บทที่ 3 วัตถุดิบและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยแผนการดำเนินงานวิจัย วัตถุดิบและสารเคมี กระบวนการผสมวัตถุดิบและการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ และการทดสอบต่างๆ

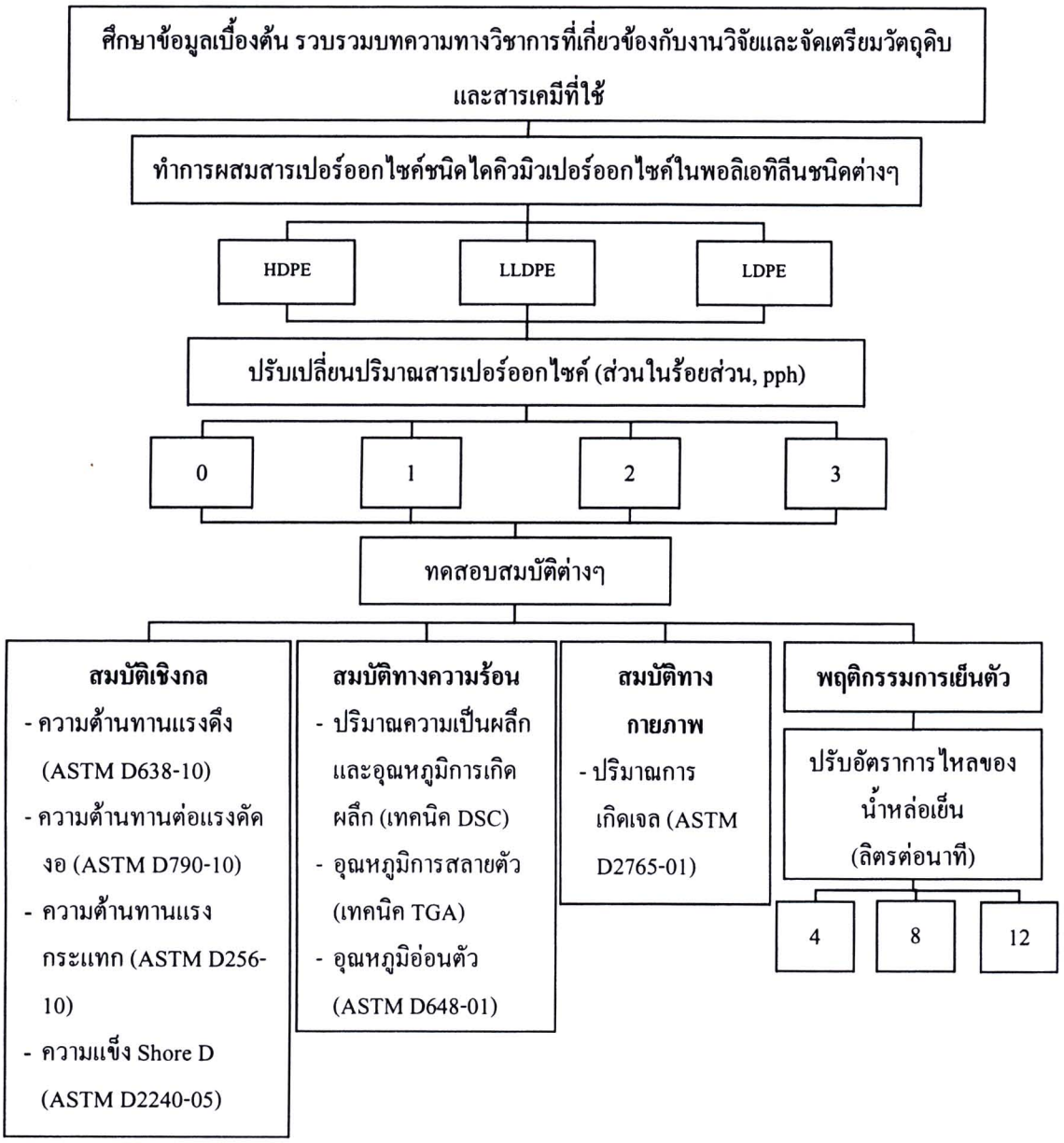
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินการวิจัย สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

- แผนการดำเนินการศึกษาผลของโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเอทิลีน
- แผนการดำเนินการศึกษาการเปรียบเทียบผลของชนิดสารเปอร์ออกไซค์ทางการค้า 2 ชนิด
- แผนการดำเนินการศึกษาอิทธิพลของการบ่มเร่งทางความร้อน

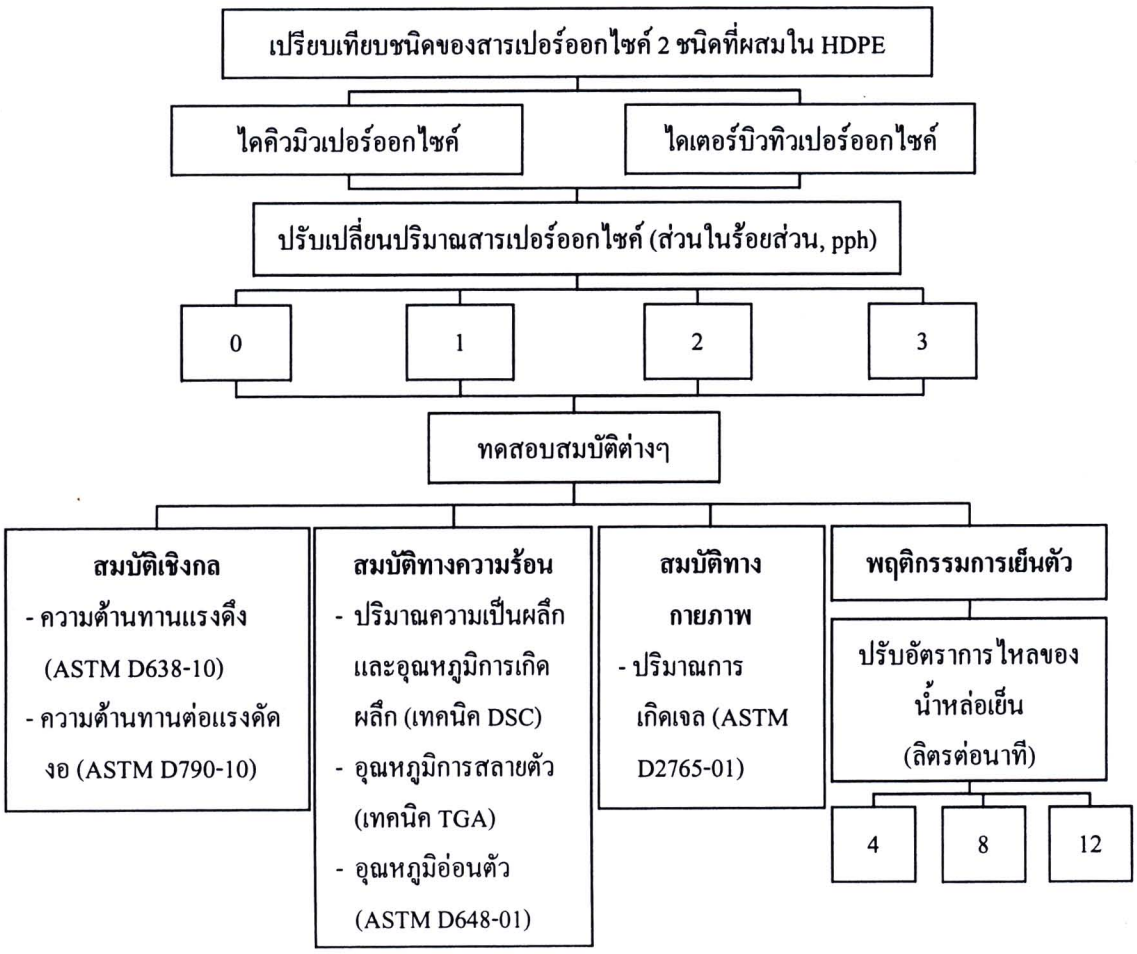
รายละเอียดแผนการดำเนินงาน

ในส่วนแรกของงานวิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นเริ่มทำการทดลองโดยศึกษาผลของโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเอทิลีน ได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ที่ผสมไดคิวมิวเปอร์ออกไซค์ปริมาณต่างๆ ในช่วง 0-3 ส่วนในร้อยส่วน โดยใช้เครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ และทำการขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และพฤติกรรมการเย็นตัว ในส่วนที่สองคือการเปรียบเทียบผลของชนิดสารเปอร์ออกไซค์ 2 ชนิดคือไดคิวมิวเปอร์ออกไซค์และไดเตอร์-บิวทิวเปอร์ออกไซค์ ในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยทำการผสมในช่วง 0-3 ส่วนในร้อยส่วน จากนั้นนำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และพฤติกรรมการเย็นตัว และในส่วนสุดท้ายคือการศึกษาผลของการบ่มเร่งด้วยความร้อน โดยนำส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมไดคิวมิวเปอร์ออกไซค์หรือไดเตอร์บิวทิวเปอร์ออกไซค์ที่ปริมาณ 3 ส่วนในร้อยส่วน มาทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกายภาพ แผนภาพการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 1 2 และ 3 แสดงดังรูปที่ 3.1 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

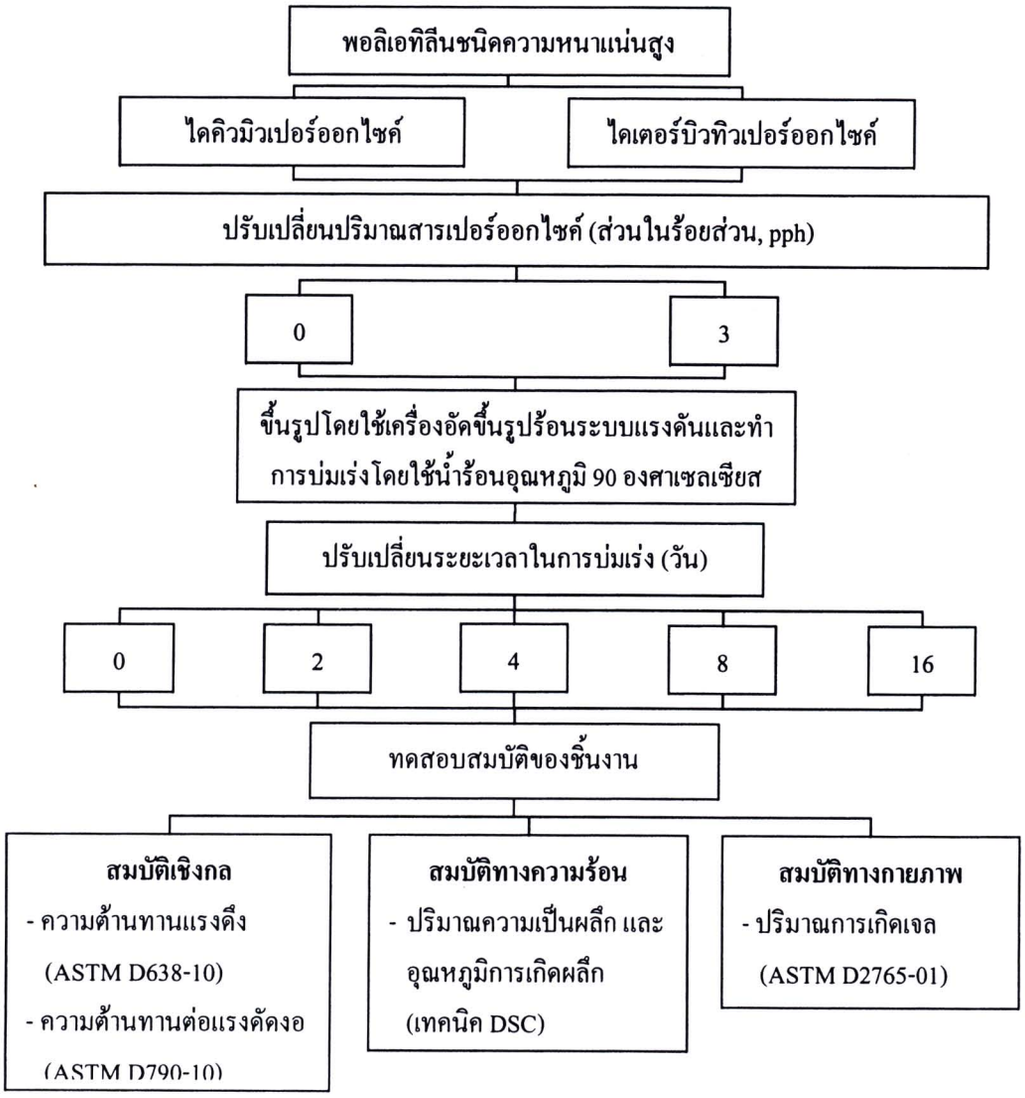


รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินการศึกษาผลของโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเอทิลีน (งานส่วนที่ 1)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 3.2 แผนการดำเนินการศึกษาการเปรียบเทียบผลของชนิดสารเปอร์ออกไซด์ทางการค้า 2 ชนิด (งานส่วนที่ 2)



รูปที่ 3.3 แผนการดำเนินการศึกษาอิทธิพลของการบ่มเร่งทางความร้อน (งานส่วนที่ 3)

3.2 วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยพอลิเอทิลีน 3 ชนิดที่มีโครงสร้างโมเลกุลต่างกัน และสารเปอร์ออกไซด์ 2 ชนิด โดยแสดงดังนี้

3.2.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้เป็นเกรด H555JA ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เครือซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย มีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวใส สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงคือมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.956 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดัชนีการไหล (Melt flow rate) เท่ากับ 1.8 กรัมต่อ 10 นาที มีจุดหลอมเหลวที่ 131 องศาเซลเซียส

3.2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene, LLDPE)

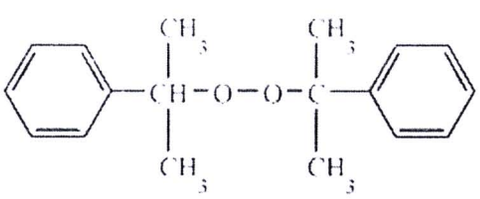
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่ใช้เป็นเกรด M3804RUP ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เครือซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย มีลักษณะเป็นผงสีขาวขุ่น สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นคือมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.938 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดัชนีการไหล (Melt flow rate) เท่ากับ 4 กรัมต่อ 10 นาที มีจุดหลอมเหลวที่ 125 องศาเซลเซียส

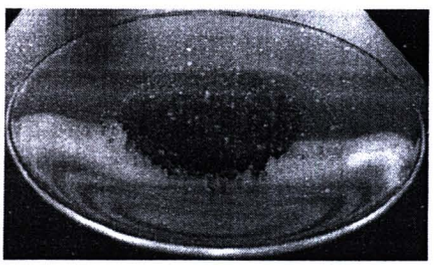
3.2.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้เป็นเกรด LD1905FA ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เครือซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย มีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวใส สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงคือมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.919 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดัชนีการไหล (Melt flow rate) เท่ากับ 5 กรัมต่อ 10 นาที มีจุดหลอมเหลวที่ 110 องศาเซลเซียส

3.2.4 ไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP)

ไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท พีซีที อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด เกรด ACEOX DCP ลักษณะกายภาพของไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์เป็นเกล็ดสีขาว มีอุณหภูมิครึ่งชีวิต (Half-life temperature) ที่เวลา 1 ชั่วโมงเท่ากับ 132 องศาเซลเซียส และที่เวลา 1 นาทีเท่ากับ 172 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลว 130 องศาเซลเซียส สูตรโครงสร้างและลักษณะทางกายภาพแสดงดังรูปที่ 3.4

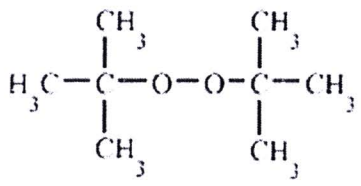


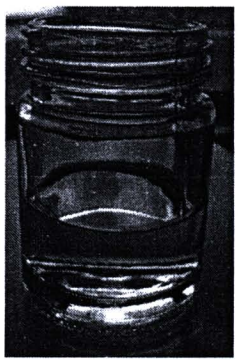


รูปที่ 3.4 สูตรโครงสร้างและลักษณะทางกายภาพของไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP)

3.2.5 ไดเตอร์บิวทิวเปอร์ออกไซด์ (Di-tert butyl peroxide, DTBP)

ไดเตอร์บิวทิวเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท พีซีที อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด เกรด LUPEROX DI มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวใส มีอุณหภูมิครึ่งชีวิต (Half-life temperature) ที่เวลา 1 ชั่วโมงเท่ากับ 149 องศาเซลเซียส และที่เวลา 1 นาทีเท่ากับ 189 องศาเซลเซียส มีจุดเดือดที่ 110 องศาเซลเซียส สามารถนำไดเตอร์บิวทิวเปอร์ออกไซด์ไปใช้งานในที่สัมผัสกับอาหารได้ (Food grade) สูตรโครงสร้างและลักษณะทางกายภาพแสดงดังรูปที่ 3.5





รูปที่ 3.5 สูตรโครงสร้างและลักษณะทางกายภาพของไดเตอร์บิวทิวเปอร์ออกไซด์ (Di-tert butyl peroxide, DTBP)

3.3 กระบวนการผสมวัตถุดิบและการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

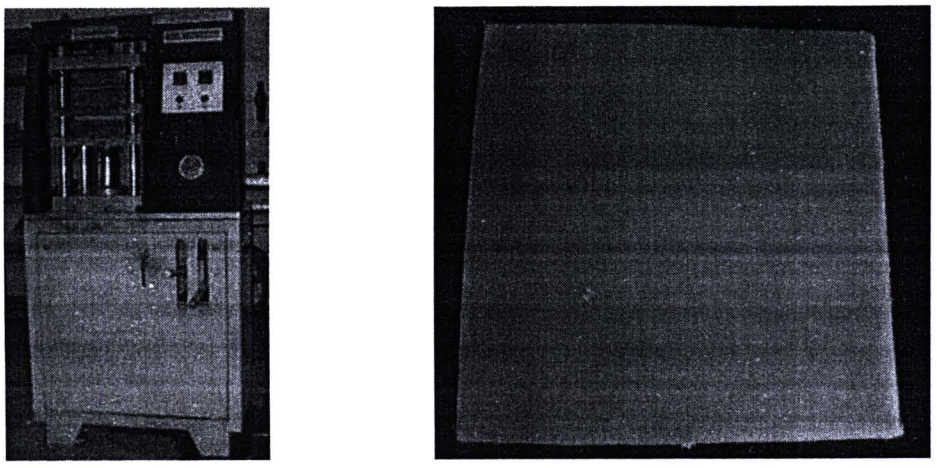
3.3.1 ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ

การผสมพอลิเอทิลีนกับสารเปอร์ออกไซด์ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ (Two roll mill) ของบริษัท แลปเทค เอนจิเนียริ่ง จำกัด แสดงดังรูปที่ 3.6 (ซ้าย) ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ มีดังนี้

- ปรับระยะห่างของลูกกลิ้งให้เหมาะสม และตั้งอุณหภูมิในการผสมที่ 160 องศาเซลเซียส
- ชั่งพอลิเอทิลีน 200 กรัม และสารเปอร์ออกไซด์ที่สัดส่วนต่างๆตามปริมาณที่ต้องการคือ 2 กรัม (1 ส่วนในร้อยส่วน) 4 กรัม (2 ส่วนในร้อยส่วน) และ 6 กรัม (3 ส่วนในร้อยส่วน)
- เติมพอลิเอทิลีนที่เตรียมไว้ลงไประหว่างลูกกลิ้ง รอให้พอลิเมอร์เกิดการหลอมตัว เป็นเวลา 5 นาที
- จากนั้นเติมสารเปอร์ออกไซด์ ผสมต่อเป็นเวลา 2 นาที
- นำชิ้นงานที่ได้ไปเข้าเครื่องบดพลาสติก (Crusher) แสดงดังรูปที่ 3.6 (ขวา) เพื่อทำให้ชิ้นงานมีขนาดเล็กลง กลายเป็นเกล็ดละเอียดสีขาว

รูปที่ 3.6 เครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ (ซ้าย) และเครื่องบดพลาสติก (ขวา)

3.3.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.7 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน (ซ้าย) และชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป (ขวา)

- ชั่งของผสมปริมาณ 100 กรัม ใส่ในแม่พิมพ์หนาขนาด 3 มิลลิเมตร หรือ 190 กรัม ใส่ในแม่พิมพ์ขนาด 5 มิลลิเมตร
- นำของผสมไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน (Compression molding machine) ของบริษัท แลปเทค เอนจิเนียริ่ง จำกัด แสดงดังรูปที่ 3.7 (ซ้าย)
- สภาวะการขึ้นรูป ใช้อุณหภูมิที่ 240 องศาเซลเซียส เริ่มจากให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ โดยไม่มีแรงดันในแม่พิมพ์เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเพิ่มแรงดันแม่พิมพ์เป็น 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลาอีก 10 นาที
- หล่อเย็นด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องด้วยแรงดัน 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- แผ่นชิ้นงานที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 3.7 (ขวา) โดยมีความหนาเฉลี่ยที่ 2.9 มิลลิเมตร และ 4.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ

3.4 การทดสอบหาปริมาณการเกิดเจล

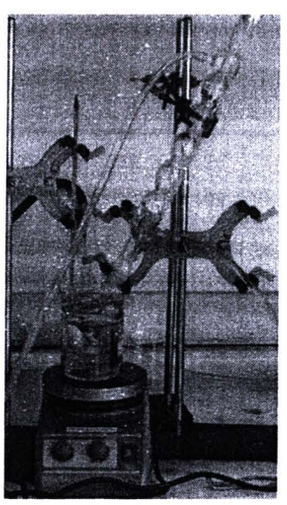
การหาปริมาณการเกิดเจลอาศัยวิธีทดสอบตาม ASTM D2765-01 แสดงดังรูป 3.8 โดยตัดชิ้นงานให้มีน้ำหนักประมาณ 0.3 กรัม นำไปละลายในสารละลายไซลีน (Xylene) ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองและอบที่จนแห้ง นำมาชั่งน้ำหนักโดยปริมาณการเกิดเจล(%Gel content) และนอร์มัลไลซ์ปริมาณการเกิดเจล (Normalized gel content) สามารถคำนวณได้ดังสมการ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณการเกิดเจล (\%Gel content)} = \frac{\text{น้ำหนักสารหลังสกัด}}{\text{น้ำหนักสารก่อนสกัด}} \times 100 \qquad (3.1)$$

$$\text{นอร์มัลไลซ์ปริมาณการเกิดเจล (Normalized gel content)} = \frac{\%\text{Gel content}_A}{\%\text{Gel content}_B} \times 100 \qquad (3.2)$$

เมื่อ $\%\ \text{Gel content}_A$ คือ เปอร์เซ็นต์ปริมาณการเกิดเจลของพอลิเอทิลีนที่เติมสารเปอร์ออก-ไซด์

$\%\ \text{Gel content}_B$ คือ เปอร์เซ็นต์ปริมาณการเกิดเจลของพอลิเอทิลีนชนิดนั้นที่ไม่ได้ทำการเติมสารเปอร์ออกไซด์



รูปที่ 3.8 การตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดสารเพื่อหาปริมาณการเกิดเจล

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

3.5 การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

3.5.1 ปริมาณความเป็นผลึกและอุณหภูมิการเกิดผลึก

การทดสอบหาปริมาณความเป็นผลึกและอุณหภูมิการเกิดผลึกโดยการใช้ Differential scanning calorimeter (DSC) รุ่น Mettler toledo DSC822 ซึ่งต้องเตรียมชิ้นงานให้มีขนาดเล็ก จากนั้นบรรจุใน Aluminium crucible และทำการตั้งโปรแกรมดังนี้

- เพิ่มอุณหภูมิจาก 25 องศาเซลเซียส ถึง 180 องศาเซลเซียส
- ลดอุณหภูมิจาก 180 องศาเซลเซียส ถึง 25 องศาเซลเซียส
- เพิ่มอุณหภูมิขึ้นอีกครั้งจาก 25 องศาเซลเซียส ถึง 180 องศาเซลเซียส

อัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

ทดสอบภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณความเป็นผลึกดังสมการที่ 3.3

$$\text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณความเป็นผลึก} = \frac{\Delta H_{melt}}{\Delta H_{100\%}} \times 100 \qquad (3.3)$$

เมื่อ ΔH_{melt} คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมผลึก (พื้นที่ใต้พีคอุณหภูมิหลอมเหลว)

$\Delta H_{100\%}$ คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมผลึกของพอลิเมอร์ที่เป็นผลึก 100% ซึ่ง $\Delta H_{100\%}$ ของพอลิเอทิลีน คือ 298.6 จูลต่อกรัม

3.5.2 อุณหภูมิการสลายตัว (Decomposition temperature, T_d)

การทดสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวโดยการใช้ Thermogravimetric analysis (TGA) รุ่น Mettler Toledo TGA/SDTA 851 ซึ่งต้องเตรียมชิ้นงานให้มีน้ำหนักประมาณ 10 มิลลิกรัม และทำการตั้งโปรแกรม โดยเพิ่มอุณหภูมิจาก 40 องศาเซลเซียส ถึง 600 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ทดสอบภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

3.5.3 อุณหภูมิอ่อนตัว (Heat distortion temperature, HDT)

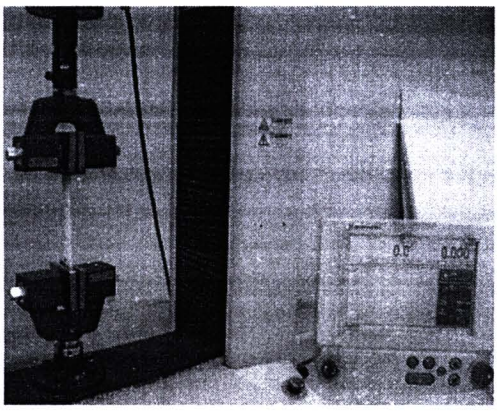
การทดสอบหาค่าอุณหภูมิอ่อนตัวตามมาตรฐาน ASTM D648-01 Method B ที่สภาวะการทดสอบคือ อุณหภูมิเริ่มต้น 40 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ความเค้น 0.455

เมกะปาสคาล ตัวกลางนำความร้อนที่ใช้คือน้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) โดยหาอุณหภูมิที่ทำให้วัสดุทดสอบดัดงอลงไป 0.25 มิลลิเมตร จากตำแหน่งเดิม ซึ่งใช้น้ำหนักกดคงที่

3.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.6.1 สมบัติความต้านทานแรงดึง

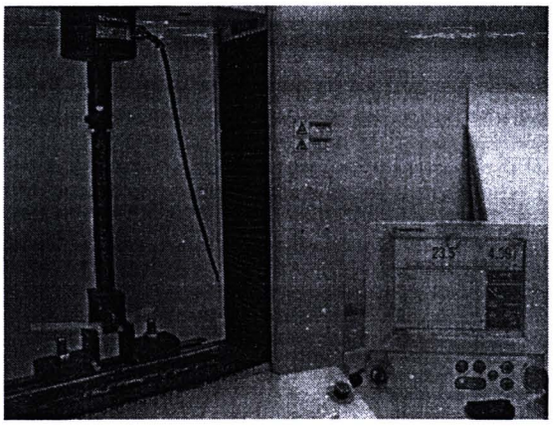
การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงโดยอาศัยเครื่อง Universal testing machine ของบริษัท Shimadzu รุ่น Autograph AG-I 5kN ประเทศญี่ปุ่น โดยนำชิ้นงานที่ขึ้นรูปตัดตามมาตรฐาน ASTM 683-10 มีระยะห่างระหว่างหัวจับเท่ากับ 115 มิลลิเมตร ระยะการวัด (Gauge length) เท่ากับ 50 มิลลิเมตร โดยใช้อัตราการดึงยืดที่ 100 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าการทดสอบที่นำมารายงานผลประกอบด้วยค่ามอดูลัสความทนแรงดึง (Tensile modulus) และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Tensile strength) ลักษณะการจับชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง

3.6.2 สมบัติความต้านทานต่อแรงดัดงอ

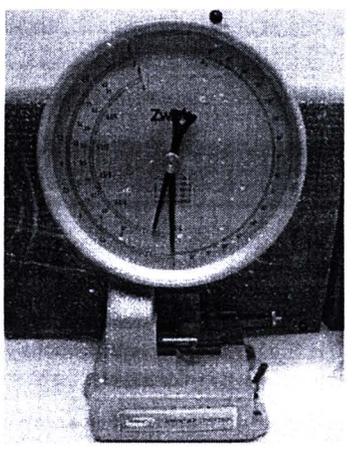
การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงต่อแรงดัดงอโดยอาศัยเครื่อง Universal testing machine ของบริษัท Shimadzu รุ่น Autograph AG-I 5kN ประเทศญี่ปุ่น เริ่มจากการนำชิ้นงานที่ขึ้นรูปตัดตามมาตรฐาน ASTM D790-10 โดยใช้หัวกด 2.5 กิโลนิวตัน ในรูปแบบของการทดสอบการดัดโค้งแบบ 3 จุด (Three point bending mode) มีระยะห่างระหว่างตัวรองรับ (Support span) เท่ากับ 16 ± 1 เท่าของความหนาชิ้นงาน อัตราการกดที่ 1.28 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าการทดสอบที่นำมารายงานผลประกอบด้วยค่ามอดูลัสของการดัดโค้ง (Flexural modulus) และค่าความต้านทานการดัดโค้งสูงสุด (Flexural strength) ลักษณะการวางชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดัดงอ

3.6.3 สมบัติความต้านทานแรงกระแทก

การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงกระแทกด้วยเครื่อง Impact tester ของบริษัท Zwick ประเทศเยอรมนี แสดงดังรูปที่ 3.11 โดยใช้มาตรฐานทดสอบ ASTM D256-10 ทำการทดสอบแบบ Izod เริ่มจากทำการบากชิ้นงาน และนำไปทดสอบโดยใช้แรงกระแทกจากเครื่องทดสอบแบบค้อนเหวี่ยง อ่านค่าที่ได้และทำการบันทึกผล

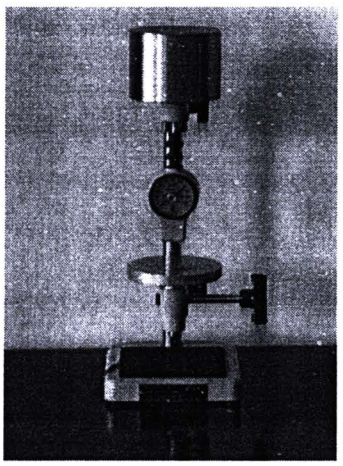


รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบสมบัติความต้านทานแรงกระแทก

3.6.4 สมบัติความแข็งแบบ Shore D

การทดสอบสมบัติความแข็งโดยใช้เครื่องทดสอบวัดความแข็งแบบ Shore D ของบริษัท พีทีซี อินสตรูเมนท์ จำกัด โมเดล 409 ประเทศสหรัฐอเมริกา แสดงดังรูปที่ 3.12 ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM

D2240-05 โดยการให้แรงกดผ่านอุปกรณ์ลงไปยังชิ้นงานทดสอบ และใช้ความแข็งของสปริงกดเป็นส่วนที่ให้แรงแทนที่น้ำหนักกด โดยหัวทดสอบจะติดอยู่กับสปริง เริ่มทำการทดสอบโดยให้แรงกดแก่อุปกรณ์ทดสอบลงมายังชิ้นงาน ซึ่งแรงจากสปริงจะส่งไปยังหัวทดสอบ ความลึกที่หัวทดสอบเจาะลงไปในชิ้นงานมีค่าแปรผกผันกับความแข็งของวัสดุ อ่านค่าที่ได้และบันทึกผล



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบสมบัติความแข็งแบบ Shore D

3.7 การศึกษาอัตราการเย็นตัว

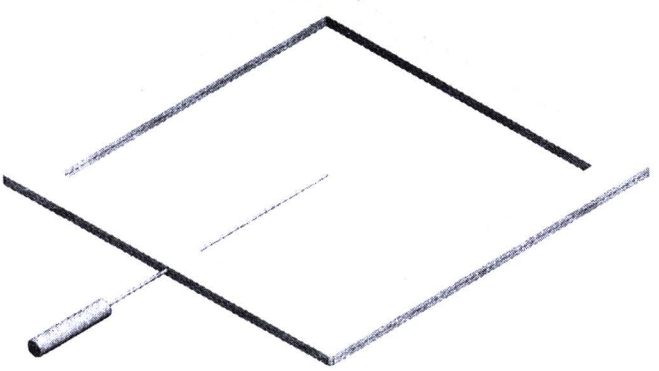
การศึกษาอัตราการเย็นตัวทำได้โดยอาศัยอุปกรณ์ที่สามารถวัดอุณหภูมิภายในแม่พิมพ์ขณะขึ้นรูปได้ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือชุดวัดอุณหภูมิและระบบปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น

3.7.1 ชุดวัดอุณหภูมิ

ในส่วนนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังแสดงดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ในส่วนของชุดวัดอุณหภูมิ

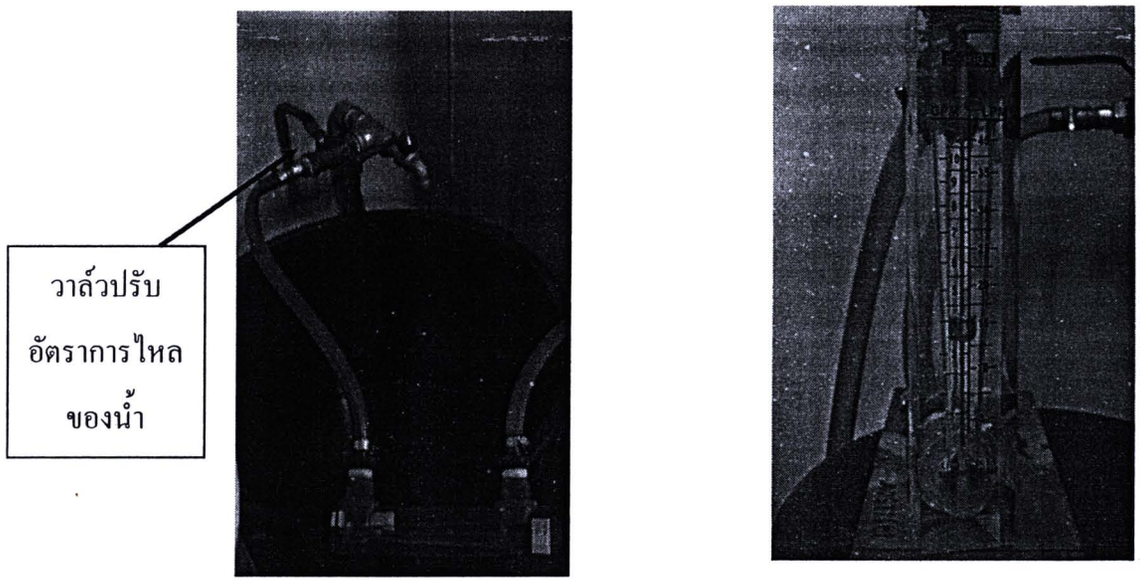
อุปกรณ์	หน้าที่
แม่พิมพ์ประกบ 2 แผ่น หนาแผ่นละ 3 มิลลิเมตร	ขึ้นรูปพอลิเมอร์และเจาะช่องสำหรับสอดเทอร์โมคัปเปิล
เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Type-K) เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 มิลลิเมตร ยาว 15 เซนติเมตร	วัดอุณหภูมิของพอลิเมอร์ขณะขึ้นรูป
แผ่นซีทเทฟรอน และสายยาง	สวมเทอร์โมคัปเปิลเพื่อลดแรงกระแทกจากแผ่นประกบ
อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	ต่อเข้ากับเทอร์โมคัปเปิลและแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้



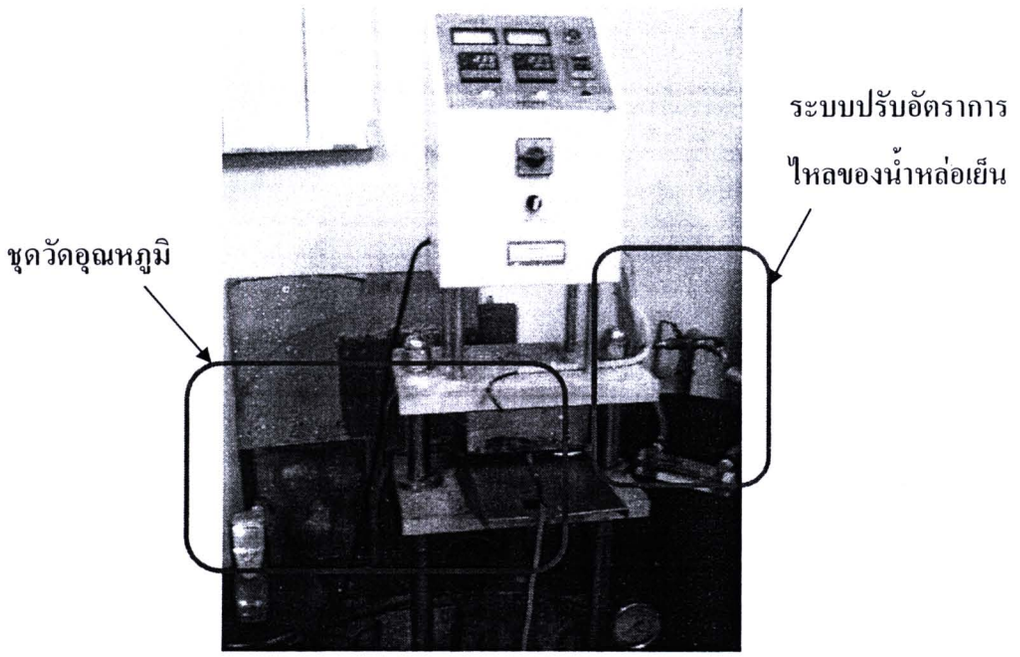
รูปที่ 3.13 ชุดวัดอุณหภูมิ ประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิล แม่พิมพ์ประกบ 2 แผ่น และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

3.7.2 ระบบปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น

ในส่วนนี้ประกอบด้วยวาล์วสำหรับปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น และเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Flow meter) สามารถปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นโดยใช้การเลื่อนตำแหน่งปิด-เปิดวาล์ว เพื่อให้ได้อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นตามที่ต้องการ แสดงดังรูปที่ 3.14 ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น 3 ค่าคือ 4 8 และ 12 ลิตรต่อนาที เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน ชุดวัดอุณหภูมิ และระบบปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 วาล์วปรับอัตราการไหลและเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ

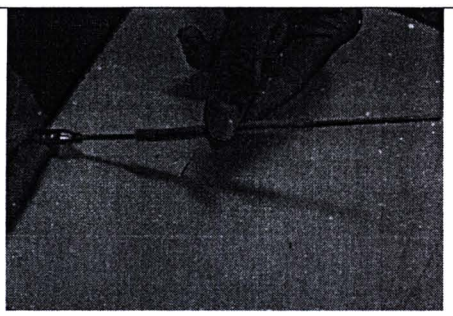
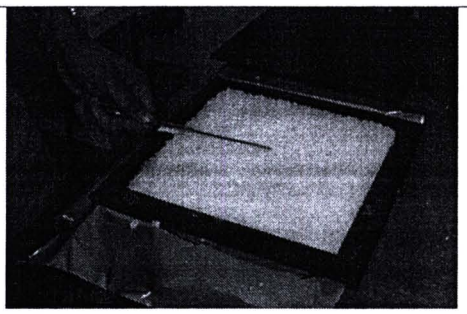
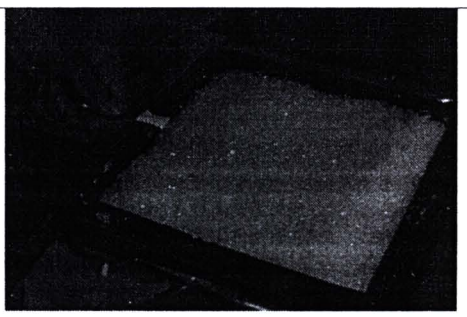


รูปที่ 3.15 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน ชุดวัดอุณหภูมิ และระบบปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น

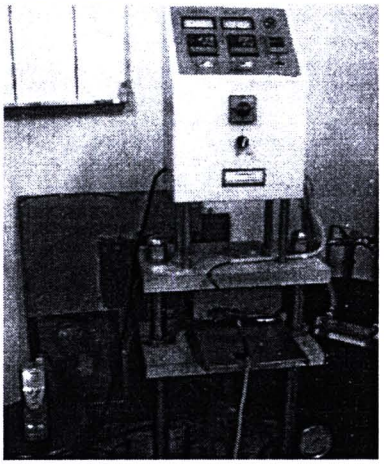
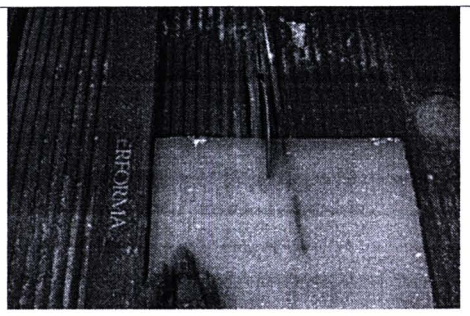
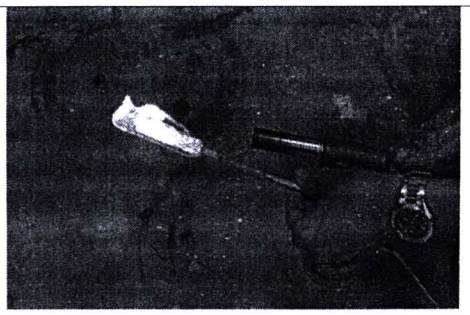
3.7.3 ขั้นตอนการวัดอัตราการเย็นตัว

อัตราการเย็นตัวของวัสดุสามารถหาได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ขั้นตอนการศึกษาอัตราการเย็นตัวแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วิธีการวัดอุณหภูมิของพอลิเมอร์ขณะขึ้นในรูป

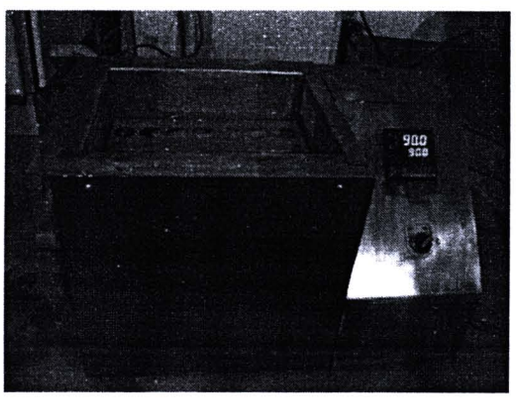
	**ขั้นที่ 1** สวมสายยางซิลิโคนที่เทอร์โมคัปเปิลที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ เพื่อป้องกันการกระแทกของแผ่นประกบทำให้เทอร์คัปเปิลหัก
	**ขั้นที่ 2** เทพอลิเอทิลีนลงในแผ่นประกบแผ่นที่หนึ่ง จากนั้นวางเทอร์โมคัปเปิลที่บริเวณกึ่งกลางแผ่นประกบ
	**ขั้นที่ 3** นำแผ่นประกบแผ่นที่สองวางทับ จากนั้นเทพอลิเอทีลีนลงไป ปิดแผ่นประกบ (Plate)

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) วิธีการวัดอุณหภูมิของพอลิเมอร์ขณะขึ้นในรูป

	**ขั้นที่ 4** นำไปขึ้นรูปที่เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน โดยใช้อุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 240 องศาเซลเซียส เริ่มทำการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเพิ่มแรงดันแม่พิมพ์เป็น 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 10 นาที และนำชิ้นงานมาหล่อเย็นด้วยน้ำ ที่แรงดันแม่พิมพ์เป็น 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นถูกปรับตามอัตราที่กำหนด นำข้อมูลอุณหภูมิที่บันทึกมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา
	**ขั้นที่ 5** เมื่อขึ้นรูปชิ้นงานเสร็จแล้ว นำแผ่นชิ้นงานที่ได้ไปตัดเพื่อนำเอาเทอร์โมคัปเปิลออกมาใช้ในครั้งต่อไป
	**ขั้นที่ 6** นำเทอร์โมคัปเปิลมาเผาไฟเพื่อทำให้ชิ้นงานที่ติดอยู่หลอมหลุดออกจากเทอร์โมคัปเปิล

3.8 การบ่มเร่งด้วยความร้อน

การศึกษาการบ่มเร่งด้วยความร้อน ในงานวิจัยนี้ได้นำชิ้นงานพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ไม่ผสมและผสมไดคิวมิวเปอร์ออกไซค์หรือไดเตอร์บิวทิวเปอร์ออกไซค์ปริมาณ 3 ส่วนในร้อยส่วน มาทำการบ่มเร่งด้วยความร้อนโดยสภาวะที่ใช้คือน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการบ่มเร่ง คือ 0, 2, 4, 8 และ 16 วัน สำหรับเครื่องบ่มเร่งด้วยน้ำร้อนแสดงดังรูปที่ 3.16 จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการบ่มเร่งมาทดสอบหาปริมาณการเกิดเจล ปริมาณความเป็นผลึกและอุณหภูมิการเกิดผลึก สมบัติความต้านทานแรงดึง และสมบัติความต้านทานต่อแรงดัดงอ ตามวิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้น



รูปที่ 3.16 เครื่องทดสอบการบ่มเร่งด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส