

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการดำเนินงาน

1. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) เกรด El-Pro[®] P400S สำหรับผลิตเส้นใยหรือฟิล์มแผ่นบาง จากบริษัท SCG Chemicals จำกัด สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีน เกรด El-Pro P400S แสดงดังตารางที่ 3.1
2. พอลิพรอพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polypropylene grafted Maleic Anhydride : PP-g-MA) เกรด Priex[®] 20093 และ Priex[®] 20095 จากบริษัท Solvay Chemical จำกัด สมบัติบางประการของ Priex[®] 20093 และ Priex[®] 20095 แสดงดังตารางที่ 3.2
3. พอลิพรอพิลีนกราฟต์อะคริลิกแอซิก (Polypropylene grafted Acrylic Acid : PP-g-AA) เกรด Polybond[®] 1001 และ Polybond[®] 1002 จากบริษัท Crompton จำกัด สมบัติบางประการของ Polybond[®] 1001 และ Polybond[®] 1002 แสดงดังตารางที่ 3.3
4. ออร์กาโนเคลย์ (Organoclay) เกรด Cloisite[®] 20A และ Claytone[®] HY จากบริษัท Southern Clay Products จำกัด สมบัติบางประการของ Cloisite[®] 20A และ Claytone[®] HY แสดงดังตารางที่ 3.4
5. สารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizer) เกรด Polyad Preblend[®] TPE 01G จากบริษัท SCG Chemicals จำกัด
6. พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester resin)
7. โคบอลต์แนฟทีเนต (Cobalt naphthenate) เป็นสารกระตุ้นตัวเร่ง (Accelerator)
8. เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ (Methyl ethyl ketone peroxide) เป็นสารทำให้แข็งตัว (Hardener)

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีนเกรด El-Pro[®] P400S¹

สมบัติ	หน่วย	มาตรฐานทดสอบ	El-Pro P400S
ดรรชนีการไหล	g/10 min	ASTM D 1238	3.5
ความหนาแน่น	g/cm ³	ASTM D 1505	0.91
ความแข็งแรงดึง	kg/cm ²	ASTM D 638	350
เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	%	ASTM D 638	500
ความแข็งกด, Shore D	-	ASTM D 785	100
ความแข็งแรงกระแทก	kg-cm/cm	ASTM D 256	4
มอดุลัสการโค้งงอ	kg/cm ²	ASTM D 790	16,000
อุณหภูมิการอ่อนตัวภายใต้น้ำหนัก	°C	ASTM D 648	110

หมายเหตุ ¹ คือ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 3.2 สมบัติของสารช่วยผสมชนิดพอลิพรอพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เกรด

Priex[®] 20093 และ Priex[®] 20095¹

สมบัติ	หน่วย	มาตรฐานทดสอบ	Priex [®] 20093	Priex [®] 20095
ปริมาณกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์	% โดยน้ำหนัก	-	0.26	0.45-0.50
น้ำหนักโมเลกุล	g/mol	-	70,000	n/a
Intrinsic viscosity	l/g	MAPCH-02041-ISO1828	0.07-0.08	0.065-0.070
อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก	°C	ISO 11357	160-165	158-165
อุณหภูมิเริ่มตกผลึก	°C	ISO 11357	112	114

หมายเหตุ ¹ คือ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 3.3 สมบัติของสารช่วยผสมชนิดพอลิพรอฟิลีนกราฟต์อะคริลิกแอซิกเกรด

Polybond[®] 1001 และ Polybond[®] 1002¹

สมบัติ	หน่วย	มาตรฐานทดสอบ	Polybond [®] 1001	Polybond [®] 1002
ปริมาณกราฟต์อะคริลิกแอซิก	% โดยน้ำหนัก	-	6	6
ครรชนีการไหล (230°C /2.16 kg)	g/10 min	ASTM D 1238	40	20
ความหนาแน่น	g/cc	ASTM D 792	0.91	0.91
อุณหภูมิหลอมเหลว พลิก (DSC)	°C	-	160-170	160-170

หมายเหตุ ¹ คือ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 3.4 สมบัติของออร์กาโนเคลย์เกรด Cloisite[®] 20A และ Claytone[®] HY¹

สมบัติ	หน่วย	Claytone [®] HY	Cloisite [®] 20A
สารอินทรีย์ที่ใช้ดัดแปร	-	n/a	2M2HT ²
ความเข้มข้นของสารดัดแปร	Meq/100g clay	n/a	95
ความชื้น	%	2	< 2
สี	-	ครีม	ขาว
ความหนาแน่น	g /cc	1.6	1.77
Dry sieve size	%-450 M	98	n/a
Weight loss on ignition	%	43	38
Loose bulk density	lbs/ft ³	18	7.35
ระยะห่างระหว่างชั้น	Å	70 , 35 ³	24.2

หมายเหตุ ¹ คือ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

² คือ 2M2HT : Dimethyl, dehydrogenated tallow, quaternary ammonium

³ คือ ผลจากการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน

1. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) : Brabender รุ่น PL2000
2. เครื่องบดพลาสติก (Plastic grinder) : Bosco Engineering รุ่น Bosco A600
3. เครื่องอัดรีดสำหรับกระบวนการผลิตฟิล์มแบบแผ่น (Flat film) : Randcastle รุ่น RC 0625
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) : JEOL Co. Ltd. รุ่น JSM-5410
5. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal testing machine) : LLOYD Instrument Co. Ltd. รุ่น LLOYD LR 5K
6. เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer) : Bruker AG รุ่น D 8 Advance
7. เครื่องทดสอบสมบัติการต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen permeability analyzer) : Illinois Instrument รุ่น 8500
8. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter, DSC) : Mettler-Toledo รุ่น DSC 822° และ (Thermogravimetric Analyzer, TGA) : Perkin Elmer รุ่น Pyris 1
9. เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) : Brabender รุ่น PL2000
10. เครื่องวัดความหนาของฟิล์ม (Digimatic micrometer) : Mitutoyo รุ่น MDC-25PJ
11. เครื่องทดสอบการไหล (Melt Flow Rate Tester) : Ceast รุ่น 6841

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารช่วยผสมและออร์กาโนเคลย์ในฟิล์มพอลิพรอพิลีนนาโนคอมโพสิต (PP/m-MMT)

เตรียม PP/m-MMT ที่อัตราส่วนระหว่างสารช่วยผสมต่อออร์กาโนเคลย์ 1:1, 1.5:1, 2:1, 2.5:1 และ 3:1 โดยเติมสารช่วยผสมเกรด Priex[®] 20093, Priex[®] 20095, Polybond[®] 1001 หรือ Polybond[®] 1002 เติมออร์กาโนเคลย์เกรด Cloisite[®] 20A ปริมาณ 6 % โดยน้ำหนัก และเติมสารเพิ่มเสถียรภาพ 0.25 % โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ทำการผสม PP/m-MMT ด้วยเครื่องผสมระบบปิดที่ความเร็วรอบ (Rotational speed) 120 rpm อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปบดเป็นเม็ดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก

ตารางที่ 3.5 สูตรผสม PP/m-MMT ที่ใช้ในงานวิจัย

สูตร	PP (% โดยน้ำหนัก)	สารช่วยผสม (% โดยน้ำหนัก)				ออร์กาโนเคลย์ (% โดยน้ำหนัก)	
		Priex [®] 20093	Priex [®] 20095	Polybond [®] 1001	Polybond [®] 1002	Cloisite [®] 20A	Claytone [®] HY
P95-HY6	82		12				6
P93-20A6	82	12				6	
P95-20A6	82		12			6	
P01-20A6	82			12		6	
P02-20A6	82				12	6	
P95-20A3	91		6			3	
P95-20A9	73		18			9	

3.3.2 การศึกษาชนิดของออร์กาโนเคลย์ที่มีต่อสมบัติของฟิล์ม PP/m-MMT

เตรียม PP/m-MMT สูตร P95-HY6 และ P95-20A6 ตามตารางที่ 3.5 โดยเติมสารเพิ่มเสถียรภาพ 0.25 % โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน และเลือกใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารช่วยผสมและออร์กาโนเคลย์ตามข้อ 3.3.1 ทำการผสม PP/m-MMT ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ตามสถานะแสดงดังตารางที่ 3.6 โดยนำ PP/m-MMT ที่เตรียมได้ผ่านเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ 2 รอบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผสม เนื่องจากสกรูของเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีสัดส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D ratio) บริเวณ Drive end เท่ากับ 10.61 และบริเวณ Output end เท่ากับ 16.75 นำไปบดเป็นเม็ดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก จากนั้นนำไปขึ้นรูปฟิล์มด้วยเครื่องอัดรีดสำหรับกระบวนการผลิตฟิล์มแบบแผ่น (Flat film) โดยใช้หัวดายแบบแผ่น (Slit die) กว้าง 15.5 cm หนา 10 μm ตามสถานะแสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.6 สถานะที่ใช้ในการผสม PP/m-MMT ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่

สถานะ	ค่า
อัตราเร็วสกรู	120 rpm
อัตราการป้อน (Feed rate)	1 kg/hr
อุณหภูมิบริเวณ 1 (Feed zone)	160°C
อุณหภูมิบริเวณ 2	170°C
อุณหภูมิบริเวณ 3	180°C
อุณหภูมิบริเวณ 4 (Die zone)	180°C

ตารางที่ 3.7 สถานะที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม PP/m-MMT ด้วยเครื่องอัดรีดสำหรับกระบวนการผลิตฟิล์มแบบแผ่น

สถานะ	ค่า
อัตราเร็วสกรู	7 rpm
ความเร็วลูกกลิ้งหล่อเย็น (Puller speed)	4 rpm
อุณหภูมิบริเวณ 1 (Feed zone)	145°C
อุณหภูมิบริเวณ 2	165°C
อุณหภูมิบริเวณ 3	185°C
อุณหภูมิบริเวณ 4 (Die zone)	185°C

3.3.3 การศึกษาชนิดของสารช่วยผสมที่มีต่อสมบัติของฟิล์ม PP/m-MMT

เตรียม PP/m-MMT สูตร P93-20A6, P95-20A6, P01-20A6 และ P02-20A6 ตามตารางที่ 3.5 โดยเติมสารเพิ่มเสถียรภาพ 0.25 % โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน เลือกใช้อัตราส่วนระหว่างสารช่วยผสมและออร์กาโนเคลย์ และชนิดออร์กาโนเคลย์ที่เหมาะสมตามข้อ 3.3.1 และ 3.3.2 ทำการผสม PP/m-MMT ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ตามสภาวะแสดงดังตารางที่ 3.6 นำไปบดเป็นเม็ดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก จากนั้นนำไปขึ้นรูปฟิล์มด้วยเครื่องอัดรีดสำหรับกระบวนการผลิตฟิล์มแบบแผ่นตามสภาวะแสดงดังตารางที่ 3.7

3.3.4 การศึกษาปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่มีต่อสมบัติของฟิล์ม PP/m-MMT

เตรียม PP/m-MMT ตามตารางที่ 3.5 สูตร P95-20A3, P95-20A6 และ P95-20A9 ที่มีปริมาณออร์กาโนเคลย์เท่ากับ 3, 6 และ 9 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเติมสารเพิ่มเสถียรภาพ 0.25 % โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน เลือกใช้อัตราส่วนระหว่างสารช่วยผสมและออร์กาโนเคลย์ชนิดออร์กาโนเคลย์และชนิดสารช่วยผสมที่เหมาะสมตามข้อ 3.3.1-3.3.3 ทำการผสม PP/m-MMT ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ตามสภาวะแสดงดังตารางที่ 3.6 นำไปบดเป็นเม็ดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก จากนั้นนำไปขึ้นรูปฟิล์มด้วยเครื่องอัดรีดสำหรับกระบวนการผลิตฟิล์มแบบแผ่นตามสภาวะแสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 สภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม PP/m-MMT ด้วยเครื่องอัดรีดสำหรับกระบวนการผลิตฟิล์มแบบแผ่นกรณีศึกษาปริมาณออร์กาโนเคลย์

สภาวะ	ออร์กาโนเคลย์ 3 % โดยน้ำหนัก	ออร์กาโนเคลย์ 6 % โดยน้ำหนัก	ออร์กาโนเคลย์ 9 % โดยน้ำหนัก
อัตราเร็วสกรู	7 rpm	7 rpm	7 rpm
ความเร็วลูกกลิ้งหล่อเย็น	4 rpm	4 rpm	4 rpm
อุณหภูมิบริเวณ 1 (Feed zone)	145°C	145°C	145°C
อุณหภูมิบริเวณ 2	165°C	165°C	165°C
อุณหภูมิบริเวณ 3	185°C	185°C	185°C
อุณหภูมิบริเวณ 4 (Die zone)	185°C	185°C	165°C

3.3.5 การศึกษาอัตราส่วนการดึง (Draw ratio) ที่มีต่อสมบัติของฟิล์ม PP/m-MMT

เตรียม PP/m-MMT โดยเลือกใช้อัตราส่วนระหว่างสารช่วยผสมและออร์กาโนเคลย์ ชนิดออร์กาโนเคลย์ ชนิดสารช่วยผสมและปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่เหมาะสมตามข้อ 3.3.1-3.3.4 ทำการผสม PP/m-MMT ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ตามสถานะแสดงดังตารางที่ 3.6 นำไปบดเป็นเม็ดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก จากนั้นนำไปขึ้นรูปฟิล์มด้วยเครื่องอัดรีดสำหรับกระบวนการผลิตฟิล์มแบบแผ่นตามสถานะแสดงดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 สถานะที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม PP/m-MMT ด้วยเครื่องอัดรีดสำหรับกระบวนการผลิตฟิล์มแบบแผ่นกรณีศึกษาอัตราส่วนการดึง

สถานะ	อัตราส่วนการดึง 42	อัตราส่วนการดึง 25	อัตราส่วนการดึง 19
อัตราเร็วสกรู	7 rpm	11 rpm	15 rpm
ความเร็วลูกกลิ้งหล่อเย็น	4 rpm	4 rpm	4 rpm
อุณหภูมิบริเวณ 1 (Feed zone)	145°C	145°C	145°C
อุณหภูมิบริเวณ 2	165°C	165°C	165°C
อุณหภูมิบริเวณ 3	185°C	185°C	185°C
อุณหภูมิบริเวณ 4 (Die zone)	185°C	185°C	185°C

3.3.6 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์ม PP/m-MMT

3.3.6.1 การตรวจสอบลักษณะของแผ่นฟิล์ม

ตรวจสอบลักษณะของแผ่นฟิล์มโดยสังเกตสี ความขุ่นและวัดความหนาของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องมือไมโครมิเตอร์

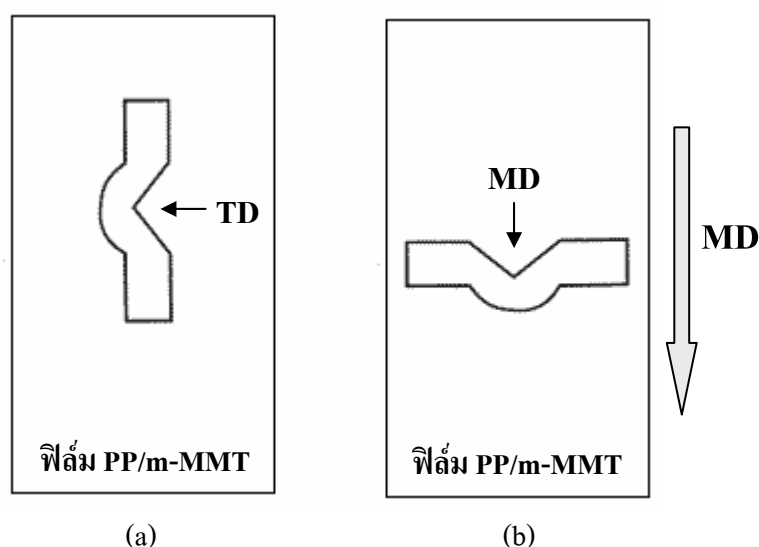
3.3.6.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

1. สมบัติความแข็งแรงดึง

โดยตัดฟิล์มตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยกำหนดให้ชิ้นงานมีความยาว 100 mm กว้าง 10 mm ตามมาตรฐาน ASTM D 882 [32] ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ใช้ Load cell 100 N ความเร็วในการดึง (Cross head speed) 500 mm/min ระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge length) 50 mm ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield) ของชิ้นงานตามแนวเครื่องจักร (Machine Direction : MD) และตามขวางเครื่องจักร (Transverse Direction : TD)

2. สมบัติความแข็งแรงเชิงกล

นำฟิล์มตัวอย่างมาตัดชิ้นงานเป็นรูปปีกนกแบบ Die C ตามมาตรฐาน ASTM D 624 [33] ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ใช้ Load cell 100 N ความเร็วในการดึง 50 mm/min ทดสอบตามแนว MD และแนว TD โดยพิจารณาทิศทางของชิ้นงานตามการฉีกขาดตรงบริเวณมุมรอยเว้าของชิ้นงาน กล่าวคือฟิล์มที่ตัดชิ้นงานเป็นรูปปีกนกตามแนว MD เมื่อให้แรงดึงแก่ชิ้นงานเป็นแนวเส้นตรงในทิศทาง MD ฟิล์มจะเกิดการฉีกขาดตรงบริเวณมุมรอยเว้าของชิ้นงานตามทิศทาง TD จะพิจารณาเป็นค่าความแข็งแรงเชิงกลในทิศทาง TD ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการเตรียมชิ้นงานทดสอบค่าความแข็งแรงเชิงกล (a) ทิศทาง TD และ (b) ทิศทาง MD

3.3.6.3 การศึกษาระยะห่างระหว่างชั้น (D-spacing) ของออร์กาโนเคลย์

นำฟิล์มตัวอย่างขนาด 30 mm x 30 mm มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD เพื่อศึกษาระยะห่างระหว่างชั้นออร์กาโนเคลย์จากการคำนวณตามสมการ Bragg's Law โดยใช้ Step size 0.02° Step time 8 s Slit แบบ V_3 และเริ่มที่ 20 เท่ากับ 1-10 องศา

3.3.6.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

1. เทคนิค Differential Scanning Calorimetry, DSC

นำฟิล์มตัวอย่างมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเป็นผลึก (% Crystallinity) อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิเริ่มตกผลึก ($T_{c \text{ onset}}$) ด้วยเครื่อง DSC โดยชั่งน้ำหนักสาร

ประมาณ 5-10 mg นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 40°C ด้วยอัตราการให้ความร้อน (Heating rate) เท่ากับ $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ จนถึงอุณหภูมิสูงสุดคือ 200°C ตามมาตรฐาน ASTM E 794 [35]

2. เทคนิค Thermogravimetric Analysis, TGA

นำฟิล์มตัวอย่างมาศึกษาอุณหภูมิเริ่มสลายตัว ($T_{d\text{ onset}}$) ด้วยเครื่อง TGA โดยชั่งน้ำหนักสารประมาณ 5-10 mg นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 50°C ด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ จนถึงอุณหภูมิสูงสุดคือ 500°C ภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน และทำการศึกษาปริมาณออร์กาโนเคลย์โดยชั่งน้ำหนักสารประมาณ 5-10 mg นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 50°C ด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ จนถึงอุณหภูมิสูงสุดคือ 800°C ภายใต้สภาวะบรรยากาศของออกซิเจนตามมาตรฐาน ASTM E 1131 [36]

3.3.6.5 การศึกษาสมบัติการด้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน

ศึกษาสมบัติการด้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนด้วยเครื่อง Oxygen permeability analyzer โดยวางฟิล์มรูปแปดเหลี่ยมด้านเท่าที่มีความยาวด้านละ 50 mm ซึ่งตัดด้วย Cutting template ตรงกลางระหว่างเซลล์ ปลอ่ยก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจน โดยก๊าซไนโตรเจนจะเป็นตัวนำก๊าซออกซิเจนที่สามารถผ่านแผ่นฟิล์มไปยังด้านที่มีออกซิเจนต่ำกว่า เครื่องจะทำการบันทึกและอ่านค่าปริมาตรก๊าซออกซิเจนที่ผ่านออกจากผิวฟิล์มด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งต่อหน่วยพื้นที่ของฟิล์มภายใต้สภาวะคงที่ รายงานผลเป็นอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen Gas Transmission Rate : OTR) มีหน่วยเป็น $\text{cc}/\text{m}^2.\text{day}$ และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen Permeability Coefficient : OP) มีหน่วยเป็น $\text{mm}.\text{cc}/\text{m}^2.\text{day}$ ตามมาตรฐาน ASTM D 3985 [37]

3.3.6.6 การศึกษาสัณฐานวิทยา

เตรียมตัวอย่างโดยผสมพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester resin) และโคบอลต์แนฟทีเนต 0.2 % โดยน้ำหนัก ลงในบีกเกอร์แล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นเติมเมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ 1 % โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากัน เทเรซินที่ผสมแล้วลงบนแผ่นใส วางฟิล์มลงบนบริเวณที่เทเรซินลงไป จากนั้นเทเรซินทับลงบนแผ่นฟิล์มอีกครั้ง ทิ้งไว้ให้แห้ง ลอกชิ้นงานออกจากแผ่นใส นำไปแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) เป็นเวลา 30 นาที แล้วหักชิ้นงานที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) ลอกแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ติดกับเรซินออก จากนั้นนำพื้นผิวบริเวณรอยแยกของแผ่นฟิล์มมาเคลือบทอง เพื่อศึกษาลักษณะการจัดเรียงตัวและประสิทธิภาพการกระจายตัวของออร์กาโนเคลย์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.3.6.7 การทดสอบค่าดัชนีการไหล

ดัชนีการไหล (Melt Flow Index : MFI หรือ Melt Flow Rate : MFR) เป็นค่าที่สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมการไหล โดยกดพลาสติกหลอมเหลวให้ไหลผ่านหัวดายที่อุณหภูมิ 230°C น้ำหนักกด 2.16 kg รายงานผลเป็นน้ำหนักต่อหน่วยเวลาคือ g/10 min ตามมาตรฐาน ASTM D 1238 [38]