ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ PLA และ CAB โดยการหาค่าความหนืด

จากการทดลองจะได้ข้อมูลเวลาการไหลของสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ และของตัวทำละลายบริสุทธิ์มาคำนวณหาค่าความหนืด ในเทอมต่างๆ โดยใช้สมการจากตาราง 1

ตาราง 1 ความสัมพันธ์ของค่าความหนืดในเทอมต่างๆ

ค่าความหนืด	สมการ
ความหนืดสัมพัทธ์ (Relative viscosity, η_{rel})	$\eta_{rel} = \frac{t}{t_0}$
ความหนืดจำเพาะ (Specific viscosity, η_{sp})	$\eta_{sp} = \eta_{rel} - 1$
ความหนืดลดทอน (Inherent viscosity, η_{red})	$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{C}$
ความหนืดอินทรินสิก (Intrinsic viscosity, η_{inh})	$\eta_{inh} = \frac{\ln\eta_{rel}}{C}$

จะได้ค่าความหนืดในเทอมต่างๆ ที่คำนวณได้ของ PLA และ CAB ดังแสดงในตาราง 2 และ 3

ตาราง 2 ค่าความหนืดในเทอมต่างๆของสารละลาย PLA ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25.0 ± 0.1 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ (g/dl)	เวลาการไหล (วินาที)	η_{rel}	η_{sp}	$\ln\eta_{rel}$	η_{red}	η_{inh}
คลอโรฟอร์ม	372.679	-	-	-	-	-
0.2024	515.871	1.384	0.384	0.325	1.898	1.606
0.4228	728.043	1.954	0.954	0.670	2.255	1.584

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2 ค่าความหนืดในเทอมต่างๆของสารละลาย PLA ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25.0 ± 0.1 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ (g/dl)	**เวลาการไหล (วินาที)**	η_{rel}	η_{sp}	$\ln \eta_{rel}$	η_{red}	η_{inh}
0.6076	939.910	2.522	1.522	0.925	2.505	1.522
0.8092	1180.536	3.168	2.168	1.153	2.679	1.425

ตาราง 3 ค่าความหนืดในเทอมต่างๆของสารละลาย CAB ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30.0 ± 0.1 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ (g/dl)	**เวลาการไหล (วินาที)**	η_{rel}	η_{sp}	$\ln \eta_{rel}$	η_{red}	η_{inh}
เอทิลอะซิเตท	437.194	-	-	-	-	-
0.2132	579.395	1.325	0.325	0.282	1.526	1.321
0.4096	749.420	1.714	0.714	0.539	1.744	1.316
0.6016	955.285	2.185	1.185	0.782	1.970	1.299
0.8000	1217.834	2.786	1.786	1.024	2.232	1.281

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความใสของฟิล์ม

ตาราง 4 ความหนาและค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนต่างๆที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			ความหนาของฟิล์ม (mm.) ตัวอย่างที่			A_{600} ตัวอย่างที่		
	PLA	CAB	T80	1	2	3	1	2	3
1	1.000	-	-	0.0527	0.0527	0.0527	0.0347	0.0368	0.0453
2	0.500	0.500	-	0.1053	0.0987	0.0987	0.3943	0.2902	0.3616
3	-	1.000	-	0.0540	0.0517	0.0547	0.0440	0.0447	0.0555
4	0.950	-	0.050	0.0513	0.0515	0.0499	0.0983	0.1232	0.1786
5	0.725	0.225	0.050	0.0610	0.0680	0.0743	0.3566	0.2790	0.2899
6	0.475	0.475	0.050	0.0620	0.0780	0.0610	0.2650	0.4394	0.2469
7	0.225	0.725	0.050	0.0643	0.0667	0.0953	0.2225	0.3504	0.2254
8	-	0.950	0.050	0.0270	0.0280	0.0250	0.0235	0.0512	0.0564
9	0.900	-	0.100	0.0447	0.1783	0.0447	0.1755	0.3270	0.1728
10	0.675	0.225	0.100	0.0427	0.1087	0.1137	0.2694	0.2359	0.2675
11	0.450	0.450	0.100	0.0537	0.0660	0.0660	0.3309	0.3665	0.3660
12	0.225	0.675	0.100	0.0530	0.0880	0.0880	0.2759	0.2986	0.2964
13	-	0.900	0.100	0.0563	0.1473	0.0830	0.0380	0.0737	0.0379
14	0.850	-	0.150	0.0455	0.0505	0.0480	0.3700	0.3910	0.3660
15	0.625	0.225	0.150	0.0860	0.0973	0.0587	0.3677	0.4175	0.3601
16	0.425	0.425	0.150	0.0620	0.1030	0.1043	0.4378	0.2999	0.3937
17	0.225	0.625	0.150	0.0650	0.0467	0.0663	0.3791	0.2138	0.2860
18	-	0.850	0.150	0.0585	0.0547	0.0566	0.0594	0.0715	0.0144
19	0.800	-	0.200	0.0533	0.1223	0.0660	0.5092	0.5008	0.3702

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4 ความหนาและค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนต่างๆที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (ต่อ)

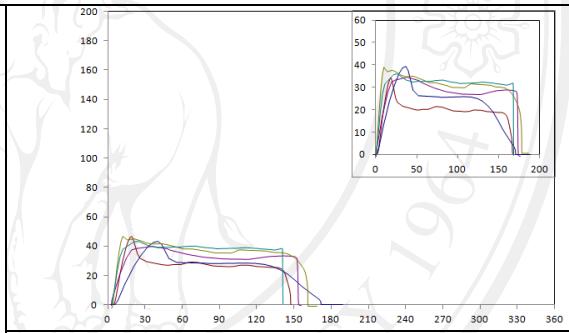
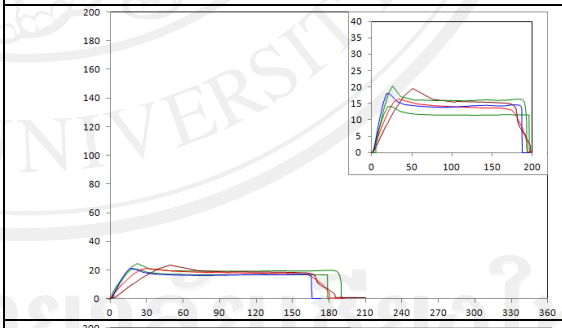
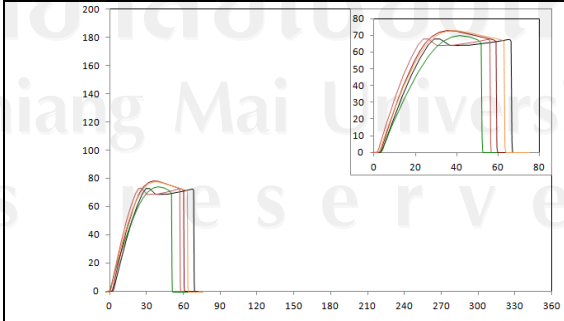
สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			ความหนาของฟิล์ม (mm.) ตัวอย่างที่			A_{600} ตัวอย่างที่		
	PLA	CAB	T80	1	2	3	1	2	3
20	0.400	0.400	0.200	0.0653	0.0653	0.0653	0.3943	0.4765	0.3442
21	-	0.800	0.200	0.0460	0.0347	0.0347	0.0511	0.0563	0.0770

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

ตาราง 5 กราฟความสัมพันธ์ของค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาด และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ

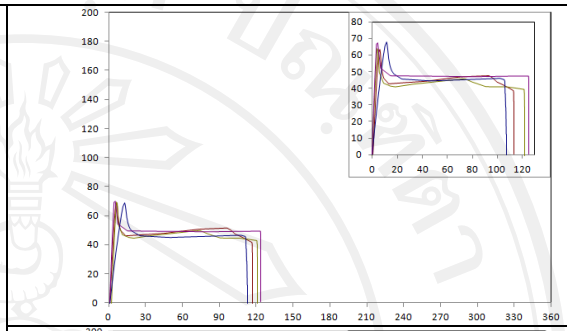
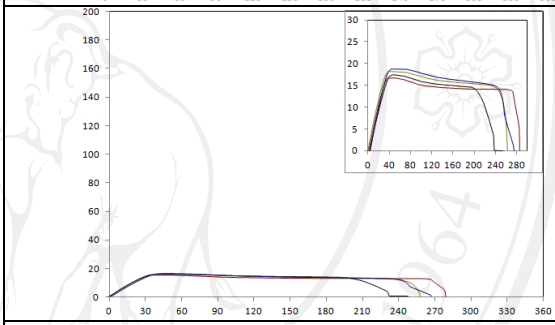
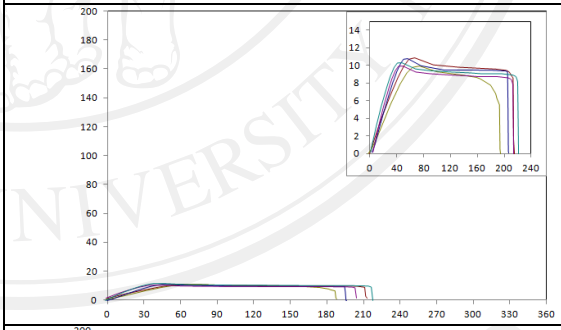
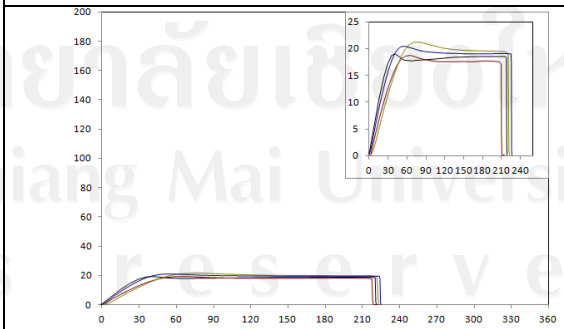
สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			กราฟความสัมพันธ์
	PLA	CAB	T80	
1	1.000	-	-	
2	0.500	0.500	-	
3	-	1.000	-	

ค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาด (MPa)

ร้อยละการยืด ณ จุดขาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 5 กราฟความสัมพันธ์ของค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาด และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ (ต่อ)

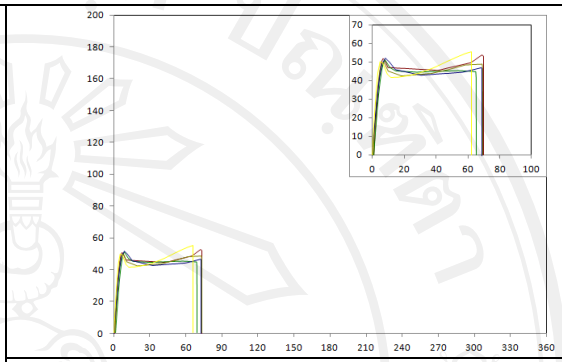
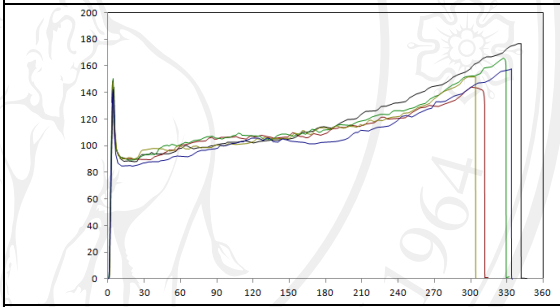
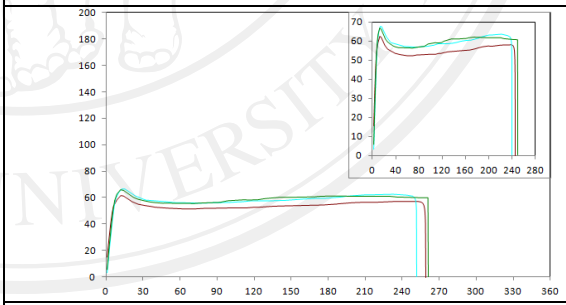
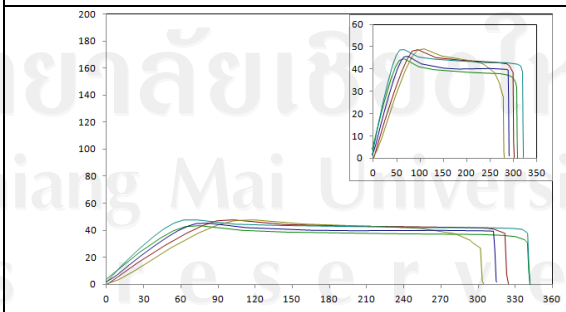
สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			กราฟความสัมพันธ์
	PLA	CAB	T80	
4	0.950	-	0.050	
5	0.725	0.225	0.050	
6	0.475	0.475	0.050	
7	0.225	0.725	0.050	

ค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาด (MPa)

ร้อยละการยืด ณ จุดขาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 5 กราฟความสัมพันธ์ของค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาด และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ (ต่อ)

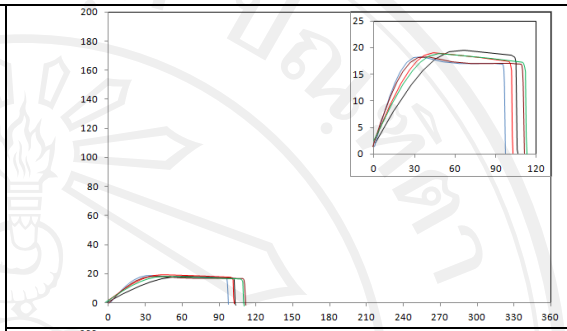
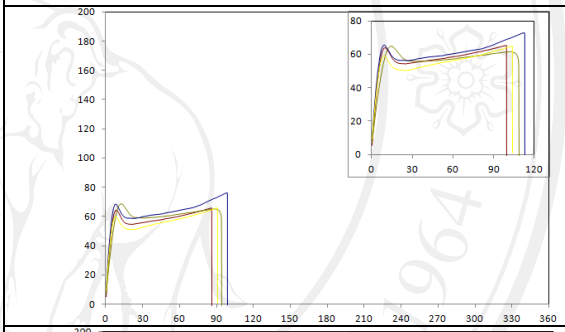
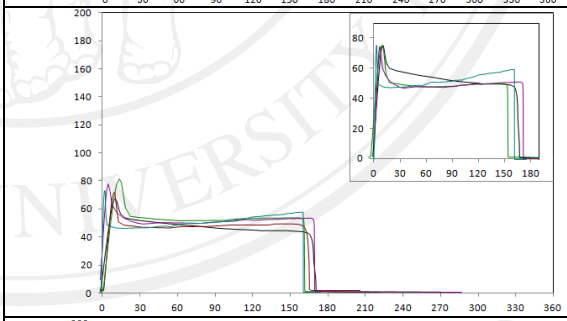
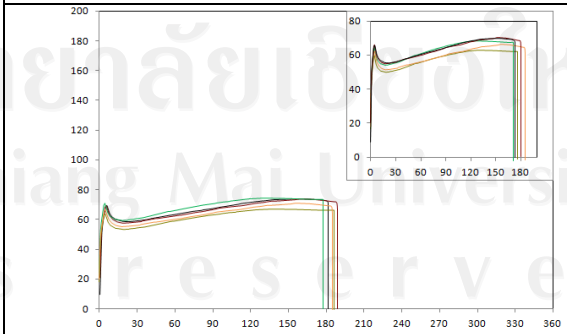
สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			กราฟความสัมพันธ์
สูตร	PLA	CAB	T80	
8	-	0.950	0.050	
9	0.900	-	0.100	
10	0.675	0.225	0.100	
11	0.450	0.450	0.100	

ค่าการทนแรงดึง ณ จุด ขาด (MPa)

ร้อยละการยืด ณ จุดขาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 5 กราฟความสัมพันธ์ของค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาด และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ (ต่อ)

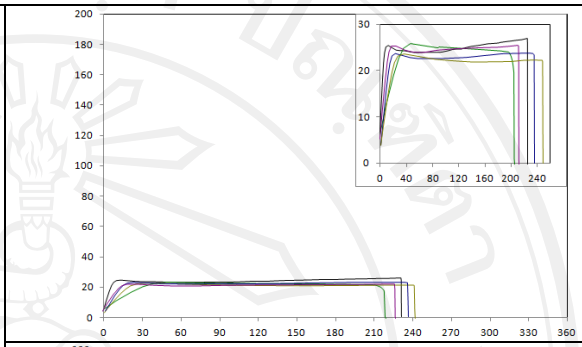
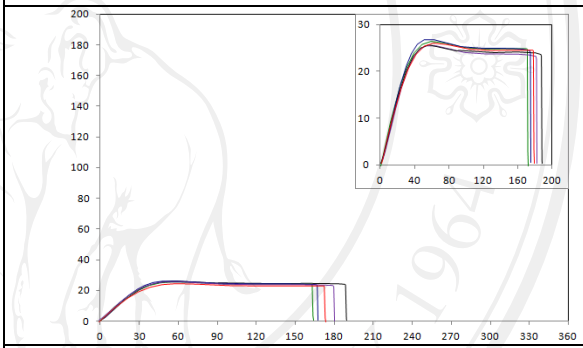
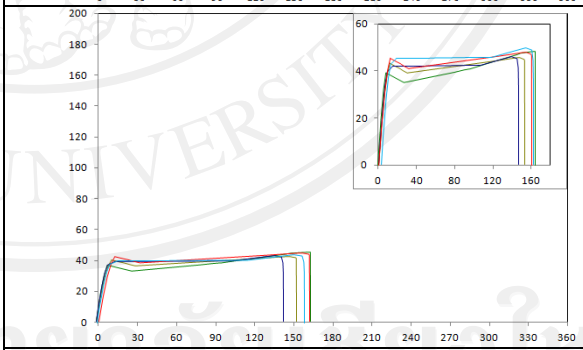
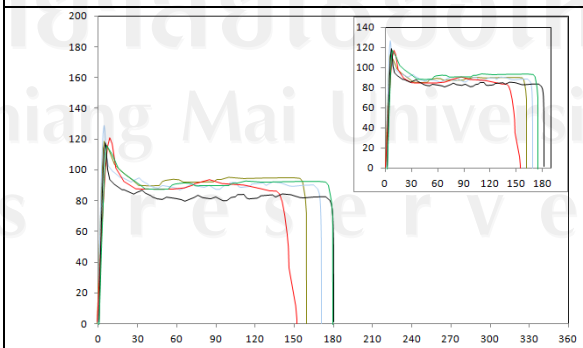
สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			กราฟความสัมพันธ์
	PLA	CAB	T80	
12	0.225	0.675	0.100	
13	-	0.900	0.100	
14	0.850	-	0.150	
15	0.625	0.225	0.150	

ค่าการทนแรงดึง ณ จุด ขาด (MPa)

