

# การลดจำนวนรอยตำหนิในการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม

## Defects Reduction in Plastic Injection Dynamo Part

วรกิจ วัฒนวิทย์กรรม และ สันติชัย ชิวสุททธิศิลป์

Worrakit Wattanavickun and Santichai Shevasuthisilp

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกิดจากปัญหาการผลิตชิ้นส่วนไดนาโมที่ย้ายการผลิตจากต่างประเทศมาผลิตที่โรงงานแห่งใหม่ในประเทศไทย โรงงานประสบปัญหาคือ เป็นงานใหม่ที่ไม่เคยผลิตมาก่อนทำให้ในช่วงเริ่มต้นมีจำนวนของเสีย 3,160 ชิ้น และจำนวนรอยตำหนิ 30 รอยตำหนิ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมเพื่อลดจำนวนรอยตำหนิและจำนวนของเสีย โดยการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือการคัดกรองปัจจัยด้วยวิธีแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วนและการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียลแบบเต็มจำนวน เพิ่มการทดลองซ้ำและวิเคราะห์ค่ากลางเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดลอง ปัจจัยศึกษามี 6 ปัจจัยได้แก่ 1) กำลังในการฉีด 2) ความเร็วในการฉีด 3) ระยะเวลาในการฉีด 4) ระยะเวลาหล่อเย็น 5) อุณหภูมิในการฉีด 6) อุณหภูมิแม่พิมพ์ ผลตอบจากการทดลองคือรอยตำหนิบนชิ้นส่วนไดนาโม แบ่งเป็น 4 ชนิดหลักคือชิ้นส่วนไดนาโมที่มีรอยดำ ลายเส้น รอยไหม้ และรอยขุบ จากนั้นแปลงค่าจำนวนรอยตำหนิแล้ววิเคราะห์ผล ผลการวิจัยพบว่ามี 3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อรอยตำหนิของชิ้นส่วนไดนาโมอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $\alpha = 0.05$ ) โดยพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการฉีดพลาสติกได้แก่ ความเร็วในการฉีด 120 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะเวลาการฉีด 8 วินาที และอุณหภูมิแม่พิมพ์ 60 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าจำนวนรอยตำหนิลดลงเหลือ 10 รอยตำหนิ (66.67%) และจำนวนงานเสียลดลงเหลือ 2,068 ชิ้น (34.50%) แต่พบว่าจำนวนรอยตำหนิบางประเภทเช่น รอยไหม้เหลืออยู่ ดังนั้นจึงทำการปรับแก้ไขแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกโดยเพิ่มขนาดของช่องระบายอากาศใหม่ ทำให้ลดจำนวนรอยตำหนิต่อชิ้นส่วนไดนาโมเหลือเพียง 2 รอยตำหนิ (93.33%) และลดจำนวนงานเสียเหลือเพียง 486 ชิ้น (84.60%)

### ABSTRACT

This paper originated from problems which occurred in a dynamo products produced in the factory in Thailand. The company transferred this production from a foreign country to the new factory in Thailand. In the beginning the numbers of rejected products were 3,160 pieces and the number of defective was 30 points. The purpose of this paper is finding the optimization parameters in plastic injection in dynamo part to reduce the blemishes and the defects of the product. The factorial experimental design was divided into 2 parts: the screening parameters by fractional factorial design and the refining optimum condition by full factorial design. The study included 6 factors: 1) inject power, 2) inject velocity, 3) inject time, 4) cooling time, 5) inject temperature, and 6) mold temperature which are the process of the production. The analysis was done by counting the defects on the products caused by 4 factors: weld mark, jetting, black steel, burning and warp then transform the data. From the results, it showed that significant factors affecting the defects of dynamo housing at the confidence level of 95% ( $\alpha = 0.05$ ) were injection velocity, injection time and mold temperature. The optimum condition which provided fewer defects than another was infection velocity at 120 mm/sec, injection time at 8 sec and mold temperature at 60 degree Celsius. The result showed that the number of defective were reduced to 10 points (66.67%) and the number of rejected products were decreased

to 2,068 pieces (34.50%). Anyhow some of the defective types such as burn area were still found, thus the plastic injection mold was modified. When the modified mold was used together with improved setting parameters according to optimum condition the number of defective dynamo housings were reduced to 2 points (93.99%) and the number of rejected products were decreased to 486 pieces (84.60%)

## 1. บทนำ

การดำเนินธุรกิจอุตสาหกรรมในปัจจุบันนับว่าเป็นยุคของการแข่งขันอย่างมาก เนื่องจากจำนวนผู้ผลิตสินค้ามีมากขึ้น ผู้ผลิตที่มีความน่าเชื่อถือและตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้มากที่สุดจึงมีโอกาสจะเป็นผู้นำในธุรกิจ โรงงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องปรับปรุงระบบการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพื่อให้สินค้ามีต้นทุนต่ำสามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ การย้ายสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเพื่อชิงความได้เปรียบเรื่องต้นทุนการผลิตลดลงหรือประสิทธิภาพการทำงานที่คล่องตัวขึ้นเป็นสาเหตุที่ผู้ประกอบการนำมาพิจารณาปรับใช้เพื่อให้ธุรกิจของตนสามารถอยู่รอดและแข่งขันกับคู่แข่งการตลาดกับคู่แข่งได้

บริษัท อี๊กซ่า สเตนมัน (ประเทศไทย) จำกัด เป็นบริษัทดำเนินธุรกิจการผลิตอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในครัวเรือนและอุปกรณ์ความปลอดภัยจักรยาน สำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่เมืองเฟรนดาาล (Veenendaal) มีโรงงานผลิตตั้งอยู่ในทวีปยุโรปกระจายกันอยู่ 5 แห่งจึงมีแนวความคิดแก้ไขปัญหาโดยวางแผนย้ายฐานการผลิตไปไว้รวมกันในสถานที่เดียวเพื่อเพิ่มความคล่องตัวและลดปัญหาในเรื่องการขนส่ง รวมถึงต้นทุนด้านแรงงานเนื่องจากค่าตอบแทนของพนักงานในกลุ่มประเทศทวีปยุโรปมีค่าตอบแทนในอัตราที่สูงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงตามไปด้วย ประกอบกับภาวะปัจจุบันสินค้าจากประเทศจีนมีราคาถูกถือเป็นคู่แข่งทางธุรกิจที่สำคัญ ผู้บริหารจึงพยายามหาวิธีการลดต้นทุนเพื่อสามารถแข่งขันกับตลาดจากประเทศ

## 2. วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

1) เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง

(Design of Experiment) ซึ่งเทคนิคการออกแบบการทดลอง เป็นวิธีการทางสถิติวิธีหนึ่งที่ทำให้ผู้ทดลองทราบว่าปัจจัยใดมีผลต่อการเกิดรอยตำหนิชิ้นส่วนไดนาโม

## 3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

1) โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านสถิติ มินิแท็ป สำหรับการออกแบบการทดลอง และคำนวณหาค่าที่เหมาะสมของการทดลอง (Optimization) (สุจินดา, 2548)

โดยแบ่งการทดลอง ออกเป็นดังนี้

3.1 การทดลองคัดกรองปัจจัยโดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบเศษส่วน ผลการตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลเมื่อไม่มีการแปลงค่าพบว่ากราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างมีแนวโน้มการกระจายตัวแบบไม่ปกติ (Normal Probability Plot of the Residuals) และรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟฮิสโตแกรมไม่ได้มีแนวโน้มที่เข้าใกล้ศูนย์ (Histogram of the Residuals) งานวิจัยของ Bisgard and Fuller (1992) กล่าวว่าการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงแฟกทอเรียลกับจำนวนรอยตำหนิหรือของเสียที่เป็นผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตวัดจากจำนวนรอยตำหนิหรือจำนวนของเสีย การลดจำนวนรอยตำหนิของเสียเป็นสิ่งสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ หากผลตอบของข้อมูลคือการนับจำนวนรอยตำหนิ การวัดรอยขีดข่วนบริเวณผิวชิ้นงานแต่ละชิ้นจำนวนที่นับได้ถูกเรียกว่าจำนวนรอยตำหนิ ค่ารอยตำหนิที่นับได้อาจมีค่าตั้งแต่ 0,1,2,... การแปลงค่าข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์ผลช่วยให้ผลการทดลองเกิดความแม่นยำมากขึ้น การนับจำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นนำค่าที่ได้แปลงค่าข้อมูลรอย

ดำเนินด้วยวิธีของ Freeman and Tukey โดยสูตรการแปลงค่ารอยตำหนิคือ

$$y_i = \frac{(\sqrt{y} + \sqrt{y+1})}{2} \quad \text{เมื่อ } y_i = \text{ค่าแปลงรอยตำหนิ}$$

3.2 ผลการทดลองเมื่อแปลงค่าข้อมูลรอยตำหนิพบว่ากราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างมีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability Plot of the Residuals) และรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลกราฟฮิสโตแกรมมีแนวโน้มที่เข้าใกล้ศูนย์ (Histogram of the Residuals) แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสมนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองได้

3.3 นำข้อมูลการแปลงค่ารอยตำหนิมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในแต่ละเทอมของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม ในการวิเคราะห์ข้อมูล เริ่มจากการประมาณผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วม (Estimate Factor Effects) ทำให้ทราบเบื้องต้นว่าปัจจัยและอันตรกิริยาใดมีความสำคัญ ทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม

#### 4. ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบทราบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนรอยตำหนิชิ้นส่วนไดนาโมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ 1) ความเร็วในการฉีด 2) ระยะเวลาการฉีด 3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทดสอบโดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน  $2^3$  การทดลองทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้งและวิเคราะห์ค่ากลาง (Center Point) จำนวน 2 จุด

ตารางที่ 1 การประมาณผลกระทบจากปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วม

Term	Effect	Coef	SE Coef	t	p
Constant		4.1682	0.03784	110.16	0.000
S	-0.7070	-0.3535	0.04123	-8.57	0.000
I	-0.2985	-0.1492	0.04123	-3.62	0.004
M	-0.3135	-0.1568	0.04123	-3.80	0.003
S*I	0.0127	0.0064	0.04123	0.15	0.880
S*M	-0.0293	-0.0146	0.04123	-0.35	0.730
I*M	-0.0144	-0.0072	0.04123	-0.17	0.898
S*I*M	-0.0795	-0.0398	0.04123	-0.96	0.356

4.2 แบบจำลองเบื้องต้นประกอบด้วยปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วมทุกปัจจัย โดยค่าสัมประสิทธิ์ในแต่ละเทอมของปัจจัย หาได้จากค่าผลกระทบของแต่ละปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วมหารด้วยสอง สร้างแบบจำลองเต็มรูปแบบได้ดังสมการที่ 1 จากสมการ  $\hat{y}_i$  คือ ค่าแปลงของจำนวนรอยตำหนิของชิ้นส่วนไดนาโม และค่าปัจจัยทั้งสามในสมการแทนด้วย ตัวแปร +1 และ -1

$$\hat{y}_i = 4.1682 - 0.3535*S - 0.1492*I - 0.1568*M \quad (1) \\ + 0.0064*S*I - 0.0146*S*M - 0.0761*I*M \\ - 0.398*S*I*M$$

4.3 การทดสอบทางด้านสถิติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของผลหลักและอันตรกิริยาร่วม พิจารณาจากความน่าจะเป็นของค่า F ถ้าสมมติฐานไร้นัยสำคัญเป็นจริง (P - Value)

**ตารางที่ 2** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดลอง หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

แหล่งความแปรปรวน	D F	SS	MS	F	p
ผลจากปัจจัยหลัก	3	2.7489	0.916	33.69	0.000
ผลจากอันตรกิริยาร่วม 2 ปัจจัย	3	0.0967	0.032	1.19	0.360
ผลจากอันตรกิริยาร่วม 3 ปัจจัย	1	0.0252	0.025	0.93	0.356
ค่าผิดพลาดของส่วนตกค้าง (Residual Error)	11	0.2992	0.027		
เส้นความโค้ง (Lack of fit)	1	0.0185	0.018	0.66	0.435
Pure Error	10	0.2806	0.028		
ผลรวม	18	3.1702			

