บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาพลาสติกชีวภาพชนิดใหม่ สำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ที่สามารถต้านการเกิดฝ้า และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA CAB และ T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยวิธีหล่อจากสารละลาย (Solution cast blend) โดยใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไปวัดสมบัติต่างๆ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ (ความใสและลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม) สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ และความสามารถในการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน รวมถึงการวัดค่ามุมสัมผัส การทดสอบประสิทธิภาพการต้านทานการเกิดฝ้าของฟิล์มและวิเคราะห์องค์ประกอบที่เหลืออยู่ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อผ่านการทดสอบประสิทธิภาพต้านทานการเกิดฝ้าแล้ว

จากการวิเคราะห์พอลิเมอร์เริ่มต้น PLA และCAB ก่อนนำไปใช้ พบว่าเป็นสารบริสุทธิ์ไม่มีสารอื่นเจือปน โดยที่ PLA และ CAB ที่ใช้มีค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด เท่ากับ 6.03×10^4 และ 7.94×10^4 $gmol^{-1}$ ตามลำดับ เมื่อนำ PLA และ CAB มาผสมร่วมกับ T80 ซึ่งใช้ไม่เกิน 20 %wt. ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าการเติม T80 มีอิทธิพลต่อสมบัติในด้านต่างๆ ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโดยเฉพาะฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ประกอบด้วย PLA มากกว่า CAB กล่าวคือ T80 จะเข้าไปแทรกอยู่ในบริเวณอสัณฐานภายในโครงสร้างของ PLA และ CAB แต่โครงสร้างของ CAB มีขนาดใหญ่และซับซ้อนกว่า PLA มาก จึงทำให้ T80 เข้าไปแทรกอยู่ในแมทริกซ์ของพอลิเมอร์ CAB ได้ยากกว่าใน PLA ทำให้ PLA มีปริมาตรอิสระมากกว่า CAB สายโซ่ PLA จะสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระง่ายขึ้น จึงเหนี่ยวนำให้เกิดการจัดเรียงตัวเป็นผลึกได้ง่าย จะเห็นได้จากผล DSC ซึ่งพบว่าพอลิเมอร์ PLA ที่เติม T80 จะมีค่า T_g ลดลงและมีปริมาณผลึกเพิ่มขึ้น (ΔH เพิ่มขึ้น) และสอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติเชิงกลซึ่งพบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มี PLA เป็นองค์ประกอบหลัก จะมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้นมากกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มี CAB เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อใช้ T80 เพิ่มมากขึ้นถึง 10%wt. นอกจากนี้ T80 ยังทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเข้ากันได้ เนื่องจากการผสมกันระหว่าง PLA และ CAB ที่อัตราส่วน 50/50 จากผล DSC พบว่าปรากฏพีค T_g สองค่า คือ 52.13 และ 106.20 องศาเซลเซียส(ดังรูป 3.28) โดย T_g ของ PLA และ CAB มีค่าเท่ากับ 58.54 และ 108.55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงความไม่เข้ากันของ PLA และ CAB โดยผลสอดคล้องกับภาพถ่าย SEM ซึ่งพบว่าเกิดการแยกเฟสโดยปรากฏเฟสของ CAB ซึ่งมีขนาดใหญ่กระจายตัวบน PLA แต่เมื่อเติม T80 ลงในฟิล์มทุกชนิด ทำให้เกิดความเข้ากันระหว่าง PLA กับ CAB เนื่องจากปรากฏ T_g เพียงค่าเดียว

สำหรับผลการทดสอบด้านบรรจุภัณฑ์ พบว่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำและการแพร่ผ่านออกซิเจนของฟิล์ม CAB สูงกว่า PLA และฟิล์มจะมีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำและการแพร่ผ่านออกซิเจนเมื่อใช้ T80 มากขึ้นและต่ำสุดเมื่อเติม T80 10%wt. ส่วนฟิล์ม CAB จะมีการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นโดยสูงสุดที่ 10% wt. นอกจากนี้ความสามารถในการซึมผ่านออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในฟิล์มในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มี CAB เป็นองค์ประกอบมากขึ้น รวมทั้งเมื่อมีปริมาณ T80 เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

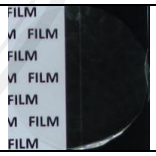
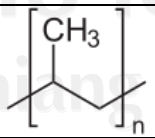
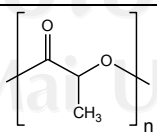
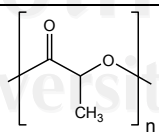
ผลการทดสอบประสิทธิภาพการต้านทานเกิดฝ้าพบว่า ฟิล์มที่มี T80 สามารถต้านการเกิดฝ้าได้มากกว่าฟิล์มที่ไม่มี T80 แนวโน้มของฟิล์มอัตราส่วนต่างๆ มีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดฝ้าเพิ่มขึ้นเมื่อ T80 มากขึ้น ซึ่งการต้านการเกิดฝ้า จะมีประสิทธิภาพมากเมื่อผสม T80 ในฟิล์มPLA บริสุทธิ์ โดยที่เติม T80 เท่ากับ 20%wt. จะทำให้ฟิล์มมีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดฝ้าดีที่สุด เนื่องจากไม่ปรากฏการเกิดฝ้าในช่วงการทดสอบ Hot และ Cold fog test เลย นอกจากนี้เมื่อตรวจสอบ T80 ที่อยู่ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมหลังการทดสอบประสิทธิภาพการต้านการเกิดฝ้า พบว่ายังคงปรากฏพีคหมู่ฟังก์ชันใน T80 อยู่ครบ แต่มีความเข้มของพีคลดลงในบางอัตราส่วนของฟิล์มเท่านั้น เมื่อทดสอบ Hot fog test ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการผสม T80 ในเนื้อฟิล์มพอลิเมอร์นั้นจะช่วยชะลอไม่ให้ T80 หลุดออกจากฟิล์มได้ จึงทำให้สามารถลดการเกิดฝ้าบนผิวฟิล์มได้นานขึ้น

เมื่อนำสูตรฟิล์มที่สามารถต้านการเกิดฝ้าได้ดีที่สุดในงานวิจัยนี้ คือ PLA ที่เติม T80 20%wt. มาเปรียบเทียบสมบัติกับฟิล์มทางการค้า BOPP (Biaxially oriented propylene) ที่ต้านการเกิดฝ้า (Antifog film) รุ่น HAF243 ผลิตโดยบริษัท A.J.PLAST ได้ดังแสดงในตาราง 4.1 พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.800/0/0.200 ความสามารถต้านทานการเกิดฝ้าในช่วงการทดสอบได้นานกว่าฟิล์มทางการค้าอย่างชัดเจน ฟิล์มมีความแข็งแรงพอๆกัน แต่มีความยืดหยุ่นและความใสน้อยกว่าฟิล์มฟิล์มทางการค้า นอกจากนี้สมบัติในการแพร่ผ่านของไอน้ำและออกซิเจนของฟิล์มทางการค้าดีกว่า นอกจากนี้ฟิล์มพอลิเมอร์ที่มี CAB เป็นส่วนประกอบนั้นสูตรฟิล์มที่ดีที่สุดโดยเลือกจากสมบัติการต้านการเกิดฝ้า คือ PLA/CAB/T80 สูตร 0.725/0.225/0.050 โดยมีการต้านการเกิดฝ้าที่แย่กว่าสูตร 0.800/0/0.200 และฟิล์มทางการค้าด้วย ซึ่งพบว่าเมื่อฟิล์มมี CAB เป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องค์ประกอบนั้นช่วยให้ฟิล์มพอลิเมอร์เบลน์มีความใสเพิ่มขึ้น แต่ทำให้สมบัติของฟิล์มหลายอย่างลดลง (ตาราง 4.1) เช่น ฟิล์มมีความแข็งแรงแต่ยืดออกได้น้อย การซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนลดลง โดยเฉพาะสมบัติการต้านการเกิดฝ้า แต่อย่างไรก็ตามฟิล์ม BOPP เป็นพลาสติกที่เป็นผลผลิตมาจากปิโตรเลียมและไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา ซึ่งแนวโน้มในอนาคตได้หันมาให้ความสนใจพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพในการนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ จากผลงานวิจัยนี้ทำให้เห็นว่าการเตรียมพอลิเมอร์ผสม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.800/0/0.200 มีศักยภาพพอที่จะพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารได้

ตาราง 4.1 สมบัติต่างๆ ของ BOPP ฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ของ PLA/CAB/T80 สูตร 0.800/0/0.200 และ 0.725/0.225/0.050

สมบัติ		**BOPP (HAF243) [4]**	**PLA/CAB/T80 0.800/0/0.200**	**PLA/CAB/T80 0.725/0.225/0.050**
เวลาเริ่มเกิดฝ้า (วินาที)	**Hot fog test**	303.6	∞*	31.6
	Cold fog test	797.4	∞**	292.0
ค่าความทนแรงดึง ณ จุดขาด (MPa)		120	118.82±38.75	18.18±3.94
ค่าการยืด ณ จุดขาด (%)		180	161.53±14.98	273.77±14.08
ความใส				
ค่าความขุ่น		3.09±0.22	6.42 ± 2.82	4.62 ± 1.07
อัตราการซึมผ่านไอน้ำ ($g/m^2.day$)		7	2.43 ± 0.03	1.05 ± 0.31
อัตราการซึมผ่านออกซิเจน ($cm^3/m^2.day.kPa$)		700	1.82 ± 0.80	1.03 ± 0.06
โครงสร้างของหน่วยย่อย (repeating unit)				

ความหนาฟิล์ม (มิลลิเมตร) เท่ากับ 0.0024

*, **หมายถึง ไม่ปรากฏฝ้าตลอดช่วงการทดสอบ 3 ชั่วโมง และ 7 วัน ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์พบว่าการใช้ T80 ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความยืดหยุ่นและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านการเกิดฝ้าในฟิล์ม PLA ได้แต่แผ่นฟิล์มมีความขุ่นเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเติม CAB เพื่อช่วยเพิ่มความใสของฟิล์มกลับทำให้ประสิทธิภาพในการต้านการเกิดฝ้าน้อยลงและสมบัติเชิงกลเปลี่ยนไป อาจต้องมีการเติมสารเติมแต่งบางอย่างเพื่อปรับปรุงให้แผ่นฟิล์มมีความใสเพิ่มมากขึ้นกว่านี้และลดต้นทุนของ PLA ได้โดยที่คงสมบัติการต้านการเกิดฝ้าไว้

นอกจากนี้การพัฒนาพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างจริงจัง จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีหลอมผสม (Melt blend) เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปผลิตได้จริงในกระบวนการอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยวิธีการหล่อจากสารละลายนั้นอาจเป็นวิธีที่ต้องใช้ตัวทำละลายเป็นจำนวนมาก ทำให้มีราคาต้นทุนในการผลิตสูง อีกทั้งสารละลายที่ใช้อาจหลงเหลือในฟิล์มทำให้เป็นอันตรายในอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้วิธีการหลอมผสมเพื่อลดปัญหาดังกล่าว โดยความเป็นไปได้ของสูตรฟิล์มที่สามารถทำการหลอมผสมได้คือสูตรฟิล์มที่ไม่มีองค์ประกอบของ CAB ทั้งนี้เนื่องจากในการหลอมผสมจำเป็นจะต้องทำให้สารทุกตัวหลอมหมดหากมี CAB อยู่ในระบบจะต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 175 องศาเซลเซียสจึงจะหลอม CAB ได้เนื่องจากมี T_m อยู่ในช่วง 165-175 องศาเซลเซียส [44] ในขณะเดียวกัน PLA ก็หลอมด้วยเช่นกันเนื่องจาก T_m มีค่าประมาณ 145-150 องศาเซลเซียส [39] แต่ T80 เกิดการระเหยกลายเป็นไอไปแล้วเพราะจุดเดือดของ T80 คือ 148 องศาเซลเซียส [49] ถึงแม้สูตรฟิล์มที่ประกอบด้วย PLA และ T80 จะมีความเป็นไปได้ในการหลอมผสมแต่ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมของ PLA นั้นมีค่าใกล้เคียงกับจุดเดือดของ T80 ดังนั้นจึงต้องระวังในการเลือกอุณหภูมิและวิธีที่ใช้ในการหลอมผสมซึ่งต้องเลือกอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่สามารถหลอม PLA ได้โดยไม่ถึงจุดเดือดของ T80

นอกจากนี้ควรมีการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพเพื่อบ่งบอกความเหมาะสมกับการใช้งานในด้านต่างๆ เช่น ระยะเวลาในการย่อยสลาย อัตราการสลายตัวและความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมในการสลายตัว เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved