

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย การทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกลีเซอรอลกับกรดชนิดต่างๆ (ได้แก่ กรดโอลีนิก กรดอะซิติก) ตามด้วยการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ การเตรียมพีวีซีคอมปาวด์และขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องแก้ว

- คอนเดนเซอร์ (Condenser)
- ขวดก้นกลมหนึ่งคอ (Round bottom)
- ขวดก้นกลมสามคอ (Three neck round bottom)
- ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 25, 50, 100, 250 และ 500 มิลลิลิตร
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร
- กรวยแยกสาร (Separation funnel) ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
- กระบอกตวง (Cylinder)
- ขวดสีชา
- ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- ปิเปต (Pipette)
- กรวยกรอง (Funnel)
- ชุดเครื่องมือ (Dean-stark apparatus)
- หลอดเอ็นเอ็มอาร์ (NMR tube)

3.1.2 วัสดุอุปกรณ์อื่นๆ

- เข็มและหลอดฉีดยา (Needle and syringe)
- เครื่องให้ความร้อนและกวนสารละลาย (Hot plate stirrer)
- แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
- เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) 0-100 และ 0-200 องศาเซลเซียส
- จุกยางปิดปากขวด (Rubber septum)
- กระดาษกรอง
- กระดาษวัด pH

3.1.3 เครื่องมือในการทดลอง

รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือ	ยี่ห้อ/รุ่น	รายละเอียด
เครื่องชั่ง	METTLE TOLEDO, model ML 303E/01, Switzerland	ทศนิยม 3 ตำแหน่ง
เครื่องชั่ง	METTLE TOLEDO/model ML 204/01, Switzerland	ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
ปั๊มสุญญากาศ	SACCO/model SC-1A, Denmark	
เครื่องปั่นเหวี่ยง	แลปเทค เอ็นจิเนียริง จำกัด (ประเทศไทย)	ความเร็วรอบสูงสุดต่อนาที 6000
เครื่องโครมาโตกราฟีสมรรถนะสูงแบบแยกตามขนาด	six port injector รุ่น 7125/Rheodyne Incorporate	ปั๊มรุ่น 510 คอลัมน์แบบแยกตามขนาด Phenogel 100 Å (300 mm x 7.8 mm ID, 5µm)
		ตัวตรวจวัดแบบ Evaporative Light Scattering รุ่น Sedex 55
เครื่องฟูรีเยร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด	Thermo scientific/รุ่น Model NICOLET iS5	เลขคลื่น 550-4,000 cm ⁻¹

ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

อุปกรณ์และเครื่องมือ	ยี่ห้อ/รุ่น	รายละเอียด
เครื่องโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคป ($^1\text{H-NMR}$ spectroscopy)	รุ่น Model Avance 300 Bruker, Switzerland	
เครื่องปั่นผสมแบบความเร็วสูง (High speed mixer)	แลปเทค เอ็นจิเนียริงก์ จำกัด (ประเทศไทย)	ความเร็วรอบต่อ นาทีสูงสุด 1,400
เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder)	HAAKE	
เครื่องอัดขึ้นรูปแบบใช้ความร้อน (Compression moulding machine)	เจริญทัศน์ จำกัด	
เครื่องทดสอบสมบัติด้านทานแรงดึง (Universal testing machine)	LLOYD Instruments/ รุ่น LR50K	

3.1.4 สารเคมี

รายละเอียดสารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมี	เกรด/ผู้จำหน่าย	การใช้งาน
กลีเซอรอล	Commercial/ Lab System	สารตั้งต้น
กรดโอลีนิก	Analytical reagent $\geq 69.9\%$, CARLO-ERBA	สารตั้งต้น
กรดอะซิติก	Analytical reagent $\geq 99.8\%$, SIGMA- ALDRICH	สารตั้งต้น
กรดซัลฟิวริก	Analytical reagent $\geq 95-97\%$, MERCK	ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย (ต่อ)

สารเคมี	เกรด/ผู้จำหน่าย	การใช้งาน
โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส	Analytical reagent, CARLO-ERBA	สารกำจัดน้ำ
โซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต	Analytical reagent , SIGMA-ALDRICH	สารปรับสภาพให้เป็นกลาง
ไฮดรอกไซด์เปอร์ออกไซด์	Commercial 50.2 %w/w, TAI-LIANG	สารตั้งต้น
โพแทสเซียมไอโอไดน์	Analytical reagent, AJAX	วิเคราะห์หาค่า Iodine value
โซเดียมไธโอซัลเฟต	Analytical reagent, CARLO-ERBA	วิเคราะห์หาค่า Iodine value
สารละลาย Wijs	Analytical reagent, MERCK	วิเคราะห์หาค่า Iodine value
โมนโอเลอีน	Analytical reagent, SIGMA-ALDRICH	สารมาตรฐาน
ไดโอเลอีน	Analytical reagent, SIGMA-ALDRICH	สารมาตรฐาน
ไตรโอเลอีน	Analytical reagent, SIGMA-ALDRICH	สารมาตรฐาน
ไดอะซิน	Analytical reagent, SIGMA-ALDRICH	สารมาตรฐาน
พอลิไวนิลคลอไรด์	SG660, suspension grade, K-value = 66	พอลิเมอร์
น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์	Cosmos Chemical Co., Ltd,	สารเสริมสภาพพลาสติก
กรดสเตียริก	H-St stearic acid, Cosmos Chemical Co., Ltd,	สารหล่อลื่น
สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ แบเรียม แคลเซียม และซิงค์	CS – 1368 N, Cosmos Chemical Co., Ltd,	สารเพิ่มความเสถียรทางความร้อน
สารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนของ โลหะแบเรียม แคลเซียม และซิงค์	CR-01, Cosmos Chemical Co., Ltd,	สารเพิ่มความเสถียรทางความร้อน

3.2 การทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

1. เติมกรดโอลิก 47.6 มิลลิลิตร (1.0 โมล) ใส่ขวด 1 คอ ที่ต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์เรียบร้อยแล้ว (ดังรูปที่ 3.1) ตามด้วยกลีเซอรอล 110.4 มิลลิลิตร (10.0 โมล) และกรดซัลฟิวริก 0.75 มิลลิลิตร (ร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักเทียบกับกลีเซอรอล) ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
2. ทำการทดลองซ้ำแบบเดียวกันโดย ปรับเปลี่ยน เวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่ง และสัดส่วนโดยโมลระหว่างกลีเซอรอลต่อกรดโอลิกดังสรุปในตารางที่ 3.3
3. เลือกสถานะที่ให้ปริมาณ โมโนโอเลตและไดโอเลตมากที่สุดจากข้อ (1.) มาทำปฏิกิริยาต่อกับ กรดอะซิติกตามสัดส่วนดังสรุปในตารางที่ 3.4 จากนั้นปรับเปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยา และ สัดส่วนโดยโมลระหว่างกรดอะซิติกต่อกรดโอลิกดังสรุปในตารางที่ 3.4
4. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ล้างด้วยน้ำอุ่น (40-50 องศาเซลเซียส) เพื่อกำจัดกรดซัลฟิวริกและกลีเซอรอลส่วน เกิน ล้างจนเป็นกลาง
5. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ 6000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 10 นาที เพื่อแยกน้ำออกจากผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.1 ภาพการติดตั้งอุปกรณ์ในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ตารางที่ 3.3 สภาวะในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกลีเซอรอลกับกรดโอลีนิก เพื่อศึกษาผลของเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่ง และสัดส่วนโดยโมลระหว่างกลีเซอรอลต่อกรดโอลีนิก

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณกรดซัลฟิวริก (ร้อยละโดยน้ำหนัก.)	สัดส่วนโดยโมลระหว่างกลีเซอรอลต่อกรดโอลีนิก
140, 150, 160	10	2.0	0.5/1
160	10, 20, 30, 40, 60, 180, 300	2.0	0.5/1
160	10	0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0	0.5/1
160	10	2.0	0.5/1, 2.5/1, 5/1, 7.5/1, 10/1, 15/1, 20/1

ตารางที่ 3.4 สภาวะในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกลีเซอรอลกับกรดโอลีนิกและกรดอะซิติก เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนโดยโมลระหว่างกรดอะซิติกต่อกรดโอลีนิกและเวลาในการทำปฏิกิริยา

สัดส่วนโดยโมลระหว่างกรดอะซิติกต่อกรดโอลีนิก	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)
	60
3/1	90
	120
	60
5/1	90
	120
	60
7/1	90
	120

3.3 การทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน [5]

1. ชั่งกรดโอลิก (อะซิติกเลทโอลีโอท) 100 กรัม (1.0 โมล) ใส่ขวด 3 คอ เติมกรดอะซิติกเข้มข้น 13.26 มิลลิลิตร (0.8 โมล) นำไปกวนให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก (เข้มข้น 70 % โดยปริมาตรในน้ำ)
2. เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) (เข้มข้น 50 % โดยปริมาตรในน้ำ) 53.56 กรัม (3.2 โมล) ลงใน ขวด 3 คอ จากข้อ (1.) อย่างช้าๆ ให้หมดภายใน 30 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ ตอนหยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้เท่ากับ 5 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปต่อเข้ากับ คอนเดนเซอร์และเทอร์โมมิเตอร์กวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กกวน สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ดังรูปที่ 3.2) เก็บตัวอย่างน้ำมันทุก 1 ชั่วโมง
3. เทน้ำมันที่ได้ลงในกรวยแยกเทน้ำกลั่นลงไป ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นและทิ้งชั้นน้ำเก็บส่วนชั้นน้ำมันมา ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (เข้มข้น 5% โดยปริมาตรในน้ำ) และล้างด้วยน้ำ กลั่น
4. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ 6000 รอบ/นาที ใช้เวลา 10 นาที เพื่อแยกน้ำออกจากผลิตภัณฑ์
5. กรดโอลิกอีพอกไซด์ที่ได้นำไปวิเคราะห์หาค่าร้อยละการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ค่าไอโอดีน และค่าความหนืดตามวิธีในข้อ 3.4.2-3.4.5



รูปที่ 3.2 ภาพการติดตั้งอุปกรณ์ในปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

3.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

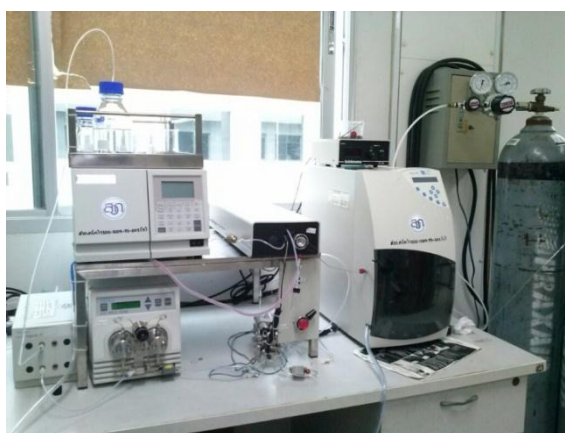
3.4.1 วิเคราะห์หาปริมาณโมนโอลีเอท ไดโอลีเอท อะซีทิลเอทโมนโอลีเอท และ อะซีทิลเอทไดโอลีเอท

องค์ประกอบของน้ำมันที่ได้หลังจากปั่นเหวี่ยงสามารถหาได้โดย เครื่องโครมาโตกราฟีสมรรถนะสูงแบบแยกตามขนาด (HPLC) (ดังรูปที่ 3.3) โดยใช้ปริมาณสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปเท่ากับ 20 ไมโครลิตร อุณหภูมิของตัวตรวจวัด 30 องศาเซลเซียส ความดันของอากาศ คือ 2 บาร์ วัฏภาคเคลื่อนที่ประกอบด้วยไอโซออกเทน-โทลูอิน 65:35 (โดยปริมาตร) และกรดอะซิติกร้อยละ 1.5 โดยปริมาตร [45] จากนั้นคำนวณหาปริมาณโมนโอลีเอท ไดโอลีเอท อะซีทิลเอทโมนโอลีเอท และ อะซีทิลเอทไดโอลีเอท จากสมการที่ 3.1-3.3

$$\text{ปริมาณ โมนโอลีเอท (\%)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคที่ตำแหน่ง 22–25 นาที}}{\text{พื้นที่ใต้พีคทั้งหมด}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

$$\text{ปริมาณ ไดโอลีเอท (\%)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคที่ตำแหน่ง 9–11 นาที}}{\text{พื้นที่ใต้พีคทั้งหมด}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.2}$$

$$\begin{aligned} &\text{ปริมาณอะซีทิลเอทโมนโอลีเอทและอะซีทิลเอทไดโอลีเอท (\%)} \\ &= \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคที่ตำแหน่ง 15–16 นาที}}{\text{พื้นที่ใต้พีคทั้งหมด}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.3} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.3 เครื่องโครมาโตกราฟีสมรรถนะสูงแบบแยกตามขนาด (HPLC)

3.4.2 วิเคราะห์ลักษณะการเข้าทำปฏิกิริยาของกรด

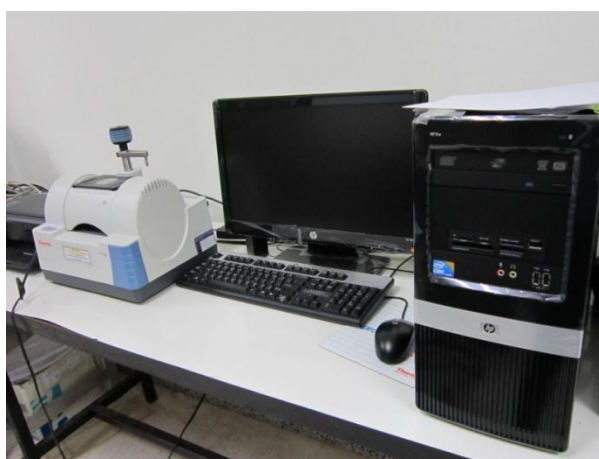
วิเคราะห์ลักษณะการเข้าทำปฏิกิริยาของกรดโอลีอิกและกรดอะซิติกจากโครงสร้างของอะซิทิเลท-โมโนโอลีเอทและอะซิทิเลทไดโอลีเอท และอีพอกไซด์อะซิทิเลทโอลีเอทที่ได้โดยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ($^1\text{H-NMR}$) (ดังรูปที่ 3.4) ความถี่ที่ใช้เท่ากับ 300 MHz เตรียมตัวอย่างโดยใช้สารตัวอย่าง 10 มิลลิกรัม ละลายใน deuterated chloroform จากนั้นบรรจุใส่ในหลอด NMR ความสูงประมาณ 4.0 เซนติเมตร



รูปที่ 3.4 เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ($^1\text{H-NMR}$)

3.4.3 วิเคราะห์หมู่เอพอกไซด์จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

วิเคราะห์หมู่เอพอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของกรดโอลีอิก ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR) (ดังรูปที่ 3.5) ช่วงเลขคลื่น $550\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ เตรียมตัวอย่างโดยใช้สารตัวอย่าง 5 มิลลิกรัม จากนั้นหยดสารตัวอย่างลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง



รูปที่ 3.5 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR)

3.4.4 การทดสอบหาค่า Iodine Value [46]

การวิเคราะห์ปริมาณ Iodine value ด้วยวิธี Wijs โดยทำการทดลองดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. เตรียมสารตัวอย่าง (อิพอกซีไดซอร์บิเลทโอลีเอท) 0.3-0.5 กรัม (ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร) เติมน้ำโคลเฮกเซน 10 มิลลิลิตร และเติม wijs solution 25 มิลลิลิตร
2. เก็บไว้ในที่มืด 30 นาที
3. เติม 20 มิลลิลิตร ของ 100 กรัม/ลิตร โพแทสเซียมไอโอไดน์ และเติมน้ำกลั่นอีก 100 มิลลิลิตร
4. ไตเตรทกับสารละลาย 0.1 โมล/ลิตร โซเดียมไทโอซัลเฟต จนได้เป็นสารละลายสีเหลืองอ่อน แล้วเติมน้ำแปปง์ 2 มิลลิลิตร (น้ำแปปง์เตรียมได้จากละลายแปปง์ 0.03 กรัม ในน้ำร้อน 30 มิลลิลิตร ที่ให้เย็นแล้วเติมโพแทสเซียมไอโอไดน์ 0.9 กรัม)
5. ไตเตรทและสังเกตการเปลี่ยนสีจากสีส้มอ่อนเป็นสีขาว

คำนวณผลการทดลอง

$$\text{Iodine value (กรัม/100 กรัม)} = (\text{BL1} - \text{EP1}) \times \text{TF} \times \text{C1/s}$$

BL1: ปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตของ blank (47.5850 มิลลิลิตร)

EP1: ปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตของสารตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

TF: ตัวแปรของการไตเตรท (1.003)

C1: ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น (1.269)

S: น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)

3.4.5 การทดสอบหาค่าความหนืด

วัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield อุนหนุมิ 27 องศาเซลเซียส โดยใช้ภาชนะบรรจุทรงกระบอกและหัวเข็มเบอร์ 06 ใช้เวลาวัดความหนืด 30 วินาที ค่าความหนืดที่ได้มีหน่วยเป็นเซนติพอยด์ (cP)

3.5 การเตรียมพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์

เมื่อนำสารอีพอกซีไคโซอะซีทิลเลทโอลีเอทที่ได้จากงานวิจัยมาทดลองผสมกับพอลิไวนิลคลอไรด์เบื้องต้นพบว่า ชิ้นงานที่ได้มีความเปราะ แสดงว่าสารอีพอกซีไคโซอะซีทิลเลทโอลีเอทที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ ยังมีความเข้ากันได้กับพอลิไวนิลคลอไรด์อย่างจำกัด ดังนั้นการศึกษาสมบัติของพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผสมกับอีพอกซีไคโซอะซีทิลเลทโอลีเอทจึงต้องใช้ร่วมกับอีพอกซีไคโซน้ำมันถั่วเหลือง โดยสูตรพื้นฐานในการขึ้นรูปพอลิไวนิลคลอไรด์ ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สูตรการขึ้นรูปพอลิไวนิลคลอไรด์

ส่วนผสม	หน้าที่การทำงาน	ปริมาณ (pph)
พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	พอลิเมอร์	100
น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซีไคโซ (ESO)	สารเสริมสภาพพลาสติก	30, 40, 60
อีพอกซีไคโซอะซีทิลเลทโอลีเอท (EAO)	สารเสริมสภาพพลาสติก	20, 30
สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแบเรียม แคดเมียม และซิงค์ (Ba-Cd-Zn salts)	สารเพิ่มความเสถียรทางความร้อน	3.0
สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแบเรียม แคดเมียม และซิงค์ (Ba-Cd-Zn salts)	สารเพิ่มความเสถียรทางความร้อน	0.5
กรดสเตียริก (Steric acid)	สารหล่อลื่น	0.3

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ เตรียมโดยชั่งน้ำหนักของพอลิไวนิลคลอไรด์ สารเสริมสภาพพลาสติก สารเพิ่มความเสถียรทางความร้อน และกรดสเตียริก โดยปรับเปลี่ยนส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.5 นำส่วนผสมทั้งหมดมาผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่นผสมแบบความเร็วสูง (High Speed Mixer) (ดังรูปที่ 3.6) ใช้เวลา 1 นาที



รูปที่ 3.6 เครื่องปั่นผสมแบบความเร็วสูง (High Speed Mixer)

จากนั้นนำสารผสมปริมาณ 320 กรัมไปเทลงในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin Screw Extruder) (รูปที่ 3.7) อุณหภูมิที่ใช้ผสมพีวีซีคอมปาวด์ที่ไม่เติมสารเสริมสภาพพลาสติก ในแต่ละช่วง ตั้งแต่บริเวณ feed zone ถึง die zone เท่ากับ 170/180/190/180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันการเตรียมพีวีซีคอมปาวด์ผสมสารเสริมสภาพพลาสติก จะใช้เครื่องมือและสูตรสารเคมีที่คล้ายกัน ยกเว้นการกำหนดอุณหภูมิในแต่ละช่วงของเครื่องอัดรีดจะใช้เท่ากับ 140/150/150/140 องศาเซลเซียส และใช้ความเร็วรอบในการหมุนของสกรูเท่ากับ 30 รอบ/นาที



รูปที่ 3.7 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin Screw Extruder)

เมื่อขึ้นรูปได้แล้ว นำผลิตภัณฑ์ไปตัดเม็ด จากนั้นชั่งเม็ดพีวีซีคอมปาวด์ 25 กรัม จัดวางในแม่พิมพ์ ขนาด ความกว้าง 185 มิลลิเมตร ความยาว 185 มิลลิเมตร ความหนา 0.5 มิลลิเมตร ทำการอัดแผ่นขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปแบบใช้ความร้อน (Compression moulding) (ดังรูปที่ 3.8) โดยใช้อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส อัดด้วยความดัน 100 บาร์ เป็นเวลา 1 นาที และ 150 บาร์ 1 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำแม่พิมพ์ไปหล่อเย็น 3 นาที นำแผ่นชิ้นงานทดสอบที่ได้ไปตัดเป็นรูป dumbbell ตามมาตรฐาน ASTM D-638 ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 เครื่องอัดขึ้นรูปแบบใช้ความร้อน (Compression moulding)



รูปที่ 3.9 ชิ้นตัวอย่างทดสอบสมบัติต้านทานแรงดึง

3.5.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิไวนิลคลอไรด์ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ดังรูปที่ 3.10 ใช้ความเร็วในการดึง 100 มิลลิเมตรต่อนาที ตามมาตรฐาน ASTM D-638 จากนั้นคำนวณหา ค่าการทนแรงดึง ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด และ ค่ามอดูลัส จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3.4-3.6



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบสมบัติด้านทานแรงดึง (Universal Testing Machine)

$$\text{ความเค้น } (\sigma) = \frac{F}{A_0} \quad \text{สมการที่ 3.4}$$

โดยที่

F = แรงที่ใช้ในการดึง (นิวตัน)

A_0 = พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น (ตารางเมตร)

$$\text{ความเครียด } (\epsilon) = \frac{L_i - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{สมการที่ 3.5}$$

โดยที่

L_i = ความยาวชิ้นงานเมื่อได้รับแรงกระทำ (เมตร)

L_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (เมตร)

$$\% \text{ Elongation at break} = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.6}$$

โดยที่

ΔL = ผลต่างของความยาวชิ้นงานเมื่อได้รับแรงกระทำ
กับความยาวเริ่มต้น (เมตร)

L_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (เมตร)