morphology) ที่ไม่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูป

จากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นนั้นทำให้นักวิทยาศาสตร์มีความสนใจในการแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านั้น โดยมีการนำสารช่วยผสม (Compatibiliser) มาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ และให้ผลในการช่วยลดความตึงผิวที่พื้นที่ระหว่างสองวัสดุภาค ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสัณฐานวิทยาที่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูป มีวัสดุภาคกระจาย (Dispersed phase) ที่มีขนาดเล็ก และทำให้มีสมบัติการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างวัสดุภาคดีขึ้น ซึ่งวิธีที่สามารถทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ดีขึ้นมี 2 วิธี คือ

1. Non-reactive Blending คือ การเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมแบบไม่เกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้สารช่วยผสมที่ใช้ควรมีสสูตร โครงสร้างที่เหมือนกับพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน เพื่อให้เกิดการเกี่ยวพัน (Entanglement) กับวัสดุภาคทั้งสองของพอลิเมอร์ผสม ดังนั้นสารช่วยผสมที่นิยมใช้ คือ พอลิเมอร์ร่วม (Copolymer) ซึ่งมีหลายชนิด คือ พอลิเมอร์ร่วมแบบโคปอลิเมอร์แบบไตรบล็อก แบบต่อกิ่งหรือแบบส้อม ตัวอย่างเช่น การใช้พอลิเมอร์ร่วมของพอลิสไตรีนกับพอลิวิทาไดอิน แบบโคปอลิเมอร์ เป็นสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสมของพอลิสไตรีนกับพอลิเอทิลีน

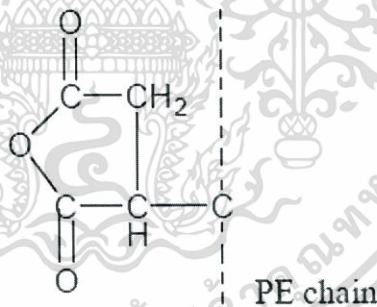
2. Reactive Blending เป็นวิธีการเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมแบบเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมนั้นมีหมู่ที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีขณะที่ทำการผสม หรือทำให้เกิดการต่อกิ่งพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งให้มีหมู่ที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ตัวอย่างเช่น การต่อกิ่งพอลิเอทิลีนด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) หรือ อะคริลิกแอซิด (Acrylic acid) ซึ่งทำให้มีหมู่คาร์บอกซิลที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีหมู่ที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมี เช่น พอลิเอไมด์

การเติมสารช่วยผสมเป็นการเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม แต่ไม่ใช่การทำให้พอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียว เนื่องจากสารช่วยผสมมีการจัดเรียงตัวระหว่าง

วิฤภาคของพอลิเมอร์ผสมทำหน้าที่เหมือนสะพานเชื่อม (เทียบกับการเย็บผ้า) ทั้งสองวิฤภาคให้ดีขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีการยึดติดระหว่างวิฤภาค ทำให้วิฤภาคกระจายมีการกระจายตัวที่ดี และมีขนาดของวิฤภาคกระจายที่เล็กขณะผ่านกระบวนการแปรรูป

ในการเลือกพอลิเมอร์ร่วมเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมต้องคำนึงถึงน้ำหนักโมเลกุลในแต่ละส่วนของพอลิเมอร์ร่วม คือ ถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ความยาวของสายโซ่สั้น ทำให้การแทรกซึมผ่านไปนพอลิเมอร์ผสมได้น้อย ส่งผลให้การยึดติดระหว่างผิวสัมผัสต่ำ แต่ถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากเกินไป ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก การแทรกซึมผ่านไปนพอลิเมอร์ผสมก็ต่ำเช่นเดียวกัน ในงานวิจัยนี้ใช้สารช่วยผสมชนิดมาลิกแอนไฮดรายด์กราฟต์พอลิเอทิลีน (MAPE) โครงสร้างดังรูปที่ 2.18 เป็นสารช่วยผสม

มาลิกแอนไฮดรายด์กราฟต์พอลิเอทิลีนเป็นการต่อกิ่งพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรแล้วซึ่งจะทำให้สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physical chemical properties) ดีขึ้น โดยการเพิ่มความเป็นขั้วของพอลิเอทิลีน โดยทำให้ความเป็นบวกเพิ่มขึ้น และความสามารถในการยึดติดเพิ่มขึ้น พบว่า แอนไฮดรายด์ เป็นส่วนที่เกิดการเชื่อมโยงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนและเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์อื่น รวมทั้งสารเติมแต่ง (Additive) ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของมาลิกแอนไฮดรายด์กราฟต์พอลิเอทิลีน [23]

## 2.12 เส้นใยฝ้าย [24]

เส้นใยฝ้าย (Cotton fiber) เป็นเส้นใยที่นิยมมากที่สุดในกลุ่มเส้นใยเซลลูโลส มีอัตราการผลิตและการใช้งานสูง ประเทศที่ส่งออกฝ้ายเป็นหลัก ได้แก่ สหรัฐอเมริกา จีน อินเดีย ปากีสถาน และแอฟริกา เป็นต้น

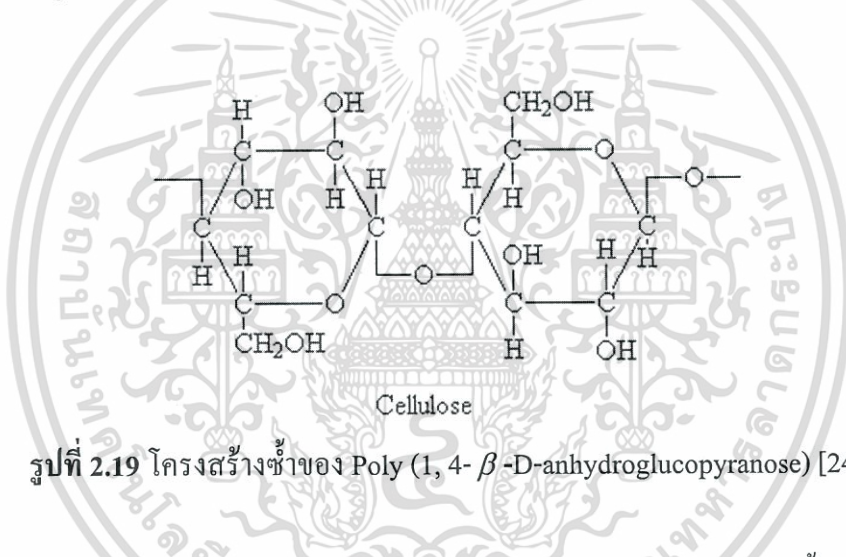
ฝ้ายมาจากปุยฝ้ายของพืชตระกูล Gossypium และมีหลายชนิด แต่เส้นใยฝ้ายในตลาดส่วนใหญ่ทั่วโลกเป็นพันธุ์พื้นเมืองที่มีชื่อว่า กอสลีเปียม ฮิสซุตัม (Gossypium hirsutum) และกอสลีเปียม บา

แบเดนส์ (Gossypium barbadense) จากสหรัฐอเมริกาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝ้ายที่มีการปลูกสำหรับเพื่อใช้ทางการค้า สามารถแบ่งเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ตามประเภทเส้นใยที่ใช้ คือ ประเภทที่ 1 เส้นใยฝ้ายมีความยาวประมาณ 25-60 มิลลิเมตร เส้นใยขนาดเล็ก คุณภาพดี ได้แก่ ฝ้ายอียิปต์ ฝ้ายซูดานและฝ้าย Sea Island ประเภทที่ 2 เส้นใยมีขนาดใหญ่กว่าและสั้นกว่า (13-33 มิลลิเมตร) เช่น ฝ้ายอเมริกัน ประเภทที่ 3 เส้นใยฝ้ายมีความยาวสั้นมาก ประมาณ 9-25 มิลลิเมตร ได้แก่ ฝ้ายจากประเทศกลุ่มเอเชีย

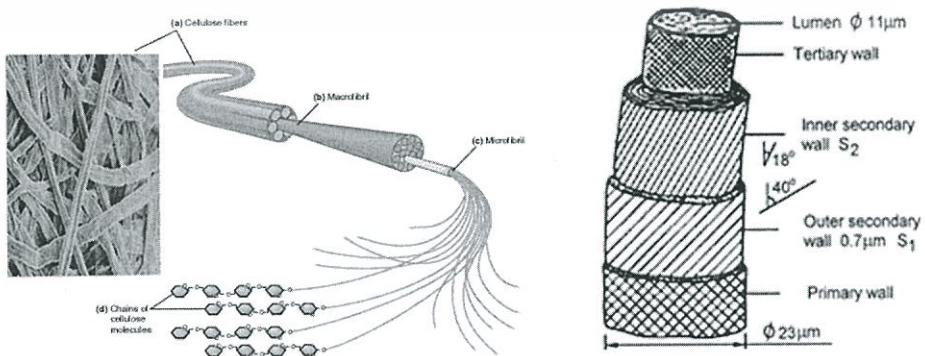
### 2.12.1 โครงสร้าง [24]

ฝ้ายเป็นเซลลูโลสที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ดังนั้น โครงสร้างทางเคมี คือ poly (1,4- $\beta$ -D-anhydroglucopyranose) แสดงดังรูปที่ 2.19 โครงสร้างภายนอกของฝ้ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เส้นใยฝ้ายมีความละเอียดมาก มีความยาวเส้นใยตั้งแต่ 10-65 มิลลิเมตร ขึ้นกับคุณภาพของเส้นใย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 11-22 ไมครอน (ไมโครเมตร=10<sup>-6</sup> เมตร)



รูปที่ 2.19 โครงสร้างซ้ำของ Poly (1, 4- $\beta$ -D-anhydroglucopyranose) [24]

โครงสร้างของเส้นใยฝ้ายมีความซับซ้อนประกอบด้วยผนังชั้นนอก (Primary wall) และผนังชั้นที่ 2 (Secondary wall) โดยส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส เส้นใยจะมีรูตรงกลางภายใน เรียกว่าลูเมน (Lumen) แสดงดังรูปที่ 2.20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.20 สันฐานวิทยาของเส้นใยฝ้าย [24] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังชั้นนอกของเส้นใยฝ้าย ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสที่เคลือบด้วยผนังชั้นนอกสุดเป็นเพคติน โปรตีน แร่ธาตุและไขมัน ผนังชั้นที่ 2 เป็นชั้นที่สมบูรณ์ของเส้นใยฝ้าย ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสเล็กๆ (Fibrils) เรียงตัวกันแบบเป็นเกลียวรอบแกนเส้นใย ทิศทางของเกลียวจะหมุนคนละทางในแต่ละชั้นเหมือน S กับ Z โดยมีมุมของเกลียวเส้นใยแต่ละชั้นประมาณ 20-35 องศา ในแต่ละเส้นใยเซลลูโลสเล็กๆ นี้ยังประกอบด้วยเส้นใยระดับไมโคร (Microfibrils) มัดรวมตัวกันอยู่มากมาย ดังนั้นจะเห็นว่าโครงสร้างเหล่านี้มีผลในการที่เส้นใยฝ้ายจะดูดซับความชื้น หรือทำปฏิกิริยากับสารเคมีได้ดีมากน้อยแค่ไหน ขึ้นกับระดับการเข้าถึงของสสารว่าอยู่ที่ใด อยู่ที่ผิวชั้นนอก ผิวชั้นใน หรือในระดับไมโคร

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้าย [25]

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

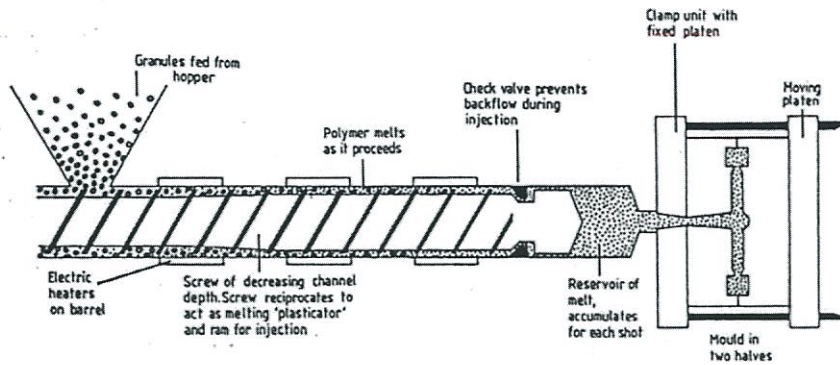
### 2.13 การขึ้นรูปแบบฉีด (Injection molding) [26]

วิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการฉีดพลาสติกที่ก้ำกั๊งหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยความดันสูง เครื่องจักรที่ใช้ในการนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่และเป็นที่นิยมแพร่หลาย

#### 2.13.1 ส่วนประกอบเครื่อง Injection molding

โดยทั่วไปแล้วเครื่องฉีดพลาสติก จะมีโครงสร้างส่วนประกอบสำคัญซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ส่วน

- ส่วนชุดฉีด (Injection unit)
- ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit)
- ส่วนฐานของเครื่องฉีด (Base)



รูปที่ 2.21 เครื่อง Injection molding [26]

### 2.13.2 ส่วนชุดฉีด (Injection unit)

จะทำหน้าที่ดึงพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีดหลอมเหลว แล้วส่งพลาสติกเหลวไปที่หัวฉีด และทำหน้าที่ในการฉีด และรักษาความดันย้ำ ซึ่งจะมีส่วนประกอบพื้นฐานดังต่อไปนี้ คือ

- หัวฉีด (Nozzle) เป็นส่วนต่อปลายกระบอกฉีดพลาสติกเข้ากับช่องทางไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์ หัวฉีดมีรูขนาดเล็กเพื่อให้พลาสติกหลอมเหลวไหลผ่านเข้าสู่ช่องว่างในแม่พิมพ์ด้วยความรวดเร็ว

### 2.13.3 ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit)

- ทำหน้าที่ในการยึดแม่พิมพ์ทั้งสองส่วน เลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ให้แรงในการปิดแม่พิมพ์
- หล่อเย็นชิ้นงานฉีดพลาสติก และปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์
- ประกอบไปด้วยแผ่นยึดแม่พิมพ์ ซึ่งมีส่วนที่เคลื่อนที่และอยู่กับที่เพลา นำเคลื่อน ระบบขับเคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ และแผ่นยึดระบบขับเคลื่อน

### 2.13.4 ส่วนฐานของเครื่องฉีด (Base)

- ทำหน้าที่คอยรับน้ำหนักของชุดฉีด และชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์
- นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ยึดติดอุปกรณ์ไฮดรอลิกทั้งหมดในเครื่อง และยังทำหน้าที่เป็นถังน้ำมันไฮดรอลิก โดยส่วนใหญ่แล้วตัวฐานเครื่อง จะทำด้วยเหล็กเหนียว ที่เชื่อมประกอบเข้าเป็นฐานเครื่อง เพื่อความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักมากๆ ได้ดี

#### 2.13.4.1 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก

การฉีดพลาสติกแบบ Injection molding นี้เครื่องฉีดจะประกอบด้วยสกรู และเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กไปจนถึงชิ้นงานขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานได้หลายลักษณะงาน จึงทำให้มีความนิยมในการฉีดพลาสติกแบบนี้มาก ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนของการฉีดพลาสติกได้ 9 ขั้นตอน

1. แม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิด และล็อกแน่น เพื่อป้องกันการแยกด้วยแรงต้านภายในแม่พิมพ์

2. ชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์จนกระทั่งชนกับแม่พิมพ์ และค้างไว้ด้วยแรงที่พอเหมาะ เพื่อป้องกันชุดฉีดถอยหลังกลับ ในขณะที่ทำการฉีด

3. ฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยสกรูจะเคลื่อนที่ตามแนวแกน

4. ย้ำรักษาความดันให้กับพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานเนื้อแน่นและไม่เกิดรอยยุบตัวที่ผิวของชิ้นงาน

5. หล่อเย็นชิ้นงานฉีดในแม่พิมพ์ โดยที่จังหวะนี้จะมีอิทธิพลมาก ต่อเวลาการทำงานทั้งวงจร

6. การหลอม และป้อนพลาสติกไปหน้าปลาสต์กรู เมื่อได้ปริมาณพลาสติกเหลวตามที่ต้องการแล้วเกลียวหนอนจะหยุดหมุน

7. ชุดฉีดจะถอยหลังกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิของหัวฉีดลดต่ำลงเกินไป เพราะจะทำให้พลาสติกหนืดเกินไปและไหลไม่ได้

8. แม่พิมพ์จะเปิดออกหลังจากสิ้นสุดเวลาในการหล่อเย็น

9. ทำการปลดชิ้นงาน เมื่อแม่พิมพ์เปิดออกสุดแล้ว

อุตสาหกรรมการผลิตด้วย Injection molding ได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันที่สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างหลากหลายในหลายๆ อุตสาหกรรมการผลิต เช่น การผลิตรถยนต์ (Automotive), การแพทย์ (Medical), เครื่องบิน (Aerospace), สินค้าอุปโภคบริโภค (Consumer products), ของเล่น (Toys), ประปา (Plumbing), บรรจุภัณฑ์ (Packaging) รวมไปถึงงานด้านโยธา (Construction)

## 2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทวี ทองแดง และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาสมบัติของเจลผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังคัดแปร (ย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ที่ระยะเวลา 0, 0.5, 1, 2 และ 3 ชั่วโมง) กับพอลิแซคคาไรด์ 2 ชนิด คือ คาร์ราจีแนน และวุ้น อัตราส่วนของแป้งต่อพอลิแซคคาไรด์ 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80, 10:90 และ 0:100 และศึกษาผลของน้ำตาลซูโครส (0, 10, 15, 20 และ 25%) ต่อสมบัติของเจลผสม ได้แก่ ความหนืด อุณหภูมิการเกิดเจล อุณหภูมิการหลอมเหลว การแยกชั้น การขับน้ำออกจากเจล และลักษณะเนื้อสัมผัส ผลการศึกษาเจลผสมระหว่างแป้งกับคาร์ราจีแนน พบว่าอัตราส่วนของแป้งมีผลต่อสมบัติของเจลผสมอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่อัตราส่วนของแป้งต่อคาร์ราจีแนน 60:40 และ 40:60 ความหนืดของสารผสมลดลง การเซตตัวของเจลซ้ำ อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำกว่าเจลคาร์ราจีแนน เกิดการแยกชั้น และลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลด้อยลง

แต่จะให้การขับน้ำที่ลดลง ส่วนที่อัตราส่วน 20:80 และ 10:90 ความหนืดของสารผสมสูงขึ้น การคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขตตัวของเจลและอุณหภูมิการหลอมเหลวใกล้เคียงกับเจลคาร์ราจีแนนไม่เกิดการแยกชั้น บางชุดการทดลองมีลักษณะเนื้อสัมผัสดีกว่าและให้การจับน้ำต่ำกว่า เจลคาร์ราจีแนนไม่เกิดการแยกชั้น ส่วนระยะเวลาในการย่อยแป้งมีผลต่อสมบัติของเจลผสมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการย่อยแป้งความหนืดของสารผสมจะลดลง อุณหภูมิการหลอมเหลวและการจับน้ำของเจลสูงขึ้น แต่ไม่มีผลในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเจล โดยเฉพาะแป้งที่ไม่ผ่านการย่อยและผ่านการย่อยเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ส่วนเจลผสมระหว่างแป้งกับวุ้น ผลของสัดส่วนและระยะเวลาในการย่อยแป้งจะให้ผลในทำนองเดียวกับเจลผสมของแป้งกับคาร์ราจีแนน โดยให้อุณหภูมิการเกิดเจลอุณหภูมิการหลอมเหลว และการจับน้ำของให้ผลดีกว่าเจลผสมของแป้งกับคาร์ราจีแนน และไม่เกิดการแยกชั้น ในขณะที่ลักษณะของเจลส่วนใหญ่มีลักษณะด้อยกว่า ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทเยลลี่ และผลการศึกษาของน้ำตาลซูโครสต่อสมบัติของเจลผสมระหว่างแป้ง (ไม่ผ่านการย่อยและการย่อยเป็นเวลา 2 ชั่วโมง) กับ คาร์ราจีแนน ที่อัตราส่วน 20:80 และ 10:90 พบว่าความหนืดของสาร อุณหภูมิการเกิดเจล อุณหภูมิการหลอมเหลว และลักษณะของเจลสูงขึ้นตามปริมาณของน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น ส่วนการจับน้ำของเจลลดลง โดยส่วนใหญ่ให้ผลที่ดีกว่าเจลผสมที่ไม่เติมน้ำตาลซูโครส

ดารินทร์ โพธิ์ศรี และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาการเตรียมและสมบัติต่างๆของพลาสติกย่อยสลายที่เตรียมได้จากเทอร์โมพลาสติกสตา์รซ์ จากแป้งถั่วเขียว (Mung bean starch) โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตา์รซ์จากแป้งถั่วเขียวในสูตรที่มีการผสมที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที มีลักษณะทางกายภาพดีที่สุด จากนั้นเป็นขั้นตอนการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตา์รซ์จากแป้งถั่วเขียวโดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย และ/หรือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยฝ้ายและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตา์รซ์เพิ่มขึ้น และสมบัติเชิงกลมีค่าสูงสุดเมื่อทำการปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 2:1 ส่วนสถาบันวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตา์รซ์ในแต่ละสูตรเมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นว่าเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดีและสามารถเข้ากับเมทริกซ์ได้ สำหรับ สมบัติทางความร้อนพบว่าการเติมเส้นใยฝ้ายมีผลทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตา์รซ์สูงขึ้น และยังพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตา์รซ์ที่ไม่มีการปรับปรุงมีแนวโน้มการย่อยสลายเร็วที่สุด แต่สูตรที่มีการปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นต่ำ 40% โดยน้ำหนัก ใช้เวลาในการย่อยสลายนานที่สุด

พัฒนา บัวดี [28] ได้ทำการศึกษาผลของแคปปา-คาร์ราจีแนนที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตา์รซ์ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ศึกษาผลและหาปริมาณแคปปา-คาร์ราจีแนนที่เหมาะสมที่ช่วยให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสามารถเป่าขึ้นรูปได้อย่างสมบูรณ์ โดยทำการผสมพอลิเมอร์

ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ แล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการเป่าฟิล์ม แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล จากการทดลองพบว่าปริมาณแคปปา-คาร์ราจีแนนเหมาะสมที่ช่วยให้การเป่าขึ้นรูปสมบูรณ์ คือ 7 phr โดยให้ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุด เท่ากับ 7.71 MPa และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดเท่ากับ 238 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรที่เติมแคปปา-คาร์ราจีแนน 3, 5 และ 9 phr ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก และจากการศึกษาทางสัณฐานวิทยาพบว่าแคปปา-คาร์ราจีแนนไม่เข้ากันกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาโรล แต่สามารถกระจายตัวได้ในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาโรล ส่วนที่ 2 นำสูตรผสมที่ดีที่สุดจากส่วนที่ 1 มาปรับปรุงให้ส่วนที่เป็นแคปปา-คาร์ราจีแนนที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ผสมมีสมบัติความเป็นความพลาสติกมากขึ้น โดยผสมกลีเซอรอลในปริมาณต่างๆ พบว่าปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสมในแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ช่วยให้พอลิเมอร์ในขั้นตอนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่มีความเหนียวมากขึ้นและสามารถตัดด้วยเครื่องตัดเม็ดอัตโนมัติได้ อยู่ที่ 30% ของปริมาณแคปปา-คาร์ราจีแนน เพราะให้สมบัติเชิงกลที่ดี และส่วนที่ 3 นำสูตรผสมที่ดีที่สุดจากส่วนที่ 2 มาปรับปรุงสมบัติการย่อยสลายตัวด้วยการเติมสารเร่งการเสื่อมสภาพพลาสติก (ฟีไลฟ์) โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และฉายแสงยูวี จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณสารเร่งการเสื่อมสภาพพลาสติกเพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มทำให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัวได้มากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากสมบัติเชิงกลที่ลดลง ปริมาณสารเร่งการเสื่อมสภาพพลาสติก (ฟีไลฟ์) ที่เหมาะสมคือ 3 phr ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับดัชนีการบดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นหลักฐานที่ยืนยันว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาโรล/แคปปา-คาร์ราจีแนน ที่เติมสารเร่งการเสื่อมสภาพ (ฟีไลฟ์) สามารถเกิดการย่อยสลายทางความร้อนและทางแสงได้จริง

ภูริศา ทศวิไล และคณะ [29] ได้ ศึกษาอิทธิพลของแคปปา-คาร์ราจีแนนต่อสมบัติทางเชิงกลและการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้ง โดยใช้แคปปา-คาร์ราจีแนน 4 ความเข้มข้น (0, 1, 2, และ 3% โดยปริมาตรของน้ำกลั่น) ผสมแป้ง (มันสำปะหลัง และข้าวเจ้า) ในอัตราส่วน 1:1 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อความเข้มข้นแคปปา-คาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น ฟิล์มแป้งทั้งสองชนิดที่เติมแคปปา-คาร์ราจีแนนมีการต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มสูงขึ้น การยืดตัว และการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มลดลง โดยแคปปา-คาร์ราจีแนนส่งผลต่อฟิล์มแป้งข้าวเจ้ามากกว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง เป็นผลทำให้ค่าการต้านแรงดึงขาดของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมแคปปา-คาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้นประมาณ 3.6-7.2 เท่าของฟิล์มแป้งข้าวเจ้า ส่วนค่าการยืดตัวของฟิล์มแป้งลดลง เมื่อเติมแคปปา-คาร์ราจีแนนความเข้มข้นสูงขึ้นไปในฟิล์มแป้งมันสำปะหลังลดลงจาก 25.20% เป็น 24.77% และในฟิล์มแป้งข้าวเจ้า ลดลงจาก 45.40% เป็น 24.87% ในขณะที่การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้งทั้งสองชนิดนี้ลดลงเมื่อเติมแคปปา-

คาร์ราจีแนน โดยฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าผสมแคปปา-คาร์ราจีแนนความเข้มข้น 1% มีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำที่สุดเท่ากับ  $8.53$  และ  $8.40 \times 10^{-13} \text{ g.m/m}^2.\text{s}^1.\text{Pa}$  ตามลำดับ

อุษารัตน์ รัตนคำวน และดวงดาว ออจอง [30] ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มพลาสติกเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และแป้งที่สกัดจากกล้วยน้ำว้าที่ปริมาณ 5-20% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยมีการเติมสารช่วยผสม คือ มาลิกแอ็นไฮไดรด์กราฟต์พอลิเอทิลีนและสารเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยแสง คือ เบนโซฟีโนนในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของแป้ง และ 0.25, 0.5, 1% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ตามลำดับ จากนั้นทำการศึกษาผลของปริมาณแป้งกล้วยและสารเติมแต่งต่างๆ ที่มีต่อสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของฟิล์ม สำหรับอุณหภูมิการหลอมเหลว และปริมาณความเป็นผลึกไม่ขึ้นกับปริมาณแป้งที่เติมเข้าไปไม่มีผลต่อสมบัติทั้งสอง ในขณะที่การเติมสารช่วยผสมแม้จะไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวของฟิล์มแต่ทำให้ความเป็นผลึกของวัสดุภาค LDPE ลดลง สำหรับเบนโซฟีโนนนั้นจากการศึกษาพบว่าผลทำให้อุณหภูมิการหลอมเหลวของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกันทำให้ปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุภาค LDPE ลดลงเช่นเดียวกัน สำหรับสมบัติเชิงกลของฟิล์มนั้นพบว่าการเติมแป้งนั้นทำให้สมบัติความทนแรงดึงของฟิล์มลดลงตามปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเติมสารช่วยผสมลงไปสามารถปรับปรุงสมบัติความทนแรงดึงให้เพิ่มขึ้นได้

A. Cordoba และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch) จากแป้งข้าวโพด (Corn starch) โดยใช้กลีเซอริน (Glycerin) เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก และมีการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยอัลจิเนต (Alginate) ที่ 0, 5, 10 และ 15% โดยน้ำหนัก ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ (Brabender) ที่อุณหภูมิ  $140^{\circ}\text{C}$  และความเร็วรอบ 32 รอบต่อนาที เป็นเวลา 8 นาที แล้วทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression molding) ที่อุณหภูมิ  $140^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาที เมื่อทำการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อปริมาณของอัลจิเนตเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้มอดูลัสของยังและความแข็งกคของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชลดลง แต่ทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและความต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติมอัลจิเนตทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น สำหรับสมบัติทางความร้อนพบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของอัลจิเนตเพิ่มขึ้น ส่วนสัญญาณวิทยาพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีความเข้ากันได้มากขึ้น เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นเมื่อปริมาณของอัลจิเนตเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัลจิเนตไปลดขนาดอนุภาคของเม็ดแป้ง

C. Chaudemanche และคณะ [31] ได้ศึกษาความเข้ากันได้ สมบัติการไหลและสมบัติวิสโคอีลาสติก (Viscoelastic) ของของผสมระหว่างแคปปา-คาร์ราจีแนนและแป้งข้าวโพดที่ถูกทำให้เกิดเป็นเจลก่อน (Pregelatinised maize starch) เมื่อทำการศึกษาสมบัติการไหลและสัญญาณวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  และ  $20^{\circ}\text{C}$  จากการทดลองพบว่าคาร์ราจีแนนและ

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งข้าวโพดที่ถูกทำให้เป็นเจลผสมก่อนมีลักษณะไม่เข้ากันเล็กน้อย (Incompatible) และต่อมาทำการศึกษาสมบัติวิสโคอิลาสติกในสถานะสารละลายที่อุณหภูมิ 60°C โดยค่าความหนืดและมอดูลัสยืดหยุ่น (Elastic modulus) ของของผสมเป็นฟังก์ชันกับองค์ประกอบของของผสม เมื่อความเข้มข้นทั้งหมดของพอลิเมอร์เท่ากับ 3% ซึ่งพบว่าค่าความหนืดและมอดูลัสยืดหยุ่นของของผสมมีค่าสูงกว่าค่าทางทฤษฎีของคาร์ราจีแนน ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาตรกีดกัน (Excluded volume effect) ของเม็ดแป้งที่มีอยู่ในสารละลายผสม จากนั้นจะศึกษาสมบัติวิสโคอิลาสติกในสถานะเจลที่อุณหภูมิ 20°C ซึ่งพบว่ามอดูลัสยืดหยุ่นของของผสมไม่เพิ่มขึ้น จึงคาดว่าเกิดเนื่องจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของของผสมในสถานะเจลมีสูง และเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของเม็ดแป้งที่ไม่ละลาย

**C. M.O. Müller และคณะ [32]** ได้ทำการศึกษาผลของเซลลูโลสที่มีต่อความเป็นผลึกและสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน การเตรียมฟิล์มจากสารละลายแขวนลอยของแป้งมันสำปะหลัง 3% โดยน้ำหนักของแป้ง โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ (0.3 กรัมต่อกรัมของแป้ง) และผสมเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งเส้นใยเซลลูโลสยुकาลิปตัสเป็นเส้นใยสั้นจากไม้เนื้ออ่อน ที่มีขนาด 1.2 มิลลิเมตร ที่ 0, 0.1, 0.3, และ 0.5 กรัมของเส้นใยต่อกรัมของแป้ง และมีกัวร์กัม (Guar gum) (0.01 กรัมต่อกรัมของแป้ง) เพื่อป้องกันการตกตะกอนของเส้นใย ใช้เทคนิคการหล่อแบบ (Casting) ในการขึ้นรูป เมื่อทำการศึกษาด้วย SEM พบว่าฟิล์มที่เตรียมได้มีความเป็นเนื้อเดียวกัน โดยไม่มีรูหรือรอยแตก และเส้นใยมีการกระจายตัวแบบสุ่ม ฟิล์มที่ผสมเส้นใยค่อนข้างแข็งมีความเป็นผลึกมากกว่า ความแข็งแรงดึงสูง และมีความสามารถในการดึงยืดที่ลดลง เมื่อผสมเส้นใยเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้นทำให้ฟิล์มมีเสถียรภาพต่อความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ มากขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผสมเส้นใยเซลลูโลสลงในฟิล์มที่เตรียมจากแป้งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ความแข็งแรง และเสถียรภาพที่ดีให้แก่ฟิล์มมากขึ้น

**C.Y. Huang และคณะ [33]** ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของสารช่วยผสมที่มีต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ และสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยศึกษาผ่าน 2 กระบวนการและทำการสังเคราะห์สารช่วยผสม 2 ชนิด คือ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ต่อกิ่งกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ที่ผ่านการเคลือบด้วย Plasma (Ma-g-PLDPE) และกรดอะไครลิกต่อกิ่งกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ผ่านการเคลือบด้วย Plasma (Acc-g-PLDPE) ซึ่งค่า Grafting degree ของ Ma-g-PLDPE เท่ากับ  $1.90 \times 10^{-4}$  โมล/กรัม และ Acc-g-PLDPE เท่ากับ  $2.5 \times 10^{-4}$  โมล/กรัม พบว่า Ma-g-PLDPE เป็นสารช่วยผสมที่มีประสิทธิภาพมากกว่า Acc-g-PLDPE เพราะหมู่ไฮดรอกซิลทำให้เกิดความเป็นขี้ว และการเชื่อมโยงภายในโมเลกุลเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมทำให้ขนาดอนุภาคของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเล็กลงหลังจากการผสม (Premix) โดยอนุภาคแอนไฮไดรด์ทำให้รูปร่างของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำมีความ

สม่ำเสมอมากขึ้น และเมื่อทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพเป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าน้ำหนักพอลิเมอร์ลดลงไป 65% โดยการเติมสารช่วยผสมที่มีหมู่แอนไฮดรอกซิลทำให้น้ำหนักพอลิเมอร์ลดลงมากกว่าไม่เติมสารช่วยผสม

**D. Phan และคณะ [34]** ได้ศึกษาการทำแผ่นฟิล์มที่ทำมาจากผงวุ้นแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว ได้ทำการศึกษารายละเอียดและทดสอบสมบัติต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในงานด้านบรรจุภัณฑ์ หรือการเคลือบ ทำการเตรียมแผ่นฟิล์มโดยใช้วิธีหล่อแบบ (Casting) โดยได้ทำการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบแผ่นฟิล์มทั้งหมดที่ได้เตรียมไว้ พบว่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ โดยการซึมผ่านของไอน้ำในแผ่นฟิล์มมีค่าการเปลี่ยนแปลงและเกือบคงที่เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 85% ได้ทำการทดสอบโดยพบว่าเมื่อทำให้แผ่นฟิล์มเปียก ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไขมันบางส่วนไปยังจากพื้นผิวของแผ่นฟิล์มในขณะที่ทำให้ฟิล์มแห้ง นอกจากนี้ฟิล์มที่ทำมาจากผงวุ้นและแป้งมันสำปะหลังมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า มีความ โปร่งแสง มีความเป็นเนื้อเดียวกัน ยืดหยุ่น ส่วนแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวนั้น มีความเปราะและมีค่าการต้านทานแรงดึงที่ต่ำกว่า เมื่อทำการทดสอบโครงสร้างภายในพบว่าแผ่นฟิล์มของผงวุ้นและแป้งมันสำปะหลังมีโครงสร้างที่มีสมบัติที่ดี เหมาะที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ หรือใช้เป็นแผ่นฟิล์มเคลือบผิวแทนแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว

**N. St-Pierre และคณะ [35]** ได้ศึกษาการเตรียมเทอร์โมพลาสติกจากแป้งข้าวสาลี (Thermoplastic wheat flour, TPF) ซึ่งเป็นวัฏภาคกระจาย ผสมกับพอลิเอทิลีน (LDPE หรือ LLDPE) เป็นเมทริกซ์ โดยใช้ แป้งสาลี 48%, กลีเซอรอล 33%, และน้ำ 19% ผสมกันก่อนเพื่อทำให้แป้งเกิดการพองตัวแป้ง/น้ำ/กลีเซอรอล ซึ่งเป็นสารแขวนลอยถูกเปลี่ยนเป็นเทอร์โมพลาสติก สตาร์ช ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) และถูกป้อนเข้าทางด้านข้างของเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw extruder) แบบ Co-rotating ซึ่งมีการรักษาความดันค่อนข้างสูง (> 0.9 MPa) ในระหว่างการผสม ที่มีการป้อนพอลิเอทิลีน กระบวนแบบนี้เป็นกระบวนการผสม TPS และพอลิเอทิลีนที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากกระบวนการที่เกิดเป็นกระบวนการเดียวและมีความต่อเนื่อง และเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ มีการรักษาความดันค่อนข้างสูง (> 0.9 MPa) ในระหว่างการผสม จึงสามารถป้องกันการระเหยของน้ำก่อนที่จะเกิดการผสมได้ ผลจากการทดสอบด้านสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าเกิดการแยกวัฏภาค ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จำนวนเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลาง (Number-average diameter) ของวัฏภาคกระจายเพิ่มขึ้นจาก 4  $\mu\text{m}$  ที่มี 8 wt% TPS เป็น 18  $\mu\text{m}$  ที่มี 36 wt% TPS ที่มีการผสม LDPE แต่ของ LLDPE อยู่ในช่วง 3-8  $\mu\text{m}$  ที่มี 7-39 wt% TPS ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการควบคุมลักษณะทางสัณฐานวิทยา (การปรับปรุงขนาดอนุภาคและรูปร่างของวัฏภาคกระจาย) สามารถทำได้ ซึ่งวัฏภาคกระจายมีอนุภาคทรงกลมเมื่อมีอนุภาคขนาดประมาณ 10  $\mu\text{m}$  ด้านสมบัติเชิงกลถึงแม้จะมีปริมาณ

TPS มาก แต่ยังมีค่าการดึงยืด ณ จุดขาดที่สูงโดยไม่ต้องทำการเติมสารปรับปรุงแรงดึงผิวบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาค (Interfacial modifier) LDPE ที่มีการผสม 22% TPS มีค่าการดึงยืด ณ จุดขาด 240% มีค่ามอดุลัส 109 MPa ส่วน LLDPE ที่มีการผสม 39% TS มีค่าการดึงยืด ณ จุดขาด 540% และมีค่ามอดุลัส 136 MPa

**R. C. R. Souza และ C.T. Andrade [36]** ได้ทำการศึกษากระบวนการและสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาρχจากแป้งข้าวโพด (Corn starch ; CS) และโซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate ; SA) ซึ่งใช้เป็นสารแขวนลอยที่ 1 ถึง 10% โดยน้ำหนัก ทำการอัดรีด CS แป้งข้าวโพดและโซเดียมอัลจิเนต (CS-SA) ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว ตามด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ โดยมีกลีเซอรอล 15% และน้ำที่ปริมาณต่างๆ เป็นพลาสติกไซเซอรอล สำหรับกระบวนการพลาสติกไซเซชันของ CS-SA นั้นจำเป็นต้องทำที่อุณหภูมิต่ำกว่าการพลาสติกไซเซชัน CS อย่างเดียว ผลจากการทดลองพบว่าฟิล์มที่เตรียมได้มีความเป็นเนื้อเดียวกัน โปร่งใสและยืดหยุ่นจากการอัดรีดโดยผ่านเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ การผสมโซเดียมอัลจิเนตเป็นสาเหตุทำให้เม็ดแป้งข้าวโพดเกิดการเจลาทิไนเซชันที่อุณหภูมิต่ำลง มีการเกิดอันตรกิริยาบางอย่างระหว่าง CS และ SA ด้านสมบัติเชิงกลพบว่าค่าขึ้นอยู่กัปริมาณของน้ำและ SA ยังมีมอดุลัสที่ SA 1% เพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่าเมื่อเทียบกับ CS ผลจาก Dynamic Mechanical Analysis (DMA) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลง 2 ช่วงของทั้ง CS และ CS-SA คือช่วง -80 ถึง 150°C ด้านสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าพื้นผิวของฟิล์มมีความเป็นเนื้อเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าเม็ดแป้งข้าวโพดในฟิล์มตัวอย่างทั้งหมดถูกทำลายภายใต้สภาวะที่ใช้ในกระบวนการ

**M. Thunwall และคณะ [37]** ได้ศึกษากระบวนการขึ้นรูปฟิล์มของเทอร์โมพลาสติกสตาρχ (Thermoplastic starch) โดยทำการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาρχจากแป้งมันสำปะหลัง 2 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังทั่วไป และแป้งมันสำปะหลังออกซิไดซ์ร่วมกับกลีเซอรอล ซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอรอลให้กับแป้งมันสำปะหลังดังกล่าวด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ ที่ต่อเข้ากับเครื่องเป่าขึ้นรูปเป็นฟิล์ม (Blown film) โดยในขั้นตอนการผสมจะผสมแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรอลให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่นำไปผสมด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาρχที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังออกซิไดซ์จะมีเสถียรภาพในการเป่าขึ้นรูปเป็นฟิล์มดีกว่า และฟิล์มที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า

**V. D. Alves และคณะ [38]** ได้ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลและปริมาณอะไมโลสจากแป้งมันสำปะหลังที่ถูกดัดแปรต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่เตรียมได้ โดยเตรียมฟิล์มจากการหล่อแบบ (Casting) ปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้ คือ 5, 20, 32.5 และ 45 กรัมต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม และเตรียมสารละลายอะไมโลส โดยผสมแป้งมันสำปะหลังกับน้ำในเครื่องผสม (Brabender) โดยทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิ 30-60 °C เพื่อให้แป้งเกิดการเจลาทิไนซ์ จากการศึกษาเมื่อปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้เพิ่มขึ้นทำให้ความเครียด ณ จุดขาด และการเปลี่ยนรูปเนื่องจากการให้แรงแบบทิมทะเลเพิ่ม

สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความเค้น ณ จุดขาด, ย้งมอดุลัส และความแข็งแรงแบบทิ่มทะลุลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่เติมกลีเซอรอลให้สมบัติเชิงกลที่ตรงกันข้ามกับสูตรที่ผสมกลีเซอรอล เนื่องจากโครงสร้างของแป้งมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอล โดยที่กลีเซอรอลเข้าไปอยู่บริเวณโครงตาข่ายของโมเลกุลแป้ง ทำให้ เมทริกซ์ของฟิล์มเริ่มมีช่องว่างมากขึ้น เมื่อมีแรงมากระทำ จึงทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น สำหรับปริมาณอะไมโลสที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเค้น ณ จุดขาด, ย้งมอดุลัส และความแข็งแรงแบบทิ่มทะลุมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ค่า Strain at break, และ Puncture deformation มีค่าลดลงและเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างฟิล์มที่ไม่เติมกลีเซอรอล แต่มีและไม่มีปริมาณอะไมโลสพบว่าฟิล์มที่มีอะไมโลส ค่าความเครียด ณ จุดขาด และการเปลี่ยนรูปเนื่องจากการให้แรงแบบทิ่มทะลุมีค่าสูงขึ้น แต่ค่า ความเครียด ณ จุดขาด, มอดุลัส และการเปลี่ยนรูปเนื่องจากการให้แรงแบบทิ่มทะลุไม่มีผลต่อสมบัติที่ได้ เนื่องจากปริมาณอะไมโลสน้อยเกินไป แต่ถ้ามีปริมาณอะไมโลสที่มากเกินไป ความเสถียรมาก จึงทำให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีความแข็งแรง สมบูรณ์ และจากการศึกษาเมื่อปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำออกน้อยลง เนื่องจากกลีเซอรอลทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งมีช่องว่างมากขึ้น และมีสมบัติชอบน้ำมากขึ้น จึงดูดซับความชื้นไว้ภายในโมเลกุล แต่เมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นอัตราการระเหยน้ำออกเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีหมู่ O-H ของโมเลกุลอะไมโลสจำนวนมากทำให้สามารถเกิดแรงยึดเกาะกับโมเลกุลของน้ำ

W. Shujun และคณะ [39] ได้ทำการศึกษาความเข้ากันได้ของเทอร์โมพลาสติกสตาอรัช (TPS) จากแป้งข้าวโพดกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ที่เตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน 20:80 และ 30:70 ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวและศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetry (TG) ศึกษาด้วย SEM และสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) ซึ่งการใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเพื่อทำให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติกโดยใช้ความร้อน (Plasticisation) จากงานวิจัยพบว่าค่าความแข็งแรงดึงและการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของ TPS เพิ่มขึ้น สำหรับการศึกษาพื้นฐานวิทยาพบว่า TPS และ LLDPE มีการแยกวิฤภาคกันอย่างชัดเจน และงานวิจัยนี้ยังได้ทำการผสมพอลิเมอร์ผสมกับมาลิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride, MAH) พบว่าให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการที่ไม่เติม ซึ่งสามารถบอกได้โดยใช้เทคนิค TG ที่พบว่ามีความเสถียรภาพทางความร้อนมากขึ้นและเมื่อนำพอลิเมอร์ผสมมาผสมกับ MAH ทำให้ TPS กับ LLDPE ผสมเข้ากันได้ดีขึ้น เทคนิค FTIR แสดงให้เห็นถึง MAH สามารถต่อกิ่งบนสายโซ่ของ LLDPE ได้โดยใช้กระบวนการเดียวกับการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS และ LLDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**X. Ma และคณะ [40]** ได้ศึกษาสมบัติของคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตา์ชที่ผสมเส้นใยธรรมชาติเป็นสารเสริมแรง โดยเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งข้าวโพด (Corn starch) ที่ใช้กลีเซอรอล พอร์มาดีไฮด์และยูเรียเป็นพลาสติกไซเซอร์ เส้นใยเสริมแรงที่ใช้คือ Microwinceyette โดยใช้ความยาว 12 มิลลิเมตร ปริมาณการใช้ 0, 5, 10, 15 และ 20 % โดยน้ำหนักเตรียมคอมโพสิต โดยการผสมแป้งข้าวโพดกลีเซอรอลด้วยเครื่องผสมระบบปิดเป็นเวลา 2 นาที ด้วยความเร็ว 3000 รอบ/นาที ใช้อัตราส่วน 30:100 แล้วทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นนำของผสมที่ได้ผสมกับยูเรียและพอร์มาดีไฮด์ แล้วทำการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การดึงยืดลดลง สำหรับการดูดซับความชื้นทำการทดลองที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% พบว่าประมาณ 6 วัน เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมีค่าคงที่ และในเทอร์โมพลาสติกสตา์ชที่ไม่มีเส้นใยเสริมแรงผสมอยู่นั้นมีปริมาณเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่ 37% แต่เมื่อผสมเส้นใยลงไปทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นอยู่ในช่วง 21-24 %

**Y. Wu และคณะ [2]** ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มเชิงประกอบจากแป้งมันฝรั่ง (Potato starch) และวุ้นที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนัก ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ใช้เทคนิคการหล่อแบบ (Casting) ในการขึ้นรูป ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์บรรจุอาหาร โดยศึกษาสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) จากผลการทดลองสามารถยืนยันได้ว่าแป้งและวุ้นเข้ากันได้และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลด้วย ด้านสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าฟิล์มที่มีวุ้น 15% แป้งและวุ้นมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ด้านสมบัติการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction : XRD) ซึ่งให้เห็นว่าฟิล์มมีความเป็นอสัณฐาน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% (50% RH) การผสมวุ้นลงไปช่วยให้ฟิล์มมีค่าความแข็งแรงดึงดีขึ้น จาก 5.33 เป็น 11.76 MPa ที่สภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง (75% RH) การผสมวุ้นลงไปช่วยให้ฟิล์มมีค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นจาก 0.84 เป็น 3.36 MPa และการผสมวุ้นลงไป 5% สามารถทำให้มีค่าการดึงยืดเพิ่มขึ้นจาก 32.5% เป็น 58.3% ส่วนการซึมผ่านไอน้ำนั้นลดลงจาก  $6.29$  เป็น  $4.60 \times 10^{-10} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$  จากผลการทดลองทั้งหมดนี้สรุปได้ว่าการผสมวุ้นลงไปสามารถปรับปรุงโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ของฟิล์มจากแป้งนี้ได้ รวมถึงยังช่วยปรับปรุงด้านสมบัติเชิงกลและการซึมผ่านไอน้ำให้ดีขึ้นอีกด้วย ด้วยเหตุนี้เองจึงสามารถนำฟิล์มที่เตรียมจากแป้งมันฝรั่งนี้ไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์บรรจุอาหารตามที่คาดไว้ได้เป็นอย่างดี

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตา์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเห็นได้ว่าการเติมการเติมอะคาร์, คาร์ราจีแนน หรือ โซเดียมอัลจินเตสามารถช่วยให้พอลิเมอร์มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงเลือกสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิด มาใช้ในการปรับปรุงพอลิเมอร์ผสม และได้ทำการปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมโดยการเติมเส้นใยฝ้าย เนื่องจากผลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นได้ว่าการเติมเส้นใยฝ้ายทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติเชิงกลที่สูงขึ้น โดยปริมาณสารก่อเจลที่ใช้ในการปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมคือ ปริมาณ 0 - 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายปริมาณ 5 phr เนื่องจากการเติมสารก่อเจลที่เป็นของแข็งและสามารถเกิดเจลได้ และเส้นใยฝ้ายที่เป็นของแข็งที่มีขนาดใหญ่ น่าจะไปขัดขวางการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว ซึ่งอาจส่งผลทำให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้น จึงเลือกใช้ที่ปริมาณดังกล่าว โดยคาดว่าจะสามารถฉีดขึ้นรูปได้และทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 สารเคมี

1. แป้งมันสำปะหลังตราดาวแดง จากบริษัท บริษัท เจ้าพระยาพีชไร้ 2999 (กำแพงเพชร) จำกัด
2. กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดการค้า จากบริษัท เล็บซีสเต็มส์ จำกัด
3. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-density polyethylene, LDPE) สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกรดชนิด (DNDV-0405 R) จากบริษัทดาวเคมีคอล จำกัด

สมบัติทั่วไป	หน่วย	ผลจาก 2A15120126	ค่าที่ได้		วิธีการทดสอบ
			ต่ำสุด	สูงสุด	
ความหนาแน่น (Density)	g / cm <sup>3</sup>	0.914	0.913	0.916	JIS K 7112
อัตราการไหล (Melt mass flow rate)	dg / min	32	27	37	JIS K 7210

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

4. พงู้น (Agar) อย่างแข็ง A 2 สี ทรานางเงือก จากห้างหุ้นส่วนจำกัด พัฒนาลิน เอ็นเตอร์ไพรส์ องค์ประกอบของพงู้น แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของพงู้นทรานางเงือก

Energy value	Kcal/100 g	60
Protein (N x 6,25)	%	0.3
Fat (lipids)	%	< 0.1
Raw Fiber	%	0.6
N.N.E.	%	80.4
Dietary Fiber	%	65.5
Sodium	%	< 0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ < 0.4 ในด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

Energy value	Kcal/100 g	60
Potassium	%	< 0.09
Calcium	%	< 0.4

N.N.E. Non Nitrogenous Extractive, corresponds to the carbohydrates and others related components.

การวิเคราะห์ตามวิธีอย่างเป็นทางการของการวิเคราะห์ของ Association of Official Analytical Chemist, AOAC, 16a. Edition, 1999 ปรับปรุง : มิถุนายน, 2003

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

5. แคปป์ลา-คาร์ราจีแนน (Kappa-Carrageenan) เกรดอาหาร จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด สมบัติของคาร์ราจีแนน แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สมบัติของแคปป์ลา-คาร์ราจีแนน เกรดอาหาร (Carrageenan KL-805) จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด

ข้อมูลผลิตภัณฑ์ทั่วไป	ผลการทดสอบ
Appearance	ผงสีขาว
Gel Strength Water Gel (1.5% Gel 20 °C)	455g
Gel Strength Salt Gel 1.5% Gel in 0.2% KCl 20 °C	496g
pH (1.5% solution at 60°C)	7.5
Moisture Content	12% Max.

