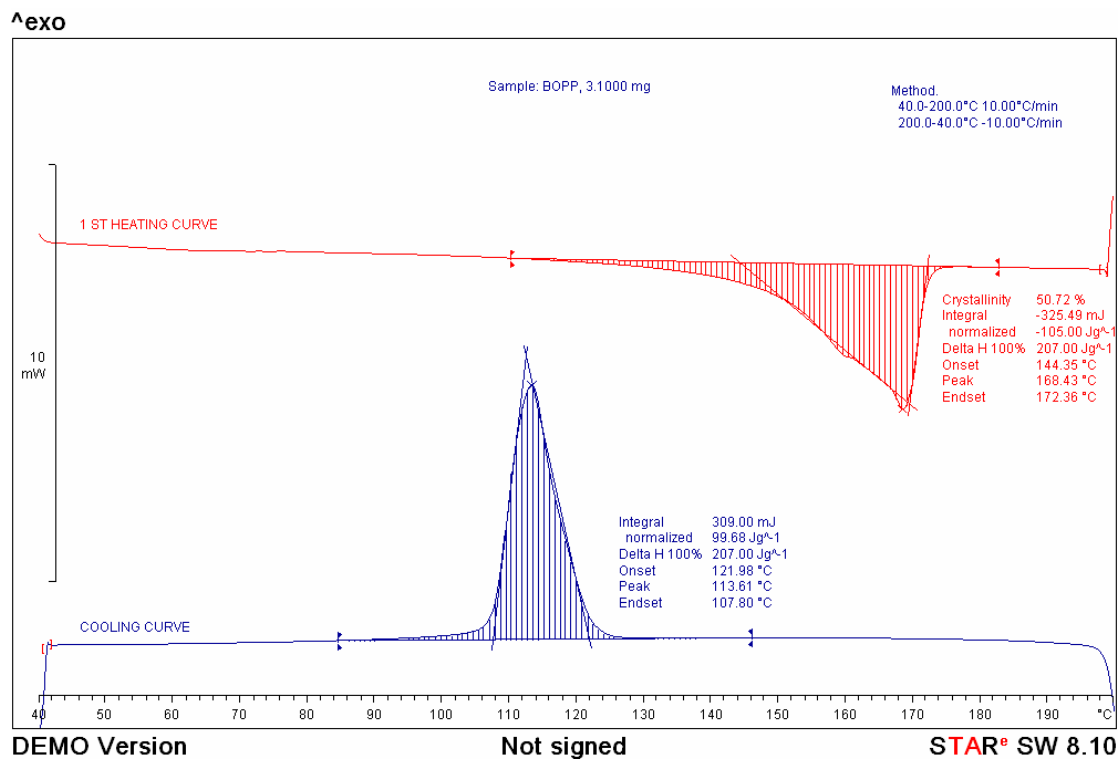
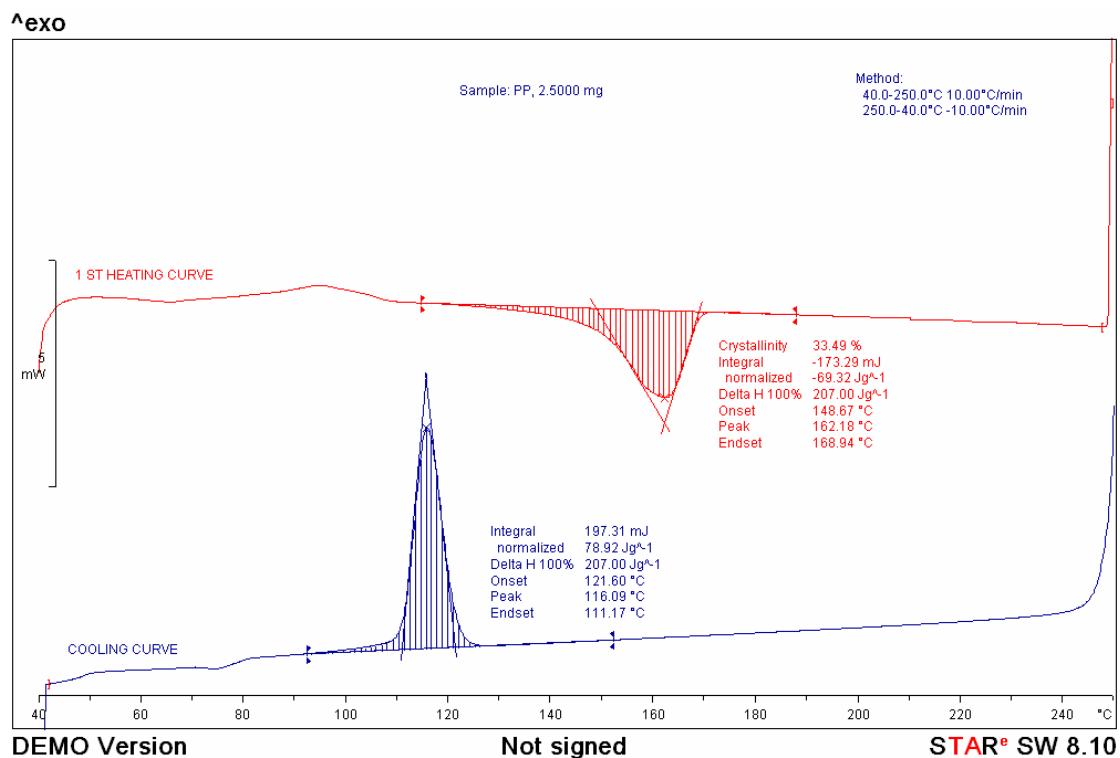


ภาคผนวก ก

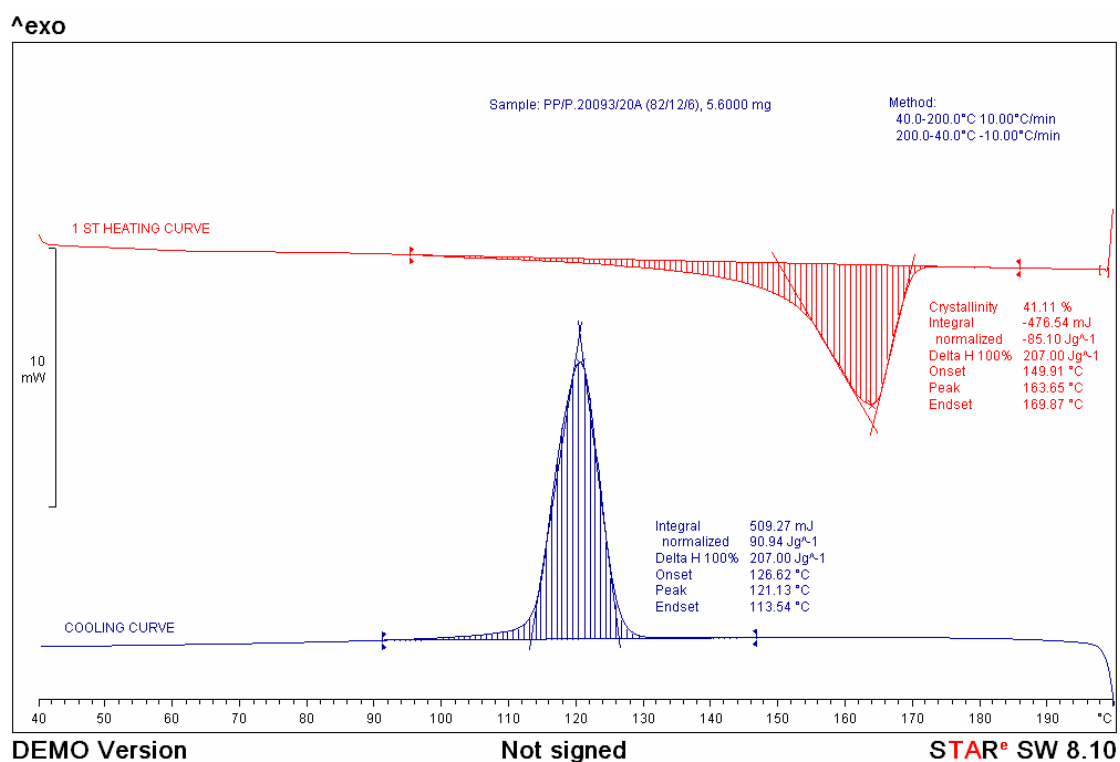
การทดสอบสมบัติทางความร้อน



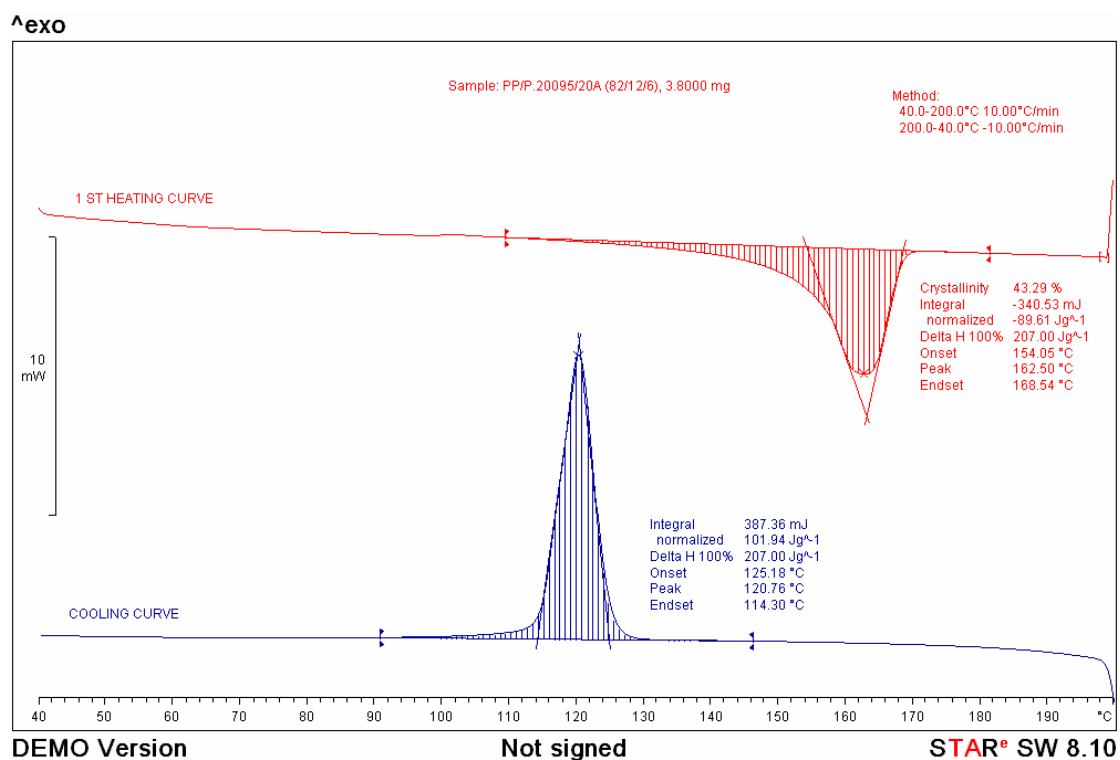
รูปที่ ก-1 DSC thermogram ของฟิล์ม BOPP



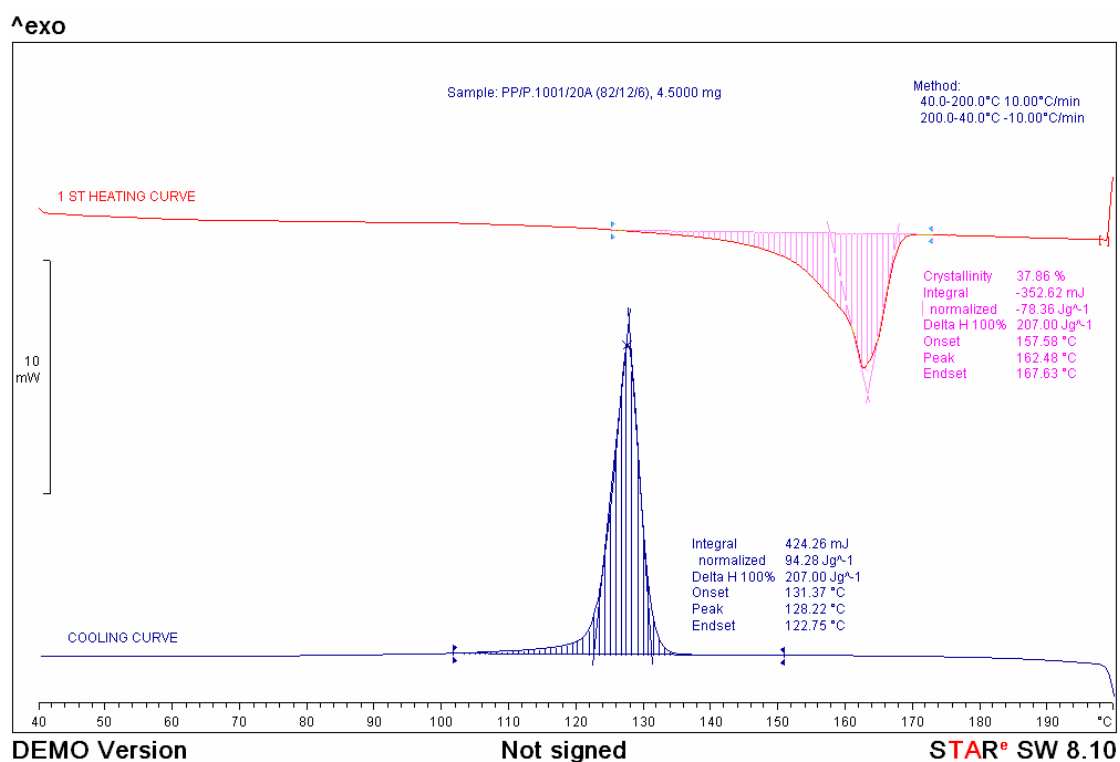
รูปที่ ก-2 DSC thermogram ของฟิล์ม PP



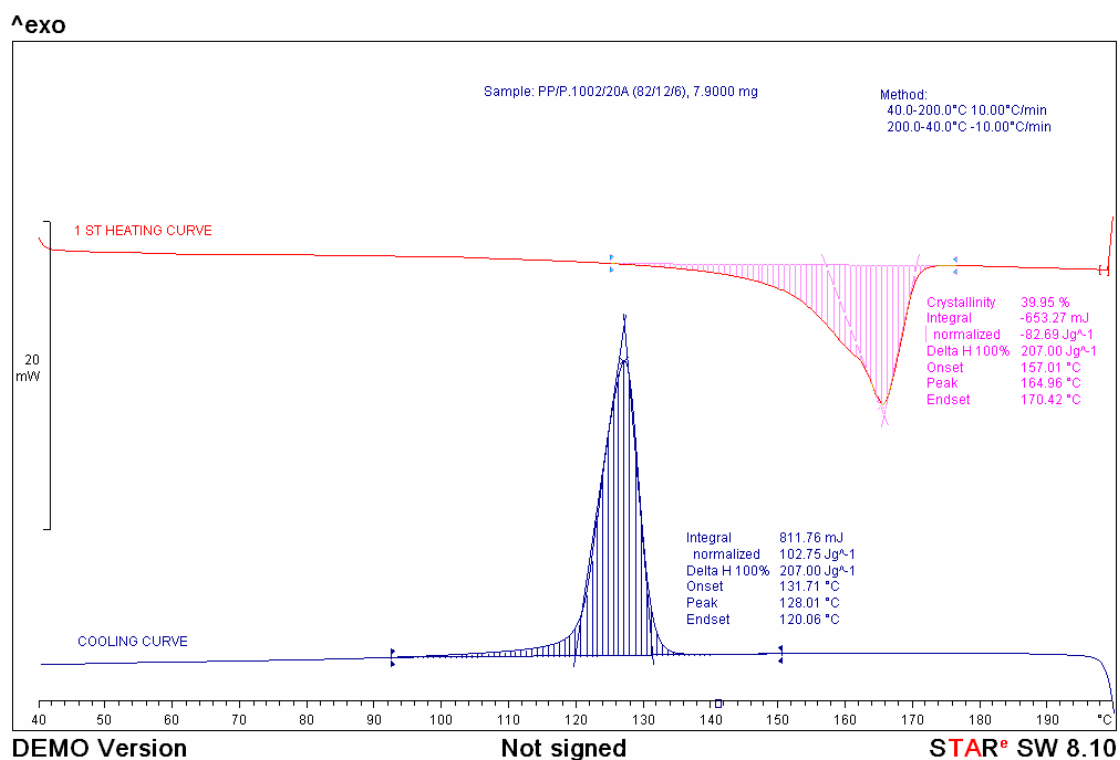
รูปที่ ก-3 DSC thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P93-20A6



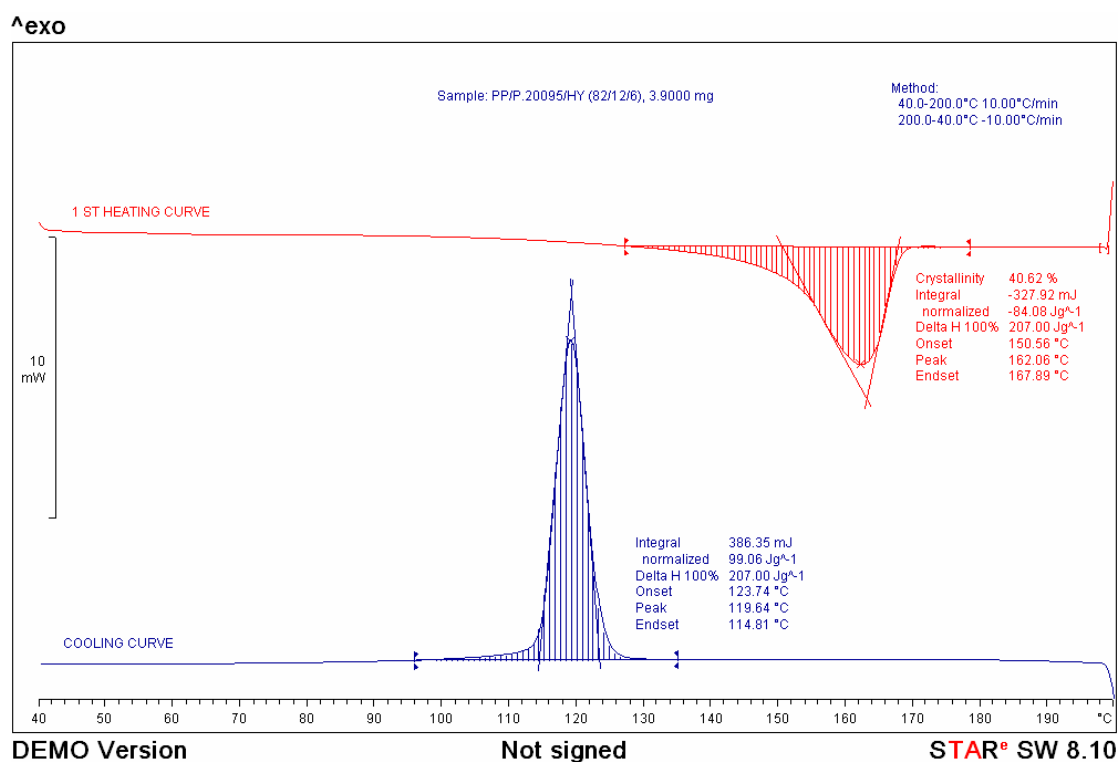
รูปที่ ก-4 DSC thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-20A6



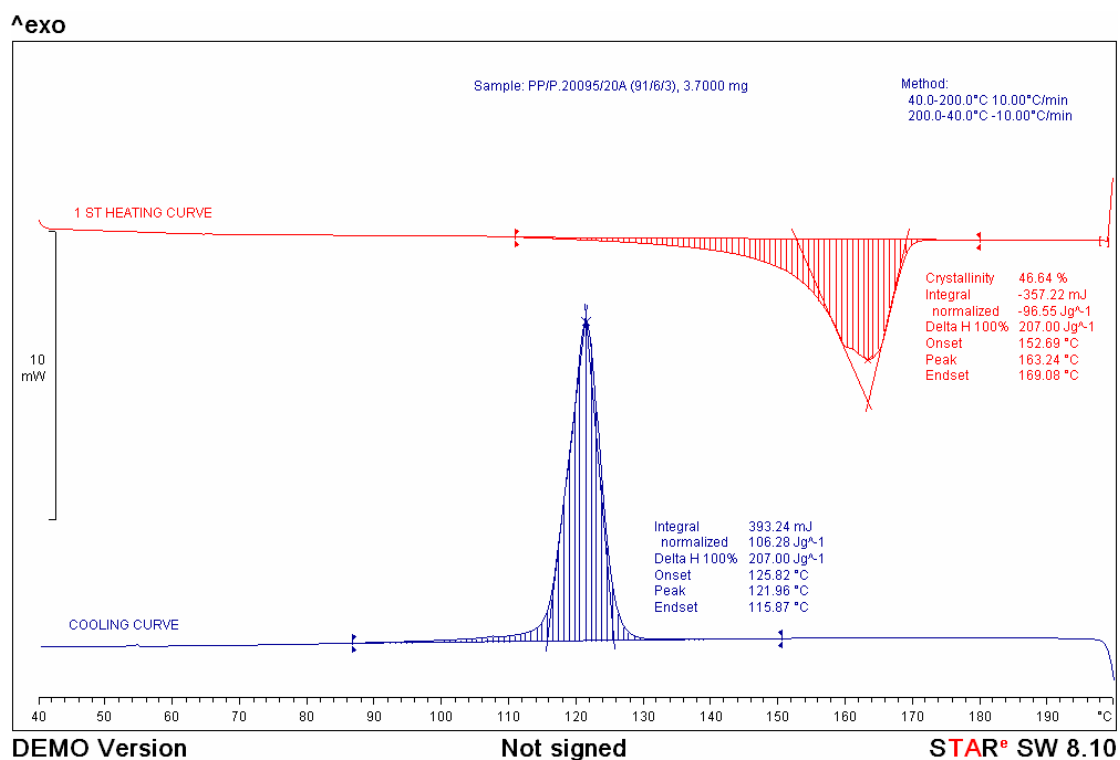
รูปที่ ก-5 DSC thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P01-20A6



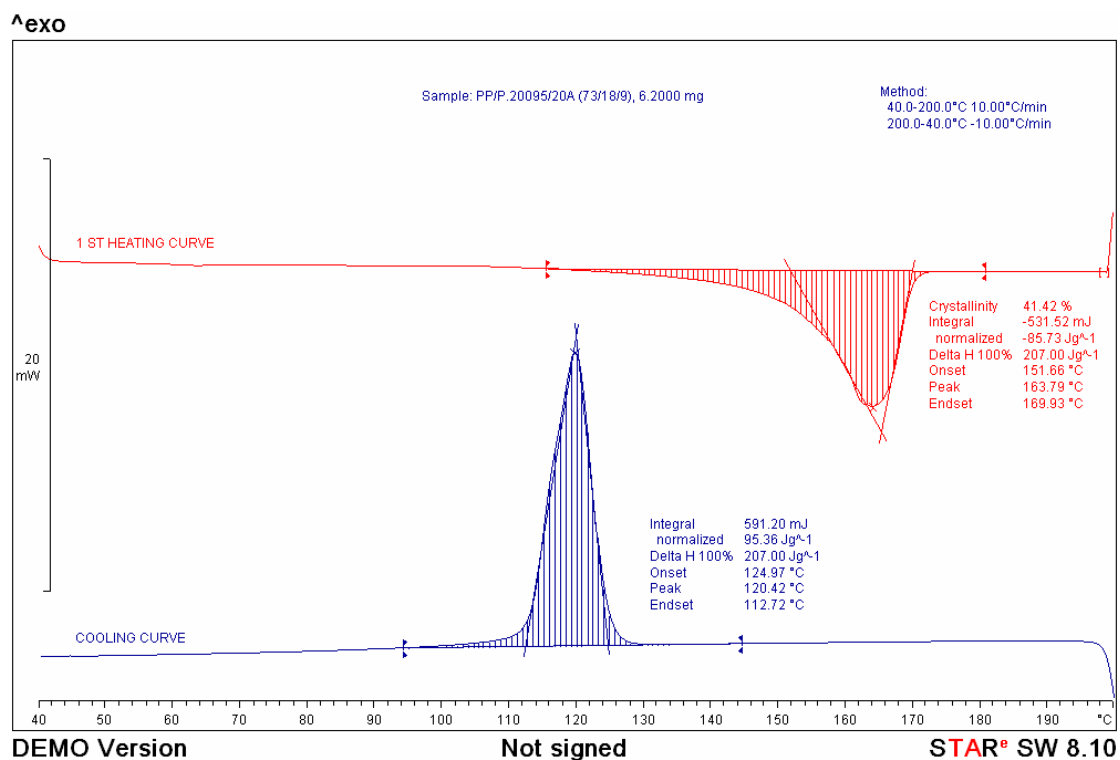
รูปที่ ก-6 DSC thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P02-20A6



รูปที่ ก-7 DSC thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-HY6

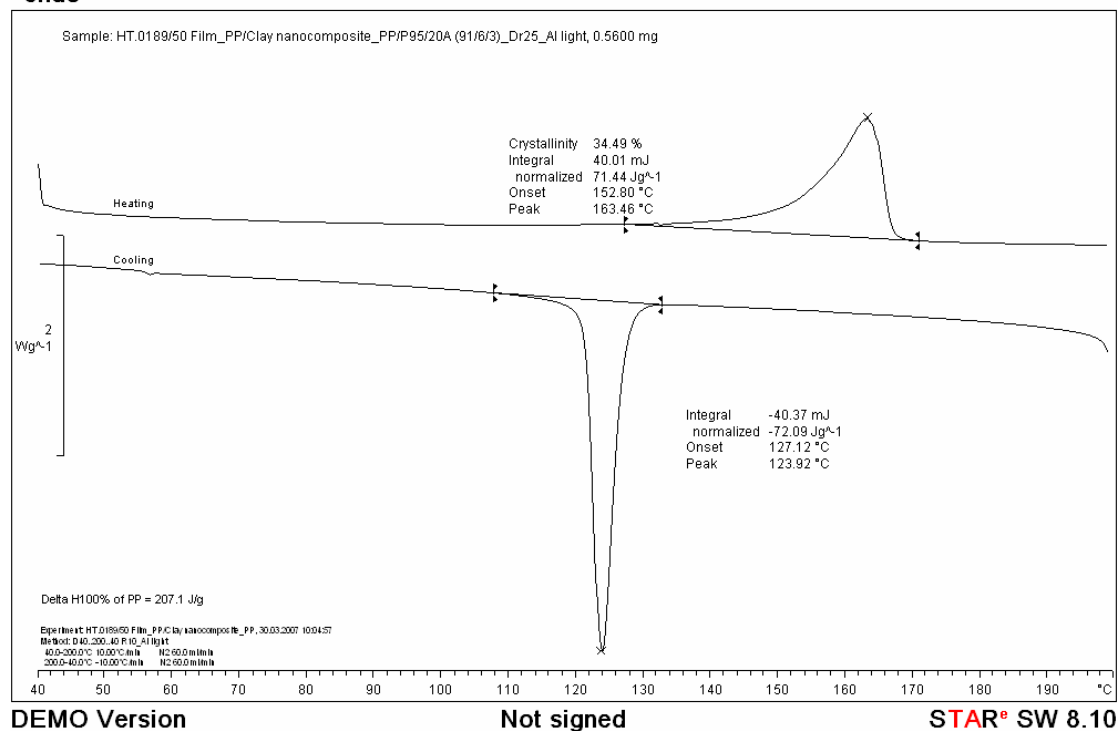


รูปที่ ก-8 DSC thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-20A3 หรือ P95-20A3-D42



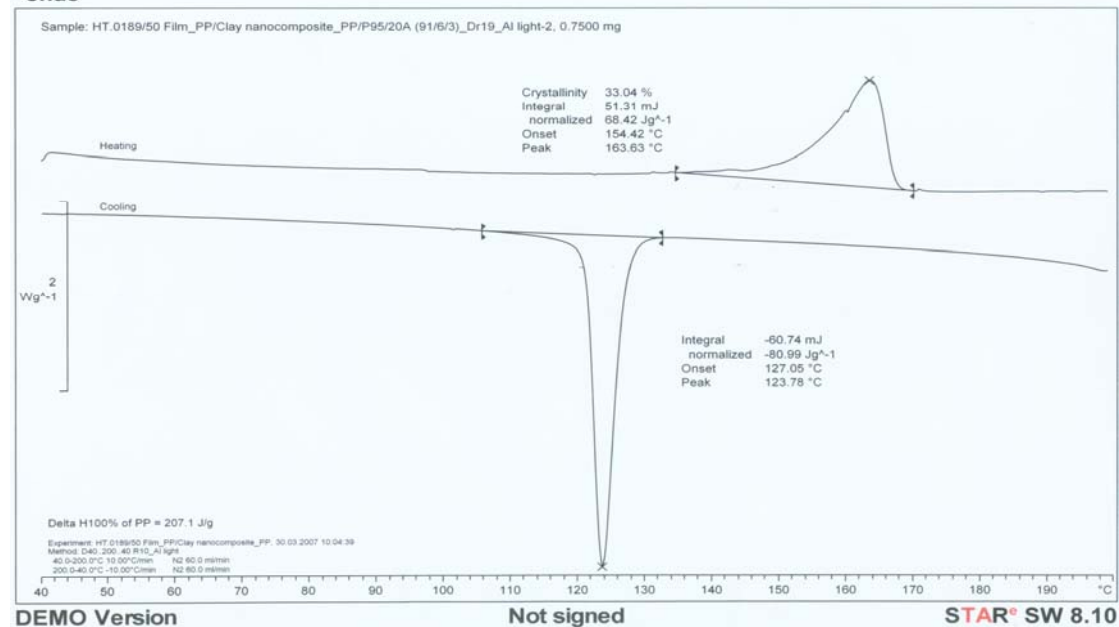
รูปที่ ก-9 DSC thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-20A9

^endo

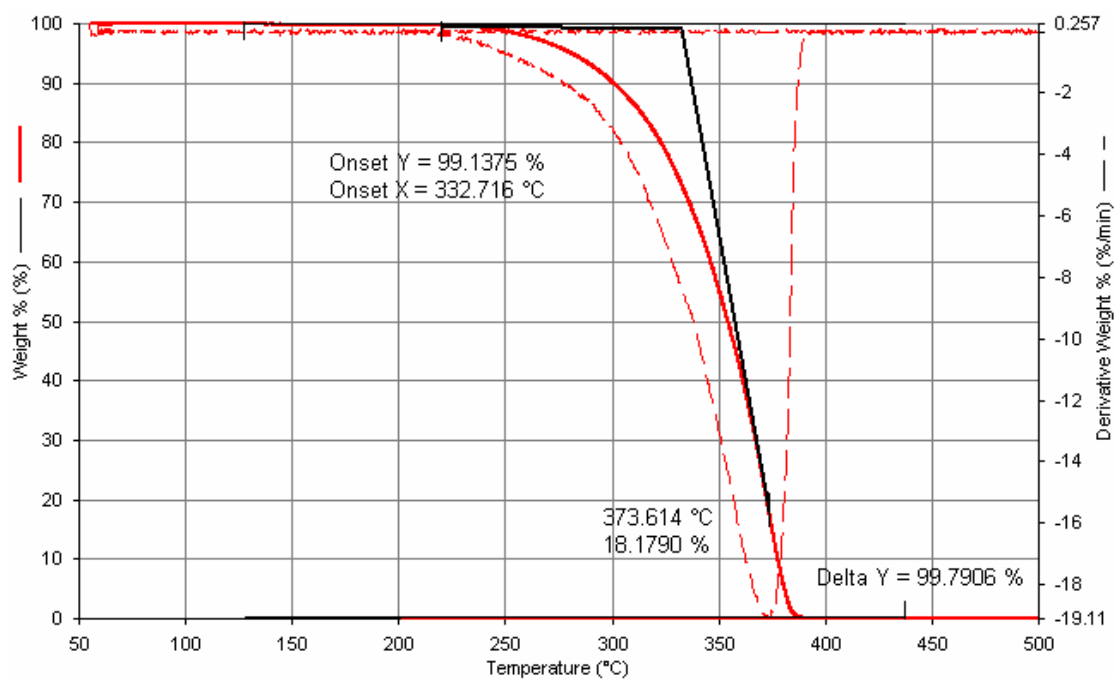


รูปที่ ก-10 DSC thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-20A3-D25

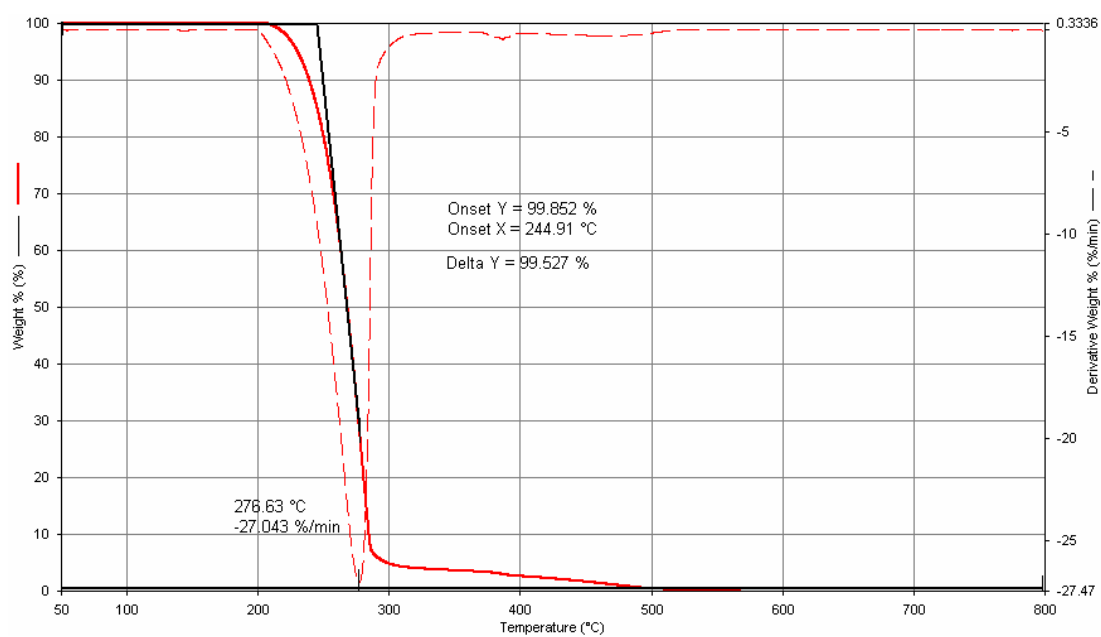
^endo



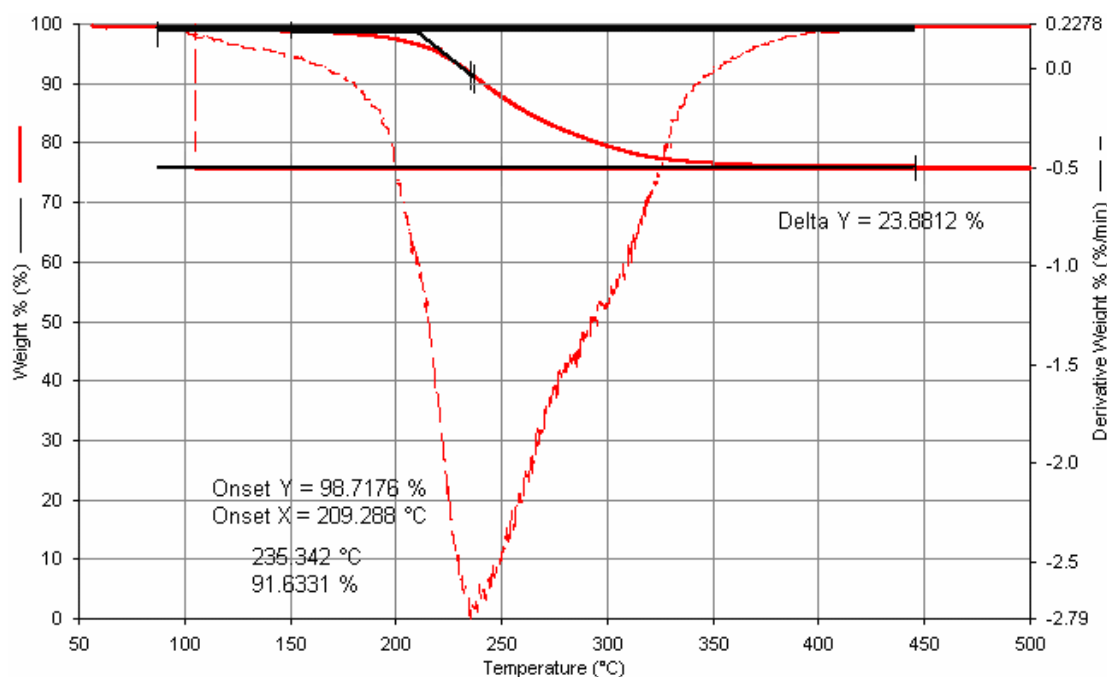
รูปที่ ก-11 DSC thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-20A3-D19



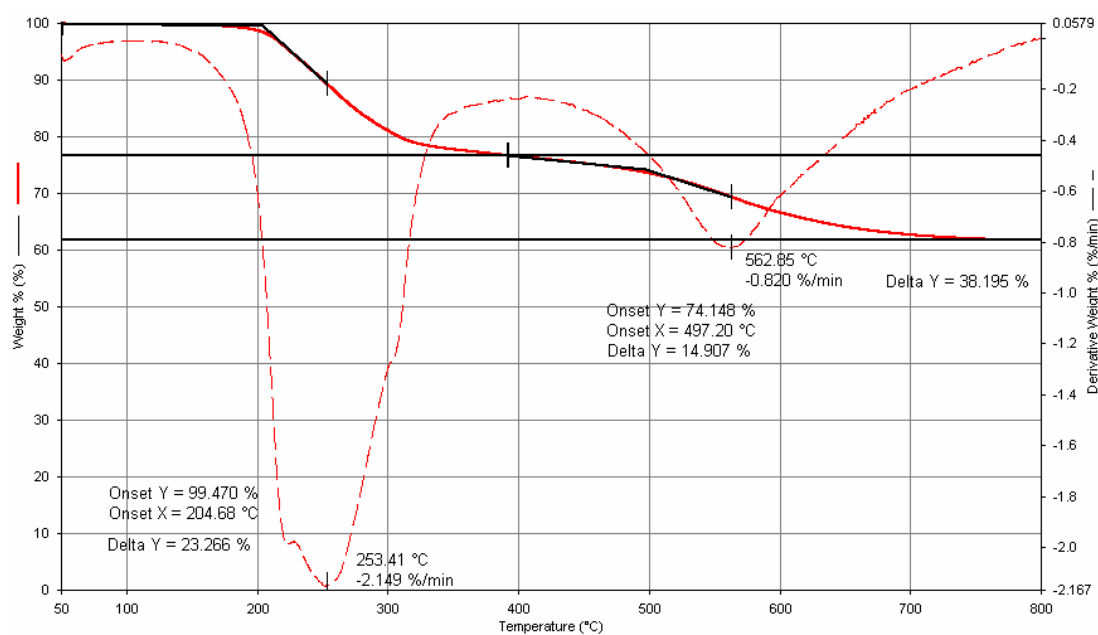
รูปที่ ก-12 TGA thermogram ของฟิล์ม PP ภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน



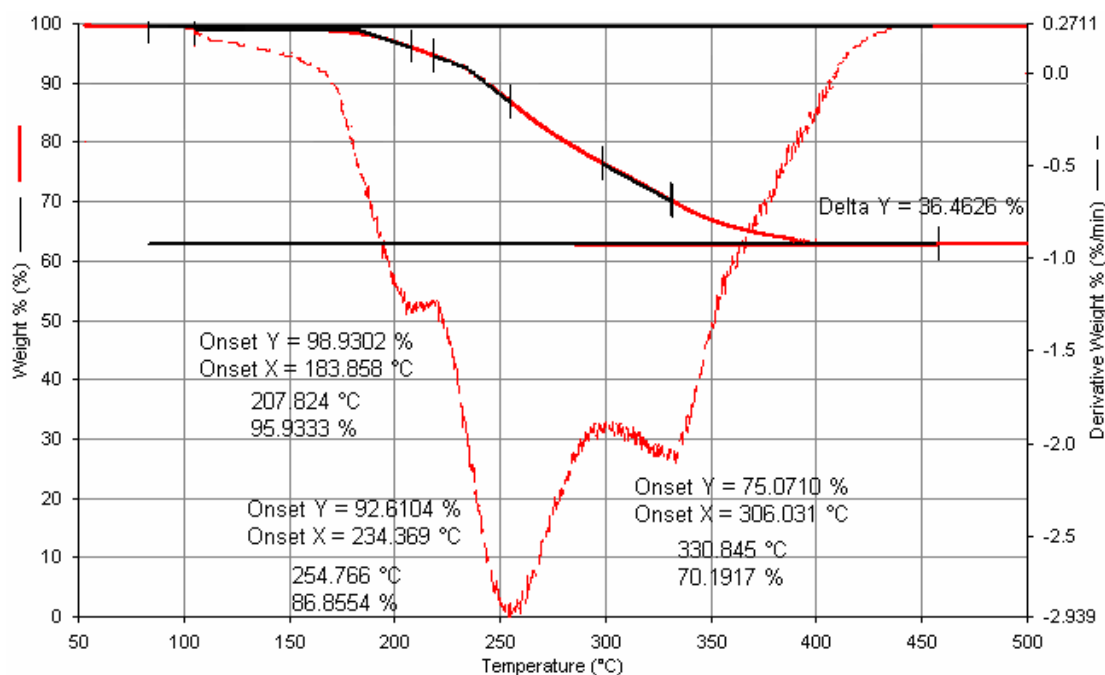
รูปที่ ก-13 TGA thermogram ของฟิล์ม PP ภายใต้สภาวะบรรยากาศของออกซิเจน



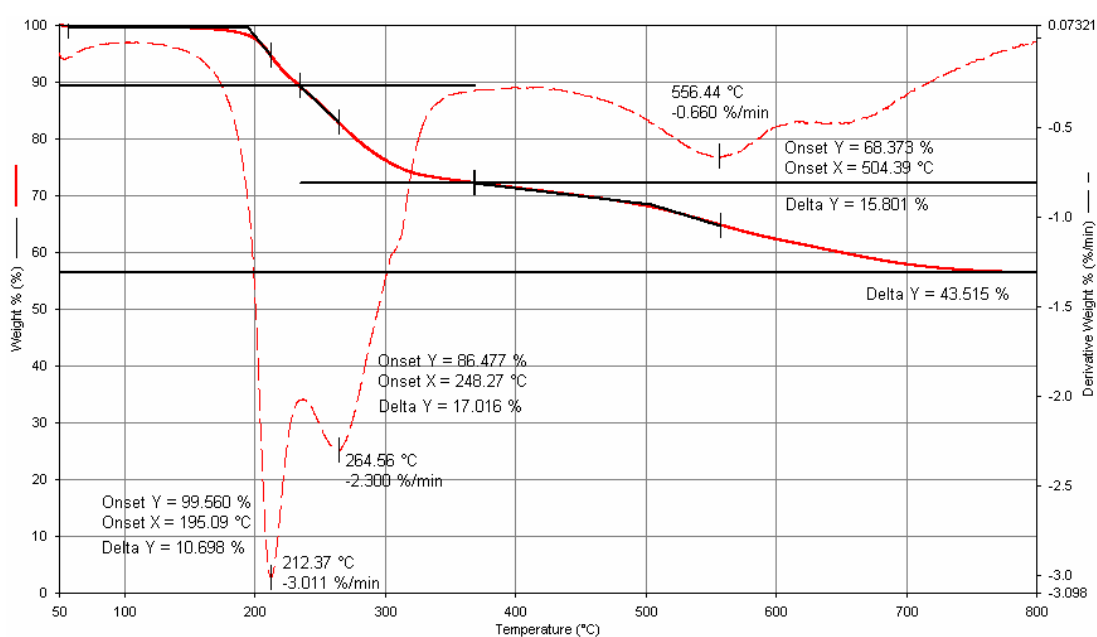
รูปที่ ก-14 TGA thermogram ของออร์กาโนเคลย์เกรด Cloisite® 20A ภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน



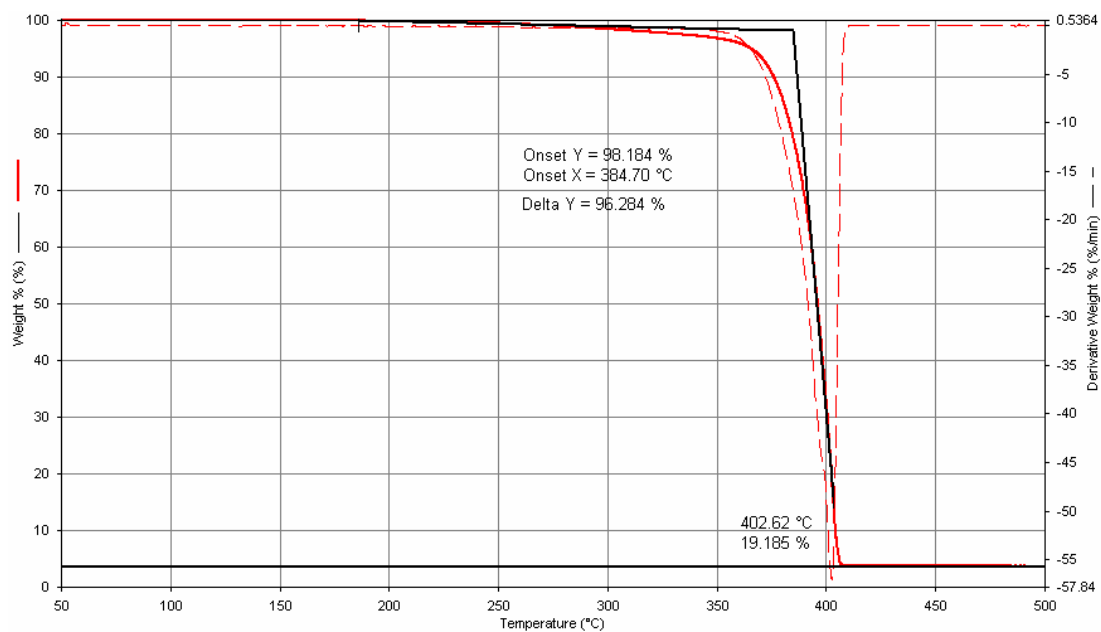
รูปที่ ก-15 TGA thermogram ของออร์กาโนเคลย์เกรด Cloisite® 20A ภายใต้สภาวะบรรยากาศของออกซิเจน



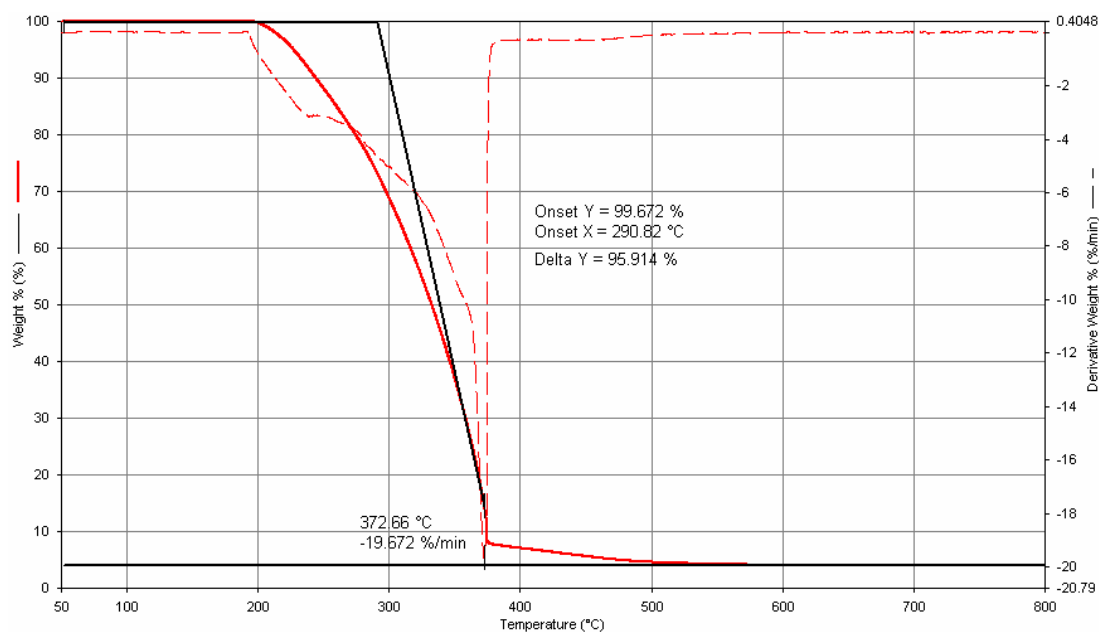
รูปที่ ก-16 TGA thermogram ของออร์กาโนเคลย์เกรด Claytone[®] HY ภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน



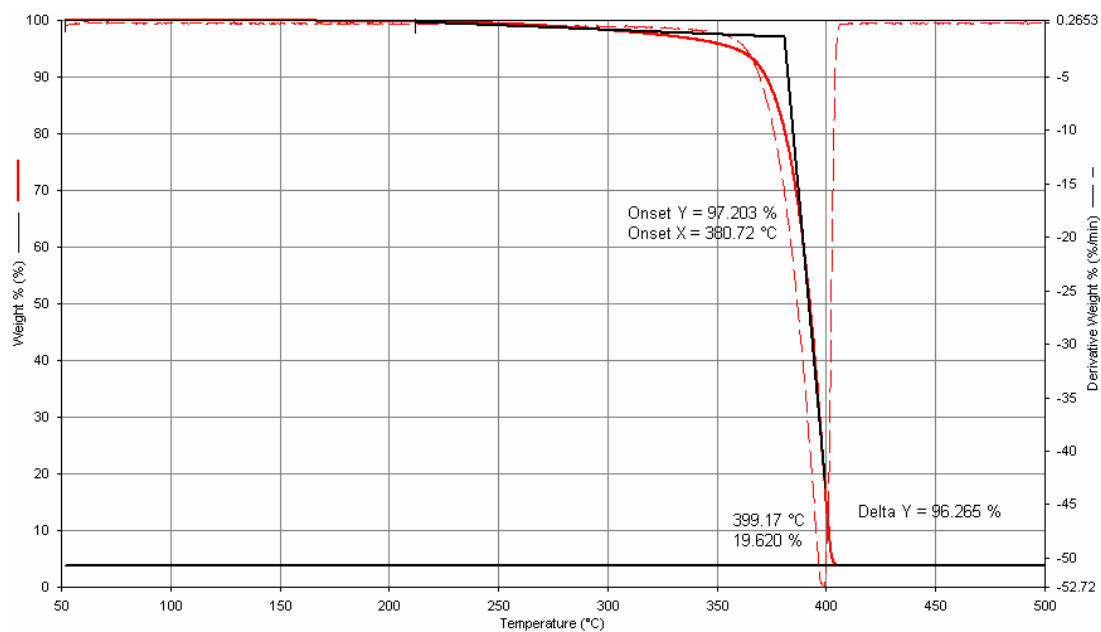
รูปที่ ก-16 TGA thermogram ของออร์กาโนเคลย์เกรด Claytone[®] HY ภายใต้สภาวะบรรยากาศของออกซิเจน



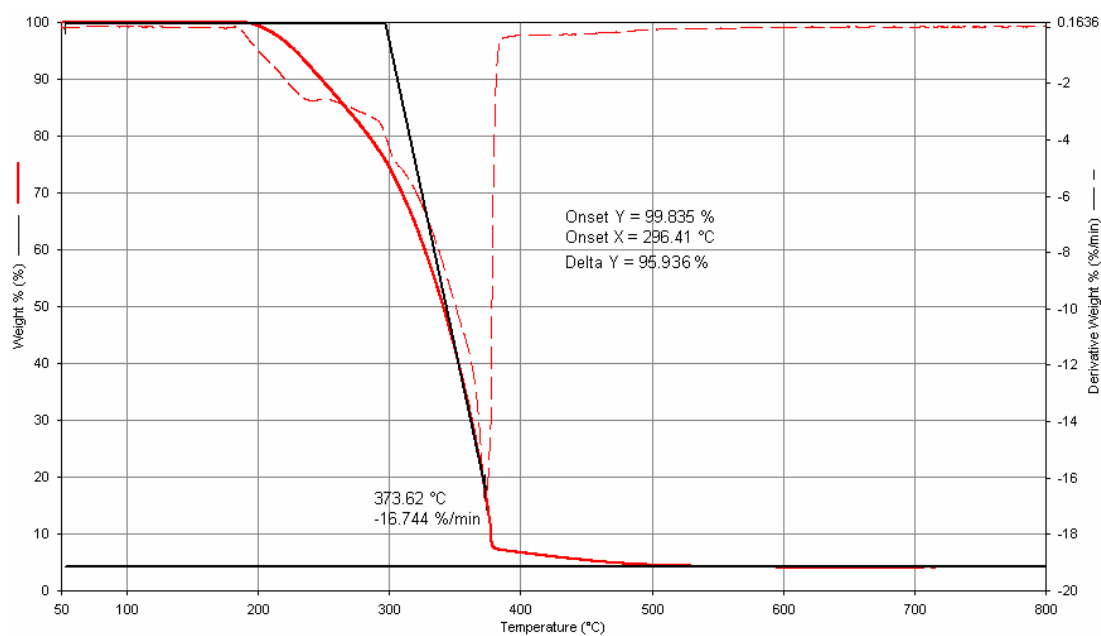
รูปที่ ก-17 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P93-20A6 ภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน



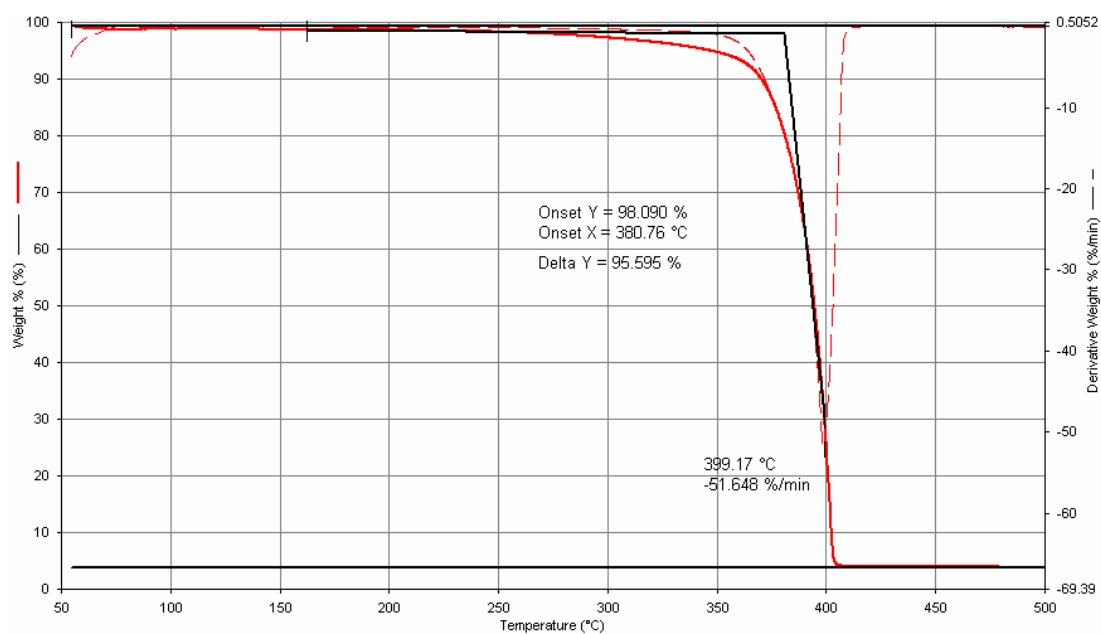
รูปที่ ก-18 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P93-20A6 ภายใต้สภาวะบรรยากาศของออกซิเจน



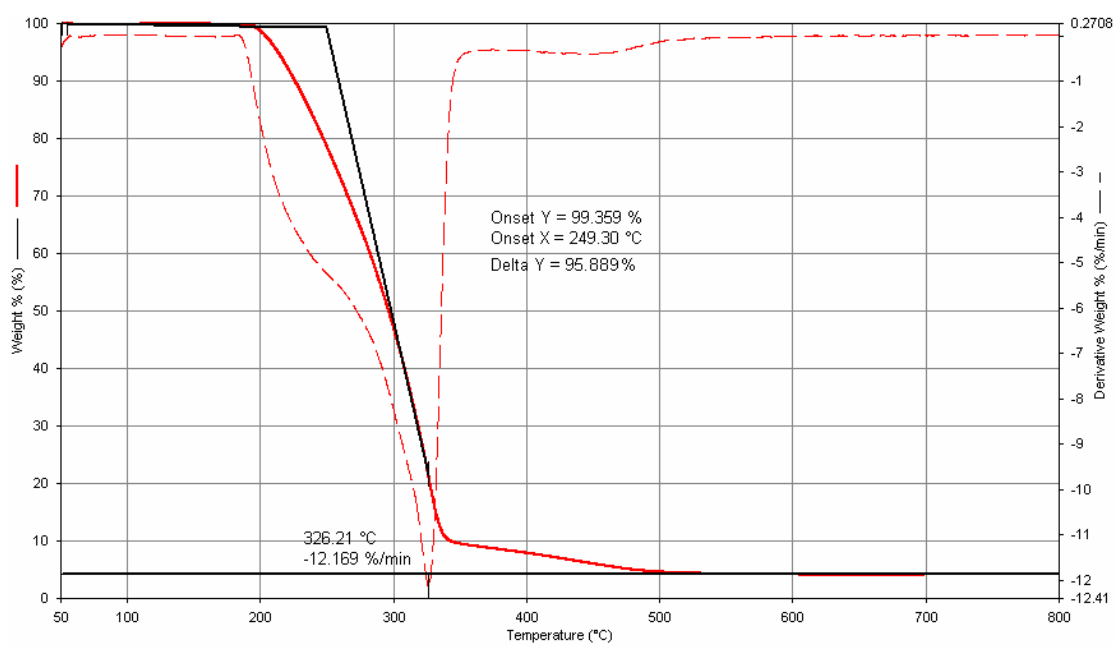
รูปที่ ก-19 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-20A6 ภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน



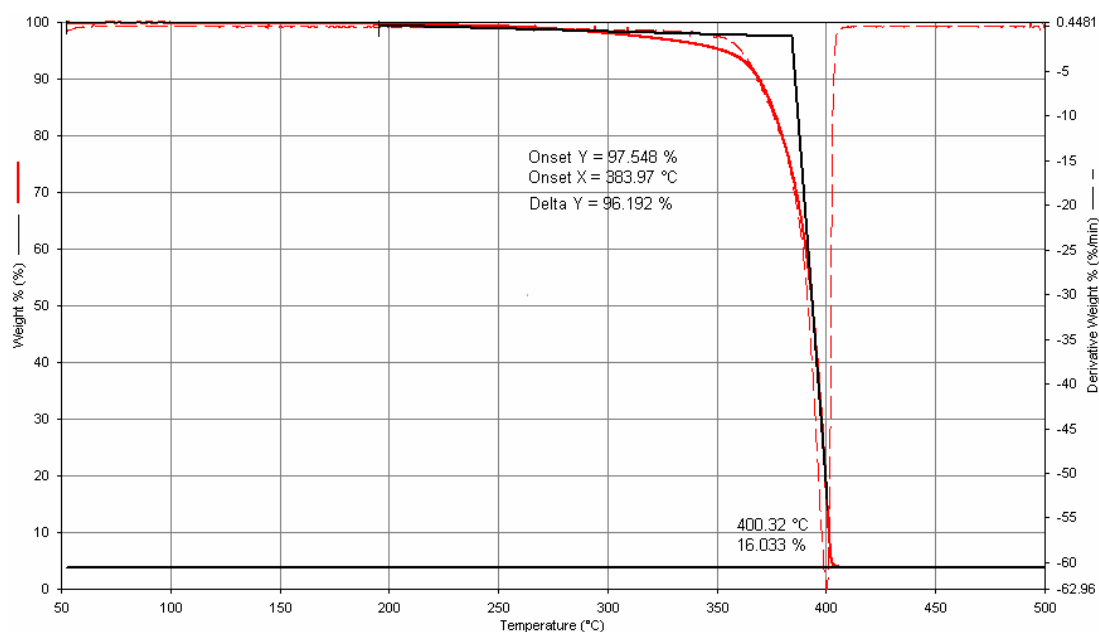
รูปที่ ก-20 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-20A6 ภายใต้สภาวะบรรยากาศของออกซิเจน



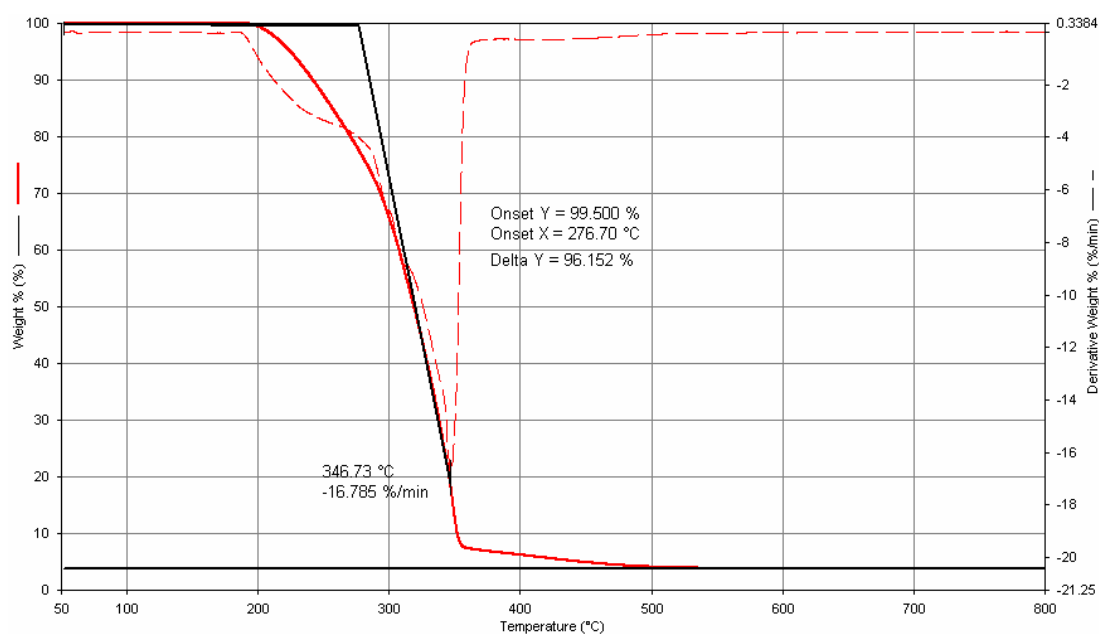
รูปที่ ก-21 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P01-20A6 ภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน



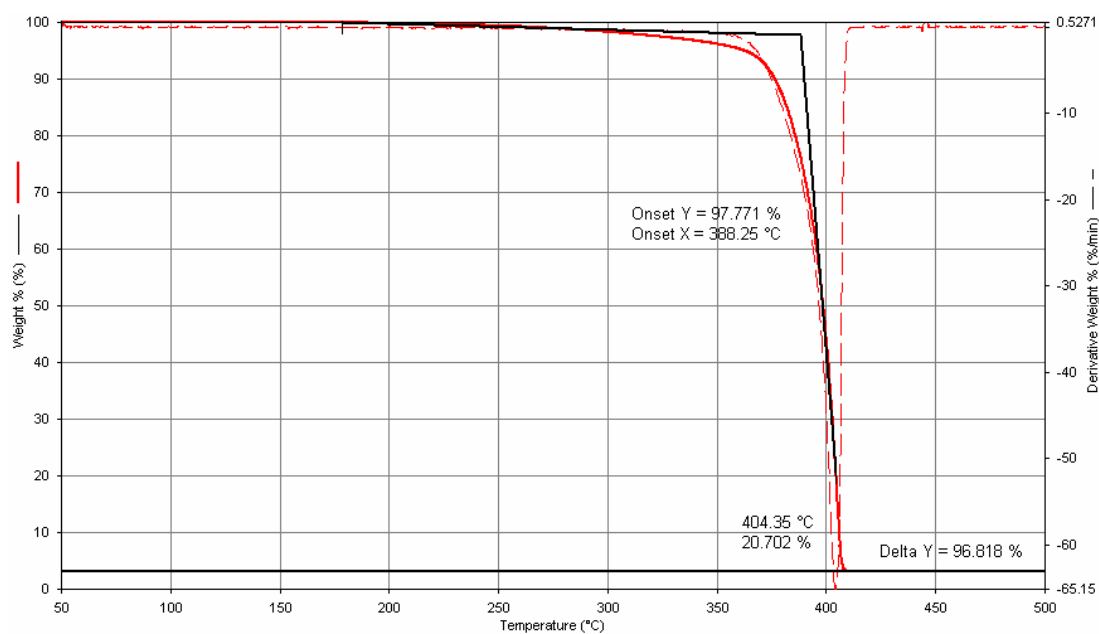
รูปที่ ก-22 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P01-20A6 ภายใต้สภาวะบรรยากาศของออกซิเจน



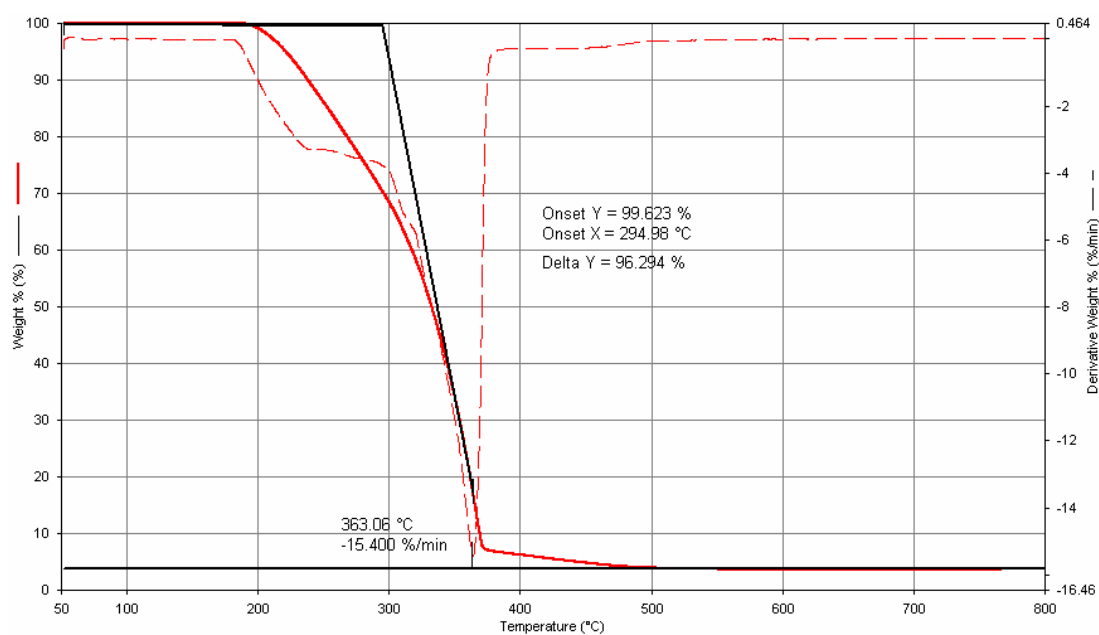
รูปที่ ก-23 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P02-20A6 ภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน



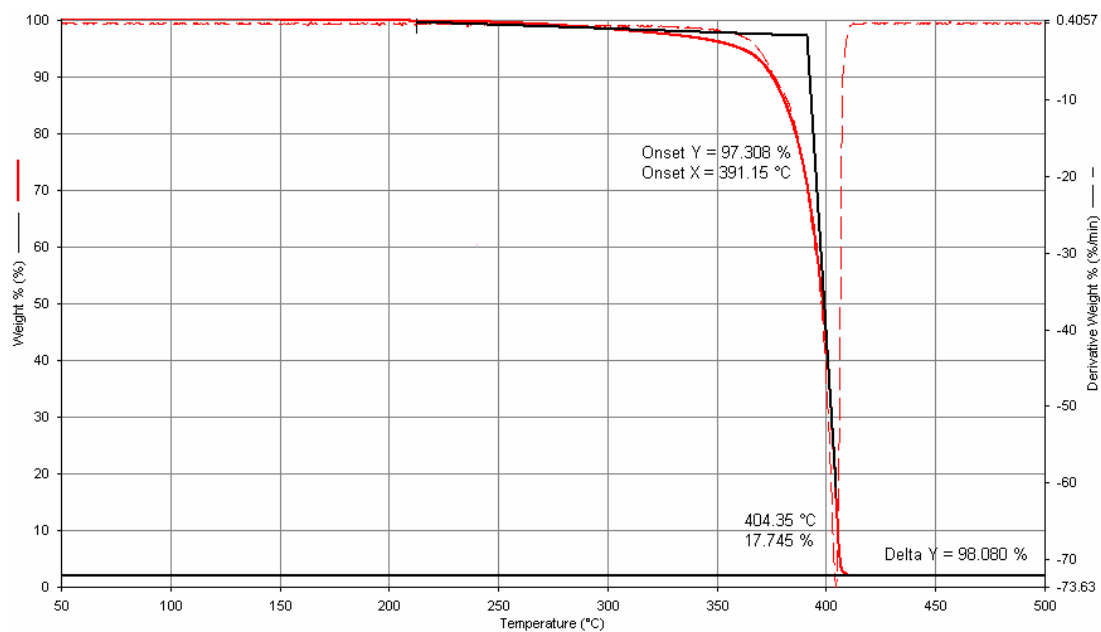
รูปที่ ก-24 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P02-20A6 ภายใต้สภาวะบรรยากาศของออกซิเจน



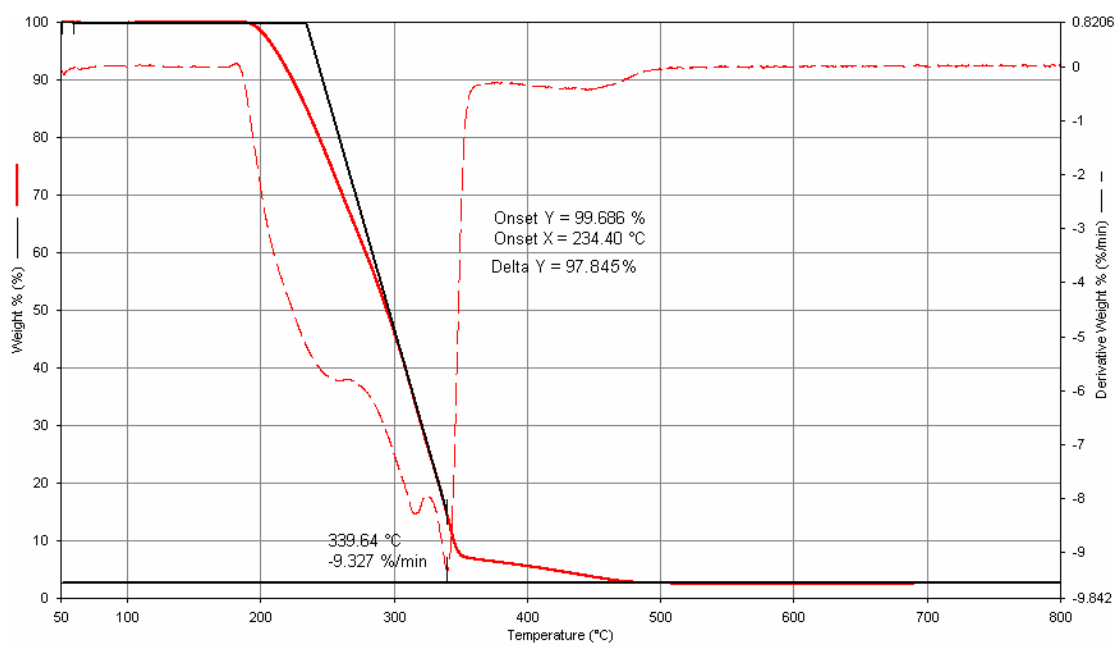
รูปที่ ก-25 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-HY6 ภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน



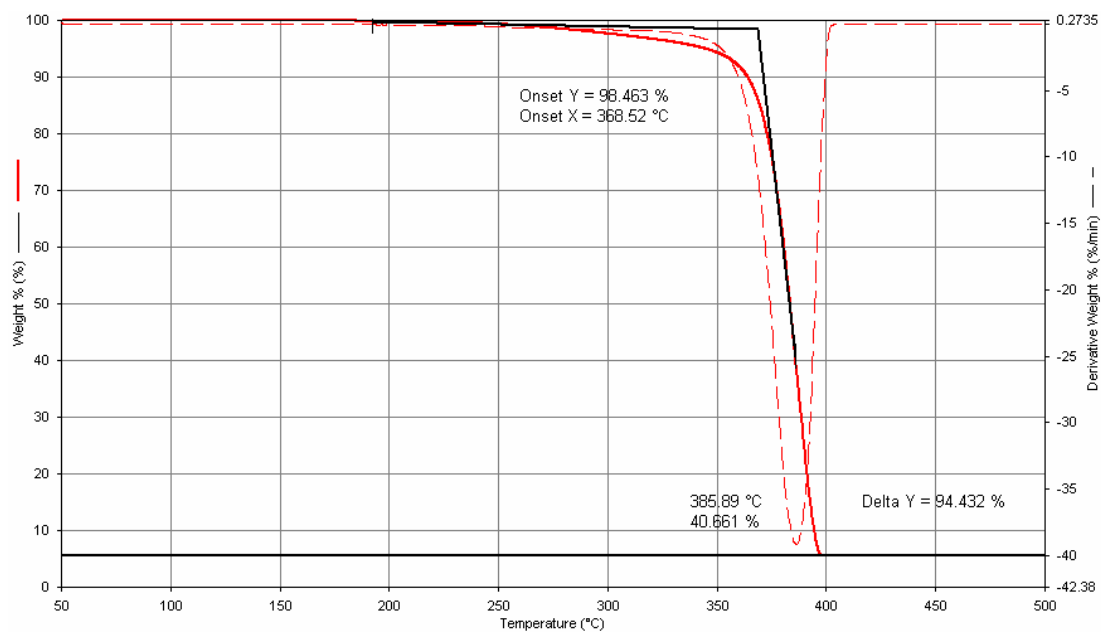
รูปที่ ก-26 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-HY6 ภายใต้สภาวะบรรยากาศของออกซิเจน



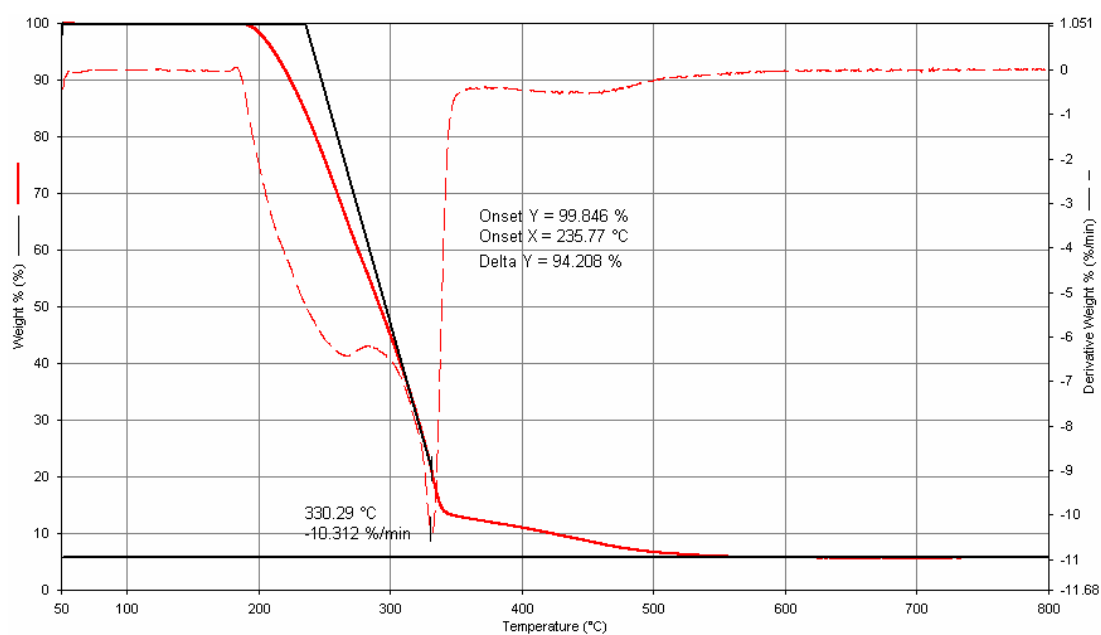
รูปที่ ก-27 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-20A3 หรือ P95-20A3-D42
ภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน



รูปที่ ก-28 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-20A3 หรือ P95-20A3-D42
ภายใต้สภาวะบรรยากาศของออกซิเจน



รูปที่ ก-29 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-20A9 ภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน



รูปที่ ก-30 TGA thermogram ของฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P95-20A9 ภายใต้สภาวะบรรยากาศของออกซิเจน

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาปริมาณออร์กาโนเคลย์

การคำนวณหาปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่แน่นอนโดยวิธีศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง TGA

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่แน่นอน} &= \frac{[(\text{ปริมาณสารที่เหลือในฟิล์ม PP/m-MMT} - \\ &\quad \text{ปริมาณสารที่เหลือในฟิล์ม PP}) \times 100] /}{\text{ปริมาณออร์กาโนเคลย์บริสุทธิ์ (Cloisite}^{\text{®}}\text{ 20A)} \\ &\quad \text{ที่เหลือ}} \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่แน่นอนโดยวิธีศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง TGA ในฟิล์ม PP/m-MMT สูตร P93-20A6

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่แน่นอน} &= [(4.086 - 0.473) \times 100] / 61.805 \\ &= 5.85 \text{ wt\%} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ค

การทดสอบสมบัติเชิงกล

ตารางที่ ข-1 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield) และค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength)

สูตร	ทิศทาง การทดสอบ	ความแข็งแรง ดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์ การยืด ณ จุดคราก (%)	มอดุลัส (MPa)	ความแข็งแรง ฉีกขาด (KN/m)
BOPP	MD	85 ± 15^a	49 ± 5	1694 ± 52	312 ± 26
	TD	226 ± 22	26 ± 3	2362 ± 98	467 ± 29
PP	MD	23 ± 1	9 ± 0.6	768 ± 26	228 ± 13
	TD	20 ± 1	5 ± 0.4	710 ± 49	294 ± 24
P93-20A6	MD	35 ± 2	4 ± 0.4	1360 ± 55	184 ± 15
	TD	23 ± 4	3 ± 0.4	1077 ± 90	338 ± 27
P95-20A6	MD	34 ± 2	5 ± 0.3	1304 ± 89	197 ± 20
	TD	24 ± 3	3 ± 0.3	1086 ± 38	343 ± 29
P01-20A6	MD	28 ± 2	5 ± 0.5	1070 ± 94	197 ± 17
	TD	19 ± 4	2 ± 0.5	1008 ± 90	338 ± 27
P02-20A6	MD	31 ± 3	6 ± 0.5	1145 ± 103	184 ± 15
	TD	19 ± 2	2 ± 0.4	1070 ± 43	325 ± 7
P95-HY6	MD	33 ± 2	6 ± 0.6	1208 ± 96	222 ± 28
	TD	24 ± 3	3 ± 0.6	1076 ± 136	355 ± 12
P95-20A3 หรือ P95-20A3-D42	MD	37 ± 2	6 ± 0.5	1491 ± 129	335 ± 26
	TD	27 ± 2	2 ± 0.2	1177 ± 81	474 ± 25
P95-20A9	MD	27 ± 4	4 ± 0.4	1252 ± 48	141 ± 15
	TD	19 ± 3	3 ± 0.2	761 ± 104	178 ± 17

a = ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

สูตร	ทิศทาง การทดสอบ	ความแข็งแรง ดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์ การยืด ณ จุดคราก (%)	มอดุลัส (MPa)	ความแข็งแรง ฉีกขาด (KN/m)
P95-20A3-D25	MD	34 ± 4^a	6 ± 0.4	1277 ± 54	277 ± 19
	TD	30 ± 3	5 ± 0.3	1053 ± 50	426 ± 25
P95-20A3-D19	MD	32 ± 2	6 ± 0.5	1189 ± 97	229 ± 15
	TD	27 ± 4	5 ± 0.4	1089 ± 59	397 ± 22

a = ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ภาคผนวก ง

การทดสอบสมบัติการต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน

ตารางที่ ง-1 อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP)

สูตร	ความหนาของ แผ่นฟิล์ม (mm)	อัตราการซึมผ่าน ของก๊าซออกซิเจน (cc/m ² .day)	สัมประสิทธิ์การซึม ผ่านของก๊าซ ออกซิเจน (mm.cc/m ² .day)
BOPP	0.020	2368	47
	0.020	2428	49
เฉลี่ย	0.020	2398	48
PP	0.022	5060	111
	0.024	5115	123
เฉลี่ย	0.023	5088	117
P93-20A6	0.028	3214	90
	0.030	2833	85
เฉลี่ย	0.029	3023	88
P95-20A6	0.032	2728	87
	0.028	2757	77
เฉลี่ย	0.030	2743	82
P01-20A6	0.031	2990	93
	0.035	3124	109
เฉลี่ย	0.033	3057	101
P02-20A6	0.028	3250	91
	0.030	3376	101
เฉลี่ย	0.029	3313	96
P95-HY6	0.024	3710	89
	0.028	3887	109
เฉลี่ย	0.026	3799	99

ตารางที่ ง-2 (ต่อ)

สูตร	ความหนาของ แผ่นฟิล์ม (mm)	อัตราการซึมผ่าน ของก๊าซออกซิเจน (cc/m ² .day)	สัมประสิทธิ์การซึม ผ่านของก๊าซ ออกซิเจน (mm.cc/m ² .day)
P95-20A3 หรือ P95-20A3-D42	0.023	3235	74
	0.025	3315	83
เฉลี่ย	0.024	3275	79
P95-20A9	0.036	2615	94
	0.034	2743	93
เฉลี่ย	0.035	2679	94
P95-20A3-D25	0.038	2188	83
	0.042	2112	89
เฉลี่ย	0.040	2150	86
P95-20A3-D19	0.052	1735	90
	0.054	1693	91
เฉลี่ย	0.053	1714	91

ภาคผนวก จ

การคำนวณอัตราส่วนการดึง (Draw ratio)

การคำนวณหาอัตราส่วนการดึง

เมื่อ t_0 คือ ความหนาในตอนเริ่มต้นของฟิล์มพลาสติก t_a คือ ความหนาเฉลี่ยของฟิล์มพลาสติก

ดังนั้น

อัตราส่วนอัตราส่วนการดึงโดยความหนา (Thickness draw ratio) ; R_t

$$R_t = t_0 / t_a$$

ตารางที่ จ-1 อัตราส่วนการดึง

สูตร	ความหนาเริ่มต้น (mm)	ความหนาเฉลี่ย (mm)	อัตราส่วนการดึง
P95-20A3-D42	1	0.024	42
P95-20A3-D25	1	0.040	25
P95-20A3-D19	1	0.053	19

ภาคผนวก จ

การคำนวณค่าสัดส่วนระหว่างความยาวต่อความหนา
(Aspect ratio) ของอนุภาคซิลิเกต

จ-1 ตัวอย่างการคำนวณหาค่า Tortuosity factor (τ)

$$\frac{P_s}{P_p} = \frac{(1 - \phi_s)}{\tau}$$

เมื่อ	τ	คือ Tortuosity factor
	P_s	คือ ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซในพอลิเมอร์ซิลิเกต นาโนคอมโพสิต
	P_p	คือ ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซในพอลิเมอร์บริสุทธิ์
	Φ	คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของออร์กาโนเคลย์
	ϕ_s	คือ สัดส่วนโดยปริมาตร (Volume fraction) ของซิลิเกต มีค่าเท่ากับ $\Phi \times \%$ ของซิลิเกต

ตารางที่ จ-1 ตัวอย่างการคำนวณหาค่า Tortuosity factor (τ)

สูตร	P_s / P_p	ออร์กาโนเคลย์ (wt%)	Φ	ϕ_s	Tortuosity factor
P93-20A6	$88 / 117 = 0.75$	5.85	0.03	0.02	1.31
P95-20A6	$82 / 117 = 0.70$	5.81	0.03	0.02	1.40
P01-20A6	$101 / 117 = 0.86$	5.89	0.03	0.02	1.14
P02-20A6	$96 / 117 = 0.82$	5.46	0.03	0.02	1.20
P95-HY6	$99 / 117 = 0.85$	5.72	0.03	0.02	1.16
P95-20A3	$79 / 117 = 0.68$	2.72	0.01	0.01	1.46
P95-20A9	$94 / 117 = 0.80$	8.61	0.05	0.03	1.22

ฉ-2 ตัวอย่างการคำนวณหาสัดส่วนระหว่างความยาวต่อความหนา (Aspect ratio) ของอนุภาคซิลิเกตในฟิล์ม PP/m-MMT สูตรต่างๆ

$$\tau = \frac{d'}{d} = 1 + \left[\frac{L}{2W} \phi_s \right]$$

เมื่อ	τ	คือ Tortuosity factor
	d'	คือ ระยะทางจริงของเส้นทางสำหรับการผ่านเข้าออกของก๊าซ
	d	คือ ระยะทางที่ใกล้ที่สุดของเส้นทางสำหรับการผ่านเข้าออกของก๊าซที่ไม่ มีชั้นซิลิเกตกระจายอนุภาคเป็นแผ่นบางกั้นขวางอยู่
	L	คือ ความยาวของอนุภาคซิลิเกต
	W	คือ ความกว้างของอนุภาคซิลิเกต
	ϕ_s	คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของซิลิเกต

ตารางที่ ฉ-2 ตัวอย่างการคำนวณหาสัดส่วนระหว่างความยาวต่อความหนา (Aspect ratio) ของอนุภาคซิลิเกตในฟิล์ม PP/m-MMT สูตรต่างๆ

สูตร	Tortuosity factor	ϕ_s	Aspect ratio
P93-20A6	1.31	0.02	31
P95-20A6	1.40	0.02	40
P01-20A6	1.14	0.02	14
P02-20A6	1.20	0.02	20
P95-HY6	1.16	0.02	16
P95-20A3	1.46	0.01	92
P95-20A9	1.22	0.03	15