สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินการทดลอง

3.1.1 สืบค้นข้อมูลทางวิชาการและทบทวนวรรณกรรม

3.1.1.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและสืบค้นรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1.2 วางแผนงานของการวิจัย กำหนดขั้นตอน และวิธีการทดลอง

3.1.2 จัดหาวัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์การทดลอง

3.1.2.1 เตรียมวัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์การทดลอง

3.1.2.2 ศึกษาการใช้เครื่องมือขึ้นรูปและเครื่องมือทดสอบ

3.2 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 พอลิแล็กทิกแอซิด (poly(lactic acid), PLA)) เกรด PLA Polymer 4043D จากบริษัท Natureworks®

3.2.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (linear low density polyethylene, LLDPE) เกรด EL-Lene™L2009F จากบริษัท เอส ซี จี พลาสติกส์ (ประเทศไทย)

3.2.3 พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ (polyethylene octane copolymer, POE) เกรด 8200 จากบริษัท Dow Chemical (ประเทศไทย)

3.2.4 ไกลซิดิลเมทาคริเลต (glycidyl methacrylate, GMA) จากบริษัท Sigma-Aldrich (USA)

3.2.5 ไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ (dicumyl peroxide, DCP) เกรด 98% จากบริษัท เอส.เอ็ม.เคมีคอล ซัพพลาย จำกัด (ประเทศไทย)

3.2.6 เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) Labscan เกรด AR จาก บริษัท ทีทีเค ซายแอนซ์ จำกัด (ประเทศไทย)

3.2.7 มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร (modified montmorillonite, cloisite 30B, MLS) บริษัท Southern Clay Products (USA)

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ตู้อบ (Hopper dryers) ของ SHINI® plastics technologies รุ่น SHD-100T

3.3.2 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (twin screw extruder) ของ Lab tech engineering company รุ่น LTE-26-44

3.3.3 เครื่องตัดเม็ดพลาสติก (pelletizer cutting machine) ของ Lab tech engineering company รุ่น LZ-120/vs

3.3.4 เครื่องอัดรีดร่วม (co-extruder) ของ Lab tech engineering company

3.3.5 เครื่องเป่าฟิล์ม (blown film extruder) ของ Lab tech engineering company รุ่น LF-400-COEX

3.3.6 เครื่องฟูเรียทรานซ์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) ของบริษัทเทอร์โม ไซแอนทิฟิค จำกัด รุ่น Nicolet 6700

3.3.7 เครื่องเทอร์โมกราวิเมทริก (thermogravimetric analyzer, TGA) ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851^e

3.3.8 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริเมทรี (differential scanning calorimeter, DSC) ของ Netzsch-Gerätebau GmbH รุ่น DSC 204 F1

3.3.9 เครื่องทดสอบดัชนีการหลอมไหล (melt flow indexer) ของ A dynisco company รุ่น 7053

3.3.10 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ของ LLOYD รุ่น LR100K

3.3.11 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ของ LLOYD รุ่น LF Plus

3.3.12 เครื่องทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeation tester, WVPT) ยี่ห้อ MOCON รุ่น PERMATRAN-W ® 3/33

3.3.13 เครื่องทดสอบการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (oxygen permeation tester, OPT) ยี่ห้อ Illinois รุ่น 8000

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 เตรียมไกลซิดิลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ (GMA-*g*-POE) [25]

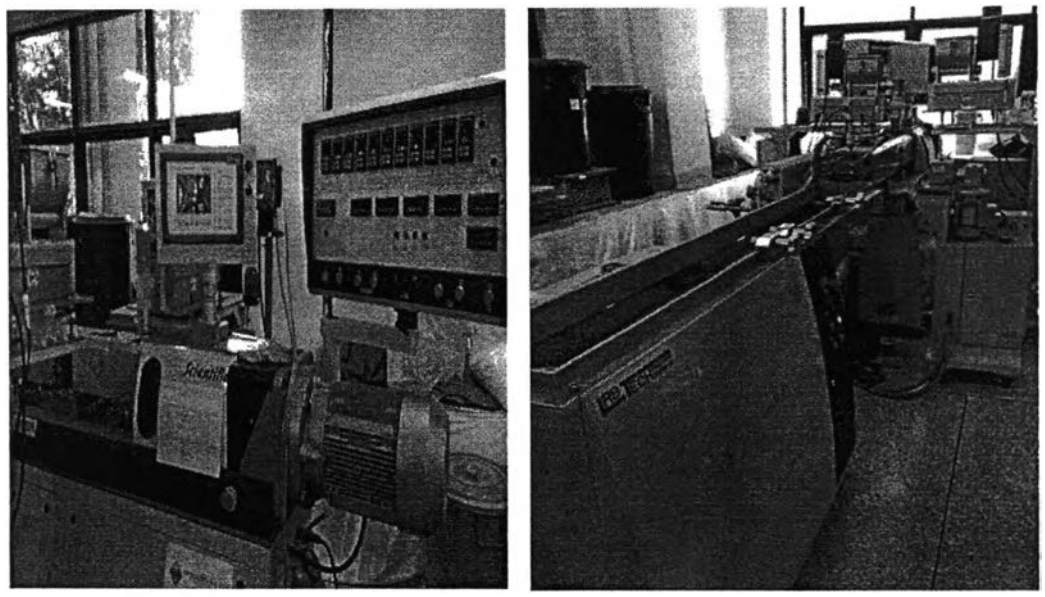
3.4.1.1 นำพอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์มาแช่ในสารละลายไกลซิดิลเมทาคริเลตในเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มเข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก โดยมีเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก คนให้ทั่วและทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นระเหยเอทิลแอลกอฮอล์ออก โดยการอบในตู้อบ (Hopper dryers) ของ SHINI® plastics technologies รุ่น SHD-100T ที่อุณหภูมิ 80°C ดังแสดงในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ตู้อบ (Hopper dryers) ของ SHINI® plastics technologies รุ่น SHD-100T

3.4.1.2 หลังจากทำการระเหยเอทิลแอลกอฮอล์ออกจากพอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์จนหมดแล้ว นำมาทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างพอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์กับไกลซิดิลเมทาคริเลตโดยนำมาผ่านความร้อนด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (twin screw extruder) ของ Lab tech engineering company รุ่น LTE-26-44 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งทำภายใต้ภาวะอุณหภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ภาวะอุณหภูมิในการขึ้นรูปไกลซิดิลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์

โซน (Zone)	อุณหภูมิ (temperature°C)
1	170
2	175
3	180
4	180
5	180
6	185
7	185
8	185
9	185
10	185
Die	190
ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที)	60



รูปที่ 3.2 เครื่องอีดรีดแบบสกรูคู่ (twin screw extruder) **ของ** Lab tech engineering company **รุ่น** LTE-26-44

3.4.1.3 **นำไกลซิดิลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ที่ได้มาตัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องตัดเม็ดพลาสติก** (pelletizer cutting machine) **ของ** Lab tech engineering company **รุ่น** LZ-120/vs **ดังแสดงในรูปที่** 3.3

รูปที่ 3.3 **เครื่องตัดเม็ดพลาสติก** (pelletizer cutting machine) **ของ** Lab tech engineering company **รุ่น** LZ-120/vs

3.4.2 เตรียมคอมพาวนด์ของพอลิเมอร์ผสมเพื่อเป่าเป็นฟิล์มชั้นเดียว

เตรียมคอมพาวนด์ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กทิกแอซิด (PLA) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) โดยมีการเติมไกลซิดิลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ (GMA-*g*-POE, mPOE) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร (MLS) ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (twin screw extruder) ของ Lab tech engineering company รุ่น LTE-26-44 ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.2 และทำการคอมพาวด์ภายใต้ภาวะอุณหภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้มาตัดโดยการใช้เครื่องตัดเม็ดพลาสติก (pelletizer cutting machine) ของ Lab tech engineering company รุ่น LZ-120/vs

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนการคอมพาวด์ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กทิกแอซิดและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่ใช้ไกลซิดิลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

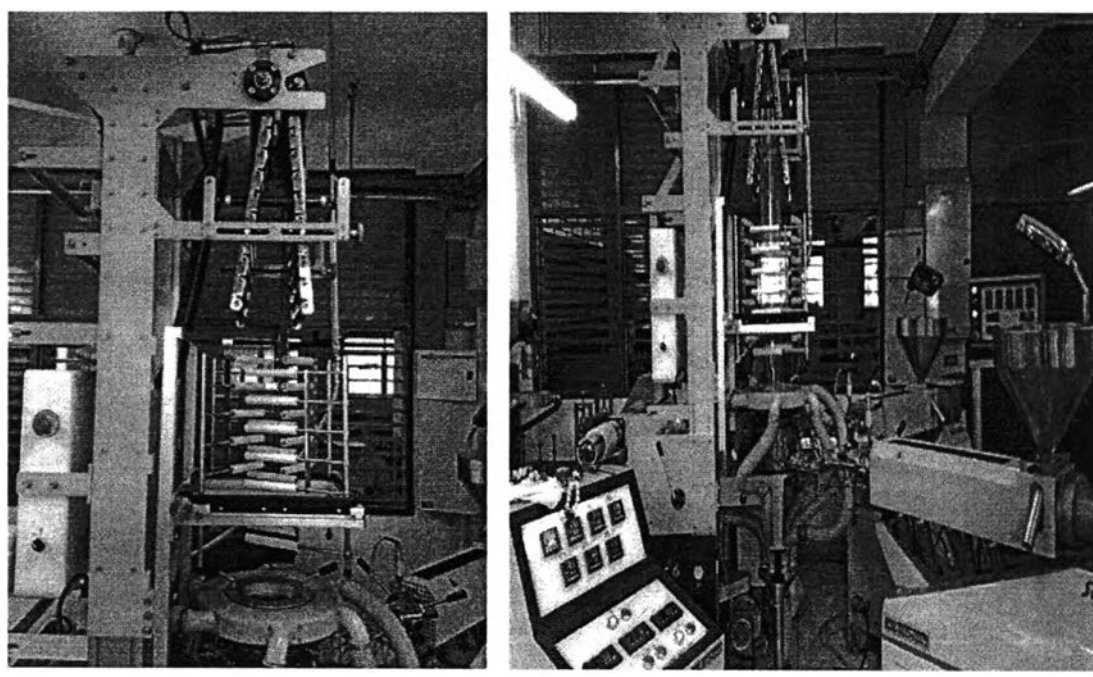
รหัส	PLA (wt%)	LLDPE (wt%)	GMA-*g*-POE (phr)	MLS (phr)
PLA	100	0	0	0
PLA/LL/mPOE	90	10	10	0
PLA/LL/mPOE/MLS 0.5	90	10	10	0.5
PLA/LL/mPOE/MLS 1	90	10	10	1
PLA/LL/mPOE/MLS 3	90	10	10	3

ตารางที่ 3.3 ภาวะอุณหภูมิในการคอมพาวด์ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กทิกแอซิดและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ไกลซิดิลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิ และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

โซน (Zone)	อุณหภูมิ (temperature°C)
1	175
2	175
3	180
4	180
5	180
6	185
7	185
8	185
9	195
10	190
Die	190
ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที)	40

3.4.3 การขึ้นรูปเป็นฟิล์มชั้นเดียว

นำคอมพาวด์ที่เตรียมได้ (ในข้อ 3.4.2) มาทำการขึ้นรูปฟิล์มชั้นเดียวโดยกระบวนการเป่าอัดรีด (blown film extrusion) ด้วยเครื่องเป่าฟิล์ม (blown film extruder) ของ Lab tech engineering company รุ่น LF-400-COEX ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และทำการขึ้นรูปฟิล์มชั้นเดียวภายใต้ภาวะ ดังแสดงในตารางที่ 3.4 ซึ่งมีการควบคุมความหนาของฟิล์มต่างๆ อยู่ในช่วงความหนาประมาณ 0.07-0.15 มิลลิเมตร และอัตราการพองของลูกโป่ง (blow-up ratio) หรืออัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่งกับเส้นผ่านศูนย์กลางของดาย มีค่าประมาณ 4:1



รูปที่ 3.4 เครื่องเป่าฟิล์ม (blown film extruder) ของ Lab tech engineering company รุ่น LF-400-COEX

ตารางที่ 3.4 ภาวะอุณหภูมิในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มชั้นเดียวด้วยเครื่องเป่าฟิล์ม

โซน (zone)	อุณหภูมิ(temperature°C)				
	PLA	PLA/LL/mPOE	PLA/LL/mPOE/ MLS 0.5	PLA/LL/mPOE/ MLS 1	PLA/LL/mPOE/ MLS 3
1	165	160	160	160	160
2	170	165	165	165	165
3	175	170	170	170	170
4	180	175	175	175	175
adapter	180	175	175	175	175
die 1	185	180	180	180	175
die 2	185	180	180	180	180
die 3	185	185	185	185	183
ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที)	30	30	30	30	30
ความเร็วในการดึง(เมตรต่อนาที)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

3.4.4 การขึ้นรูปเป็นฟิล์มสองชั้น

นำคอมพาวด์ที่เตรียมได้ (ในข้อ 3.4.2) นำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มสองชั้น ผ่านเครื่องอัดรีดร่วม (co-extruder) โดยวิธีการใช้เครื่องเป่าฟิล์ม (blown film extruder) ของ Lab tech engineering company รุ่น LF-400-COEX โดยมีส่วนประกอบของฟิล์มสองชั้น ดังแสดงในตารางที่ 3.5 และใช้ภาวะอุณหภูมิในการขึ้นรูปฟิล์มสองชั้นที่ประกบด้วย PLA100 และ LLDPE ดังแสดงในตารางที่ 3.6 และ ตารางที่ 3.7 ตามลำดับ ซึ่งมีการควบคุมความหนาของฟิล์มต่างๆอยู่ในช่วงความหนาประมาณ 0.07-0.15 มิลลิเมตร และอัตราการพองของลูกโป่ง (blow-up ratio) หรืออัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่งกับเส้นผ่านศูนย์กลางของดาย มีค่าประมาณ 4:1

ตารางที่ 3.5 ส่วนประกอบต่างๆของฟิล์มสองชั้น

รหัส	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2
PLA-PLA/LL/mPOE	PLA	PLA/LL/mPOE
PLA-PLA/LL/mPOE/MLS 0.5	PLA	PLA/LL/mPOE/MLS 0.5
PLA-PLA/LL/mPOE/MLS 1	PLA	PLA/LL/mPOE/MLS 1
PLA-PLA/LL/mPOE/MLS 3	PLA	PLA/LL/mPOE/MLS 3
LL-PLA/LL/mPOE	LLDPE	PLA/LL/mPOE
LL-PLA/LL/mPOE/MLS 0.5	LLDPE	PLA/LL/mPOE/MLS 0.5
LL-PLA/LL/mPOE/MLS 1	LLDPE	PLA/LL/mPOE/MLS 1
LL-PLA/LL/mPOE/MLS 3	LLDPE	PLA/LL/mPOE/MLS 3

ตารางที่ 3.6 ภาวะอุณหภูมิในการขึ้นรูปของฟิล์มสองชั้นที่ประกบด้วย PLA ด้วยเครื่องเป่าฟิล์ม

โซน (zone)	อุณหภูมิ (Temperature°C)				
	Extruder A	Extruder B			
	PLA	PLA/LL/ mPOE	PLA/LL/mPOE/ MLS 0.5	PLA/LL/mPOE/ MLS 1	PLA/LL/mPOE/ MLS 3
1	160	165	165	165	165
2	160	170	170	170	170
3	165	175	175	175	175
4	165	175	175	175	175
adapter	168	175	175	175	175
die1	170	175	175	175	175
die2	170	175	175	175	175
die3	175	175	175	175	175
ความเร็วรอบ สกรู (รอบต่อนาที)	30	30	30	30	30
ความเร็วในการดึง (เมตรต่อนาที)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

ตารางที่ 3.7 ภาวะอุณหภูมิในการขึ้นรูปของฟิล์มสองชั้นที่ประกบด้วย LLDPE ด้วยเครื่องเป่าฟิล์ม

โซน (zone)	อุณหภูมิ (Temperature°C)				
	Extruder A	Extruder B			
	LLDPE	PLA/LL/ mPOE	PLA/LL/mPOE/ MLS 0.5	PLA/LL/mPOE/ MLS 1	PLA/LL/mPOE/ MLS 3
1	150	165	165	165	165
2	158	170	170	170	170
3	158	175	175	175	175
4	160	175	175	175	175
adapter	160	175	175	175	175
die1	165	175	175	175	175
die2	170	175	175	175	175
die3	175	175	175	175	175
ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที)	30	30	30	30	30
ความเร็วในการดึง (เมตรต่อนาที)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

3.4.4 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติ

3.4.4.1 ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของไกลซิดิลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์

ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของไกลซิดิลเมทาคริเลตกราฟต์พอลเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิคฟูเรียทรานซ์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) ด้วยเครื่อง fourier transform infrared spectrometer ของบริษัทเทอร์โม ไซแอนทิฟิค จำกัด รุ่น Nicolet 6700 ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยภาวะที่ใช้ในการทดสอบคือ โหมด ATR ความถี่ในช่วง 4000-400 cm^{-1} และค่าความสามารถในการแยกค่าความละเอียดของภาพ (resolution) เท่ากับ 4.0 cm^{-1}

รูปที่ 3.5 เครื่อง fourier transform infrared spectrometer ของบริษัทเทอร์โม ไซแอนทิฟิค จำกัด รุ่น Nicolet 6700

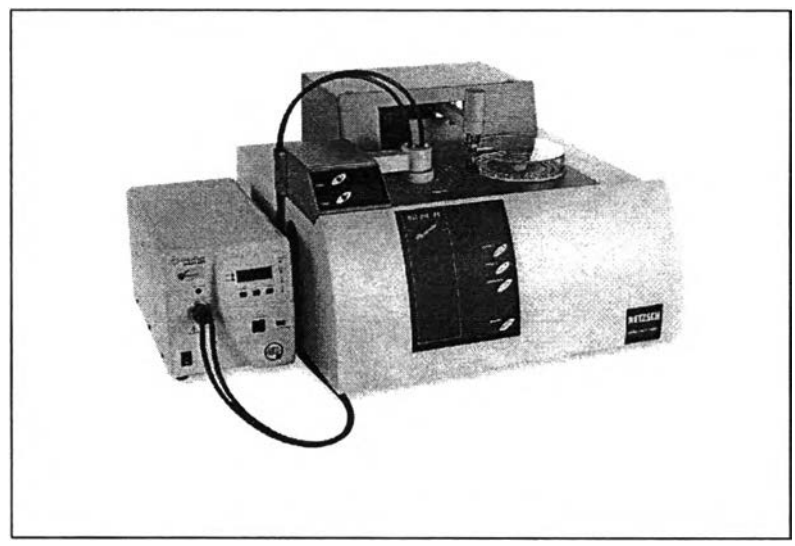
3.4.4.2 การวิเคราะห์คอมพาวด์ของพอลิเมอร์ผสม

3.4.4.2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

1) *วิเคราะห์อุณหภูมิการสลายตัว* (degradation temperature, T_d) ของพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิคการวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (thermogravimetric analysis, TGA) ตามมาตรฐาน ASTM E2550 ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมทริก (thermogravimetric analyzer) ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851^e ของภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ใช้ชิ้นตัวอย่างของพอลิเมอร์ผสมน้ำหนักประมาณ 8-10 มิลลิกรัม ทำการวิเคราะห์ที่ช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส และเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 1000 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนด้วยอัตราการไหล 20 มิลลิเมตรต่อนาที

รูปที่ 3.6 เครื่องเทอร์โมกราวิเมทริก (thermogravimetric analyzer) ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851^e

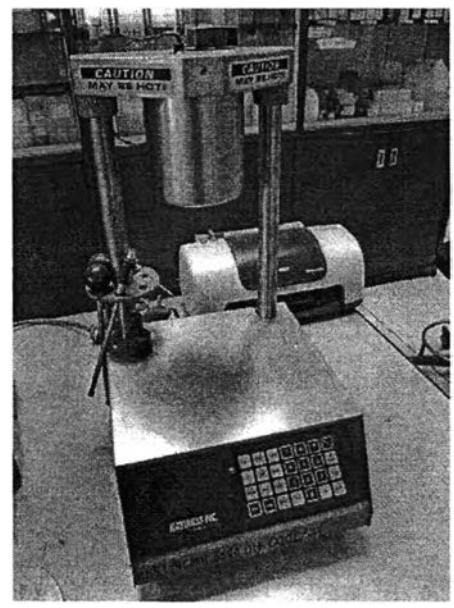
2) *วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน* (glass transition temperature, T_g) อุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature, T_m) และอุณหภูมิการเกิดผลึก (crystallization temperature, T_c) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริเมทรี (differential scanning calorimetry, DSC) ตามมาตรฐาน ASTM D7426 ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ (differential scanning calorimeter) ของ Netzsch-Gerätebau GmbH รุ่น DSC 204 F1 ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ใช้ชิ้นตัวอย่างของพอลิเมอร์ผสมน้ำหนักประมาณ 7-10 มิลลิกรัม ทำการวิเคราะห์ที่ช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นที่ -50 องศาเซลเซียส จนถึง 250 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 10 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 3.7 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ (differential scanning calorimeter) ของ Netzsch-Gerätebau GmbH รุ่น DSC 204 F1

3.4.4.2.2 การทดสอบหาดัชนีการหลอมไหล (melt flow index)

ทำการทดสอบหาค่าอัตราการหลอมไหล (melt flow rate, MFR) ด้วยเครื่องทดสอบดัชนีการหลอมไหล (melt flow indexer, MFI) ยี่ห้อ KAYENESS INC. ของ A dynisco company รุ่น 7053 ตามมาตรฐาน ASTM D1238 ของภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบดัชนีการหลอมไหล (melt flow indexer, MFI) ยี่ห้อ KAYENESS INC. ของ A dynisco company รุ่น 7053

3.4.4.3 วิเคราะห์และทดสอบสมบัติของฟิล์มชั้นเดียวและฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชัน

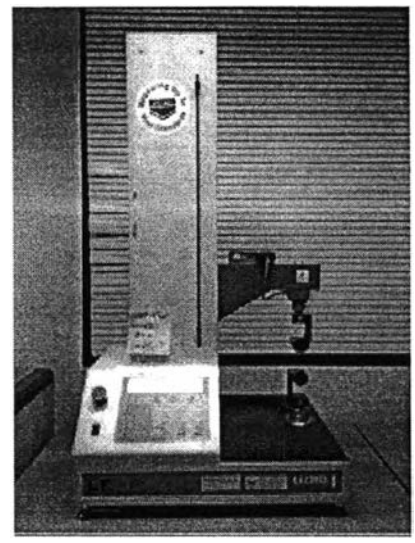
3.4.4.3.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล

1) *ทดสอบสมบัติด้านแรงดึง (tensile properties)* ของฟิล์มชั้นเดียวและฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชัน ได้แก่ ความต้านแรงดึง (tensile strength) มอดุลัสของยัง (Young's modulus) และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (elongation at break) ตามมาตรฐาน ASTM D882 ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ของ LLOYD รุ่น LR100K ของภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยทำการทดสอบโดยใช้ load cell ขนาด 1000 นิวตัน ด้วยอัตราเร็วในการดึงชิ้นงาน 50 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะห่างระหว่างตัวจับชิ้นงาน (gauge length) 100 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ของ LLOYD รุ่น LR100K

2) *ทดสอบความต้านแรงฉีกขาด (tear strength)* ของฟิล์มชั้นเดียวและฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1938 ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ของ LLOYD รุ่น LF Plus ของภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยทำการทดสอบโดยใช้ load cell ขนาด 50 นิวตัน ด้วยอัตราเร็วในการดึงชิ้นงาน 250 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะห่างระหว่างตัวจับชิ้นงาน (gauge length) 50 มิลลิเมตร

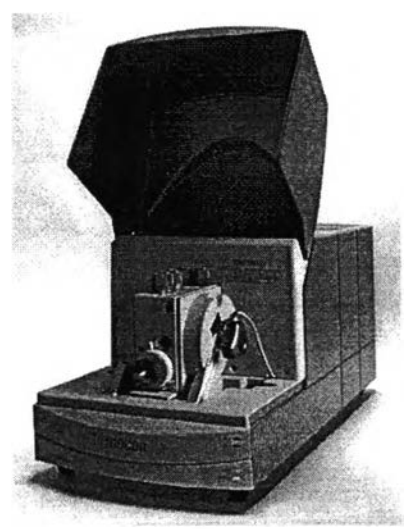


รูปที่ 3.10 **เครื่องทดสอบอเนกประสงค์** (universal testing machine) **ของ** LLOYD **รุ่น** LF Plus

3.4.4.3.3 วิเคราะห์สมบัติการสกัดกั้น

1) *ทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate: WVTR)*

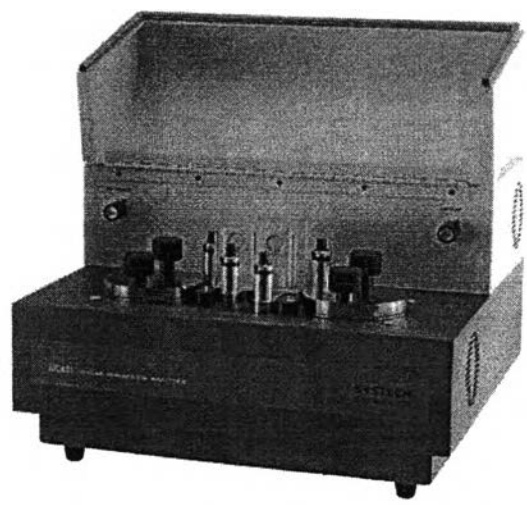
ทำการทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate: WVTR) **ของฟิล์มชั้นเดียวและฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชัน ตามมาตรฐาน** ASTM F1249-06 **ด้วยเครื่องทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ** (water vapor permeation tester, WVPT) **ยี่ห้อ** MOCON **รุ่น** PERMATRAN-W ® 3/33 **ดังแสดงในรูปที่** 3.11



รูปที่ 3.11 **เครื่องทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ ยี่ห้อ** MOCON **รุ่น** PERMATRAN-W ® 3/33

2) *ทดสอบอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (oxygen gas transmission rate: OTR)*

ทำการทดสอบอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (oxygen gas transmission rate: O_2GTR) ของฟิล์มชั้นเดียวและฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูชันตามมาตรฐาน ASTM D3985 ด้วยเครื่องทดสอบการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (oxygen permeation tester, OPT) ยี่ห้อ Illinois รุ่น 8000 ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ยี่ห้อ Illinois รุ่น 8000