

การออกแบบและวิเคราะห์ชิ้นส่วนพลาสติกของเครื่องใช้ไฟฟ้า Design and Analysis of Plastic Model for Electrical Appliances

สถาพร ชาดาคม¹ สุเทพ บุตรดี² และ สิทธิศักดิ์ รุรกิจ³

บทคัดย่อ

ปัจจุบันกระบวนการผลิตในทางอุตสาหกรรมมีการแข่งขันกันสูงมาก ซึ่งเป็นผลจากการที่ประเทศไทยเปิดตลาดเสรีสินค้ามีการแข่งขันกันด้านราคาอย่างรุนแรง ส่งผลให้ผู้ผลิตต้องทำการวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้รวดเร็วเที่ยงตรงและปรับลดต้นทุนสินค้าให้ต่ำลง นำไปสู่การได้เปรียบในเชิงการตลาดเพื่อที่ธุรกิจจะดำเนินต่อไปได้ เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านก็เป็นสินค้าชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางส่วนใหญ่แล้วจะมีชิ้นส่วนที่ทำจากพลาสติกเป็นส่วนประกอบ ผู้วิจัยได้ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกของเตาเสียบปลั๊กไฟที่ทำจากวัสดุ (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ABS และนำเอาเทคโนโลยี CAD/CAE เข้ามาช่วยในการทำงาน โดยได้ทำการออกแบบและสร้างต้นแบบชิ้นส่วนด้านล่างขึ้น ในการออกแบบใช้โปรแกรม CAD จากนั้นนำแบบโมเดลที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CAE เพื่อจำลองการฉีด และวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความดันฉีด อัตราฉีด อุณหภูมิปลดชิ้นงาน ความเค้นภายในชิ้นงานขณะฉีด อัตราเฉือนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อพลาสติก และการบิดงอของชิ้นงานเป็นต้น เมื่อได้ปรับแต่งจนได้ค่าที่เหมาะสมแล้ว แล้วนำข้อมูลวิเคราะห์ที่ได้ปรับชิ้นงานใหม่และนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ใช้ระบบ Selective Laser Sintering (SLS) ทำการตรวจสอบความถูกต้องของขนาดชิ้นงาน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน

คำสำคัญ : CAD/CAE วิเคราะห์งานพลาสติก, พารามิเตอร์สำหรับเครื่องฉีดพลาสติก

Abstract

In present production in industrial has been advanced competitor that Thailand open market. Product have complete very much which product have research and development by adjust production with quick and reduce low investment to compare in marketing by continue grown in business. The Electrical appliances in home used product very must then part almost making from plastic. Researcher is design plastic mold of electrical appliance by material (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ABS by used technology CAD/CAE note that form design and create mockup model for plastic analysis and search parameter for example packing pressure, packing time, eject temperature, stress and strain in part, bending of part after eject out from mold and etc. How ever after succeed complacent data then take data go to adjust model again, and make a model with Rapid Prototype Machine used Selective Laser Sintering (SLS) system, and then checking correct again which maintain quality control standard product.

Keywords : CAD/CAE for plastic part analysis, injection machine parameter

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

³ ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. บทนำ

เนื่องจากบริษัท SK POLYMER จำกัด ได้ประสบปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ชิ้นส่วนพลาสติกของเครื่องใช้ไฟฟ้า และพบความผิดพลาดเกิดขึ้น ทางด้านขนาดที่ไม่เที่ยงตรงเวลาที่เสียไปในการวัดแม่พิมพ์ และแบบชิ้นส่วนยังคงเป็นลักษณะ 2 มิติ ซึ่งยากต่อการทำความเข้าใจ และเมื่อมีการแก้ไขก็ต้องทำใหม่เกือบทั้งหมด ไม่มีแบบภาพประกอบ 3 มิติช่วย ในการประกอบหรือการตรวจสอบ และไม่สามารถสร้างแบบจำลอง (Mockup Model) ได้ สำหรับทดสอบการออกแบบนั้นว่าถูกต้องหรือไม่ อีกทั้งยังไม่มีเครื่องมือวิเคราะห์การฉีดพลาสติก เพื่อยืนยันความถูกต้องของการออกแบบแม่พิมพ์ การวิจัยเรื่องนี้จะช่วยสนับสนุนการแก้ปัญหาต่างๆ เช่น เพื่อลดการทำงานที่ซับซ้อนลง สามารถผลิตชิ้นงานให้มีคุณภาพสูงขึ้น การลดต้นทุนการผลิต การลดความคลาดเคลื่อนของขนาดของชิ้นงาน

ด้วยเหตุนี้จึงได้จัดทำโครงการร่วมกับ บริษัท SK POLYMER จำกัด เพื่อทำการออกแบบชิ้นส่วนพลาสติกเป็นแบบเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้านาเทคโนโลยีระบบ CAD/CAM/CAE เข้ามาช่วยในการทำงาน การออกแบบ และทำการวิเคราะห์ โดยจำลองกระบวนการฉีดเพื่อวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งหมดก่อนที่จะดำเนินการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ทำการทดลองฉีดและเก็บข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิตอย่างถูกต้องและเหมาะสม

2. แนวคิดในการออกแบบ

2.1 หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์จากพลาสติก

สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การเลือกใช้พลาสติกให้ถูกกับวัตถุประสงค์การใช้งานผลิตภัณฑ์ และความเหมาะสมในการใช้งาน ราคาของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้ พลาสติกเป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น เครื่องแต่งกาย เครื่องใช้ภายในครัวเรือน เครื่องใช้ไฟฟ้า ในอุตสาหกรรมยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ สิ่งทอ ฯลฯ เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากโลหะ ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้องคำนึงถึงคือ หน้าที่ในการใช้งาน ซึ่งในกรณีของตัวเรือนเต้าเสียบไฟฟ้าได้เลือกพลาสติกชนิด ABS เพราะทนแรงกระแทกได้ และเป็นวัสดุที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง ในการเลือกชนิดพลาสติกควรคำนึงถึง

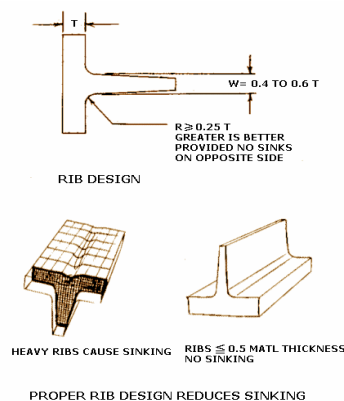
1. พลาสติกทั่วไปเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะจะมีความแข็งแรงน้อยกว่า
2. คุณสมบัติของพลาสติกเปลี่ยนไป เมื่ออุณหภูมิสูง
3. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี สามารถนำไปหุ้มเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าได้ เช่น ชูบโครเมียม
4. พลาสติกทั่วไปสามารถทนความร้อนได้ประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส
5. สารเคมีที่มีความเป็นกรดหรือด่างมาก ๆ สามารถทำลายโครงสร้างของพลาสติกได้

หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก

1. ใช้ความหนาที่เท่ากันทั้งตัวชิ้นงานสามารถช่วยลดการยุบตัว, การบิดงอ, ความเค้นตกค้าง, การฉีดเติมเต็ม และเวลาการฉีด
2. การใช้รัศมีของมุม โดยมุมด้านในจะมีรัศมีน้อยกว่าความหนาของตัวชิ้นงาน
3. ใช้ความหนาที่น้อยที่สุด ที่ยอมรับได้ด้วยกระบวนการทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์
4. ใช้ความหนาผนังที่น้อยที่สุด แต่จะต้องแน่ใจว่าไม่กระทบกับการระบายของระบบทำความเย็น, เวลาการฉีดที่ไม่นาน, การฉีดต่อครั้งน้อยที่สุด และตลอดจนค่าใช้จ่ายที่น้อยด้วย
5. การออกแบบชิ้นงานต้องง่ายสะดวกสำหรับแก้ไขมุมเอียง ในทิศทาง การเปิด-ปิดแม่พิมพ์
6. การใช้ สัน (RIB) และตัวค้ำ (GUSSETS) เพื่อเป็นการแก้ไขการบิดงอของชิ้นงาน และหลีกเลี่ยงการใช้หน้าตัดที่หนาเพื่อเป็นการลดน้ำหนักชิ้นงาน, และลดการสิ้นเปลืองของวัสดุ ซึ่งการใช้สัน (RIB) เป็นช่วยลดการบิดงอของตัวชิ้นงาน ถ้าเพิ่มสันเข้าไปแล้ว จะเพิ่มความแข็งแรงของโมเมนต์ (Bending stiffness) ตามสมการต่อไปนี้

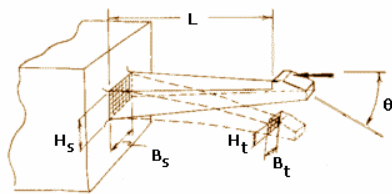
$$\text{Bending stiffness} = E (\text{Young's Modulus}) \times I (\text{Moment of Inertia}) \quad (1)$$

7. ความหนาของสันจะต้องน้อยกว่าความหนาของผนังเพื่อจะทำให้เกิดรอยยุบให้น้อยที่สุดและความหนาควรอยู่ในช่วง 40-60 % ของความหนาวัสดุ ในการเพิ่มสันจะต้องเพิ่มรัศมีที่มุมของฐานด้วย



รูปที่ 1 การออกแบบสัน

8. สลักยึดเร็ว (Snap latch) มีหน้าตัดคงที่หรือองศาหน้าตัดเอียง (ด้วยการลดความสูงหน้าตัด) องศาตัดเอียงผลที่ได้เกิดความเครียดเล็กน้อยเมื่อเทียบกับหน้าตัดคงที่ อย่างไรก็ตามเราจะพิจารณาโดยทั่วไปของคาน ที่มีมุมเอียงจะเกิดในสองทิศทาง



SNAP LATCH WITH
TAPERED CROSS SECTION

B_s = Width at support	B_t = Width at tip
H_s = Height at support	H_t = Height at tip
$R_b = \frac{B_t}{B_s}$	$R_h = \frac{H_t}{H_s}$
L = Length of snap	d = Height of snap
E = Young's Modulus	μ = Coefficient of friction on latch ramp
k = Stiffness of the beam	

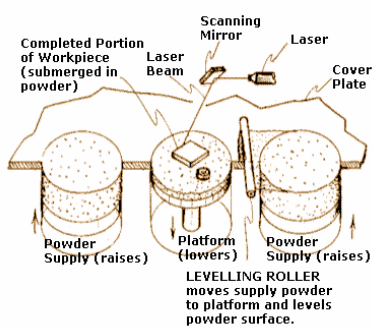
ดังนั้น

$$F, \text{ axial} = k d \left[\frac{\sin(\theta) + \mu \cos(\theta)}{\cos(\theta) - \mu \sin(\theta)} \right]$$

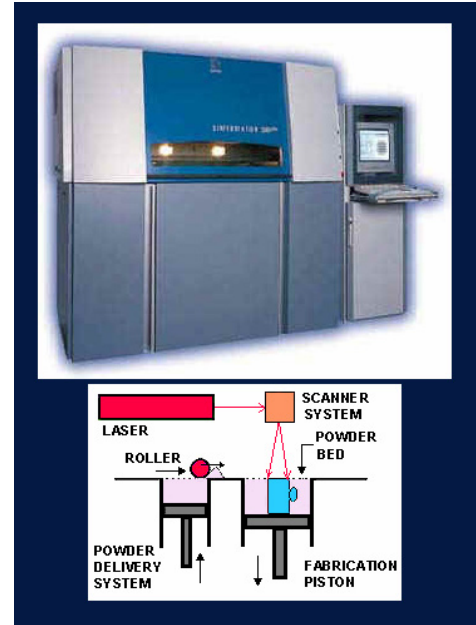
$$= \frac{B_s E H_s^3}{4 L^3} d \left[\frac{\sin(\theta) + \mu \cos(\theta)}{\cos(\theta) - \mu \sin(\theta)} \right] \quad (2)$$

2.2 กรรมวิธีการสร้างต้นแบบ (Rapid Prototype)

เลือกใช้ SELECTIVE LASER SINTERING (SLS) ผลิตโดยบริษัท DTM ประเทศสหรัฐอเมริกา นำวิธีการ Sintering โดยใช้เลเซอร์ คาร์บอนไดออกไซด์ ให้ลงไปบนชั้นบางของผงละเอียดของวัสดุ เช่น พลาสติก และโลหะ ให้หลอมเหลวและแข็งตัว รวมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างผงกับผิวของชั้นล่างและด้านข้าง พื้นที่ที่ไม่เป็นเนื้อของชิ้นงานหรือที่ไม่โดนแสงผ่านยังคงถูกปกคลุมโดยผง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นฐานพองสำหรับชั้นต่อไป



รูปที่ 2 หลักการสร้างต้นแบบ

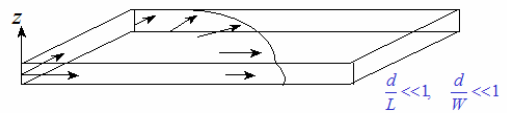


รูปที่ 3 กรรมวิธีการสร้างต้นแบบ ของ SLS

2.3 ทฤษฎีของโปรแกรม Moldex3D

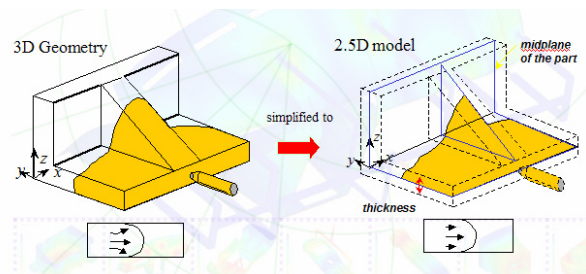
- ทฤษฎีการไหลของแผ่นเปลือก (Theory of Shell)

เมื่อความหนาของชิ้นงานไหลในแนวทิศทางพื้นราบ (ความหนา/อัตราส่วนขนาดกว้างต่อน้อยกว่า 0.1)



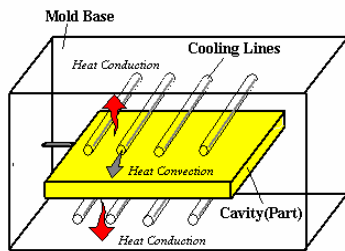
รูปที่ 4 แสดงรูปแบบการไหลของพลาสติก

การประมาณรูปทรงทางคณิตศาสตร์ (Mathematical models and assumptions) ในชิ้นงานก่อนรูปทรงต้น จะแสดงเป็นรูปทรงอย่างง่าย ด้วย Mid-Plane โดยทิศทางด้านที่เป็นความหนาวัดได้จากกึ่งกลางความหนาของชิ้นงาน



รูปที่ 5 การประมาณรูปทรงทางคณิตศาสตร์

- ทฤษฎีการหล่อเย็น (Shell-Cooling Theory)



รูปที่ 6 ระบบการหล่อเย็น

- การคำนวณหา Reynolds Number (Re)
Cooling Channel Reynolds Number (Re)

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของ Reynolds number

Flow type	Reynolds number
Laminar flow	$2300 < Re$
Transition flow	$2300 < Re < 10000$
Turbulent flow	$Re > 10000$

2.4 ทฤษฎีการฉีดพลาสติก

การปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก พารามิเตอร์หรือตัวแปรที่ต้องปรับตั้งเครื่องฉีดเพื่อฉีดเทอร์โมพลาสติก มีตัวแปรที่สำคัญ และสามารถนำมาแบ่งตามจังหวะการฉีดได้ดังนี้ คือ

- เตรียมฉีดพลาสติกหลอมก่อนฉีด มีตัวแปรที่สำคัญ 6 ตัวแปร
 - ตำแหน่งฉีด (Dozing Stroke หรือ Plasticizing หรือ Metering stroke)
 - ระยะ (Suck back)
 - ระยะสำรอง (Cushion stroke)
 - อุณหภูมิกระบอกฉีด
 - ความดันด้านการถอยกลับของสกรู (Back pressure)
 - ความเร็วรอบสกรู (Screw speed)
- ฉีดเต็ม (Filling phase) มีตัวแปรที่สำคัญ 2 ตัวแปรความเร็วฉีดเต็ม
 - พิกัดความดันฉีด
 - แรงปิดแม่พิมพ์
- การฉีดย่ำ (Holding phase) มีตัวแปรที่สำคัญ 3 ตัวแปร
 - ตำแหน่งเปลี่ยนจังหวะการฉีด
 - พิกัดความดันฉีด
 - ระยะเวลาการฉีด
- หล่อเย็น (Cooling phase) มีตัวแปรที่สำคัญ 4 ตัวแปร
 - อุณหภูมิแม่พิมพ์
 - อุณหภูมิปลดแม่พิมพ์
 - อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น
 - ระยะเวลาหล่อเย็น

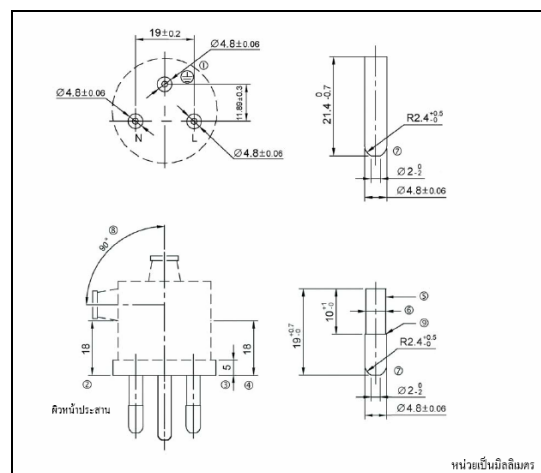
3. วิธีการดำเนินการทดลอง

ในการวิจัยการออกแบบ และวิเคราะห์ชิ้นส่วนพลาสติก ของเครื่องใช้ไฟฟ้าต้องอ้างอิงมาตรฐานในการควบคุมโดย มอก. จากรูปที่ 7 แสดงมิติของขา และการจัดวางขาของเต้าเสียบสองขั้วพร้อมขั้วสายดิน สำหรับ ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าประเภท 1

จากข้อความข้างต้นจะต้องทำการตรวจสอบขนาดว่าหลังจากการสร้างแบบจำลองชิ้นงาน ด้วยกรรมวิธี Rapid Prototype ว่าได้ตามขนาดที่ มอก. กำหนดหรือไม่ โดยการวัดขนาด ด้วยเครื่อง CMM



รูปที่ 7 เครื่อง CMM (Coordinate Measurement Machine)

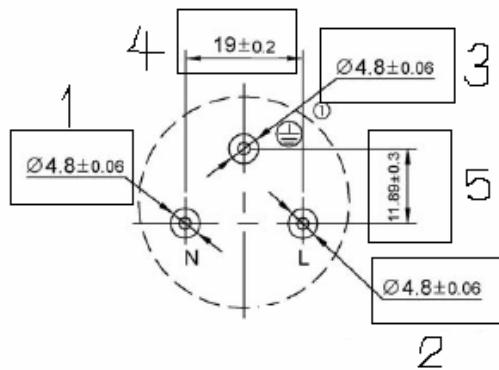


รูปที่ 8 อ้างอิงมาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าประเภท 1
มาตรฐานของปลั๊กเสียบ

- สัญลักษณ์ (ตามสัญลักษณ์เลขที่ 5019a ของ IEC 60417) และพยัญชนะ “L” และ “N” ต้องแสดงไว้ที่ผิวหน้าประสาน (engagement face) ของเต้าเสียบความหนาของสัญลักษณ์ และพยัญชนะต้องอยู่ระหว่าง 0.2 มิลลิเมตร ถึง 0.4 มิลลิเมตรเต้าเสียบเปลี่ยนสายได้ ให้แสดงสัญลักษณ์ที่ขั้วต่อด้านในของเต้าเสียบด้วย
- ระยะระหว่างผิวหน้าประสานกับสายอ่อนหรืออุปกรณ์ป้องกันสาย (ถ้ามี) ต้องไม่น้อยกว่า 18 มิลลิเมตร

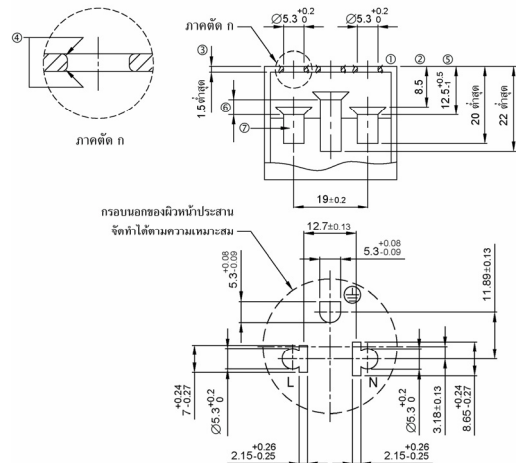
- กรอบนอกภายในระยะ 5 มิลลิเมตรวัดจากผิวหน้าประสาน ต้องไม่เล็กกว่ากรอบนอกของผิวหน้าประสานของเต้าเสียบ
- กรอบนอกภายในระยะ 18 มิลลิเมตรวัดจากผิวหน้าประสาน ต้อง ไม่ใหญ่กว่ากรอบนอกของผิวหน้าประสานของเต้าเสียบ
- ขาเสียบที่นำไฟฟ้า ต้องมีปลอกฉนวนหุ้ม ถ้าปลอกฉนวน เป็นส่วนที่แยกต่างหาก ต้องฝังลึกในตัวเต้าเสียบไม่น้อย กว่า 3 มิลลิเมตร (วัดจากผิวหน้าประสาน)
- เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของปลอกฉนวน ต้องไม่ใหญ่ กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของขาเสียบส่วนที่ไม่มีฉนวน
- ส่วนปลายของขาเสียบต้องมน และไม่มีขอบคม เพื่อไม่ ทำให้ตัวปิดช่อง (shutter) เสียหาย
- อนุญาตให้แนวการเข้าสายของเต้าเสียบทำมุมได้ไม่เกิน 90 องศา กับแนวแกนของเต้าเสียบ
- ระยะจากขอบขาเสียบ ต้องไม่มากกว่า 0.2 มิลลิเมตร และ ไม่มีขอบคม

จากนั้นทำการตรวจสอบโดยการวัดขนาดของชิ้นส่วนดังนี้ ซึ่ง เป็นมาตรฐานระยะกำหนดของเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้า โดยการวัดทั้งหมด 10 จุด



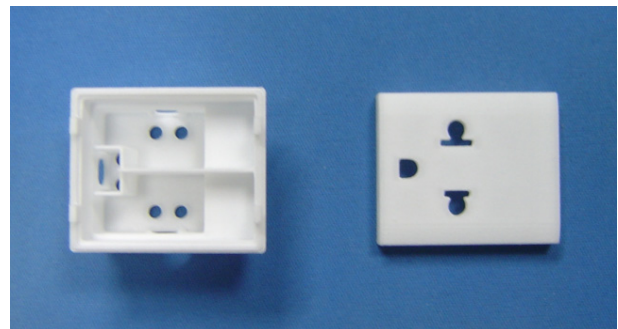
รูปที่ 9 ระยะกำหนดของเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้า

แสดงรายละเอียดขนาดของเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้าตามรูปที่ได้ออกแบบ ตามต้นแบบที่จำลองไว้ตามขนาดต่าง ๆ ดังข้างล่างนี้



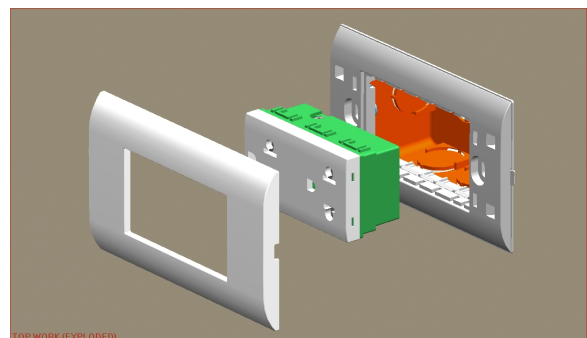
รูปที่ 10 ขนาดกำหนดของเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้า

ชิ้นงานที่เสร็จแล้วจากการทำแบบจำลอง ที่จะทำการวัดหาขนาดเพื่อ เทียบกับขนาดที่ มอก. กำหนด เพื่อที่จะวัดหาค่าต่อไป



รูปที่ 11 ชิ้นงานที่เสร็จแล้วที่จะทำการวัดหาขนาด

การใช้โปรแกรมยูนิกราฟฟิกส์ (Unigraphics NX) เพื่อ ออกแบบภาพประกอบ (Explode Views) ดังรูปที่ 11 ในการออกแบบ ชิ้นงานเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้าพร้อมชิ้นส่วนกรอบด้านหน้า (Front Cover) โดยนำขา และการจัดวางขาของเต้าเสียบสองขั้ว พร้อมขั้วสายดิน สำหรับ ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าประเภท 1 เพื่อออกแบบให้ได้ขนาด ตาม มอก.

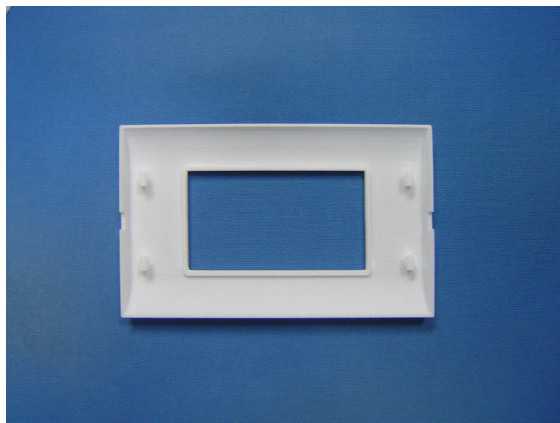


รูปที่ 12 ประกอบเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้าจาก CAD (Computer-Aids Design)



รูปที่ 13 ชิ้นส่วนกรอบด้านหน้า (Front Cover)

จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองชิ้นงาน ด้วยกรรมวิธี Rapid Prototype เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่เหมือนจริงเพื่อยืนยันขนาดที่ได้ออกแบบไว้ โดยนำโมเดลส่วนกรอบด้านหน้าที่ออกแบบไว้มาเข้าเครื่องทำแบบจำลองชิ้นงาน หลังจากที่ทำเสร็จแล้วมีความเหมือนกับที่ออกแบบไว้ และสามารถ บิดงอไปมาได้ เนื่องจากวัสดุเป็นแบบเหมือนวัตถุพลาสติก

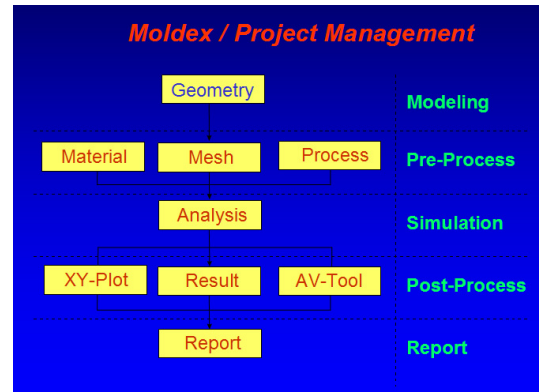


รูปที่ 14 ด้านหลังของชิ้นส่วน ด้วยกรรมวิธี Rapid Prototype

เตรียมข้อมูลต่างๆ เพื่อออกแบบ และวิเคราะห์

จากชิ้นงานชิ้นต้น ได้ทำการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเป็นแบบสองแผ่น (Two- plates) โดยเลือกใช้พลาสติก ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) มาเป็นวัสดุในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน เนื่องจากสามารถทนแรงกระแทก และให้ผิวที่มีความเงางาม

นำข้อมูลที่ได้จากการออกแบบแม่พิมพ์ ด้วยโปรแกรมยูนิกราฟฟิกส์ ที่ทำการออกแบบชิ้นงานเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้า มาทำการกำหนดค่าต่างๆ ลงในโปรแกรม MOLDEX MESH แล้วทำการวิเคราะห์แม่พิมพ์ต่อไป

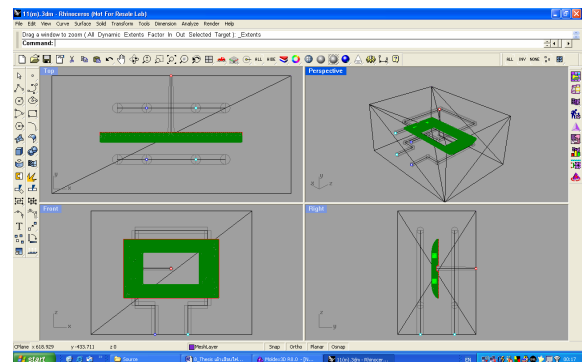


รูปที่ 15 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Moldex

เตรียมข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ การไหลตัวของพลาสติกด้วยโปรแกรม MOLDEX ดังนี้

ข้อมูลเบื้องต้นของชิ้นส่วนกรอบด้านหน้า (Front Cover)

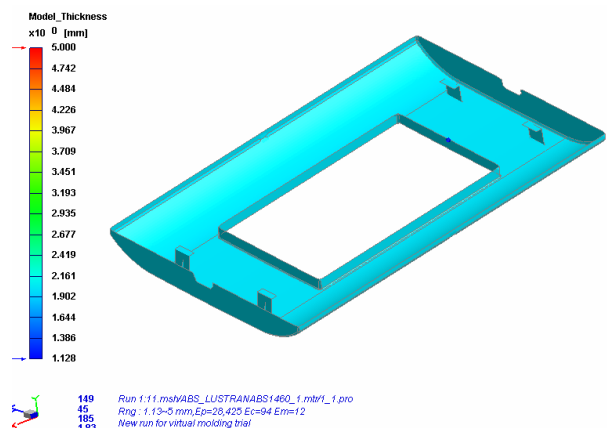
- ความหนาของชิ้นงานทั้งชิ้น = 1.128 - 2.000 mm
- ขนาดของชิ้นงาน = 116.000 x 54.120 x 71.000 mm
- ทำการวิเคราะห์ ด้วย Flow Melt Front /Pack /Cool /Warp



รูปที่ 16 กระบวนการก่อนทำการประมวลผลวิเคราะห์

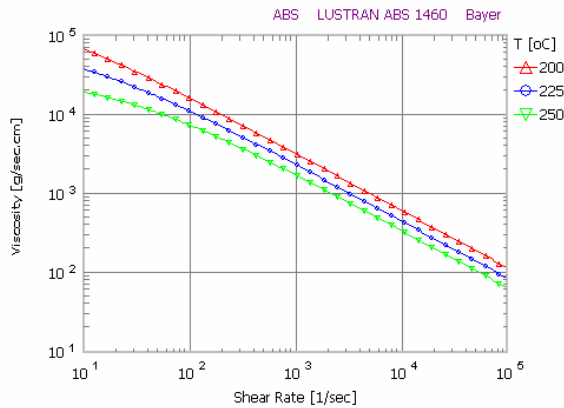
ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยโปรแกรม Moldex

แสดงความหนาของชิ้นงานด้านหน้าทั้งตัวว่า มีค่าความหนาเท่าไรโดยแบ่งตามสีต่างๆ ซึ่งชิ้นงานมีความหนาระหว่าง 1.9 - 2.1 mm



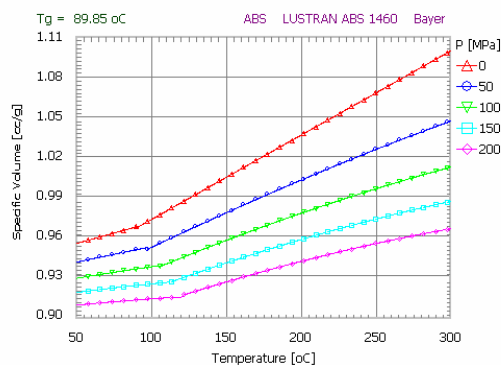
รูปที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความหนาของชิ้นงาน

VISCOSITY (ความหนืด) เป็นหน่วยวัดความต้านทานของการไหล ถ้าความหนืดสูงแรงต้านก็สูงและยากต่อการไหล สำหรับเทอร์โมพลาสติก ประกอบด้วย อุณหภูมิ (Temperature), แรงดัน (Pressure), แรงเฉือน (Shear Rate) และอื่นๆ



รูปที่ 18 ค่าความหนืดกับอัตราเฉือนของ ABS 1460 Bayer

เป็นการกำหนดปริมาตรความหนาแน่น ของเทอร์โมพลาสติก ซึ่งเป็นการกำหนดฟังก์ชันของช่วง อุณหภูมิ ,แรงดัน และอื่นๆ โดยทั่วไปจะได้จากกราฟสมการ PVT ไดอะแกรม โดยสามารถใช้การคำนวณค่าโดยกำหนด ปริมาตร หรือความหนาแน่นที่อุณหภูมิใดๆ และแรงดันตามกราฟคุณสมบัติวัสดุดังนี้



รูปที่ 19 แสดง PVT ไดอะแกรมของวัสดุ ABS 1460 Bayer

แสดงการตั้งค่าของเครื่องฉีดพลาสติกในโปรแกรมการจำลองฉีดตั้งรูปแบบการฉีดพลาสติกตามเงื่อนไขที่ 1

Process condition setting:				Flow rate:	
[Filling]		[Cooling]			
Stroke Time	0.44477E sec	Cooling Time	20 sec		
Melt Temperature	230 oC	Open Time	1 sec		
Mold Temperature	70 oC	Eject Temperature	120 oC		
Max. Injection Pressure	204.2 MPa	Air Temperature	25 oC		
Inject Volume	19.1255 cc				
[Packing]		Cycle Time	22.4448 sec		
Packing Time	1 sec	[Mold]	11.msh		
Max. Packing Pressure	204.2 MPa	[Material]	ABS_LU		
Packing Switch	98 %	[Machine]	Battenfel TM 500C		

กระบวนการฉีดพลาสติกตามเงื่อนไขที่ 2

Process condition setting:				Flow rate:	
[Filling]		[Cooling]			
Stroke Time	0.194362 sec	Cooling Time	20 sec		
Melt Temperature	230 oC	Open Time	1 sec		
Mold Temperature	70 oC	Eject Temperature	120 oC		
Max. Injection Pressure	230 MPa	Air Temperature	25 oC		
Inject Volume	19.125 cc				
[Packing]		Cycle Time	25.1944 sec		
Packing Time	4 sec	[Mold]	11.msh		
Max. Packing Pressure	230 MPa	[Material]	ABS_LU		
Packing Switch	100 %	[Machine]	Battenfel TM 500C		

กระบวนการฉีดพลาสติกตามเงื่อนไขที่ 3

Process condition setting:				Flow rate:	
[Filling]		[Cooling]			
Stroke Time	0.15549 sec	Cooling Time	10 sec		
Melt Temperature	230 oC	Open Time	1 sec		
Mold Temperature	70 oC	Eject Temperature	120 oC		
Max. Injection Pressure	230 MPa	Air Temperature	25 oC		
Inject Volume	19.125 cc				
[Packing]		Cycle Time	14.6555 sec		
Packing Time	3.5 sec	[Mold]	11.msh		
Max. Packing Pressure	230 MPa	[Material]	ABS_LU		
Packing Switch	98 %	[Machine]	FANUC S-2000i1		

4. ผลการทดลอง

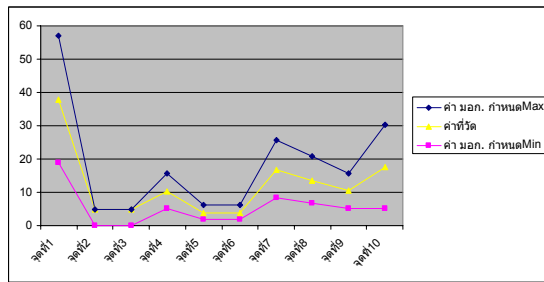
การตรวจสอบโดยการวัดขนาดจากเครื่องวัด CMM ของชิ้นส่วน ซึ่งเป็นมาตรฐานระยะกำหนดของเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้า โดยการวัดทั้งหมด 10 จุด ดังนี้

ตารางที่ 1 ชิ้นงานที่วัดขนาดค่าระยะกำหนดของเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้า

	ค่า มอก. กำหนด		ค่าที่วัด	หมายเหตุ
รายการ	Max	Min	(mm)	การเทียบค่าที่วัดได้
จุดที่ 1	19.2	18.8	19.10	ผ่าน
จุดที่ 2	Ø5.5	Ø5.3	4.91	ไม่ผ่าน
จุดที่ 3	Ø5.5	Ø5.3	4.89	ไม่ผ่าน
จุดที่ 4	5.38	5.21	5.13	ผ่าน
จุดที่ 5	2.41	1.9	1.91	ผ่าน
จุดที่ 6	2.41	1.9	1.91	ผ่าน
จุดที่ 7	8.89	8.38	8.42	ผ่าน
จุดที่ 8	7.24	6.73	6.87	ผ่าน
จุดที่ 9	5.38	5.21	5.21	ผ่าน
จุดที่ 10	2.83	5.17	12.34	ผ่าน

จากตารางในการวัดการตรวจสอบเพื่อที่จะได้ค่าออกมา ให้แน่ใจว่าค่าที่ได้มานั้นมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยการวัดขนาดของชิ้นส่วน ซึ่งเป็นมาตรฐาน ระยะกำหนดของเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้า ดังผลสรุปจะเห็นได้ว่าการวัดขนาดระยะทั้ง 10 ตำแหน่ง ในการวัดค่าที่ได้ นั้น ส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย มีเพียง 2 จุด ที่ไม่อยู่ในพิสัย

5. สรุปผลการทดลองการวัดขนาด

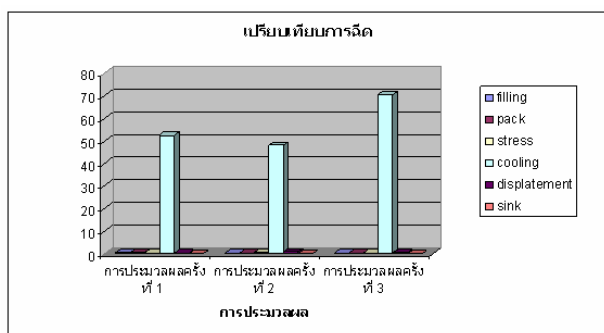


รูปที่ 20 กราฟแสดงค่าระยะกำหนดของเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้า

จากในกราฟจะเห็นในการวัดค่าแต่ละจุดนั้นแสดงตามค่าแต่ละสีในค่าแต่ละจุดนั้นใกล้เคียงกันมากในแต่ละจุดก็จะทำให้การวัดตรวจสอบถูกต้อง และเป็นที่ยอมรับผลของแบบจำลองของเต้าเสียบปลั๊กไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามชิ้นงานที่ทดสอบ ยังคงมีความหยาบของผิวงานอยู่มาก และโดยเฉลี่ยก็จะมีค่าผิดพลาดอยู่ที่ 0.1 mm เมื่อเทียบกับขนาด มอก. เพราะชิ้นงานที่ได้นั้น มาจากต้นแบบของเครื่อง Rapid Prototype แต่อย่างไร ก็ตามก็ถือว่ายอมรับได้ จากผลการทดลองจำลองการฉีด ชิ้นงาน การประมวลผลครั้งที่ 1, การประมวลผลครั้งที่ 2 และการประมวลผลครั้งที่ 3 จะได้ค่าตามตารางดังนี้

ตารางที่ 2 ข้อมูลที่จัดเก็บจากการประมวลผลทั้ง 3 ครั้ง ที่จำลองการฉีด

จำนวนครั้ง	filling	pack	stress	cooling	displacement	sink
การประมวลผลครั้งที่ 1	0.39	0.39	0.06	52.5	0.34	0.001
การประมวลผลครั้งที่ 2	0.17	0.17	0.425	48	0.82	0.008
การประมวลผลครั้งที่ 3	0.13	0.13	0.295	70.5	0.44	0.001



รูปที่ 21 ผลจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้มาในส่วนของการ Filling และ Packing นั้น ใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของคุณสมบัติหล่อเย็นที่มีค่าแตกต่างกัน 18 °C อาจส่งผลต่อการหดตัว และการบิดตัวของชิ้นงาน ซึ่งถ้าแนวโน้มการฉีดดังกล่าวไปใช้งานจริงต้องพิจารณาจุดดังกล่าวด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Menges, G., Michaeli W. and Mohren P. How to Make Injection Molds 3rd ed. Cincinnati : Hanser Gardner, 2000.

- [2] Georg Menges, "Paul Mohren: How to make Injection Molds", Canada
 [3] Gastrow, "Injection Molds: 102 Proven Designs", New York
 [4] Moldex 3D Analysis Reference Manual
 [5] Laszio Sors, Imre Balazs, "Design of Plastic molds and Die"
 [6] พิระวัฒน์ สมนึก, "เอกสารการออกแบบ Mold Design"
 [7] ชาลี ตระการกุล, "การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 2533, กรุงเทพฯ (290 หน้า)
 [8] วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม, "งานฉีดพลาสติก" ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540, กรุงเทพฯ (256 หน้า)
 [9] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 116-2535
 [10] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1195-2536
 [11] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 416-2525
 [12] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 513-2527