

# การพัฒนาวิธีการสร้างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นด้วยเทคนิควิศวกรรมย้อนรอยและศึกษาปัญหาการเสียรูปด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

THE DEVELOPMENT OF PLASTIC SHEET THERMOFORMING MOLD MAKING BY USING REVERSE ENGINEERING AND STUDY OF PART WARPAGE WITH FINITE ELEMENT METHOD

## มนัส เทรญญกิจ

อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์ และเครื่องมือ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
E-mail : manath@kmutnb.ac.th

## วัชร ปลายลักษณ์

อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์ และเครื่องมือ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
E-mail : vatcharal@kmutnb.ac.th

## รองศาสตราจารย์สถาพร ชาดาคม

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
E-mail : sck@kmutnb.ac.th

## บทคัดย่อ

กระบวนการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นนั้นมักจะใช้ผลิตชิ้นงานพลาสติกที่มีลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่และต้องการต้นทุนต่ำ เช่น แผ่นรองพื้นภายในรถยนต์ หรือแผ่นที่วางของบริเวณกระบะไปรงท้ายรถ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้จะมีต้นทุนของเครื่องจักรและแม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตต่ำกว่ากระบวนการอื่นเช่น การฉีดพลาสติก เป็นต้น ในงานวิจัยชิ้นนี้จะพัฒนาวิธีการสร้างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นโดยใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยและทำการศึกษาปัญหาการเสียรูปของชิ้นงานเนื่องจากอุณหภูมิในขณะที่ทำการผลิตด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานคือพลาสติกแผ่นโพลีเอทิลีนและใช้วัสดุอลูมิเนียมในการสร้างแม่พิมพ์ สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการเสียรูปเนื่องจากอุณหภูมินั้นจะใช้โปรแกรม ABAQUS จากผลการวิจัยพบว่าสามารถลดระยะเวลาในการออกแบบแม่พิมพ์ลงได้มากกว่า 40% ชิ้นงานจากการทดลองจำนวน 50 ชิ้นมีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกับชิ้นงานต้นแบบแต่มีอัตราการเสียรูปน้อยกว่า

**คำสำคัญ :** การอัดขึ้นรูปพลาสติก วิศวกรรมย้อนรอย แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

## ABSTRACT

Thermoforming process is often used for plastic part production with large shapes and low cost requirement. Typical parts from this process are car mats and support sheets at car trunk. The advantage of this process is that its cost of the machine and mold used in the production process is lower than that of other processes such as the plastic injection process. The aim of this article is to present the development of thermoforming mold design and making process by using reverse engineering technique and the study of part warpage problem with the use of the finite element method. The mold material for this research is casting aluminum. Plastic sheet material for the experiment is polyethylene. ABAQUS computer program is also applied for plastic part warpage problem analysis. From the results, the reverse engineering technique could reduce time for car mat mold design process by approximately 40 %. Finally, plastic parts from the experiment have shapes and dimensions very closely similar to the original part, with less warpage.

**KEYWORDS :** Thermoforming, Reverse Engineering, Thermoforming mold, Finite Element Method

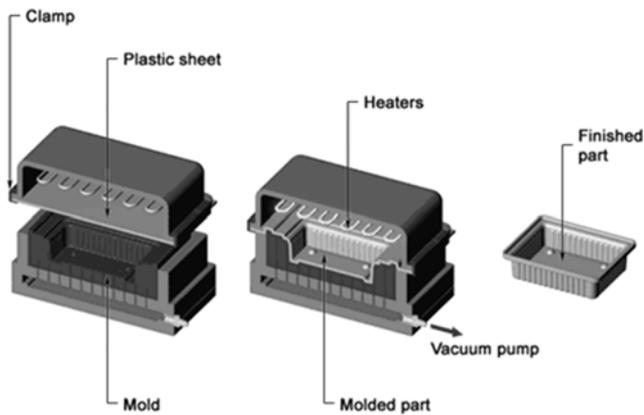
## บทนำ

กระบวนการผลิตชิ้นงานพลาสติกด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นโดยประยุกต์ใช้ความร้อน (Thermoforming) นั้นเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการผลิตชิ้นงานพลาสติกที่มีลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่ รูปทรงไม่ซับซ้อนและต้องการต้นทุนต่ำ (Thron, 2008) วิธีการเบื้องต้นในการผลิตนั้นคือการนำพลาสติกแผ่นไปให้ความร้อนภายในตู้อบจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงนำแผ่นพลาสติกที่ผ่านการอบแล้วไปทำการขึ้นรูปในแม่พิมพ์จนได้รูปทรงตามที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงทำการปล่อยทิ้งไว้ให้ที่อุณหภูมิห้องซึ่งแผ่นพลาสติกที่ได้จะคงรูป ตามแม่พิมพ์และจะได้ชิ้นงานตามที่ต้องการ ในบางครั้งวิธีการผลิตประเภทนี้ใช้กับการผลิตชิ้นงานจำนวนไม่มาก หรืองานออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype) เนื่องจากสามารถทำแม่พิมพ์ได้รวดเร็วและมีราคาถูก (Throne, 2008) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ผลิตชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ ได้ อาทิเช่น ผนังด้านในของตู้เย็น แผ่นนุภายในประตูรถยนต์ และแผ่นนุกันความร้อนบริเวณหลังคารถยนต์ เป็นต้น ซึ่งหากจะผลิตด้วยวิธีการฉีดพลาสติก (Plastic Injection Molding) นั้นจะต้องลงทุนทำแม่พิมพ์ซึ่งมีราคาสูง ใช้เวลาเตรียมการผลิตนาน อีกทั้งยังต้องใช้เวลายาวมากในการออกแบบแม่พิมพ์และบางครั้งก็อาจจะไม่มีเครื่องฉีดพลาสติกที่มีขนาดเหมาะสมกับ

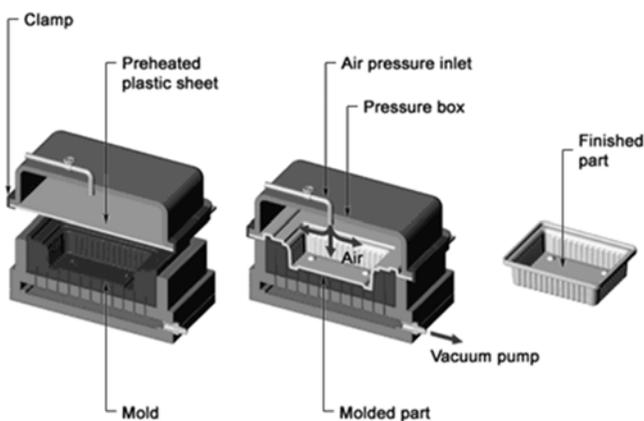
ขนาดของชิ้นงาน ซึ่งลักษณะโดยทั่วไปของกระบวนการอัดขึ้นรูปสำหรับพลาสติกแผ่นนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้ (Klein, 2009)

1. การอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum forming)
2. การอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นด้วยระบบลมอัด (Pressure forming)
3. การอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นด้วยระบบแม่แบบอัด (Mechanical forming)

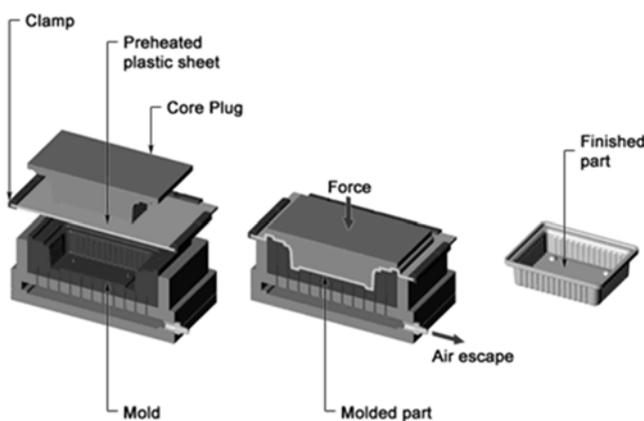
โดยกระบวนการแต่ละประเภทจะมีวิธีการขึ้นรูปที่แตกต่างกันออกไป การอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นด้วยระบบสุญญากาศนั้น จะใช้การดูดอากาศออกบริเวณพื้นที่ระหว่างแผ่นพลาสติกและแม่พิมพ์ฝั่งตัวเมีย (Cavity side) ซึ่งแรงดูดที่ใช้ดูดอากาศออกไปนั้นจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 2-5 bar เพื่อใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน สำหรับการขึ้นรูปพลาสติกแผ่นด้วยความร้อนโดยใช้ระบบลมอัดนั้น จะใช้หลักการที่ตรงข้ามกับการใช้สุญญากาศ โดยจะใช้อากาศอัดเข้าไปแทน ซึ่งบริเวณที่อากาศจะอัดเข้าไปนั้นจะอยู่บริเวณระหว่างแผ่นพลาสติกและส่วนที่เรียกว่า Pressure box สำหรับการขึ้นรูปพลาสติกแผ่นโดยใช้แม่แบบอัดนั้น จะใช้หลักการขึ้นรูปโดยอาศัยแม่พิมพ์ฝั่งตัวผู้และตัวเมีย (Core



รูปที่ 1 การขึ้นรูปพลาสติกแผ่นด้วยระบบสุญญากาศ



รูปที่ 2 การขึ้นรูปพลาสติกแผ่นโดยใช้ระบบอัด

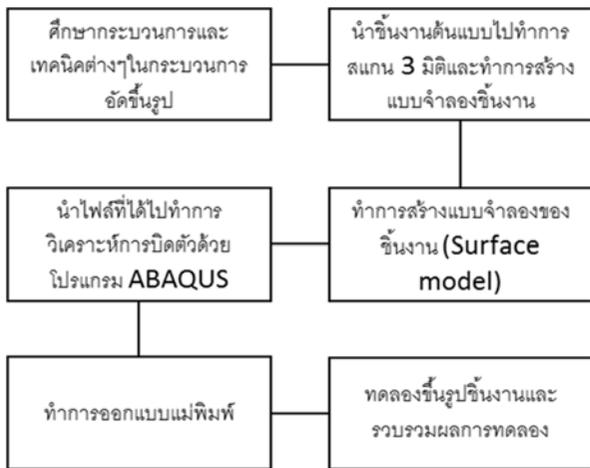


รูปที่ 3 การขึ้นรูปพลาสติกแผ่นโดยใช้แม่แบบอัด

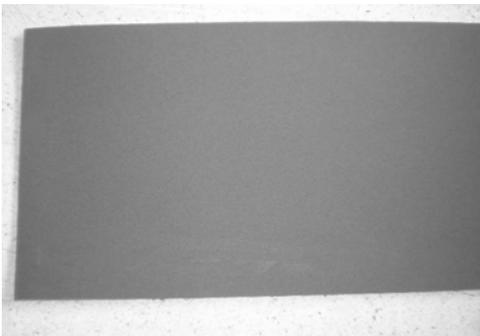
and cavity side) ในการอัดขึ้นรูป ซึ่งวิธีการทั้ง 3 แบบนั้น ถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 1-3 ([www.custompartnet.com](http://www.custompartnet.com))

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า กระบวนการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นนั้นได้ถูกนำไปวิจัยและทดลองกับวัสดุพลาสติกแผ่นที่มีการเพิ่มเส้นใยจากธรรมชาติ (Wood-Fiber) แต่ในขั้นตอนเตรียมแบบจำลองนั้นได้ใช้วิธีการสร้างแบบจำลองจากดินสังเคราะห์ (Clay Model) (Debes, Martyn and Krishnan, 2003) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงวิธีการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นสำหรับพลาสติกประเภทโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) ในการตกแต่งชิ้นงานพลาสติกด้วยแผ่นฟิล์ม (In-Mold Decorating) (Shia-Chung Chen and other, 2008) ซึ่งจะเห็นได้ว่า กระบวนการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นนั้นยังสามารถนำไปพัฒนากระบวนการออกแบบและผลิตชิ้นงานได้ สำหรับวิธีการใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอย ในงานวิจัยนั้นได้มีการศึกษาถึงการประยุกต์ใช้เทคนิคดังกล่าว ในการลดต้นทุนสำหรับสร้างชิ้นงานด้วยเทคนิคเลเซอร์ซินเตอร์ริง (Direct Laser Sintering) (Paulic and others 2014) ซึ่งจะเห็นได้จากผลการวิจัยว่าสามารถลดต้นทุนได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยในการสร้างชิ้นงานสำหรับเครื่องจักรที่ชำรุดเสียหายหรือสึกหรอ (Michal and Stefan, 2012) เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและต้นทุนในการผลิตชิ้นงาน สำหรับในประเทศไทยนั้นได้มีการศึกษาถึงวิธีการทำชิ้นส่วนรถด้วยวิธีการดังกล่าว (สถาพร ชาทาคม, 2013) ซึ่งสามารถลดขั้นตอนและต้นทุนในการผลิตชิ้นงานลงได้

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยชิ้นนี้นั้นต้องการที่จะประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการพัฒนาวิธีการออกแบบและลดขั้นตอนรวมถึงระยะเวลาในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์สำหรับการอัดขึ้นรูปพลาสติก เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของผู้ประกอบการภายในประเทศ ซึ่งมักจะเป็นผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้สามารถพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์จากแบบชิ้นงานที่มีอยู่เดิมให้ดูทันสมัยและนำใช้มากขึ้นด้วยเทคนิคดังกล่าว



รูปที่ 4 ขั้นตอนในการทำวิจัย



รูปที่ 5 แผ่นพลาสติกที่ทำการตัด



รูปที่ 6 เตาอบสำหรับให้ความร้อนพลาสติกแผ่น



รูปที่ 7 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกส์

## ขั้นตอนในการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่น PE นั้น ผู้จัดทำได้ลำดับขั้นตอนการทำงานไว้ดังต่อไปนี้

### - ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่น

ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกแผ่นโฟม PE นั้น จำเป็นที่จะต้องมีการประยุกต์ใช้ความร้อนเพื่อทำให้พลาสติกแผ่นเกิดการอ่อนตัวก่อนที่จะใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ ซึ่งลักษณะของวัตถุดิบก่อนจะทำการขึ้นรูปนั้นจะมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบไม่มีลวดลายและมีขนาดความหนาแตกต่างกันไป สีของวัตถุดิบนั้นจะขึ้นอยู่กับสีของชิ้นงานที่ต้องการ อาทิเช่น สีเทา, สีเหลือง, สีดำ เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนแรกในกระบวนการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นโฟม PE นั้น จะต้องทำการตัดแผ่นโฟมให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดของชิ้นงานก่อน แต่จะต้องไม่มีขนาดที่เล็กกว่าขอบของแม่พิมพ์ที่จะใช้ในการขึ้นรูป จากนั้นก็จะนำไปทำการอบในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 80-90 °C เป็นเวลาประมาณ 5 นาที และนำแผ่นพลาสติกที่ได้ไปทำการวางบนแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปและทำการอัดด้วยความดันประมาณ 8-10 บาร์ โดยเวลาที่ใช้จะขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานและแม่พิมพ์ จากนั้นจึงนำชิ้นงานที่ได้ออกมาไว้ภายนอกแม่พิมพ์เพื่อรอให้ชิ้นงานมีอุณหภูมิลดลงก่อนทำการตัดแต่ง

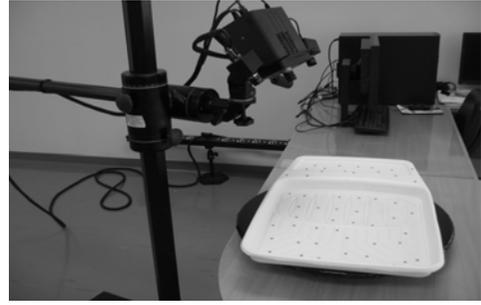
ชิ้นงานที่ได้หลังจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกส์นั้น จะมีครีบหรือส่วนที่เกินออกมาจากชิ้นงานที่ต้องการ เนื่องจากในขั้นตอนของการเตรียมพลาสติกแผ่นก่อนการขึ้นรูป ดังนั้นชิ้นงานที่ได้จึงมีครีบเกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งครีบบังกล่าวนั้นต้องนำมาทำการตัดออกด้วยแรงงานคนดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8 ครีบของชิ้นงาน



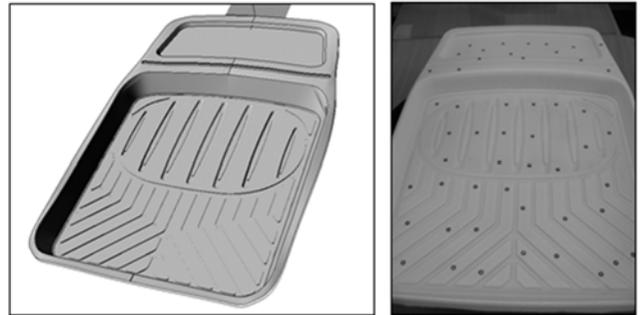
รูปที่ 9 การตัดแต่งครีบก้นงานด้วยแรงงานคน



รูปที่ 10 การสแกนชิ้นงานแบบ 3 มิติ

- ขั้นตอนการการก่อสร้างแบบจำลองชิ้นงานด้วยเทคนิควิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering)

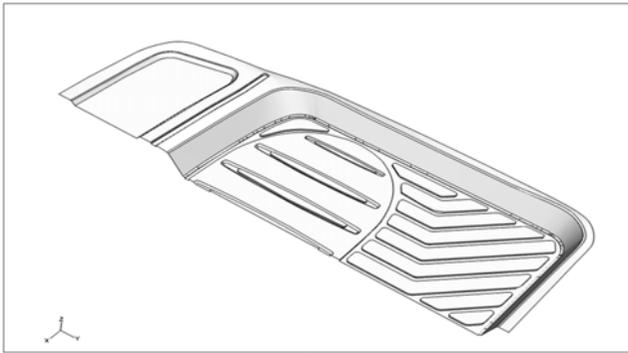
ในกระบวนการออกแบบและผลิตชิ้นงานพลาสติกแผ่นโฟม PE นั้น บางครั้งจะเป็นการพัฒนาชิ้นงานต้นแบบมาจากกระบวนการอื่น อาทิเช่น การฉีดพลาสติก การฉีดยาง การฉีดโฟม (PU) เป็นต้น โดยในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้ชิ้นงานแผ่นรองเท้าภายในรถยนต์ (Car Mat) เป็นชิ้นงานต้นแบบ โดยวิธีการเดิมในการสร้างแม่พิมพ์นั้นจะใช้วิธีวัดขนาด จากชิ้นงานโดยตรงด้วยเครื่องมือวัดพื้นฐาน จากนั้นจึงทำการสร้างแบบลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์แต่ในบางครั้งวิธีการนี้ จะมีความยุ่งยากและมีข้อจำกัดในเรื่องของความคลาดเคลื่อนหรือไม่สามารถวัดขนาดชิ้นงานได้ในบางจุด (Tham and Chan, 2007) แต่ในปัจจุบันสามารถใช้วิธีการที่เรียกว่าการสแกนแบบ 3 มิติ (3-D Optical Scan) มาช่วยในการออกแบบชิ้นงานหรือแม่พิมพ์ได้ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งจะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการวัดขนาดของชิ้นงานลงไปได้และยังช่วยลดข้อจำกัดในการวัดขนาดของชิ้นงานในบางตำแหน่งที่เครื่องมือวัดพื้นฐานไม่สามารถทำการวัดได้ โดยวิธีการสแกนแบบ 3 มิติ นั้นรูปแบบของชิ้นงานจำลองที่ได้จะเป็นไฟล์ที่เรียกว่า STL (Stereo lithography) ซึ่งเป็นไฟล์ที่สามารถนำไปออกแบบหรือวิเคราะห์ต่อ ในโปรแกรมอื่นๆ ได้อาทิเช่น การนำไฟล์ STL ไปทำการสร้างแบบจำลองแบบพื้นผิวเรียบ (Surface) จากนั้นจึงนำไปทำการออกแบบแม่พิมพ์ซึ่งวิธีการสแกนแบบ 3 มิติ นั้นจะช่วยลดระยะเวลาในการวัดขนาดของชิ้นงานลงไปได้มาก อีกทั้งมีความแม่นยำสูง ซึ่งจะทำให้ผู้ออกแบบมีความสะดวกในการออกแบบและพัฒนารูปทรงของชิ้นงาน โดยในงานวิจัยชิ้นนี้นั้นจะประยุกต์ใช้โปรแกรม Rhinoceros 4.0 ในการสร้างรูปแบบจำลองของชิ้นงานดังที่แสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง (ซ้าย) และชิ้นงานจริง (ขวา)

- การวิเคราะห์ปัญหาการเสียรูปของชิ้นงานเนื่องจากอุณหภูมิ (Thermal Stress Analysis)

ในการขึ้นรูปพลาสติกแผ่นด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปนั้น จำเป็นที่จะต้องทำให้แผ่นพลาสติกเกิดการอ่อนตัวด้วยความร้อนก่อนนำไปทำการอัดขึ้นรูปดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ โดยในขณะที่ทำการอัดขึ้นรูปนั้นพลาสติกแผ่นจะถูกอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องเพรสไฮดรอลิค ซึ่งหมายความว่าชิ้นงานจะได้รับทั้งความร้อนและความดันในขณะเดียวกัน ดังนั้นในบางครั้งชิ้นงานที่ได้จะเกิดการบิดตัวและเสียรูปภายหลังจากที่ทำการผลิต ในงานวิจัยชิ้นนี้นั้นจะให้โปรแกรม ABAQUS ในการทำนายพฤติกรรมและการเสียรูปและการกระจายอุณหภูมิ (Thermal Displacement) ภายหลังจากการขึ้นรูป เนื่องจากวิธีการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นนั้นจะไม่มี การสร้างระบบหล่อเย็นภายในแม่พิมพ์แต่จะใช้วิธีการนำชิ้นงานออกมาเพื่อให้เย็นตัวภายนอก (KAZMER, D., 2007) ดังนั้นการแก้ไขปัญหาการบิดตัวจึงต้องใช้วิธีการเพิ่มขนาดความหนาหรือเพิ่มสันเสริมแรงในบางตำแหน่งของชิ้นงานหรือใช้วิธีการสร้างเครื่องมือสำหรับ ทำให้ชิ้นงานเย็นตัวและคงรูปภายนอกแม่พิมพ์ (Cooling Jig) โดยในงานวิจัยชิ้นนี้นั้นจะประยุกต์ใช้วิธีการ



รูปที่ 12 แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์

วิเคราะห์แบบสมมาตร (Axis-Symmetry) สำหรับชิ้นงานต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 12

ในการกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ (Material Properties) สำหรับการวิเคราะห์นั้นมีดังนี้

- ความหนาแน่น (Density) =  $0.91 \text{ g/cm}^3$
- Young's Modulus = 400 MPa
- ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) =  $3400 \text{ J/kg.K}$
- ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) =  $0.34 \text{ W/m.K}$
- ค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal Expansion) =  $200 \text{ e-6/K}$

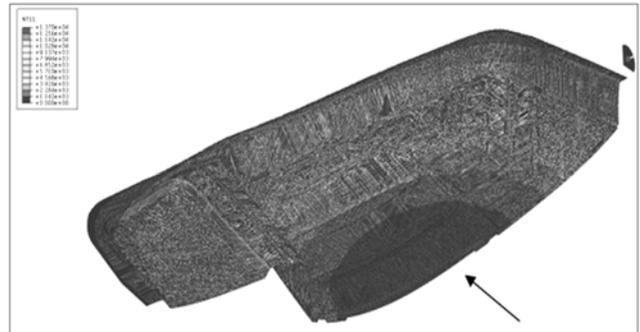
การสร้าง Mesh สำหรับแบบจำลองจะเลือกใช้ Mesh แบบสามเหลี่ยม (Tetrahedral) ดังที่แสดงในรูปที่



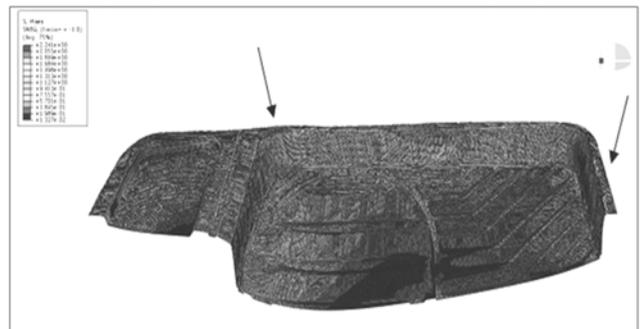
รูปที่ 13 การแบ่ง Mesh ของชิ้นงาน

ในการกำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตของการวิเคราะห์นั้น จะกำหนดให้ขอบนอกของชิ้นงานมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องเท่ากับ  $30^\circ\text{C}$  และอุณหภูมิของชิ้นงานบริเวณที่เหลือนเท่ากับ  $80^\circ\text{C}$  ซึ่งจะเท่ากับอุณหภูมิในการให้ความร้อนของชิ้นงานในเตาอบ โดยผลของการวิเคราะห์นั้นถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 14 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสูงสุดของชิ้นงานภายหลังจากขึ้นรูปนั้นจะอยู่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน (ลูกศรชี้) โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ  $65\text{-}68^\circ\text{C}$  บริเวณขอบของชิ้นงานอุณหภูมิจะลดลงเหลือประมาณ  $40^\circ\text{C}$

เมื่อพิจารณาถึงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน ดังที่แสดงในรูปที่ 15 จะเห็นได้ว่าบริเวณขอบส่วนโค้งของชิ้นงานจะเกิดความเค้นสูงสุดเนื่องจากเป็นส่วนที่ชิ้นงานเกิดการบิดตัวมากที่สุด (ลูกศรชี้) อันเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่บริเวณกึ่งกลางและขอบของชิ้นงาน



รูปที่ 14 การกระจายอุณหภูมิของชิ้นงาน

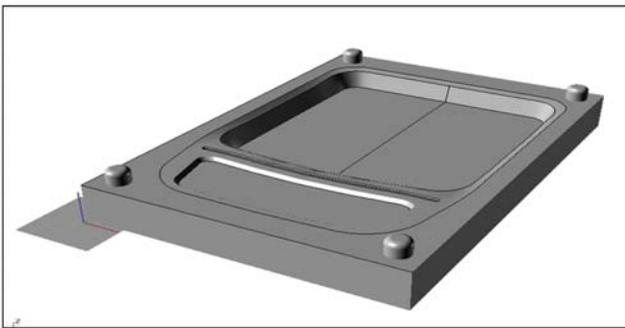


รูปที่ 15 บริเวณที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดของชิ้นงาน

## การสร้างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปและการทดลองผลิตชิ้นงาน

### - การสร้างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป

หลังจากที่ได้ทำการสร้างแบบจำลองของชิ้นงาน และทำการวิเคราะห์ลักษณะการเสียรูปของชิ้นงานเรียบร้อยแล้วนั้น ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสร้างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโดยประยุกต์ใช้ระบบ CAD/CAM โดยโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์นั้นจะใช้โปรแกรม Rhinoceros 4.0 ในการออกแบบ สำหรับการสร้างทางเดินมีดกัด (Tool Path) ของแม่พิมพ์ฝั่งตัวผู้ (Core Side) และตัวเมีย (Cavity Side) นั้นจะใช้โปรแกรม CATIA โดยรูปที่ แสดงถึงแม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว วัสดุที่เลือกใช้ในการทำแม่พิมพ์นั้นจะเป็นวัสดุประเภทอะลูมิเนียมหล่อ (Casting Aluminum) ขนาด 750x550x120 มม.

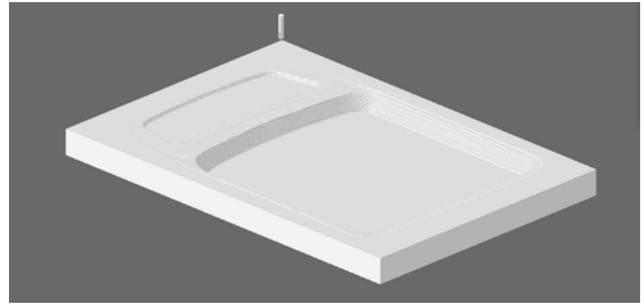


รูปที่ 16 แม่พิมพ์ฝั่งตัวเมีย (Cavity Side)

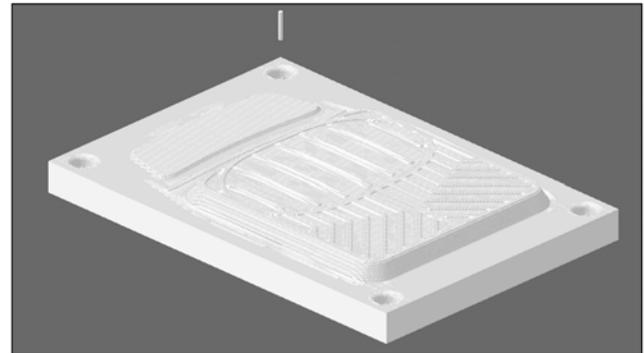


รูปที่ 17 แม่พิมพ์ฝั่งตัวผู้ (Core Side)

ในการสร้างทางเดินมีดกัดสำหรับแม่พิมพ์แต่ละฝั่งนั้น จะทำการแบ่งขั้นตอนออกเป็นทั้งหมด 3 ขั้นตอนคือ กัดหยาบ (Rough) 2 ครั้งและกัดละเอียด (Finishing) เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ได้นั้นจะไม่มีขั้นตอนการขัดด้วยแรงงานคน เนื่องจากข้อจำกัดของวัสดุทำแม่พิมพ์



รูปที่ 18 ทางเดินมีดกัดสำหรับแม่พิมพ์ฝั่งตัวเมีย



รูปที่ 19 ทางเดินมีดกัดสำหรับแม่พิมพ์ฝั่งตัวผู้



รูปที่ 20 เครื่องกัดที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์

เครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปแม่พิมพ์นั้นจะใช้เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Machining Center) ดังที่แสดงในรูปที่ 20 โดยมีความเร็วรอบสูงสุดอยู่ที่ 25000 รอบต่อนาทีสำหรับการเก็บผิวละเอียดในขั้นตอนสุดท้าย

โดยแม่พิมพ์ทั้ง 2 ฝั่งที่ทำการผลิตเสร็จเรียบร้อยแล้วนั้นถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 21-22



รูปที่ 21 แม่พิมพ์ฝั่งตัวเมีย



รูปที่ 22 แม่พิมพ์ฝั่งตัวผู้

- การทดลองผลิตชิ้นงาน

หลังจากที่ทำการสร้างแม่พิมพ์เสร็จเรียบร้อยแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดลองผลิตชิ้นงาน โดยขั้นตอนทั้งหมด ได้แสดงอยู่ในหัวข้อที่ผ่านมาข้างต้น สำหรับเครื่องอบที่ใช้ในการให้ความร้อนกับแผ่นพลาสติกนั้นถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 23



รูปที่ 23 เครื่องอบแผ่นพลาสติก

โดยทำการตั้งค่าอุณหภูมิอยู่ที่ 80°C และใช้เวลาในการให้ความร้อนประมาณ 5 นาที

สำหรับเครื่องอัดระบบไฮดรอลิคนั้นจะใช้เครื่องที่มีขนาดความดันสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 50 bar สำหรับการทดลอง ชิ้นรูปนั้นได้กำหนดไว้ที่ความดัน 8 bar เนื่องจากเมื่อกำหนดความดันที่สูงกว่านี้ความหนาของชิ้นงานที่ได้จะไม่แตกต่างกันมาก โดยขั้นตอนในการขึ้นรูปนั้นถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 24-25



รูปที่ 24 การวางแผ่นพลาสติกบนเครื่องอัด



รูปที่ 25 การขึ้นรูปพลาสติกแผ่น



รูปที่ 26 ชิ้นงานที่ได้จากการผลิต



รูปที่ 27 แม่พิมพ์สำหรับตัดของชิ้นงาน

หลังจากที่ทำการผลิตชิ้นงานเรียบร้อยแล้วนั้นจะเห็นได้ว่าชิ้นงานยังคงมีครีบหรือส่วนที่เกินอยู่ ซึ่งขั้นตอนสุดท้ายนั้นจะใช้วิธีการตัดขอบของชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ซึ่งจะใช้วิธีการนี้แทนการใช้แรงงานคนในการตัดขอบ โดยแม่พิมพ์ที่ใช้ในการตัดขอบนั้นถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 27 และชิ้นงานที่ผ่านการตัดขอบแล้วนั้นถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 28

### ผลการทดลอง

ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองชิ้นรูปนั้นมีขนาดและความหนาที่ใกล้เคียงกับชิ้นงานต้นแบบ นอกจากนั้นการใช้งานและรูปร่างภายนอกยังคงรูปแบบที่ใกล้เคียงกันกับชิ้นงานต้นแบบอีกด้วย สำหรับการผลิตแม่พิมพ์สามารถลดระยะเวลาในการวัด



รูปที่ 28 ชิ้นงานที่ผ่านการตัดครีบ

ขนาดชิ้นงานและทำการสร้างแบบจำลองลงจากชิ้นงานต้นแบบลงได้ประมาณ 40 % เนื่องจากการสแกนแบบ 3 มิตินั้นจะช่วยลดระยะเวลาและเพิ่มความแม่นยำในการออกแบบชิ้นงานได้ โดยตารางการเปรียบเทียบขั้นตอนและระยะเวลาที่ลดลงนั้นถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 1

ในการทดลองทำการผลิตนั้นทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองผลิตชิ้นงานเป็นจำนวน 50 ชิ้น และทำการปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาทีและนำไปตรวจสอบการบิดตัวเบื้องต้นโดยเปรียบเทียบกับชิ้นงานต้นแบบที่มีปัญหา ซึ่งพบว่าชิ้นงานที่ได้มีการบิดตัว และเสียรูปน้อยกว่าเนื่องจากการเพิ่มความหนาอีกประมาณ 1.5 มม. บริเวณที่เกิดความเค้นสูงโดยอาศัยผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบระยะเวลาการทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน	วิธีการทั่วไป ระยะเวลา (ชม.)	การสแกน 3 มิติ ระยะเวลา (ชม.)
1. เตรียมชิ้นงานต้นแบบ	2	2
2. ทำการวัดขนาดด้วยเครื่องมือวัดพื้นฐาน	5	N/A
3. สแกนแบบ 3 มิติ	N/A	1
4. สร้างแบบจำลองของชิ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	48	16
5. ตรวจสอบแบบจำลองที่ได้และทำการแก้ไขขนาด	3	3
6. ทำการออกแบบแม่พิมพ์	36	24
<b>เวลารวมทั้งหมด</b>	<b>94</b>	<b>46</b>

## สรุปผลการทดลอง

การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่น โดยประยุกต์ใช้ความร้อนนั้นจะเหมาะสมกับการผลิตชิ้นงานที่ต้องการต้นทุนต่ำและมีจำนวนการผลิตที่ไม่สูงมาก นอกจากนั้น ยังเหมาะสมกับชิ้นงานที่มีรูปแบบที่หลากหลายและมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบบ่อยๆ ดังนั้นในการเตรียมกระบวนการผลิตจึงต้องการระยะเวลาที่สั้นที่สุดเพื่อจะได้สามารถลดต้นทุนของการผลิตชิ้นงานลงได้ ในการออกแบบชิ้นงานและแม่พิมพ์จึงควรอาศัยวิธีการที่เรียกว่าวิศวกรรมย้อนรอยในการพัฒนาารูปแบบของชิ้นงาน รวมถึงการนำแบบจำลองที่ได้ไปทำการสร้างแม่พิมพ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่า สามารถลดขั้นตอนและแรงงานคนลงไปได้เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเดิม

## เอกสารอ้างอิง

- สถาพร ขาดาคม, อุเทน คณะวาปี, ศักดิ์ชัย ม่วงภาณี. 2013. "การทำชิ้นส่วนรดด้วยวิธีทำต้นแบบอิลิกทราอนิคส์ และกระบวนการวิศวกรรมย้อนกลับ", **วารสารศรีปทุมปริทัศน์**, 1 (2013), 47-56.
- B. Debes, B. Martyn, J. Krishnan. 2003. "Thermoforming Wood-Fibre Polypropylene Composite Sheet", **Composites Science and Technology**, 63 (2003), 353-365.
- D. Michal, K. Stefan. 2012. "Application of Reverse Engineering Techniques in Mechanics System", **Procedia Engineering**, 48 (2012), 96-104.
- J.L. Throne, 2008. **Understanding Thermoforming**. Second edition, Cincinnati, OH, Hanser Gardner Publication
- KAZMER, D., 2007. **Injection Mold Design Engineering**. Cincinnati OH, Hanser Gardner Publications.
- K.W. THAM, K.W. CHAN, 2007. "Thermoforming Mold Design Using A Reverse Engineering Approach", **Robotics and Computer-Integrated**, 23, 305-314.
- M. Paulic, I. Tomaz, B. Joze, C. Franc, C. Andrej, B. Tomaz, D. Igor, "Reverse Engineering of Parts with Optical Scanning and Additive Manufacturing", **Procedia Engineering**, 69 (2014), 795-80.

Peter W. Klein, 2009. **Fundamental of Thermoplastic Forming**. Synthesis Lectures on Material Engineering, Ohio, Morgan and Claypool Publishers.

Shia-Chung Chen, Shih-Tsun Huang, Ming-Chung Lin, Rean-Der Chien. 2008. "Study on The Thermoforming of PC Films use on In-Mold Decoration", **International Communications in Heat and Mass Transfer**, 35 (2008), 967-973.



#### >> มนัส เทรัญญกิจ

สำเร็จการศึกษา ปริญญาโท (ว.ทม.) สาขาวิศวกรรมการผลิต พ.ศ. 2552 ปริญญาตรี (อ.สบ.) สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล (ออกแบบแม่พิมพ์) พ.ศ. 2544 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



#### >> วังระ ลายลักษณ์

สำเร็จการศึกษา ปริญญาโท (ว.ทม.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล พ.ศ. 2551 ปริญญาตรี (อ.สบ.) สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล (ออกแบบแม่พิมพ์) พ.ศ. 2547 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



#### >> สถาพร ขาดาคม

สำเร็จการศึกษา ปริญญาโท (ค.อม.) สาขาเครื่องกล พ.ศ. 2538 ปริญญาตรี (ค.อบ.) สาขาเครื่องกล พ.ศ. 2528 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