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

6. โซเดียมอัลจิเนต (Sodium Alginate) เกรดอาหาร จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด สมบัติของโซเดียมอัลจิเนต แสดงในตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 สมบัติของโซเดียมอัลจิเนต เกรดอาหาร (H050912406) จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด

สมบัติทั่วไป	หน่วย	ค่าที่ได้
Particle size	-	Granular
Viscosity	CPS 1%	500
Loss on drying (105 °C, 4Hours)	%	13.4
pH	-	6.66
Sulphated ash	%	33.72
Insoluble matter inwater	%	0.55
Total heavy metal	Ppm	<20
Total plate count	CFU/g	<1000
E.COLI	-	Negative
Yeast & Mould	CFU/g	<200

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

7. มาลิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride-graft-polyethylene, MAPE) สมบัติของมาลิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิเอทิลีน แสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สมบัติของมาลิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิเอทิลีน เกรด การค้า MB 100D จากบริษัท Dupont Packaging & Industrial Polymer CO., Ltd

สมบัติทั่วไป	หน่วย	ค่าที่ได้	วิธีการทดสอบ
อัตราการไหล (Melt flow rate)	g / 10 min	2	ASTM D1238 - ISO1133
ความหนาแน่น (Density)	g / cm <sup>3</sup>	0.96	ASTM D 1505
จุดหลอมเหลว (Melting point)	°C	134	ASTM D3418 - ISO3146

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

8. ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) เกรดอุตสาหกรรม จากบริษัท เอส.เอ็ม.เคมีคอล

ซัพพลาย จำกัด

9. เส้นใยที่ไม่ผ่านการฟอกขาว (ม้วนสายสัญญาณ เกรดการค้าทั่วไป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

#### อุปกรณ์

1. ถูมือกันความร้อน
2. เกียร์ยาง
3. เวอร์เนีย
4. ไมโครมิเตอร์
5. ถาด
6. กรรไกร
7. แผ่นอลูมิเนียม (Aluminium Foil)
8. ไม้พาย

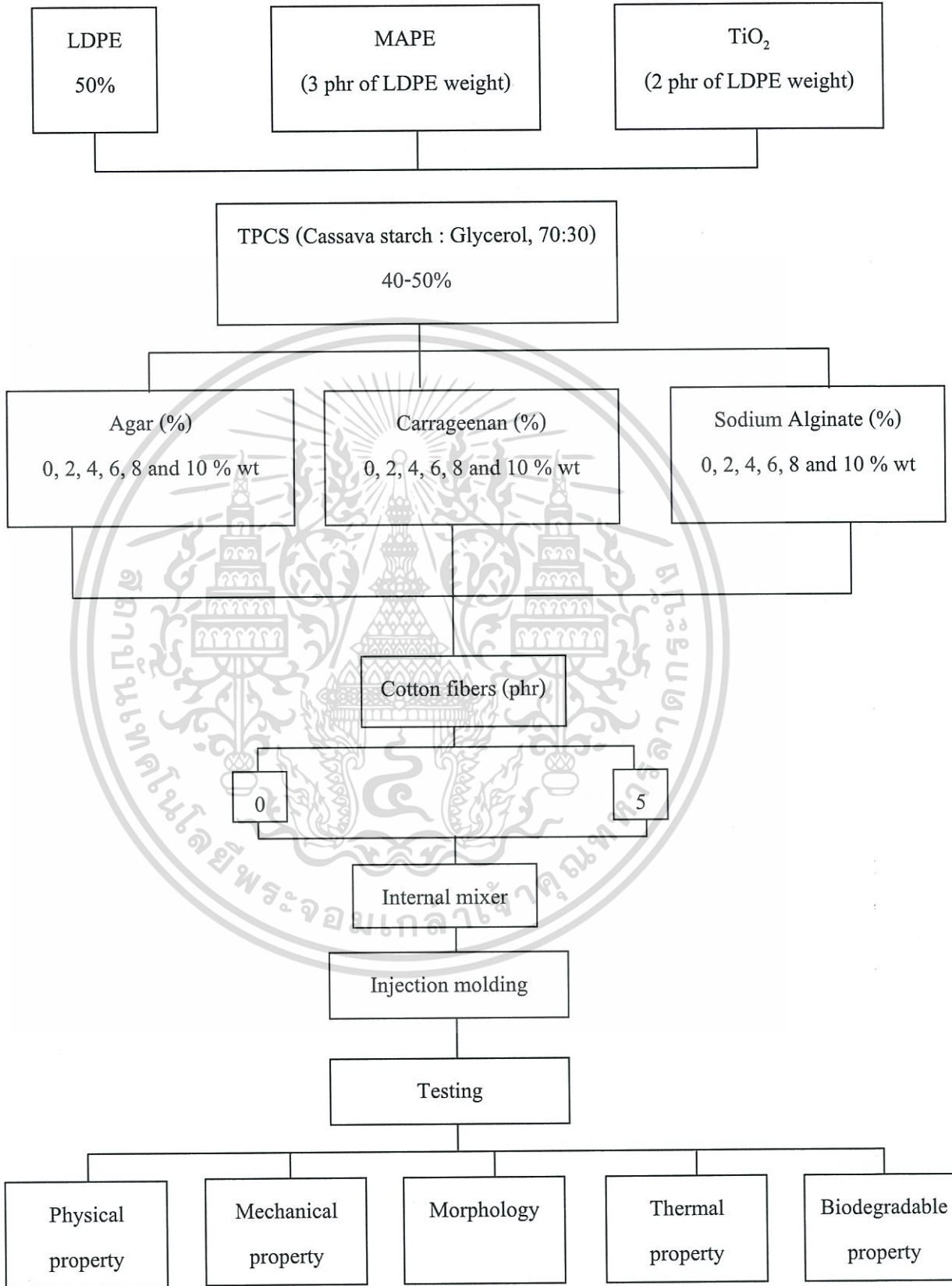
#### เครื่องมือที่ใช้

1. เครื่องชั่งแบบละเอียด (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) : Precisa Instrument
2. เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) : Brabender รุ่น PL 2000/PL 2001
3. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Plastic Injection moulding machine) : model TTIodel TTI-220/80 HITECH, Welltec industrial equipment Ltd
4. เครื่องทดสอบเนกิประสงค์ (Universal Testing Machine) : LLYOD instrument Ltd.รุ่น LR 5K
5. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Durometer Hardness แบบ Shore D) :Intro enterprise CO., Ltd
6. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact tester) : Yazuda 199311
7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) : JEOL รุ่น JSM-6400
8. เครื่องทดสอบทางความร้อน TGA (Thermogravimetric analyzer, TGA) : Perkin Elmer Instrument Co., Ltd รุ่น Pyris I TGA HT
9. เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer, FTIR) : Perkin Elmer Co., Ltd รุ่น FTIR Spectrum GX
10. เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) : Hunter lab รุ่น Miniscan XE plus
11. เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD) : รุ่น D 8 Advance
12. ตู้อบ
13. เครื่องวัดดัชนีการหลอมไหล (Melt flow indexer) : CEAST รุ่น TORINO-ITLYTYPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
6841

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

- การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลัง
  1. ทำการชั่งน้ำหนักแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลใส่ลงภาชนะในอัตราส่วน 70:30 ทำการผสมให้เข้ากันด้วยมือโดยใช้ไม้พายคนให้เข้ากัน
  2. เก็บของผสมที่ได้ในภาชนะที่ปิดสนิทเป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้กลีเซอรอลซึมเข้าไปในแป้ง
- การเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำร่วมกับสารช่วยผสมและสารให้สี
  1. ชั่งพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มาลิกอิกแอนไฮดรายด์กราฟต์พอลิเอทิลีน (MAPE) 3 phr of LDPE และไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) 2 phr of LDPE ดังแสดงในตารางที่ 3.6 ทำการผสมให้เข้ากัน
  2. นำของผสมที่เตรียมได้มาทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
  3. นำของผสมผสมที่ได้จากขั้นที่แล้วมาทำการบด

3.3.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

1. นำเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำร่วมกับสารช่วยผสมและสารให้สีจากตอนที่ 3.3.1 มาผสมกันในอัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก
2. นำของผสมที่เตรียมได้มาทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสและที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
3. นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากขั้นที่แล้วมาทำการบด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. นำพอลิเมอร์ผสมไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection moulding machine) ตามภาวะดังตารางที่ 3.7
5. นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

### 3.3.3 การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยอะคาร์

1. นำเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำร่วมกับสารช่วยผสมและสารให้สีจากตอนที่ 3.3.1 มาผสมกับอะคาร์ที่ปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10% โดยน้ำหนัก
2. นำของผสมที่เตรียมได้มาทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสและที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
3. นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากขั้นที่แล้วมาทำการบด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. นำพอลิเมอร์ผสม ไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป ตามภาวะดังตารางที่ 3.7
5. นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

### 3.3.4 การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยคาร์ราจีแนน

1. นำเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำร่วมกับสารช่วยผสมและสารให้สีจากตอนที่ 3.3.1 มาผสมกับคาร์ราจีแนนที่ปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10% โดยน้ำหนัก
2. นำของผสมที่เตรียมได้มาทำการทดลองต่อไป โดยใช้วิธีการและสถานะเช่นเดียวกับการปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมด้วยอะคาร์

### 3.3.5 การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยโซเดียมอัลจิเนต

1. นำเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำร่วมกับสารช่วยผสมและสารให้สีจากตอนที่ 3.3.1 มาผสมกับโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10% โดยน้ำหนัก
2. นำของผสมที่เตรียมได้มาทำการทดลองต่อไป โดยใช้วิธีการและสถานะเช่นเดียวกับการปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมด้วยอะคาร์

### 3.3.6 การปรับปรุงสมบัติพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ด้วยสารก่อเจลและด้วยเส้นใยฝ้าย

1. เลือกพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วนที่มีสมบัติที่ดีที่สุดในแต่ละสูตรของอะการ์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนต มาทำการปรับปรุงสมบัติพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ โดยการผสมเส้นใยฝ้ายที่ไม่ผ่านการฟอกขาว มาตัดให้ได้ขนาดความยาวเฉลี่ย 2 มิลลิเมตรที่ปริมาณ 0 และ 5 phr เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม
2. นำของผสมที่เตรียมได้มาทำการทดลองต่อไป โดยใช้วิธีการและสถานะเช่นเดียวกับการปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมด้วยอะการ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ปริมาณของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน, และโซเดียมอัลจิเนต

LDPE (g)	TPCS (g)	MAPE (32 phr of LDPE) (g)	TiO <sub>2</sub> (2 phr of LDPE) (g)	Agar (g)	Carrageenan (g)	Sodium alginate (g)	Cotton fibers (phr)
50	50	1.5	1	-	-	-	-
50	48	1.5	1	2	-	-	-
50	46	1.5	1	4	-	-	-
50	44	1.5	1	6	-	-	-
50	42	1.5	1	8	-	-	-
50	40	1.5	1	10	-	-	-
50	48	1.5	1	-	2	-	-
50	46	1.5	1	-	4	-	-
50	44	1.5	1	-	6	-	-
50	42	1.5	1	-	8	-	-
50	40	1.5	1	-	10	-	-
50	48	1.5	1	-	-	2	-
50	46	1.5	1	-	-	4	-
50	44	1.5	1	-	-	6	-
50	42	1.5	1	-	-	8	-
50	40	1.5	1	-	-	10	-
50	40	1.5	1	10	-	-	5
50	40	1.5	1	-	10	-	5
50	40	1.5	1	-	-	10	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (Injection molding)

Description	Unit	Value
<b>PRESSURE</b>		
1 <sup>st</sup> stage pressure	Bar	30
2 <sup>nd</sup> stage pressure	Bar	30
3 <sup>rd</sup> stage pressure	Bar	30
<b>FLOW SPEED</b>		
1 <sup>st</sup> stage injection speed	Rpm	50
2 <sup>nd</sup> stage injection speed	Rpm	50
3 <sup>rd</sup> stage injection speed	Rpm	50
<b>TIME</b>		
1 <sup>st</sup> stage injection time	Sec	30
2 <sup>nd</sup> stage injection time	Sec	30
3 <sup>rd</sup> stage injection time	Sec	30
Melting time	Sec	500
Cooling time	Sec	100
<b>TEMPERATURE</b>		
Zone 1	°C	150
Zone 2	°C	160
Zone 3	°C	170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วิธีการทดสอบ

#### 3.4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy)

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในสารตัวอย่างโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy) ทำการเตรียมโดยการนำสารตัวอย่างมา 2-3 มิลลิกรัม มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้งแล้วจำนวน 0.2-0.5 กรัม ให้เข้ากัน ใส่ลงในแม่พิมพ์แล้วนำเข้าเครื่องอัดเม็ดภายใต้ความดัน  $10^{-4}$  kg/cm<sup>2</sup> นาน 5 นาที แล้วนำเม็ดออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปวิเคราะห์จะได้กราฟสเปกตรัมของสารตัวอย่าง

#### 3.4.2 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction)

วิเคราะห์หาโครงสร้างของผลึก ขนาดของอนุภาคและองค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่างโดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆ กัน เพื่อระบุวิฤภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer และขนาดของมุมตกกระทบที่ใช้ ( $2\theta$ ) ในช่วง  $3-60^\circ$  ด้วยอัตราเร็ว  $1^\circ$  นาทีแล้วปล่อยรังสีเอกซ์เข้าชิ้นตัวอย่าง

#### 3.4.3 การทดสอบสัณฐานวิทยา (Morphology)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) ทำการเตรียมตัวอย่างที่ได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป

#### 3.4.4 สมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

##### 3.4.4.1 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี

ทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น Miniscan XE Plus โดยใช้ระบบของ CLE L\* a\*b\* ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65/10° เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงาน

โดย L\* : ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

L = 0 perfect black sample

L = 100 perfect white sample

a\* : ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว (red – green)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- a เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีเหลือง  
 a เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางของสีเขียว
- b\* : ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (yellow – blue)  
 b เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีเหลือง  
 b เป็น - สีจะไปในทิศทางของสีน้ำเงิน
- C\* (Chroma) : ความสดใของสี  
 จากสูตร  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$
- H° (Hue angle) : เป็นตัวเลขที่ระบุว่าสีนั้นมีตำแหน่งอยู่ที่ใดมีหน่วยเป็นองศา  
 จากสูตร  $H^\circ = \tan^{-1}(b^* / a^*)$

#### 3.4.4.2 ปริมาณการดูดซับน้ำ (Water absorption) [41]

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D570 นำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปที่มีขนาด 6.2 x 1.3 ตารางเซนติเมตร ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C จนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ จดน้ำหนักไว้ จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง โดยนำชิ้นงานจุ่มมาบันทึกน้ำหนักทุกๆ วัน เป็นเวลา 30 วัน ซึ่งปริมาณการดูดซับน้ำสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$W_a(\%) = (W_e - W_0) / W_0 \times 100$$

เมื่อ  $W_a$  คือ เปอร์เซนต์การดูดซับน้ำ

$W_e$  คือ น้ำหนักหลังการดูดซับน้ำ

$W_0$  คือ น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ

#### 3.4.5 การวัดดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index : MFI) [42]

ทำการวัดความสามารถในการไหลของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง Melt flow indexer โดยใช้ อุณหภูมิ 190 °C และใช้น้ำหนัก 2.16 กิโลกรัมในการกดทับ รายงานผลในหน่วย กรัม/10นาที ตามมาตรฐาน ASTM D 1238

### 3.4.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล

#### 3.4.6.1 ความแข็งแรงดึง ย้ยมอดูลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด [43]

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 พร้อมทั้งใช้โปรแกรม WINDAP ซึ่ในงานที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นรูปดัมเบลล์ จำนวน 10 ชิ้นงาน ต่อ 1 สูตร โดยทำการควบคุมสภาวะของชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบ ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60% ทดสอบตามสภาวะดังนี้

Test speed : 100 mm/min

Gauge length : 40 mm

Load cell : 5 KN



รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ [43]

ค่าความแข็งแรงดึง ย้ยมอดูลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) =  $F_{max}/A$

เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด (% strain at max load) =  $[(L_{max}-L_0)/L_0] * 100$

เมื่อ  $F_{max}$  คือ แรงสูงสุดที่ใช้ดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (N)

$F$  คือ แรงที่ใช้ดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (N)

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง ( $mm^2$ )

$L_{max}$  คือ ระยะห่างระหว่างจุดที่มีแรงดึงสูงที่สุดหลังทำการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่างกับจุดที่เริ่มต้น (mm)

$L_0$  คือ ระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (mm)

ย้ยมอดูลัส (Young's modulus, E) หากจากกราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-strain curve) ที่เปอร์เซ็นต์ความเครียด 2 และ 4 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.6.2 ความแข็งกด (Hardness) [44]

วัดความแข็งของชิ้นงาน ตามมาตรฐาน ASTM D 2440 ด้วย Durometer Hardness ชนิด Shore D โดยตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะต้องมีความหนาอย่างน้อย  $\frac{1}{4}$  นิ้ว หรือ 0.25 นิ้ว ทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงกดตัวอย่างละ 10 จุด สเกลสำหรับอ่านค่าความแข็งกด อยู่ในช่วง 0-100 โดยค่าความแข็งกด 0 คือ ความแข็งกดของของเหลว และค่าความแข็งกด 100 คือ ความแข็งของวัสดุที่แข็งมากไม่ยุบตัว เช่น กระจก

### 3.4.6.3 สมบัติความแข็งแรงกระแทก [45]

นำตัวอย่างที่ได้จากเครื่องฉีดขึ้นรูปที่เตรียมเป็นแท่งที่มีรอยบากอยู่ตรงกลางชิ้นงานมาทดสอบความแข็งแรงกระแทกด้วยเครื่องวัดแรงกระแทก แบบไอซอด (Izod impact tester) Method A (Izod Type) ที่อุณหภูมิห้อง ตามมาตรฐาน ASTM D256 ซึ่งค่าความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอดที่ได้มีหน่วยเป็น  $\text{KJ/m}^2$

### 3.4.7 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (Decomposition temperature at peak) ของพอลิเมอร์ ผสมด้วยเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA) ทำได้โดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 16 มิลลิกรัม แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยใช้บรรยากาศไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) ที่ภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ให้อยู่ในช่วง 50-700 องศาเซลเซียส และมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียส/นาที เมื่อได้ TGA เทอร์โมแกรมแล้วจึงนำมาทำอนุพันธ์ของเทอร์โมแกรม (Derivative thermogram) ได้เป็น DTG

### 3.4.8 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

นำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปที่มีลักษณะเป็นรูปดัมเบลล์ จำนวน 10 ชิ้นงาน ต่อ 1 สูตร ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 30-40% ดินมีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และอุณหภูมิของดินมีค่าเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส ทำการฝังดินเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ และ 12 สัปดาห์ จากนั้นนำชิ้นงานมาทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 พร้อมทั้งใช้โปรแกรม WINDAP

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยมีกลีเซอรอลเป็น พลาสติกไซเซอร์ โดยมีสารช่วยผสมชนิดมาลิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิเอทิลีน (MAPE) ทำการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมด้วยการใช้สารก่อเจล ได้แก่ อะการ์, คาร์ราจีแนน หรือ โซเดียมอัลจิเนต เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย โดยเลือกศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของอะการ์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ดีขึ้น ทำการศึกษาสมบัติเชิงกล สัมฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และการย่อยสลาย โดยรายละเอียดของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียม ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อแทนสูตรพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	อักษรย่อที่ใช้	ความหมาย
1	TPCS/LDPE	เทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากTPCS/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
2	TPCS/LDPE/Cot5	เทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากTPCS/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เส้นใยฝ้าย 5 phr
3	TPCS/LDPE/A6	เทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากTPCS/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/อะการ์ 6% โดยน้ำหนัก
4	TPCS/LDPE/A10	เทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากTPCS/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/อะการ์ 10% โดยน้ำหนัก
5	TPCS/LDPE/A10/Cot5	เทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากTPCS/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/อะการ์ 10% โดยน้ำหนัก/เส้นใยฝ้าย 5 phr
6	TPCS/LDPE/C6	เทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากTPCS/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/คาร์ราจีแนน6% โดยน้ำหนัก
7	TPCS/LDPE/C10	เทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากTPCS/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/คาร์ราจีแนน 10% โดยน้ำหนัก
8	TPCS/LDPE/C10/Cot5	เทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากTPCS/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/คาร์ราจีแนน 10% โดยน้ำหนัก/เส้นใยฝ้าย 5 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) อักษรย่อแทนสูตรพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	อักษรย่อที่ใช้	ความหมาย
9	TPCS/LDPE/SA6	เทอร์โมพลาสติกสตา์รชจากTPCS/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/โซเดียมอัลจิเนต 6% โดยน้ำหนัก
10	TPCS/LDPE/SA10	เทอร์โมพลาสติกสตา์รชจากTPCS/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/โซเดียมอัลจิเนต 10% โดยน้ำหนัก
11	TPCS/LDPE /SA10/Cot5	เทอร์โมพลาสติกสตา์รชจากTPCS/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/โซเดียมอัลจิเนต 10% โดยน้ำหนัก/เส้นใยฝ้าย 5 phr

#### 4.1 การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตา์รชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ด้วยอะการ์ และเส้นใยฝ้าย

##### 4.1.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE โดยศึกษาผลของการปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์ และเส้นใยฝ้าย ทำได้โดยใช้เครื่อง FTIR (Fourier transform infrared spectrophotometer) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.1 และ 4.4

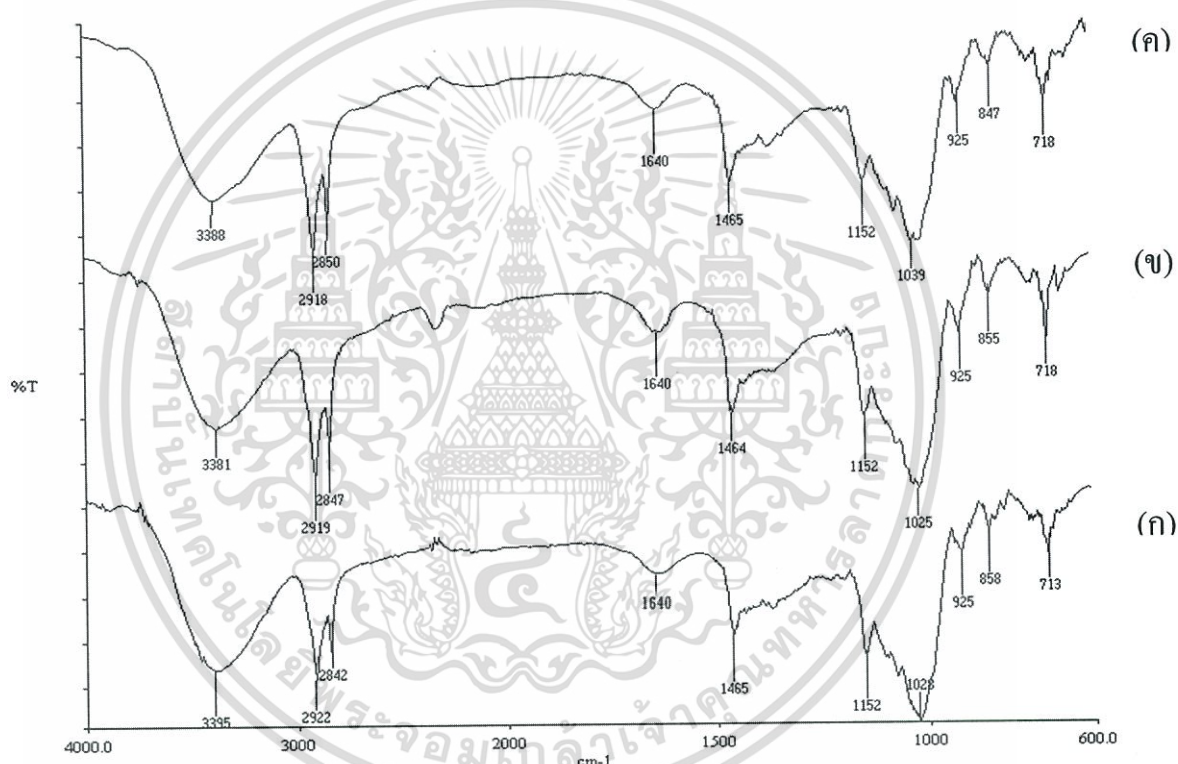
ตารางที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏเหมือนกันของพอลิเมอร์ผสม [46]

เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	ลักษณะการสั่น
3200-3600 (v)	O-H stretching
2800-3000 (m→s)	Alkanes C-H stretching
1640	Bounded water
1445-1485 (m)	OH-bending
1410 (s)	CH wagging (in-plane bending)
1300-1000 (s)	C-O-C stretching
1200-1000 (s)	C-O-H bending
900-940 (s)	C-H out-of-plane bending
800-860 (s)	C-H out-of-plane bending

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏเหมือนกันของพอลิเมอร์ผสม [46]

เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	ลักษณะการสั่น
735-770 (s)	C-H out-of-plane bending
723 (s)	$\text{CH}_2$ - rocking



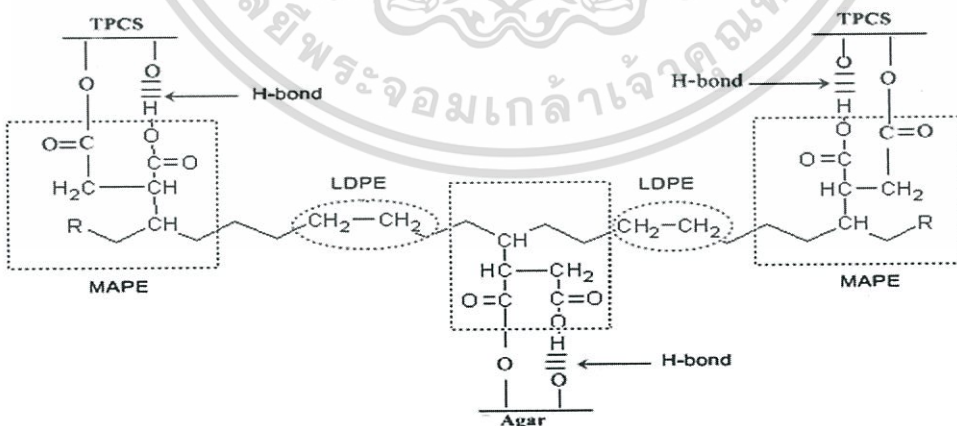
รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย อะคาร์ที่ปริมาณต่างๆ (ก) TPCS/ LDPE (ข) TPCS/LDPE /A6 และ (ค) TPCS/ LDPE /A10

จากรูปที่ 4.1 (ก) แสดงสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE และใช้ MAPE เป็นสารช่วยผสม พบพีคในช่วง  $3500\text{-}3250\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching ของแป้งและกลีเซอรอล ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ TPCS พิคในช่วง  $3000\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H stretching ของ  $\text{CH}_2$  และ/หรือ  $\text{CH}_3$  ของ TPCS, LDPE และ MAPE สำหรับพีคที่  $1650\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ O-H bending ของโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในแป้ง พิคที่  $1460\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ C-H bending ของ  $\text{CH}_2$  ของ LDPE และ MAPE แถบพิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

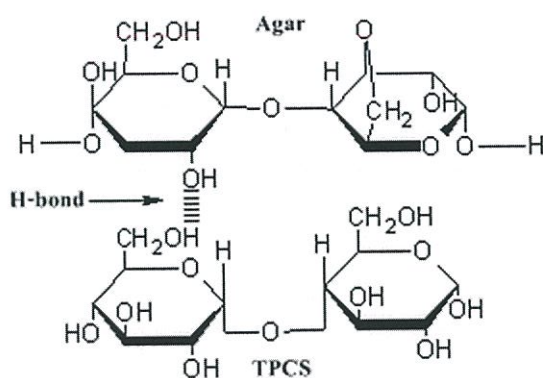
ช่วง 1300-1000  $\text{cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O-C stretching ของแป้ง และพืคในช่วง 1200-1000  $\text{cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการสั่นแบบ C-O-H bending ของแป้ง พืคช่วง 800-850  $\text{cm}^{-1}$  ลักษณะการสั่นแบบ C-H bending [46-48]

สำหรับความแตกต่างระหว่างพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุงรูปที่ 4.1 (ก) และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงด้วยอะการ์ รูปที่ 4.1 (ข-ค) นั้นพบพืคอินฟราเรดสเปกตรากล้ายกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์ เนื่องจากพืคที่มีลักษณะเด่นที่พบในอะการ์ คือ พืคที่ 850 และ 930  $\text{cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของ 3,6-anhydro- $\beta$ -galactose bending ในอะการ์ [2] แต่เป็นตำแหน่งเดียวกับการสั่นแบบ C-H bending ของ TPCS โครงสร้างโมเลกุลของแป้งนั้นประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน -OH, -CH<sub>2</sub>, C-OH และ C-O-C เป็นหลัก ซึ่งอะการ์นั้นมีหมู่ฟังก์ชัน -OH, -CH<sub>2</sub>, C-OH และ C-O-C เป็นโครงสร้างหลักของโมเลกุลเช่นเดียวกัน ทำให้สเปกตรัมที่แสดงว่ามีส่วนของอะการ์ในพอลิเมอร์ผสมถูกซ่อนทับด้วย สเปกตรัมที่แสดงว่าเป็น TPCS ทั้งหมด มีการเปลี่ยนแปลงเลขคลื่นในช่วงประมาณ 3500-3250  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบ O-H stretching ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์มีการเลื่อนตำแหน่งของเลขคลื่นไปยังตำแหน่งที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสม TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์ อาจเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่ไฮดรอกซิลของอะการ์เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น นอกจากนี้ อาจเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่มาลิคิกแอนไฮไดรด์ของ MAPE เกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ขึ้น ซึ่งอันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3

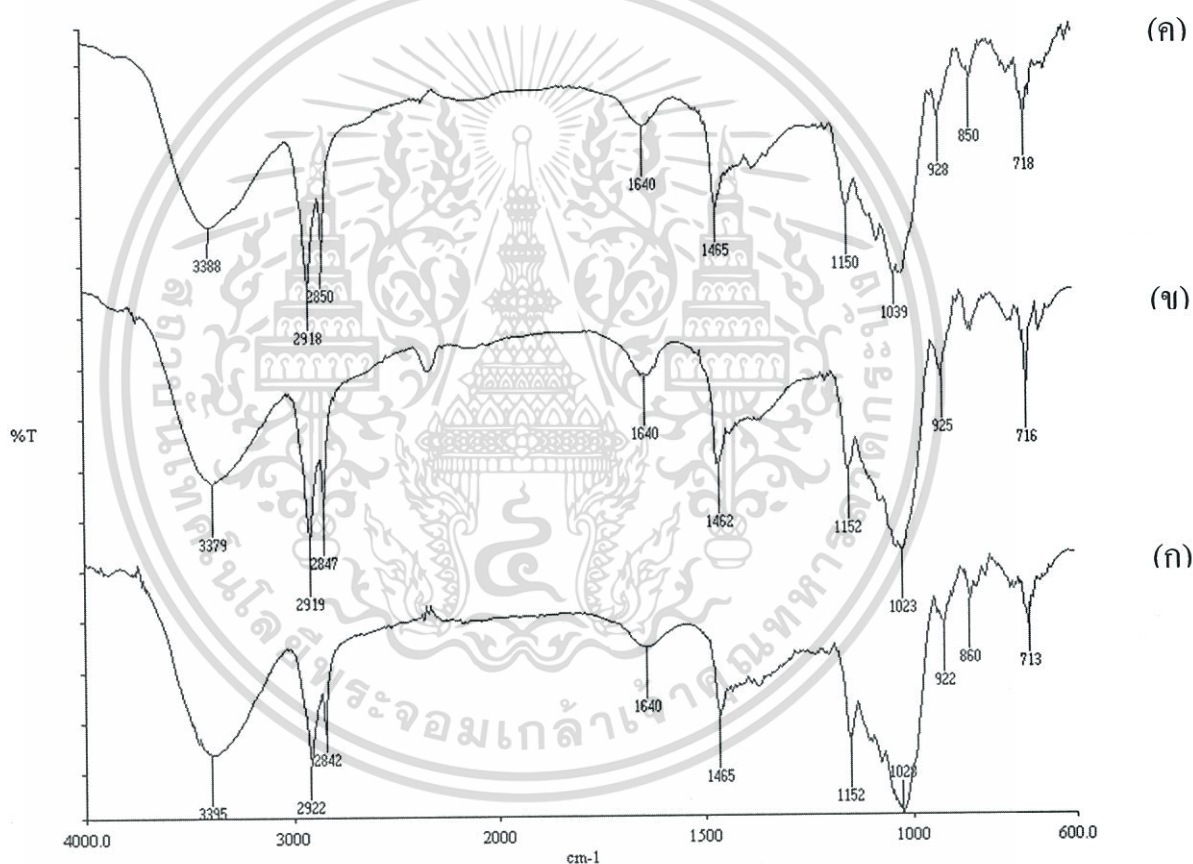


รูปที่ 4.2 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS, LDPE, อะการ์และ MAPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS และอะการ์

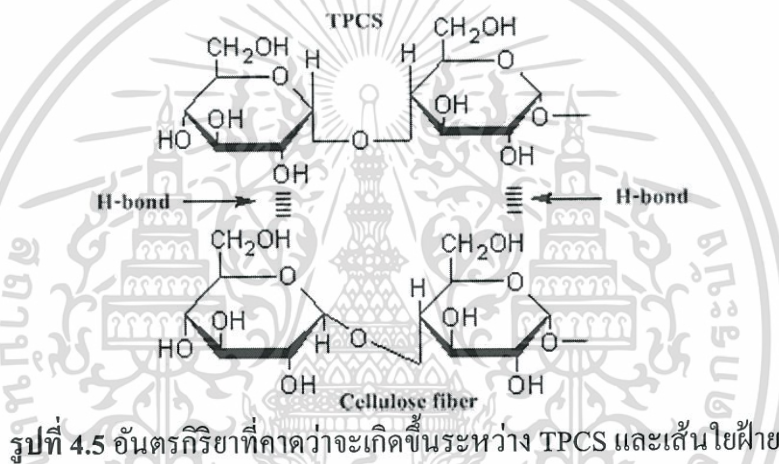


รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย อะการ์และเส้นใยฝ้าย (ก) TPCS/LDPE (ข) TPCS/LDPE/Cot5 และ (ค) TPCS/LDPE /A10/Cot5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

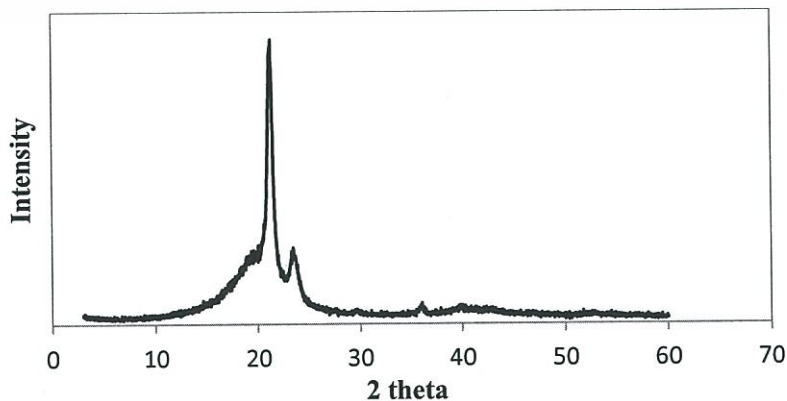
เมื่อเติมเส้นใยฝ้ายลงไปในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุงนั้นพบพีคอินฟราเรดสเปกตรัมคล้ายกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ เนื่องจาก TPCS และเส้นใยฝ้ายมีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกัน จากรูปที่ 4.4

สำหรับความแตกต่างระหว่างพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS/LDPE (รูปที่ 4.4 (ก)) TPCS/LDPE/Cot5 (รูปที่ 4.4 (ข)) และ TPCS/LDPE/A10/Cot5 (รูปที่ 4.4 (ค)) พบพีคที่  $3400\text{ cm}^{-1}$  ที่แสดงลักษณะการสั่นของ OH-stretching ใน TPCS เมื่อผสมเส้นใยฝ้ายทำให้พีคที่ตำแหน่งนี้เกิดการเลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลง แสดงให้เห็นว่าเกิดอันตรกิริยาทางเคมีขึ้น โดยมีพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่าง TPCS และเส้นใยที่ใส่เข้าไป อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างเมทริกซ์ TPCS และเส้นใยฝ้ายแสดงดังรูปที่ 4.5

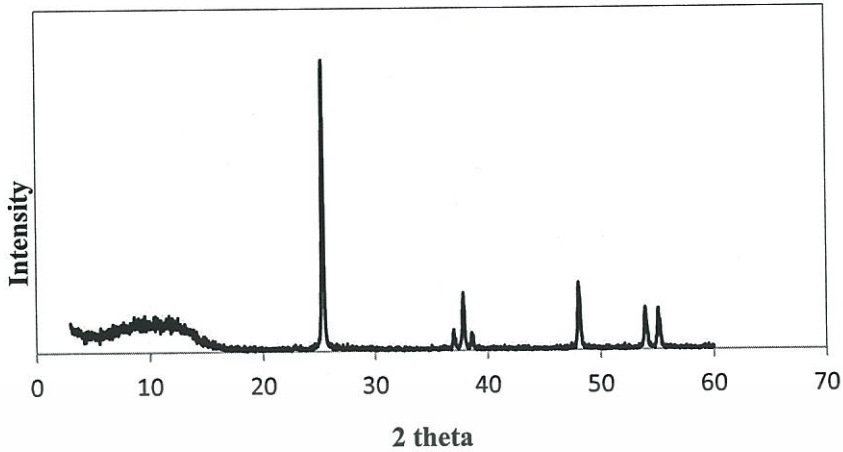


#### 4.1.2 XRD

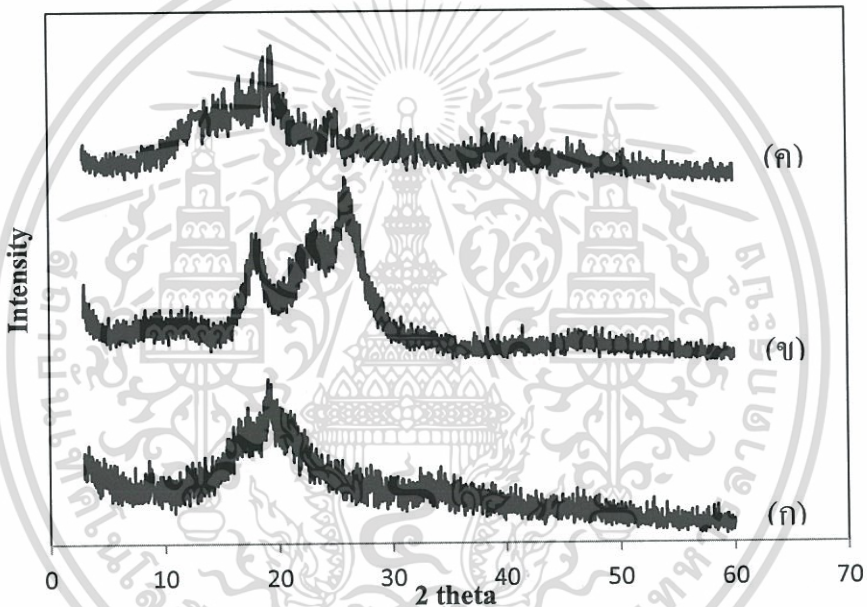
การศึกษาโครงสร้างผลึกของ LDPE, TPCS, อะคาร์ และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้าย โดยใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6-4.9 และตารางที่ 4.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีสืบค้นเฉพาะเท่านั้น ไม่แนะนำให้เผยแพร่ไปภายนอกให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.6 ดิฟแฟรกโทแกรมของ LDPE  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ดิฟแฟร็กโทแกรมของ Titanium dioxide

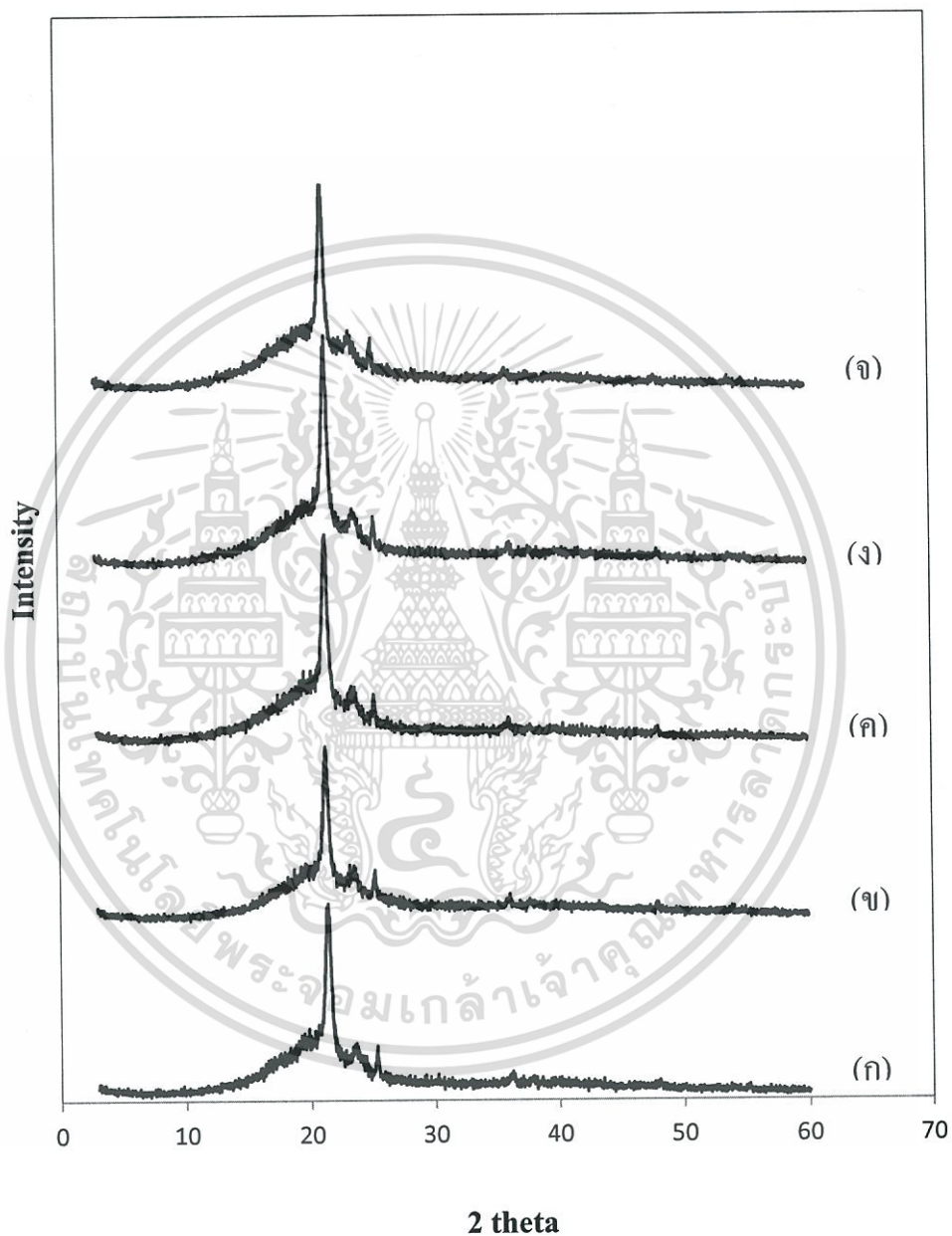


รูปที่ 4.8 ดิฟแฟร็กโทแกรมของ (ก) TPCS (ข) เส้นใยฝ้าย และ (ค) อะการ์

รูปที่ 4.6-4.8 แสดงโครงสร้างผลึกของ LDPE,  $\text{TiO}_2$ , TPCS เส้นใยฝ้าย และอะการ์ พบว่า XRD ของ LDPE (รูปที่ 4.6) พบพีคที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $21.3^\circ$ ,  $23.6^\circ$  และ  $36.0^\circ$  ซึ่งสัมพันธ์โครงสร้างผลึกแบบ Orthorhombic ของพอลิเอทิลีน [49-50] สำหรับรูป 4.7 แสดง XRD ของ  $\text{TiO}_2$  พบพีคที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $25.3^\circ$ ,  $37.0^\circ$ ,  $37.9^\circ$ ,  $38.6^\circ$ ,  $48.1^\circ$ ,  $53.9^\circ$  และ  $55.1^\circ$  ซึ่งแสดงโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส (Anatase, A) [51]

รูปที่ 4.8 (ก) แสดง XRD ของ TPCS พบพีคที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $19.6^\circ$  ซึ่ง TPCS นั้นเกิดจากการนำแป้งมาเติมพลาสติกไซเซออร์และผ่านกระบวนการขึ้นรูปโดยให้ความร้อนและแรงเฉือน ทำให้ผลึกของแป้งมันสำปะหลังบริสุทธิ์ซึ่งเป็นแป้งที่ได้จากพืชหัว มีโครงสร้างผลึกแบบ B-type ซึ่งเป็นผลึกแบบ Hexagonal ( $a=b=1.85$  nm และ  $c=1.04$ nm) ที่พบพีคที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $15.3^\circ$ ,  $17.0^\circ$  และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22.9° ถูกทำลายเกิดโครงสร้างใหม่ที่มีความเป็นผลึกลดลง ( $V_H$ -type) [52] ส่วนรูปที่ 4.8 (ข) แสดง XRD ของเส้นใยฝ้าย พบพีกที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ 18.0°, 23.3° และ 26.0° ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกแบบ Cellulose I [53] และรูปที่ 4.8 (ค) แสดง XRD ของอะการ์ พบพีกที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ 19.7° [2]



รูปที่ 4.9 ดิฟแฟร็กโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์ (ก) TPCS/LDPE (ข) TPCS/LDPE/Cot5 (ค) TPCS/LDPE/A6 (ง) TPCS/LDPE/A10 และ (จ) TPCS/LDPE/A10/Cot5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์บอนไฟเบอร์ โดยใช้เทคนิค XRD

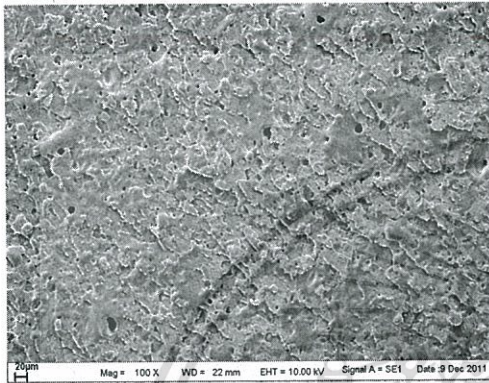
ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก
TPCS/LDPE	34.42
TPCS/LDPE/Cot5	35.64
TPCS/LDPE/A6	34.74
TPCS/LDPE/A10	34.88
TPCS/LDPE/A10/Cot5	35.12

จากรูปที่ 4.9 (ก) แสดง XRD ของ TPCS/LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์บอนไฟเบอร์ พบพีกที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $19.6^\circ$ ,  $21.4^\circ$ ,  $23.7^\circ$ ,  $25.3^\circ$  และ  $36.0^\circ$  โดยพีกที่พบที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $21.4^\circ$ ,  $23.7^\circ$  และ  $36.0^\circ$  เป็นพีกที่มุม  $2\theta$  ของ LDPE ซึ่งพีกที่พบนี้มาจากโครงสร้างผลึกของ LDPE เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการใช้ปริมาณของ LDPE ที่ 50 % โดยน้ำหนัก และมีการเติมสารช่วยผสม MAPE ทำให้วัฏภาคของ TPCS และ LDPE มีความเข้ากัน พีก  $19.6^\circ$  เป็นพีกของ TPCS ส่วนพีก  $25.3^\circ$  เป็นพีกของ  $\text{TiO}_2$  ที่ผสมลงไปเพื่อเป็นสารให้สี เมื่อพิจารณาสูตรที่ทำการเติมเส้นใยรูปที่ 4.9 (ข) TPCS/LDPE/Cot5 พบพีกที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $19.6^\circ$ ,  $21.2^\circ$ ,  $23.5^\circ$ ,  $25.2^\circ$  และ  $36.0^\circ$  พบว่าดิฟแฟรคโทแกรมที่ได้มีรูปแบบเหมือนกับ TPCS/LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์บอนไฟเบอร์ และมีความเข้ม (Intensity) ของดิฟแฟรคโทแกรมไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากพีกที่พบเกิดการซ้อนทับกันของ TPCS, LDPE และเส้นใย แต่เมื่อมีการเติมอะคาร์บอนลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE (รูปที่ 4.9 (ค) และ (ง)) พบว่าดิฟแฟรคโทแกรมที่ได้มีรูปแบบเหมือนกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE และมีความเข้ม (Intensity) ของดิฟแฟรคโทแกรมไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน โดยพบพีกที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $19.6^\circ$ ,  $21.4^\circ$ ,  $23.6^\circ$ ,  $25.2^\circ$  และ  $36.0^\circ$  ซึ่งเป็นพีกที่มุม  $2\theta$  ของ TPCS และ LDPE และจากตารางที่ 4.3 ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยอะคาร์บอนไฟเบอร์มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกไม่ต่างไปจากเดิม แสดงให้เห็นว่าอะคาร์บอนที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ไม่มีผลต่อการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของ TPCS และ LDPE

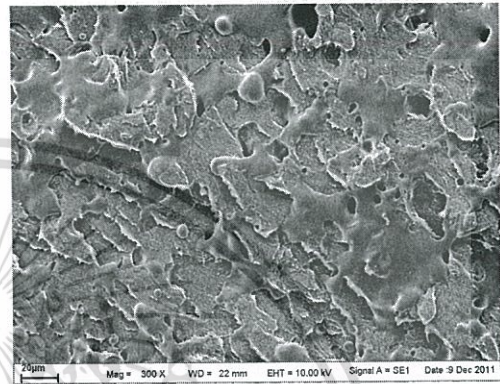
รูปที่ 4.9 (จ) แสดง XRD ของ TPCS/LDPE/A10/Cot5 โดยพบพีกที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $19.6^\circ$ ,  $21.2^\circ$ ,  $23.6^\circ$ ,  $25.2^\circ$  และ  $36.0^\circ$  ซึ่งพีกที่พบคล้ายกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์บอนไฟเบอร์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากพีกของเส้นใยนั้นจะพบพีกที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $18.0^\circ$ ,  $23.3^\circ$  และ  $26.0^\circ$  จึงน่าจะเกิดการซ้อนทับกันของพีก

#### 4.1.3 สัณฐานวิทยา

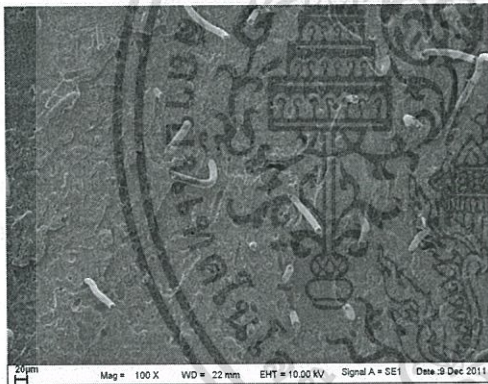
การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงความเข้ากันได้โดยใช้สารช่วยผสม MAPE และทำการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้าย ทำได้โดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวและความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้าย



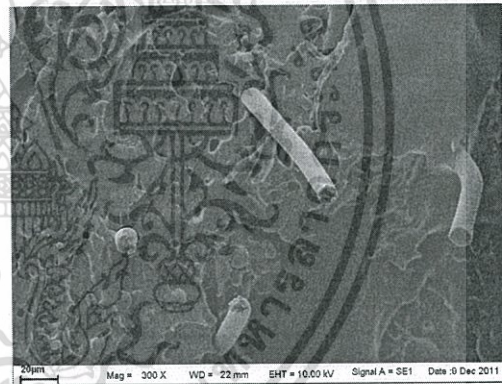
(ก) TPCS/LDPE, 100X



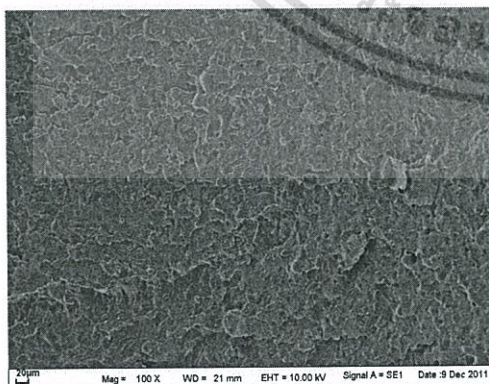
(ข) TPCS/LDPE, 300X



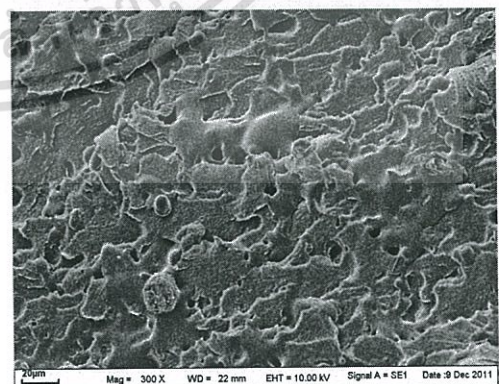
(ค) TPCS/LDPE/Cot5, 100X



(ง) TPCS/LDPE/Cot5, 300X

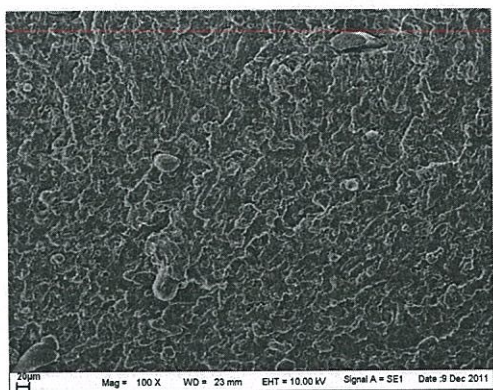


(จ) TPCS/LDPE/A6, 100X

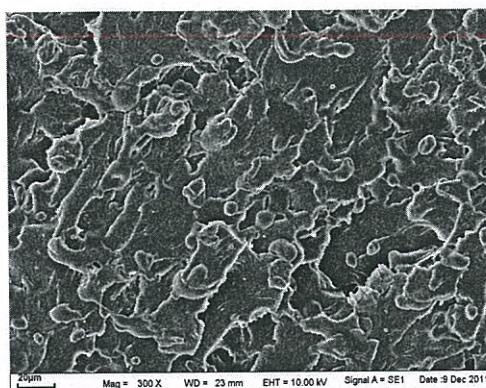


(ฉ) TPCS/LDPE/A6, 300X

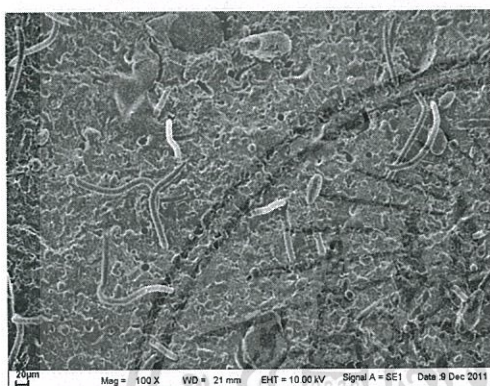
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



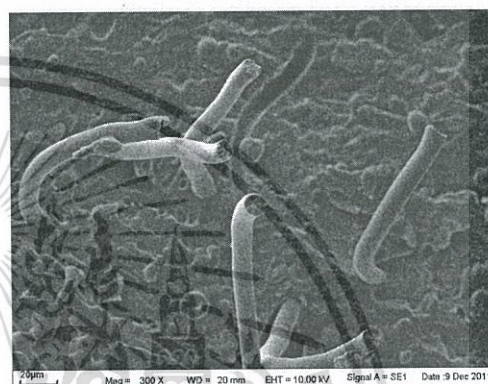
(ก) TPCS/LDPE/A10, 100X



(ข) TPCS/LDPE/A10, 300X



(ค) TPCS/LDPE/A10/Cot5, 100X



(ง) TPCS/LDPE/A10/Cot5, 300X

**รูปที่ 4.10** ลักษณะปรากฏภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์บอนใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า

จากรูปที่ 4.10 แสดงลักษณะภาคตัดขวางของ TPCS/LDPE (รูปที่ 4.10 (ก) และ (ข)) ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า ตามลำดับ พบว่าที่กำลังขยาย 100 เท่า พื้นผิวมีลักษณะขรุขระ แต่เมื่อใช้กำลังขยายภาพ 300 เท่า สามารถมองเห็นการแยกวัฏภาคระหว่าง TPCS และ LDPE โดยส่วนที่มีลักษณะพื้นผิวเรียบ คือ ส่วนของ LDPE และส่วนที่มีลักษณะขรุขระ คือ ส่วนของ TPCS เนื่องจากความเป็นขี้ที่แตกต่างกันของ LDPE ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขี้ แต่ TPCS มีขี้ จึงทำให้เกิดการแยกระหว่างวัฏภาคทั้งสอง

รูปที่ 4.10 (ค)-(ง) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของ TPCS/LDPE/Cot5 ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า ตามลำดับ ซึ่งพอลิเมอร์ผสมประกอบไปด้วยส่วนของเมทริกซ์ คือ TPCS, LDPE และเส้นใยฝ้าย พบว่าเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดีบนเมทริกซ์ของ TPCS และ LDPE และยังพบ TPCS เกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยฝ้าย (Surface wetting) ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ระหว่าง วัฏภาคของ TPCS และเส้นใยฝ้าย เนื่องจากการที่ TPCS และเส้นใยฝ้ายมีหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งแสดงควมมีขี้เหมือนกันทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างสองวัฏภาค มีการกระจายตัวที่ดี มีการยึดเกาะกันแน่นหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ส่งผลให้เกิดแรงกระทำระหว่างเมทริกซ์ TPCS กับเส้นใยฝ้ายที่แข็งแรง แต่พบรอยต่อระหว่าง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิภาค (Interface) ระหว่างเส้นใยฝ้ายและ LDPE เนื่องจากความแตกต่างระหว่างวิภาคของส่วนที่มีขี้ (TPCS อะการ์ และเส้นใย) และส่วนไม่มีขี้ (LDPE)

รูปที่ 4.10 (จ)-(ฉ) และ (ช)-(ซ) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของ TPCS/LDPE/A6 และ TPCS/LDPE/A10 ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า ตามลำดับ ซึ่งพอลิเมอร์ผสมประกอบไปด้วยส่วนของเมทริกซ์ คือ TPCS, LDPE และอะการ์ พบว่าเมื่อปริมาณของอะการ์เพิ่มขึ้นพื้นผิวมีลักษณะเรียบมากขึ้น TPCS และอะการ์มีการรวมตัวกัน โดยวิภาคของ TPCS และอะการ์มีความเข้ากัน เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ของ TPCS และอะการ์มีความเป็นขี้เหมือนกัน มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกันคือ เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ และมีหมู่ไฮดรอกซิลเหมือนกัน จึงทำให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่าง TPCS และอะการ์และการเติมสารช่วยผสม MAPE สามารถช่วยในการยึดติดระหว่างผิวสัมผัสของวิภาคทั้งสาม โดยในส่วนที่มีขี้ของ MAPE จะไปยึดติดกับหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่ไฮดรอกซิลของอะการ์เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจน และโมเลกุลของ MAPE ที่เป็นส่วนของพอลิเอทิลีนสามารถเกิดการเกี่ยวพันกับสายโซ่โมเลกุลของ LDPE (รูปที่ 4.2)

รูปที่ 4.10 (ณ)-(ญ) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของ TPCS/LDPE/A10/Co15 ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่าตามลำดับ พบว่าเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดิบบนเมทริกซ์ของ TPCS, อะการ์ และ LDPE เนื่องจาก TPCS และเส้นใยฝ้าย มีโครงสร้างที่คล้ายกันคือมีหมู่ไฮดรอกซิลเหมือนกัน จึงทำให้สามารถเข้ากันได้ดี แต่พบรอยต่อระหว่างวิภาคระหว่างวิภาคระหว่างเส้นใยฝ้ายและ LDPE บ้าง เนื่องจากความเป็นขี้ที่แตกต่างกันของเส้นใยฝ้ายและ LDPE

นอกจากนี้พบว่าพอลิเมอร์ผสมมีช่องว่างกระจายตัวอยู่ เนื่องมาจากการ TPCS และอะการ์มีการดูดซับความชื้นไว้ ดังนั้นเมื่อนำมาผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิสูง จึงเกิดการระเหยของน้ำหรือความชื้นเกิดเป็นช่องว่างภายในพอลิเมอร์ผสม

#### 4.1.4 การวัดสี

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อวัดค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  และ  $H^\circ$  ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้าย

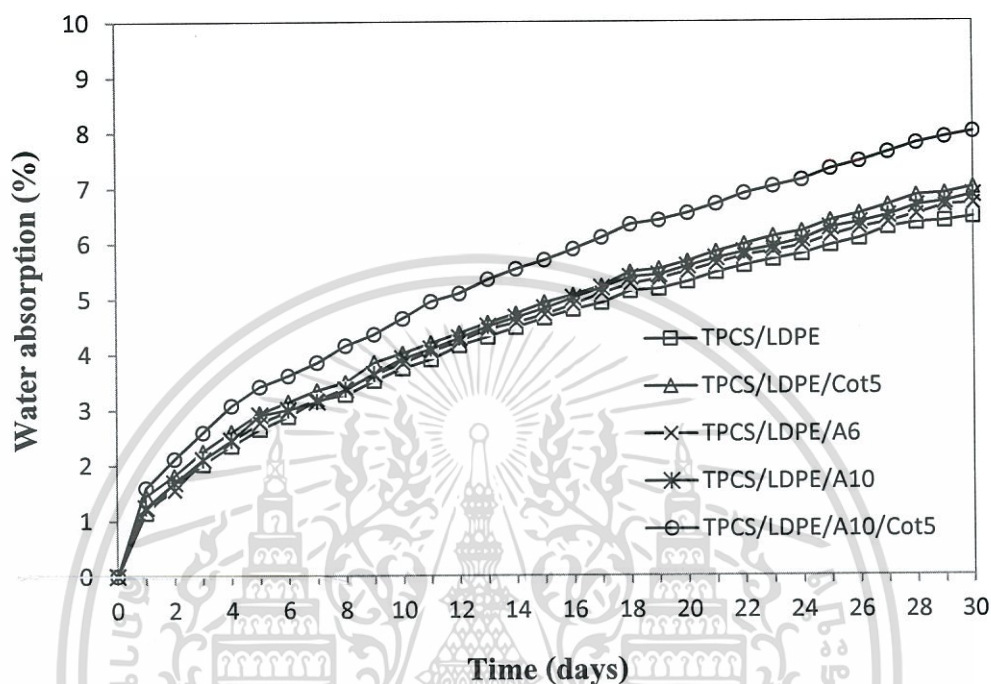
ตัวอย่าง	ค่าการวัดสี				
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$H^\circ$
TPCS/LDPE	89.0±0.2	0.90±0.23	3.74±0.12	3.85±0.11	76.5±3.5
TPCS/LDPE /Cot5	89.2±0.4	1.13±0.34	3.80±0.23	3.99±0.16	70.8±1.8
TPCS/LDPE/A6	85.0±0.8	1.09±0.46	7.00±0.48	7.06±0.45	83.0±4.0
TPCS/LDPE/A10	83.2±0.5	1.23±0.59	8.79±0.62	8.99±0.64	82.6±3.9
TPCS/LDPE/A10/Cot5	82.0±0.1	1.73±0.52	10.64±0.23	10.72±0.28	81.6±2.9

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  $C^*$  แสดงค่าความสดใของสี และค่า  $H^\circ$  ระบุตำแหน่งของสีเปรียบเทียบกับมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ในปริมาณต่างๆ และเส้นใยฝ้าย พบว่าค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  และ  $H^\circ$  มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE โดยพบว่าการเติมอะคาร์ลงในพอลิเมอร์ผสมปริมาณมากขึ้นทำให้ค่า  $L^*$  มีค่าลดลง เนื่องจากอะคาร์ที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมเป็นของแข็งที่มีความทึบแสง จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสีเข้มขึ้นและทึบแสงขึ้น และมีค่า  $b^*$  และ  $C^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากอะคาร์มีสีชาคริมมีเม็ดสีออกไปทางสีเหลือง ส่วนการเติมเส้นใยฝ้ายลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  และ  $C^*$  ไม่แตกต่างไปจากเดิม แต่โดยภาพรวมแล้วพอลิเมอร์ผสมมีสีออกไปทางสีเหลืองทุกสูตร

#### 4.1.5 การดูดซับน้ำ

ศึกษาการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์ และเส้นใยฝ้าย แสดงได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 เปรี่เซ้นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์ (ก) TPCS/LDPE (ข) TPCS/LDPE/Cot5 (ค) TPCS/LDPE/A6 (ง) TPCS/LDPE/A10 และ (จ) TPCS/LDPE/A10/Cot5

จากการทดลองการดูดซับน้ำ (รูปที่ 4.11) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์ที่ปริมาณแตกต่างกัน พบว่าการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE มีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ภายในเวลา 30 วันทำการทดลอง พอลิเมอร์ผสมมีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ TPCS/LDPE, TPCS/LDPE/Cot5, TPCS/LDPE/A6, TPCS/LDPE/A10 และ TPCS/LDPE/A10/Cot5 เมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน เท่ากับ 6.45, 6.99, 6.69, 6.85, และ 7.99 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณของอะการ์เพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่ามากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก TPCS และอะการ์มีหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นขั้วมีสมบัติชอบน้ำจึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี โดย TPCS มีหมู่ไฮดรอกซิลปริมาณมาก ส่วนอะการ์เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดเจลได้อย่างมีศักยภาพสูง ซึ่งอะการ์มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากเช่นเดียวกัน จึงทำให้มีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับ โมเลกุลของน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการผสมเส้นใยฝ้ายลงไป พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่ามากขึ้นสามารถสังเกตได้จากทั้ง 2 สูตรที่ทำการผสมเส้นใยฝ้ายลงไป คือ สูตร TPCS/LDPE/Cot5 และ TPCS/LDPE/A10/Cot5 จากผลทางสถิติฐานวิทยา (รูปที่ 4.10) ที่พบรอยต่อระหว่างวัฏภาคระหว่าง LDPE และเส้นใยฝ้าย เป็นผลมาจากความแตกต่างระหว่างวัฏภาคของส่วนที่มีขี้ (TPCS, อะการ์ และเส้นใย) และส่วนไม่มีขี้ (LDPE) ทำให้น้ำแทรกผ่านรอยต่อระหว่างวัฏภาคเข้ามาได้มากขึ้น ส่งผลให้การผสมเส้นใยฝ้ายลงในพอลิเมอร์ผสมมีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น

#### 4.1.6 ค่าดัชนีการไหล

การศึกษาค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์และเส้นใยฝ้าย โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 190°C และใช้น้ำหนักกดทับ 2.16 kg ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์และเส้นใยฝ้าย

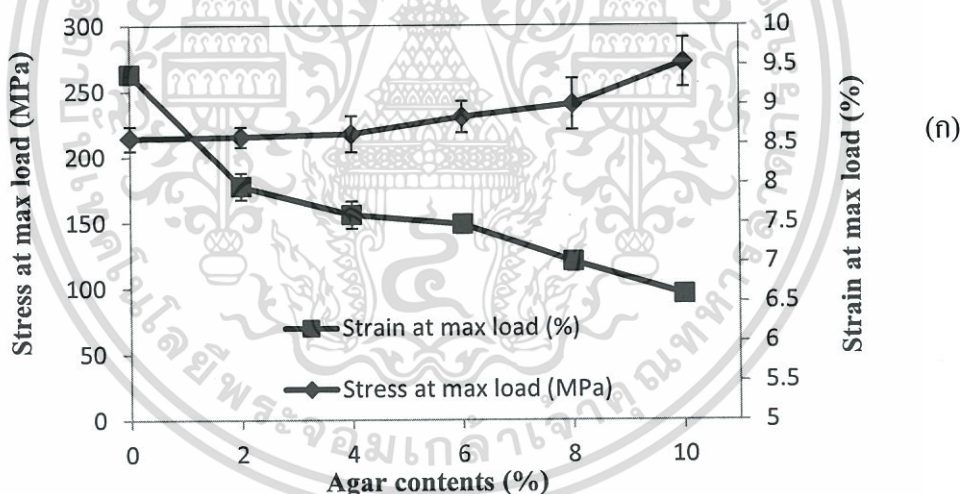
ตัวอย่าง	MFI (g/10 min)	ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ออกมาจากหัวคายของเครื่อง Melt Flow Indexer
TPCS/LDPE	5.2±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการฟองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/Cot5	3.0±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการฟองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/A6	4.8±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการฟองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/A10	4.3±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการฟองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/A10/Cot5	2.4±0.1	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการฟองตัวของ TPCS

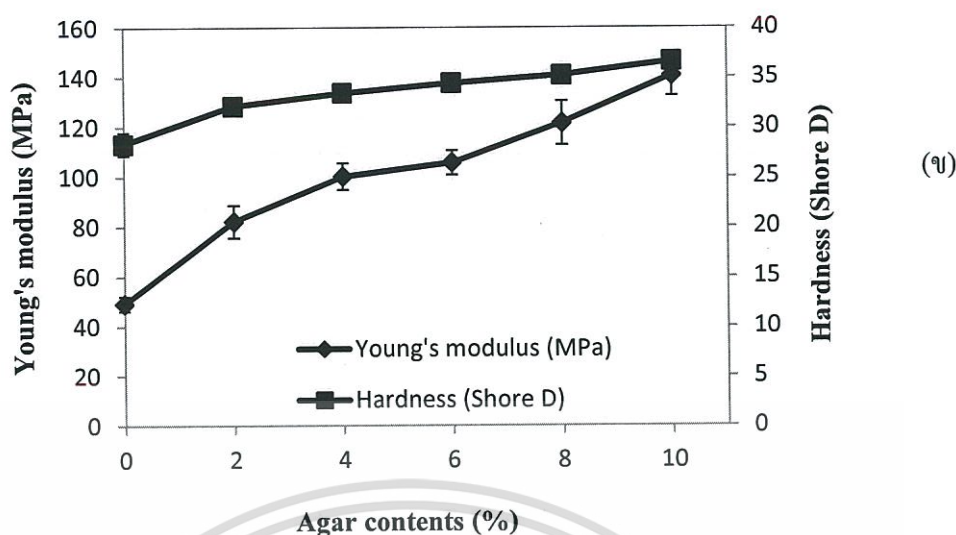
จากการศึกษาค่าดัชนีการไหล พบว่าพอลิเมอร์ผสม TPCS/LDPE ที่มีการเติมอะการ์ 0% โดยน้ำหนัก มีค่าดัชนีการไหลมากที่สุด การเติมอะการ์ลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ทำให้ค่าดัชนีการไหลลดลง และเมื่อเติมอะการ์ในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ความหนืดสูงขึ้นเนื่องจากอะการ์ที่เติมลงไปเป็นเหมือนสารตัวเติม จึงเข้าไปขวางการเคลื่อนที่ของสายพอลิเมอร์ขณะหลอมเหลวทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น และอะการ์ที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมสามารถเข้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันได้ดีกับอนุภาคของ TPCS น่าจะเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของ TPCS และอะคาร์เกิด เป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น (รูปที่ 4.3) ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ได้รับความร้อนเกิดการไหลได้ยากขึ้น มีความหนืดสูงขึ้น ส่วนการเติมเส้นใยฝ้ายลงไป พบว่าทั้ง 2 สูตร คือ สูตร TPCS/LDPE/Cot5 และ TPCS/LDPE/A10/Cot5 ทำให้ค่าดัชนีการหลอมไหลลดลง เนื่องจากเส้นใยฝ้ายเป็นของแข็งและมีขนาดใหญ่ และผลจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของ TPCS และเส้นใยฝ้าย แสดงได้จากรูปที่ 4.5 จึงทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวทำให้ไหลได้ยากขึ้น ความหนืดสูงขึ้น

#### 4.1.7 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงดึง ย้่งมอดูลัส เปรอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด ความแข็งกด และความแข็งแรงกระแทก โดยพิจารณาจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ที่ปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่อะคาร์ 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr ให้ผลการทดลองดังนี้





**รูปที่ 4.12** สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย อะการ์ (ก) ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด และ (ข) ย้งมอดุลัสและความแข็งกด

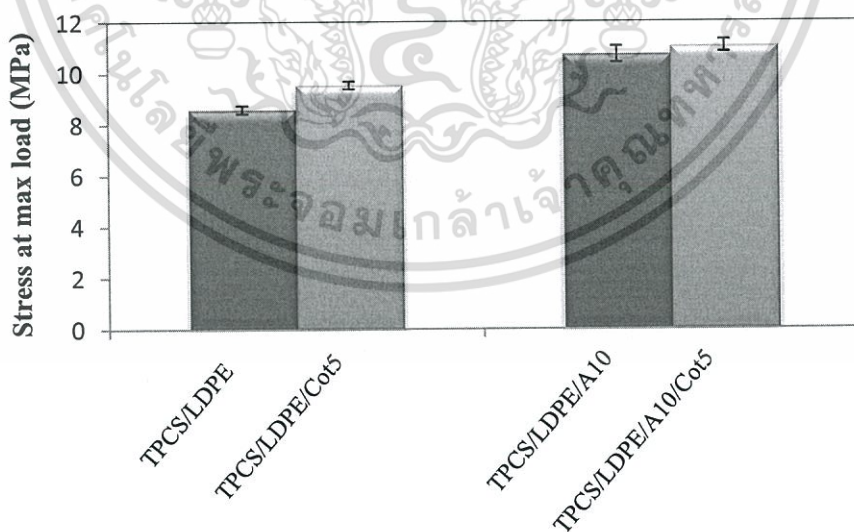
จากรูปที่ 4.12 (ก) และ (ข) แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์ที่ปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10% โดยน้ำหนัก พบว่าความแข็งแรงดึง ย้งมอดุลัส และความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE มีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณของอะการ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากอะการ์เป็นสารเพิ่มความหนืด สารก่อเจล [17] โดยที่อะการ์และแป้งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยกันทั้งคู่ มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกัน มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก จึงเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของ TPCS และอะการ์เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น โดยอธิบายได้จากการที่พีคของ O-H stretching มีการเลื่อนตำแหน่งของเลขคลื่นไปยังค่าที่น้อยลง (รูปที่ 4.1) ซึ่งการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของ TPCS และอะการ์ ทำให้ช่องว่างระหว่างสายโซ่ลดลง สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการยึดตัวออกได้ยากขึ้น ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีลักษณะแข็ง ความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมจึงมีค่าลดลง และการสร้างพันธะเอสเทอร์ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่มาลีอิกแอนไฮไดรด์ของ MAPE จุดบกพร่องหรือรอยต่อระหว่างภูมิภาคจึงมีน้อยดังแสดงในผลของสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.10) ปริมาณของอะการ์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น ซึ่งความแข็งแรงของเจลมีผลต่อค่าความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสม ดังนั้นถ้าพอลิเมอร์ผสมมีค่าความแข็งแรงสูงแสดงว่ามีความแข็งแรงของเจลมากจึงต้องใช้แรงในการทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการเสียรูปมากด้วย ส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นจึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลง

ผลของสมบัติเชิงกลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Y. Wu และคณะศึกษาการเตรียมฟิล์ม

เชิงประกอบจากแป้งมันฝรั่ง (Potato starch) และวุ้นที่ปริมาณ 0-30% โดยใช้กลีเซอรอลเป็นค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

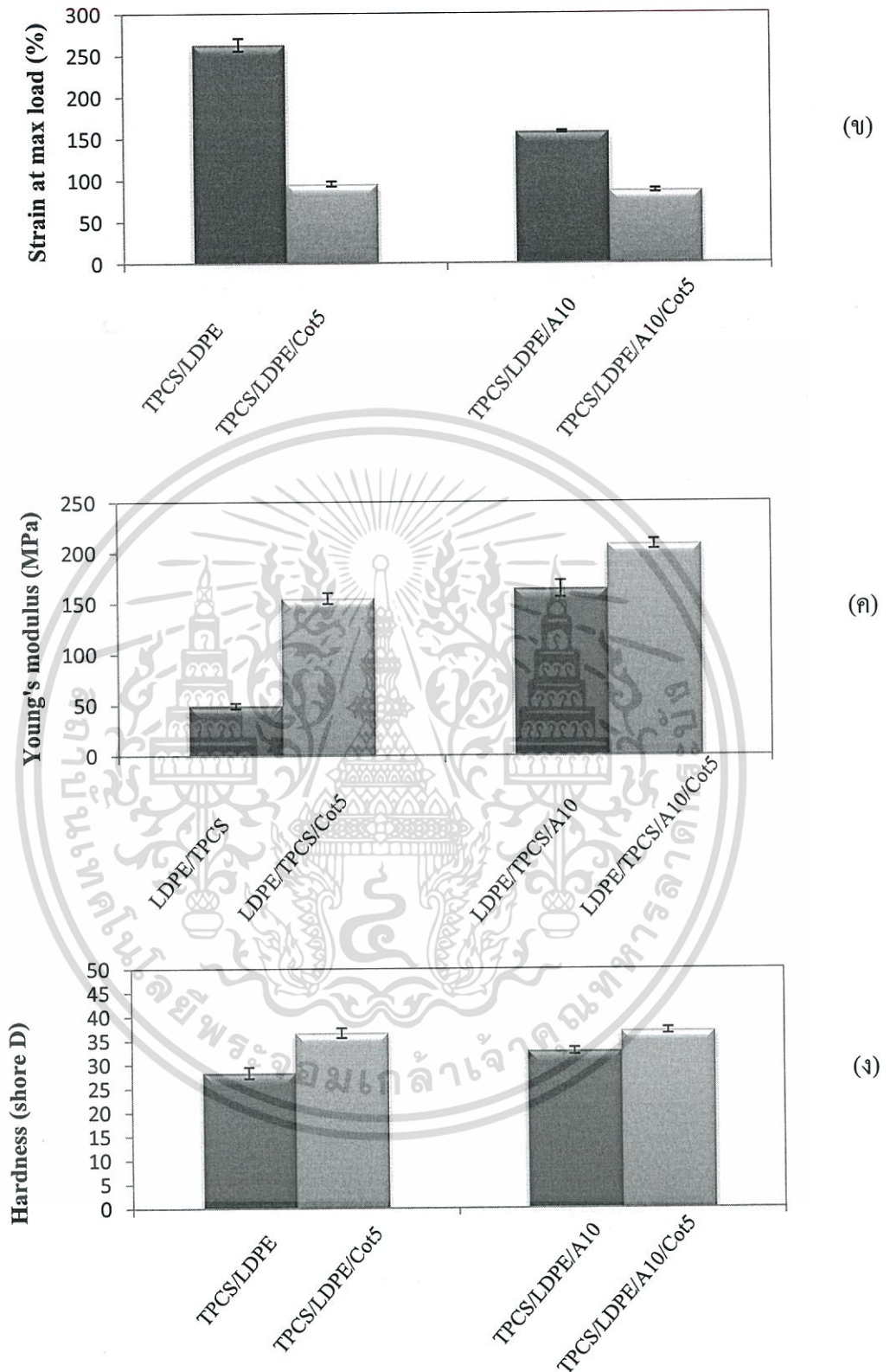
พลาสติกไซเซออร์ ใช้เทคนิคการหล่อแบบ (Casting) ในการขึ้นรูป [2] และยังคงคล้องกับงานวิจัยของนิสานาด หลิมศิริวงษ์ และคณะ [54] ที่ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ จากแป้งข้าวเหนียวโดยใช้ผงวุ้นและเส้นใยฝ้าย และงานวิจัยของจันทกานต์ พงษ์พิธิ และคณะ [55] ที่ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์จากแป้งท้าวยายม่อมโดยใช้ผงวุ้นและโคโคซาน ซึ่งพบว่าค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณอะคาร์มากขึ้น เนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งกับอะคาร์มากขึ้น พิจารณาได้จาก FTIR และจากสัณฐานวิทยา พบว่า แป้งและอะคาร์มีความเข้ากันได้ ดังนั้นจึงส่งผลให้การรับแรง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสสูงขึ้นตามไปด้วย ส่วนค่าการดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด พบว่ามีแนวโน้มลดลง เมื่ออะคาร์มีปริมาณมากขึ้น พบว่าพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะแข็งเปราะ มีการดึงยืดและมีความยืดหยุ่นน้อยลง เนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งกับอะคาร์มากขึ้น

จากการพิจารณาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการเติมอะคาร์ในปริมาณต่างๆ กันนั้น พบว่าปริมาณของอะคาร์ที่เหมาะสมที่สุด คือ 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งส่งผลให้สมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงดีที่สุด ดังแสดงได้จากการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงดึง ย่อมอดุลัสและความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์มีค่าสูงที่สุด จึงนำมาปรับปรุงสมบัติต่อด้วยการนำมาผสมเส้นใยฝ้าย 5 phr (TPCS/LDPE/A10/Cot5)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPEที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย อะคาร์และเส้นใยฝ้าย (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปรอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด (ค) ย้่งมอดุลัส และ (ง) ความแข็งกด

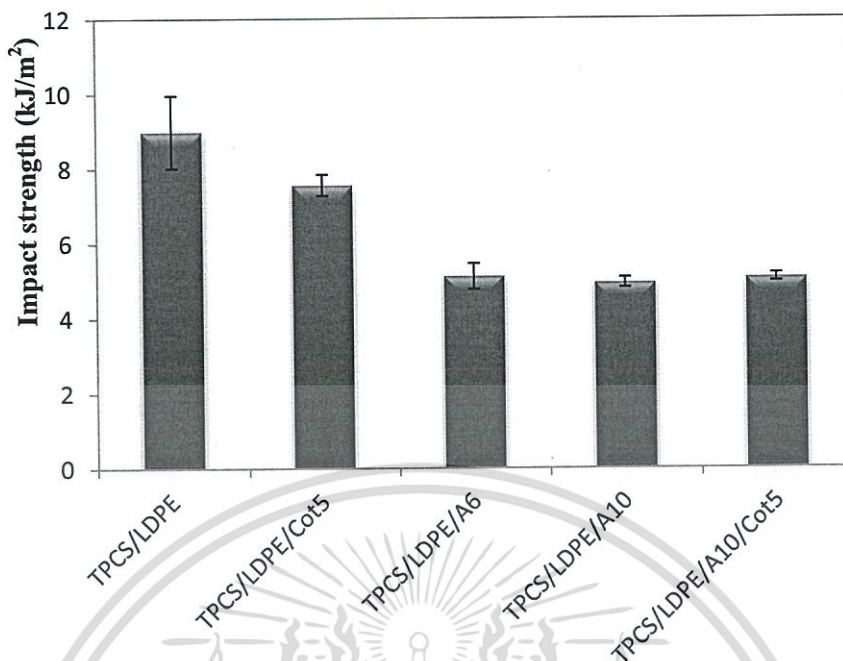
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 (ก) และ (ค) แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย (TPCS/LDPE/Cot5) จากผลการทดลองพบว่าความแข็งแรงดึงและยังมอดูลัสของ TPCS/LDPE/Cot5 มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความเป็นผลึกสูงมาก ทำให้มีความแข็งแรงมาก สามารถทนแรงดึงตามแนวแกนได้ดี [24] และเส้นใยฝ้ายสามารถเข้ากันได้ดีกับ TPCS เพราะในโครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นขั้วเหมือนกัน ส่งผลให้ TPCS/LDPE/Cot5 ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการรับแรงและกระจายแรงที่ดี ทำให้ TPCS/LDPE/A10/Cot5 มีแนวโน้มเช่นเดียวกับ TPCS/LDPE/Cot5 เส้นใยฝ้ายสามารถเข้ากันได้ดีกับอะคาร์ เพราะมีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกันและมีความเป็นขั้วเหมือนกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดที่จุดแรงดึงสูงสุด มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมเส้นใยฝ้ายลงไป เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงมากจึงทำให้ความสามารถในการยืดออกและเปลี่ยนรูปร่างเป็นไปได้ยากกว่า

ความแข็งแรง พบว่าการผสมเส้นใยฝ้ายลงในทั้ง 2 สูตร คือ TPCS/LDPE/Cot5 และ TPCS/LDPE/A10/Cot5 มีผลทำให้ความแข็งแรงมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงมากกว่าส่วนเมทริกซ์ จึงทำให้พื้นผิวของเมทริกซ์แข็งขึ้น

แต่ที่ TPCS/LDPE/A10/Cot5 มีความแข็งแรงดึง ยังมอดูลัสและความแข็งแรงมากกว่า แต่มีค่าการดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืดต่ำกว่านั้น เพราะอะคาร์และ TPCS มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกันจึงเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของ TPCS และอะคาร์เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น และการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง TPCS และเส้นใยฝ้าย (รูปที่ 4.2-4.5) ทำให้ช่องว่างระหว่างสายโซ่ลดลง สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น จึงมีแรงต้านการเปลี่ยนรูปร่างสูงขึ้น และมีการยึดตัวได้น้อยลง

การศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้าย โดยทำการทดสอบจากค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ให้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.14

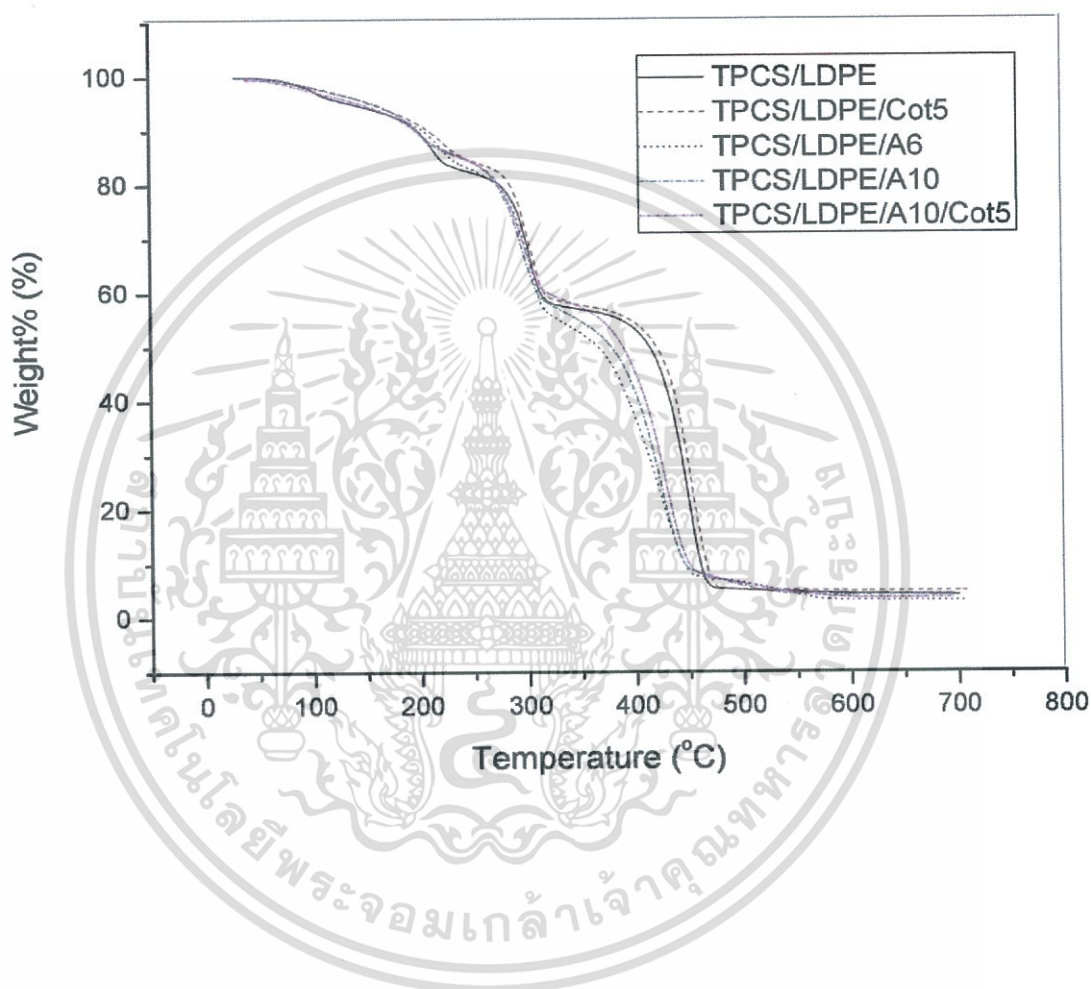


รูปที่ 4.14 ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้าย

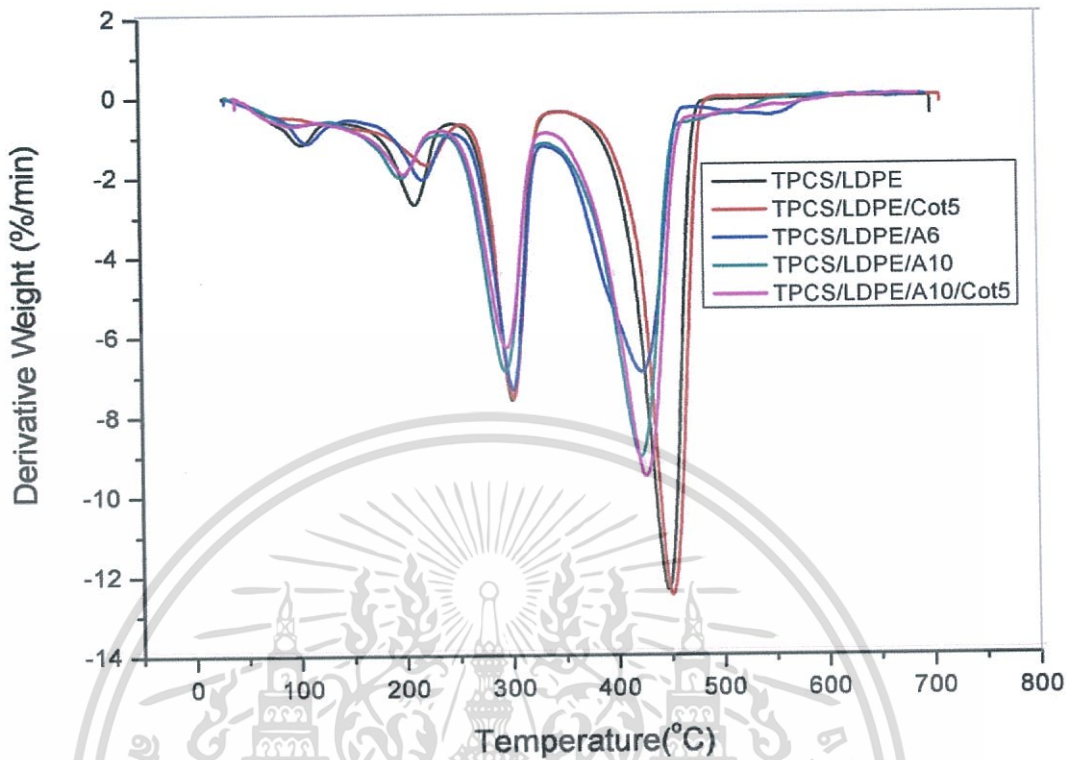
จากรูปที่ 4.14 แสดงค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้าย พบว่าพอลิเมอร์ผสม TPCS/LDPE มีค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่สุด รองลงมา คือ พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้าย (TPCS/LDPE/Cot5) ส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้าย (TPCS/LDPE/A6, TPCS/LDPE/A10 และ TPCS/LDPE/A10/Cot5) มีค่าน้อยที่สุด โดยที่ทั้ง 3 สูตรนี้มีค่าความแข็งแรงกระแทกใกล้เคียงกัน เนื่องจากอะคาร์เป็นสารที่ก่อให้เกิดเจล ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีลักษณะแข็ง ความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง และเกิดจากอันตรกิริยาที่ระหว่าง โมเลกุลของ TPCS และอะคาร์เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น (รูปที่ 4.3) ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น สายโซ่พอลิเมอร์ขยับได้ยากขึ้น ทำให้ความสามารถในการสั่นเพื่อให้แรงที่ได้รับกระจายไปได้น้อยกว่า จึงทำให้รับแรงแล้วส่งผ่านแรงได้ไม่ดี ส่วนการผสมเส้นใยฝ้ายลงไปแล้วทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทกลดลง เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความแข็ง จึงไม่ช่วยในการส่งผ่านแรง

#### 4.1.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPEที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย 5 phr โดยสมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (Decomposition temperature at peak) ซึ่งให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงด้วยอะคาร์และเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C)		
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (TPCS และอะคาร์)	ช่วงที่ 3 (LDPE และเส้นใยฝ้าย)
TPCS/LDPE	210.7	301.2	447.9
TPCS/LDPE/Cot5	222.9	302.5	451.1
TPCS/LDPE/A6	218.2	302.2	423.6
TPCS/LDPE/A10	197.9	294.4	423.0
TPCS/LDPE/A10/Cot5	200.7	295.5	427.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

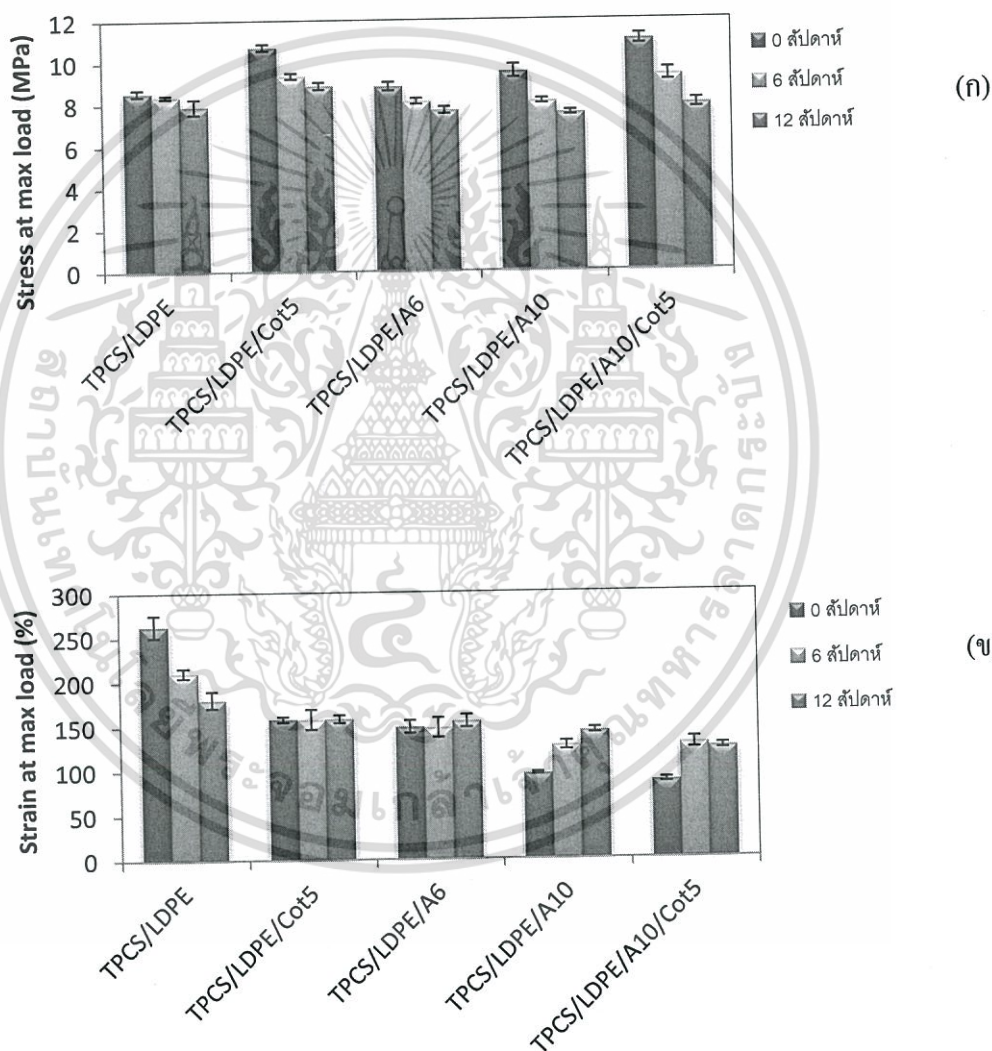
จากรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.6 พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติ มีอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด 3 ช่วงกล่าวคือ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ  $210.7^{\circ}\text{C}$  เป็นอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของกลีเซอรอล [40] ช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิ  $301.2^{\circ}\text{C}$  เป็นอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของ TPCS [5] และช่วงสุดท้ายที่อุณหภูมิ  $447.9^{\circ}\text{C}$  เป็นอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของ LDPE [5] ส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย พบว่ามีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวมี 3 ช่วง คือ  $222.9^{\circ}\text{C}$ ,  $302.5^{\circ}\text{C}$  และ  $451.1^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยฝ้ายซึ่งพบว่าอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดประมาณ  $430.7^{\circ}\text{C}$  [56] โดยอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของเส้นใยฝ้ายมีค่าใกล้เคียงกับ LDPE ดังนั้นอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของเส้นใยฝ้ายและ LDPE จึงเกิดที่ตำแหน่งเดียวกัน โดยที่อุณหภูมิการสลายตัวของ TPCS ของสูตร TPCS/LDPE/Cot5 ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการสลายตัวของ TPCS ในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุง แสดงว่าการเติมเส้นใยฝ้ายลงในพอลิเมอร์ผสมไม่มีผลต่อเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม

จากการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ด้วยอะคาร์ที่ปริมาณ 6 และ 10% โดยน้ำหนัก พบว่าอะคาร์มีอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดประมาณ  $280.1^{\circ}\text{C}$  โดยอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของอะคาร์มีค่าใกล้เคียงกับ TPCS อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของ TPCS และอะคาร์จึงเกิดที่ตำแหน่งเดียวกัน และที่ปริมาณอะคาร์ 6 และ 10% โดยน้ำหนัก พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของ TPCS อยู่ที่  $302.2^{\circ}\text{C}$  และ  $294.4^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยอุณหภูมิของ TPCS ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์มีค่าลดลงเมื่อเติมอะคาร์ลงในพอลิเมอร์ผสมที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของ TPCS ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ เนื่องจากอะคาร์ดูดความร้อนแล้วสะสมความร้อนไว้ในระยะยาวได้โดยไม่เกิดการสลายตัว ทำให้สามารถส่งผ่านความร้อนไปยัง TPCS ได้ ส่งผลให้ TPCS ได้รับความร้อนมากขึ้นจึงเริ่มเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำลง

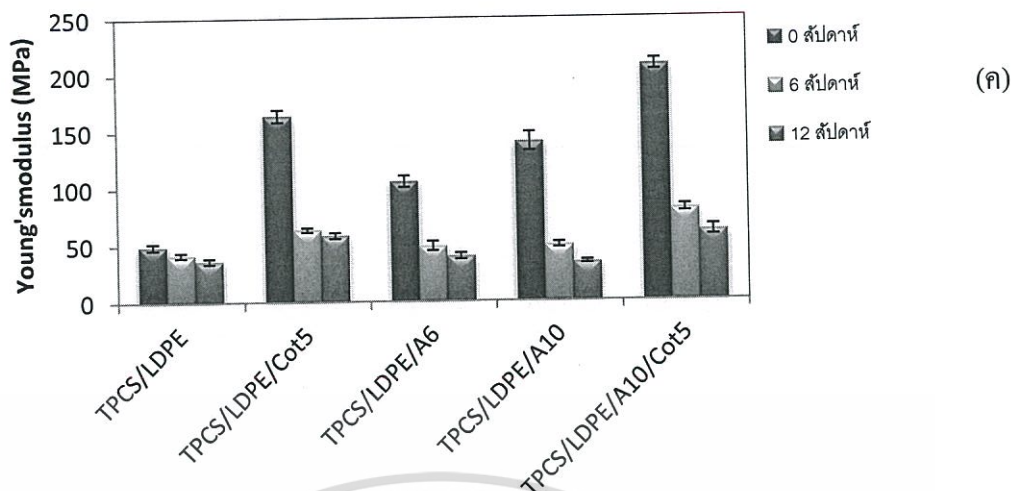
ส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ 10% โดยน้ำหนักและเส้นใยฝ้าย พบว่ามีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวมี 3 ช่วง คือ  $200.7^{\circ}\text{C}$ ,  $295.5^{\circ}\text{C}$  และ  $427.2^{\circ}\text{C}$  โดยอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของ TPCS ของ TPCS/LDPE/A10/Cot5 มีค่าไม่แตกต่างไปจากเดิม แสดงว่าการเติมเส้นใยฝ้ายลงในพอลิเมอร์ผสมไม่มีผลต่อเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยอะคาร์

#### 4.1.9 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินโดยการนำพอลิเมอร์ผสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่อะคาร์ 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr นำพอลิเมอร์ผสมมาฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12 สัปดาห์ ที่มีการควบคุมความชื้นของดินคงที่ในช่วง 30-40% โดยทำการศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ย้งมอดุลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด ให้ผลการทดลองดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย อะคาร์และเส้นใยฝ้าย ที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์ (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) ย้งมอดุลัส

จากรูปที่ 4.16 (ก)-(ค) แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่อะคาร์ 10% โดยน้ำหนัก ผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr ที่ทำการฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12 สัปดาห์ พบว่าความแข็งแรงดึง ยังมอดุลัส และมีแนวโน้มลดลงทุกสูตร เนื่องจากในดินที่นำมาทดสอบมีความชื้นอยู่ ทำให้พอลิเมอร์ผสมดูดน้ำในดิน เพราะพอลิเมอร์ผสมมีส่วนประกอบของแป้ง, กลีเซอรอล และ อะคาร์ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดเจล จึงมีความชอบน้ำ และเกิดจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งบริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมมีการเปลี่ยนแปลงคือ มีเชื้อราเกิดขึ้นตามบริเวณต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงลดลง

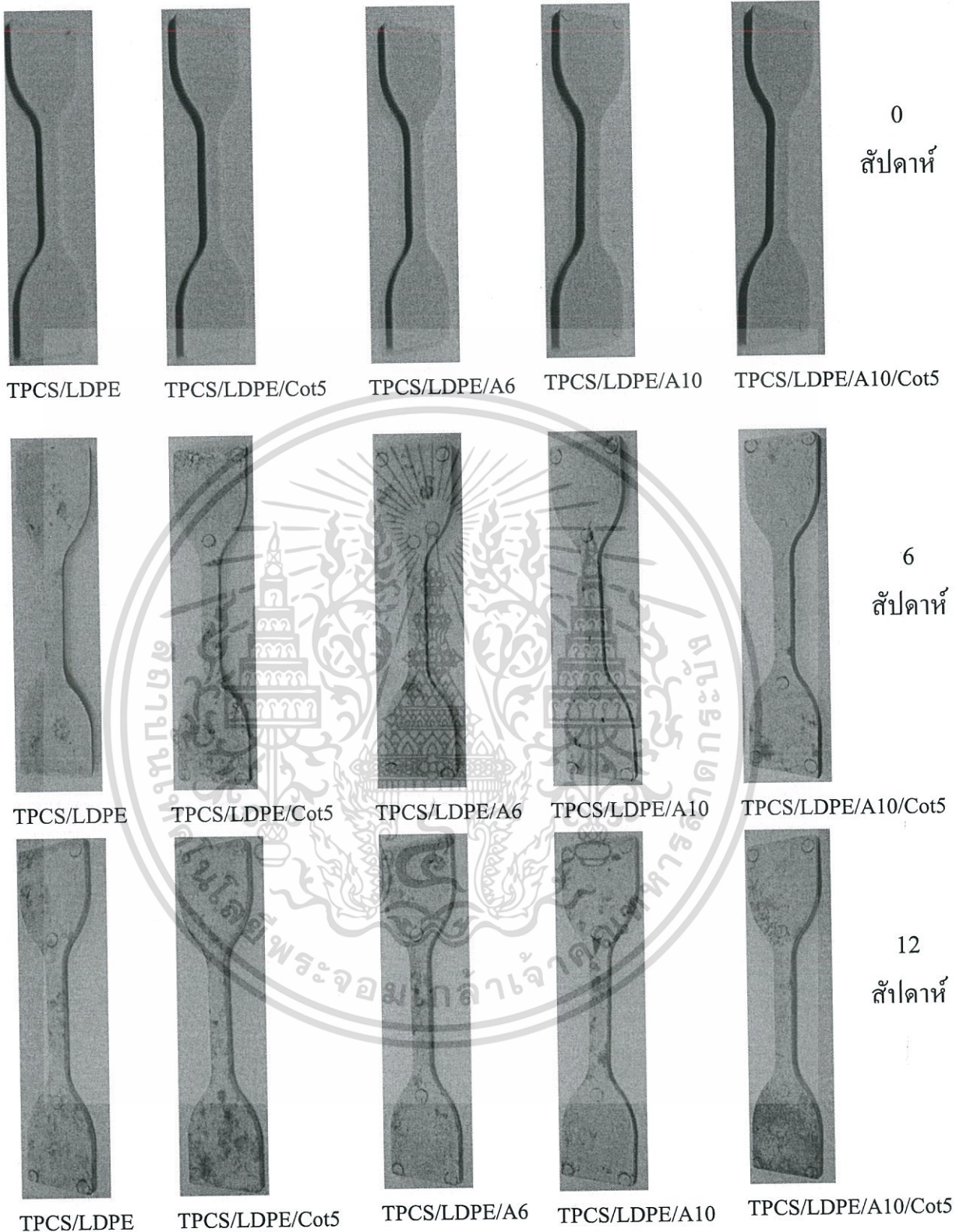
เมื่อพิจารณาที่ปริมาณของอะคาร์เพิ่มขึ้น พบว่าที่ระยะเวลาการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์ ความแข็งแรงดึง ยังมอดุลัสและเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ในรูปที่ 4.11 กล่าวคือ เมื่อปริมาณของอะคาร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดน้ำของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น และอะคาร์และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงลดลง

แต่เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุดของพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ที่ปริมาณเท่ากันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอะคาร์เป็นสารก่อเจล หลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อนเย็นตัวลงอะคาร์จะเกิดเป็นเจล ที่มีโครงสร้างเป็นลักษณะโครงตาข่ายที่มีความแข็ง และจากผลการดูดซับน้ำการเติมอะคาร์ทำให้เกิดการดูดน้ำของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำอาจจะเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้โครงสร้างที่แข็งของเจลยืดหยุ่นมาก เมื่อได้รับแรงกระทำจึงทำให้เกิดการยืดตัวได้มากขึ้น

ส่วนการผสมเส้นใยฝ้ายลงไป คือสูตร TPCS/LDPE/Cot5 พบว่าที่ระยะเวลาการฝังดิน 6 และ 12 สัปดาห์ ความแข็งแรงดิ่ง และยังมีคุณสมบัติค่าลดลงแต่มีค่าสูงกว่าสูตร TPCS/LDPE ถึงแม้การผสมเส้นใยฝ้ายลงไปพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ และที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์จะทำให้มีการการดูดซับน้ำมากขึ้น แต่เนื่องจากเส้นใยฝ้ายช่วยในการยึดเกาะกับอนุภาคของ TPCS จุลินทรีย์ในดินจึงแทรกซึมเข้าไปถึงเมทริกซ์ (TPCS และอะคาร์) ได้ยากกว่า โดยส่วนที่เป็นเมทริกซ์นั้นจะเกิดการย่อยสลายก่อนส่วนที่เป็นเส้นใย ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของวัลลดา หวานเสนาะ [57] ที่ศึกษาสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซคอมโพลิตจากแป้งข้าวเจ้าเสริมแรงด้วยเส้นใยต่างชนิดต่างๆ พบว่าการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยการฝังดิน เทอร์โมพลาสติกสตาโรซมีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมเส้นใยชนิดต่าง ๆ เนื่องจากมีเส้นใยช่วยในการเกาะชิ้นงาน ส่วนที่เป็นเมทริกซ์ของแป้งเกิดการย่อยสลายก่อนส่วนที่เป็นเส้นใย

ส่วนการผสมเส้นใยฝ้ายลงไปพบว่าที่ระยะเวลาการฝังดิน 6 และ 12 สัปดาห์ เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดิ่งสูงสุดของสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยอะคาร์ (TPCS/LDPE/Cot5) มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนสูตรที่ปรับปรุงด้วยอะคาร์ (TPCS/LDPE/A10/Cot5) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ผลน่าจะเกิดจากการดูดซับน้ำเมื่อผสมเส้นใยฝ้าย ซึ่งอาจจะเกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคและรูพรุนหรือช่องว่างกระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมทำให้การดูดน้ำเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลการดูดซับน้ำในรูปที่ 4.11 จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการยืดตัวได้มากขึ้น พอลิเมอร์ผสมเกิดการเสียสภาพได้ง่ายขึ้น นำไปสู่การย่อยสลายทางชีวภาพได้มากขึ้น



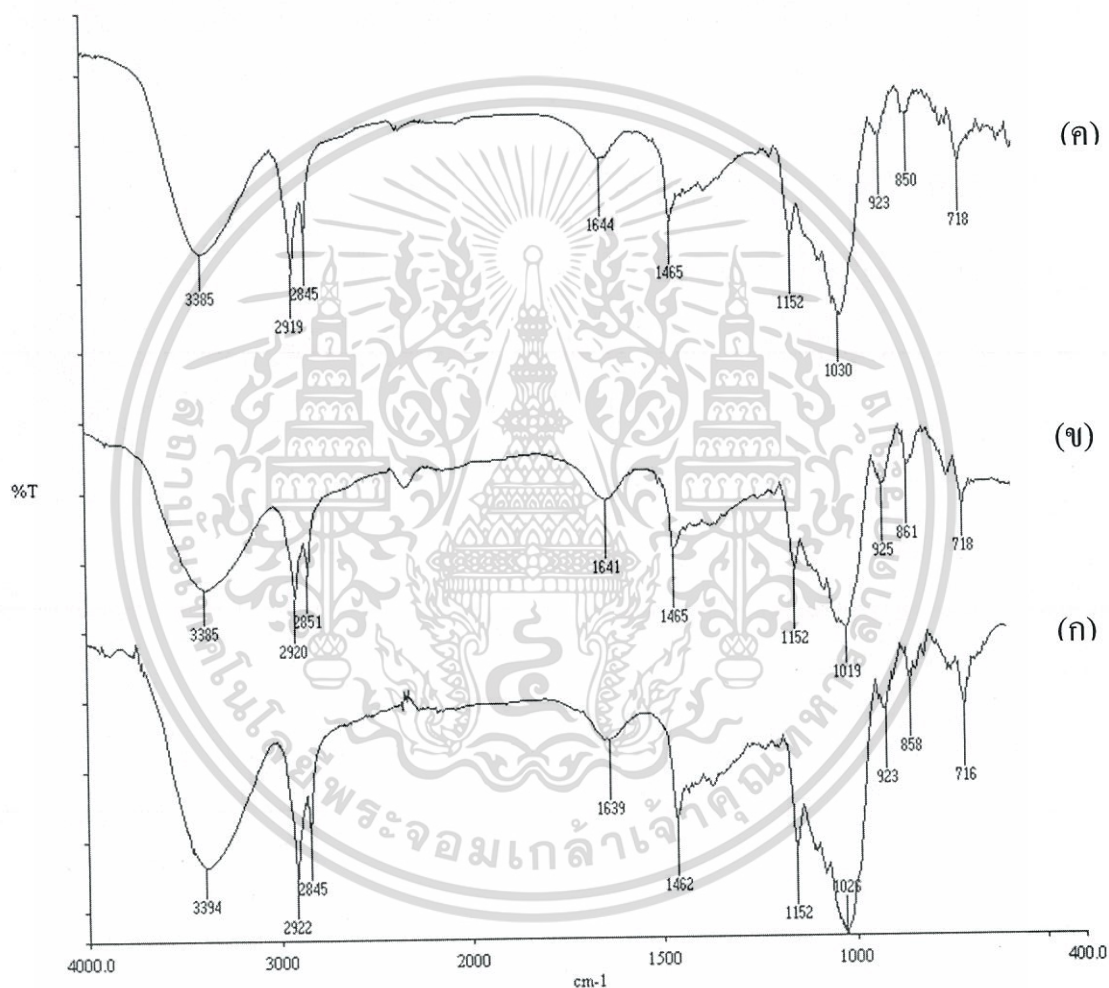
รูปที่ 4.17 พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPEที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์ ที่ปริมาณ 0, 6 และ 10 % โดยน้ำหนัก และที่อะคาร์ 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ด้วยคาร์ราจีแนนและ เส้นใยฝ้าย

### 4.2.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.18 และ 4.21



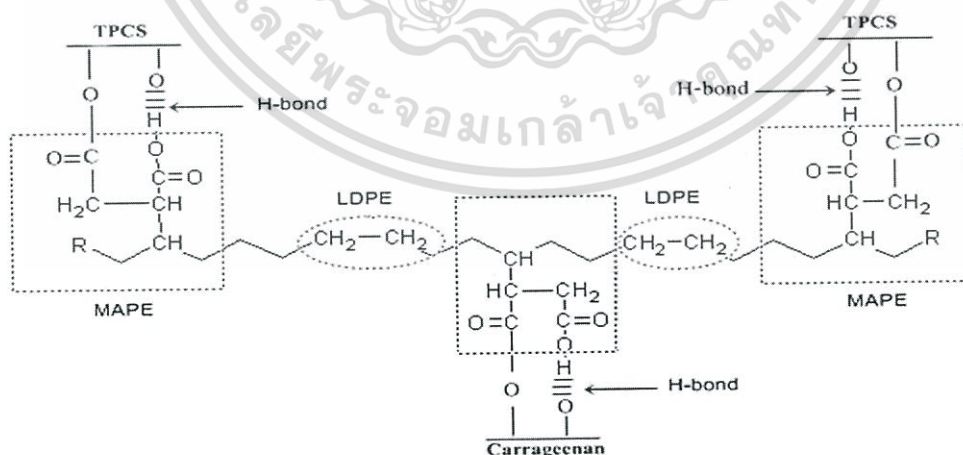
รูปที่ 4.18 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณต่างๆ (ก) TPCS/LDPE (ข) TPCS/LDPE/C6 และ (ค) TPCS/LDPE/C10

จากรูปที่ 4.18 (ก) แสดงสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.2.1 สำหรับพอลิเมอร์

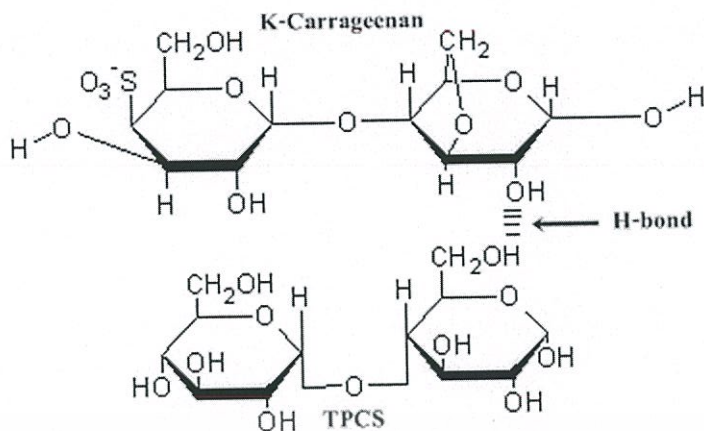
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้บริการเพื่อนักวิจัยเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขอสงวนสิทธิ์ในการนำข้อมูลไปใช้

ผลระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณต่างๆ กันพบฟีกอินฟราเรดสเปกตราเช่นเดียวกับพอลิเมอร์ผลระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน เนื่องจากฟีกที่มีลักษณะเด่นที่พบในคาร์ราจีแนน คือ ฟีกที่  $1220-1260\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ O=S=O stretching ของหมู่  $-\text{OSO}_3$  ของคาร์ราจีแนน ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับการสั่นแบบ C-O-C stretching ของ TPCS ฟีกที่  $925\text{ cm}^{-1}$  เป็นของ 3,6-anhydro-galactose (Anhydro-galactose-C-O) ฟีกที่  $840-850\text{ cm}^{-1}$  เป็นของ Galactose 4-sulfate ของหมู่  $-\text{OSO}_3$  ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกาแลกโทสของคาร์ราจีแนน และฟีกที่  $800-805\text{ cm}^{-1}$  เป็นของ 3,6-anhydro-galactose 2-sulfate ของหมู่  $-\text{OSO}_3$  ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของวง 3,6-anhydro-galactose ของคาร์ราจีแนน [18] ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับการสั่นแบบ C-H bending ของ TPCS เนื่องจาก TPCS และคาร์ราจีแนนมีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกัน ทำให้พบหมู่ฟังก์ชัน -OH,  $-\text{CH}_2$ , C-OH และ C-O-C เป็นโครงสร้างหลักของโมเลกุลเช่นเดียวกัน ทำให้สเปกตรัมที่แสดงว่ามีส่วนของคาร์ราจีแนนในพอลิเมอร์ผสมถูกซ่อนทับด้วยสเปกตรัมที่แสดงว่าเป็น TPCS ทั้งหมด

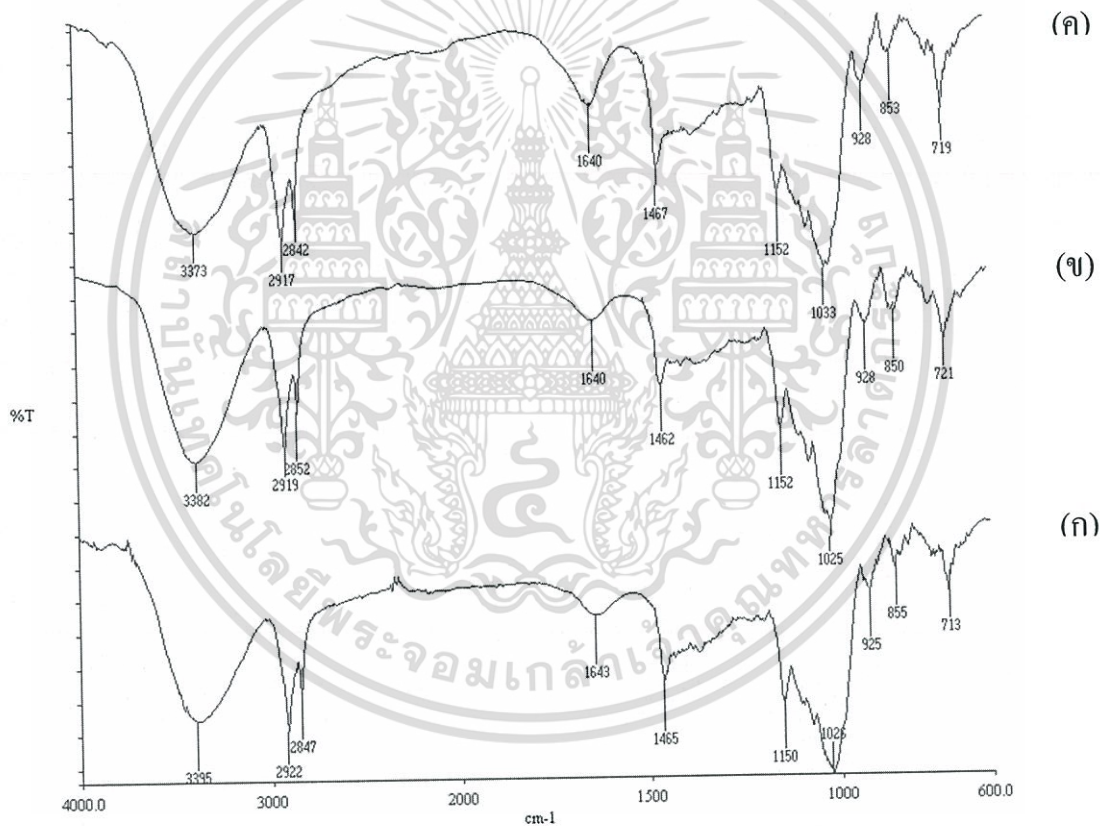
สำหรับความแตกต่างระหว่างของพอลิเมอร์ผลระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณต่างๆ กันนั้น พบว่าฟีกที่  $3400\text{ cm}^{-1}$  ที่แสดงลักษณะการสั่นของ OH-stretching มีการเลื่อนตำแหน่ง (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลง (รูปที่ 4.18 (ข)-(ง)) ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมที่มีการเลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ลดลงนี้แสดงให้เห็นว่าเกิดอันตรกิริยาทางเคมีขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์ราจีแนนเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น และการสร้างพันธะเอสเทอร์ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่มาลิอิกแอนไฮไดรด์ของ MAPE ซึ่งอันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.19 และ 4.20



รูปที่ 4.19 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS, LDPE, คาร์ราจีแนน และ MAPE  
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเข้าใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS และคาร์ราจีแนน



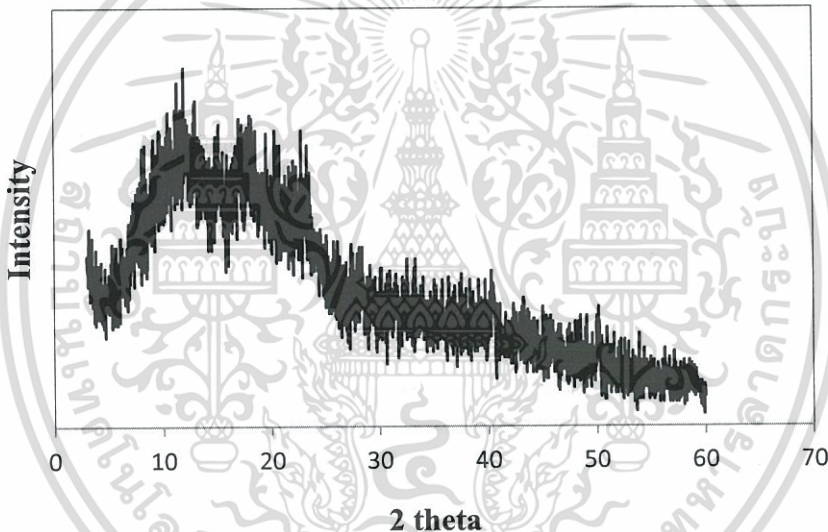
รูปที่ 4.21 อินฟราเรดสเปกตรากของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย (ก) TPCS/LDPE (ข) TPCS/LDPE/Cot5 และ (ค) TPCS/LDPE/C10/Cot5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับความแตกต่างระหว่างพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS/LDPE และ TPCS/LDPE/C10/Cot5 พบพีคที่  $3400\text{ cm}^{-1}$  ที่แสดงลักษณะการสั่นของ OH-stretching ใน TPCS ทำให้พีคที่ตำแหน่งนี้เกิดการเลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลงเมื่อผสมเส้นใยฝ้ายลงในพอลิเมอร์ผสมนี้แสดงให้เห็นว่าเกิดอันตรกิริยาทางเคมีขึ้น โดยมีพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่าง TPCS และเส้นใยที่ใส่เข้าไป

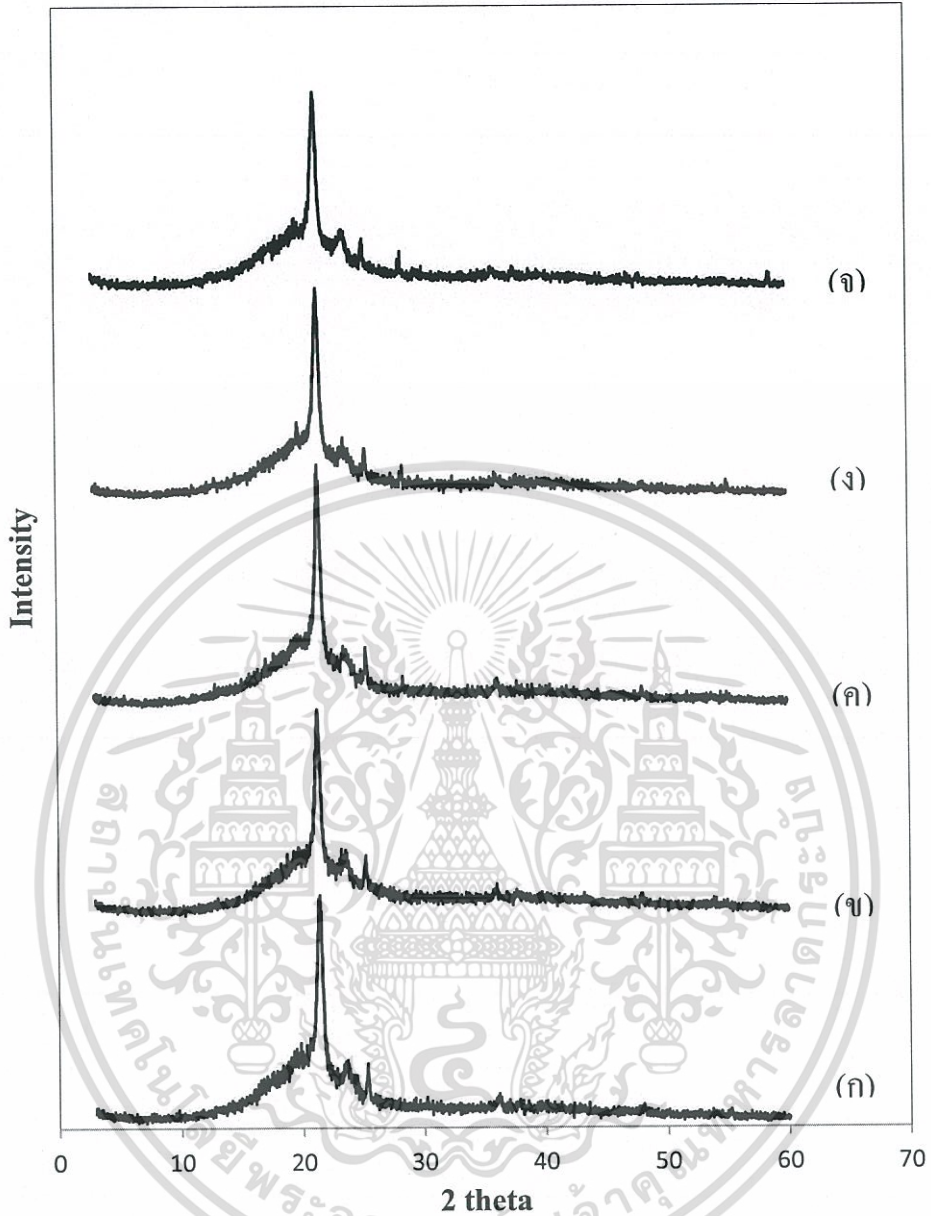
#### 4.2.2 XRD

การศึกษาโครงสร้างผลึกของคาร์ราจีแนน และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.22-4.23 และตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.22 ดิฟแฟรคโทแกรมของคาร์ราจีแนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ดิฟแฟร็กโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์บอนนาโนและเส้นใยฝ้าย (ก) TPCS/LDPE (ข) TPCS/LDPE/Cot5 (ค) TPCS/LDPE/C6 (ง) TPCS/LDPE/C10 และ (จ) TPCS/LDPE/C10/Cot5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

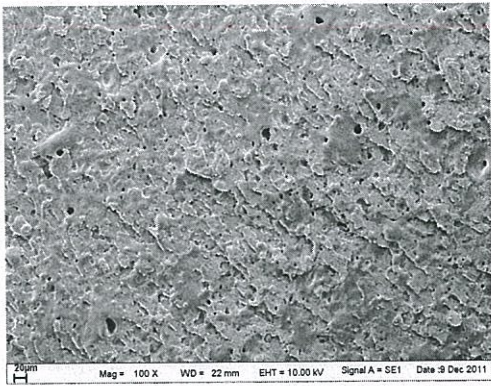
ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนเส้นใยฝ้าย โดยใช้เทคนิค XRD

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก
TPCS/LDPE	34.42
TPCS/LDPE /Cot5	35.64
TPCS/LDPE /C6	33.60
TPCS/LDPE /C10	35.37
TPCS/LDPE /C10/Cot5	34.16

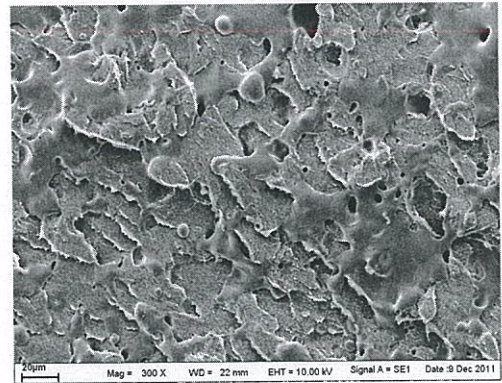
จากรูปที่ 4.22 แสดงโครงสร้างผลึกคาร์ราจีแนนพบพีคที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $12.5^\circ$ ,  $15.1^\circ$  และ  $23.0^\circ$  แสดงโครงสร้างผลึกแบบ Double helix [58-59] เมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการเติมคาร์ราจีแนน (รูปที่ 4.23 (ก)) พบพีคที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $19.6^\circ$ ,  $21.4^\circ$ ,  $23.7^\circ$ ,  $25.3^\circ$  และ  $36.0^\circ$  ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกของ LDPE เมื่อนำพอลิเมอร์ผสมมาปรับปรุงด้วยคาร์ราจีแนน (รูปที่ 4.23 (ข)-(ง)) พบว่าดิฟแฟรคโทแกรมที่ได้มีรูปแบบเหมือนกันกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE และเมื่อปริมาณคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น ความเข้ม (Intensity) ของพีคที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $19.6^\circ$ ,  $21.5^\circ$ ,  $23.6^\circ$ ,  $25.4^\circ$  และ  $36.0^\circ$  มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง และจากตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่เติมคาร์ราจีแนนมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าคาร์ราจีแนนที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ไม่ขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของ TPCS และ LDPE ส่วนสูตรที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้ายนั้น (รูปที่ 4.23 (ง)) พบว่าดิฟแฟรคโทแกรมที่ได้มีรูปแบบเหมือนกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน และมีความเข้ม (Intensity) ของดิฟแฟรคโทแกรมไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน จึงน่าจะเกิดการซ้อนทับกันของพีค

#### 4.2.3 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงความเข้ากันได้โดยใช้สารช่วยผสม MAPE ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย ศึกษาได้โดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวและความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย



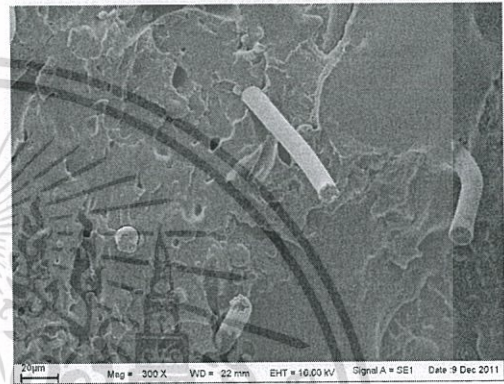
(ก) TPCS/LDPE, 100X



(ข) TPCS/LDPE, 300X



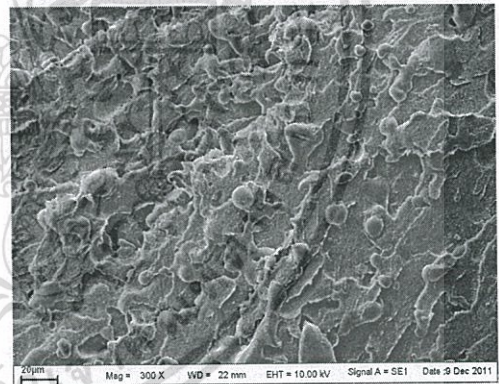
(ค) TPCS/LDPE/Cot5, 100X



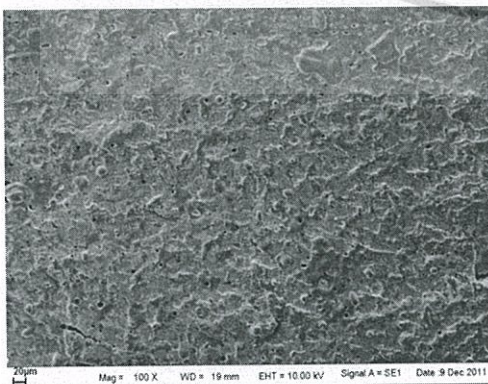
(ง) TPCS/LDPE/Cot5, 300X



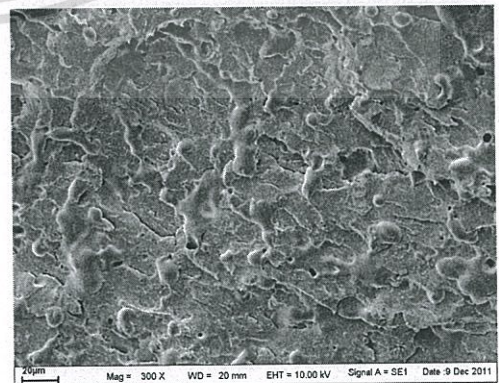
(จ) TPCS/LDPE/C6, 100X



(ฉ) TPCS/LDPE/C6, 300X

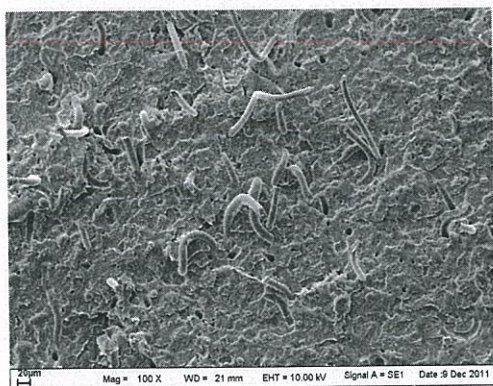


(ช) TPCS/LDPE/C10, 100X

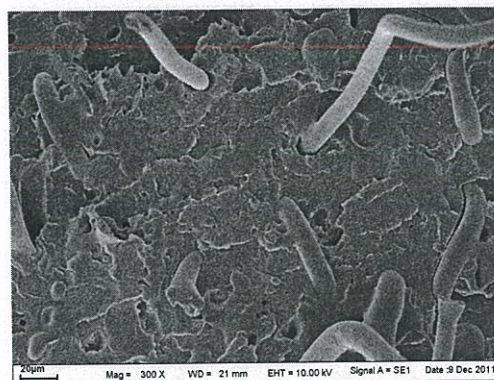


(ছ) TPCS/LDPE/C10, 300X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ฉ) TPCS/LDPE/C10/Cot5, 100X



(ญ) TPCS/LDPE/C10/Cot5, 300X

**รูปที่ 4.24** สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า

จากรูปที่ 4.24 แสดงลักษณะภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสม TPCS/LDPE ที่มีการเติมคาร์ราจีแนน 0% โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.24 (ก)-(ข)), คาร์ราจีแนน 6% โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.24 (จ)-(ฉ)) และคาร์ราจีแนน 10% โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.24 (ช)-(ซ)) ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า ตามลำดับ ซึ่งพอลิเมอร์ผสมประกอบไปด้วยส่วนของเมทริกซ์ คือ TPCS, LDPE และคาร์ราจีแนน พบว่า ภูมิภาคของ TPCS, คาร์ราจีแนน และ LDPE มีความเข้ากัน ที่ปริมาณคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น สังเกตได้ว่าพื้นผิวมีความเรียบและมีความเข้ากันได้มากขึ้น เนื่องจากอนุภาคของ TPCS และคาร์ราจีแนนมีการรวมตัวกัน เนื่องจาก TPCS และคาร์ราจีแนนมีโครงสร้างที่คล้ายกัน และมีขั้วด้วยกันทั้งคู่ และการเติมสารช่วยผสม MAPE ซึ่งมีโครงสร้างส่วนหนึ่งเป็นพอลิเอทิลีนที่สามารถเกิดการเกี่ยวพันสายโซ่ (Chain entanglement) กับ LDPE โครงสร้างอีกส่วนหนึ่งที่มีขั้วของ MAPE จะไปยึดติดกับหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์ราจีแนนเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น

ส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและผสมเส้นใยฝ้ายลงไป (รูปที่ 4.24 (ฉ)-(ญ)) ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า ตามลำดับ พบว่าเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดีบนเมทริกซ์ การที่เส้นใยฝ้ายสามารถกระจายตัวและเข้ากันได้กับเมทริกซ์ เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นเซลลูโลสและ TPCS ที่มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกัน แต่พบรอยต่อระหว่างภูมิภาคระหว่างเส้นใยฝ้ายและ LDPE เนื่องจากความแตกต่างระหว่างภูมิภาคของส่วนที่มีขั้ว (TPCS, คาร์ราจีแนนและเส้นใย) และส่วนไม่มีขั้ว (LDPE)

#### 4.2.4 การวัดสี

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อวัดค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  และ  $H^\circ$  ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย

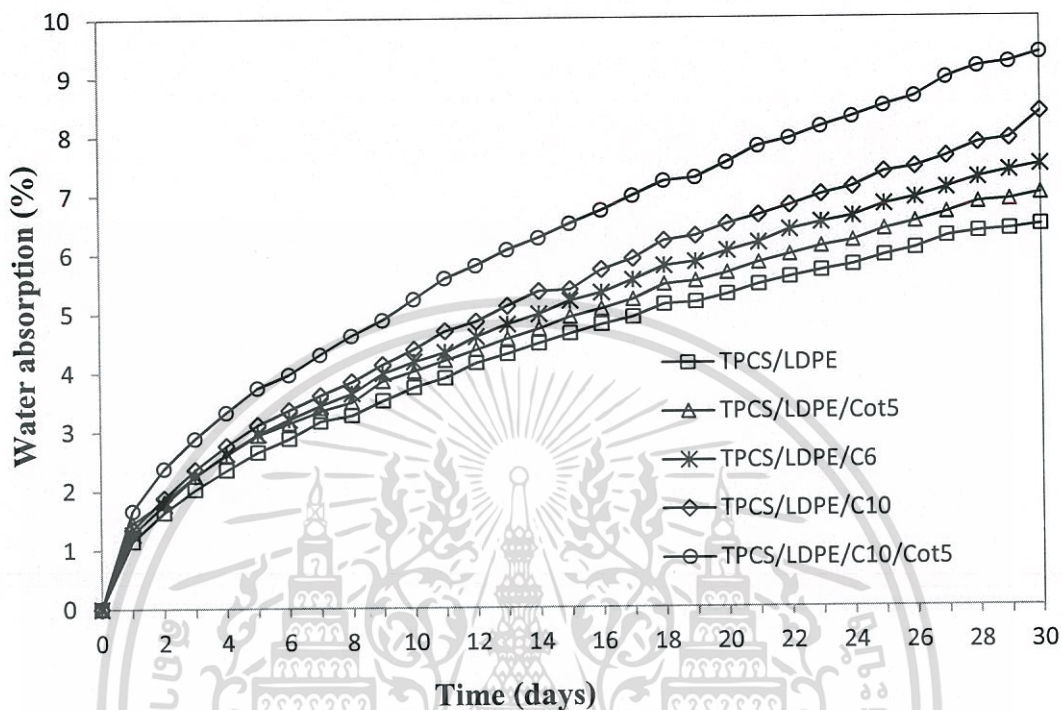
ตัวอย่าง	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี				
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$H^\circ$
TPCS/LDPE	89.0±0.2	0.90±0.23	3.74±0.12	3.85±0.11	76.5±3.5
TPCS/LDPE /Cot5	89.2±0.4	1.13±0.34	3.80±0.23	3.99±0.16	70.8±1.8
TPCS/LDPE/C6	80.9±0.4	2.12±0.64	9.57±0.36	9.82±0.24	74.8±4.0
TPCS/LDPE/C10	77.8±0.3	2.90±0.48	10.77±0.20	11.16±0.23	75.0±2.4
TPCS/LDPE/C10/Cot5	80.1±0.9	2.43±0.50	10.92±0.38	11.17±0.40	78.2±4.5

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  $C^*$  แสดงค่าความสดของสี และค่า  $H^\circ$  ระบุตำแหน่งของสีเทียบกับมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย พบว่าค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  และ  $H^\circ$  มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ เมื่อปริมาณคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่า  $L^*$  ลดลง เนื่องจากคาร์ราจีแนนที่เติมเป็นของแข็งมีความทึบแสงจึงทำให้พอลิเมอร์ผสมทึบแสงมากขึ้นและมีสีเข้มขึ้น แต่มีค่า  $b^*$  และ  $C^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากคาร์ราจีแนนมีสีขาวครีมซึ่งมีเฉดสีออกไปทางสีเหลือง ส่วนการเติมคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้ายลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่า  $L^*$ ,  $b^*$  และ  $C^*$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีสีขาว จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสีอ่อนลง แต่โดยภาพรวมแล้วพอลิเมอร์ผสมมีสีออกไปทางสีเหลืองทุกสูตร

#### 4.2.5 การดูดซับน้ำ

การศึกษาการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย คาร์ราจีแนน ที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย แสดงได้ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย

จากรูปที่ 4.25 แสดงการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณแตกต่างกัน และด้วยเส้นใยฝ้ายภายในระยะเวลา 30 วัน พบว่าพอลิเมอร์ผสมทุกสูตรมีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างต่อเนื่อง โดยเปรียบเทียบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนมีค่ามากกว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุง และค่าเปรียบเทียบการดูดซับน้ำยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น เนื่องจากคาร์ราจีแนนมีหมู่ซัลเฟตและหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันซึ่งมีขั้วทำให้มีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ และคาร์ราจีแนนสามารถเกิดเจลได้ทำให้สามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้ [19]

พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงด้วยคาร์ราจีแนน 10% โดยน้ำหนักและผสมเส้นใยฝ้ายลงไปนั้น พบว่ามีค่าเปรียบเทียบการดูดซับน้ำมากกว่าสูตรอื่นสามารถอธิบายได้จากผลทางสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.24) ซึ่งพบรอยต่อระหว่างวัฏภาคของเมทริกซ์และเส้นใยฝ้าย เป็นผลมาจากความเป็นขั้วที่แตกต่างกัน ระหว่างวัฏภาคของส่วนที่มีขั้ว (TPCS,

เอกซอสาร์คาร์ราจีแนน และเส้นใย) และส่วนไม่มีขั้ว (LDPE) น้ำจึงแทรกผ่านรอยต่อเข้ามาได้มากขึ้น ส่งผลไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้การผสมเส้นใยฝ้ายลงไปในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนมีความสามารถในการดูดน้ำได้สูงขึ้น

#### 4.2.6 ดัชนีการไหล

การศึกษาค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน และเส้นใยฝ้าย โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 190°C และใช้น้ำหนักกดทับ 2.16 kg ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน และเส้นใยฝ้าย

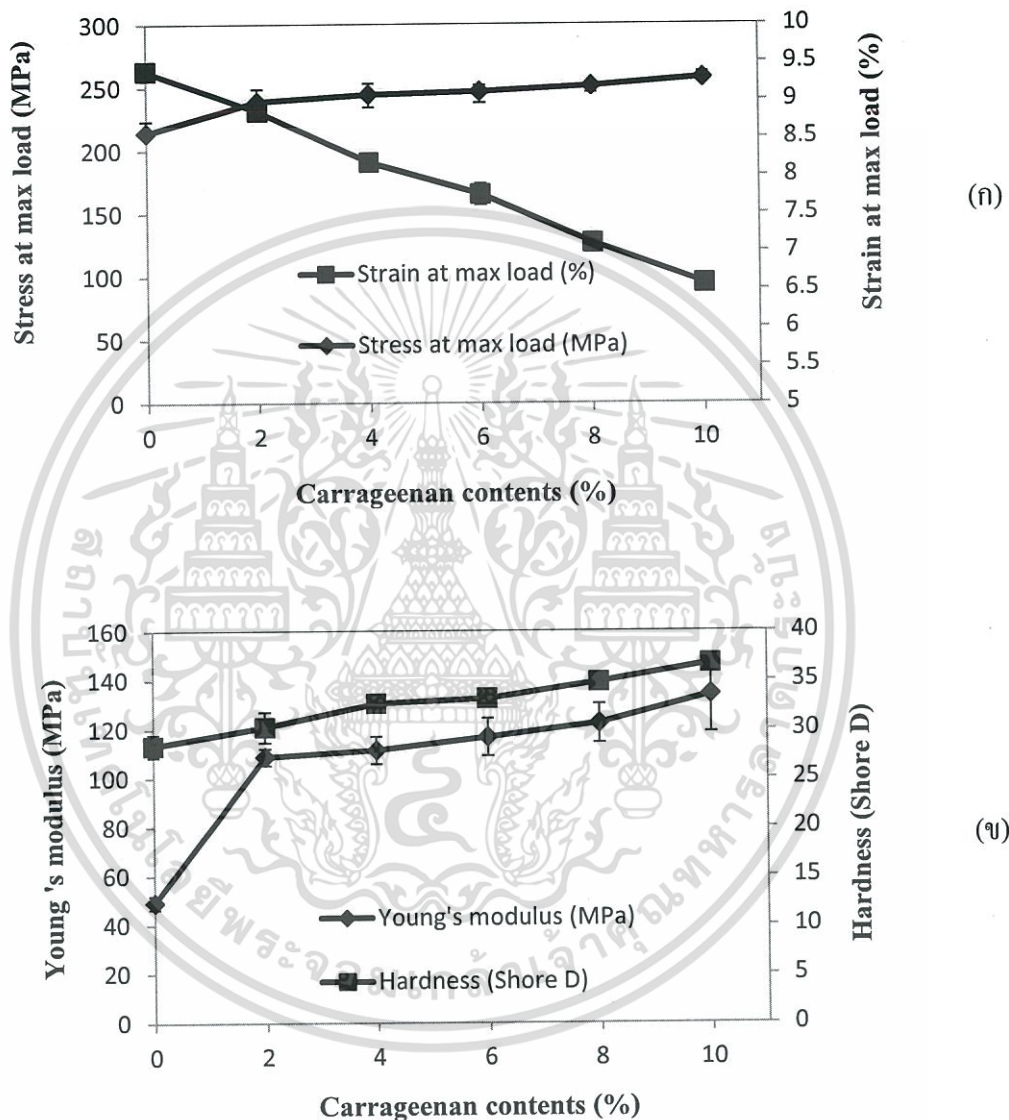
ตัวอย่าง	MFI (g/10 min)	ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ออกมาจากหัวคายของเครื่อง Melt Flow Indexer
TPCS/LDPE	5.2±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/Cot5	3.0±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/C6	4.8±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/C10	4.1±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/C10/Cot5	2.7±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPCS

จากการศึกษาค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีและไม่มี การปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน และเส้นใยฝ้าย พบว่าการเติมคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้ายลงไป ทำให้ค่าดัชนีการไหลมีค่าลดลง และการเติมคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น ยิ่งทำให้ค่าดัชนีการไหลมี แนวโน้มลดลง เนื่องจากการ์ราจีแนนซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์เป็นสารโมเลกุลใหญ่ มีน้ำหนัก โมเลกุลมาก และผลจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง TPCS และคาร์ราจีแนน (รูปที่ 4.20) ทำให้ พอลิเมอร์ผสมที่ได้รับความร้อนไหลได้ยากขึ้น ส่วนการเติมเส้นใยฝ้ายลงไป (TPCS/LDPE/C10/Cot5) ทำให้ค่าดัชนีการไหลลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีน้ำหนัก

โมเลกุลสูง และการเกิด อันตรกิริยาระหว่าง เส้นใยฝ้ายและ TPCS (รูปที่ 4.5) จึงขัดขวางการไหล

#### 4.2.7 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงดึง ย้ยมอดูลัส เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด ความแข็งกด และความแข็งแรงกระแทก โดยพิจารณาจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่คาร์ราจีแนน 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr ให้ผลการทดลองดังนี้

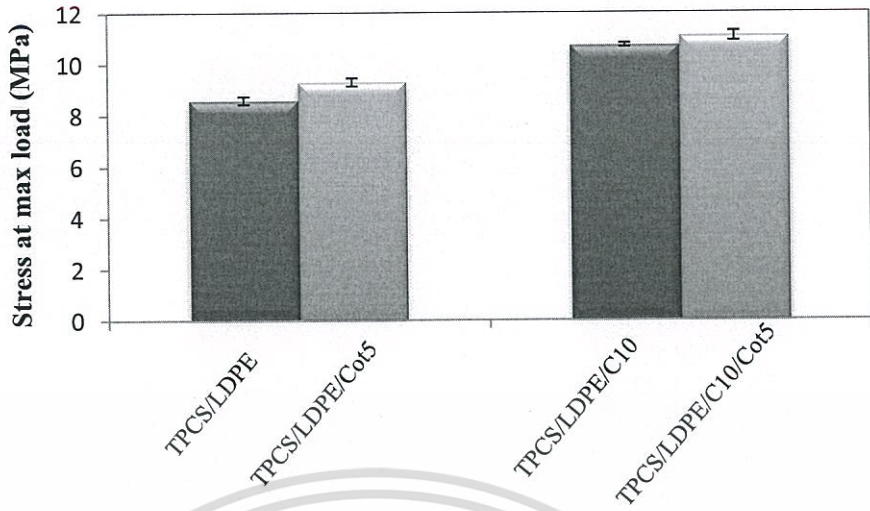


รูปที่ 4.26 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน (ก) ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด และ (ข) ย้ยมอดูลัสและความแข็งกด

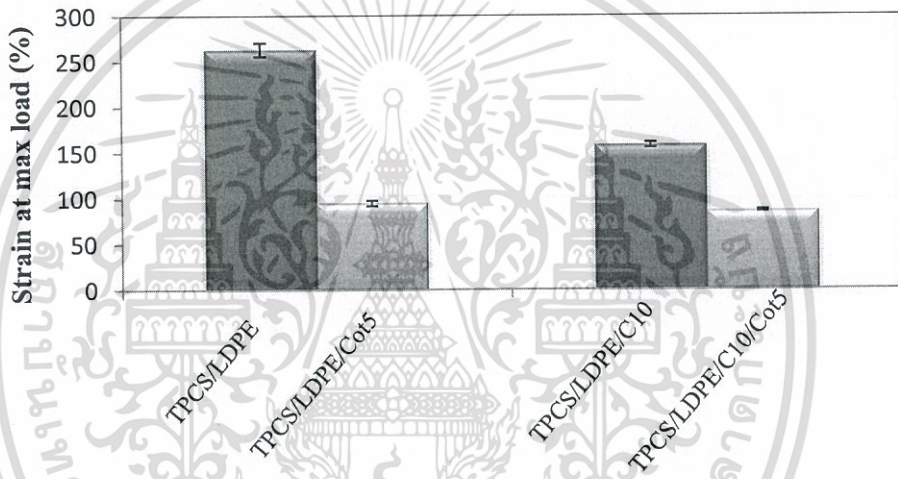
จากรูปที่ 4.26 (ก) และ(ข) แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าความแข็งแรงดึง ยั่งมอดูลัส และความแข็งกดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณของคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น เนื่องจากคาร์ราจีแนนสามารถเกิดลักษณะที่เป็นเจลได้ โดยคาร์ราจีแนนชนิดแคปปา (Kappa, K) สามารถที่จะละลายเมื่อได้รับความร้อนและเกิดเจลอีกครั้งเมื่อเย็นตัวลง [20] นอกจากนี้คาร์ราจีแนนที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสม มีความเข้ากันกับวัฏภาคของ TPCS เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งสอดคล้องกับผลทางสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.24) และอาจเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์ราจีแนนเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีความสามารถในการเคลื่อนที่ (Chain flexibility) ยากขึ้น จึงมีแรงต้านการเปลี่ยนรูปสูงขึ้น พอลิเมอร์ผสมมีลักษณะแข็ง ความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมจึงมีค่าลดลง จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุดของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง

ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของภริสา ทศวิไล และคณะ [29] ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของแคปปา-คาร์ราจีแนนต่อคุณสมบัติทางเชิงกล และการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้ง ผลการศึกษาพบว่าเมื่อความเข้มข้นแคปปา-คาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มสูงขึ้น การยืดตัว และการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มลดลง เนื่องจากเนื่องจากอิทธิพลของพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล ทำให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลขนาดใหญ่ลดลง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการลดลงของการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ D. Lafargue และคณะ [3] ที่ศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มแป้งคัดแปรผสมแคปปา-คาร์ราจีแนน พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มแป้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแคปปา-คาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น แต่ค่าการยืดตัวของฟิล์มแป้งลดลง เนื่องมาจากการรวมตัวกันเป็นผลึกของสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ของแป้ง เช่น อะมิโลสและอะมิโลเพกตินกับแคปปา-คาร์ราจีแนน เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลส่งผลให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลลดลง

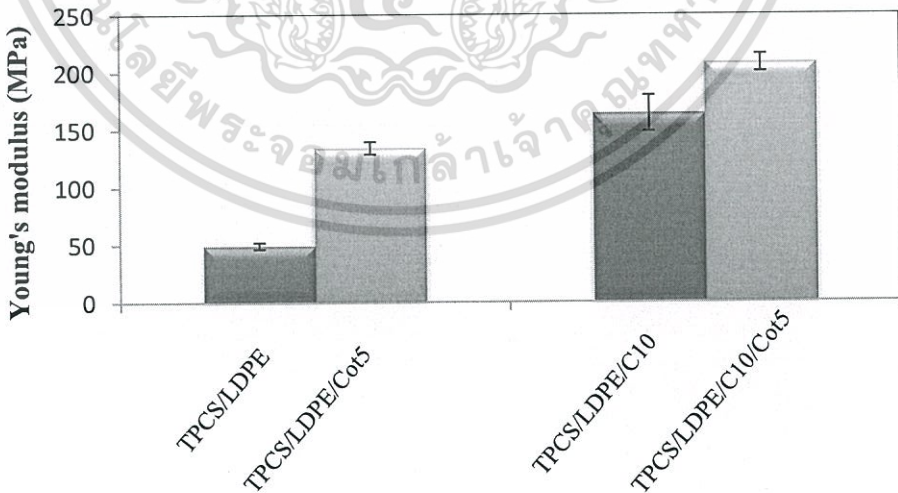
จากการพิจารณาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการเติมคาร์ราจีแนนในปริมาณต่างๆ กันนั้น พบว่าปริมาณของคาร์ราจีแนนที่เหมาะสมที่สุด คือ 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งส่งผลให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด ดังแสดงได้จากการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงดึง ยั่งมอดูลัส และความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนมีค่าสูงที่สุด จึงนำมาปรับปรุงสมบัติต่อด้วยการนำมาผสมเส้นใยฝ้าย 5 phr (TPCS/LDPEC10Cot5)



(ก)

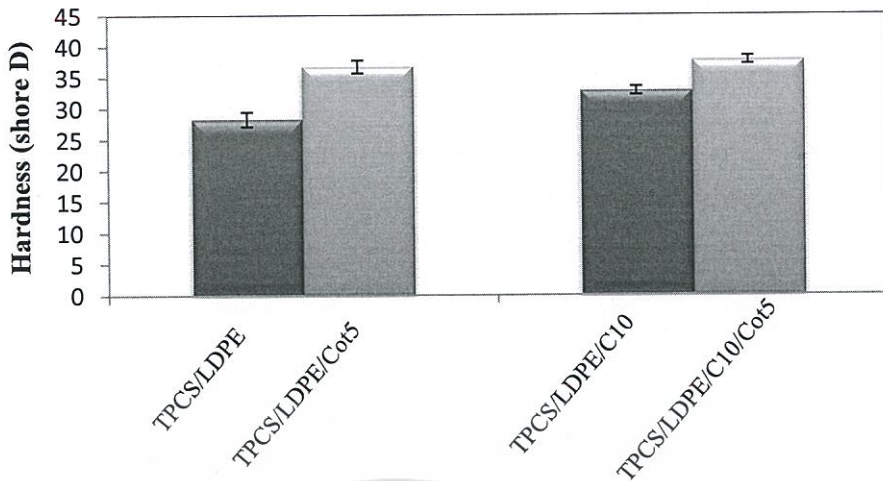


(ข)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



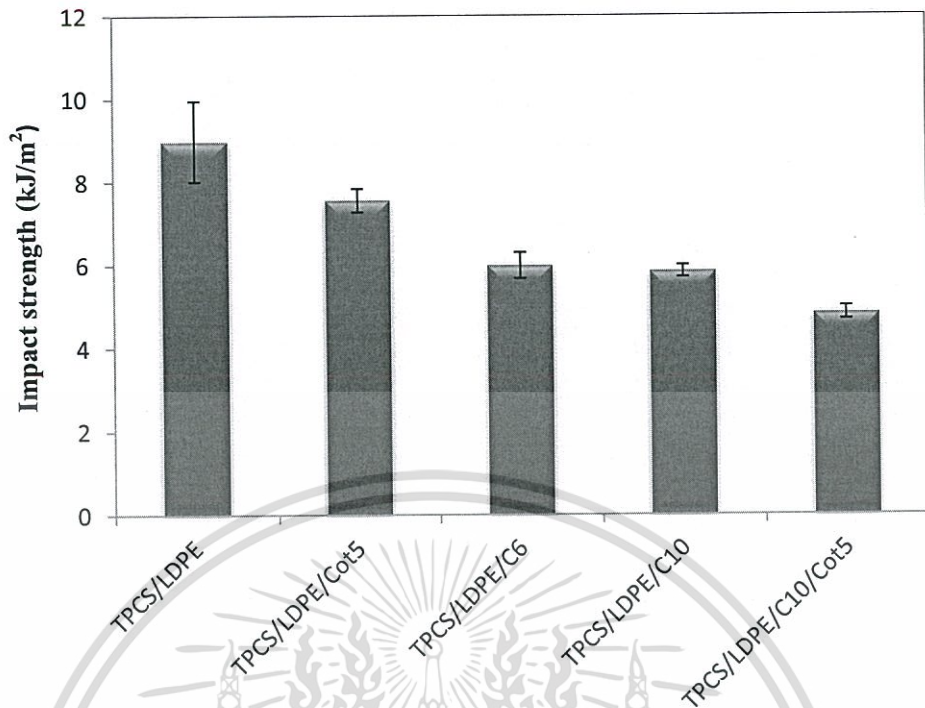
(ง)

รูปที่ 4.27 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย คาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด (ค) ย้งมอดุลัส และ (ง) ความแข็งกด

จากรูปที่ 4.27 (ก) และ (ค) แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน 10% โดยน้ำหนักและผสมเส้นใยฝ้าย 5 phr (TPCS/LDPE/C10/Cot5) จากผลการทดลองพบว่าความแข็งแรงดึง ย้งมอดุลัส และความแข็งกดของ TPCS/LDPE/C10/Cot5 มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความแข็งและมีความเป็นผลึกสูงมาก ส่งผลให้ TPCS/LDPE/C10/Cot5 แข็งขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยึดที่จุดแรงดึงมีแนวโน้มลดลง

แต่ที่ TPCS/LDPE/C10/Cot5 มีความแข็งแรงดึงและย้งมอดุลัสมากกว่า TPCS/LDPE/C10 เพราะจากการที่คาร์ราจีแนนและ TPCS มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกัน จึงเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และคาร์ราจีแนนเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น เส้นใยฝ้ายมีความแข็ง และการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง TPCS และเส้นใยฝ้าย (รูปที่ 4.5) จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้ายมีความแข็งมากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยคาร์ราจีแนนเพียงอย่างเดียว

การศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย โดยทำการทดสอบจากค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ให้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.28

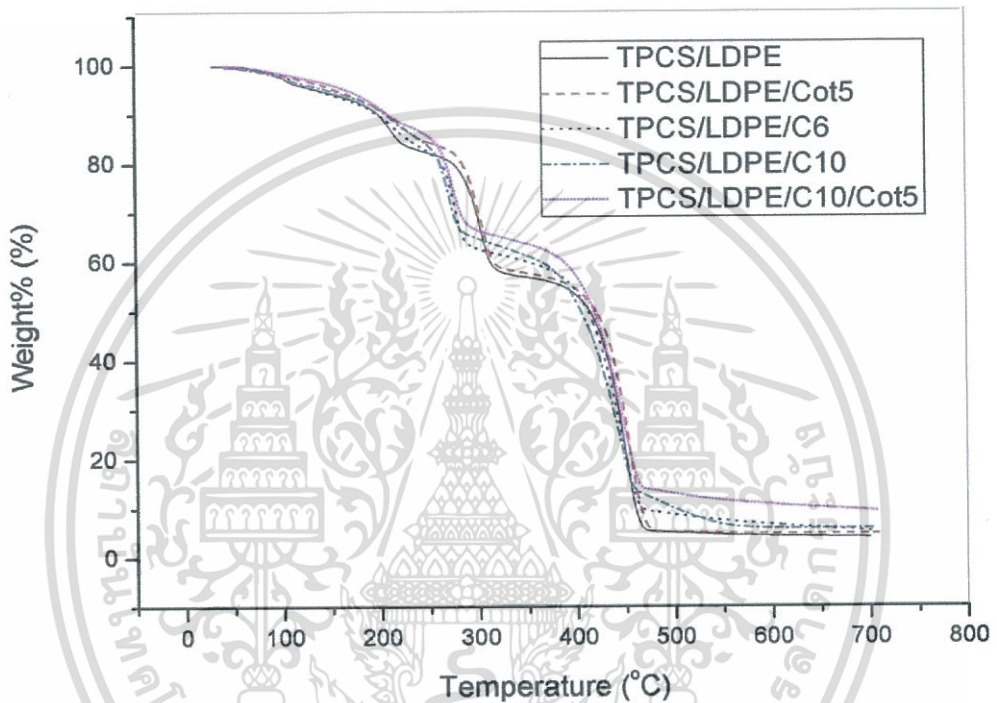


รูปที่ 4.28 ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย

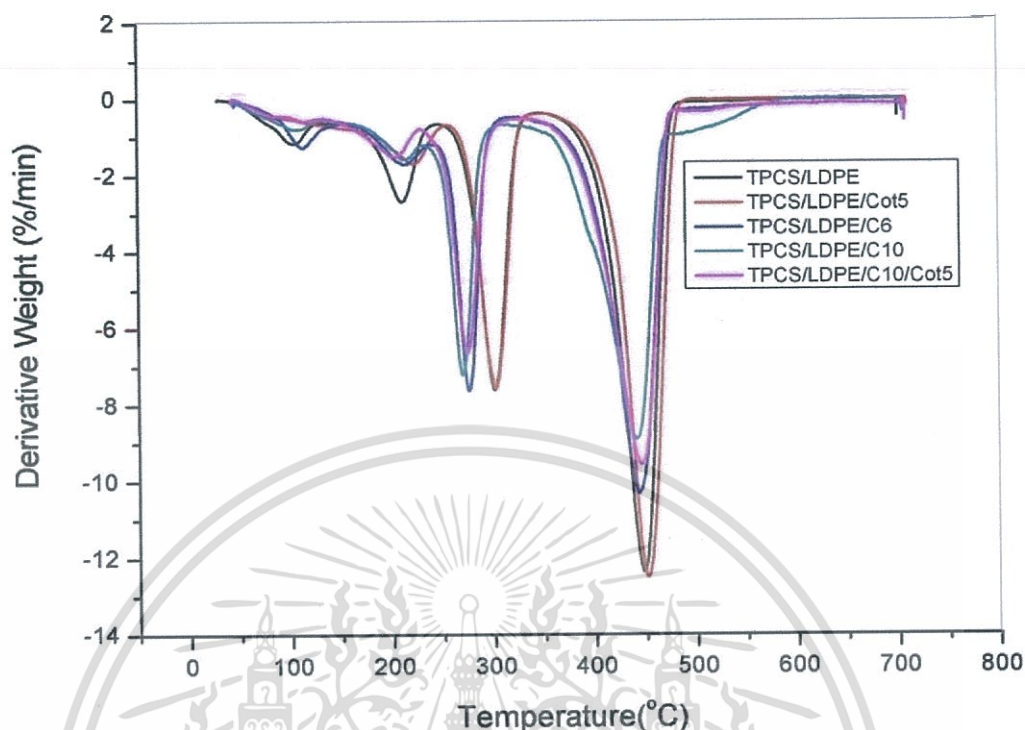
จากรูปที่ 4.28 แสดงค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย พบว่าการเติมคาร์ราจีแนนลงไปทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง โดยที่ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้ายมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากคาร์ราจีแนนเป็นสารก่อเจล ซึ่งมีโครงสร้างในลักษณะโครงตาข่าย ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีลักษณะแข็ง [19] นอกจากนี้คาร์ราจีแนนและ TPCS มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกัน มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมากจึงอาจเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR (รูปที่ 4.18) ทำให้โครงสร้างที่ความแข็งแรงมากขึ้น สายโซ่พอลิเมอร์มีความสามารถในการเคลื่อน (Chain flexibility) ที่ได้ต่ำลง เมื่อมีแรงกระทำสายโซ่จึงไม่สามารถกระจายแรงที่ได้รับได้น้อยลง เพราะมีช่องว่างระหว่างสายโซ่ลดลง ค่าความแข็งแรงกระแทกจึงลดลงเมื่อเติมคาร์ราจีแนน ส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย อะการ์และเส้นใยฝ้าย (TPCS/LDPE/C10/Co5) ที่การเติมเส้นใยฝ้ายแล้วทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทกลดลง เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงและการเติมคาร์ราจีแนนทำให้พอลิเมอร์มีความแข็ง จึงทำให้กระจายแรงได้น้อยลง

#### 4.2.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก โดยสมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา คืออุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (Decomposition temperature at peak) ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.29 และตารางที่ 4.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงด้วยคาร์บอนและเส้นใยไฟเบอร์ในปริมาณต่างๆ

ตารางที่ 4.10 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงด้วยคาร์บอนและเส้นใยไฟเบอร์ในปริมาณต่างๆ

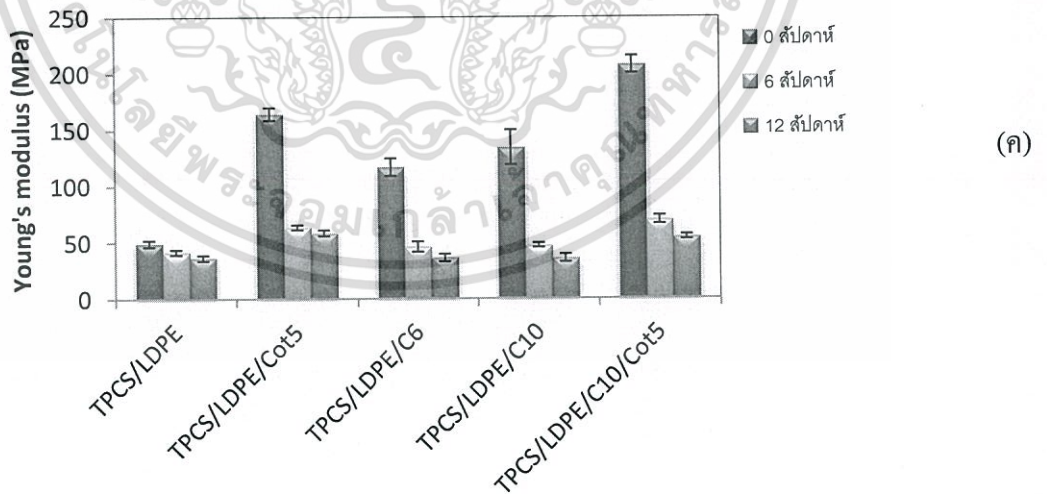
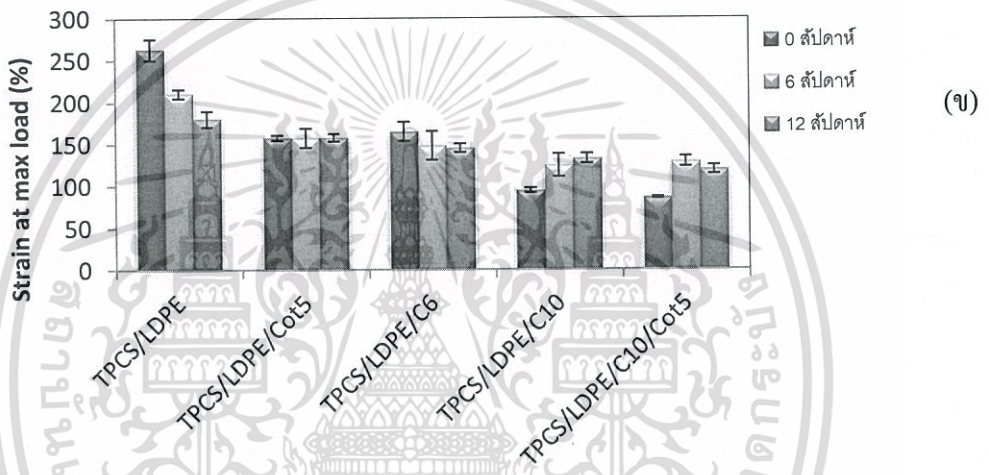
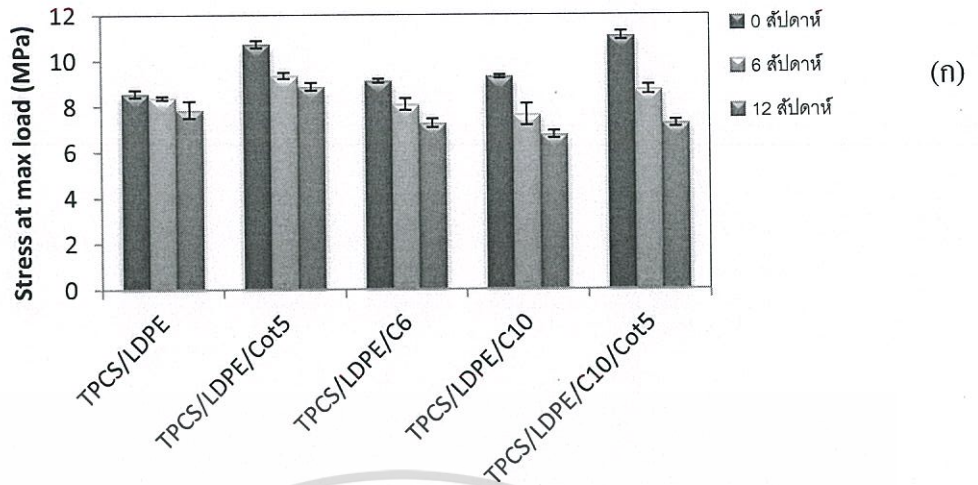
ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C)		
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (TPCS และคาร์บอน)	ช่วงที่ 3 (LDPE และเส้นใยไฟเบอร์)
TPCS/LDPE	210.7	301.2	447.9
TPCS/LDPE/Cot5	222.9	302.5	451.1
TPCS/LDPE/C6	211.1	275.7	443.0
TPCS/LDPE/C10	212.4	269.3	440.4
TPCS/LDPE/C10/Cot5	200.8	274.4	444.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.29 และตารางที่ 4.10 พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปริมาณปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน 0% โดยน้ำหนัก มีอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด 3 ช่วง จากการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณ 6 และ 10 % โดยน้ำหนัก ซึ่งคาร์ราจีแนนมีอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด ประมาณ  $266^{\circ}\text{C}$  [28] โดยอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของคาร์ราจีแนนมีค่าใกล้เคียงกับ TPCS ดังนั้นอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด ของ TPCS และคาร์ราจีแนนจึงเกิดที่ตำแหน่งเดียวกัน และที่ปริมาณคาร์ราจีแนน 6 และ 10% โดยน้ำหนัก พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของ TPCS อยู่ที่  $275.7^{\circ}\text{C}$  และ  $269.3^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยอุณหภูมิของ TPCS ของพอลิเมอร์ผสม ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของ TPCS/LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน เนื่องจากคาร์ราจีแนนดูดความร้อนแล้วสะสมความร้อนไว้ในระยะยาวได้ โดยไม่เกิดการสลายตัวทำให้สามารถส่งผ่านความร้อนไปยัง TPCS ได้ ส่งผลให้ TPCS ได้รับความร้อนมากขึ้นจึงเริ่มเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิลดลง [57] ส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน 10% โดยน้ำหนักและเส้นใยฝ้าย พบว่ามีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดมี 3 ช่วง คือ  $200.8^{\circ}\text{C}$ ,  $274.4^{\circ}\text{C}$  และ  $444.9^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของ TPCS เพิ่มขึ้นอยู่ที่  $274.4^{\circ}\text{C}$  ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเส้นใยฝ้ายสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเมทริกซ์ของ TPCS และคาร์ราจีแนน สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR (รูปที่ 4.21) ได้ทำให้มีอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดสูงกว่าสูตร TPCS/LDPE/C10

#### 4.2.9 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน โดยการนำพอลิเมอร์ผสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย นำพอลิเมอร์ผสมมาฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12 สัปดาห์ ที่มีการควบคุมความชื้นของดินคงที่ในช่วง 30-40% โดยทำการศึกษาสมบัติเชิงกลได้แก่ ความแข็งแรงดึง ยับมอดูลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด ให้ผลการทดลองดังนี้

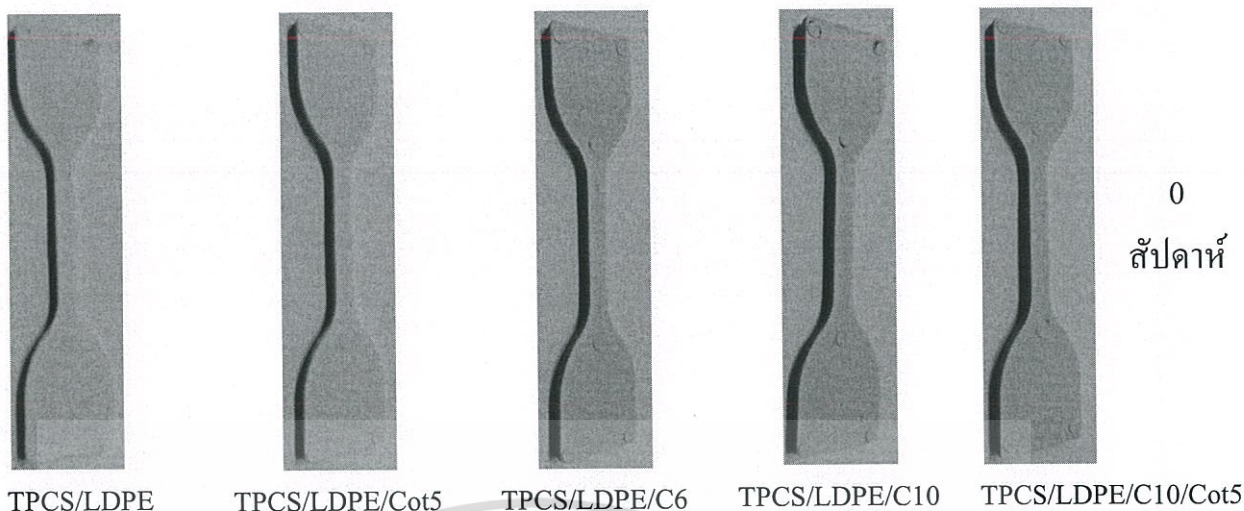


รูปที่ 4.30 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย ที่ทำการฝังคืน 0, 6 และ 12 สัปดาห์ (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) ยั่งมอดุลัส

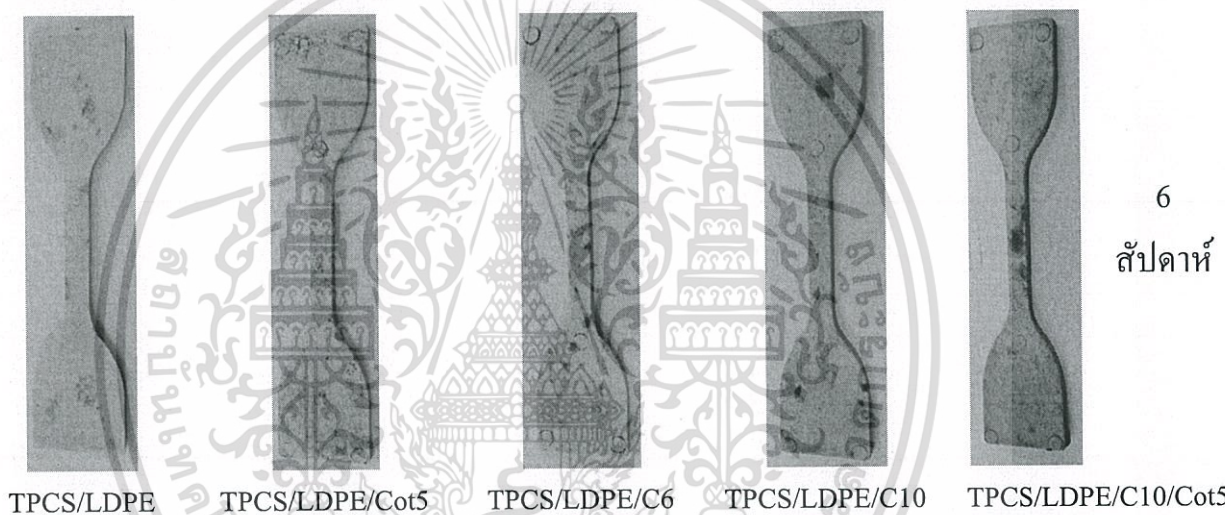
จากรูปที่ 4.30 (ก)-(ค) แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย พบว่าความแข็งแรงดึง และยังมีมอดูลัสมีแนวโน้มลดลงทุกสูตรเมื่อทำการฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12 สัปดาห์ เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมซึ่งมีส่วนประกอบของแป้ง, กลิเซอรอล และคาร์ราจีแนนที่มีหมู่ที่มีความชอบน้ำจึงเกิดการดูดน้ำที่อยู่ในดิน และพอลิเมอร์ผสมถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดิน สามารถสังเกตเห็นได้จากเกิดเชื้อราขึ้นบนผิวของพอลิเมอร์ผสม ดังแสดงได้จากรูป 4.31 การย่อยสลายนี้จะทำให้สายโซ่สั้นลง และเมื่อพิจารณาปริมาณของคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึง มอดูลัสและเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน เนื่องจากคาร์ราจีแนนมีหมู่ซัลเฟตและหมู่ไฮดรอกซิลจึงดูดน้ำได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการดูดซับน้ำรูปที่ 4.25 การดูดน้ำทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดจุดบกพร่องและมีความแข็งแรงลดลง ทำให้รับแรงกระทำได้น้อย และยังคงส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมขาดได้ง่ายขึ้น ส่วนพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนที่ปริมาณเท่ากันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อพอลิเมอร์ผสมดูดซับน้ำเข้าไป ทำให้โครงตาข่ายที่เป็นเจลของคาร์ราจีแนนเกิดการคลายตัว สามารถยืดหยุ่นได้มากขึ้น เมื่อออกแรงกระทำพอลิเมอร์ผสมจึงยืดออกได้มากขึ้น

การผสมเส้นใยฝ้ายลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนน (TPCS/LDPE/C10/Cot5) พบว่าความแข็งแรงดึงและยังมีมอดูลัสมีค่าสูงกว่าสูตรที่ปรับปรุงด้วยคาร์ราจีแนนอย่างเดียว เนื่องจากมีเส้นใยฝ้ายช่วยในการยึดเกาะส่วนของเมทริกซ์ ส่วนที่เป็นเมทริกซ์ของ TPCS และคาร์ราจีแนนจะเกิดการย่อยสลายก่อนส่วนที่เป็นเส้นใยฝ้าย

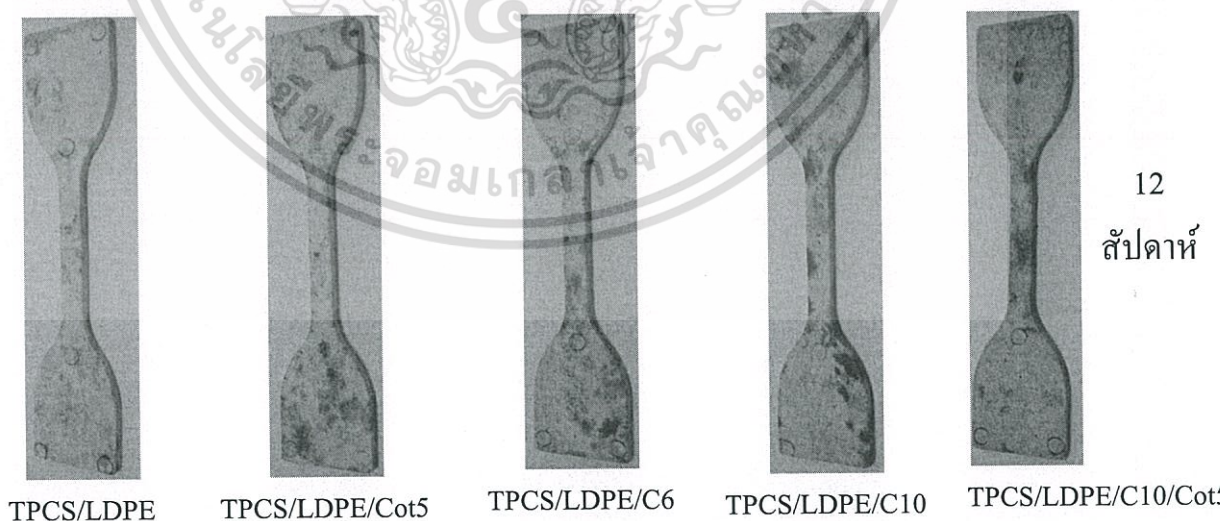
สูตรที่ปรับปรุงด้วยคาร์ราจีแนนและเส้นใยฝ้าย (TPCS/LDPE/C10/Cot5) มีค่าการยืดออกเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด น่าจะเกิดจากการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมที่ผสมเส้นใยฝ้าย ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคและรูพรุนหรือช่องว่างกระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการดูดซับน้ำในรูปที่ 4.25 จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการยืดตัวได้มากขึ้น



