

การประยุกต์ใช้ CAD CAE CAM ในกระบวนการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

An Application CAD CAE CAM for Design and Manufacturing of Injection Mold

นางสาวศิริวรรณ พันทอง 50056522

อ.ดร.สมเจตน์ พัชรพันธ์

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: fengptlk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ศึกษาและพัฒนากระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์และแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติก โดยใช้เทคโนโลยี CAD CAE CAM มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่เดิมให้มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ หาค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานที่ออกแบบเปรียบเทียบกับแบบจำลองชิ้นงานเดิม จากนั้นจึงออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน โดยพิจารณาผลจากโปรแกรมจำลองการฉีดขึ้นรูป ในการเลือกชนิดทางเข้าและรูปแบบทางวิ่งที่เหมาะสม และนำเข้าสู่กระบวนการผลิตแม่พิมพ์จริงโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในกระบวนการผลิตเพื่อช่วยลดความผิดพลาดในกระบวนการผลิต จากนั้นจึงทดสอบการใช้งานแม่พิมพ์ที่ผลิตขึ้น โดยเปรียบเทียบการไหลที่เกิดขึ้นจริงภายในแม่พิมพ์และผลที่ได้จากโปรแกรมจำลองการฉีดแบบ 2.5 และ 3 มิติ พบว่า ในชิ้นงานที่มีความหนา ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติให้ผลที่ใกล้เคียงกับการฉีดจริงมากกว่า เนื่องจากอิทธิพลของการถ่ายเทความร้อนทั้งจากพลาสติกหลอมเหลวและผนังแม่พิมพ์ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว อย่างไรก็ตามในชิ้นงานบางพบว่าแบบจำลอง 2 และ 2.5 มิติให้ความแม่นยำที่มากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากสมมุติฐานในการสร้างแบบจำลองทั้งสองแบบมีความเหมาะสมกับรูปทรงของชิ้นงานมากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลภายในแม่พิมพ์ของทั้งสามแบบ พบว่า แบบจำลองแบบ 3 มิติใช้เวลาในการวิเคราะห์นานกว่าแบบจำลองแบบ 2 และ 2.5 มิติ 14 และ 7 เท่า ตามลำดับ เนื่องจากจำนวนของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์รวมไปถึงสมการที่ใช้ในการคำนวณที่มีความซับซ้อนมากกว่า

คำสำคัญ กระบวนการฉีดขึ้นรูป/ เทคโนโลยี CAD CAE CAM/ ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์/ การวิเคราะห์การไหลภายในแม่พิมพ์/ การจำลองทางเดินของใบมีด

Abstract

In this study, the design and development of thermoplastic injection molding product by using CAD/CAM/CAE technology is presented. In order to improve the mechanical properties, the finite

element method has been performed to analyze stress distribution on the product under given load and boundary conditions. The part then has been redesign to improve strength, the maximum stress of the products has been compared to ensure better mechanical properties and better usage capabilities. The injection molding simulation of the final model has been performed, then the appropriate gate and runner system has been selected and optimized. After the optimization of feed system, the tool path has been design by using CAM. From the comparison of injection molding simulation by using 2D, 2.5D and 3D model, the results show that the 3D model yield the most accurate result compared to the experiments in case of higher thickness part. However, the numerical result of 2D and 2.5D give better accuracy when used to predicting thinner plastic part. Because of limitation and assumptions used to derive the mesh, 2D and 2.5D mesh type given the most appropriate solution to the part geometry of interest. Anyway when the analysis time has been taken into consideration, the numerical simulation using 3D model take longer analysis time compared to 2D and 2.5D, 14 and 7 times respectively. This is because numbers of element used to modeling the process and complexity of the solution.

Keywords: Injection Mold Process/ CAD CAE CAM/ Finite Element Method/ Plastic Flow Analysis/ Tool Path Simulation

1. บทนำ

กระบวนการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติกของประเทศไทย ในปัจจุบันยังคงอาศัยความรู้ ทักษะของช่างเทคนิคเป็นส่วนใหญ่ ทำให้การถ่ายทอดองค์ความรู้มีอยู่ในวงจำกัด คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศยังมีข้อด้อยหลายด้าน เช่น ผลิตภัณฑ์ไม่ได้ขนาดตามมาตรฐานที่ต้องการ การเกิดครีบของผลิตภัณฑ์ หรือมีอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่สั้น ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่ล้วนเกิดจากการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ รวมไปถึงผลิตภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสม จึงต้องมีการแก้ไขหรือปรับเปลี่ยน

แม่พิมพ์อยู่หลายครั้ง นอกจากนี้ ยังมีปัญหาด้านการเลือกใช้ปัจจัยในกระบวนการฉีดที่ไม่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่อาศัยการลองผิดลองถูก ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทั้งเวลาและวัสดุ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในกระบวนการผลิต (Computer Integrated Manufacturing, CIM) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design, CAD) เช่น การออกแบบตัวผลิตภัณฑ์หรือแม่พิมพ์ คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (Computer Aided Engineering, CAE) เช่น การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงาน หรือการจำลองการไหลภายในแม่พิมพ์ และคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing, CAM) เช่น การจำลองทางเดินของมีดตัดแม่พิมพ์ ซึ่งในภาคอุตสาหกรรมการผลิตของประเทศส่วนใหญ่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบเป็นส่วนใหญ่ โดยขาดการนำการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมมาใช้ เพื่อตรวจสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้น

โครงการนี้จึงมุ่งเน้นนำเสนอการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในกระบวนการผลิตที่เหมาะสม โดยมุ่งเน้นที่กระบวนการออกแบบและวิเคราะห์แบบจำลองผลิตภัณฑ์และแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นในกระบวนการผลิตจริงต้องอาศัยเวลานาน กว่าขั้นตอนอื่นๆ และมีองค์ความรู้ที่จำกัด ผลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ของประเทศไทย รวมไปถึงเพิ่มความสามารถในกระบวนการผลิตของประเทศให้ทัดเทียมกับนานาชาติ

2. การดำเนินโครงการ

การดำเนินโครงการนี้มีขั้นตอนต่างๆดังแสดงในรูปที่ 1



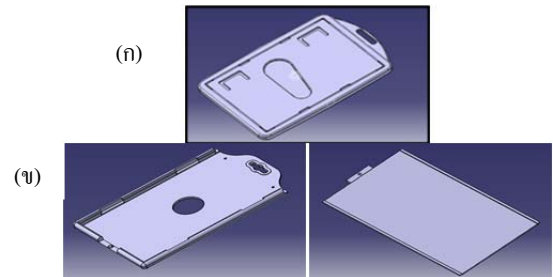
รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

3. ผลการดำเนินโครงการ

3.1 การออกแบบจำลองชิ้นงานใหม่โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ

เนื่องจากชิ้นงานต้นแบบมีการแตกหักในบริเวณช่องร้อยเชือกสำหรับคล็อก จึงมีความจำเป็นต้องออกแบบชิ้นงานใหม่โดยคำนึงถึงความแข็งแรงในบริเวณดังกล่าวเป็นพิเศษ โดยการสร้างแบบจำลองของชิ้นงานด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบ

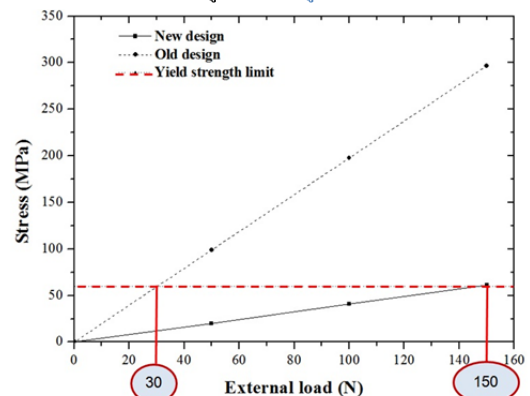
ชื่อ CATIA นอกจากนี้ชิ้นงานต้นแบบจะมีลักษณะเป็นชิ้นงานแผ่นเดียว มีช่องตรงกลางสำหรับสอดบัตรเข้าไปภายในชิ้นงาน ผลิตโดยเครื่องฉีดพลาสติกแบบ 3 แผ่น ซึ่งมีความซับซ้อนในการออกแบบการผลิตแม่พิมพ์มีค่าใช้จ่ายที่สูง ผู้จัดทำจึงได้ออกแบบชิ้นงานใหม่เป็นสองแผ่นประกบกัน เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิตแต่ได้ชิ้นงานใหม่ที่มีความแข็งแรงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 (ก) ชิ้นงานต้นแบบ (ข) ชิ้นงานที่ออกแบบขึ้นใหม่

3.2 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงานโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

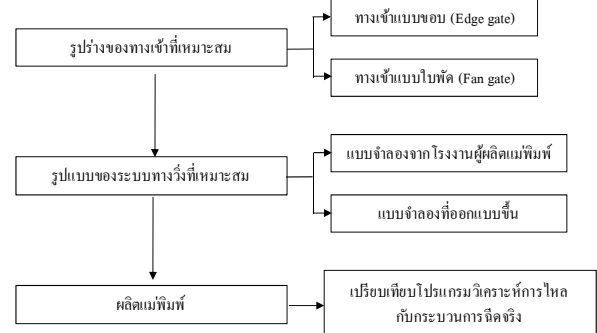
จากผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงาน ชิ้นงานที่ได้รับการปรับปรุงสามารถรับแรงกระทำได้ถึง 150 นิวตัน ก่อนที่ชิ้นงานจะเกิดการเสียรูปถาวรที่ความเค้นคราก (Yield strength) 60 MPa ในขณะที่ชิ้นงานเดิมสามารถรับแรงกระทำได้เพียง 30 นิวตัน ก่อนที่ชิ้นงานจะเกิดการเสียรูปถาวร ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงในภาระที่กำหนดกับความเค้นสูงสุด

3.3 การออกแบบแม่พิมพ์

จากผลการออกแบบชิ้นงาน จึงนำแบบจำลองที่ได้มาออกแบบเพื่อใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปดังแสดง ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แนวทางการวิเคราะห์หาแบบแม่พิมพ์โดยใช้โปรแกรมช่วยทางวิศวกรรม

3.3.1 ผลการวิเคราะห์หารูปร่างของทางเข้าที่เหมาะสม

โครงการนี้ได้เลือกวิเคราะห์ทางเข้าที่มีลักษณะเป็นแบบขอบ (Edge gate) ซึ่งมีลักษณะเป็นทางเข้าเล็กๆต่อจากทางวิ่ง (Runner) ซึ่งทางเข้าลักษณะนี้มีข้อดีที่สามารถปลดชิ้นงานออกจากทางเข้าได้ง่าย ทางเข้าอีกลักษณะหนึ่งที่ได้นำมาศึกษาคือทางเข้าแบบใบพัด ให้พื้นที่หน้าตัดของการไหลที่เท่ากัน (Plug flow) โดยความหนาของทางเข้ากำหนดเป็น 50-70 % ของความหนาชิ้นงาน เป็นขนาดที่เหมาะสมทั้งในส่วนของการไหลเข้าแม่พิมพ์ของพอลิเมอร์หลอมเหลวและการปลดชิ้นงาน ผลการเปรียบเทียบรูปร่างการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวในแต่ละทางเข้า พบว่ารูปร่างการไหลของทางเข้าแบบใบพัดมีพื้นที่หน้าตัดการไหลที่เท่ากันมากกว่าในช่วงแรก (0-40%) จากนั้นการไหลจึงมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเวลาและแรงดันในการฉีดดังแสดงในตารางที่ 1 แล้วพบว่า ทางเข้าแบบใบพัดมีค่าที่เหมาะสมมากที่สุด

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์เวลาและแรงดันที่ใช้ในการฉีดทางเข้าแบบต่างๆ

รูปร่างของทางเข้า	ความหนา	เวลาในการฉีด (วินาที)	แรงดันในการฉีด (MPa)
ทางเข้าแบบขอบ (แผ่นหนา)	50% ของชิ้นงานแผ่นหนา	0.8957	10.62
	70% ของชิ้นงานแผ่นหนา	0.7228	19.46
ทางเข้าแบบใบพัด (แผ่นหนา)	50% ของชิ้นงานแผ่นหนา	0.7844	11.05
	70% ของชิ้นงานแผ่นหนา	0.7826	10.81
ทางเข้าแบบขอบ (แผ่นบาง)	50% ของชิ้นงานแผ่นบาง	0.6998	20.70
	70% ของชิ้นงานแผ่นบาง	0.6984	19.39
ทางเข้าแบบใบพัด (แผ่นบาง)	50% ของชิ้นงานแผ่นบาง	0.7070	19.25
	70% ของชิ้นงานแผ่นบาง	0.7059	18.89

3.3.2 ผลวิเคราะห์การออกแบบระบบทางวิ่งของชิ้นงาน

จากผลการวิเคราะห์รูปร่างทางเข้าที่เหมาะสมกับชิ้นงานจึงนำมาออกแบบเป็นระบบทางวิ่งของแม่พิมพ์ ซึ่งการวางรูปแบบของชิ้นงานมีข้อจำกัดในด้านแม่พิมพ์ฐานของทางบริษัทร่วมวิจัยจึงสามารถออกแบบเฉพาะตามแนวยาวทั้งสองด้าน โดยใช้ความหนาและระยะทางเข้าตามทฤษฎี ผลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่าไม่สามารถฉีดชิ้นงานให้ได้เต็มที่ 2 ด้านพร้อมกันได้ ชิ้นงานที่มีความหนามากกว่าส่งผลให้พอลิเมอร์หลอมเหลวสามารถไหลเข้าภายในแม่พิมพ์ได้ง่าย เนื่องจากแรงต้านการไหลที่น้อยกว่า (Flow Resistance) ในขณะที่ชิ้นงานที่บางและมีรูปร่างที่ซับซ้อนทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลเข้าได้ช้ากว่า แรงดันภายในแม่พิมพ์ (Cavity Pressure) ของด้านที่เต็มแล้วเพิ่มสูงขึ้นซึ่งทำให้ชิ้นงานมีความเค้นตกค้างซึ่งเมื่อปลดชิ้นงานออกแบบแม่พิมพ์อาจเกิดการบิดเบี้ยว เมื่อนำไปใช้งานเกิดความเสียหายได้ง่ายกว่า จึงได้ปรับขนาดทางเข้าในแต่ละด้านจนความดันภายในแม่พิมพ์ทั้งสองด้านให้เท่ากัน และเปรียบกับแบบจำลองซึ่งออกแบบโดยโรงงานผู้ผลิตแม่พิมพ์ ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลที่ได้พบว่าแบบจำลองที่ปรับปรุงขึ้นให้แรงดันและเวลาในการฉีดที่ใกล้เคียงกับแบบจำลองจากโรงงานแม่พิมพ์ อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีข้อดีกว่าในด้านหน้าตัดการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวเป็นระนาบมากกว่าเนื่องจากมีทางเข้าเป็นแบบใบพัด จากนั้นจึงนำแบบแม่พิมพ์ที่ได้ไปผลิตเป็นแม่พิมพ์ โดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ช่วยการผลิต (CAM)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์การไหลภายในแม่พิมพ์หลังปรับสมดุลการไหลในแม่พิมพ์

แบบจำลองที่วิเคราะห์	ภาพการวิเคราะห์ความดันสุดท้ายภายในแม่พิมพ์	เวลาในการฉีด (วินาที)	แรงดันในการฉีด (MPa)
แบบจำลองเดิมที่ได้ออกแบบ		1.163	75.94
แบบจำลองที่ปรับปรุงการไหลให้สมดุลภายในแม่พิมพ์		1.171	45.64
แบบจำลองที่ออกแบบโดยโรงงาน		1.185	45.55

3.3.3 การนำคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์การออกแบบชิ้นงานที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูป

จากผลการวิเคราะห์การจัดวางเรียงตำแหน่งของชิ้นงานในแม่พิมพ์เห็นได้ว่าการวางตำแหน่งของชิ้นงานในแบบแวนอนั้นให้ผลดีที่สุด อย่างไรก็ตามโครงการนี้ได้ศึกษาการจัดวางชิ้นงานในรูปแบบอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 เห็นได้ว่ารูปแบบที่ 2,3 และ 4 นั้นมีทิศทางการไหลของพอลิเมอร์ที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากชิ้นงานมีความหนา-บางที่ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดเป็นรอยประสาน (Weld-Line) ต่อเนื่องเป็นรอยยาวและส่งผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน ในขณะที่รูปแบบที่ 1 และ 5 สามารถทำการผลิตได้จริง แต่รูปแบบที่ 5 นั้นจะเกิดรอยประสาน (Weld Line) ต่อเนื่องเป็นรอยยาวตั้งแต่หัวไปจนท้ายของชิ้นงาน ส่งผลให้ความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง รวมถึงมีความซับซ้อนในการผลิตแม่พิมพ์ที่ค่อนข้างมาก ดังนั้น การจัดวางตำแหน่งของชิ้นงานในรูปแบบที่ 1 จึงให้ผลที่ดีที่สุด

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การไหลของพอลิเมอร์ในการจัดวางชิ้นงานในตำแหน่งต่างๆ

รูปแบบ	20%	40%	60%	80%	100%	เวลาฉีด(วินาที)
1						1.006
2						1.103
3						0.9845
4						0.9981
5						0.9848

จากหัวข้อที่ผ่านมาในชิ้นงานบางมีอินเสิร์ตซึ่งขัดขวางการไหลภายในแม่พิมพ์ จึงทำให้ชิ้นงานมีรอยประสานขึ้นและชิ้นงานมีความแข็งแรงที่ลดต่ำลง ในหัวข้อนี้จึงนำเสนอการปรับความลึกของตัวอินเสิร์ตเพื่อลดอิทธิพลของรอยประสานขึ้น อย่างไรก็ตามผลที่ได้พบว่ารอยประสานที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานมีความหนาที่ค่อนข้างน้อยจึงทำให้เมื่อปรับระยะอินเสิร์ตแล้ว ช่องทางการไหลยังมีขนาดเล็กลง จึงทำให้ การไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวเป็นไปได้ยากยากเช่นเดิม ดังแสดงในภาพผลวิเคราะห์การไหล ซึ่งพอลิเมอร์ที่แยกไหลกลับเข้ามาชนกันเป็นรอยประสานบริเวณอินเสิร์ตที่ลดความลึกลง

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์การไหลภายในแม่พิมพ์หลังการปรับเปลี่ยนรูปร่างชิ้นงาน

ความลึกของชิ้นลีด (มิลลิเมตร)	แบบจำลองของชิ้นงาน	ผลการวิเคราะห์การไหล	ขนาดของรอยประสานที่เกิดขึ้น (weld line)
0.75			
1.0			
1.25			
1.5			

3.4 ผลการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการฉีดจริงและผลการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์

หลังจากเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดแล้วนำไปผลิตแม่พิมพ์โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) และเครื่องควบคุมเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC) แล้วนำแม่พิมพ์ที่ได้ไปทำการฉีดชิ้นงานจริง ผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมจำลองการไหลแบบ 2, 2.5 และ 3 มิติกับผลการทดลองฉีดจริง พบว่าผลการวิเคราะห์แบบ 3 มิติให้ผลที่สอดคล้องกับการฉีดชิ้นงานจริงในชิ้นงานแผ่นที่หนากว่าเมื่อเทียบกับแบบทั้ง 2 มิติและ 2.5 มิติ ในขณะที่ผลการวิเคราะห์แบบ 2 มิติและ 2.5 มิติให้ผลที่สอดคล้องกับการฉีดชิ้นงานจริงมากกว่าการวิเคราะห์ผลแบบ 3 มิติในชิ้นงานแผ่นที่บางกว่า ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบการไหลของชิ้นงานฉีดจริงและการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์

การไหลของพอลิเมอร์	2 มิติ	2.5 มิติ	3 มิติ	ชิ้นงานฉีดจริง
20%				
40%				
60%				
80%				
100%				

4. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

โครงการนี้ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี CAD CAE และ CAM ในการจัดสร้างแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติก โดยใช้เทคโนโลยี CAD ในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแบบจำลองเดิม และส่วนประกอบของแม่พิมพ์ฉีดให้เหมาะสม จากนั้นจึงใช้เทคโนโลยี CAE ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงานและการไหลภายในแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูป จากผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมจำลองการไหลแบบ 2, 2.5 และ 3 มิติกับผลการทดลองฉีดจริง พบว่าผลการวิเคราะห์แบบ 3 มิติให้ผลที่สอดคล้องกับการฉีดชิ้นงานจริงในชิ้นงานแผ่นที่หนากว่าเมื่อเทียบกับแบบทั้ง 2 มิติและ 2.5 มิติ ในขณะที่ผลการวิเคราะห์แบบ 2 มิติและ 2.5

มิติให้ผลที่สอดคล้องกับการฉีดชิ้นงานจริงมากกว่าการวิเคราะห์ผลแบบ 3 มิติในชิ้นงานแผ่นที่บางกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากสมมติฐานที่ใช้ในการ ยกตัวอย่างเช่น ค่าการนำความร้อนที่เปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ หลอมเหลว สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างแม่พิมพ์กับพลาสติกหลอมเหลว ความหนารวมไปถึงความซับซ้อนของชิ้นงาน อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์แบบ 3 มิติและกระบวนการฉีดจริงยังมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้นอกจากปัจจัยจากสมมติฐาน ในการจำลองแล้ว ยังมาจากปัจจัยอื่นๆในกระบวนการฉีดจริง เช่น ความเร็วในกระบวนการฉีด อุณหภูมิในกระบวนการฉีด เป็นต้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงเวลาในการวิเคราะห์การไหลแบบ 3 มิติ แล้วพบว่าใช้เวลามากกว่าแบบ 2 และ 2.5 มิติ 14 เท่า และ 7 เท่า ตามลำดับ ทั้งนี้ในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านความเร็วและประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ ทำให้เวลาในการวิเคราะห์ลดลง จึงทำให้การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองแบบ 3 มิติ เหมาะสมกับการใช้งานในปัจจุบันมากยิ่งขึ้น

การนำเทคโนโลยี CAD CAE และ CAM เข้ามาช่วยในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์และแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปพบว่า สามารถช่วยให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้อย่างขึ้นทั้งในส่วนของกระบวนการและกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงการจัดสร้างแม่พิมพ์ อย่างไรก็ตามการใช้งานของโปรแกรมต่างๆ ยังคงต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญจึงสามารถใช้เทคโนโลยีดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

นำเสนอการเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากโปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรม เช่น ความเค้นดกค้างที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน หรือการบิดเบี้ยวของชิ้นงานกับค่าที่เกิดขึ้นจริงจากกระบวนการฉีดขึ้นรูป

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมวัสดุนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก อ.ดร.สมเจตน์ พัชรพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนความเชื่อเหลือต่างๆจนประสบความสำเร็จในการทำโครงการนี้

ขอขอบพระคุณคุณชัชชัย พลสัมฤทธิ์ ที่ปรึกษาพิเศษ จากสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท. บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) ผู้กรุณาให้โอกาส ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ในการทำโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับทุกสิ่งทุกอย่างในการทำโครงการ

และขอขอบคุณ คุณชนวัฒน์ ตั้งเชื่อนขันธุ์ คุณรวีวัฒน์ รักสัง และนักวิจัย ฟ้าๆ เพื่อนๆ ทุกคนในห้องกลุ่มพัฒนากระบวนการผลิตพลาสติกและยาง ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการทำโครงการนี้ มาตลอด

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Yeung, V. W. S. and Lau, K. H., 1997. "Injection moulding, C-MOLD CAE package, process parameter design and quality function deployment: A case study of intelligent materials processing", *Journal of Materials Processing Technology*, 63 (1-3): 481-487.

[2] García, N., González, E., 2003. "Critical thickness estimation in ISO-MC cards injection using CAE tools", *Journal of Materials Processing Technology*, 143: 491-494.

[3] Kong, L., Fuh, J. Y. H., 2003. "A Windows-native 3D plastic injection mold design system", *Journal of Materials Processing Technology*, 139 (1-3): 81-89.

[4] Deng, Y.M., Lam, Y.C., Tor, S.B. and Britton, G.A., 2002. "A CAD-CAE Integrated Injection Molding Design System", *Engineering with Computers*, 18 (1): 80-92.

[5] Tsai, K.M., Hsieh, C.Y., 2009. "A study of the effects of process parameters for injection molding on surface quality of optical lenses", *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (7): 3469-3477.

[6] Bociaga, E., 2001. "Effect of Mould Temperature and Injection Speed on Selected Properties of Polyethylene Mouldings", *International Polymer Science and Technology*, 28: 102-98.

[7] Bociaga, E., 2002. "Influence of the Method of Feeding the Polymer into the Injection Mould Cavity on the Structure and Crystallinity of High Density Polyethylene," *International Polymer Science and Technology*, 29: 102-99

[8] John P. Beaumont, 2004. *Runner and Gating Design Handbook*. Penn State, The Behrend College, Erie, Pennsylvania. 286.p.

[9] ชาลี ตระการกุล, 2546. การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ. 339 น.