

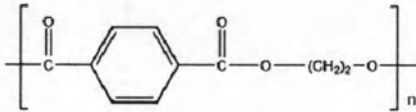
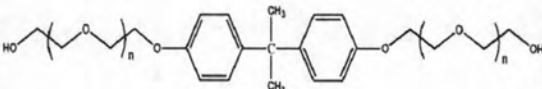
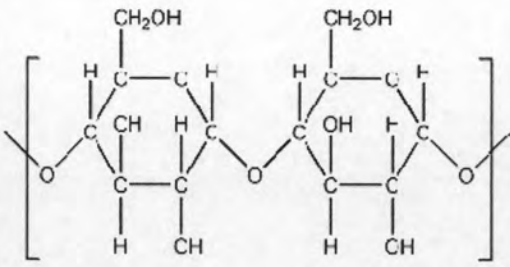
บทที่ 3 วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีและวัตถุดิบ

รายละเอียดเกี่ยวกับสารเคมีหรือวัตถุดิบเช่น โครงสร้างเคมีและสมบัติได้แสดงในตารางที่

3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงรายละเอียดของสารเคมีและวัตถุดิบ

สารเคมี (ผู้จัดจำหน่าย)	สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (บริษัทไทยพอลิเอสเทอร์ จำกัด)		-เกรดสำหรับเส้นใย % TiO ₂ (by weight) = 0.30 -Intrinsic viscosity = 0.635 -Melting point = 259 °C
พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิส- ฟีนอลเอ (บริษัทแม็กซ์ดีวิลอบ เมนท์จำกัด)		-ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก -pH = 12 -MW = 600
แป้งมันสำปะหลัง (บริษัท อีทีซี อินเตอร์ เนชันแนล เทรดิง จำกัด)		-ดีกรีของพอลิเมอร์เซ- ชัน (DP) ตั้งแต่ 1,100- 3,220 -อุณหภูมิในการเกิด เจลาคีโนเซชัน 58-70 ° C

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 เครื่องแก้ว (glassware)
- 3.2.2 เครื่องบดละเอียด (pulverizer) ผู้ผลิต FRITSCH รุ่น T15, Markt Einersheim, Germany
- 3.2.3 เครื่องกวนความเร็วต่ำ (homogenizer)
- 3.2.4 ตู้อบสูญญากาศ (vacuum oven)
- 3.2.5 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (twin screw extruder) รุ่น THERMO PRISM

3.3 อุปกรณ์วิเคราะห์

- 3.3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น JEOL JSM-5800LV (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ)
- 3.3.2 เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อนโมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (Thermo gravimetric Analyzer) ของบริษัท METTLER TOLEDO TGA/SDTA 851°, USA (ภาควิชาวัสดุศาสตร์)
- 3.3.3 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น NETZSCH DAC-204 F1 (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ)
- 3.3.4 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น Spectrum One (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ)
- 3.3.5 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) รุ่น Bruker AXS Model D8 DISCOVER (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ)
- 3.3.6 กล้องจุลทรรศน์ออปติคอลล (Optical Microscope) ของบริษัท OLYMPLUS รุ่น ex-31 (ภาควิชาวัสดุศาสตร์)

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการทดลอง

3.5 การเตรียมวัตถุดิบ และการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

3.5.1 การบดพอลิเอสเตอร์ซิป

เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวและเพิ่มความขรุขระ จึงได้นำเม็ดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตไปบดด้วยเครื่องบดละเอียดของบริษัท FRITSCH รุ่น T15, Markt Einersheim, Germany (ภาควิชาวัสดุศาสตร์) ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยใช้ตะแกรงเบอร์ 1 ซึ่งมีขนาดของตะแกรง 1 มิลลิเมตร จะทำให้ได้ขนาดของผงพेटไม่เกิน 1 มิลลิเมตร

ทำการร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร เพื่อคัดเอาผงพेटที่ละเอียดเกินไปออกทำให้ได้ผงพेटที่มีขนาดใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 0.8-1 มิลลิเมตร