จากตารางที่ 2 ค่า p ของผลจากปัจจัยหลักมีค่าเท่ากับ 0.000 โดยมีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือ ผลจากปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย คือ 1) ความเร็วในการฉีด (S), 2) ระยะเวลาการฉีด (I) และ 3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (M) มีผลกระทบต่อรอยตำหนิของชิ้นส่วนไดนาโมจักรยานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

4.4 การแก้ไขแบบจำลอง (Refine Model) เป็นการดึงตัวแปรที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญออกจากแบบจำลองเต็มรูปแบบ (Full Model) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเบื้องต้นทราบว่าปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยคือ 1) ความเร็วในการฉีด (S), 2) ระยะเวลาการฉีด (I) และ 3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (M) มีผลกระทบต่อการเกิดจำนวนรอยตำหนิชิ้นส่วนไดนาโมอย่างมีนัยสำคัญ

**ตารางที่ 3** การประมาณผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วม

Term	Effect	Coef	SE Coef
Constant		4.1682	0.03784
S	-0.7070	-0.3535	0.04123
I	-0.2985	-0.1429	0.04123
M	-0.3135	-0.1568	0.04123

จากข้อมูลตารางข้อสรุปข้างต้นแก้ไขแบบจำลองใหม่ โดยใช้เพียงปัจจัยหลักที่มีผลต่อจำนวนรอยตำหนิ

ของการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม ซึ่งแบบจำลองใหม่แทนค่าปัจจัยด้วยตัวแปร - 1 และ + 1 แสดงดังสมการที่ 2

$$\hat{y}_i = 4.1682 - 0.3535 * S - 0.1429 * I - 0.1568 * M \quad (2)$$

**ตารางที่ 4** การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง

Term	DF	SS	MS	F	p
Model	3	2.7489	0.9163	33.69	0.000
Residual Error	11	0.2992	0.0272		
Lack of fit	1	0.0186	0.0186	0.66	0.435
Pure Error	10	0.2807	0.0287		
Total	18	3.1702			

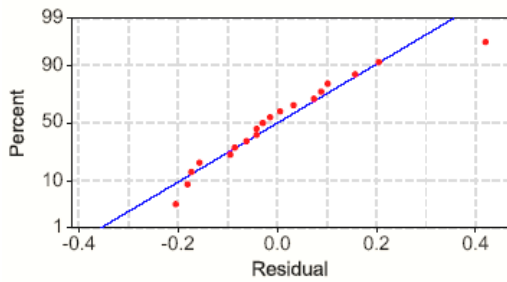
จากตารางที่ 4 ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองโดยค่า p มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 และการพิจารณาค่าสัดส่วนความพอเพียงของสมการ (Lack of Fit) พบว่าการทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์มีความเหมาะสมกับข้อมูลดังนั้นสรุปว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นเหมาะที่จะทำนายจำนวนรอยตำหนิของกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมและประสิทธิภาพของแบบจำลองในการทำนายจำนวนรอยตำหนิ คำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Total}} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{2.7489}{3.1702} = 0.8671$$

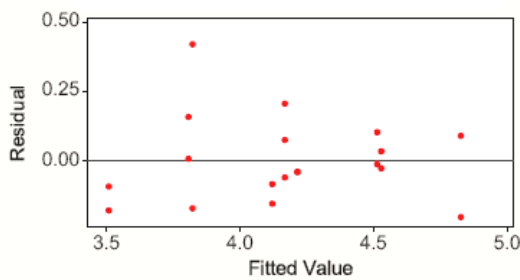
$$= 86.71\%$$

4.4 การวิเคราะห์ส่วนตกค้าง การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติโดยการนำส่วนตกค้างของข้อมูลมาสร้างกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of the Residuals) ดังรูปที่ 1 จากลักษณะของกราฟข้อมูลส่วนตกค้างของจำนวนรอยตำหนิมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ



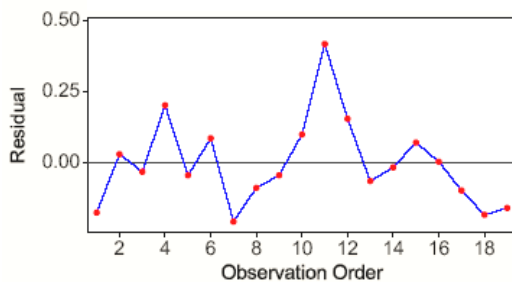
รูปที่ 1 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง

การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน โดยการใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละระดับของปัจจัยพบว่า การกระจายตัวของส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าทำนาย

การตรวจสอบความเป็นอิสระโดยกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plots of Residuals Versus the Observation Order of the Data) พบว่า ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าข้อมูลเป็นอิสระไม่ขึ้นอยู่กับลำดับการทดลองดังรูปที่ 3

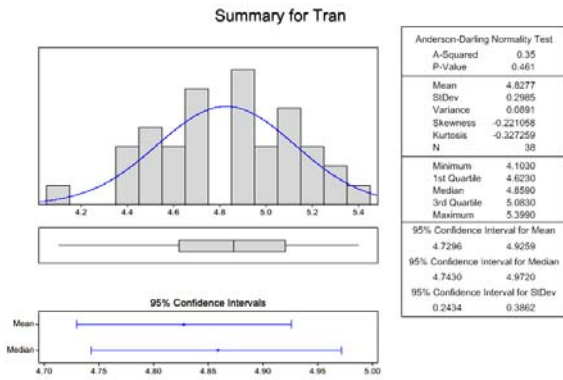


รูปที่ 3 กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง

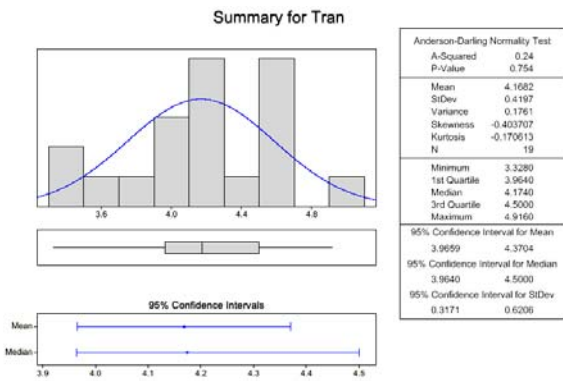
สรุปว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสอดคล้องเหมาะที่ใช้ในการทำนายจำนวนรอยตำหนิของชิ้นส่วนไดนาโมและสมมติฐาน ได้แก่ 1) ความเร็วในการฉีด (S) 2) ระยะเวลาการฉีด (I) และ 3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (M) มีผลกระทบต่อรอยตำหนิของชิ้นส่วนไดนาโมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 มีความถูกต้อง

4.5 การทดสอบยืนยันผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลของการทดลอง โดยปัจจัยที่ไม่มีผลต่อรอยตำหนิ ได้แก่ 1) กำลังในการฉีด 2) ระยะเวลาหล่อเย็น 3) อุณหภูมิในการฉีด ถูกกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้อยู่ในระดับต่ำ ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรอยตำหนิ 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความเร็วในการฉีด 2) ระยะเวลาในการฉีด และ 3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ ถูกกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้อยู่ในระดับสูง

แบบจำลองใหม่ของการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมเมื่อแทนค่าปัจจัยด้วยตัวแปร -1 และ +1 ทำให้ได้ค่าผลการทำนายจำนวนรอยตำหนิเท่ากับ 3.480 และจำนวนรอยตำหนิทำนายเท่ากับ 9 รอยตำหนิ การเก็บข้อมูลเพื่อประเมินผลการทดลองโดยเปรียบเทียบระยะเวลาการเกิดรอยตำหนิก่อนการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมและหลังการทดสอบยืนยันผลจากรูปที่ 4 พบว่าค่าแปลงระยะเวลาการเกิดรอยตำหนิอยู่ในช่วงระหว่าง 4.729-4.925 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในการทดสอบยืนยันผลในรูปที่ 5 พบว่าค่าแปลงระยะเวลาการเกิดรอยตำหนิอยู่ในช่วงระหว่าง 3.965-4.370 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากผลการทดลองยืนยันผลของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมพบว่าค่าเฉลี่ยของรอยตำหนิเท่ากับ 9.83 สรุปได้ว่าผลการทดลองเปรียบเทียบกับค่าทำนายจำนวนรอยตำหนิจากสมการแบบจำลองใหม่ของการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมมีความถูกต้องสามารถนำไปใช้ทำนายจำนวนรอยตำหนิในการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมได้



รูปที่ 4 กราฟแสดงระยะการเกิดรอยตำหนีก่อนการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติก



รูปที่ 5 กราฟแสดงระยะการเกิดรอยตำหนิจากการทดสอบยื่นยื่นผล

4.6 การแก้ไขแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมสามารถแก้ไขปัญหารอยตำหนิขึ้นส่วนไดนาโมเกิดรอยตำหนิลดลง แต่จากการวิเคราะห์หาสาเหตุสำคัญอีกประการที่มีผลทำให้เกิดรอยตำหนิขึ้นบนชิ้นส่วนไดนาโมคือ ความบกพร่องของแม่พิมพ์ สาเหตุเกิดจากปัญหาของการออกแบบช่องระบายแก๊สภายในแม่พิมพ์ไม่เหมาะสมเมื่อมีการใช้งานต่อเนื่อง มีเศษพลาสติกชิ้นเล็กเกิดการอุดตันบริเวณใกล้เคียงกับช่องระบายแก๊ส การแก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนช่องระบายแก๊สและปรับขนาดของช่องให้ใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ปัญหาการเกิดรอยตำหนิที่เกิดจากรอยไหม้และเป็นรอยตำหนิมีจำนวนลดลง และแม่พิมพ์ใช้งานได้นานขึ้น โดยที่ไม่ต้องทำความสะอาดบ่อยครั้ง การแก้ไขการ

สวมประกบแม่พิมพ์ให้มีขนาดพอดีส่งผลให้ปัญหาการรอยตำหนิหลายเส้นและรอยตำหนิลดลง เนื่องจากขณะพลาสติกเหลวถูกฉีดเข้าสู่ภายในพิมพ์การระบายอากาศที่อยู่ภายในแม่พิมพ์จะถูกบังคับให้ระบายออกสู่ภายนอกโดยช่องระบายอากาศแต่เมื่อการสวมประกบแม่พิมพ์ไม่พอดีทำให้เกิดการทิศทางการระบายอากาศออกสู่ภายนอกพิมพ์เกิดการไหลย้อนเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานเกิดรอยตำหนิและลายเส้น

4.7 สรุปผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมจากข้อมูลการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมมีจำนวนรอยตำหนิเกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนไดนาโมเฉลี่ยประมาณ 30 รอยตำหนิ หลังจากหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล สรุปได้ว่ากระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมที่ใช้เงื่อนไขการทดลองที่กำลังในการฉีด เท่ากับ 600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความเร็วในการฉีด เท่ากับ 120 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะเวลาในการฉีด 8 วินาที ระยะเวลาหล่อเย็น 5 วินาที อุณหภูมิในการฉีดเท่ากับ 220 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส เกิดจำนวนรอยตำหนิขึ้นที่ชิ้นส่วนไดนาโมจักรยาน เฉลี่ยจำนวน 10 รอยตำหนิ ซึ่งจำนวนรอยตำหนิลดลง คิดเป็นร้อยละ 66.67 จึงนำเงื่อนไขดังกล่าวไปใช้ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมได้ พิจารณาจากตารางที่ 4 จำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นในแต่ละโพรงของแม่พิมพ์มีจำนวนอัตราการเกิดรอยตำหนิใกล้เคียงกัน สรุปได้ว่าอัตราการเกิดจำนวนรอยตำหนิไม่ได้ขึ้นกับตำแหน่งของโพรงแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

ตารางที่ 4 ตารางวิเคราะห์ผลรอยตำหนิที่เกิดขึ้นแต่โพรงของแม่พิมพ์

Source	DF	SS	MS	F	p
Cavity	3	0.07	0.02	0.01	0.998
Error	146	226.89	1.55		
Total	146	226.96			

สรุปข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนไดนาโมในตารางที่ 5 พบว่าจำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นหลังการวิจัยมีจำนวนลดลงจาก 30 รอยตำหนิเหลือเพียง 2 รอยตำหนิ หรือลดลงร้อยละ 93.33 และในตารางที่ 6 ข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนไดนาโม โดยเก็บข้อมูลก่อนการดำเนินการวิจัยเปรียบเทียบกับผลหลังการวิจัยพบว่าจำนวนชิ้นงานเสียลดลงจากก่อนการวิจัยคือจำนวน 3,160 ชิ้นเหลือจำนวนงานเสียเพียง 486 ชิ้นหรือ ลดลงร้อยละ 84.62

ตารางที่ 5 ข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนไดนาโม

สภาพปัญหา	จำนวนรอยตำหนิ (รอย)		จำนวนรอยลดลง (รอย)	ร้อยละจำนวนรอยตำหนิลดลง
	ก่อนการวิจัย	หลังการวิจัย		
1. รอยไหม้	4	0	4	100.00
2. ลายเส้น	9	1	8	88.89
3. รอยขุบ	4	0	4	100.00
4. รอยค่าง	13	1	12	92.31
รวม	30	2	28	93.33

ตารางที่ 6 ข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนไดนาโม

สภาพปัญหา	จำนวนของเสีย (ชิ้น)		จำนวนของเสียลดลง (ชิ้น)	ร้อยละจำนวนของเสียลดลง
	ก่อนการวิจัย	หลังการวิจัย		
1. รอยไหม้	1,736	74	1,662	95.74
2.. ลายเส้น	817	196	621	76.01
3. รอยขุบ	392	89	303	77.30
4. รอยค่าง	215	127	88	40.93
รวม	3,160	486	2,674	84.62

## 5. สรุปผลการวิจัย

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการฉีดชิ้นงานมีจำนวน 6 ปัจจัย ได้แก่ กำลังในการฉีด ความเร็วในการฉีด ระยะเวลาในการฉีด ระยะเวลาหล่อเย็น อุณหภูมิในการฉีด และอุณหภูมิแม่พิมพ์ ในการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม ผู้วิจัยทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ การคัดกรองปัจจัยด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเศษส่วนหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน และการทดสอบการยืนยันผลของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ผลการศึกษาพบว่าปัจจัย ความเร็วในการฉีด (S), ระยะเวลาการฉีด (I) และอุณหภูมิแม่พิมพ์ (M) มีผลกระทบต่อเกิดการเกิดรอยตำหนิในการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 จากนั้นทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน โดยได้สมการเงื่อนไขสำหรับการทำนายผลเพื่อหาค่าแปลงรอยตำหนิที่เหมาะสมดังสมการที่ 4 แทนค่าด้วยตัวแปรเข้ารหัส (Coded Unit)

$$\hat{y}_t = 4.1682 - 0.3535 * S - 0.1429 * I - 0.1568 * M \quad (4)$$

แบบจำลองสำหรับทำนายจำนวนรอยตำหนิเมื่อพิจารณาตัวแปรค่าจริง (Uncoded Unit) แสดงดังสมการที่ 5

$$\hat{y}_t = 7.0036 - 0.0260 * S - 0.1861 * I - 0.0203 * M \quad (5)$$

การทดลองยืนยันผลใช้เงื่อนไขการทดลองที่กำลังในการฉีด เท่ากับ 600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความเร็วในการฉีด เท่ากับ 120 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะเวลาในการฉีด 8 วินาที ระยะเวลาหล่อเย็น 5 วินาที อุณหภูมิในการฉีด เท่ากับ 220 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ผลการทดลองเกิดจำนวนรอยตำหนิ

ชิ้นส่วนไดนาโมจำนวน 10 รอยตำหนิ โดยจำนวนรอยตำหนิลดลงจากก่อนการวิจัย คิดเป็นร้อยละ 66.67

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นในการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์อยู่ในระดับหัวหน้างานพบว่าสาเหตุสำคัญอีกประการที่เกิดจากรอยตำหนิบนชิ้นส่วนไดนาโม คือ ความบกพร่องของแม่พิมพ์ จึงวิเคราะห์หาสาเหตุ พบว่าเกิดจากปัญหาของการออกแบบช่องระบายแก๊สภายในแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม เมื่อมีการใช้งานต่อเนื่องมีเศษพลาสติกชิ้นเล็กเกิดการอุดตันบริเวณใกล้เคียงกับช่องระบายแก๊ส การแก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนช่องระบายแก๊สและปรับขนาดของช่องให้ใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ปัญหารอยตำหนิที่เกิดจากรอยไหม้และเป็นรอยด่างมีจำนวนลดลง และแม่พิมพ์ใช้งานได้ยาวนานขึ้น โดยที่ไม่ต้องทำความสะอาดบ่อยครั้ง การแก้ไขการสวมประกบแม่พิมพ์ให้มีขนาดพอดีทำให้ปัญหารอยตำหนิลายเส้นและรอยด่างลดลง เนื่องจากขณะพลาสติกเหลวถูกฉีดเข้าสู่ภายในพิมพ์การระบายอากาศที่อยู่ภายในแม่พิมพ์จะถูกบังคับให้ระบายออกสู่ภายนอกโดยช่องระบายอากาศ แต่เมื่อการสวมประกบแม่พิมพ์ไม่พอดีทำให้ทิศทางการระบายอากาศออกสู่ภายนอกพิมพ์เกิดการไหลย้อนเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานเกิดรอยด่างและลายเส้น เมื่อนำแม่พิมพ์

ไปแก้ไขแล้วทำการทดลองโดยใช้เงื่อนไขการทดลองที่เกิดจำนวนรอยตำหนิน้อยที่สุด ผลการทดลองพบว่าจำนวนรอยตำหนิลดลงเหลือเพียง 2 รอยตำหนิ ต่อชิ้นงาน คิดเป็นร้อยละ 93.33 ส่วนจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นโดยข้อมูลก่อนการวิจัยเปรียบเทียบกับผลการทดลองหลังการวิจัยพบว่าจำนวนชิ้นงานเสียลดลงจากเดิมจำนวน 3,160 ชิ้นเหลือเพียง 486 ชิ้นลดลงคิดเป็นร้อยละ 84.62

เปรียบเทียบกับดัชนีชี้วัดและเป้าหมายการวิจัยเรื่องการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมสรุปผลงานวิจัยดังรายละเอียดในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลสรุปของงานวิจัย

ดัชนีชี้วัดของงานวิจัย	เป้าหมาย	ผลการวิจัย
1. จำนวนรอยตำหนิ	ลดลงร้อยละ 60	ลดลงร้อยละ 93.33
2. จำนวนชิ้นงานเสีย	ลดลงร้อยละ 60	ลดลงร้อยละ 84.62

### เอกสารอ้างอิง

- [1] บรรณ เรณิล. 2548. เทคโนโลยีพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 18. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ.
- [2] ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- [3] พสุ โลหารชุน และคณะ. 2534. เทคโนโลยีแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและการออกแบบเชิงวิเคราะห์. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [4] Bikas, A., et al. 2002. Computational tools for the optimal design of the injection moulding process. J. Materials Processing Technology 122 : 112–126.
- [5] Breyfogle, W.F., 1992. Statistical Methods for Testing Development, and Manufacturing. John Wiley & Sons, INC. New York United States of America .
- [6] Chang, Pei-Chi., et al. 2007. Development of an external-type microinjection molding module for thermoplastic polymer. J. Materials Processing Technology 184 : 163–172.
- [7] Chiang Ko-Ta. and Chang Fu-Ping. 2006. Application of grey-fuzzy logic on the optimal process design of an injection-molded part with a thin shell feature. J. International Communications in Heat and Mass Transfer 33 : 94–101