0  
สัปดาห์



6  
สัปดาห์



12  
สัปดาห์

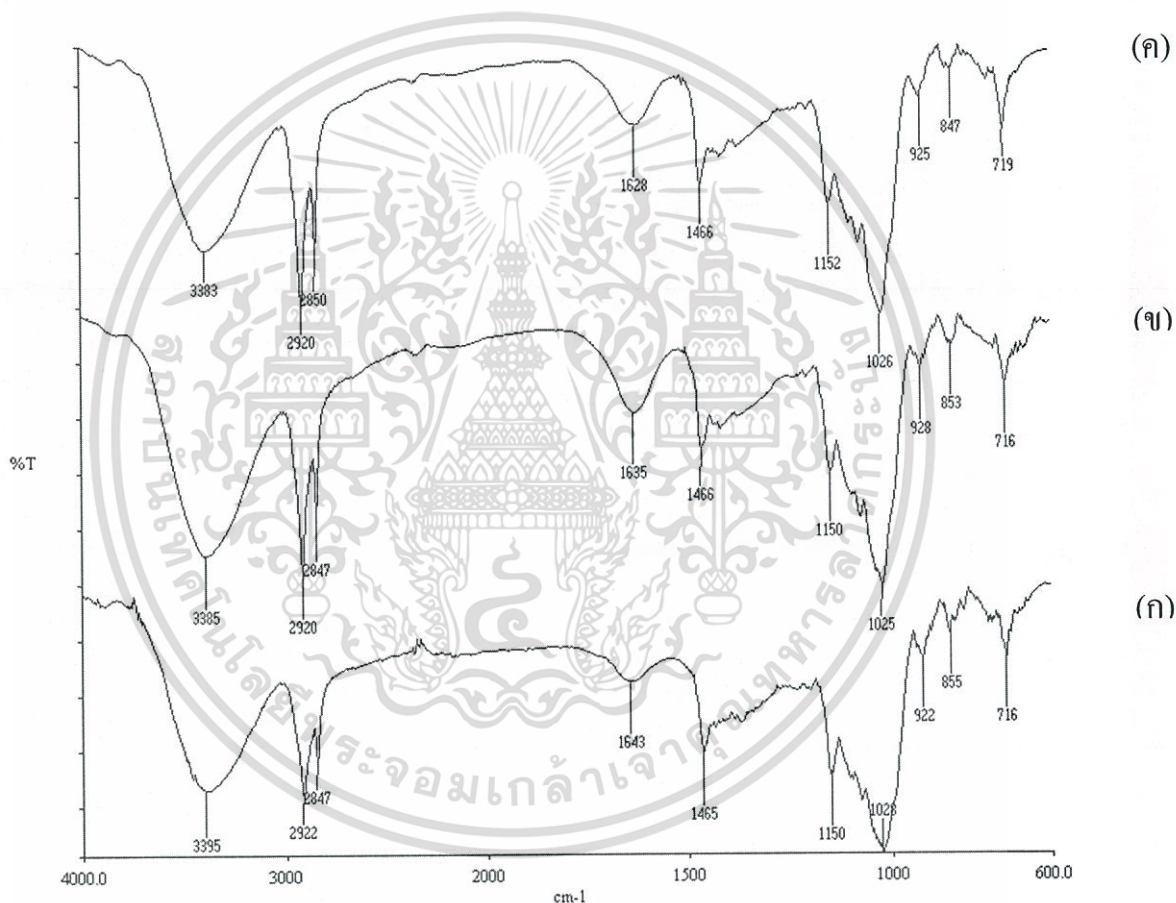
รูปที่ 4.31 พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนท์ที่ปริมาณ 0, 6 และ 10 % โดยน้ำหนัก และที่คาร์ราจีแนนท์ 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับได้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาเรชที่เตรียมได้จากจากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ด้วย โซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย

#### 4.3.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE โดยศึกษาผลของการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย ทำได้โดยใช้เครื่อง FTIR (Fourier transform infrared spectrophotometer) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.32 และ 4.35 ตามลำดับ

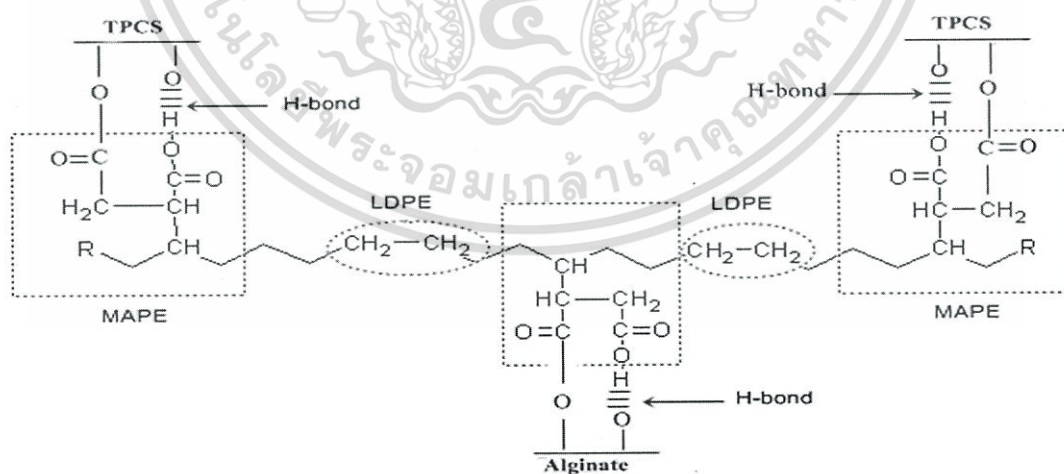


รูปที่ 4.32 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณต่างๆ (ก) TPCS/LDPE (ข) TPCS/LDPE/SA6 และ (ค) TPCS/LDPE/SA10

จากรูปที่ 4.32 (ก) แสดงสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.2.1 สำหรับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE, ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณต่างๆ กัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

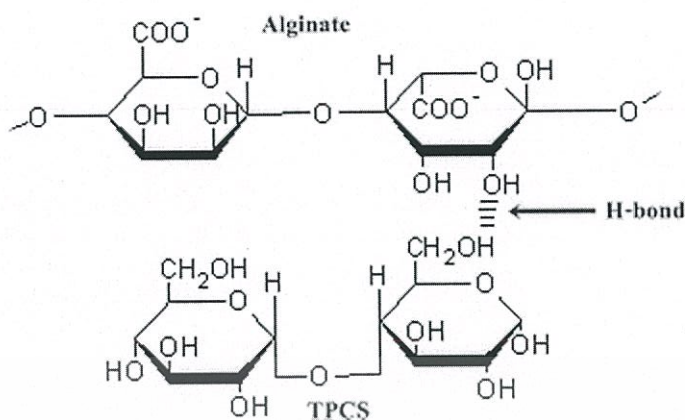
พบพีกอินฟราเรดสเปกตราเช่นเดียวกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต เนื่องจากพีกที่มีลักษณะเด่นที่พบในโซเดียมอัลจิเนต คือ พีกที่  $1635-1628\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ Asymmetric stretching ของ  $\text{COO}^-$  ของโซเดียมอัลจิเนต [60] ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับการสั่นแบบ O-H bending ของโมเลกุลของน้ำที่อยู่ใน TPCS พีกที่  $1466\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ Symmetric stretching ของ  $\text{COO}^-$  ของโซเดียมอัลจิเนต ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับการสั่นแบบ C-H bending ของ  $\text{CH}_2$  ของ LDPE และ MAPE พีกที่  $1150\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O-C stretching ของโซเดียมอัลจิเนต ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับแบบ C-O-C stretching ของ TPCS เนื่องจาก TPCS และโซเดียมอัลจิเนตมีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกัน ทำให้พบหมู่ฟังก์ชัน -OH,  $-\text{CH}_2$ , C-OH และ C-O-C เป็นโครงสร้างหลักของโมเลกุลเช่นเดียวกัน ทำให้สเปกตรัมที่แสดงว่ามีส่วนของโซเดียมอัลจิเนตในพอลิเมอร์ผสมถูกซ่อนทับด้วยสเปกตรัมที่แสดงว่าเป็น TPCS ทั้งหมด

สำหรับความแตกต่างระหว่างของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณต่างๆ กันนั้น พบว่า พีกที่  $3400\text{ cm}^{-1}$  ที่แสดงลักษณะการสั่นของ OH-stretching มีการเลื่อนตำแหน่ง (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลง (รูปที่ 4.32 (ข)-(ง)) ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมที่มีการเลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ลดลงนี้แสดงให้เห็นว่าเกิดอันตรกิริยาทางเคมีขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่ไฮดรอกซิลของโซเดียมอัลจิเนต เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น และการสร้างพันธะเอสเทอร์ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่มาลิสิกแอนไฮดไรต์ของ MAPE ซึ่งอันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.33 และ 4.34

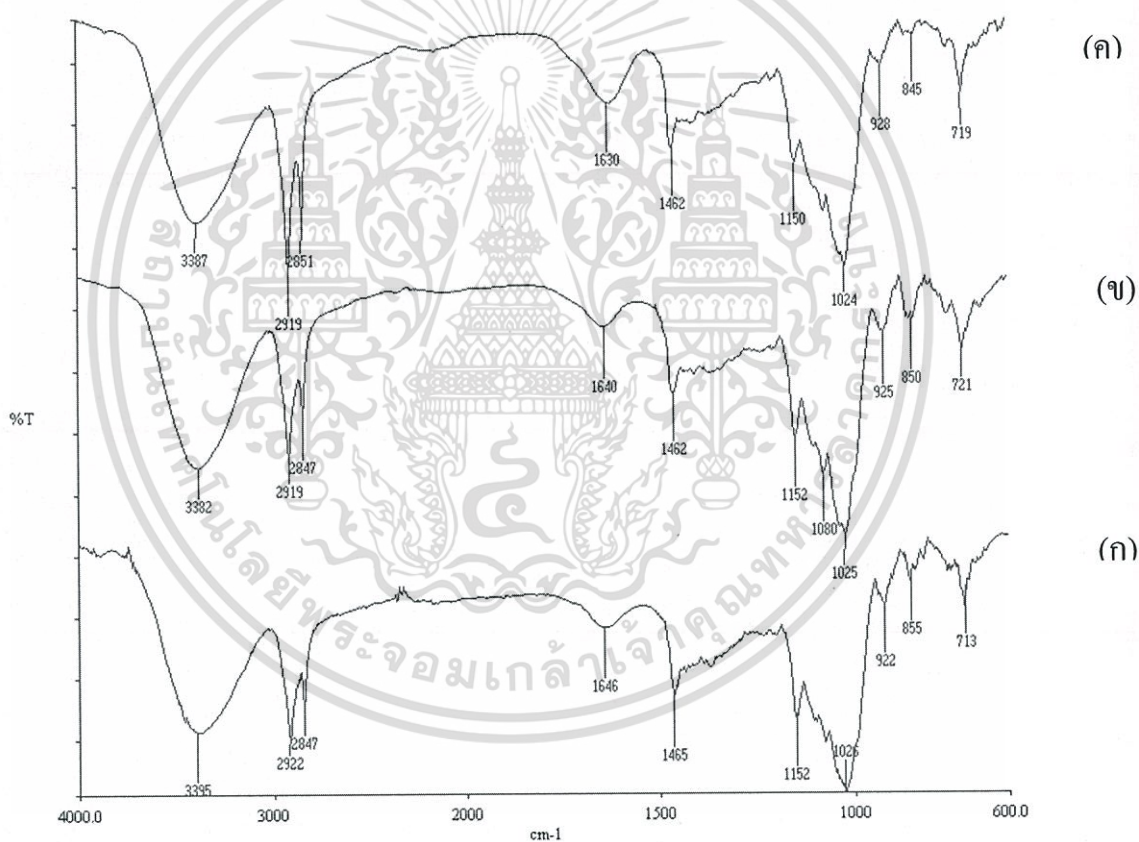


รูปที่ 4.33 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS, LDPE, โซเดียมอัลจิเนต และ MAPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง TPCS และ โซเดียมอัลจิเนต



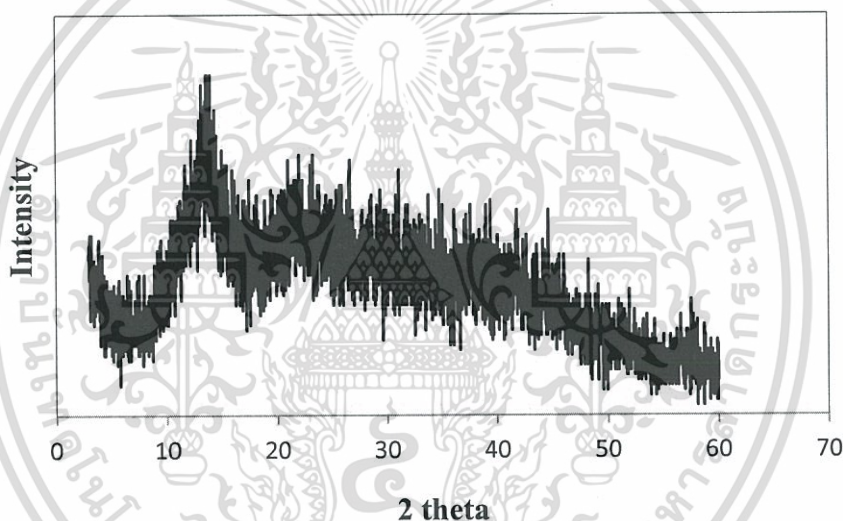
รูปที่ 4.35 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย (ก) TPCS/LDPE (ข) TPCS/LDPE/Cot5 และ (ค) TPCS/LDPE/SA10/Cot5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

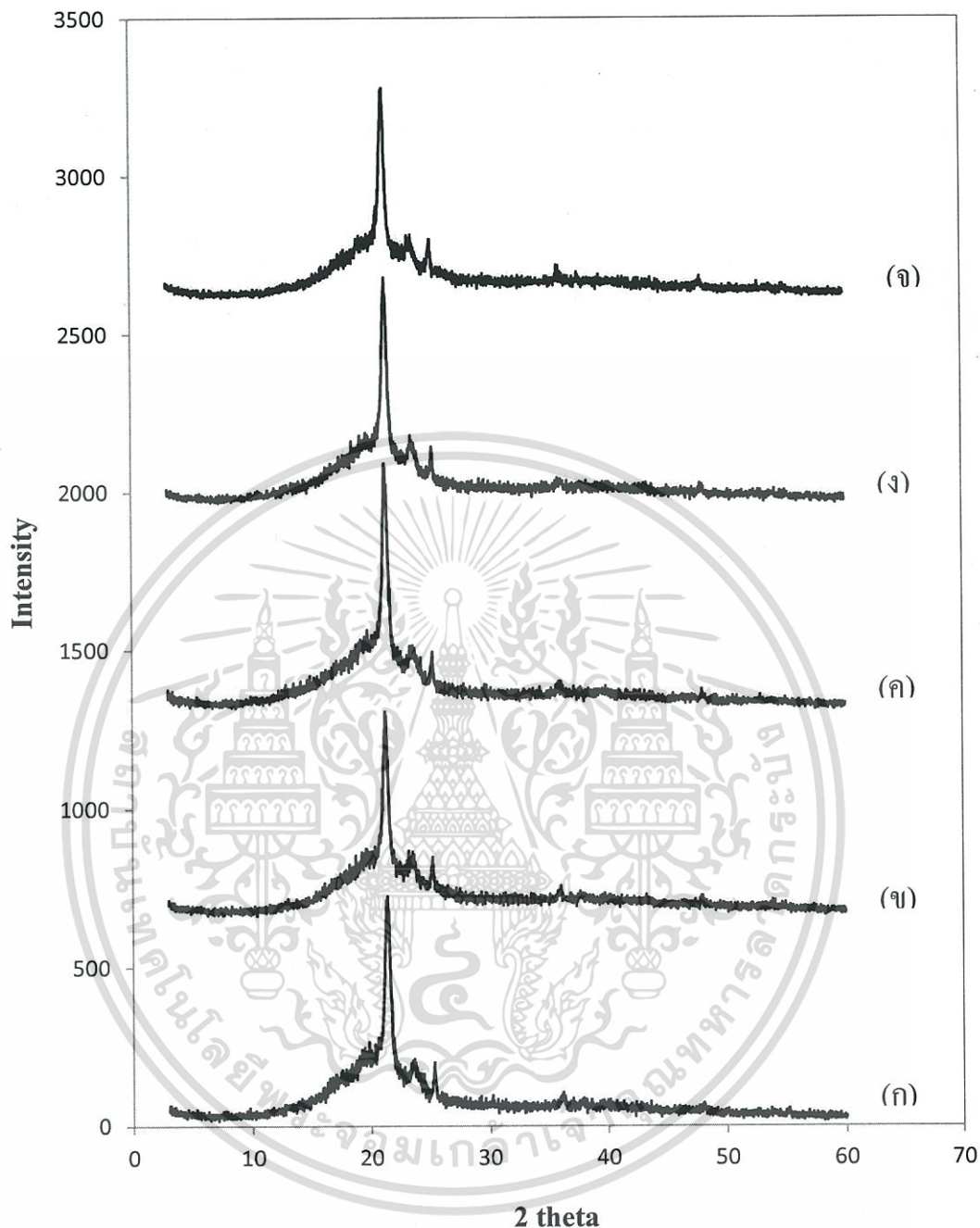
สำหรับความแตกต่างระหว่างพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS/LDPE และ TPCS/LDPE/SA10/Cot5 พบพีคที่  $3400\text{ cm}^{-1}$  ที่แสดงลักษณะการสั่นของ OH-stretching ใน TPCS ทำให้พีคที่ตำแหน่งนี้เกิดการเลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลงเมื่อผสมเส้นใยฝ้ายลงในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมที่มีการเลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ลดลงนี้แสดงให้เห็นว่าเกิดอันตรกิริยาทางเคมีขึ้นโดยมีพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่าง TPCS และเส้นใยฝ้ายที่ใส่เข้าไป

#### 4.3.2 XRD

การศึกษาโครงสร้างผลึกของโซเดียมอัลจิเนต และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย โดยใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.36 และ 4.37



รูปที่ 4.36 ดิฟแฟรคโทแกรมของโซเดียมอัลจิเนต



รูปที่ 4.37 ดิฟแฟรคโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต (ก) TPCS/LDPE (ข) TPCS/LDPE/Cot5 (ค) TPCS/LDPE/SA6 (ง) TPCS/LDPE/SA10 และ (จ) TPCS/LDPE/SA10/Cot5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

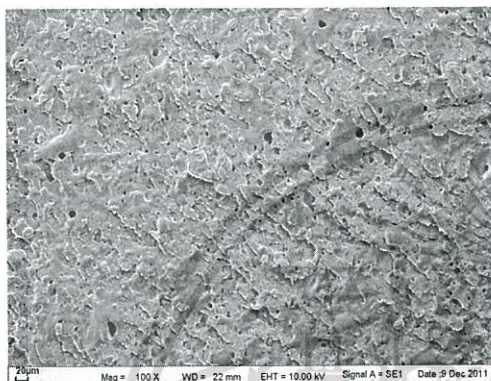
ตารางที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจินเตเส้นใยฝ้าย โดยใช้เทคนิค XRD

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก
TPCS/LDPE	34.42
TPCS/LDPE /Cot5	35.64
TPCS/LDPE /SA6	34.24
TPCS/LDPE /SA10	34.82
TPCS/LDPE /SA10/Cot5	33.41

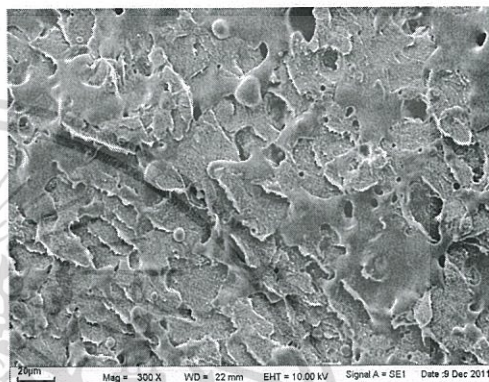
จากรูปที่ 4.36 แสดงโครงสร้างผลึกโซเดียมอัลจินเตพบพีคที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $16.6^\circ$  และ  $22.8^\circ$  ซึ่งเป็นพีคที่มีความเข้มค่อนข้างต่ำ [61] เมื่อพิจารณาโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจินเต (รูปที่ 4.37 (ก)) พบพีคที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $19.6^\circ$ ,  $21.4^\circ$ ,  $23.7^\circ$ ,  $25.3^\circ$  และ  $36.0^\circ$  ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกของ LDPE และเมื่อนำพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE มาปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจินเต (รูปที่ 4.37 (ข)-(ง)) พบว่าดิฟแฟร็กโทแกรมที่ได้มีรูปแบบและมีความเข้ม (Intensity) ของดิฟแฟร็กโทแกรมเหมือนกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE โดยพบพีคที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $19.6^\circ$ ,  $21.4^\circ$ ,  $23.7^\circ$ ,  $25.3^\circ$  และ  $36.0^\circ$  และจากตารางที่ 4.11 พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมอัลจินเตมีความเป็นผลึกไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าโซเดียมอัลจินเตที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ไม่มีผลต่อการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของ TPCS และ LDPE ส่วนสูตรที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจินเตและเส้นใยฝ้าย (TPCS/LDPE/SA10/Cot5) (รูปที่ 4.37 (ง)) พบว่าดิฟแฟร็กโทแกรมที่ได้มีรูปแบบเหมือนกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจินเตและมีความเข้ม (Intensity) ของดิฟแฟร็กโทแกรมไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน โดย XRD ของเส้นใยฝ้าย พบพีคที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ  $18.0^\circ$ ,  $23.3^\circ$  และ  $26.0^\circ$  ซึ่งพีคที่พบนี้มีความเข้มต่ำกว่าพีคของ LDPE จึงน่าจะเกิดจากพีคที่พบที่มุม  $2\theta$  ของฝ้ายเกิดที่ตำแหน่งเดียวกับ TPCS และ LDPE จึงทำให้เกิดการบดบังและซ้อนทับกันของพีค

### 4.1.3 ฐานวิทยา

การศึกษาลักษณะฐานวิทยาของโซเดียมอัลจิเนต และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงความเข้ากันได้โดยใช้สารช่วยผสม MAPE และที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย ทำได้โดย SEM ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวและความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย



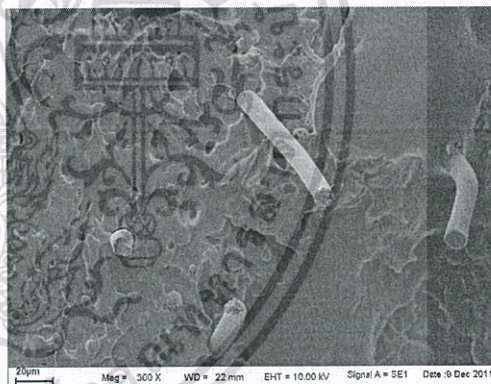
(ก) TPCS/LDPE, 100X



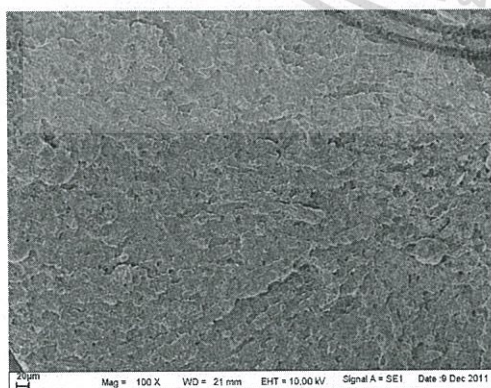
(ข) TPCS/LDPE, 300X



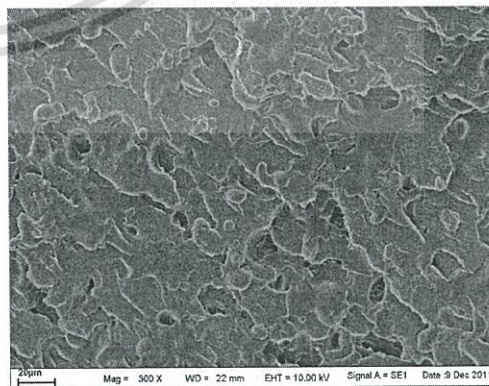
(ค) TPCS/LDPE/Cot5, 100X



(ง) TPCS/LDPE/Cot5, 300X

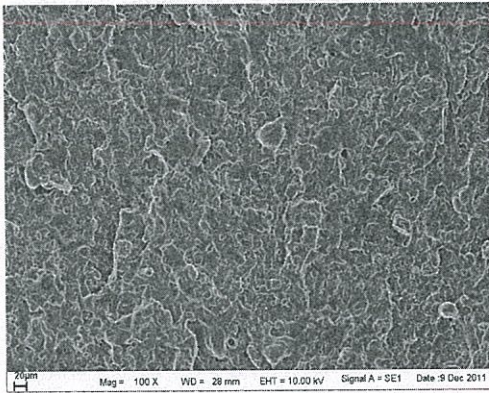


(จ) TPCS/LDPE/SA6, 100X

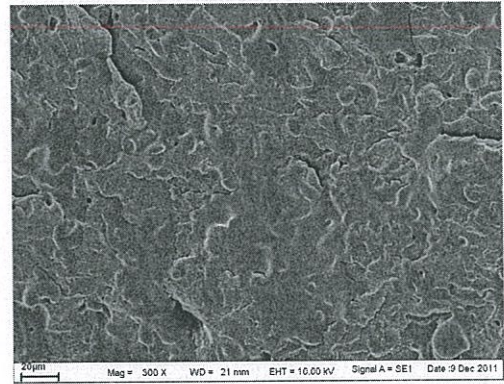


(ฉ) TPCS/LDPE/SA6, 300X

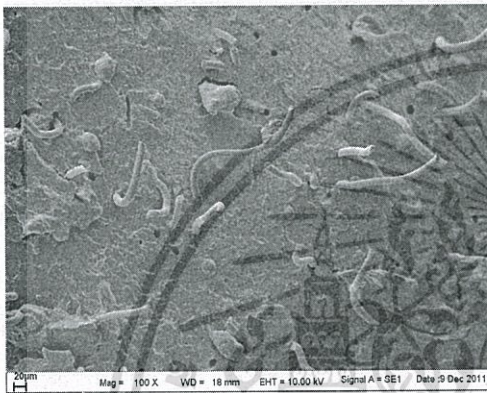
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



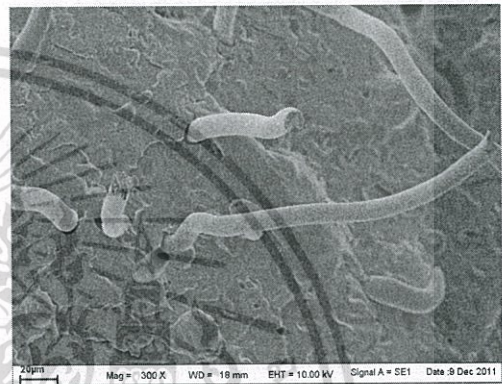
(ข) TPCS/LDPE/SA10, 100X



(ค) TPCS/LDPE/SA10, 300X



(ง) TPCS/LDPE/SA10/Cot5, 100X



(จ) TPCS/LDPE/SA10/Cot5, 300X

รูปที่ 4.38 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า

จากรูปที่ 4.38 แสดงลักษณะภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่ 10% โดยน้ำหนักผสมเส้นใยฝ้าย 5 phr ซึ่งพอลิเมอร์ผสมประกอบไปด้วยส่วนของเมทริกซ์ คือ TPCS, LDPE และโซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย พบว่าวัฏภาคของ TPCS, โซเดียมอัลจิเนต และ LDPE มีความเข้ากัน ถึงแม้ TPCS และ โซเดียมอัลจิเนตจะเป็นส่วนที่มีขี้้ว ส่วน LDPE จะไม่มีขี้้วก็ตามแต่เนื่องจากมีสารช่วยผสม MAPE จึงช่วยในการยึดติดระหว่างผิวสัมผัสของวัฏภาคทั้งสาม และยังพบว่า TPCS และ โซเดียมอัลจิเนตมีการรวมตัวกัน เนื่องจากโครงสร้างของ TPCS และโซเดียมอัลจิเนตมีขี้้วเหมือนกัน จึงเกิดการทำให้อาจเกิดการสร้างพันธะกันได้ เมื่อปริมาณโซเดียมอัลจิเนตเพิ่มขึ้นพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมมีความเรียบเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น สูตรที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมอัลจิเนตและผสมเส้นใยฝ้าย (TPCS/LDPE/SA10/Cot5) พบว่าเส้นใยฝ้ายเข้ากันได้ดีกับเมทริกซ์ สังเกตได้จากการที่พบ TPCS เกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยฝ้าย (Surface wetting) แต่พบรอยต่อระหว่างวัฏภาคระหว่างเส้นใยฝ้ายและ LDPE เนื่องจากความแตกต่างระหว่างวัฏภาคของส่วนที่มีขี้้ว (TPCS โซเดียมอัลจิเนตและเส้นใย) และส่วนไม่มีขี้้ว (LDPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.4 การวัดสี

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อวัดค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  และ  $H^\circ$  ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย

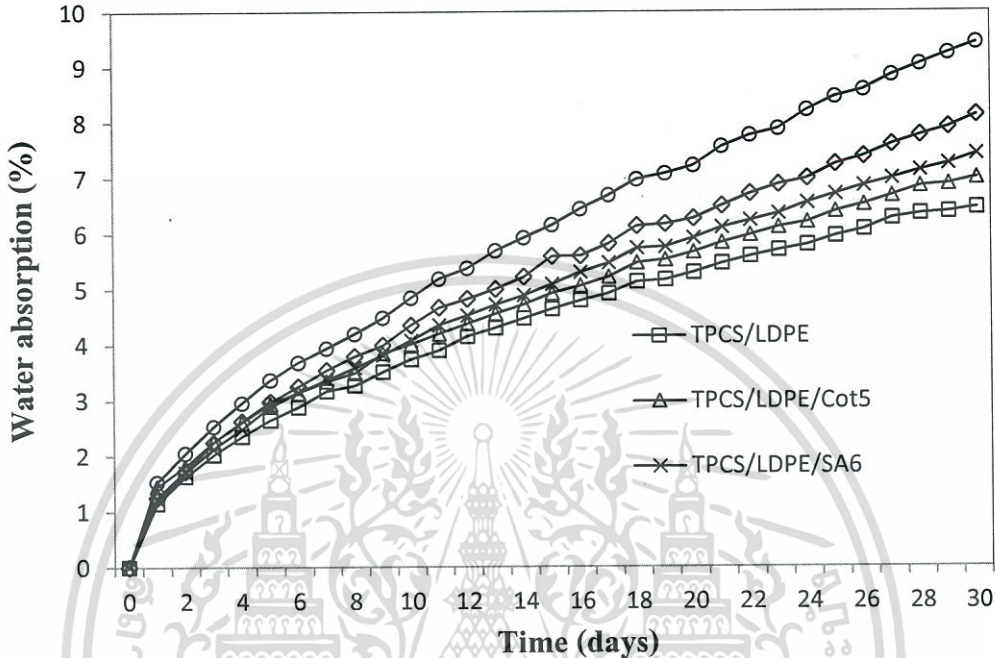
ตัวอย่าง	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี				
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$H^\circ$
LDPE/TPS	89.0±0.2	0.90±0.23	3.74±0.12	3.85±0.11	76.5±3.5
TPCS/LDPE /Cot5	89.2±0.4	1.13±0.34	3.80±0.23	3.99±0.16	70.8±1.8
TPCS/LDPE/SA6	78.2±0.8	1.76±0.40	6.77±0.33	7.01±0.28	75.4±3.5
TPCS/LDPE/SA10	71.6±0.2	2.74±0.44	8.43±0.23	8.87±0.14	72.0±3.0
TPCS/LDPE/SA10/Cot5	73.1±0.3	2.16±0.59	7.71±0.38	8.02±0.26	74.2±4.6

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  $H^\circ$  ระบุตำแหน่งของสีเทียบกับมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 0, 6, 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย พบว่าเมื่อปริมาณโซเดียมอัลจิเนตเพิ่มขึ้นพอลิเมอร์ผสมมีค่า  $L^*$  มีลดลง เนื่องจากเนื่องจากโซเดียมอัลจิเนตที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมเป็นของแข็งที่มีความทึบแสง จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสีเข้มขึ้นและทึบแสงขึ้น แต่มีค่า  $b^*$  และ  $C^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากโซเดียมอัลจิเนตมีสีขาวครีมมีเฉดสีออกไปทางสีเหลือง ส่วนการเติมโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้ายลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่า  $L^*$ ,  $b^*$  และ  $C^*$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีสีขาว จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสีอ่อนลง แต่โดยภาพรวมแล้วพอลิเมอร์ผสมมีสีออกไปทางสีเหลืองทุกสูตร

#### 4.3.5 การดูดซับน้ำ

ศึกษาการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย แสดงได้ดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 เปรียบเทียบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต (ก) TPCS/LDPE (ข) TPCS/LDPE/Cot5 (ค) TPCS/LDPE/SA6 (ง) TPCS/LDPE/SA10 และ (จ) TPCS/LDPE/SA10/Cot5

จากการทดลองการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก รูปที่ 4.39 พบว่า เปรียบเทียบการดูดซับน้ำของชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง และเมื่อพิจารณาปริมาณของโซเดียมอัลจิเนตที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ต่างกัน พบว่าเมื่อปริมาณของโซเดียมอัลจิเนตเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าสูงขึ้น เนื่องจาก TPCS และโซเดียมอัลจิเนตมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นขั้วมีสมบัติชอบน้ำ จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี และโซเดียมอัลจิเนตสามารถเกิดเจลได้จึงทำให้สามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้ดี [17] ความสามารถในการดูดซับน้ำจึงสูงตามปริมาณของโซเดียมอัลจิเนต พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสูงที่สุด เนื่องจากความเป็นขั้วที่แตกต่างกันของส่วนที่เป็นเมทริกซ์ คือ TPCS และโซเดียมอัลจิเนตที่มีขั้ว แต่ LDPE เป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว กับเส้นใยฝ้ายที่มีขั้วจึงพบรอยต่อระหว่าง

วิฤภาคจากผลทางสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.38) ทำให้น้ำแทรกผ่านตรงรอยต่อได้ ส่งผลทำให้การดูดซับน้ำสูงขึ้น

#### 4.3.6 ดัชนีการไหล

การศึกษาค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 190°C และใช้น้ำหนักกดทับ 2.16 kg ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย

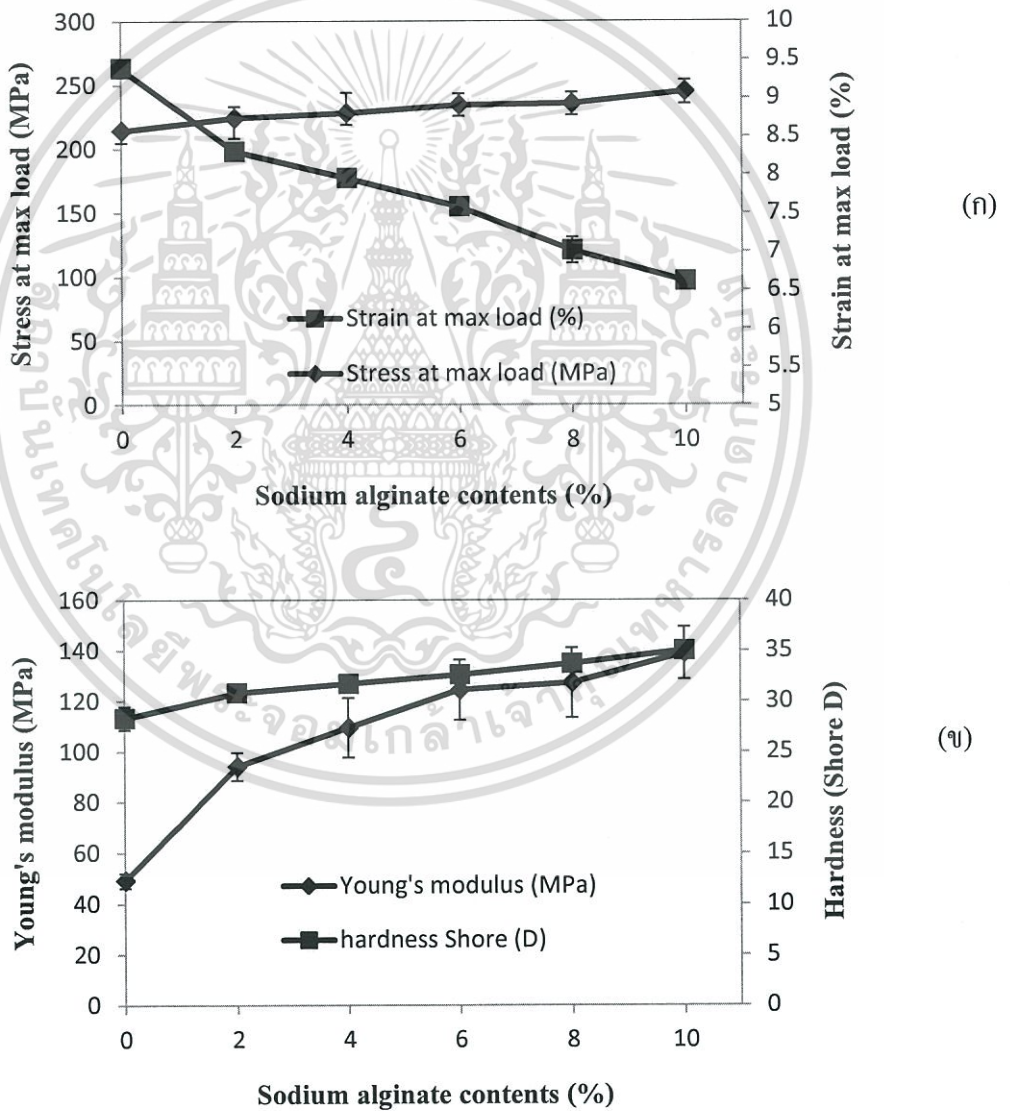
ตัวอย่าง	MFI (g/10 min)	ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ออกมาจากหัวคายของเครื่อง Melt Flow Indexer
TPCS/LDPE	5.2±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจาก การพองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/Cot5	3.0±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจาก การพองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/SA6	4.7±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจาก การพองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/SA10	4.5±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจาก การพองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/SA10/Cot5	2.9±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจาก การพองตัวของ TPCS

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย พบว่าเมื่อปริมาณโซเดียมอัลจิเนตเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าดัชนีการไหลมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการเติมโซเดียมอัลจิเนต แสดงว่าโซเดียมอัลจิเนตมีผลทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE มีค่าเพิ่มขึ้น พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลได้ยากและผลจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง TPCS และ โซเดียมอัลจิเนต (รูปที่ 4.34) ทำให้พอลิเมอร์ผสมเมื่อได้รับความร้อนเกิดการไหลได้ยากขึ้น การเติมโซเดียมอัลจิเนตเส้นใยฝ้ายลงไป (TPCS/LDPE/SA10/Cot5) พบว่าค่าดัชนีการไหลมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากเส้นใยฝ้ายเป็นของแข็งและมีขนาดใหญ่ และการเกิดอันตรกิริยาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่าง เส้นใยฝ้ายและ TPCS (รูปที่ 4.5) จึงเข้าไปขบวนการเคลื่อนที่ของพอลิเมอร์หลอมเหลวทำให้ไหลได้ยากขึ้น จึงมีความหนืดสูงขึ้น

#### 4.3.7 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงดึง ย้งมอดูลัส เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด ความแข็งกด และความแข็งแรงกระแทก โดยพิจารณาจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่โซเดียมอัลจิเนต 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr ให้ผลการทดลองดังนี้

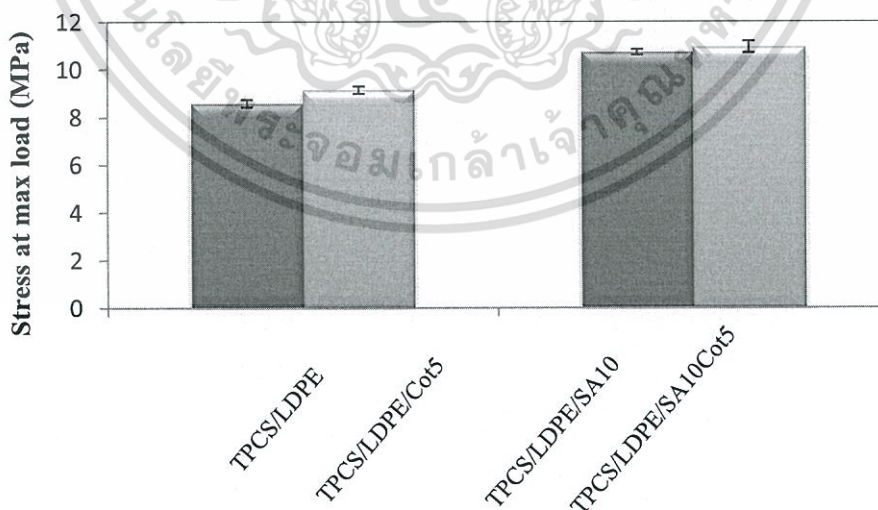


รูปที่ 4.40 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต (ก) ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด และ

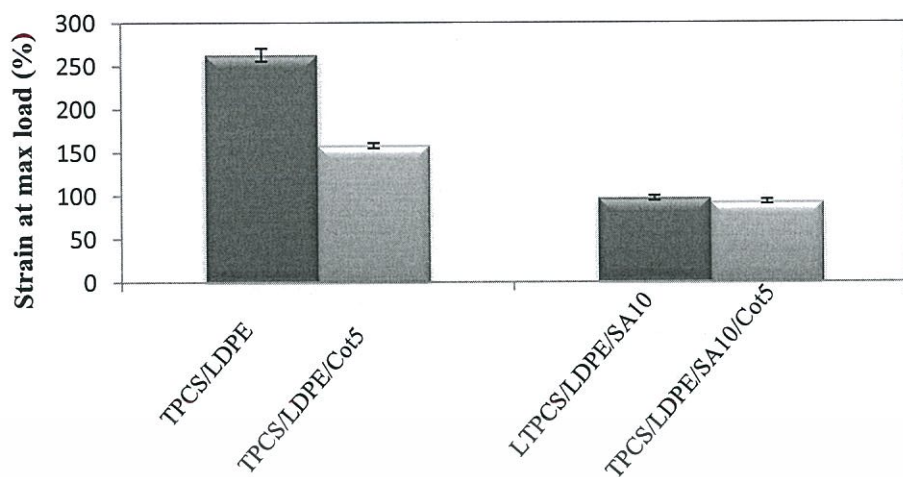
เอกสารนี้เป็นเอกสาร (ข) ย้งมอดูลัสและความแข็งแรงกดการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.40 (ก) และ (ข) แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10% โดยน้ำหนัก พบว่า ความแข็งแรงดึง ยังมอดูลัสและความแข็งกมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณของโซเดียมอัลจิเนตเพิ่มขึ้น เนื่องจากอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของ TPCS และโซเดียมอัลจิเนตเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น โดยอธิบายได้จากการที่พีคของ O-H stretching มีการเลื่อนตำแหน่งของเลขคลื่นไปยังค่าที่น้อยลง (รูปที่ 4.32) และการสร้างพันธะเอสเทอร์ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่มาลิกแอตไรลของ MAPE และจากความเข้ากันได้ของ TPCS และโซเดียมอัลจิเนตที่มีโครงสร้างคล้ายๆ กัน ทำให้จากผลทางสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.38) ที่ TPCS และโซเดียมอัลจิเนตเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมอัลจิเนตมีความแข็งแรงมากขึ้น ความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมจึงมีค่าลดลง จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุดของพอลิเมอร์ผสม มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของโซเดียมอัลจิเนตเพิ่มขึ้น

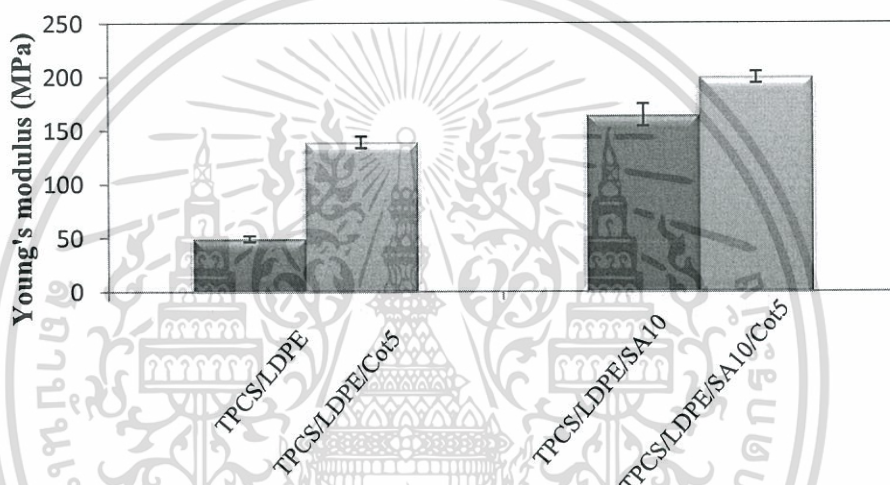
จากการพิจารณาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการเติมโซเดียมอัลจิเนตในปริมาณต่างๆ กันนั้น พบว่าปริมาณโซเดียมอัลจิเนตที่เหมาะสมที่สุดคือ 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งส่งผลให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด ดังแสดงได้จากการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงดึง ยังมอดูลัส และความแข็งกมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตมีค่าสูงที่สุด จึงนำมาปรับปรุงสมบัติต่อการนำมาผสมเส้นใยฝ้าย 5 phr (TPCS/LDPE/SA10/Cot5)



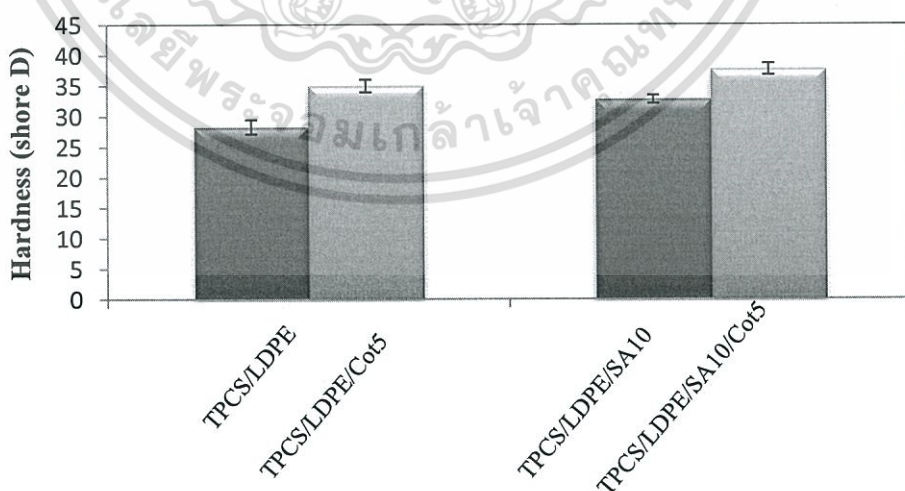
(ก)



(ข)



(ค)

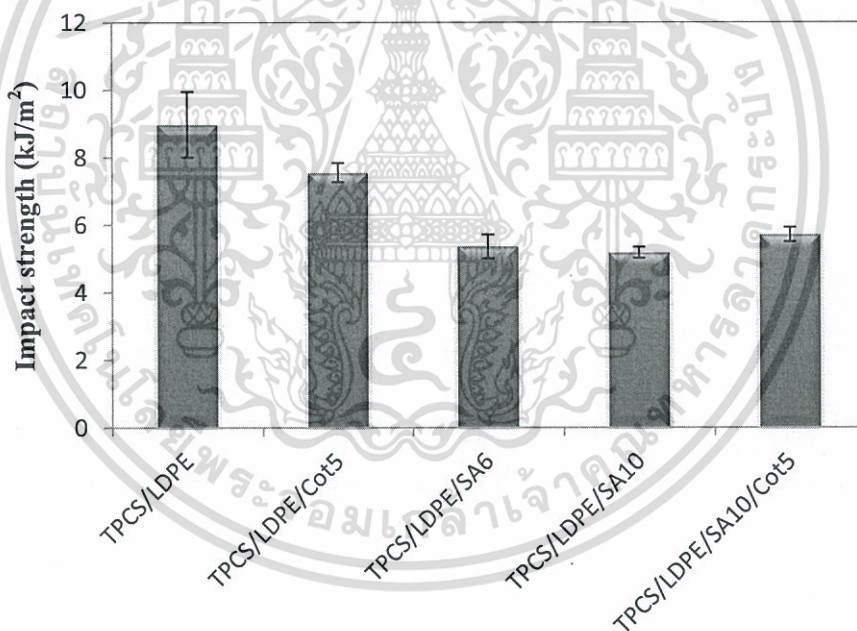


(ง)

รูปที่ 4.41 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย โซเดียมอัลจินเตตและเส้นใยฝ้าย (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงเอกสาร์นี้เป็นเอกสารอ้างอิงแก่ผู้จัดทำเอกสารฉบับนี้ (ค) ยิงมอดุลัส และ (ง) ความแข็งกั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.41 (ก) และ (ค) แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต 10% โดยน้ำหนักและผสมเส้นใยฝ้าย 5 phr (TPCS/LDPE/SA10/Cot5) จากผลการทดลองพบว่าเมื่อผสมเส้นใยฝ้ายลงไปทำให้ความแข็งแรงดึงยังมอดูลัสและความแข็งกดของ TPCS/LDPE/SA10/Cot5 มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงเนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์เกิดพันธะไฮโดรเจนภายในและระหว่างสายโซ่ สายโซ่มีการจัดเรียงตัวที่ดีมีความเป็นระเบียบ (มีค่าความเป็นผลึกประมาณ 70%) [24] ทำให้มีความแข็งแรงมาก และการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง TPCS และเส้นใยฝ้าย (รูปที่ 4.5) ส่งผลให้ TPCS/LDPE/SA10/Cot5 มีความแข็งแรงมากขึ้น มีความยืดหยุ่นลดลง จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืดที่จุดแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลง

การศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย โดยทำการทดสอบจากค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ให้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.42



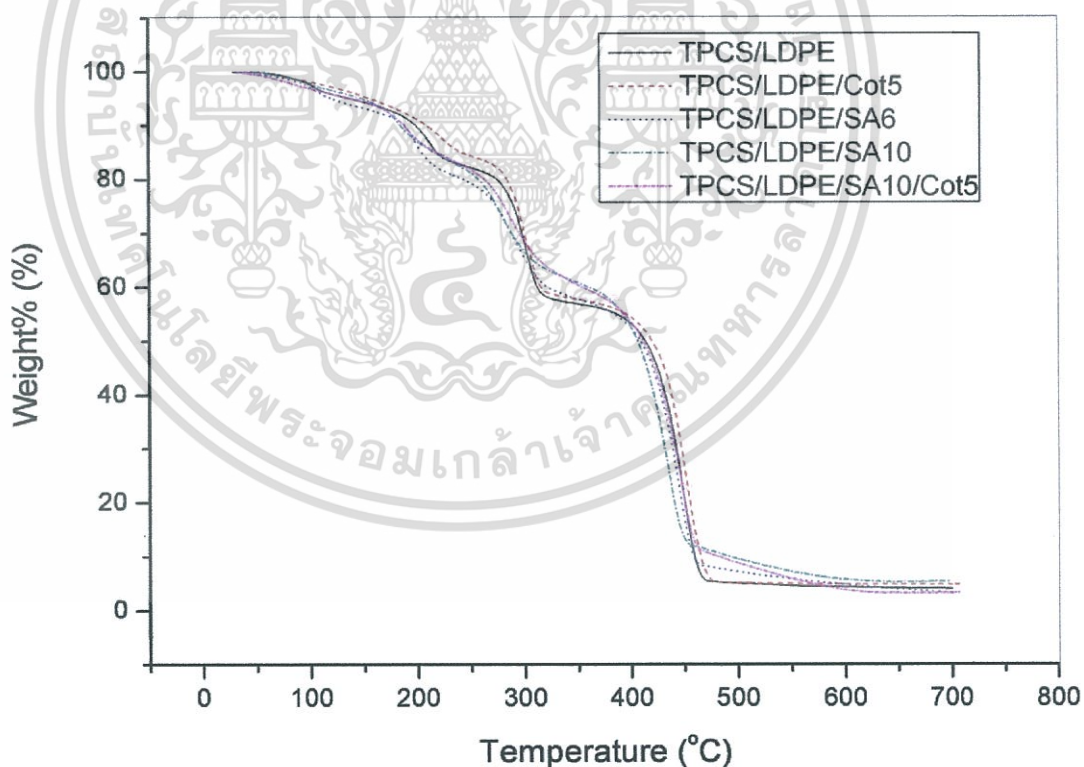
รูปที่ 4.42 ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย

จากรูปที่ 4.42 แสดงค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย พบว่าพอลิเมอร์ผสม TPCS/LDPE มีค่าความแข็งแรงกระแทกสูงกว่าพอลิเมอร์ผสม TPCS/LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย จากกราฟจะเห็นได้ว่าการเติมโซเดียมอัลจิเนตลงในพอลิเมอร์ผสมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

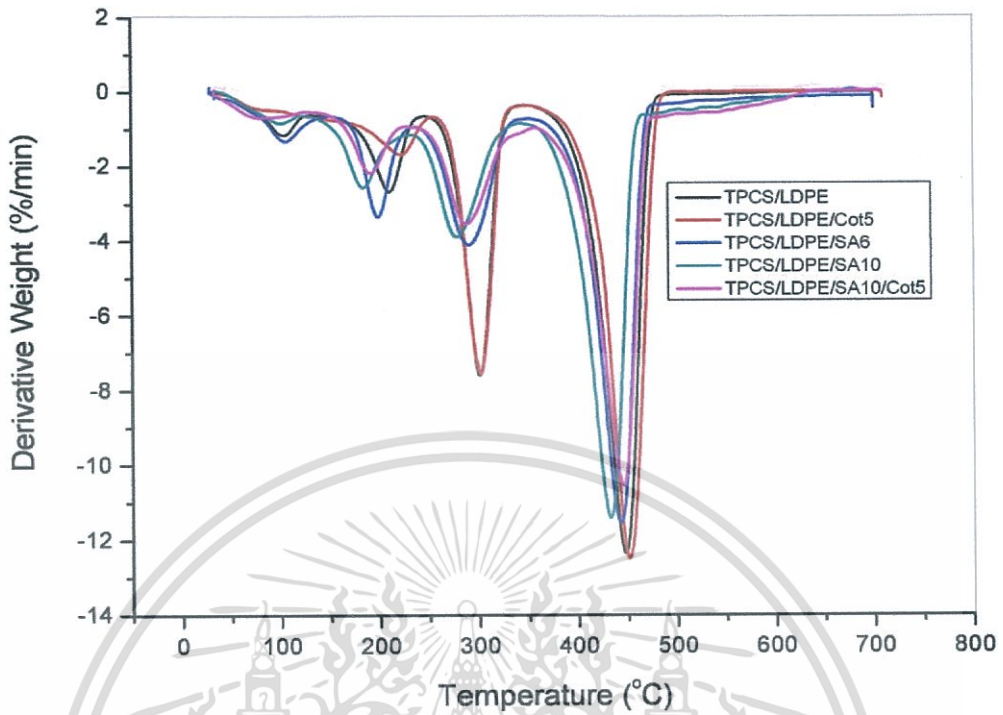
ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความแข็งแรงกระแทกลดลง เนื่องจากโซเดียมอัลจินเตเป็นสารก่อเจลและโซเดียมอัลจินเตและ TPCS มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมากจึงอาจเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น ทำให้โครงสร้างที่ความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้เมื่อมีแรงกระทำสายโซ่สามารถฉีกเพื่อกระจายแรงได้น้อยลง จึงทำให้รับแรงแล้วส่งผ่านแรงได้ไม่ดี ส่วนการผสมเส้นใยฝ้ายลงไปทั้งสูตร TPCS/LDPE/Cot5 และ TPCS/LDPE/C10/Cot5 ที่ความแข็งแรงกระแทกลดลงเนื่องจากพอลิเมอร์ผสมที่เติมโซเดียมอัลจินเตลงไป 10% โดยน้ำหนัก ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็ง และเส้นใยฝ้ายมีความแข็ง สามารถกระจายแรงได้น้อยลง

#### 4.3.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจินเตที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย 5 phr โดยสมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (Decomposition temperature at peak) ซึ่งให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.43 และตารางที่ 4.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงด้วย โขเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ

ตารางที่ 4.14 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงด้วย โขเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ

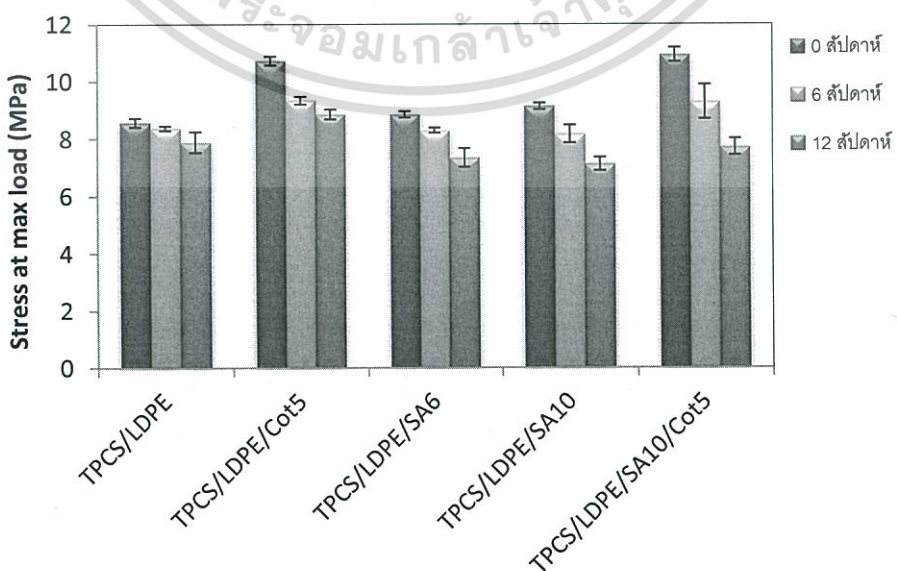
ตัวอย่าง	อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว (°C)		
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (TPCS และ โซเดียมอัลจิเนต)	ช่วงที่ 3 (LDPE และเส้นใยฝ้าย)
TPCS/LDPE	210.7	301.2	447.9
TPCS/LDPE/Cot5	222.9	302.5	451.1
TPCS/LDPE/SA6	199.7	292.1	442.1
TPCS/LDPE/SA10	183.7	279.2	432.0
TPCS/LDPE/SA10/Cot5	192.1	288.8	445.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.43 และตารางที่ 4.14 พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต มีอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด 3 ช่วง จากการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 6 และ 10% โดยน้ำหนัก พบว่าโซเดียมอัลจิเนตมีอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด ประมาณ  $221.35^{\circ}\text{C}$  [61] โดยอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของโซเดียมอัลจิเนตมีค่าใกล้เคียงกับกลีเซอรอล ดังนั้นอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของโซเดียมอัลจิเนตและกลีเซอรอลจึงเกิดที่ตำแหน่งเดียวกัน และที่ปริมาณโซเดียมอัลจิเนตที่ 6 และ 10% โดยน้ำหนัก มีอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของ TPCS อยู่ที่  $292.1^{\circ}\text{C}$ ,  $278.1^{\circ}\text{C}$  และ  $279.2^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยอุณหภูมิของ TPCS ของพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของ TPCS ของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนต เนื่องจากโซเดียมอัลจิเนตดูดความร้อนแล้วสะสมความร้อนไว้ในระยะยาวได้ โดยไม่เกิดการสลายตัวทำให้สามารถส่งผ่านความร้อนไปยัง TPCS ได้ ส่งผลให้ TPCS ได้รับความร้อนมากขึ้นจึงเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิลดลง

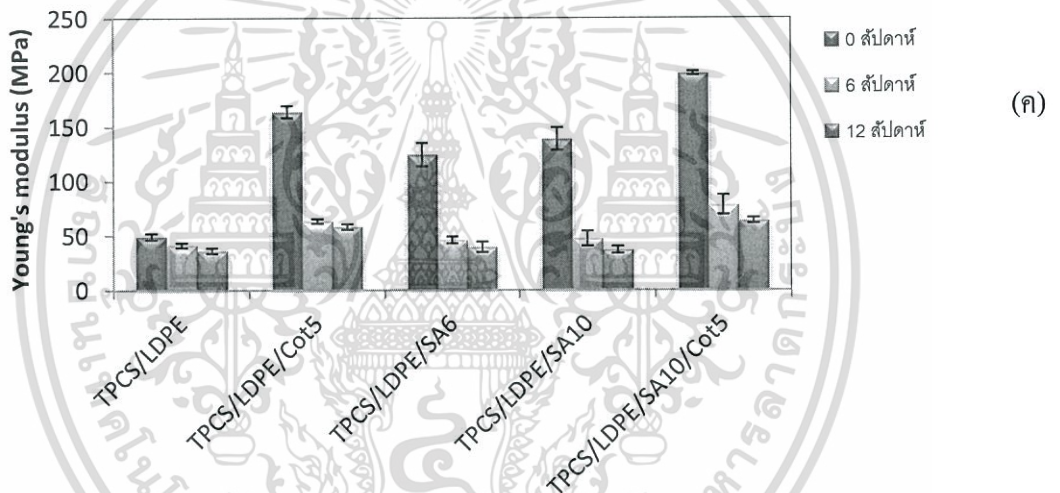
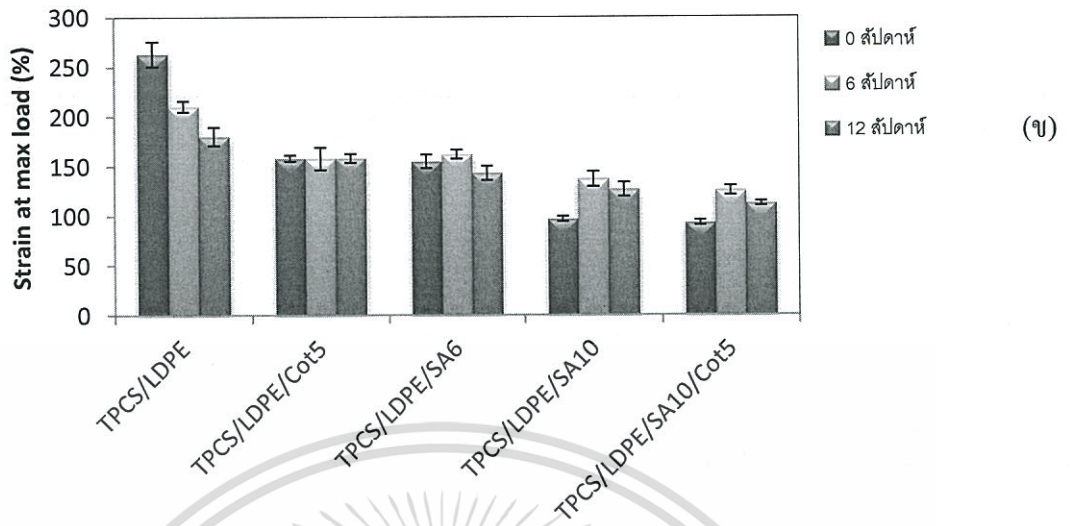
#### 4.3.9 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน โดยการนำพอลิเมอร์ผสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่โซเดียมอัลจิเนต 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr นำพอลิเมอร์ผสมมาฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12 สัปดาห์ ที่มีการควบคุมความชื้นของดินคงที่ในช่วง 30-40% โดยทำการศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ยิงมอดุลัส เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด ให้ผลการทดลองดังนี้



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



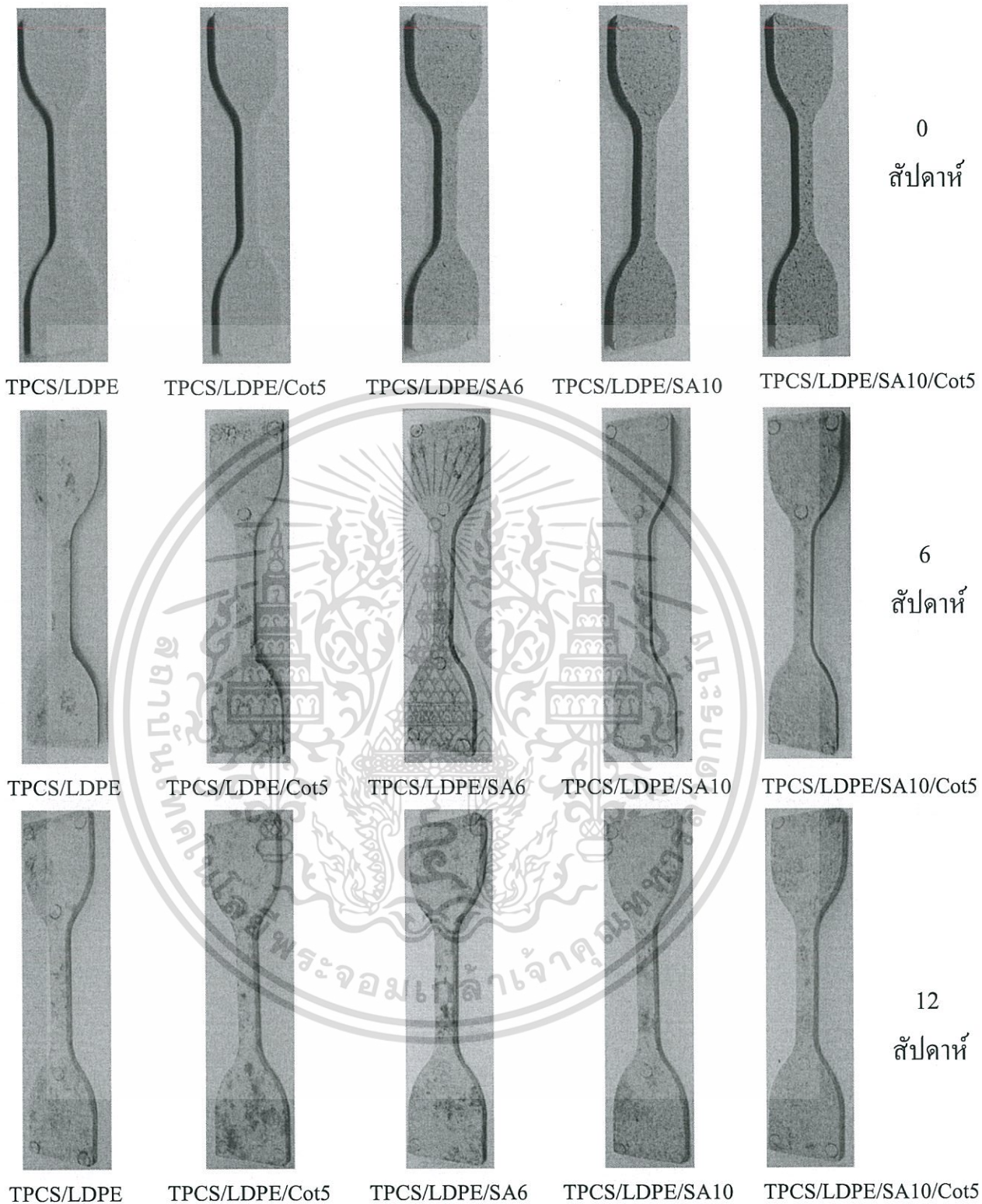
รูปที่ 4.44 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย โซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย ที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์ (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) ยั่งมอดุลัส

จากรูปที่ 4.44 (ก)-(ค) แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติ โซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้าย ที่ทำการฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12 สัปดาห์ พบว่าความแข็งแรงดึง และยั่งมอดุลัส มีแนวโน้มลดลงทุกสูตร เนื่องจากในดินที่นำมาทดสอบมีความชื้นอยู่ ทำให้พอลิเมอร์ผสมซึ่งมีส่วนประกอบของแป้ง, กลีเซอรอล และ โซเดียมอัลจิเนต ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นหมู่ที่ชอบน้ำ ทำให้พอลิเมอร์ผสมดูดน้ำที่มีอยู่ในดินที่นำมาทดสอบ และเกิดจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งบริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมมีการเปลี่ยนแปลง คือ มีเชื้อราเกิดขึ้นตามบริเวณต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.45 ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงลดลง เมื่อปริมาณ โซเดียมอัลจิเนตเพิ่มขึ้นพบว่าความแข็งแรงดึง ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังมอดูลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน เนื่องจากเมื่อปริมาณของโซเดียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดน้ำของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมหัวข้อที่ 4.3.5 สำหรับเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุดของพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณเท่ากัน พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมอัลจิเนต ซึ่งมีโซเดียมอัลจิเนตที่เป็นสารก่อเจลจึงเกิดโครงสร้างที่เป็นลักษณะโครงตาข่ายอยู่ในพอลิเมอร์ผสมเมื่อพอลิเมอร์ผสมดูดซับน้ำที่มีอยู่ในดิน ทำให้โครงตาข่ายที่มีความแข็งแรงเกิดการยืดหยุ่นมากขึ้น เมื่อได้รับแรงกระทำจึงทำให้เกิดการยืดตัวได้มากขึ้น

ส่วนการผสมเส้นใยฝ้ายลงไปในพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมอัลจิเนต (TPCS/LDPE/SA10/Cot5) พบว่าความแข็งแรงดึง และยังมีมอดูลัสมีค่าสูงกว่าสูตรที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมอัลจิเนตอย่างเดียว เนื่องจากมีเส้นใยช่วยในการยึดเกาะส่วนของเมทริกซ์ ส่วนที่เป็นเมทริกซ์ของ TPCS และคาร์ราจีแนนจะเกิดการย่อยสลายก่อนส่วนที่เป็นเส้นใย

ส่วน สูตรที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมอัลจิเนตและผสมเส้นใยฝ้ายลงไป (TPCS/LDPE/SA10/Cot5) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด คาดว่าเกิดจากรอยต่อระหว่างวัฏภาคระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยฝ้ายของพอลิเมอร์ผสมและรูพรุนหรือช่องว่างกระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมที่ทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการดูดซับน้ำในหัวข้อ 4.3.4 จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการยืดตัวได้มากขึ้น



รูปที่ 4.45 พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่โซเดียมอัลจิเนต 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12

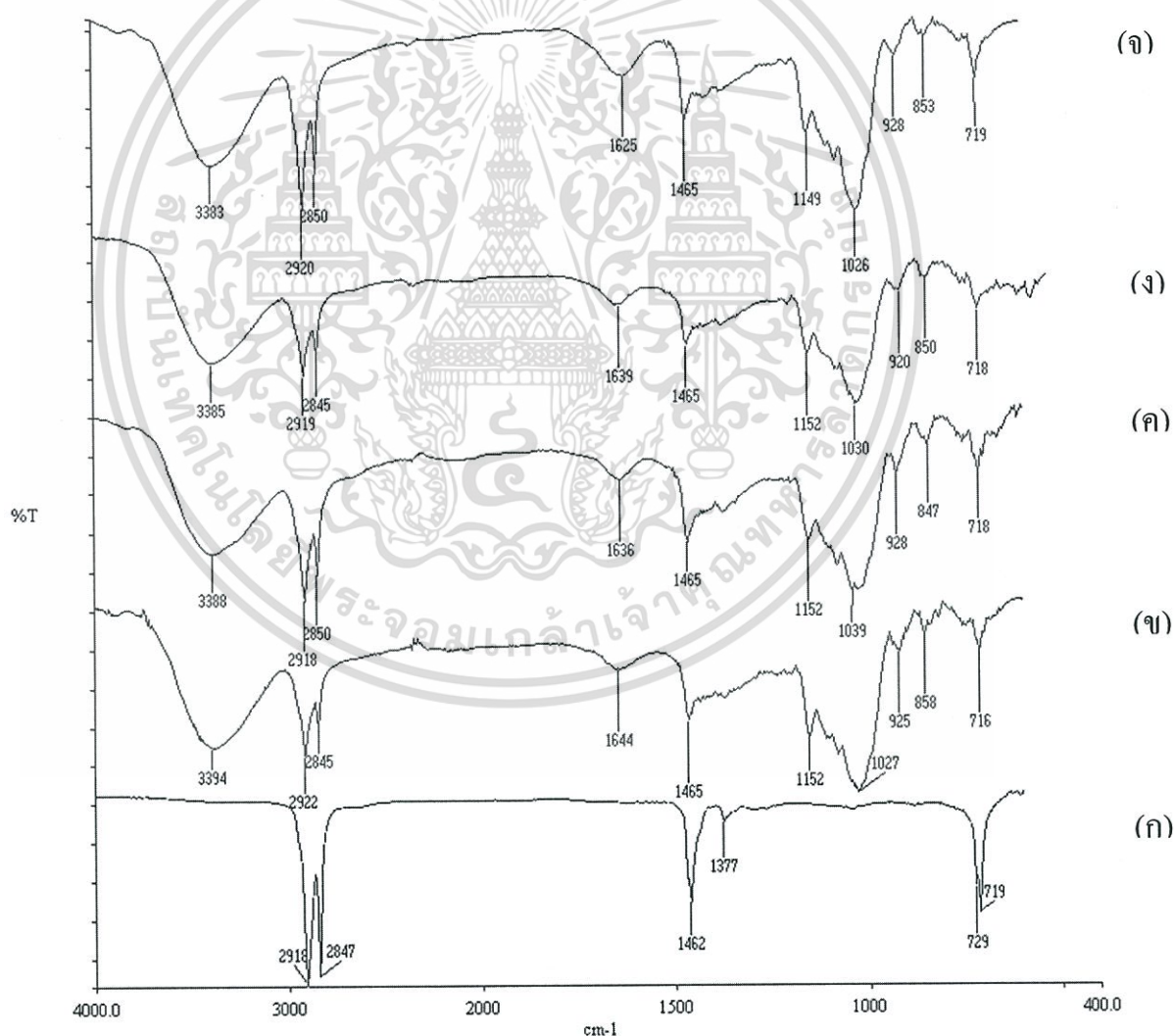
เอกสารนี้เป็นเอกสารลับตาข่ายได้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลของอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

การศึกษาในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

##### 4.4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR

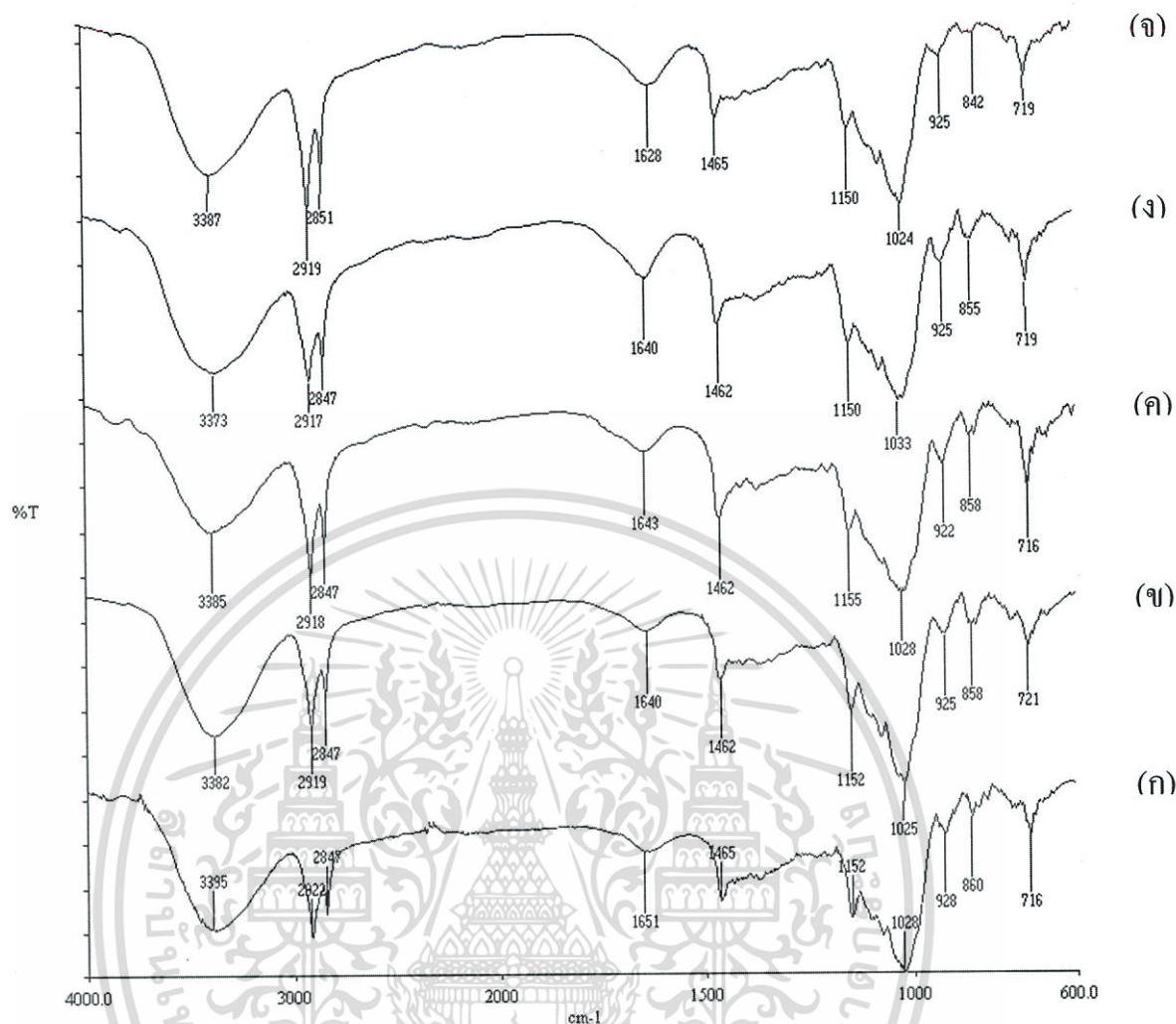
การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย



รูปที่ 4.46 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) LDPE (ข) TPCS/LDPE (ค) TPCS/LDPE/A10

(ง) TPCS/LDPE/C10 และ (จ) TPCS/LDPE/SA10  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่ปฏิบัติงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.46 (ก) แสดงสเปกตรัมของรีออลการส่งผ่านของ LDPE พบพีคในช่วง  $3000-2800\text{ cm}^{-1}$  และช่วง  $1475-1450\text{ cm}^{-1}$  เป็นของหมู่ฟังก์ชัน  $-\text{CH}_2-$ ,  $-\text{CH}_3$  ซึ่งพีคที่พบนี้พบเป็นพีคหลักที่อยู่ในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ทั้งที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต นอกจากนี้พีคอินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติคล้ายกับสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต เนื่องจาก TPCS ซึ่งมีแป้งและกลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบหลัก โดยแป้ง, อะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตเป็นพอลิแซ็กคาไรด์มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกัน เนื่องจากในโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน  $-\text{OH}$ ,  $-\text{CH}_2$  และ  $\text{C-OH}$  เป็นหลัก ทำให้สเปกตรัมที่แสดงว่ามีส่วนของอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตในพอลิเมอร์ผสมถูกซ้อนทับด้วยสเปกตรัมที่แสดงว่าเป็น TPCS ทั้งหมด สำหรับความแตกต่างระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต พบว่าพีคอินฟราเรดสเปกตรัมการสั่นของ  $\text{OH- stretching}$  มีการเลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ต่ำลง ซึ่งแสดงถึงอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ฟังก์ชันของ TPCS กับหมู่ฟังก์ชันของอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต และการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่มาลิคิกแอนไฮไดรด์ของ MAPE



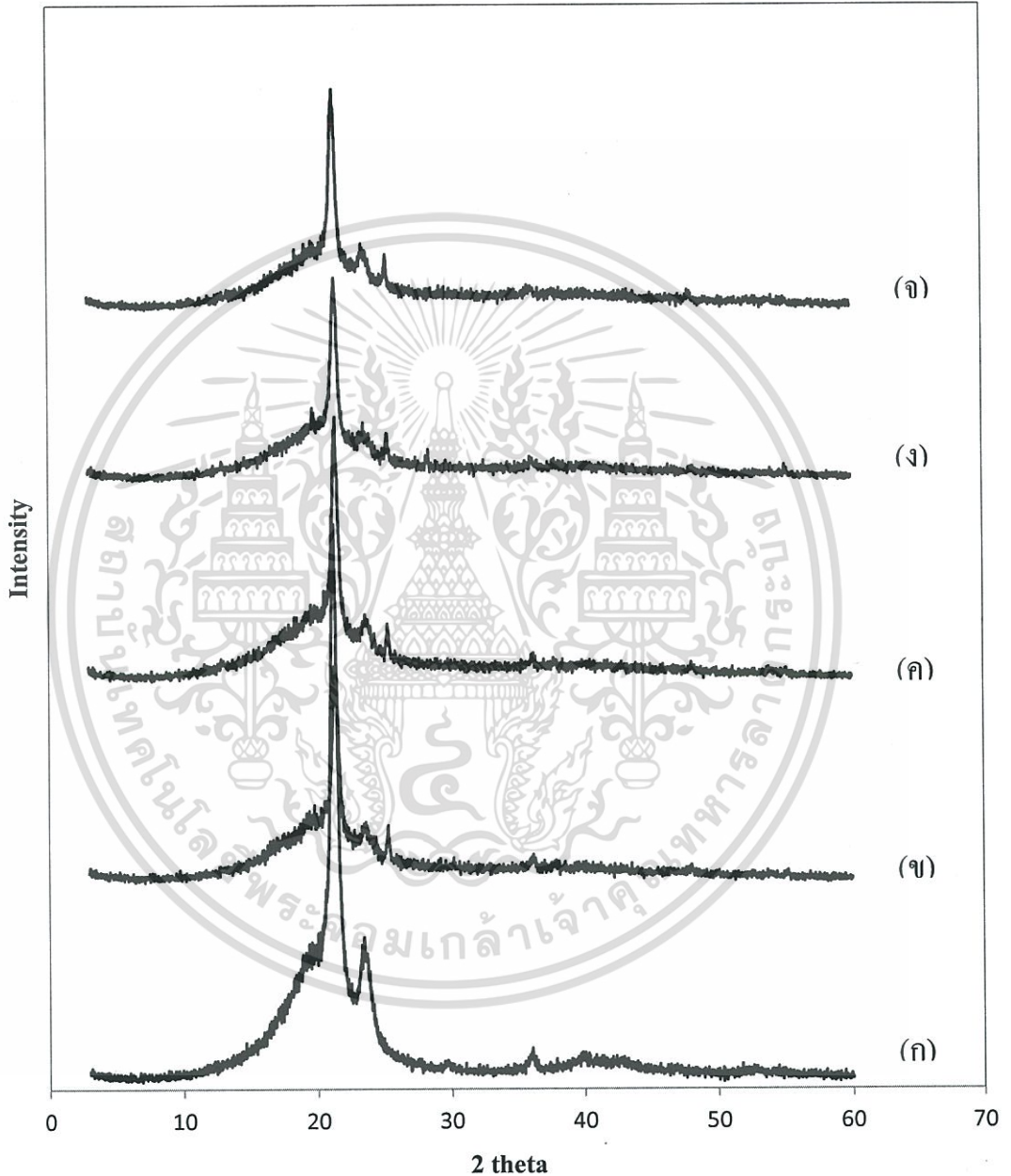
รูปที่ 4.47 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) TPCS/LDPE (ข) TPCS/LDPE/Cot5 (ค) TPCS/LDPE/A10/Cot5 (ง) TPCS/LDPE/C10/Cot5 และ (จ) TPCS/LDPE/SA10/Cot5

จากรูปที่ 4.47 แสดงสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE และที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน, โซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย พบพีกอินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะคล้ายกัน เนื่องจาก TPCS อะคาร์, คาร์ราจีแนน, โซเดียมอัลจิเนตและเส้นใยฝ้ายมีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกัน แต่พบพีกที่  $3400\text{ cm}^{-1}$  ที่แสดงลักษณะการสั่นของ OH-stretching ใน TPCS เมื่อผสมเส้นใยฝ้ายทำให้พีกที่ตำแหน่งนี้เกิดการเลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลง ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมที่มีการเลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ลดลงนี้แสดงให้เห็นว่าเกิดอันตรกิริยาทางเคมีขึ้น โดยมีพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่าง TPCS

เอกสารนี้และเส้นใยฝ้ายที่ใส่เข้าไปในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 XRD

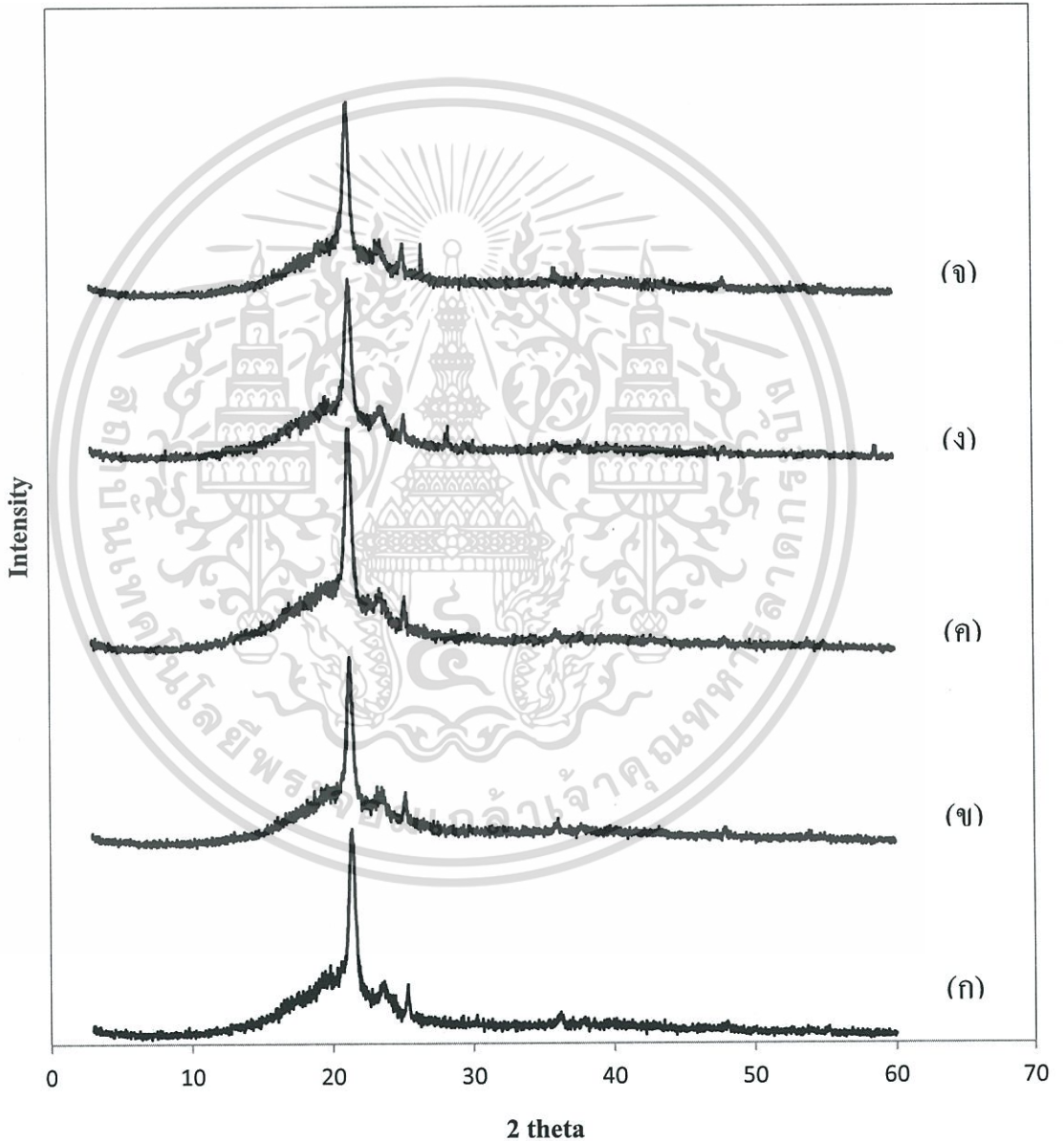
การศึกษาโครงสร้างผลึกของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 ดิฟแฟร็กโทแกรมของ (ก) LDPE (ข) TPCS/LDPE (ค) TPCS/LDPE/A10  
(ง) TPCS/LDPE/C10 และ (จ) TPCS/LDPE/SA10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.48 แสดงดิฟแฟรกโทแกรมของ LDPE เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติและที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนต พบว่าดิฟแฟรกโทแกรมที่ได้มีรูปแบบคล้ายกัน และมีความเข้มของดิฟแฟรกโทแกรมไม่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือ พีคที่มุม 2 $\theta$  ซึ่งเป็นพีคที่มาจากส่วนของ LDPE พีคของ TiO<sub>2</sub> และพีคของ TPCS ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการเติมอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตลงในพอลิเมอร์ผสมไม่มีผลต่อการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของ TPCS และ LDPE



รูปที่ 4.49 ดิฟแฟรกโทแกรมของ (ก) TPCS/LDPE (ข) TPCS/LDPE/Cot5 (ค) TPCS/LDPE/A10/Cot5 (ง) TPCS/LDPE/C10/Cot5 และ (จ) TPCS/LDPE/SA10/Cot5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

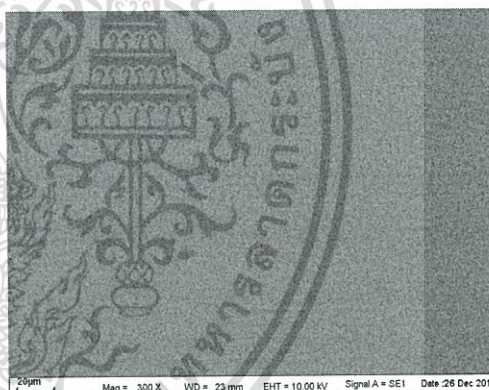
จากรูปที่ 4.49 แสดงดิฟแฟร็กโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติและที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน, โซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย พบว่าดิฟแฟร็กโทแกรมที่ได้มีรูปแบบเหมือนกับ TPCS/LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติ และมีความเข้ม (Intensity) ของดิฟแฟร็กโทแกรมไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากจากฟิสิกส์ที่พบเกิดการซ้อนทับกันของ TPCS, LDPE อะคาร์, คาร์ราจีแนน, โซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย แสดงให้เห็นว่าอะคาร์, คาร์ราจีแนน, โซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้ายที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ไม่มีผลต่อการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของ TPCS และ LDPE

#### 4.4.3 ลักษณะวิทยา

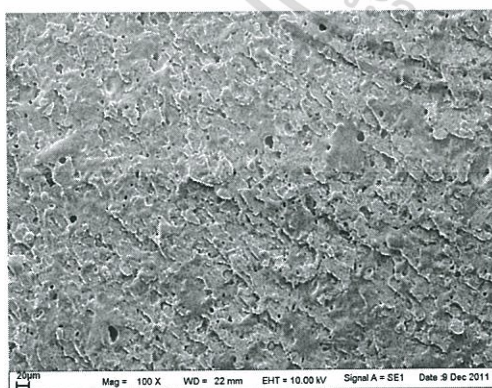
การศึกษาลักษณะลักษณะวิทยาของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย



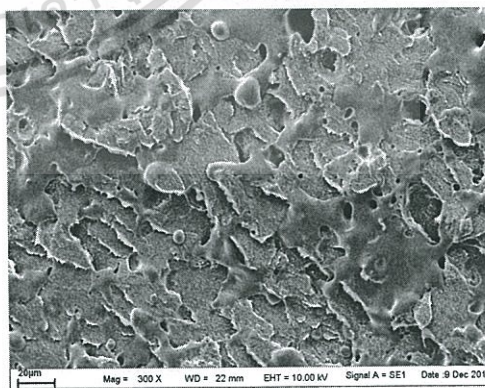
(ก) LDPE, 100X



(ข) LDPE, 300X

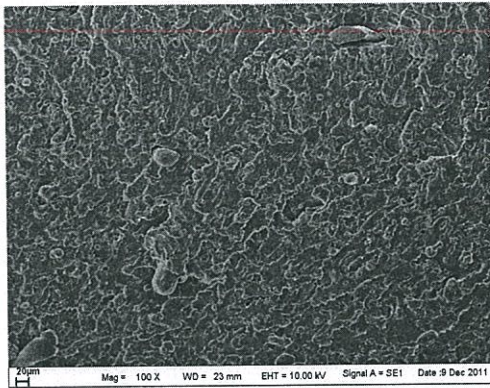


(ค) TPCS/LDPE, 100X

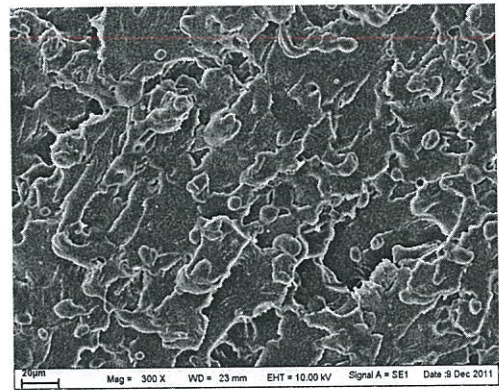


(ง) TPCS/LDPE, 300X

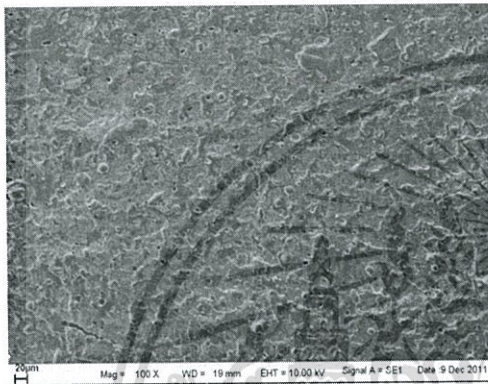
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



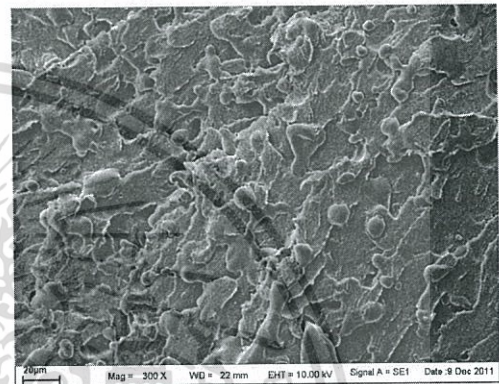
(จ) TPCS/LDPE/A10, 100X



(ฉ) TPCS/LDPE/A10, 300X



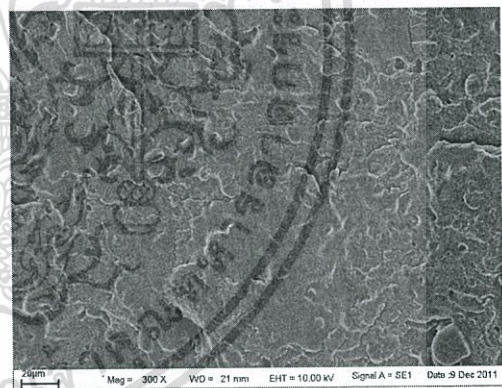
(ช) TPCS/LDPE/C10, 100X



(ฌ) TPCS/LDPE/C10, 300X



(ฉ) TPCS/LDPE /SA10, 100X



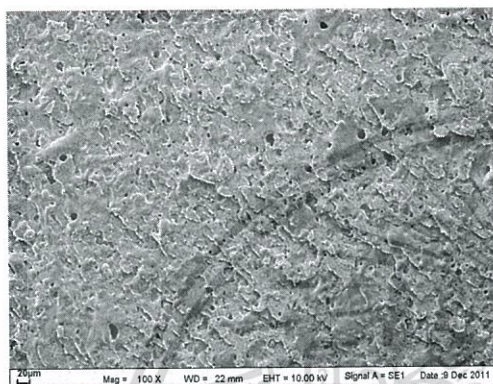
(ญ) TPCS/LDPE/SA10, 300X

รูปที่ 4.50 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า

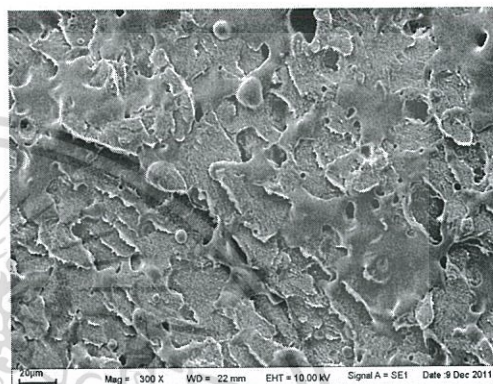
จากรูปที่ 4.50 แสดงลักษณะภาคตัดขวางของ LDPE เปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยของ อะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนต พบว่าพื้นผิวของ LDPE มีลักษณะพื้นผิวเรียบ ส่วนลักษณะภาคตัดขวางของ TPCS/LDPE พบว่าพื้นผิวมีลักษณะขรุขระ เกิดการแยกวัฏภาคระหว่าง TPCS และ LDPE โดยส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีลักษณะพื้นผิวเรียบ คือ ส่วนของ LDPE และส่วนที่มีลักษณะขรุขระ คือ ส่วนของ TPCS เมื่อนำพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE มาปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต พบว่าพื้นผิวมีลักษณะเรียบมากขึ้น TPCS และอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต มีการรวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวไม่พบการแยกวัฏภาค เนื่องจากสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิดเป็นพอลิแซกคาไรด์และมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับแป้ง จึงทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่าง TPCS และสารก่อเจล



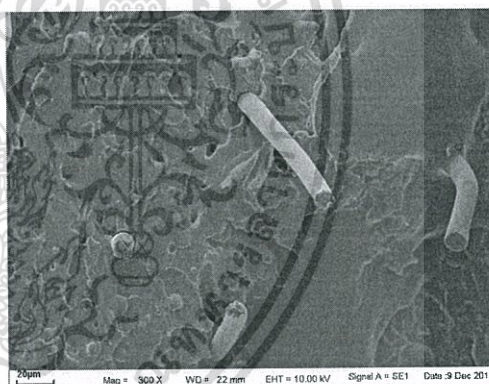
(ก) TPCS/LDPE, 100X



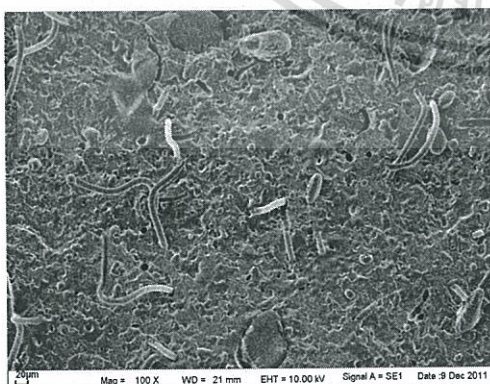
(ข) TPCS/LDPE, 300X



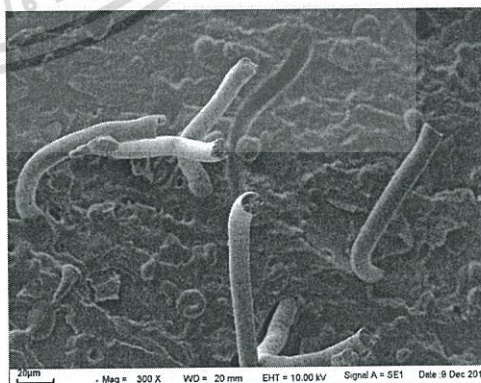
(ค) TPCS/LDPE/Cot5, 100X



(ง) TPCS/LDPE/Cot5, 300X

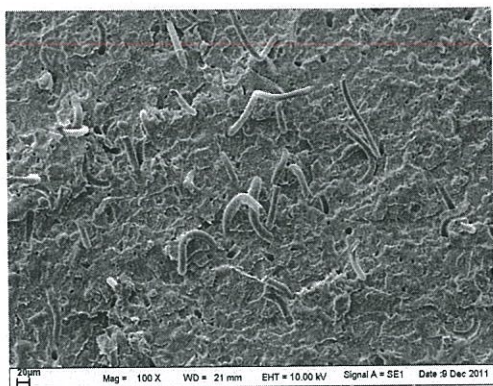


(จ) TPCS/LDPE/A10/Cot5, 100X

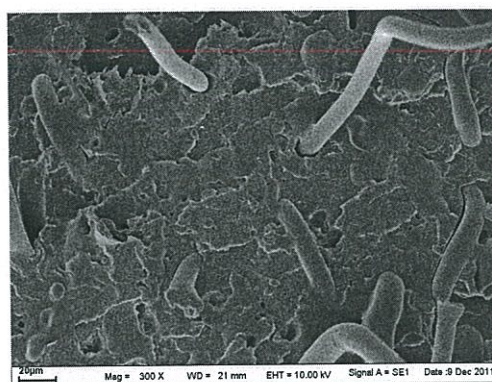


(ฉ) TPCS/LDPE/A10/Cot5, 300X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



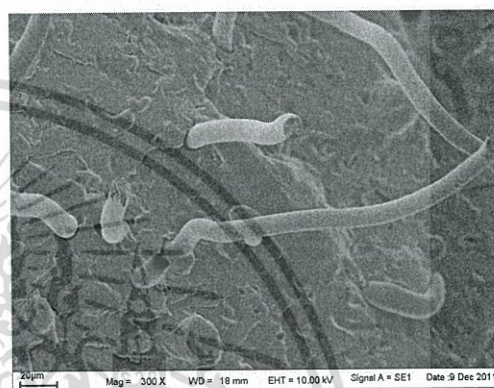
(ข) TPCS/LDPE/C10/Cot5, 100X



(ค) TPCS/LDPE/C10/Cot5, 300X



(ณ) TPCS/LDPE/SA10/Cot5, 100X



(ด) TPCS/LDPE/SA10/Cot5, 300X

รูปที่ 4.51 ฐานงานวิจัยแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วย อะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า

จากรูปที่ 4.51 แสดงลักษณะภาคตัดขวางพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติและที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายกับพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน, โซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย พบว่าเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดีบนเมทริกซ์ของ TPCS และ LDPE และยังพบ TPCS เกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยฝ้าย เนื่องจากแป้งและเส้นใยฝ้ายมีโครงสร้างเคมีที่คล้ายกันจึงเกิดอันตรกิริยาระหว่างกัน และยังพบรอยต่อระหว่างวัฏภาคระหว่างเส้นใยฝ้ายและ LDPE เนื่องจากความมีขั้วที่ต่างกันของ LDPE และเส้นใยฝ้าย

#### 4.4.4 การวัดสี

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อวัดค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  และ  $H^\circ$  ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าการวัดสีของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยของ อะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย

ตัวอย่าง	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี				
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$H^\circ$
LDPE	77.8±0.2	2.90±0.28	10.77±0.13	11.16±0.10	75.0±3.0
TPCS/LDPE	89.0±0.2	0.90±0.23	3.74±0.12	3.85±0.11	76.5±3.5
TPCS/LDPE/A10	83.2±0.5	1.23±0.59	8.79±0.62	8.99±0.64	82.6±3.9
TPCS/LDPE/C10	77.8±0.3	2.90±0.48	10.77±0.20	11.16±0.23	75.0±2.4
LDPE/TPCS/SA10	71.6±0.2	2.74±0.44	8.43±0.23	8.87±0.14	72.0±3.0
TPCS/LDPE/Cot5	89.2±0.4	1.13±0.34	3.80±0.23	3.99±0.16	70.8±1.8
TPCS/LDPE /A10/Cot5	82.0±0.1	1.73±0.52	10.64±0.23	10.72±0.28	81.6±2.9
TPCS/LDPE/C10/Cot5	80.1±0.9	2.43±0.50	10.92±0.38	11.17±0.40	78.2±4.5
LDPE/TPCS/SA10/Cot5	73.1±0.3	2.16±0.59	7.71±0.38	8.02±0.26	74.2±4.6

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  $H^\circ$  ระบุตำแหน่งของสีเทียบกับมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.15 เมื่อเปรียบเทียบค่าการวัดสีของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยของอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต พบว่าค่าความสว่างของ LDPE มีค่าน้อยกว่า TPCS/LDPE เนื่องจาก LDPE มีสีขาวและโปร่งแสง แต่ TPCS/LDPE มีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นของแข็งให้สีขาว จึงทำให้ TPCS/LDPE มีความสว่างมากกว่า และเมื่อนำพอลิเมอร์ผสมมาปรับปรุงสมบัติด้วยของอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตพบว่าค่าความสว่างของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง เนื่องจากสารก่อเจลที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมเป็นของแข็งที่มีความทึบแสง จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสีเข้มขึ้น

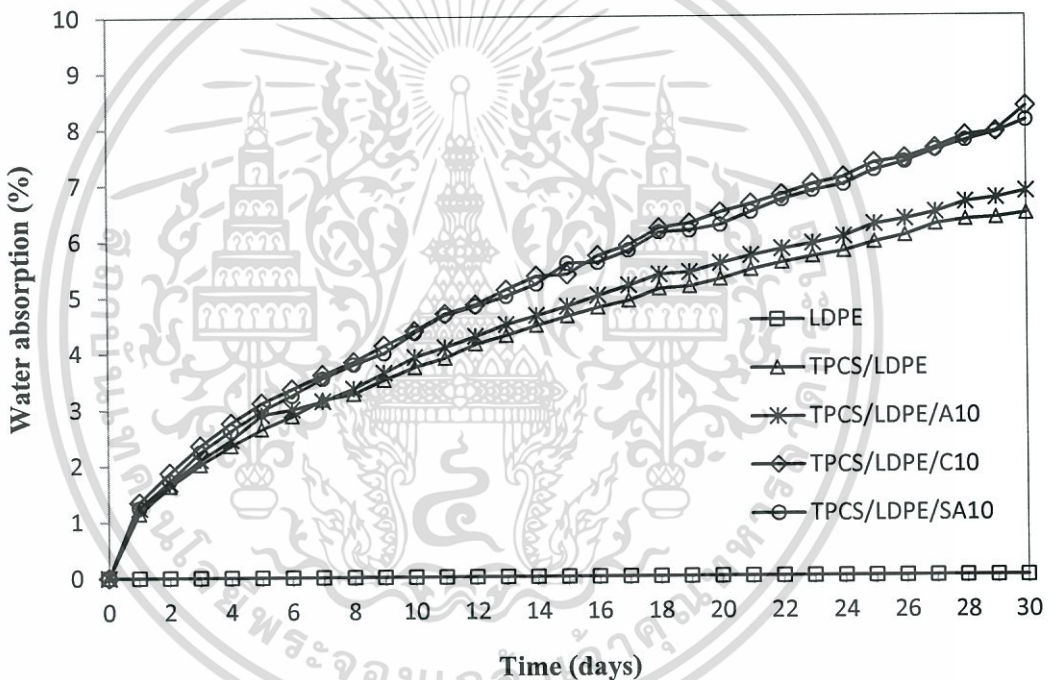
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และที่บ่งชี้เพิ่มขึ้น แต่มีค่า  $b^*$  และ  $C^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากสารก่อเจดทั้ง 3 ชนิด มีสี ขาวครีมซึ่งมีเม็ดสีออกไปทางสีเหลือง

การเติมเส้นใยฝ้ายทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยของอะการ์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตมีค่า  $L^*$ ,  $b^*$  และ  $C^*$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีสีขาว จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสี อ่อนลง แต่โดยภาพรวมแล้วพอลิเมอร์ผสมแสดงสีไปทางสีเหลืองทั้งหมด

#### 4.4.5 การดูดซับน้ำ

ศึกษาการดูดซับน้ำของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุง สมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย

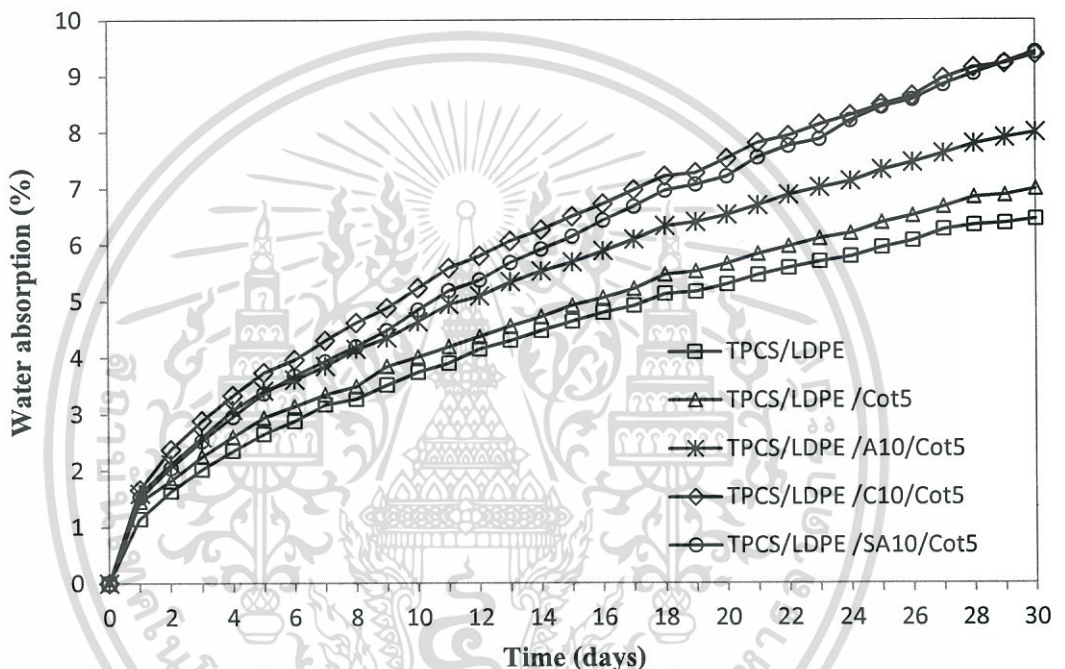


รูปที่ 4.52 เปรียบเทียบการดูดซับน้ำของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยของอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดย น้ำหนัก

จากผลการทดลองการดูดซับน้ำ (รูปที่ 4.52) ของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยของอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต พบว่า LDPE ไม่มีการดูดซับน้ำ เนื่องจาก LDPE ไม่มีขั้ว เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุง พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

เนื่องจาก TPCS มีขั้วและมีหมู่ไฮดรอกซิลปริมาณมาก และเมื่อนำมาปรับปรุงสมบัติด้วยของอะการ์, ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนต พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเติมอะการ์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตทำให้พอลิเมอร์ผสมมีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น โดยภาพรวมเห็นว่าพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยคาร์ราจีแนนและโซเดียมอัลจิเนตมีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยอะการ์มีค่าการดูดซับน้ำต่ำกว่าเป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างและความสามารถในการดูดซับน้ำของสารก่อเจลแต่ละชนิด ทั้งนี้เนื่องจากคาร์ราจีแนนและโซเดียมอัลจิเนตมีหมู่ไฮดรอกซิลปริมาณมากจึงดูดน้ำได้ดี แต่อะการ์ที่ใช้มีความสามารถในการเกิดเจลได้น้อย เนื่องจากที่ 3,6-anhydro-L-galactose ถูกแทนที่ด้วยซัลเฟตปริมาณมาก



รูปที่ 4.53 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยของอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย

จากรูปที่ 4.53 แสดงการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย พบว่าการผสมเส้นใยฝ้ายลงไปทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่ามากขึ้น เป็นผลมาจากรอยต่อระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสม (รูปที่ 4.51) โดยพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต และผสมเส้นใยฝ้ายมีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ผสมเส้นใยฝ้ายเพียงอย่างเดียว (TPCS/LDPE/Cot5) เนื่องจากด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตเป็นสารก่อเจลและมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก จึงทำให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายและไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยคาร์ราจีแนนและโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายมีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยอะการ์ที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายมีค่าการดูดซับน้ำต่ำกว่า เนื่องจากความสามารถในการเกิดเจลที่แตกต่างกัน

#### 4.5.6 ดัชนีการไหล

การศึกษาค่าดัชนีการไหลของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 190°C และใช้น้ำหนักกดทับ 2.16 kg ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่าดัชนีการไหลของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย

ตัวอย่าง	MFI (g/10 min)	ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ TPCS ที่ ออกมาจากหัวคายของเครื่อง Melt Flow Indexer
LDPE	28.0±0.1	LDPE ที่ไหลออกมามีสีใสมีความหนืดน้อยและไหลเร็วมาก
TPCS/LDPE	5.2±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ ฟองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/A10	4.3±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ ฟองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/C10	4.1±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ ฟองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/SA10	4.5±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ ฟองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/Cot5	3.0±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ ฟองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/A10/Cot5	2.4±0.1	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ ฟองตัวของ TPCS

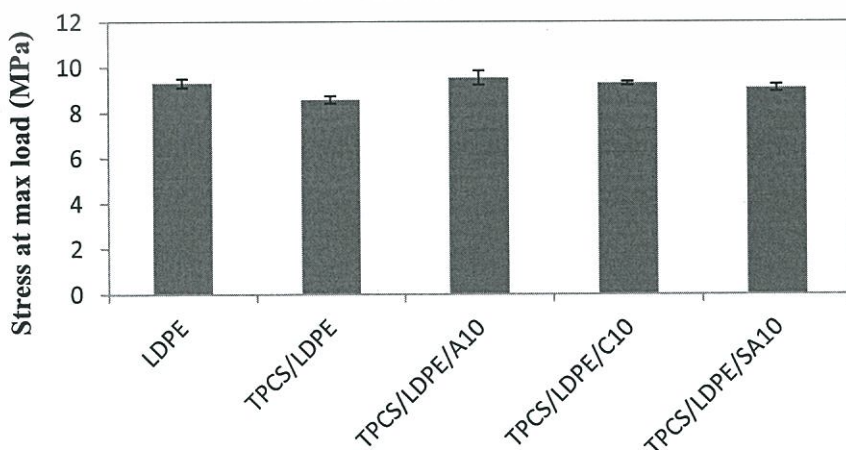
ตารางที่ 4.16 (ต่อ) ค่าดัชนีการไหลของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย

ตัวอย่าง	MFI (g/10 min)	ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ TPCS ที่ออกมาจากหัวคายนของเครื่อง Melt Flow Indexer
TPCS/LDPE/C10/Cot5	2.7±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPCS
TPCS/LDPE/SA10/Cot5	2.9±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPCS

จากการศึกษาค่าดัชนีการไหล พบว่า TPCS/LDPE มีค่าดัชนีการไหลต่ำกว่า LDPE เนื่องจาก TPCS เป็นของแข็ง จึงเข้าไปขวางการเคลื่อนที่ของสายพอลิเมอร์ขณะหลอมเหลวทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น และการที่เติมด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนต ส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง พอลิเมอร์หลอมเหลวสามารถไหลได้ยากขึ้น อาจเป็นผลมาจากโครงสร้างสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิด ที่มีโครงสร้างคล้ายกัน จึงเกิดอันตรกิริยากับ TPCS ได้ไม่ต่างกัน ส่วนการผสมเส้นใยฝ้ายลงไปในนั้น ยิ่งทำให้ค่าดัชนีการหลอมไหลลดลง เนื่องมาจากเส้นใยฝ้ายเป็นของแข็ง และยังเกิดอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยฝ้ายและ TPCS จึงเข้าไปขวางการเคลื่อนที่ของพอลิเมอร์หลอมเหลว

