



## การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกด้วยวิธีการผสาน CAD/CAE

### THE PLASTIC INJECTION MOLDING BY CAD/CAE INTEGRATION METHOD

ศุภชัย ดวงทองพล<sup>1</sup> และ ชาคริต สุวรรณจำรัส<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

<sup>2</sup>รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

<sup>3</sup>รองศาสตราจารย์, ห้องปฏิบัติการกลศาสตร์เชิงคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบ (LCMD) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

#### บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดมีการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบเพื่อสร้างรูปร่างของชิ้นงาน และได้ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรมเพื่อวิเคราะห์การไหลของน้ำพลาสติกภายในแม่พิมพ์ ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์ชิ้นงานฉีดพลาสติกนี้จะมีการทำซ้ำด้วยการลองผิดลองถูกเพื่อปรับปรุงแม่พิมพ์จนได้ผลลัพธ์สุดท้ายซึ่งสามารถผลิตชิ้นงานฉีดได้สมบูรณ์มากที่สุด การออกแบบและวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้ต้องใช้เวลาอย่างมาก อีกทั้งการถ่ายโอนข้อมูลจากซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบไปสู่ซอฟต์แวร์วิเคราะห์การฉีดยังทำให้มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลบางชนิด งานวิจัยนี้ได้นำวิธีการผสาน CAD/CAE สำหรับการฉีดขึ้นรูปพลาสติกมาใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ชิ้นงานพลาสติก ชิ้นงานที่มีรูปร่างและลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันได้ถูกนำมาศึกษาและผลิต ชิ้นงานฉีดที่ได้ใช้ซอฟต์แวร์ร่วมกับวิธีการผสาน CAD/CAE ในการออกแบบและวิเคราะห์ ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่สามารถกำหนดรูปร่างและสภาวะของการฉีดของแม่พิมพ์ที่ออกแบบได้อย่างรวดเร็ว ภายหลังจากนำแม่พิมพ์ไปผลิตและทำการฉีดพลาสติกทำให้ได้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีคุณภาพดี และมีขนาดรูปร่างตรงตามการออกแบบในขั้นต้น โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 5.02 %

**คำสำคัญ:** การฉีดขึ้นรูป, พลาสติก, วิธีการผสาน, CAD/CAE

#### ABSTRACT

The injection molding process of plastic part had been used computer-aided design (CAD) to create geometry and shape, and computer-aided engineering (CAE) to analyze the molten plastic flow inside the mold cavity. The procedure for design and analysis of the injection plastic part had been performed using the interactive or trial and error method to improve the injection mold until the final result had been received and the injection plastic part could be produced completely. These methods were consumed time for design and analysis. Otherwise, the error might be happened by the data transformation between the CAD

Supachai Doungtongpol<sup>1</sup> and Chakrit Suvanjumrat<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, <sup>2</sup>Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University.

<sup>3</sup>Associate Professor, Laboratory of Computer Mechanics for Design (LCMD), Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University.

and plastic injection analysis software. This research applied the CAD/CAE integration method of the injection molding plastic to design and analyze plastic parts. The different shape and physical characteristic had been carried out to study and produce. The injecting plastic parts were used the CAD/CAE integration software to design and analyze injection for rapidly obtaining the injection part and conditions. After the plastic parts were produced, it was obtained the good quality and corrected dimension that the average error of 5.02 %.

**KEYWORD:** injection molding, plastic, integration, CAD/CAE

## 1. บทนำ

กระบวนการฉีดพลาสติกสามารถนำมาใช้ในการผลิตชิ้นงานพลาสติกที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี คุณภาพของชิ้นงานพลาสติกมักจะขึ้นกับการออกแบบแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ พารามิเตอร์ของการฉีดขึ้นรูปพลาสติก และคุณสมบัติของพลาสติกที่ใช้ฉีดขึ้นรูป [1] กระบวนการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับงานฉีดขึ้นรูปพลาสติกเริ่มต้นจากการออกแบบชิ้นงาน การเลือกวัสดุ การประเมินราคาต้นทุน ผลกำไร และปริมาณของชิ้นงาน เมื่อผ่านขั้นตอนเหล่านี้แล้วจะทำการสร้างแม่พิมพ์โดยมีการวิเคราะห์รูปร่างชิ้นงาน การกำหนดค่าอัตราส่วนการหดตัว (Shrinkage Ratio) การกำหนด Core และควิตี้ (Cavity) ของแม่พิมพ์ การกำหนดทางเข้า (Gate) การกำหนดทางวิ่งน้ำพลาสติก (Runner) การออกแบบ Insert การออกแบบระบบบอลดชิ้นงาน และการออกแบบระบบหล่อเย็น [2] เมื่อการออกแบบแม่พิมพ์ได้ดำเนินการแล้วเสร็จ ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์จะได้ออกผลิตโดยใช้วิธีการต่างๆ ได้แก่ การนำคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing) หรือ CAM ชิ้นงานพลาสติกที่ได้ออกแบบจะได้ออกเมื่อทำการฉีดผลิตแล้ว ปัญหาซึ่งเกิดขึ้นตามมาจากการออกแบบและผลิตชิ้นงานพลาสติกที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ การเกิดรอยประสานของเนื้อพลาสติก (Weld line) ชิ้นงานหดตัว (Shrinkage) และ ชิ้นงานบิดงอ (Warpage) ซึ่งทำให้ชิ้นงานพลาสติกที่ต้องการไม่สมบูรณ์ สวยงามตามที่ได้ออกแบบไว้ [3, 4] การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจะทำได้ด้วยการปรับปรุงแม่พิมพ์ และการลองผิดลองถูกจนได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ ทั้งนี้วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวมักทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเวลา และเกิดของเสียในการผลิตตามมา

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการออกแบบรูปร่างชิ้นงานและแม่พิมพ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยงาน (Computer Aided Design) หรือ CAD ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม (Computer Aided Engineering) หรือ CAE และซอฟต์แวร์ CAM ได้นำมาใช้ในการออกแบบและผลิตชิ้นงานฉีดพลาสติก [5-7] ซึ่งทำให้ผู้ผลิตชิ้นงานพลาสติกสามารถคำนวณความเหมาะสมของชิ้นงานฉีดได้ก่อนการผลิตจริง แต่เนื่องจากการออกแบบชิ้นงานพลาสติกจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์พฤติกรรม การฉีดของผลิตภัณฑ์ในหลากหลายกรณีของปัญหาการฉีดพลาสติกดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้จำเป็นต้องมีการถ่ายเทข้อมูลของแบบจำลองจากซอฟต์แวร์ CAD ไปสู่ซอฟต์แวร์ CAE และ CAM และจำเป็นต้องแก้ไขชิ้นงานจากซอฟต์แวร์ CAD ภายหลังจากที่ได้ผลการวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์ CAE เพื่อให้ได้แบบจำลองของชิ้นงานที่เหมาะสมในการผลิตมากที่สุด การทำงานด้วยซอฟต์แวร์เหล่านี้ซึ่งแยกจากกันจึงทำให้เกิดความล่าช้า และความเสียหายจากการสูญเสียข้อมูลขณะมีการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างซอฟต์แวร์

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้วิธีผสาน CAD/CAE ด้วยการนำซอฟต์แวร์ CAD ร่วมกับซอฟต์แวร์ CAE เพื่อออกแบบแม่พิมพ์ฉีดของชิ้นงานพลาสติก นอกจากนี้ยังได้นำซอฟต์แวร์ CAM เข้ามาร่วมกับวิธีผสาน CAD/CAE เพื่อออกแบบแม่พิมพ์ของชิ้นงานพลาสติกดังกล่าว ผลการออกแบบที่ได้จะมีการนำไปผลิตชิ้นงานพลาสติกและนำกลับมารวบรวมตรวจสอบความถูกต้องกับแบบจำลองต้นแบบ วิธีการผสาน CAD/CAE ที่ได้นำเสนอนี้จะได้นำไปใช้ในการออกแบบและผลิตชิ้นงานฉีดพลาสติกที่มีคุณภาพสูงได้ต่อไป

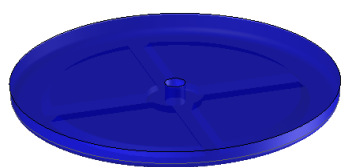
## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

ชิ้นส่วนพลาสติกซึ่งเป็นองค์ประกอบของวาล์วน้ำสำหรับใช้ในงานการเกษตรได้ถูกนำมาศึกษาและออกแบบ ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เนื่องจากชิ้นส่วนเหล่านี้จำเป็นต้องนำไปประกอบรวมกันจึงมีความเข้มงวดในการควบคุมขนาดของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นหลังจากการผลิตให้มีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดไม่มากกว่าร้อยละ 15 จากขนาดของชิ้นส่วนที่ได้ออกแบบด้วยซอฟต์แวร์ CAD

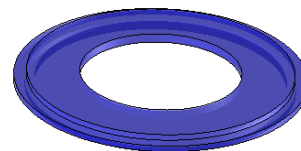
### 2.1 การออกแบบและวิเคราะห์การไหล

การออกแบบชิ้นส่วนวาล์วน้ำการเกษตรด้วยซอฟต์แวร์ TopSolid CAD ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ CAD แสดงในรูปแบบที่ 1 รูปร่างของชิ้นส่วนวาล์วน้ำที่ได้ออกแบบนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางซึ่งมักจะเกิดการบิดงอหากมีการฉีดขึ้นรูปที่ไม่ดี ชิ้นส่วนทั้งสองชิ้นจะถูกนำไปออกแบบคavity เพื่อฉีดภายในแม่พิมพ์เดียวกัน ชิ้นงานทั้งสองถูกนำไปแบ่งด้วยเอลิเมนต์ชนิดปริมาตรสามเหลี่ยมเพื่อสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับวิเคราะห์การไหลของพลาสติกเหลว ชิ้นงานแผ่นวงกลมจะใช้เอลิเมนต์จำนวน 87,052 เอลิเมนต์ และชิ้นงานแผ่นวงแหวนจะใช้เอลิเมนต์จำนวน 96,036 เอลิเมนต์ รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นงานแผ่นวงกลมและชิ้นงานแผ่นวงแหวน ตามลำดับ

การกำหนดตำแหน่งของแบบจำลองชิ้นงานทั้งสองเพื่อสร้างcavityของแม่พิมพ์สำหรับฉีดได้ทำการวางชิ้นงานในแนวเส้นตรงแนวอนเดียวกัน รูปที่ 3 แสดงcavityของแม่พิมพ์สำหรับฉีดชิ้นงานแผ่นวงกลมและชิ้นงานแผ่นวงแหวน เนื่องจากชิ้นงานแผ่นวงกลมและชิ้นงานแผ่นวงแหวนมีปริมาตรไม่เท่ากัน การวางชิ้นงานเป็นcavityของแม่พิมพ์เพื่อฉีดพลาสติกในลักษณะนี้อาจจะทำให้การไหลของพลาสติกเหลวไม่เท่ากันตลอดทั้งหน้าตัดของชิ้นงาน ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดความบกพร่องขึ้นกับชิ้นงานที่เป็นชิ้นส่วนของวาล์วการเกษตรนี้ได้ ดังนั้นการสร้างcavityของแม่พิมพ์จึงจำเป็นต้องสร้างชิ้นงานหรือcavityที่ลอคเพื่อทำให้เกิดการสมดุลของการไหลของพลาสติกเหลวเข้าสู่cavityชิ้นงานจริงในแต่ละข้าง ตำแหน่งของแกนหัวฉีด (Spure) จะถูกกำหนดให้อยู่ระหว่างcavityของแผ่นพลาสติกทั้งสอง ทางวังน้ำพลาสติกจะถูกแยกออกจากแกนหัวฉีดเพื่อบังคับให้พลาสติกไหลผ่านทางเข้า (Gate) เข้าสู่cavityของแผ่นวงกลม แผ่นวงแหวน และชิ้นงานลอคจนเต็มอย่างใกล้ชิดยิ่งขึ้นมากที่สุด การวิเคราะห์การไหลของน้ำพลาสติกจะใช้ซอฟต์แวร์ TopSolid PlasticFlow ซึ่งถูกติดตั้งเชื่อมต่อข้อมูลของรูปร่างชิ้นงานกับซอฟต์แวร์ TopSolid CAD ทำให้สามารถแก้ไขรูปร่างและวิเคราะห์การไหลได้โดยไม่ต้องใช้วิธีแปลงไฟล์ (File) เพื่อโอนถ่ายข้อมูล



(ก)

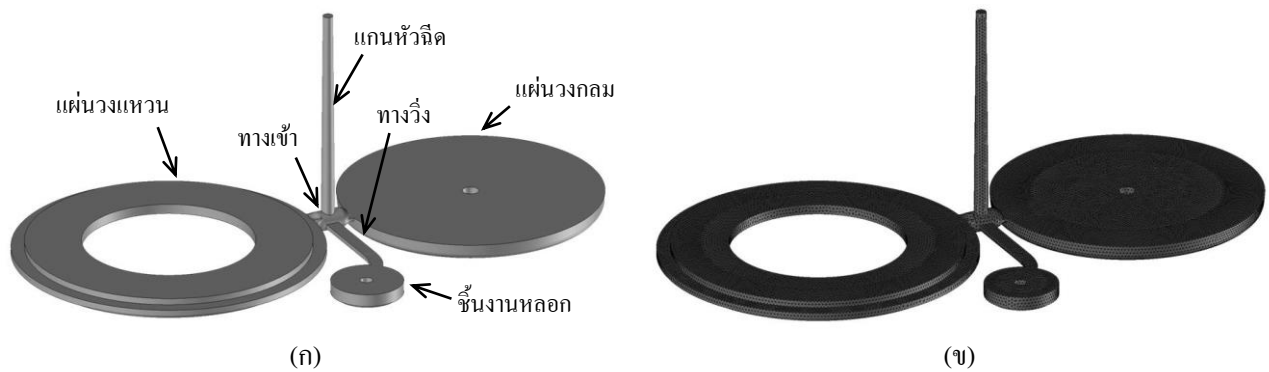


(ข)

รูปที่ 1 ชิ้นส่วนวาล์วน้ำการเกษตรรูปร่าง (ก) แผ่นวงกลม และ (ข) แผ่นวงแหวน



รูปที่ 2 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นงานรูปร่าง (ก) แผ่นวงกลม และ (ข) แผ่นวงแหวน



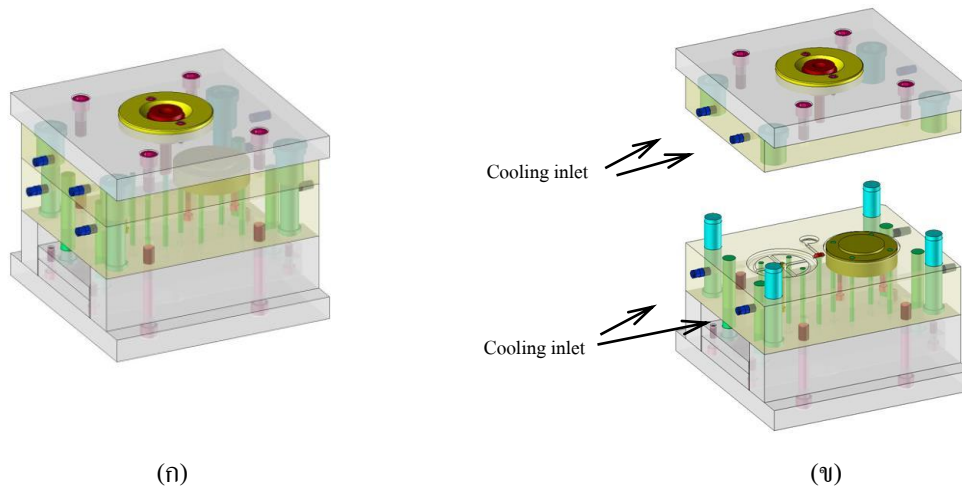
รูปที่ 3 แบบจำลองคavity (ก) 3 มิติ และ (ข) ไฟไนต์เอลิเมนต์ของแม่พิมพ์ฉีด

## 2.2 การออกแบบแม่พิมพ์

แม่พิมพ์ของชิ้นงานรูปร่างแผ่นวงกลม และแผ่นวงแหวนถูกออกแบบโดยใช้ซอฟต์แวร์ TopSolid Mold ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่มีชิ้นส่วนแม่พิมพ์พื้นฐานเพื่อใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ แบบจำลอง 3 มิติของคavity จะถูกนำมาใช้ในซอฟต์แวร์เพื่อออกแบบส่วนประกอบของแม่พิมพ์ ได้แก่ แผ่นประกบหน้าเครื่อง (Front Clamping Plate) แผ่นประกบหลังเครื่อง (Rear Clamping Plate) แผ่นเหล็กคavity (Cavity Plate) แผ่นเหล็ก Core (Core Plate) บุชแกนหัวฉีด (Sprue Bushing) และพิน (Pin) ต่างๆ เป็นต้น รูปที่ 4 แสดงแบบจำลองของแม่พิมพ์งานฉีดที่ใช้สำหรับฉีดชิ้นงานแผ่นวงกลมและแผ่นวงแหวน แม่พิมพ์เป็นแม่พิมพ์ 2 แผ่น มีรูวิ่งยื่นของระบบหล่อเย็นที่วิเคราะห์อัตโนมัติด้วยซอฟต์แวร์โดยไม่ได้จำเป็นต้องสร้างระบบหล่อเย็น

## 2.3 วิธีการผสมผสาน CAD/CAE

การออกแบบคavity ของชิ้นงานที่เป็นแผ่นวงกลมและแผ่นวงแหวนเพื่อใช้สร้างแม่พิมพ์และผลิตเป็นชิ้นส่วนของวาล์วนี้ การเกษตรจะสร้างแบบจำลอง CAD พร้อมกับการวิเคราะห์ CAE เมื่อผลการวิเคราะห์ CAE แสดงจุดบกพร่องซึ่งอาจเกิดขึ้นเมื่อนำแบบจำลอง CAD ไปทำการผลิตชิ้นงาน ก็จะทำการแก้ไขแบบจำลอง CAD และวิเคราะห์ด้วย CAE ต่อไปอีกจนกระทั่งการ



รูปที่ 4 แบบจำลอง 3 มิติ ของแม่พิมพ์งานฉีดชิ้นงานพลาสติกขณะ (ก) ปิด และ (ข) เปิด

วิเคราะห์ตรวจไม่พบปัญหา ก็จะทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่อาจจะเกิดขึ้นได้กับชิ้นงานอื่นๆ เป็นลำดับต่อไป การแก้ไขรูปร่าง  
การวัดของชิ้นงานจะทำได้ทันทีโดยไม่ต้องถ่ายโอนข้อมูลกลับไปมาระหว่างซอฟต์แวร์ CAD และ CAE ด้วยวิธีผสาน  
CAD/CAE [8, 9] งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีผสาน CAD/CAE ซึ่งได้มีการวิเคราะห์การไหลของน้ำพลาสติก เพื่อการวิเคราะห์ Short Shot  
ความไม่สมดุล (Unbalance) รอยยุบ (Shrink Mark) เส้นลายน้ำ (Weld Line) การหดตัว และการบิดงอของชิ้นงาน ซึ่งขั้นตอนการ  
ออกแบบและวิเคราะห์ชิ้นงานฉีดของแผ่นวงกลมและแผ่นวงแหวนแสดงเป็นผังงานได้ในรูปที่ 5 การเกิด Short Shot ของการ  
ออกแบบเนื่องมาจากการกำหนดพารามิเตอร์การฉีดไม่เหมาะสม ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และความดัน เมื่อตรวจพบข้อบกพร่องก็  
จะทำการปรับแก้แบบจำลองการวัดของชิ้นงาน ได้แก่ ทางเข้า และทางวิ่งของน้ำพลาสติกตามลำดับ หากการแก้ไข Short Shot  
ได้ทำงานเสร็จสิ้นแล้ว การเกิด Unbalance ซึ่งมาจากอุณหภูมิ ก็จะได้ทำการแก้ไขเป็นลำดับถัดไปจนแล้วเสร็จทุกปัญหาที่เกิดขึ้น  
ชิ้นงาน

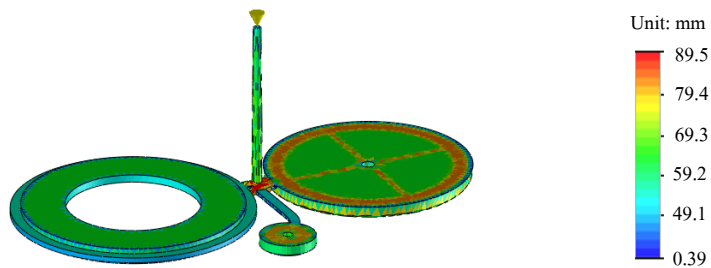
#### 2.4 การฉีดชิ้นงานพลาสติก

แบบจำลองแม่พิมพ์ที่ได้จากการออกแบบด้วยซอฟต์แวร์ TopSolid Mold จะถูกนำไปสร้างและใช้ผลิตชิ้นงานรูปร่างวงกลม  
และวงแหวน วัสดุเหล็กเกรด AISI-P21 จะถูกใช้ในการสร้างส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ แม่พิมพ์จะถูกติดตั้งเข้ากับเครื่องฉีด  
พลาสติกยี่ห้อ HAITAI รุ่น HTF1600 ส่วนพลาสติกที่ใช้ในการฉีดชิ้นงานเป็นพลาสติกชนิด Polyoxymethylene เกรด Derlin 900P  
NC10 ซึ่งมีความหนาแน่นหลอมเหลว (Melt Density) 1.16 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีอัตราการไหล (Melt Flow) 21 กรัม  
ต่อนาที เงื่อนไขการฉีดชิ้นงานแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นเงื่อนไขสุดท้ายจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างการวัดเป็นจำนวนมากกว่า 10  
ครั้ง (การเปลี่ยนแปลงรูปร่างการวัดจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ออกแบบแม่พิมพ์)



ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน

Description	Unit	Value
Melt Temperature	°C	220
Pressure control filling	%	99
Wall temperature	°C	40
Ejection temperature	°C	102
Heater setup	°C	175-220
Position screw setup	g/min	10-115
Maximum pressure	bar	300
Filling time	sec	2.5
Packing time	sec	2
Cooling time	sec	15-50



รูปที่ 6 ผลการจำลองความหนาของควาวิตี

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ควาวิตีของชิ้นงานแผ่นวงกลมและแผ่นวงแหวนได้ถูกวิเคราะห์การไหลของพลาสติกและได้ถูกวิเคราะห์ผลการออกแบบโดยสามารถแสดงผลความหนาของชิ้นงานได้ในรูปที่ 6 ความหนาของแผ่นวงกลมจะมีค่ามากที่สุดบริเวณขอบด้านนอกซึ่งแสดงเป็นแถบสีแดง ในขณะที่บริเวณแถบสีน้ำเงินจะแสดงค่าความหนาน้อยที่สุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน การไหลของน้ำพลาสติกเหลวได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อสังเกตพฤติกรรมการไหลภายในชิ้นงาน ผลการวิเคราะห์การไหลได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการฉีดพลาสติกด้วยแม่พิมพ์ที่ได้ออกแบบแสดงในรูปที่ 7 เวลาที่ปริมาณพลาสติกเหลวไหลเข้าสู่ควาวิตีของแม่พิมพ์จะแสดงด้วยแถบสีโดยสีแดงจะแสดงเวลามากที่สุดขณะที่สีน้ำเงินแสดงเวลาน้อยที่สุดตามลำดับ ผลการวิเคราะห์เวลาของการไหล (Front Flow) ของพลาสติกเหลวเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการฉีดจริงพบว่ามิลักษณะรูปแบบของการไหลภายในควาวิตีที่ใกล้เคียงกันมาก น้ำพลาสติกเหลวที่ถูกฉีดเข้าสู่ควาวิตีทางแกนหัวฉีดจะไหลไปตามทางวิ่งเข้าสู่ควาวิตีชิ้นงานทั้งสองแต่ยังไม่เข้าสู่ชิ้นงานหลอกในขณะที่เริ่มต้นการฉีดขึ้นรูปแผ่นวงกลมจะถูกน้ำพลาสติกไหลเต็มก่อนชิ้นงานแผ่นวงแหวน ชิ้นงานหลอกซึ่งเชื่อมต่อกับทางวิ่งที่มีขนาดยาวกว่าทางวิ่งของชิ้นงานจริงจะถูกน้ำพลาสติกไหลจนเต็มเป็นลำดับสุดท้ายภายในควาวิตีของแม่พิมพ์ที่ได้ออกแบบ ชิ้นงานจริงในรูปที่ 7(ฉ) ภายหลังจากฉีดจนเสร็จสมบูรณ์พบว่าควายังมีรอยขุ่นและรอยเชื่อมประสานเพียงเล็กน้อยที่ยอมรับได้ แบบจำลองควาวิตี

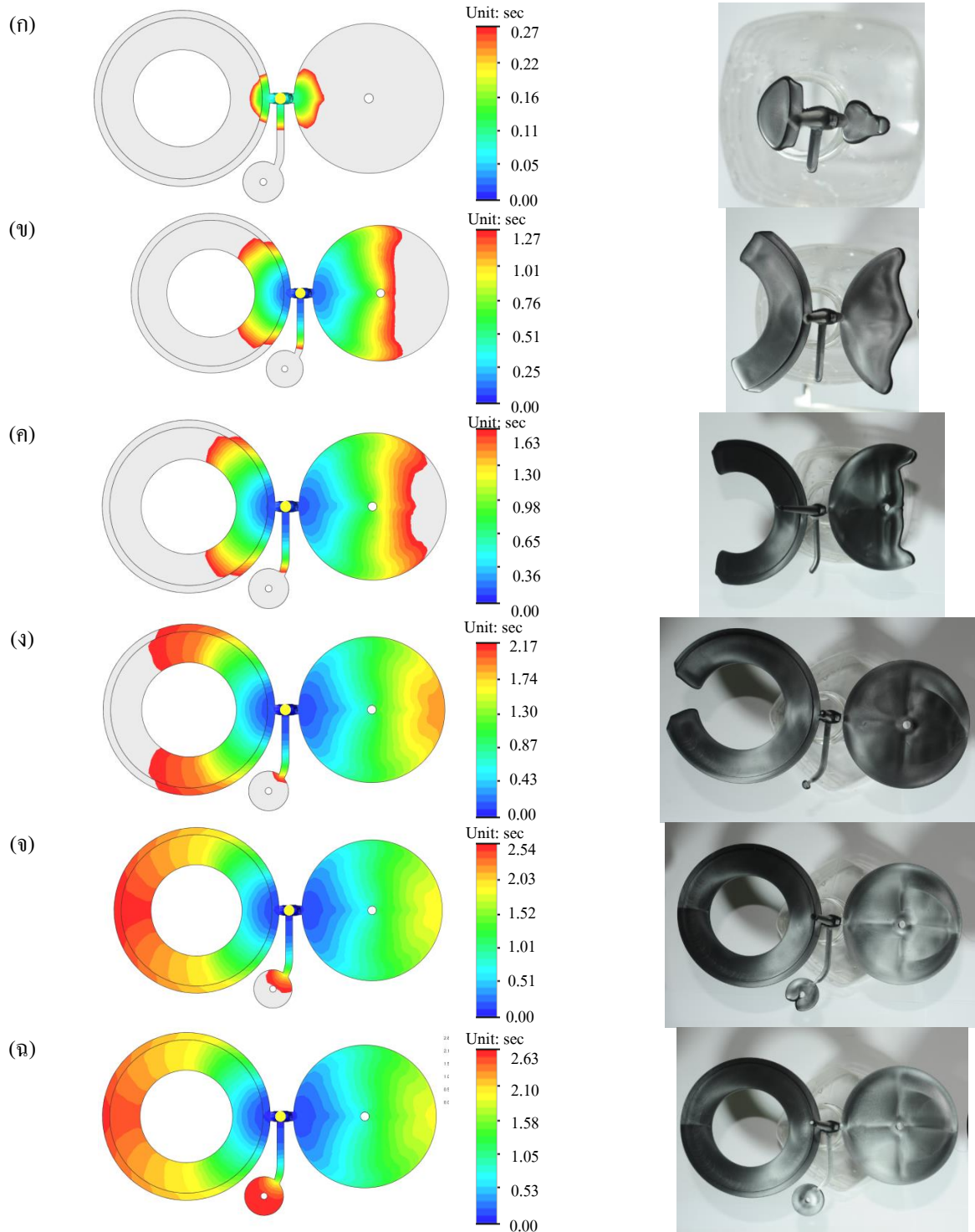
ได้มีการวิเคราะห์ห่อหุ้มของพลาสติกภายในแม่พิมพ์ ความดันขณะฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ เวลาในการเปิดแม่พิมพ์ รวมถึงปัญหาการฉีดพลาสติกให้เต็มควิตี้ (รูปที่ 8) ซึ่งผลของการวิเคราะห์จะถูกแสดงเป็นเจดสีเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ความหนา และเวลาการไหลของพลาสติกเหลว ค่ามากที่สุดของผลการวิเคราะห์จะถูกแสดงด้วยสีแดงในขณะที่ค่าน้อยที่สุดจะแสดงด้วยสีน้ำเงิน ตามลำดับ การวิเคราะห์การไหลด้วยวิธีผสมผสาน CAD/CAE เพื่อกำหนดทางเข้า ตำแหน่งการวางชิ้นงาน ตลอดจนระบบหล่อเย็นได้ใช้เวลาการปฏิบัติงานทั้งสิ้น 1 วัน ซึ่งหากยังคงใช้วิธีการออกแบบ CAD และวิเคราะห์ CAE แยกกัน จำเป็นต้องใช้เวลาในการปฏิบัติงานทั้งสิ้น 3 วัน

ผลการฉีดชิ้นงาน ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานด้วยวิธีการสุ่มวัดขนาดของชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้น และนำผลการวัดชิ้นงานไปเปรียบเทียบกับขนาดของแบบจำลอง CAD ของชิ้นงานซึ่งได้มีการออกแบบในตอนต้น ตำแหน่งของการวัดขนาดแสดงในรูปที่ 9 โดยชิ้นงานแผ่นวงกลมจะถูกกำหนดจุดตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางจำนวน 4 จุด และความหนา 1 จุด ในขณะที่แผ่นวงแหวนถูกกำหนดจุดตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกจำนวน 4 จุด และความหนา 2 จุด ผลการวัดชิ้นงานทั้งสองได้แสดงในตารางที่ 2 ID1-4 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของแผ่นวงแหวนเฉลี่ยจากการวัดจำนวน 4 จุด และ OD1-4 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นวงแหวนเฉลี่ยจากการวัดจำนวน 4 จุด ความหนาของแผ่นวงแหวนในตำแหน่ง T2 จะถูกตรวจพบค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นค่าความแตกต่างระหว่างความหนาของชิ้นงานจริงและแบบจำลองเพียง 10 ไมโครเมตร ก็จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงถึง 10 % ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจะเกิดขึ้นจากการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของชิ้นงานแผ่นวงกลมและแผ่นวงแหวนซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีขนาดกว้างที่สุดซึ่งถูกระบุให้ทำการตรวจสอบความแม่นยำของการฉีดชิ้นงานพลาสติก การตรวจสอบความแม่นยำของการผลิตชิ้นงานพลาสติกทั้งสองนี้พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 5.02 % เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลอง CAD

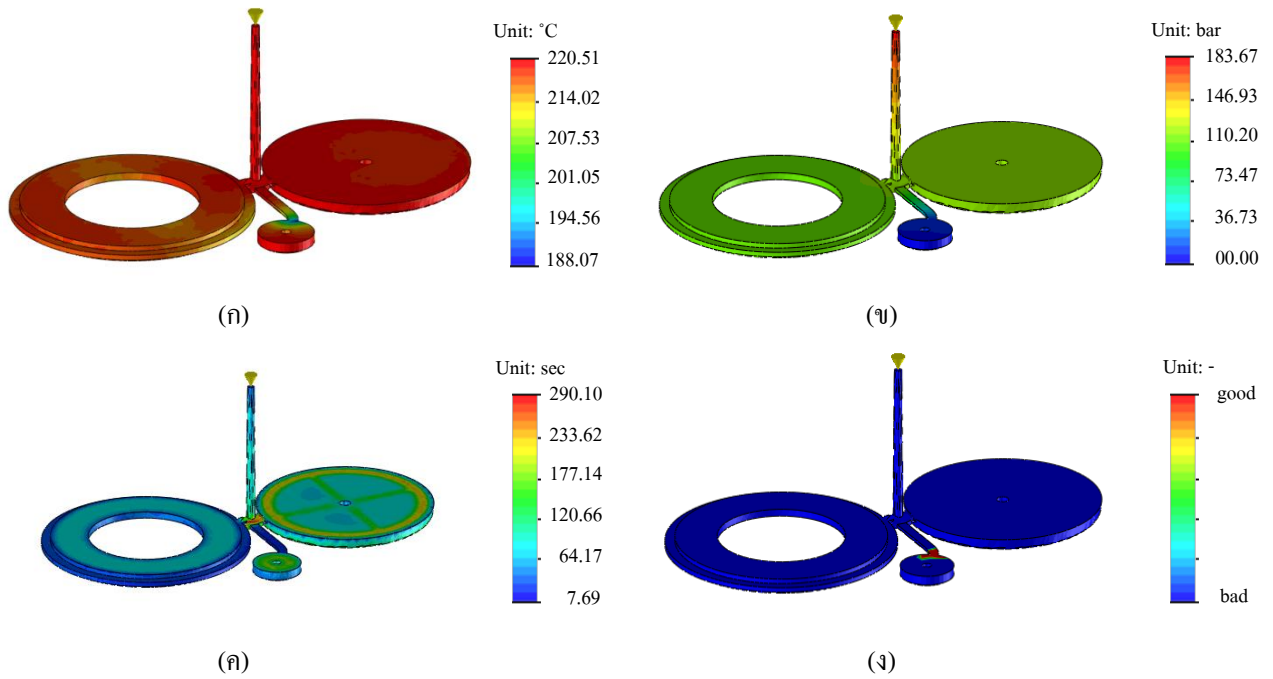
ตารางที่ 2 ผลการวัดขนาดชิ้นงานแผ่นวงกลมและแผ่นวงแหวนที่ตำแหน่งต่าง ๆ

No.	Measurement Position (mm)									
	T1	% error	T2	% error	ID1-4	% error	T5	%error	OD1-4	% error
1	5.99	0.22	1.98	1.00	79.83	0.33	4.82	3.56	79.86	0.49
2	5.88	2.08	1.79	10.60	79.83	0.34	4.76	4.80	79.75	1.91
3	5.68	5.27	1.88	6.20	79.90	0.24	4.68	6.38	79.79	1.33
4	5.98	0.27	1.79	10.55	79.77	0.41	4.92	1.64	79.79	1.32
5	5.87	2.10	1.75	12.30	79.77	0.42	4.86	2.76	79.76	1.79
6	5.65	5.83	1.69	15.65	79.81	0.36	4.79	4.30	79.85	0.62
7	5.85	2.58	1.68	15.80	79.88	0.28	4.91	1.76	79.82	1.05
8	5.58	6.93	1.75	12.75	79.82	0.35	4.82	3.60	79.79	1.36
9	5.46	9.05	1.68	15.80	79.86	0.31	4.73	5.48	79.75	1.94
10	5.49	8.55	1.88	6.20	79.80	0.38	4.77	4.54	79.77	1.60
average	5.59	6.78	1.75	12.64	79.84	0.33	4.81	3.85	79.78	1.49

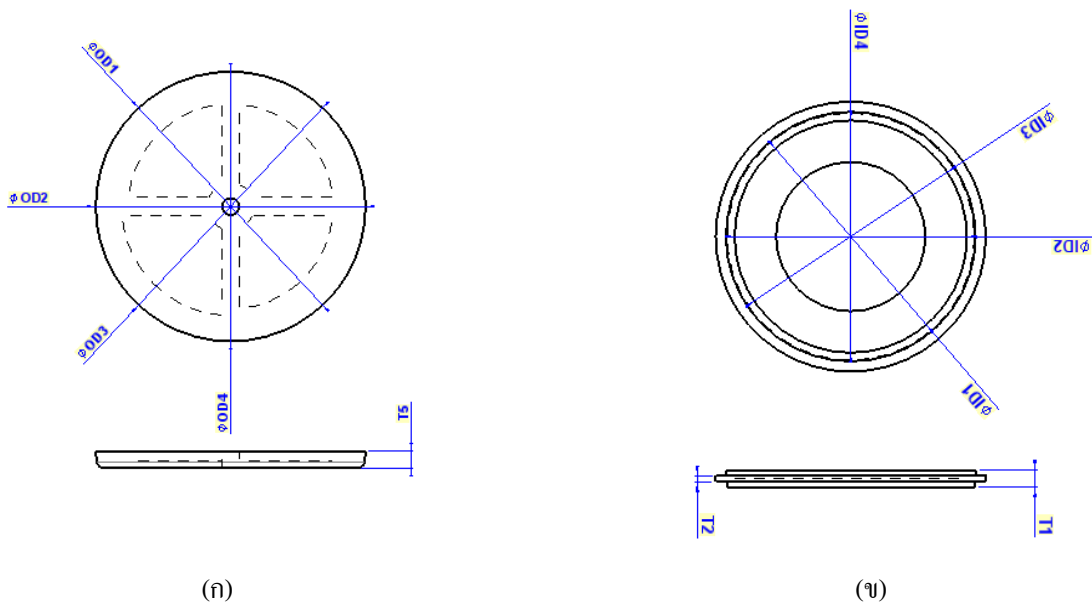




รูปที่ 7 เปรียบเทียบพฤติกรรมไหลของน้ำพลาสติกเข้าสู่ควาวิตซ์ของแม่พิมพ์โดยใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม TopSolid PlasticFlow และชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการฉีดขึ้นรูปจริง



รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ (ก) อุณหภูมิ (ข) ความดัน (ค) เวลาเปิดแม่พิมพ์ และ (ง) ปัญหาการฉีดพลาสติกจนเต็มควัด



รูปที่ 9 ตำแหน่งที่ใช้วัดขนาดชิ้นงาน (ก) แผ่นกลม และ (ข) แผ่นวงแหวน

#### 4. สรุปผล

การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดของชิ้นงานพลาสติกได้ถูกออกแบบด้วยวิธีผสมผสาน CAD/CAE การออกแบบควาวิตซ์ของชิ้นงานพลาสติกแบบแผ่นวงกลมและวงแหวนทำได้โดยการสร้างแบบจำลองควาวิตซ์ 3 มิติ ด้วยซอฟต์แวร์ TopSolid CAD แบบจำลองประกอบด้วยแกนฉีด ทางวิ่ง ทางเข้า และชิ้นงานทั้งสองชิ้น แบบจำลองควาวิตซ์นี้ได้ถูกนำไปวิเคราะห์การไหลด้วยซอฟต์แวร์ TopSolid PlasticFlow เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ซึ่งได้แก่ ความหนา พฤติกรรมการไหล อุณหภูมิ ความดัน เวลาในการเปิดแม่พิมพ์ และจุดบกพร่องของควาวิตซ์ที่ได้ออกแบบ การวิเคราะห์การไหลเมื่อตรวจพบข้อบกพร่องก็จะนำไปปรับแก้แบบจำลองควาวิตซ์จนกระทั่งได้แบบจำลอง 3 มิติของควาวิตซ์ที่สามารถฉีดชิ้นงานพลาสติกได้สมบูรณ์มากที่สุดจึงจะนำไปออกแบบแม่พิมพ์ ซอฟต์แวร์ TopSolid Mold จะถูกนำมาใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ที่ได้จะนำไปสร้างแม่พิมพ์และทำการฉีดชิ้นงานพลาสติก ภายหลังจากฉีดชิ้นงานพลาสติกจะนำชิ้นงานทั้งสองมาตรวจสอบความถูกต้องของรูปร่างโดยการเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานพลาสติกจริงกับชิ้นงานพลาสติกของแบบจำลอง ผลการเปรียบเทียบพบว่าการใช้วิธีผสมผสาน CAD/CAE เพื่อออกแบบชิ้นงานฉีดมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 5.02% ซึ่งสามารถยอมรับคุณภาพของชิ้นงานได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้วิธีผสมผสาน CAD/CAE ยังสามารถลดเวลาการออกแบบแม่พิมพ์ลงได้ 3 วัน จากการออกแบบแม่พิมพ์โดยใช้วิธี CAD แยกกับวิธี CAE วิธีผสมผสาน CAD/CAE ที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะได้นำไปใช้ในการออกแบบและผลิตชิ้นงานฉีดพลาสติกที่มีคุณภาพสูงต่อไป

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทโฟร์ดีคอปอเรชั่น จำกัด ที่อนุญาตให้ใช้ซอฟต์แวร์ TopSolid CAD, TopSolid PlasticFlow และ TopSolid Mold เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ชิ้นงานฉีดพลาสติก

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Dominick, V. R. et al. *Injection molding handbook*, 3rd ed. New York: Springer, 2000.
- [2] Unger, P. Gastrow injection molds 130 proven designs, 4th ed. Munchen: Hanser, 2006.
- [3] Kurt, M. et al. Influence of molding conditions on the shrinkage and roundness of injection molded parts. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, 46 (5), pp. 571-578.
- [4] Chiang, Y. C. et al. Warpage phenomenon of thin-wall injection molding. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, 55 (5), pp. 517-526.
- [5] Santos, J. D. et al. Experiment evaluation and simulation of volumetric shrinkage and warpage on polymeric composite reinforced with short natural fibers. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 2015, 10 (3), pp. 287-293.
- [6] Oktem, H. Modeling and analysis of process parameters for evaluation shrinkage problems during plastic injection molding of a DVD-ROM cover. *Journal of Material Engineering and Performance*, 2012, 21 (1), pp. 25-32.
- [7] Zhong, Z. et al. Finite element analysis on the injection molding and productivity of conformal cooling channel. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 2011, 16 (2), pp. 231-235.
- [8] Gujarathi, G.P. and Ma, Y.S. Parametric CAD/CAE integration using a common data model. *Journal of Manufacturing Systems*, 2011, 30 (3), pp. 118-132.
- [9] Xia, Z. et al. A CAD/CAE incorporate software framework using a unified representation architecture. *Advance in Engineering Software*, 2015, 87, pp. 68-85.

