

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและความเสถียรต่อความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของ PVC เมื่อถูกผสมด้วย PE โดยสามารถแบ่งงานวิจัยออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Melt Flow Index ของ PE และอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ PE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ
2. การศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบสกรูในกระบวนการอัดรีดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ PE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ
3. การศึกษาอิทธิพลของชนิด PE และอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ PE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ

เพื่อนำเสนอกลไกการสลายตัวที่เกิดขึ้นของ PVC ในพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว เมื่อผ่านเครื่องอัดรีดซ้ำ ซึ่งมี PVC เป็นองค์ประกอบหลักและมี PE เป็นองค์ประกอบรอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 เม็ดพลาสติก PVC

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้เม็ดพลาสติก PVC ซึ่งอยู่ในรูปคอมปาวด์ (Compound) มาใช้ในการทำการทดลอง คือ เกรดสำหรับเป่า (B0504BLA) ซึ่งมีค่า Melt Flow Index 5 g/10min และค่า K-value 58 โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) โดยตัวอย่างเม็ดพลาสติกแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เม็ดพลาสติก PVC คอมปาวด์ เกรดเป่าขวด (B0504BLA)

3.1.2 เม็ดพลาสติก PE

เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของสถาปัตยกรรมเชิงโครงสร้าง และดัชนีการไหลของ PE [ภาคผนวก ก] ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงไปของสมบัติของ PVC ดังนั้น PE ที่เลือกนำมาใช้ในงานวิจัยแบ่งออกได้ดังนี้

3.1.2.1 แบ่งตามลักษณะทางสถาปัตยกรรมเชิงโครงสร้างของ PE

ชนิดของ PE ที่ใช้ในงานวิจัยนั้น ประกอบด้วย High Density Polyethylene (HDPE) และ Low Density Polyethylene (LDPE)

3.1.2.2 แบ่งตามค่า Melt Flow Index (MFI) ของ PE

โดยงานวิจัยนี้มีการใช้ LDPE ที่มีค่า MFI แตกต่างกัน 3 ค่า คือ 5, 20 และ 45 g/10min ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แหล่งที่มาของเม็ดพลาสติก PE เกรดต่างๆ

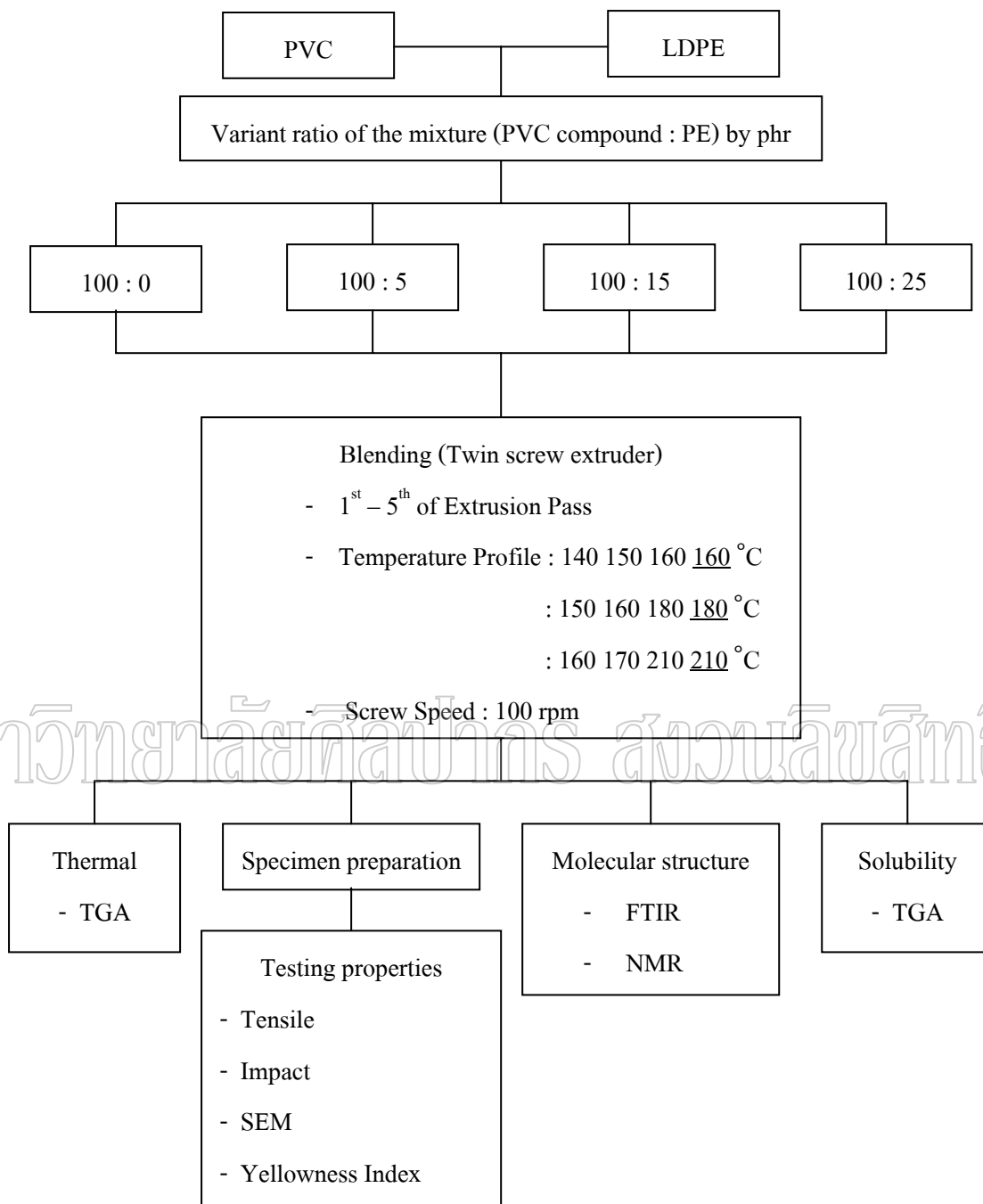
ชนิดของ พลาสติก PE	Melt Flow Index [*] (g/10min)	ชื่อทางการค้า	บริษัทผู้ผลิต
HDPE	5	H6205JU	Thai Polyethylene Co.,Ltd.
	20	H5818J	Thai Polyethylene Co.,Ltd.
LDPE	5	1905F	Thai Polyethylene Co.,Ltd. ^{**}
	20	s1018	Thai Petrochemical Industry Public Co.,Ltd. ^{**}
	43	su1018	Thai Petrochemical Industry Public Co.,Ltd. ^{**}

* ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1238 โดยใช้น้ำหนักกด 2.16 kg และอุณหภูมิที่ใช้ 190 °C

** ได้รับความอนุเคราะห์

3.2 การออกแบบการทดลอง

3.2.1 การศึกษาอิทธิพลของ ปริมาณและน้ำหนักโมเลกุลของ PE และอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ PE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ ซึ่งมีแผนผังแสดงการดำเนินงานดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงการดำเนินงานส่วนที่ 1

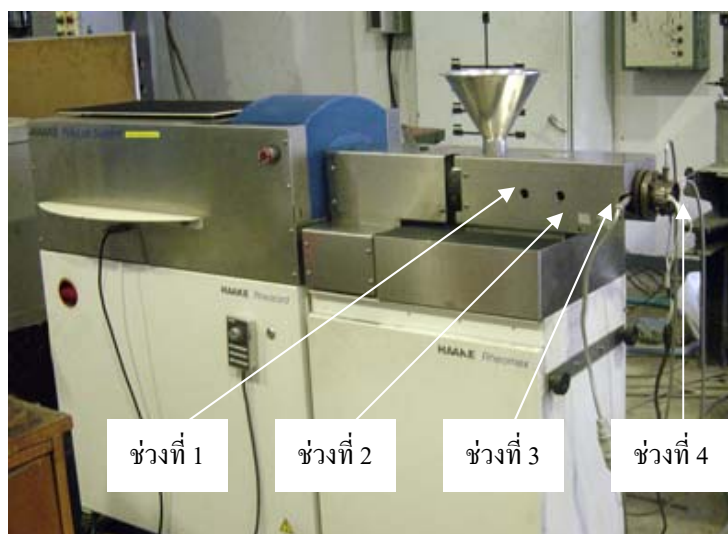
จากรูปที่ 3.2-3.4 แสดงการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 1-3 ตามลำดับ ซึ่งเริ่มจากการนำเอาเม็ดพลาสติก PVC มาผสมกับ PE แต่ละชนิดในอัตราส่วนต่างๆ ด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Counter Rotating Intermshing Twin Screw Extruder) ส่วนผสมจะผ่านกระบวนการอัดรีดตั้งแต่ครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 5 จากนั้นนำเอาคอมปาวด์ที่ผสมได้ส่วนหนึ่งมาทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยการหาอุณหภูมิการสลายตัว (Decomposition Temperature) ด้วยเครื่อง TGA อีกส่วนหนึ่งนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นเพื่อทดสอบสมบัติทางกลด้วยการทดสอบด้านทานแรงดึง ความทนแรงกระแทก และตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยเครื่อง SEM นอกจากนี้ยังตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของ PVC หลังการผสมกับ PE ด้วยเครื่อง FTIR และ NMR

3.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบในรูปแบบเม็ดคอมปาวด์

สามารถเตรียมได้โดยการนำเอา PVC และ PE แต่ละสูตรที่จะทำการผสมตามอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.2 มาผ่านการคลุกเคล้าให้เม็ดพลาสติกดังกล่าวมีการกระจายตัวเข้าหากัน (Distribution) ก่อนด้วยเครื่อง High speed mixer ของบริษัท Lab Tech Engineering จำกัด ดังรูปที่ 3.5 จากนั้นนำไปผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) ของบริษัท HAKKE Co., Ltd. (Germany) รุ่น HAKKE Polylab Rhemex CTW 100p ดังรูปที่ 3.6 (a) เพื่อผสมให้เม็ดทั้งสองชนิดเกิดการแตกออกจากกลุ่มของพลาสติกแต่ละชนิด (Disperse) และเกิดการกระจายตัวเข้าหากันของพลาสติกทั้งสองชนิดมากขึ้น ภายใต้ความร้อนและแรงเค้นเฉือน โดยของผสมดังกล่าวจะถูกผ่าน Circular die ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร และเป็น die ประเภท 3 รู ดังรูปที่ 3.6 (c) สำหรับขั้นตอนการผสมนี้ได้ทำการต่อเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่เข้ากับระบบหล่อเย็นด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง และเครื่องตัดเม็ด เพื่อผลิตพอลิเมอร์ผสมออกมาในรูปแบบของเม็ดคอมปาวด์



รูปที่ 3.5 เครื่อง High speed mixer



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 3.6 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ของบริษัท HAKKE Co., Ltd. (Germany) โดยลำดับดังนี้

- (a) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่และตำแหน่งของอุณหภูมิในแต่ละช่วงของเครื่อง
- (b) ระบบหล่อเย็นและเครื่องตัดเม็ด
- (c) หัวขึ้นรูปชนิด 3 รูที่ใช้ในการอัดรีด

3.4 การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่เป็นแผ่น

ในขั้นตอนของการเตรียมแผ่นจากเครื่องบดลูกกลิ้งคู่ (Two-roll-mill) จะใช้เม็ดพลาสติกที่ได้จากการผสมจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ ดังรูปที่ 3.7 ปริมาณ 100 กรัม เทลงบนเครื่องบดลูกกลิ้งคู่ของบริษัท Lab Tech Engineering จำกัด ดังรูปที่ 3.8 (a) ซึ่งใช้อุณหภูมิผสม 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที เพื่อให้คอมพาวด์ดังกล่าวเกิดการหลอมตัวเข้าหากันก่อน จากนั้นนำไปแยกอัดแผ่นขึ้นรูปร้อนตามขนาดที่ต้องการที่ความหนา 3 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดแผ่นขึ้นรูปร้อน (Hot press) รุ่น LP-S-20 ของบริษัท Lab Tech Engineering จำกัด ดังรูปที่ 3.8 (b) โดยใช้แม่พิมพ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมมีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และขึ้นรูปตามโดยใช้อุณหภูมิขึ้นรูปที่ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งเริ่มจากการอุ่นแม่พิมพ์ให้ร้อนเป็นเวลา 4 นาที แล้วจึงอัดขึ้นรูปเป็นเวลา 4 นาที จากนั้นหล่อเย็นอีก 4 นาที ซึ่งแผ่นชิ้นงานทดสอบที่ได้หลังการอัดแผ่นขึ้นรูปร้อน ผิวจะเรียบขึ้น จากนั้นนำแผ่นชิ้นงานทดสอบไปตัดชิ้นงานทดสอบด้านทานแรงดึง โดยใช้เครื่องกัด (Contour cutting) ซึ่งมีรูปร่างชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type I และชิ้นงานทดสอบที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 3.9 (a) ส่วนชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก ตัดรูปร่างชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 256 แบบ Izod พร้อมกับทำรอยบากด้วยมีดตัดด้วยเครื่องทำรอยบากรุ่น CS-93E ของ บริษัท Ceast จำกัด และชิ้นงานทดสอบที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 3.9 (b)



(a) (b) (c) (d) (e)

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างของเม็ดที่ผ่านการผสมจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่

- (a) ผ่านกระบวนการอัดรีดครั้งที่ 1
- (b) ผ่านกระบวนการอัดรีดครั้งที่ 2
- (c) ผ่านกระบวนการอัดรีดครั้งที่ 3
- (d) ผ่านกระบวนการอัดรีดครั้งที่ 4
- (e) ผ่านกระบวนการอัดรีดครั้งที่ 5



(a)

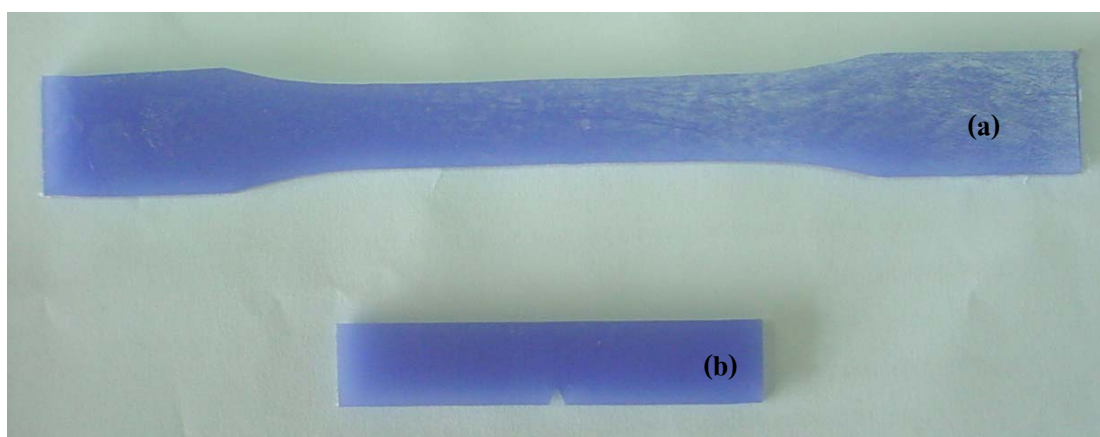


(b)

รูปที่ 3.8 (a) เครื่องบดลูกกลิ้งคู่ของบริษัท Lab Tech Engineering จำกัด

(b) เครื่องอัดแผ่นขึ้นรูปร้อนของบริษัท Lab Tech Engineering จำกัด

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 3.9 (a) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึง

(b) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบความทนแรงกระแทก

3.5 วิธีการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

3.5.1 อุณหภูมิสลายตัว (Decomposition Temperature : Td)

ในการทดสอบอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวนั้น ได้ทำการทดสอบจากเครื่อง Thermogravimetric Analyser (TGA) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น จากการทดสอบด้วยเครื่อง TGA มักจะแสดงผลในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะช่วงที่มีการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างชิ้นงานมากๆ แสดงถึงการสลายตัวของส่วนประกอบที่มีอยู่ในพอลิเมอร์

สำหรับงานวิจัยนี้จะทดสอบด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyser ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น TGA 7 Serial no.519 N7031104 ดังรูปที่ 3.10 โดยมีการเตรียมตัวอย่างชิ้นงานจากเม็ดพลาสติกที่ผ่านจากการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ มาตัดให้มีขนาด 7-12 มิลลิกรัม แล้วบรรจุลงในจาน (Pan) ที่แขวนอยู่บน Micro balance แล้วทำการทดสอบโดยการตั้งโปรแกรมทดสอบให้ความร้อนต่อชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจาก 50 องศาเซลเซียส จนถึง 700 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเป็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน



รูปที่ 3.10 เครื่อง Thermogravimetric Analyser (TGA) ของบริษัท Perkin Elmer

3.5.2 สมบัติด้านทานแรงดึง (Tensile properties)

สมบัติด้านทานแรงดึงของวัสดุ เป็นตัวบอกความแข็งแรงและความสามารถในการทนรับแรงดึงของวัสดุจนขาดในระยะเวลาสั้นๆ ด้วยอัตราการดึงคงที่ โดยการเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบ จะเตรียมให้อยู่ในรูปของคัมเบล (Dumbbell) ตามมาตรฐาน ASTM D 638, Type I การทดสอบทำได้โดยนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปจับยึดด้วยหัวจับขนาด 5 กิโลนิวตัน ที่ปลายทั้งสองข้างของชิ้นงาน แล้วทำการดึงชิ้นงานด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ของบริษัท LLOYD Instruments รุ่น LR50K Serial no. 10396 ดังรูปที่ 3.11 ด้วยอัตราเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อนาที จนชิ้นงานแยกขาดจากกัน โดยผลการทดลองที่ได้จะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) โดยค่าดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสูตร [ภาคผนวก ข]



รูปที่ 3.11 เครื่อง Universal Testing Machine ของบริษัท LLOYD Instruments

3.5.3 สมบัติทนแรงกระแทก (Impact properties)

ในการทดสอบสมบัติทนแรงกระแทกนั้น เป็นการทดสอบที่บอกถึงความสามารถของการทนแรงกระแทก โดยแสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์นั้นมีความเปราะหรือเหนียว ซึ่งความเหนียวนั้นเป็นความสามารถที่พอลิเมอร์ดูดซับพลังงาน (Energy absorbing) ที่ให้ได้ โดยทดสอบโดยการให้แรงกระแทกกับชิ้นงานที่มีรอยบาก (Notch) ซึ่งเป็นจุดเริ่มของการเสียหาย จากการทดสอบมักจะแสดงในรูปค่าความทนแรงกระแทก (Impact strength) ดังสมการที่ 3.1 ตามมาตรฐาน ASTM D256 แบบ Izod นำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติทนแรงกระแทกด้วยเครื่อง Impact Pendulum Tester ของบริษัท ZWICK รุ่น B5120.202 Serial no.140503/98 ดังรูปที่ 3.12 โดยงานวิจัยนี้ใช้หัวเหวี่ยง (Pendulum) ขนาด 4 จูล

$$\text{Impact strength} = \frac{E}{w_n} \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

โดย Impact strength คือ ค่าความทนแรงกระแทก หน่วยเป็นจูลต่อเมตร

E
 w_n

คือ ค่าพลังงานดูดซับที่ชิ้นงานรับได้ หน่วยเป็นจูล

คือ ความกว้างของชิ้นงาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร



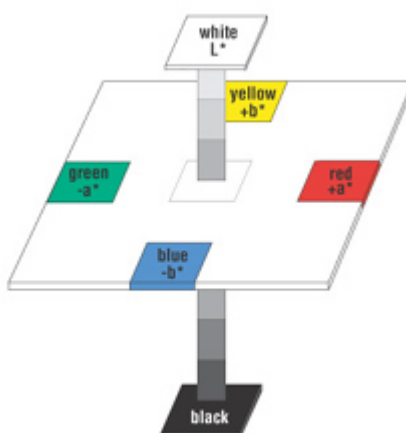
รูปที่ 3.12 เครื่อง Impact Pendulum Tester ของบริษัท ZWICK

3.5.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

ในงานวิจัยนี้ใช้ SEM ดูโครงสร้างทางจุลภาคเพื่อสังเกตการกระจายตัวของ PE ใน PVC โดยนำคอมปาวด์ของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปเป็นแผ่นแล้วมาทดสอบ โดยทำการหักชิ้นงานหลังจากแช่ในไตรเจนเหลว 2 นาที แล้วตัดตัวอย่างไปวางบนแผ่นรองตัวอย่างที่ทำจากกระดาษฟอยล์และทาเคลือบกาวคาร์บอนที่ผิวขอบของชิ้นงานจนถึงเป็นร่อง เพื่อให้ฮีลิคตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้ แล้วนำไปเคลือบทอง (Gold Sputter) จากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ของ Cam Scan Analytical รุ่น Maxin2005 ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ด้วยกระแสไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ทำการจับภาพและเลือกภาพบริเวณที่ต้องการ

3.5.5 การตรวจสอบค่า Yellowness (b^*) โดยเครื่อง Spectrophotometer CIE LAB

การทดสอบด้วยเครื่อง Spectrophotometer ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงในการส่องตัวอย่างที่เป็น Daylight ($D65/10^\circ$) การทดสอบนี้ใช้วัดค่าความเหลือง ตัวอย่างสามารถแสดงแกนแต่ละแกนดังรูปที่ 3.13 สำหรับงานวิจัยนี้ทดสอบโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ GretagMacbeth รุ่น Color-Eye 3100 ดังรูปที่ 3.14 ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1925 การทดสอบนี้ใช้วัดค่าความเหลือง ที่แสดงในแกน Y_{CIE} คือค่า Yellowness (b^*) ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดพลาสติกก่อนผ่านกระบวนการอัดรีดเป็นเม็ดสีฟ้าเมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดตั้งแต่ครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 5 เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพของตัวอย่าง



รูปที่ 3.13 แกนสามมิติแสดงระดับของสีแต่ละแกน



รูปที่ 3.14 เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ GretagMacbeth

3.5.6 การตรวจสอบค่า Polyene Index ด้วยเครื่อง Fourier Infrared Spectroscopy (FTIR)

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง FTIR ของบริษัท Nicolet รุ่น Impact 410 Serial no. ADF9600608 ดังรูปที่ 3.15 ในการตรวจสอบเอกลักษณ์โครงสร้างทางเคมีของชิ้นงานตัวอย่าง โดยการยิงรังสีอินฟราเรด (IR) ลงบนชิ้นงานตัวอย่าง แล้ววัดปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน (Absorbance) หรือทะลุผ่านออกมา (Transmission) สัมพันธ์กับช่วงความยาวคลื่นของรังสี ที่ช่วงความยาวคลื่น $400 - 4000$ เซนติเมตร⁻¹



รูปที่ 3.15 เครื่อง Fourier Infrared Spectroscopy (FTIR) ของบริษัท Nicolet

หลักการของการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างเคมีของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง FTIR อาศัยการสั่น (ยืด หรือ งอ) ของพันธะที่เชื่อมระหว่างอะตอมต่างๆ ภายในโมเลกุลของสาร เมื่อได้รับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กแถบรังสีอินฟราเรด ซึ่งธรรมชาติทางเคมีในโมเลกุลของสารตัวอย่าง จะสามารถดูดกลืนพลังงานดังกล่าวได้เลขคลื่นต่างๆ กันไป

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} \quad \text{สมการที่ 3.3}$$

โดย	$\bar{\nu}$	คือ เลขคลื่น มีหน่วยเป็นเซนติเมตร ⁻¹
	λ	คือ ความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
	ν	คือ ความถี่ มีหน่วยเป็นจำนวนรอบต่อวินาที
	c	คือ ความเร็วของแสง (3×10^{10} เซนติเมตรต่อวินาที)

เมื่อโมเลกุลของสารตัวอย่างได้รับรังสีอินฟราเรด ที่มีความถี่ตรงกับการสั่นของพันธะใดๆ ก็จะสามารถดูดกลืนรังสีที่มีความถี่นั้นในรูปของพลังงาน ตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 3.4

ข้อดีของการใช้เทคนิค Fourier transfer คือ ช่วยให้การวิเคราะห์หรือการวัดสเปกตรัมของสารตัวอย่างทำได้เร็วกว่าเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟมิเตอร์ธรรมดาหลายเท่า เพราะการวัดด้วยเครื่องธรรมดาจะสามารถวัดได้ที่ละความถี่ (Sequentially) แต่ FTIR จะสามารถวัดที่ความถี่ต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่อง (Simultaneously)

$$E = h\nu \quad \text{สมการที่ 3.4}$$

โดย	E	คือ พลังงาน มีหน่วยเป็นเอิร์ก
	h	คือ ค่าคงตัวของ Planck (6.624×10^{-27} เอิร์ก-วินาที)
	ν	คือ ความถี่ มีหน่วยเป็นจำนวนรอบต่อวินาที

การเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบในรูปของแผ่นฟิล์ม

ทำได้โดยการนำเอาคอมปาวด์ของของผสม ที่ได้หลังจากการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนกุ่ม มาอัดเป็นแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง Hot press โดยทำการอุ่นแม่พิมพ์เป็นเวลา 1 นาที แล้วอัดขึ้นรูปแผ่นฟิล์มเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นหล่อเย็นอีก 2 นาที ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ภายใต้

ความดัน 30,000 ปอนด์ แล้วเลือกชิ้นงานที่มีความหนาประมาณ 60-80 ไมครอน มาทดสอบ FTIR โดยผลการทดสอบที่ได้จะถูกนำไปคำนวณหาค่า Polyene Index ดังสมการที่ 3.5

$$\text{Polyene Index} = \frac{(T_b - T_{1579})}{(T_b - T_{2916})} \quad \text{สมการที่ 3.5}$$

โดย T_b คือ Base line
 T_{2916} คือ % Transmission ของ C-H stretching
 T_{1579} คือ % Transmission ของ polyene sequences

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์