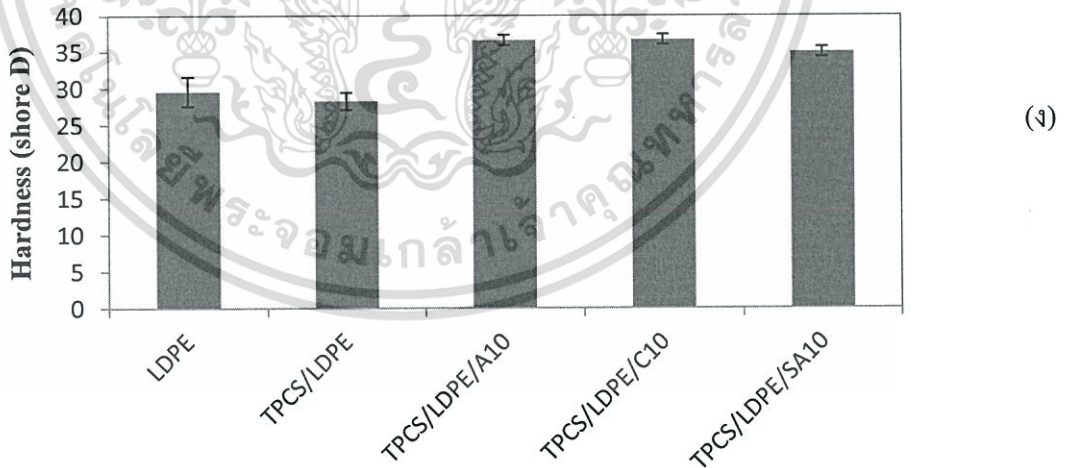
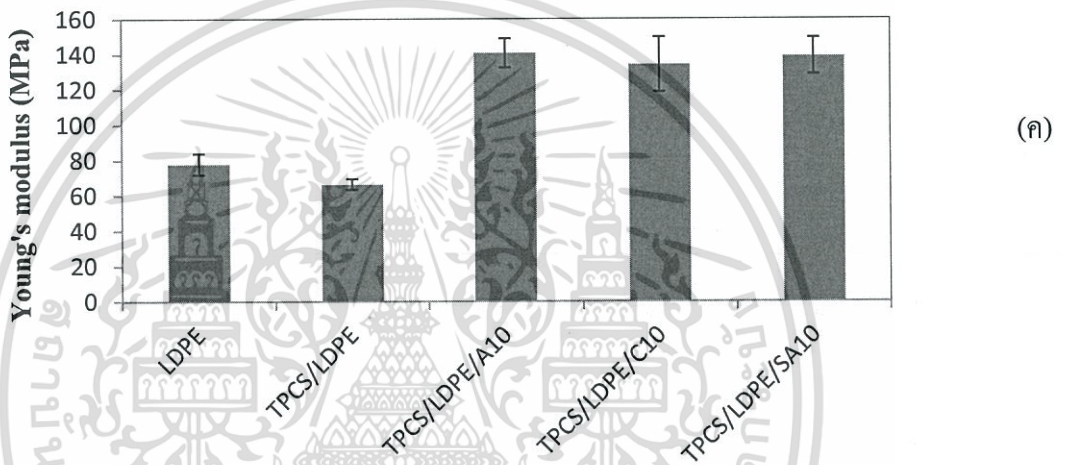
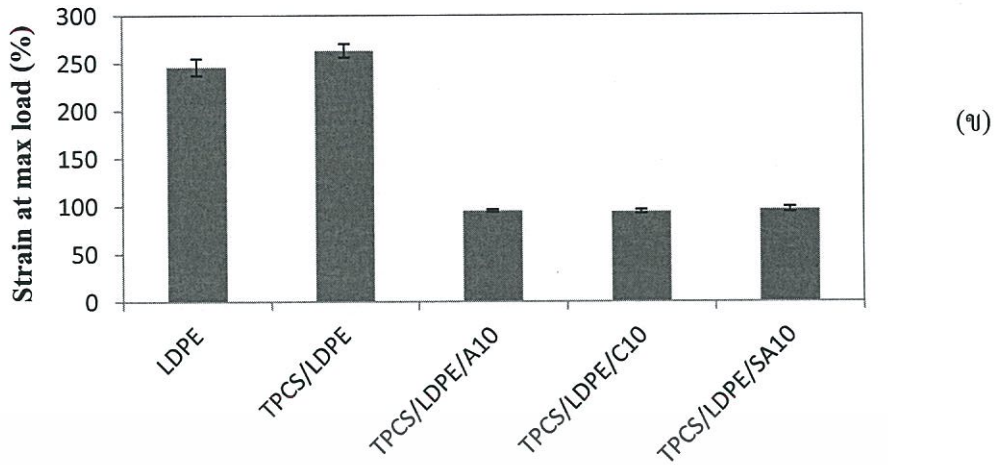
#### 4.4.7 สมบัติเชิงกล

การศึกษสมบัติเชิงกลของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย ให้ผลการทดลองดังนี้



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

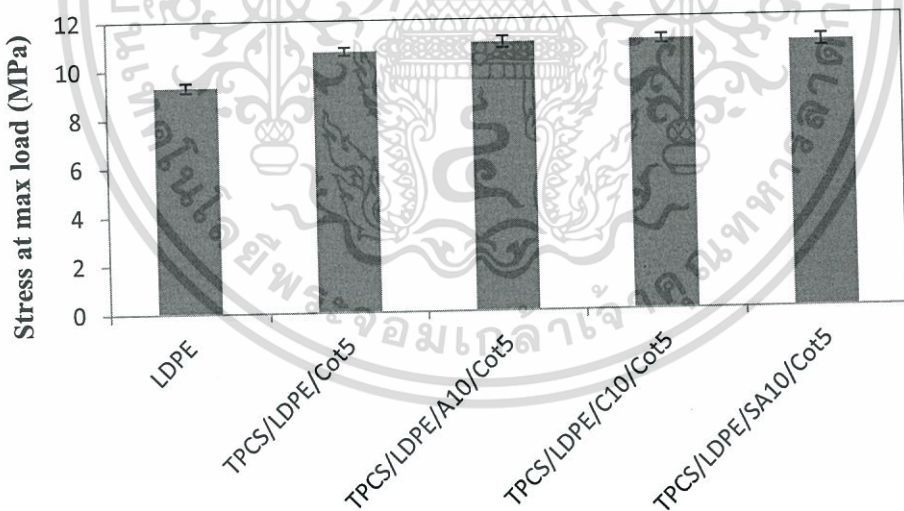


รูปที่ 4.54 สมบัติเชิงกลของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนต (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด (ค) ย้่มอดุลัส และ (ง) ความแข็งกด

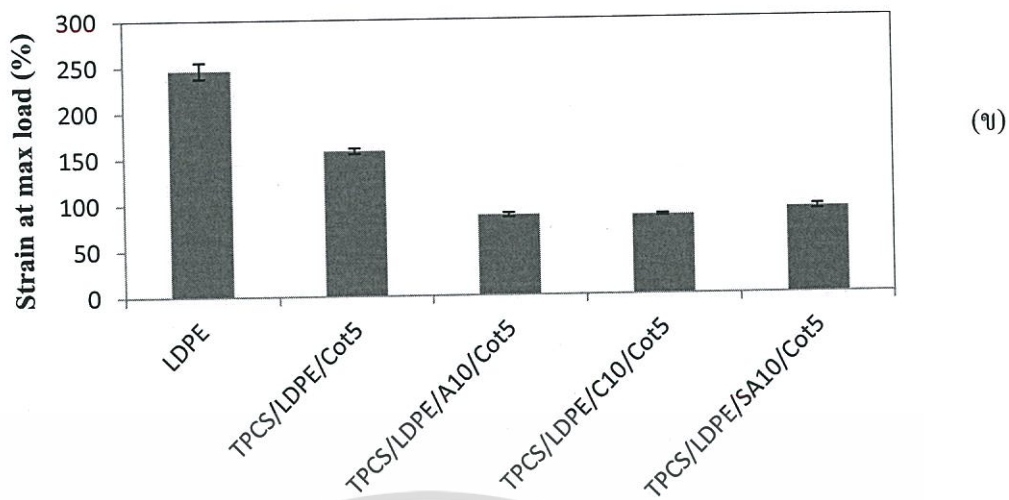
จากรูปที่ 4.54 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด ยังมอดูลัสและความแข็งกดของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติพบว่าค่าสมบัติเชิงกลโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้มีค่าต่ำกว่า LDPE เนื่องจาก TPCS มีการเตรียมจากการนำแป้งมันสำปะหลังมาผสมพลาสติกไซเซอร ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้กลีเซอรอล ทำให้ TPCS มีความนิ่ม เมื่อนำมาผสมกับ LDPE จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความนิ่มและอ่อนตัว

เมื่อเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตให้ค่าความแข็งแรงดึง ยังมอดูลัส และความแข็งกดสูงกว่า เนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่ไฮดรอกซิลของสารก่อเจลเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีความสามารถในการเคลื่อนที่ยากขึ้น พอลิเมอร์ผสมมีลักษณะแข็ง ความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมจึงมีค่าลดลง

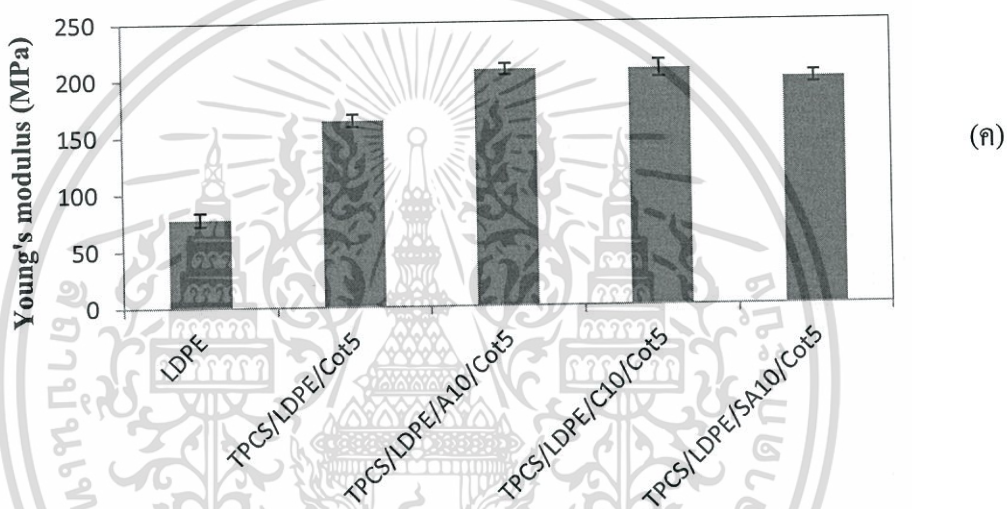
นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากโครงสร้างทางเคมีของสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิด คล้ายกัน จึงทำให้เกิดอันตรกิริยากับ TPCS ได้คล้ายๆ กัน



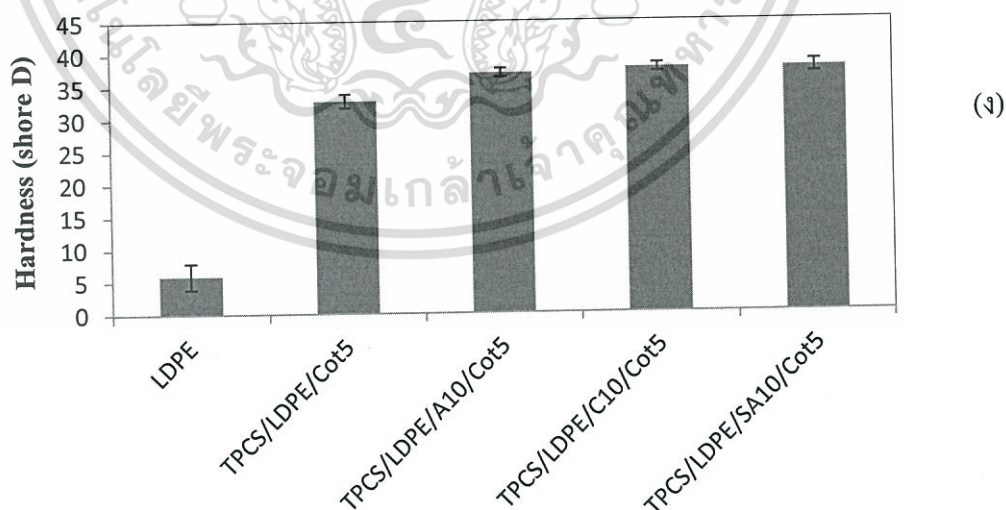
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

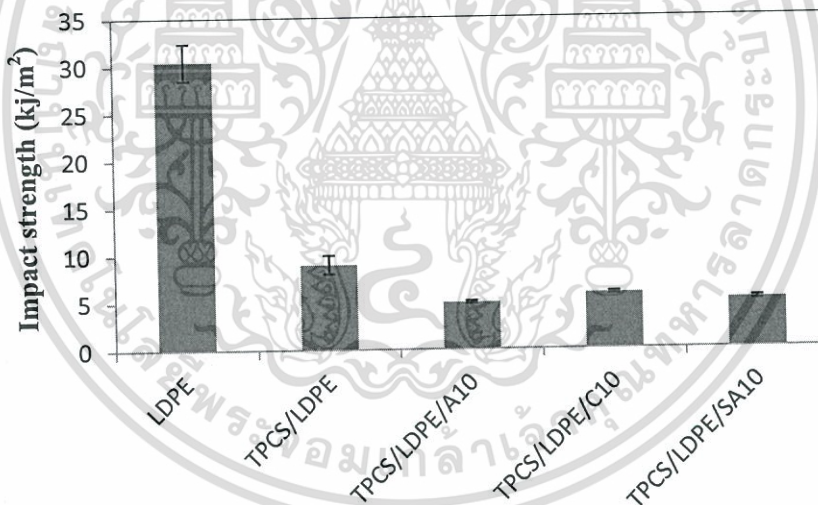
รูปที่ 4.55 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจินेटที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด (ค) ยั่งมอดุลัส และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.55 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน, และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย พบว่ามีความแข็งแรงดึง ยังมอดูลัส และความแข็งแรงสูงกว่า LDPE แต่มีเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดสูงสุดต่ำกว่า LDPE เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิด ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งและเมื่อปรับปรุงทั้งสารก่อเจลและเส้นใยฝ้ายทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งมากขึ้น มีความยืดหยุ่นลดลง เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความเป็นผลึกสูงมากและมีความแข็ง และการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง TPCS และเส้นใยฝ้าย

เมื่อเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนต ที่นำมาผสมเส้นใยฝ้าย พบว่าการสมบัติเชิงกลโดยรวมมีค่าไม่ต่างกัน เนื่องจากโครงสร้างสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิด ที่มีโครงสร้างคล้ายกัน จึงเกิดอันตรกิริยากับ TPCS ได้ไม่ต่างกัน

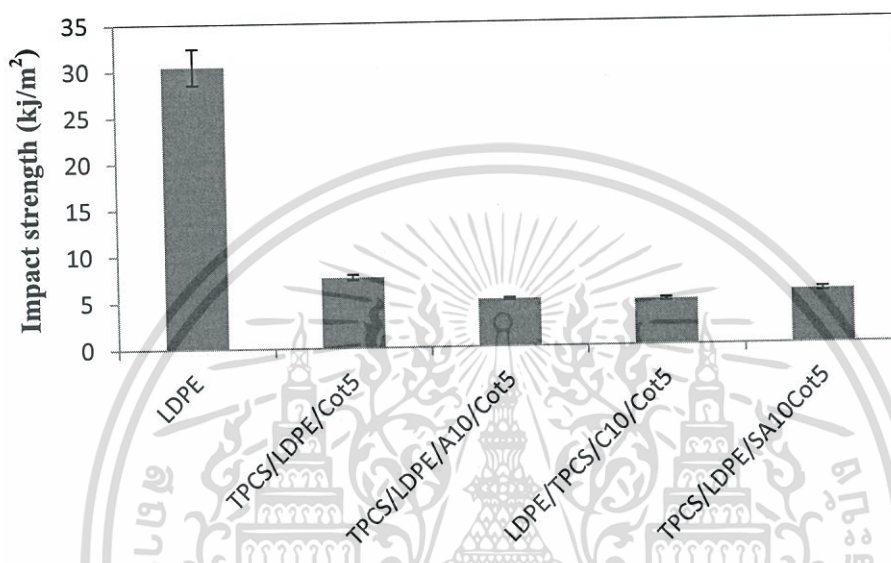
การศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย ให้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.56 และ 4.57



รูปที่ 4.56 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนต

จากรูปที่ 4.56 แสดงความแข็งแรงกระแทกของ LDPE มีค่าสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติ เนื่องจาก LDPE มีโซ่กิ่งที่ยาว จึงมีปริมาตรอิสระสูง ทำให้เมื่อได้รับแรงจึงสามารถสั่นเพื่อกระจายแรงได้ดีกว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีรอยต่อระหว่างวัฏภาคระหว่าง TPCS และ LDPE แสดงได้จากผลทางสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.50) พอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติมีความต้านทานต่อแรงกระแทกสูงกว่าการเติมอะการ์, คาร์ราจีแนน และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซเดียมอัลจิเนต เนื่องจากสารก่อเจลแต่ละชนิดที่เติมลงไปเป็นสารก่อเจลจึงทำให้ พอลิเมอร์ผสมมีลักษณะแข็ง ความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง เมื่อมีแรงมากระทำจึงส่งผ่านแรงได้น้อย ส่วนพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต พบว่ามีความต้านทานต่อแรงกระแทกไม่แตกต่างกัน น่าจะเกิดจากสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิด มีโครงสร้างคล้ายกัน จึงเกิดอันตรกิริยากับ TPCS ได้ไม่ต่างกัน

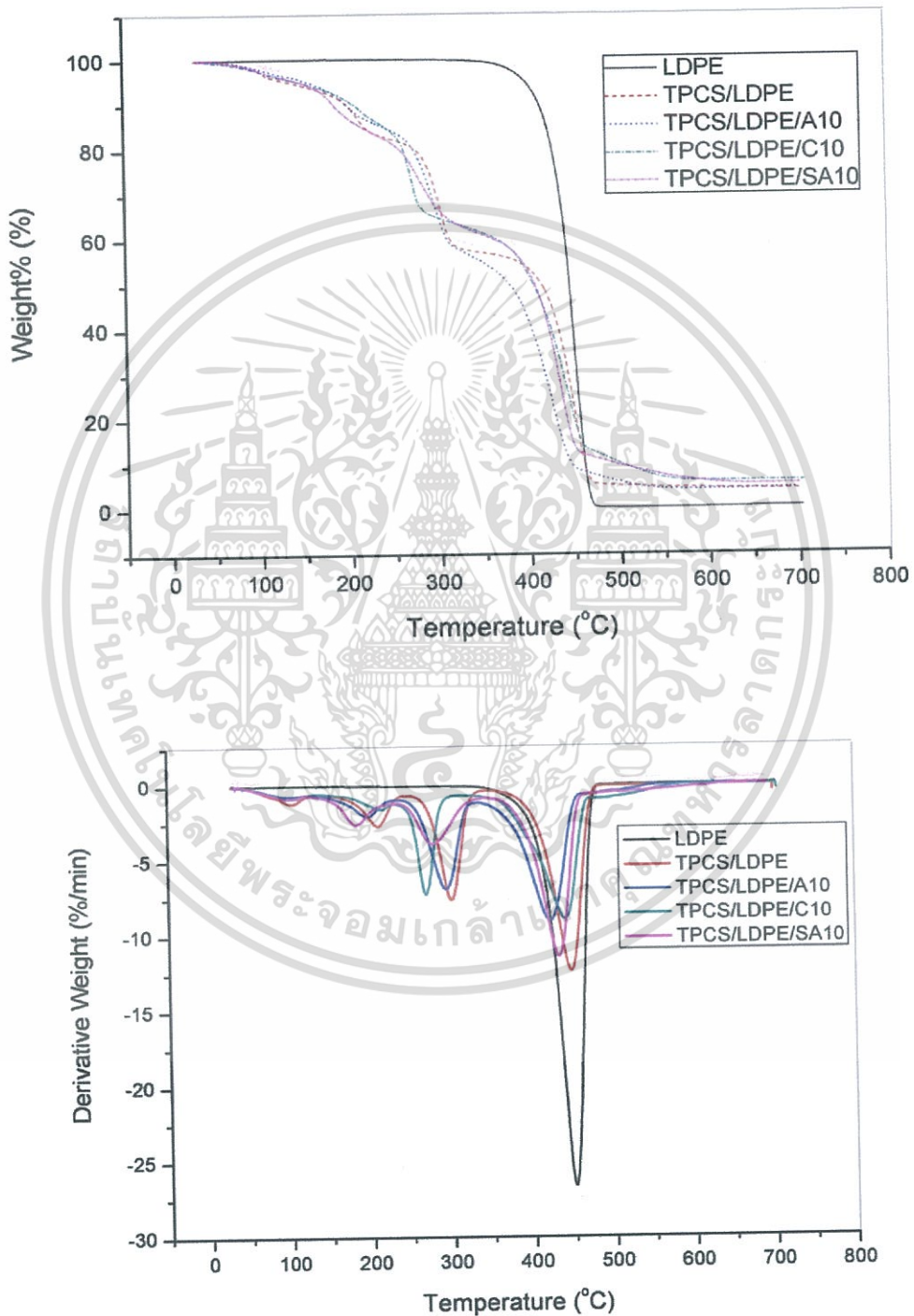


รูปที่ 4.57 ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย

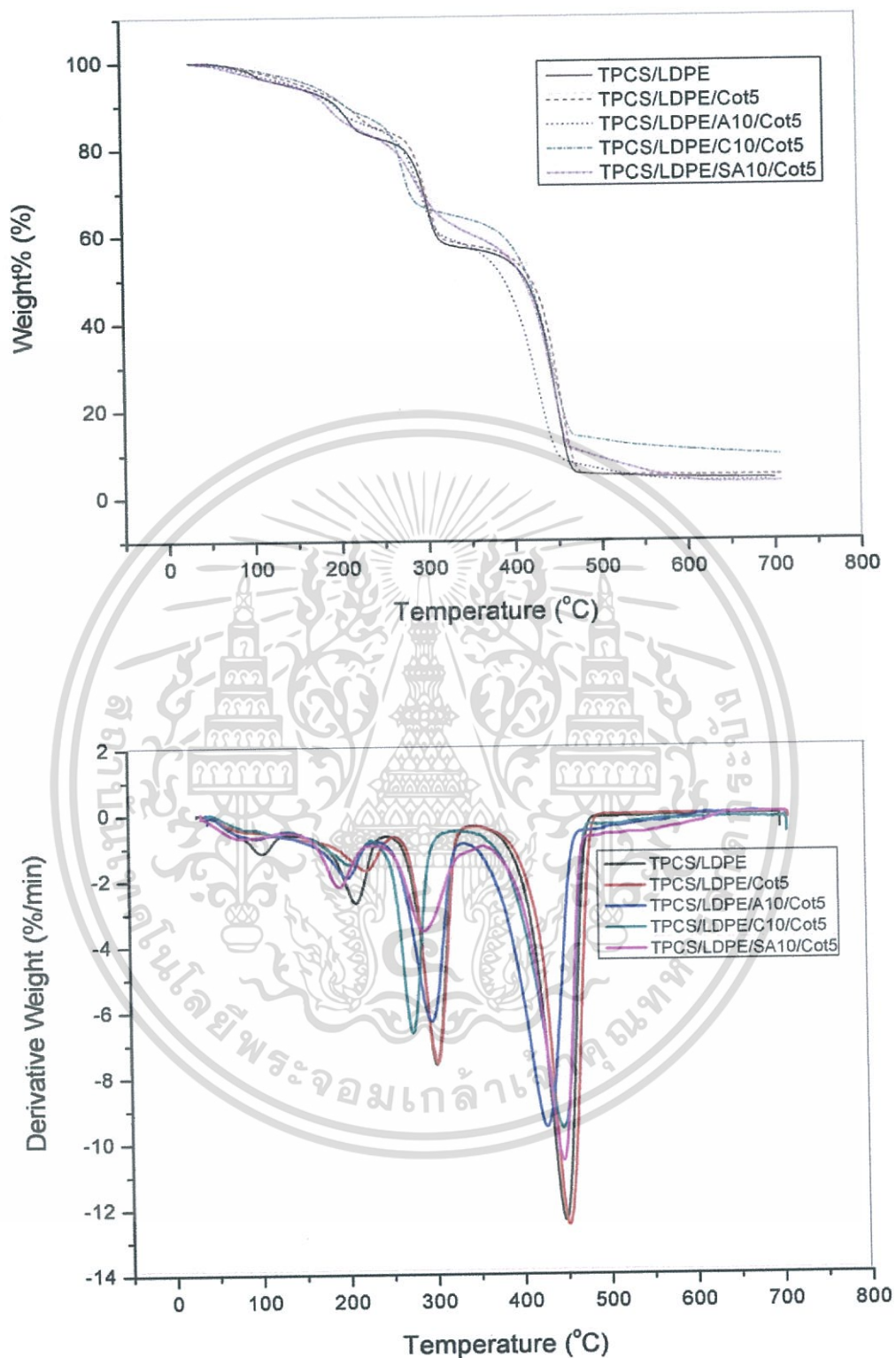
จากรูปที่ 4.57 แสดงค่าความแข็งแรงกระแทก พบว่าการเติมอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้ายลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความแข็งแรงกระแทกต่ำกว่า LDPE เนื่องจากสารก่อเจลที่เติมลงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็ง และการเติมเส้นใยฝ้ายซึ่งมีความเป็นผลึกสูงและมีความแข็ง จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมแข็งขึ้น ดังนั้นจึงไม่ช่วยในการส่งผ่านแรง

#### 4.4.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

ศึกษาสมบัติทางความร้อนของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย ซึ่งให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.58-4.59 และตารางที่ 4.17



รูปที่ 4.58 เทอร์โมแกรมของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก โดยขอ  
 อนุญาตให้เผยแพร่ได้โดยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ขอสงวนสิทธิ์ในข้อนี้  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.59 เทอร์โมแกรมของ พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน, และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) ของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้าย

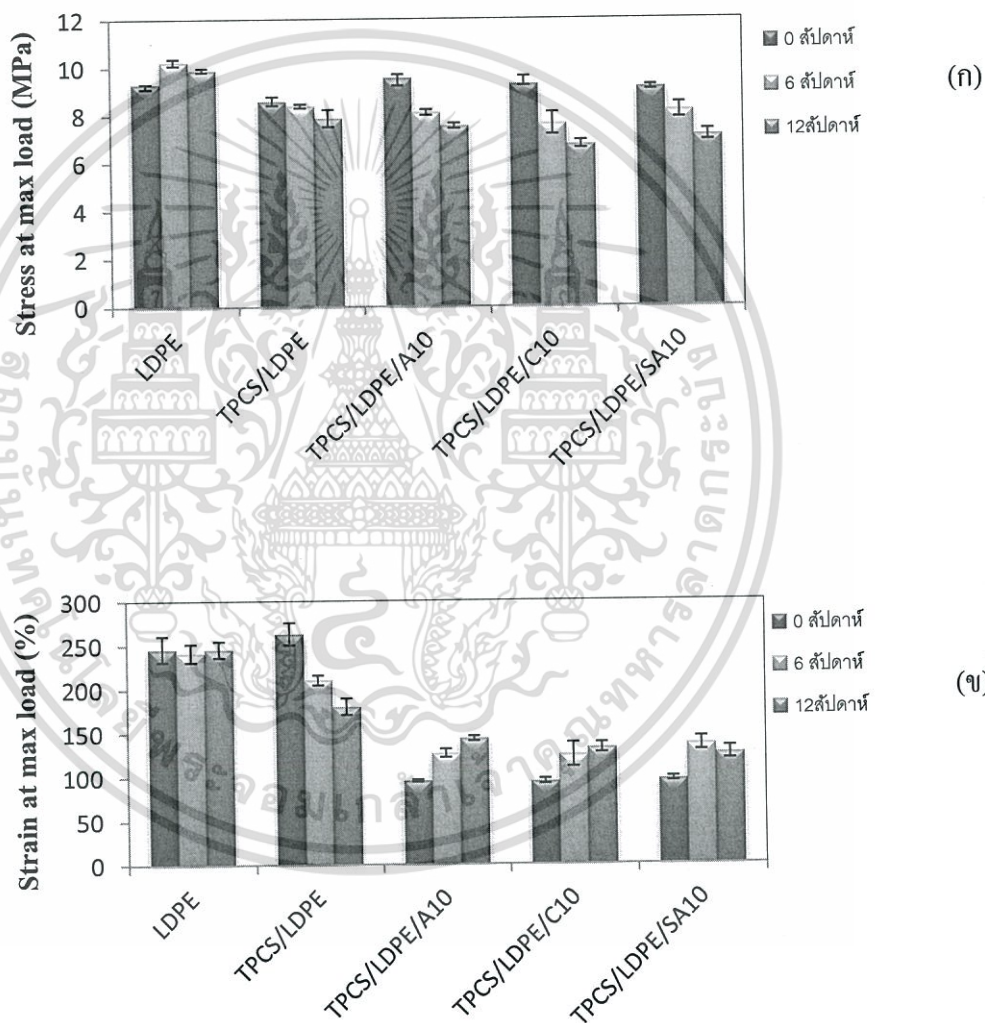
ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C)		
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (TPCS และสารก่อเจล)	ช่วงที่ 3 (LDPE และเส้นใยฝ้าย)
LDPE	-	-	449.8
TPCS/LDPE	210.7	301.2	447.9
TPCS/LDPE/Cot5	222.9	302.5	451.1
TPCS/LDPE/A10	197.9	294.4	423.0
TPCS/LDPE/A10/Cot5	200.7	295.5	427.2
TPCS/LDPE/C10	212.4	269.3	440.4
TPCS/LDPE/C10/Cot5	200.8	274.4	444.9
TPCS/LDPE/SA10	183.7	279.2	432.0
TPCS/LDPE/SA10/Cot5	192.1	288.8	445.4

จากรูปที่ 4.58 และตารางที่ 4.17 พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการเติมอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตให้อุณหภูมิให้อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ลดลง แสดงว่าการปรับปรุงสมบัติด้วยเติมอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตมีผลทำให้พอลิเมอร์ผสม มีเสถียรภาพทางความร้อนลดลง เนื่องจากสารก่อเจลดังกล่าวดูดความร้อนแล้วสะสมความร้อนไว้ในระยะยาวได้โดยไม่เกิดการสลายตัวทำให้สามารถส่งผ่านความร้อนไปยัง TPCS ได้ ส่งผลให้ TPCS ได้รับความร้อนมากขึ้นจึงเริ่มเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิลดลง

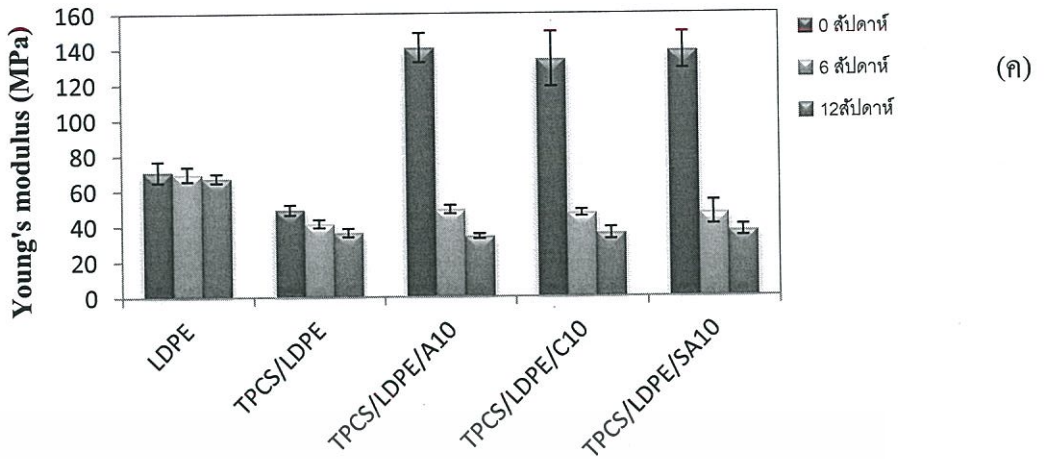
รูปที่ 4.59 และตารางที่ 4.17 จากผลการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายให้อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเส้นใยฝ้ายสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเมทริกซ์ของ TPCS และสารก่อเจล สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR (รูปที่ 4.47)

#### 4.4.9 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และ เส้นใยฝ้าย นำพอลิเมอร์ผสมมาฝังดินเป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12 สัปดาห์ ที่มีการควบคุมความชื้นของ ดินคงที่อยู่ในช่วง 30-40% โดยทำการศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ย้งมอดุลัส เปรอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุดให้ผลการทดลองดังนี้



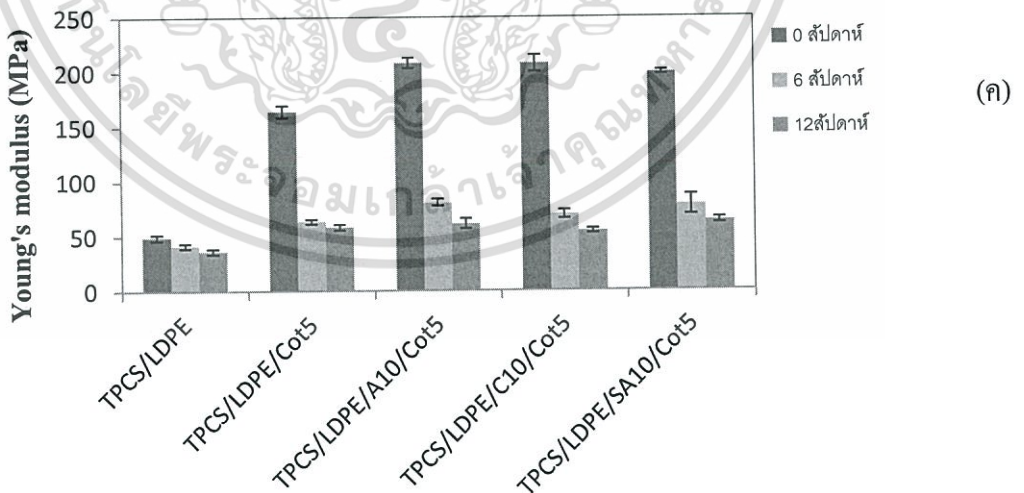
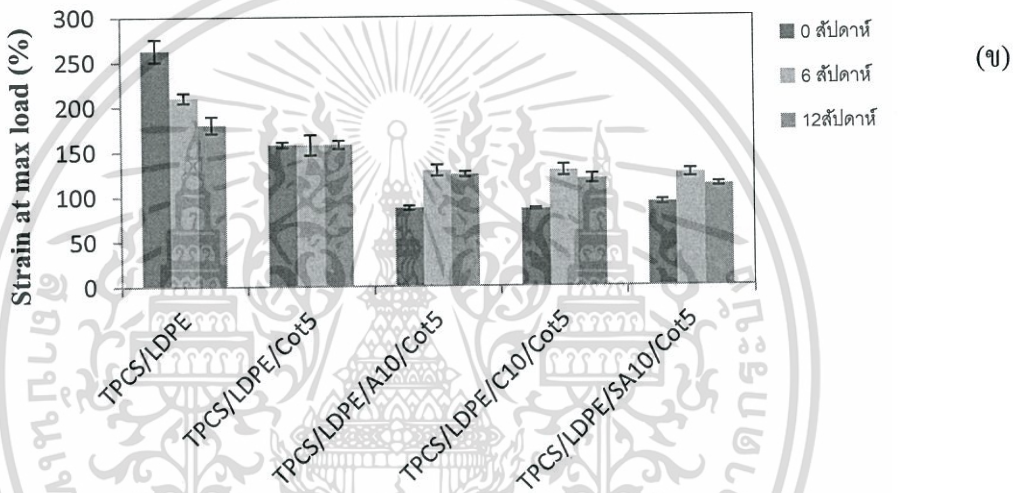
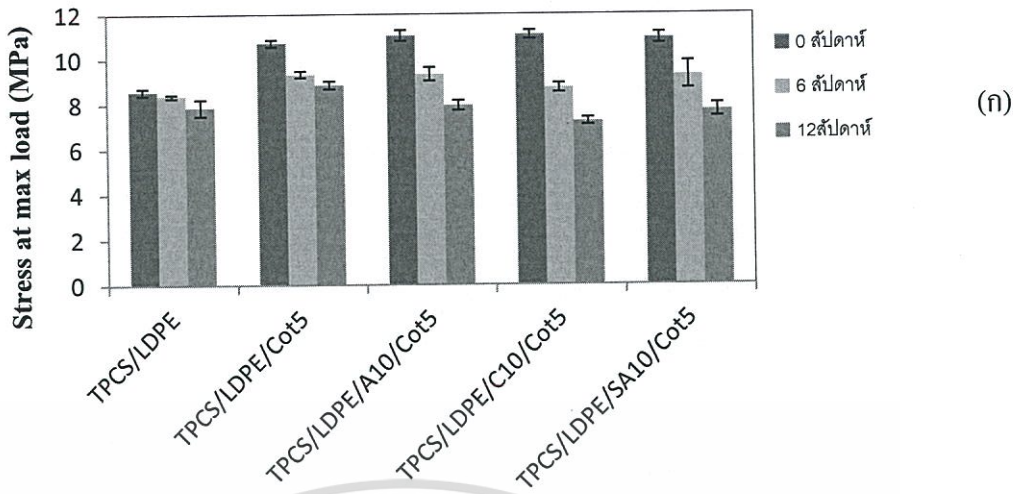
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.60 สมบัติเชิงกลของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนักที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์ (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) ย้งมอดุลัส

จากรูปที่ 4.60 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุดและย้งมอดุลัสของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนักที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์ พบว่า LDPE มีสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงให้เห็นได้ว่า LDPE ไม่เกิดการย่อยสลายภายในระยะเวลา 12 สัปดาห์นี้ เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงทนทานต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และมีสมบัติไม่ชอบน้ำจึงทำให้พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ แต่สมบัติเชิงกลระหว่างพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการเติมและเติมอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนต พบว่าให้ค่าความแข็งแรงดึง และย้งมอดุลัสลดลงเมื่อฝังดินเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินเกิดเชื้อราเกิดขึ้นตามบริเวณต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.62

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนต พบว่าการเติมสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิดลงในพอลิเมอร์ผสมเมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 สัปดาห์ ให้ค่าสมบัติเชิงกลลดลงไม่แตกต่างกัน เนื่องจากสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิดมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกัน จึงทำให้การย่อยสลายได้ใกล้เคียงกัน

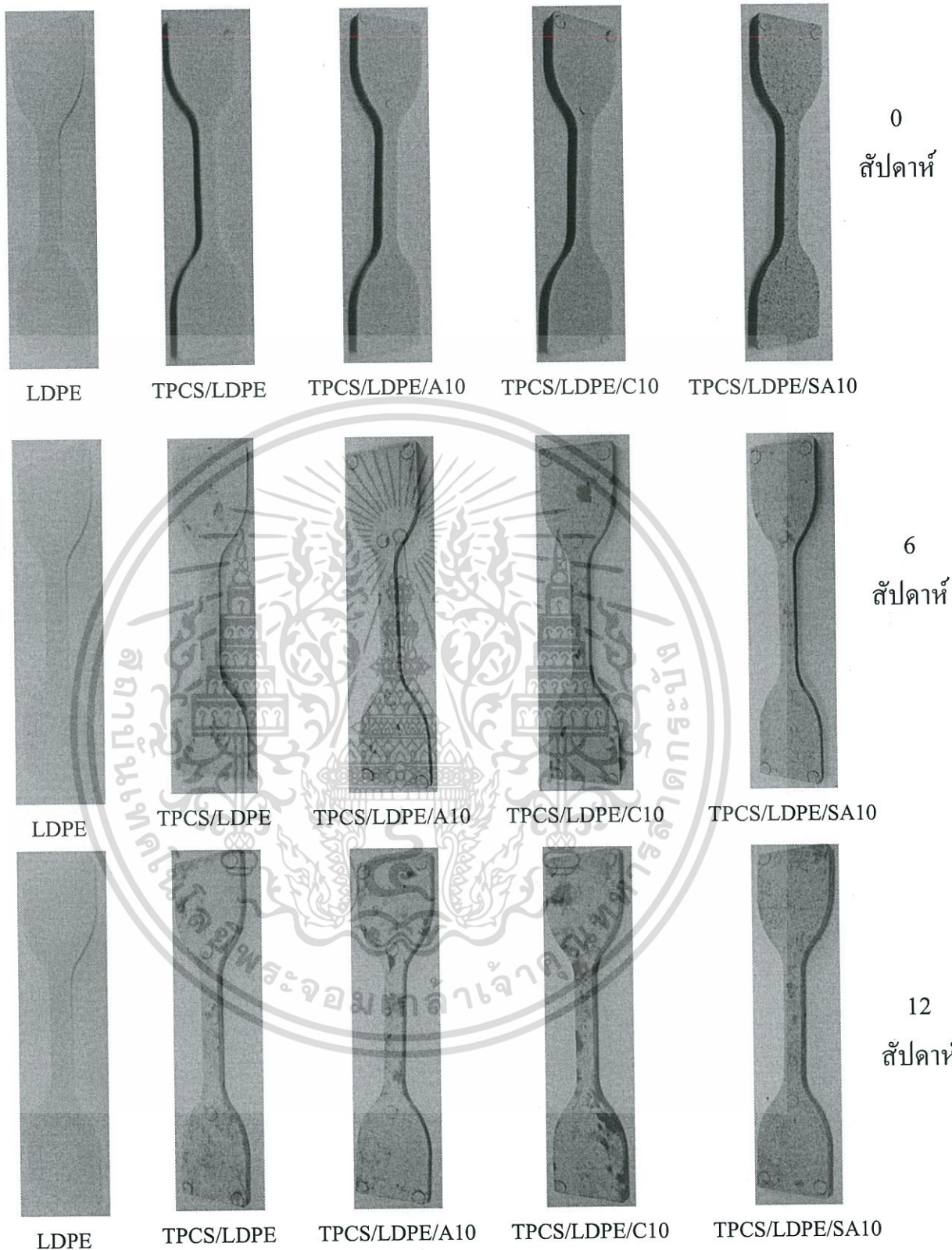


รูปที่ 4.61 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์ (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปรอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) ยังมอดุลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

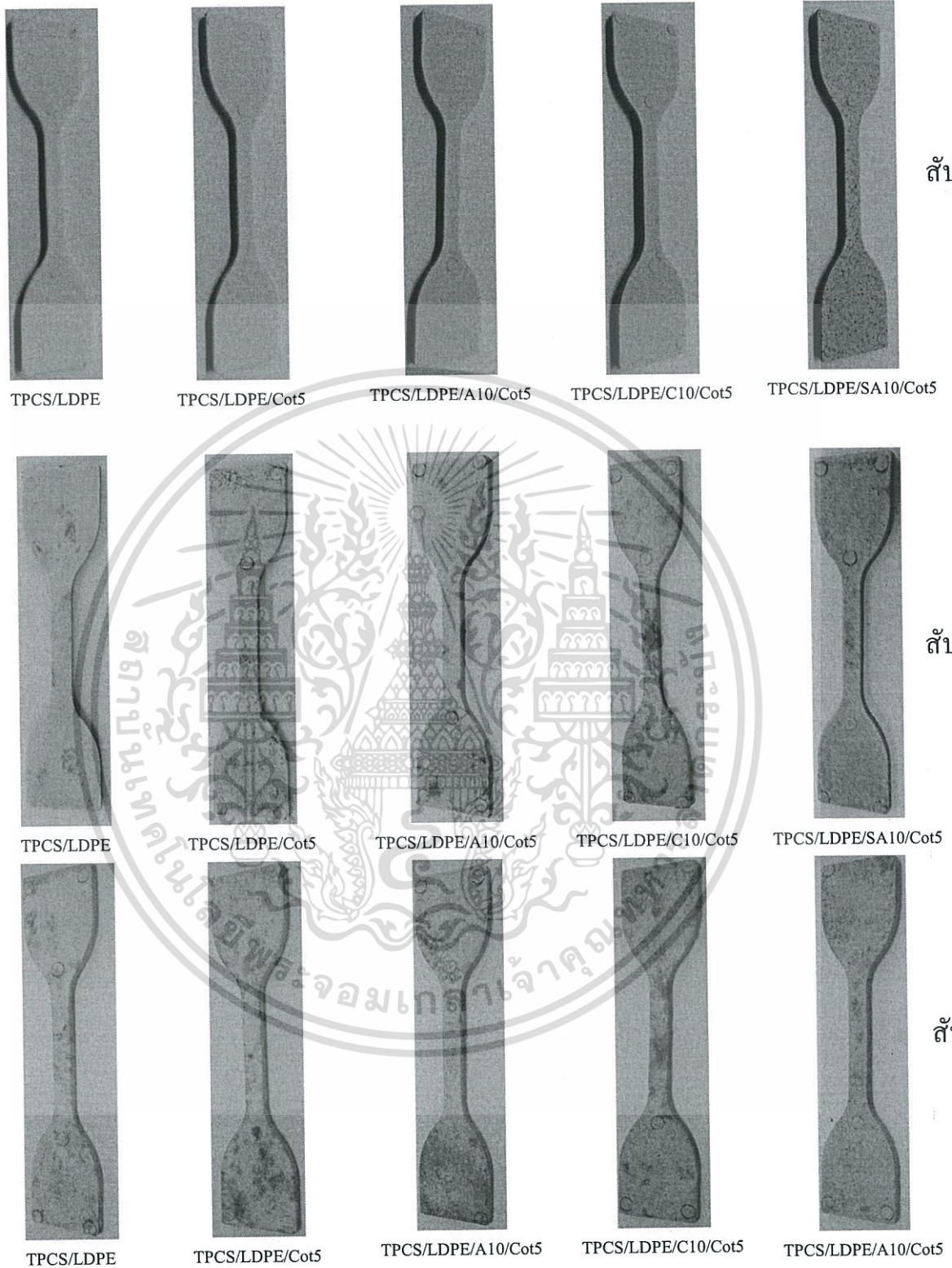
จากรูปที่ 4.61 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้าย เปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่เติมเส้นใยฝ้าย พบว่าเมื่อผ่านไปเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีความแข็งแรงดึงและยังมอดูลัสต่ำกว่า เนื่องจากเส้นใยฝ้ายช่วยในการยึดเกาะกับอนุภาคของ TPCS จุลินทรีย์ในดินจึงแทรกซึมเข้าไปถึง TPCS ได้ยากกว่า โดยส่วนที่เป็น TPCS จะเกิดการย่อยสลายก่อนส่วนที่เป็นเส้นใย และเมื่อเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมที่เติมเส้นใยฝ้ายกับพอลิเมอร์ผสมที่เติมอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย มีเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุดต่ำกว่า เนื่องจากสารก่อเจลสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่มีความนิ่มอยู่แล้วเมื่อดูดน้ำเข้าไปจึงทำให้พอลิเมอร์ผสมขาดได้ง่ายขึ้น และสารก่อเจลสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอะคาร์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต พบว่าการเติมสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิดลงใน พอลิเมอร์ผสมเมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 สัปดาห์ ให้ค่าสมบัติเชิงกลลดลงไม่แตกต่างกัน เนื่องจากสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิดมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกัน จึงทำให้การย่อยสลายได้ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.62 LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนักที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.63** LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจินेटที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยฝ้ายที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยมีสารช่วยผสมชนิดมาลิกแอนไฮดรยด์กราฟต์พอลิเอทิลีน (MAPE) และเติมสารให้สีไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมด้วยการใช้สารก่อเจล ได้แก่ อะการ์, คาร์ราจีแนนและโซเดียมอัลจิเนต เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย ซึ่งสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. จากการศึกษาการวิเคราะห์หุ้มฟังก์ชัน พบว่าพีคของการสั่นที่ตำแหน่งของ OH-stretching มีการเลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ต่ำลงจากการเติมอะการ์, คาร์ราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต อาจเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และหมู่ไฮดรอกซิลของสารก่อเจล
2. จากการศึกษาความเป็นผลึก พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนน, โซเดียมอัลจิเนต และการผสมเส้นใยฝ้ายลงไป ความเป็นผลึกของ TPCS และ LDPE ในพอลิเมอร์ผสมไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ
3. จากการศึกษาสัญญาณวิทยา พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะการ์, คาร์ราจีแนนและโซเดียมอัลจิเนต ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ส่วนการผสมเส้นใยฝ้ายลงไป ในพอลิเมอร์ผสม พบว่าเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดีในเมทริกซ์ และยังพบ TPCS เกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยฝ้าย (Surface wetting)
4. จากการศึกษาการวัดสี พบว่าการเติมอะการ์, คาร์ราจีแนนและโซเดียมอัลจิเนตทำให้ค่าความสว่างของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง เนื่องจากสารก่อเจลที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมเป็นของแข็งที่มีความทึบแสง จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสีเข้มขึ้นและทึบแสงขึ้น และมีค่า  $b^*$  และ  $C^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากสารก่อเจลมีสีชาวดริมีเจดสีออกไปทางสีเหลือง ส่วนการเติมเส้นใยฝ้ายลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่า  $L^*$ ,  $b^*$  และ  $C^*$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีสีชาวจึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสีอ่อนลง โดยภาพรวมแล้วพอลิเมอร์ผสมทุกสูตรแสดงสีไปทางสีเหลืองทั้งหมด
5. จากการศึกษาการดูดซึมน้ำ พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยของอะการ์, คาร์ราจีแนน หรือโซเดียมอัลจิเนตมีการดูดซึมน้ำสูงขึ้น การเติมคาร์ราจีแนน หรือโซเดียมอัลจิเนต

มีการดูดซับน้ำสูงที่สุด รองลงมา คือ อะคาร์ ส่วนการผสมเส้นใยฝ้าย พบว่าพอลิเมอร์ผสมมีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น

6. จากการศึกษาสมบัติการไหล พบว่าการเติมด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน หรือ โซเดียมอัลจิเนต ทำให้ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ ส่วนการผสมเส้นใยฝ้ายลงไปนั้น ทำให้ค่าดัชนีการไหลลดลงเช่นกัน

7. จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการเติมอะคาร์, คาร์ราจีแนน หรือ โซเดียมอัลจิเนตร่วมกับเส้นใยฝ้าย ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ทางความร้อนเพิ่มขึ้น

8. จากการศึกษาการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมอะคาร์, คาร์ราจีแนน และ โซเดียมอัลจิเนตมีการย่อยสลายใกล้กัน แต่สามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้ปรับปรุง และพอลิเมอร์ผสมที่เติมอะคาร์, คาร์ราจีแนน หรือ โซเดียมอัลจิเนตร่วมกับเส้นใยฝ้าย มีการย่อยสลายช้าที่สุด

9. พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ผสมสารก่อเจลสามารถฉีดขึ้นรูปได้ และทำให้มีสมบัติเชิงกลต้านความแข็งแรงดึง ยังมอดูลัสและความแข็งแรงสูงกว่า LDPE นอกจากนี้ยังสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่า LDPE

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาชนิดของแป้งต่างๆ เช่น แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า เป็นต้น และปริมาณที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและสมบัติที่แตกต่างกัน
2. ศึกษาชนิดและอัตราส่วนของแป้งต่างๆ กับพอลิเมอร์รีไซเคิล เพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่เกิดการย่อยสลายดียิ่งขึ้น และเพื่อเป็นการนำพอลิเมอร์ที่ใช้แล้วนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
3. ศึกษาการเติมเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ เพื่อปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมให้มีสมบัติเชิงกลดียิ่งขึ้น
4. ศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์โดยใช้วิธีการอื่นๆ เช่น การใช้จุลินทรีย์ เป็นต้น
5. ควรอบแป้งมันสำปะหลังบริสุทธิ์ก่อนนำไปผสมกับกลีเซอรอล เพื่อลดปัญหาการดูดความชื้นของแป้งมันสำปะหลัง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ปรรารถนา ปรรารถนาดี, จิรัชัย พุทธกุลสมศิริ, เจริญชัย โขมพัตรารภรณ์ และชุมพล มณฑาทิพย์กุล. 2552. “รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในประเทศไทย.” สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.).
- [2] Y. Wu, F. Geng, P. R. Chang, J. Yu and X. Ma. “Effect of agar on the microstructure and performance of potato starch film”. *Carbohydrate Polymers*. 76 (2009) : 299–304.
- [3] D. Lafargue, D. Lourdin and J.L. Doublier. “Film-forming properties of a modified starch/k-carrageenan mixture in relation to its rheological behavior”. *Carbohydrate Polymers*. 70 (2007) : 101-111.
- [4] A. Cordoba, N. Cuellar, M. Gonzalez and J. Medina. “The plasticizing effect of alginate on thermoplastic starch/glycerin blends”. *Carbohydrate Polymers*. 73 (2008) : 409-416.
- [5] คารินทร์ โพธิ์ศรี, ลักษณา หอมมณี และปาริชาติ จิรภัคเสถียร. 2551. การเตรียมและการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งอ้วนเขียวด้วยเส้นใยฝ้ายและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ. โครงการพิเศษ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] National Metal and Materials Technology Center (MTEC). พลาสติก. [Online]. Available: [http://www.2.mtec.or.th/th/special/biodegradable\\_plastic/index.html](http://www.2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/index.html); 25 มิถุนายน 2554.
- [7] ธนาวดี ลีจากภักย์. 2549. พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์
- [8] สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (สนช.). พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. [Online]. Available: <http://www.nia.or.th/download/document/chapter2.pdf>; 18 มิถุนายน 2554.
- [9] R. Gachter, and H. Muller. 1993. **Plastic Additive Handbook**. Hanser Publishers. Munich Vienna
- [10] S. Bonhome, A. Cuer, A-M. Delort, J. Lemaire, M. Sancelme and Scott. “Environmental biodegradation of polyethylene”. *Polymer Degradation and Stability*. 81 (2003) : 441-452
- [11] M. Patel. 2001. Review of Life Cycle Assessments for Bioplastics. Science, Technology and Society, Utrecht University
- [12] กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] สมศักดิ์ วรมงคลชัย, อิทธิพล แจ่มชัด, ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และสุภารัตน์ รักชลธิ์. 2546. **ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์**. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [14] ศูนย์รวมข้อมูลอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย. **การใช้และการแปรรูปแป้งมันสำปะหลัง**. [Online]. Available: <http://www.thailandtapiocastarch.net/download/download-th-17.pdf>; 28 มิถุนายน 2554.
- [15] วิริยะ ฤาชัยพาณิชย์. **พลาสติก**. [Online]. Available: <http://elibrary.eduzones.com/index>; 18 มิถุนายน 2554.
- [16] เจริญ นาคะสรรรค์. 2546. **เทคโนโลยีเบื้องต้นทางพลาสติก**. กรุงเทพฯ : โฟร์เพช
- [17] วรรณมา ตุขยธัญ. 2551. **เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต**. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [18] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Agar และ Carrageenan**. [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB730E/AB730E03.htm>; 3, July 2011
- [19] สายสมร พูลพันธ์. 2547. **ผลของสารที่ทำให้เกิดเจลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเยลลี่ผสมน้ำสตอเบอร์รี่**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [20] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. **กลไกการเกิดเจลของ Carrageenan**. [Online] . Available:[http://www.http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter4\\_1.html](http://www.http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter4_1.html); 15 กรกฎาคม 2554.
- [21] อรุษา สรวารี. 2546 . **สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1**. ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [22] TangientLLC . **Glycerol**. [Online]. Available:[http://www.http://usefulchem.wikispaces.com/Exp016GS report](http://www.http://usefulchem.wikispaces.com/Exp016GS%20report) ; 4 September 2011.
- [23] D.R. Paul and C.B. Bucknall. 2000. **Polymer Blends**. Vol. 1. New York : John Wiley & Sons.
- [24] มณฑา จันทร์เกตุเลียด. **วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น**. 2541. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร. สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด หอรัตนชัยการพิมพ์. กรุงเทพฯ.
- [25] R. Yamamoto. 2008. **“Bioprocessing of the Cotton Fiber”**. IPEJ-BIO.

- [26] ศิริรัตน์ วัชรวิชานันท์. การขึ้นรูปแบบฉีด (**Injection Molding**) . [Online]. Available : [http://www. www.eng.su.ac.th/ che/old53/ faculty\\_and\\_staff/sirirat/slide.../PP\\_8.pdf](http://www. www.eng.su.ac.th/ che/old53/ faculty_and_staff/sirirat/slide.../PP_8.pdf) ; 4 กันยายน 2554.
- [27] เทวี ทองแดง, คอริมะ สะหัดอิตำ และสุภารัตน์ขวัณเมือง. 2550. สมบัติของเจลผสมระหว่าง แป้งมันสำปะหลังกับคาราจีแนน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการประจำปี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2550 . วันที่ 5-6 กรกฎาคม 2550.
- [28] พัฒนา บัวดี. 2553. ผลของแคลป์คาร์ราจีแนนที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตา์ช. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [29] ฐริสา ทศวิล, อรพิน เกิดชูชื่น และณัฐฐา เลาหกุลจิตต์. 2553. อิทธิพลของ K-คาร์ราจีแนน ต่อ คุณสมบัติทางเชิงกลและการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้ง. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [30] U. Ratanakamnuan and D. Ant-Ong. "Preparation and Characterization of Low-Density Polyethylene/Banana Starch Films Containing Compatibilizer and Photosensitizer". **Applied Polymer Science**. 100 (2006) : 2717 – 2724.
- [31] C. Chaudemanche and T. Budtova. "Mixtures of Pregelatinised maize starch and K-carrageenan : Compatibility, rheology and gelation". **Carbohydrate Polymers**. 72 (2008) : 579-587.
- [32] C. M.O. Müller, J. B. Laurindo and F. Yamashita. "Effect of cellulose fibers on the crystallinity and mechanical properties of starch-based films at different relative humidity values". **Carbohydrate Polymers**. 77 (2009) : 293–299.
- [33] C.Y. Huang, Roan., M.C.Kuo and W.L.Lu. "Effect of compatibiliser on the biodegradation and mechanical properties of high-content starch/low-density polyethylene blend". **Polymer Degradation and Stability**. 90 (2005) : 95-105.
- [34] D. Phan, F. Debeaufort, D. Luu and A. Voilley. "Functional Properties of Edible Agar-Based and Starch-Based Films of Food Quality Preservation". **Agricultural and Food Chemistry**. 53 (2005) : 973-981.
- [35] N. St-Pierre, B. D. Favis, B. A. Ramsay, J. A. Ramsay and H. Verhoogt. "Processing and characterization of thermoplastic starch/polyethylene blends". **Polymer**. 38 (1997) : 647-655.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [36] R. C. R. Souza and C. T. Andrade. "Processing and Properties of Thermoplastic Starch and Its Blends with Sodium Alginate". **Applied Polymer Science**. 81 (2001) : 412-420.
- [37] M. Thunwall, V.Kuthanovo, A. Boldizar and M. Rigdahl. Film blowing of thermoplastic starch. **Carbohydrate Polymers**. 71 (2008) : 583-590.
- [38] V. D. Alves, S. Mali, A. Beleia, M. Victoria and E. Grossmann. "Effect of glycerol and amylase enrichment on cassava starch film properties". **Food engineering**. 78 (2007) : 941-946.
- [39] W. Shujun, Y. Jingao and Y. Jinglin. "Preparation and charecterizaion of compatible thermoplastic starch/polyethylene blends". **Polymer Degradation and Stability**. 87 (2005) : 395-401.
- [40] X. Ma, J. Yua and J. F. Kennedy. "Studies on the properties of natural fibers-reinforced thermoplastic starch composite". **Carbohydrate Polymers**. 62 (2005) : 19-24.
- [41] ASTM D 570.1998. **Standard Test Method for Water Absorption of Plastic**. **Annual Book of ASTM Standard 08.01.**, Philadelphia : American Society for Testing and Materials.
- [42] ASTM. 1999. **Standard Test Methods for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer**. Philadelphia : American Society for Testing and Materials.
- [43] ASTM D 638. 1992. **Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic**. Philadelphia : American Society for Testing and Materials.
- [44] ASTM D 2240. 2000. **Stardard Test Methed for Rubber Property-Durometer Hardness**. West Conshohocken : American Society for Testing and Materails.
- [45] ASTM D 256. **Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic**. Philadelphia : American Society for Testing and Materials, 1993.
- [46] เย็นหทัย แน่นหนา. 2549. **สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [47] J. Yang, J. Yu and X. Ma. 2006. "Study on the properties of ethylenebisformamide and sorbitol plasticized corn starch (ESPTPS)". **Carbohydrate Polymers**. 66 (2006) : 110-116.
- [48] 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [49] สมบัติ พุทธจักร. โครงสร้างและสมบัติเชิงฟิสิกส์ของพอลิเมอร์. 2550. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ปัตตานี).
- [50] R.A. Pereira, E.B. Mano, M.L. Dias and E.B. Acordi. "Comparative study on the lamellar crystal structure of high and low density polyethylenes". **Polymer**. 38 (1997) : 707-714.
- [51] N.C. Debnath and S. A. Vaidya. "Application of X-ray diffraction technique for characterization of pigments and control of paints quality". **Progress in Organic Coatings**. 56 (2006) : 159-168
- [52] J. Yang, J. Yu and X. Ma. "Study on the properties of ethylenebisformamide and sorbitol plasticized corn starch (ESPTPS)". **Carbohydrate Polymers**. 66 (2006) : 110-116.
- [53] U.S. Elesini, A.P. Cuden and A.F. Richards. "Study of green cotton fiber". *Analytica Chimica Acta*, 49 (2002): 815-833.
- [54] นิศานาถ หลิมศิริ , รัชชานา คงจินตมาณี และสุภาวรัตน์ สุระกิจ. 2553. การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งข้าวเหนียวโดยใช้ผงวุ้นและเส้นใยฝ้าย. โครงการพิเศษ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [55] จันทกานต์ พงษ์พิธิ, ธนิกานต์ ประพันธ์ และนิศารัตน์ เจริญสุข. และคณะ. 2554. การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวยายม่อมโดยใช้ผงวุ้นและโคโคซาน . โครงการพิเศษ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [56] N. Abidi, E. Hequet and D. Ethridge. "Thermogravimetric Analysis of Cotton Fibers: Relationships with Maturity and Fineness". **Applied Polymer Science**. 103 (2007) : 3476-3482.
- [57] วัลลดา หวานเสนาะ. 2553. สมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลคอมโพสิตจากแป้งข้าวเจ้าเสริมแรงด้วยเส้นใยต่างชนิด. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [58] K. Prasad, R. Meena and A.K. Siddhanta. "Microwave-Induced Rapid One-Pot Synthesis of k-Carrageenan-g-PMMA Copolymer by Potassium Persulphate Initiating System". **Applied Polymer Science**. 101 (2006) : 161-166.
- [59] S. Janaswamy and R. Chandrasekaran. "Three-dimensional structure of the sodium salt of iota-carrageenan". **Carbohydrate Research**. 335 (2001) : 181-194.
- [60] J. Zhang, S. Xu, S. Zhang, and Z. Du. "Preparation and Characterization of Tamarind Gum/Sodium Alginate Composite Gel Beads". **Iranian Polymer**. 17 (2008) : 899-906.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [61] P. Kanti, K. Srigowri, J. Madhuri, B. Smitha and S. Sridhar. "Dehydration of ethanol through blend membranes of chitosan and sodium alginate by pervaporation". **Separation and Purification Technology**. 40 (2004) : 259–266.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100%

เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ณ วันที่วัด

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ณ วันที่วัด															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
LDPE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TPCS/LDPE	0.00	1.15	1.63	2.02	2.35	2.65	2.88	3.17	3.27	3.52	3.74	3.90	4.15	4.30	4.48	4.64
TPCS/LDPE/A6	0.00	1.21	1.55	2.10	2.44	2.77	2.98	3.18	3.39	3.62	3.83	4.05	4.22	4.45	4.57	4.71
TPCS/LDPE/A10	0.00	1.24	1.69	2.10	2.45	2.90	3.00	3.14	3.36	3.64	3.92	4.09	4.39	4.50	4.66	4.82
TPCS/LDPE/C6	0.00	1.27	1.77	2.25	2.63	2.96	3.20	3.44	3.64	3.98	4.18	4.33	4.60	4.81	4.98	5.20
TPCS/LDPE/C10	0.00	1.35	1.87	2.36	2.76	3.11	3.360	3.61	3.84	4.13	4.39	4.69	4.85	5.12	5.36	5.39
LDPE/TPCS/SA6	0.00	1.22	1.70	2.13	2.48	2.89	3.15	3.37	3.59	3.82	4.08	4.36	4.67	4.83	5.00	5.22
LDPE/TPCS/SA10	0.00	1.25	1.73	2.24	2.62	2.98	3.25	3.55	3.79	3.99	4.36	4.67	4.83	5.00	5.22	5.59
TPCS/LDPE/Cot5	0.00	1.45	1.82	2.25	2.60	2.94	3.14	3.35	3.49	3.85	4.01	4.20	4.38	4.56	4.73	4.93
TPCS/LDPE/A10/Cot5	0.00	1.60	2.12	2.59	3.07	3.42	3.61	3.85	4.15	4.35	4.64	4.95	5.09	5.34	5.53	5.69
TPCS/LDPE/C10/Cot5	0.00	1.66	2.38	2.89	3.33	3.74	3.96	4.31	4.62	4.88	5.234	5.59	5.80	6.07	6.27	6.51
LDPE/TPCS/SA10/Cot5	0.00	1.53	2.05	2.53	2.96	3.37	3.68	3.94	4.20	4.49	4.85	5.19	5.3764	5.69	5.92	6.151

เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100%

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ณ วันที่วัด														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
LDPE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TPCS/LDPE	4.80	4.92	5.13	5.17	5.30	5.46	5.59	5.70	5.79	5.95	6.07	6.27	6.35	6.38	6.46
TPCS/LDPE/A6	0.00	4.89	5.09	5.26	5.48	5.62	5.77	5.86	5.95	6.13	6.27	6.36	6.05	6.66	6.70
TPCS/LDPE/A10	5.01	5.19	5.38	5.42	5.58	5.72	5.83	5.93	6.05	6.27	6.36	6.48	6.66	6.73	6.85
TPCS/LDPE/C6	5.33	5.55	5.78	5.85	6.04	6.18	6.39	6.52	6.62	6.82	6.93	7.09	7.26	7.38	7.48
TPCS/LDPE/C10	5.72	5.91	6.21	6.29	6.49	6.64	6.81	6.99	7.11	7.37	7.45	7.63	7.85	7.92	8.37
LDPE/TPCS/SA6	5.30	5.47	5.74	5.76	5.92	6.11	6.232	6.36	6.55	6.70	6.85	6.989	7.13	7.25	7.42
LDPE/TPCS/SA10	5.60	5.82	6.14	6.17	6.27	6.50	6.71	6.88	6.98	7.24	7.38	7.60	7.76	7.91	8.12
TPCS/LDPE/Cot5	5.06	5.22	5.47	5.53	5.67	5.84	5.97	6.11	6.21	6.40	6.52	6.67	6.85	6.88	6.99
TPCS/LDPE/A10/Cot5	5.89	6.10	6.33	6.41	6.53	6.70	6.89	7.02	7.13	7.33	7.47	7.63	7.79	7.90	8.00
TPCS/LDPE/C10/Cot5	6.73	6.98	7.23	7.28	7.53	7.81	7.94	8.14	8.30	8.49	8.64	8.96	9.15	9.22	9.38
LDPE/TPCS/SA10/Cot5	6.44	6.68	6.97	7.08	7.22	7.56	7.76	7.88	8.21	8.452	8.58	8.84	9.04	9.24	9.43

ภาคผนวก ข

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE

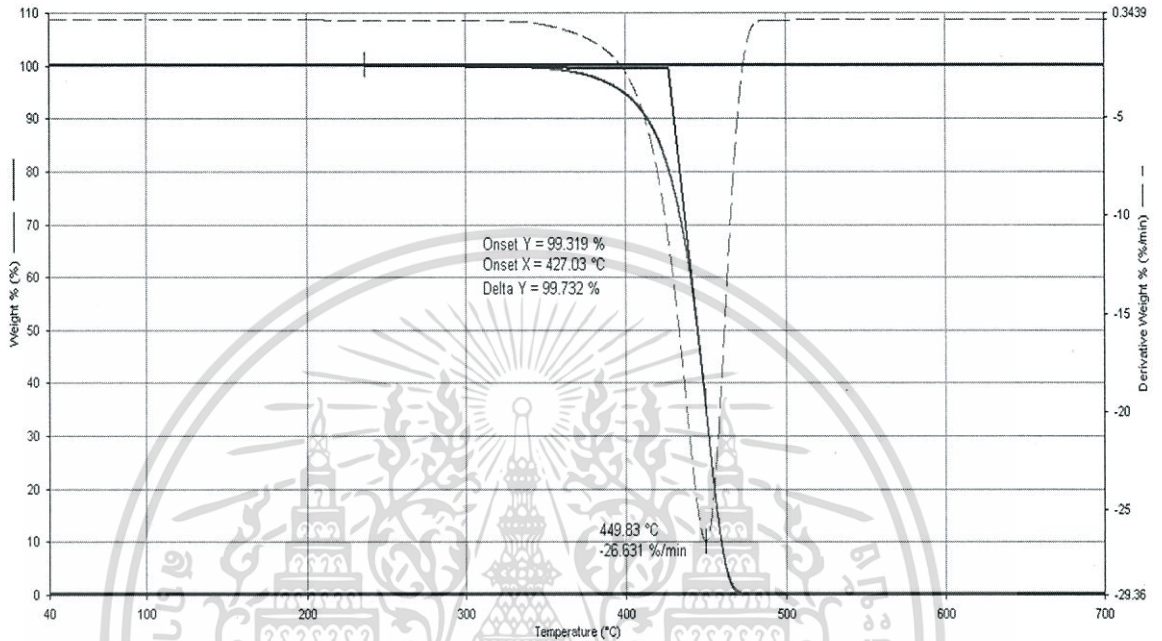
ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล				
	ความแข็งแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุด แรงดึงสูงสุด (%)	ยังมอดุลัส (MPa)	ความแข็งกด (Shore D)	ความแข็งแรงกระแทก (kJ/mm <sup>2</sup> )
LDPE	9.31±0.20	246±8	70.84±5.87	29.6±2.0	30.4±2.0
TPCS/LDPE	8.57±0.15	263±12	49.14±2.56	28.3±1.2	9.0±1.0
TPCS/LDPE/A2	8.59±0.13	177±10	82.1±6.55	32.1±0.7	-
TPCS/LDPE/A4	8.62±0.23	155±10	100.12±5.32	33.4±0.5	-
TPCS/LDPE/A6	8.84±0.20	148±7	105.62±4.93	34.4±1.0	5.1±0.3
TPCS/LDPE/A8	9.00±0.33	120±7	121.55±7.49	35.2±0.6	-
LDPE/TPCS/A10	9.53±0.31	95±1	140.66±8.20	36.6±0.7	4.9±0.1
LDPE/TPCS/C2	8.98±0.17	231.13±9	108.70±13.41	30.2±1.6	-
TPCS/LDPE/C4	9.07±0.15	190.51±11	111.40±5.56	32.6±0.7	-
TPCS/LDPE/C6	9.11±0.09	165.17±11	116.70±7.89	33.1±0.8	6.0±0.3
TPCS/LDPE/C8	9.18±0.01	126.49±12	122.38±7.96	34.8±0.9	-
LDPE/TPCS/C10	9.29±0.08	94.53±2	134.16±15.43	36.7±0.7	4.8±0.1

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE

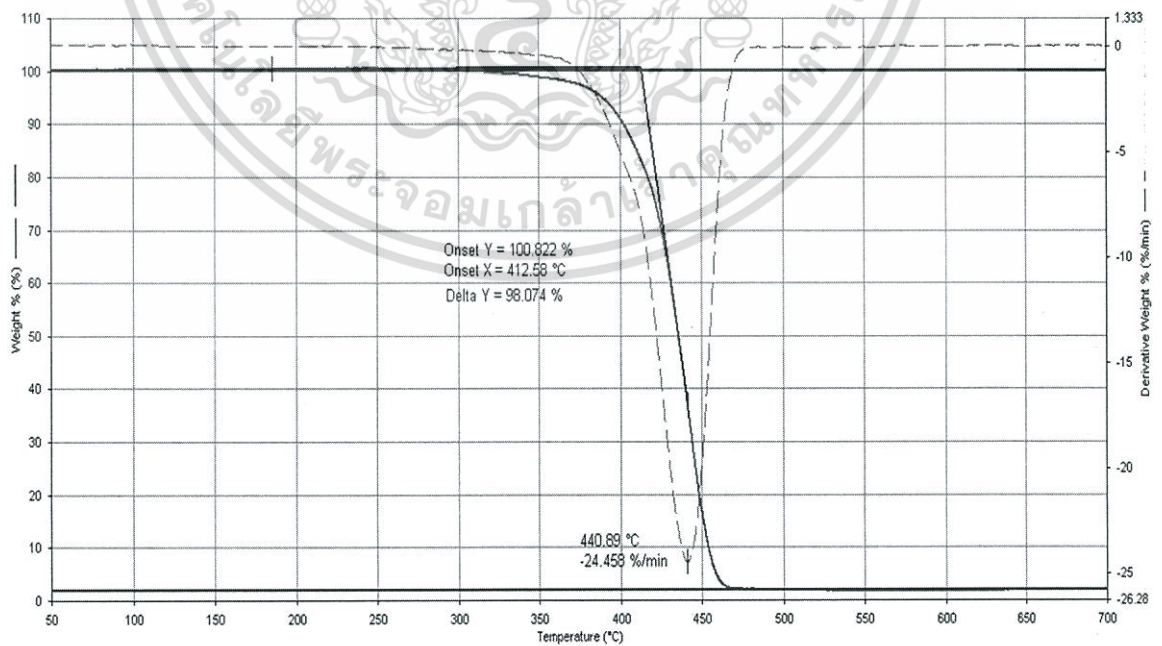
ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล				
	ความแข็งแรงดึง(MPa)	เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุด แรงดึงสูงสุด (%)	ยังมอดูลัส (MPa)	ความแข็งกด (Shore D)	ความแข็งแรงกระแทก (kJ/mm <sup>2</sup> )
TPCS/LDPE/SA2	8.733±0.26	198±6	94.05±5.49	30.8±0.8	-
TPCS/LDPE/SA4	8.80±0.15	177±4	109.46±11.74	31.7±0.7	-
TPCS /LDPE/SA6	8.90±0.11	154±6	124.41±10.65	32.6±0.5	5.4±0.4
TPCS /LDPE/SA8	8.92±0.07	120±10	127.22±8.00	33.7±0.7	-
TPCS /LDPE/SA10	9.14±0.11	96±2	138.90±3.25	35.0±0.7	5.2±0.2
TPCS/LDPE/Cot5	10.73±0.15	157±3	164.06±5.46	32.80±1.0	7.6±0.3
TPCS/LDPE/A10/Cot5	11.048±0.24	87±2	208.16±4.81	36.70±0.6	5.07±0.1
TPCS/LDPE/C10/Cot5	11.82±0.19	85±1	207.93±7.58	37.0±0.7	4.8±0.2
LDPE/TPCS/SA10/Cot5	10.93±0.24	92.86±2	199.33±5.33	37.7±1.0	5.8±0.2
LDPE/TPCS/non-MAPE	8.12±0.19	214±11	40.22±1.75	-	-
LDPE/TPCS/non-TiO <sub>2</sub>	8.48±0.19	237±12	45.54±3.55	-	-

## ภาคผนวก ค

TGA เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ระหว่าง TPCS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์, คาร์ราจีแนน, โซเดียมอัลจิเนต และเส้นใยฝ้าย

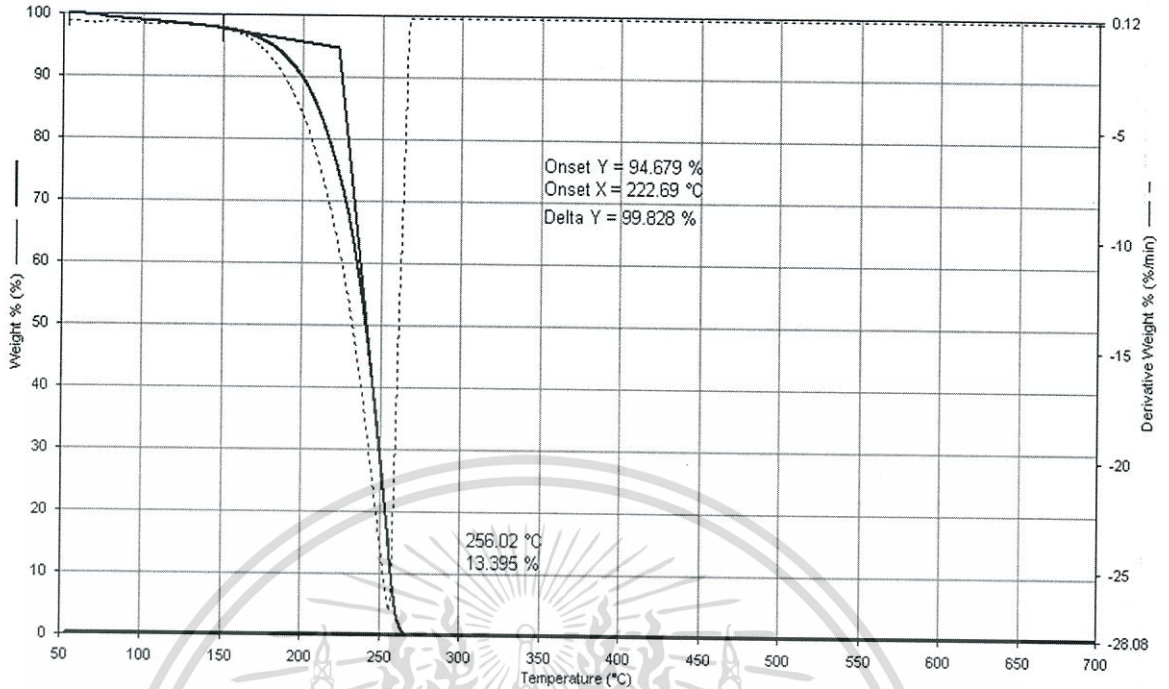


รูปที่ ค.1 เทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

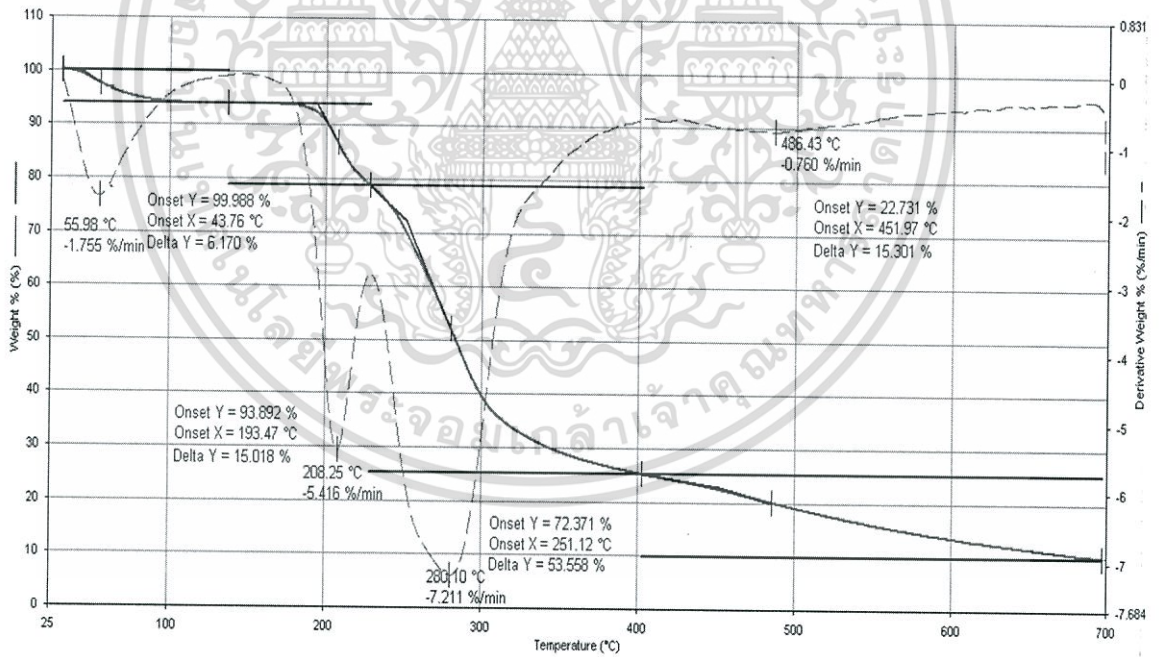


รูปที่ ค.2 เทอร์โมแกรมของ MAPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

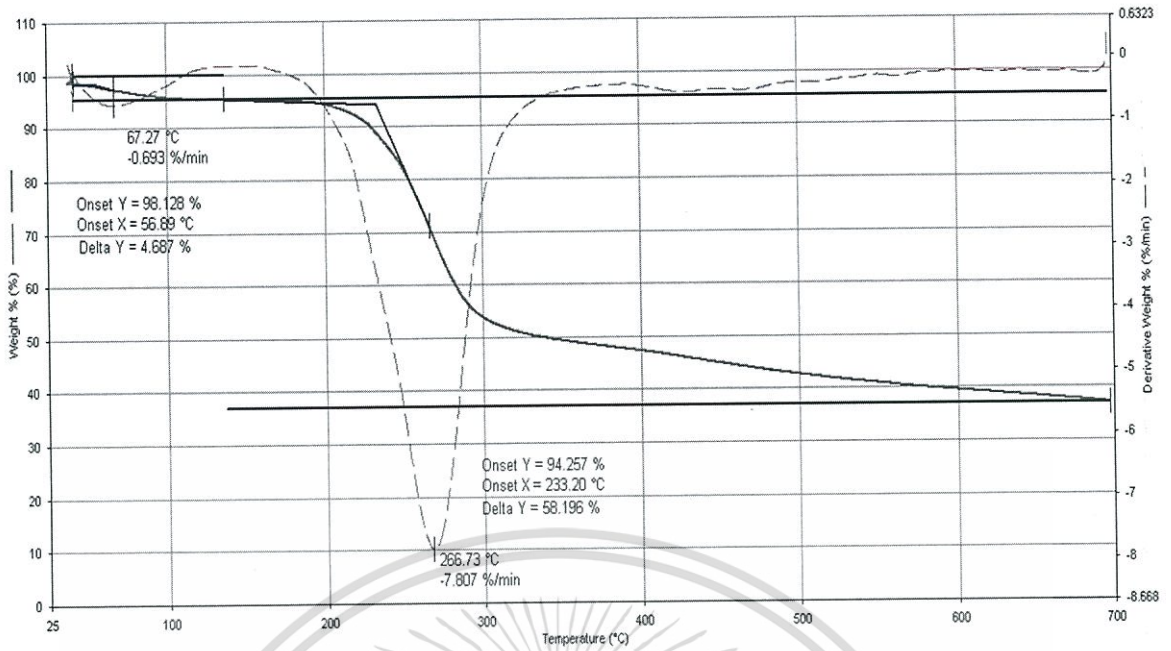


รูปที่ ค.3 เทอร์โมแกรมของกลีเซอรอล

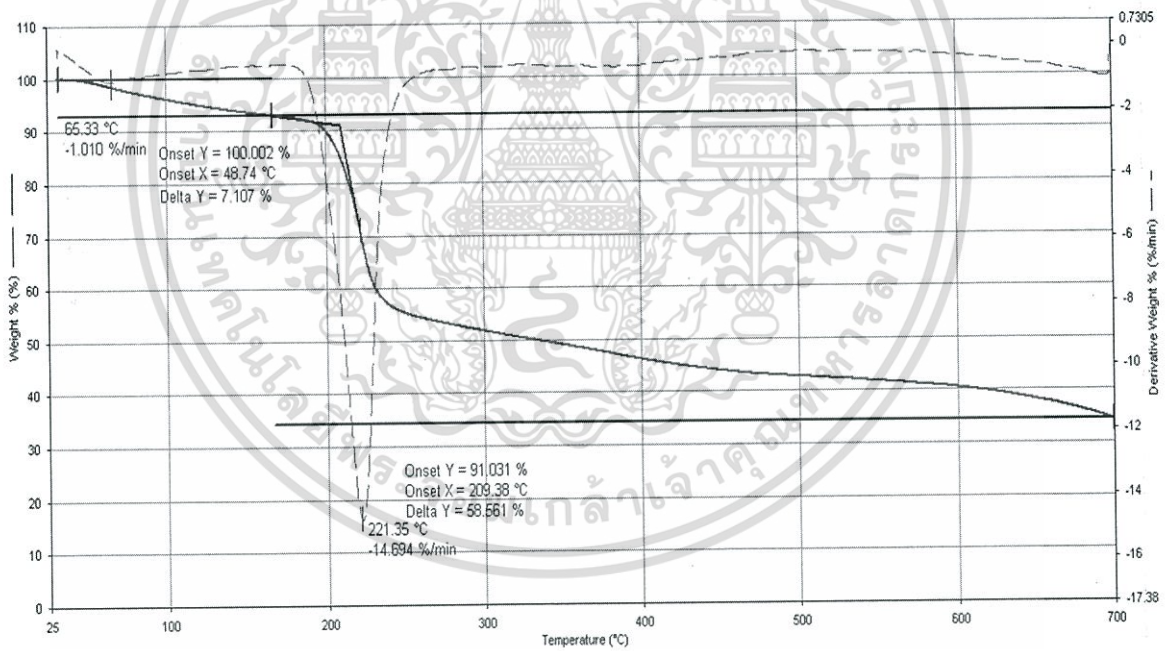


รูปที่ ค.4 เทอร์โมแกรมของอะการ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

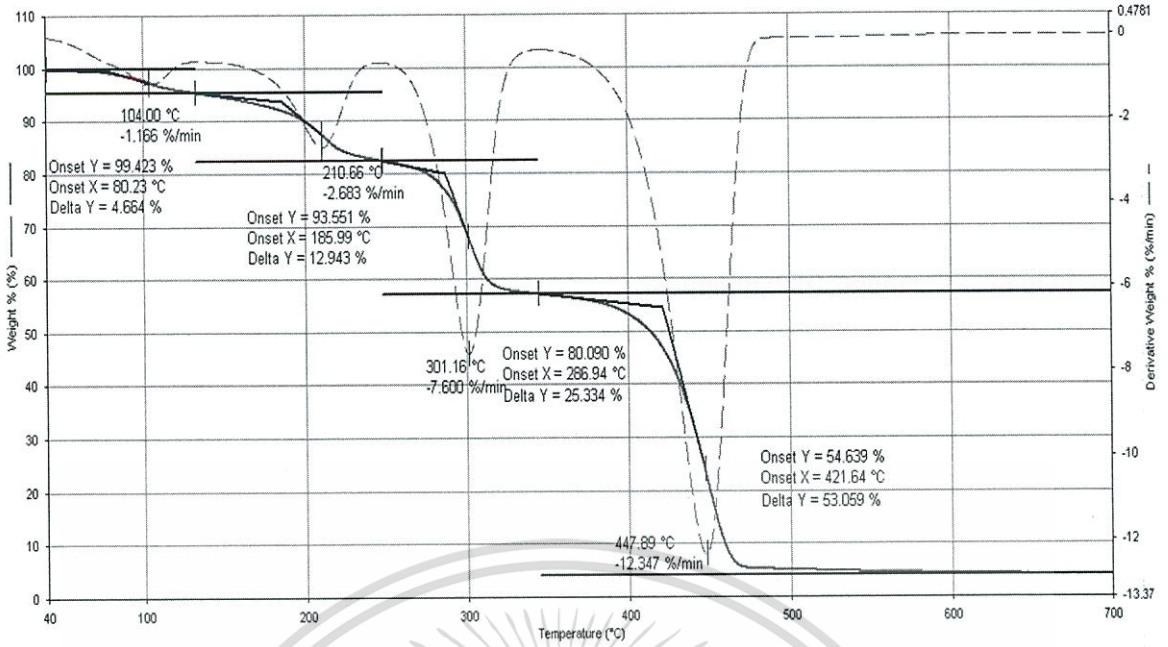


รูปที่ ค.5 เทอร์โมแกรมของคาร์ราจีแนน

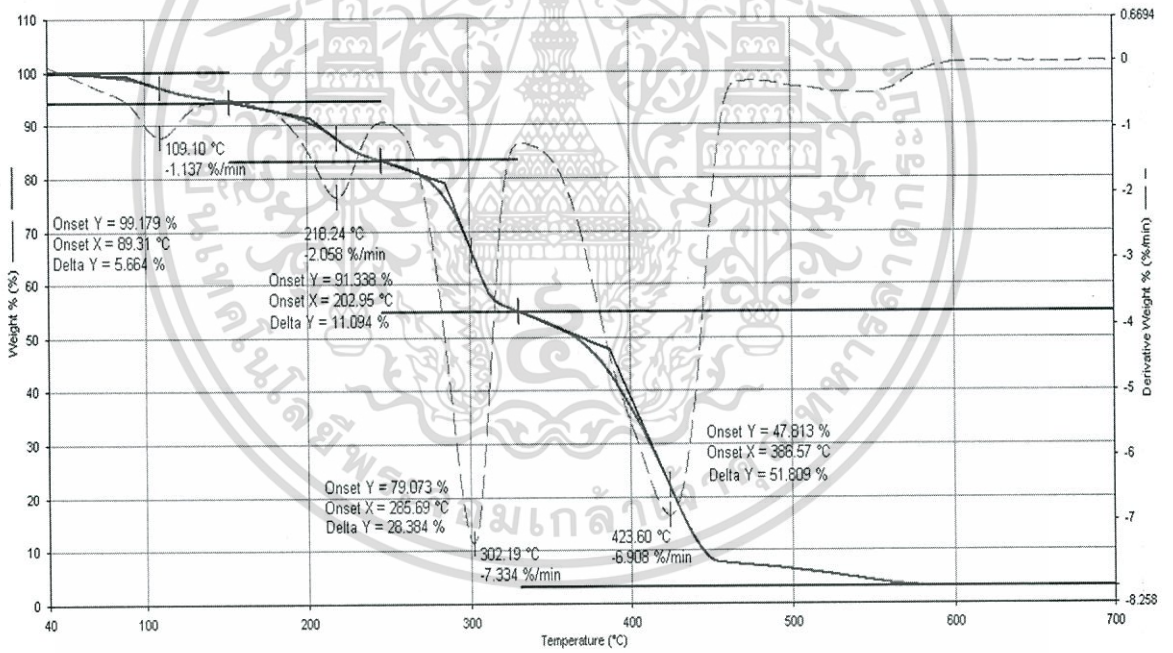


รูปที่ ค.6 เทอร์โมแกรมของโซเดียมอัลจิเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

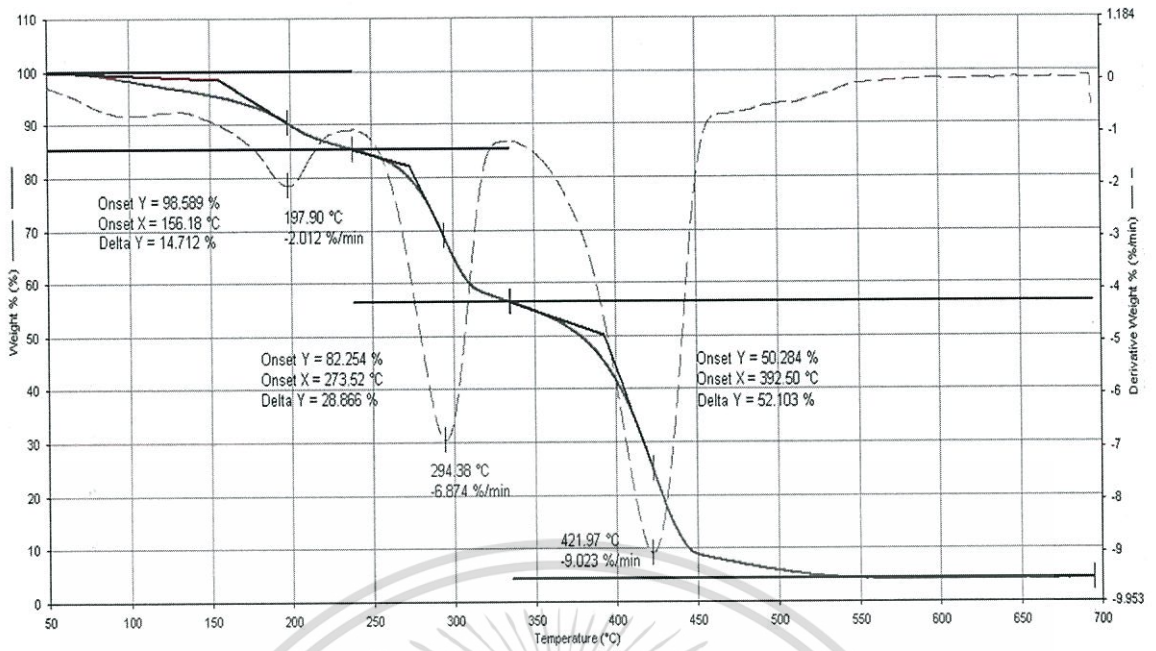


รูปที่ ค.7 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE

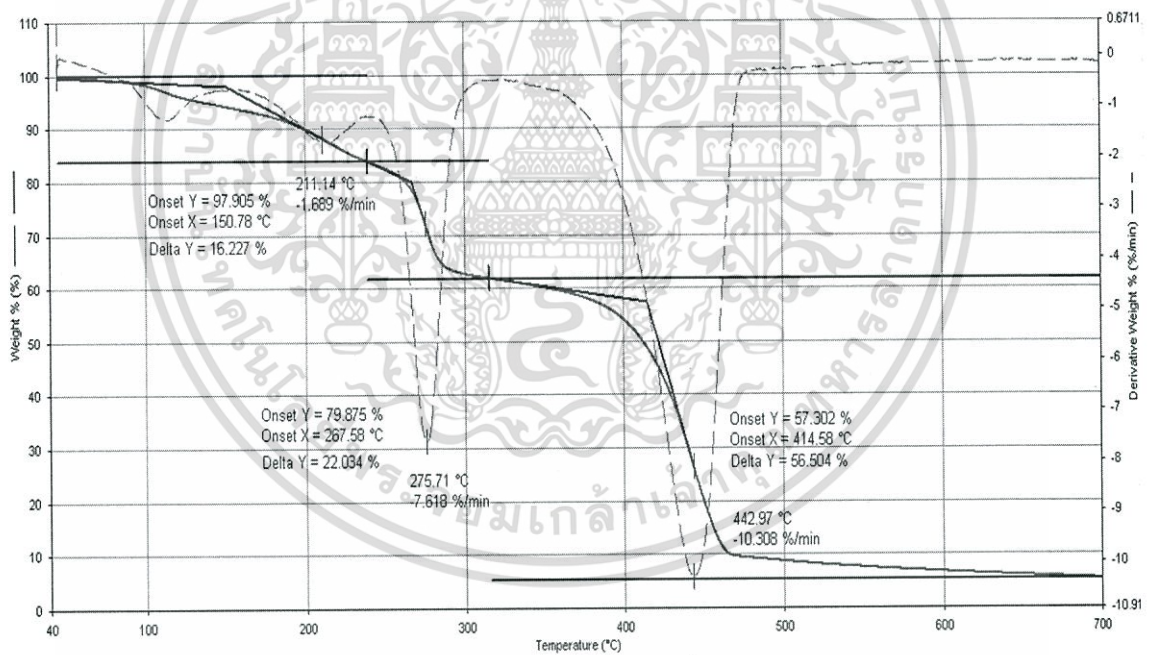


รูปที่ ค.8 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่เติมอะการ์ 6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

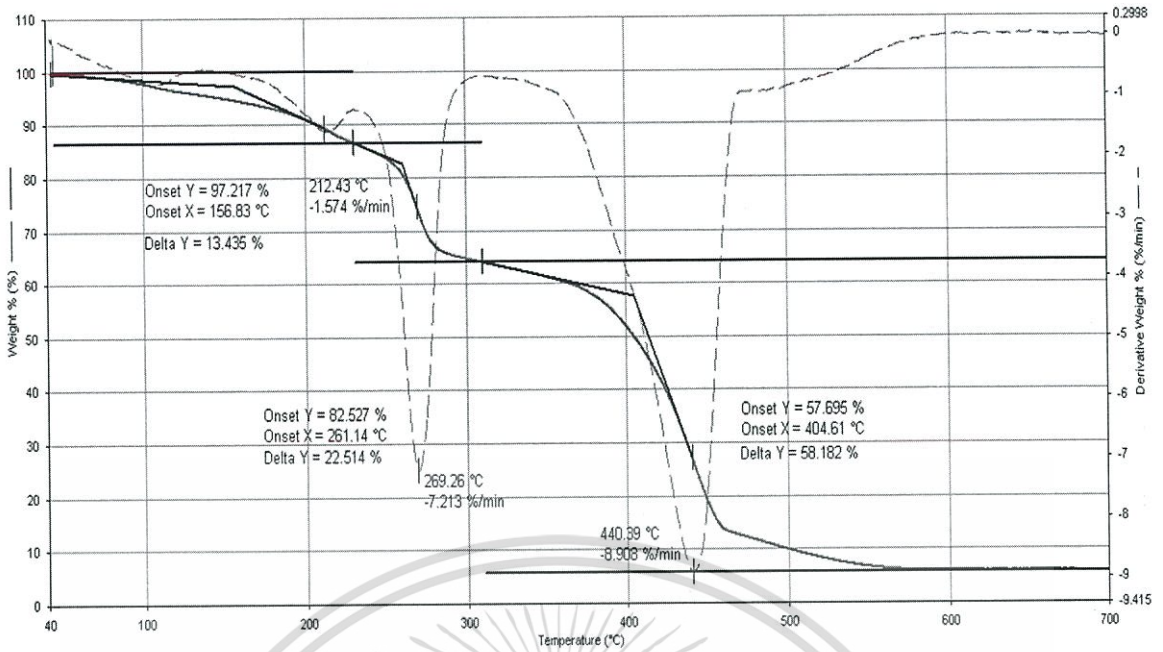


รูปที่ ค.9 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่เติมอะการ์ 10%

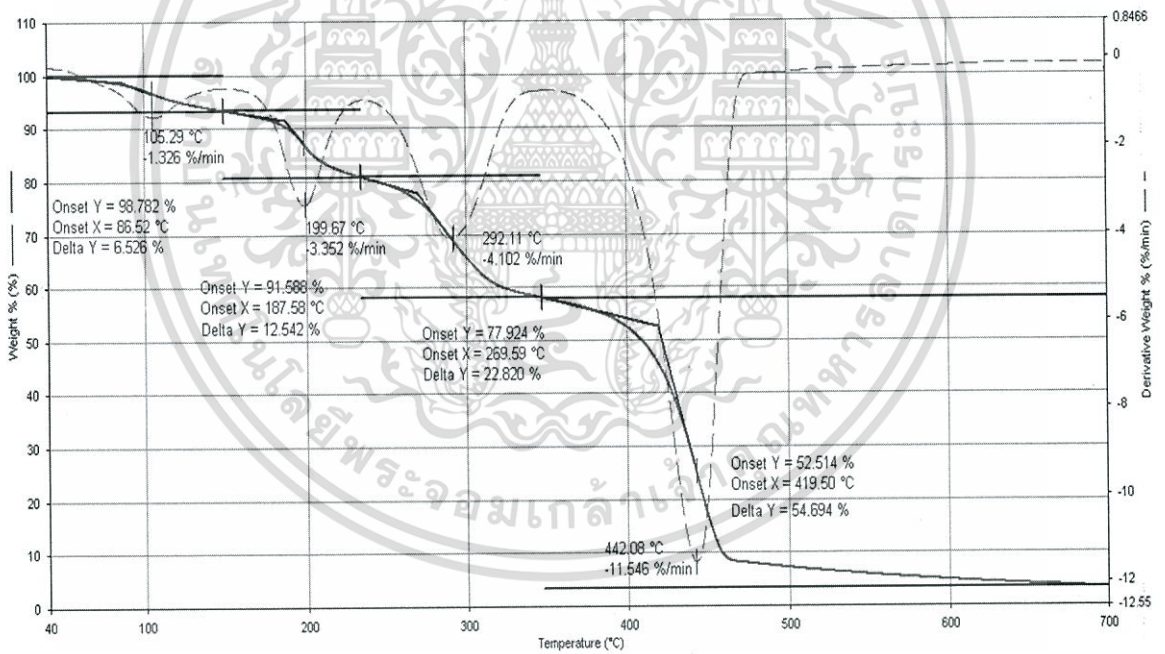


รูปที่ ค.10 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่เติมคาร์ราจีแนน 6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

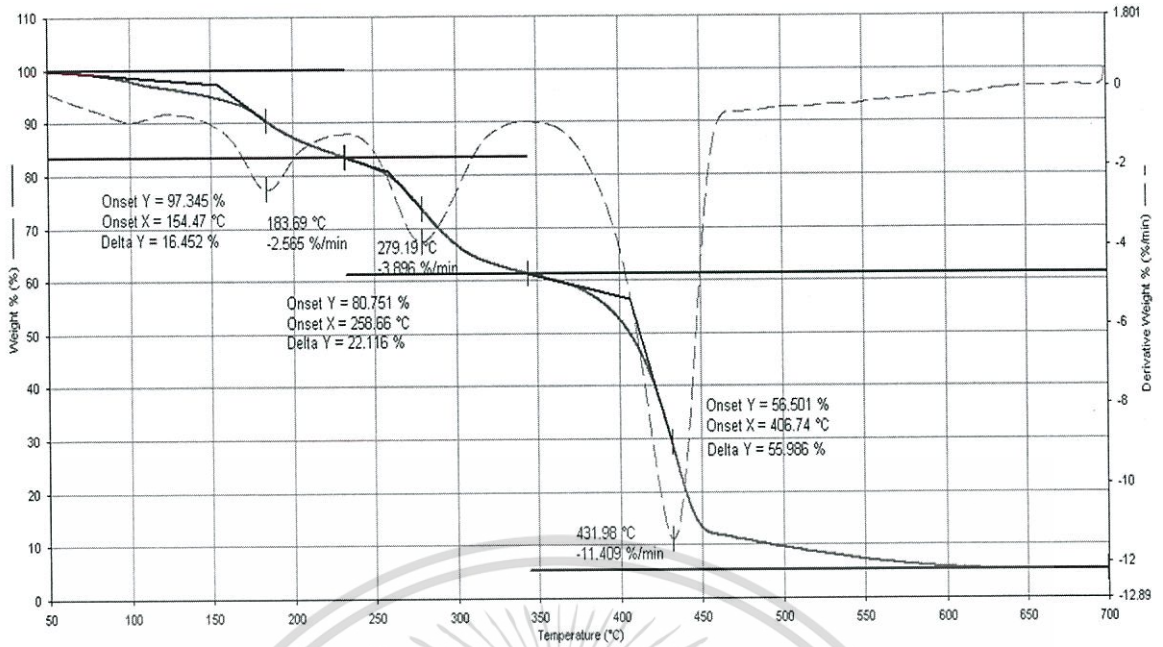


รูปที่ ค.11 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่เติมคาร์บอน 10%

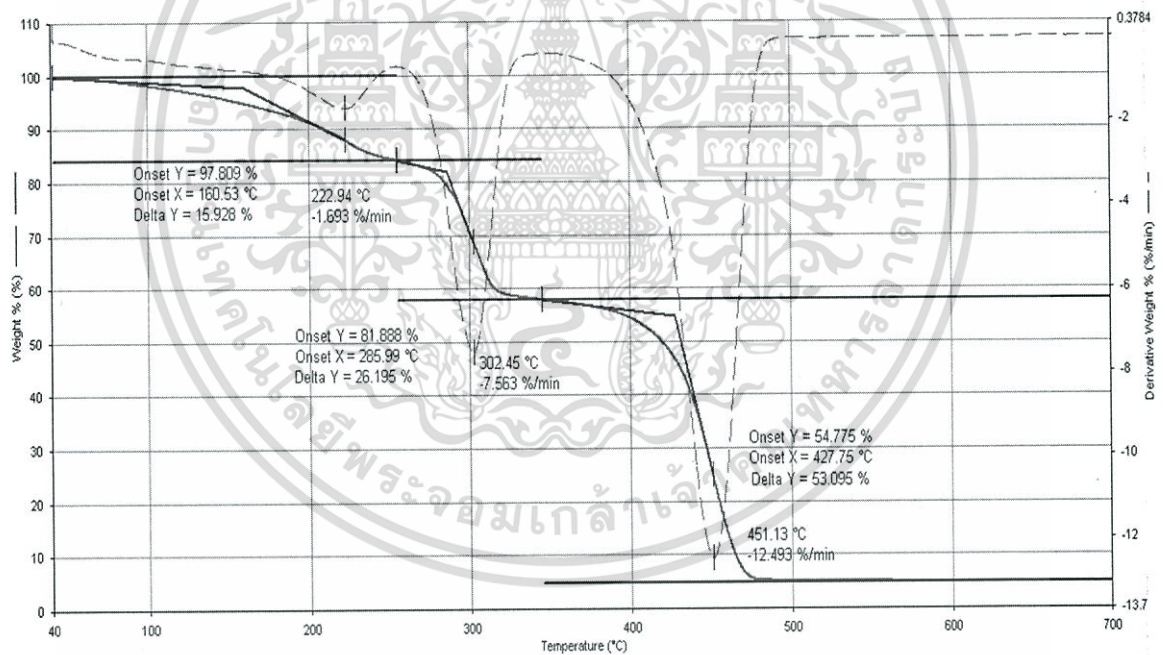


รูปที่ ค.12 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่เติมโซเดียมอะลูมิเนียม 6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

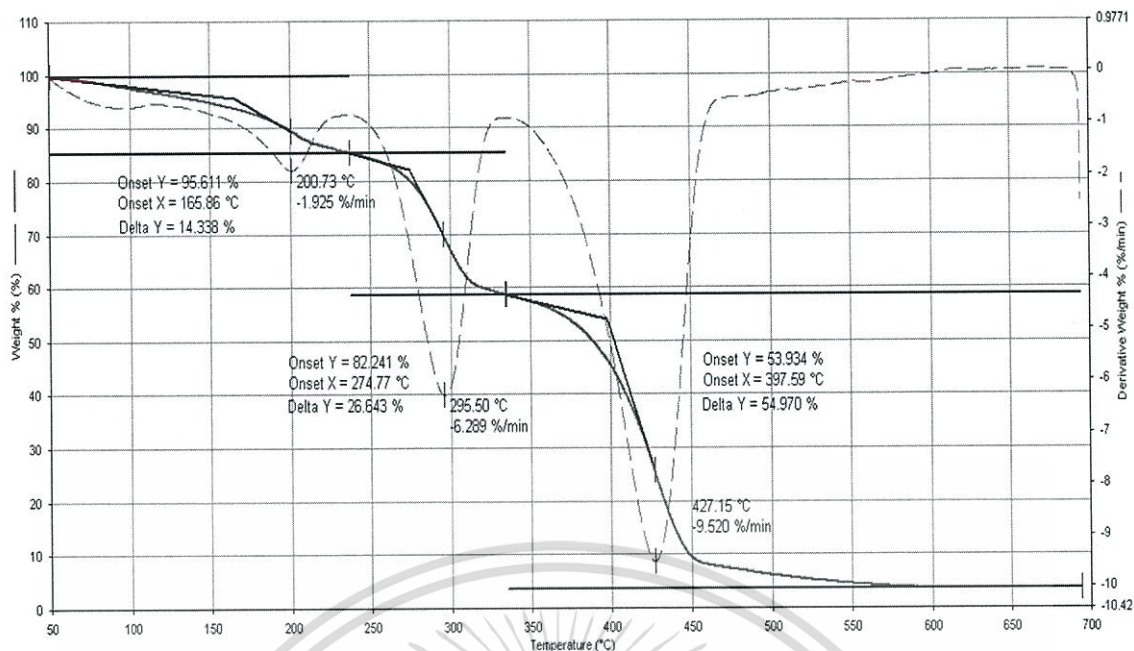


รูปที่ ค.13 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่เติมโซเดียมอัลจิเนต 10%

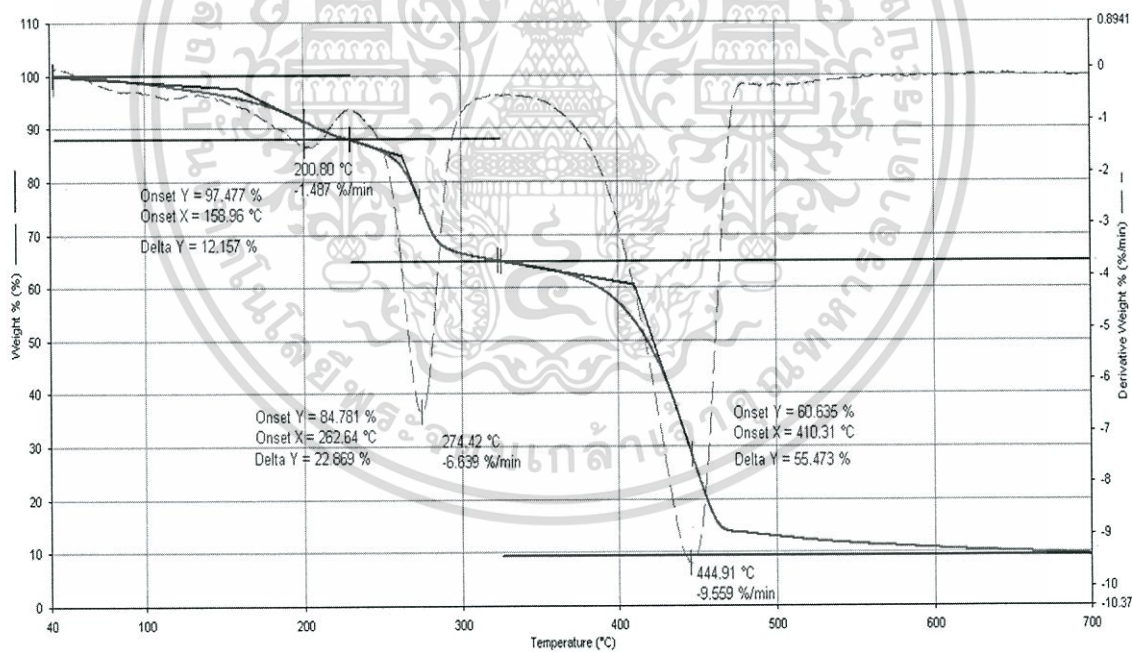


รูปที่ ค.14 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่เติมเส้นใยฝ้าย 5 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

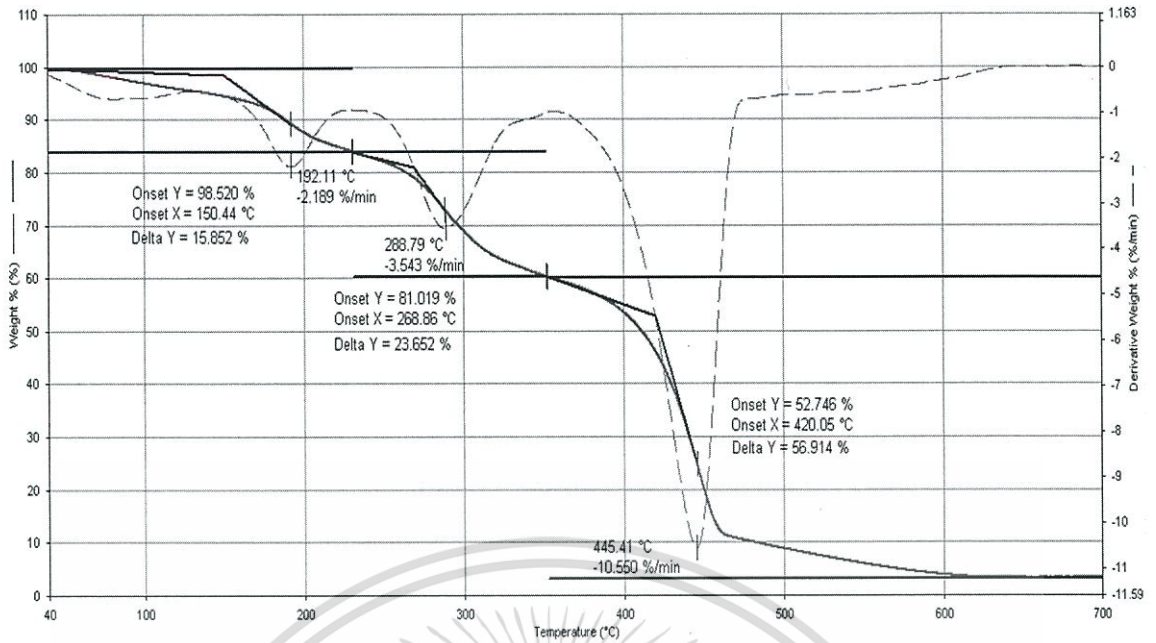


รูปที่ ค.15 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่เติมอะการ์ 10% และเส้นใยฝ้าย 5 phr



รูปที่ ค.16 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่เติมคาร์ราจีแนน 10% และเส้นใยฝ้าย 5 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.17 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่เติมโซเดียมอัลจิเนต 10% และเส้นใยฝ้าย 5 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยสารก่อเจลที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่สารก่อเจล 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr ที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์

สัปดาห์	ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล		
		ความแข็งแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด (%)	ยังมอดูลัส (MPa)
0	LDPE	9.31±0.20	246±8	70.84±5.87
	TPCS/LDPE	8.57±0.15	263±12	49.14±2.56
	TPCS/LDPE/A6	8.84±0.20	148±7	105.62±4.93
	TPCS/LDPE/A10	9.53±0.31	95±1	140.66±8.20
	TPCS/LDPE/C6	9.11±0.09	165±11	116.70±7.89
	LDPE/TPCS/C10	9.29±0.08	94±2	134.16±15.43
	TPCS/LDPE/SA6	8.90±0.11	154±6	124.41±10.65
	TPCS/LDPE/SA10	9.14±0.11	96±2	138.90±3.25
	TPCS/LDPE/Cot5	10.73±0.15	157±3	164.06±5.46
	TPCS/LDPE/A10/Cot5	11.048±0.24	87±2	208.16±4.81
	TPCS/LDPE/C10/Cot5	11.82±0.19	85±1	207.93±7.58
	TPCS/LDPE/SA10/Cot5	10.93±0.24	92±2	199.33±5.33
6	LDPE	10.22±0.14	241±10	69.58±4.04
	TPCS/LDPE	8.37±0.78	210±5	41.33±0.23
	TPCS/LDPE/A6	8.12±0.12	147±4	48.63±2.38
	TPCS/LDPE/A10	8.09±0.12	126±4	49.14±2.38
	TPCS/LDPE/C6	8.08±0.26	148±17	46.03±4.58
	TPCS/LDPE/C10	7.63±0.47	124±13	47.10±1.94
	TPCS/LDPE/SA6	8.29±0.09	161±4	45.93±3.17
	TPCS/LDPE/SA10	8.17±0.31	136±7	47.19±6.81
	TPCS/LDPE/Cot5	3.34±0.14	157±11	63.20±2.07
	TPCS/LDPE/A10/Cot5	9.34±0.30	128 ±6	80.66±3.13
	TPCS/LDPE/C10/Cot5	8.73±0.20	128±6	69.72±3.73
	TPCS/LDPE/SA10/Cot5	9.23±0.60	126 ±4	78.07±9.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยสารก่อเจลที่ปริมาณ 0, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก และที่สารก่อเจล 10% โดยน้ำหนักผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 5 phr ที่ทำการฝังดิน 0, 6 และ 12 สัปดาห์

สัปดาห์	ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล		
		ความแข็งแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด (%)	ยังมอดุลัส(MPa)
12	LDPE	9.89±0.08	245±9	67.03±2.53
	TPCS/LDPE	7.86±0.36	180±9	36.13±2.41
	TPCS/LDPE/A6	7.68±0.17	154±7	39.63±2.77
	TPCS/LDPE/A10	7.53±0.11	143±2	34.08±1.40
	TPCS/LDPE/C6	7.25±0.19	145±5	36.13±3.25
	TPCS/LDPE/C10	6.75±0.16	132±5	35.64±3.32
	TPCS/LDPE/SA6	7.35±0.32	142±7	39.56±4.70
	TPCS/LDPE/SA10	7.13±0.23	126±7	36.96±3.20
	TPCS/LDPE/Cot5	8.86±0.17	157±4	58.10±2.58
	TPCS/LDPE/A10/Cot5	7.95±0.22	124±2	61.26±4.53
	TPCS/LDPE/C10/Cot5	7.23±0.16	119±5	54.40±2.17
	TPCS/LDPE/SA10/Cot5	7.72±0.29	112±2	63.69±2.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้ทำงานวิจัย

ชื่อ	วนิดา ป้อมเค็ง
วันเกิด	21 มิถุนายน 2530
ภูมิลำเนา	ตราด
ที่อยู่	38/2 หมู่ 4 ตำบลหนองคันทรอง อ.เมือง จ.ตราด 23000
การศึกษา	- ระดับมัธยมต้น โรงเรียนตราดสรรเสริญวิทยาคม อ.เมือง จ.ตราด - ระดับมัธยมปลาย โรงเรียนตราดระการคุณ อ.เมือง จ.ตราด - ระดับปริญญาตรี (วท.บ. เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงาน	เรื่อง PROPERTIES OF THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH/LOW-DENSITY POLYETHYLENE BLEND MODIFIED BY CARRAGEENAN ประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 38 (วทท 38) ระหว่างวันที่ 17-19 ต.ค. 2555 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้