ภาคผนวก ก

การทดสอบสมบัติเชิงกล

ตารางที่ ก-1 ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุด (Tensile strength) ค่ายังมอดุลัส (Modulus) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

สูตร	ทิศทางการทดสอบ	ความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุด (MPa)	ยังมอดุลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)
PE/TPS	MD	7.74±0.14[a]	85.18±1.34	213.55±1.14
	TD	6.78±0.21	123±1.21	408.41±1.23
PE/TPS/K3	MD	7.35±0.46	90.21±0.12	245.00±1.12
	TD	4.36±0.21	98.32±0.15	321.11±0.46
PE/TPS/K5	MD	7.60±0.67	61.39±0.21	231.00±0.31
	TD	5.84±0.21	79.09±1.31	343.34±0.77
PE/TPS/K7	MD	7.71±0.23	76.55±1.41	238.00±0.15
	TD	5.72±0.27	115.47±0.34	380.12±0.23
PE/TPS/K9	MD	6.31±0.34	72.68±0.21	226.11±0.21
	TD	5.10±0.21	88.44±0.51	339.44±0.32

หมายเหตุ : MD คือ ทิศทางตามแนวเครื่องจักร

TD คือ ทิศทางตามขวางเครื่องจักร

a คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

สูตร	ทิศทางการทดสอบ	ความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุด (MPa)	ยังมอดุลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)
PE/TPS/K7/G10	MD	7.78±0.12[a]	70.43±1.23	260.79±0.35
	TD	5.56±0.09	105.34±1.12	421.32±0.18
PE/TPS/K7/G20	MD	8.43±0.32	72.45±1.41	270.23±0.12
	TD	5.58±0.23	93.41±0.63	433.11±0.22
PE/TPS/K7/G30	MD	9.21±0.34	73.56±0.32	294.81±1.31
	TD	6.53±0.44	91.34±0.45	457.21±0.45
PE/TPS/K7/G40	MD	8.93±0.23	70.34±0.21	310.43±1.43
	TD	6.54±0.52	83.21±0.56	460.51±0.24
PE/TPS/K7/G50	MD	8.21±0.12	74.23±0.22	320.41±0.51
	TD	6.74±0.46	78.39±0.11	450.42±0.28
PE/TPS/K7/G30/P1	MD	9.22±0.23	74.36±0.21	292.34±2.18
	TD	6.54±0.45	92.21±0.14	452.32±1.39
PE/TPS/K7/G30/P3	MD	9.21±0.43	73.23±0.49	293.23±1.27
	TD	6.32±0.41	91.51±0.34	431.30±1.63

หมายเหตุ : MD คือ ทิศทางตามแนวเครื่องจักร

TD คือ ทิศทางตามขวางเครื่องจักร

a คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ก-3 ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุด (Tensile strength) ค่ายังมอดุลัส (Modulus) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของฟิล์มหลังจากทำการเอจจิงที่อุณหภูมิ 70 ^{o}C เป็นเวลา 7 วัน

จำนวนวัน	ทิศทางการทดสอบ	ความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุด (MPa)	ยังมอดุลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)
PE/TPS/K7/G30				
0	MD	9.21±0.34[a]	73.56±0.32	294.81±1.31
	TD	6.53±0.43	91.34±0.45	457.21±0.45
1	MD	9.10±0.45	74.72±0.21	286.23±1.53
	TD	6.57±0.34	93.32±0.12	450.71±1.32
2	MD	9.01±0.23	73.62±1.36	283.46±1.32
	TD	6.43±0.85	92.47±2.15	433.32±1.21
3	MD	8.98±0.51	70.35±1.24	281.42±1.12
	TD	6.32±0.39	89.34±2.57	415.52±1.38
4	MD	8.88±0.32	69.32±1.26	275.21±0.12
	TD	6.14±0.43	87.42±1.12	398.37±0.23
5	MD	8.87±0.58	67.35±0.45	276.67±1.15
	TD	6.35±0.53	86.53±0.23	396.26±1.02
6	MD	8.67±0.47	66.71±1.15	263.45±1.56
	TD	6.32±0.38	84.43±0.43	386.10±1.25
7	MD	8.45±0.52	65.43±0.42	260.21±1.37
	TD	6.09±0.23	80.32±0.13	362.45±1.17

หมายเหตุ : MD คือ ทิศทางตามแนวเครื่องจักร

TD คือ ทิศทางตามขวางเครื่องจักร

a คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

จำนวนวัน	ทิศทางการทดสอบ	ความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุด (MPa)	ยังมอดุลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)
PE/TPS/K7/G30/P1				
0	MD	9.22±0.23[a]	74.36±0.21	292.34±2.18
	TD	6.54±0.45	92.21±0.14	452.32±1.39
1	MD	9.02±0.32	72.53±3.91	278.32±2.47
	TD	6.34±0.34	90.54±2.31	440.23±1.32
2	MD	8.86±0.41	69.54±2.35	273.12±0.34
	TD	6.12±0.85	87.30±2.56	429.45±0.41
3	MD	8.19±0.57	63.21±1.56	265.21±0.12
	TD	5.94±0.39	76.72±2.14	410.12±0.62
4	MD	7.95±0.32	62.24±2.48	263.67±0.34
	TD	5.63±0.43	72.31±1.24	335.11±0.26
5	MD	7.45±0.58	59.50±1.42	220.87±0.45
	TD	5.47±0.53	70.43±2.35	320.28±0.32
6	MD	7.69±0.47	58.53±0.24	210.09±1.23
	TD	5.21±0.38	69.54±0.31	299.59±1.27
7	MD	6.75±0.52	58.37±1.45	190.32±0.27
	TD	4.56±0.24	65.46±0.21	257.33±1.45

หมายเหตุ : MD คือ ทิศทางตามแนวเครื่องจักร

TD คือ ทิศทางตามขวางเครื่องจักร

a คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ก-5 (ต่อ)

จำนวนวัน	ทิศทางการทดสอบ	ความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุด (MPa)	ยังมอดุลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)
PE/TPS/K7/G30/P3				
0	MD	9.21±0.43	73.23±0.49	293.23±1.27
	TD	6.32±0.41	91.51±0.34	431.37±1.63
1	MD	8.82±0.45	69.32±1.21	267.27±0.34
	TD	6.21±0.35	87.06±2.12	421.45±2.12
2	MD	8.54±0.53	65.43±1.45	254.37±2.23
	TD	6.08±0.32	83.45±2.45	410.81±2.34
3	MD	7.86±0.23	61.73±2.13	249.11±1.43
	TD	5.87±0.45	73.51±1.14	398.31±0.44
4	MD	7.31±0.13	59.49±0.18	237.43±0.34
	TD	5.59±0.24	69.34±0.29	325.56±0.35
5	MD	7.20±0.24	56.38±1.27	180.23±0.12
	TD	5.32±0.51	65.61±1.75	298.45±0.23
6	MD	7.02±0.23	55.42±1.36	175.73±0.13
	TD	5.01±0.23	60.32±0.47	250.42±0.23
7	MD	6.49±0.27	51.54±1.34	170.32±0.25
	TD	4.39±0.26	58.38±1.32	225.29±0.21

หมายเหตุ : MD คือ ทิศทางตามแนวเครื่องจักร

TD คือ ทิศทางตามขวางเครื่องจักร

a คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ก-6 ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุด (Tensile strength) ค่ายังมอดุลัส (Modulus) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม หลังจากทำการฉายแสงยูวีเป็น 2 เดือน

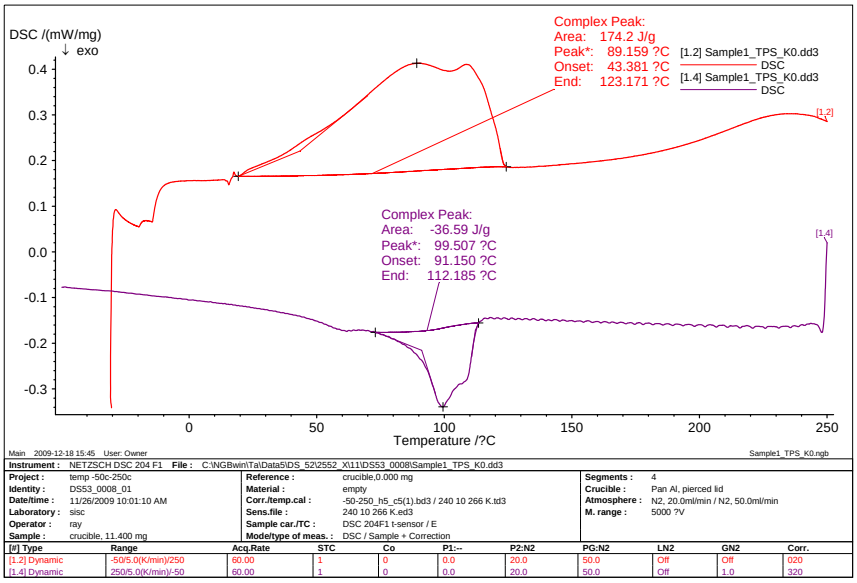
จำนวนเดือน	ทิศทางการทดสอบ	ความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุด (MPa)	ยังมอดุลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)
PE/TPS/K7/G30				
0	MD	9.21±0.34[a]	73.56±0.32	294.81±1.31
	TD	6.53±0.43	91.34±0.45	457.21±2.45
1	MD	7.53±0.31	64.56±2.32	255.34±1.56
	TD	5.14±0.12	77.37±0.29	357.25±2.43
2	MD	6.43±0.27	53.43±1.45	200.73±1.75
	TD	4.43±0.25	60.91±0.56	280.31±2.49
PE/TPS/K7/G30/P1				
0	MD	9.22±0.23	74.36±1.81	292.34±2.18
	TD	6.54±0.45	92.21±0.74	452.32±1.39
1	MD	6.60±0.28	54.38±1.32	180.56±1.23
	TD	4.42±0.37	60.21±2.25	250.76±2.38
2	MD	4.23±0.12	40.21±1.34	130.54±1.52
	TD	3.35±0.32	50.30±2.57	180.77±2.34
PE/TPS/K7/G30/P3				
0	MD	9.21±0.43	73.23±0.49	293.23±1.27
	TD	6.32±0.41	91.51±0.34	431.30±1.63
1	MD	6.46±0.12	50.42±1.34	163.12±2.34
	TD	4.09±0.23	55.42±2.35	220.37±2.12
2	MD	3.79±0.34	37.37±1.41	110.30±2.03
	TD	3.12±0.25	45.22±1.45	140.34±2.74

หมายเหตุ : MD คือ ทิศทางตามแนวเครื่องจักร , TD คือ ทิศทางตามขวางเครื่องจักร

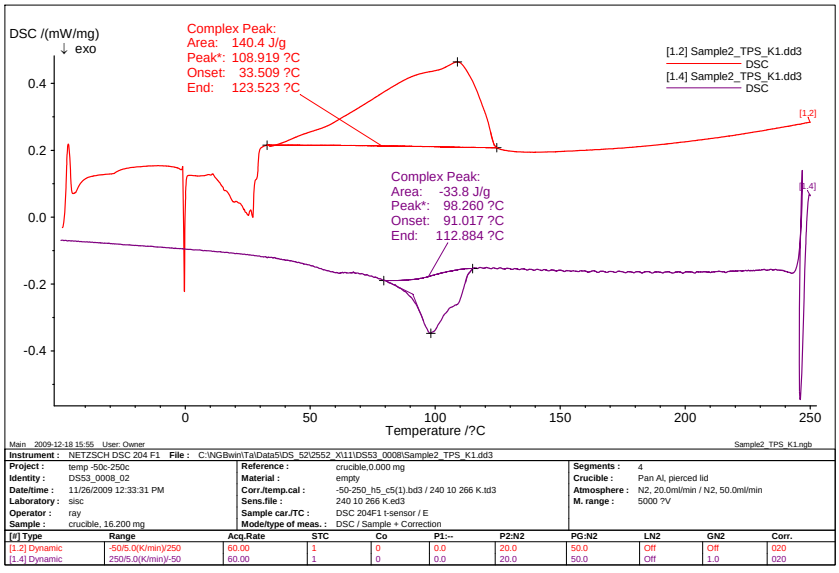
a คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ภาคผนวก ข

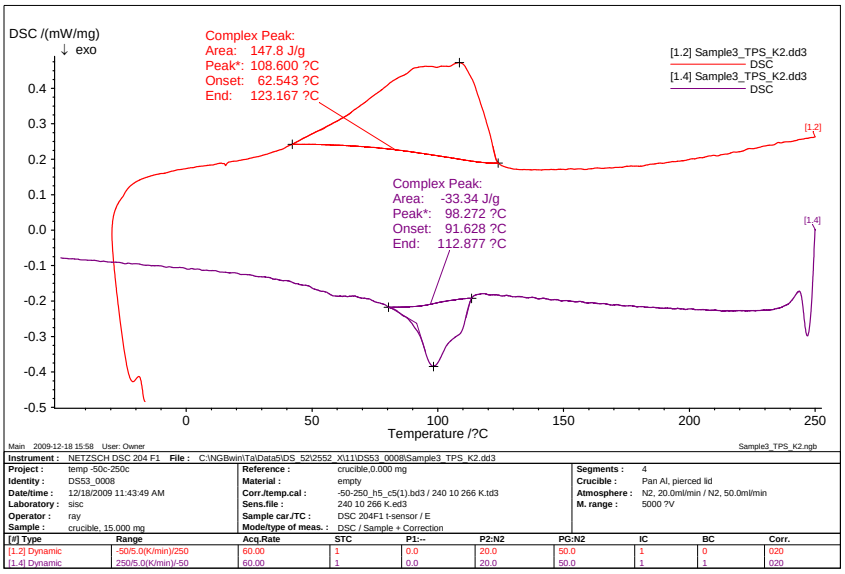
การทดสอบสมบัติทางความร้อน



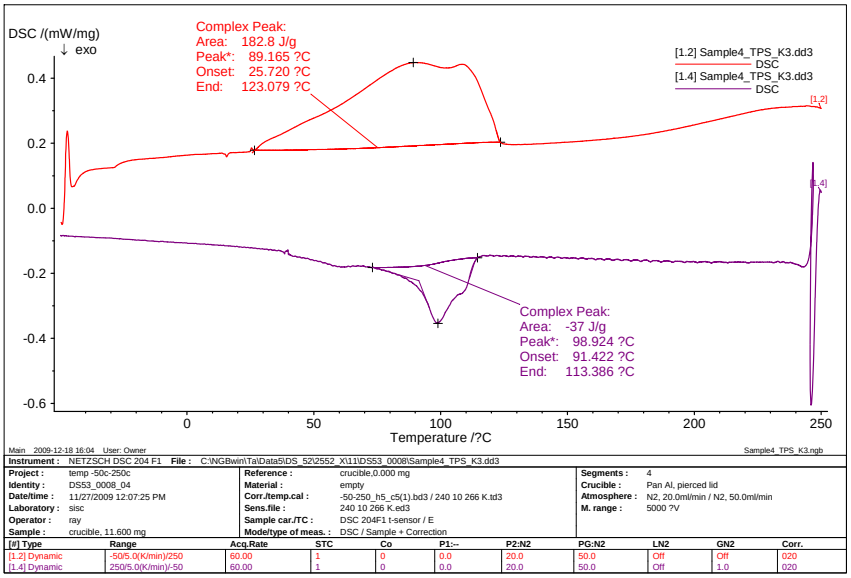
รูปที่ ข – 1 DSC thermogram ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช สูตร PE/TPS



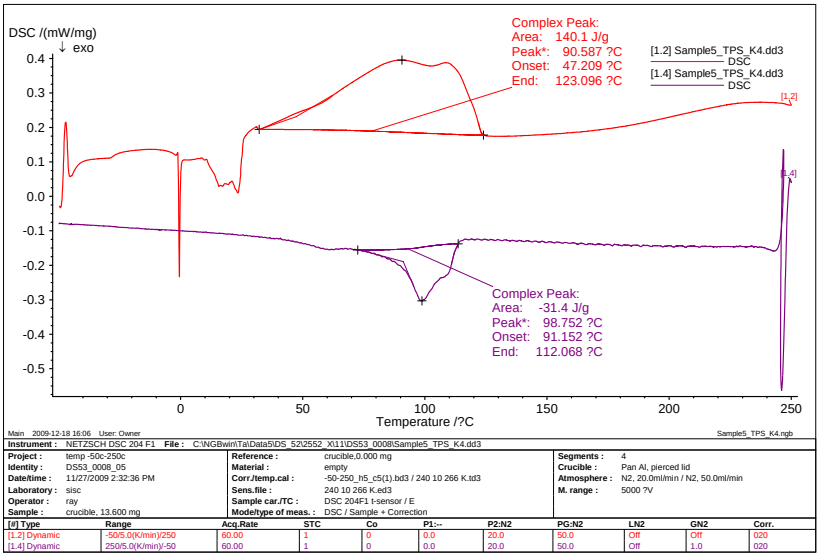
รูปที่ ข – 2 DSC thermogram ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/แคปปาคาราจีแนน สูตร PE/TPS/K3



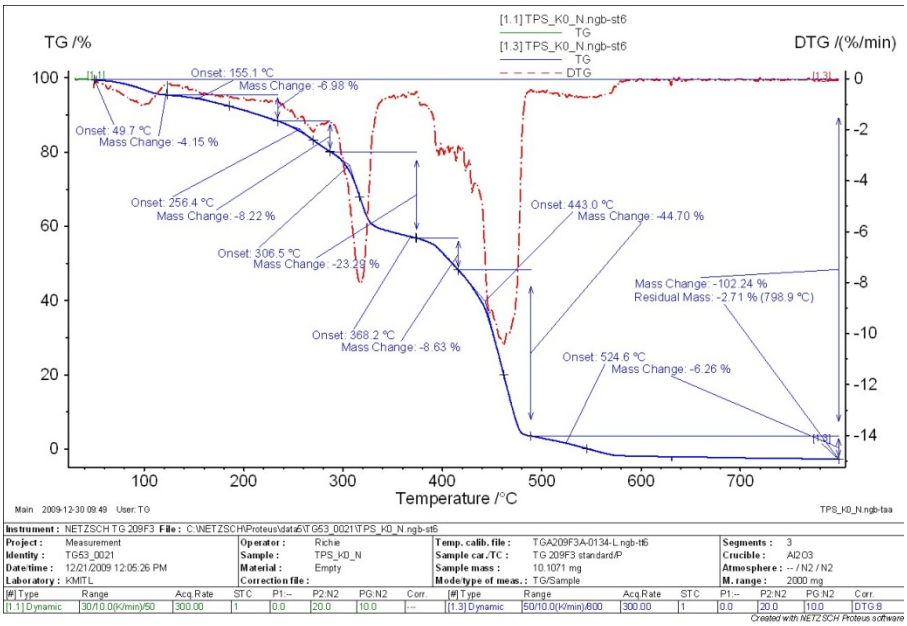
รูปที่ ข – 3 DSC thermogram ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/แคปปาคาราจีแนน สูตร PE/TPS/K5



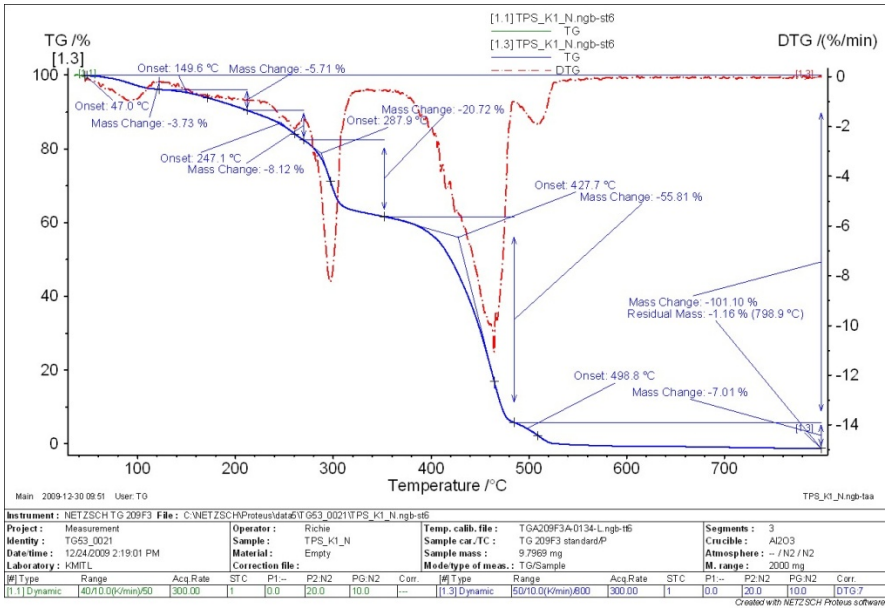
รูปที่ ข – 4 DSC thermogram ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/แคปปาคาราจีแนน สูตร PE/TPS/K7



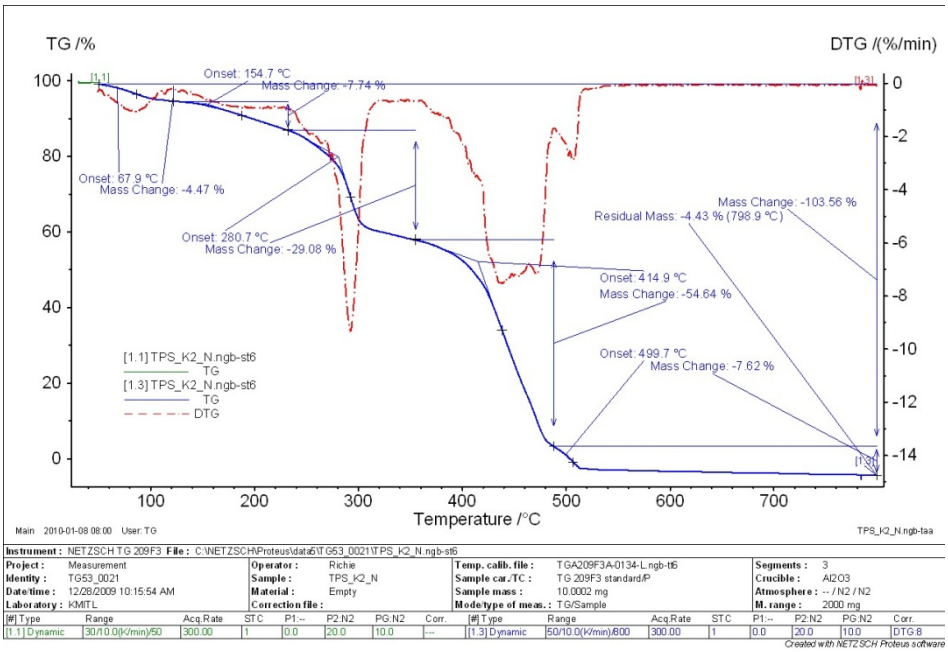
รูปที่ ข – 5 DSC thermogram ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/แคปปาคาราจีแนน สูตร PE/TPS/K9



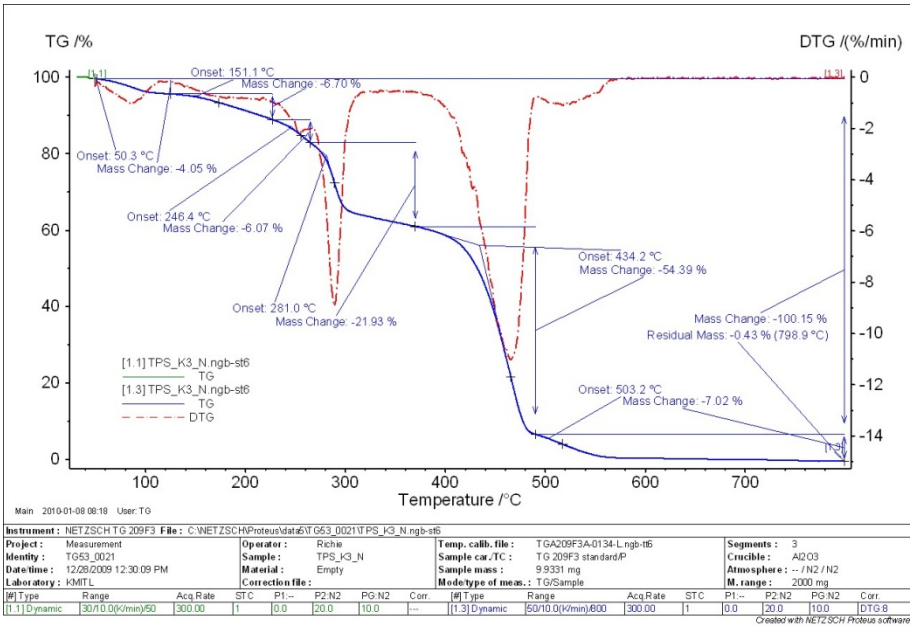
รูปที่ ข – 6 TGA thermogram ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช สูตร PE/TPS



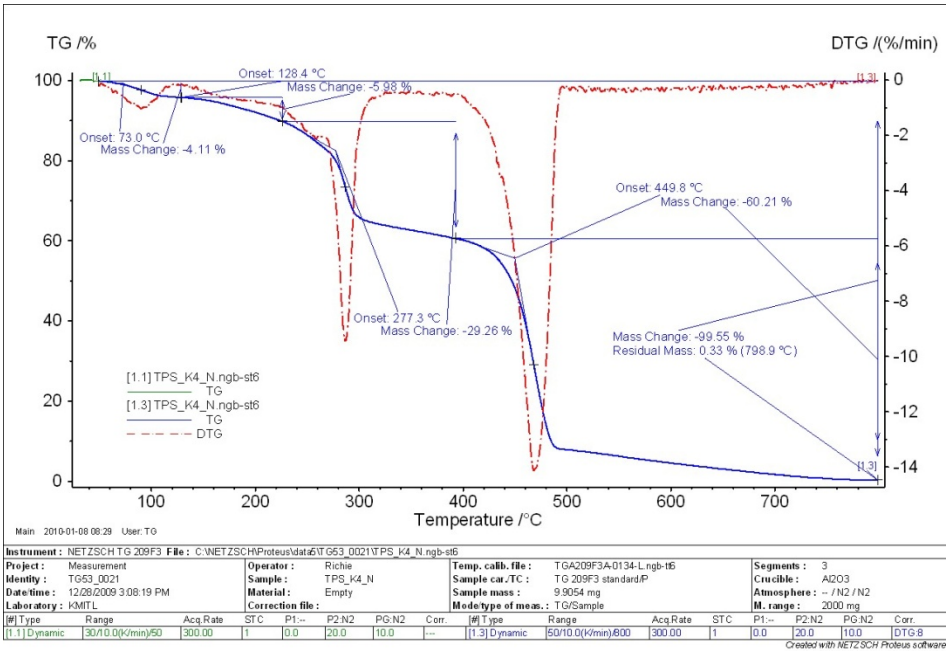
รูปที่ ข – 7 TGA thermogram ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/แคปปาคาราจีแนน สูตร PE/TPS/K3



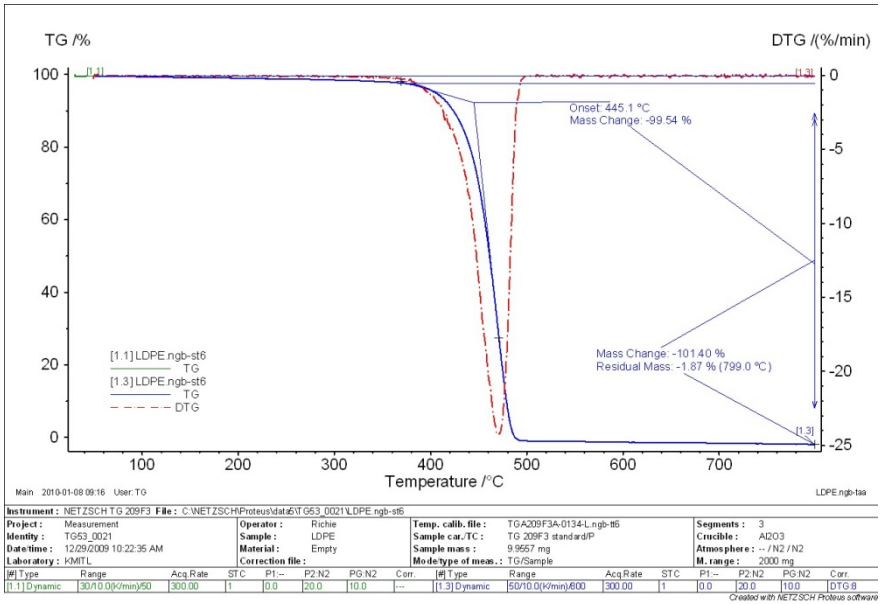
รูปที่ ข – 8 TGA thermogram ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/แคปปาคาราจีแนน สูตร PE/TPS/K5



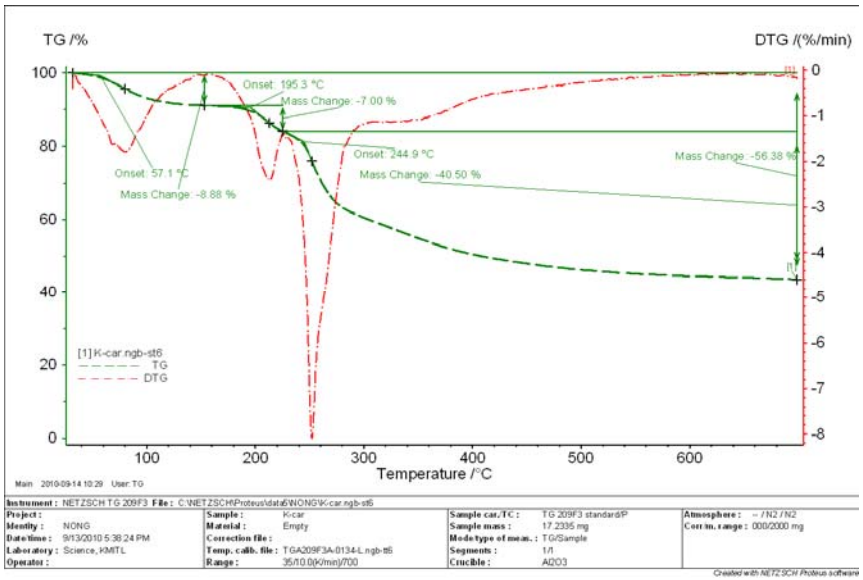
รูปที่ ข – 9 TGA thermogram ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/แคปปาคาราจีแนน สูตร PE/TPS/K7



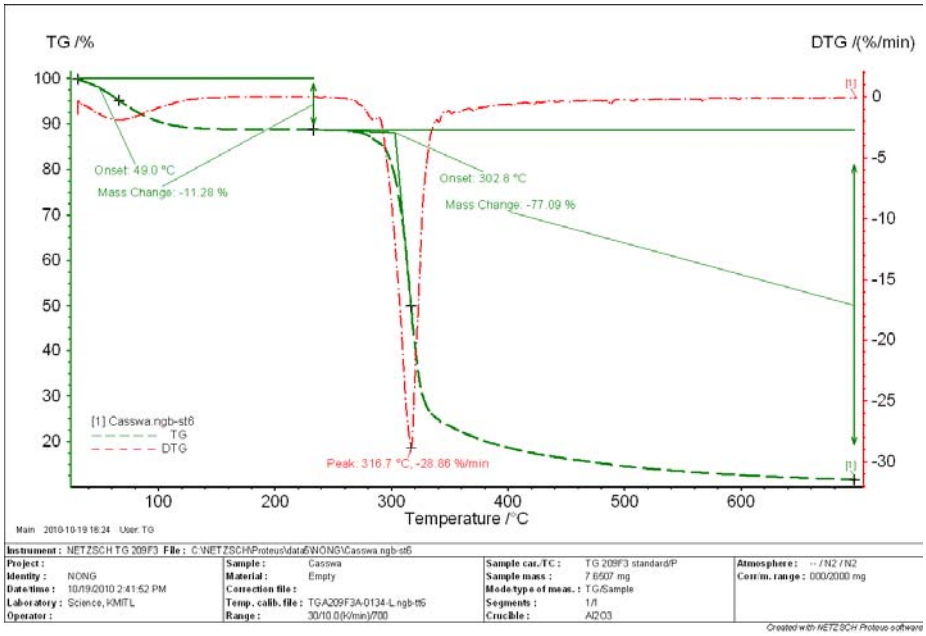
รูปที่ ข – 10 TGA thermogram ของฟิล์มพอลิเมอร์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/แคปปาคาราจีแนน สูตร PE/TPS/K9



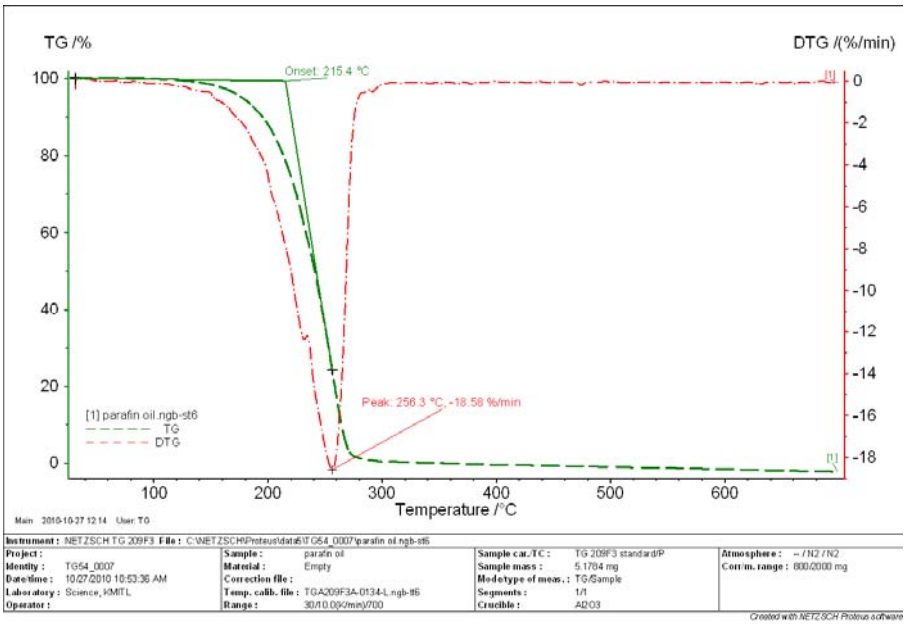
รูปที่ ข – 11 TGA thermogram ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น



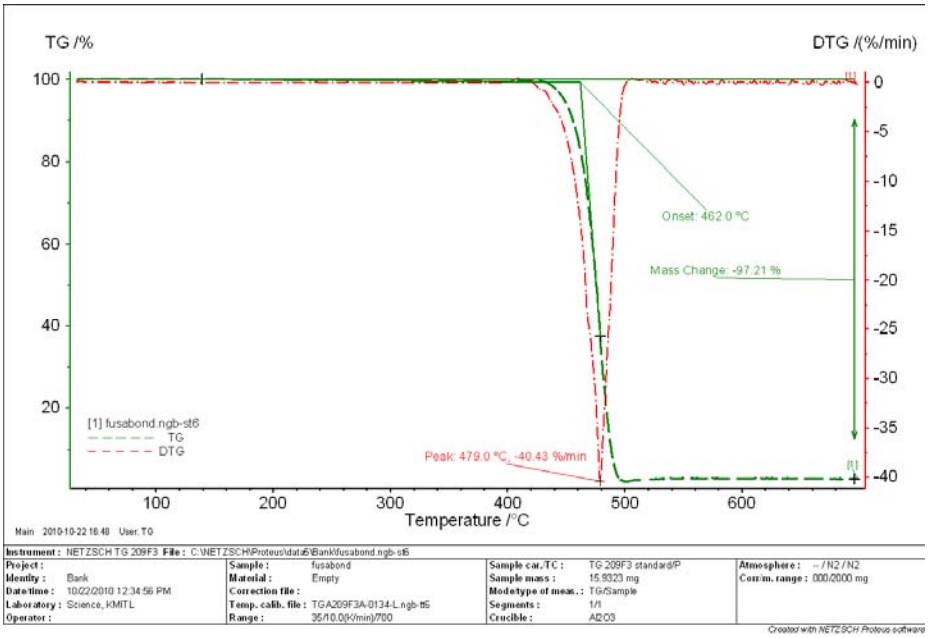
รูปที่ ข – 12 TGA thermogram ของแคปปาคาราจีแนน



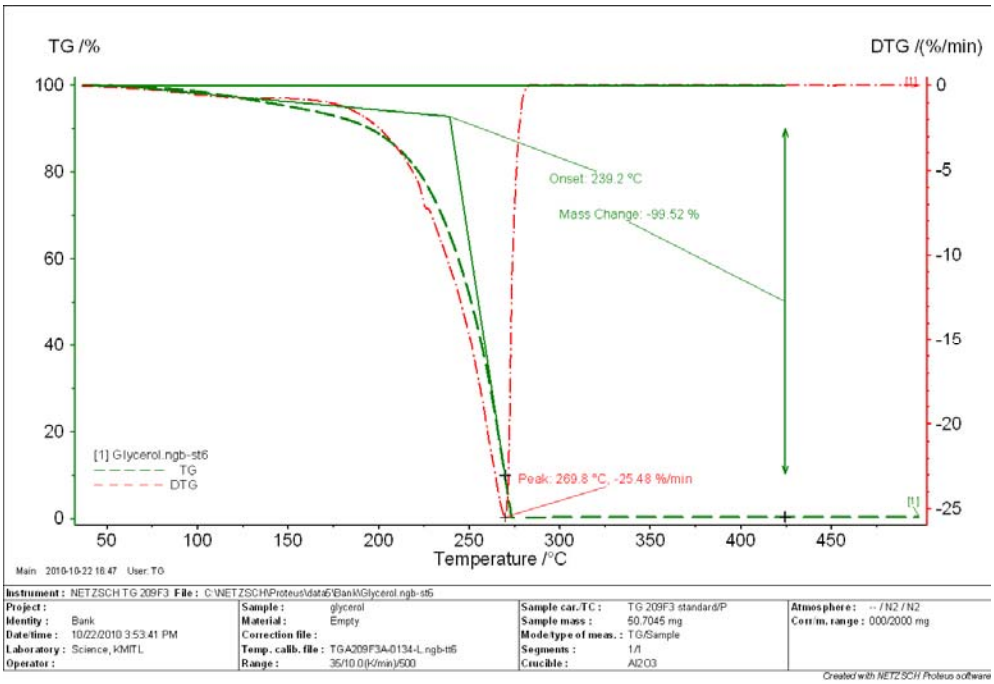
รูปที่ ข – 13 TGA thermogram ของแป้งมันสำปะหลัง



รูปที่ ข – 14 TGA thermogram ของน้ำมันพาราฟิน



รูปที่ ข – 15 TGA thermogram ของฟิวซาบอน



รูปที่ ข – 15 TGA thermogram ของกลีเซอรอล

ภาคผนวก ค

การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก

การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Cryatallinity)

$$\textbf{\% Crystallinity} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H^o_f} \times 100 \times \frac{\text{น้ำหนักพอลิเมอร์(พอลิเอทิลีน)ที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ผสม(g)}}{\text{น้ำหนักสารทั้งหมด(g)}}$$

เมื่อ ΔH_f คือ Enthalpy of fusion ของสารซึ่งได้จากพื้นที่ใต้กราฟ (J/g)

ΔH^o_f คือ Enthalpy of fusion ของ LDPE ที่มีความเป็นผลึก 100 %
(มีค่าเท่ากับ 276 J/g)

ตัวอย่างการคำนวณ

- สูตร PE/TPS -น้ำหนักพอลิเมอร์(พอลิเอทิลีน)ที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ผสม = 100 g
  -น้ำหนักรวมทั้งหมด = 210 g
  - ΔH_f ที่ได้พื้นที่ใต้กราฟ = 174.2 J/g

$$\textbf{\% Crystallinity} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H^o_f} \times 100 \times \frac{\text{น้ำหนักพอลิเมอร์(พอลิเอทิลีน)ที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ผสม(g)}}{\text{น้ำหนักสารทั้งหมด(g)}}$$

$$= \frac{174.2}{276} \times 100 \times \frac{100}{210}$$

$$= 0.6311 \times 100 \times 0.47$$

$$= 29.61$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสูตร PE/TPS เท่ากับ 29.61%

ภาคผนวก ง

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ ง-1 เปอร์เซ็นต์ปริมาณการดูดซับน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

สูตร / วันที่	2	4	6	8	10	12	14
PE/TPS	30.78±0.12[a]	32.32±0.14	32.38±0.15	32.34±012	32.35±0.19	32.32±0.11	32.32±0.23
PE/TPS/K3	32.12±0.14	33.21±0.12	33.22±0.23	33.21±0.13	33.23±0.21	33.23±0.31	33.24±0.12
PE/TPS/K5	32.21±0.16	33.31±0.26	33.32±0.12	33.34±0.43	33.32±0.12	33.34±0.12	33.31±0.11
PE/TPS/K7	32.38±0.12	33.42±0.21	33.41±0.32	33.42±0.45	33.42±0.13	33.41±0.25	33.41±0.27
PE/TPS/K9	32.41±0.28	33.48±0.11	33.47±0.31	33.47±0.23	33.48±0.15	33.47±0.32	33.47±0.14

หมายเหตุ : a คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ภาคผนวก จ

การศึกษาสมบัติการย่อยสลายทางความร้อน

ตารางที่ จ-1 ค่า Absorbance บริเวณเลขคลื่น 1400-1900 cm^{-1} ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ หลังจากทำการเอจจิงที่อุณหภูมิ 70 ^{O}C ที่ระยะเวลาทั้งหมด 7 วัน

Formula	**Absorption band**	**Absorption band**	**CO i**
PE/TPS/K7/G30	**1640-1840 cm^{-1}**	**1463 cm^{-1}**	
0 Day	37.56	37.88	0.99155227
1 Day	38.67	37.96	1.02
2 Day	39.14	38.21	1.02
3 Day	40.25	38.24	1.05
4 Day	41.28	38.35	1.08
5 Day	43.37	38.45	1.13
6 Day	44.58	38.45	1.16
7 Day	45.76	39.2	1.17
PE/TPS/K7/G30/P1			
0 Day	56.21	40.23	1.40
1 Day	59.45	40.43	1.47
2 Day	60.53	40.57	1.49
3 Day	64.23	41.32	1.55
4 Day	65.92	41.35	1.59
5 Day	69.32	41.37	1.68
6 Day	71.57	42.54	1.68
7 Day	74.78	43.12	1.73

ตารางที่ จ-2 (ต่อ)

Formula PE/TPS/K7/G30/P3	Absorption band 1640-1840 cm^{-1}	Absorption band 1463 cm^{-1}	CO i
0 Day	62.42	43.15	1.45
1 Day	68.54	43.18	1.59
2 Day	69.11	43.28	1.60
3 Day	72.34	43.34	1.67
4 Day	76.87	43.23	1.78
5 Day	81.32	44.48	1.83
6 Day	82.12	44.51	1.84
7 Day	83.45	44.23	1.89

ตารางที่ จ-3 ค่า Absorbance บริเวณเลขคลื่น 1400-1900 cm^{-1} ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสียูวีเป็นระยะเวลา 4 เดือน

Formula	**Absorption band**	**Absorption band**	**CO i**
PE/TPS/K7/G30	**1640-1840 cm^{-1}**	**1463 cm^{-1}**	
0 Month	37.56	37.88	0.99
1 Month	50.23	41.45	1.21
2 Month	60.19	43.57	1.38
3 Month	69.41	45.21	1.53
4 Month	80.82	47.23	1.71
PE/TPS/K7/G30/P1			
0 Month	56.21	40.23	1.39
1 Month	93.16	51.42	1.81
2 Month	109.45	51.26	2.11
3 Month	130.12	53.32	2.44
4 Month	133.47	51.02	2.61
PE/TPS/K7/G30/P3			
0 Month	62.42	43.15	1.44
1 Month	101.24	52.45	1.93
2 Month	119.32	52.49	2.27
3 Month	140.58	54.19	2.59
4 Month	145.43	52.23	2.78

ภาคผนวก ฉ

การทดสอบโดยสารละลายไอโอดีน

ในการทดลองได้ทำสังเกตการกระจายของแป้งมันสำปะหลังและแคปปาคาราจีแนนในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเบื้องต้น โดยนำฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไปแช่ในสารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.025 M เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำชิ้นงานออกจากสารละลายไอโอดีน แล้วตั้งทิ้งไว้อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นทำการสังเกตพื้นผิวของฟิล์ม

ตารางที่ ฉ-1 ลักษณะชิ้นงานก่อนและหลังทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีน

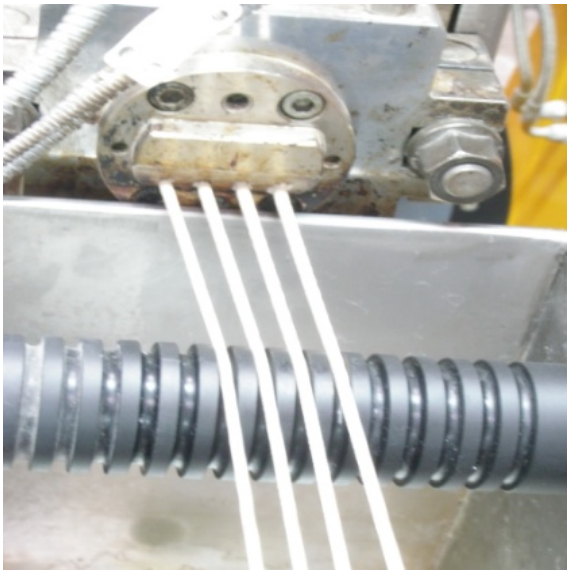
สูตร	ชิ้นงานก่อนแช่สารละลายไอโอดีน	ชิ้นงานหลังแช่สารละลายไอโอดีน
PE/TPS		
PE/TPS/K3		

ตารางที่ ฉ-2 (ต่อ)

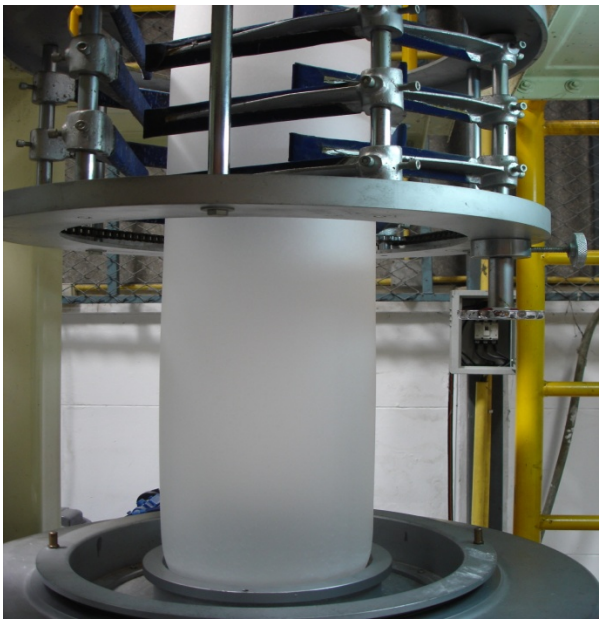
สูตร	ชิ้นงานก่อนแช่สารละลายไอโอดีน	ชิ้นงานหลังแช่สารละลายไอโอดีน
PE/TPS/K5		
PE/TPS/K7		
PE/TPS/K9		

ภาคผนวก ช

กระบวนการผสมและการเป่าขึ้นรูปฟิล์ม



รูปที่ ช-1 พอลิเมอร์หลอมเหลวที่ไหลออกมากจากหัวดายของเครื่องผสมอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่



รูปที่ ช-2 ลูกโป่งฟิล์มของพอลิเมอร์ผสมขณะทำการเป่าขึ้นรูป

รูปที่ ช-3 ฟิล์มที่ได้จากกระบวนการเป่าขึ้นรูป

ภาคผนวก ซ

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

ในการทดลองได้นำสารเร่งการเสื่อมสภาพพลาสติก(พีไลฟ์)ไปวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค X-ray Fluoresence Spectrometry (XRF) ผลที่ได้แสดงดังตาราง ซ-1

ตารางที่ ซ-1 แสดงธาตุองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารเร่งการเสื่อมสภาพพลาสติก (พีไลฟ์)

สารประกอบ	ปริมาณ (KCps)	%
SiO_2	2.9	1.54
CaO	478.6	77.9
MnO	52.5	13.2
Fe_2O_3	1.7	0.248
CuO	2.1	0.227
CeO_2	3.5	5.4
Dy_2O_3	10.1	0.159
Compton	-	0.13
Rayleigh	-	0.79
Norm	**-**	**100**

จากการวิเคราะห์พบว่าในสารเร่งการเสื่อมสภาพพลาสติก มีโลหะทรานซิชัน เช่น Mn , Ca อยู่ในปริมาณที่มาก