

การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปที่ส่งผล
ต่อรอยตำหนิของผลิตภัณฑ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

An Experimental Study of the Effect of Injection Molding Parameter on
Defect in New product Development

รัชณี หมวดเมืองกลาง¹ กรกนก ควรพิมาย² เจนจิรา เทียมขุนทด³ ศรธรรม วงศ์ศิลา⁴

ภานุพงษ์ พิลัยโชติ⁵ จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร⁶ และอนุชิต คงฤทธิ์^{7*}

^{1,2,3,4,5,7*}โปรแกรมวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

⁶สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

⁶มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

E-mail : anuchit_nrru@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ของโรงงานผู้ผลิตชิ้นงานพลาสติกโดยวิธีการออกแบบการทดลอง การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการทราบถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดที่ส่งผลต่อรอยตำหนิของผลิตภัณฑ์ (ครีบ รอยยุบ รอยเชื่อมประสาน และชิ้นงานฉีดไม่เต็ม) ดังนั้นการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจึงเลือกใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^{4-1} โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิฉีด แรงดันในการฉีด อุณหภูมิแม่พิมพ์ และเวลาหล่อเย็นแม่พิมพ์ การวิเคราะห์ผลการทดลองทำให้ทราบว่าอุณหภูมิฉีด แรงดันในการฉีด และอุณหภูมิแม่พิมพ์ส่งผลต่อการเกิดครีบ รอยยุบ รอยเชื่อมประสานของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ สุดท้ายจากการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองที่มีเป้าหมายคือมีจำนวนรอยตำหนิของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ จากนั้นได้ทำการทดสอบการฉีดขึ้นรูปและพบว่ามียอยตำหนิเพียง 1% เท่านั้น

คำสำคัญ : พารามิเตอร์ในกระบวนการฉีด การออกแบบการทดลอง

Abstract

The paper presents the new product development through Design of Experiments (DOE) of the Plastic manufacturer. This study intends to detect the effect of Injection molding process parameters on a defect of product (Flash, Sink Mark, Weld line and shot mold). Hence

its optimization is carried out by 2^{4-1} factorial design plane base on four parameters such Injection temperature, Injection pressure, Mold temperature and Cooling time was studied. The analysis of the experimental showed that Injection temperature, Injection pressure and Mold temperature had a significant influence on the Flash, Sink Mark and Weld line of product. Finally, according to the results of the experiments analysis, process parameter for minimizing defect has applied to trial process and found that defect of the product only 1%.

Keywords : Injection molding parameter, Design of experiment

1. บทนำ

ปัจจุบันประเด็นด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยหลักที่ลูกค้าให้ความสำคัญ ผู้ผลิตจึงต้องมีการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตของตนให้มีประสิทธิภาพ ผลิตได้ตามความต้องการและได้คุณภาพตรงกับข้อกำหนดเพื่อให้ลูกค้าเกิดความมั่นใจซึ่งส่งผลดีต่อองค์กร กระบวนการวิจัยเชิงวิทยาศาสตร์เป็นกลไกหนึ่งที่ส่งเสริมการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีคุณภาพ ดังงานวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้าไปศึกษา ณ สถานประกอบการแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา ประกอบกิจการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยกระบวนการฉีด (Injection molding) มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า ทั้งชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนสำหรับรถจักรยานยนต์ เป็นต้น ขณะนั้นทางสถานประกอบการได้รับมอบหมายจากลูกค้าในการเตรียมงานเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ (New Model) โดยใช้เม็ดพลาสติกชนิดพอลิสไตรีน (PS) และเพื่อให้งานที่ออกมามีคุณภาพตรงกับความต้องการของลูกค้า จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การออกแบบแม่พิมพ์ การออกแบบกระบวนการ การทดสอบกระบวนการผลิต สำหรับการศึกษาชิ้นที่เป็นกระบวนการเตรียมการผลิตชิ้นงานใหม่ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงรูปโฉมจากผลิตภัณฑ์เดิมเล็กน้อย (Minor change) ซึ่งกิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550) [1] ได้อธิบายถึงแนวทางการดำเนินงานเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่ารูปแบบการแก้ปัญหาในเชิงการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้น ต้องได้รับการกำจัดสาเหตุรากเหง้าเพื่อป้องกันการเกิดซ้ำต้องมีการคาดการณ์ถึงปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ซึ่งได้มาจากหลายวิธีหลายโดยวิธีการหนึ่งที่มีความสะดวกในการใช้งานคือการขยายผลไปยังกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์อื่นที่มีความใกล้เคียง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตมาก่อนหน้านี้ ทำให้ทราบว่าจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นงานที่พบมากที่สุดคือ ครีบ (Flash) รอยแห้ง รอยยุบ (Shrink mark) รอยประสาน (Weld line) และชิ้นงานฉีดไม่เต็ม (Shot mold) จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในกระบวนการฉีด [2-3] ทำให้ทราบว่าปัจจัยในกระบวนการฉีดนั้นมีมากมาย และปัจจัยเหล่านั้นล้วนส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งประเด็นหลักที่ต้องนำมาพิจารณาคือองค์ประกอบต่าง ๆ ในวัฏจักรการฉีดขึ้นรูปได้แก่ เครื่องจักร แม่พิมพ์ และวัสดุที่ใช้ ต้องมีการออกแบบให้มีความเหมาะสม จากนั้นสมรรถนะของการทำงานจากทั้งสามส่วนนี้ได้รับอิทธิพลจาก

พารามิเตอร์ที่สำคัญคือ เวลา อุณหภูมิ และความดัน ที่ใช้ในกระบวนการฉีด ซึ่งหากพารามิเตอร์เหล่านั้นไม่มีความเหมาะสมหรือไม่มีความเสถียรก็จะส่งผลต่อคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ทันที

สอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหลาย ๆ เรื่องที่มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาหาพารามิเตอร์ของกระบวนการฉีดที่มีความเหมาะสมที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้แก่ สมเจตน์ พชรพันธ์ (2552) [4] ได้เสนอบทความวิชาการเกี่ยวกับปัญหาที่พบบ่อยมากในภาคอุตสาหกรรมการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติก รวมถึงแนวทางการแก้ไขปัญหา โดยทั่วไปแล้วขึ้นอยู่กับการออกแบบแม่พิมพ์ฉีด (Mold design) นอกจากนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ยังคงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ (Material properties) และที่สำคัญคือการปรับตั้งค่าของเครื่องฉีดขึ้นรูป เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (Injection temperature) ความเร็วในการฉีดขึ้นรูป (Injection speed) และอุณหภูมิแม่พิมพ์ฉีด (Mold temperature) เป็นต้น

M. Packianathera, F. Chana, C. Griffithsa, S. Dimovb and D.T. Phamb (2013) [5] ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปของเครื่อง Micro Injection Moulding (MIM) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับการขึ้นรูปชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) ในแบบ 2^k factorial เพื่อศึกษาถึงคุณภาพของผิวชิ้นงานและความน่าเชื่อถือของเครื่อง MIM ที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์สำคัญในกระบวนการฉีดและชนิดของเม็ดพลาสติกได้แก่ PP, ABS และ POM ผลจากการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติทำให้ทราบถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์และชนิดของพลาสติกล้วนส่งผลต่อผิวชิ้นงานในลักษณะอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม และพบว่าเครื่อง MIM มีความเหมาะสมในผลิตชิ้นงานระดับนาโนเมตร

พีระพงษ์ บัวโทน และวิภู ศรีสืบสาย (2555) [6] ได้ทำการวิจัยหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการฉีดเพื่อลดการหดตัวของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการฉีด โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล จากผลการวิจัยพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าการหดตัวของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญคือ อุณหภูมิพลาสติก ความเร็วฉีด ความดันฉีด ความดันฉีดย้ำและเวลาในการฉีดย้ำ

ปฐมพงษ์ หอมศรี และจักรพรรณ คงธน (2556) [7] ได้ทำการวิจัยเพื่อลดของเสียประเภทชิ้นงานไม่ตรงตามมาตรฐานในงานฉีดพลาสติกแบบ Injection molding โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองสถิติเข้ามาช่วยทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยทำให้พบว่าแรงดันย้ำ (Holding pressure), อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) และ รอบการทำงาน (Cycle Time) ปัจจัยทั้งสามมีผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิจัยไปใช้จริงในกระบวนการผลิตและทำให้ประสิทธิภาพการผลิตสูงขึ้น ของเสียน้อยลง

จากงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบว่าปัญหาคุณภาพผลิตภัณฑ์ในกระบวนการฉีดสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองทางสถิติช่วยให้สามารถทราบถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์เหล่านั้นและสามารถหาพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมในกระบวนการฉีดเพื่อไปใช้จริง

2. การออกแบบการทดลอง

ดังที่กล่าวมาข้างต้น คณะวิจัยมีความต้องการทราบถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดที่ส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ใหม่ จึงต้องมีการทดลองเพื่อวิเคราะห์เบื้องต้น (Screening Experiment) แต่เนื่องจากการศึกษานี้มีข้อจำกัดด้านระยะเวลา วัสดุุดิบและตารางการผลิตของทางโรงงาน ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Experiment) ซึ่งมีข้อดีคือ ช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองเนื่องจากการเป็นการทดลองที่ลดรูปลงจากการทดลองแบบเต็ม [1] โดยออกแบบการทดลองแบบ 2^{4-1} เพื่อศึกษาอิทธิพลเชิงเส้นหรืออิทธิพลหลักของพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดที่ส่งผลต่อการเกิดของเสีย ซึ่งพารามิเตอร์ที่เลือกนำมาศึกษาได้แก่ อุณหภูมิฉีด (Injection temperature) แรงดันในการฉีด (Injection pressure) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold temperature) และเวลาหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Cooling time) โดยระดับของพารามิเตอร์ในการวิจัยนี้เลือกจากค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการเดิมและค่าพารามิเตอร์แนะนำของผู้ผลิตเม็ดพลาสติก โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 และ 2

จากตารางที่ 1 แต่ละพารามิเตอร์ที่นำมาศึกษามาสองระดับ ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีทั้งสิ้น 8 ตัวแบบทดลอง ($2^{4-1}=8$) และแต่ละตัวแบบการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง จากนั้นเมื่อทำการทดลองฉีดขึ้นรูปชิ้นงานตามแผนแล้ว จะเก็บข้อมูลรอยตำหนิทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลทางสถิติได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) การหาค่าอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา (Factor Effect) การคำนวณหาสมการถดถอย (Regression Model) การวิเคราะห์ด้วยกราฟแสดงความสูงต่ำ (Contour plot) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab 17 ช่วยในการคำนวณวิเคราะห์ผลและแสดงผลของกราฟ [8] จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ที่ได้เบื้องต้นนี้ไปใช้ทดสอบการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองของการศึกษานี้

Parameters	Code	Low level (-1)	High level (+1)	Unit
Injection temperature	A	245	265	°C
Injection pressure	B	8.5	9.5	MPa
Mold temperature	C	40	60	°C
Cooling time	D	15	20	Second

ตารางที่ 2 ตัวแบบทดลองของการวิจัยนี้

Std Order	A	B	C	D
1	245	8.5	40	15
2	245	9.5	40	20
3	265	8.5	40	20
4	265	9.5	40	15
5	245	8.5	60	20
6	245	9.5	60	15
7	265	8.5	60	15
8	265	9.5	60	20

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการทดลองฉีดขึ้นรูปชิ้นงานตามแผนการทดลองสามารถแสดงจำนวนรอยตำหนิแบบรวมทุกประเภทที่เกิดขึ้นงานได้ดังตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดจำนวนรอยตำหนิชนิดต่าง ๆ ของแต่ละการทดลอง เบื้องต้นพบว่าไม่เกิดปัญหาฉีดไม่เต็ม (shot mold) แต่พบการเกิดครีบ (Flash) ซึ่งมีจำนวนมากที่สุด รองลงมาคือปัญหารอยยุบ (Shirk mark) ซึ่งเป็นปัญหาหลัก จากนั้นได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha=0.05$) ซึ่งผลที่ได้สามารถแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งผลที่ได้ทำให้ทราบว่าพารามิเตอร์หลักได้แก่ อุณหภูมิฉีด (A) แรงดันในการฉีด (B) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (C) และพารามิเตอร์ร่วมระหว่างอุณหภูมิฉีดกับอุณหภูมิแม่พิมพ์ (AC) ส่งผลต่อการเกิดรอยตำหนิบนชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 สำหรับพารามิเตอร์เวลาหล่อเย็นแม่พิมพ์ (D) และพารามิเตอร์ร่วมระหว่างอุณหภูมิฉีดกับแรงดันในการฉีด (AB) และพารามิเตอร์ร่วมระหว่างอุณหภูมิฉีด กับเวลาหล่อเย็นแม่พิมพ์ (AD) มีค่า P-value เป็น 0.393 จึงสรุปได้ว่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมิได้ส่งผลต่อการเกิดรอยตำหนิบนชิ้นงานของมีนัยสำคัญ

ค่าอิทธิพลพารามิเตอร์หลักและพารามิเตอร์ร่วมที่ส่งผลต่อจำนวนรอยตำหนิซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 กราฟพล็อตความเป็นปกติของค่าอิทธิพลที่ทำให้เป็นมาตรฐาน (Normal plot of Standardized Effect) สอดคล้องกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่บ่งบอกว่าพารามิเตอร์ใดบ้างที่ส่งผลต่อการเกิดรอยตำหนิบนชิ้นงานในกระบวนการทดลองและรูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของพารามิเตอร์หลักได้แก่ พารามิเตอร์ (A) และ (B) มีอิทธิพลเชิงบวก (Positive effect) นั้นหมายความว่าเมื่อเพิ่มแรงดันในการฉีดและอุณหภูมิฉีดให้สูงขึ้นจะส่งผลให้เกิดจำนวนรอยตำหนิเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย สำหรับพารามิเตอร์ (C) แสดงลักษณะอิทธิพลในเชิงลบจึงอธิบายได้ว่าหากเพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้สูงขึ้น จะส่งผลให้เกิดจำนวนรอยตำหนิบนชิ้นงานน้อยลง ส่วนพารามิเตอร์ (D) แม้จะมีได้ส่งผลต่อจำนวนของเสียอย่างมีนัยสำคัญแต่แสดงลักษณะอิทธิพลในเชิงบวกคล้ายกับพารามิเตอร์ (A) และ (B)

ตารางที่ 3 จำนวนรอยตำหนิชนิดต่าง ๆ ของแต่ละการทดลอง

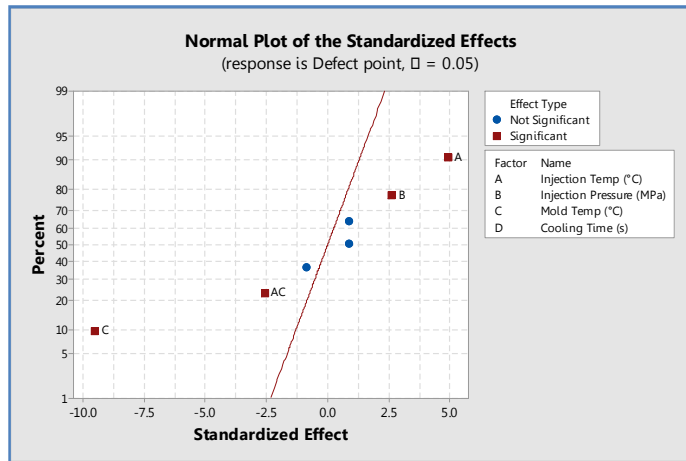
Std Order	Flash	Sink Mark	Weld Line	Shot Mold	Total Defect
1	3	3	0	0	6
2	5	2	2	0	9
3	5	5	4	0	14
4	5	5	4	0	14
5	0	0	0	0	0
6	0	3	0	0	3
7	0	2	0	0	2
8	5	0	0	0	5
Total	23	20	10	0	53

```

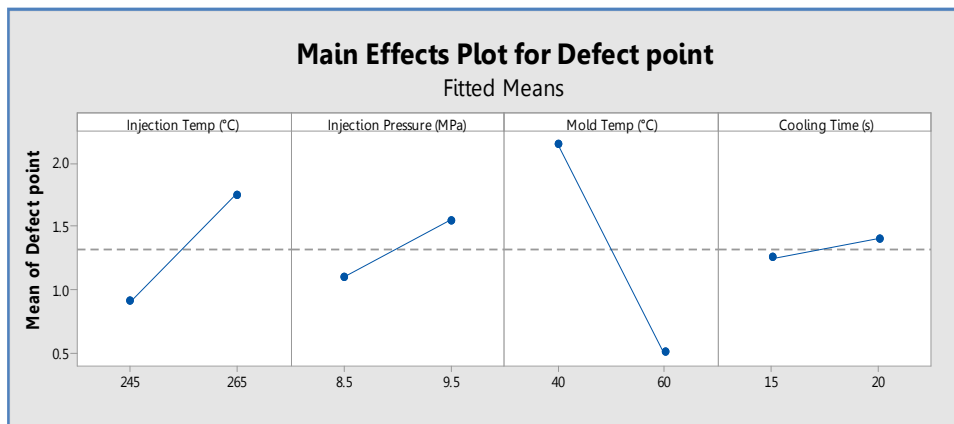
Analysis of Variance
Source          DF    Adj SS    Adj MS    F-Value    P-Value
Model           7    39.1750    5.5964    18.65      0.000
  Linear        4    36.7000    9.1750    30.58      0.000
    Injection Temp (°C)      1    7.2250    7.2250    24.08      0.000
    Injection Pressure (MPa)  1    2.0250    2.0250     6.75      0.014
    Mold Temp (°C)           1   27.2250   27.2250   90.75      0.000
    Cooling Time (s)         1    0.2250    0.2250     0.75      0.393
  2-Way Interactions        3    2.4750    0.8250     2.75      0.059
    Injection Temp (°C)*Injection Pressure (MPa)  1    0.2250    0.2250     0.75      0.393
    Injection Temp (°C)*Mold Temp (°C)           1    2.0250    2.0250     6.75      0.014
    Injection Temp (°C)*Cooling Time (s)         1    0.2250    0.2250     0.75      0.393
Error           32    9.6000    0.3000
Total           39   48.7750

Model Summary
      S      R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0.547723  80.32%   76.01%    69.25%
    
```

รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการศึกษานี้



รูปที่ 2 กราฟพล็อตความเป็นปกติของค่าอิทธิพลที่ทำให้เป็นมาตรฐาน
ในกระบวนการฉีดที่ส่งผลต่อจำนวนรอยตำหนิ



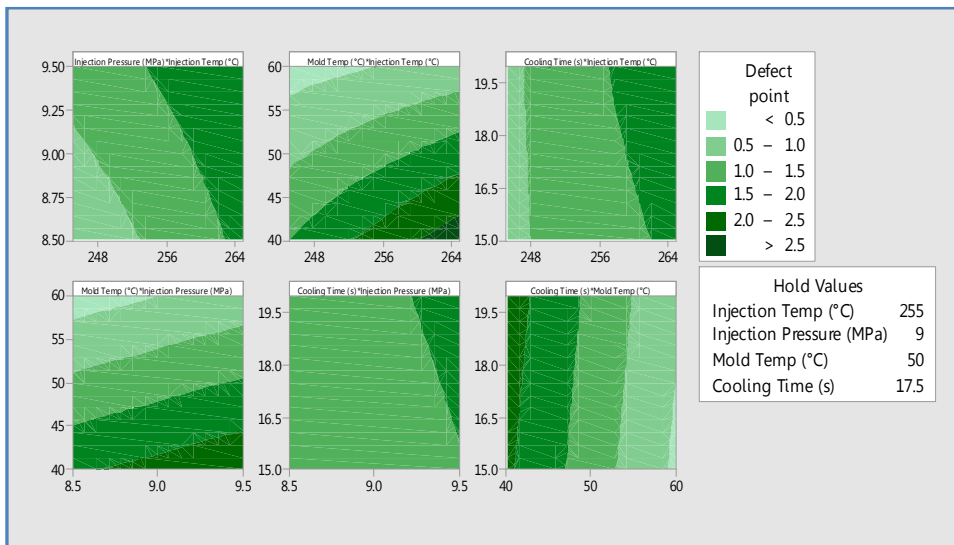
รูปที่ 3 แสดงค่าอิทธิพลหลักจากพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดที่ส่งผลต่อจำนวนรอยตำหนิ

สมการที่ 1 คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบสมการถดถอยพหุคูณ (Multiple regression Model) ของจำนวนรอยตำหนิบนชิ้นงานที่เป็นผลมาจากพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดซึ่งรูปที่ได้จากการทดลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R-sq) และค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่ปรับ (R-sq adj) แล้วเป็น 80.32% และ 76.01% ตามลำดับ สมการที่ 2 ทำให้ทราบว่าสมการที่ได้นี้สัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในกระบวนการฉีด จากนั้นจึงนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มาสร้างเป็นกราฟความสูง-ต่ำ (ดังรูปที่ 4) เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์

และศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อจำนวนรอยตำหนิของชิ้นงาน เป็นการนำเสนอในลักษณะการจับคู่แต่ละพารามิเตอร์ที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อจำนวนรอยตำหนิอย่างไร โดยการไล่ระดับของสีต่าง ๆ พื้นที่สีเขียวเข้มเป็นบริเวณที่มีจำนวนรอยตำหนิสูงสุดและจำนวนรอยตำหนิจะลดลงตามความเข้มของสีในแต่ละพื้นที่ของกราฟ ตัวอย่างเช่นพารามิเตอร์อุณหภูมิฉีดและพารามิเตอร์ความดันในการฉีดมีลักษณะอิทธิพลในเชิงบวก ซึ่งหากตั้งเป้าหมายว่าให้มีจำนวนรอยตำหนิน้อยที่สุดในกระบวนการฉีด ต้องลดระดับของพารามิเตอร์ดังกล่าวให้ต่ำลง เป็นต้น

$$\text{Defect (point)} = -59.7 + 0.238 (A) + 4.28 (B) + 0.419 (C) - 0.735 (D) - 0.0150 (AB) + 0.002250 (AC) - 0.00300 (AD) \quad (1)$$

$$R\text{-sq} = 80.32\%, R\text{-sq (adj)} = 76.01\% \quad (2)$$



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์และการใช้กราฟสูง-ต่ำที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดในกระบวนการฉีด โดยที่ปัญหาที่เรากำลังศึกษานั้นเกิดจากการตั้งค่าอุณหภูมิฉีดและใช้แรงดันฉีดที่สูงเกินไป ส่งผลให้เกิดแรงดันในแม่พิมพ์สูงกว่าแรงดันที่ใช้ในการปิดแม่พิมพ์ จึงทำให้พลาสติกหลอมล้นออกมาจนเกิดเป็นครีบ จึงต้องลดพารามิเตอร์ดังกล่าวลงเพื่อให้การปิดแม่พิมพ์สมบูรณ์ และปัญหาการยุบตัวของ

ผลิตภัณฑ์มีสาเหตุมาจากการหดตัวของพลาสติกในขณะที่เย็นตัวภายในแม่พิมพ์ฉีดจึงต้องมีการปรับตั้งอุณหภูมิของแม่พิมพ์ให้สูงขึ้นและเพิ่มเวลาในการเย็นตัวของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์ฉีด เพื่อชดเชยการยุบตัวของชิ้นงาน [2-4]

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการศึกษาลักษณะของอิทธิพลที่ส่งผลต่อการเกิดรอยตำหนิบนชิ้นงานแล้ว เบื้องต้นได้เลือกระดับของพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้เกิดรอยตำหนิน้อยที่สุดสำหรับการทดสอบฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยใช้พารามิเตอร์อุณหภูมิฉีดที่ 245°C แรงดันในการฉีดที่ 8.5 MPa อุณหภูมิแม่พิมพ์ 60 °C และระยะเวลาในการหล่อเย็นแม่พิมพ์สามารถใช้ได้ทั้ง 15 และ 20 วินาที

4. สรุปผลการดำเนินงาน

จากจุดประสงค์ของการวิจัยนี้ที่ต้องการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพโดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อหาแนวทางในการพัฒนากระบวนการสร้างผลิตภัณฑ์และให้ทราบว่าพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ จึงได้ทำการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการสถิติเพื่อศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่นำมาศึกษา ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์เหล่านั้น จากนั้นคณะผู้วิจัยได้เลือกระดับของพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์มาทดสอบในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานใหม่นี้เป็นจำนวน 200 ชิ้น และทำการเก็บข้อมูลจำนวนรอยตำหนิต่าง ๆ โดยผลที่ได้พบว่ามีรอยตำหนิเพียง 2 รอย หรือ 1% เท่านั้นและน้อยกว่าข้อกำหนดของลูกค้าคือมีของเสียไม่เกิน 3% จึงสรุปเบื้องต้นได้ว่าอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่นำมาศึกษานั้นส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานในกระบวนการฉีดอย่างมีนัยสำคัญและเป็นแนวทางในการศึกษาพารามิเตอร์อื่น ๆ ต่อไป แต่ในขณะที่ทำการวิจัยนี้ผลิตภัณฑ์ใหม่ดังกล่าวยังไม่ได้เริ่มทำการผลิตในปริมาณมาก ๆ (mass production) จึงไม่มีข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา และขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้สนับสนุนการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. หลักการควบคุมคุณภาพ (Principles of Quality Control). กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2550.
- [2] Muralisrinivasan Natamai Subramanian. Basics of Troubleshooting in Plastics Processing: An Introductory Practical Guide. New York City, United States: John Wiley & Sons; 2011.

- [3] D.V. Rosato, Nick R. Schott, Marlene G. Rosato. Plastics Institute of America Plastics Engineering, Manufacturing & Data Handbook. New York City: Springer Science & Business Media; 2001.
- [4] สมเจตน์ พัชรพันธ์. ข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติกที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูป : สาเหตุและแนวทางการแก้ไข
- [5] M. Packianathera, F. Chana, C. Griffithsa, S. Dimovb and D.T. Phamb. Optimisation of micro injection moulding process through design of experiments. Procedia CIRP 12. 2013: 300 – 305.
- [6] พีระพงษ์ บัวโทน และวิภู ศรีสืบสาย. การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง และคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรมเพื่อลดการหัดตัวของชิ้นงานฉีดขึ้นรูปพลาสติก. เอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี พ.ศ.2555; 17-19 ตุลาคม พ.ศ.2555; โรงแรมเมธาวลัย. เพชรบุรี; 2555. หน้า 829-834.
- [7] ปฐมพงษ์ หอมศรี และจักรพรรณ คงธน. การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต. 2556; 2: 73-94.
- [8] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูรณ์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด; 2551.
- [9] สายชล สนิสมบุญทอง. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป MINITAB for Windows. กรุงเทพฯ: จามจรีโปรดักส์; 2559.