

ผลและวิจารณ์

ผลการศึกษาการย่อยสลายทางความร้อนด้วยชุดวิเคราะห์ความร้อนโน้มถ่วง

การศึกษากการย่อยสลายทางความร้อนของแผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่เจือสารย่อยสลายแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยชุดวิเคราะห์ความร้อนโน้มถ่วง ในที่นี้ได้ทำการศึกษาคด้วยวิธีไมโอโซเทอร์มัล โดยให้อุณหภูมิเริ่มต้นการทดลองเท่ากับ 323.15 K และอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 1123.15 K ใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิคงตัว 6 อัตรา คือ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 K/min ตลอดการทดลอง โดยตัดแผ่นฟิล์มพลาสติกให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 cm น้ำหนักประมาณ $6 \pm 2 \text{ mg}$ ทำการทดลองภายใต้ก๊าซไนโตรเจน โดยมีอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนเท่ากับ 20 ml/min

แผ่นฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการศึกษามีอัตราส่วนของ HDPE:CaCO₃ 6 อัตราส่วน แต่ละอัตราส่วนมีความหนา 3 ขนาด คือ 8, 10 และ 15 ไมครอน จึงมีแผ่นฟิล์มตัวอย่างรวมทั้งหมด 18 ตัวอย่าง ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ aCn ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สัญลักษณ์ที่ใช้แทนแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

แผ่นฟิล์ม			ความหนา μm	แผ่นฟิล์ม			ความหนา μm
ที่	สัญลักษณ์	HDPE:CaCO ₃		ที่	สัญลักษณ์	HDPE:CaCO ₃	
1	8C0	100:0	8	10	10C20	80:20	10
2	8C10	90:10	8	11	10C25	75:25	10
3	8C15	85:15	8	12	10C30	70:30	10
4	8C20	80:20	8	13	15C0	100:0	15
5	8C25	75:25	8	14	15C10	90:10	15
6	8C30	70:30	8	15	15C15	85:15	15
7	10C0	100:0	10	16	15C20	80:20	15
8	10C10	90:10	10	17	15C25	75:25	15
9	10C15	85:15	10	18	15C30	70:30	15

โดย a แทนความหนาของแผ่นฟิล์มพลาสติก

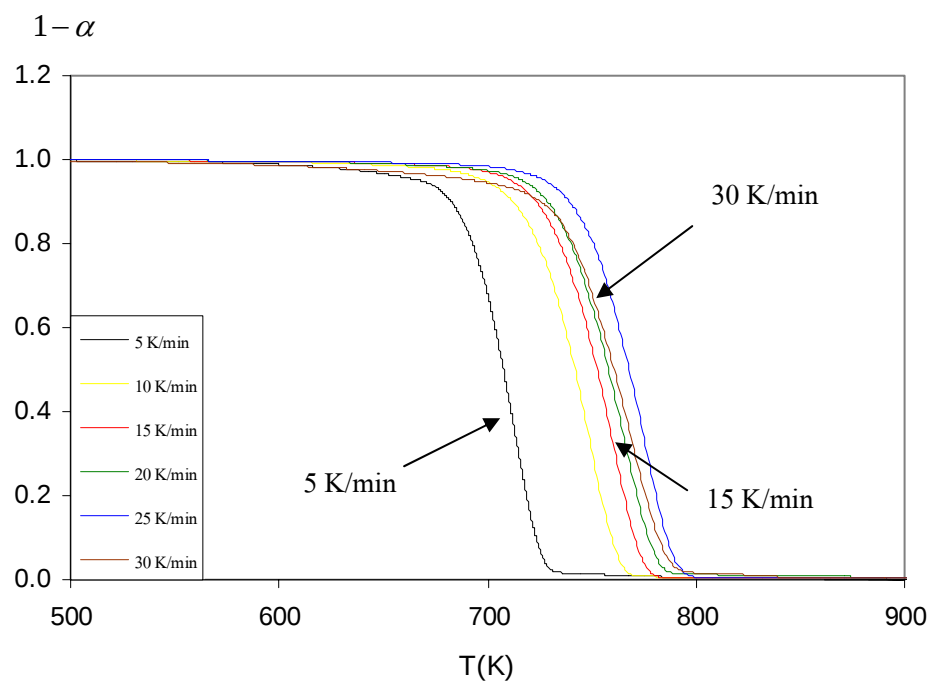
C แทนแคลเซียมคาร์บอเนต

n แทนเปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมคาร์บอเนตในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

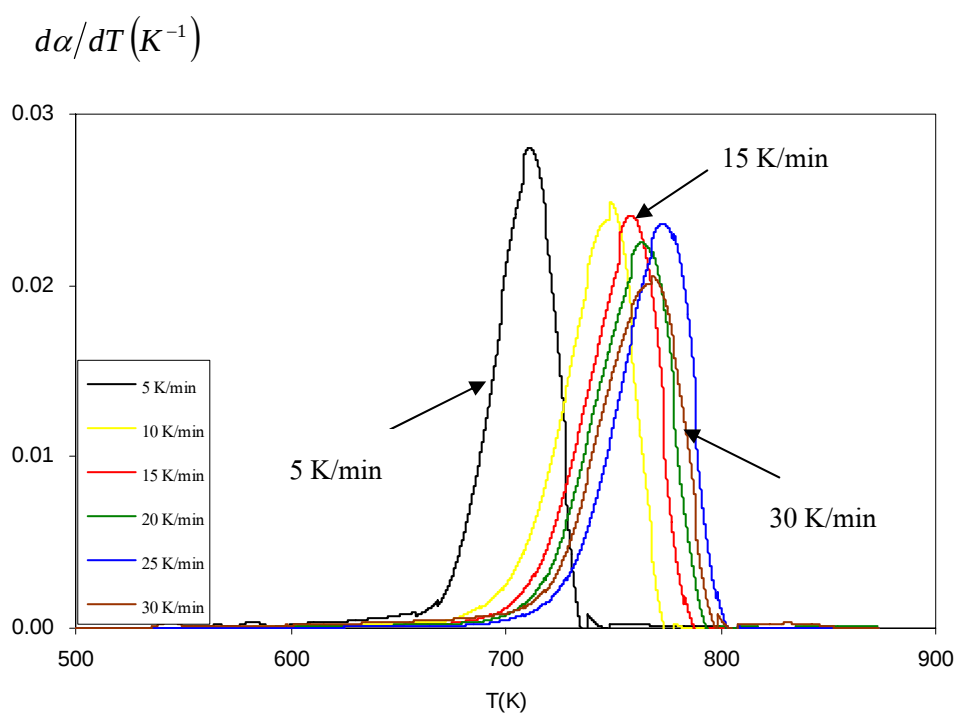
ภาพที่ 22 แสดงกราฟความร้อนโน้มถ่วง (TG) และกราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วง (DTG) ของแผ่นฟิล์มพลาสติก HDPE ที่ไม่ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต หนา 8 ไมครอน จากอุณหภูมิ 323.15 K – 1123.15 K ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิคงตัว 6 อัตรา โดย α เป็นปฏิกิริยาเศษส่วน ซึ่งจะเห็นว่าแผ่นฟิล์มพลาสติกมีการสลายตัวแบบ 1 ขั้นตอน อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 700-800 K เมื่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น อุณหภูมิที่จุดยอด (T_m) ของกราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วงจะเลื่อนไปบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการส่งผ่านทางความร้อน (heat transfer) ถ้าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น การส่งผ่านความร้อนจากเตาไปยังสารตัวอย่างจะตามไม่ทันอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ และความสูงที่จุดยอดของกราฟ (h_m) มีค่าขึ้นอยู่กับความชันของกราฟความร้อนโน้มถ่วง ซึ่งถ้ากราฟความร้อนโน้มถ่วงมีความชันมาก กราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วงจะมีความสูงที่จุดยอดของกราฟมากขึ้น และถ้ากราฟความร้อนโน้มถ่วงมีความชันน้อย กราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วงจะมีความสูงน้อยลง

ภาพที่ 23 แสดงกราฟความร้อนโน้มถ่วง (TG) และกราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วง (DTG) ของแผ่นฟิล์มพลาสติก HDPE ที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 30% หนา 8 ไมครอน จากอุณหภูมิ 323.15 K – 1123.15 K ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิคงตัว 6 อัตรา ซึ่งจะเห็นว่าแผ่นฟิล์มพลาสติกมีการสลายตัวแบบ 2 ขั้นตอน โดยการสลายตัวขั้นตอนแรกอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 700-800 K ซึ่งเป็นการสลายตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และการสลายตัวขั้นตอนที่สองเป็นการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 900-1000 K โดยกราฟความร้อนโน้มถ่วงที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่าง ๆ มีลักษณะคล้ายกันและมีความชันของกราฟต่างกันไม่มาก

กราฟความร้อนโน้มถ่วง (TG) และกราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วง (DTG) ของแผ่นฟิล์มพลาสติกตัวอย่างอื่น ๆ ได้แสดงในภาคผนวก ก และตัวอย่างโปรแกรม mathematica ที่ใช้ในการหาอนุพันธ์กราฟความร้อนโน้มถ่วงได้แสดงในภาคผนวก ข

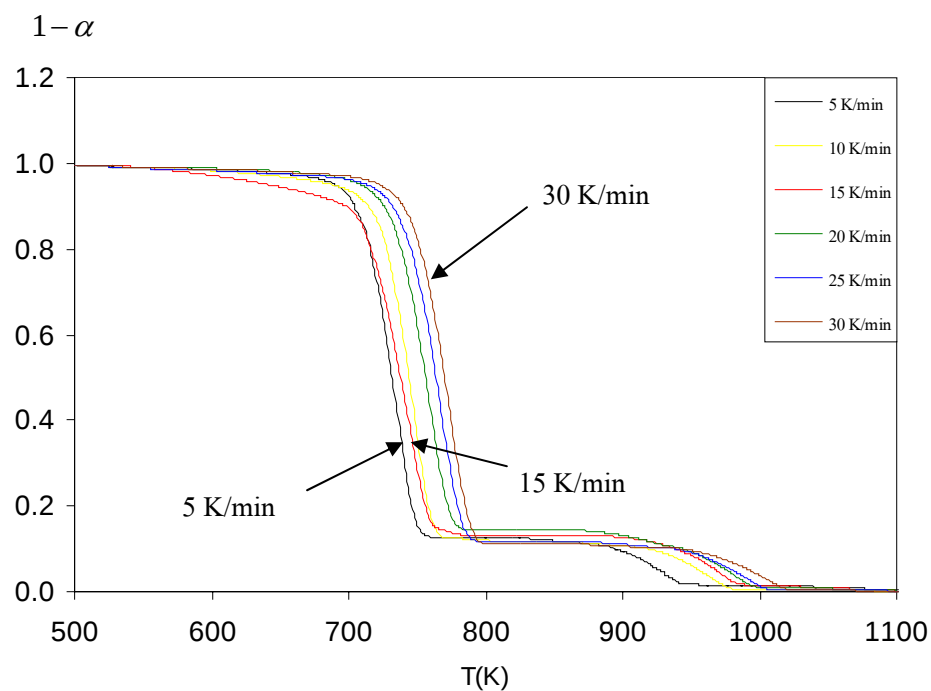


(ก)

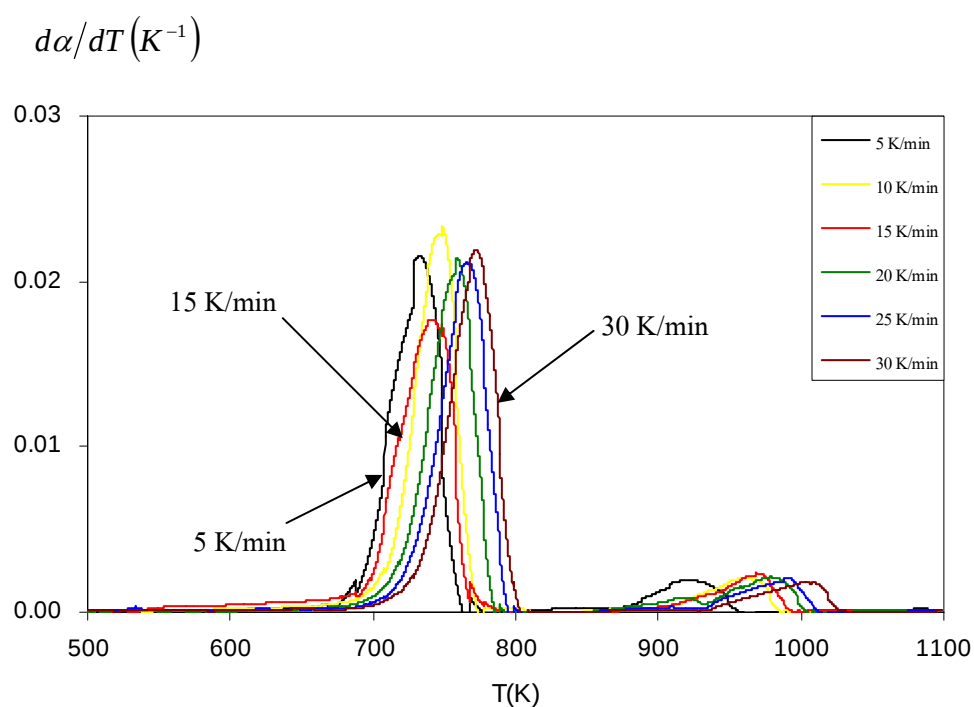


(ข)

ภาพที่ 22 (ก) กราฟความร้อนโน้มถ่วง (TG) และ (ข) กราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วง (DTG) ของแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต หนา 8 ไมครอน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 23 (ก) กราฟความร้อนโน้มถ่วง (TG) และ (ข) กราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วง (DTG) ของแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 30 % หนา 8 ไมครอน

อุณหภูมิที่จุดยอด (T_m) ความสูงที่จุดยอดของกราฟ (h_m) และปฏิกิริยาเศษส่วนที่อุณหภูมิจุดยอด (α_m) ของแผ่นฟิล์มพลาสติก ที่หาค่าได้จากจุดยอดของกราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วง (DTG) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ β ต่าง ๆ ได้แสดงดังตารางที่ 6 ภาพที่ 24 และ 25 แสดงอุณหภูมิที่จุดยอดขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 ของแผ่นฟิล์มพลาสติก ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น อุณหภูมิที่จุดยอดของกราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วงมีค่ามากขึ้น และอุณหภูมิที่จุดยอดของกราฟ DTG ของการย่อยสลายในขั้นตอนที่ 1 มีค่าระหว่าง 700-800 K อุณหภูมิที่จุดยอดของกราฟ DTG ของการย่อยสลายในขั้นตอนที่ 2 มีค่าระหว่าง 900-1000 K ภาพที่ 26 และ 27 แสดงความสูงที่จุดยอดของกราฟ DTG ในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 ของแผ่นฟิล์มพลาสติก ตามลำดับ ซึ่งความสูงที่จุดยอดของกราฟในขั้นตอนที่ 1 มีค่าระหว่าง 0.01-0.03 K⁻¹ และความสูงที่จุดยอดของกราฟในขั้นตอนที่ 2 มีค่าระหว่าง 0.0005-0.0030 K⁻¹ ภาพที่ 28 และ 29 แสดงปฏิกิริยาเศษส่วนที่อุณหภูมิจุดยอดขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 ของแผ่นฟิล์มพลาสติก ตามลำดับ ซึ่งปฏิกิริยาเศษส่วนที่อุณหภูมิจุดยอดในขั้นตอนที่ 1 มีค่าระหว่าง 0.35-0.70 และปฏิกิริยาเศษส่วนที่อุณหภูมิจุดยอดในขั้นตอนที่ 2 มีค่าระหว่าง 0.94-0.99

ตารางที่ 6 อุณหภูมิที่จุดยอด (T_m) ความสูงที่จุดยอดของกราฟ (h_m) และปฏิกิริยาเศษส่วนที่อุณหภูมิจุดยอด (α_m) ที่หาค่าได้จากจุดยอดของกราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วง

แผ่นฟิล์ม		β (°C/min)	ยอดกราฟที่ 1			ยอดกราฟที่ 2		
ที่	สัญลักษณ์		T_m (K)	h_m (K ⁻¹)	α_m	T_m (K)	h_m (K ⁻¹)	α_m
1.1	8C0	5	712.0	0.0282	0.616	-	-	-
1.2	8C0	10	748.1	0.0249	0.635	-	-	-
1.3	8C0	15	758.3	0.0244	0.625	-	-	-
1.4	8C0	20	762.8	0.0227	0.600	-	-	-
1.5	8C0	25	773.3	0.0238	0.630	-	-	-
1.6	8C0	30	768.0	0.0207	0.645	-	-	-
2.1	8C10	5	746.2	0.0207	0.567	937.2	0.0007	0.985
2.2	8C10	10	716.9	0.0146	0.501	919.4	0.0010	0.975
2.3	8C10	15	760.8	0.0247	0.535	939.6	0.0009	0.985
2.4	8C10	20	735.2	0.0133	0.530	961.8	0.0009	0.983
2.5	8C10	25	747.4	0.0153	0.592	954.3	0.0008	0.971
2.6	8C10	30	761.6	0.0147	0.610	962.6	0.0007	0.974

ตารางที่ 6 (ต่อ)

แผ่นฟิล์ม		β (°C/min)	ขอดกราฟที่ 1			ขอดกราฟที่ 2		
ที่	สัญลักษณ์		T_m (K)	h_m (K ⁻¹)	α_m	T_m (K)	h_m (K ⁻¹)	α_m
3.1	8C15	5	710.1	0.0259	0.537	871.3	0.0012	0.976
3.2	8C15	10	742.1	0.0247	0.571	919.4	0.0013	0.971
3.3	8C15	15	752.3	0.0215	0.577	951.6	0.0013	0.972
3.4	8C15	20	758.6	0.0191	0.654	977.9	0.0016	0.977
3.5	8C15	25	748.8	0.0126	0.635	1002.1	0.0014	0.978
3.6	8C15	30	770.8	0.0251	0.567	974.2	0.0015	0.960
4.1	8C20	5	739.1	0.0237	0.660	916.6	0.0017	0.962
4.2	8C20	10	747.3	0.0187	0.553	950.9	0.0019	0.971
4.3	8C20	15	755.5	0.0243	0.590	955.2	0.0019	0.969
4.4	8C20	20	731.8	0.0147	0.397	997.6	0.0018	0.976
4.5	8C20	25	752.1	0.0152	0.625	990.0	0.0019	0.971
4.6	8C20	30	764.3	0.0201	0.578	1002.3	0.0022	0.969
5.1	8C25	5	728.5	0.0252	0.561	916.6	0.0020	0.967
5.2	8C25	10	748.7	0.0238	0.580	946.9	0.0018	0.967
5.3	8C25	15	757.0	0.0228	0.578	959.3	0.0017	0.970
5.4	8C25	20	735.1	0.0141	0.532	970.6	0.0016	0.970
5.5	8C25	25	749.4	0.0165	0.603	982.0	0.0024	0.953
5.6	8C25	30	769.7	0.0215	0.567	986.3	0.0015	0.968
6.1	8C30	5	732.8	0.0217	0.525	923.3	0.0020	0.944
6.2	8C30	10	746.2	0.0232	0.443	959.1	0.0023	0.956
6.3	8C30	15	742.5	0.0178	0.585	971.5	0.0025	0.957
6.4	8C30	20	759.0	0.0215	0.557	980.2	0.0024	0.960
6.5	8C30	25	765.2	0.0213	0.543	988.5	0.0023	0.966
6.6	8C30	30	773.6	0.0221	0.582	1005.0	0.0019	0.971

ตารางที่ 6 (ต่อ)

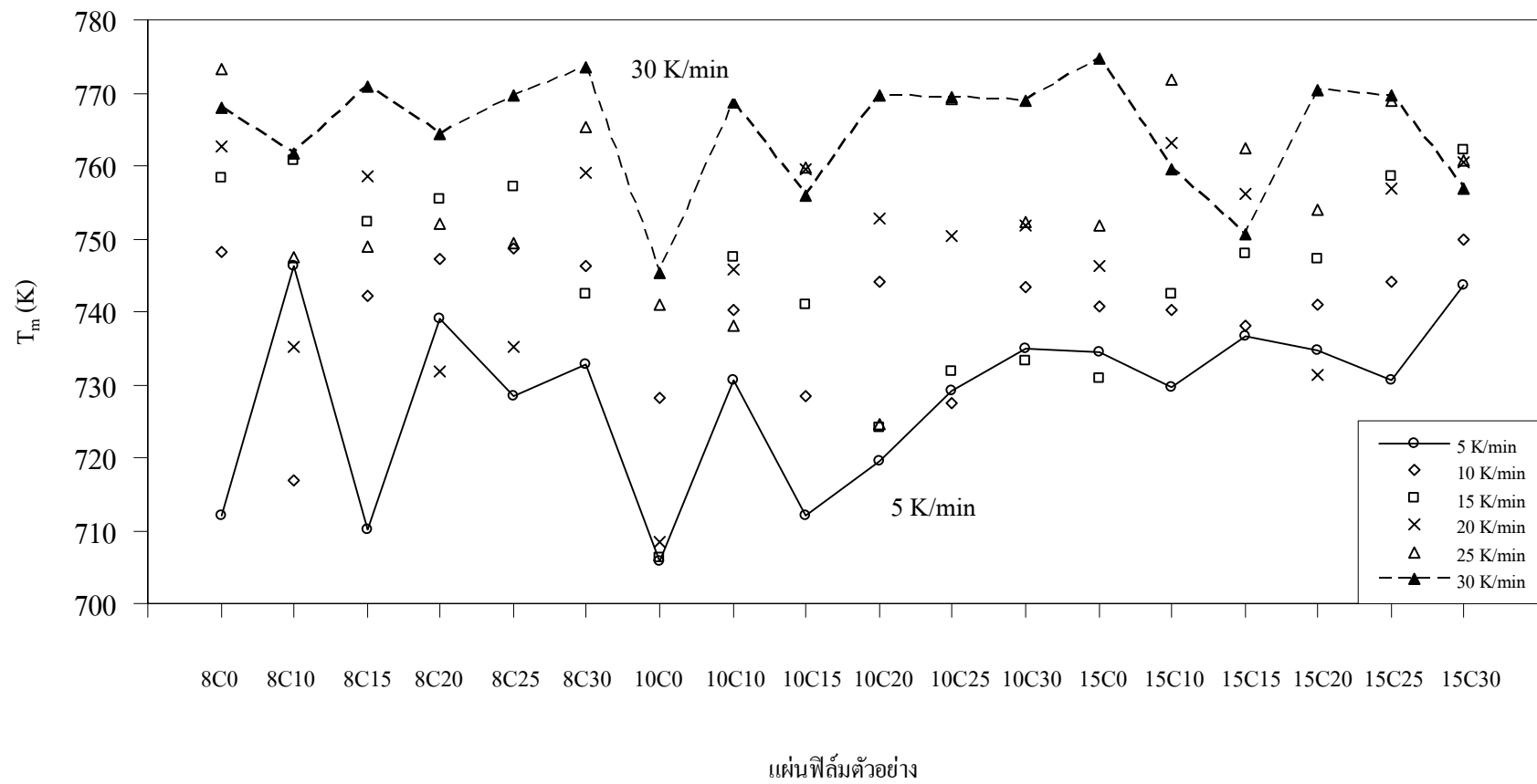
แผ่นฟิล์ม		β (°C/min)	ขอดกราฟที่ 1			ขอดกราฟที่ 2		
ที่	สัญลักษณ์		T_m (K)	h_m (K ⁻¹)	α_m	T_m (K)	h_m (K ⁻¹)	α_m
7.1	10C0	5	705.7	0.0234	0.552	-	-	-
7.2	10C0	10	728.2	0.0192	0.632	-	-	-
7.3	10C0	15	706.2	0.0174	0.497	-	-	-
7.4	10C0	20	708.5	0.0149	0.595	-	-	-
7.5	10C0	25	741.0	0.0228	0.579	-	-	-
7.6	10C0	30	745.3	0.0232	0.652	-	-	-
8.1	10C10	5	730.7	0.0268	0.545	900.5	0.0011	0.979
8.2	10C10	10	740.3	0.0262	0.589	928.6	0.0014	0.980
8.3	10C10	15	747.5	0.0240	0.574	949.7	0.0015	0.975
8.4	10C10	20	745.8	0.0169	0.644	960.2	0.0011	0.974
8.5	10C10	25	738.0	0.0128	0.626	964.7	0.0011	0.975
8.6	10C10	30	768.6	0.0223	0.616	969.1	0.0008	0.983
9.1	10C15	5	712.1	0.0233	0.423	922.8	0.0017	0.971
9.2	10C15	10	728.4	0.0130	0.606	929.6	0.0013	0.958
9.3	10C15	15	740.9	0.0177	0.589	955.9	0.0010	0.960
9.4	10C15	20	759.5	0.0239	0.581	966.4	0.0013	0.980
9.5	10C15	25	759.7	0.0236	0.572	954.5	0.0013	0.969
9.6	10C15	30	755.8	0.0227	0.521	989.3	0.0018	0.982
10.1	10C20	5	719.5	0.0222	0.562	928.7	0.0017	0.960
10.2	10C20	10	744.2	0.0242	0.571	937.2	0.0017	0.967
10.3	10C20	15	724.1	0.0140	0.517	966.1	0.0014	0.961
10.4	10C20	20	752.9	0.0260	0.528	962.4	0.0017	0.966
10.5	10C20	25	724.6	0.0134	0.440	975.0	0.0020	0.949
10.6	10C20	30	769.6	0.0249	0.581	977.3	0.0013	0.964

ตารางที่ 6 (ต่อ)

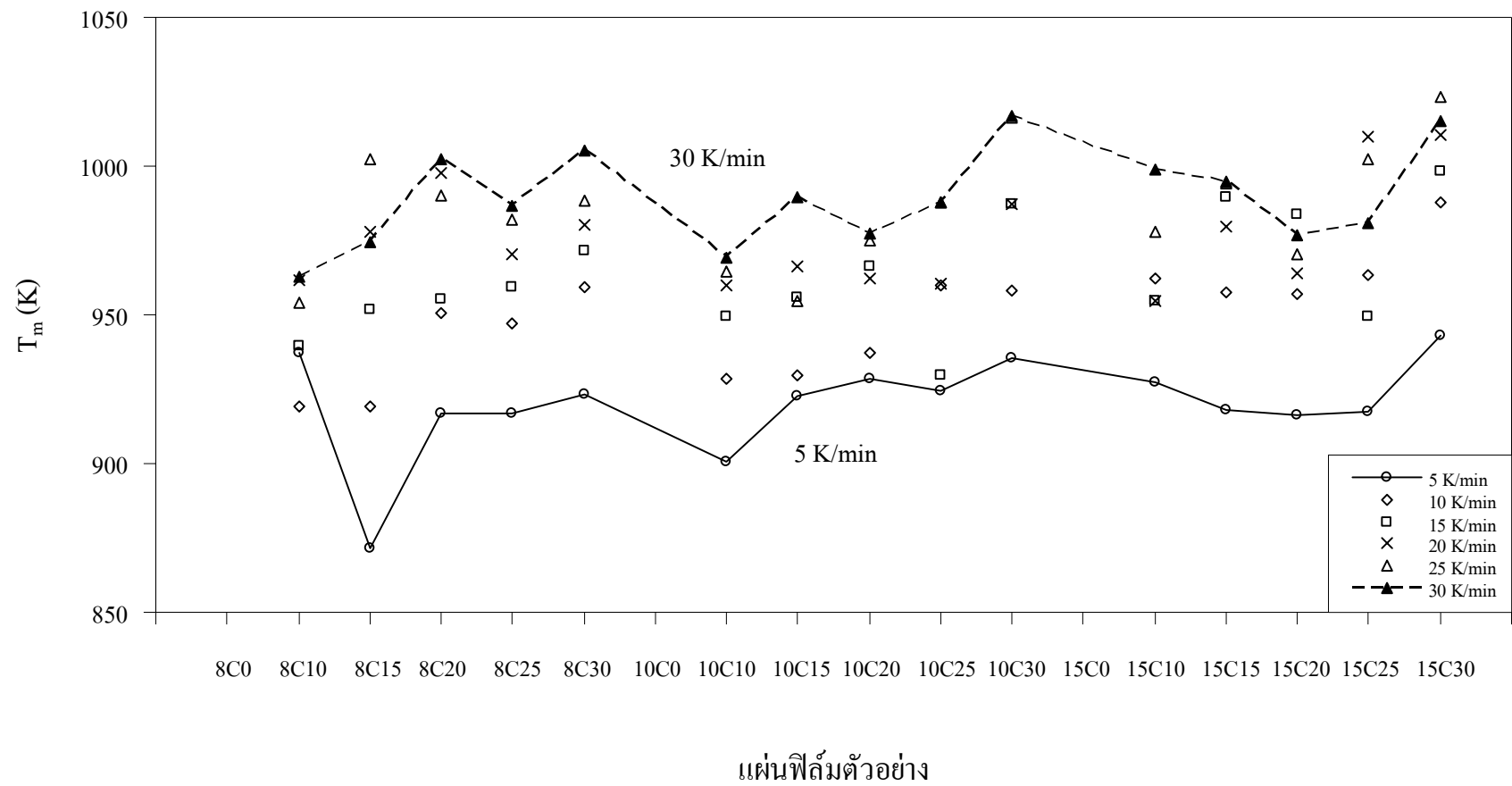
แผ่นฟิล์ม		β (°C/min)	ขอดกราฟที่ 1			ขอดกราฟที่ 2		
ที่	สัญลักษณ์		T_m (K)	h_m (K ⁻¹)	α_m	T_m (K)	h_m (K ⁻¹)	α_m
11.1	10C25	5	729.1	0.0228	0.579	924.7	0.0027	0.942
11.2	10C25	10	727.5	0.0176	0.534	960.0	0.0022	0.954
11.3	10C25	15	731.8	0.0255	0.499	929.7	0.0019	0.971
11.4	10C25	20	750.4	0.0234	0.505	960.7	0.0023	0.954
11.5	10C25	25	769.1	0.0230	0.627	987.6	0.0017	0.973
11.6	10C25	30	769.4	0.0236	0.579	988.0	0.0018	0.960
12.1	10C30	5	734.9	0.0250	0.566	935.3	0.0024	0.954
12.2	10C30	10	743.3	0.0224	0.521	958.1	0.0022	0.949
12.3	10C30	15	733.3	0.0146	0.560	987.1	0.0024	0.954
12.4	10C30	20	751.9	0.0190	0.543	987.4	0.0023	0.954
12.5	10C30	25	752.2	0.0179	0.555	1016.5	0.0022	0.967
12.6	10C30	30	768.8	0.0208	0.534	1016.8	0.0022	0.964
13.1	15C0	5	734.4	0.0299	0.632	-	-	-
13.2	15C0	10	740.8	0.0259	0.639	-	-	-
13.3	15C0	15	730.8	0.0150	0.627	-	-	-
13.4	15C0	20	746.2	0.0157	0.657	-	-	-
13.5	15C0	25	751.8	0.0154	0.653	-	-	-
13.6	15C0	30	774.6	0.0297	0.556	-	-	-
14.1	15C10	5	729.6	0.0260	0.589	927.1	0.0012	0.974
14.2	15C10	10	740.1	0.0201	0.591	962.4	0.0011	0.984
14.3	15C10	15	742.4	0.0183	0.609	954.5	0.0009	0.978
14.4	15C10	20	763.2	0.0247	0.589	954.8	0.0009	0.980
14.5	15C10	25	771.8	0.0286	0.547	977.9	0.0010	0.976
14.6	15C10	30	759.6	0.0153	0.666	998.8	0.0013	0.985

ตารางที่ 6 (ต่อ)

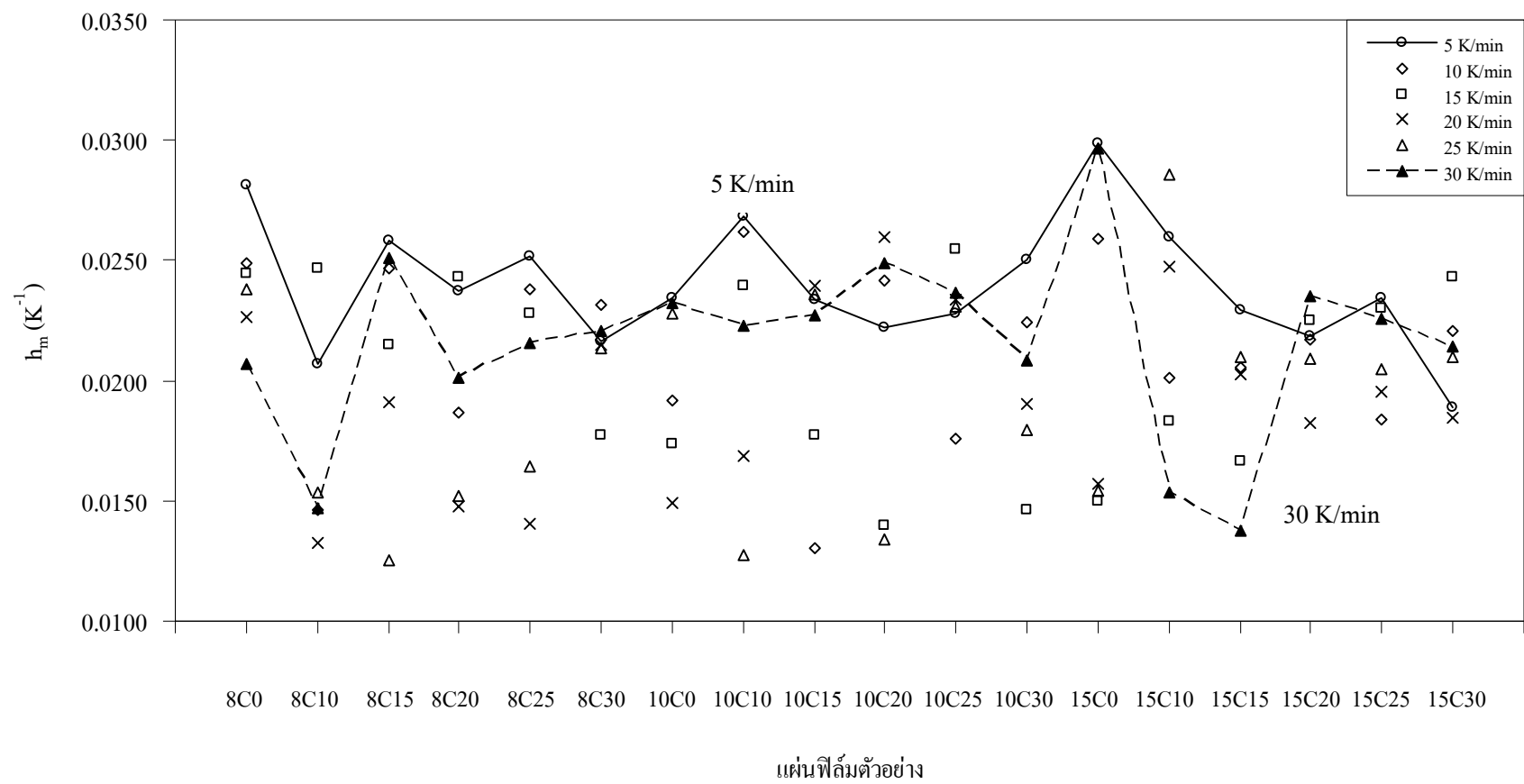
แผ่นฟิล์ม		β (°C/min)	ขอดกราฟที่ 1			ขอดกราฟที่ 2		
ที่	สัญลักษณ์		T_m (K)	h_m (K ⁻¹)	α_m	T_m (K)	h_m (K ⁻¹)	α_m
15.1	15C15	5	736.5	0.0229	0.581	918.1	0.0014	0.970
15.2	15C15	10	738.0	0.0206	0.572	957.7	0.0017	0.972
15.3	15C15	15	747.8	0.0167	0.659	989.6	0.0011	0.975
15.4	15C15	20	756.1	0.0203	0.587	979.8	0.0014	0.960
15.5	15C15	25	762.4	0.0210	0.565	994.3	0.0014	0.966
15.6	15C15	30	750.6	0.0137	0.597	994.8	0.0011	0.971
16.1	15C20	5	734.8	0.0219	0.554	916.5	0.0021	0.953
16.2	15C20	10	741.0	0.0217	0.528	957.2	0.0014	0.977
16.3	15C20	15	747.3	0.0225	0.591	983.7	0.0021	0.951
16.4	15C20	20	731.4	0.0182	0.574	963.8	0.0015	0.974
16.5	15C20	25	753.9	0.0209	0.591	970.3	0.0016	0.991
16.6	15C20	30	770.4	0.0235	0.598	976.8	0.0013	0.966
17.1	15C25	5	730.6	0.0235	0.562	917.5	0.0024	0.950
17.2	15C25	10	744.2	0.0184	0.577	963.1	0.0019	0.967
17.3	15C25	15	758.5	0.0230	0.567	949.4	0.0019	0.950
17.4	15C25	20	756.8	0.0196	0.540	1010.0	0.0020	0.970
17.5	15C25	25	769.0	0.0204	0.585	1002.3	0.0020	0.955
17.6	15C25	30	769.5	0.0225	0.563	980.9	0.0015	0.961
18.1	15C30	5	743.6	0.0189	0.506	942.9	0.0015	0.968
18.2	15C30	10	749.9	0.0221	0.559	987.6	0.0021	0.972
18.3	15C30	15	762.2	0.0243	0.543	998.0	0.0025	0.974
18.4	15C30	20	760.4	0.0184	0.491	1010.5	0.0026	0.973
18.5	15C30	25	760.7	0.0210	0.525	1023.0	0.0023	0.976
18.6	15C30	30	757.0	0.0214	0.369	1015.4	0.0018	0.968



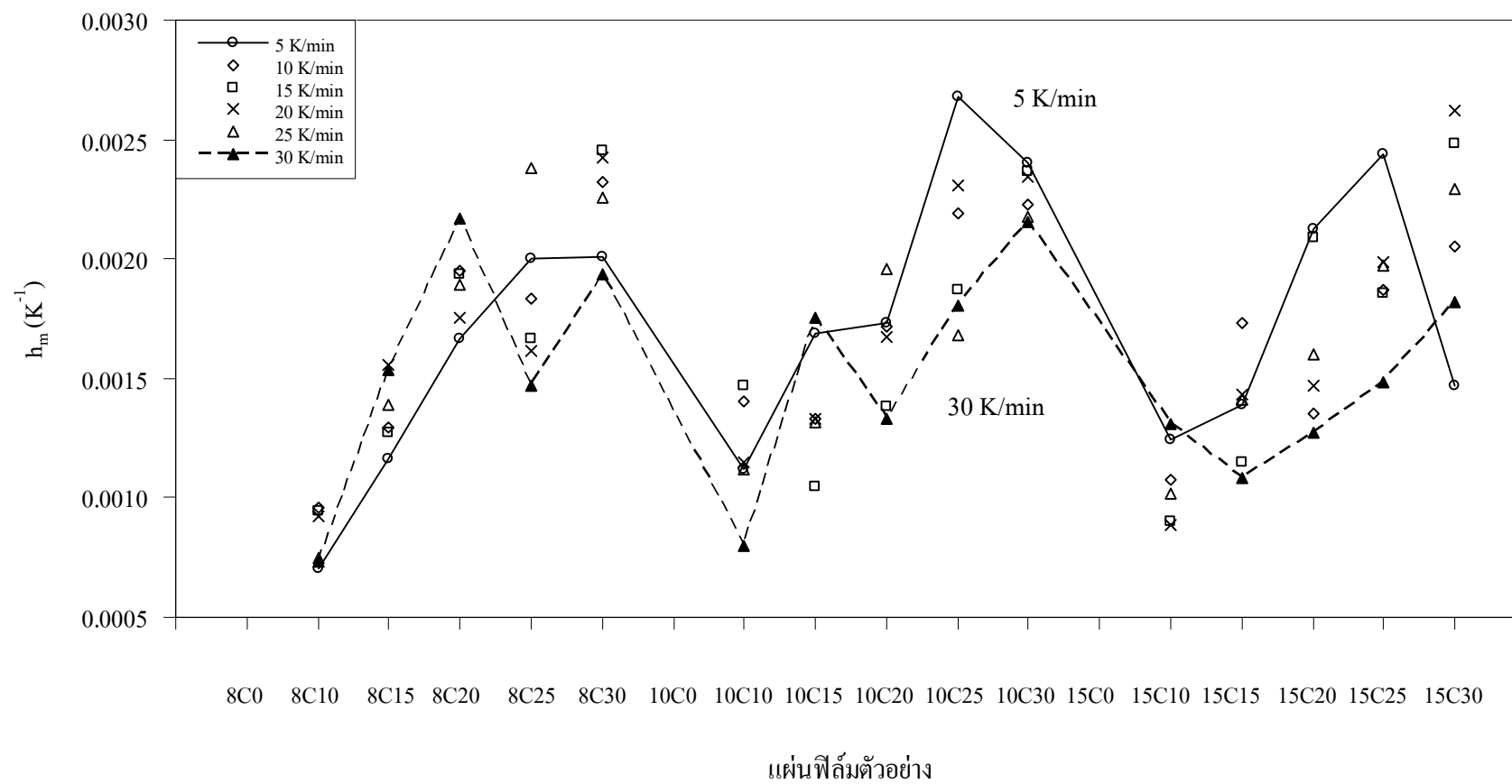
ภาพที่ 24 อุณหภูมิที่จุดยอดของกราฟ DTG ของการย่อยสลายขั้นตอนที่ 1 ของแผ่นฟิล์มพลาสติก



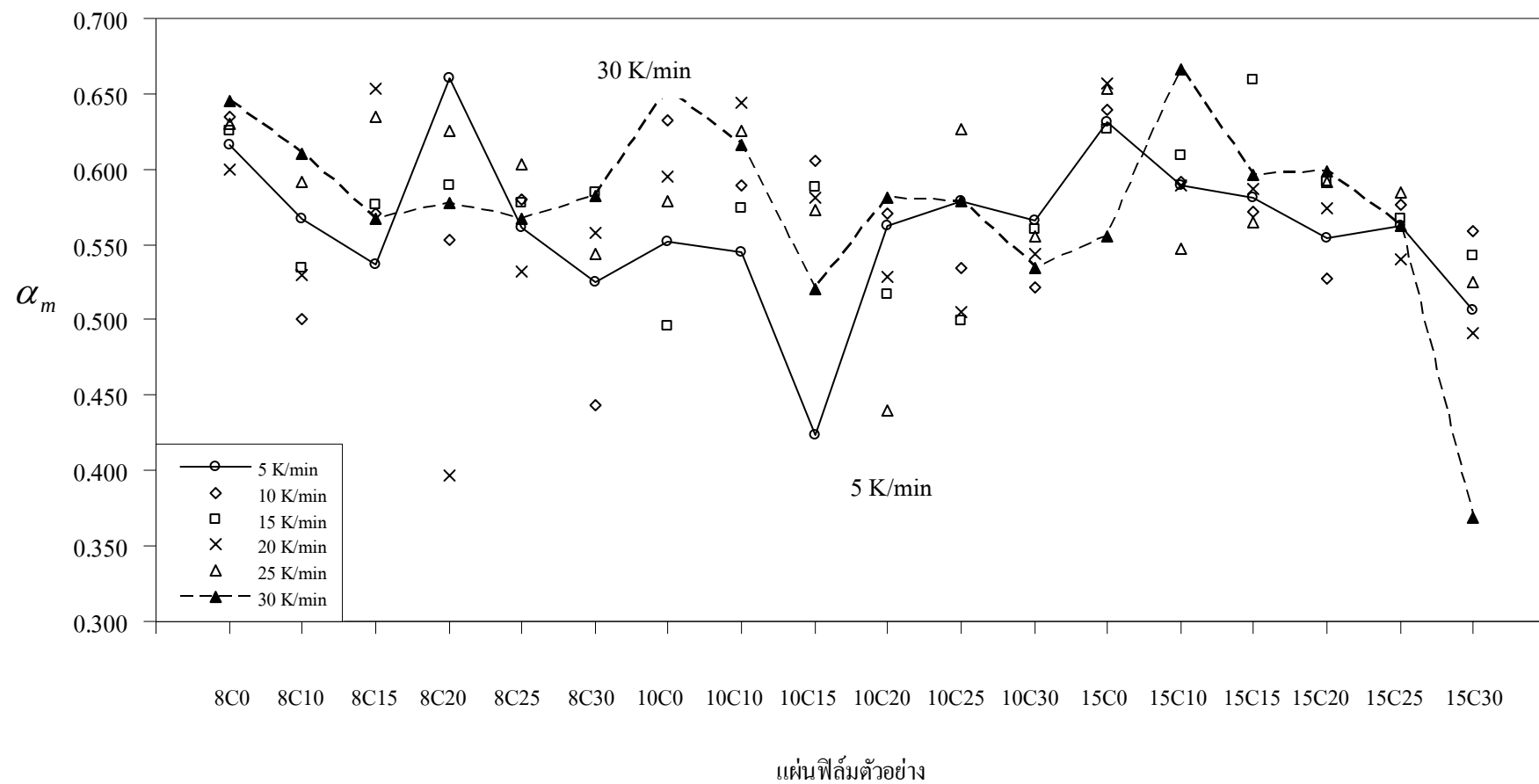
ภาพที่ 25 อุณหภูมิที่จุดยอดของกราฟ DTG ของการย่อยสลายขั้นตอนที่ 2 ของแผ่นฟิล์มพลาสติก



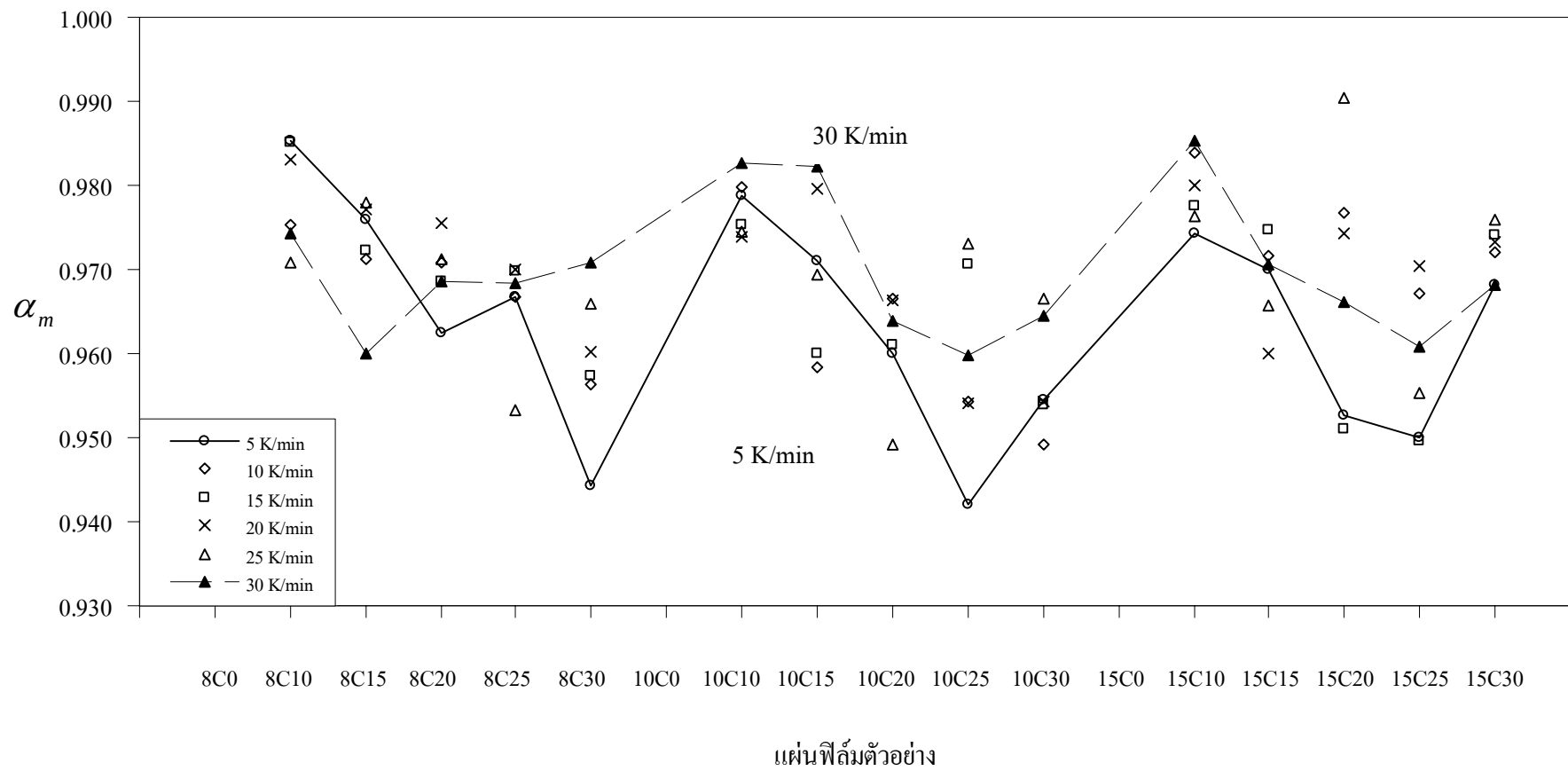
ภาพที่ 26 ความสูงที่จุดยอดของกราฟ DTG ของการย่อยสลายขั้นตอนที่ 1 ของแผ่นฟิล์มพลาสติก



ภาพที่ 27 ความสูงที่จุดยอดของกราฟ DTG ของการย่อยสลายขั้นตอนที่ 2 ของแผ่นฟิล์มพลาสติก



ภาพที่ 28 ปฏิกริยาเศษส่วนที่อุณหภูมิจุดยอดของกราฟ DTG ของการย่อยสลายขั้นตอนที่ 1 ของแผ่นฟิล์มพลาสติก



ภาพที่ 29 ปฏิกริยาเศษส่วนที่อุณหภูมิจุดยอดของกราฟ DTG ของการย่อยสลายขั้นตอนที่ 2 ของแผ่นฟิล์มพลาสติก

ผลการหาค่าพารามิเตอร์จลน์

การคำนวณค่าพารามิเตอร์จลน์ด้วยวิธีสมบัติที่จุดยอด (PPM) ในที่นี้ได้คำนวณโดยใช้ข้อมูลจากจุดยอดที่ 1 ของกราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วง (DTG) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการย่อยสลายของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเท่านั้น โดยไม่ได้คำนวณค่าพารามิเตอร์จลน์ของข้อมูลจุดยอดที่สองซึ่งเป็นการย่อยสลายของแคลเซียมคาร์บอเนตในแผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ค่าแฟกเตอร์การแปลง ϕ_m และพารามิเตอร์จลน์ที่คำนวณจากข้อมูลที่จุดยอดที่ 1 ของกราฟอนุพันธ์ความร้อนโน้มถ่วง (DTG) ได้แสดงในตารางที่ 7 ตัวอย่างโปรแกรม mathematica ที่ใช้ในการคำนวณค่าอันดับการเกิดปฏิกิริยา (n) ได้แสดงในภาคผนวก ค ซึ่งจะเห็นว่าอันดับการเกิดปฏิกิริยา (n) ไม่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราการเพิ่มอุณหภูมิแต่พลังงานก่อกัมมันต์ (E) และลอการิทึมของแฟกเตอร์ก่อนเอกซ์โพเนนเชียล ($\ln A$) มีค่าลดลงเมื่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตารางที่ 8 แสดงค่า n, E และ $\ln A$ ที่เฉลี่ยจากอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 6 อัตรา ของแผ่นฟิล์มพลาสติก ภาพที่ 30 แสดงค่าเฉลี่ยของอันดับการเกิดปฏิกิริยา (n) พลังงานก่อกัมมันต์ (E) และลอการิทึมของแฟกเตอร์ก่อนเอกซ์โพเนนเชียล ($\ln A$) ของแผ่นฟิล์มพลาสติก ซึ่งจะเห็นว่าแผ่นฟิล์มพลาสติกทุกอัตราส่วนมีค่าอันดับการเกิดปฏิกิริยาเกือบคงตัวเท่ากับ 1 โดยไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ β และปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผสมในแผ่นฟิล์มพลาสติก ซึ่งแสดงว่าปฏิกิริยาของการย่อยสลายเกิดจากโซ่หลักของพอลิเมอร์ที่ถูกตัดขาดออกไปแบบสุ่ม ดังนั้น ฟังก์ชันของปฏิกิริยาเศษส่วนของปฏิกิริยาการย่อยสลายมีค่า $f(\alpha) = (1 - \alpha)$

พลังงานก่อกัมมันต์เป็นตัวบ่งบอกพลังงานที่ใช้ไปในการย่อยสลาย ซึ่งแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าพลังงานก่อกัมมันต์สูงกว่าแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต แสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดขึ้นได้ยากกว่าแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต

แฟกเตอร์ก่อนเอกซ์โพเนนเชียล (A) เป็นตัวบ่งบอกจำนวนการปะทะกันระหว่างโมเลกุลของตัวทำปฏิกิริยา ซึ่งแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าแฟกเตอร์ก่อนเอกซ์โพเนนเชียลสูงกว่าแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต แสดงว่าแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต เกิดการปะทะกันระหว่างโมเลกุลในปฏิกิริยาการย่อยสลายมากกว่าแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต ดังนั้นแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตจึงย่อยสลายได้ยากกว่าแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 7 ค่าแฟกเตอร์การแปลง ϕ_m และพารามิเตอร์จลน์ของแผ่นฟิล์มพลาสติก

แผ่นฟิล์ม		β	ϕ_m	n	E	ln A
ที่	สัญลักษณ์	($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)			(kJ/mol)	(min^{-1})
1.1	8C0	5	0.96370	1.00	308.75	51.15
1.2	8C0	10	0.95946	0.91	288.61	45.93
1.3	8C0	15	0.96030	0.96	299.02	47.37
1.4	8C0	20	0.95665	1.00	273.97	43.33
1.5	8C0	25	0.95958	0.94	299.21	46.95
1.6	8C0	30	0.95114	0.85	242.66	38.41
2.1	8C10	5	0.94815	1.00	221.13	34.21
2.2	8C10	10	0.91616	1.00	124.99	19.74
2.3	8C10	15	0.95382	1.00	255.38	40.15
2.4	8C10	20	0.91524	1.00	126.61	20.14
2.5	8C10	25	0.93532	1.00	174.07	27.95
2.6	8C10	30	0.93614	0.99	179.87	28.52
3.1	8C15	5	0.95302	1.00	234.02	38.36
3.2	8C15	10	0.95607	1.00	262.81	42.04
3.3	8C15	15	0.95141	1.00	239.11	37.96
3.4	8C15	20	0.94513	0.80	211.46	33.42
3.5	8C15	25	0.91848	0.84	134.77	21.34
3.6	8C15	30	0.95793	1.00	285.82	45.15
4.1	8C20	5	0.95399	0.79	249.08	39.25
4.2	8C20	10	0.94130	1.00	193.56	30.28
4.3	8C20	15	0.95807	1.00	281.11	44.63
4.4	8C20	20	0.90364	1.00	108.85	17.17
4.5	8C20	25	0.93480	0.91	173.62	27.69
4.6	8C20	30	0.94909	1.00	231.06	36.72

ตารางที่ 7 (ต่อ)

แผ่นฟิล์ม		β	ϕ_m	n	E	ln A
ที่	สัญลักษณ์	($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)			(kJ/mol)	(min^{-1})
5.1	8C25	5	0.95528	1.00	253.09	40.54
5.2	8C25	10	0.95598	1.00	264.51	41.93
5.3	8C25	15	0.95428	1.00	256.84	40.60
5.4	8C25	20	0.91999	1.00	135.13	21.60
5.5	8C25	25	0.94117	1.00	193.66	31.12
5.6	8C25	30	0.95153	1.00	245.32	38.74
6.1	8C30	5	0.94494	1.00	203.51	31.92
6.2	8C30	10	0.94112	1.00	192.63	30.17
6.3	8C30	15	0.94237	1.00	196.20	31.34
6.4	8C30	20	0.94972	1.00	232.54	36.82
6.5	8C30	25	0.94830	1.00	227.49	35.91
6.6	8C30	30	0.95432	1.00	262.74	41.31
7.1	10C0	5	0.94973	1.00	216.28	35.52
7.2	10C0	10	0.94603	0.90	206.66	33.38
7.3	10C0	15	0.92664	1.00	143.06	23.71
7.4	10C0	20	0.93118	1.00	154.08	25.85
7.5	10C0	25	0.95355	1.00	247.22	40.43
7.6	10C0	30	0.95430	0.82	252.99	41.33
8.1	10C10	5	0.95656	1.00	261.85	41.88
8.2	10C10	10	0.96010	1.00	290.42	46.74
8.3	10C10	15	0.95559	1.00	261.66	41.93
8.4	10C10	20	0.93808	0.83	182.20	29.16
8.5	10C10	25	0.92045	0.88	136.53	21.98
8.6	10C10	30	0.95788	1.00	284.62	45.09

ตารางที่ 7 (ต่อ)

แผ่นฟิล์ม		β	ϕ_m	n	E	ln A
ที่	สัญลักษณ์	($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)			(kJ/mol)	(min^{-1})
9.1	10C15	5	0.93693	1.00	170.51	27.20
9.2	10C15	10	0.92483	0.99	143.60	22.59
9.3	10C15	15	0.94254	1.00	196.43	31.45
9.4	10C15	20	0.95683	1.00	273.95	43.52
9.5	10C15	25	0.95542	1.00	264.82	42.25
9.6	10C15	30	0.94833	1.00	224.85	36.13
10.1	10C20	5	0.94932	1.00	218.54	35.16
10.2	10C20	10	0.95543	1.00	259.48	41.37
10.3	10C20	15	0.91628	1.00	126.46	20.17
10.4	10C20	20	0.95495	1.00	259.48	41.55
10.5	10C20	25	0.90074	1.00	104.14	16.77
10.6	10C20	30	0.95896	1.00	293.01	46.37
11.1	10C25	5	0.95280	1.00	239.07	38.13
11.2	10C25	10	0.93415	1.00	166.11	26.49
11.3	10C25	15	0.95022	1.00	226.62	36.98
11.4	10C25	20	0.94785	1.00	221.02	35.37
11.5	10C25	25	0.95827	0.95	287.67	45.37
11.6	10C25	30	0.95667	1.00	276.47	43.74
12.1	10C30	5	0.95587	1.00	258.99	41.15
12.2	10C30	10	0.94697	1.00	214.98	34.03
12.3	10C30	15	0.92655	1.00	148.33	23.63
12.4	10C30	20	0.94159	1.00	195.80	31.14
12.5	10C30	25	0.93982	1.00	189.60	30.33
12.6	10C30	30	0.94640	1.00	219.82	34.68

ตารางที่ 7 (ต่อ)

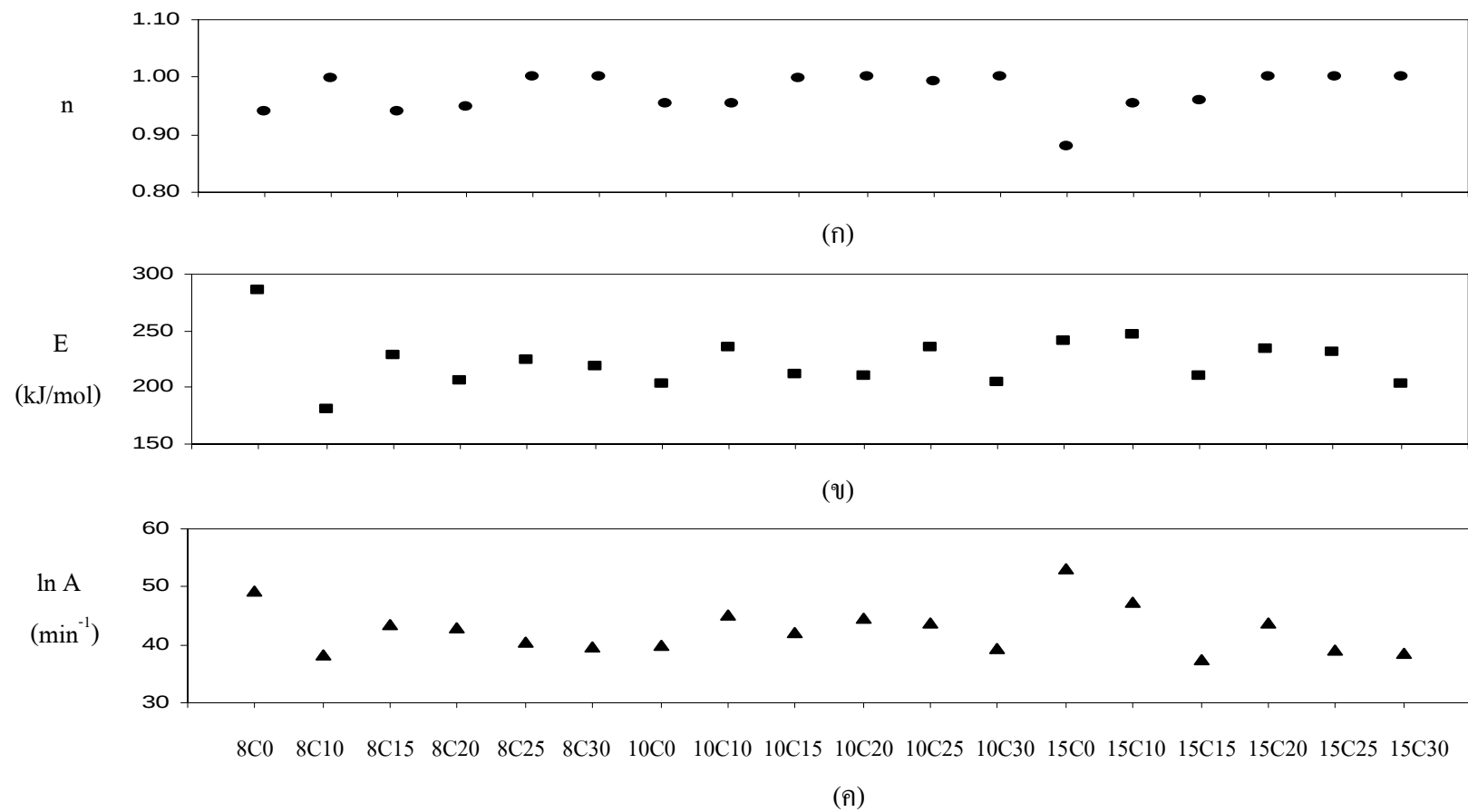
แผ่นฟิล์ม		β	ϕ_m	n	E	ln A
ที่	สัญลักษณ์	($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)			(kJ/mol)	(min^{-1})
13.1	15C0	5	0.96596	0.94	340.70	54.83
13.2	15C0	10	0.96016	0.89	291.08	46.82
13.3	15C0	15	0.93161	0.90	160.05	25.73
13.4	15C0	20	0.93131	0.77	162.61	25.87
13.5	15C0	25	0.93107	0.78	163.20	25.99
13.6	15C0	30	0.96343	1.00	333.20	52.43
14.1	15C10	5	0.95922	1.00	279.69	44.95
14.2	15C10	10	0.94920	1.00	224.27	35.74
14.3	15C10	15	0.94693	1.00	214.58	34.41
14.4	15C10	20	0.95909	1.00	291.53	46.13
14.5	15C10	25	0.96128	1.00	312.57	49.17
14.6	15C10	30	0.92920	0.73	160.09	25.37
15.1	15C15	5	0.95376	1.00	246.91	39.03
15.2	15C15	10	0.94786	1.00	217.41	34.70
15.3	15C15	15	0.93501	0.76	173.26	27.30
15.4	15C15	20	0.95000	1.00	233.06	37.05
15.5	15C15	25	0.94969	1.00	233.43	37.01
15.6	15C15	30	0.92979	1.00	159.68	25.61
16.1	15C20	5	0.94870	1.00	220.30	34.66
16.2	15C20	10	0.94593	1.00	209.87	33.29
16.3	15C20	15	0.95455	1.00	255.15	40.87
16.4	15C20	20	0.94150	1.00	190.13	31.11
16.5	15C20	25	0.95185	1.00	241.98	38.85
16.6	15C20	30	0.95835	1.00	288.72	45.64

ตารางที่ 7 (ต่อ)

แผ่นฟิล์ม		β	ϕ_m	n	E	ln A
ที่	สัญลักษณ์	($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)			(kJ/mol)	(min^{-1})
17.1	15C25	5	0.95245	1.00	237.66	37.81
17.2	15C25	10	0.94321	1.00	199.84	31.46
17.3	15C25	15	0.95373	1.00	254.09	40.06
17.4	15C25	20	0.94299	1.00	202.37	32.00
17.5	15C25	25	0.95101	1.00	242.30	38.10
17.6	15C25	30	0.95306	1.00	253.84	40.11
18.1	15C30	5	0.93631	1.00	176.14	26.84
18.2	15C30	10	0.95057	1.00	234.01	36.84
18.3	15C30	15	0.95397	1.00	256.73	40.29
18.4	15C30	20	0.93438	1.00	174.31	27.25
18.5	15C30	25	0.94522	1.00	212.43	33.69
18.6	15C30	30	0.93011	1.00	161.85	25.74

ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์จลน์เคมีของแผ่นฟิล์มพลาสติก

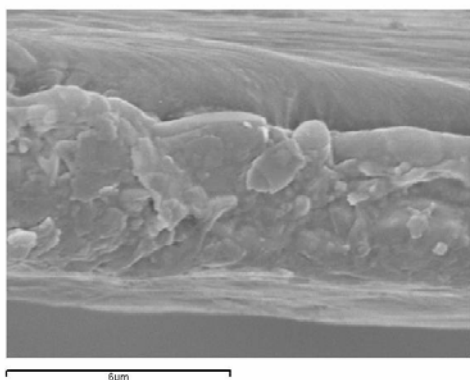
แผ่นฟิล์ม		n	E (kJ/mol)	A (min ⁻¹)	ln A (min ⁻¹)
ที่	สัญลักษณ์				
1	8C0	0.94	285.37	2.85×10^{21}	49.40
2	8C10	1.00	180.34	4.56×10^{16}	38.36
3	8C15	0.94	228.00	7.11×10^{18}	43.41
4	8C20	0.95	206.21	4.06×10^{18}	42.85
5	8C25	1.00	224.76	4.18×10^{17}	40.58
6	8C30	1.00	219.19	1.48×10^{17}	39.54
7	10C0	0.95	203.38	2.10×10^{17}	39.88
8	10C10	0.95	236.21	3.99×10^{19}	45.13
9	10C15	1.00	212.36	1.70×10^{18}	41.98
10	10C20	1.00	210.19	2.33×10^{19}	44.60
11	10C25	0.99	236.16	1.01×10^{19}	43.76
12	10C30	1.00	204.59	1.24×10^{17}	39.36
13	15C0	0.88	241.81	1.19×10^{23}	53.13
14	15C10	0.95	247.12	4.00×10^{20}	47.44
15	15C15	0.96	210.62	1.91×10^{16}	37.49
16	15C20	1.00	234.36	1.12×10^{19}	43.86
17	15C25	1.00	231.68	9.59×10^{16}	39.10
18	15C30	1.00	202.58	5.41×10^{16}	38.53



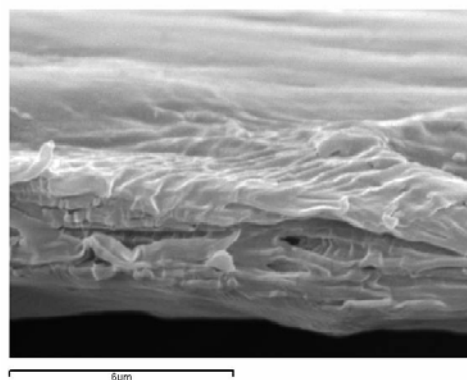
ภาพที่ 30 ค่าเฉลี่ยของ (ก) อันดับการเกิดปฏิกิริยา (n) (ข) พลังงานก่อกัมมันต์ (E) และ (ค) ลอการิทึมของแฟกเตอร์ก่อนเอกซ์โพเนนเชียล (ln A) ของแผ่นฟิล์มพลาสติก

ผลการศึกษาพื้นฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มพลาสติก

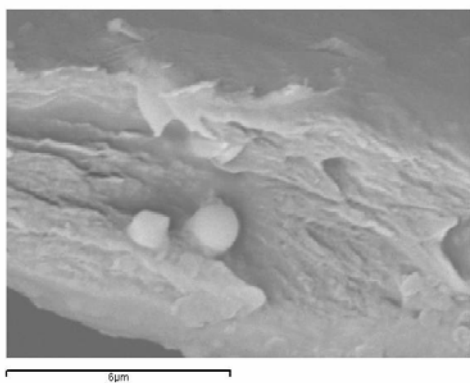
ลักษณะการกระจายของแคลเซียมคาร์บอเนตในแผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 10,000 เท่า ได้แสดงดังภาพที่ 31-33 ซึ่งพบว่าขนาดและจำนวนของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่กระจายในแผ่นฟิล์มพลาสติก ขึ้นอยู่กับความหนาและอัตราส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผสมในแผ่นฟิล์มพลาสติก ซึ่งแผ่นฟิล์มพลาสติกที่มีความหนา 8 ไมครอนมีการกระจายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตน้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่มีความหนามากขึ้น ตารางที่ 9 แสดงขนาดโดยประมาณของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผสมในแผ่นฟิล์มพลาสติก



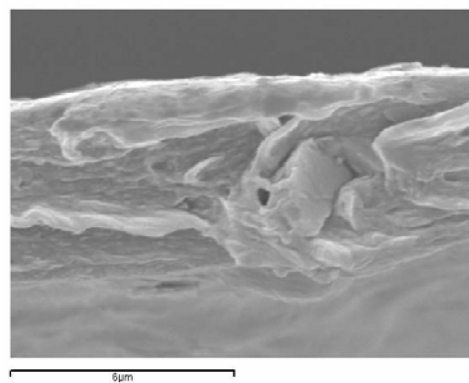
(ก)



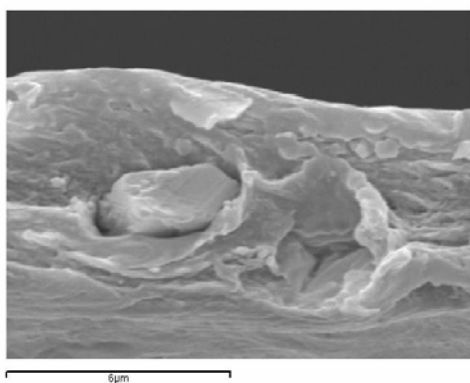
(ข)



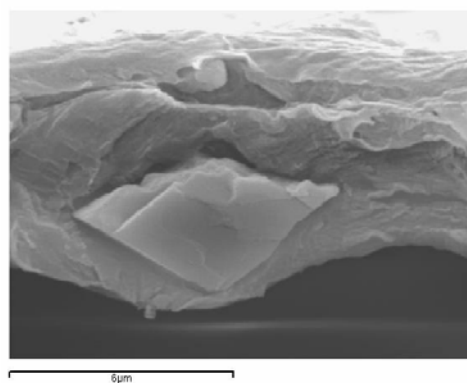
(ค)



(ง)

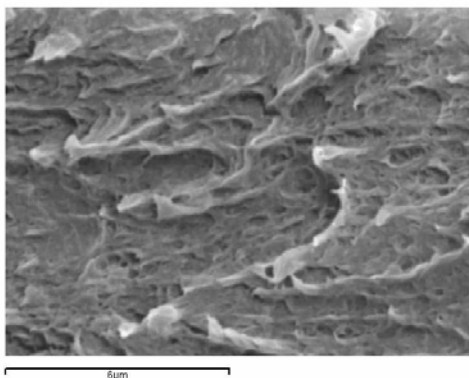


(จ)

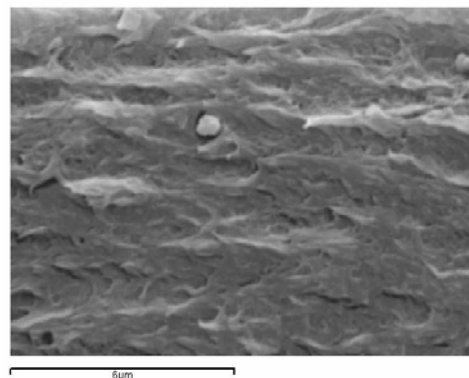


(ฉ)

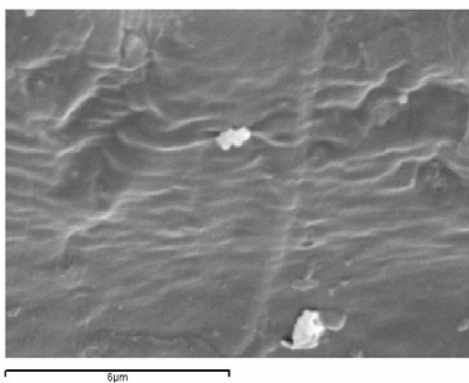
ภาพที่ 31 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นฟิล์มพลาสติกหนา $8\ \mu\text{m}$ เมื่อมีปริมาณ CaCO_3 (ก) 0% (ข) 10% (ค) 15% (ง) 20% (จ) 25% และ (ฉ) 30%



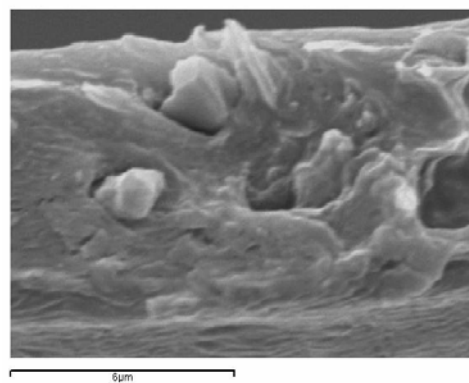
(ก)



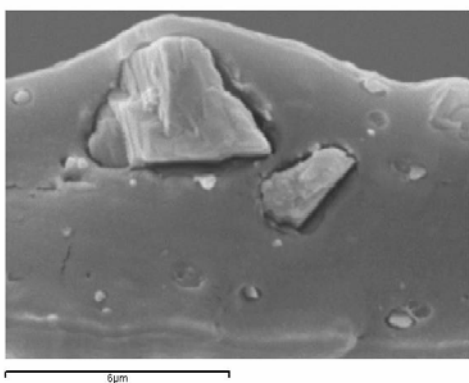
(ข)



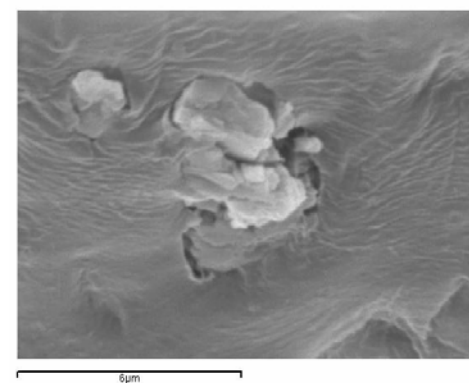
(ค)



(ง)

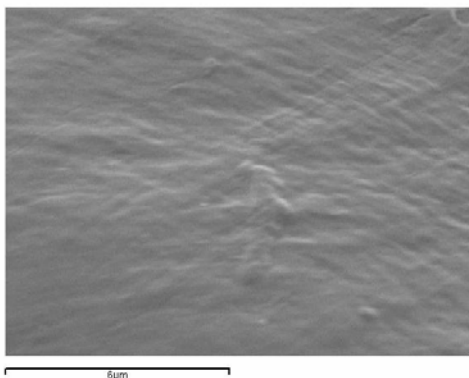


(จ)

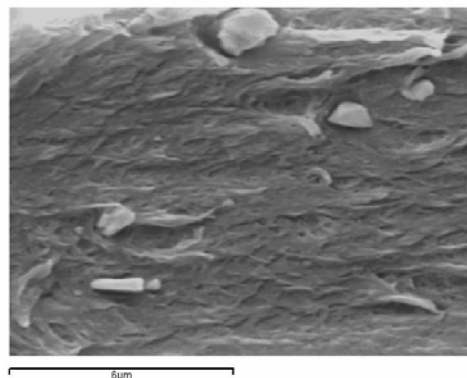


(ฉ)

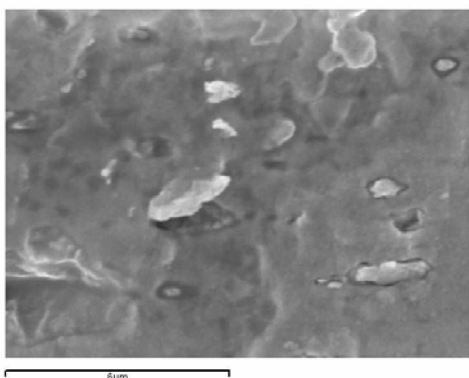
ภาพที่ 32 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นฟิล์มพลาสติก หนา 10 μm เมื่อมีปริมาณ CaCO_3 (ก) 0% (ข) 10% (ค) 15% (ง) 20% (จ) 25% และ (ฉ) 30%



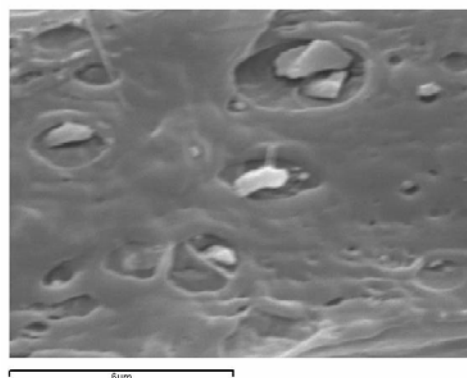
(ก)



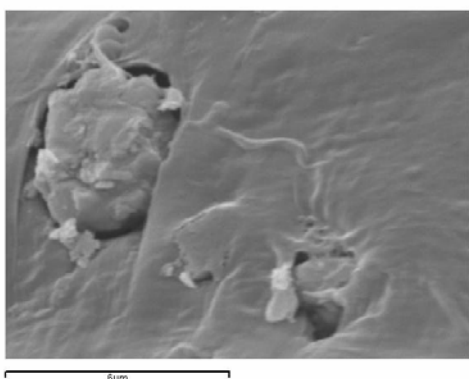
(ข)



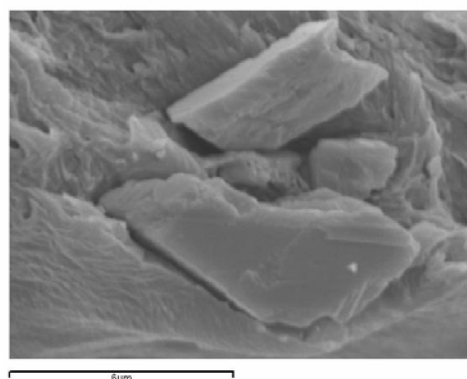
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 33 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นฟิล์มพลาสติกหนา 15 μm เมื่อมีปริมาณ CaCO_3 (ก) 0% (ข) 10% (ค) 15% (ง) 20% (จ) 25% และ (ฉ) 30%

ตารางที่ 9 ลักษณะและขนาดโดยประมาณของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตในแผ่นฟิล์มพลาสติก HDPE ที่ได้จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

แผ่นฟิล์มที่	สัญลักษณ์	ลักษณะและขนาดของอนุภาค
1	8C0	ไม่มีอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต
2	8C10	แคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะเป็นก้อนเกือบกลมเล็ก ๆ ขนาดประมาณ $0.70 \times 0.80 \mu m$ ปนอยู่จำนวนเล็กน้อย
3	8C15	แคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะเป็นก้อนกลมเล็ก ๆ ขนาดประมาณ $1.42 \times 1.50 \mu m$ ปนอยู่จำนวนมากขึ้น
4	8C20	แคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะจับตัวเป็นก้อนใหญ่ ขนาดประมาณ $2.60 \times 2.20 \mu m$
5	8C25	แคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้น มีขนาดประมาณ $1.80 \times 3.6 \mu m$ และแผ่นฟิล์มพลาสติกมีช่องว่างเป็นหลุมซึ่งเกิดจากอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่หลุดออกไป
6	8C30	แคลเซียมคาร์บอเนตจับตัวเป็นแผ่นใหญ่ขึ้น มีขนาดประมาณ $3.42 \times 7.00 \mu m$
7	10C0	ไม่มีอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต
8	10C10	แคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะเป็นก้อนกลมเล็ก ๆ ขนาดประมาณ $0.60 \times 0.70 \mu m$ ปนอยู่จำนวนเล็กน้อย
9	10C15	แคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะจับตัวเป็นก้อนเล็ก ๆ ขนาดประมาณ $1.18 \times 0.88 \mu m$
10	10C20	แคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้นขนาดประมาณ $2.30 \times 2.20 \mu m$ และมีจำนวนมากขึ้น
11	10C25	แคลเซียมคาร์บอเนตจับตัวเป็นแผ่นใหญ่มีขนาดประมาณ $3.30 \times 4.90 \mu m$ และมีแคลเซียมคาร์บอเนตก้อนเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไปซึ่งมีขนาด $0.42 \times 0.70 \mu m$
12	10C30	แคลเซียมคาร์บอเนตจับตัวเป็นก้อนใหญ่มีขนาดประมาณ $2.30 \times 2.78 \mu m$ และมีก้อนขนาดกลางประมาณ $0.40 \times 0.80 \mu m$ ปนอยู่เล็กน้อย

ตารางที่ 9 (ต่อ)

แผ่นฟิล์มที่	สัญลักษณ์	ลักษณะและขนาดของอนุภาค
13	15C0	ไม่มีอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต
14	15C10	แคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะเป็นก้อนขนาดเล็กประมาณ $1.20 \times 1.60 \mu m$ ปนอยู่จำนวนเล็กน้อย
15	15C15	แคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะเป็นก้อนขนาดเล็กประมาณ $0.60 \times 2.00 \mu m$ กระจายอยู่บนผิวของแผ่นฟิล์มพลาสติก
16	15C20	แคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้นมีขนาดประมาณ $1.00 \times 2.10 \mu m$ กระจายอยู่บนผิวของแผ่นฟิล์มพลาสติก
17	15C25	แคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะจับตัวเป็นก้อนใหญ่มีขนาดประมาณ $4.38 \times 3.50 \mu m$
18	15C30	แคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะจับตัวเป็นแผ่นใหญ่ 2 แผ่น มีขนาดประมาณ $3.50 \times 8.40 \mu m$ และมีก้อนขนาดกลางอยู่ระหว่างแผ่นใหญ่ทั้ง 2 แผ่นมีขนาดประมาณ $1.46 \times 2.30 \mu m$