# การศึกษาเพื่อหาวัสดุพอลิเมอร์ที่เหมาะสมของฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ พร้อมทั้งประเมินอายุการใช้งาน

## Study on Polymer Selecting for a Hinged Opened-Closed Cap Using Lifetime Assessment Analysis

สรัญญา เมืองน้อย, สุรศักดิ์ สุรนันทชัย* และ ศิรินทร ทองแสง
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
*Corresponding author: โทร. 0-2470-9206 โทรสาร 0-2872-9080 E-mail: surasak.sur@kmutt.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อออกแบบและเลือกวัสดุพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ฝาเปิด-ปิดขวดบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้ได้มาซึ่งชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์และมีอายุการใช้งานที่ดีขึ้น จากการออกแบบบริเวณบานพับของชิ้นงานพบว่ารูปร่างของรอยคอดกลางบานพับแบบโค้งจะช่วยลดการเกิดจุดบกพร่องในชิ้นงานได้เมื่อเทียบกับรูปร่างรอยคอดกลางบานพับแบบเหลี่ยม จากนั้นทำการเลือกวัสดุพอลิเมอร์ที่จะทำการวิจัย 3 ชนิดคือ HDPE, PP Homopolymer และ PP Copolymer มาทำการทดสอบและวิเคราะห์สมบัติเชิงกลเบื้องต้น พบว่า PP Homopolymer มีสมบัติการดึงยืดและการดัดโค้งดีที่สุด ในขณะที่ PP Copolymer มีสมบัติการต้านทานแรงกระแทกดีที่สุด จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์การไหลของวัสดุพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดเข้าสู่แม่พิมพ์ที่ผ่านการออกแบบแล้ว เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปชิ้นงานจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าชิ้นงานที่ผลิตจากพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดมีรูปร่างสมบูรณ์และ PP Copolymer ใช้เวลาในการขึ้นรูปนานที่สุด จากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงานจริงแล้วนำชิ้นงานฝาเปิด-ปิดที่ได้ไปประเมินหาอายุการใช้งานจริง ซึ่งได้จากการทดสอบการพับเปิด-ปิดฝาด้วยเครื่องมือทดสอบที่สร้างขึ้นมา พบว่า PP Homopolymer และ PP Copolymer มีอายุการใช้งานที่ค่อนข้างสูง (มากกว่า 30,000 รอบ) ในขณะที่ HDPE มีอายุการใช้งานน้อยที่สุด (น้อยกว่า 1,000 รอบ) จากผลการวิจัยโดยรวมสามารถสรุปได้ว่า PP Homopolymer มีความเหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ฝาเปิด-ปิดขวดบรรจุภัณฑ์มากที่สุด

**คำสำคัญ**: ฝาเปิดปิดที่มีบานพับเป็นองค์ประกอบ / แบบจำลองคอมพิวเตอร์ / วิเคราะห์การไหลของพอลิเมอร์ / วิเคราะห์อายุการใช้งาน / เครื่องมือทดสอบการพับเปิดปิดฝา

**Abstract**

The objectives of this thesis were to design a hinged opened-closed cap for a container and to choose a suitable polymer for a long product lifetime. Three types of polymer were selected in this study; HDPE, PP homopolymer and PP copolymer. The tensile and flexural strength, as well as the impact resistance were measured. The results of tensile

and flexural tests showed that the PP homopolymer has the greatest tensile and flexural strength, while the results of the impact test showed that the PP copolymer had the greatest impact resistance. Computer simulations of plastic flow were conducted to analyze process capability. The results showed that the PP copolymer had the longest processing time. The results of product design showed that adding a curved recess located along the center line of hinge reduced failure. Caps were molded from the polymers and repeatedly opened and closed to determine the life time using a specifically designed flex test machine. The results show that caps made of the PP homopolymer and the PP copolymer had a long lifetime, greater than 30,000 cycles, while caps made of HDPE had a short lifetime, less than 1,000 cycles. It is concluded that the PP homopolymer is the optimal polymer to produce the hinged opened-closed caps.

**Keywords:** Hinged Opened-Closed Cap / Computer Simulation / Polymer Flow Analysis / Lifetime Assessment Analysis / Flex Test Machine

## 1. บทนำ

จากสภาวะวิกฤติทางเศรษฐกิจของประเทศที่ผ่านมา พบว่าอุตสาหกรรมทางด้านการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกได้รับผลกระทบเป็นอย่างมาก ประกอบกับในปัจจุบันมีการแข่งขันทางด้านการผลิตอย่างรุนแรง ดังนั้นเป้าหมายที่สำคัญสำหรับการแก้ปัญหาก็คือ การมุ่งสร้างความสามารถในการแข่งขันด้วยการพัฒนาทั้งทางด้านเทคนิค คุณภาพ และวิธีการต่างๆในการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อทำการผลิต อันจะนำไปสู่การลดต้นทุนและเวลาในการผลิต ตลอดจนการสร้างความพึงพอใจในเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้า

แต่เนื่องด้วยการสร้างชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด–ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่มีบานพับเป็นองค์ประกอบเป็นเรื่องที่ท้าทายสำหรับนักออกแบบและผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากบริเวณบานพับนี้เป็นส่วนที่ต้องได้รับการพับเปิด–ปิดซ้ำไปมาเป็นรอบๆ จึงทำให้บริเวณนี้อาจเกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าได้ ผลที่ตามมาคืออายุการใช้งานของฝาพลาสติกจะน้อยลงหรือเมื่อใช้งานฝาพลาสติกเปิด–ปิดไปได้ในจำนวนรอบที่น้อยฝาพลาสติกจะเกิดการฉีกขาดเสียหาย ดังนั้นการออกแบบในเรื่องของรูปทรงรวมทั้งการเลือกวัสดุพอลิเมอร์ให้เหมาะสมกับประเภทของการใช้งานชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด–ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่มีบานพับเป็นองค์ประกอบนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมาก

จากสาเหตุดังกล่าวทำให้เกิดแรงจูงใจในการศึกษาและวิจัยในเรื่องของการออกแบบและพัฒนาชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด–ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่มีบานพับเป็นองค์ประกอบเพื่อให้ได้มาซึ่งอายุการใช้งานที่สูงขึ้น อนึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำไปใช้เพื่อออกแบบและขึ้นรูปชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด–ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ได้ต่อไป ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุน

และเวลาในกระบวนการผลิต ตลอดจนการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าและการหาแนวทางการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปสู่การพัฒนาการผลิตจริงต่อไป

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

### 2.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิดคือ HDPE เกรด V1160 ค่าดัชนีการไหล 11 กรัม/10 นาที PP Homopolymer เกรด 1100NK ค่าดัชนีการไหล 11.4 กรัม/10 นาที และ PP Copolymer เกรด 2300K จากบริษัท IRPC ค่าดัชนีการไหล 4 กรัม/10 นาที

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โปรแกรม Moldflow Plastic Insight และโปรแกรม Solidwork Cosmos อุปกรณ์สร้างเครื่องทดสอบการพับเปิด-ปิดฝาพลาสติก เครื่องฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding machine) เครื่อง Universal Testing Machine (Instron Model 55R4502) เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact tester) แบบ Izod

### 2.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

- พิจารณาแบบชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับจากโรงงาน พร้อมศึกษาปัญหาจริงที่เกิดขึ้นจากการผลิตชิ้นงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นในชิ้นงานเป็นลักษณะผิวไม่สม่ำเสมอที่บริเวณรอยคอดกลางบานพับดังแสดงในรูปที่ 1
- ทำการออกแบบบริเวณบานพับของชิ้นงานขึ้นมาใหม่ พร้อมทั้งวิเคราะห์การไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวเข้าแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรม Moldflow Plastic Insight โดยเปรียบเทียบกับรูปร่างบานพับแบบเดิม
- เลือกวัสดุพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการผลิตชิ้นงานพลาสติกฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ โดยวัสดุพอลิเมอร์เริ่มต้นที่ต้องการศึกษามี 3 ชนิด ได้แก่ PP Homopolymer PP Copolymer และ HDPE

รูปที่ 1. แสดงจุดบกพร่องที่เป็นปัญหาในชิ้นงาน

- ทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานวัสดุพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด ในด้านการดึงยืด การดัดโค้ง และการกระแทก
- วิเคราะห์ความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moldflow Plastic Insight จากการฉีดขึ้นรูปด้วยวัสดุพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด
- ขึ้นรูปชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์เพื่อใช้ในการทดสอบอายุการใช้งานด้วยการพับ

- ออกแบบกลไกและสร้างเครื่องมือทดสอบการเปิด-ปิดฝาพลาสติกภาชนะบรรจุภัณฑ์
- ประเมินอายุการใช้งานจริงของชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์
- เลือกวัสดุพอลิเมอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ ภายใต้เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจของงานวิจัย

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

### 3.1 ออกแบบฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์

3.1.1 ศึกษาลักษณะของชิ้นงานที่เกิดปัญหาในการผลิต

ในการออกแบบชิ้นงานเริ่มต้นด้วยการพิจารณาและศึกษาลักษณะชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่ขึ้นรูปและเกิดปัญหาจริงภายในโรงงาน ซึ่งผลิตจากวัสดุพอลิเมอร์ชนิด LDPE โดยพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่บริเวณส่วนกลางของบานพับดังรูปที่ 1 จากนั้นทำการออกแบบรอยคอดกลางบานพับร่วมกันระหว่างทางโรงงานที่ผลิตชิ้นงานนี้และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของการออกแบบ โดยรูปร่างรอยคอดกลางบานพับแบบเดิมมีรูปร่างเหลี่ยม ส่วนที่ได้รับการออกแบบใหม่มีรูปร่างโค้งดังแสดงในรูปที่ 2

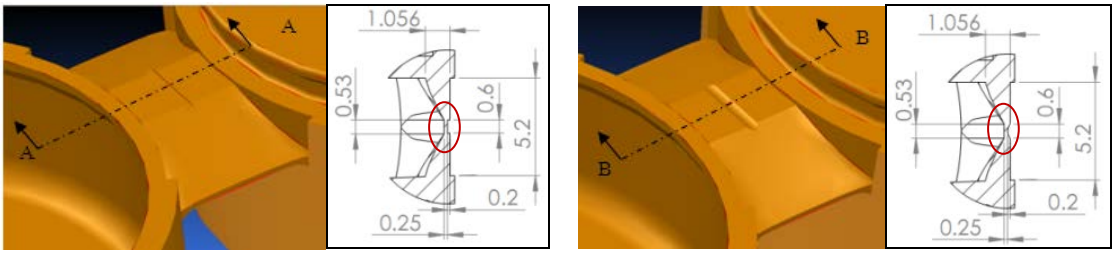
3.1.2 การวิเคราะห์การไหลของพอลิเมอร์ผ่านบริเวณบานพับ

เมื่อใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ลักษณะการไหลของพลาสติกหลอมเหลวเข้าบริเวณบานพับของชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์แบบเดิม แสดงผลดังในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นการไหลเข้าของพลาสติกหลอมเหลวที่ 51-57% โดยน้ำหนักของพลาสติกหลอมเหลว จะเห็นว่ามีลักษณะการไหลแบบเฮซิเตชั่นหรือการที่พอลิเมอร์หลอมเหลวมีการไหลที่ช้าลงเมื่อผ่านบริเวณรอยคอดกลางบานพับซึ่งเป็นบริเวณที่มีพื้นที่หน้าตัดลดลงจึงมีการต้านการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวที่สูง จึงอาจทำให้เกิดการแข็งตัวก่อนและไม่สามารถไหลไปต่อได้ และอาจทำให้เกิดปัญหาช่องว่างบนบานพับของชิ้นงานหรืออาจเกิดเป็นรอยเชื่อมของพอลิเมอร์หลอมเหลว [1-2] ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานผลิตภัณฑ์อีกด้วย

ส่วนชิ้นงานที่ได้รับการออกแบบใหม่นั้นการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวที่บริเวณรอยคอดกลางบานพับเป็นไปอย่างต่อเนื่องหรือไม่เกิดการไหลแบบเฮซิเตชั่น ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งหากทำการผลิตชิ้นงานที่มีรอยคอดกลางบานพับในลักษณะโค้งนี้ อาจช่วยลดปัญหาช่องว่างกลางบานพับหรือช่วยเพิ่มอายุการใช้งานได้อีกด้วย [1-2] ดังนั้น จึงได้เลือกรูปร่างบานพับแบบนี้ไปทำการวิจัยต่อไป

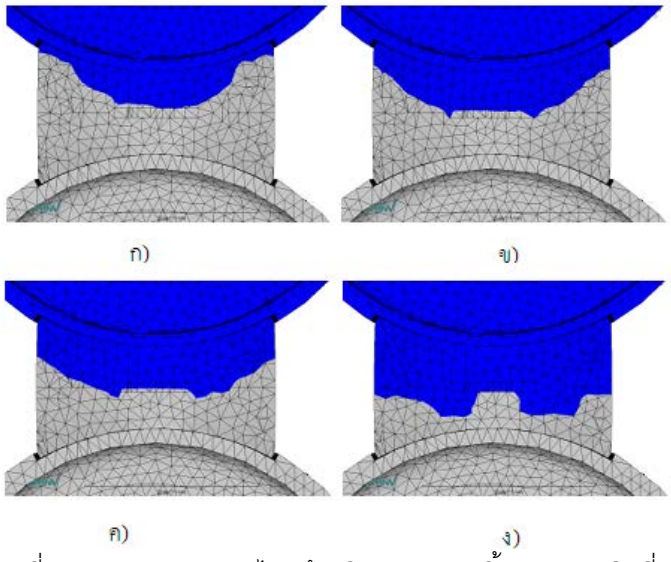
### 3.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุ

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลในด้านการดึงยืด การดัดโค้งและการกระแทก พบว่า PP Homopolymer และ PP Copolymer มีสมบัติเชิงกลที่ดี คือ PP Homopolymer มีสมบัติการดึงยืดและการดัดโค้งที่ดีที่สุด ส่วน PP Copolymer มีสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกที่ดีที่สุด ในขณะที่ HDPE มีสมบัติเชิงกลโดยรวมแย่ที่สุด [3]



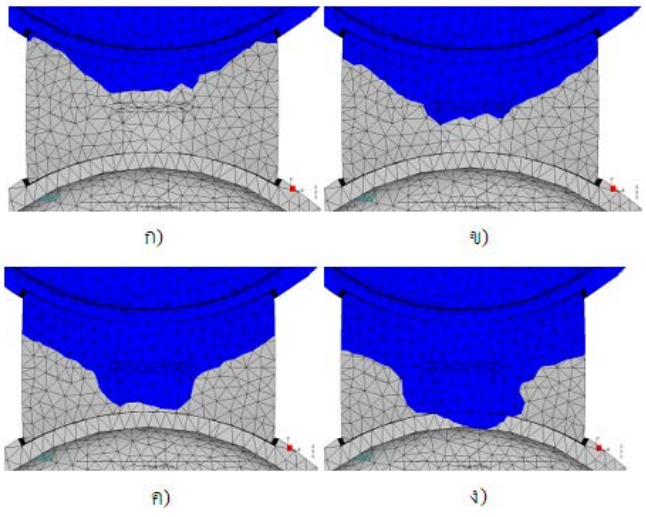

ก) ข)

รูปที่ 2. แสดงรูปร่างและภาพตัดขวางรอยคอดกลางบานพับของ ก) ชิ้นงานแบบเดิม ข) ชิ้นงานที่ออกแบบใหม่




รูปที่ 3. แสดงลักษณะการไหลเข้าบริเวณบานพับชิ้นงานแบบเดิมที่

ก) 51% ข) 53% ค) 55% ง) 57 % โดยน้ำหนักของพลาสติกหลอมเหลว

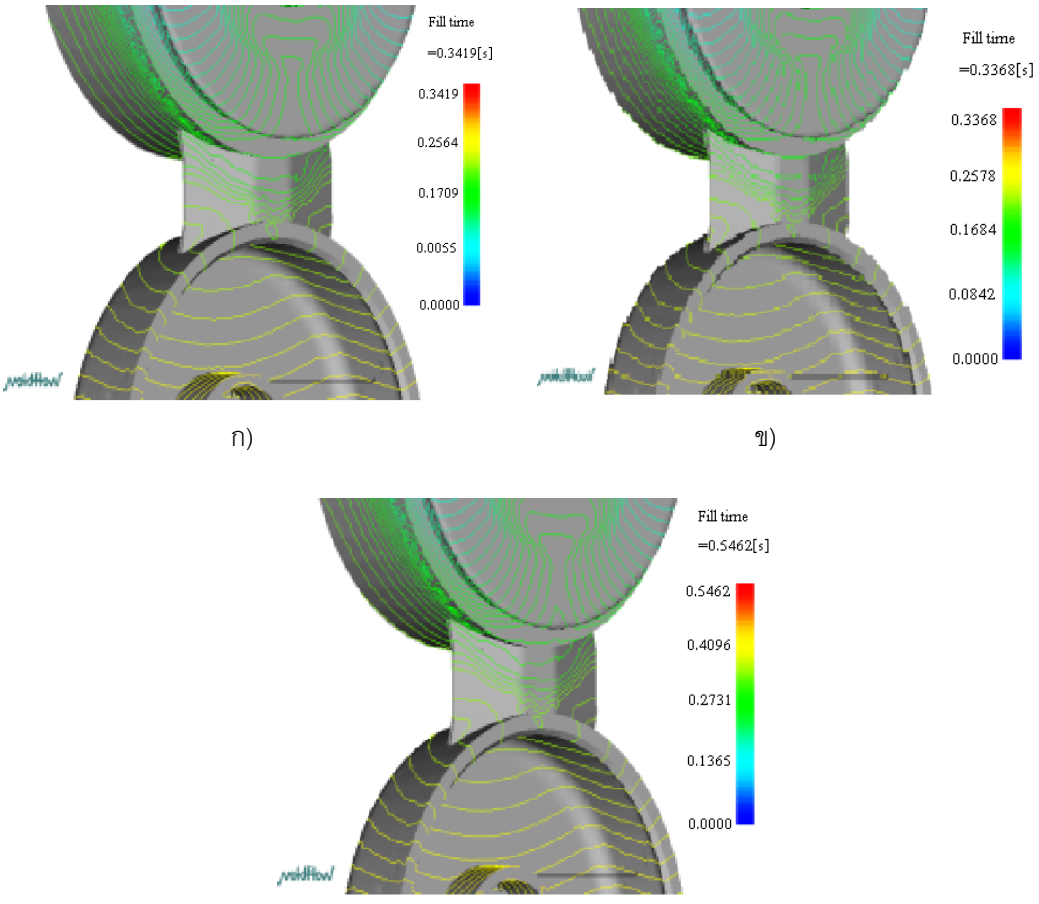



รูปที่ 4. แสดงลักษณะการไหลเข้าบริเวณบานพับของชิ้นงานที่ออกแบบใหม่ที่

ก) 51% ข) 53% ค) 55% ง) 57 % โดยน้ำหนักของพลาสติกหลอมเหลว

ตารางที่ 1. แสดงค่าที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกล

| การทดสอบ | สมบัติที่ได้จากการทดสอบ | ค่าที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกล | | |
|---|---|---|---|---|
| | | HDPE | PP Homopolymer | PP Copolymer |
| **สมบัติการดึงยืด** | โมดุลัสการดึงยืด (MPa) | 1,289.5 | 1,936.61 | 1,509.06 |
| | ความแข็งแรงในการดึงยืด (MPa) | 22.08 | 35.22 | 25.18 |
| **สมบัติการดัดโค้ง** | โมดุลัสการดัดโค้ง (MPa) | 746.72 | 1,307.32 | 1,068.05 |
| | ความแข็งแรงในการดัดโค้ง (MPa) | 21.87 | 45.00 | 34.42 |
| **สมบัติการกระแทก** | ความทนทานต่อแรงกระแทก ($J/m^2$) | 5,232.03 | 4,846.405 | 12,076 |




ก) ข)

ค)

รูปที่ 5. การวิเคราะห์การไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวเข้าสู่บริเวณบานพับของชิ้นงานของ

ก) HDPE ข) PP Homopolymer ค) PP Copolymer

### 3.3 ความเป็นไปได้ในการขึ้นรูป

งานวิจัยนี้ได้มีการวิเคราะห์การไหลของวัสดุพอลิเมอร์ 3 ชนิด คือ HDPE, PP Homopolymer และ PP Copolymer ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ [4] เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ ไปขึ้นรูป

ผลของการวิเคราะห์การเติมพลาสติกหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์เป็นดังรูปที่ 5 โดยพบว่าชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะสมบูรณ์ และมีการไหลของ พอลิเมอร์หลอมเหลวเข้าสู่บริเวณบานพับฝาพลาสติกในลักษณะเดียวกัน การไหลของพอลิเมอร์เข้าสู่บริเวณบานพับของชิ้นงานเป็นไปอย่างต่อเนื่องหรือไม่เกิดการไหลแบบเฮซิเตชั่น เมื่อวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการเติมพอลิเมอร์หลอมเหลวเข้าสู่เบ้าชิ้นงานจะเห็นว่าเวลาในการเติม HDPE และ PP Homopolymer ใช้เวลา 0.3419 วินาที และ 0.3368 วินาที ตามลำดับ ส่วน PP Copolymer ใช้เวลานานที่สุดคือ 0.5462 วินาที

### 3.4 การขึ้นรูปชิ้นงานจริง

การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์จะใช้สภาวะการขึ้นรูปตามที่ได้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moldflow Plastic Insight [5] ชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะของพอลิเมอร์ 3 ชนิดที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วเป็นดังรูปที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ผลิตได้จากวัสดุ PP Homopolymer และHDPE มีลักษณะสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่อง ส่วนชิ้นงานที่ผลิตจาก PP Copolymer พบรอยขาวขุ่นบริเวณบานพับ ซึ่งถือเป็นจุดบกพร่องในชิ้นงาน [6]

### 3.5 การออกแบบและผลิตเครื่องมือทดสอบอายุการใช้งานชิ้นงาน

เครื่องมือทดสอบการพับเปิด-ปิดฝาใช้ระบบนิวแมติก (Pneumatic system) ในการขับเคลื่อนเพื่อสร้างกลไกในการเปิด-ปิดฝาพลาสติกภาชนะบรรจุภัณฑ์ โครงสร้างหลักของเครื่องทดสอบเปิด-ปิดฝาพลาสติกเป็นดังรูปที่ 7 และมีการออกแบบกลไกในการพับเปิดและปิดฝาพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 8

### 3.6 ทดสอบอายุการใช้งานเปิด-ปิดฝาพลาสติก

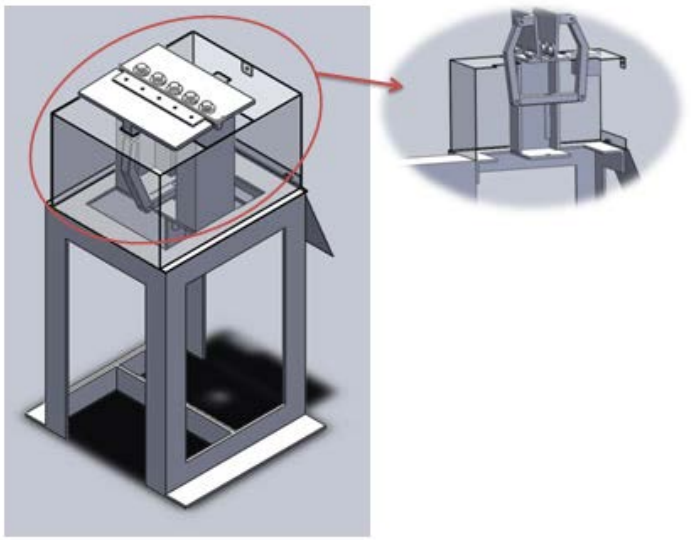
เมื่อทดสอบหาจำนวนรอบการใช้งานของฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ พบว่า ชิ้นงานที่ผลิตจาก PP Homopolymer และ PP Copolymer ทนต่อการเปิด-ปิดในจำนวนรอบที่สูงคือมากกว่า 30,000 รอบ ในขณะที่ชิ้นงานที่ผลิตจาก HDPE มีอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดคือน้อยกว่า 1,000 รอบ ดังแสดงในรูปที่ 9

จากรูปที่ 10 เมื่อทำการเปรียบเทียบการพับเปิด-ปิดฝาพลาสติกที่ขึ้นรูปด้วยพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดที่จำนวนรอบน้อยๆ พบว่า ฝาพลาสติกที่ขึ้นรูปด้วย PP Copolymer เกิดรอยขาวขุ่นที่เด่นชัดที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นว่า ฝาพลาสติกชนิดนี้เมื่อใช้งานจะเกิดรอยตำหนิให้เห็นก่อนฝาพลาสติกที่ขึ้นรูปด้วยพอลิเมอร์ชนิดอื่น [6] ซึ่งส่งผลต่อความพึงพอใจของลูกค้าที่ลดลง

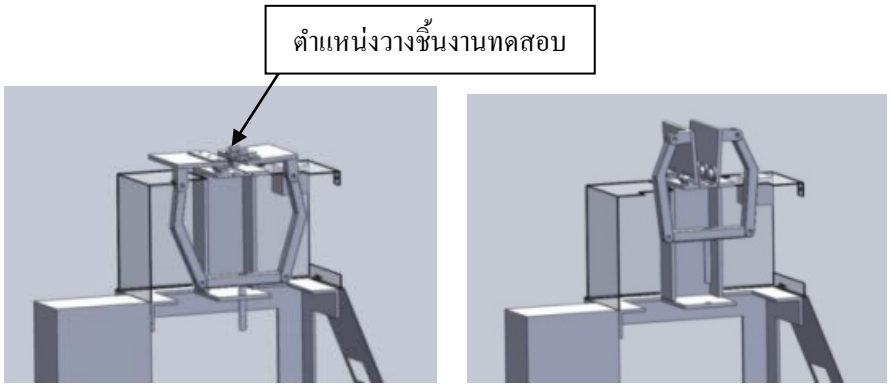
ก) ข) ค)

รูปที่ 6. แสดงชิ้นงานฝาพลาสติกเปิด–ปิดภาชนะที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์

ก) HDPE ข) PP Homopolymer ค) PP Copolymer



รูปที่ 7. แสดงโครงสร้างหลักเครื่องมือทดสอบพับเปิด-ปิดฝาพลาสติก




ก) ข)

รูปที่ 8. แสดงแบบจำลองกลไกการทดสอบการเปิดและปิดฝาพลาสติก

ก) ขณะพับเปิดฝาพลาสติก ข) ขณะพับปิดฝาพลาสติก

ก) ข) ค)

รูปที่ 9. แสดงรูปร่างของบานพับชิ้นงานเมื่อทดสอบการพับเปิด-ปิดเสร็จสิ้นของ

ก) HDPE ที่ 900 รอบ (ขาด)

ข) PP Homopolymer ที่ 30,000 รอบ (ไม่ขาด)

ค) PP Copolymer ที่ 30,000 รอบ (ไม่ขาด)

ก) ข)

รูปที่ 10. แสดงการทดสอบเปิด-ปิดฝาพลาสติกที่จำนวนรอบน้อย (5 รอบ)

ก) ก่อนการทดสอบ ข) หลังการทดสอบ

ตารางที่ 2. แสดงการตัดสินใจเลือกวัสดุพอลิเมอร์มาใช้ผลิตฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์

| ชนิดของพอลิเมอร์ / เกณฑ์ที่เลือกมาพิจารณา | HDPE | PP Homo polymer | PP Copolymer |
|---|---|---|---|
| อายุการใช้งาน (0.5 คะแนน) | 0.015 | 0.5 | 0.5 |
| ราคาเม็ดพลาสติก (0.2 คะแนน) | 0.2 | 0.2 | 0.192 |
| เวลาในการฉีดที่ได้จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (0.1 คะแนน) | 0.098 | 0.1 | 0.062 |
| * รอยขาวขุ่นเมื่อพับที่จำนวนรอบน้อย (0.1 คะแนน) | 0.08 | 0.1 | 0.05 |
| * ลักษณะภายนอกของชิ้นงาน (0.1 คะแนน) | 0.1 | 0.1 | 0.07 |
| รวมคะแนนความพึงพอใจ (1.0 คะแนน) | 0.493 | 1.0 | 0.874 |

* เป็นเกณฑ์พิจารณาที่ได้คะแนนมาจากการประเมินของผู้ดำเนินงานวิจัยเอง

### 3.7 เลือกวัสดุที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต

ตารางที่ 2 แสดงการตัดสินใจเลือกวัสดุพอลิเมอร์มาใช้ผลิตฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ ในการประเมินคุณสมบัติที่ใช้ในการพิจารณามีการให้คะแนนความสำคัญที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถตัดสินใจอย่างแน่ชัดได้ว่า PP Homopolymer เหมาะสมที่จะนำมาผลิตฝาพลาสติกเปิด–ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่เลือกมาพิจารณา

## 4. สรุปผลการดำเนินการวิจัย

ในการออกแบบรูปร่างบริเวณบานพับที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรม Moldflow Plastic Insight ทำให้ทราบว่ารอยคอดกลางบานพับที่มีลักษณะโค้งจะช่วยลดปัญหาการเกิดจุดบกพร่องในชิ้นงานมากกว่าการแบบเดิมที่มีรอยคอดกลางบานพับเป็นลักษณะเหลี่ยม

จากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าค่าโมดุลัสและค่าความเค้นสูงสุดในการดึงยืดและการดัดโค้งของชิ้นงาน PP Homopolymer มีค่าสูงที่สุด ส่วน PP Copolymer พบว่าทนต่อแรงกระแทกสูงที่สุด

เมื่อทดสอบหาจำนวนรอบการใช้งานของฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ พบว่าชิ้นงานที่ผลิตจาก PP Homopolymer และ PP Copolymer ทนต่อการเปิด-ปิดในจำนวนรอบที่สูง คือ มากกว่า 30,000 รอบ ในขณะที่ชิ้นงานที่ผลิตจาก HDPE มีอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุด คือ น้อยกว่า 1,000 รอบ และเมื่อทำการพับเปิด-ปิดฝาพลาสติกด้วยมือเป็นจำนวนรอบที่น้อยๆ พบว่า PP Copolymer เกิดรอยขาวขุ่นเร็วที่สุด

ในการประเมินคุณสมบัติที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเลือกวัสดุพอลิเมอร์มาใช้ในการผลิตฝาพลาสติกเปิด-ปิดภาชนะบรรจุภัณฑ์ พบว่า PP Homopolymer เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่เลือกมาพิจารณา

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัยทุน สกว.-อุตสาหกรรม ประจำปี 2552

## เอกสารอ้างอิง

1. Tatara R.A., Sievers R.M., Valentin H., 2006, “Modeling the injection molding processing of polypropylene closure having an integral hinge”, **Journal of Materials Processing Technology**, Vol.176, pp. 200-204.
2. Kima H.S., Son J.S., Imc Y.T., 2003, “Gate location design in injection molding of an automobile junction box with integral hinges”, **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 140, pp.110-115.
3. บรรเลง ศรนิล, 2548, **เทคโนโลยีพลาสติก**, พิมพ์ครั้งที่ 18, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ.

4. **Autodesk Simulation Moldflow**, Autodesk, Inc. Waltham, MA, USA.
5. Bikas, A. et al., 2002, "Computational Tools for the Optimum Design of the Injection Molding Process", **J. Materials Processing Technology**, Vol.122, pp.112-126.
6. Min, B.H., 2003, "A Study on Quality Monitoring of Injection-Molded Parts", **J. Materials Processing Technology**, Vol.136, pp.1-6.