ร้อยละการยืด ณ จุดขาด

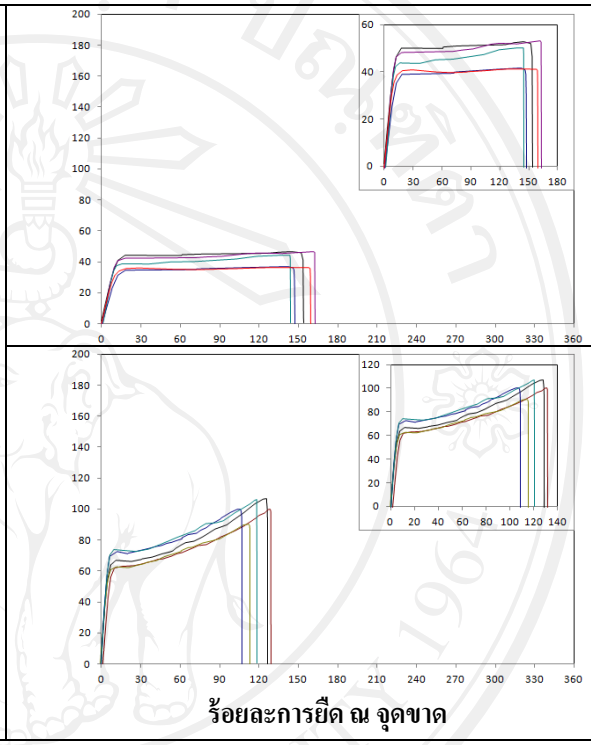
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 5 กราฟความสัมพันธ์ของค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาด และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ (ต่อ)

สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			กราฟความสัมพันธ์
	PLA	CAB	T80	
16	0.425	0.425	0.150	
17	0.225	0.625	0.150	
18	-	0.850	0.150	
19	0.800	-	0.200	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 5 กราฟความสัมพันธ์ของค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาด และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วนต่างๆ (ต่อ)

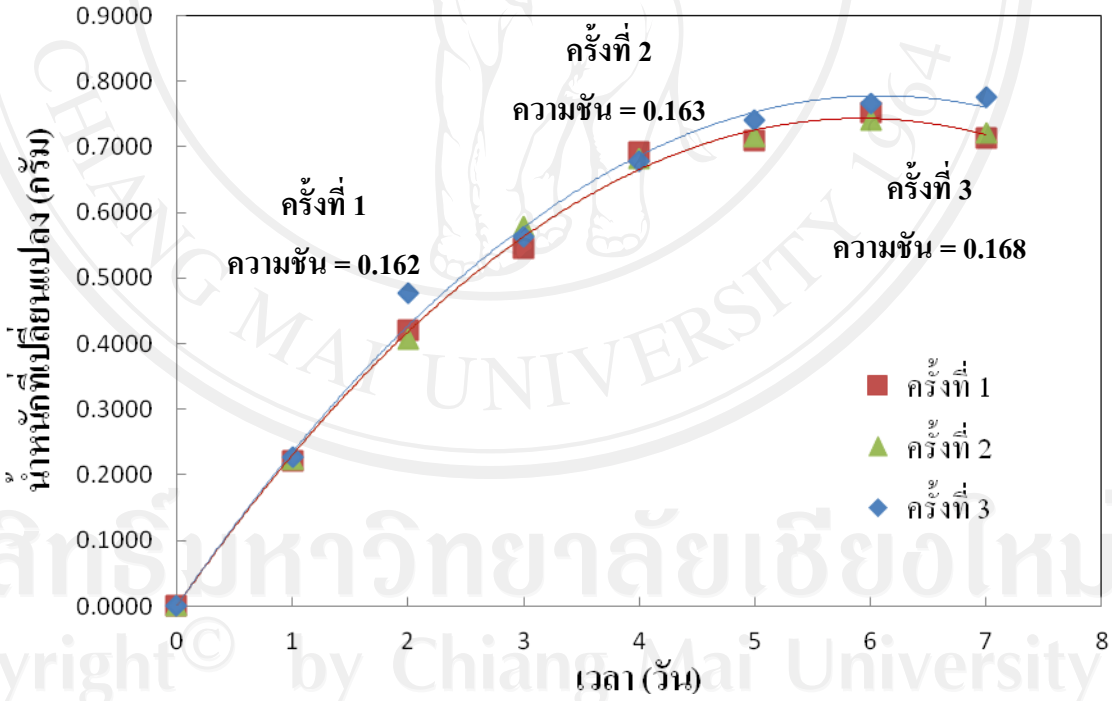
สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			กราฟความสัมพันธ์
	PLA	CAB	T80	
20	0.400	0.400	0.200	
21	-	0.800	0.200	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ง

การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ

จากข้อมูลน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของถ้วยทดสอบที่ปิดด้วยฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ในแต่ละอัตราส่วนที่เวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30.0±1.0 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพันทธ์ 50±2 % นำข้อมูลนี้ไปพล๊อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา ดังตัวอย่างในรูป 6 และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่อเวลา (G/T) ของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ PLA/CAB/T80 ชนิดต่างๆ หาได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา (วัน)



รูป 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปของถ้วยทดสอบกับเวลาฟิล์มของ PLA บริสุทธิ์ ซึ่งทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การคำนวณอัตราการซึมผ่านไอน้ำ

$$\text{WVPR (g/m}^2\text{.day)} = \frac{G/T}{A} = \frac{slope}{A}$$

ตัวอย่าง ฟิล์ม PLA ครั้งที่ 1 มีค่าความชัน เท่ากับ 0.162 g/day และพื้นที่ของฟิล์มเท่ากับ 0.002827 ตารางเมตร

$$\text{WVPR} = (0.162/0.002827) = 57.304 \text{ g/m}^2\text{.day}$$

2. การคำนวณความสามารถในซึมผ่านไอน้ำ

$$\text{WVP (g.m/m}^2\text{.day.mmHg)} = \frac{WVPRxl}{\Delta P}$$

ตัวอย่าง ฟิล์ม PLA ครั้งที่ 1 มีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ เท่ากับ 57.304 g./m^2.day และความหนาของฟิล์มเท่ากับ 0.0488 มิลลิเมตร (4.88x10^{-5} เมตร)

$$\Delta P = P_s(\Delta RH/100) = 32.68(50/100)$$

$$= 16.34$$

$$\text{WVP (g.m/m}^2\text{.day.mmHg)} = (57.304 \times 4.88\text{x}10^{-5})/16.34$$

$$= 1.711\text{x}10^{-4} \text{ g.m/m}^2\text{.day.mmHg}$$

ตาราง 10 ผลการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่มีพื้นที่เท่ากับ 28.27 ตารางเซนติเมตร

สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			ครั้งที่	ความชัน	ความหนา ×10^5 (เมตร)	WVPR (g/m^2.day)	WVP ×10^4 (g.m/m^2.day.mmHg)
	PLA	CAB	T80					
1	0.100	-	-	1	0.162	4.880	57.305	1.711
				2	0.163	5.480	57.658	1.934
				3	0.168	5.180	59.427	1.884
2	0.500	0.500	-	1	0.203	5.320	71.808	2.338
				2	0.260	4.340	91.970	2.443
				3	0.232	4.830	81.889	2.421

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 10 ผลการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่มีพื้นที่เท่ากับ 28.27 ตารางเซนติเมตร(ต่อ)

สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			ครั้งที่	ความชัน	ความหนา $\times 10^5$ (เมตร)	WVPR ($g/m^2.day$)	WVP $\times 10^4$ ($g.m/m^2.day.mmHg$)
	PLA	CAB	T80					
3	-	0.100	-	1	0.442	4.540	156.349	4.344
				2	0.392	5.800	138.663	4.922
				3	0.417	5.170	147.506	4.667
4	0.950	-	0.050	1	0.119	5.130	42.094	1.322
				2	0.120	5.150	42.448	1.338
				3	0.117	4.990	41.387	1.264
5	0.725	0.225	0.050	1	0.261	6.380	92.213	6.395
				2	0.253	5.680	89.494	3.111
				3	0.358	6.030	90.002	4.673
6	0.475	0.475	0.050	1	0.296	6.100	104.705	3.909
				2	0.320	6.600	113.194	4.572
				3	0.308	6.350	108.949	4.234
7	0.225	0.725	0.050	1	0.389	3.680	117.602	3.099
				2	0.324	5.600	114.609	3.928
				3	0.357	4.640	126.105	3.581
8	-	0.950	0.050	1	0.340	2.700	120.269	1.987
				2	0.370	2.800	130.881	2.243
				3	0.360	2.500	127.343	1.948
9	0.900	-	0.100	1	0.095	5.380	33.605	1.106
				2	0.106	4.000	37.496	9.179
				3	0.110	4.690	38.911	1.117
10	0.675	0.225	0.100	1	0.143	8.500	50.584	2.631
				2	0.175	3.920	61.903	1.485
				3	0.159	6.210	56.243	2.138

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 10 ผลการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่มีพื้นที่เท่ากับ 28.27 ตารางเซนติเมตร(ต่อ)

สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			ครั้งที่	ความชัน	ความหนา $\times 10^5$ (เมตร)	WVPR ($g/m^2.day$)	WVP $\times 10^4$ ($g.m/m^2.day.mmHg$)
	PLA	CAB	T80					
11	0.450	0.450	0.100	1	0.176	4.683	62.257	1.784
				2	0.180	5.100	63.672	1.987
				3	0.192	4.892	67.917	2.033
12	0.225	0.675	0.100	1	0.191	5.860	67.563	2.423
				2	0.216	5.140	76.406	2.403
				3	0.204	5.500	71.984	2.423
13	-	0.900	0.100	1	0.577	5.330	204.103	6.658
				2	0.570	5.450	201.627	6.725
				3	0.574	5.390	202.865	6.692
14	0.850	-	0.150	1	0.152	4.550	53.767	1.497
				2	0.127	5.050	44.924	1.388
				3	0.140	4.800	49.346	1.450
15	0.625	0.225	0.150	1	0.191	5.300	67.563	2.191
				2	0.216	6.360	76.406	2.974
				3	0.204	5.830	72.161	2.575
16	0.425	0.425	0.150	1	0.307	4.680	108.596	3.110
				2	0.272	5.100	96.215	3.003
				3	0.290	4.890	102.405	3.065
17	0.225	0.625	0.150	1	0.297	4.840	105.058	3.112
				2	0.296	5.880	104.705	3.768
				3	0.299	5.360	105.766	3.469
18	-	0.850	0.150	1	0.306	5.850	108.242	3.875
				2	0.298	5.470	105.412	3.529
				3	0.302	5.660	106.827	3.700

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 10 ผลการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่มีพื้นที่เท่ากับ 28.27 ตารางเซนติเมตร(ต่อ)

สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			ครั้งที่	ความชัน	ความหนา $\times 10^5$ (เมตร)	WVPR ($g/m^2.day$)	WVP $\times 10^4$ ($g.m/m^2.day.mmHg$)
	PLA	CAB	T80					
19	0.800	-	0.200	1	0.166	5.830	58.719	2.095
				2	0.162	5.600	57.305	1.964
				3	0.164	5.715	58.012	2.029
20	0.400	0.400	0.200	1	0.351	5.480	124.160	4.164
				2	0.375	5.200	132.649	4.221
				3	0.363	5.340	128.405	4.196
21	-	0.800	0.200	1	0.414	5.180	146.445	4.643
				2	0.439	4.800	155.288	4.562
				3	0.427	4.990	150.867	4.607

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก จ

การทดสอบการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน

ตาราง 11 ความหนา อัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนและการแพร่ผ่านออกซิเจนของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ความดันของก๊าซออกซิเจน เท่ากับ 200 kPa

สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			ครั้งที่	ความหนา (mm.)	OTR (cm^3/m^2.day)	OP (cm^3.mm/m^2.day.kPa)	OP (cm^3.µm/m^2.day.kPa)
	PLA	CAB	T80					
1	0.100	-	-	1	0.128	114	0.0747	74.6700
				2	0.143	98	0.0642	64.1900
				3	0.122	126	0.0825	82.5300
2	0.500	0.500	-	1	0.045	629	0.1667	166.6850
				2	0.053	657	0.1741	174.1050
				3	0.061	634	0.1680	168.0100
3	-	0.100	-	1	0.047	4913	1.1791	1179.1200
				2	0.048	4771	1.1450	1145.0400
				3	0.049	4990	1.1976	1197.6000
4	0.950	-	0.050					
5	0.725	0.225	0.050	1	0.143	185	0.1329	132.8917
				2	0.147	197	0.1415	141.5117
				3	0.141	174	0.1250	124.9900
6	0.475	0.475	0.050	1	0.066	425	0.1098	109.7917
				2	0.038	468	0.1209	120.9000
				3	0.051	376	0.0971	97.1333
7	0.225	0.725	0.050	1	0.118	1348	0.8537	853.7333
				2	0.135	1402	0.8879	887.9333
				3	0.127	1327	0.8404	840.4333

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 11 ความหนา อัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนและการแพร่ผ่านออกซิเจนของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ความดันของก๊าซออกซิเจน เท่ากับ 200 kPa (ต่อ)

สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			ครั้งที่	ความหนา (mm.)	OTR (cm^3/m^2.day)	OP (cm^3.mm/m^2.day.kPa)	OP (cm^3.µm/m^2.day.kPa)
	PLA	CAB	T80					
8	-	0.950	0.050					
9	0.900	-	0.100	1	0.036	108	0.0243	24.3000
				2	0.053	103	0.0232	23.1750
				3	0.046	114	0.0257	25.6500
10	0.675	0.225	0.100	1	0.050	251	0.0640	64.0050
				2	0.053	229	0.0584	58.3950
				3	0.050	240	0.0612	61.2000
11	0.450	0.450	0.100	1	0.127	330	0.2129	212.8500
				2	0.129	299	0.1929	192.8550
				3	0.131	368	0.2374	237.3600
12	0.225	0.675	0.100	1	0.047	1061	0.2900	290.0067
				2	0.060	1124	0.3072	307.2267
				3	0.057	1291	0.3529	352.8733
13	-	0.900	0.100	1	0.088	4279	1.9469	1946.9450
				2	0.089	4038	1.8373	1837.2900
				3	0.096	4386	1.9956	1995.6300
14	0.850	-	0.150					
15	0.625	0.225	0.150	1	0.037	305	0.0661	66.0833
				2	0.041	323	0.0700	69.9833
				3	0.052	337	0.0730	73.0167
16	0.425	0.425	0.150	1	0.045	287	0.0660	66.0100
				2	0.046	316	0.0727	72.6800
				3	0.047	232	0.0534	53.3600

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 11 ความหนา อัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนและการแพร่ผ่านออกซิเจนของฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ความดันของก๊าซออกซิเจน เท่ากับ 200 kPa (ต่อ)

สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์เบลนด์			ครั้งที่	ความหนา (mm.)	OTR (cm^3/m^2.day)	OP (cm^3.mm/m^2.day.kPa)	OP (cm^3.µm/m^2.day.kPa)
	PLA	CAB	T80					
17	0.225	0.625	0.150	1	0.134	836	0.5727	572.6600
				2	0.140	865	0.5925	592.5250
				3	0.137	814	0.5576	557.5900
18	-	0.850	0.150					
19	0.800	-	0.200	1	0.105	93	0.0578	57.8150
				2	0.119	99	0.0615	61.5450
				3	0.149	91	0.0566	56.5717
20	0.400	0.400	0.200	1	0.101	239	0.1322	132.2467
				2	0.139	212	0.1173	117.3067
				3	0.092	244	0.1350	135.0133
21	-	0.800	0.200	1	0.049	3821	0.9998	999.8283
				2	0.054	3992	1.0446	1044.5733
				3	0.054	3762	0.9844	984.3900