ข้อมูลของเครื่องบดละเอียด FRITSCH รุ่น T15

ลักษณะการบด	ใบมีดตัด
ขนาดชิ้นงานใหญ่สุด	60 มิลลิเมตร
ขนาดชิ้นงานหลังการบด	0.25 ถึง 6 มิลลิเมตร
อัตราการบด	50 ลิตร ต่อชั่วโมง
ใบมีด	สแตนเลสสตีล X4 ใบมีด



รูปที่ 3.2 เครื่องบดละเอียด ผู้ผลิต FRITSCH รุ่น T15, Markt Einersheim, Germany (ภาควิชาวัสดุศาสตร์)

3.5.2 การเคลือบผิวผงพेटด้วยสารละลายพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ

เตรียมสารละลายพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอในน้ำให้มีปริมาตร 1 ลิตร เจือจางให้ได้ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 กรัมต่อพेट 100 กรัม (g/100 g PET) ปรับค่าพีเอชให้เป็นกรดอ่อนด้วยกรดอะซิติกให้ได้ค่าพีเอชประมาณ 6 จากนั้นเทลงไปในบีกเกอร์ที่บรรจุผงพेटปริมาณ 600 กรัม แชนจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีขาวขุ่นเป็นใส ซึ่งแสดงว่าสารพอลิเอทิลีนไกลโค-

เลตบิสฟีนอลเอเคลือบที่ผิวพेटจนสมบูรณ์ กรองผงพेटแล้วนำไปอบที่ตู้อบสูญญากาศตั้ง อุณหภูมิไว้ที่ 160 องศาเซลเซียส อบเป็นเวลา 3 นาทีเพื่อผนึกสารพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิส- ฟีนอลเอให้ติดบนผิวพेट

3.5.3 การเคลือบฟิล์มแข็งลงบนผงพेटที่ผ่านการตัดแปรผิวด้วย พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ

ล้างผงพेटที่ผ่านการอบเคลือบผิวด้วยน้ำ เพื่อล้างสารพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ ส่วนเกิน นำไปกรองและอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ชั่งแป้งมันสำปะหลัง โดยคิดเป็น สัดส่วนกับน้ำหนักของผงพेट ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 เมื่อได้แป้งเป็นสัดส่วนที่ต้องการแล้ว นำมาผสมน้ำ จากนั้นใส่ผงพेटที่ผ่านการตัดแปรผิว ให้ความร้อนด้วย hot plate คลุกเคล้า ตลอดเวลาจนถึงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจึงได้เจลแป้ง เทเจลของผสมทั้งหมดลงบนภาด อะคริลิก ทิ้งให้เจลแป้งแห้งจนได้ฟิล์มแป้งเคลือบห่อหุ้มผงพेट

ในการทดลองนี้ได้ออกแบบการทดลองโดยจะทำการศึกษาการเคลือบสารพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ และแป้งบนผงบนพेटที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

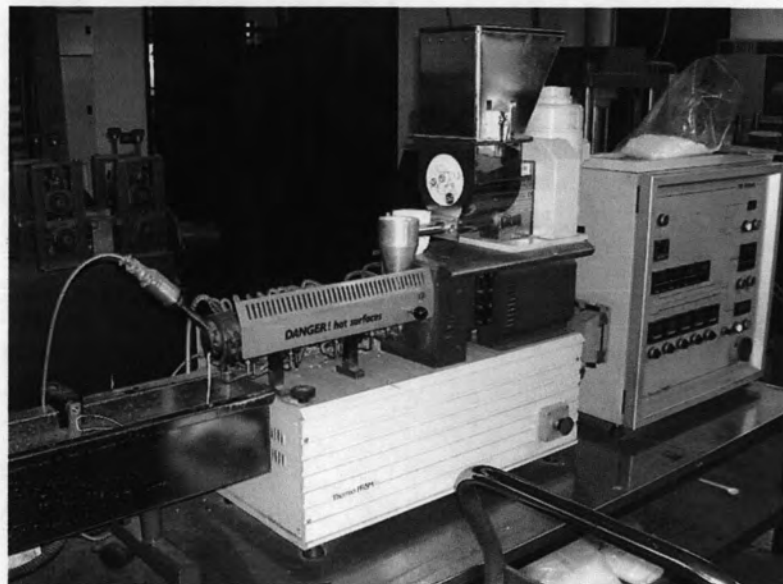
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของสารต่างๆที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

สูตร	พेट (กรัม)	พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ (g/100 g PET)	สัดส่วน พेट : แป้งมันสำปะหลัง
1	200	10	90 : 10
2	200	10	80 : 20
3	200	10	70 : 30
4	200	20	90 : 10
5	200	20	80 : 20
6	200	20	70 : 30
7	200	30	90 : 10
8	200	30	80 : 20
9	200	30	70 : 30

3.5.4 การผสมเพตและแบ่งให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

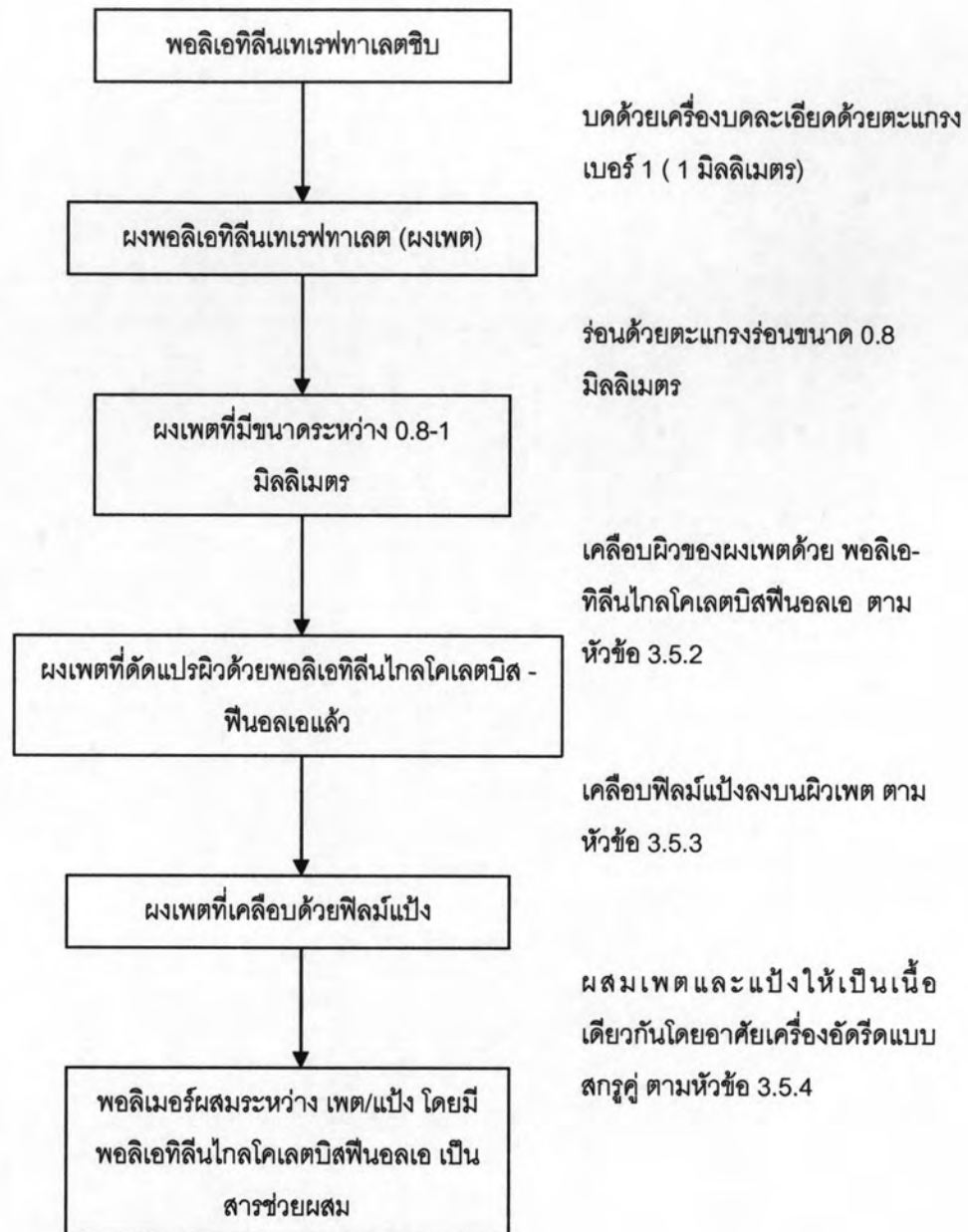
การผสมเพตและแบ่งให้เป็นเนื้อเดียวกันทำได้โดยอาศัยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ดังแสดงในรูปที่ 3.3 นำผงเพตที่เคลือบด้วยแบ่งจำนวน 200 กรัมไปทำการหลอมเหลวในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ โดยทำการตั้งพารามิเตอร์เครื่องดังนี้

อุณหภูมิบาร์เรล	260	องศาเซลเซียส
ความเร็วรอบของสกรู	30	รอบต่อนาที (rpm)
ระยะเวลาที่ผงเพตอยู่ในบาร์เรลประมาณ	1	นาที
แรงบิดของบาร์เรลสกรู (torque)	11	N/m ²



รูปที่ 3.3 การผสมเพตและแบ่งด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (ภาควิชาวัสดุศาสตร์)

การเตรียมวัตถุดิบและขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมแสดงเป็นขั้นตอนสรุปได้ตามรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสมที่ฉีดออกมาจากเครื่องอัดรีดได้นำไปตัดเม็ด เพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์ความเข้ากันได้และสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ทั้งสองต่อไป

3.6 การวิเคราะห์

3.6.1 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

วิเคราะห์ภาพพื้นผิวของชิ้นทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด JEOL scanning electron microscope, JSM-5800LV ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งทำให้สามารถดูความละเอียดได้ถึงระดับไมโครเมตร โดยตัวอย่างชิ้นงานที่แห้งสนิทขนาดระดับมิลลิเมตรจะถูกนำมาฉาบด้วยทองเสียก่อน แล้วจึงนำมาใส่ไว้ที่ช่องตัวอย่างในคอลัมน์ สร้างสุญญากาศภายในคอลัมน์ จากนั้นลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิจะถูกโฟกัสให้ตกลงบนผิวตัวอย่างและถูกผลักดันให้เคลื่อนไปบนผิวตัวอย่างนั้น ปฏิกริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับผิวตัวอย่างทำให้มีอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งมีพลังงานต่ำหลุดออกมาจากบริเวณชั้นบนของผิวตัวอย่าง ซึ่งจะถูกจับและรวมเป็นสัญญาณ ในที่สุดจะถูกประมวลผลเป็นภาพขาวดำปรากฏบนจอโทรทัศน์ ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้คือ 15 kV และภาพที่ถ่ายออกมาจะมีกำลังขยายเท่ากับ 200 เท่า

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเพตที่ได้ผ่านการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแบ่งก่อนผสมเทียบกับหลังผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่



รูปที่ 3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด JEOL รุ่น JSM-5800LV (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ)

3.6.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลซิส (TGA)

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพตและแป้งมันสำปะหลัง ด้วยเทคนิค TGA เป็นการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อน และหาอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้น (onset thermal degradation temperature, T_d) ของสารตัวอย่าง ด้วยเครื่อง TGA รุ่น METTLER TOLEDO 851^o ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยนำชิ้นทดสอบซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 3-10 มิลลิกรัม ใส่ในภาชนะอะลูมิเนียม (aluminium pan) โดยใช้ภาวะในการทดสอบดังนี้

ภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

อุณหภูมิเริ่มต้น	50	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิสิ้นสุด	750	องศาเซลเซียส

*จากนั้นคงอุณหภูมิที่ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที

อัตราการเพิ่มความร้อน	20	องศาเซลเซียสต่อนาที
-----------------------	----	---------------------

ทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน

เมื่อได้ผลการทดสอบแล้วทำการวิเคราะห์เทอร์โมแกรมหาอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้น และหาสัดส่วนการสลายตัวของแป้งในพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 3.6 เครื่อง TGA ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA 851^o (ภาควิชาวัสดุศาสตร์)

3.6.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริเมทรี (DSC)

เป็นการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เพื่อหาอุณหภูมิหลอม (T_m) ของสารตัวอย่าง โดยนำสารตัวอย่างที่มีน้ำหนักประมาณ 7 มิลลิกรัม ใส่ในภาตอะลูมิเนียม ซึ่งน้ำหนักสารที่แน่นอนแล้วปิดฝา ทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน

ภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

อุณหภูมิเริ่มต้น	25	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิสิ้นสุด	300	องศาเซลเซียส
อัตราการเพิ่มความร้อน	10	องศาเซลเซียสต่อนาที
ทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน		

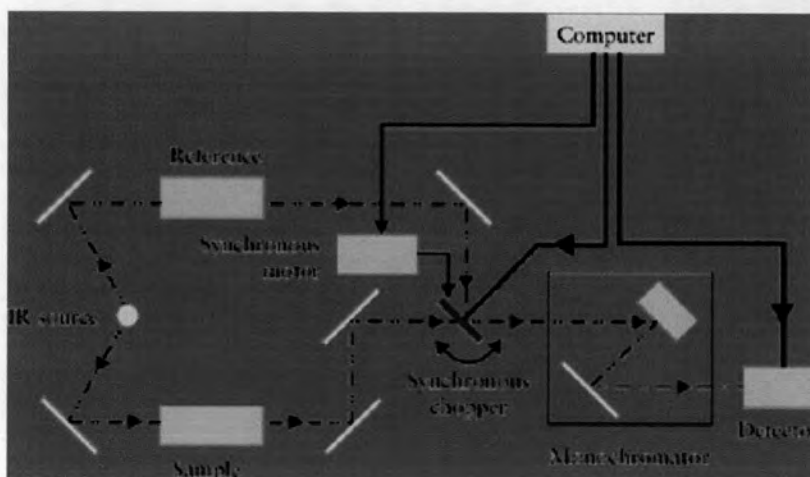


รูปที่ 3.7 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น NETZSCH DAC-204 F1 (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ)

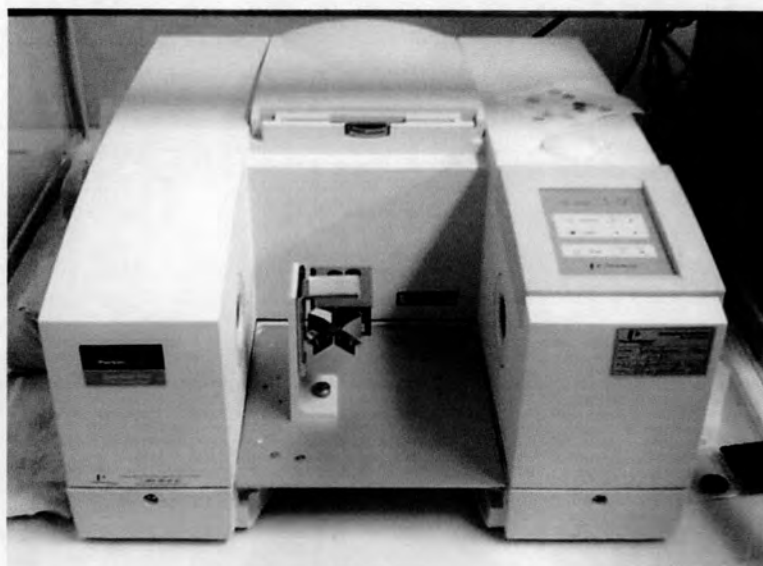
3.6.4 การวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR)

อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคที่มีการใช้อย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์ทางด้านโครงสร้างในระดับโมเลกุล รวมทั้งพอลิเมอร์โมเลกุล การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีอาศัยหลักการเกิดอันตรกิริยากันระหว่างรังสีอินฟราเรดกับ dipole moment ของพันธะในโมเลกุล ผลของการเกิดอันตรกิริยาทำให้โมเลกุลดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วง 400 ถึง 4000 ซึ่งการดูดกลืนจะมีลักษณะเฉพาะของตัวเอง ทำให้สามารถแยกความแตกต่างหรือสามารถบอกโครงสร้างของโมเลกุลนั้นๆได้ เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีหรือ FT-IR เป็นเทคนิคทางอินฟราเรดที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งอาศัยหน่วยแยกแสง คือ Michelson interferometer และโปรแกรมการแปลงข้อมูล Fourier Transform ดังแสดงหลักการทำงานดังรูปที่ 3.8 และใช้ FT-IR Spectrometer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum One ดังรูปที่ 3.9

ในการทดลองนี้ อาศัยเทคนิค FT-IR ในการศึกษาเอกลักษณ์ของเพต, แป้งมันสำปะหลัง และพอลิเมอร์ผสม โดยเปรียบเทียบพิกที่เป็นลักษณะเฉพาะของหมู่พันธะต่างๆที่พบในสารนั้นๆ ซึ่งการเตรียมสารตัวอย่างจะใช้วิธีการอัดตัวอย่างปริมาณเล็กน้อย (0.8 มิลลิกรัม) ผสมกับผงโพแทสเซียมโบรไมด์แห้ง หรือ alkali halide ชนิดอื่นๆ ประมาณ 100 มิลลิกรัม สารผสมจะถูกอัดลงบนแผ่น transparent disk ที่ความดันสูง เพื่อไม่ให้เกิดผลจากการกระเจิงรังสีตัวอย่างจะต้องมีขนาด 2 ไมครอน



รูปที่ 3.8 แสดงไดอะแกรมหลักการทำงานของเทคนิค ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด-สเปกโทรสโกปี



รูปที่ 3.9 เครื่อง FT-IR Spectrometer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum One (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ)

3.6.5 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิค XRD

การวิเคราะห์นี้ได้อาศัยเครื่อง Bruker AXS Model D8 DISCOVER ดังแสดงในรูปที่ 3.10 เพื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ผสม

ในการวิเคราะห์ ชิ้นตัวอย่างจะถูกฉายด้วยรังสีเอ็กซ์เรย์ $\text{CuK}\alpha$ (ความยาวคลื่น 0.1542 นาโนเมตร) รังสีเลี้ยวเบนสะท้อนออกจากชิ้นงานจะถูกบันทึกในรูปของดิฟแฟรคโตแกรมระหว่างมุมเลี้ยวเบน 10 องศา ถึง 40 องศา ตำแหน่งของพีคในดิฟแฟรคโตแกรมจะแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของผลึกเพศภายหลังการผสมในเครื่องอัตโนมัติแบบสกรู

ภาวะที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

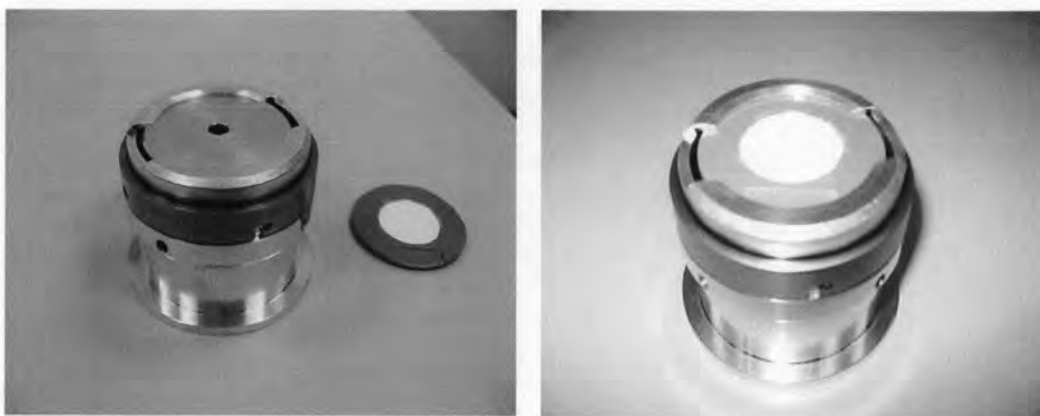
หลอดรังสีเอ็กซ์	Cu	
แหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์	$\text{CuK}\alpha$	
ศักย์ไฟฟ้า	40	กิโลโวลต์
กระแสไฟฟ้า	40	มิลลิแอมแปร์
มุมที่วัด	10-40	องศา
Increment	0.02	องศา
ความเร็วสแกน	0.2	วินาที / Step
Detector	VANTEC-1	(Super Speed Detector)
อุณหภูมิ	25	องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.10 X-ray Diffraction (XRD) รุ่น Bruker AXS Model D8 DISCOVER (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ)

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิค XRD มีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ดังนี้

1. นำแผ่นยึดตัวอย่าง (sample holder) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 มาประกอบให้เรียบร้อย
2. นำผงตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วมาบรรจุลงบนแผ่นยึดตัวอย่าง แล้วกดเบาๆ
3. ปาดผงตัวอย่างส่วนเกินออกจากแผ่นยึดตัวอย่าง
4. นำฝาหลังปิดเข้ากับแผ่นยึดตัวอย่าง
5. นำแผ่นยึดตัวอย่างที่ประกอบเรียบร้อยแล้วเสียบกับแกนยึดตัวอย่างของเครื่อง XRD ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยระวังไม่ให้นิ้วสัมผัสบริเวณที่มีผงตัวอย่าง
6. ทำการวัดที่ค่ามุม 2θ ตั้งแต่ 10-40 องศา ที่ศักย์ไฟฟ้า 40 กิโลโวลต์ และกระแสไฟฟ้า 40 มิลลิแอมแปร์



รูปที่ 3.11 ส่วนประกอบและลักษณะของแผ่นที่ยึดตัวอย่าง (sample holder)

3.6.6 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของภาคตัดขวางพอลิเมอร์ผสม เพต/แป้งมัน-สำปะหลัง ด้วย Optical Microscope

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสม เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของแป้งในพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการย้อมด้วยสีดิสเพอร์สแล้ว

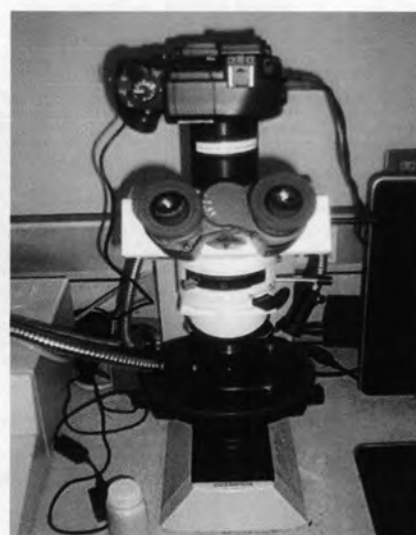
โดยนำพอลิเมอร์ผสม เพต/พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ/แป้งมันสำปะหลัง ที่ผ่านการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่แล้ว นำชิ้นทดสอบมาตัดขวางให้เรียบด้วยใบมีดตัด จากนั้นย้อมด้วยสี Foron Rubine RD-GFL 200 ซึ่งเป็นสีดิสเพอร์สมีสมบัติย้อมติดพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ได้ดี ให้สีปริมาณร้อยละ 0.1 เทียบกับน้ำหนักพอลิเมอร์ผสม ย้อมชิ้นทดสอบที่ผ่านการ

ตัดขวางแล้วภายใต้สภาวะปิดโดยใช้ระบบยกย้อม ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นล้างสีส่วนเกินออก ทิ้งให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิห้อง

ภาวะที่ใช้ในการย้อม

สีย้อม	Foron Rubine RD-GFL 200	
ปริมาณสี	0.1	เปอร์เซ็นต์
อุณหภูมิที่ใช้ย้อม	130	องศาเซลเซียส
เวลาที่ใช้ย้อม	60	นาที ทำการย้อมภายใต้สภาวะปิด

เมื่อนำมาถ่ายภาพด้วยเครื่อง Optical Microscope OLYMPLUS ex-31 ดังรูปที่ 3.12 กำลังขยายของเลนส์วัตถุที่ 4 และ 10 เท่า ทำการปรับ contrast ด้วยโปรแกรมที่ +75 เพื่อให้เห็นความแตกต่างของสีได้ชัดเจนขึ้น โดยภาพที่ผ่านการปรับ contrast แล้ว จะเห็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์เป็นสีเข้ม และส่วนของแบ่งเป็นสีแดง



รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์ออปติคัล (Optical Microscope) ของบริษัท OLYMPLUS รุ่น ex-31 (ภาควิชาวัสดุศาสตร์)