การวิเคราะห์ผลของการใช้พอลิแลคติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพื่อเป็นพลาสติกไซเซอร์ในพอลิแลคติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลสูง

Characterization of Using Low Molecular Weight Poly(lactic acid) as a Plasticizer in High Molecular Weight Poly(lactic acid)

อรปรียา เวียงอินทร์[1] และ ยศฐา ศรีเทพ[2]*

[1] นิสิตปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150
* Email: yottha.s@msu.ac.th

บทคัดย่อ

พอลิแลคติกแอซิด (PLA) เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ตามธรรมชาติที่ได้รับความนิยมนำมาใช้มากที่สุด แต่เนื่องจากวัสดุมีความเปราะและทนการดึงยืดต่ำ จึงได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติดังกล่าวด้วยการเติม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำ (M_w 7,000 g/mol) ซึ่งถูกใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์โดยการเข้าไปแทรกตัวผสมกับ PLA น้ำหนักโมเลกุลสูง (M_w 210,000 g/mol) โดยใช้ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ปริมาณร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนัก การผสมทำได้โดยการละลายในคลอโรฟอร์มที่อุณหภูมิห้องและหลังจากนั้นฟิล์มถูกหล่อขึ้นรูป หลังจากนั้นนำฟิล์มที่ได้จากการหล่อมาทดสอบสมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน และการเสถียรทางความร้อน จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ใน PLA น้ำหนักโมเลกุลสูงทำให้ฟิล์มมีระยะยืดขาดเพิ่มขึ้นสูงสุด ซึ่งทำให้ระยะยืดขาดของ PLA น้ำหนักโมเลกุลสูงมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 30 อย่างไรก็ตามสมบัติทางกลมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำมากกว่าร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของฟิล์มเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g) อุณหภูมิการเกิดผลึกเย็น (T_{cc}) และอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำส่งผลให้ T_g, T_{cc} และ T_m ของ PLA น้ำหนักโมเลกุลสูงมีแนวโน้มลดลง โดย PLA น้ำหนักโมเลกุลสูงมีค่า T_g ประมาณ 61°C และเมื่อเติม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักทำให้ค่า T_g ลดลงเหลือ 47°C นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์การเสถียรทางความร้อน พบว่าความเสถียรทางความร้อนลดลงเล็กน้อยตามปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงทำหน้าที่คล้ายสารพลาสติกไซเซอร์ สามารถทำให้ PLA น้ำหนักโมเลกุลสูงมีอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคล้ายแก้วต่ำลงและระยะยืดขาดเพิ่มขึ้น

คำหลัก: พอลิแลคติกแอซิด; น้ำหนักโมเลกุล; พลาสติกไซเซอร์

Abstract

Poly (lactic acid) (PLA) is the most commonly used biodegradable plastic. Because of the brittleness and low flexibility of the material, this study added low molecular weight PLA (Mw 7,000 g / mol), which is used as a plasticizer in high molecular weight PLA (Mw 210,000 g / mol). Low molecular weight PLA from 0 to 30% by weight was mixed with high molecular weight PLA by dissolving in chloroform at room temperature and the films were then cast. After that, the film obtained from the

casting was tested for mechanical properties, thermal properties and thermal stability. It was found that when adding low molecular weight PLA at 8% by weight in high molecular weight PLA, the film had highest elongation at break which increased the elongation at break of high molecular weight PLA more than 30%. However, mechanical properties tented to decrease when the amount of low molecular weight PLA was greater than 8% by weight. The thermal properties of the films were analyzed to study the glass transition temperature (T_g), cold crystallization temperature (T_{cc}) and melting temperature (T_m). It was found that when increasing the amount of low molecular weight poly(lactic acid) in high molecular weight PLA resulted in a decreasing in T_g, T_{cc} and T_m of high molecular weight PLA. High molecular weight PLA had Tg about 61°C and when adding low molecular weight PLA 30%, the T_g reduced to 47°C. However, thermal stability study found that thermal stability slightly decreased with increasing amount of low molecular weight PLA. Therefore, the low molecular weight PLA acted like a plasticizer and make high molecular weight polymers have lower glass transition temperatures and increased toughness.
Keywords: Poly(lactic acid); molecular weight; plasticizer

1. บทนำ

พอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid), PLA) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่สังเคราะห์ได้จากกรดแลคติก ซึ่งกรดแลคติกสามารถผลิตได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาล [1-3] ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถสร้างขึ้นทดแทนใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเมื่อนำไปฝังกลบในดินโดยใช้ระยะเวลาอันสั้น ซึ่งสมบัติทางกล ทางความร้อนส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากความบริสุทธิ์เชิงแสงของ PLA โดยมีสัดส่วนของแอลไอโซเมอร์สูงกว่าร้อยละ 90 ซึ่งมีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก และถ้ามีสัดส่วนองค์ประกอบของดีไอโซเมอร์เพิ่มขึ้น จะมีความบริสุทธิ์เชิงแสงต่ำลง และมีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์อสัญฐาน [4-7] ซึ่งในการสังเคราะห์สามารถปรับโครงสร้างของ PLA ให้สามารถรองรับความต้องการของการนำไปใช้งานได้ โดยจะส่งผลให้อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และระดับความเป็นผลึก มีค่าที่เหมาะสมตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งของสมบัติของพอลิเมอร์คือน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงความแข็งแรง ความทนต่อแรงกระแทก และความเปราะ ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญต่อกระบวนการควบคุมคุณภาพและการพัฒนาผลิตภัณฑ์

โดยปัจจุบันการสังเคราะห์ PLA นิยมใช้วิธีพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงแลคไทด์ โดยแลคไทด์สังเคราะห์ได้จากกรดแลคติกสามารถสังเคราะห์ PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้มีลักษณะแข็งและค่อนข้างเปราะ เกิดข้อจำกัดในการนำไปใช้งานบางอย่าง เช่น ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการการยืดตัว ดังนั้นในการใช้งานจึงนิยมเติมสารพลาสติกไซเซอร์ลงไปในสูตร PLA compound ที่มีความเหนียวและการยืดตัวที่ดีกว่า

พลาสติกไซเซอร์ [8, 9] (Plasticizer) ถูกใช้เป็นสารเติมแต่งในพลาสติกเพื่อทำหน้าที่ปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ โดยการเพิ่มความสามารถในการยืดหยุ่น ลดความต้านทานแรงดึง และทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำลง พลาสติกไซเซอร์ส่วนใหญ่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์ ซึ่งความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลาย น้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกันของพอลิเมอร์และพลาสติกไซเซอร์

ดังนั้นจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือการปรับให้รองรับความต้องการการใช้งานให้กว้างขึ้นโดยปรับปรุงสมบัติของ PLA ให้มีความเหนียวโดยการใช้พลาสติกไซเซอร์จากวัสดุธรรมชาติที่มีโครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันเดียวกันกับ PLA คือใช้ PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งยังไม่เคยมีผู้ใดใช้มาก่อน

2. วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง

2.1 เตรียมพอลิแลคติกแอซิด PLA จากบริษัท Corbion เกรด Luminy® L175 ความหนืดสูง เหมาะสำหรับการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มหรือการปั่นเส้นใย มีน้ำหนักโมเลกุล (M_w) 210,000 g/mol และ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุล 7,000 g/mol เป็นพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งสังเคราะห์จากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์

2.2 จากนั้นนำ PLA น้ำหนักโมเลกุลสูง และ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำมาละลายในคลอโรฟอร์ม (Chloroform) จากบริษัท VWR International เป็นสารทำละลาย มีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 61°C ความหนาแน่น 1.498 g/ml ที่อัตราส่วนคลอโรฟอร์มต่อพอลิแลคไทด์ 90 ต่อ 10 โดยน้ำหนัก โดยใช้เครื่องกวนสารละลาย BANTE instrument รุ่น MS300 magnetic stirrer เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนกระทั่งได้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

โดยเครื่อง Texture analyser จากบริษัท Stable Micro System รุ่น TA.XT Plus ตามมาตรฐาน ASTM D638-10 [10] ซึ่งนำแผ่นฟิล์มบางมาตัดที่ความกว้าง 1.5 cm ยาว 5 cm เพื่อเตรียมทำการดึงที่อัตราเร็วในการดึง 2 mm/min จำนวนตัวอย่างละ 5 ชิ้นงานทดสอบ ที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการดึงจนชิ้นงานขาดออกจากกัน เพื่อทดสอบหาค่าของ tensile strengths, Young's modulus และ elongation at break

การทดสอบสมบัติทางความร้อน (thermal properties)

จากการใช้เทคนิค Differential Scanning Colorimeter (DSC) ของบริษัท PerkinElmer Instruments รุ่น Pyris Diamond DSC 4000 เพื่อวิเคราะห์หาอุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g), อุณหภูมิ cold crystalline (T_{cc}), ความร้อนแฝงของ cold crystalline (ΔH_{cc}), อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และ ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (ΔH_m) เป็นต้น โดยการนำชิ้นงานใส่ใน aluminum pan 3-5 mg ทำการทดสอบโดยให้ความร้อนจาก 25 ถึง 200°C ที่อัตรา 10°C/min แล้ววิเคราะห์ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวและพลังงานในการหลอมเหลว

การทดสอบความเสถียรภาพทางความร้อน (Thermo Gravimetric Analysis)

เสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์โดยวัดจากเครื่อง TGA ของบริษัท PerkinElmer Instruments รุ่น Pyris Diamond TGA 4000 โดยทำการศึกษาน้ำหนักเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยนำชิ้นส่วนของเม็ดพลาสติกใส่ในแพนประมาณ 10-15 mg เพิ่มอุณหภูมิจาก 30°C เพิ่มขึ้น 10°C/min จนกว่าอุณหภูมิของเครื่องถึง 600°C ภายใต้สภาวะไนโตรเจน ชิ้นงานจะไหม้หมดจนเป็นขี้เถ้า แล้วทำการวิเคราะห์กราฟที่ได้จากการทดสอบโดยวิเคราะห์ที่อุณหภูมิสลายตัวที่สูญเสียน้ำหนัก 50% ($T_{50\%}$)

3. ผลการทดลองและอภิปราย

ในการผลิตแผ่นฟิล์มสารละลายที่ได้จะถูกบรรจุในหลอดฉีดยาให้ได้ปริมาตร 6 ml ฉีดลงในจานเพาะเชื้อแบบแก้ว (petri dish) ขนาด 5x5 cm และปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง [11] ซึ่งจะได้แผ่นฟิล์มที่มีความหนาประมาณ 0.19 mm โดยระยะเวลาในการขึ้นรูปฟิล์มจะมีผลต่อความชื้นของแผ่นฟิล์ม ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติทางกลและทางความร้อนต่อไป

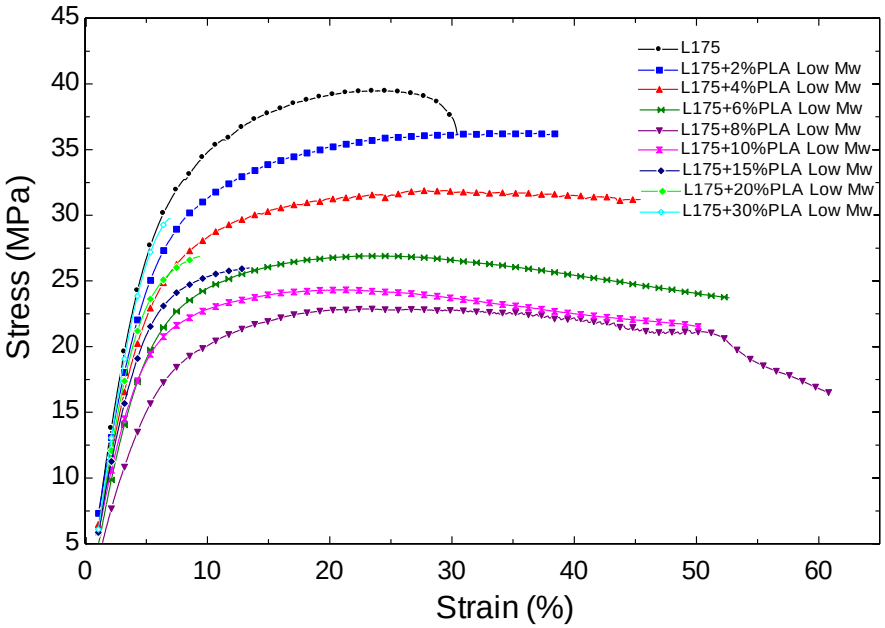
ทดสอบแรงดึง (tensile test)

การวิเคราะห์ค่า tensile modulus จากรูปที่ 1 สรุปผลได้ตามตารางที่ 1 พบว่า L175 มีค่าประมาณ 6.5 MPa เมื่อผสม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำเข้าไปพบว่าค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงจนถึงปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำ 8 wt% ซึ่งมีค่าประมาณ 3.4 MPa และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อผสม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำมากกว่า 8 wt% ซึ่งที่อัตราส่วน 10–30 wt% พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 6 MPa

เมื่อวิเคราะห์ค่า tensile strength พบว่า L175 มีค่าประมาณ 39.4 MPa เมื่อผสม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำเข้าไปพบว่ามีค่าดังกล่าวแนวโน้มลดลงจนถึงปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำ 8 wt% มีค่าประมาณ 22.8 MPa และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อผสม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำมากกว่า 8 wt% จนถึง 30 wt% ซึ่งการเติม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ 30 wt% มีค่า tensile strength ประมาณ 29 MPa

และเมื่อวิเคราะห์ค่า %Strain at Break พบว่า L175 มีค่าประมาณ 30% เมื่อผสม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำเพิ่มมากขึ้นพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำ 8 wt% พบว่ามีค่าสูงที่สุดประมาณ 60% และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำเพิ่มขึ้นเมื่อผสมมากกว่า 8 wt% จนถึงปริมาณ 30 wt% ซึ่งการเติม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ 30 wt% มีค่า strain at break ประมาณ 6%

เนื่องจากโมเลกุลของ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำเข้าไปแทรกในโมเลกุลของ PLA น้ำหนักโมเลกุลสูงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลง สายโซ่โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น วัสดุผสมจึงมีความแข็งแรงลดลง ยืดหยุ่นได้มากขึ้น [12-14] จนถึงที่อัตราส่วน PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำปริมาณ 8 wt% พบว่าวัสดุผสมมีค่า tensile modulus, tensile strength ต่ำสุด และมีค่า %Strain at Break สูงสุด และเมื่อผสม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 8 wt% พบว่าวัสดุผสมมีแนวโน้มค่า tensile modulus, tensile strength เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่า %Strain at Break มีแนวโน้มลดลงอย่างมาก อาจเป็นเพราะว่าเมื่อผสม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำมากเกินไป ความสามารถในการเข้ากันได้ลดลง มีการแยกเฟสเกิดขึ้น เนื่องจากวัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงทำให้วัสดุมีความแข็งเปราะได้สูงขึ้น



รูปที่ 1 Stress-strain curve of L175 and L175+PLA Low Mw blends

ตารางที่ 1 Tensile testing of L175 and L175+PLA Low Mw blends

Sample	Tensile Modulus (MPa)	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Strain at Break (%)
L175	6.6± 0.1	39.4± 0.7	30± 3.2
L175+2% PLA Low Mw	6.3± 0.9	36.2± 0.3	38± 2.7
L175+4% PLA Low Mw	5.6± 0.4	31.8± 0.9	46± 3.5
L175+6% PLA Low Mw	4.6± 0.8	26.9± 0.3	52± 3.6
L175+8% PLA Low Mw	3.4± 0.4	22.8± 0.5	60± 4.2
L175+10% PLA Low Mw	6.0± 0.3	24.3± 0.6	50± 2.3
L175+15% PLA Low Mw	6.2± 0.9	25.0± 0.5	13± 3.1
L175+20% PLA Low Mw	6.5± 0.9	26.8± 0.6	9± 3.8
L175+30% PLA Low Mw	6.1± 0.9	29.0± 0.2	6± 1.6

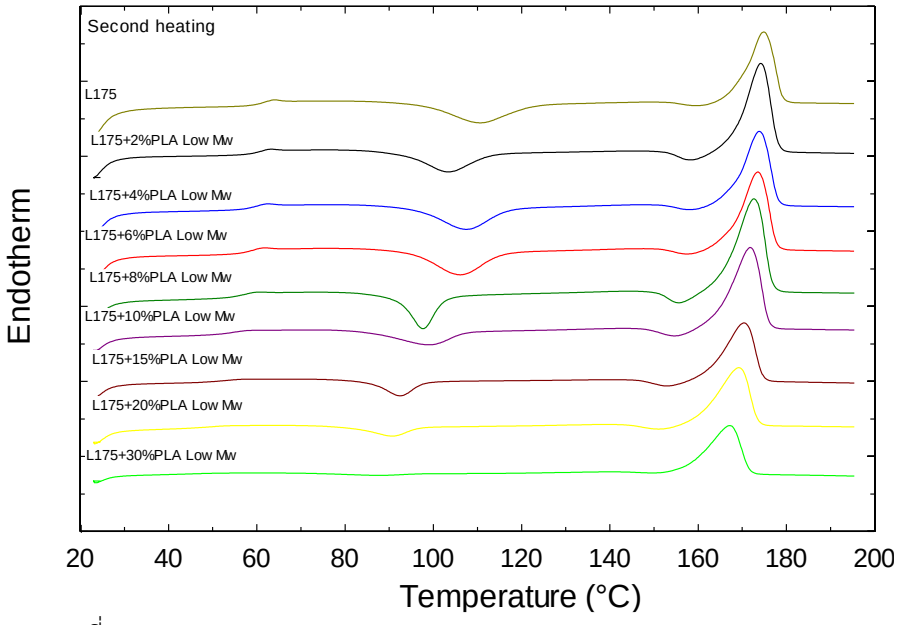
การทดสอบด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ผลการทดสอบด้วยเทคนิค DSC แสดงดังในรูปที่ 2 สรุปในตารางที่ 2 เมื่อวิเคราะห์จาก T_g พบว่า PLA น้ำหนักโมเลกุลสูง เมื่อนำ PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเข้ามาผสม ทำให้ค่า T_g มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เพิ่มขึ้น นั่นคือวัสดุผสมอ่อนตัวได้ง่ายขึ้นเมื่อโดนความร้อน [15, 16] ดังนั้น PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอร์สามารถทำให้พอลิเมอร์มีความอ่อนตัว และเนื่องจากค่า T_g ต่ำลงจึงสามารถหลอมขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น

จากการวิเคราะห์ค่า T_{cc} พบว่าแนวโน้มของ T_{cc} มีค่าลดลงเมื่อมี PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำผสมมากขึ้น เช่นเดียวกับค่า ΔH_{cc} ก็มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ PLA

น้ำหนักโมเลกุลต่ำเข้ามาผสมมากขึ้นเช่นกัน นั่นหมายความว่าผลึกมีความสมบูรณ์มากขึ้นเมื่อผสม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงใช้พลังงานในการเรียงตัวใหม่น้อยกว่า PLA น้ำหนักโมเลกุลสูงอย่างเดียว ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์เป็นไปได้ง่ายขึ้น จึงเกิดการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำลงหรือเกิดการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ได้ง่ายขึ้นนั่นเอง [17, 18]

จากการวิเคราะห์ T_m พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลเคลื่อนที่ได้ง่ายเมื่อโดนความร้อน จึงหลอมเหลวได้เร็วกว่า PLA น้ำหนักโมเลกุลสูง และการใช้พลังงานในการหลอมเหลวมีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณ 46-55 J/g



รูปที่ 2 DSC thermograms for L175 and L175+PLA Low Mw blends

ตารางที่ 2 Second heating DSC data for L175 and L175+PLA Low Mw blends

Sample	T_g (°c)	cold crystallization		Melting	
		ΔH_{cc} (J/g)	T_{cc} (°c)	ΔH_m (J/g)	T_m (°c)
L175	61.2	34.2	110.5	52.8	174.9
L175+2% PLA Low Mw	60.3	26.2	103.2	53.5	174.2
L175+4% PLA Low Mw	59.2	29.2	107.2	46.5	173.7
L175+6% PLA Low Mw	58.4	25.6	106.7	47.7	173.5
L175+8% PLA Low Mw	57.0	21.1	97.7	55.6	172.5
L175+10% PLA Low Mw	54.4	16.3	98.6	53.6	171.7
L175+15% PLA Low Mw	51.7	13.1	92.3	50.4	170.4
L175+20% PLA Low Mw	50.4	8.7	90.5	43.6	169.2
L175+30% PLA Low Mw	47.3	2.8	87.3	47.2	167.1

การทดสอบความเสถียรภาพทางความร้อน (Thermo Gravimetric Analysis)

เนื่องจากความเสถียรทางความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ผสมเข้าไป จึงยกมา 3 ตัวอย่างเพื่อความชัดเจนยิ่งขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3 ผลการทดสอบความเสถียรทางความร้อนของตัวอย่าง PLA น้ำหนักโมเลกุลสูง ผสมเข้ากับ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ปริมาณ 15 wt% และ 30 wt% จะพบว่าตัวอย่างที่ผสม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเสถียรทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง เหตุผลอาจเนื่องมาจากโมเลกุลของ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำมีค่าความเสถียรทางความร้อนน้อยกว่า PLA น้ำหนักโมเลกุลสูง โดย PLA L175 มีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 50% ($T_{50\%}$) ประมาณ 385°C และเมื่อผสม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ปริมาณ 15 wt% ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวที่ 50% ($T_{50\%}$) มีค่าลดลงเหลือ 383°C และอุณหภูมิการสลายตัวลดลงเป็น 381°C เมื่อผสม PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ปริมาณ 30 wt%

ตารางที่ 3 Degradation temperatures 50% of L175 and L175+PLA Low M_w blends

Sample	$T_{50\%}$ (°C)	SD
L175	385	±0.2
L175+15% PLA Low Mw	383	±0.8
L175+30% PLA Low Mw	381	±0.7

4. วิจารณ์และสรุปผล

PLA น้ำหนักโมเลกุลสูงผสมกับ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ที่ทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ละลายในคลอโรฟอร์ม และหล่อขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม จากนั้นนำไปทำการทดสอบสมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน และการเสถียรทางความร้อน

PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่ของ PLA น้ำหนักโมเลกุลสูงทำให้สายโซ่พอลิเมอร์อยู่ห่างกัน ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลง ทำให้ความสามารถในการยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ลดความต้านทานแรงดึง และทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำลง ซึ่งปริมาณที่เหมาะสมในการใช้งานคือ 8 wt% ที่ทำให้ชิ้นงานมีค่าการยืด ณ จุดขาดสูงสุด ความต้านทางแรงดึงและความแข็งลดลง อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคล้ายแก้วมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ชี้ว่า PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ให้กับ PLA น้ำหนักโมเลกุลสูงได้ จึงทำให้ PLA เกิดการยืดตัวได้ง่ายและมีความเหนียวเพิ่มสูงขึ้น

ดังนั้น PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถนำไปใช้เป็นสารช่วยให้พลาสติกชีวภาพอ่อนตัวลง สามารถนำมาทดแทนสารเคมีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความรู้และความอนุเคราะห์สถานที่เพื่อใช้ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

6. บรรณานุกรม

[1] Sombatsompop N, Taptim K, Chaochanchikul K, Thongpin C and Rosarpitak V. (2008). Improvement of Structural and Thermal Stabilities of PVC and Wood/PVC composites by Pb and Zn Stearates, and Zeolite, *Journal of Macromolecular Science. Part A: Pure and Applied Chemistry*, vol. 54, pp. 534-541.

[2] Tungjitpornkull S, Chaochanchaikul K, and Sombatsompop N. (2007). Mechanical Characterization of E-Chopped Strand Glass Fiber Reinforced Wood/PVC Composites, *Journal of*

Thermoplastic Composite Materials, vol. 20, pp. 535-550.

[3] Petchsuk A, Buchatip S, Supmak W, Opaprakasit M, Opaprakasit P (2014). Preparation and properties of multi-branched poly (d-lactide) derived from polyglycidol and its stereocomplex blends, eXPRESS Polym Lett, vol. 8, pp. 779–789.

[4] Nam JY, Okamoto M, Okamoto H, Nakano M, Usuki A, Matsuda M (2006). Morphology and crystallization kinetics in a mixture of low-molecular weight aliphatic amide and polylactide, Polymer, Vol. 47, pp. 1340–1347.

[4] Tsuji H. (2005). Poly(lactide) stereocomplex: formation, structure, properties, degradation, and application, *Macromolecular Bioscience,* vol. 5, pp. 569-597.

[5] Homklin R. and Hongsriphan N. (2013). Mechanical and Thermal Properties of PLA/PBS Cocontinuous Blends Adding Nucleating Agent, *Energy Procedia*, vol. 34, pp. 871–879.

[6] Srithep Y, Nealey P, Turng LS (2013). Effects of annealing time and temperature on the crystallinity and heat resistance behavior of injection-molded poly (lactic acid), Polym Eng Sci. vol. 53, pp. 580–588.

[7] อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล. (2554). พอลิแลคติกแอซิด : พอลิเอสเทอร์จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้, *วิศวกรรมสาร มก*, vol. 77, pp. 99-110.

[8] Luqman M. (2012). Recent Advances in Plasticizers, *Intech Croatia*, pp. 141-144.

[9] Jiang L, Shen T, Xu P, Zhao X, Li X, Dong W, Ma P, Chen M (2016). Crystallization modification of poly (lactide) by using nucleating agents and stereocomplexation, *e-Polymers*, vol. 16, pp. 1–13.

[10] ASTM D638. (2014). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.

[11] Y. Sriwirat and K. Tanta (2015). Formulation development for biodegradable packaging: Polybutylene succinate and cellulose acetate butyrate blends, Naresuan Phayao J. vol. 8, no. 3, pp. 174–177.

[12] Doolittle AK. (1965). Mechanism of Plasticization, *Plasticizer Technology*, New York: Reinhold.

[13] Kern SJ and Darby JR. (1982). The Technology of Plasticizers, *New York: John Wiley & Sons*.

[14] Kirkpatrick A. (1940). Some Relations between Molecular Structure and Plasticizing Effect, *Journal of Applied Physics*. Vol. 11, pp.255–261.

[15] วัฒนศิษย์ ผดุงเศรษฐกิจ. (2553). การลดปริมาณสารไดออกทิลพธาเลทในผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ขึ้นรูปจากพอลิไวนิลคลอไรด์ด้วยผงยางระดับนาโนเมตร, *วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.*

[16] นวดล เพ็ชรวัฒนา. (2554). Plasticization of Poly (vinyl chloride), *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, vol. 13, pp. 30-41.

[17] Maricilla A. and Beltran M. (2017). Handbook of Plasticizers (Third Edition). *ChemTec Publishing*, pp. 119-134.

[18] Wilkes CE., Summers JW. and Daniels CA. (2005). PVC Handbook, *USA: Hanser Gardner*.