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ฉ

การตรวจสอบองค์ประกอบของ T80 ที่อยู่ในฟิล์มด้วยเทคนิค IR

ตาราง 12 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	-	-	3504.13 (s)	-	3504.19 (s)	3504.20 (s)
sp^3 C-H (stretch)	-	-	2995.71 (s)	-	2995.70 (s)	2995.70 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)	-	2945.74 (s)	2945.40 (s)
C=O (stretch)	-	-	1757.25 (s)	-	1740.97 (s)	1780.83 (s)
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	-	1454.82 (s)	1454.49 (s)
O-H (bending) out of plane	-	-	955.87 (w)	-	955.93 (w)	955.89 (w)
C-H (bending) out of plane	-	-	869.61 (w) 756.83 (w)	-	869.84 (w) 756.85 (w)	869.78 (w) 756.87 (w)
O-H wagging	-	-	706.84 (w)	-	706.49 (w)	707.07 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 13 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB ที่อัตราส่วน 0.500/0.500 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	-	3490.12 (s)	3504.13 (s)	3501.70 (s)	3501.90 (s)	3501.94 (s)
sp^3 C-H (stretch)	-	2967.83 (s)	2995.71 (s)	2965.87 (s)	2965.78 (s)	2966.53 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	-	1757.10 (s)	1757.25 (s)	1778.89 (s)	1743.62 (s)	1780.88 (s)
C=C (stretch)	-	-	-	-	-	-
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1457.10 (s)	1456.61 (s)	1369.04 (s)
CH_2 (bending) in plane	-	1463.40 (w)	-	1417.00 (w)	1418.24 (w)	1417.99 (w)
CH_3 (bending) in plane	-	1384.05 (w)	-			
C-O-C (stretch)	-	-	-	-	-	-
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	955.87 (w)	920.56 (w)	920.66 (w)	920.72 (w)
C-H_2 (rocking)	-	-	-	-	-	-
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	869.61 (w) 756.83 (w)	869.97 (w) 755.68 (w)	870.01 (w) 755.65 (w)	869.87 (w) 755.50 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	706.84 (w)	709.56 (w)	709.48 (w)	709.81 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 14 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม CAB ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	-	3490.12 (s)	-	-	3490.12 (s)	3490.13 (s)
sp^3 C-H (stretch)	-	2967.83 (s)	-	-	2973.44 (s)	2940.92 (s)
-COOH (overtone)	-	-	-	-	-	-
C=O (stretch)	-	1757.10 (s)	-	-	1764.03 (s)	1767.47 (s)
C=C (stretch)	-	-	-	-	-	-
-COOH (stretch)	-	-	-	-	-	-
CH_2 (bending) in plane	-	1463.40 (w)	-	-	1463.41 (w)	1463.00 (w)
CH_3 (bending) in plane	-	1384.05 (w)	-	-	1380.51 (w)	
C-O-C (stretch)	-	-	-	-	-	-
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	-	-	921.52 (w)	920.93 (w)
C-H_2 (rocking)	-	-	-	-	-	-
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	-	-	797.30 (w) 751.51 (w)	797.54 (w) 751.49 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	-	-	602.81 (w)	602.78 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 15 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.950/0/0.050 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	-	3504.13 (s)	3504.30 (s)	3504.50 (s)	3504.38 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	-	2995.71 (s)	2995.82 (s)	2995.97 (s)	2995.76 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)	2945.21 (s)	2945.27 (s)	2945.21 (s)
C=O (stretch)	1740.50 (s)	-	1757.25 (s)	1781.11 (s)	1781.02 (s)	1781.04 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-	-	-	-
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1455.13 (s)	1454.71 (s)	1454.74 (s)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	-	-	1380.11 (w)	1382.12 (w)	1380.20 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	-	-			
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-	-	-	-
O-H (bending) out of plane	-	-	955.87 (w)	955.73 (w)	955.65 (w)	955.61 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	-	-	-
C-H (bending) out of plane	-	-	869.61 (w) 756.83 (w)	870.10 (w) 766.77 (w)	870.35 (w) 756.71 (w)	869.96 (w) 756.66 (w)
O-H wagging	-	-	706.84 (w)	707.82 (w)	707.61 (w)	707.12 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 16 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.725/0.225/0.050 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	3504.13 (s)	3502.71 (s)	3502.69 (s)	3503.05 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	2995.71 (s)	2994.66 (s)	2994.71 (s)	2995.61 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	1757.25 (s)	1773.99 (s)	1780.88 (s)	1781.08 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1457.69 (s)	1454.78 (s)	1455.25 (s)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-	1392.11 (w)	1390.03 (w)	1387.31 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-			
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	955.87 (w)	955.87 (w)	955.82 (w)	955.86 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	869.78 (w)	869.85 (w)	869.75 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	869.61 (w) 756.83 (w)	756.20 (w)	756.20 (w)	755.98 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	706.84 (w)	707.51 (w)	707.51 (w)	707.66 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 17 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.475/0.475/0.050 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	3504.13 (s)	3500.62 (s)	3500.63 (s)	3501.01 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	2995.71 (s)	2965.77 (s)	2965.51 (s)	2965.87 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	1757.25 (s)	1780.80 (s)	1729.40 (s)	1781.31 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1457.69 (s)	1454.78 (s)	1456.31 (s)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-	1360.51 (w)	1399.92 (w)	1370.56 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-			
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	955.87 (w)	921.51 (w)	921.68 (w)	921.55 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	869.77 (w)	-869.80 (w)	869.64 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	869.61 (w) 756.83 (w)	755.54 (w)	755.46 (w)	755.27 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	706.84 (w)	709.24 (w)	709.23 (w)	708.76 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 18 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.225/0.725/0.050 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	3504.13 (s)	3429.29 (s)	3459.74 (s)	3492.81 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	2995.71 (s)	2965.96 (s)	2965.56 (s)	2966.13 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	1757.25 (s)	1769.39 (s)	1769.28 (s)	1767.88 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1458.35 (s)	1458.10 (s)	1458.75 (s)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-	1384.98 (w)	1384.02 (w)	1834.07 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-			
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	955.87 (w)	921.95 (w)	921.62 (w)	922.57 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	869.84 (w)	869.65 (w)	979.06 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	869.61 (w) 756.83 (w)	752.58 (w)	752.34 (w)	752.28 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	706.84 (w)	602.96 (w)	603.00 (w)	603.14 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 19 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0/0.950/0.050 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	-	3488.18 (s)	3488.56 (s)	3488.61 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	-	2971.43 (s)	2969.57 (s)	2971.49 (s)
-COOH (overtone)	-	-	-			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	-	1763.75 (s)	1762.11 (s)	1739.57 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	-	1460.50 (s)	1460.60 (s)	1460.51 (s)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-	1384.51 (w)	1384.02 (w)	1383.99 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-			
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	-	921.85 (w)	921.81 (w)	922.00 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	797.53 (w)	797.39 (w)	797.41 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	-	751.63 (w)	751.47 (w)	751.44 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	-	602.77 (w)	602.78 (w)	602.90 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 20 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.900/0/0.100 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	-	3504.13 (s)	3504.20 (s)	3504.38 (s)	3504.62 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	-	2995.71 (s)	2995.82 (s)	2995.86 (s)	2995.86 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	-	1757.25 (s)	1783.00 (s)	1782.97 (s)	1783.01 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1451.33 (s)	1451.46 (s)	1454.44 (s)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	-	-	1376.43 (w)	1378.02 (w)	1379.00 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	-	-			
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	-	955.87 (w)	955.20 (w)	955.24 (w)	955.11 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	870.14 (w) 756.59 (w)	870.20 (w) 756.59 (w)	870.13 (w) 756.53 (w)
C-H (bending) out of plane	-	-	869.61 (w) 756.83 (w)			
O-H wagging	-	-	706.84 (w)	702.21 (w)	702.27 (w)	702.19 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 21 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.675/0.225/0.100 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	3504.13 (s)	3502.05 (s)	3502.36 (s)	3502.57 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	2995.71 (s)	2944.39 (s)	2944.38 (s)	2944.40 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	1757.25 (s)	1781.03 (s)	1781.04 (s)	1781.17 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1455.04 (s)	1457.26 (s)	1455.18 (s)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-	1343.13 (w)	1345.61 (w)	1344.07 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-			
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	955.87 (w)	922.23 (w)	943.14 (w)	924.67 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	869.29 (w)	869.79 (w)	869.73 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	869.61 (w) 756.83 (w)	755.98 (w)	755.96 (w)	755.67 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	706.84 (w)	706.92 (w)	707.89 (w)	706.65 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 22 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.450/0.450/0.100 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	3504.13 (s)	3499.05 (s)	3499.44 (s)	3499.35 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	2995.71 (s)	2965.03 (s)	2965.03 (s)	2965.07 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	1757.25 (s)	1778.79 (s)	1733.00 (s)	1778.92 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1457.12 (s)	1457.24 (s)	1457.13 (s)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-	1338.43 (w)	1332.35 (w)	1390.58 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-			
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	955.87 (w)	922.37 (w)	922.45 (w)	922.43 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	870.05 (w)	870.07 (w)	869.91 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	869.61 (w) 756.83 (w)	754.78 (w)	754.76 (w)	754.42 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	706.84 (w)	708.53 (w)	708.31 (w)	709.47 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 23 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.225/0.675/0.100 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	3504.13 (s)	3492.21 (s)	3491.79 (s)	3492.86 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	2995.71 (s)	2964.56 (s)	2964.64 (s)	2964.99 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	1757.25 (s)	1759.73 (s)	1765.36 (s)	1765.49 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1458.79 (s)	1458.88 (s)	1458.89 (s)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-	1365.61 (w)	1364.44 (w)	1362.72 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-			
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	955.87 (w)	922.13 (w)	922.22 (w)	922.22 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	870.43 (w) 796.88 (w)	870.45 (w) 796.95 (w)	870.27 (w) 796.95 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	869.61 (w) 756.83 (w)			
O-H wagging	-	601.89 (w)	706.84 (w)	603.03 (w)	603.03 (w)	602.30 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 24 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0/0.900/0.100 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	-	3486.89 (s)	3487.10 (s)	3487.56 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	-	2969.57 (s)	2973.43 (s)	2935.54 (s)
-COOH (overtone)	-	-	-	-	-	-
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	-	1763.71 (s)	1763.37 (s)	1721.85 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	-	-	-	-
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-	1463.41 (w)	1463.39 (w)	1463.38 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-	1324.03 (w)	1337.52 (w)	1367.67 (w)
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-	1066.55	1066.77	1067.67
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	-	922.32 (w)	922.37 (w)	922.36 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	797.60 (w)	797.63 (w)	797.66 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	-	751.60 (w)	751.42 (w)	751.47 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	-	602.87(w)	602.92 (w)	602.78 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 25 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.850/0/0.150 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	-	3504.13 (s)	3503.94 (s)	3503.33 (s)	3504.56 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	-	2995.71 (s)	2995.85 (s)	2994.85 (s)	2996.08 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	-	1757.25 (s)	1783.00 (s)	1740.80 (s)	1783.07 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1451.33 (s)	1454.60 (s)	1454.68 (s)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	-	-	1463.41 (w)	1463.39 (w)	1463.38 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	-	-	1372.61 (w)	1373.44 (w)	1346.87 (w)
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-	1072.61 (w)	1073.44 (w)	1046.87 (w)
O-H (bending) out of plane	-	-	955.87 (w)	954.89 (w)	954.83 (w)	954.55 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	870.07 (w)	870.05 (w)	870.39 (w)
C-H (bending) out of plane	-	-	869.61 (w) 756.83 (w)	756.41 (w)	756.51 (w)	756.52 (w)
O-H wagging	-	-	706.84 (w)	707.62 (w)	707.70 (w)	707.94 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 26 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.625/0.225/0.150 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	3504.13 (s)	3492.20 (s)	3491.79 (s)	3492.86 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	2995.71 (s)	2964.56 (s)	2964.64 (s)	2964.99 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	1757.25 (s)	1759.73 (s)	1765.36 (s)	1765.49 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1458.79 (w)	1458.88 (w)	1458.89 (w)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-			
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-	1372.61 (s)	1373.44 (s)	1346.87 (s)
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	955.87 (w)	922.13 (w)	922.22 (w)	922.22 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	870.43 (w) 796.88 (w)	870.45 (w) 796.95 (w)	870.27 (w) 756.95 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	869.61 (w) 756.83 (w)			
O-H wagging	-	601.89 (w)	706.84 (w)	707.03 (w)	707.03 (w)	707.30 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 27 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.450/0.450/0.150 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	**CAB**	**PLA**	**ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80**	**ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test**	**ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test**
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	3504.13 (s)	3498.92 (s)	3499.01 (s)	3500.02 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	2995.71 (s)	2964.25 (s)	2964.01 (s)	2964.78 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	1757.25 (s)	1734.94 (s)	1736.04 (s)	1778.87 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1456.41 (w)	1456.45 (w)	1456.69 (w)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-			
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-	1351.56 (s)	1357.21 (s)	1328.86 (s)
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	955.87 (w)	923.55 (w)	932.41 (w)	923.75 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	869.96 (w)	869.95 (w)	869.85 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	869.61 (w) 756.83 (w)	754.50 (w)	754.50 (w)	754.50 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	706.84 (w)	709.71 (w)	708.80 (w)	709.71 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 28 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.225/0.625/0.150 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	3504.13 (s)	3489.39 (s)	3409.26 (s)	3490.26 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	2995.71 (s)	2965.04 (s)	2965.49 (s)	2965.49 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	1757.25 (s)	1733.12 (s)	1765.65 (s)	1765.65 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1458.68 (w)	1458.61 (w)	1458.61 (w)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-			
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-	1337.52 (s)	1334.33 (s)	1334.33 (s)
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	955.87 (w)	923.14 (w)	923.15 (w)	923.15 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	870.52 (w)	870.58 (w)	870.58 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w)	869.61 (w)	752.44 (w)	752.31 (w)	752.31 (w)
		751.80 (w)	756.83 (w)	797.10 (w)	797.10 (w)	797.10 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	706.84 (w)	709.71 (w)	708.80 (w)	709.71 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 39 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0/0.850/0.150 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	-	3485.82 (s)	3485.95 (s)	3486.21 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	-	2959.51 (s)	2969.49 (s)	2971.51 (s)
-COOH (overtone)	-	-	-	-	-	-
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	-	1761.67 (s)	1761.64 (s)	1762.09 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	-	-	-	-
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-	1463.41 (w)	1460.73 (w)	1463.38 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-	1334.53 (w)	1327.55 (w)	1331.68 (w)
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	-	932.15 (w)	923.34 (w)	923.27 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	797.52 (w)	797.41 (w)	797.51 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	-	751.52 (w)	751.39 (w)	751.37 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	-	603.11 (w)	603.12 (w)	603.05 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 30 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.800/0/0.200 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	-	3504.13 (s)	3503.63 (s)	3503.78 (s)	3504.22 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	-	2995.71 (s)	2995.48 (s)	2995.49 (s)	2994.55 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	-	1757.25 (s)	1781.20 (s)	1781.80 (s)	1739.18 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1455.01 (s)	1454.24 (s)	1454.18 (s)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	-	-	1375.49 (w)	1371.30 (w)	1373.79 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	-	-			
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	-	955.87 (w)	954.52 (w)	954.56 (w)	954.19 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	869.66 (w)	869.75 (w)	870.16 (w)
C-H (bending) out of plane	-	-	869.61 (w) 756.83 (w)	756.44 (w)	756.44 (w)	756.39 (w)
O-H wagging	-	-	706.84 (w)	706.96 (w)	706.95 (w)	707.85 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 31 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0.400/0.400/0.200 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	3504.13 (s)	3490.42 (s)	3485.38 (s)	3486.22 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	2995.71 (s)	2967.83 (s)	2971.50 (s)	2959.56 (s)
-COOH (overtone)	-	-	2945.40 (s)			
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	1757.25 (s)	1757.10 (s)	1762.10 (s)	1761.78 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	1454.82 (s)	1462.62 (w)	1468.97 (w)	1468.84 (w)
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-			
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-	1362.62 (s)	1368.97 (s)	1368.74 (s)
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	955.87 (w)	921.46 (w)	923.54 (w)	923.50 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	797.43 (w)	797.54 (w)	797.90 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	869.61 (w) 756.83 (w)	751.31 (w)	751.35 (w)	751.31 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	706.84 (w)	601.98 (w)	603.00 (w)	603.08 (w)

หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 32 พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของฟิล์ม PLA/CAB/T80 ที่อัตราส่วน 0/0.800/0.200 ก่อนและหลังทดสอบ Cold fog test และ Hot fog test

ชนิดของการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน (Vibration assignment)	ความยาวคลื่น (Wave number ,cm^{-1})					
	T80	CAB	PLA	ฟิล์มก่อนทดสอบ PLA/CAB/T80	ฟิล์มหลังทดสอบ Cold fog test	ฟิล์มหลังทดสอบ Hot fog test
O-H (stretch)	3500.02 (s)	3490.12 (s)	-	3485.82 (s)	3485.95 (s)	3486.21 (s)
sp^3 C-H (stretch)	2924.59 (s)	2967.83 (s)	-	2959.51 (s)	2969.49 (s)	2971.51 (s)
-COOH (overtone)	-	-	-	-	-	-
C=O (stretch)	1740.50 (s)	1757.10 (s)	-	1761.67 (s)	1761.64 (s)	1762.09 (s)
C=C (stretch)	1740.50 (s)	-	-			
-COOH (stretch)	-	-	-	-	-	-
CH_2 (bending) in plane	1487.29 (w)	1463.40 (w)	-	1463.41 (w)	1460.73 (w)	1463.38 (w)
CH_3 (bending) in plane	1375.44 (w)	1384.05 (w)	-	1334.53 (w)	1327.55 (w)	1331.68 (w)
C-O-C (stretch)	1077.09 (s)	-	-			
O-H (bending) out of plane	-	921.46 (w)	-	932.15 (w)	923.34 (w)	923.27 (w)
C-H_2 (rocking)	777.12 (w)	-	-	797.52 (w)	797.41 (w)	797.51 (w)
C-H (bending) out of plane	-	797.43 (w) 751.80 (w)	-	751.52 (w)	751.39 (w)	751.37 (w)
O-H wagging	-	601.89 (w)	-	603.11 (w)	603.12 (w)	603.05 (w)

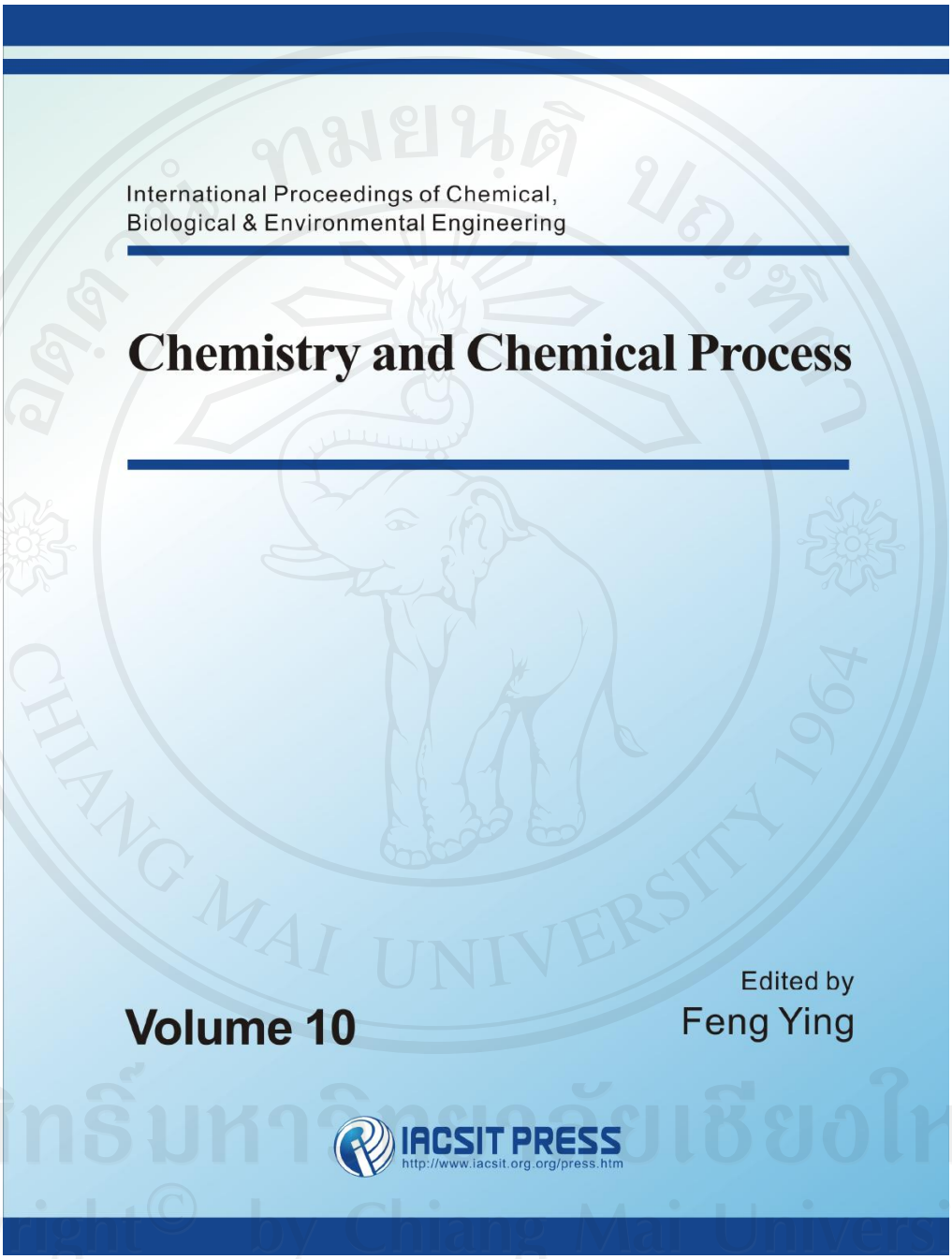
หมายเหตุ (s) หมายถึง strong peak, (w) หมายถึง weak peak

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวสุธินี เกิดเทพ
วัน เดือน ปี เกิด	7 พฤษภาคม 2531
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม ปีการศึกษา 2548 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2552
ทุนการศึกษา	ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย
รางวัลที่ได้รับ	รางวัลเรียนดี ประเภทเรียนดีประจำปี ของคณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2011 International Conference on Chemistry and Chemical Process
IPCBEE vol.10 (2011) © (2011) IACSIT Press, Bangkok,Thailand

Effect of Tween 80 on the Mechanical and Thermal Properties of Solution-Cast Blends of Poly(lactic acid) and Cellulose Acetate Butyrate Films

Sutinee Girdthep [1], Winita Punyodom [1,+], Robert Molloy [1] and Wasinee Channuan [2]

[1] Polymer Research Group, Department of Chemistry, Faculty of Science,
Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand

[2] Faculty of Agriculture Product Innovation and Technology, Srinakharinwirot University,
Bangkok, 10110, Thailand

Abstract. There is growing pressure in the fresh fruits and vegetables packaging sector to replace petrochemical-based packaging films with more environmentally friendly biodegradable materials. Poly(lactic acid), PLA, and cellulose acetate butyrate, CAB, are interesting candidates which are derived from renewable resources. However, both PLA and CAB films are brittle. Thus, the aim of this work has been to investigate the effect of a plasticizer on the properties of PLA, CAB and PLA/CAB blend films. The films were plasticized with different amounts of polysorbate 80 (Tween 80). The influence of Tween 80 on the mechanical properties of the plasticized polymer films was determined by tensile testing. It was found that the polymer blend films were more flexible than the pure polymer films. In addition, the elongation at break and tensile strength of all film types containing 10% wt. of Tween 80 were the highest. Furthermore, the thermal properties were investigated by differential scanning calorimetry (DSC). The DSC results suggest that blends of PLA and CAB are partially compatible in the amorphous phase. It was confirmed by scanning electron microscopy (SEM) that phase separation occurred in the polymer blend without Tween 80. Moreover, the SEM results suggest that Tween 80 acts as a compatibilizer in PLA/CAB blend films.

Keywords: poly(lactic acid), cellulose acetate butyrate, Tween 80, polymer blends, biodegradable polymers

1. Introduction

The use of biodegradable packaging is a growing trend due to the need to minimize the deposition of nondegradable solid residues in the environment [1] and the realization that our petroleum resources are finite [1-2]. One of the most studied biodegradable polymers is poly(lactic acid), PLA, an aliphatic polyester derived from renewable resources such as corn, cassava and sugar beet and is completely degradable under compositing conditions. Its mechanical properties make it useful for packaging and other applications traditionally dominated by petroleum-based resins. It also has a significantly lower non-renewable energy content compared to various other common polymers, partly due to the elimination of fossil fuels for its monomer source. PLA has a number of useful properties including biodegradability, good mechanical properties, and processability. For these reasons, PLA is an interesting candidate for producing biodegradable packaging materials [3]. However, considerable improvements are still required to overcome the following disadvantages: (1) slow crystallization, (2) poor heat resistance, (3) brittleness and (4) relatively high cost [4]. Thus, it would be useful to find versatile methodologies to manipulate the mechanical behavior and minimize these problems.

Corresponding author. Tel.: 053-943341-5 ext. 312; fax: 053-892277
E-mail address: winita@chiangmai.ac.th

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Blending is a commonly used technique in polymer technology [5] which aims to improve the overall properties of PLA. Polymer blends are mixtures of two or more polymers that may or may not be compatible [6]. In previous work, materials such as starch and cellulose derivatives have been extensively studied as blend components for PLA because of their lower cost compared to other materials.

Scandola *et al.* [7-8] have investigated the miscibility, thermal and viscoelastic properties of blends of polyhydroxybutyrate (PHB) with either cellulose acetate butyrate (CAB) or cellulose acetate propionate (CAP). It has been reported [9] that when the CAB or CAP content in the blends is more than 50% by weight, the blends are stable homogeneous amorphous glasses characterized by a single composition-dependent glass transition temperature, T_g. When the CAB or CAP component is less than 50% by weight, PHB crystallizes upon room temperature storage and the blends become partially crystalline.

Plasticizers are widely used to improve the processability, flexibility and ductility of polymers. In the case of a semi-crystalline polymer like PLA, an efficient plasticizer has to not only reduce the T_g but also depress the melting point (T_m) and the crystallinity [10]. In this context, surfactants are interesting ampiphilic substances in which the balance between the hydrophilic and hydrophobic fractions determines their applications. Polyoxyethylene sorbitan monooleate (Tween 80) has a high hydrophilic/lipophilic balance (HLB) value (>10) and is used for oil-in-water-type applications [11]. A reduction in the water absorption capacity of methylcellulose films has been observed with increasing HLB of the mixture of surfactants. Surfactants with higher HLB allow a greater association of their hydrophilic fraction with the hydrophilic film matrix which, in turn, may reduce the amount of water binding sites while the hydrophobic fraction may act as a water vapour permeability (WVP) barrier.

In this work, the preparation of solution-cast blends of PLA and CAB using Tween 80 as a plasticizer has been investigated and their properties as potential packaging materials examined. The structures of the PLA, CAB and Tween 80 are shown in Figure 1.

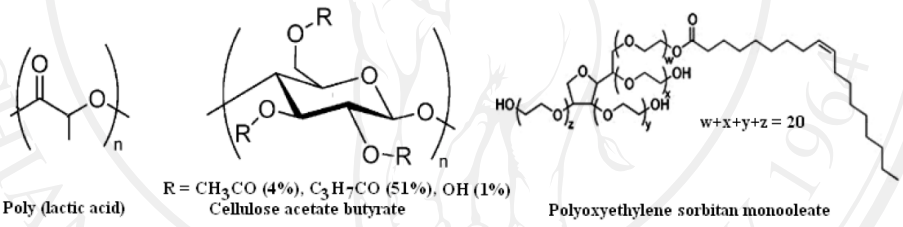


Fig. 1: Molecular structures of PLA, CAB and polyoxyethylene sorbitan monooleate (Tween 80)

2. Materials and Methods

2.1. Materials

PLA was obtained from NatureWorks (Purac, Netherlands) and had a viscosity-average molecular weight, $\overline{M}_v$, of 61,000 as determined by dilute-solution viscosity measurements in chloroform at 25°C. The PLA pellets were translucent and semi-crystalline with a T_g (mid-point) of 59°C and a T_m (peak) of 148°C. Cellulose acetate butyrate (CAB) type 500-5 of number-average molecular weight, $\overline{M}_n$, 57,000 was obtained from Eastman Chemical Company (Kingsport, Tennessee, USA). The butyryl, acetyl and hydroxyl contents were 51%, 4%, and 1% respectively. Polyoxyethylene sorbitan monooleate (Tween 80) (Sigma-Aldrich, Saint Louis, USA) was used as received.

2.2. Preparation of Blends

Specified amounts of PLA, CAB and Tween 80 were placed in a beaker to a total amount of 0.5 g and 10 ml of chloroform were added. After being stirred vigorously for about 5 h, the solution became clear and was then poured into a glass Petri dish. After the chloroform had evaporated at room temperature, homogeneous films of approximately 0.05 mm in thickness were obtained. The dried samples were peeled off from the glass and further dried in a vacuum desiccator for several days to completely remove any

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

residual solvent. The same procedure was used for blends containing 5, 10, 15 and 20% by weight of plasticizer (Tween 80). The blend films containing a given amount of CAB are subsequently referred to in this paper as $\Phi_{CAB} = X$; where X represents the weight fraction of CAB in the blends.

2.3. Characterization of Blends

Thermal properties of the blends were measured using a Perkin-Elmer Differential Scanning Calorimeter (DSC7) at a heating rate of 10 °C/min and the glass transition temperature, T_g, melting temperature, T_m, and heat of melting, ΔH_m, determined. The surface topography of the blends was studied using a Jeol 5910 LV Scanning Electron Microscope at an acceleration voltage of 15 kV. Samples were mounted onto SEM stubs using carbon tabs and the stub surface then coated with gold using a sputter-coater. Tensile testing of the blend films was performed at room temperature using a Lloyds LRX+ Universal Testing Machine at a cross head speed of 10 mm/min and initial gauge length of 50 mm.

3. Results and Discussion

3.1. Thermal Properties

Figure 2 shows the DSC curves of the (a) PLA ($\Phi_{CAB} = 0$), (b) CAB ($\Phi_{CAB} = 1$) and (c) a PLA/CAB 50:50 blend ($\Phi_{CAB} = 0.5$) using different amounts of Tween 80. For PLA, two endothermic melting peaks could be seen at approximately 148°C in the 5, 10, 15 and 20% Tween 80 samples; this temperature corresponds to the melting point of PLA. Moreover, an endothermic melting peak was also observed at the same temperature when using 20% Tween 80 in $\Phi_{CAB} = 0.5$ indicating that this highest Tween 80 content could induce partial crystallization in the PLA microdomains. However, this peak could not be seen when using 0% Tween 80 in pure PLA and the PLA/CAB blend.

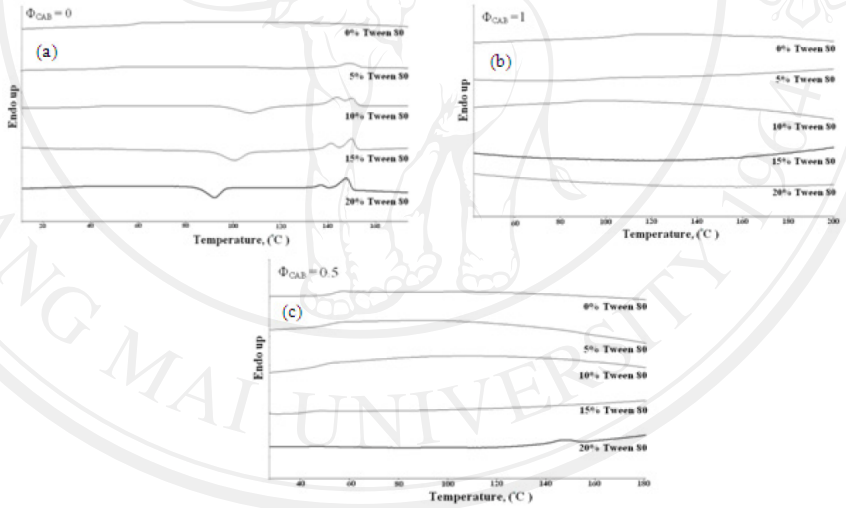


Fig. 2: DSC thermograms (2nd run) of (a) $\Phi_{CAB} = 0$ (b) $\Phi_{CAB} = 1$ and (c) $\Phi_{CAB} = 0.5$ with different amounts of Tween 80 as plasticizer

To discuss the effect of the Tween 80 content on the melting behavior, the values of T_g, T_m and ΔH_m were evaluated for each of the as-cast samples and the results are shown in Table 1. It can be seen that T_m increases with increasing Tween 80 content implying that larger PLA crystallites are formed. It can also be seen that the T_g values decrease with increasing Tween 80. A single T_g is observed for all blend compositions which indicates that the PLA/CAB blends are compatible in the amorphous phase. It should also be noted that physical ageing was not observed in the second DSC scans as all the samples were

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

quenched and re-run immediately. An approximate value of the T_g of binary compatible blends can be calculated from the Fox Equation [12].

$$\frac{1}{T_g} = \frac{W_1}{T_{g1}} + \frac{W_2}{T_{g2}}$$

where $W_1$and W_2 are the weight fractions of the two components (W_1+W_2=1) and T_{g1} and T_{g2} are the glass transition temperatures in degrees Kelvin of the respective homopolymers.

At 10% Tween 80, the Φ_{CAB} = 0 blend had a maximum ΔH_m value which decreased with further added Tween 80. Notably, the appearance of a T_m and ΔH_m when using 20% Tween 80 in the Φ_{CAB} = 0.5 blend confirmed that the introduction of the Tween 80 induced crystallization of the PLA.

Table 1: Glass transition and melting temperatures (°C) and heats of melting (J/g) of pure PLA (Φ_{CAB} = 0), pure CAB(Φ_{CAB} = 1) and PLA/CAB blends (Φ_{CAB} = 0.5) with and without plasticizer (Tween 80).

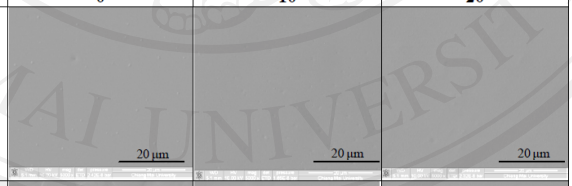
Tween 80	**Φ_{CAB} = 0**			**Φ_{CAB} = 0.5**			**Φ_{CAB} = 1**		
% wt.	**T_g**	**T_m**	**ΔH_m**	**T_g**	**T_m**	**ΔH_m**	**T_g**	**T_m**	**ΔH_m**
0	58.5	*n/d*	*n/d*	52.1, 106.2	*n/d*	*n/d*	108.6	*n/d*	*n/d*
5	47.7	148.8	9.3	52.5	*n/d*	*n/d*	96.2	*n/d*	*n/d*
10	41.3	147.8	29.8	48.6	*n/d*	*n/d*	86.5	*n/d*	*n/d*
15	50.5	148.2	25.4	45.1	*n/d*	*n/d*	53.9	*n/d*	*n/d*
20	32.0	148.3	3.0	42.3	148.3	2.3	40.5	*n/d*	*n/d*

n/d = not detected

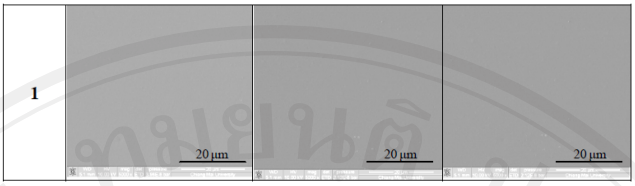
3.2. Scanning Electron Microscopy

Table 2 shows the SEM images of the film surfaces. Films without Tween 80 (Φ_{CAB} = 0 and 1) exhibited a continuous phase but the PLA/CAB blend film (Φ_{CAB} = 0.5) showed phase separation between the PLA and the CAB due to their partial incompatibility at the molecular level. However, the addition of Tween 80 appeared to decrease this phase separation due to its plasticizing effect.

Table 2: SEM micrographs (magnification x5000) of pure PLA (Φ_{CAB} = 0), pure CAB (Φ_{CAB} = 1) and the PLA/CAB blends (Φ_{CAB} = 0.5) with and without plasticizer (Tween 80).

Φ_{CAB}	**Amount of Tween 80 (%wt.)**		
	0	**10**	**20**
0			
0.50			

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



3.3. Mechanical Properties

The tensile mechanical properties of the films are summarized in Figure 3. In general, the Tween 80 plasticizer enhances the ductile character of the PLA/CAB blends as expected. The tensile strength is a maximum at 10% Tween 80 in all film samples, while the PLA/CAB blends showed a slight increase in % elongation at break with increasing Tween 80. These findings support the view of the partial compatibility of PLA and CAB. The addition of Tween 80 significantly reduced the Young's modulus of the blend films.

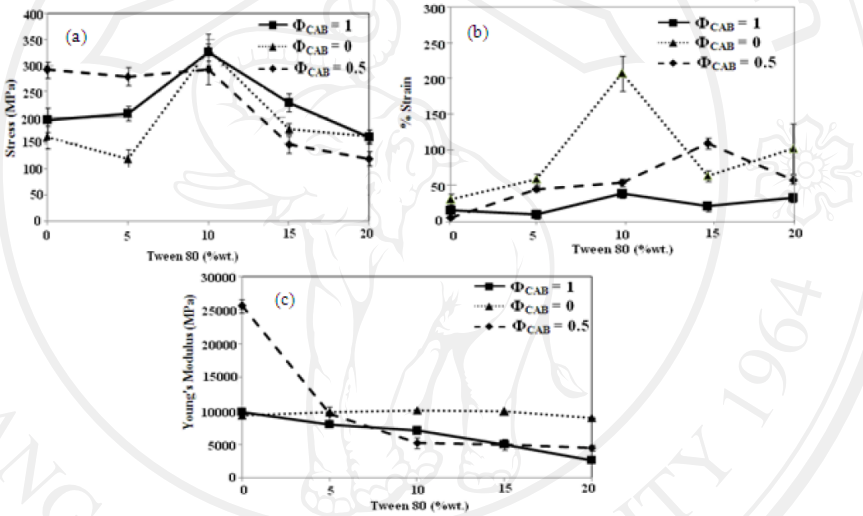


Fig. 3: Mechanical properties of the films ($\Phi_{CAB} = 0$, $\Phi_{CAB} = 1$ and $\Phi_{CAB} = 0.5$ with different amounts of Tween 80)

(a) stress at break (b) % elongation and (c) Young's modulus

4. Conclusions

PLA is a promising biodegradable polymer which can be blended with CAB and Tween 80 to modify its properties and lower its cost. The properties and compatibility of these biodegradable polymer blends were determined through thermal and mechanical testing and scanning electron microscopy. The changes in the tensile properties and the DSC results suggest that blends of PLA and CAB are partial compatible in the amorphous phase. The addition of Tween 80 to PLA/CAB blends reduced the T_g and increased the heat of melting of the PLA. From the SEM images, all films were homogeneous when Tween 80 was added. The incorporation of Tween 80 reduced the Young's modulus of the blends, increased the strain at break and increased film flexibility.

5. Acknowledgements

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

The authors wish to thank the Human Resource Development in Science Project (Science Achievement Scholarship of Thailand, SAST) for financial support.

6. References

[1] R.P.H. Brandelero, F. Yamashita, M. V. E. Grossmann. Carbohydrate Polymers. 2010, 82: 1102–1109.

[2] S. Godbole, S. Gote, M. Latkar, T. Chakrabarti. Bioresource Technology. 2003, 86: 33–37.

[3] I. Pillin, N. Montrelay and Y. Grohens, Polymer. 2006, 47:46-76.

[4] T. Yokohara, M.Yamaguchi. European Polymer Journal. 2008, 44: 677–685.

[5] M.J. Folkes and P.S. Hope, Polymer Blends and Alloys, Chapman & Hall, Cambridge, UK, 1993.

[6] E.B. Mano and L.C. Mendes, "Introdução a polymeros", Edgard Blüche, São Paulo, 1999.

[7] T. Ke and X.S. Sun, Journal of Applied Polymer Science. 2003, 88: 2947.

[8] N. Ljungverg, T. Andersson and B. Wesslen, Journal of Applied Polymer Science. 2003, 88:3231-3239.

[9] M. Mackawa, R. Pearce, R.H. Martchessault and R.S.J. Manley, Polymer.1999, 40:1501.

[10] H. Younes and D. Cohn, European Polymer Journal. 1988, 24 :765.

[11] M. Rodríguez, J. Osés, K. Ziani, J.I. Maté. Food Research International. 2006, 39:840-846.

[12] O. Olabisi, L.M. Mobeson and MT. Shaw, Polymer-Polymer Miscibility. New York: Academic Press, 1979.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved