

การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปในการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ABS.

Design of Experiments for Analyzing Factors Affecting to Varied Deformation in the Simulation of ABS Plastic Injection Molding Process.

อดุลย์ จิตรอารี ศรีโร จารุกัญญา และ ระพี กาญจนะ

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปในกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นส่วนพลาสติก ABS. ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moldex3D โดยทำการศึกษาปัจจัยเบื้องต้นทั้งหมด 8 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการฉีด, แรงดันฉีด, ระยะเวลาเปลี่ยนฉีดอัดย้า, เวลาฉีดอัดย้า, แรงดันฉีดอัดย้า, อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก, อุณหภูมิแม่พิมพ์ และเวลาในการหล่อเย็น จากผลการจำลองกระบวนการฉีดตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปของชิ้นส่วน ได้แก่ เวลาหล่อเย็น, อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก, เวลาฉีดอัดย้า และอัตราการฉีด จากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมโดยวิธี Central composite design แล้วนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการจำลองกระบวนการฉีดโดยโปรแกรม Moldex3D ผลลัพธ์ที่ได้คือ ได้ค่าการเสียรูปสูงสุดของชิ้นส่วนเท่ากับ 4.19 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.22 มิลลิเมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.95 เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการทดลองฉีดขึ้นรูปจริงเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยได้ค่าการเสียรูปสูงสุดของชิ้นส่วนเฉลี่ยเท่ากับ 4.2 มิลลิเมตร จากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดเพื่อช่วยในการวิเคราะห์คุณภาพของการออกแบบกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ABS รวมไปถึงคุณภาพของการออกแบบระบบแม่พิมพ์ฉีดก่อนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อลดต้นทุนในการแก้ไขแม่พิมพ์ภายหลังการสร้างแม่พิมพ์จริง และยังสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีด เพื่อลดต้นทุนที่เกิดจากการทดลองฉีดจริงเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในกระบวนการผลิต

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง, การจำลอง, กระบวนการฉีด, ชิ้นส่วนยานยนต์

Abstract

The objectives of this research are to the study and analyze significant factors affecting varied deformation in the ABS plastic injection molding process by using design of experiments and injection molding process simulation with the moldex3D programming. In this study, eight factors were initially screened namely; injection flow, injection pressure, switching over position, packing time, packing pressure, melt temperature, mold temperature, and cooling time. As a result of using injection process simulation as of the fractional factorial experiment design, it shown the significant factors affecting to deformation were cooling time, melt temperature, packing time, and injection flow. Then the response surface methodology (RSM) with using the central composite design (CCD) was applied to analyze the optimum condition of each parameter before simulating the injection process by moldex3D programming. The simulation results shown that the maximum of deformation is 4.19 mm, the sample means is 2.22 mm, and the sample standard deviation is 0.95. After that setup the simulation results as parameter input into the actual injection process, the result shown that the maximum of deformation is 4.2 mm and there is no statistical difference between simulation results and experimental results at 95% confidential interval level. The contribution of this research improves the quality of ABS plastic injection process design including mold design. This also values in cost reduction in mold fabrication and trial production before launching real production.

Keywords: Design of experiment, simulation, injection molding process, automotive parts

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์มีการเติบโตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการแข่งขันกันในกลุ่มของผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์อย่างมาก การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ภายใต้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำสุดและรวดเร็ว จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะสร้างความสามารถในการแข่งขันของผู้ผลิต การสร้างความสามารถต่างๆนี้ จำเป็นต้องพึ่งพาเทคโนโลยีและกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ ชิ้นส่วนพลาสติก ABS เป็นวัสดุหนึ่งที่มีคุณสมบัติหลายประการที่ผู้ผลิตเลือกนำมาใช้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการผลิตแบบฉีดขึ้นรูป [1] เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่สามารถผลิตชิ้นส่วนที่รวดเร็วและผลิตได้ในปริมาณมากๆ ทำให้สามารถตอบสนองความต้องการชิ้นส่วนได้สูงและมีต้นทุนการผลิตต่อชิ้นที่ต่ำหากมีการผลิตในปริมาณมากๆ แต่อย่างไรก็ตาม กรรมวิธีนี้ ต้องอาศัยทักษะและเทคนิคอย่างมากเพื่อให้ได้กระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ เพราะหากมีการควบคุมกระบวนการและค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างไม่เหมาะสมแล้วจะส่งผลให้เกิดของเสียจากกระบวนการและคุณภาพของชิ้นส่วนที่ไม่ได้มาตรฐาน ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นและเป็นปัญหาต่อระบบการควบคุมคุณภาพอีกด้วย กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ABS ส่วนใหญ่มักพบปัญหาการเสีรูปร่างของชิ้นส่วน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น การออกแบบชิ้นส่วน การออกแบบโครงสร้างและระบบแม่พิมพ์ การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ เป็นต้น ซึ่งการป้องกันและแก้ไขปัญหาการเสีรูปร่างของกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ABS นั้น มีต้นทุนและค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้น การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมและการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากจะช่วยให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนพลาสติก ABS ด้วยกรรมวิธีที่ฉีดขึ้นรูป สามารถวิเคราะห์และป้องกันปัญหาการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนได้ตั้งแต่นั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีด เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดความบกพร่องจากกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์และลดต้นทุนในการทดลองผลิตเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วน

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสม และสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ เพื่อหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้

2.1.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น

2.1.2 การทดลองแบบแฟกทอเรียลบางส่วน

การทดลองแบบแฟกทอเรียลบางส่วน คือ การทดลองที่ทำโดยลดรูปลงจากการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบในสัดส่วนของจำนวนระดับปัจจัยการใช้งานโดยส่วนใหญ่ของการออกแบบการทดลองชนิดสัดส่วนเรียกว่า การทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น (Screening Experiment) กล่าวคือ เป็นการทดลองซึ่งใช้ในการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบทั้งหมดว่า ปัจจัยใดให้ผลกระทบต่อผลตอบสนองของระบบที่มากที่สุด ดังนั้นการทดลองนี้จึงเป็นการทดลองในขั้นตอนแรก [2]

2.1.3 การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite

การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษาหรือสร้างตัวแบบในลักษณะของโพลีโนเมียลดีกรี (Second-Order or Quadratic Model) มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผนการทดลองอื่นที่ใช้ในการศึกษาตัวแบบโพลีโนเมียลดีกรี 2 [2]

2.1.4 วิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology)

วิธีพื้นผิวผลตอบ เป็นการรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบที่เราสนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และเรามีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้ [3]

2.2 กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

งานขึ้นรูปพลาสติกโดยกระบวนการฉีดนั้นคุณภาพของชิ้นส่วนที่ได้จะดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับการออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสมและการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก โดยค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ อุณหภูมิขณะปลดชิ้นส่วน อุณหภูมิกระบอกฉีด ระยะชักสกรู ความเร็วรอบสกรู ความดันฉีด ความดันฉีดอัดย่ำ เวลาฉีดอัดย่ำ ระยะสำรอง เวลาที่พลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกฉีด ความเร็วฉีด ความดันด้านการถอยกลับของสกรู ระยะเปลี่ยนการฉีดเป็นฉีดอัดย่ำ แรงปิดแม่พิมพ์ และเวลาในการหล่อเย็น เป็นต้น [4]

2.3 กระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์และการจำลองการฉีดพลาสติก

2.3.1 ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาใดๆทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะประกอบไปด้วย การแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ การรวมระบบไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าด้วยกันแล้วแก้ปัญหาสมการ และการคำนวณหาค่าอื่นๆ [5]

2.3.2 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

1. กระบวนการขั้นต้น (Pre-Processing) คือกระบวนการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์จากรูปแบบที่แท้จริงของปัญหา ซึ่งจะเก็บข้อมูลเหล่านี้ในรูปของสมการทางเลขาคณิต โดยรูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์ต้องเหมือนกับรูปร่างต้นแบบของจริงมากที่สุด

2. กระบวนการวิเคราะห์ (Solution) คือ การนำข้อมูลต่างๆ ที่สร้างไว้ในขั้นตอนแรก มาเข้าสู่ส่วนที่ทำหน้าที่วิเคราะห์ในไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยตัวซอฟต์แวร์จะสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับปัญหานั้นๆ

3. กระบวนการขั้นสุดท้าย (Post-Processing) เป็นการใช้ระบบคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่อ่านค่าได้ง่าย โดยแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบแผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้วิธีการออกแบบแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design) เพื่อใช้ในการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment) โดยปัจจัยที่นำมาทำการศึกษามีทั้งหมด 8 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการฉีด, แรงดันฉีด, ระยะการเปลี่ยนฉีดอัตโนมัติ, เวลาฉีดอัตโนมัติ, แรงดันฉีดอัตโนมัติ, อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก, อุณหภูมิแม่พิมพ์ และเวลาหล่อเย็น โดยออกแบบให้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ 2 ระดับ

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลอง 2^{8-4} Fractional Factorial

Item	Factors	Symbol	Levels	Low	High	Unit
1	Injection Flow Rate	A	2	50	80	%
2	Injection Pressure	B	2	60	80	%
3	Switching Over	C	2	90	98	%
4	Packing Time	D	2	4	8	Sec.
5	Packing Pressure	E	2	60	80	%
6	Melt Temperature	F	2	220	240	C°
7	Mold Temperature	G	2	60	80	C°
8	Cooling Time	H	2	30	60	Sec.

อิทธิพลของปัจจัยหรือตัวแปรตาม (ค่า Y) ที่ทำการศึกษา คือ ค่าการโก่งงอเสีรูปของชิ้นส่วน โดยแบ่งออกเป็น 3 ค่า ได้แก่ ค่า Y_1 คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการโก่งงอของชิ้นส่วน ค่า Y_2 คือค่าเฉลี่ยการโก่งงอของชิ้นส่วน และค่า Y_3 คือค่าการโก่งงอสูงสุดของชิ้นส่วน โดยค่าทั้ง 3 ค่านี้ จะได้จากการจำลองกระบวนการฉีดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moldex3D

3.2 การสร้างรูปแบบและการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติก

ขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างลักษณะต่างๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moldex3D R11 Designer เช่น ระบบทางวิ่งพลาสติก ระบบหล่อเย็น ระบบการทำงานของแม่พิมพ์ การแบ่งเอลิเมนต์ของแบบจำลอง เป็นต้น เมื่อได้รูปแบบของระบบจำลองแม่พิมพ์แล้วจะนำข้อมูลมาทำการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฉีดพลาสติก

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น (Screening) เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสีรูปของชิ้นส่วน

การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น จะนำข้อมูลค่าการโก่งงอของชิ้นส่วนที่ได้จากการจำลองระบบการฉีด มาทำการวิเคราะห์ตามรูปแบบการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วนโดยโปรแกรม Minitab 15 โดยจะทำการคัดแยกให้เหลือเพียงเฉพาะปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y เพื่อนำไปวิเคราะห์อย่างละเอียดในขั้นตอนต่อไป

3.4 การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย

การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย จะนำปัจจัยที่มีอิทธิพลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลทดลองแฟกทอเรียลบางส่วนมาทำการทดลองตามแผนการทดลองแบบ Central Composite Designs

3.5 การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology; RSM.) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

ขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลการจำลองกระบวนการฉีดตามแผนการทดลองแบบ Central Composite Designs มาทำการวิเคราะห์และประมวลผลอย่างละเอียดโดยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบและการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม โดยโปรแกรม Minitab 15

3.6 การยืนยันผลและการเปรียบเทียบผลการทดลอง

หลังจากทำการประมาณค่าของระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อระบบในขั้นตอนที่ผ่านมาแล้ว จะนำผลลัพธ์ที่ได้ เช่น เงื่อนไขและระดับของปัจจัยต่างๆ มาทำการประมวลผลและทดลองซ้ำ โดยสามารถแยกออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1. การยืนยันและเปรียบเทียบผลการทดลองโดยกระบวนการจำลองระบบ ซึ่งเป็นการนำผลลัพธ์ของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อระบบที่ได้ มาทำการจำลอง (Simulation) ด้วยโปรแกรม Moldex3D R11 แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาเปรียบเทียบความแตกต่างกับค่า Y ทั้ง 3 ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

2. การยืนยันและเปรียบเทียบผลการทดลองโดยกระบวนการทดลองการฉีดพลาสติกจริง เป็นการนำผลลัพธ์ของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อระบบ มาทำการทดลองฉีดพลาสติกด้วยเงื่อนไขและแม่พิมพ์ฉีดจริง แล้วนำชิ้นส่วนที่ได้จากกระบวนการฉีดจริงมาวัดหาค่าการโก่งงอบนแนวตัดการเสีรูป แล้วนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบความแตกต่างกับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) และกระบวนการจำลองระบบด้วยโปรแกรม Moldex3D R11 แล้วคำนวณหาระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์การเสีรูปของชิ้นส่วนโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moldex3D ตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน

จากการนำเงื่อนไขของปัจจัยตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วนมาทำการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนและวิเคราะห์ผลการเสียรูปของชิ้นส่วนโดยโปรแกรม Moldex3D ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การเสียรูปของชิ้นส่วนโดยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลอง 2^{8-4} Fractional Factorial

Run Order	Y ₁ (SD.)	Y ₂ (Means)	Y ₃ (Max.)
1	1.111	2.696	5.095
2	0.947	2.213	4.258
3	0.950	2.209	4.148
4	1.204	2.980	5.782
5	1.197	2.961	5.728
6	0.953	2.220	4.181
7	0.948	2.215	4.267
8	1.128	2.744	5.208
9	0.945	2.206	4.253
10	1.077	2.589	4.938
11	1.126	2.755	5.365
12	0.955	2.224	4.197
13	0.948	2.199	4.132
14	1.143	2.801	5.485
15	1.068	2.562	4.874
16	0.955	2.234	4.319

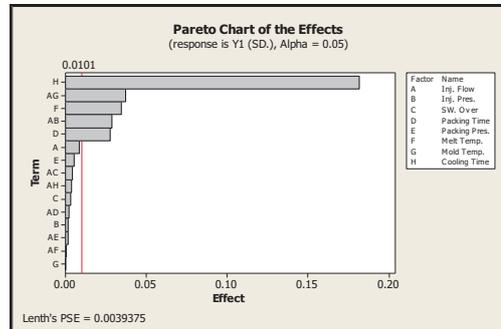
4.2 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment) ตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน

จากผลการวิเคราะห์การจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนด้วยโปรแกรม Moldex3D ภายใต้เงื่อนไขแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วนแบบ 2^{8-4} เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลของปัจจัยร่วม พบว่า แผนการทดลองนี้มีรูปแบบ Resolution 4 หมายความว่า มีผลของอิทธิพลปัจจัยร่วมน้อยมาก โดยอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่สามารถตรวจพบได้จะเป็นผลของอิทธิพลร่วมที่มีโครงสร้างซ้ำซ้อนแบบ 2 ปัจจัยร่วมกับอีก 2 ปัจจัยร่วม ดังรูปที่ 4.1

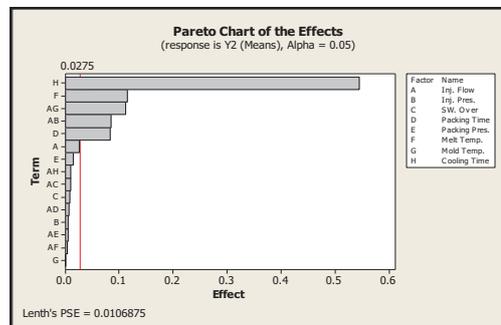
<p>Design Generators: E = BCD, F = ACD, G = ABC, H = ABD</p> <p>Alias Structure (up to order 4)</p> <p>I + ABCG + ABDH + ABEF + ACDG + ACEH + ADEG + AFHG + BCDE + BCDF + BDFG + BEGH + CDGH + CEFG + DEFG</p> <p>A + BCG + BDH + BEF + CDF + CEH + DEG + FGH B + ACG + ADH + AEF + CDE + CFH + DFG + EGH C + ABG + ADF + AEG + BDE + BFG + DGH + EFG D + ABH + ACF + AEG + BCE + BFG + CGH + EFH E + ABF + ACH + ADG + BCD + BHF + CFG + DFH F + ABE + ACD + AGH + BDE + BDG + CEG + DEH G + ABC + ADE + AFH + BDF + BEH + CDH + CEF H + ABD + ACE + AFG + BCF + BEG + CDG + DEF</p> <p>AB + CG + DH + EF + ACDE + ACFH + ADFG + AEGH + BCFG + BCEH + BDEG + BFGH AC + BG + DF + EH + ABDE + ABFH + ADGH + ADFG + BCDH + BCEF + CDEG + CFHG AD + BH + CF + EG + ABCE + ABFG + ACGH + AEFH + BCDG + BDEF + CDEH + DFHG AE + BF + CH + DG + ABCD + ABGH + ACFG + ADFH + BCEG + BDEH + CDEF + EFGH AF + BE + CD + GH + ABCH + ABGD + ACEG + ADEH + BCFG + BDFH + CEFG + DEFG</p>

รูปที่ 4.1 โครงสร้างซ้ำซ้อนของ Main Effects และ Interaction Effects

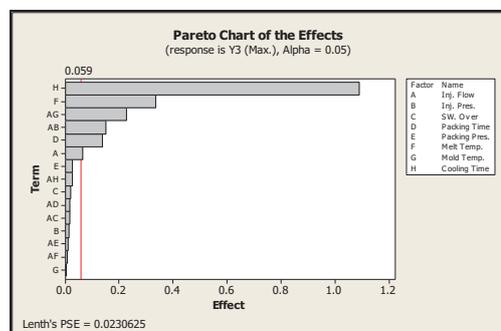
เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยหลัก (Main Effects) พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y₁ และ Y₂ ได้แก่ เวลาในการหล่อเย็น(H) , อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก(F) และ เวลาการฉีดอัดย้า(D) ตามลำดับ ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y₃ ได้แก่ เวลาในการหล่อเย็น(H) , อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก(F) , เวลาการฉีดอัดย้า(D) และอัตราการฉีด(A) ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2, 4.3, 4.4



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y₁



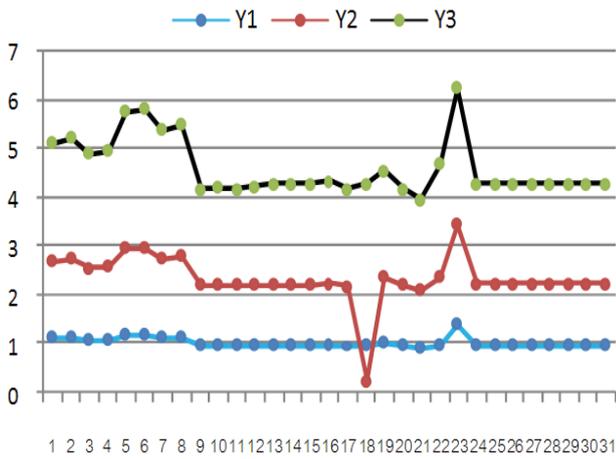
รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y₂



รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y₃

4.3 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยโดยการออกแบบการทดลอง Central Composite Designs; CCD.

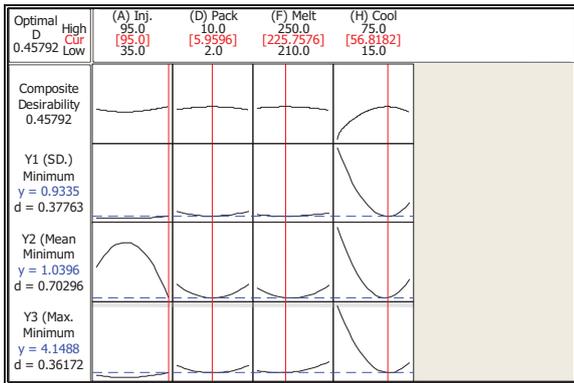
เมื่อนำปัจจัยที่มีอิทธิพลทั้ง 4 ปัจจัยที่ได้จากการศึกษาผลกระทบเบื้องต้น มาทำการวิเคราะห์ด้วยแผนการออกแบบการทดลอง Central Composite Designs ; CCD. (31 Run Order) แล้วทำการจำลองกระบวนการฉีดโดยโปรแกรม Moldex3D ผลลัพธ์ที่ได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองกระบวนการฉีดโดยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลอง Central Composite Designs ; CCD

4.4 ผลการวิเคราะห์โดยวิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology; RSM.) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม

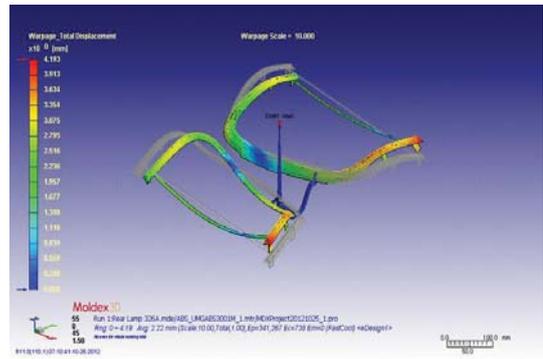
จากผลการทดลองตามแผนการทดลองแบบ Central Composite Designs ; CCD. เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยวิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology ; RSM.) แล้วทำการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ของปัจจัยที่ทำให้ค่า Y มีค่าต่ำที่สุดที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบที่เหมาะสม

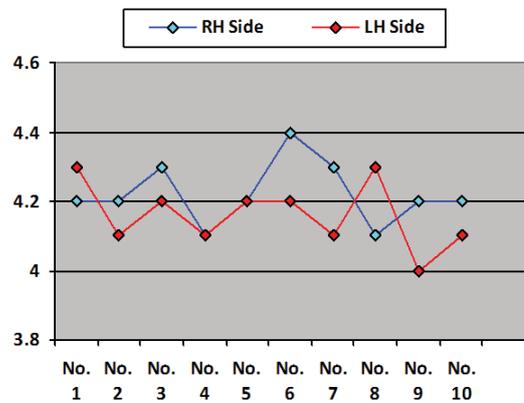
4.4 การยืนยันผลและการเปรียบเทียบผลการทดลอง

4.4.1 ผลการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยนำเงื่อนไขปัจจัยที่เหมาะสมมาทำการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนโดยโปรแกรม Moldex3D พบว่า ได้ค่า $Y_1 = 0.9529$, ค่า $Y_2 = 2.219$ และค่า $Y_3 = 4.19$ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์การเสียรูปโดยโปรแกรม Moldex3D ภายใต้เงื่อนไขปัจจัยที่เหมาะสม

4.4.2 ผลการทดลองจากกระบวนการฉีดขึ้นส่วนจริงภายใต้เงื่อนไขปัจจัยที่เหมาะสม พบว่า เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปใช้ในการปรับตั้งในกระบวนการฉีดจริง ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่าการเสียรูปของชิ้นส่วนที่วัดได้จากกระบวนการฉีดจริง



รูปที่ 4.9 ลักษณะชิ้นส่วนและการวัดค่าการเสียรูปของชิ้นส่วนบนแกวัด

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่า การประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลอง ร่วมกับการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติกโดยโปรแกรมวิเคราะห์การฉีดพลาสติก Moldex3D สามารถวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่าง รวมถึงการวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ผลลัพธ์ของการเสียรูปของชิ้นส่วนต่ำที่สุด ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์วิธีการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab 15 กับผลการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรม Moldex3D และผลการทดลองฉีดขึ้นส่วนจริง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปแกว่งของชิ้นส่วนตัวอย่าง

มี 4 ปัจจัย ได้แก่ เวลาในการหล่อเย็น , อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก , เวลาการฉีดอัดย้า และอัตราการฉีด

งานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก ประสิทธิภาพของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก รวมถึงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาการเสีรูปของชิ้นส่วนก่อนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดจริง เพื่อลดโอกาสและต้นทุนในการแก้ไขแม่พิมพ์ฉีดภายหลังการสร้างแม่พิมพ์ รวมถึงลดต้นทุนในการทดลองฉีดจริงเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมก่อนทำการผลิต ผลการวิจัยขั้นต้นอาจมีความคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการฉีดขึ้นส่วนจริงอยู่บ้างทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสมบูรณ์ของกระบวนการสร้างแม่พิมพ์ที่อาจมีความคลาดเคลื่อนจาก CAD ที่ออกแบบไว้ เช่น ความเรียบของผิวแม่พิมพ์ หรืออาจเนื่องมาจากปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการฉีดจริง เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องฉีด เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อค่าคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2552. ผลกระทบเศรษฐกิจต่อผลิตภัณฑ์พลาสติกสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทย.
- [2] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์. 2551. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์ท็อป. กรุงเทพมหานคร.
- [3] ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- [4] บรรเลง ศรีนิล. 2544. เทคโนโลยีพลาสติก. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพมหานคร.
- [5] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2545. ระเบียบวิธีไฟต์เอลิเมนต์เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของไหล. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.