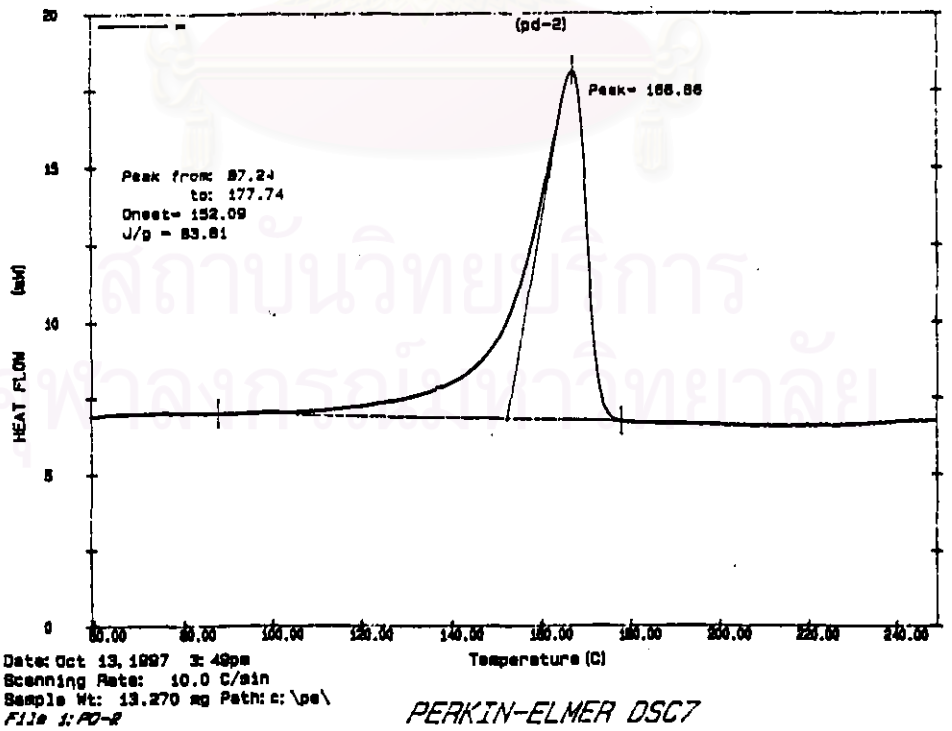
# บทที่ 4

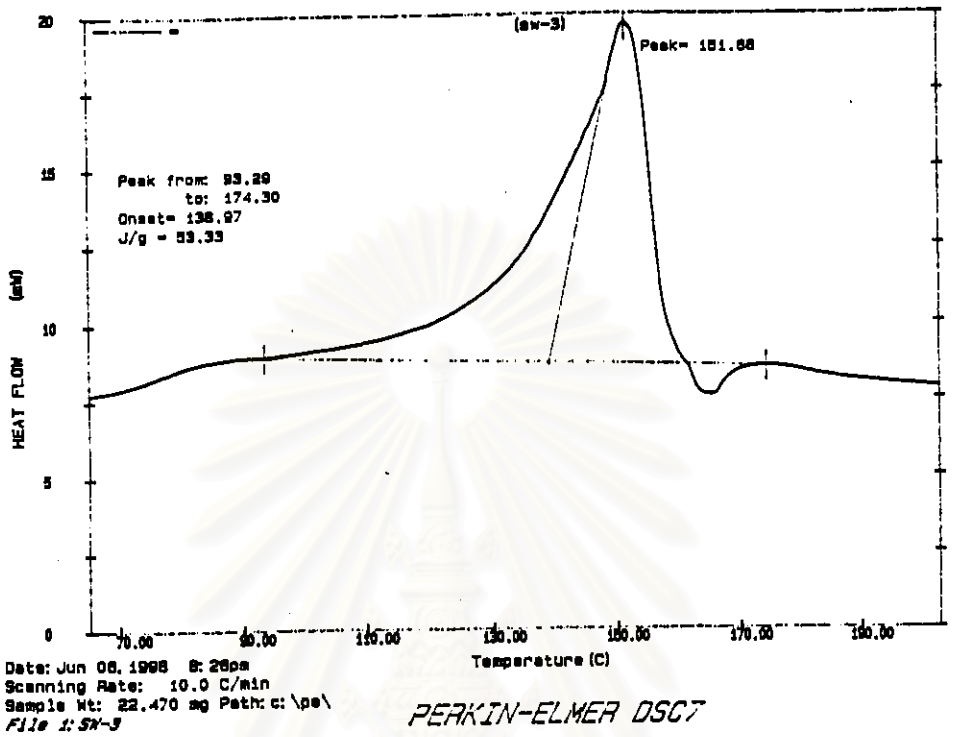
## ผลการทดลองและการวิจารณ์

### 4.1 การศึกษาสมบัติเชิงความร้อน

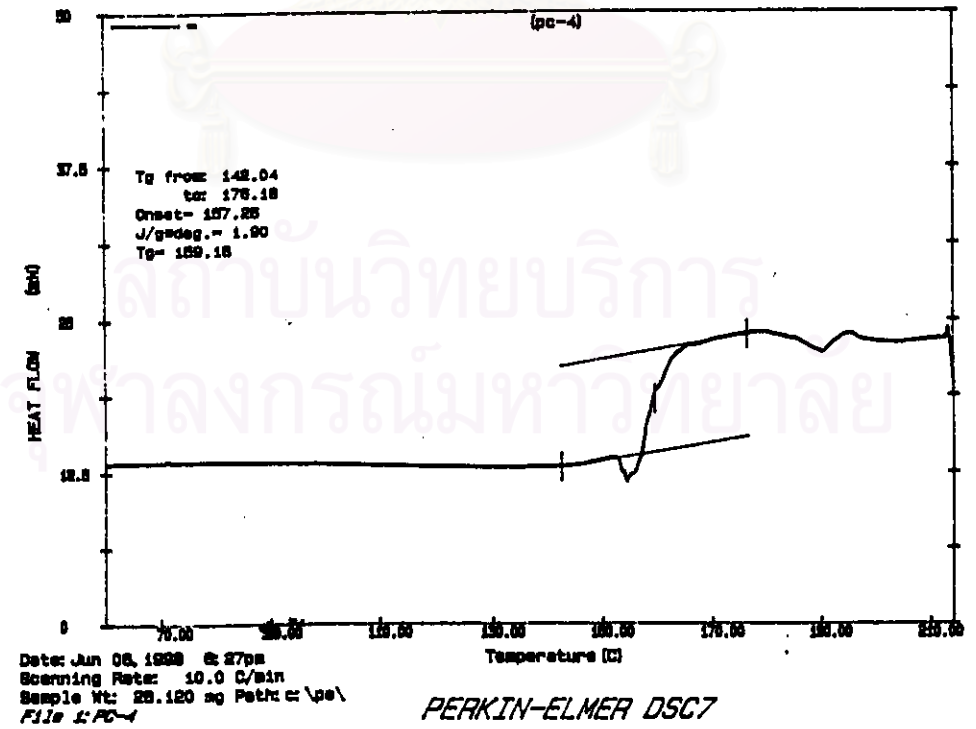
จากการศึกษาเพื่อดูจุดหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีน ชนิดเป่าฟิล์ม และชนิดหล่อฟิล์มด้วยเครื่อง DSC พบว่าพอลิโพรพิลีนชนิดเป่าฟิล์ม มีจุดหลอมเหลวที่ 166.86 องศาเซลเซียล และในชนิดหล่อฟิล์มมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าคือ 151.66 องศาเซลเซียล ตามภาพที่ 4.1 และ 4.2 จากการศึกษาพอลิคาร์บอเนตพบว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชั่นอยู่ที่ 159.16 องศาเซลเซียล ในกรณีนี้ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิกลาสทรานซิชั่น พอลิคาร์บอเนตจะเริ่มอ่อนตัวและหลอม จากกราฟในภาพที่ 4.3 พบว่าที่ปลายของกราฟมีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิประมาณ 215 องศาเซลเซียล ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นอุณหภูมิหลอมผลึกของพอลิคาร์บอเนต ในทางฤษฎีระบุอุณหภูมิกลาสทราซิชั่นของพอลิคาร์บอเนตเท่ากับ149 องศาเซลเซียล และอุณหภูมิหลอมผลึกเท่ากับ 220-230 องศาเซลเซียล ดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่าในการวิจัยนี้พอลิคาร์บอเนตมีการหลอมตัว




