สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ฎ
สารบาญภาพ	ฐ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บรรจุภัณฑ์	1
1.1.1 การหายใจและการคายน้ำของผักและผลไม้	1
1.1.1.1 การหายใจ (Respiration)	2
1.1.1.2 การคายน้ำ (Transpiration)	5
1.1.2 ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์	7
1.2 คุณสมบัติพื้นฐานของบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้สด	8
1.2.1 การซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeability)	8
1.2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของก๊าซ	9
1.2.1.2 ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของก๊าซ	10
1.2.1.3 ผลของความชื้นต่ออัตราการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของก๊าซ	11
1.2.2 การซึมผ่านของไอน้ำ	12
1.2.3 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)	14
1.2.4 ความทนทานต่อน้ำ (Water resistance)	14
1.2.5 ความทนทานต่ออุณหภูมิต่ำ	15
1.2.6 ความยืดหยุ่นต่อขนาดและรูปร่าง (Flexibility)	15
1.2.7 ความโปร่งใส (Transparence)	15
1.3 พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	16

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3.1 กลไกการย่อยสลายของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ 17
1.3.1.1 การย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) 17
1.3.1.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) 17
1.3.1.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidative degradation) 17
1.3.1.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation) 17
1.3.1.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) 18
1.4 พอลิเมอร์เบลนด์ (Polymer blend) 18
1.4.1 ความเข้ากันได้ (Compatibility) 19
1.4.1.1 ผสมกันแล้วไม่มีความเข้ากัน 19
1.4.1.2 ผสมกันแล้วมีความเข้ากันได้เป็นบางส่วน 19
1.4.1.3 ผสมกันแล้วรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ทั้งหมด 20
1.4.2 การพิจารณาสภาพผสมเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic miscibility) 21
1.4.3 วิธีการผสมเพื่อความเข้ากันได้ (Method of compatibilization) 22
1.4.3.1 การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Addition of block or graft copolymers) 22
1.4.3.2 การเติมพอลิเมอร์ที่หมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Addition of functional/reactive polymers) 23
1.4.3.3 การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอไรเซชันในระหว่างการผสม (In-situ grafting polymerization) 23
1.4.4 สารเพิ่มความยืดหยุ่น (Plasticizer) 24
1.4.5 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ 25
1.4.5.1 การเตรียมในสภาวะสารละลาย (Solution blending) 25
1.4.5.2 การเตรียมโดยการหลอมผสม (Melt blending) 25
1.5 พอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid) : PLA) 26
1.6 เซลลูโลสอะซิเตทบิวทีเรต (cellulose acetate butyrate, CAB) 29
1.7 Tween 80 31
1.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.9 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 34
1.10 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา 34
1.11 แผนดำเนินการ ขอบเขตงานวิจัยและวิธีวิจัย 35
บทที่ 2 การทดลอง 36
2.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 36
2.2 การวิเคราะห์หาโครงสร้างและองค์ประกอบของพอลิเมอร์เริ่มต้นด้วยเทคนิคโปรตรอนเอ็นเอ็มอาร์สเปกโทรสโกปี 38
2.3 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืดของพอลิเมอร์เริ่มต้นด้วยเทคนิคการวัดค่าความหนืดของสารละลายเจือจาง (Dilute solution viscometry) 38
2.4 การศึกษาความเป็นไปได้ของอัตราส่วนพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 39
2.5 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่าง PLA, CAB และ T80 และการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม 41
2.6 การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม 42
2.6.1 การวิเคราะห์ความใสของฟิล์ม ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-Visible spectrometer) 42
2.6.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์เบลนด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) 42
2.6.3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine) 43
2.6.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิง คาลอริเมตรี (Differential scanning calorimetry, DSC) 44
2.6.5 การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ 45
2.6.6 การทดสอบการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน 47
2.6.7 การวัดมุมสัมผัส (Contact angle) 47
2.6.8 การวิเคราะห์สมบัติการต้านการเกิดฝ้าบนฟิล์ม (Antifogging properties) 47
2.6.8.1 วิธี Hot fog test 48

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.8.2 วิธี Cold fog test 48
2.6.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบที่เหลืออยู่ในฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนต่างๆ 49
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 50
3.1 ผลการวิเคราะห์หาโครงสร้างและองค์ประกอบของพอลิเมอร์เริ่มต้นด้วยเทคนิคโปรตอนเอ็นเอ็มอาร์สเปกโทรสโกปี (^{1}H-NMR) 50
3.2 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด 55
3.3 ความเป็นไปได้ของอัตราส่วนพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 57
3.4 ลักษณะความใสของฟิล์ม 57
3.5 ลักษณะพื้นผิวและความเข้ากันได้ของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ 62
3.6 สมบัติเชิงกล 64
3.7 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา 74
3.8 การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม 83
3.9 การแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน 85
3.10 ค่ามุมสัมผัส (contact angle) 88
3.11 สมบัติการต้านการเกิดฝ้าบนฟิล์ม (Antifogging properties) 92
3.12 การวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบ T80 ในฟิล์ม 96
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง 101
ข้อเสนอแนะ 104
บรรณานุกรม 105
ภาคผนวก 113
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ PLA และ CAB โดยการหาค่าความหนืด 114
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ความใสของฟิล์ม 116
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง 118
ภาคผนวก ง การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ 124
ภาคผนวก จ การทดสอบการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน 129
ภาคผนวก ฉ การตรวจสอบองค์ประกอบของ T80 ที่อยู่ในฟิล์มด้วยเทคนิค IR 132
ประวัติผู้เขียน 153

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	ความเข้มข้นขั้นต่ำของออกซิเจนที่พืชต้องการสำหรับการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน	3
1.2	ความเข้มข้นสูงสุดของคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชทนทานได้	4
1.3	สัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของผักและผลไม้	6
1.4	การเปรียบเทียบระยะเวลาการย่อยสลายของวัสดุชนิดต่างๆ	16
1.5	ความแตกต่างของ PLLA และ PDLLA	27
1.6	ข้อมูลการทดลองทางกายภาพสำหรับ PLA	27
1.7	ข้อมูลการทดลองทางกายภาพสำหรับ CAB	30
1.8	สมบัติต่างๆของ Tween 80	31
2.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง หน้าที่ บริษัทผู้ผลิตและความบริสุทธิ์	36
2.2	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง บริษัทผู้ผลิตและรุ่นที่ใช้	37
2.3	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่าง PLA, CAB และ T80 ที่ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของอัตราส่วน	39
2.4	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่าง PLA, CAB และ T80 ที่ทำการศึกษา	41
3.1	ตำแหน่งสัญญาณ ^{1}H-NMR สเปกตรัมของ PLA	50
3.2	ตำแหน่งสัญญาณ ^{1}H-NMR สเปกตรัมของ CAB	52
3.3	ตำแหน่งสัญญาณ ^{1}H-NMR สเปกตรัมของ T80	53
3.4	ค่าความหนืดแท้จริงและค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืดของพอลิเมอร์เริ่มต้น	56
3.5	ความเป็นไปได้ของอัตราส่วนผสมของพอลิเมอร์ PLA, CAB และ T80	57
3.6	ความใสของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนต่างๆ	58
3.7	ภาพถ่าย SEM ของพื้นผิวฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยกำลังขยาย 5000 เท่า	62

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.8	ค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด และค่ายังมอดูลัสของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ในแต่ละอัตราส่วน	66
3.9	ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และอุณหภูมิหลอมผลึกของพอลิเมอร์เริ่มต้นชนิดต่างๆเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิง	74
3.10	ข้อมูลสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนที่ต่าง ๆ	75
3.11	ค่าเฉลี่ยของอัตราการซึมผ่านไอน้ำและความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30.0 ± 1.0 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 2	83
3.12	ค่าเฉลี่ยอัตราการซึมผ่านออกซิเจนและการแพร่ผ่านออกซิเจนของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 อัตราส่วนต่างๆ	86
3.13	ค่ามุมสัมผัสและลักษณะมุมสัมผัสเฉลี่ยของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ชนิดต่าง ๆ	89
3.14	ลักษณะมุมสัมผัสของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB ที่อัตราส่วน 0.5/0.5	91
3.15	เวลาที่เริ่มเกิดฝ้าบนฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ชนิดต่าง ๆ โดยวิธีการทดสอบแบบ Cold fog test และ Hot fog test	92
3.16	พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.800/0/0.200 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test	100
4.1	สมบัติต่างๆ ของ BOPP ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของ PLA/CAB/T80 สูตร 0.800/0/0.200 และ 0.725/0.225/0.050	103

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
1.1	ฝ้าและหยดน้ำภายในบรรจุภัณฑ์ (ก) บรรจุภัณฑ์เห็ดหูหนู (ข) บรรจุภัณฑ์สาระแหน่	2
1.2	การคายน้ำและการหายใจของพืชในบรรจุภัณฑ์	2
1.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับอุณหภูมิ	6
1.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับความชื้น	7
1.5	ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในบรรจุภัณฑ์และภายนอกบรรจุภัณฑ์ที่เวลาต่างๆ	8
1.6	อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสำหรับฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ ที่ 23°C, 0% RH	9
1.7	ปัจจัยที่มีผลต่อค่าอัตราการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของก๊าซ	10
1.8	ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	11
1.9	ผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่ออัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสำหรับฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ	13
1.10	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำสำหรับฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ ที่ 38°C, 90% RH	14
1.11	การสังเคราะห์ Poly(lactic acid),(PLA)	26
1.12	การเกิดไฮโดไลซิสของ PLA	29
2.1	(ก) ออสวาลด์วิสโคมิเตอร์ (Ostwald viscometer) (ข) การจัดชุดอุปกรณ์การวัดค่าความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์	49
2.2	(ก) การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ด้วยวิธีการหล่อจากสารละลาย (ข) ลักษณะแม่พิมพ์และการจัดวางแม่พิมพ์เพื่อเทฟิล์มของพอลิเมอร์เบลนด์โดยการใช้ตัววัดระดับน้ำ	40
2.3	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด JEOL รุ่น JSM 5910-LV	43
2.4	(ก) เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal mechanical testing machine) (ข) ลักษณะการหนีบแผ่นฟิล์มเข้ากับตัวหนีบแล้วทำการดึง	44

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5	เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคาลอริเมตรี (DSC) ของบริษัท Perkin-Elmer รุ่น DSC 7	45
2.6	ถ้วยทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ	46
2.7	การวางฟิล์มบนแท่นวางตัวอย่างของเครื่องวัดค่ามุมสัมผัสแบบ Sessile Drop	47
2.8	การจัดอุปกรณ์การทดสอบการต้านการเกิดฝ้าบนฟิล์มแบบวิธี Hot fog test	48
2.9	การจัดอุปกรณ์การทดสอบการต้านการเกิดฝ้าบนฟิล์มแบบวิธี Cold fog test	48
3.1	^{1}H-NMR สเปกตรัมของ PLA	51
3.2	^{1}H-NMR สเปกตรัมของ CAB	52
3.3	^{1}H-NMR สเปกตรัมของ T80	54
3.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้นของ PLA ในตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม ที่อุณหภูมิ 25.0 ± 0.1 องศาเซลเซียส	55
3.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้นของ CAB ในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท ที่อุณหภูมิ 30.0 ± 0.1 องศาเซลเซียส	56
3.6	Contour plot ค่าความใสของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ	60
3.7	การเกิดการตกผลึกใหม่เนื่องจากการหลุดออกของพลาสติไซเซอร์	61
3.8	Contour plot ค่าการทนต่อแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ	67
3.9	โครงสร้างของพอลิเมอร์ PLA	67
3.10	โครงสร้างของพอลิเมอร์ CAB	68
3.11	โครงสร้างหน่วยซ้ำของ PLA (ก) และ CAB (ข)	68
3.12	ภาพจำลองการเข้าแทรกระหว่างสายโซ่ของ PLA (ก) และ CAB (ข)	68
3.13	Contour plot ค่าร้อยละของการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ	69
3.14	Contour plot ค่ายังมอดูลัสของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ	70
3.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม PLA ที่ใช้ปริมาณ T80 ต่างๆ	70
3.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม CAB ที่ใช้ปริมาณ T80 ต่างๆ	71

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของ ฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB ที่มีสัดส่วนโดยน้ำหนักของ เท่ากับ 0.500/0.500 ที่ใช้ปริมาณ T80 ต่างๆ	71
3.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม PLA, CAB และ PLA/CAB ที่มีปริมาณ T80 ต่างกัน	73
3.19	ลักษณะการเกิดเรโซแนนซ์	76
3.20	ตำแหน่งที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างหน่วยซ้ำของสายโซ่หลัก (ก) PLA และ (ข) CAB	76
3.21	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) กับปริมาณ T80 ที่เติมลงในฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA, CAB และ PLA/CAB ที่มีสัดส่วนโดย น้ำหนัก 0.500/0.500	77
3.22	โครงสร้างของทวีน 80	78
3.23	ภาพจำลองการแทรกตัวของทวีน 80 ในสายโซ่พอลิเมอร์	78
3.24	ภาพจำลองของการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ของ (ก) PLA กับ T80 (ข) CAB กับ T80	79
3.25	DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PLA โดยเติม T80 ที่ปริมาณต่างๆ	80
3.26	DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PLA CAB PLA/CAB/T80 (0.8/0/0.2) PLA/CAB/T80 (0/0.2/0.8) และ T80 ที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งที่หนึ่ง (First run)	81
3.27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ΔH กับปริมาณ T80 ที่เติมลงฟิล์ม PLA	82
3.28	DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PLA/CAB โดยเติม T80 ที่ปริมาณต่างๆ	82
3.29	Contour plot ค่า WVP ของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน ต่างๆ	84
3.30	Contour plot ค่า OP ของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ	87
3.31	Contour plot ค่า contact angle ของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่ อัตราส่วนต่างๆ	88
3.32	ภาพจำลองการกระจายตัวของโมเลกุลทวีน 80 ในพอลิเมอร์เบลนด์และการแผ่ กระจายของหยดน้ำบนฟิล์ม (ก) PLA (ข) CAB	90
3.33	Contour plot ค่าเวลาที่เริ่มเกิดฝ้าของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่ อัตราส่วนต่างๆ เมื่อทดสอบด้วยวิธี Cold fog test	93

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.34	Contour plot ค่าเวลาที่เริ่มเกิดฝ้าของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อทดสอบด้วยวิธี Hot fog test	94
3.35	กระบวนการในการต้านทานการเกิดหยดน้ำ	95
3.36	ลักษณะปรากฏของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.8/0/0.2 (ก) ก่อนการทดสอบ hot fog test (ข)หลังผ่านการทดสอบ hot fog test	96
3.37	ภาพจำลองการหลุดของ T80 จากผิวของฟิล์ม	97
3.38	อินฟราเรดสเปกตรัมฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์อัตราส่วนต่างๆ หลังทดสอบ Cold fog test	98
3.39	อินฟราเรดสเปกตรัมฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์อัตราส่วนต่างๆ หลังทดสอบ Hot fog test	99

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

PLA	พอลิ(แลกติก แอซิด) (Poly(lactic acid))
CAB	เซลลูโลสอะซิเตทบิวทีเรต (Cellulose acetate butyrate)
T80	ทวีน (Tween 80)
PLA/CAB	พอลิเมอร์เบลนด์ระหว่างพีแอลเอกับซีเอบี
PLA/CAB/T80	พอลิเมอร์เบลนด์ระหว่างพีแอลเอ ซีเอบีและทวีน 80
WVP	ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor permeability)
WVTR	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor permeability rate)
OP	ความสามารถในการซึมผ่านออกซิเจน (Oxygen gas permeability)
OTR	อัตราการซึมผ่านออกซิเจน (Oxygen transmission rate)
T_g	อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature)
T_c	อุณหภูมิเกิดผลึก (Crystallization temperature)
T_m	อุณหภูมิหลอมผลึก (Crystalline melting temperature)
ΔH_m	พลังงานที่ใช้ในการเกิดสลายผลึก (Heat of melting)
ΔH_c	พลังงานที่ใช้ในการเกิดผลึก (Heat of Crystallization)
$\overline{M}_v$	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (Viscosity-average molecular weight)
A600	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

δ	ค่าเคมิคอลชิฟท์ (Chemical shift)
cm^3	ลูกบาศ์กเซนติเมตร (Cubic centimeter)
cm	เซนติเมตร (Centimeter)
atm	บรรยากาศ (Atmosphere)
m	เมตร (Meter)
g	กรัม (Gram)
ºC	องศาเซลเซียส (Degree celcius)
J/g	จูลต่อกรัม (Joule per gram)
%wt.	เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก (Percent weight by weight)
g/dl	กรัมต่อเดซิลิตร
ppm	หนึ่งในล้านส่วน (Part per million)
MPa	เมกะปาสคาล (Megapascal)
n/d	ไม่สามารถตรวจวัดได้ (Not detected)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved