

การวิเคราะห์กระบวนการบีบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากแผ่นพลาสติกที่ทำจาก พอลิเมอร์ชีวภาพที่มีแปงเป็นองค์ประกอบโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ Finite element analysis Sheet thermoforming of Starch – based Biodegradable Polymers

ธนวิทย์ ทองวิเชียร^{1*} อริสรา ชัยกิตติรัตน¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนน พิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทรศัพท์/โทรสาร 02 5870026 ต่อ 402 / 02 5869541 อีเมล: tanawit_thong@hotmail.com^{1*}, acn@kmitnb.ac.th¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการอบขึ้นรูปแผ่นพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีแปงเป็นองค์ประกอบซึ่งการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเพื่อหาค่าสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ของวัสดุที่ได้จากการขึ้นรูปเป็นแผ่นบางโดยการทดสอบแรงกด (Compression Test) ที่อุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิ 90 °C ถึง 120 °C เพื่อหาอุณหภูมิและอัตราการกด (Strain Rate) ที่เหมาะสมจากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 120 °C อัตราการกด $\dot{\epsilon} = 0.5 \text{ s}^{-1}$ เหมาะสำหรับการบีบขึ้นรูป (Stamping) แบบแปง ค่าที่ได้จากการทดสอบนี้ได้นำมาใช้ในการกำหนดพฤติกรรมของวัสดุที่สมมติให้เป็นแบบอีลาสติก-พลาสติก (Elastic-Plastic) ในโปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำการจำลองการขึ้นรูปแผ่นพลาสติกตามรูปแบบจริงและสุดท้ายได้นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง

Abstract

The objective of this research is to study the sheet thermoforming process of starch – based biodegradable polymers. The mechanical behaviour of the material extruded to the form of thin sheet was studied by means of compression test at the temperature between 90 °C to 120 °C and at various strain rate. It was found that temperature of 120 °C and strain rate of 0.5 s^{-1} gave the most satisfying condition for sheet stamping process. The mechanical behaviour of the material was assumed to be Elastic – Plastic with Elastic – Perfectly Plastic. The experimental data was implemented into Elastic – Plastic material model in ABAQUS and a simulation of a simple sheet stamping process was performed. The simulation result was verified with the experimental data of stamping process.

1. บทนำ

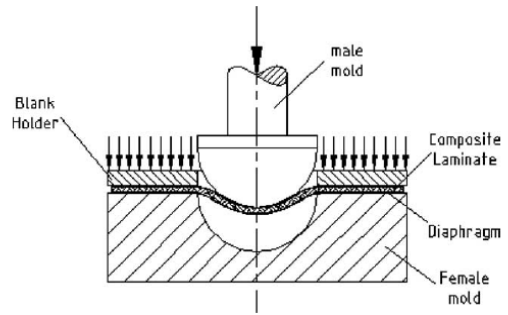
เนื่องจากในปัจจุบันนี้มนุษย์เรามีสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ มีให้ใช้กันอย่างมากมายซึ่งสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ เหล่านี้อาจจะได้มาจากการสังเคราะห์จากวัสดุธรรมชาติหรือการสังเคราะห์จากสารเคมี เป็นต้น วัสดุอำนวยความสะดวกอย่างหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันก็คือ “พลาสติก” (Plastic) ซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์จากสารเคมีในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นวัสดุสังเคราะห์ในกลุ่มของพอลิเมอร์ ซึ่งวัสดุสังเคราะห์ประเภทนี้เมื่อผ่านการใช้งานแล้ว ก็จะเป็นขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ หรืออาจจะย่อยสลายได้แต่ต้องใช้เวลานานหลายๆ ปีในการย่อยสลาย อีกทั้งยังอาจจะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ซึ่งการใช้พลาสติกในปัจจุบันก็มีแนวโน้มการใช้ที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ตัวอย่างของการนำพลาสติกไปใช้งาน เช่น กล่องบรรจุอาหาร ช้อน ถ้วย ชาม หรือเก้าอี้พลาสติก เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสะสมของขยะที่มาจากพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้เพิ่มมากขึ้นจึงเกิดภาวะมลพิษต่างๆ มากยิ่งขึ้นตามไปด้วยและในประเทศไทยก็ได้มีการรณรงค์ให้ประชาชนมีการใช้พลาสติกลดลงเพื่อเป็นการลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้น โดยการหาวัสดุอย่างอื่นมาทดแทนซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและไม่เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อมจากปัญหาต่างๆ เหล่านี้ที่กล่าวมาทางกลุ่มวิจัยจึงเกิดแนวความคิดที่จะศึกษาหาผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งพลาสติกที่ใช้ในปัจจุบันนี้นั้นทำมาจากพอลิเมอร์ที่ได้จากปิโตรเคมีซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นจึงมีความคิดเห็นว่าถ้าหากเราสามารถที่จะผสมวัสดุธรรมชาติอย่างเช่น แปงที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติลงไปด้วย เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกโดยใช้วิธีการอบความร้อนแล้วทำการบีบขึ้นรูปแต่สมบัติต่างๆ ของพลาสติกที่ได้ออกมานี้อาจจะยังคงมีสมบัติเช่นเดียวกับพลาสติกที่ไม่มีวัสดุธรรมชาติประเภทแป้งผสมอยู่หรือใกล้เคียงมากที่สุด ก็น่าจะสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีแปงเป็นส่วนผสมอยู่

สามารถที่จะย่อยสลายตัวได้เองในธรรมชาติได้เร็วยิ่งขึ้นเพื่อเป็นการลดมลภาวะที่เกิดจากขยะประเภทพลาสติกกลงได้พอสมควร

การผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกมีกรรมวิธีการผลิตได้หลายวิธีการ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเม็ดพลาสติกและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต สำหรับในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยวิธีการอบขึ้นรูปแผ่นพลาสติก (Sheet Thermoforming) จาก พอลิเมอร์ชีวภาพที่มีแข็งเป็นองค์ประกอบ ศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติกที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยการอบความร้อน รวมทั้งตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการขึ้นรูปด้วยวิธีการนี้ แล้วใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการทดลองจริงเพื่อหาข้อจำกัดเบื้องต้นในการออกแบบผลิตภัณฑ์

Giuseppe Sala และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาการจำลองการบ่มขึ้นรูปของแผ่นพอลิเมอร์โดยการใช้ความร้อน (Thermoforming) โดยการพัฒนาทางด้านเทคนิคสำหรับการกำหนดตัวแปรเบื้องต้นในทางสถิติและการควบคุมการกระจายความหนา การประหัยวัสดุ และระยะเวลาลดลง โดยใช้การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ที่เป็น viscoelastic constitutive เพื่อจำลอง (simulate) รูปร่างที่เป็นแผ่นพลาสติกที่มีรูปร่างลักษณะยุ่งยาก โดยในขั้นแรกจะทำการทดสอบวัสดุ ซึ่งเป็นแผ่นพลาสติกที่ได้รับความร้อนใกล้เคียง เพื่อหาค่า elongational และทดสอบแรงเฉือน (shear tests) โดยใช้วิธีการทดสอบ dynamo – mechanical ที่อุณหภูมิเหนืออุณหภูมิ Glass transition, T_g เพื่อหาค่าตัวแปรของ rheological ที่เป็นฟังก์ชันอุณหภูมิและ shear rate ของแบบจำลองพฤติกรรมนั้นๆ จากการจำลอง (simulation) พบว่ากระจายความหนาเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและค่าที่การทดลองจริงมีคลาดเคลื่อนตรงส่วนกลางแผ่นเฉลี่ยไม่เกิน 0.2 mm. ผลที่ได้จากการใช้เทคนิค Optimization นี้เป็นเครื่องมือที่ใช้เป็นประโยชน์ระหว่างกระบวนการการจำลอง เพราะใช้เวลาสั้น ในการทำนายกระบวนการไดนามิคและการคาดคะเนความหนาของแผ่นเดิม ผลลัพธ์ที่เหล่านี้สามารถนำไปใช้กับเครื่องจักร moulds เบื้องต้น โดยการจำลองกระบวนการการทดลองเพื่อเป็นการลดระยะเวลาและลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากการผลิตลงได้

Mohammad Tahaye Abadi และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในกระบวนการขึ้นรูปด้วยการอบความร้อนของแผ่นเทอร์โมพลาสติกเสริมแรงโดยใช้พื้นฐานทางทฤษฎีแผ่น Plate เพื่อวิเคราะห์กระบวนการ Thermoforming ของแผ่น Thermoplastic ผสมไฟเบอร์เสริมแรงในทิศทางเดียวกันโดยศึกษากระบวนการขึ้นรูป (Forming) ของแผ่น Thermoplastic composite จากให้ความร้อนของแผ่น plate ให้อุณหภูมิที่ไฟเบอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายใกล้เคียงกับหัวด้ายรูปทรงเรขาคณิต หลังจากนั้นให้ความร้อนแก่แผ่น plate และให้หัวด้ายตกลงในขณะที่ด้านข้างถูกจับยึดไว้และควบคุมการไหลของแผ่น plate โดยการใช้แรงดันดังที่แสดงในรูปที่ 1 โดยในการจำลองจะใช้การวิเคราะห์เป็นระนาบความเครียด (Plane strain) และสมมติให้วัสดุมีพฤติกรรมเป็นอลาสติก (Elastic behavior)



รูปที่ 1 การบ่มขึ้นรูปของแผ่นเทอร์โมพลาสติกเสริมแรง

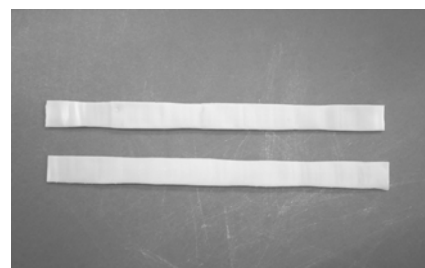
2. การทดลอง

2.1 ขึ้นรูปขั้นทดสอบ

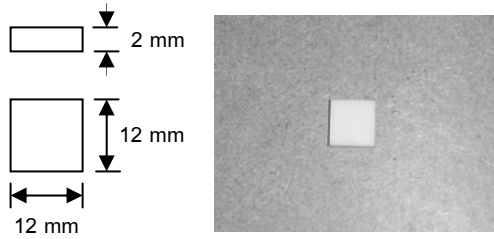
ในการขึ้นรูปแผ่นพลาสติกเพื่อนำมาเป็นขั้นทดสอบนั้นจะทำการขึ้นรูปโดยการนำเม็ดพลาสติกที่มีส่วนผสมของมันสำปะหลัง (Tapioca) 50 % กับเอ็นโป (Enpo) 50 % เพียงสูตรเดียวซึ่งนำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่น มาทำการอบไล่ความชื้นโดยใช้เครื่องอบ Hopper ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเม็ดพลาสติกที่ผ่านการอบไล่ความชื้นมาทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกโดยใช้เครื่อง Extruder แบบ Twin screw แสดงดังรูปที่ 2 ฉีดออกมาเป็นแผ่นบางซึ่งที่มีขนาดความหนาประมาณ 2 mm. ความกว้าง 20 mm. เป็นเส้นยาวดังแสดงในรูปที่ 3 แล้วนำมาตัดเป็น Specimen ขึ้นทดสอบตามขนาดมาตรฐาน ASTM: D695 [3] แสดงดังรูปที่ 4 เพื่อเป็นขั้นทดสอบสมบัติทางกล



รูปที่ 2 เครื่อง Extruder แบบ Twin screw



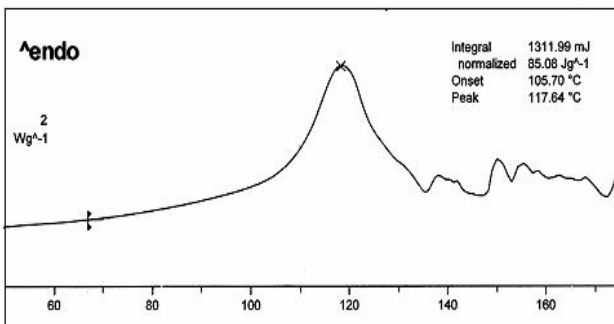
รูปที่ 3 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดเป็นแผ่นโดยเครื่อง Extruder แบบ Twin screw



รูปที่ 4 ชิ้นงานที่ตัดเป็นรูป Specimen
ขนาดมาตรฐาน ASTM: D695

2.2 การทดลองความแตกต่างทางความร้อน

ลักษณะทางกายภาพของพลาสติกนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำการศึกษาด้วยเครื่องทดสอบ Differential Scanning Calorimeter (DSC) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น DSC 822° จะได้อุณหภูมิที่ทำให้พลาสติกเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ คือ อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature, T_m) โดยการทดสอบจะใช้ชิ้นทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร ให้อุณหภูมิตั้งแต่ 0 องศาเซลเซียส ถึง 200 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 20 องศาเซลเซียส ต่อนาที จากผลการทดลองพบว่า เส้นกราฟเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิประมาณ 68 องศาเซลเซียส แสดงว่าที่จุดนี้พลาสติกเริ่มที่จะมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งมีการดูดความร้อนอย่างสม่ำเสมอจนถึงอุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส พลาสติกจะเริ่มดูดความร้อนได้อย่างรวดเร็ว จนถึงอุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส เป็นจุดสูงสุดที่พลาสติกดูดความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าช่วงอุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียส ถึง 130 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่พลาสติกมีการหลอมเหลว



รูปที่ 5 การทดลองความแตกต่างทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC

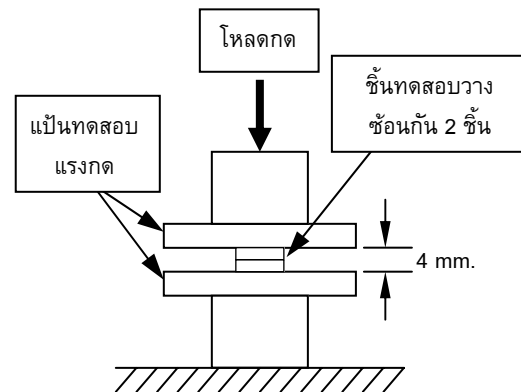
2.3 การทดสอบแรงกด

ในการทดลองนี้จะทำการเก็บข้อมูลจากการทดสอบด้วยวิธีการกดแผ่นพลาสติกขนาดมาตรฐาน ASTM: D695 ดังแสดงในรูปที่ 4 ในแนว uniaxial โดยใช้เครื่องทดสอบแรงกดยี่ห้อ Instron 5567 ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยจะทำการทดสอบแรงกดภายในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่โดยอ้างอิงอุณหภูมิจากการทดลองความแตกต่างทางความร้อนซึ่งมีค่าตั้งแต่ 90 – 120 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่มีการ

เปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ และใช้อัตราการกดที่ $\dot{\epsilon} = 0.1 \text{ s}^{-1}$ และ $\dot{\epsilon} = 0.5 \text{ s}^{-1}$ ตามลำดับ โดยการทดสอบจะวางแผ่นพลาสติกที่ตัดเป็นขนาดมาตรฐานซ้อนกันจำนวน 2 ชั้น เพื่อให้ได้ขนาดความหนาของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM: D695 บนแผ่นทดสอบแรงกดซึ่งมีขนาดความหนาเท่ากับ 4 mm. ดังแสดงในภาพที่ 7



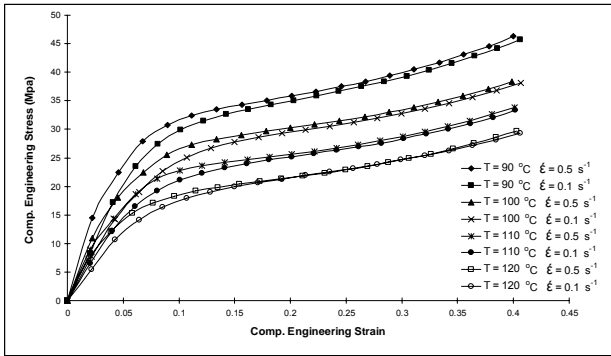
รูปที่ 6 เครื่องทดสอบการกดยี่ห้อ Instron 5567



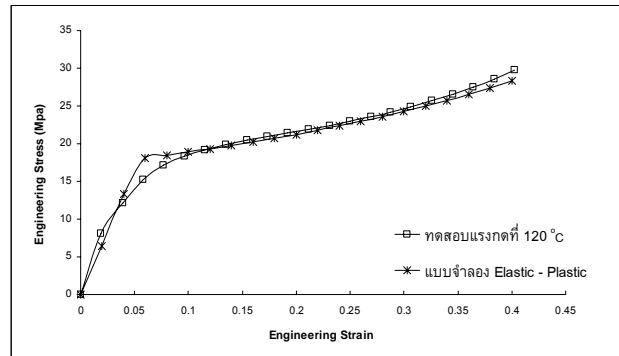
รูปที่ 7 การวางชิ้นทดสอบบนแผ่นทดสอบแรงกด

3. ผลการทดสอบ

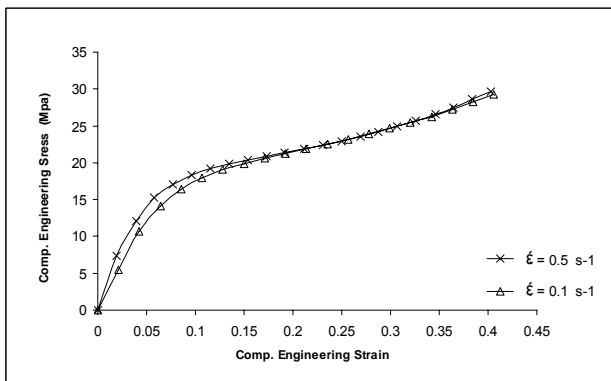
จากการทดสอบการกดในแนว Uniaxial พบว่าขนาดของชิ้นงานจะมีการเปลี่ยนแปลงไปโดยขนาดความหนาของชิ้นงานก็จะลดลง ส่วนขนาดความกว้างและความยาวของชิ้นงานก็จะมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นที่เท่าๆกันทั้ง 4 ด้าน จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มสูงขึ้นค่าความเค้นกดทางวิศวกรรม (Comp. Engineering Stress) ของแผ่นพลาสติกก็จะลดลงเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 แต่หากเพิ่มอุณหภูมิสูงใกล้เคียงอุณหภูมิหลอมเหลวค่าความเค้นกดทางวิศวกรรม (Comp. Engineering Stress) ที่อัตราการกด $\dot{\epsilon} = 0.1 \text{ s}^{-1}$ และ $\dot{\epsilon} = 0.5 \text{ s}^{-1}$ มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการกดไม่มีผลต่อความเค้นกดทางวิศวกรรม (Comp. Engineering Stress) ดังแสดงในรูปที่ 9 และคุณภาพของชิ้นงานที่ได้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของความเค้น – ความเครียดทางวิศวกรรม ที่อุณหภูมิและอัตราการากดต่างๆ



รูปที่ 10 ผลการทดลองกับแบบจำลองที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของความเค้น – ความเครียดทางวิศวกรรม ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

จากการทดสอบแรงกดในแนวแกน Uniaxial ทำให้รู้ว่าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราการากด $\dot{\epsilon} = 0.5 \text{ s}^{-1}$ เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปจริงมากที่สุด เนื่องจากวัสดุมีการอ่อนตัวสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายและใช้เวลาในการกดที่น้อยกว่าอัตราการากด $\dot{\epsilon} = 0.1 \text{ s}^{-1}$ ซึ่งคุณภาพของชิ้นงานที่ได้ไม่แตกต่างกัน

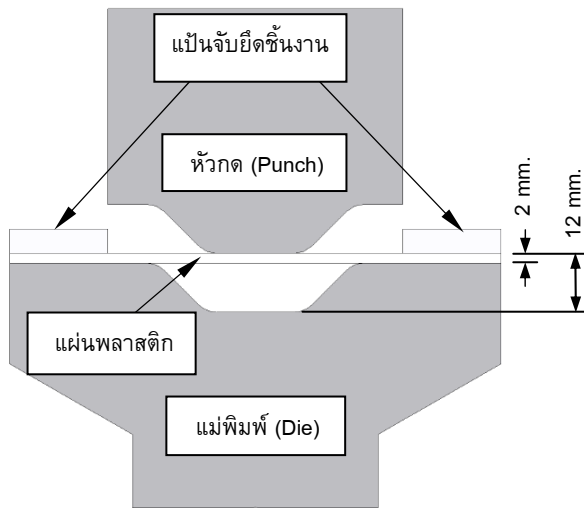
4. การจำลองวัสดุ

ในการจำลองการขึ้นรูปนั้นจะสมมติให้แผ่นพลาสติกมีพฤติกรรมแบบอีลาสติก – พลาสติก (Elastic – Plastic) และเป็นวัสดุที่ไม่สามารถอัดตัวได้ (Incompressible material) โดยพฤติกรรมในช่วงพลาสติก (Plastic) เป็นแบบ Elastic – Perfectly Plastic [4, 5] ซึ่งการจำลองการขึ้นรูปแผ่นพลาสติก แบบจำลองที่นำมาใช้จะต้องมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมของแผ่นพลาสติกชนิดนั้นๆ เพื่อให้ตรงกับปัญหาจริงโดยใช้โปรแกรม Abaqus V6.5 [4] ในการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงต้องมีการเปรียบเทียบผลการทดสอบจริงกับแบบจำลองที่ใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งในการจำลองนั้นจะใช้ผลที่ได้จากการทดสอบแรงกดในแนว uniaxial เป็นตัวกำหนดสมบัติทางกลของขึ้นทดสอบพลาสติก โดยใช้ค่าที่การทดสอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราการากดที่ $\dot{\epsilon} = 0.5 \text{ s}^{-1}$ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการบีบขึ้นรูป (Stamping) อันเนื่องมาจากพลาสติกมีการอ่อนตัวมากที่สุด

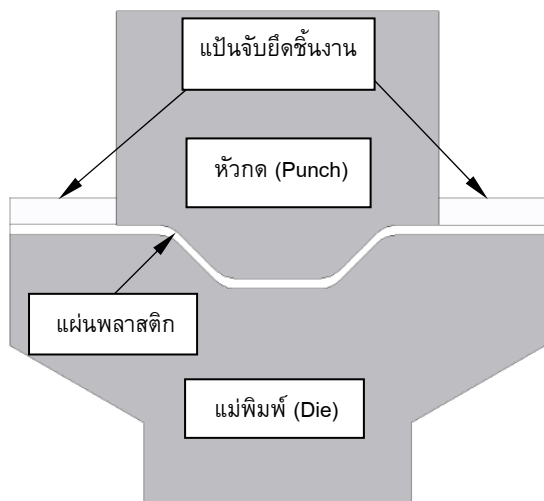
จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบจริงกับการจำลอง แสดงดังรูปที่ 10 นั้นจะเห็นว่าในช่วงอีลาสติกค่าจากการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการจำลองเนื่องมาจากค่าที่ได้จากการจำลองมีค่าที่เป็นเชิงเส้นมากกว่าค่าที่ได้จากการทดลองที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (non Linear) ในช่วงความเค้นคราก (Yield Stress) อันเนื่องมาจากพารามิเตอร์ที่ป้อนเข้าไปในช่วงนี้เป็นเพียงค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Young's modulus) ซึ่งมีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linear) และหลังจากนั้นเป็นช่วงที่มีพฤติกรรมพลาสติก (Plastic Behaviour) จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการจำลองนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองมาก จนเกือบจะเป็นเส้นเดียวกันตั้งแต่ช่วงความเครียดที่ 0.1 ถึง 0.35 ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมนั้นสามารถที่จะแทนพฤติกรรมของแผ่นพลาสติกที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราการากดที่ $\dot{\epsilon} = 0.5 \text{ s}^{-1}$ ได้

4.1 การทดสอบกดขึ้นรูป

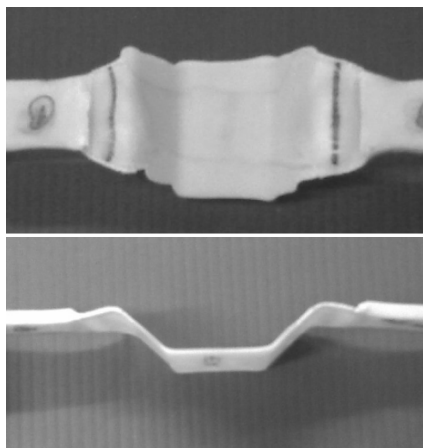
ในการทดสอบการกดขึ้นรูปจริง จะใช้วิธีการอบขึ้นรูปแบบ Matched mould forming [1] ซึ่งจะออกแบบในลักษณะเป็นรูปร่างอย่างง่ายซึ่งแม่พิมพ์ (Mould) แสดงดังในรูปที่ 11 เป็นรูปแม่พิมพ์ (Mould) และตำแหน่งการวางแผ่นพลาสติก ซึ่งใช้แผ่นพลาสติกที่ได้จากการขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกชนิดเดียวกับขึ้นทดสอบหาค่าสมบัติทางกล โดยในการขึ้นรูปนั้นจะใช้อุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส อัตราความเร็วในการกด (Crosshead Speed) 120 mm/min ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเหมาะสมสำหรับการขึ้นรูป โดยการทดสอบจะกำหนดให้หัวกด (Punch) เคลื่อนที่ลงมาเป็นระยะ 10 mm. จากระยะเดิมผลที่ได้จากการทดสอบกดขึ้นรูปจริงแผ่นพลาสติกก็จะมีรูปร่างตามแบบแม่พิมพ์ (Mould) ดังแสดงในรูปที่ 12 เมื่อนำแผ่นพลาสติกออกจากแม่พิมพ์ (Mould) ก็จะได้แผ่นพลาสติกที่มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 11 แม่พิมพ์ (Mould) และตำแหน่งการวางชิ้นงาน ก่อนการทดสอบกดขึ้นรูป



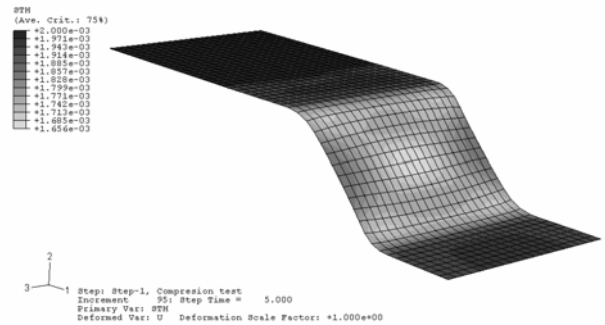
รูปที่ 12 แม่พิมพ์ (Mould) และชิ้นงานหลังการทดสอบกดขึ้นรูป



รูปที่ 13 แผ่นพลาสติกที่ผ่านการทดสอบกดขึ้นรูป

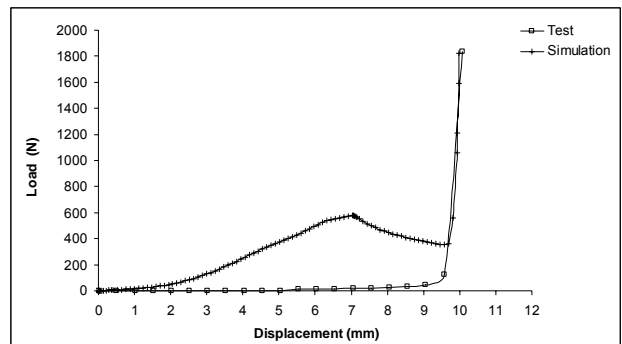
5. ผลการทดลอง

ในการจำลองการกดขึ้นรูปจริงนั้นรูปทรงที่ทำการจำลองมีลักษณะที่สมมาตรกันจึงทำการจำลองการขึ้นรูปเพียงครึ่งเดียวโดยจะกำหนดให้แผ่นพลาสติกเป็นแผ่นบาง (Sheet) มีสมบัติเป็นอีลาสติก - พลาสติก (Elastic - Plastic) เลือกใช้อิเลเมนต์แบบ S4 ซึ่งเป็น Shell Element โดยกำหนดเงื่อนไขตามการทดลองกดจริง ซึ่งจะให้หัวกด (Punch) เคลื่อนที่กดลงมาแนบติดกับแม่พิมพ์ (Die) เป็นระยะ 10 mm. ในเวลา 4 วินาที โดยจะทำการยึดตรงจุดปลายด้านซ้ายมือตั้งรูปที่ 14 ให้อยู่กับที่และด้านขวามือคือตรงกลางแผ่นพลาสติกซึ่งเป็นส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงตามรูปทรงของแม่พิมพ์ (Die)



รูปที่ 14 ความหนาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติกเมื่อทำการขึ้นรูป

จากผลการจำลองในรูปที่ 14 นั้นพบว่าช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามรูปทรงของแม่พิมพ์ (Die) แผ่นพลาสติกมีการยืดออกมากที่สุดเมื่อดูจากลักษณะของเอลิเมนต์ที่มีการเปลี่ยนแปลงและขนาดความหนาของแผ่นก็จะมีขนาดที่บางที่สุด ผลอันเนื่องมาจากเวลาที่ทำการกด หัวกด (Punch) จะสัมผัสตรงที่ส่วนโค้งมากกว่าที่จุดอื่น ๆ จึงทำให้ตรงจุดนี้มีขนาดบางที่สุด ส่วนตรงกลางแผ่นขนาดความหนาจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและจะเห็นได้ว่าในส่วนที่มีการจับยึดตรงด้านปลายแผ่นนั้นจะไม่มีเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้น ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองกดขึ้นรูปจริงจะนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างโพลต์ที่ใช้ในการกดกับระยะกดซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเร็วที่ใช้ในการกดแสดงดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 เปรียบเทียบโพลต์ที่ใช้ในการกดกับระยะกดของผลการทดลองกับการจำลองการกดขึ้นรูปจริงที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

6. วิจัยและสรุปผล

จากการทดสอบหาสมบัติเชิงกลของแผ่นพลาสติกโดยการทดสอบแรงกดที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 8 พบว่าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และอัตราการกด $\dot{\epsilon} = 0.5 \text{ s}^{-1}$ เป็นช่วงที่มีความเหมาะสมสำหรับการกดขึ้นรูปจริง และนำค่าที่ได้จากการทดสอบไปหาแบบจำลองอีลาสติก - พลาสติก (Elastic - Plastic) พบว่าในช่วงอีลาสติกค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าที่สูงกว่าการทดสอบเล็กน้อยอันเป็นผลมาจากที่ในช่วงอีลาสติกค่าที่ได้จากการจำลองจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linear) มากกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ แต่ในช่วงพลาสติกนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้สามารถที่จะแทบพฤติกรรมของแผ่นพลาสติกนี้ได้

จากการจำลองขึ้นรูปจริงตามแบบการทดสอบเมื่อพิจารณาระยะกดของหัวกด (Punch) ระหว่างการจำลองการกดขึ้นรูปกับการทดสอบกดขึ้นรูปจริง แสดงดังรูปที่ 15 พบว่า การทดสอบกดขึ้นรูปจริงในช่วงระยะกดระหว่าง 0 ถึง 2 mm. โหลดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เพราะในช่วงนี้แผ่นพลาสติกเกิดการอ่อนตัวและหัวกด (Punch) มีการสัมผัสกับแผ่นพลาสติกเพียงเล็กน้อยแต่หลังจากระยะ 2 mm. ถึงประมาณ 7 mm. เป็นช่วงที่หัวกด (Punch) กดแผ่นพลาสติกให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงตามแบบแม่พิมพ์ (Die) จากการทดลองนั้นพบว่า โหลดมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งต่างจากการจำลองที่ในช่วงนี้โหลดเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ อันอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากการเลือกใช้การจำลองแบบ Shell Element ซึ่งในช่วงนี้เอลิเมนต์เกิดการยึดตัวเพื่อเปลี่ยนรูปทรงตามแบบแม่พิมพ์ (Die) และที่ระยะ 7 mm. ถึง 9.8 mm. เป็นช่วงที่พลาสติกเริ่มมีรูปทรงตามแม่พิมพ์ โหลดมีการลดลงเล็กน้อย และเมื่อกดแผ่นพลาสติกลงไปได้ที่ระยะประมาณ 10 mm. พบว่า โหลดที่ใช้ในการทดลองกดขึ้นรูปจริงจะได้ 500 นิวตันและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 1800 นิวตัน ซึ่งค่าที่ได้นั้นตรงกับค่าการจำลองซึ่งระยะกดในช่วงนี้เป็นช่วงที่แผ่นพลาสติกมีรูปทรงตามแบบของแม่พิมพ์ และหัวกด (Punch) จะสัมผัสกับพื้นผิวของแผ่นพลาสติกด้านบนทั้งพื้นผิวและแม่พิมพ์ (Die) จะสัมผัสกับพื้นผิวของแผ่นพลาสติกด้านล่างทั้งพื้นผิว แสดงให้เห็นว่าการจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สามารถที่จะทำนายการขึ้นรูปของแผ่นพลาสติกชนิดนี้ได้ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราการกดที่ $\dot{\epsilon} = 0.5 \text{ s}^{-1}$ ถึงแม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนในขณะการขึ้นรูปบ้างก็ตามแต่ผลที่ได้สุดท้ายนั้นจะเห็นได้ว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก และชิ้นงานที่ได้จากการกดขึ้นรูปจริงนั้นจะมีลักษณะที่แข็ง แต่เปราะ แตกได้ง่ายเมื่อมีอะไรมากระทบ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ผศ.ดร. จันทรพร ผลการกุล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ช่วยกรุณาให้คำปรึกษาในการทำวิจัยขอขอบคุณ คุณกฤตธรรม ง่วนสำอางค์ บริษัท DES จำกัด ผู้นำเข้าเม็ดพลาสติกจากประเทศญี่ปุ่น ได้ให้ความอนุเคราะห์เม็ดพลาสติกในการทำวิจัย และขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนในการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. Giuseppe Sala^a, Luca Di Landro^b, Denis Cassago^a. A numerical and experimental approach to optimize sheet stamping technologies: polymers thermoforming. Materials and Design. 23, (2002): 21 – 39.
2. Mohammad Tahaye Abadi, Hamid Reza Daghyani, Shahriar Fariborz. Finite element analysis of thermoplastic composite plates in forming temperature. Composites Science and Technology. 66, (2006): 306 – 313.
3. ASTM : D695, Standard Test Method for Compressive Properties of Plastics.
4. ABAQUS Theory manual. Hibbit, Karlsson and Sorensen, Inc.
5. Mase, George E. Theory and problems of continuum mechanics. 1st ed. America : McGraw – Hill, c1970.