

การลดสัดส่วนของเสียจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการผลิตปลั๊กตัวเมีย

Defective Rate Reduction from Foreign Matter Contamination in Female Connector Plug Manufacturing Process

อรรถพล งามสำโรง* และ นภัสสวงศ์ โอสทศิลป์

Atthaphon Ngamsamrong * and Napassavong Osothsilp

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน แขวงวังใหม่ กรุงเทพมหานคร 10330

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan, Bangkok, Thailand 10330

*Corresponding author Email: *E-mail: 6370328921@student.chula.ac.th

(Received: November 16, 2022; Revised: May 9, 2023; Accepted: May 18, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมีย โดยประยุกต์ใช้แนวทางของ ชิซุชิ ชิเกะ (DMAIC) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด 5 ระยะ เริ่มตั้งแต่ระยะการนิยามปัญหาซึ่งได้เลือกศึกษากระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์รุ่น 6P ต่อมาในระยะการวัดสภาพปัญหาได้คำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ความแปรปรวนและความเที่ยงของระบบตรวจสอบ จากนั้นเป็นระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหา ซึ่งพบว่ามิจักยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนของเสีย 5 ปัจจัย จากนั้นจึงเข้าสู่ระยะการปรับปรุงกระบวนการ ได้ทำการปรับปรุงปัจจัยนำเข้าที่ไม่สามารถปรับตั้งค่าได้ 2 ปัจจัย โดยจัดทำแผนรองรับกันเศษฝุ่นใหม่ให้มิดชิดกว่าเดิมและกำหนดความถี่ในการทำความสะอาดเป็น 1 ครั้งต่อกะ และทำการทดลองด้วยแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design) สำหรับ 3 ปัจจัยที่สามารถปรับตั้งค่าได้ที่เหลือและหาค่าระดับที่เหมาะสม ซึ่งผลที่ได้ คือ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะเวลาห่วงขึ้นงาน 1 วินาที และแรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ และในระยะสุดท้ายคือการควบคุมกระบวนการ ได้ทำการแก้ไขเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานและแผนควบคุม ซึ่งหลังจากการติดตามผลการปรับปรุงกระบวนการ พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ลงจาก 2.36% เป็น 0.78% ซึ่งลดลงไปได้ 1.58% และนอกจากนี้สามารถลดต้นทุนของเสียลงจาก 5,499,036 บาท เหลือเพียง 1,826,099 บาท ซึ่งลดลงไปได้ถึง 3,672,937 บาทต่อปี

คำสำคัญ: การลดสัดส่วนของเสีย ชิซุชิ ชิเกะ วิธีการพินผิวดอบ กระบวนการฉีดพลาสติก การปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม

ABSTRACT

The objective of this research is to reduce defective rate from foreign matter contamination defect of Female Connector by applying the approach of Six Sigma (DMAIC) , which consists of 5 phases; starting from the Define phase, in which the injection molding process of 6P model was studied.

Secondly, in the Measure phase, the required sample size was calculated, and the Attribute Agreement Analysis was performed. Then, in the Analyze Phase, it was found that there were 5 significant factors related to the defective rate. In the Improvement phase, two non-adjustable factors have been improved by creating a new particle cover to be more closely and set the cleaning frequency to 1 time per shift. The central composite design was performed for the remaining 3 adjustable factors and determined the optimum levels. The optimum values are the mold opening speed of 30 millimeters per second, delay time of 1 second and runner pushing pressure of 15 bar. Finally, work instructions and control plan have been revised in the Control phase. Which after tracking process improvement results, it was found that the defective rate from contamination defects of 6P female connector plug was reduced from 2.36% to 0.78%, which was reduced by 1.58%. In additional, the defective cost was reduced from 5,499,036 baht to 1,826,099 baht, which equivalent to a cost a saving of 3,672,937 baht per year.

Keyword: Defective Rate Reduction; Six Sigma (DMAIC); Response Surface Methodology (RSM); Plastic Injection, Foreign Matter Contamination.

1. บทนำ

โรงงานกรณีศึกษาประกอบกิจการการผลิตชิ้นส่วนปลั๊กตัวเมียสำหรับการเชื่อมต่อชิ้นส่วนสำคัญต่างๆ ภายในรถยนต์ โดยมีกระบวนการฉีดพลาสติกเป็นกระบวนการขั้นต้นในการผลิตเพื่อขึ้นรูปชิ้นส่วนก่อนที่จะนำไปประกอบเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ในกระบวนการฉีดพลาสติกนั้นคือ ข้อบกพร่องกับผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุในการเกิดข้อบกพร่องนั้นก็มาจากหลายปัจจัย เช่น พารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ใช้ในการฉีดไม่เหมาะสม ขั้นตอนการทำงานที่ไม่เหมาะสม หรือแม้แต่การปฏิบัติงานที่ไม่ถูกต้องตามขั้นตอนปฏิบัติงาน เป็นต้น [1] - [4]

จากการทบทวนงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้ทำการศึกษาและปรับปรุงเพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกพบว่ามีการนำแนวคิดทาง ชิเกะ ชิเกมา มาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย โดยวารุภรณ์ (2551) ได้ประยุกต์แนวทางชิเกะ ชิเกมา เพื่อลดต้นทุนของเสียรวมที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบกและข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็ม ซึ่งสามารถลดต้นทุนของเสียรวมจากข้อบกพร่อง

ชนิดครีบก และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ จากเดิม 0.3194 บาท/ชิ้น เหลือ 0.0293 บาท/ชิ้น [5] Rattanabunditsakun (2554) ได้ปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดสัดส่วนของเสียชนิดจุดดำที่เกิดในกระบวนการฉีดพลาสติกพบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียชนิดจุดดำที่เกิดในกระบวนการฉีดพลาสติกขึ้นรูปที่เครื่องฉีดพลาสติกเบอร์ P24 และ P25 ลงมารวมกันจาก 0.65% ลงมาที่ 0.34% หรือ ลดลงถึง 47.69% [6] Maged (2562) ได้ดำเนินการตามแนวทาง ชิเกะ ชิเกมา เพื่อปรับปรุงปัญหาการหดตัวในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของใบพัดลม ซึ่งทำให้ระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายดีขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 4.06 เป็น 4.5 [7] Alshammari และคณะ (2561) ได้ใช้ชิเกะ ชิเกมา เพื่อลดความผันแปรในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยหลังปรับปรุงพบว่ามีจำนวนข้อบกพร่องต่อล้านโอกาส (Defects Per Million Opportunities หรือ DPMO) ลดลงจาก 516,500 เป็น 190,000 ซึ่งนำไปสู่การลดลงของต้นทุนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ [8] Rattanaruengyot (2554) ได้ใช้หลักการของชิเกะ ชิเกมา

เพื่อศึกษาและลดของเสียโดยรวมที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดท่อพลาสติก โดยสามารถลดของเสียที่จาก 8.8% เหลือ 5.25% ซึ่งได้ลดของเสียไป 3.55% [9] และชนิกานต์ (2563) ได้ประยุกต์ใช้หลักการของซิกซ์ ซิกมา และการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ เพื่อลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยสามารถลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกจาก 3.82% เหลือ 0.98% [10]

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะลดของเสียในกระบวนการผลิตที่มีสาเหตุมาจากกระบวนการฉีดพลาสติก เพื่อช่วยลดต้นทุนให้กับบริษัท อีกทั้งยังช่วยลดโอกาสที่ของเสียจะหลุดไปถึงมือลูกค้าอีกด้วย โดยผู้วิจัยได้นำแนวทางของ ซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากเป็นวิธีที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการปรับปรุงกระบวนการเพราะมีขั้นตอนการดำเนินงานที่เป็นลำดับขั้นและครอบคลุม โดยจะมีการใช้ข้อเท็จจริงเน้นการทำความเข้าใจกระบวนการที่เป็นอยู่ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และรวมถึงการควบคุมกระบวนการหลังการปรับปรุงอีกด้วย ทั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อที่จะลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นซึ่งจะส่งผลให้บริษัทมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำลงได้ [10] - [11]

2. วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นและกำหนดหัวข้อการปรับปรุง

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียที่พบในเดือนมกราคม - พฤศจิกายนปี พ.ศ. 2564 ด้วยแผนผังพาเรโต (Pareto chart) เพื่อทำการเลือกข้อบกพร่องมาทำการปรับปรุง โดยใช้กฎพาเรโต 80 : 20 เป็นเกณฑ์ในการเลือก [12]

2.2 การวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบข้อบกพร่อง

ผลที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพของโรงงานกรณีศึกษานั้นมี 2 ลักษณะ ได้แก่ ผ่าน (Good : G) และ

ไม่ผ่าน (No Good : NG) ซึ่งเป็นข้อมูลประเภทการนับหรือข้อมูลที่มีการประเมินแบบคุณลักษณะ (Attribute data) จึงทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ [10], [13] - [15] โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์คือ สุ่มเรียกพนักงานตรวจสอบคุณภาพทั้งหมด 3 คน เพื่อตรวจสอบคุณภาพตัวอย่างปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ที่เตรียมไว้จำนวน 30 ชิ้น ซึ่งจากเกณฑ์ของ Fisser and Brettne สำหรับพนักงานตรวจสอบ 3 คนขึ้นไป จะต้องใช้ตัวอย่างในการทดสอบอย่างน้อย 12 ชิ้น [16] ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้น จึงเป็นจำนวนที่เพียงพอเนื่องจากมากกว่าจำนวนขั้นต่ำ ทำการตรวจสอบซ้ำ 3 ครั้ง โดยให้พนักงานทั้ง 3 คนตรวจสอบครั้งที่ 1 ให้ครบทุกคน จากนั้นจึงตรวจสอบเป็นครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ตามลำดับ และในการตรวจสอบแต่ละครั้งให้ลำดับตัวอย่างชิ้นงานในการตรวจสอบแบบสุ่ม ทำการบันทึกผลการตรวจสอบทั้ง 3 ครั้ง และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัดด้วยเทคนิค Attribute Agreement Analysis [10]

2.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการรวบรวมความคิดจากคณะทำงานทั้งหมด เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P ซึ่งประกอบไปด้วยการระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) และการคัดกรองและจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่เป็นไปได้ เพื่อทำการเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีความเกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องมากที่สุดไปศึกษาต่อไป [10]

2.4 การปรับปรุงกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) และการทดสอบสมมติฐาน เพื่อพิสูจน์ความมีนัยสำคัญและหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลให้เกิดสัดส่วนของเสียให้น้อยที่สุดด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer จากโปรแกรม Minitab [10]

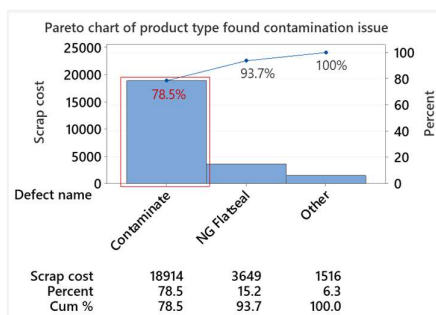
2.5 การควบคุมกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลที่ได้จากระยะการปรับปรุงกระบวนการ โดยทำการปรับตั้งค่าปัจจัยตามค่าระดับที่เหมาะสมที่ได้และทำการเก็บข้อมูลของเสียที่พบ จากนั้นจึงทำการแก้ไขเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานและแผนควบคุมเพื่อให้มั่นใจว่าผลการปรับปรุงที่ได้ได้รับการปฏิบัติตามอย่างเหมาะสม

3. ผลการทดลอง

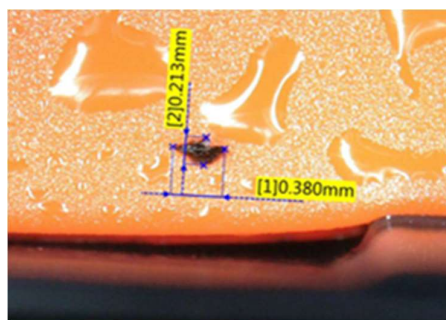
3.1 ผลการกำหนดปัญหา

เมื่อได้ศึกษาประเภทของปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P แสดงดังแผนผังพาเรโต ดังรูปที่ 1 พบว่าของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอมนั้นมีจำนวนของเสียสูงที่สุดเป็นอันดับหนึ่ง โดยมีสัดส่วนเท่ากับ 78.5% ของจำนวนของเสียทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับกฎพาเรโต 80 : 20 นอกจากนี้ยังพบว่าข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกเดือนโดยมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยจากข้อบกพร่องนี้เท่ากับ 2.36% ของปริมาณการผลิตในเดือนมกราคม – พฤศจิกายน 2564 ซึ่งส่งผลทำให้มีต้นทุนจากของเสียดังกล่าวสูงถึง 163,154 บาท จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงเลือกทำการศึกษาและปรับปรุงของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P



รูปที่ 1 แผนผังพาเรโตจำนวนของเสีย

ลักษณะของข้อบกพร่องที่พบคือ จะมีสิ่งแปลกปลอมสีดำติดอยู่ที่ซีสของปลั๊กตัวเมียดังแสดงในรูปที่ 2 ขนาดและตำแหน่งของสิ่งแปลกปลอมที่พบในข้อบกพร่องแต่ละชิ้นจะแตกต่างกันออกไป ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 0.1 มิลลิเมตร ถึง 2 มิลลิเมตร โดยสิ่งแปลกปลอมที่พบจะส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียฟังก์ชันการป้องกันการรั่วซึมของปลั๊กตัวเมียได้



รูปที่ 2 ลักษณะของข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

3.2 ผลการวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบข้อบกพร่อง

หลังจากพนักงานทั้ง 3 คน ได้ทำตรวจสอบครบทั้ง 3 ครั้ง จึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) ของระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบคุณภาพ ด้วยการแทนค่าผลที่ได้ในสมการที่ (1) – (4) ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

1. ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Appraiser Score)

$$\% \text{Appraiser Score} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจ} \times \text{สอบซ้ำแล้วได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (1)$$

$$\% \text{Appraiser Score Operator 1} = 30/30 = 1 = 100\%$$

$$\% \text{Appraiser Score Operator 2} = 30/30 = 1 = 100\%$$

$$\% \text{Appraiser Score Operator 3} = 30/30 = 1 = 100\%$$

2. ความไม่เอนกของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (% Attribute Score)

$$\% \text{Attribute Score} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (2)$$

$$\% \text{Attribute Score Operator 1} = 30/30 = 1 = 100\%$$

$$\% \text{Attribute Score Operator 2} = 30/30 = 1 = 100\%$$

$$\% \text{Attribute Score Operator 3} = 30/30 = 1 = 100\%$$

3. การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน (%Reproducibility)

$$\% \text{Reproducibility} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (3)$$

$$\% \text{Reproducibility} = 30/30 = 1 = 100\%$$

4. การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน (%Accuracy)

$$\% \text{Accuracy} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ผลเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (4)$$

$$\% \text{Accuracy} = 30/30 = 1 = 100\%$$

จากผลการวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบข้อบกพร่องข้างต้นซึ่งแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P แสดงว่าระบบการวัดมีความน่าเชื่อถือจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่เกิดจากการวัดไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P นั่นคือมีความแม่นยำและความเที่ยงในระดับที่ให้ผลการตรวจสอบที่เชื่อถือได้ [10]

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

ดัชนีชี้วัด	พนักงานคนที่ 1	พนักงานคนที่ 2	พนักงานคนที่ 3
%Appraiser Score	100%	100%	100%
%Attribute Score	100%	100%	100%
%Reproducibility	100%		
%Accuracy)	100%		

3.3 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากการระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล ดังรูปที่ 3 พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P ทั้งหมด 12 ปัจจัย จากนั้นจึงคัดกรองและจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่เป็นไปได้ โดยคณะทำงานทำการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล เกณฑ์ในการให้คะแนนแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่ามีปัจจัยที่ได้รับคะแนนระดับความสัมพันธ์มาก (9 คะแนน) ทั้งหมด 5 ปัจจัย ดังตารางที่ 3 ผู้วิจัยจึงเลือกปัจจัยดังกล่าวเพื่อไปศึกษาต่อเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยและหาสาเหตุที่เหมาะสมของปัจจัยเหล่านั้นในลำดับต่อไป ซึ่งสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลจากการทดลองจริงในอดีตของโรงงานกรณีศึกษาได้ดังนี้

1. แร่งดันผลิตภัณฑ์ไม่เหมาะสม การผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์จะถูกควบคุมโดยแรงดัน หากแรงดันมากพอจะทำให้มีแรงส่งไปที่เข็มกระทุ้งมากและสามารถผลิตภัณฑ์ออกมาได้เร็ว แต่ถ้าหากแรงดันต่ำเกินไปจะทำให้มีแรงส่งไปที่เข็มกระทุ้งน้อยและผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์ได้ช้า รันเนอร์ก็จะร่วงออกจากแม่พิมพ์ช้ากว่าเวลาอันควรคือร่วงในช่วงเวลาใกล้เคียงกับที่ชิ้นงานร่วง จึงส่งผลทำให้รันเนอร์มีโอกาสที่จะตกลงไปที่ถาดรองงานดีพร้อม ๆ กับชิ้นงาน และมีโอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนจากเศษพลาสติกที่หลุดออกมาจากส่วนปลายของรันเนอร์มาที่ชิ้นงานได้

2. ระยะเวลาหน่วงชิ้นงานไม่เหมาะสม ระยะเวลาหน่วงชิ้นงานเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดเวลาในการหลัก

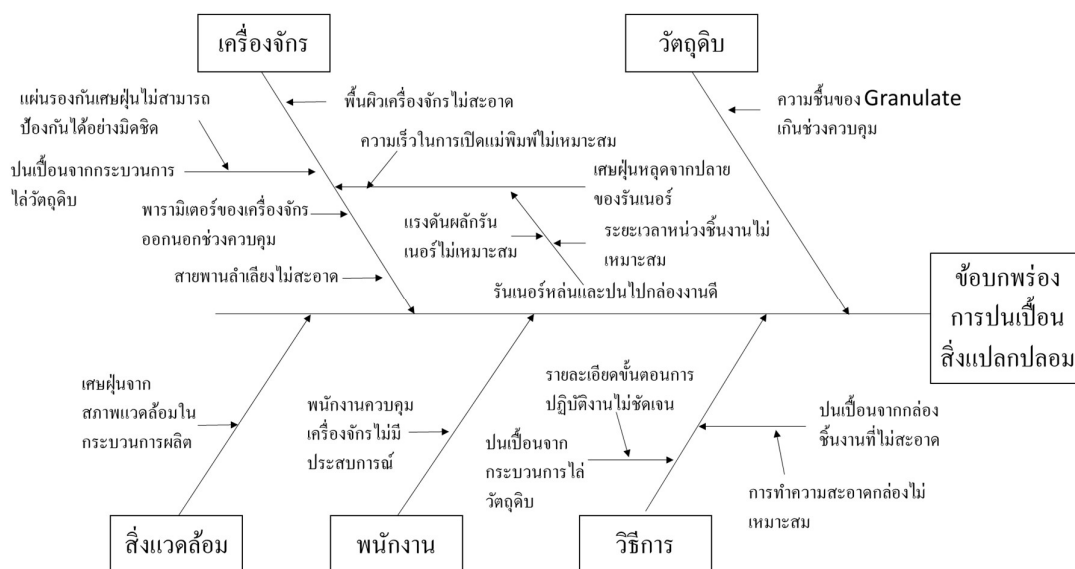
ขึ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เมื่อเข็มกระทุ้งเริ่มทำงานในช่วงเวลาเดียวกันแผ่นกันขึ้นงานก็จะเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งเปิดเพื่อบังคับให้ชิ้นงานตกลงไปที่สายพานลำเลียงและลำเลียงชิ้นงานไปที่กล่องงานดี จากนั้นแผ่นกันขึ้นงานจึงจะเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งปิดโดยอัตโนมัติเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันรอบกัดไปปะปนยังกล่องงานดี ซึ่งโดยปกติแล้วเข็มกระทุ้งจะผลักชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ภายหลังจากที่รีนเนอร์ร่วงลงไปที่กล่องงานเสีย ซึ่งจะทำให้รีนเนอร์ไม่ปะปนไปกับชิ้นงาน ซึ่งถ้าหากระยะเวลาหน่วงสั้นเกินไปจะทำให้ชิ้นงานและรีนเนอร์ร่วงออกจากแม่พิมพ์ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการปนเปื้อนจากเศษพลาสติกที่หลุดออกมาจากส่วนปลายของรีนเนอร์มาที่ชิ้นงานได้

3. ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม การที่แม่พิมพ์เปิดเร็วไปจะทำให้เกิดแรงกระชากขึ้นที่ชิ้นงานในจังหวะที่โมลด์แยกออกจากกัน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปลายของรีนเนอร์ไม่เรียบและมีโอกาสที่เศษพลาสติกจะหลุดออกมาได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับแรงกระแทก ในทางตรงกันข้ามด้วยความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่ช้ากว่าจะมี

ส่วนช่วยให้น้ำมันรอบกัดออกจากชิ้นงานได้อย่างเหมาะสม ทำให้ปลายของรีนเนอร์มีความขรุขระน้อยลง แต่ทั้งนี้ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่ช้าจะทำให้รอบเวลาการผลิตเพิ่มขึ้นและมีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น

4. แผ่นรองกันเศษฝุ่นไม่สามารถป้องกันได้อย่างมิดชิดก่อนเริ่มการผลิตที่เครื่องฉีดพลาสติกจะต้องมีการปล่อยให้น้ำพลาสติกไหลออก (Purging) เป็นจำนวน 10 ซีต เพื่อเป็นการไล่ระบบ โดยในขั้นตอนนี้จะต้องใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นเพื่อป้องกันเศษฝุ่นไม่ให้ร่วงลงไปในแผ่นกันขึ้นงานซึ่งอาจส่งผลต่อการปนเปื้อนไปยังชิ้นงานได้ หากแผ่นรองกันเศษฝุ่นไม่สามารถป้องกันสิ่งแปลกปลอมได้อย่างมิดชิด จะทำให้มีช่องว่างซึ่งในขั้นตอนการไล่วัตถุดิบ ส่งผลทำให้เศษฝุ่นสามารถหล่นร่วงไปยังกล่องขึ้นงานและปนเปื้อนกับชิ้นงานได้

5. สายพานลำเลียงไม่สะอาด เนื่องจากสายพานลำเลียงมีการสัมผัสโดยตรงกับชิ้นงานและยังรวมไปถึงรีนเนอร์ที่อาจปะปนมากับชิ้นงาน จึงทำให้อาจมีสิ่งแปลกปลอมสะสมอยู่ที่สายพานและเพิ่มโอกาสในการปนเปื้อนเข้าไปสู่ชิ้นงานได้



รูปที่ 3 แผนผังสาเหตุและผล

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล

ระดับความสำคัญ	ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล	คะแนน
มาก	ปัจจัยที่มีผลมากและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องมาก	9
ปานกลาง	ปัจจัยที่มีผลปานกลางและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องปานกลาง	3
น้อย	ปัจจัยที่มีผลน้อยและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องน้อย	1
น้อยมาก	ปัจจัยที่มีผลน้อยมากและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องน้อยมาก	0

ตารางที่ 3 คะแนนของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

ลำดับที่	ปัจจัย	คะแนน
1	สายพานลำเลียงไม่สะอาด	9
2	ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม	9
3	แผ่นรองกันเศษฝุ่นไม่สามารถป้องกันได้อย่างมิดชิด	9
4	ระยะเวลาทวนวงขึ้นงานไม่เหมาะสม	9
5	แรงความดันผลักรันเนอร์ไม่เหมาะสม	9
6	การทำความสะอาดกล่องไม่เหมาะสม	3
7	พื้นผิวเครื่องจักรไม่สะอาด	3
8	รายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานไม่ชัดเจน	3
9	ความชื้นของ Granulate เกินช่วงควบคุม	1
10	พารามิเตอร์ของเครื่องจักรนอกช่วงควบคุม	1
11	พนักงานควบคุมเครื่องจักรไม่มีประสบการณ์	1
12	เศษฝุ่นจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต	1

3.4 ผลการปรับปรุงกระบวนการ

จากปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 5 ปัจจัยที่ได้รับคะแนนระดับความสัมพันธ์มาก มีปัจจัยที่ไม่สามารถปรับตั้งค่าได้ 2 ปัจจัย ได้แก่ รูปแบบของแผ่นรองกันเศษฝุ่น และความเร็วในการทำความสะดวกสายพานลำเลียง จะทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน และสำหรับ 3 ปัจจัย

ที่เหลือที่ปรับตั้งค่าได้ ซึ่งได้แก่ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ ระยะเวลาทวนวงขึ้นงาน และแรงดันในการผลักรันเนอร์ จะทำการทดลองด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

3.4.1 ผลการทดลองรูปแบบของแผ่นรองกันเศษฝุ่น

เนื่องจากแผ่นรองกันเศษฝุ่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นถูกจัดทำขึ้นมาอย่างไม่เป็นมาตรฐานโดยดัดแปลงมาจากกล่องกระดาษลูกฟูกซึ่งไม่สามารถป้องกันเศษฝุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความเสี่ยงที่เศษฝุ่นจากการไล่วัตถุดิบอาจร่วงลงไปโดนแผ่นกันขึ้นงานซึ่งนำไปสู่การปนเปื้อนไปยังขึ้นงานได้ และนอกจากนี้ยังมีโอกาสปนเปื้อนเศษฝุ่นที่อาจหลุดมาจากกระดาษลูกฟูกอีกด้วย คณะทำงานจึงได้ทำการออกแบบแผ่นรองกันเศษฝุ่นขึ้นใหม่โดยใช้วัสดุที่มีความคงทนและมีรูปร่างที่เหมาะสมต่อการใช้งานซึ่งสามารถป้องกันเศษฝุ่นได้ทุกทิศทางการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ของวัตถุดิบซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันมากยิ่งขึ้น โดยมีสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

H_0 : สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอมจากการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมและแผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่ไม่แตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอมจากการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิม มากกว่าการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่

จากการเก็บตัวอย่างจำนวน 500,000 ชิ้นงานพบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดจากการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมและแผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่เท่ากับ 2.49% และ 2.38% ตามลำดับ จากนั้นได้คำนวณขนาดตัวอย่างที่

เหมาะสมด้วยฟังก์ชัน Power and Sample Size สำหรับการทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของประชากร 2 กลุ่ม ในโปรแกรม Minitab [10] พบว่าต้องทำการเก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อยเท่ากับ 412,603 ชิ้นงาน ที่กำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.9 และระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นข้อมูลที่มีอยู่จำนวน 500,000 ข้อมูลจึงเพียงพอและไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพิ่ม จึงนำข้อมูลนี้ไปทำการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4 พบว่า ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.0005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่มีสัดส่วนของเสียน้อยกว่าการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

3.4.2 ผลการทดลองความถี่ในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง

เนื่องจากสายพานลำเลียงมีการสัมผัสโดยตรงกับชิ้นงานรวมถึงรื้อเนอร์ที่อาจปะปนมากับชิ้นงานจึงทำให้อาจมีสิ่งแปลกปลอมสะสมอยู่ที่สายพานและเพิ่มโอกาสในการปนเปื้อนเข้าไปสู่ชิ้นงานได้ ด้วยความถี่ในการทำทำความสะอาดปัจจุบันที่ 1 ครั้งต่อสัปดาห์อาจไม่เพียงพอเมื่อเทียบกับปริมาณการผลิตในจำนวนที่มาก คณะทำงานจึงเพิ่มความถี่เป็น 1 ครั้งต่อกะ ซึ่งความถี่นี้สามารถยอมรับได้เนื่องจากสามารถปฏิบัติได้จริงและไม่ได้กระทบกับปริมาณการผลิตมากนัก โดยมีสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

H_0 : สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอมจากการทำความสะอาดสายพานด้วยความถี่ 1 ครั้งต่อสัปดาห์และ 1 ครั้งต่อกะ ไม่แตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอมจากการทำความสะอาดสายพานด้วยความถี่ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ มากกว่าความถี่ 1 ครั้งต่อกะ

จากการเก็บตัวอย่างจำนวน 500,000 ชิ้นงาน พบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดจากการใช้ความถี่ในการทำทำความสะอาดสายพาน 1 ครั้งต่อสัปดาห์และ 1 ครั้งต่อกะเท่ากับ 2.49% และ 2.36% ตามลำดับ

จากนั้นได้คำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมด้วยฟังก์ชัน Power and Sample Size สำหรับการทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของประชากร 2 กลุ่ม ในโปรแกรม Minitab [10] พบว่าต้องทำการเก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อยเท่ากับ 294,230 ชิ้นงาน ที่กำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.9 และระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นข้อมูลที่มีอยู่จำนวน 500,000 ข้อมูล จึงเพียงพอและไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพิ่ม จึงนำข้อมูลนี้ไปทำการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4 พบว่า ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.0005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าความถี่ในการทำทำความสะอาดสายพาน 1 ครั้งต่อกะ มีสัดส่วนของเสียน้อยกว่าความถี่ 1 ครั้งต่อสัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบสมมติฐาน

ปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน	ระดับของปัจจัย	จำนวนชิ้นงานทดสอบ	จำนวนของเสีย	สัดส่วนของเสีย	P-Value
ประเภทของแผ่นรองกันเศษฝุ่น	แผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิม	500,000	12,474	2.49%	<0.0005
	แผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่	500,000	11,907	2.38%	
ความถี่ในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง	1 ครั้งต่อสัปดาห์	500,000	12,474	2.49%	<0.0005
	1 ครั้งต่อกะ	500,000	11,808	2.36%	

3.4.3 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

สำหรับปัจจัยที่สามารถปรับตั้งค่าได้นั้นได้ทำการทดลองด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง โดยมีปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ ระยะเวลาหัวงขึ้นงาน และแรงดันผลักรันเนอร์ และตัวแปรตอบสนองในงานวิจัยนี้คือสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม ได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง แต่ละปัจจัยจะถูกทดลองที่ 5 ระดับ ได้แก่ $-\alpha$, -1, 0, +1 และ $+\alpha$ โดย α มีค่าเท่ากับ 1.682 ซึ่งแสดงดังตารางที่ 5 ทั้งนี้เหตุผลที่ผู้วิจัยไม่เลือกใช้แบบการทดลองแบบบล็อกซ์ – เบห์นเคน ที่มีจำนวนการทดลองน้อยกว่าแบบส่วนประสมกลาง 5 การทดลอง เนื่องจากแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางจะให้คุณภาพของการพยากรณ์ที่ดีกว่าเนื่องจากประกอบด้วยส่วนการทดลอง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแฟคทอเรียล ส่วนจุดแกน (Axial Runs) และส่วนจุดศูนย์กลาง (Center Runs) ซึ่งมีจุดแฟคทอเรียลอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางเท่ากับระยะที่จุดแกนอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลาง ซึ่งจะทำให้คุณภาพการพยากรณ์ดีเท่าเทียมกันที่ทุกช่วงของระดับปัจจัยที่ทำการทดลอง ในขณะที่แบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคนจะให้คุณภาพการพยากรณ์ที่ดีในบางช่วงเนื่องจากไม่มีการ

ทำการทดลองที่จุดแฟคทอเรียล [10], [17] - [18] โดยจำนวนการทดลองที่เพิ่มขึ้น 5 การทดลองนั้นสามารถยอมรับได้เนื่องจากไม่ได้กระทบกับต้นทุนและแผนการผลิตมากนัก ซึ่งแบบการทดลองและผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 6

หลังจากการทดลองเสร็จสิ้นจึงทำการวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งมีขั้นตอน คือ การสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และการอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยของเทอมที่มีนัยสำคัญ

จากการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งพบว่าจำนวนเทอมที่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มี 5 เทอม ได้แก่ 1) ผลกระทบหลักของความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 2) ผลกระทบหลักระยะเวลาหัวงขึ้นงาน 3) ผลกระทบหลักแรงดันในการผลักรันเนอร์ 4) ผลกระทบร่วมระหว่างความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์กับแรงดันในการผลักรันเนอร์ 5) ผลกระทบร่วมระหว่างระยะเวลาหัวงขึ้นงานกับแรงดันในการผลักรันเนอร์ ส่วนเทอมกำลังสองไม่มีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5 ปัจจัยและระดับของปัจจัยนำเข้า

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย/ หน่วย	ระดับของปัจจัย					ความละเอียดต่ำสุดที่ปรับตั้งได้
		-1.682	-1	0	1	+1.682	
Speed	ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ (มิลลิเมตรต่อวินาที)	30.00	38.11	50.00	61.89	70.00	0.01
Delay time	ระยะเวลาหัวงขึ้นงาน (วินาที)	0.50	0.60	0.75	0.90	10	0.01
Pressure	แรงดันในการผลักรันเนอร์ (บาร์)	8.00	9.50	11.50	13.50	15.00	0.50

ตารางที่ 6 ตารางการออกแบบการทดลองและผลการทดลองการเกิดข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Speed	Delay time	Pressure	Defective rate
1	12	1	1	38.11	0.6	9.5	0.0500
2	6	1	1	61.89	0.6	9.5	0.0533
3	7	1	1	38.11	0.9	9.5	0.0267
4	19	1	1	61.89	0.9	9.5	0.0333
5	20	1	1	38.11	0.6	13.5	0.0267
6	18	1	1	61.89	0.6	13.5	0.0267
7	8	1	1	38.11	0.9	13.5	0.0400
8	5	1	1	61.89	0.9	13.5	0.0167
9	13	-1	1	30	0.75	11.5	0.0333
10	10	-1	1	70	0.75	11.5	0.0233
11	1	-1	1	50	0.5	11.5	0.0400
12	3	-1	1	50	1	11.5	0.0433
13	11	-1	1	50	0.75	8	0.0267
14	15	-1	1	50	0.75	15	0.0233
15	2	0	1	50	0.75	11.5	0.0333
16	14	0	1	50	0.75	11.5	0.0333
17	16	0	1	50	0.75	11.5	0.0300
18	17	0	1	50	0.75	11.5	0.0333
19	4	0	1	50	0.75	11.5	0.0333
20	9	0	1	50	0.75	11.5	0.0367

ต่อมาทำการทดสอบสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่ สมมติฐานส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ สมมติฐานส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน และ สมมติฐานส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้หรือไม่ [10], [19] ซึ่งหากพบว่าไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้างต้นจะต้องทำการแปลงค่าตัวแปรตอบสนองก่อน เพราะจะทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่เป็นไปตามสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) ของตัวแปรตอบสนอง และอาจ

ทำให้การวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งผลการทดสอบพบว่า เป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทำการแปลงค่าตัวแปรตอบสนอง โดยสามารถพิจารณาได้จากกราฟความน่าจะเป็นแบบการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าส่วนตกค้าง ซึ่งพบว่ามีลักษณะการจัดเรียงของค่าส่วนตกค้างใกล้เคียงเส้นตรง และมีค่า p-value 0.792 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ และจากกราฟของส่วนตกค้างและลำดับของการทดลอง (Versus

ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 เดือน เมษายน – กันยายน พ.ศ. 2566

Order) พบว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แนวแกนศูนย์ จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน และจากกราฟของส่วนตกค้างและค่าพิตที่ได้จากสมการ (Versus Fits) พบว่าส่วนตกค้างกระจายตัวทั้งเป็นบวกและลบรอบแนวแกนศูนย์ด้วยความกว้างของการกระจายใกล้เคียงกันตลอดค่าพิตทั้งหมด จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่

จากกราฟพื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้คือ เมื่อความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์สูงขึ้นจะได้สัดส่วนของเสียที่ลดลง เมื่อระยะเวลาหน่วงขึ้นงานเพิ่มขึ้นจะได้สัดส่วนของเสียที่ลดลง และเมื่อแรงดันในการผลักรันเนอร์

เพิ่มขึ้นจะได้สัดส่วนของเสียที่ลดลง โดยเมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์และแรงดันในการผลักรันเนอร์ พบว่าที่แรงดันในการผลักรันเนอร์ 8 บาร์ เมื่อความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์เปลี่ยนจาก 70 มิลลิเมตรต่อวินาที ไปที่ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที สัดส่วนของเสียจะลดลงน้อยกว่าที่แรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ โดยในส่วนของผลกระทบร่วมระหว่างระยะเวลาหน่วงขึ้นงานและแรงดันในการผลักรันเนอร์ พบว่าเมื่อแรงดันในการผลักรันเนอร์เท่ากับ 8 บาร์ เมื่อระยะเวลาหน่วงขึ้นงานเปลี่ยนจาก 0.5 วินาที ไปที่ 1 วินาที สัดส่วนของเสียจะลดลงมากกว่าที่แรงดันในการผลักรันเนอร์เท่ากับ 15 บาร์

Response Surface Regression: Defect rate versus Speed, Delay time, Pressure

Stepwise Selection of Terms

α to enter = 0.05, α to remove = 0.05

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.034333	0.000582	58.98	0.000	
Speed	0.004981	0.000704	7.07	0.000	1.00
Delay time	-0.006475	0.000707	-9.16	0.000	1.00
Pressure	-0.006608	0.000693	-9.54	0.000	1.00
Speed*Pressure	0.002500	0.000920	2.72	0.017	1.00
Delay time*Pressure	0.003333	0.000920	3.62	0.003	1.00

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0026035	94.60%	92.67%	88.15%

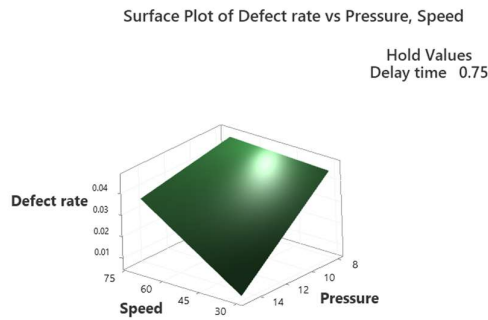
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	0.001663	0.000333	49.07	0.000
Linear	3	0.001524	0.000508	74.95	0.000
Speed	1	0.000339	0.000339	50.00	0.000
Delay time	1	0.000568	0.000568	83.86	0.000
Pressure	1	0.000617	0.000617	90.99	0.000
2-Way Interaction	2	0.000139	0.000069	10.25	0.002
Speed*Pressure	1	0.000050	0.000050	7.38	0.017
Delay time*Pressure	1	0.000089	0.000089	13.11	0.003
Error	14	0.000095	0.000007		
Lack-of-Fit	9	0.000073	0.000008	1.82	0.265
Pure Error	5	0.000022	0.000004		
Total	19	0.001758			

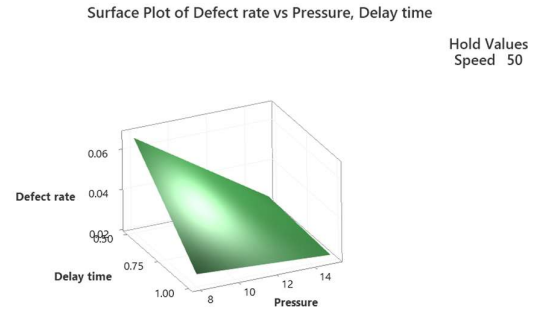
Regression Equation in Uncoded Units

Defect rate = 0.2400 - 0.000790 Speed - 0.1709 Delay time - 0.01689 Pressure
+ 0.000105 Speed*Pressure + 0.01111 Delay time*Pressure

รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอย



รูปที่ 5 กราฟพื้นผิวผลตอบของปัจจัยความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์และแรงดันในการผลักรันเนอร์

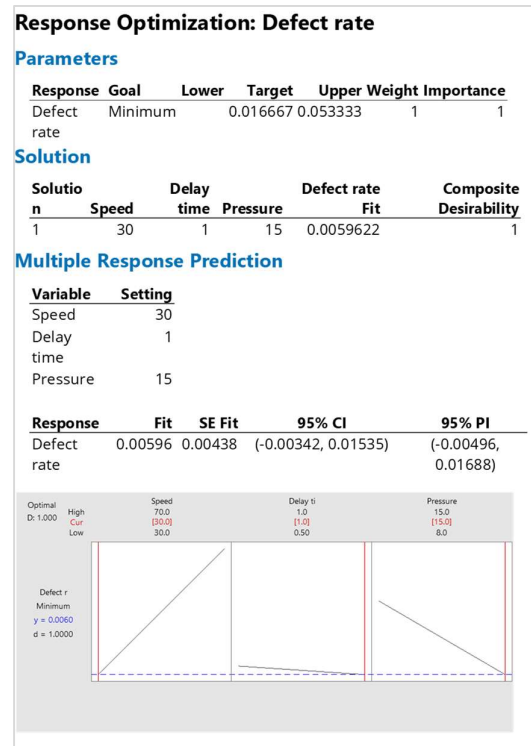


รูปที่ 6 กราฟพื้นผิวผลตอบของปัจจัยแรงดันในการผลักรันเนอร์และระยะเวลาหน่วง

3.4.4 การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย

หลังจากการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอม ลำดับต่อไปจึงทำการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer จากโปรแกรม Minitab โดยระบุตัวแปรตอบสนองคือสัดส่วนของเสีย วัตถุประสงค์คือต้องการค่าต่ำที่สุด (Minimize) ซึ่งแสดงดัง รูปที่ 7 พบว่า จะได้สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมเท่ากับ 0.00596 หากตั้งค่าความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะเวลาหน่วงขึ้นงาน 1 วินาที และแรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ ซึ่งให้ค่า Composite Desirability เท่ากับ 1 หมายความว่าสามารถหาค่าปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองตามที่ต้องการได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าปัจจัยที่เหมาะสมข้างต้นที่ได้คือ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ต่ำ ระยะเวลาหน่วงขึ้นงานมาก และแรงดันในการผลักรันเนอร์สูง นั่นเป็นเพราะว่าระยะเวลาหน่วงขึ้นงานที่มากและแรงดันในการผลักรันเนอร์สูงจะส่งผลให้มีการปะปนของรันเนอร์เข้าไปสู่ชิ้นงานได้น้อย และที่ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ต่ำก็จะทำให้เศษพลาสติกที่ปลายของรันเนอร์นั้นหลุดออกมาได้ยากขึ้นเนื่องจากมีความขรุขระน้อย จึงส่งผลให้โอกาสในการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมเกิดขึ้นได้น้อยลง ดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

การออกแบบการทดลอง ด้วยเหตุนี้ค่าระดับปัจจัยข้างต้นจึงทำให้มีสัดส่วนของเสียต่ำที่สุดนั่นเอง โดยระดับของปัจจัยนำเข้าของการตั้งค่าปัจจุบันและค่าที่เหมาะสมที่ได้จากฟังก์ชัน Response Optimizer แสดงดังตารางที่ 7



รูปที่ 7 ผลการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า

ตารางที่ 7 ระดับของปัจจัยนำเข้าของการตั้งค่าปัจจุบันและค่าที่เหมาะสมที่ได้จากฟังก์ชัน Response Optimizer

ปัจจัยนำเข้า	การตั้งค่าปัจจุบัน	ค่าที่เหมาะสมที่ได้จากฟังก์ชัน Response Optimizer
ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์	50.0	30.0
ระยะเวลาห่วงโซ่โรงงาน	0.7	1.0
แรงดันในการผลักรันเนอร์	10.0	15.0

3.5 ผลการควบคุมกระบวนการ

ในระหว่างการติดตามควบคุมผล ได้ทำการแก้ไขเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานและแผนควบคุมเพื่อให้มั่นใจว่าผลการปรับปรุงที่ได้ได้รับการปฏิบัติตามอย่างเหมาะสม จากนั้นได้ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลที่ได้โดยปรับตั้งค่าปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยตามค่าระดับที่เหมาะสม และทำการเก็บข้อมูลของเสียเป็นระยะเวลา 34 วัน ปริมาณการผลิตทั้งหมด 1,000,000 ชิ้น โดยหลังจากการติดตามผลการปรับปรุงกระบวนการ พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ลงจาก 2.36% เป็น 0.78% ซึ่งลดลงไปได้ 1.58% และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณการผลิตในปี 2566 ซึ่งจะมีการผลิตทั้งสิ้น 27,000,000 ชิ้น พบว่าจะสามารถช่วยลดต้นทุนของเสียลงจาก 5,499,036 บาทเหลือเพียง 1,826,099 บาท ซึ่งลดลงไปได้ถึง 3,672,937 บาทต่อปี

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P โดยประยุกต์ใช้แนวทางของ ซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบด้วย 5 ระยะ ได้แก่ ระยะการนิยามปัญหา ระยะการวัดสภาพปัญหาก่อนการปรับปรุง ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหา ระยะการปรับปรุงกระบวนการ และระยะการควบคุมกระบวนการโดยหลังจากการติดตามผลการปรับปรุงกระบวนการ พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอม

ในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ลงจาก 2.36% เป็น 0.78%

5. ข้อเสนอแนะ

1) สามารถนำผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้ ไปประยุกต์ใช้กับการลดข้อบกพร่องจากการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์อื่นได้ ทั้งนี้ต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เนื่องจากรูปแบบและรุ่นของเครื่องฉีดพลาสติก รวมไปถึงรูปแบบของแม่พิมพ์อาจมีความแตกต่างกันออกไป

2) สามารถนำขั้นตอนการดำเนินงานในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตของ

ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้ เพียงแต่อาจจะต้องมีการปรับบางส่วนให้เข้ากับปัญหาและกระบวนการผลิตนั้น ๆ

3) สำหรับงานวิจัยในอนาคตควรมีการศึกษาวិธีการในการตรวจสอบการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอมด้วยวิธีอื่นร่วมด้วย ที่สามารถตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มองไม่เห็นหรือมองเห็นได้ยากด้วยสายตา เพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบที่แม่นยำและเที่ยงมากยิ่งขึ้น เช่น การวิเคราะห์ทางเคมี เป็นต้น

4) เพื่อให้โครงการการปรับปรุงกระบวนการนั้นสำเร็จลุล่วงตามแผนที่วางไว้ คณะทำงานจำเป็นต้องมีการติดตามตามบทบาทหน้าที่ที่ได้รับตามสัญญาโครงการ และควรมีการประชุมเพื่อติดตามความคืบหน้าเป็นระยะ หากพบอุปสรรคระหว่างการเดินทางโครงการควรมีการวางแผนเพื่อหาทางออก และรายงานไปยังผู้บริหารเพื่อขอคำชี้แนะ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] W.G Frizelle, *Injection molding technology in Applied Plastics Engineering Handbook*. Elsevier, pp. 205-214, 2011.
- [2] S. Kulkarni, *Robust process development and scientific molding: theory and practice*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2017.
- [3] C.G Gogos and Z. Tadmor, *Principles of polymer processing*. John Wiley & Sons, 2013.
- [4] Petroleum Institute of Thailand. (2014, December) . Plastic Intelligence Monthly [Online]. Available: <http://plastic.oie.go.th>
- [5] W. Khumsamit, "Improvement of parameter setting for plastic injection molding process in case of mul ti-defect types," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Engineering, Chulalongkorn University, 2008.
- [6] I. Rattanabunditsakun, "Black dot defect reduction in plastic injection moulding process," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Engineering, Chulalongkorn University, 2014.
- [7] A. Maged, S. Haridy, S. Kaytbay and N. Bhuiyan, "Continuous improvement of injection moulding using Six Sigma: case study," *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 32(2): p. 243-266, 2019.
- [8] A. Alshammari et al., "Quality improvement in plastic injection molding industry: applying lean six sigma to SME in Kuwait," in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. 2018.
- [9] T. Rattanuengyot, "Defect reduction in plastic pipe extrusion process," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Engineering, Chulalongkorn University, 2014.
- [10] C. Rakthongthai, "Defective reduction from crack defects in painting process of motorcycle parts," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Engineering, Chulalongkorn University, 2020.
- [11] W. Saleesing, *Process Revolution by Six Sigma techniques of Champion and Black Belt*. Bangkok: Sirivatana Interprint, 2005.
- [12] K. Ploypanichcharoen, *Process Capability Analysis*. 4th ed. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan), 2006.
- [13] Measurement Systems Analysis (MSA), AIAG Standard, 4th ed. pp. 131-150, 2010.
- [14] C. Simion, "Measurement system analysis by attribute, an effective tool to ensure the quality of the visual inspection process within an organization," in *MATEC Web of Conferences EDP Sciences*, 2019. Vol. 290, p. 05004.
- [15] C. Marques et al., "Improving operator evaluation skills for defect classification using training strategy supported by attribute agreement analysis," *Measurement, Elsevier*, Vol. 119, pp. 129-141, 2018.
- [16] Y. Fasser and D. Brettner, *Process Improvement in the Electronics Industry*. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992.
- [17] T. Rakić et al., "Comparison of full factorial design, central composite design, and box-behnken design in chromatographic method development for the determination of

- fluconazole and its impurities," *Analytical Letters*, Vol. 47, Issue 8, pp. 1334-1347, 2014.
- [18] D.C. Montgomery, *Design and analysis of experiments* / Douglas C. Montgomery. 8th ed. Hoboken, N.J. : Wiley, 2013.
- [19] M. Chotivirat, "A defects reduction in plastic part process," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Engineering, Chulalongkorn University, 2007.