ภาพที่ 4.1 แสดงผลการทดลองจุดหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนชนิดเป่าฟิล์ม




ภาพที่ 4.2 แสดงผลการทดลองจุดหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนชนิดหล่อฟิล์ม




ภาพที่ 4.3 แสดงผลการทดลองอุณหภูมิกลาสทรานซิชั่นของพอลิคาร์บอเนต

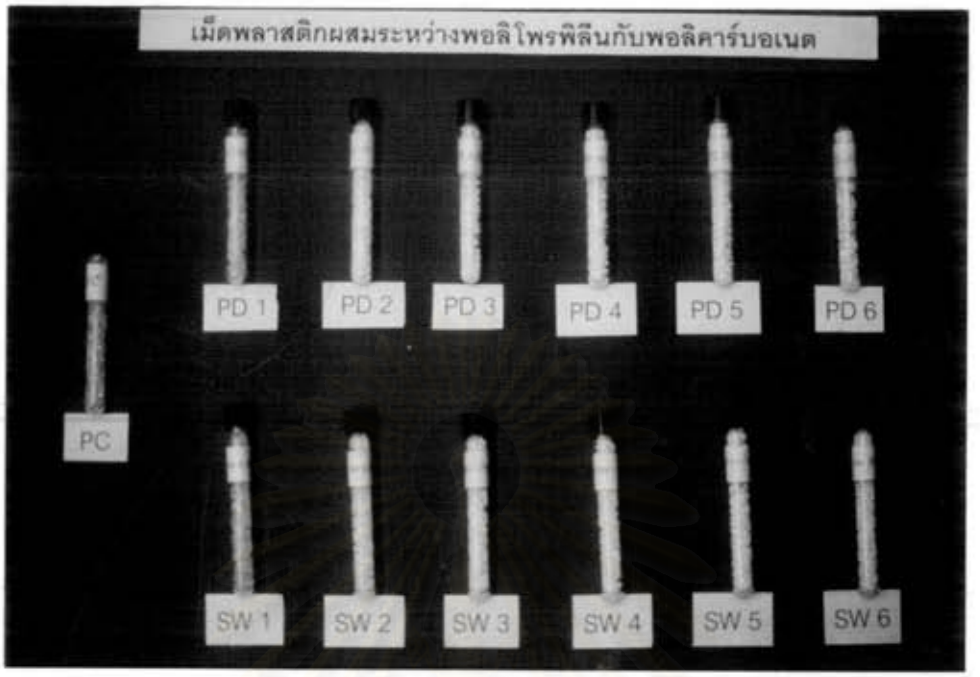
## 4.2 ภาวะการผสมพลาสติก

ในการทดลองนี้จะทำการผสมพลาสติกพอลิโพรพิลีนที่เติมปริมาณพอลิคาร์บอเนตในอัตราส่วนตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ จนถึง 25 เปอร์เซ็นต์ การผสมจะมีการผสม 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเป็นการผสมเพื่อให้เม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดกระจายผสมกันโดยใช้เครื่องเหวี่ยงผสมแบบแขนเดียว ผลการทดลองที่ได้คือ เม็ดพลาสติกพอลิคาร์บอเนตจะกระจายตัวอยู่ร่วมกับเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน เป็นการผสมเบื้องต้นก่อนทำการผสมในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ที่ใช้ในการทดลองนี้จะเลือกแบบที่มีการหมุนของสกรูสวนทางกัน จากการศึกษาสรุปภาวะการตั้งเครื่องสำหรับเตรียมเม็ดพลาสติกผสมตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงภาวะการตั้งเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ที่มีการหมุนของสกรูสวนทางกัน

| ตัวแปรที่ควบคุม | อัตราส่วนการผสมพอลิโพรพิลีนต่อพอลิคาร์บอเนต (V/V) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100/0 | 95/5 | 90/10 | 85/15 | 80/20 | 75/25 |
| 1.แถบความร้อนโซนที่ 1 (°C) | - | 195 | 195 | 195 | 200 | 200 |
| 2.แถบความร้อนโซนที่ 2 (°C) | - | 200 | 200 | 200 | 205 | 205 |
| 3.แถบความร้อนโซนที่ 3 (°C) | - | 205 | 205 | 205 | 210 | 210 |
| 4.แถบความร้อนโซนที่ 4 (°C) | - | 210 | 210 | 210 | 215 | 215 |
| 5.แถบความร้อนโซนที่ 5 (°C) | - | 215 | 215 | 215 | 220 | 220 |
| 6.แถบความร้อนบริเวณดาย(°C) | - | 215 | 215 | 215 | 220 | 220 |
| ความเร็วชุดอุปกรณ์ดึง (rpm) | - | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |

การเริ่มตั้งอุณหภูมิให้ความร้อนแก่กระบอกสกรูบริเวณแถบความร้อนของเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ จะพิจารณาจากค่าจุดหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนเป็นหลัก ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 165 องศาเซลเซียส จากนั้นบวกอุณหภูมิที่ต้องชดเชยเนื่องจากการสูญเสียความร้อนในเครื่องจักรประมาณ 50 องศาเซลเซียส ตามเทคนิคการเดินเครื่องอัดรีดพลาสติกทั่วไป ดังนั้น จะได้ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ตั้งแถบความร้อนบริเวณที่ 5 คือ 215 องศาเซลเซียส แล้วลดอุณหภูมิลงทุก ๆ 5 องศาเซลเซียส จนถึงแถบความร้อนบริเวณที่ 1 ตามตารางที่ 4.1 ผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนของพอลิโพรพิลีน 95 เปอร์เซ็นต์ และที่ 90 เปอร์เซ็นต์ สามารถจะอัดรีดผ่านเครื่องอัดรีดและตัดเป็นเม็ดใหม่ได้สมบูรณ์ตรงตามทฤษฎี คือ พอลิโพรพิลีนจะถูกขับผ่านหัวตายออกมาอย่างสม่ำเสมอไม่มีฟองอากาศแทรกตัวอยู่และมีความแข็งแรงของเส้นพอลิเมอร์หลอมดี แต่เมื่อมีปริมาณของพอลิคาร์บอเนตสูงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ผิวหน้าของเส้นพลาสติกมีขุยเกิดขึ้นแสดงว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ต่ำเกินไป เส้นพลาสติกผสมเมื่อออกจากดายมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำบริเวณผิวมีความหนืดสูงจึงเสียดสีกับบริเวณผิวสัมผัสของดาย จึงทดลองเพิ่มอุณหภูมิของแถบความร้อนจากทุกบริเวณเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียส สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ และอุณหภูมินี้สามารถใช้ได้กับส่วนผสมที่มีปริมาณพอลิคาร์บอเนต 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบได้ด้วย แสดงว่าปริมาณพอลิคาร์บอเนตที่ผสมในพอลิโพรพิลีนมีผลกระทบต่อการขึ้นรูปของพลาสติกผสม คือที่ปริมาณพอลิคาร์บอเนตสูงกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ พอลิคาร์บอเนตบางส่วนอาจจะยังหลอมตัวไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีอยู่ในปริมาณมากและอุณหภูมิหลอมผลึกอยู่ที่ 220-230 องศาเซลเซียส แต่พอลิโพรพิลีนนั้นหลอมตัวแล้ว ทำให้พอลิคาร์บอเนตที่อยู่บริเวณผิวมีความหนืดค่อนข้างสูงกว่าพอลิโพรพิลีน และเมื่อสัมผัสกับผิวของดายจึงเกิดขุยขึ้น ภาวะการตั้งเครื่องอัดรีดพลาสติกตามตารางที่ 4.1 สามารถใช้กับพลาสติกพอลิโพรพิลีนทั้งสองชนิดได้ เม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากกระบวนการนี้ แสดงในภาพที่ 4.4




ภาพที่ 4.4 แสดงเม็ดพลาสติกผสมที่ได้จากกระบวนการอัดรีดแบบสกรูคู่

## 4.3 ผลการทดลองความหนาแน่น

การทดลองศึกษาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกผสมด้วยเทคนิคการกระจายความหนาแน่น พบว่าเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนชนิดเป่าฟิล์มที่ไม่มีการเติมพอลิคาร์บอเนตมีความหนาแน่น 0.8885 กรัมต่อลูกบาศ์กเซนติเมตร ที่ 27.5 องศาเซลเซียส และเมื่อเติมพอลิคาร์บอเนตในอัตราส่วน 5,10,15,20,25 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าความหนาแน่นจะสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย ในกรณีเดียวกันพอลิโพรพิลีนชนิดงานหล่อจะให้ผลการทดลองเหมือนกันตามตารางที่ 4.2 และ 4.3

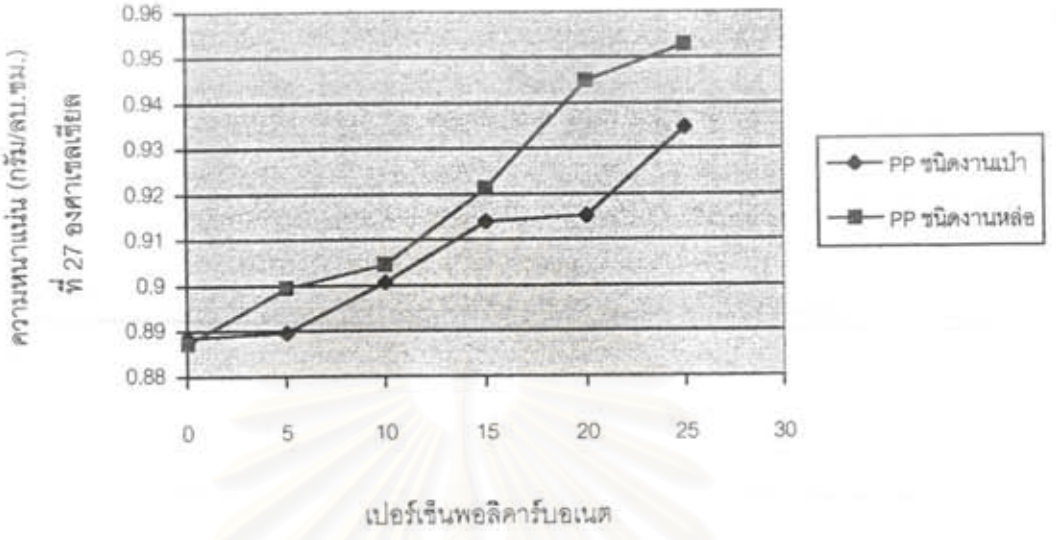
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนาแน่นของพลาสติกพอลิโพรพิลีนเกรดงานเป่าที่เติมพอลิคาร์บอเนต

| ตัวอย่าง | ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.) | |
|---|---|---|
| | ที่ 23 °C | ที่ 27 °C |
| PD 1 | 0.8886 | 0.8885 |
| PD 2 | 0.8898 | 0.8897 |
| PD 3 | 0.9008 | 0.9007 |
| PD 4 | 0.9142 | 0.9140 |
| PD 5 | 0.9154 | 0.9153 |
| PD 6 | 0.9348 | 0.9347 |

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความหนาแน่นของพลาสติกพอลิโพรพิลีนเกรดงานหล่อที่เติมพอลิคาร์บอเนต

| ตัวอย่าง | ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.) | |
|---|---|---|
| | ที่ 23 °C | ที่ 27 °C |
| SW 1 | 0.8874 | 0.8873 |
| SW 2 | 0.8996 | 0.8994 |
| SW 3 | 0.9045 | 0.9043 |
| SW 4 | 0.9215 | 0.9213 |
| SW 5 | 0.9494 | 0.9449 |
| SW 6 | 0.9530 | 0.9529 |




ภาพที่ 4.5 แสดงความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกผสมที่เติมพอลิคาร์บอเนต เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นพบว่าเม็ดพลาสติกผสมทั้ง 2 ชนิด มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน และเมื่อเติมพอลิคาร์บอเนตในอัตราส่วนต่าง ๆ พลาสติกผสมทั้ง 2 ชนิด แสดงแนวโน้มมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเหมือนกัน ดังนั้น ปริมาณของพอลิคาร์บอเนตที่เติมจึงมีผลต่อค่าความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน ทั้งนี้ เนื่องจากพอลิคาร์บอเนตมีค่าความหนาแน่นประมาณ 1.2 กรัมต่อลูกบาศ์กเซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าความหนาแน่นของพอลิโพรพิลีน เมื่อทำการผสมในพลาสติกพอลิโพรพิลีน จึงทำให้ความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกผสมเพิ่มขึ้น และแสดงแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นไปตามปริมาณของพอลิคาร์บอเนต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.4 ผลการทดลองความหนาแน่นปรากฏ และ pourability

จากการศึกษาการเคลื่อนตัวของเม็ดพลาสติกผสมในกรวยเติมเม็ดของเครื่องอัดรีด โดยการศึกษาเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นปรากฏและ pourability ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.4 และ4.5

**ความหนาแน่นปรากฏ** (Apparent Density)

การทดลองพบว่าเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนที่เติมพอลิคาร์บอเนตชนิดเป่าฟิล์ม มีแนวโน้มของความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นตามปริมาณของพอลิคาร์บอเนตแต่ไม่เด่นชัดมากนัก ส่วนเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนชนิดเดียวกันที่ไม่เติม มีค่าความหนาแน่นปรากฏสูงกว่าเม็ดพลาสติกผสมที่มีปริมาณพอลิคาร์บอเนต 5,10,15 เปอร์เซ็นต์ ในลักษณะเดียวกันเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนชนิดหล่อที่ไม่มีการเติมพอลิคาร์บอเนต พบว่ามีความหนาแน่นปรากฏสูงที่สุด ส่วนเม็ดพลาสติกผสมที่มีการเติมพอลิคาร์บอเนต พบว่าค่าความหนาแน่นปรากฏมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณของพอลิคาร์บอเนตที่เติม พอลิโพรพิลีนทั้ง 2 ชนิดที่ไม่มีการเติมพอลิคาร์บอเนตมีค่าความหนาแน่นปรากฏสูง แสดงว่ามีการจัดเรียงตัวของเม็ดพลาสติกสูง มีอากาศแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของเม็ดน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะรูปทรงของเม็ด เนื่องจากเป็นเม็ดที่ไม่มีการอัดรีดและตัดขึ้นรูปใหม่ รูปทรงภายนอกจึงมีลักษณะทรงกลม จึงมีโอกาสในการจัดเรียงตัวให้อยู่ใกล้ชิดกันตามแรงโน้มถ่วงโลกมากกว่า ส่วนเม็ดพลาสติกผสมจะผ่านการอัดรีดออกจากดายในลักษณะเป็นเส้นแล้วจึงนำมาตัดเป็นเม็ด ลักษณะเม็ดที่ได้จึงเป็นรูปทรงกระบอก ความสามารถในการจัดเรียงตัวให้อยู่ใกล้ชิดกันจึงมีต่ำกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบเม็ดพลาสติกผสมแต่ละอัตราส่วนพบว่าปริมาณของพอลิคาร์บอเนตส่งผลให้ค่าความหนาแน่นปรากฏมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิคาร์บอเนตมีความหนาแน่นสูงกว่าพอลิโพรพิลีน เมื่อนำมาผสมกันทำให้มวลของเม็ดพลาสติกผสมเพิ่มขึ้นตามปริมาณของพอลิคาร์บอเนตที่เติม เป็นเหตุให้มีแนวโน้มในการจัดเรียงตัวของเม็ดพลาสติกตามแรงโน้มถ่วงโลกสูงขึ้น ค่าความหนาแน่นปรากฏจึงสูงขึ้น

Pourability

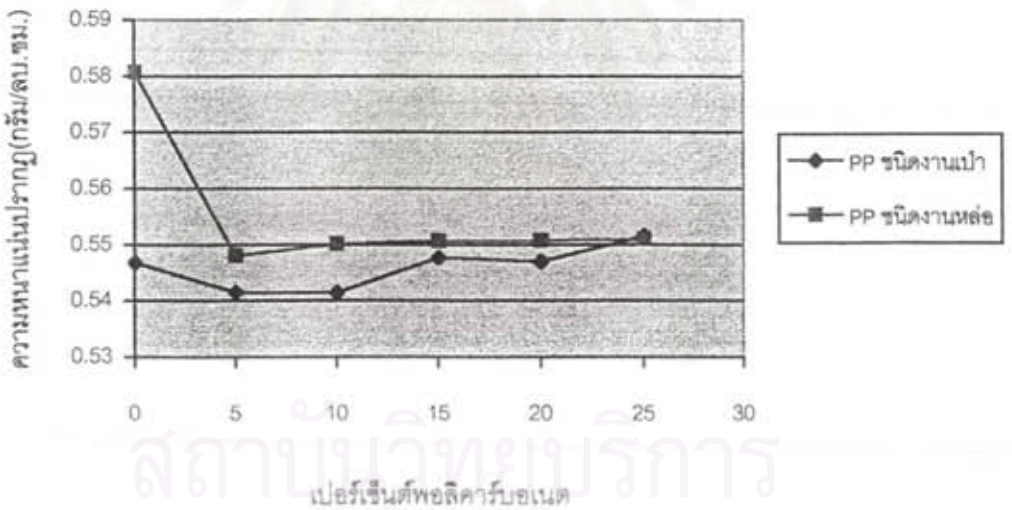
ในทดลองนี้พลาสติกพอลิโพรพิลีนที่ไม่เติมพอลิคาร์บอเนตชนิดฟิล์มเป่า มีความสามารถในการไหลตามแรงโน้มถ่วงโลก 100 กรัมในเวลา 1.12 วินาที เมื่อเติมพอลิคาร์บอเนตในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าแนวโน้มในการไหลของเม็ดภายในกรวยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และในเม็ดพลาสติกผสมพอลิโพรพิลีนชนิดงานหล่อก็ให้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มในทางเดียวกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปริมาณพอลิคาร์บอเนตที่เติมลงในพอลิโพรพิลีนส่งผลกระทบต่อการไหลของเม็ดพลาสติกในกรวย ทำให้มีการไหลตามแรงโน้มถ่วงโลกดีขึ้น ไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการผลิต และสามารถเดินขั้นตอนการผลิตได้ตามปกติ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความหนาแน่นปรากฏและ pourability ของเม็ดพลาสติกผสมพอลิโพรพิลีนชนิดเป่าฟิล์ม

| ตัวอย่าง | ความหนาแน่นปรากฏ (กรัม/ลบ.ซม.) | Pourabilty (วินาที/100กรัม) |
|---|---|---|
| PD 1 | 0.5468 | 1.12 |
| PD 2 | 0.5415 | 1.16 |
| PD 3 | 0.5414 | 1.16 |
| PD 4 | 0.5477 | 1.12 |
| PD 5 | 0.5470 | 1.24 |
| PD 6 | 0.5516 | 1.26 |

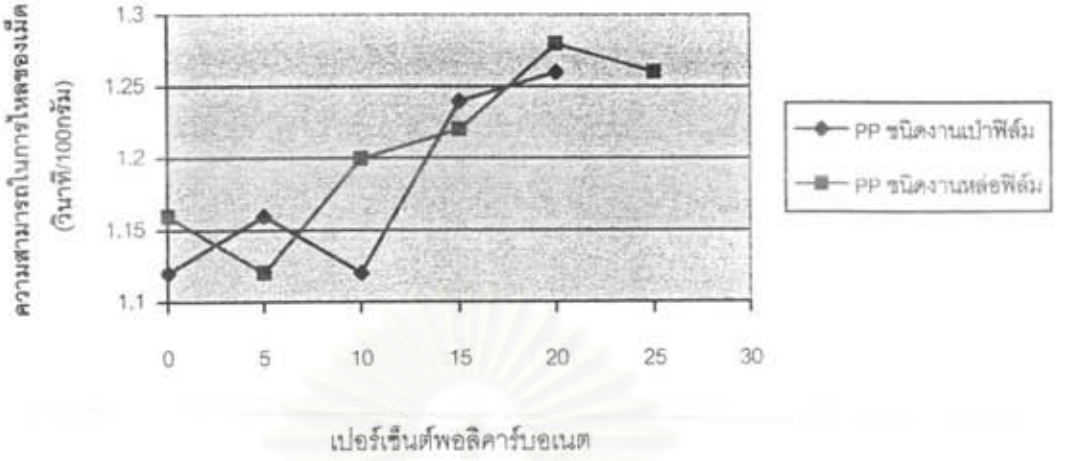
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความหนาแน่นปรากฏและ pourability ของเม็ดพลาสติกผสมพอลิโพรพิลีนชนิดหล่อฟิล์ม

| ตัวอย่าง | ความหนาแน่นปรากฏ (กรัม/ลบ.ซม.) | Pourability (วินาที/100กรัม) |
|---|---|---|
| SW 1 | 0.58058 | 1.16 |
| SW 2 | 0.5480 | 1.12 |
| SW 3 | 0.5501 | 1.20 |
| SW 4 | 0.5507 | 1.22 |
| SW 5 | 0.5508 | 1.28 |
| SW 6 | 0.5510 | 1.26 |




ภาพที่ 4.6 แสดงความหนาแน่นปรากฏของเม็ดพลาสติกผสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




ภาพที่ 4.7 แสดงค่า pourability ของเม็ดพลาสติกผสม

## 4.5 ผลการทดลองค่าดรรชนีการไหล

การศึกษาค่าดรรชนีการไหลของเม็ดพลาสติกผสม เมื่อเติมพอลิคาร์บอเนต อัตราส่วนต่างๆ ในพอลิโพรพิลีนชนิดเป่าฟิล์ม พบว่าค่าดรรชนีการไหลมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของพอลิคาร์บอเนตที่เป็นตัวเติม และในกรณีของพอลิโพรพิลีนชนิดงานหล่อฟิล์ม ก็ให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน จากการเปรียบเทียบค่าดรรชนีการไหลของพอลิโพรพิลีนทั้ง 2 ชนิด ที่ยังไม่มีการเติมพอลิคาร์บอเนต พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก คือพอลิโพรพิลีนชนิดงานเป่าฟิล์ม มีค่าดรรชนีการไหลที่ 11.2656 กรัมต่อ 10 นาที และชนิดงานหล่อมีค่าดรรชนีการไหลที่ 11.2668 กรัมต่อ 10 นาที แต่เมื่อเติมพอลิคาร์บอเนตในพลาสติกทั้ง 2 ชนิด อัตราการลดลงของค่าดรรชนีการไหลในพลาสติกพอลิโพรพิลีนชนิดงานเป่าจะมีมากกว่าในพลาสติกชนิดงานหล่อ แสดงว่าการเติมพอลิคาร์บอเนตปริมาณเท่ากันในพลาสติกทั้ง 2 ชนิด พอลิคาร์บอเนตจะมีผลในการเพิ่มความหนืดของพอลิโพรพิลีนชนิดงานเป่าได้มากกว่า พอลิโพรพิลีนชนิดงานหล่อ แต่โดยภาพรวมพบว่าค่าความหนืดของพลาสติกทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้นตามปริมาณของพอลิคาร์บอเนตที่เป็นตัวเติม ทั้งนี้เป็นเพราะพอลิคาร์บอเนตที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าดรรชนีการไหลที่ 4.4557 กรัมต่อ 10 นาที ซึ่งมีความหนืดสูง ถ้าเทียบกับความหนืดของพอลิโพรพิลีนทั้ง 2 ชนิด ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นส่ง

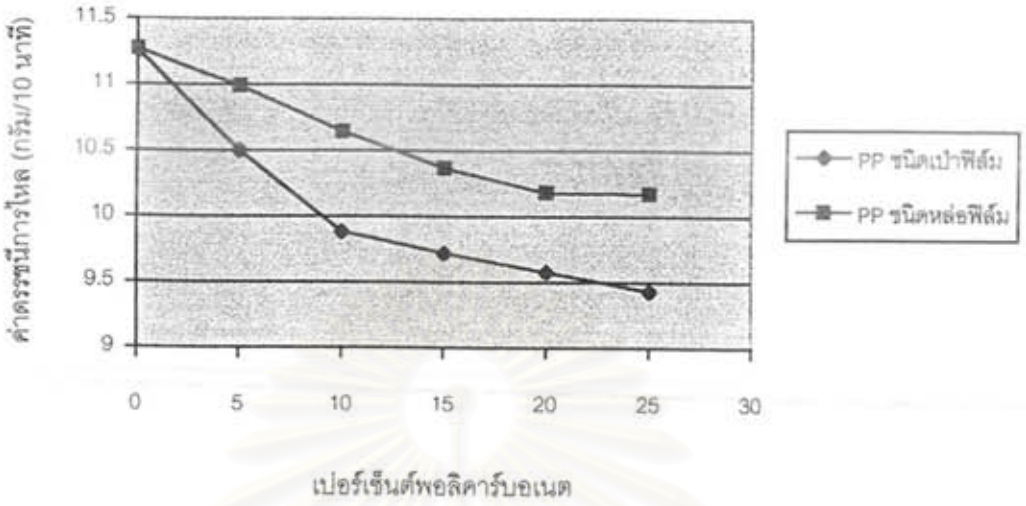
ผลในการผลิตฟิล์ม คือ ต้องใช้กำลังมอเตอร์ในการหมุนสกรูเพิ่มขึ้นในการผลิตจริง จะเป็นการเพิ่มต้นทุนค่าไฟฟ้าและเนื้อของพลาสติกหลอมผ่านดายลำบากขึ้น แต่การคงรูปของฟิล์มจะดีขึ้น แต่ในการทดลองนี้ความหนืดที่เพิ่มขึ้นส่งผลน้อยมากต่อกระบวนการผลิต เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าดรรชนีการไหลของพลาสติกผสม พอลิโพรพิลีนชนิดเป่าฟิล์ม

| ตัวอย่าง | ปริมาณพลิคาร์บอเนต (%) | ค่าดรรชนีการไหล (กรัม/ 10 นาที) |
|---|---|---|
| PD 1 | 0 | 11.26 |
| PD 2 | 5 | 10.50 |
| PD 3 | 10 | 9.88 |
| PD 4 | 15 | 9.72 |
| PD 5 | 20 | 9.58 |
| PD 6 | 25 | 9.43 |

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าดรรชนีการไหลของพลาสติกผสม พอลิโพรพิลีนชนิดหล่อฟิล์ม

| ตัวอย่าง | ปริมาณพลิคาร์บอเนต (%) | ค่าดรรชนีการไหล (กรัม/ 10 นาที) |
|---|---|---|
| SW 1 | 0 | 11.27 |
| SW 2 | 5 | 10.99 |
| SW 3 | 10 | 10.64 |
| SW 4 | 15 | 10.37 |
| SW 5 | 20 | 10.18 |
| SW 6 | 25 | 10.17 |




ภาพที่ 4.8 แสดงค่าดรรชนีการไหลของเม็ดพลาสติกผสมที่เปอร์เซ็นต์พอลิคาร์บอเนตต่างๆ

## 4.6 การศึกษาภาวะการผลิตฟิล์ม

ตารางที่ 4.8 แสดงภาวะการเครื่องอัดรีดฟิล์มและการผลิตฟิล์มเป่า

| ตัวแปรที่ควบคุม | ภาวะการผลิตฟิล์ม (พอลิโพรพิลีนต่อพอลิคาร์บอเนต,V/V) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100/0 | 95/5 | 90/10 | 85/15 | 80/20 | 75/25 |
| 1.แถบความร้อนโซนที่ 1 (°C) | 170 | 170 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| 2.แถบความร้อนโซนที่ 2 (°C) | 175 | 175 | 185 | 185 | 185 | 185 |
| 3.แถบความร้อนโซนที่ 3 (°C) | 180 | 180 | 190 | 190 | 190 | 190 |
| 4.แถบความร้อนโซนที่ 4 (°C) | 185 | 185 | 195 | 195 | 195 | 195 |
| 5.แถบความร้อนโซนที่ 5 (°C) | 190 | 190 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 6.แถบความร้อนบริเวณดาย(°C) | 190 | 190 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| ความเร็วชุดอุปกรณ์ดึงฟิล์ม (rpm) | 16-17 | 16-17 | 16-17 | 16-17 | 16-17 | 16-17 |

ตารางที่ 4.9 แสดงภาวะการเครื่องอัดรีดฟิล์มและการผลิตฟิล์มหล่อ

| ตัวแปรที่ควบคุม | ภาวะการผลิตฟิล์ม (พอลิโพรพิลีนต่อพอลิคาร์บอเนต,V/V) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100/0 | 95/5 | 90/10 | 85/15 | 80/20 | 75/25 |
| 1.แถบความร้อนโซนที่ 1 (°C) | 170 | 170 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| 2.แถบความร้อนโซนที่ 2 (°C) | 175 | 175 | 185 | 185 | 185 | 185 |
| 3.แถบความร้อนโซนที่ 3 (°C) | 180 | 180 | 190 | 190 | 190 | 190 |
| 4.แถบความร้อนโซนที่ 4 (°C) | 185 | 185 | 195 | 195 | 195 | 195 |
| 5.แถบความร้อนโซนที่ 5 (°C) | 190 | 190 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 6.แถบความร้อนบริเวณตาย (°C) | 190 | 190 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| ความเร็วอุปกรณ์ม้วนฟิล์ม (rpm) | 10-12 | 10-12 | 10-12 | 10-12 | 10-12 | 10-12 |

จากการศึกษาภาวะการผลิตฟิล์มพอลิโพรพิลิน ด้วยกระบวนการเป่าฟิล์มและกระบวนการหล่อฟิล์ม จะกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นในการผลิตเช่นเดียวกับการกำหนดอุณหภูมิในการผสมพลาสติกด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการตั้งเครื่องรีดอัดเพื่อผลิตฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ไม่มีการเติมพอลิคาร์บอเนต ใช้อุณหภูมิสูงสุด 190 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมินี้สามารถใช้ในการผลิตฟิล์มผสมที่มีปริมาณพอลิคาร์บอเนตอยู่ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปริมาณพอลิคาร์บอเนตเพิ่มเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการควบคุมคุณภาพของฟิล์มจะลำบากขึ้น คือ ฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะของความหนาไม่สม่ำเสมอ แสดงว่าความหนืดของพลาสติกค่อนข้างสูง การที่ความหนืดสูงสันนิษฐานว่ามาจากปริมาณของพอลิคาร์บอเนตมีมากขึ้นส่งผลให้ผลรวมของอุณหภูมิในการหลอมเหลวสูงขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากพอลิคาร์บอเนตมีอุณหภูมิหลอมเหลวสูงกว่าพอลิโพรพิลีน แต่เมื่อทำการปรับอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 200 องศาเซลเซียส สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

ตารางที่ 4.10 แสดงความขนาดของฟิล์มที่ผลิต

| กระบวนการผลิต | ความกว้าง (มม.) | ความหนา (มม.) |
|---|---|---|
| กระบวนการเป่าฟิล์ม | 80 | 0.04 |
| กระบวนการหล่อฟิล์ม | 120 | 0.06 |

ภาพที่ 4.9 ฟิล์มที่ได้จากกระบวนการเป่าฟิล์มและกระบวนการหล่อฟิล์ม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.7 การศึกษาความทนแรงดึง

จากการทดลองความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของพอลิโพรพิลีนชนิดเป่าฟิล์มและหล่อฟิล์มได้ ผลการทดลอง ตามตารางที่ 4.11 และ 4.12

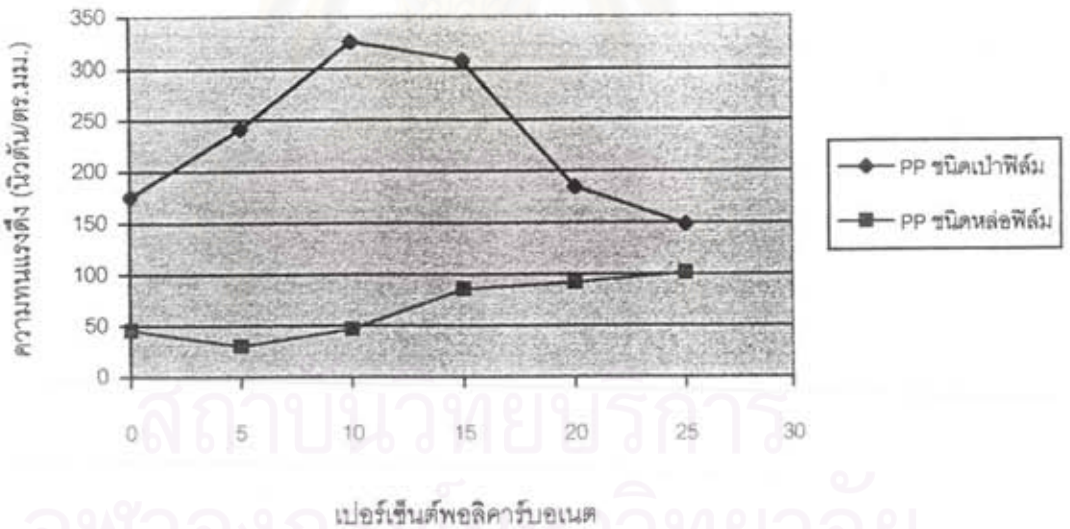
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบแรงดึงของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่เติมพอลิคาร์บอเนต ที่ได้จากกระบวนการเป่าฟิล์ม

| ตัวอย่าง | ปริมาณพอลิคาร์บอเนต (% V/V) | ความทนแรงดึง ($N/mm^2$) | เปอร์เซ็นต์การยืดก่อนขาด |
|---|---|---|---|
| PD 1 | 0 | 175.6 | 0.4586 |
| PD 2 | 5 | 241.3 | 0.2900 |
| PD 3 | 10 | 325.6 | 0.1938 |
| PD 4 | 15 | 307.5 | 0.1585 |
| PD 5 | 20 | 184.8 | 0.3138 |
| PD 6 | 25 | 148.3 | 0.4904 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

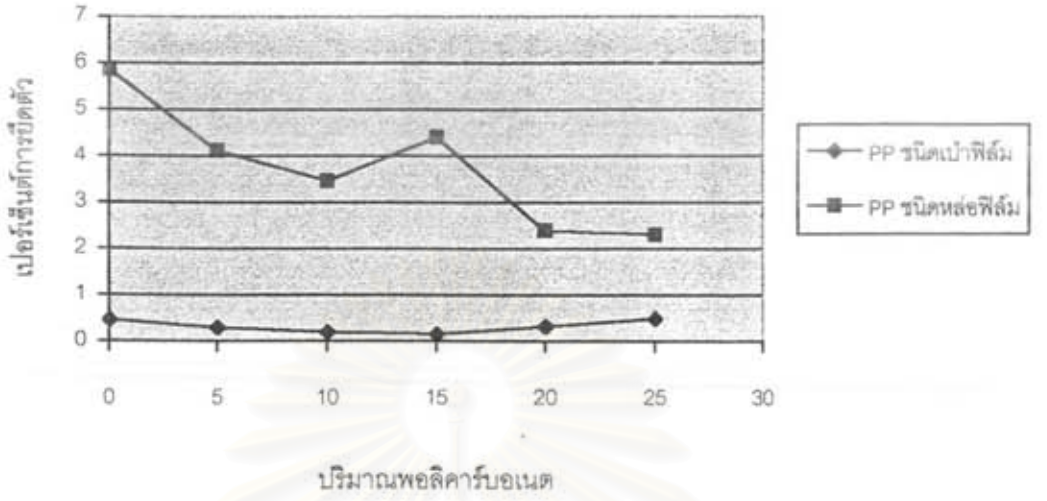
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบแรงดึงของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่เติมพอลิคาร์บอเนต ที่ได้จากกระบวนการหล่อฟิล์ม

| ตัวอย่าง | ปริมาณพอลิคาร์บอเนต (% V/V) | ความทนแรงดึง ($N/mm^2$) | เปอร์เซ็นต์การยืดก่อนขาด |
|---|---|---|---|
| SW 1 | 0 | 45.77 | 5.843 |
| SW 2 | 5 | 29.65 | 4.116 |
| SW 3 | 10 | 46.98 | 3.461 |
| SW 4 | 15 | 85.26 | 4.407 |
| SW 5 | 20 | 91.69 | 2.390 |
| SW 6 | 25 | 101.10 | 2.307 |




ภาพที่ 4.10 แสดงค่าความทนแรงดึงของฟิล์มผสมที่เปอร์เซ็นต์พอลิคาร์บอเนตต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




ภาพที่ 4.11 แสดงการยืดตัวของฟิล์มพลาสติกผสมที่เปอร์เซ็นต์พอลิคาร์บอเนตต่างๆ

ในการทดลองนี้ศึกษาความทนแรงดึงของฟิล์มเป่าตามแนวเครื่องจักร พบว่าเมื่อเติมปริมาณพอลิคาร์บอเนตในอัตราส่วน 5-10 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยเพิ่มความทนแรงดึงของฟิล์ม แสดงว่าฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ที่ปริมาณพอลิคาร์บอเนตที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ค่าความทนแรงดึงจะมีแนวโน้มต่ำลงและฟิล์มจากกระบวนการเป่าฟิล์มที่เติมพอลิคาร์บอเนต 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความทนแรงดึงสูงสุด ทั้งนี้เป็นเพราะพอลิคาร์บอเนตที่แทรกตัวอยู่ในพอลิโพรพิลีนที่เป็นเมทริกซ์มีโอกาสจัดเรียงตัวตามแนวเครื่องจักรสูง และโมเลกุลมีความแข็งแรงสูงกว่าพอลิโพรพิลีน จึงช่วยเสริมความแข็งแรงของฟิล์มได้ ที่ 15 เปอร์เซ็นต์พอลิคาร์บอเนต ฟิล์มมีความทนแรงดึงต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของพอลิคาร์บอเนตอาจจะมีปริมาณสูง จึงมีโอกาสที่จะจัดเรียงตัวกันเองหรือสร้างพันธะทำให้มีขนาดโลกุลใหญ่ขึ้นจึงเกิดการแยกเฟสมากขึ้น ส่วนฟิล์มที่ได้จากการหล่อ เมื่อมีการเติมพอลิคาร์บอเนตประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าความทนแรงดึงจะลดลง แต่เมื่อเติมพอลิคาร์บอเนต 10,15, 20, 25 เปอร์เซ็นต์ ค่าความทนแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับซึ่งอาจแสดงถึงการแยกเฟสภายในเนื้อฟิล์ม และแสดงสมบัติของพอลิคาร์บอเนตที่ผสมอยู่

จากการศึกษาการยืดตัวของฟิล์มพบว่าปริมาณพอลิคาร์บอเนตมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การยืดตัวในฟิล์มขนิดหล่อมีแนวโน้มของการยืดตัวลดลง แต่เมื่อมีปริมาณพอลิคาร์บอเนต 15 เปอร์เซ็นต์ ค่าการยืดตัวจะสูงขึ้น แต่ยังต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่มีการเติมพอลิคาร์บอเนต ในกรณีฟิล์มเป่า การเติมพอลิคาร์บอเนต 5,10 เปอร์เซ็นต์ ค่าการยืดของฟิล์มจะลดต่ำลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิคาร์บอเนต 15, 20, 25 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าการยืดของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

## 4.8 การศึกษาความขุ่น

ผลการทดลองค่าความขุ่นของฟิล์ม แสดงในตารางที่ 4.13 และ 4.14 จากการศึกษาความขุ่นของฟิล์มพลาสติกผสมพบว่าในฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ได้จากกระบวนการเป่าฟิล์ม ที่ไม่ผสมพอลิคาร์บอเนตมีค่าความขุ่นของแผ่นฟิล์ม 36.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อการเติมพอลิคาร์บอเนต 5 เปอร์เซ็นต์ ความขุ่นของฟิล์มเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 79.3 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 216 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อมีปริมาณพอลิคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นประมาณ 227 เปอร์เซ็นต์จากฟิล์มที่ไม่ได้ผสมพอลิคาร์บอเนต ความขุ่นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของพอลิคาร์บอเนตที่ผสมอยู่ ในกรณีเดียวกันฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ได้จากกระบวนการหล่อฟิล์ม มีค่าความขุ่นอยู่ที่ 18.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผสมพอลิคาร์บอเนตในอัตรา 5, 10,15,20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่ามีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้น 442,468,481,483 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การทดลองฟิล์มผสมที่ได้จากกระบวนการเป่ามีความขุ่นสูงกว่า ฟิล์มพอลิโพรพิลีนผสมที่ได้จากกระบวนการหล่อทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับเวลาที่ฟิล์มออกมาจากดายแล้วเกิดการเย็นตัว ในฟิล์มที่ได้จากกระบวนการเป่านั้นจะมีช่วงที่สัมผัสอากาศทำให้เกิดการเย็นตัวของพอลิเมอร์หลอมอยู่ช่วงหนึ่งก่อนจะหล่อเย็นฟิล์มด้วยน้ำ ส่วนฟิล์มที่ได้จากกระบวนการหล่อนั้นเมื่อออกจากหัวดายจะมีระยะสัมผัสกับอากาศก่อนที่จะผ่านไปยังลูกกลิ้งหล่อเย็นน้อยกว่า จึงทำให้เกิดการจัดเรียงตัวเป็นผลึกของฟิล์มดังกล่าวเป็นไปได้น้อยกว่า สอดคล้องกับทฤษฎี คือ พอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semicrystalline) เมื่อเย็นตัวอย่างช้าๆ โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์จะมีการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบเกิดบริเวณที่เป็นผลึกมาก ดังนั้น สมบัติของฟิล์มที่ได้จึงขุ่น ขณะเดียวกันถ้าปล่อยให้พอลิเมอร์เย็นตัวอย่างรวดเร็ว พอลิเมอร์ไม่มีเวลาในการจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบ ฟิล์มที่ได้จึงมีความใสสูงกว่า

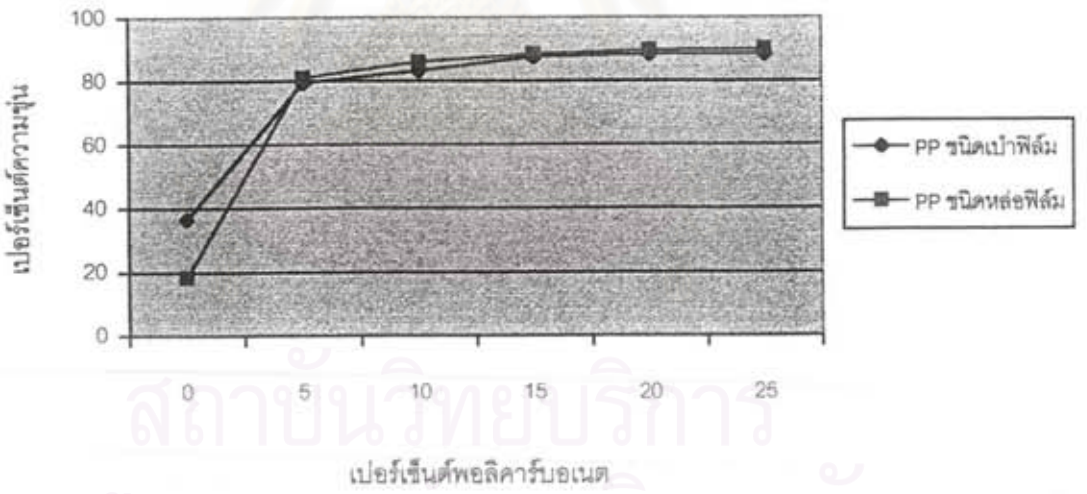
ผลของพอลิคาร์บอเนตที่มีต่อความใสของฟิล์ม จากการศึกษาพบว่าการเติมพอลิคาร์บอเนต 5 เปอร์เซ็นต์ ในฟิล์มพอลิโพรพิลีนจะทำให้ความขุ่นของฟิล์มทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อเติมพอลิคาร์บอเนต 10,15,20,25 เปอร์เซ็นต์ ค่าระดับความขุ่นจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของพอลิคาร์บอเนตที่เติม แต่เมื่อเทียบกับที่ระดับความขุ่นของฟิล์มที่เติมพอลิคาร์บอเนต 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีอัตราการเพิ่มของระดับความขุ่นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งฟิล์มทั้ง 2 ชนิด แสดงแนวโน้มของอัตราการเพิ่มของความขุ่นไปในทิศทางเดียวกัน การที่ค่าระดับความขุ่นของฟิล์มทั้ง 2 ชนิด เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงว่าพอลิคาร์บอเนตมีผลอย่างยิ่งต่อความขุ่นของฟิล์ม ทั้งนี้เนื่องจากพอลิคาร์บอเนตที่เติมจะไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับฟิล์ม แต่จะแทรกตัวอยู่ภายในเนื้อของฟิล์ม ในลักษณะเดียวกับวัสดุเชิงประกอบ โดยมีพอลิโพรพิลีนเป็นเมทริกซ์ล้อมอยู่รอบโมเลกุลของพอลิคาร์บอเนต ในขณะเดียวกันโมเลกุลของพอลิคาร์บอเนตจะทำหน้าที่คล้ายนิวคลีโอไฟล์ (nucleophile) ในการช่วยให้พอลิโพรพิลีนจัดเรียงตัวเกิดเป็นผลึกได้เร็วขึ้น ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความขุ่นของฟิล์มที่ไม่มีการเติมพอลิคาร์บอเนตและฟิล์มที่มีการเติมพอลิคาร์บอเนต พบว่าฟิล์มที่มีการเติมพอลิคาร์บอเนตจะไม่เหมาะสมต่อการใช้งานที่ต้องการความใส

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความขุ่นพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรดงานเป่า ที่เติมพอลิคาร์บอเนต

| ตัวอย่าง | พอลิคาร์บอเนต (% V/V) | ค่าความขุ่น (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|---|
| PD 1 | 0 | 36.6 |
| PD 2 | 5 | 79.3 |
| PD 3 | 10 | 83.3 |
| PD 4 | 15 | 87.6 |
| PD 5 | 20 | 88.4 |
| PD 6 | 25 | 88.5 |

ตารางที่ 1.14 แสดงค่าความขุ่นของพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรดงานหล่อ ที่เติมพอลิคาร์บอเนต

| ตัวอย่าง | พอลิคาร์บอเนต (% V/V) | ค่าความขุ่น (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|---|
| SW 1 | 0 | 18.4 |
| SW 2 | 5 | 81.4 |
| SW 3 | 10 | 86.1 |
| SW 4 | 15 | 88.5 |
| SW 5 | 20 | 89.7 |
| SW 6 | 25 | 90.2 |




ภาพที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์ความขุ่นของฟิล์มที่ผสมพอลิคาร์บอเนต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.9 การศึกษาความทนการฉีกขาด

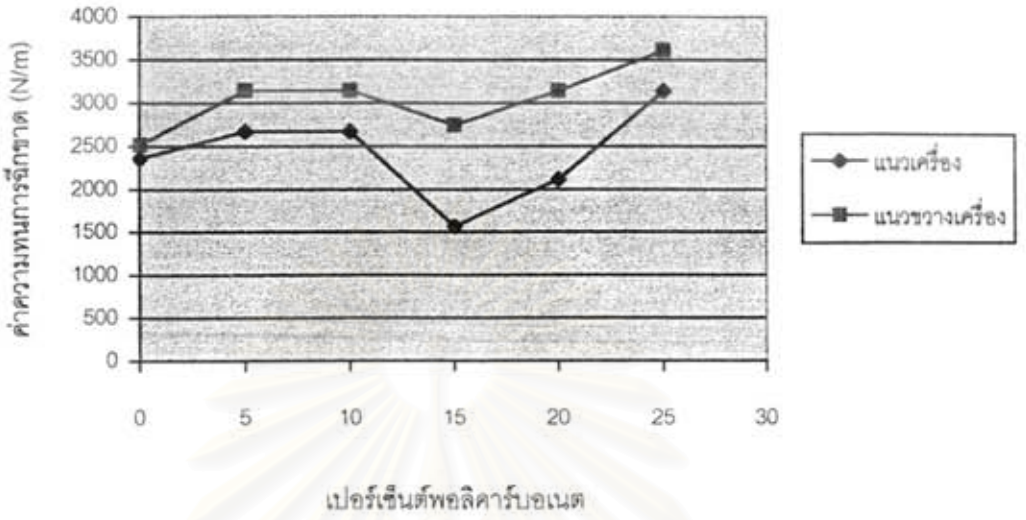
การศึกษาความทนการฉีกขาดของฟิล์มพลาสติกผสมพอลิโพรพิลิน ที่เติมพอลิคาร์บอเนต ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.15 และ 4.16 ค่าความคงทนการฉีกขาดของฟิล์มพอลิคาร์บอเนตที่ได้จากกระบวนการเป่าฟิล์มที่เติมพอลิคาร์บอเนต 5 และ 10 เปอร์เซนต์ จะเพิ่มความทนการฉีกขาดของฟิล์มทั้งในแนวเครื่องจักร และแนวขวาง โดยผลของการเติมพอลิคาร์บอเนต 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ จะเพิ่มความทนการฉีกขาดของฟิล์มได้เท่ากัน ถ้าเพิ่มปริมาณของพอลิคาร์บอเนตเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ ค่าความทนการฉีกขาดของฟิล์มจะลดลงมาก แต่ถ้าเพิ่มปริมาณพอลิคาร์บอเนตเป็น 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ความทนการฉีกขาดของฟิล์มจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการเติมพอลิคาร์บอเนตที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีของฟิล์มผสมที่ได้จากกระบวนการหล่อฟิล์มก็ให้ผลทำนองเดียวกัน โดยปริมาณของพอลิคาร์บอเนต 5, 10, 15, 20, และ 25 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าความทนการฉีกขาดตามแนวเครื่องจักรเพิ่มสูงขึ้นและตามแนวขวางให้แนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ในกรณีที่ปริมาณการเติมพอลิคาร์บอเนตที่ 15 เปอร์เซ็นต์ จะมีความทนการฉีกขาดต่ำที่สุด สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า ที่ปริมาณพอลิคาร์บอเนตต่ำๆ พอลิคาร์บอเนตจะมีการจัดเรียงโมเลกุลและยืดตัวออกในลักษณะที่มีความยาวมากกว่าความกว้างคล้ายเส้นใยกระจัดกระจายทั่วไปในแผ่นฟิล์ม ดังนั้นจึงทำหน้าที่ในการช่วยเสริมแรงให้กับแผ่นฟิล์ม แต่ถ้าปริมาณพอลิคาร์บอเนตมีเพิ่มขึ้นถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการช่วยเสริมแรงจะน้อยลง เป็นเพราะพอลิคาร์บอเนตเริ่มโยงพันธะและรวมกลุ่มกันเองใหญ่ขึ้น เป็นเหตุให้เกิดการแยกเฟส ระหว่างเมทริกซ์ และเฟสกระจาย กระจัดกระจายทั่วแผ่นฟิล์ม เมื่อมีการเพิ่มปริมาณพอลิคาร์บอเนต แนวโน้มการทนการฉีกขาดจะเพิ่มขึ้นทั้งนี้มาจากพอลิคาร์บอเนตมีปริมาณมากพอที่จะแสดงสมบัติของตัวเอง ซึ่งปกติพอลิคาร์บอเนตจะมีค่าความทนการฉีกขาดสูงกว่าพอลิโพรพิลีน

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดสอบความทนการฉีกขาดของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่เติมพอลิคาร์บอเนต จากกระบวนการเป่าฟิล์ม

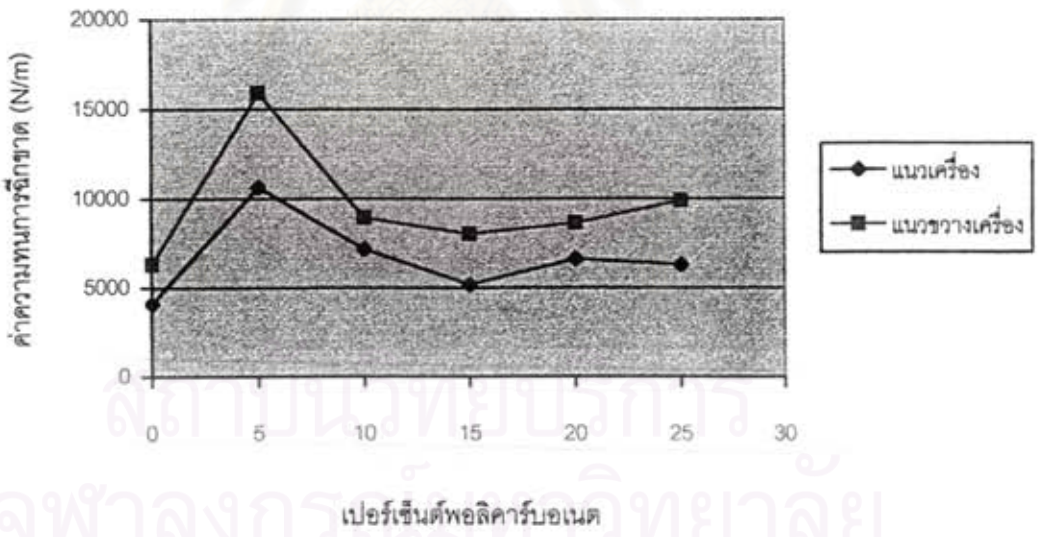
| ตัวอย่าง | ค่าเฉลี่ยความทนการฉีกขาด (N/m) | |
|---|---|---|
| | ทดสอบแนวเครื่องจักร | ทดสอบแนวขวาง |
| PD 1 | 2354.40 | 2511.36 |
| PD 2 | 2668.32 | 3139.20 |
| PD 3 | 2668.32 | 3139.20 |
| PD 4 | 1569.60 | 2746.8 |
| PD 5 | 2118.96 | 3139.20 |
| PD 6 | 3139.20 | 3610.68 |

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการทดสอบความทนการฉีกขาดของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่เติมพอลิคาร์บอเนต จากกระบวนการหล่อฟิล์ม

| ตัวอย่าง | ค่าเฉลี่ยความทนการฉีกขาด (N/m) | |
|---|---|---|
| | ทดสอบแนวเครื่องจักร | ทดสอบแนวขวาง |
| SW 1 | 4080.96 | 6278.40 |
| SW 2 | 10638.40 | 15892.20 |
| SW 3 | 7150.40 | 8894.40 |
| SW 4 | 5179.68 | 8004.96 |
| W 5 | 6592.32 | 8632.80 |
| SW 6 | 6278.40 | 9888.48 |




ภาพที่ 4.13 แสดงค่าความทนการฉีกขาดของฟิล์มผสมชนิดฟิล์มเป่า




ภาพที่ 4.14 แสดงค่าความทนการฉีกขาดของฟิล์มผสมชนิดฟิล์มหล่อ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย