

ผลของสารช่วยยืดสายโซ่พอลิเมอร์ และเส้นใยกล้วยต่อสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

Effect of Chain Extender and Banana Fiber on Melt-Processing Properties of Poly (vinyl alcohol)

ยศฐา ศรีเทพ^{1*}, ดรรชนี พหลหาญ², สุพรรณ ยั่งยืน³, อรปรียา เวียงอินทร์⁴

Yottha Srithep¹, Dutchanee Pholharn², Supan Yangyuen³, Onpreeya Veang-in⁴

Received: 16 January 2019; Revised: 6 March 2019; Accepted: 27 March 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของสารช่วยยืดสายโซ่พอลิเมอร์และเส้นใยกล้วยต่อกระบวนการหลอมขึ้นรูปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยการนำเส้นใยกล้วย 0 และ 5 โดยน้ำหนัก สารช่วยยืดสายโซ่พอลิเมอร์ 0, 2 และ 4 โดยน้ำหนัก ผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ด้วยเครื่องผสมภายในที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และหลังจากนั้นทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติกเป็นชิ้นงาน สำหรับทดสอบการดึง จากการศึกษาพบว่า เมื่อผสมสารช่วยยืดสายโซ่โมเลกุลเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าระยะยืดขาด การทนแรงดึง สูงสุด และมอดูลัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารช่วยยืดสายโซ่โมเลกุลเชื่อมโยงโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้าด้วยกัน ซึ่งยืนยันได้จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค FTIR สารช่วยยืดสายโซ่โมเลกุลยังทำให้ความเสถียรทางความร้อนของชิ้นงานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงได้จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณเส้นใยกล้วยเข้าไป จะทำให้ค่าระยะยืดขาดมีค่าลดลง แต่จะทำให้ค่าการทนแรงดึงสูงสุดและมอดูลัสของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ: พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สารช่วยยืดสายโซ่พอลิเมอร์ เส้นใยกล้วย

Abstract

This research aims to study the effect of chain extender and banana fiber on melt processing of poly (vinyl alcohol). 0 and 5 %w/w of banana fiber and 0, 2 and 4 %w/w of chain extender were melt-blended with poly (vinyl alcohol) in an internal mixer at 200°C. The blended materials were then injected into a mold to produce tensile specimens. It was found that chain extender increased elongation at break, tensile strength and tensile modulus because it connected poly (vinyl alcohol) molecules together as verified by structural analysis from FTIR results. Chain extender also caused increased the thermal stability of poly (vinyl alcohol) as analyzed by TGA technique. Furthermore, banana fiber could reduce elongation at break but increase tensile strength and modulus of poly (vinyl alcohol).

Keywords: poly (vinyl alcohol), chain extender, banana fiber

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

² อาจารย์ ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

⁴ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Asst. Prof., Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150, Thailand., Email: yottha.s@msu.ac.th

² Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajaphat Maha Sarakham University, Mahasarakham 44000, Thailand.

³ Asst. Prof., Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150, Thailand.

⁴ PhD Student of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150.

* Corresponding author; Yottha Srithep, Faculty of Engineering Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand. Email: yottha.s@msu.ac.th

บทนำ

สมบัติด้านความทนทานของพลาสติกทำให้พลาสติกเป็นวัสดุที่ใช้กันมากตั้งแต่ปี พ.ศ.2519 จนถึงปัจจุบัน พลาสติกถือได้ว่าเป็นวัสดุที่ใช้กันมากที่สุดในโลกมีการผลิตพลาสติกประมาณ 100 ล้านตันต่อปี ซึ่งถูกใช้เป็นบรรจุอาหาร วัสดุก่อสร้างของเด็กเล่น รวมไปถึงของใช้ต่างๆ อีกนานัปการ จึงไม่ต้องสงสัยว่ามนุษย์เรากำลังอยู่ในยุคของพลาสติก อย่างไรก็ตามด้วยคุณสมบัติที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ อีกทั้งมีความทนทานทำให้เกิดความวิตกกังวลขึ้นเกี่ยวกับขยะพลาสติกในโลกที่เพิ่มมากขึ้นทุกปี¹

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพลาสติกที่ละลายน้ำและเป็นผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมีที่ได้รับความนิยมที่ใช้กันในปัจจุบัน เนื่องจากไม่มีกลิ่น สี สามารถย่อยสลายและไม่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม² นอกจากนี้จะสามารถละลายในน้ำแล้วยังสามารถละลายในเอทานอลได้เล็กน้อย แต่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายชนิดอื่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพลาสติกทางเลือกหนึ่งที่มีคุณสมบัติของพลาสติกที่ไม่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม³ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับอุณหภูมิเกิน 180 °C เนื่องจากน้ำที่ถูกกำจัดออกจากโครงสร้างทางเคมี การสลายตัวของพันธะเคมียังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง จุดหลอมเหลวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีค่าอยู่ระหว่าง 180 ถึง 240 °C ขึ้นอยู่กับระดับของการไฮโดรไลซิส⁴ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกจำกัดการใช้งานเฉพาะการละลายน้ำและการหล่อฟิล์ม⁵ นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องใช้พลังงานและเวลาเพื่อที่จะละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และทำให้แห้ง ดังนั้นการผลิตชิ้นงานที่สามารถขึ้นรูปได้โดยการหลอม เช่น การฉีด (injection molding) จะมีความได้เปรียบมากกว่า อย่างไรก็ตามการทำให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเสถียรทางความร้อนจากการหลอมยังไม่ได้มีการศึกษามากนัก⁶ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มคุณสมบัติทางความร้อนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีการศึกษาพบว่าการผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับพลาสติกไซเซอรอลทำให้จุดหลอมเหลวลดลงซึ่งช่วยลดการสลายตัว นอกจากนี้ยังพบว่าสารช่วยยืดสายโซ่พอลิเมอร์ (chain extender) ทำให้พลาสติกที่สลายตัวของสายโซ่ประกอบไปด้วยคาร์บอนซิล และไฮดรอกซิล เช่น PLA มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งส่งผลทำให้มีความเสถียรทางความร้อนมากขึ้น⁷ นอกจากนี้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ยังถูกนำไปผสมกับวัสดุธรรมชาติชนิดอื่นที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ การผสมเส้นใยธรรมชาติสามารถทำให้เพิ่มคุณสมบัติทางกลโดยไม่กระทบต่อการย่อยสลายตามธรรมชาติ โครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษากการหลอมผสมและขึ้นรูปพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยใช้เส้นใยกล้วยเป็นตัวเสริมแรงและ

ลดต้นทุนของชิ้นงานโดยมีสารช่วยยืดสายโซ่พอลิเมอร์ที่นำจะช่วยให้การสลายตัวของพันธะเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลดลง ซึ่งยังไม่มีรายงานการวิจัยมาก่อน และการใช้พลาสติกไซเซอรอลเพื่อลดจุดหลอมเหลวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) เกรด JP-18Y มีเปอร์เซ็นต์ hydrolysis ประมาณ 87.0-89.0%⁸ ซึ่งมาจากบริษัท Japan VAM & POVAL Co., LTD, Tokyo, Japan มีน้ำหนักโมเลกุล (Mw) จากข้อมูลของผู้ผลิต อยู่ในช่วง 13,000- 23,000 g/mol พลาสติกไซเซอรอลชนิด กลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งมาจากบริษัทเคมีภัณฑ์ เส้นใยกล้วยได้มาจากการแยกเชิงกลจากลำต้นกล้วยใน จ.มหาสารคาม เส้นใยถูกล้างด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ NaOH ความเข้มข้น 4% แล้วนำเส้นใยลงแช่ไว้ประมาณ 2 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำไปล้างกับน้ำเปล่าและผสมกรดไฮโดรคลอริก (ความเข้มข้น 1 %v/v) และล้างออกจนมีสภาพเป็นกลาง เส้นใยที่ได้มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 μm เอาเส้นใยที่ล้างเสร็จแล้วมาตากให้แห้งหลังจากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสประมาณ 12 ชั่วโมง และสารช่วยยืดสายโซ่พอลิเมอร์ (Joncryl ADR-4368-C) เกรด Joncryl-4368 C ซึ่งมาจาก BASF (USA) ประกอบด้วยโครงสร้าง hydroxyl, carboxylic acid, anhydride, amine and epoxy groups โดยสารช่วยยืดสายโซ่โมเลกุลและเส้นใยกล้วยมีองค์ประกอบตาม Table 1

2. นำพลาสติก PVOH ไปผสมกับพลาสติกไซเซอรอลชนิด glycerol เส้นใยกล้วย และสารช่วยยืดสายโซ่พอลิเมอร์ (chain extender; CE) ที่ปริมาณต่างๆ ดังแสดงใน Table 2 โดยใช้เครื่องผสมภายใน (Internal Mixer) โดยใช้ความเร็วรอบที่ 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้คือ 190 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้เท่ากับ 4 นาที

Table 1 Configuration of material

Material	Element
สารช่วยยืดสายโซ่พอลิเมอร์ (chain extender; CE) ¹⁰	อีพ็อกซีเมื่อเทียบกับน้ำหนัก : 270-300 (กรัมต่อโมล)
เส้นใยกล้วย ⁹	เซลลูโลส 60 to 65%, ลิกนิน 5 to 10%

Table 2 Percent composition (by weight) of the materials compounded.

Sample	PVOH (wt%)	Glycerol (wt%)	Banana fibers (wt%)	CE (wt%)
PVOH+20%gly	80	20	-	-
PVOH+20%gly+2%CE	78	20	-	2
PVOH+20%gly+4%CE	76	20	-	4
PVOH+20%gly+5%ba	75	20	5	
PVOH+20%gly+2%CE+5%ba	73	20	5	2
PVOH+20%gly+4%CE+5%ba	71	20	5	4

3. นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการผสมแล้วเข้าเครื่องบดเพื่อเตรียมทำการฉีดขึ้นรูป (injection Molding) เป็นชิ้นงานทดสอบการดึงพลาสติก ในขั้นตอนต่อไปโดยใช้ความร้อนในการฉีดพลาสติก 200 องศาเซลเซียส เป็นชิ้นงาน แล้วทดสอบการดึงตามมาตรฐาน ASTM D638 เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

การทดสอบ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

โครงสร้างทางเคมีของ PVOH และส่วนผสมกับ glycerol, chain extender ถูกวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR ที่ความยาวคลื่นจาก 800 ถึง 3600 cm⁻¹ ด้วยเครื่อง Bruker Tensor27 FTIR spectrometer โหมด Attenuated Total Reflection (ATR) และถูกบันทึกด้วยโปรแกรม OPUS 7.0

การทดสอบสัณฐานวิทยา (Scanning electron microscopy)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของตัวอย่างที่ถูกทดสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น LEO 1450VP 10 กิโลโวลต์ โดยตัวอย่างทั้งหมดถูกพ่นเคลือบทองด้วยชั้นบาง 20 นาโนเมตร ก่อนที่จะมีการทดสอบ

การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

นำชิ้นงานที่ผ่านการผสมและฉีดขึ้นรูปแล้วมาทดสอบ tensile test ตามมาตรฐาน ASTM D638-10 ซึ่งมีความเร็วในการดึง 50 mm/min โดยชิ้นงานยาว 57 มม. กว้าง 13 มม.หนา 3.2 มม. และมี initial load ประมาณ 0.5 นิวตัน ที่อุณหภูมิห้อง ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Narin Instrument Co. Ltd., Model: NRI-TS500-2S) ชิ้นงานในแต่ละสูตรการทดลองถูกทำการทดลองดึง 5 ครั้งและผลที่ได้ถูกนำมาหาค่าเฉลี่ย

การทดสอบความเสถียรภาพทางความร้อน (Thermo Gravimetric Analysis)

นำชิ้นงานที่ผ่านการผสมและการอัดขึ้นรูปแล้วมาทำการทดสอบด้วยเครื่อง TGA 4000 (Perkin-Elmer, MA,

USA) จากอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถึง 600 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะไนโตรเจน ด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยทำการทดลองซ้ำ 1 ครั้ง

ผลการทดลองและอภิปราย

การหลอมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และสารช่วยยืดสายโซ่พอลิเมอร์ปริมาณ 2 wt% และ 4 wt% ถูกแสดงใน Figure 1 จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อผสมสารช่วยยืดสายโซ่พอลิเมอร์ในปริมาณต่างๆ กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ Glycerol 20 wt% และจาก Figure 2 เป็นการแสดงการทำงานของสารช่วยยืดสายโซ่โมเลกุล ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อสายโซ่พอลิเมอร์ที่ขาดออกจากกัน ทำให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเชื่อมต่อโมเลกุลได้ยาวขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงมากขึ้น

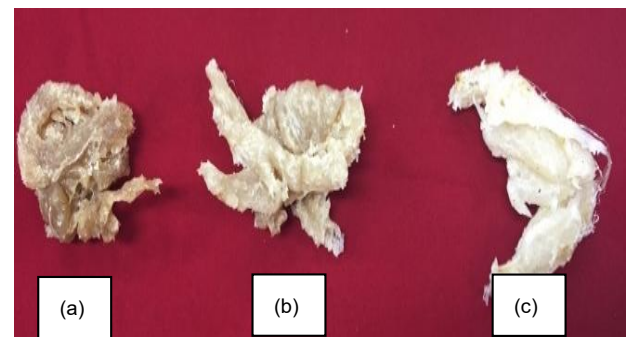


Figure 1 Polyvinyl alcohol blend with 20 wt% Glycerol and (a) 0 wt% (b) 2 wt% และ (c) 4 wt% chain extender

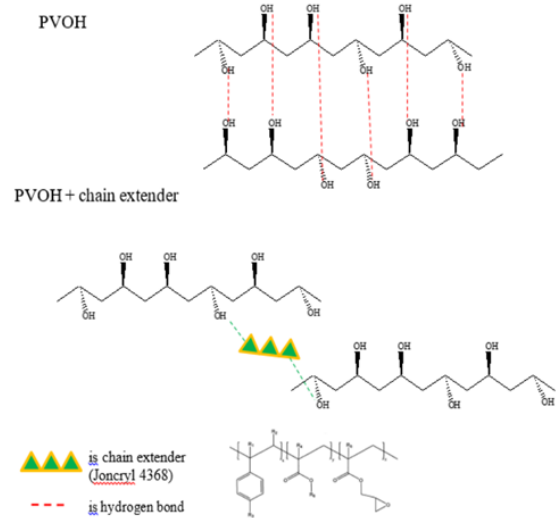


Figure 2 Molecular structure model of PVOH with chain extender

โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR

Figure 3 แสดง FTIR spectra และตารางที่ 3 แสดงความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆในตัวอย่าง จะเห็นได้ว่า PVOH มีพีคของการดูดกลืนอยู่ระหว่าง

3550 และ 3200 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของหมู่ O-H จากแรงยึดเหนี่ยวภายใน และภายนอกโมเลกุล ประเภทพันธะไฮโดรเจน⁹ การสั่นของช่วงระหว่าง 2840-3000 cm^{-1} แสดงถึง C-H stretching จากหมู่แอลคิล และการสั่นระหว่าง 1750-1735 cm^{-1} เกิดจาก C=O และ C-O stretching ของหมู่เอซิติทที่หลงเหลือใน PVOH

สำหรับ FTIR spectra ของ glycerol ปรากฏพีกการดูดกลืนที่สำคัญคือ 3550 และ 3200 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) และการสั่นของช่วงระหว่าง 2840-3000 cm^{-1} แสดงถึง C-H stretching จากหมู่แอลคิล

ชิ้นงาน PVOH+20 wt% gly พบพีกที่เลขคลื่น 3550-3200 cm^{-1} ของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) มีความเข้มสูงชันมากกว่า PVOH เนื่องจาก glycerol ประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่มีปริมาณสูง เมื่อรวมกันกับปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลของ PVOH จึงทำให้พีกมีความเข้มสูงชัน

chain extender (CE) แสดงพีกของหมู่ epoxy อยู่ที่เลขคลื่น 860 และ 1255 cm^{-1} ซึ่งเป็นคลื่นของ oxirane ของหมู่ epoxy¹⁰

ตัวอย่าง PVOH+20wt%gly+4wt%CE มีลักษณะคล้ายกับ PVOH+20wt%gly ซึ่งแสดงให้เห็นว่า chain extender ไม่ส่งผลต่อโครงสร้างหลักของ PVOH มากนัก แต่สังเกตว่าที่ความถี่ประมาณ 1700 cm^{-1} ที่บ่งบอกถึงพีกของหมู่คาร์บอนิลมีการเคลื่อนตำแหน่งเล็กน้อยดังแสดงใน Figure 4 และพบว่าไม่ปรากฏพีกที่เลขคลื่น 860 และ 1255 cm^{-1} ที่แสดงถึงหมู่ epoxy ของ chain extender โดยคาดว่าเกิดจากการที่หมู่อีพอกซีถูกใช้หมดไปในการเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของ PVOH และอาจส่งผลให้โมเลกุลของ PVOH แต่ละโมเลกุลถูกเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน โดยตัวอย่างที่ใส่เส้นใยกล้วยมีลักษณะพีกคล้ายคลึงกับชิ้นงานที่ไม่ได้ใส่เส้นใยกล้วย

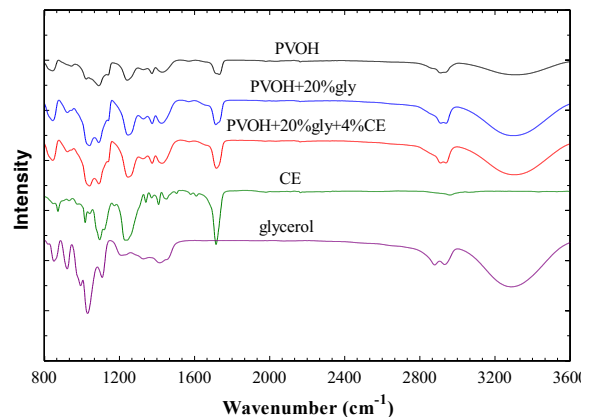


Figure 3 FTIR spectra of PVOH, Chain extender, Glycerol, PVOH+20%gly and PVOH+20%gly+4%CE

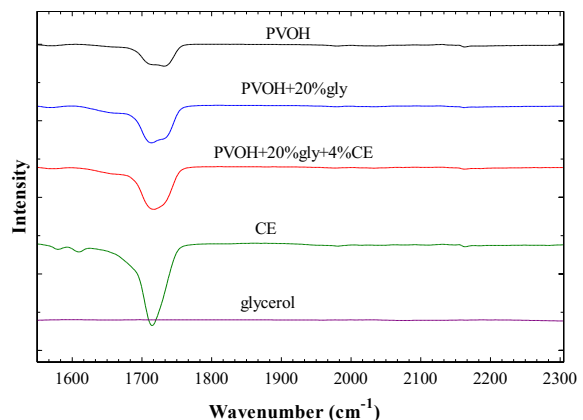


Figure 4 FTIR spectra of PVOH, Chain extender, Glycerol, PVOH+20%gly and PVOH+20%gly+4%CE rang wave 1600 to 2300 cm^{-1}

Table 3 The frequency of absorbing infrared radiation of various staging groups in the sample

Example	Wave number (cm^{-1})	Function group	Refer
PVOH	3550-3200	O-H stretching จากแรงยึดเหนี่ยวภายใน และภายนอกโมเลกุล ประเภทพันธะไฮโดรเจน	
	2840-3000	C-H stretching จากหมู่แอลคิล	
	1750-1735	C=O และ C-O stretching ของหมู่อะซิเตท ที่หลงเหลือใน PVOH	
PVOH+20wt%gly	3550-3200	O-H stretching จากแรงยึดเหนี่ยวภายใน และภายนอกโมเลกุล ประเภทพันธะไฮโดรเจน	(Mansur, Sadahira et al. 2008) ⁹
	1750-1735	C=O และ C-O stretching ของหมู่อะซิเตท ที่หลงเหลือใน PVOH	
PVOH+20wt%gly+4%CE	3550-3200	O-H stretching จากแรงยึดเหนี่ยวภายใน และภายนอกโมเลกุล ประเภทพันธะไฮโดรเจน	
	1750-1735	C=O และ C-O stretching ของหมู่อะซิเตท ที่หลงเหลือใน PVOH	
CE	860, 1255	Oxirane ของหมู่ epoxy	(Olsson 2012) ¹⁰
glycerol	3550-3200	O-H stretching ของหมู่ไฮดรอกซิล	(Nanda, Yuan et al. 2014) ¹¹
	2840-3000	C-H stretching จากหมู่แอลคิล	

สัณฐานวิทยา

ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการฉีด (injection molding) ถูกนำมาแช่ไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen) แล้วหัก และทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวบริเวณรอยหักโดยใช้กำลังขยายในการศึกษาที่เท่ากัน (scale bar: 50 μm) จาก Figure 5 (a) จะเห็นได้ว่าพื้นผิวเมื่อมีปริมาณ glycerol เป็น 20 wt% มีความเรียบ ซึ่งแสดงว่าชิ้นงานมีความเหนียว โดยจากผลสมบัติทางกลจะเห็นว่า PVOH เมื่อเติม glycerol สามารถทำให้วัสดุมีความยืดหยุ่น มีระยะยืดขาดเพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้ผลทางสัณฐานวิทยาของ PVOH ที่มีเส้นใยกล้วย 5wt% ถูกแสดงใน Figure 5 (b) ที่มีปริมาณ glycerol 20wt% ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าไม่มีช่องว่างระหว่าง PVOH และเส้นใยเกิดขึ้น ดังเช่นงานวิจัยก่อนหน้านี้¹² แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและ PVOH ซึ่งเป็นวัสดุที่ละลายน้ำได้ และเส้นใยกล้วยซึ่งเป็นเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบจึงสามารถเข้ากันได้กับ PVOH ได้ และมีคุณสมบัติทางกลเพิ่มขึ้น

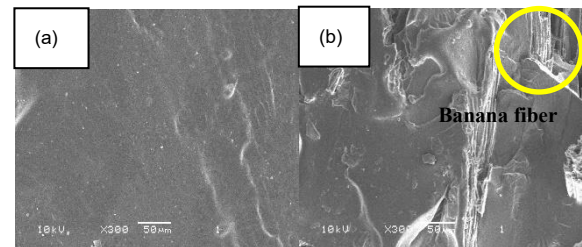


Figure 5 SEM micrographs of fractured surfaces of (a) PVOH+20 wt%gly (b) PVOH+20 wt%gly+5 wt%ba

ทดสอบแรงดึง (tensile test)

ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด Figure 6 และ Table 4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณ chain extender 2 wt% และ 4 wt% ที่ถูกผสมเข้ากับ PVOH ที่มีปริมาณ glycerol 20 wt% ทำให้สมบัติทางกล (tensile strength modulus และระยะยืดขาด) เพิ่มขึ้น โดยค่า tensile strength ของ PVOH+20 wt%glycerol มีค่าประมาณ 6.4 ± 0.7 MPa เมื่อปริมาณ chain extender ถูกผสม 2 wt% ค่า tensile strength เพิ่มขึ้นเป็น 7.0 ± 0.6 MPa และเพิ่มขึ้นอีกเมื่อ chain extender ถูกผสม 4 wt% โดยมีค่า tensile strength ประมาณ 7.2 ± 0.9 MPa นอกจากนี้ค่า tensile modulus และ elongation at break ก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ค่า tensile modulus ของ PVOH+20 wt%glycerol มีค่าประมาณ 11.3 ± 1.5 MPa เมื่อผสม chain extender 2 wt% และ 4 wt% ทำให้ค่า tensile modulus เพิ่มขึ้นเป็น $21.1 \pm$

0.9 และ 13.4 ± 2.4 MPa ตามลำดับ การที่สมบัติทางกลเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ chain extender เพิ่มขึ้น เกิดจากหมู่ epoxy ของ chain extender ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับสายโซ่พอลิเมอร์หมู่ไฮดรอกซิลของ PVOH เข้าด้วยกัน ดังแสดงใน Figure 2 ส่งผลให้ความยาวของสายโซ่โมเลกุลของ PVOH เพิ่มขึ้น สมบัติทางกลจึงเพิ่มขึ้นด้วย โดยจากตัวอย่างการใช้ chain extender ผสมกับ PLA และ PET จากการวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่าช่วยเพิ่มสมบัติทางกลให้กับวัสดุผสม ดังกล่าว^{13, 14}

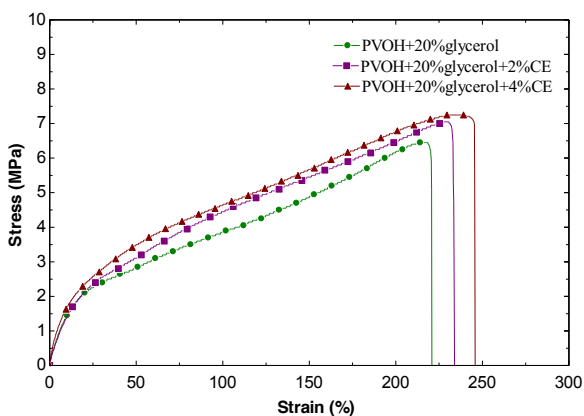


Figure 6 Stress-strain curve of polyvinyl alcohol, glycerol and chain extender blends

ผลการทดสอบการดึงของชิ้นงาน PVOH ที่ผสม glycerol 20 wt% และเส้นใยกล้วย 5 wt% ดังแสดงใน Figure 7 และ Table 4 จะเห็นว่าเมื่อเติมเส้นใยกล้วย 5 wt% ทำให้ค่า tensile modulus เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยกล้วยเข้าไปเสริมแรงทำให้วัสดุมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ค่า tensile strength และค่าระยะยืดก่อนขาดมีค่าลดลง เพราะว่าเมื่อเส้นใยเพิ่มมากขึ้นจะทำให้วัสดุมีความยืดหยุ่นลดลง ส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงเพราะได้ง่ายกว่า ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเส้นใยกล้วยทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรงทำให้ค่า tensile modulus เพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Srithep et al.^{14,15} ที่นำเส้นใยกล้วยและ nanocellulose ผสมกับ PVOH และเมื่อทำการผสม chain extender กับ glycerol 20 wt% และเส้นใยกล้วย 5wt% พบว่าค่า tensile modulus ค่า tensile strength และระยะยืดก่อนขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับยังไม่เติม chain extender ซึ่งแสดงให้เห็นว่า chain extender เป็นสารที่ทำหน้าที่ยืดสายโซ่โมเลกุลของ PVOH

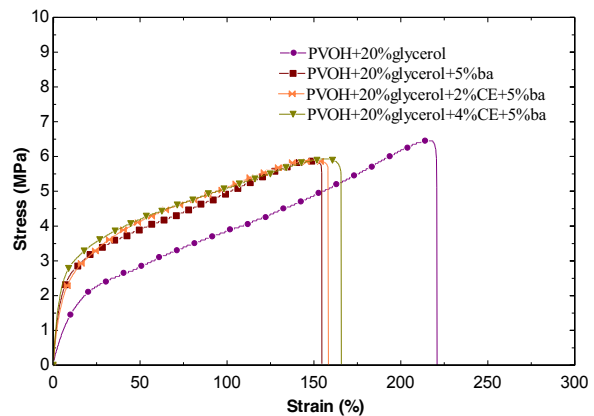


Figure 7 Stress-strain curve of polyvinyl alcohol, glycerol, sisal and chain extender blends

Table 4 Tensile testing of polyvinyl alcohol, glycerol, banana fiber and chain extender blends

Sample	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (MPa)	Strain at Break (%)
PVOH+20%gly	6.4± 0.7	11.3± 1.5	221± 20.1
PVOH+20%gly+2%CE	7.0± 0.6	12.1± 0.9	233± 21.8
PVOH+20%gly+4%CE	7.2± 0.9	13.4± 2.4	245± 25.2
PVOH+20%gly+5%ba	5.7± 0.4	20.3± 2.3	155± 12.6
PVOH+20%gly+2%CE+5%ba	5.8± 0.6	20.6± 2.6	157± 15.7
PVOH+20%gly+4%CE+5%ba	5.9± 0.8	21.4± 2.9	165± 16.4

ความเสถียรทางความร้อน (TGA)

Figure 8 และ Table 5 แสดงผลการทดสอบความเสถียรทางความร้อนของ PVOH ที่มี chain extender 2wt% และ 4wt% จะเห็นว่าเมื่อปริมาณ chain extender เพิ่มขึ้นทำให้ความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้น เหตุผลอาจเนื่องมาจากโมเลกุลของ PVOH ขณะที่ยังไม่มี chain extender มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นชนิดพันธะไฮโดรเจน³ แต่เมื่อมีการผสม chain extender จะทำให้โมเลกุลของ chain extender ซึ่งมีหมู่ epoxy สร้างพันธะระหว่างโมเลกุลของ PVOH ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น และเพิ่มความยาวของสายโซ่โมเลกุลทำให้สายตัวยากขึ้น แบบจำลองโครงสร้างโมเลกุลของ PVOH เมื่อมี chain extender โดย PVOH+20wt%glycerol มีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 50% (T_{50%}) ที่ 350 °C เมื่อผสม 2wt% chain extender ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้นเป็น 363 °C และการผสม 4wt% chain extender ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้นอีกเป็น 380 °C

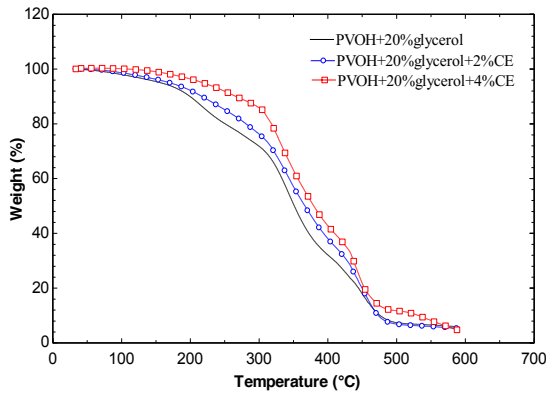


Figure 8 TGA curves for PVOH+20 wt% glycerol adding 2 wt% and 4 wt% chain extender

จาก Figure 9 และ Table 5 แสดงผลการทดสอบความเสถียรทางความร้อนของ PVOH ที่มี chain extender 2wt% และ 4wt% และเส้นใยกล้วย 5wt% จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณ chain extender เพิ่มขึ้น ทำให้ความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยต่างกับตัวอย่าง PVOH+glycerol ที่ไม่มีเส้นใยซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของความเสถียรทางความร้อนสูงกว่าเมื่อเติม chain extender

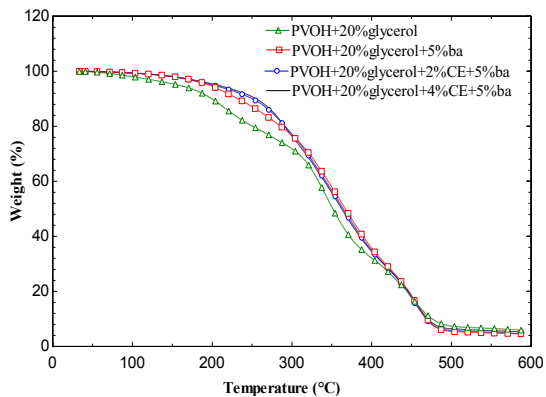


Figure 9 TGA curves for PVOH+20 wt% glycerol adding chain extender and 5 wt% banana fibers

Table 5 Degradation temperatures 50% of polyvinyl alcohol, glycerol, banana fiber and chain extender blends

	T _{50%} (°C)	SD
PVOH+20%gly	350	±0.7
PVOH+20%gly+2%CE	363	±1.1
PVOH+20%gly+4%CE	380	±0.9
PVOH+20%gly+5%ba	360	±1.6
PVOH+20%gly+2%CE+5%ba	363	±1.2
PVOH+20%gly+4%CE+5%ba	366	±1.3

วิจารณ์และสรุปผล

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) ผสมกาลีเซอร์อล สารช่วยยืดสายโซ่และเส้นใยกล้วยถูกผสมด้วยเครื่องผสมภายในและฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบการดึง จากนั้นนำไปทำการทดสอบคุณสมบัติทางกล คุณสมบัติทางความร้อน การเสถียรทางความร้อน และโครงสร้างโมเลกุล

สารช่วยยืดสายโซ่ (chain extender) ทำให้โมเลกุลของ PVOH เชื่อมโยงเข้าด้วยกันและส่งผลให้สมบัติทางกล ความเสถียรทางความร้อนสูงขึ้น และมีการสลายตัวทางความร้อนช้าลง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า chain extender มีความจำเป็นสำหรับการหลอมขึ้นรูป PVOH เพื่อป้องกันการสลายตัวเนื่องจากอุณหภูมิระหว่างกระบวนการหลอม

เส้นใยกล้วยสามารถเข้ากันได้ดีกับ PVOH เนื่องจาก PVOH เป็น hydrophilic การผสมเส้นใยกล้วยใน PVOH ส่งผลให้การทนแรงดึงและค่าโมดูลัสของ PVOH มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การผสมเส้นใยกล้วยยังทำให้ต้นทุนของวัสดุถูกลงด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (Grant No. ENINT 02/2558) ที่ให้ความรู้และความอนุเคราะห์สถานที่เพื่อใช้ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

บรรณานุกรม

1. Garlotta DJ. (2001). "A literature review of poly(lactic acid)". Journal of Polymers and the Environment, 9-63.
2. Shuai X, He Y, Asakawa N and Inoue Y. (2001). "Miscibility and Phase Structure of Binary Blends of Poly(L-lactide) and Poly(vinyl alcohol)". Journal of Applied Polymer Science: 81-762.
3. Goodship V. and D. Jacobs. (2009). Polyvinyl alcohol: materials, processing and applications, Smithers Rapra Technology.
4. Eliassaf J. (1972). "Detection of small quantity of Poly(vinyl alcohol) in poly(vinyl chloride) resins". Polymer Letters. 16, 225-235.
5. Alexy, P., et al. (2004). "Effect of melt processing on thermo-mechanical degradation of poly (vinyl alcohol)". Polymer Degradation and Stability 85(2): 823-830.

6. Jang, J. and D. K. Lee. (2003). "Plasticizer effect on the melting and crystallization behavior of polyvinyl alcohol. *Polymer* 44(26): 8139-8146.
7. Srithep, Y., et al. (2011). "Processing and characterization of recycled poly (ethylene terephthalate) blends with chain extenders, thermoplastic elastomer, and/or poly (butylene adipate-co-terephthalate)". *Polymer Engineering & Science* 51(6): 1023-1032.
8. Pratik MW, Pankaj GB and Shrishail BS. (2017). "Review on Mechanical Properties of Banana Fiber Biocomposite". *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*: 846-850.
9. Mansur, H. S., et al. (2008). "FTIR spectroscopy characterization of poly (vinyl alcohol) hydrogel with different hydrolysis degree and chemically crosslinked with glutaraldehyde". *Materials Science and Engineering: C* 28(4): 539-548.
10. Olsson, S. (2012). Enhancing UV-protection of clear coated wood by utilizing reactive UV-absorber and epoxyfunctionalized soybean oil, KTH Royal Institute of Technology.
11. Nanda, M., et al. (2014). "Purification of crude glycerol using acidification: effects of acid types and product characterization". *Austin Journal of Chemical Engineering* 1(1): 1-7.
12. Srithep Y, Pholharn D, Veang-in O and Yangyuen S. (2017). "Effect of banana fibers and plasticizer on melt processing of poly(vinyl alcohol)". *Journal of Polymer Engineering* 37 (4): 335-343.
13. Pilla, S., et al. (2009). "Microcellular injection-molding of polylactide with chain-extender". *Materials Science and Engineering: C* 29(4): 1258-1265.
14. Srithep, Y., et al. (2012). "Nanofibrillated cellulose (NFC) reinforced polyvinyl alcohol (PVOH) nanocomposites: properties, solubility of carbon dioxide, and foaming". *Cellulose* 19(4): 1209-1223.
15. Arruda, L. C., et al. (2015). "Influence of chain extender on mechanical, thermal and morphological properties of blown films of PLA/PBAT blends". *Polymer Testing* 43: 27-37.