

ผลของการเจือปนที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิด

ความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

Effect of Carrageenan on Mechanical and Thermal Properties of Low density

polyethylene/thermoplastic starch film

พัฒนา บัวดี (Phattana Buadee) * สมศักดิ์ วรมงคลชัย (Somsak Woramongkolchai) **

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเจือปนที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ทำการผสมพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่และนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการเป่าฟิล์ม โดยเน้นการศึกษาหาปริมาณการเจือปนที่เหมาะสมที่ใช้ในการเป่าขึ้นรูปฟิล์มจากผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมการเจือปน 9 phr ทำให้เป่าขึ้นรูปฟิล์มได้สมบูรณ์ และเมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่เติมการเจือปน พบว่าค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และค่ายังมอดุลัสของฟิล์ม แตกต่างกันไม่มากนัก จากสมบัติทางความร้อนพบว่าปริมาณการเจือปนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความเป็นผลึกลดลง แต่ไม่ผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึกและอุณหภูมิตกผลึก

ABSTRACT

This research is studied the effect of carrageenan on mechanical and thermal properties of Low density polyethylene(LDPE)/thermoplastic starch film. The Polymer blend was prepared by using twin-screw extruder and was made film by blown film process. The appropriate amount of carrageenan was also studied by blown film process. It was found that when added carrageenan 9 phr can be complete blown film process and when it was compared mechanical properties with LDPE/thermoplastic starch film that was shown Tensile strength, % Elongation at break and Young's modulus of film had different little value. Thermal properties were shown that amount of carrageenan increase had effect on decrease crystallinity percentage but it had not affect on melting temperature and crystallization temperature.

คำสำคัญ : กระบวนการเป่าขึ้นรูปฟิล์ม การเจือปน เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

Key Words : Blown film process, Carrageenan, Thermoplastic starch

* มหาวิทยาลัย หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทนำ

ในปัจจุบันปริมาณการใช้ถุงพลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่เนื่องจากถุงพลาสติกส่วนใหญ่ได้จากการสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น ถุงพอลิเอทิลีน ซึ่งไม่สามารถเกิดการย่อยสลายได้จึงทำให้เกิดขยะจำนวนมากส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมขึ้น ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้พอลิเอทิลีนสามารถเกิดการย่อยสลายได้ง่ายขึ้นคือการผสมส่วนที่เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติลงไปในพอลิเอทิลีน เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด เป็นต้น โดยแป้งที่ผสมลงในพอลิเอทิลีนจะกระจายตัวอยู่บริเวณพื้นผิวของพลาสติก และจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายและส่วนที่เหลือที่เป็นพอลิเอทิลีนจะถูกย่อยสลายด้วยวิธีต่างๆ เช่น แรงเชิงกล แรงทางเคมี ต่อไป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมฟิล์มพอลิเอทิลีนที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยการผสมแป้งมันสำปะหลังที่ถูกทำให้อยู่ในรูปของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช เนื่องจากแป้งมันสำปะหลัง มีราคาถูกเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพและสามารถทดแทนได้ (Matzinos, Tserki, Kontoyiannis & Panayiotou, 2002) จึงนิยมนำมาเตรียมเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช แต่เนื่องจากในการทดลองนี้ต้องการเตรียมฟิล์มพอลิเอทิลีนที่มีปริมาณแป้งมากทำให้เกิดปัญหาในการขึ้นรูปฟิล์ม ดังนั้นจึงนำคาราจีแนน เติมนลงไปในพอลิเมอร์ผสมเพื่อที่จะปรับปรุงกระบวนการเป่าขึ้นรูปฟิล์ม โดยคาราจีแนน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์เชิงเส้นที่มีหมู่ซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายสีแดงและมีโครงสร้างหลักเป็นกาแลคโตส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก(glycosidic linkage) แบ่งเป็น 3 ชนิด ตามจำนวน ตำแหน่งของหมู่เอสเทอซัลเฟตและจำนวน 3,6 anhydro-D-galactose (3,6-AG) ได้แก่ แคปปา (Kappa) ไอออตตา (Iota) และ แลมด้า (Lambda) คาราจีแนนมีสมบัติเด่นคือเมื่อละลายน้ำแล้วให้เจลที่มีความหนืดสูง และเมื่อมีการให้ความร้อนจะสามารถละลายน้ำได้ดียิ่งขึ้น คาราจีแนนนิยมใช้ในอุตสาหกรรม

อาหาร เช่น สารเพิ่มความหนืด สารช่วยให้เกิดเจล เป็นต้น (Imerson & FMC Corporation Ltd, 2000)

ในปี ค.ศ. 2007 ได้มีการศึกษาความเข้ากันได้สมบัติการไหลและการเกิดของของผสมระหว่างแคปปาการาจีแนน กับแป้งข้าวโพดที่ถูกทำให้เป็นเจลก่อน (Pregelatinised maize starch) พบว่าแป้งและการาจีแนนมีความไม่เข้ากันเล็กน้อย (Incompatibility) และเจลของผสมที่เกิดขึ้นมีความยืดหยุ่นดี (Chaudemanche & Budtova, 2008)

ส่วนในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของการาจีแนนที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยทำการผสมพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนอนคู่และนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการเป่าฟิล์ม ซึ่งในงานวิจัยได้เน้นทำการศึกษาหาปริมาณการาจีแนนที่เหมาะสมที่ใช้ในการเป่าขึ้นรูปฟิล์มได้อย่างสมบูรณ์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาปริมาณการาจีแนนที่เหมาะสมที่สามารถเป่าขึ้นรูปฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ได้
2. เพื่อศึกษาผลของการาจีแนนที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ(LDPE) เกรดเป่าขึ้นรูป จากบริษัท SCG Chemical Ltd., แป้งมันสำปะหลัง ชนิด Food grade จากบริษัทดวงดีพัฒนา , การาจีแนน ชนิด Food grade จากบริษัท เอฟ เอ เฟเวอร์ จำกัด, สารช่วยผสม จากบริษัท Dow chemical จำกัด และกลีเซอรอล(เกรดการค้า)จากบริษัท Thai pure science Ltd.

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่(Twin screw extruder): Lab Tech Engineering Co.,Ltd.รุ่น LTE-26-40
2. เครื่องตัดเม็ดพลาสติก (Mini Pelletier) : Lab Tech Engineering Company Co.,Ltd รุ่น LZ-80
3. ตู้อบ(Oven) : JJSciencelab Co.,Ltd. รุ่น Basic:Memmert
4. เครื่องเป่าฟิล์ม (Blow film extruder) :Lab Tech Engineering Company Co.,Ltd. รุ่น Type LF 400
5. เครื่องวัดความหนาฟิล์ม(Digimatic micrometer): Mitutoyo รุ่น MDC 25PJ
6. เครื่องผสมความเร็วสูง(High speed mixer): Lab Tech Engineering Company Co.,Ltd. รุ่น Model 3000
7. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter:DSC):Mettler-Toledo Co.,Ltdรุ่น DSC 822
8. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์(Universal Testing Machine) : Lloyd Instrument Co.,Ltd.รุ่น LR5K

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

ทำการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์โดยอบแป้งมันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาผสมกับกลีเซอรอล ในอัตราส่วน แป้งมันสำปะหลังต่อกลีเซอรอล เป็น 100:45 ด้วยเครื่องผสมความเร็วสูงโดยใช้ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์ที่เตรียมได้ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

นำเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วมาผสมกับคาร์บาจิแนน(ในปริมาณ 3,5,7 และ 9 phr) พอลิเอทิลีน และสารช่วยผสม จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมด ผสมลง

ในเครื่องผสมความเร็วสูง โดยใช้ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งอัตราส่วนผสมสูตรแสดงดังตารางที่ 1 จากนั้นนำของผสมที่ได้ไปผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ โดยสภาวะที่ใช้ในการผสมเป็นดังนี้ อุณหภูมิจากบริเวณส่วนป้อนสาร(Feed zone) จนถึงหัวดาย (Die) เท่ากับ 140-155-160-170-170-170-170-167-167-167 °C ตามลำดับและใช้ความเร็วรอบสกรู 90 รอบต่อนาที จากนั้นจึงพอลิเมอร์ผสมให้เป็นเส้นยาวแล้วนำไปตัดเป็นเม็ด (pellet) ด้วยเครื่องตัดเม็ด แล้วนำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2. การเตรียมฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความ

หนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์/คาร์บาจิแนน

นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการอบแล้วมาใส่ในส่วนป้อนสาร(Hopper)ของเครื่องเป่าฟิล์มแล้วทำการขึ้นรูปฟิล์มบางด้วยกระบวนการเป่าขึ้นรูป (Blown-film extrusion) โดยสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นดังนี้ อุณหภูมิส่วนป้อนสาร(Feed zone)จนถึงหัวดายเท่ากับ155-160-165-170°C ตามลำดับ และอุณหภูมิที่หัวดายวงแหวนคู่ เท่ากับ 167 °C โดยใช้ความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 130 rpm และกำหนดให้ใช้อัตราการพองตัว (Blow -up ratio)เป็น 3:1 ซึ่งใช้ความเร็วรอบในการดึงลูกกลิ้ง(Take - off speed) เท่ากับ 6.2 เมตรต่อนาที

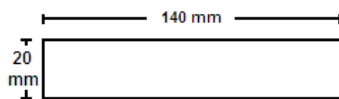
ตารางที่ 1 องค์ประกอบของสารต่างๆที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ผสมสูตร

สูตร	LDPE (phr)	แป้งมัน สำปะหลัง (phr)	กลีเซ- รอล (phr)	สาร ช่วย ผสม (phr)	คาร์บา จิแนน (phr)
TPS/KO	100	70	31.5	9	0
TPS/K3	100	70	31.5	9	3
TPS/K5	100	70	31.5	9	5
TPS/K7	100	70	31.5	9	7
TPS/K9	100	70	31.5	9	9

3. การทดสอบฟิล์ม

3.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มด้วยเครื่อง Universal Testing Machine เพื่อวัดค่าความแข็งแรงดึง, เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดและค่า Young's Modulus โดยตัดตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20 mm × 140 mm วัดตัวอย่างทั้งในแนวตามเครื่องจักร (Machine direction ; MD) และในแนวขวางเครื่องจักร (Transverse direction ; TD) มาตรฐาน ASTM D 882 ใช้ชิ้นงานทดสอบ 8 ชิ้นต่อสูตร สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ เป็นดังนี้ ความเร็วดึง (Crosshead speed) 500 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge length) 50 มิลลิเมตร และ น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (Load cell) 100 นิวตัน ซึ่งตัวอย่างชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย

เทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC)

ทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มโดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างฟิล์มประมาณ 5-10 มิลลิกรัม ให้น้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) โดยใช้อัตราการให้ความร้อน(Heating rate)เท่ากับ 5 °C /min จากอุณหภูมิ -50 °C จนถึง 250 °C จากนั้นลดอุณหภูมิด้วยอัตราการให้ความเย็น(Cooling rate) 5 °C/min จากอุณหภูมิ 250 °C จนถึง -50 °C ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน ซึ่งสามารถหาค่าปริมาณความเป็นผลึก (%Crystallinity) อุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิการตกผลึก ($T_{c \text{ onset}}$) ได้

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ลักษณะการเป่าขึ้นรูปเป็นฟิล์มบาง

จากการทดลองพบว่าเมื่อเติมการาจีแนนลงไป ในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้การาจีแนนสามารถกระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมได้มากดังนั้นจึงช่วยให้ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาบิล สามารถเป่าขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่มีความยาวต่อเนื่องได้ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องการาจีแนนมีสมบัติการเกิดเป็นเจล โดยเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติที่มีความแข็งแรง จึงสามารถดึงยึดฟิล์มเป่าได้ด้วยอัตราเร็วการดึงของกลิ้งที่มาก โดยไม่เกิดการขาด และจากการที่การาจีแนนมีโครงสร้างโมเลกุลที่คล้ายกันกับแป้งมันสำปะหลัง จึงทำให้เกิดความเข้ากันได้ เล็ก น้อย (Incompatibility) (Chaudemanche & Budtova, 2008) และอาจเกิดแรงตึงระหว่างโมเลกุล เช่น พันธะไฮโดรเจน ได้จึงส่งผลให้เป่าและการาจีแนนยึดเกาะกันได้ดี (Ma, Chang & Yu, 2008) และจากการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมการาจีแนนปริมาณ 7 และ 9 phr สามารถเป่าขึ้นรูปฟิล์มได้สมบูรณ์และมีความยาวต่อเนื่องมากกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ไม่ได้เติมการาจีแนน ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะการเป่าขึ้นรูปฟิล์มของพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ

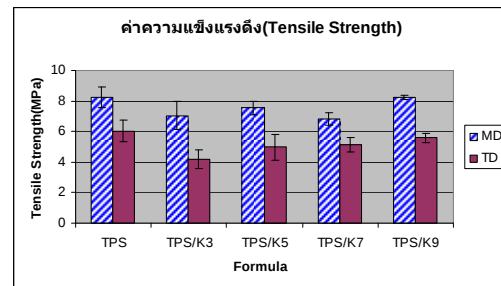
สูตร	ความสามารถในการเป่าขึ้นรูป
TPS/KO	ฟิล์มขาดเป็นช่วงๆ ไม่สามารถเป่าขึ้นรูปได้อย่างต่อเนื่อง
TPS/K3	ฟิล์มขาดเป็นช่วงๆ ไม่สามารถเป่าขึ้นรูปได้อย่างต่อเนื่อง
TPS/K5	สามารถเป่าขึ้นรูปได้อย่างต่อเนื่องแต่ยังเกิดการขาดบ้างเล็กน้อย
TPS/K7	สามารถเป่าขึ้นรูปได้อย่างต่อเนื่อง
TPS/K9	สามารถเป่าขึ้นรูปได้อย่างต่อเนื่อง

2. สมบัติเชิงกล

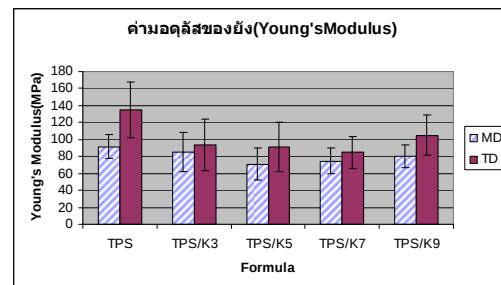
จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มในแนวตามเครื่องจักรและแนวขวางเครื่องจักร พบว่าเมื่อเติมการจีแนลงในพอลิเมอร์ผสมส่งผลให้ ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) เปอร์เซ็นต์ดัดยื ด จุดขาด(% Elongation at break) และค่ายังมอดุลัส (Young's Modulus) ลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการจีแนลงที่เติมลงไปจะทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคมากขึ้น ซึ่งรอยต่อระหว่างวัฏภาคที่เกิดขึ้นเป็นบริเวณที่มีแรงยึดเกาะกันไม่แข็งแรง จึงเกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ดังนั้นจึงรับแรงกระทำได้น้อย ส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีค่าลดลง (Utracki, 2002)

(รูปที่ 2-4)

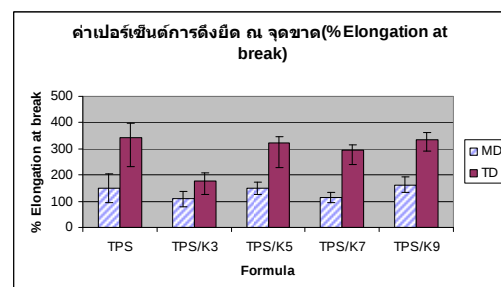
และเมื่อเปรียบเทียบฟิล์มที่เติมการจีแนลง 3,5,7 และ 9 phr พบว่าฟิล์มที่เติมการจีแนลง 9 phr (TPS/K9) ให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) เปอร์เซ็นต์ดัดยื ด จุดขาด(% Elongation at break) และค่ายังมอดุลัส(Young's Modulus)สูงที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อเติมการจีแนลงในพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น ทำให้อะไรก็ตามที่อยู่ในพอลิเมอร์ผสมมีโอกาสที่จะเกิดการแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่ของการจีแนลงได้มากขึ้น โดยการจีแนลงจะเปลี่ยนโครงรูป (conformation) จากสายโซ่ที่ไม่เป็นระเบียบ(coil) เป็นสายโซ่ที่มีลักษณะเป็นเกลียว(helix)ซึ่งมีความเป็นระเบียบมากขึ้น และมีสมบัติ Birefringence (Ma, Chang & Yu, 2008) จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมการจีแนลง 9 phr ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ช่วยทำให้ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช สามารถเป่าขึ้นรูปฟิล์มได้สมบูรณ์และให้ค่าสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกันไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่เติมการจีแนลง(TPS/K0)



รูปที่ 2 ค่าความแข็งแรงดึง ของฟิล์มย่อยสลายในแนวตามเครื่องจักร(MD)และแนวขวางเครื่องจักร (TD)จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ไม่เติมและเติมการจีแนลงในปริมาณที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3 ค่ายังมอดุลัส ของฟิล์มย่อยสลายในแนวตามเครื่องจักร(MD)และแนวขวางเครื่องจักร(TD)จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ไม่เติมและเติมการจีแนลงในปริมาณที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4 ค่าเปอร์เซ็นต์ดัดยื ด ณ จุดขาด ของฟิล์มย่อยสลายในแนวตามเครื่องจักร(MD)และแนวขวางเครื่องจักร(TD) จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ไม่เติมและเติมการจีแนลงในปริมาณที่แตกต่างกัน

3. สมบัติทางความร้อน

จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มด้วยเทคนิค DSC พบว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่เติมคาร์บอนในปริมาณที่ต่างกัน (3, 5, 7 และ 9 phr) มีค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิเริ่มตกผลึก ($T_{c \text{ onset}}$) ที่ใกล้เคียงกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาบิล ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเติมคาร์บอนไม่มีผลต่อความสมบูรณ์ของผลึกและขนาดผลึก ดังนั้นอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิเริ่มตกผลึก ($T_{c \text{ onset}}$) มีค่าใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามปริมาณคาร์บอนมีผลต่อปริมาณความเป็นผลึก (% Crystallinity) ซึ่งพบว่าเมื่อเติมคาร์บอนมากขึ้นจะทำให้ปริมาณความเป็นผลึกลดลงเนื่องจากคาร์บอนจะเข้าไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่โมเลกุลสามารถจัดเรียงตัวแบบชิดกันได้ลดลง ส่งผลให้ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมลดลง (Sarazin, Li, Orts & Favis, 2008) ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิค DSC

สูตร	อุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก T_m (°C)	อุณหภูมิเริ่มตกผลึก $T_{c \text{ onset}}$ (°C)	ปริมาณความเป็นผลึก (%Crystallinity)
TPS/KO	108.1	99.5	28.7
TPS/K3	108.9	98.3	24.2
TPS/K5	108.6	98.3	23.8
TPS/K7	108.5	98.9	22.2
TPS/K9	108.3	98.1	22.1

สรุปผลงานวิจัย

การเติมคาร์บอนช่วยให้ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาบิลสามารถเป่าขึ้นรูปได้อย่างต่อเนื่อง และปริมาณคาร์บอนที่เหมาะสมในการเป่าขึ้นรูปฟิล์ม คือ 9 phr

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าปริมาณคาร์บอนที่เติมลงไป จะมีผลทำให้ ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) เปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ลดลง และพบว่าเมื่อเติมคาร์บอนลงไป ใน ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาบิลปริมาณ 9 phr ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสม จะให้ค่าสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกันไม่มาก เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ไม่เติมคาร์บอน (TPS/KO) และจากการทดสอบสมบัติทางความร้อน พบว่าปริมาณคาร์บอนที่เติมลงไปไม่มีผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิเริ่มตกผลึก ($T_{c \text{ onset}}$) แต่จะมีผลต่อปริมาณความเป็นผลึก (% Crystallinity)

ข้อเสนอแนะ

1. ทำการผสมพอลิเมอร์ผสมด้วยความเร็วรอบสกรูที่มากขึ้น เพื่อให้คาร์บอนและเทอร์โมพลาสติกสตาบิลกระจายตัวอยู่ในพอลิเอทิลีนมากยิ่งขึ้น จึงเกิดการผสมที่ดี ดังนั้นอาจส่งผลให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มดีขึ้น

2. ทำการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของฟิล์มด้วยเทคนิค XRD เพื่อนำมาสนับสนุนว่าคาร์บอนส่งผลให้ความเป็นผลึกลดลงจริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท มัลติแมกซ์ จำกัด
(มหาชน) ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ สารเคมี และให้ทุน
สนับสนุนในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Chaudemanche, C., and Budtova, T. 2008. Mixtures
of pregelatinised maize starch and k -
carrageenan: Compatibility , rheology and
gelation. Carbohydrate Polymers. 72:
579-587.

Imeson, A.P., and FMC Corporation(UK) Ltd.2000.
Carrageenan .[Electronic version].
Handbook of hydrocolloids: 87-102.

Matzinos, P., Tserki, V., Kontoyiannis, A., and
Panayiotou, C. 2002. Processing and
characterization of starch / polycaprolactone
products. Polymer Degradation and
Stability. 77 :17-14.

Ma, X., Chang, R., and Yu, J. 2008 . Properties
of biodegradable thermoplastic pea
starch/carboxymethyl cellulose and pea
starch/microcrystalline cellulose composite .
Carbohydrate Polymer. 72:369-375.

Ramakrishnan, S., and Prud ' home, R.K. 2000.
Behavior of k-carrageenan in Glycerol
and sorbital solutions.
Carbohydrate Polymers. 43:327-332.

Sarazin, P., Li, G., Orts, W., and Favis, B. 2008.
Binary and ternary blends of polylactide,
polycaprolactone and thermoplastic starch.
Polymer. 49:599-609.

Utracki, L.A. 2002. Interphase and Compatibilization
by Addition of a Compatibilizer. Polymer
Blends Handbook. 2:295-336.