การลดของเสียจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการผลิตปลั๊กตัวเมีย

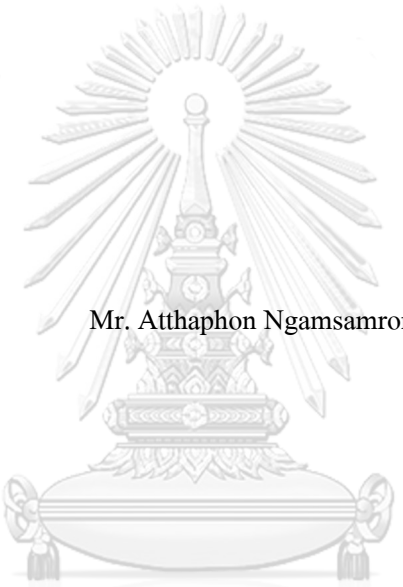
นายอรรถพล งามสำโรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEFECTIVE REDUCTION FROM FOREIGN MATERIAL CONTAMINATION IN FEMALE CONNECTOR PLUG MANUFACTURING PROCESS

Mr. Atthaphon Ngamsamrong



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการผลิตปลั๊กตัวเมีย
โดย	นายอรรถพล งามสำโรง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อรรถพล งามสำโรง : การลดของเสียจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการผลิตปลั๊กตัวเมีย. (DEFECTIVE REDUCTION FROM FOREIGN MATERIAL CONTAMINATION IN FEMALE CONNECTOR PLUG MANUFACTURING PROCESS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมีย โดยประยุกต์ใช้แนวทางของ ซิกซ์ ซิกมา หรือวิธีการ DMAIC ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด 5 ระยะ เริ่มตั้งแต่ระยะการนิยามปัญหาซึ่งได้เลือกศึกษากระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์รุ่น 6P ต่อมาในระยะการวัดสภาพปัญหาได้คำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบตรวจสอบ จากนั้นเป็นระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหา ซึ่งพบว่ามีปัจจัยที่มีนัยสำคัญ 5 ปัจจัย จากนั้นจึงเข้าสู่ระยะการปรับปรุงกระบวนการ ได้ทำการปรับปรุงปัจจัยนำเข้าที่ไม่สามารถปรับตั้งค่าได้ 2 ปัจจัย โดยจัดทำแผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่ให้มิดชิดกว่าเดิมและกำหนดความถี่ในการทำความสะอาดเป็น 1 ครั้งต่อกะ และทำการทดลองด้วยแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางสำหรับ 3 ปัจจัยที่เหลือและหาค่าระดับที่เหมาะสม ซึ่งผลที่ได้ คือ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน 1 วินาที และแรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ และในระยะสุดท้ายคือการควบคุมกระบวนการ ได้ทำการแก้ไขเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานและแผนควบคุม ซึ่งหลังจากการติดตามผลการปรับปรุงกระบวนการ พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ลงจาก 2.49% เป็น 0.78% ซึ่งลดลงไปได้ 1.71% และสามารถลดต้นทุนของเสียลงจาก 5,801,949 บาท เหลือเพียง 1,826,099 บาท ซึ่งลดลงไปได้ถึง 3,975,850 บาทต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2565 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6370328921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Defective Reduction, Six Sigma, Response Surface Design, Plastic Injection, Contamination defect

Atthaphon Ngamsamrong : DEFECTIVE REDUCTION FROM FOREIGN MATERIAL CONTAMINATION IN FEMALE CONNECTOR PLUG MANUFACTURING PROCESS. Advisor: Asst. Prof. Napassavong Osothsilp, Ph.D.

The objective of this research is to reduce defective rate from 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. After improvement, it was found that the defective rate from contamination defects of 6P female connector plug was reduced from 2.49% to 0.78%, which was reduced by 1.71%. In additional, the defective cost was reduced from 5,801,949 baht to 1,826,099 baht, which equivalent to a cost a saving of 3,975,850 baht per year.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Industrial Engineering	Student's Signature .....
Academic Year:	2022	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ถ้าไม่ได้ความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ ข้าพเจ้าขอใช้โอกาสนี้เพื่อกล่าวขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อมอบความรู้ และชี้แนะแนวทางตลอดระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่ได้มอบความรู้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำงานวิจัยนี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่านที่ได้ช่วยประสานงานต่าง ๆ ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ได้กรุณาให้ใช้ข้อมูลและทรัพยากรของโรงงานในการดำเนินงาน ขอขอบพระคุณคณะทำงานในงานวิจัยทุกท่านที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยทั้งทางตรงและทางอ้อม จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ชาย น้องชาย รวมทั้งแฟนและเพื่อน ๆ ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา มา ณ ที่นี้ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อรรถพล งามสำโรง

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา 2

1.3 การเลือกผลิตภัณฑ์และข้อบกพร่องที่จะทำการปรับปรุง 3

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 7

1.5 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย 7

1.6 ผลที่ได้รับ 7

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ 7

1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 7

1.9 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย 9

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการฉีดพลาสติก 10

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับซิกซ์ ซิกมา 15

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัย 18

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3 การนิยามปัญหา....37
3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน....37
3.2 สภาพปัญหาปัจจุบัน....37
3.3 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิต....39
3.4 การกำหนดตัวชี้วัดและเป้าหมาย....43
3.5 การสร้างสัญญาโครงการ....43
3.6 สรุประยะนิยามปัญหา....45
บทที่ 4 การวัดสภาพปัญหาก่อนการปรับปรุง....46
4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด (Attribute Agreement Analysis)....46
4.2 คำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้วัดสภาพปัญหา....52
4.3 สรุประยะการวัดสภาพปัญหาก่อนการปรับปรุง....53
บทที่ 5 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา....54
5.1 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า....54
5.2 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา....60
บทที่ 6 การปรับปรุงกระบวนการ....62
6.1 การเลือกแบบการทดลองที่ใช้ในงานวิจัย....62
6.2 การทดสอบสมมติฐานสำหรับรูปแบบของแผ่นรองกันเศษฝุ่น....63
6.3 ความถี่ในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง....66
6.4 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้า....68
6.5 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลอง....70
6.6 การสร้างตารางการออกแบบการทดลอง....72
6.7 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง....74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.8 ผลการทดลอง....74
6.9 การวิเคราะห์ผลการทดลอง....75
6.10 การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า....84
6.11 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ....86
บทที่ 7 การทดสอบยืนยันผล และการติดตามควบคุม....88
7.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง....88
7.2 การติดตามและควบคุมผล....90
7.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุง....95
7.4 สรุประยะการติดตามควบคุมผล....96
บทที่ 8 บทสรุป และข้อเสนอแนะ....97
8.1 สรุประยะการนิยามปัญหา....97
8.2 สรุประยะการวัดสภาพปัญหาก่อนการปรับปรุง....97
8.3 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา....98
8.4 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ....98
8.5 สรุประยะการติดตามควบคุม....99
8.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย....99
8.7 ข้อเสนอแนะ....100
8.8 การตีพิมพ์งานวิจัย....100
บรรณานุกรม....101
ประวัติผู้เขียน....103

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมยานยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีการเชื่อมโยงกันสูงของผู้ผลิตจากต้นน้ำไปยังปลายน้ำ การขยายตัวภายในอุตสาหกรรมจึงส่งผลทำให้อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์นั้นมีการเติบโตเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยมีรายงานจากสำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ/มิถุนายน 2564 ว่าการส่งออกชิ้นส่วนยานยนต์และอุปกรณ์ปี 2564 (ม.ค.-พ.ค.) มีมูลค่า 203,734 ล้านบาท ขยายตัวร้อยละ 25.72 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 6.21ของมูลค่าการส่งออกรวมทั้งประเทศโดยการส่งออกร้อยละ 64.94 มาจากส่วนประกอบและอุปกรณ์รถยนต์ มีมูลค่า 132,305.16 ล้านบาท ปรับตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 38.50 ซึ่งนับว่าเป็นความท้าทายที่ดีต่อผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในการพัฒนาเทคโนโลยีและยกระดับคุณภาพของสินค้าเพื่อสร้างความแตกต่างเหนือคู่แข่งและสามารถแข่งขันในตลาดได้อย่างยั่งยืน โรงงานกรณีศึกษาซึ่งเป็นผู้ผลิตสินค้าชิ้นส่วนยานยนต์จึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการมุ่งเน้นด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและความไว้วางใจให้กับลูกค้าทั้งผู้ผลิตรถยนต์ไปตลอดจนผู้ขับขี่ นอกจากนี้การมุ่งเน้นด้านคุณภาพยังสามารถช่วยลดต้นทุนจากของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตได้อีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โรงงานกรณีศึกษาประกอบกิจการการผลิตชิ้นส่วนปลั๊กตัวเมียสำหรับการเชื่อมต่อชิ้นส่วนสำคัญต่างๆ ภายในรถยนต์ โดยมีกระบวนการฉีดพลาสติกเป็นกระบวนการขั้นต้นในการผลิตเพื่อขึ้นรูปชิ้นส่วนก่อนที่จะนำไปประกอบเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในกระบวนการฉีดพลาสติกคือข้อบกพร่องกับผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุในการเกิดข้อบกพร่องนั้นก็มาจากหลายปัจจัย เช่น พารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ใช้ในการฉีดไม่เหมาะสม ขั้นตอนการทำงานที่ไม่เหมาะสม หรือแม้แต่การปฏิบัติงานที่ไม่ถูกต้องตามขั้นตอนปฏิบัติงาน เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะลดของเสียในกระบวนการผลิตที่มีสาเหตุมาจากกระบวนการฉีดพลาสติก เพื่อช่วยลดต้นทุนให้กับบริษัท อีกทั้งยังช่วยลดโอกาสที่ของเสียจะหลุดไปถึงมือลูกค้าอีกด้วย โดยผู้วิจัยได้นำทางของ ชิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากเป็นวิธีที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการปรับปรุงกระบวนการเพราะมีขั้นตอนการดำเนินงานที่เป็นลำดับขั้นและครอบคลุม โดยจะมีการใช้ข้อเท็จจริง เน้นการทำความเข้าใจกระบวนการที่เป็นอยู่ การวิเคราะห์

ข้อมูลทางสถิติ และรวมถึงการควบคุมกระบวนการหลังการปรับปรุงอีกด้วย ทั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อที่จะลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นซึ่งจะส่งผลให้บริษัทมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำลงได้

1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานที่ประกอบกิจการการผลิตชิ้นส่วนส่วนสำคัญต่างๆ ภายในรถยนต์ ซึ่งจำหน่ายทั้งในประเทศและส่งออกต่างประเทศ ประกอบด้วยหน่วยธุรกิจย่อย 2 หน่วย ได้แก่หน่วยธุรกิจการผลิตปลั๊กตัวเมียสำหรับใช้ในการเชื่อมต่อภายในรถยนต์ และหน่วยธุรกิจหัวฉีดแก๊สโซลีน โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะหน่วยธุรกิจการผลิตปลั๊กตัวเมียสำหรับใช้ในการเชื่อมต่อภายในรถยนต์ เท่านั้น

กระบวนการผลิตปลั๊กตัวเมียสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่นนั้นมีรายละเอียดที่แตกต่างกันออกไป ในที่นี้ขอกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการผลิตปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P เนื่องจากเป็นรุ่นที่มีปริมาณการผลิตสูงที่สุดและพบสัดส่วนของเสียมากที่สุด

1.2.1 กระบวนการผลิตปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

1) การตรวจรับวัตถุดิบ

วัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตที่ส่งมอบโดยผู้จัดหาภายนอก จะถูกตรวจสอบตามมาตรฐานที่กำหนดก่อนถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิต

2) กระบวนการฉีดพลาสติก

กระบวนการฉีดพลาสติกมีหน้าที่เพื่อขึ้นรูปชิ้นส่วนตัวเรือน (housing) ก่อนที่จะถูกส่งนำไปประกอบในขั้นตอนถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) กระบวนการตรวจสอบ

หลังจากการขึ้นรูปตัวเรือนแล้ว ชิ้นงานจะถูกสุ่มตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดเพื่อยืนยันคุณภาพก่อนที่จะถูกนำไปประกอบในขั้นตอนถัดไป

4) กระบวนการประกอบปลั๊กตัวเมีย

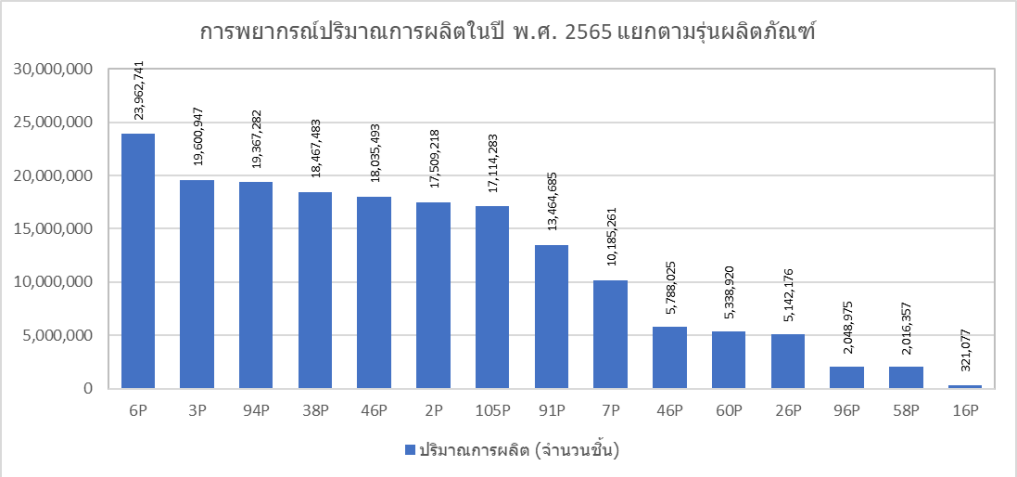
ชิ้นส่วนต่างๆ ตามรายการชิ้นส่วนในการผลิต (Bill of Materials) จะถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียด้วยเครื่องประกอบอัตโนมัติ

5) กระบวนการตรวจสอบและบรรจุ

ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจะถูกตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้ายตามมาตรฐานที่กำหนดและทำการบรรจุหีบห่อสำหรับเตรียมจัดส่งให้กับลูกค้า

1.3 การเลือกผลิตภัณฑ์และข้อบกพร่องที่จะทำการปรับปรุง

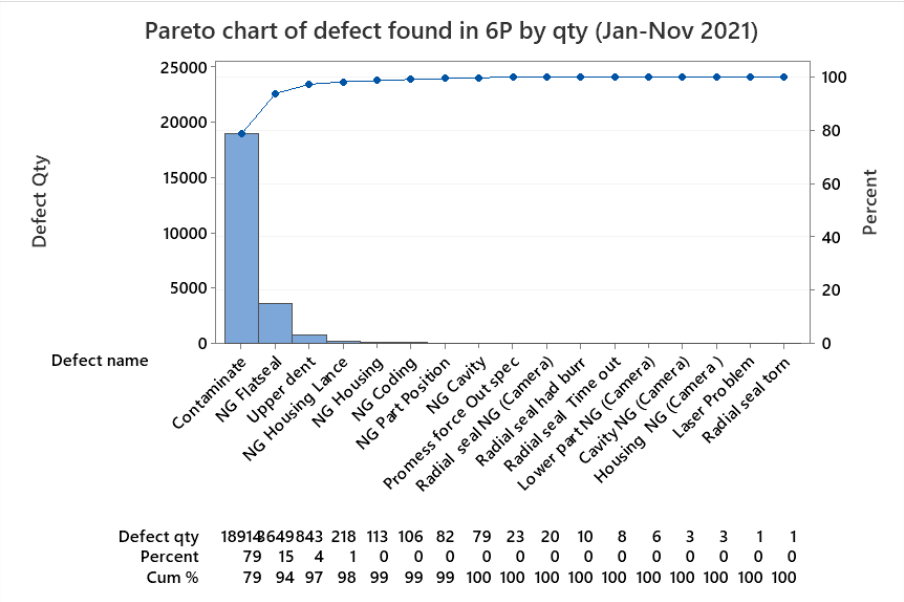
เมื่อพิจารณาจากการพยากรณ์ปริมาณการผลิตในปีพ.ศ. 2565 แสดงดังรูปที่ 1.1 พบว่าผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการพยากรณ์ปริมาณการผลิตในปีพ.ศ. 2565 สูงที่สุดและผลิตอย่างต่อเนื่องทุกเดือน ผู้ทำการวิจัยจึงเลือกผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P เพื่อนำมาศึกษาและหาโอกาสในการปรับปรุงเนื่องจากถ้าการปรับปรุงประสบความสำเร็จจะทำให้บริษัทมีโอกาสลดต้นได้สูง



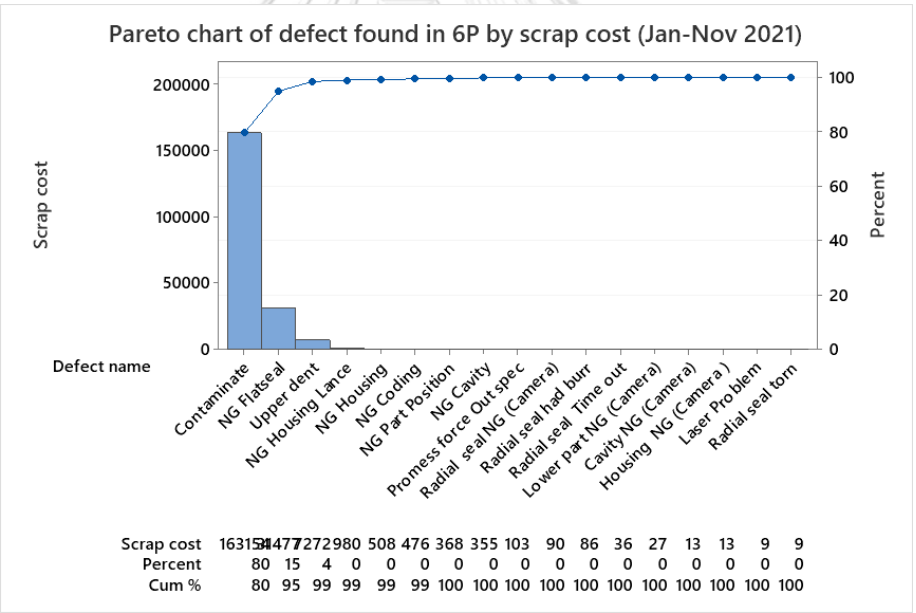
รูปที่ 1.1 การพยากรณ์ปริมาณการผลิตของปลั๊กตัวเมียรุ่นต่างๆ ในปี พ.ศ. 2565

โดยเมื่อได้ศึกษาประเภทของปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P จากข้อมูลในเดือนมกราคมถึงเดือนพฤศจิกายนปีพ.ศ. 2654 ด้วยแผนผังพาเรโตดังรูปที่ 1.2 และรูปที่ 1.3 พบว่าของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมนั้นมีจำนวนและต้นทุนของเสียสูงที่สุดเป็นอันดับหนึ่งโดยมีสัดส่วนเท่ากับ 79% และ 80% ตามลำดับ โดยที่ข้อบกพร่องแต่ละประเภทมีต้นทุนของเสียที่แตกต่างกัน นอกจากนี้รูปที่ 1.4 ได้แสดงให้เห็นว่าข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกเดือน ผู้วิจัยจึงเลือกปัญหาดังกล่าวเพื่อนำไปศึกษาและปรับปรุง

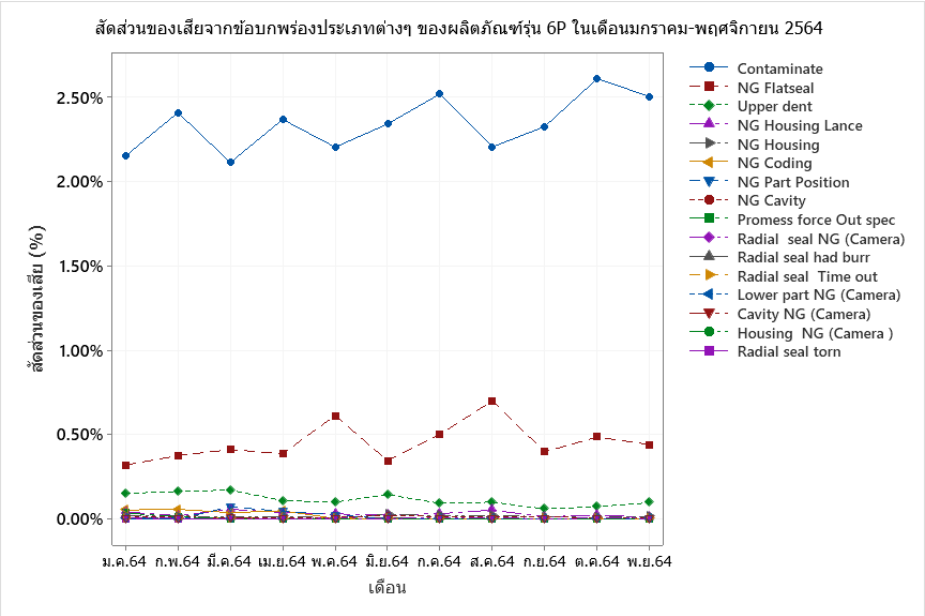
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 1.2 แผนผังพาเรโตจำนวนของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ในเดือนมกราคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2564



รูปที่ 1.3 แผนผังพาเรโตของต้นทุนของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ในเดือนมกราคม - พฤศจิกายน 2564

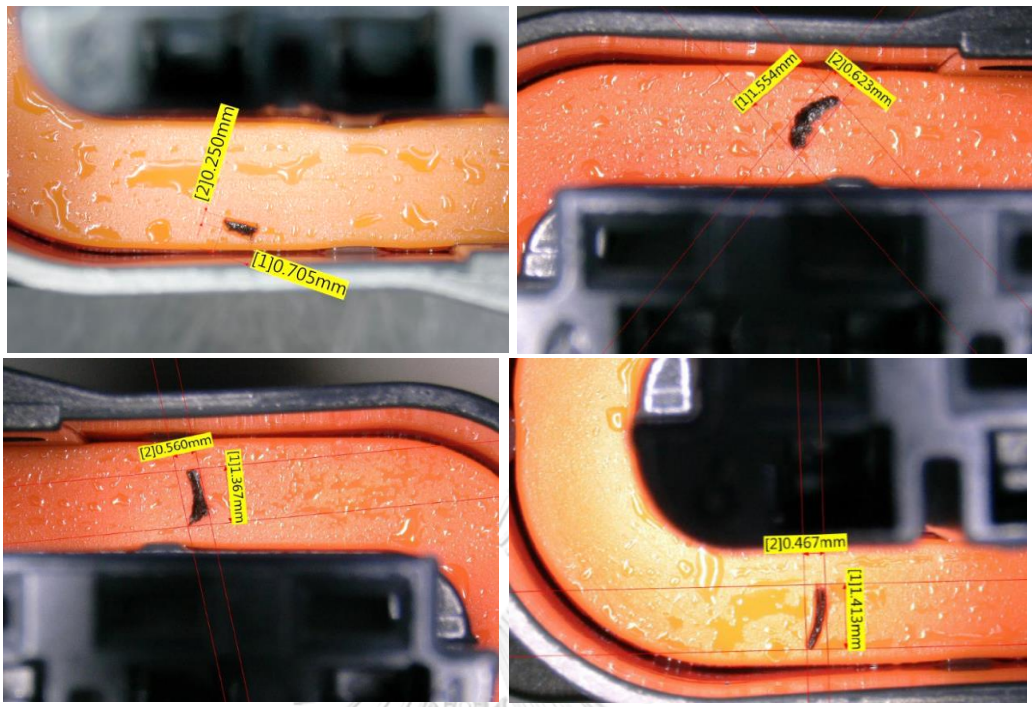


รูปที่ 1.4 สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ในเดือนมกราคม-พฤศจิกายน 2564

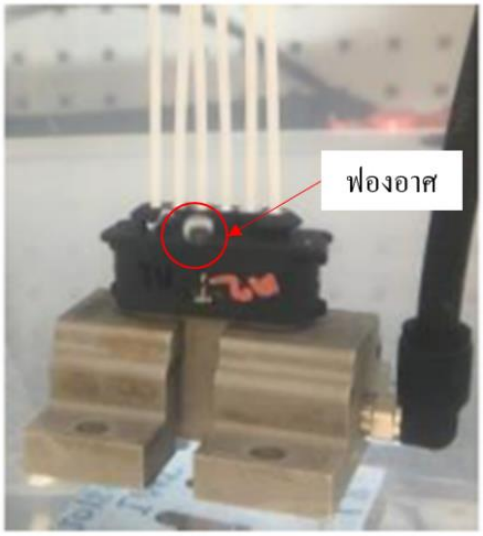
จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงเลือกทำการศึกษาและปรับปรุงของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

1.3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

ข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P นั้นจะถูกตรวจพบจากกระบวนการตรวจสอบคุณภาพด้วยสายตาที่กระบวนการสุดท้ายก่อนการบรรจุ ลักษณะของข้อบกพร่องที่พบคือจะมีสิ่งแปลกปลอมสีดำติดอยู่ที่ซีลของปลั๊กตัวเมีย ซึ่งตำแหน่งและขนาดของสิ่งแปลกปลอมที่พบในข้อบกพร่องแต่ละชิ้นนั้นจะเกิดขึ้นอย่างสุ่มโดยมีขนาดตั้งแต่ 0.1 มิลลิเมตร ถึง 2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1.5 ทั้งนี้พบว่าสิ่งแปลกปลอมที่มีขนาด 1 มิลลิเมตรขึ้นไปจะส่งผลทำให้สูญเสียฟังก์ชั่นการป้องกันการรั่วซึมซึ่งเป็นฟังก์ชั่นด้านความเชื่อมั่นของปลั๊กตัวเมียโดยเมื่อนำตัวอย่างข้อบกพร่องข้างต้นไปทำการทดสอบการรั่วซึมโดยประกอบเข้ากับจิ๊กทดสอบและจุ่มลงในน้ำที่ความลึก 30 เซนติเมตร และทำการปล่อยแรงดันขนาด 1 บาร์ เป็นระยะเวลา 60 วินาที พบว่ามีการรั่วซึมเกิดขึ้นโดยสังเกตได้จากฟองกาศที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.6 แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากการตรวจสอบคุณภาพด้วยสายตาไม่สามารถแยกขนาดของสิ่งแปลกปลอมได้ ดังนั้นเกณฑ์ในการยอมรับจึงไม่อนุญาตให้มีสิ่งแปลกปลอมติดที่ชิ้นงาน โดยข้อบกพร่องที่มีสิ่งแปลกปลอมทั้งหมดที่พบจะต้องทำการแยกออกเพื่อรอทำลายในลำดับต่อไปไม่ว่าสิ่งแปลกปลอมจะมีขนาดเท่าใดก็ตาม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกทำการศึกษาสิ่งแปลกปลอมทุกขนาดที่พบ



รูปที่ 1.5 ตัวอย่างข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ 1.6 ตัวอย่างการรั่วซึมของข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

จากข้อมูลการศึกษาก่อนหน้านี้ของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าสิ่งแปลกปลอมดังกล่าวได้รับการปนเปื้อนมาจากกระบวนการฉีดพลาสติกเนื่องจากพบว่าเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกันกับวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปชิ้นส่วน A ซึ่งจะไปติดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของชิ้นส่วน A และหลุดออกมาติดที่บริเวณ

ซีลหลังจากการประกอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกทำการศึกษาสิ่งแปลกปลอมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฉีดพลาสติกเป็นหลักเนื่องจากเป็นกระบวนการที่เป็นต้นเหตุของการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม

ข้อบกพร่องทุกประเภทเมื่อมีการตรวจสอบพบ จะต้องถูกนำไปทำลายได้เพียงอย่างเดียว เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาไม่อนุญาตให้มีการซ่อมแซมข้อบกพร่องทุกชนิดภายในโรงงานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดข้อบกพร่องอื่นที่อาจเป็นผลข้างเคียงของขั้นตอนการซ่อมแซม ดังนั้นจึงทำให้มีต้นทุนของเสียเกิดขึ้นซึ่งสามารถคำนวณได้จากต้นทุนในการผลิตทั้งหมดตั้งแต่วัตถุดิบจนกระทั่งได้เป็นผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดสัดส่วนของเสียและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมีย

1.5 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาและปรับปรุงข้อบกพร่องประเภทการการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P เท่านั้น
2) ปรับปรุงเฉพาะสาเหตุที่สามารถจัดทำให้แล้วเสร็จภายในระยะเวลาโครงการ หรือภายในสิ้นเดือนพฤศจิกายน 2565 เท่านั้น

1.6 ผลที่ได้รับ

1) ระดับค่าปรับตั้งที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สามารถลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P
2) วิธีการปฏิบัติงานและการควบคุมหลังการปรับปรุงที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) ลดของเสียและต้นทุนจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมสำหรับผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P
2) วิธีการปรับปรุงที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการปรับปรุงในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่นอื่น ๆ

1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นและกำหนดหัวข้องานวิจัย
    1) จัดตั้งคณะทำงานเพื่อร่วมทำการวิเคราะห์ปัญหาและปรับปรุงกระบวนการ จากผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์ในกระบวนการผลิต

2) เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียที่พบในอดีต เพื่อทำการเลือกรุ่นผลิตภัณฑ์และข้อบกพร่องที่ควรปรับปรุง
3) ศึกษาสภาพปัญหา
4) ศึกษากระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับรุ่นผลิตภัณฑ์และข้อบกพร่องที่เลือกมาปรับปรุง
5) กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงกระบวนการ
6) เขียนสัญญาโครงการ

2. การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
   1) ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก
   2) ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับขั้นตอนการดำเนินการปรับปรุงหรือลดของเสียในกระบวนการผลิต
3. การวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบข้อบกพร่อง
   1) วิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตา (Attribute agreement analysis)
4. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา
   1) ระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and effect diagram)
   2) คัดกรองและจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่เป็นไปได้ เพื่อทำการเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีความเกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องมากที่สุดไปศึกษาต่อไป
5. การปรับปรุงกระบวนการ
   1) ทำการทดลองโดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อพิสูจน์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยและหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า
   2) ดำเนินการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้
   3) วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล
   4) ทดสอบยืนยันผลโดยการเก็บข้อมูลหลังการกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า
   5) สรุปผลการปรับปรุง เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง
6. การควบคุมกระบวนการ

   แก้ไขเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อทำให้มั่นใจว่าปัจจัยที่ส่งผลได้มีการนำไปใช้และควบคุมอย่างเหมาะสม ได้แก่ การแก้ไข แผนควบคุม และเอกสารวิธีการปฏิบัติงาน
7. สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.9 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ลำดับขั้น	ขั้นตอนการดำเนินการ	ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย													
		พ.ย. 64	ธ.ค.65	ม.ค.65	ก.พ. 65	มี.ค. 65	เม.ย. 65	พ.ค. 65	มิ.ย. 65	ก.ค. 65	ส.ค. 65	ก.ย. 65	ต.ค. 65	พ.ย. 65	ธ.ค. 65
1	การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นและกำหนดหัวข้องานวิจัย														
2	การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง														
3	การวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบข้อบกพร่อง														
4	การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา														
5	การปรับปรุงระบวนการ														
6	การควบคุมกระบวนการ														
7	สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ														
8	จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์														

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

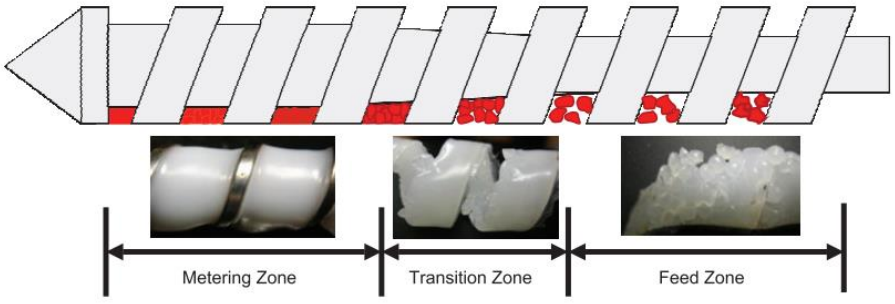
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการฉีดพลาสติก

2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการฉีดพลาสติก

กระบวนการฉีดพลาสติก คือ การแปรรูปพอลีเมอร์เหลวผ่านกระบวนการฉีดอัดเข้าในแม่พิมพ์เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานตามแบบของแม่พิมพ์ ซึ่งพอลีเมอร์ส่วนมากที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ คือ พอลีเมอร์ประเภท Thermoplastics ซึ่งมีคุณสมบัติของการหลอมเหลวและขึ้นรูปด้วยความร้อนได้ ซึ่งกระบวนการฉีดพลาสติกประกอบด้วย 6 ขั้นตอน [1] ดังนี้

1. แม่พิมพ์ปิดลง และสัญญาณจะถูกส่งไปยังหน่วยการฉีด

2. สกรูเคลื่อนไปข้างหน้าทำหน้าที่เป็นลูกสูบ ทำให้พลาสติกไหลผ่านระบบนำส่ง (หัวฉีด สปรู รันเนอร์ และทางเข้า) เข้าไปในโพรงแม่พิมพ์ รูปที่ 2.1 แสดงการหลอมละลายของพลาสติกขณะเคลื่อนที่ผ่านแต่ละส่วนของสกรู ในเขตการป้อน (Feed Zone) เม็ดจะเริ่มนิ่มและเริ่มเกาะติดกัน และเมื่อเดินทางไปยังเขตเปลี่ยนผ่าน (Transition Zone) จะมีการรวมกันของพลาสติกที่ละลายแล้วและยังไม่ละลาย จากกนั้นเมื่อพลาสติกเดินทางไปถึงเขตส่งรีด (Metering Zone) จะเป็นช่วงที่มีการเฉือนกันของพลาสติกมากที่สุด ซึ่งจะเพิ่มการหลอมละลายของพลาสติกบางส่วนที่ยังหลอมละลายไม่ดีพอเพื่อที่จะทำการฉีดพลาสติกต่อไป [2]



รูปที่ 2.1 การหลอมละลายของพลาสติกขณะเคลื่อนที่ผ่านส่วนต่างๆ ของสกรู

3. สกรูทำหน้าที่ฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ตามแนวแกน โดยในระยะแรกจะเป็นการเติมน้ำพลาสติกให้เต็มโพรงแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว และหลังจากนั้นจะย้ำรักษาความดันให้กับพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานเนื้อแน่นก่อนที่จะเริ่มการหล่อเย็นชิ้นงานฉีดในแม่พิมพ์ เมื่อได้ปริมาณพลาสติกเหลวตามที่ต้องการแล้วเกลียวหนอนจะหยุดหมุน และชุดฉีดจะถอยหลังกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิของหัวฉีดลดต่ำเกินไป

4. ทางน้ำพลาสติกเข้า (Gate) จะแข็งตัวและคาวิตี้จะแยกออกจากกัน และแรงดันขั้นที่สอง (Second stage pressure) จะเริ่มขึ้นเพื่อให้ชิ้นงานมีการแข็งตัวที่สมบูรณ์ และในระหว่างนี้สกรูจะหมุนเตรียมวัสดุสำหรับช็อตต่อไปก่อนที่แม่พิมพ์จะเปิดออก

5. แม่พิมพ์จะเปิดออก และทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

6. แม่พิมพ์จะทำการปิดอีกครั้งและทำซ้ำไปเรื่อย ๆ ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึง 6 โดยระยะเวลาระหว่างขั้นตอนที่ 1 ถึง 6 คือรอบเวลา (Cycle time) ซึ่งเป็นตัววัดความสามารถในการผลิตของกระบวนการ

2.1.2 องค์ประกอบในการฉีดพลาสติก

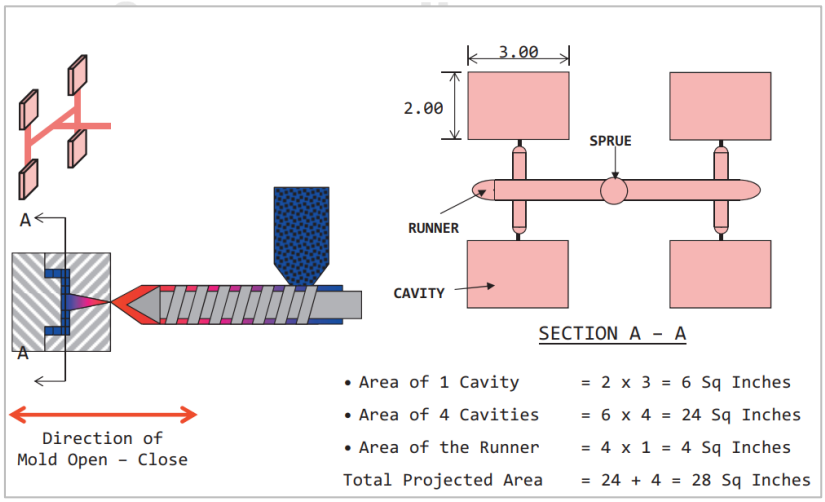
นอกจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในการฉีดที่เหมาะสมแล้วยังต้องทำการศึกษาองค์ประกอบใน การฉีดพลาสติก เพื่อให้ได้คุณภาพของชิ้นงานฉีดที่ดี ซึ่งมีอยู่ 6 ส่วน ดังนี้

1. วัตถุดิบพลาสติก (Material)

มีการเลือกชนิดและเกรดของพลาสติกได้อย่างถูกต้อง เหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่ มีการเตรียมวัตถุดิบพลาสติกได้เหมาะสมหรือไม้ เช่น ต้องทำการอบไล่ความชื้นออกจากเม็ดพลาสติกหรือไม่ ถ้ามี ต้องใช้เวลาและอุณหภูมิในการอบไล่ความชื้นอย่างไร สีที่ ใช้สารเติมแต่งต่าง ๆ จำเป็นหรือไม่ โดยประเภทของพลาสติกสามารถแบ่ง

2. แม่พิมพ์ฉีด (Mold)

[2] มีการออกแบบอย่างเหมาะสมดีหรือไม่ เช่น ลักษณะของแม่พิมพ์ เป็นแบบ 2 แผ่น 3 แผ่น หรืออื่น ๆ จำนวนของคาวิตี้ (Cavity) ระบบการหล่อเย็นภายในแม่พิมพ์ ระบบคลายและปลดชิ้นงาน ตำแหน่งรอยประกบแม่พิมพ์ ขนาดของทางน้ำพลาสติกวิ่ง (Runner) และทางน้ำพลาสติกเข้า (Gate) ตำแหน่งของทางน้ำพลาสติกเข้า การระบายอากาศออกจากแม่พิมพ์



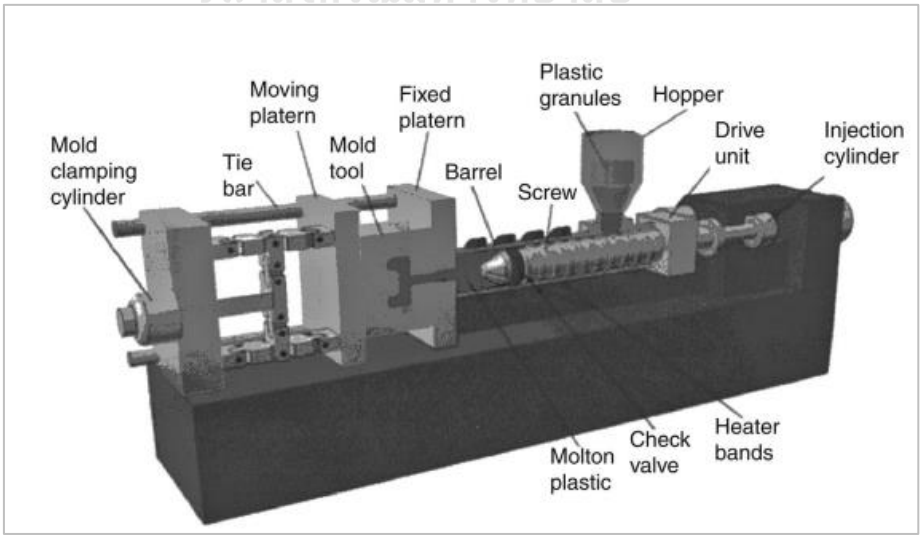
รูปที่ 2.2 พื้นที่ฉายของชิ้นงานบนแม่พิมพ์

3. เครื่องฉีด (Machine)

การเลือกขนาดเครื่องฉีด [1] เช่น ขนาดของแรงปลดแม่พิมพ์ ปริมาณเนื้อพลาสติกและแรงดันฉีดของเครื่องฉีดควรเพียงพอต่อขนาดของชิ้นงานที่จะทำการฉีด ความเร็วในการทำงานของเครื่องฉีดสามารถทำ Cycle Time ได้ตามความต้องการ ความดันฉีด ความเร็วฉีด และความดันย้ำซึ่งมีอยู่หลายจังหวะให้เลือกใช้ เครื่องฉีดขึ้นรูปสามารถจำแนกได้หลายวิธี ตามการเคลื่อนที่ของแคลมป์ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทได้เป็นเครื่องขึ้นรูปแคลมป์แนวนอนหรือแคลมป์แนวตั้ง แสดงดังรูปที่ 2.3 และองค์ประกอบของเครื่องฉีดพลาสติกแสดงดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.3 การจำแนกประเภทเครื่องฉีดพลาสติกตามตำแหน่งแคลมป์และหัวฉีด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

4. วิธีการหรือพารามิเตอร์ที่ปรับตั้งการฉีด

พารามิเตอร์ที่จะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานและจำเป็นต้องควบคุมในขั้นตอนการฉีดพลาสติก [3] มีดังนี้

- อุณหภูมิพลาสติกเหลว (Melt Temperature) คือ อุณหภูมิที่ปลายหัวฉีด การเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานแต่ละชนิดนั้นมีตัวแปรที่สำคัญได้แก่ ชนิดของพลาสติก เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิพลาสติกเกิดการเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ ของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น ค่าความหนืด (Viscosity) ค่าเอนทาลปี (Enthalpy) และปริมาณจำเพาะ (Specific Volume) เป็นต้น
- อุณหภูมิกระบอกฉีด (Barrel Temperature) คือ แผ่นความร้อนที่ติดอยู่กับกระบอกฉีด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิกระบอกฉีดจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนหน้า ส่วนกลาง และส่วนหลัง
- อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) อุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิแม่พิมพ์จะมีอิทธิพลต่อความดันแม่พิมพ์
- ระยะชักสกรู (Metering Stoke) คือ ระยะพลาสติกเหลวหน้าสกรู ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปริมาณพลาสติกเหลวที่ต้องการฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1 ถึง 3 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู
- ระยะเวลาที่พลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกฉีด (Resident Time) เป็นเวลาที่พลาสติกเหลวแช่ในกระบอกฉีด ซึ่งถ้าหากมีการแช่นานเกินไปก็จะส่งผลให้พลาสติกเสื่อมสภาพได้
- ระยะสำรอง (Cushion) คือ ระยะที่ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการแทรกตัวของหัวฉีดกับแม่พิมพ์ โดยจะต้องตั้งค่านี้ไว้ภายในกระบอกฉีด ซึ่งจะป้องกันไม่ให้พลาสติกเกิดการเปลี่ยนแปลงและการไหลย้อนกลับได้ ระยะสำรองที่เหมาะสมจะสามารถชดเชยการหดตัวของพลาสติกที่ถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์
- ความเร็วรอบสกรู (Screw Speed) ความเร็วรอบสกรูนั้นมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของพลาสติกเหลว และระยะเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติก ถ้าหากความเร็วรอบสกรูสูงก็จะทำให้อุณภูมิของพลาสติกเหลวสูงขึ้น แต่จะทำให้ระยะเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติกเหลวสั้นลง
- ความดันต้านทานการถอยกลับสกรู (Back Pressure) คือ ความดันที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งด้านท้ายของสกรู โดยทั่วไปพลาสติกจะเข้าสู่กระบอกฉีดได้สม่ำเสมอหรือไม่นั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จำเป็นต้องอาศัยความดันต้านการถอยกลับของสกรู เพื่อควบคุมระยะเวลาในการหมุนตัวถอยหลังของสกรูให้ป้อนพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีด

- ระยะเปลี่ยนจากจังหวะเติมเป็นฉีดย้ำ (Change Over) เป็นการเติมเนื้อพลาสติกเหลวปริมาตรประมาณ 90 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์เข้าในโพรงแม่พิมพ์ จากนั้นจึงฉีดย้ำเพื่อเติมเนื้อพลาสติกเหลวที่เหลืออีก 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์เข้าในโพรงแม่พิมพ์ จากนั้นจึงรักษาความดันย้ำจนกว่ารูทางเข้าจะปลด
- ความเร็วฉีด (Injection Speed) คือ ความเร็วของสกรูที่เคลื่อนที่เพื่อทำหน้าที่ดันพลาสติกเหลวให้ไปอยู่ที่หัวฉีดและเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยมีระบบไฮโดรลิกเป็นตัวขับเคลื่อน ความเร็วฉีดและความดันฉีดนั้นจะเป็นสิ่งที่เกิดคู่กัน โดยถ้าใช้ความเร็วฉีดสูงก็จะทำให้ความดันฉีดสูงขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน
- ความดันฉีด (Injection Pressure) คือ ความดันที่ทำให้พลาสติกเหลวที่อยู่หน้าสกรูฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ ซึ่งสามารถปรับจากความดันไฮโดรลิก โดยพลาสติกเหลวจะสามารถเข้าสู่แม่พิมพ์ได้เต็มตามต้องการหรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับความดันฉีด
- เวลาในการฉีดย้ำ (Holding Time) เวลาในการฉีดย้ำมีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน โดยถ้าหากเวลาในการฉีดย้ำน้อยเกินไปจะทำให้ความดันแม่พิมพ์คงสภาพได้ไม่นานตามที่ควรจะเป็นและจะทำให้พลาสติกเหลวไม่เต็มแม่พิมพ์ได้ โดยควรใช้เวลาในการฉีดย้ำประมาณ 1 ถึง 3 วินาที
- แรงปลดแม่พิมพ์ (Clamping Force) เพื่อป้องกันไม่ให้แม่พิมพ์เผยออกขณะที่กำลังทำการฉีด แรงปลดแม่พิมพ์จำเป็นต้องเพียงพอที่จะไม่ให้พลาสติกเหลวไหลออกมาได้ ซึ่งส่งผลทำให้เกิดครีบในชิ้นงานได้
- เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) การหล่อเย็นทำให้พลาสติกเย็นตัวก่อนที่จะปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ หากเวลาในการหล่อเย็นนานเกินไปจะทำให้มีอัตราการผลิตลดลง แต่ถ้าหากเวลาในการหล่อเย็นเร็วเกินไปก็อาจทำให้เกิดการหดตัวและบิดเบี้ยวระหว่างการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้

5. พนักงานควบคุมเครื่อง (Man)

จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับวัตถุดิบพลาสติก แม่พิมพ์ และเครื่องฉีดที่จะใช้ โดยเฉพาะฟังก์ชั่นและปุ่มควบคุมต่าง ๆ ของเครื่องฉีด โดยจะต้องทำการตรวจสอบการทำงานของเครื่องฉีดและการตรวจสอบดูชิ้นงานในระหว่างการฉีดอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ต้องสามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ และสามารถวิเคราะห์ปัญหาหาสาเหตุเบื้องต้นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. การจัดการในการฉีด (Management)

การวางแผนการผลิตอย่างเหมาะสม เช่น วางแผนลำดับในการฉีดตามลำดับชนิดของพลาสติก ลักษณะความเข้มของสีพลาสติก รูปร่างและขนาดของชิ้นงาน ขนาดแม่พิมพ์ปริมาณความต้องการของลูกค้า เป็นต้น

2.1.6 พลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์

- ชิ้นส่วนพลาสติกที่ใช้ภายนอกรถยนต์ (Exterior Parts) [4] ชิ้นส่วนพลาสติกสำหรับที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนภายนอกรถยนต์นั้น ต้องมีความคงทนต่อสภาพอากาศสูง จากการเปลี่ยนแปลงของอากาศภายนอกรถยนต์ ตามสภาวะอากาศของภูมิภาคนั้นๆ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิต่ำ ภายใต้อุณหภูมิที่ติดลบก็คงทนไม่แตกหัก เช่น PP PC PBT PVC และ ABS เป็นต้น ทั้งนี้อาจจะต้องมีการเคลือบปกปิดผิว เช่น ชุบโครเมียม หรือพ่นสีทับเพื่อความคงทน
- ชิ้นส่วนพลาสติกสำหรับที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนภายในรถยนต์ (Interior Parts) [4] ต้องมีคุณสมบัติคงทนต่อแสง (UV resistance) เพราะแสงจะผ่านเข้ามาทางกระจก ถึงภายในห้องโดยสาร ท้าให้อุณหภูมิขึ้น วัสดุที่ใช้จึงต้องทนทานในสภาวะอุณหภูมิ หากจอดรถยนต์ไว้กลางแสงแดดอุณหภูมิภายในห้องโดยสารจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกตัวรถ เช่น อุณหภูมิภายนอกอาจจะอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส แต่ภายในห้องโดยสารอาจจะสูงถึง 80 องศาเซลเซียสเลยก็ได้ หากจอดทิ้งไว้เป็นเวลานาน แต่หากเมื่อเปิดประตูให้ลมผ่านเข้าไปในตัวรถ อุณหภูมิก็จะลดลงได้อย่างรวดเร็ว คุณสมบัติอีกประการหนึ่งของชิ้นส่วนภายในรถยนต์นั่นคือ ชิ้นส่วนที่สัมผัสกับผู้โดยสารได้ เมื่อเกิดอุบัติเหตุจะต้องแตกหักได้ยาก หากแตกหักจะต้องไม่มีความคม ที่สามารถมาทำความอันตรายต่อผู้ขับขี่และผู้โดยสารได้ เช่น PVC compounds, Thermoplastic Elastomer, PP Composite และ PP Fiber เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- Power-train Room parts (Engine parts) [4] ชิ้นส่วนพลาสติกที่ใช้ในห้องเครื่องยนต์ คุณสมบัติหลักของชิ้นส่วนพลาสติกภายในห้องเครื่องยนต์นั้นจะต้องทนต่ออุณหภูมิสูง เพราะเมื่อเครื่องยนต์ท้างานจะส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องเครื่องยนต์สูงขึ้น นอกจากนี้จะต้องมีความคงทนต่อการใช้ง่าย ไม่แตกหักได้ง่าย ได้แก่ PP Nylon (PA) PE เป็นต้น

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับซิกซ์ ซิกมา

2.2.1 ความหมายของซิกซ์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมา มีความหมายในหลายนัย กล่าวได้ว่า ซิกซ์ ซิกมา เป็นวิสัยทัศน์ ปรัชญา ระบบบริหารคุณภาพ ขั้นตอนและเครื่องมือในการปรับปรุงคุณภาพ หรือระดับคุณภาพของกระบวนการก็ว่าได้ [5]

- **ซิกซ์ ซิกมา เป็นวิสัยทัศน์** คือ การทำให้ลูกค้าพึงพอใจโดยการส่งมอบสินค้าที่มีคุณภาพระดับโลกหรือระดับซิกซ์ ซิกมา
- **ซิกซ์ ซิกมา เป็นปรัชญา** คือ การประยุกต์แนวทางที่มีโครงสร้างที่เป็นระบบในการปรับปรุงคุณภาพอย่างก้าวกระโดดในทุก ๆ ส่วนของธุรกิจ
- **ซิกซ์ ซิกมา เป็นระบบบริหารคุณภาพ** คือ มีการจัดการในเรื่องการบริหารทรัพยากรบุคคล เครื่องมือ และเงินเพื่อสนับสนุนให้เกิดการปรับปรุงงานได้ ในส่วนการบริหารบุคคล ซิกซ์ ซิกมา ได้กำหนดบทบาทและความรับผิดชอบของบุคลากรไว้เป็นตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าองค์กรจะมีบุคลากรที่พร้อมด้วยความรู้และเวลาที่จะดำเนินโครงการปรับปรุงคุณภาพงานได้อย่างสำเร็จ
- **ซิกซ์ ซิกมา เป็นขั้นตอนและเครื่องมือในการปรับปรุงคุณภาพ** คือ ซิกซ์ ซิกมา กำหนดขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพไว้ ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ในแต่ละขั้นตอนก็ได้รวบรวมเครื่องมือหลัก ๆ ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนไว้อย่างชัดเจน
- **ซิกซ์ ซิกมา เป็นระดับคุณภาพ** คือ การมีความผันแปรในกระบวนการในระดับที่น้อยมาก นั่นคือ หากกระบวนการมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ค่าเป้าหมาย ความผันแปรในระดับซิกซ์ ซิกมา หมายถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่สนใจจะเป็น 1 ใน 6 ของระยะห่างระหว่างขีดจำกัดข้อกำหนดกับค่าเป้าหมาย ซึ่งจะมีสัดส่วนของเสียอยู่ในระดับ 0.002 ชิ้นในล้านชิ้น (part per million: ppm) เท่านั้น

2.2.2 ระดับคุณภาพซิกซ์ ซิกมา

ระดับคุณภาพซิกมา (Sigma Quality Level) แบ่งความสามารถของกระบวนการเป็น 6 ระดับ แสดงดังตารางที่ 2.1 สมมติว่ากระบวนการมีระดับคุณภาพที่ 3 ซิกมา นั่นคือกระบวนการผลิตชิ้นงานดีคิดเป็น 93.32 เปอร์เซ็นต์ หรือผลิตของเสียจำนวน 66,807 ชิ้น ต่อโอกาสในการผลิตจำนวนหนึ่งล้านชิ้น (PPM) และที่ระดับสูงสุด คือระดับ 6 ซิกมา กระบวนการจะผลิตชิ้นงานดีคิดเป็น 99.999660 เปอร์เซ็นต์ หรือผลิตของเสียจำนวน 3.4 ชิ้นต่อโอกาสในการผลิตจำนวนหนึ่งล้านชิ้น (PPM) ตัวเลขในตารางที่ 2.1 นั้น ได้จากการคำนวณค่าทางสถิติของการแจกแจงแบบปกติ โดยยอมให้มีการขยับของกระบวนการได้เท่ากับ 1.5σ (หรือที่เรียกว่า Mean Shifted) เนื่องจากกระบวนการไม่ได้อยู่นิ่ง ๆ อาจจะมีการขยับซ้ายขยับขวาตลอดเวลา ดังนั้นนักอุตสาหกรรมศาสตร์จึงกำหนดค่าเผื่อ (Allowance) ยอมให้กระบวนการขยับไปขยับมาได้เล็กน้อย แต่ต้องไม่เกิน 1.5σ เพราะถ้าใช้ค่าอัตราของเสียที่ยอมให้มีได้ ณ ระดับ 60 ตามทฤษฎีคงเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ [6]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.1 ระดับคุณภาพซิกมา (Sigma Quality Level)

ระดับคุณภาพซิกมา	ทฤษฎี		เผื่อ 1.5σ	
	เปอร์เซ็นต์ของดี	ของเสีย (PPM)	เปอร์เซ็นต์ของดี	ของเสีย (PPM)
1	68.27	317,300	30.23	697,700
2	95.45	45,500	69.13	308,700
3	99.73	2,700	93.32	66,810
4	99.9937	63.4	99.379	6,210
5	99.999943	0.57	99.9767	233
6	99.9999998	0.00198	99.99966	3.4

2.2.3 ขั้นตอนของการปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา

ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนที่เรียกว่า DMAIC [5] ดังนี้

- **ขั้นตอนที่ 1 การนิยามปัญหา (Define Phase: D)** ในขั้นตอนนี้จะระบุความสำคัญทางธุรกิจ สภาพปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต เงื่อนไข และสมมติฐานของโครงการปรับปรุงคุณภาพ รวมทั้งกำหนดทีมงานปรับปรุงคุณภาพและแผนการดำเนินงานโครงการ

- **ขั้นตอนที่ 2 การวัดสภาพปัญหา (Measure Phase: M)** ในขั้นตอนนี้จะมีการเก็บข้อมูลเพื่ออธิบายสภาพปัญหาด้วยวิธีการที่มั่นใจได้ว่าให้ค่าเชื่อถือได้ และเก็บข้อมูลสนับสนุนในการกำหนดสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา ก่อนที่จะเก็บข้อมูลจำเป็นต้องมีการวางแผนการเก็บข้อมูล และทำการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดเสียก่อน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบการวัดจะให้ค่าที่เชื่อถือได้ เมื่อได้ข้อมูลมาแล้ว จึงทำการคำนวณค่าตัวชี้วัดที่แสดงถึงระดับความสามารถของกระบวนการหรือสภาพปัญหาในปัจจุบัน

- **ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase: A)** ในขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหจ้าที่มีนัยสำคัญต่อปัญหา ก่อนหน้านั้นต้องเริ่มจากการระดมสมองหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา หากจำนวนของสาเหตุที่เป็นไปได้มีมาก จะต้องมีการกรองจำนวนสาเหตุหรือปัจจัยลงก่อนที่จะนำไปทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าสาเหตุหรือปัจจัยใดมีนัยสำคัญต่อปัญหา จะได้นำไปสู่การปรับปรุงที่ตรงจุดในขั้นตอนการปรับปรุงต่อไป โดยในการพิสูจน์ว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญต่อปัญหา อาจต้องมีการออกแบบการทดลอง เก็บผลการทดลอง และนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติเพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญหรือเป็นสาเหตุรากเหง้าของปัญหา

- **ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase: I)** ในขั้นตอนนี้หลังจากทราบว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญหรือเป็นสาเหตุรากเหง้าของปัญหาแล้ว ก็จะทำการปรับปรุงแก้ไขสาเหตุนั้น หากเป็นสาเหตุหรือปัจจัยที่เป็นค่าปรับตั้งเครื่องจักร ก็จะทำการออกแบบการทดลองและทำการทดลองเพิ่มเติมด้วยแบบการทดลองที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อตัดสินใจว่าจะตั้งค่าปรับตั้งของพารามิเตอร์บนเครื่องจักรที่มีนัยสำคัญต่อปัญหานั้นไว้ที่ค่าใดที่จะให้ผลที่ดีที่สุดหากเป็นปัจจัยที่ปรับปรุงได้โดยการจัดการก็จะกำหนดทางเลือกในการปรับปรุงและวิเคราะห์เปรียบเทียบแต่ละทางเลือกตามเกณฑ์พิจารณาต่าง ๆ และเลือกทางเลือกที่เหมาะสมในการนำไปใช้ปรับปรุง จากนั้นทำการเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันว่าวิธีการปรับปรุงที่ได้เลือกใช้ให้ผลการปรับปรุงที่ดีขึ้นจริงตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ หากได้ผลตามเป้าหมาย ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการหลังการปรับปรุงต่อไป หากไม่ได้ผลตามเป้าหมาย ก็จะต้องทำการปรับปรุงด้วยวิธีการอื่น ๆ เพิ่มเติมจากที่ได้ทำไปแล้ว เพื่อให้ได้ผลการปรับปรุงที่ดีขึ้นตรงตามเป้าหมายต่อไป
- **ขั้นตอนที่ 5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase)** หลังจากที่ได้วิธีการปรับปรุงที่ได้ผลตามเป้าหมายแล้ว ผู้ดำเนินโครงการจะต้องจัดทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามวิธีการที่ได้ปรับปรุงขึ้นมา รวมทั้งจัดทำแผนควบคุมกระบวนการให้เหมาะสม โดยระบุถึงสิ่งที่จะต้องควบคุม เครื่องมือ และวิธีการในการควบคุมกระบวนการที่เหมาะสม เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลลัพธ์ที่ดีขึ้นหลังจากการปรับปรุงนั้นจะอยู่อย่างยั่งยืนต่อไป

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัย

2.3.1 แผนผังกระบวนการ (Process Mapping)

ในการแสดงแผนผังขั้นตอนการทำงานโดยละเอียดสามารถแสดงได้โดยแผนผังการไหลของกระบวนการ (Process Flow Diagram) ซึ่งเป็นแผนผังที่แสดงถึงขั้นตอนการทำงานหรือการไหลของงานในกระบวนการ และจะทำให้เห็นถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อปัญหาที่กำลังจะปรับปรุงและจะทำให้เห็นว่าควรเก็บข้อมูลในเรื่องใดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไปในการเขียนแผนผังการไหลของกระบวนการ [5] สัญลักษณ์มาตรฐานสำหรับแผนผังกระบวนการแสดงดังรูปที่ 2.5

แทน การปฏิบัติงาน (Operation)

แทน การรอคอย (Delay)

แทน การตรวจสอบ (Inspection)

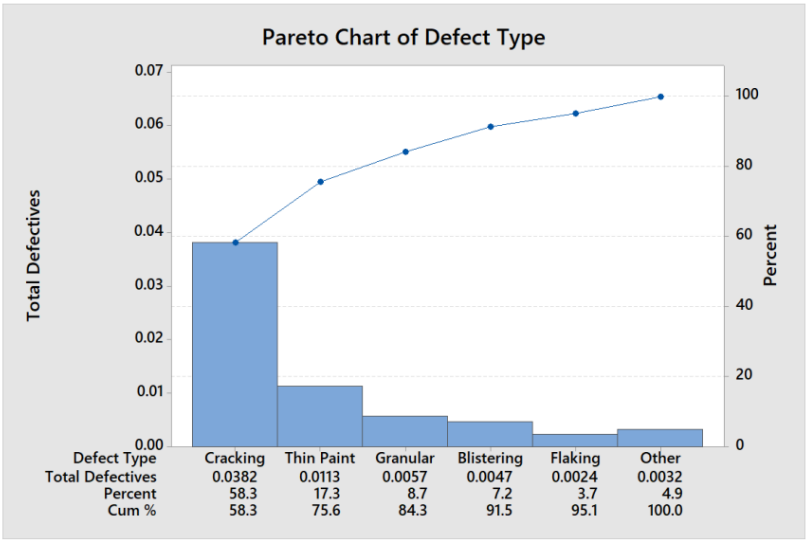
แทน การจัดเก็บ (Storage)

แทน การเคลื่อนย้าย (Transport)

รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์มาตรฐานสำหรับแผนผังกระบวนการ

2.3.2 แผนผังพาเรโต (Pareto Chart)

แผนผังพาเรโต คือ แผนภูมิแท่งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าขนาด หรือความถี่ในการตรวจพบปัญหา หรือหน่วยวัดหรือลักษณะจำเพาะควบคุมใด ๆ ที่มีการจำแนกประเภทออกจากกันและเขียนต่อกันโดยเรียงลำดับตาม แผนภาพพาเรโตเป็นเครื่องมือทางสถิติตัวหนึ่งที่ใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงรายการ จำนวน ประเภท ชนิดต่าง ๆ ของเหตุการณ์หรือสถานการณ์ต่าง ๆ พร้อมกับการระบุขนาดของความสำคัญ ของแต่ละปัจจัยที่นำเสนอนั้น โดยแผนภาพดังกล่าว จะอาศัยหลักการพาเรโตที่ระบุไว้ถึง “ปัญหาส่วนใหญ่จะเป็นผลมาจากสาเหตุเพียงส่วนน้อย ตามหลักการของพาเรโตที่ว่า 80% ของผลลัพธ์เกิดจาก 20% ของสาเหตุทั้งหมด” จากปรากฏการณ์นี้จึงได้ข้อควรปฏิบัติว่าทีมงานควรมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรไปเพื่อปรับปรุงสาเหตุส่วนน้อย [5]



รูปที่ 2.6 แผนผังพาเรโตสัดส่วนของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่องจากกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์

2.3.3 การระดมความคิด (Brainstorming)

การระดมความคิดเป็นวิธีการรวบรวมความคิดเห็นจากกลุ่มคนให้มากที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้นการระดมความคิดเป็นวิธีการประชุมชนิดหนึ่งที่ให้ประสิทธิภาพมาก สามารถนำไปใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ใช้ในการเลือกปัญหา หาสาเหตุของปัญหา และวิธีการแก้ปัญหาหนีโหาข้อยุติ ในเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยอาศัยความคิดของกลุ่มบุคคลเป็นเครื่องตัดสิน [7, 8]

สิ่งสำคัญในการะดมความคิด คือ

1.ให้ทุกคนได้มีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ

2. เนินการระดมความคิดให้ได้ปริมาณมากที่สุด

3.ไม่มีการตั้งกรอบ หรือประเมินถูกผิดขณะระดมความคิด

2.3.4 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ผังแสดงเหตุและผลมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือแผนภาพโอชิกาว่า (Ishikawa Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงสาเหตุ (Cause) และผล (Effect) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของคุณภาพกับสาเหตุของมันโดยการดึงเอาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกมาเรียบเรียงสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพ การใช้แผนภูมิก้างปลาต้องอาศัยการระดมความคิดจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย ถือเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งของการระดมความคิด (Brainstorming) ทำให้เห็นปัญหาอย่างเป็นระบบและทราบสาเหตุของเหตุที่เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ได้นั้นจะละเอียดลึกซึ้งและมีขั้นตอนตามเหตุตามผล สะดวกที่จะนำสาเหตุนั้น ๆ ไปพิจารณาแก้ไข อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ได้มากมาย ช่วยขึ้นำหรือช่วยในการอภิปรายรวบรวมประเด็นในการอภิปรายให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ผังก้างปลา สามารถแยกสาเหตุของปัญหาออกเป็นหัวข้อหลักทั้งหมด 6 กลุ่ม ได้แก่ 5M 1E [7, 8] ดังนี้

- สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man)
- สาเหตุจากเครื่องจักร(Machine)
- สาเหตุจากวัตถุดิบ(Material)
- สาเหตุจากวิธีการทำงาน (Method)
- สาเหตุจากระบบการวัด (Measurement)
- สาเหตุจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment)

วิธีการสร้างแผนผังก้างปลา [5]

1. กำหนดอาการของของปัญหาที่หัวปลา

2. กำหนดหมวดหมู่ของสาเหตุไว้ที่ปลายก้างหลัก เช่น 4M 1E เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในหมวดหมู่นั้น ๆ โดยใช้คำถาม "ทำไม ทำไม" แล้วแตกก้างปลาออกเป็นก้างรอง

4. ให้หยุดต่อเมื่อเห็นสาเหตุรากเหง้าของปัญหา ซึ่งหมายถึงเห็นแนวทางการแก้ไขปัญหาหรือมาตรการป้องกันการเกิดปัญหาซ้ำได้

5.ให้ยืนยันความเป็นเหตุเป็นผลโดยอ่านก้างปลาจากก้างที่ย่อยที่สุด ผ่านก้างในลำดับก่อนหน้าจนกระทั่งถึงหัวปลา

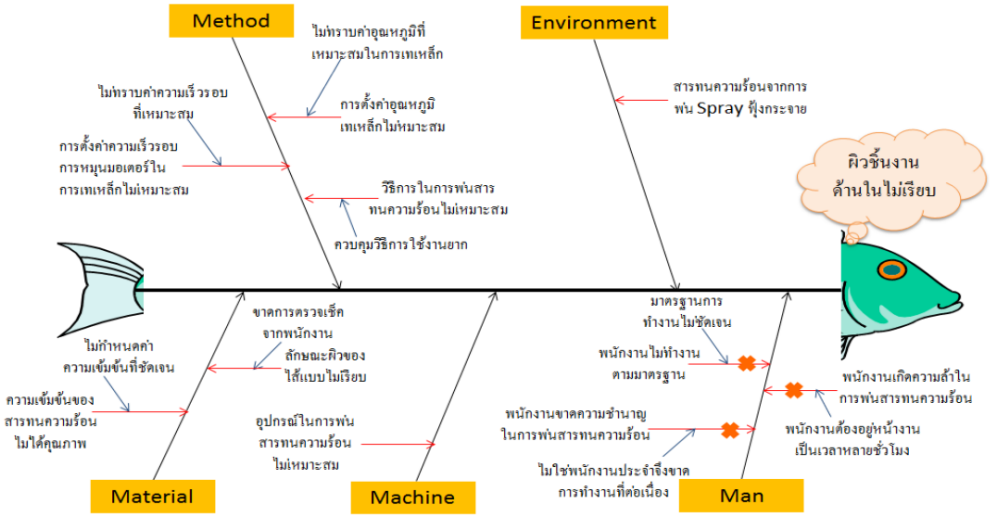
6. เมื่อยืนยันความเป็นเหตุเป็นผลแล้ว ให้ทดลองถามทำไมต่อจากก้างที่ย่อยที่สุดในก้างปลาอีกครั้งเพื่อยืนยันว่า ไม่มีสาเหตุที่ลึกลงไปกว่านี้อีกแล้วและถือเบื้องตันว่า "ก้างที่ย่อยที่สุดเป็นสาเหตุรากเหง้าของปัญหา"

7. จากนั้นไปสำรวจที่หน้างานเพื่อพิสูจน์ว่าเกิดสาเหตุที่คาดว่าเป็นสาเหตุรากเหง้านั้นขึ้นจริงหรือไม่หากไม่ได้เกิด แสดงว่าสาเหตุนั้นไม่ได้เป็นสาเหตุรากเหง้าของปัญหา หากเกิดสาเหตุนั้น ควรจะเก็บข้อมูลเพื่อพิสูจน์ความมีนัยสำคัญของสาเหตุนั้นต่อไป

8. จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ

9. คัดเลือกสาเหตุรากเหง้าที่คิดว่าจะสามารถดำเนินการได้ขึ้นมา

10. นำสาเหตุรากเหงาที่เลือกไปวางแผนการทดลองเพื่อพิสูจน์ความมีนัยสำคัญหรือไปสู่การระดมสมองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงต่อไป

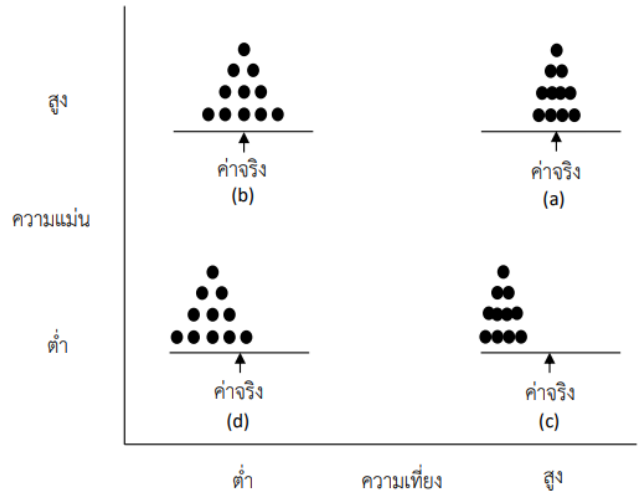


รูปที่ 2.7 ตัวอย่างแผนผังก้างปลาของปัญหาข้อบกพร่องประเภทผิวชิ้นงานไม่เรียบ

2.3.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measuring System Analysis: MSA)

ระบบการวัดที่ดีต้องมีทั้งความแม่น (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) ความแม่นจะพิจารณาในเรื่องของการที่ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง ส่วนความเที่ยงนั้นจะพิจารณาในเรื่อง

ความใกล้เคียงกันของค่าที่วัดหลาย ๆ ครั้งบนชิ้นงานเดียวกัน ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดมีความหมายความแตกต่างกัน [5] ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด

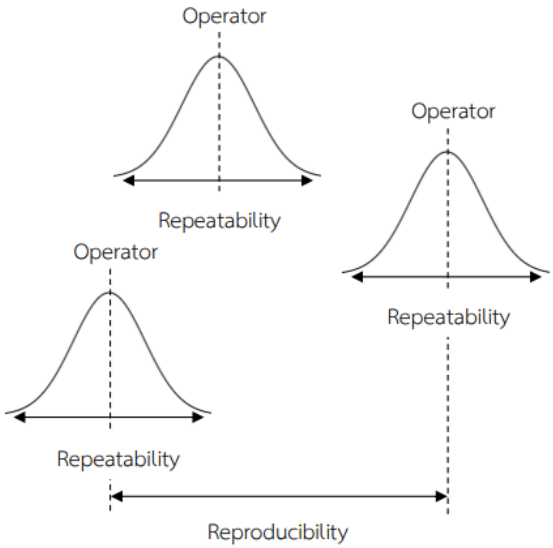
การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นของระบบการวัด จะพิจารณาใน 3 เรื่อง คือ

1. คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด (Bias) โดยไบอัสแสดงถึงความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานเดียวกัน
2. คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด (Stability) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อเวลาเปลี่ยนไป
3. คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด (Linearity) ซึ่งจะพิจารณาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อเปลี่ยนแปลงย่านวัด

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด จะพิจารณาใน 2 เรื่อง คือ

1. คุณสมบัติด้านรีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) แสดงถึงความผันแปรของค่าวัดที่ถูกวัดโดยพนักงานวัดคนเดียวกัน โดยเครื่องมือวัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9
2. คุณสมบัติด้านรีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) แสดงถึงความผันแปรของค่าวัดที่ถูกวัดโดยพนักงานวัดคนเดียวกัน โดยเครื่องมือวัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปมักแสดงถึงความแตกต่างของค่าวัดระหว่างพนักงานวัดต่างคนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.9 ความผันแปรในส่วนรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้

ข้อมูลที่จะต้องเก็บมาสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดมาสามารถแบ่งเป็น 1) ข้อมูลที่มีความต่อเนื่องซึ่งปกติจะได้มาจากการวัด และ 2) ข้อมูลแบบหน่วยนับซึ่งมักจะเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพที่เป็นผลจากการตรวจสอบ การประเมินความสามารถของระบบการวัดของข้อมูลที่มีความต่อเนื่องและการประเมินความสามารถของระบบการตรวจสอบของข้อมูลแบบหน่วยนับหรือข้อมูลเชิงคุณภาพก็จะใช้วิธีที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ (Attribute Agreement Analysis)

ระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับหมายถึงระบบการตรวจสอบที่มีการแยกแยะข้อมูลเป็นประเภท เช่น การตรวจสอบเพื่อแยกแยะชิ้นงานเป็นของดีและของเสีย ซึ่งระบบการวัดที่ดีต้องมีทั้งความแม่นหรือความถูกต้อง (Accuracy) และความเที่ยง (Precision)

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบหน่วยนับในกรณีที่ระบบการตรวจสอบมีพนักงานตรวจสอบหลายคน การประเมินความสามารถในการตรวจสอบนั้นต้องมีการประเมินความสามารถของพนักงานทั้งในรายบุคคลและในภาพรวมของทั้งระบบ โดยต้องมีการประเมินทั้งในส่วนความสามารถในการตรวจสอบซ้ำและความถูกต้องของผลการวัดหรือการตรวจสอบ [5] ซึ่งการประเมินระบบการตรวจสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจำนวนพนักงานที่จะทำการทดสอบ

2. กำหนดจำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่จะตรวจสอบและจำนวนการทดลองซ้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนพนักงานตรวจสอบที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนแรก โดยอ้างอิงเกณฑ์ของ Fasser and Brettner (1992) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ (Fasser and Brettner, 1992)

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำที่สุด	จำนวนทดลองซ้ำที่ต่ำที่สุด
1	24	5
2	18	4
มากกว่าหรือเท่ากับ 3	12	3

3. ออกแบบตารางการเก็บข้อมูลและดำเนินการเก็บข้อมูล โดยลำดับในการเก็บข้อมูลต้องเป็นแบบสุ่มเพื่อลดความลำเอียงในการบอกค่า โดยในการตรวจสอบในแต่ละรอบของพนักงานแต่ละคน ให้ลำดับชิ้นงานในการนำมาตรวจสอบเป็นแบบสุ่ม เมื่อตรวจสอบครบหนึ่งรอบแล้ว ในรอบต่อไปให้กำหนดลำดับในการตรวจสอบชิ้นงานเป็นแบบสุ่มอีกเช่นกัน

4. เมื่อได้ข้อมูลการตรวจสอบมาครบตามที่กำหนดแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่าดัชนีชี้วัดต่าง ๆ ที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป เพื่อให้ทราบถึงความสามารถของระบบการวัด

<u>ดัชนีชี้วัดที่ใช้ในการประเมินความสามารถของระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ</u>

ในการประเมินระบบการวัดจะพิจารณาทั้งในความแม่นหรือความถูกต้อง และความเที่ยงของระบบการวัด ซึ่งจะวิเคราะห์ในสองส่วนด้วยกันได้แก่

- การวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน (within appraiser) และ
- การวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน (between appraiser) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสอดคล้องกันของผลการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมด ซึ่งบอกความสามารถของระบบการวัดในภาพรวม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) การวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน

1.1) การวิเคราะห์ความเที่ยงหรือความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ของพนักงานแต่ละคน

% รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานแต่ละคน = % คะแนนของพนักงานวัดแต่ละคน (%appraiser score)

$$= \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบซ้ำแล้วได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

1.2) การวิเคราะห์ความถูกต้อง (ประสิทธิผล, ความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ) ของการวัดของพนักงานแต่ละคน

ก) % คะแนนของค่าแอตทริบิวต์ = % attribute score

$$= \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

ข) ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน (operator effectiveness index: O_E)

$$O_E = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง}}{\text{โอกาสทั้งหมดของการตัดสินใจ}}$$

ค) ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (false alarm index: I_{FA})

$$I_{FA} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะปฏิเสธอย่างผิดพลาด}} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลตรวจสอบบอกว่าไม่ผ่าน}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่มีคุณภาพผ่าน} * \text{จำนวนครั้งการตรวจสอบซ้ำ}}$$

ง) ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (index of a miss: I_{MISS})

$$I_{MISS} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่รับอย่างผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะยอมรับอย่างผิดพลาด}} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลตรวจสอบบอกว่าผ่าน}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่มีคุณภาพไม่ผ่าน} * \text{จำนวนครั้งการตรวจสอบซ้ำ}}$$

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การตัดสินใจในการยอมรับของค่าดัชนีชี้วัด O_E , I_{FA}, และ I_{MISS} (AIAG, 2019)

ผลการตัดสินใจ	**O_E**	**I_{FA}**	**I_{MISS}**
ยอมรับพนักงานทดสอบได้	≥ 90%	≤ 5%	≤ 2%
ยอมรับแบบก้ำกึ่ง (อาจจำเป็นต้องปรับปรุง)	80% ≤ O_E < 90%	5% < I_{FA} ≤ 10%	2% < I_{MISS} ≤ 5%
ไม่สามารถให้การยอมรับได้ (ต้องการการปรับปรุง)	< 80%	> 10%	> 5%

2) การวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน

2.1) การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน

% ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ = % screen effective score

$$= \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

2.2) การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน

% คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์ = % attribute screen effective score = % accuracy

$$= \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ผลเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

2.3.6 การวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Study) [9] คือการกำหนดตัวพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการแล้วทำการวัด เพื่อการรวบรวมข้อมูลที่แสดงถึงพารามิเตอร์ดังกล่าว และถ้าข้อมูลอยู่ในภายใต้การควบคุมจะทำการอนุมานทางสถิติสำหรับ

กระบวนการที่ศึกษาต่อไปและอาจเรียกการศึกษานี้ว่าการกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Product Characterization)

ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis)หมายถึงการประเมินความผันแปรของกระบวนการ (อาจอยู่ในรูปของฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่ระบุทั้งรูปทรง ค่ากลาง และปริมาณการกระจายของการแจกแจง) และวิเคราะห์ความผันแปรนี้กับข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ตลอดจนพิจารณาถึงแหล่งความผันแปรต่าง ๆ เพื่อหาทางลดความผันแปรที่ศึกษาต่อไป

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบานการมีขั้นตอน ดังนี้

1. การทวนสอบของกำหนดเฉพาะ (Specification) ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากการทวนสอบแบบ (Design Output) ของผลิตภัณฑ์และทบทวนข้อตกลงกับลูกค้าว่ายอมรับข้อกำหนดเฉพาะดังกล่าวหรือไม่
2. การชักสิ่งตัวอย่างจากกระบวนการทั้งแบบระยะสั้นและระยะยาว
3. การทวนสอบสภาวะเสถียรของกระบวนการโดยอาศัยแผนภูมิควบคุม เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลที่ได้จากสิ่งตัวอย่างอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติสำหรับกำหนดคุณสมบัติในด้านความสามารถคาดการณ์ได้หรือไม่
4. การประเมินคำมาตรฐานข้อกำหนด (Z-Score)
5. การประเมินค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการพรอมกรวิเคราะห์สาเหตุของความผันแปรเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

<u>ตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ</u>

กรณีที่มีการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน เช่น การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) ผลการตรวจสอบแบ่งเป็น ผ่านหรือไม่เป็นของเสีย และไม่ผ่านหรือเป็นของเสีย หากต้องการประมาณค่าสัดส่วนของเสียจากกระบวนการ สามารถทำได้โดยตรวจสอบชิ้นงานจำนวน N ชิ้นและนับจำนวนชิ้นงานที่เป็นของเสีย (D) จากนั้นประมาณค่าสัดส่วนของเสีย [5] ดังสมการด้านล่าง

$$\text{สัดส่วนของเสีย } (\hat{p}) = \frac{\text{จำนวนของเสียที่ตรวจพบ } (D)}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ } (N)}$$

<u>การกำหนดขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูล (Sample Size Determination)</u>

ในการกำหนดขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเสามารถใช้สูตรการคำนวณทางสถิติ ทั้งนี้จะต้องระบุก่อนว่าจะเก็บข้อมูลเพื่อไปใช้ในการประมาณค่าสถิติตัวใดต่อไป เนื่องจากสูตรในการคำนวณขนาดตัวอย่างของแต่ละค่าสถิติจะแตกต่างกัน ค่าสถิติที่นิยมประมาณค่าได้แก่ ค่าเฉลี่ยของประชากร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร และค่าสัดส่วนของประชากร [5]

ขั้นตอนในการคำนวณขนาดตัวอย่าง

1. เก็บข้อมูลเบื้องต้นมาจำนวนหนึ่ง

2. นำข้อมูลนั้นไปคำนวณค่าสถิติที่จำเป็นต้องใช้ในสูตรการคำนวณขนาดตัวอย่าง

3. กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการ

4. กำหนดค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง

5. คำนวณขนาดตัวอย่างที่จำเป็นต้องใช้โดยใช้สูตรการคำนวณ

6. พิจารณาว่าจำนวนข้อมูลที่เก็บมาเพียงพอกับขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้หรือไม่ หากเพียงพอแล้ว ให้ใช้ข้อมูลที่เก็บมานั้นในการคำนวณค่าสถิติที่ต้องการ หากยังไม่เพียงพอ ให้เก็บข้อมูลเพิ่มเติมเท่ากับผลต่างของขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้กับจำนวนข้อมูลที่เก็บมาแล้ว แล้วนำข้อมูลทั้งหมดไปใช้ในการคำนวณค่าสถิติที่ต้องการ

กรณีที่ต้องการประมาณค่าสัดส่วนของประชากร สมการที่ใช้ในการคำนวณ มีดังนี้

เมื่อทราบขนาดประชากร $$n = \frac{NZ^2_{\alpha/2}pq}{Ne^2+Z^2_{\alpha/2}pq}$$

เมื่อไม่ทราบขนาดประชากร $$n = \frac{Z^2_{\alpha/2}pq}{e^2}$$

โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่าง

N คือ ขนาดประชากร

$Z\alpha_{/2}$ คือ ค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น (1 - α)%

p คือ สัดส่วนของลักษณะที่สนใจของประชากร

q คือ สัดส่วนของลักษณะที่ไม่สนใจของประชากร

e คือ ความผิดพลาดที่ยอมรับได้หรือขนาดความแตกต่างสูงสุดของค่าที่ประมาณได้กับค่าจริง

2.3.7 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

การออกแบบการทดลอง คือ วิธีการทางสถิติเพื่อใช้สำหรับออกแบบวิธีการเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อทดสอบว่าตัวแปรนำเข้าส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่อย่างไร [5]

คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง

1. ตัวแปรนำเข้า (Factors) คือ ตัวแปรที่สามารถกำหนดค่าหรือควบคุมได้ โดยเป็นตัวแปรที่เราต้องการทราบว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่ ซึ่งถ้ามีผล เราควรกำหนดค่าที่เท่าใดเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองที่ต้องการ

2. ตัวแปรตอบสนอง (Response) คือ ตัวแปรหรือผลลัพธ์ที่สนใจในศึกษาปรับปรุง ซึ่งอาจมีผลมาจากการปรับตั้งค่าตัวแปรนำเข้า

3. ตัวแปรรบกวน (Noise variables) คือ ตัวแปรที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้

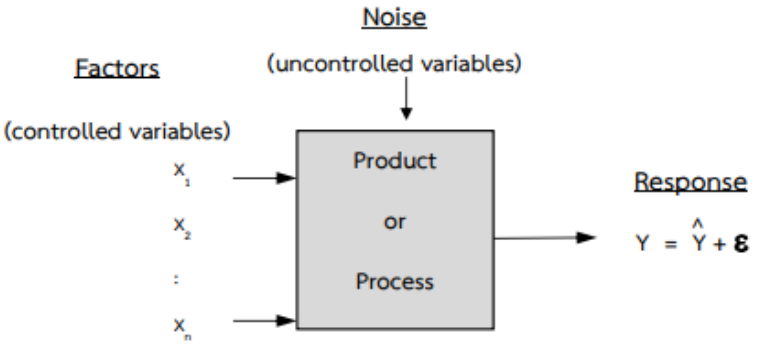
4. ระดับของปัจจัย (Level) คือ ค่าที่จะทำการทดสอบของปัจจัย การกำหนดระดับให้กับปัจจัยมีสองแบบด้วยกันคือ 1) แบบหน่วยที่เป็นค่าจริง (Uncoded unit) ซึ่งเป็นค่าของระดับปัจจัยที่เป็นค่าในหน่วยจริงของปัจจัยนั้น ๆ เช่น อุณหภูมิมีหน่วยเป็นเซลเซียส หรือความเข้มข้นมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เป็นต้น 2) แบบหน่วยที่เป็นค่ารหัส (Coded unit) ซึ่งจะใช้เพื่อให้เห็นรูปแบบของระดับปัจจัยที่จะทำการทดลอง โดยทุกปัจจัยจะอยู่ในสเกลเดียวกัน

5. สภาวะการทดลอง (Factor setting) คือ เซ็ตหรือคอมบิเนชั่นของปัจจัยที่ระดับต่าง ๆ ในการทดลองแต่ละครั้ง

6. ครั้งการทดลอง (Run) คือ การทดลองที่สภาวะการทดลองใด ๆ หากไม่มีการทำซ้ำจำนวนครั้งการทดลองทั้งหมดจะเท่ากับจำนวนสภาวะการทดลอง แต่หากมีการทำซ้ำ จำนวนครั้งการทดลองทั้งหมดจะเท่ากับจำนวนสภาวะการทดลองคูณกับจำนวนการทำซ้ำในแต่ละสภาวะการทดลอง

7.แบบการทดลอง (Design) คือ รูปแบบของแผนการทดลองที่กำหนดจำนวนสภาวะการทดลองและจำนวนครั้งการทดลองที่ต้องทำ และสารสนเทศที่จะได้จากผลการทดลอง เช่น แบบการทดลองแฟคทอเรียล และแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนอง เป็นต้น

8. ผลกระทบ (Effect) คือ ผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งสามารถวัดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าตัว
แปรตอบสนองโดยเฉลี่ยภายใต้การทดสอบปัจจัยที่มีสองระดับขึ้นไป



รูปที่ 2.10 ประเภทของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการใด ๆ

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

1. เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรใดมีอิทธิพลต่อการตอบสนองมากที่สุด

2. เพื่อกำหนดตำแหน่งที่จะตั้งค่าตัวแปรนำเข้าที่มีอิทธิพลเพื่อให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ

3. เพื่อกำหนดตำแหน่งที่จะตั้งค่าตัวแปรนำเข้าที่มีอิทธิพลเพื่อให้ความแปรปรวนในตัวแปรตอบสนองมีขนาดเล็ก

4. เพื่อกำหนดตำแหน่งที่จะตั้งค่าตัวแปรนำเข้าที่มีอิทธิพลเพื่อให้ผลกระทบของตัวแปรรบกวนมีขนาดเล็กที่สุด

โดยประโยชน์ของการออกแบบการทดลอง คือ สามารถช่วยประหยัดจำนวนการทดลอง (Runs) โดยที่สามารถมีข้อมูลเพียงพอในการสรุปผลการทดลองได้ว่าปัจจัยนำเข้าต่างๆ ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างไร ทำให้ใช้เวลาในการทดลองเร็วขึ้น และต้นทุนที่ลดลง

ประเภทของการออกแบบการทดลอง

1. การออกแบบการทดลองโดยวิธีการเดาที่ดีที่สุด (Best-guess) คือการออกแบบการทดลองโดยใช้ประสบการณ์ของผู้ออกแบบ ในการกำหนดตัวแปรนำเข้าในระดับที่สนใจ จากนั้นจึงทำการทดลอง หากผลการทดลองออกมาในระดับที่พอใจแต่พบหนทางในการปรับปรุงที่ดีขึ้น จะสามารถทำการทดลองอีกครั้งได้โดยเปลี่ยนระดับของปัจจัยที่คิดว่ามีผล และทำการคงระดับของปัจจัยอื่นไว้ แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือไม่สามารถการันตีได้ว่าจะต้องทำการทดลองกี่ครั้งจึงจะได้ผลดังที่ต้องการและมีโอกาสที่ผลที่ได้อาจจะไม่ใช่ผลที่ดีที่สุดเนื่องจากผู้ทำการทดลองอาจพอใจในผลการทดลองและทำการหยุดการทดลองก่อน [5, 10]

2. การออกแบบการทดลองแบบทีละปัจจัย (One factor-at-a-time: OFAT) วิธีนี้เป็นการทดสอบทีละปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยจะมีการกำหนดระดับมาตรฐานไว้ (Baseline) ในการทดสอบแต่ละครั้งจะมีการเปลี่ยนค่าปัจจัยใด ๆ เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น และคงค่าของปัจจัยอื่น ๆ ไว้ที่ค่ามาตรฐาน ดังนั้นการทดลองแบบนี้จะสามารถสรุปผลได้เพียงทีละปัจจัย แต่ไม่สามารถสรุปผลของปัจจัยอื่น ๆ ที่ถูกคงค่าไว้ได้ และสามารถสรุปผลของปัจจัยที่ทดสอบภายใต้ค่าของปัจจัยอื่น ๆ ในระดับที่ทำการทดสอบเท่านั้น นอกจากนั้นด้วยรูปแบบของ OFAT จะพบว่าทำให้ไม่สามารถศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้ และวิธีนี้จะใช้จำนวนการทดลองและขนาดตัวอย่างมากกว่าการทดลองแบบแปรค่ามากกว่าหนึ่งปัจจัยไปพร้อมกัน หากต้องการข้อมูลระดับเดียวกัน [5, 10]

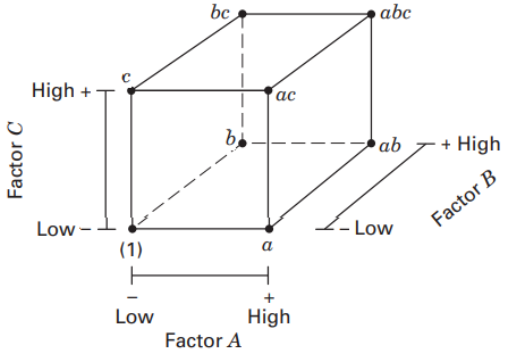
3. การออกแบบการทดลองแบบแปรค่ามากกว่าหนึ่งปัจจัยไปพร้อมกัน วิธีนี้สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ได้ ได้ 2 ประเภทตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง [5, 10] ดังนี้

ประเภทที่ 1 แบบการทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบว่าปัจจัยนำเข้าใดมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และมีผลต่อผลกระทบหลักหรือผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย หากมี

วัตถุประสงค์ดังนี้ แบบการทดลองที่มีการทดสอบแต่ละปัจจัยเพียงสองระดับก็เพียงพอที่จะตอบวัตถุประสงค์ข้างต้น ซึ่งแบบการทดลองในประเภทนี้ได้แก่ แบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design) และแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design) ซึ่งแบบการทดลองเหล่านี้เป็นที่นิยมสำหรับการทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อต้องการที่จะคัดกรองปัจจัยนำเข้า

<u>แบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 2^K (2-level Factorial Design: 2^K Factorial Design)</u>

หมายถึงการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป โดยแต่ละปัจจัยจะถูกทดลองที่ 2 ระดับในหน่วยที่เป็นค่ารหัส คือ ที่ค่าระดับสูง (+1 หรือ high: H) และที่ค่าระดับต่ า (-1 หรือ low: L) ซึ่งเราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^k โดยที่ k คือจำนวนปัจจัยหรือ Main effect สำหรับกรณีที่มีปัจจัยจำนวน 2 3 และ 4 ปัจจัย จะประกอบไปด้วยจำนวนสภาวะการทดลองเท่ากับ $2^2 = 4$, $2^3 = 8$, และ $2^4 = 16$ สภาวะการทดลองตามลำดับ [5] ตัวอย่างแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 2^3 แสดงดังรูปที่ 2.11



Run	Factor A	B	C
1	–	–	–
2	+	–	–
3	–	+	–
4	+	+	–
5	–	–	+
6	+	–	+
7	–	+	+
8	+	+	+

a. มุมมองทางเรขาคณิต b. เมทริกซ์การออกแบบ

รูปที่ 2.11แบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 2^3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>แบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design)</u>

ในการทำการทดลองใด ๆ จำนวนสภาวะการทดลองที่ทำจะกำหนดจำนวนเทอมของผลกระทบที่สามารถประมาณค่าได้ แต่การทำการทดลองแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปมีข้อจำกัดคือ เมื่อจำนวนของปัจจัยที่นำมาศึกษามีมากขึ้น จะมีจำนวนการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด เนื่องจากจำนวนสภาวะการทดลองที่ต้องทำเท่ากับ 2^k เช่น หากมีจำนวนปัจจัยเท่ากับ 6 ปัจจัย จะมีจำนวนสภาวะการทดลองถึง $2^6 = 64$ สภาวะการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้เวลาและต้นทุนในการทดลองที่สูงเกินที่จะปฏิบัติได้ การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design) คือการทำการทดลองที่จำนวนสภาวะเพียงบางส่วนได้ เช่น ทำเพียงครึ่งหนึ่งของจำนวนการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป หรือเพียงหนึ่งในสี่ หรือน้อยกว่านั้น แต่จะต้องยอมรับใน ข้อจำกัดว่าหากทำการ

ทดลองเพียงบางส่วน บางผลกระทบจะมีผลปะปนกัน ไม่สามารถประมาณค่าแต่ละผลกระทบได้แยกจากกัน เช่น หากทำการทดลองแบบครึ่งหนึ่งของสามปัจจัย A, B, และ C ซึ่งเรียกว่าแบบการ ทดลอง 2^{3-1} จะประมาณค่าจุดตัดแกนได้ 1 ค่า และผลกระทบรวมได้ 3 ค่า [5] ได้แก่

1) ผลกระทบหลักของ A รวมกับผลกระทบร่วมของ BC

2) ผลกระทบหลักของ B รวมกับผลกระทบร่วมของ AC

3) ผลกระทบหลักของ C รวมกับผลกระทบร่วมของ AB

ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าผลกระทบที่คำนวณได้จะเป็นผลกระทบหลักใด ๆ รวมอยู่กับผลกระทบร่วมของสองปัจจัยอื่น ซึ่งหากผลกระทบรวมที่ประมาณค่าได้นี้มีนัยสำคัญ ก็จะไม่สามารถทราบได้ว่าเกิดจากผลกระทบหลักหรือผลกระทบร่วมที่มีนัยสำคัญ นอกจากนั้นจะไม่สามารถประมาณค่าของผลกระทบร่วม ABC ได้ ทั้งนี้ผู้ทำการทดลองจะต้องคำนึงถึงResolution ของแบบการทดลองซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผลสรุปที่จะได้จากผลการทดลอง ซึ่งเป็นผลจากการเลือกใช้ Generator โดย Resolution ของแบบการทดลองถูกแสดงด้วยตัวเลขโรมัน ซึ่งมีความหมายดังต่อไปนี้

- Resolution III: ผลกระทบหลักจะไม่ปะปนกับผลกระทบหลักของปัจจัยอื่น ๆ แต่ผลกระทบหลักจะปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย

- Resolution IV: ผลกระทบหลักของปัจจัยจะไม่ปะปนกับผลกระทบหลักของปัจจัยอื่น ๆ และไม่ปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย แต่ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยจะปะปนกันเอง

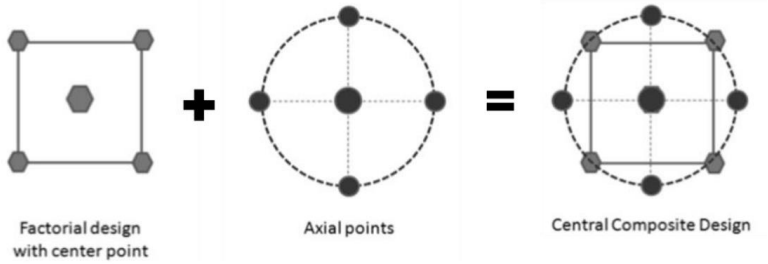
- Resolution V: ผลกระทบหลักของปัจจัยจะไม่ปะปนกับผลกระทบหลักของปัจจัยอื่น ๆ และไม่ปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย และผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยก็จะไม่ปะปนกันเอง แต่ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยจะปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย

ประเภทที่ 2 แบบการทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่จะทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าเข้าใกล้ค่าที่ต้องการมากที่สุด เป้าหมาย 3 แบบที่เป็นไปได้จากแบบการทดลองประเภทนี้ คือ 1) ยิ่งน้อยยิ่งดี (minimize) 2) ยิ่งมากยิ่งดี (maximize) 3) อยู่ที่ค่าใดค่าหนึ่งที่ต้องการ (on target) แบบการทดลองประเภทนี้จะต้องทำการทดสอบปัจจัยนำเข้ามากกว่า 2 ระดับขึ้นไป เพื่อหาความสัมพันธ์และหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ซึ่งในบางกรณี ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (X) และตัวแปรตอบสนอง (Y) อาจเป็นเส้นโค้ง (Non-linear Effects หรือ Curvature) ซึ่งอาจมีจุดวกกลับของค่าตัวแปรตอบสนองในช่วงของระดับปัจจัย X ที่ทำการทดลอง เช่น มีจุดต่ำที่สุด ดังในรูปที่ 12.30 a) และ มีจุดสูงที่สุดดังในรูปที่ 12.30 b) แบบการทดลองประเภทนี้เรียกว่า แบบการทดลองพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Design) ซึ่งได้แก่ แบบการทดลองแบบประสมส่วนกลาง (Central Composite Design: CCD) และแบบการทดลอง Box-Behnken เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>แบบการทดลองแบบประสมส่วนกลาง (Central Composite Design: CCD)</u>

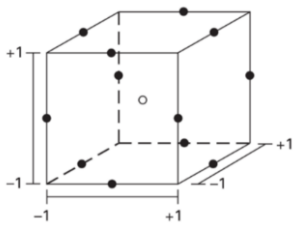
การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางนั้นเหมาะสมกับการสร้างตัวแบบที่มีลักษณะเป็นโพลิโนเมียลกำลังสอง (Second-order Model) ซึ่งจะประกอบด้วยการทดลอง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของการทดลองแฟคทอเรียล 2^k (Factorial Runs) หรือแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{k-p} ส่วนของจุดแกน (Axial Runs) และส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Runs) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.12 การกำหนดระดับปัจจัยของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของการทดลองแฟกทอเรียลจะทำการทดลองอยู่ที่ระดับ +1 และ -1 ในส่วนของจุดศูนย์กลางจะใช้ระดับของการทดลอง 0 และส่วนการทดลองที่ส่วนของจุดแกนจะอยู่ที่ระดับ $+\alpha$ และ $-\alpha$ โดยค่า α จะเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนปัจจัย [5] ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

<u>แบบการทดลอง Box-Behnken</u>

การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์–เบห์นเคน (Box-Behnken) เป็นแบบการทดลองที่นิยมใช้ในกรณีที่มีจำนวนปัจจัยตั้งแต่จำนวนปัจจัยสามปัจจัยขึ้นไป แต่ละปัจจัยถูกทดลองที่สามระดับ มีการสร้างตัวแบบที่มีลักษณะเป็นโพลิโนเมียลกำลังสอง การออกแบบแบบ บ็อกซ์-เบห์นเคน มีส่วนประกอบของส่วนการทดลองแฟกทอเรียล และส่วนการออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 และการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน จะไม่ได้รวมจุดใด ๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรไว้ ทำให้ไม่มีการทดลองในสภาวะที่รวมของปัจจัยระดับที่สูง [5]



รูปที่ 2.13 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken กรณีที่มีสามปัจจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วราภรณ์ ขำสนิท [7] ได้ประยุกต์แนวคิดซิกซ์ ซิกมาเข้ามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนของเสียรวมที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอนตามแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา ได้แก่ ขั้นตอนการนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัด ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต ผลการวิจัยพบว่า (1) ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีบ และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์มากที่สุด คือความดันฉีด ความเร็วฉีด และระยะย้ำ (2) สภาวะการฉีดที่ทำให้ต้นทุนของเสียรวมที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบและข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์มีค่าต่ำที่สุด คือ ความดันฉีด 55.6 เมกกะปาสคาล ความเร็วฉีด 62.9 มิลลิเมตร/วินาที และระยะย้ำ 5.3 มิลลิเมตร และ (3) จากสภาวะการฉีดใหม่ดังกล่าวสามารถลดต้นทุนของเสียรวมจากข้อบกพร่องชนิดครีบ และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ จากเดิม 0.3194 บาท/ชิ้น เหลือ 0.0293 บาท/ชิ้น

มานะพงศ์ โชติวิรัตน์ [8] ได้ศึกษาการลดปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตในงานฉีดงานพลาสติกแบบ Injection molding โดยใช้หลักการทางสถิติมาช่วยวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และใช้หลักการทางทฤษฎีด้านพอลิเมอร์เข้ามาอธิบายถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะปรับปรุงสภาพปัญหาของโรงงานก่อนดำเนินการแก้ไขมีของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐาน (มีขนาดโตกว่ากำหนด) ซึ่งส่งผลกระทบต่อโรงงานอย่างมากในด้านค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้น การวิจัยจึงเริ่มดำเนินการจากการศึกษากระบวนการผลิตและค้นหาปัจจัยที่มีผล กระทบต่อข้อบกพร่อง (FMEA) เพื่อนำปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญมากที่สุดมาพิจารณา จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบพบว่า ปัจจัยที่มีระดับความสำคัญมากอยู่ในส่วนของวิธีการ ได้แก่ อุณหภูมิ Mold, Cycle Time, Holding pressure จากนั้นออกแบบการทดลองโดยใช้แบบ 2^K Factorial Design โดยจากการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีผลต่อขนาดของชิ้นงาน ผลการทดลองสรุปได้ว่า ที่ Mold temp เท่ากับ 75°C, Cycle time เท่ากับ 22 วินาที และ Holding pressure เท่ากับ 10 MPa และสามารถลดของเสียได้จากปริมาณของเสียได้จากเดิม 11.39% เหลือเพียง 1.98%

A. Alshammari และคณะ [11] ได้ใช้ Lean และ Six Sigma เพื่อศึกษากระบวนการของบริษัท XYZ ในประเทศคูเวตเพื่อลดการความผันแปรในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกซึ่งทำให้บริษัทมีเปอร์เซ็นต์ของของเสียและต้นทุนการดำเนินงานที่เพิ่มขึ้น และความพึงพอใจของลูกค้าลดลง อุปกรณ์พลาสติกของบริษัท XYZ จำนวนมากถูกปฏิเสธจากลูกค้าเนื่องจากมีข้อบกพร่อง เช่น พื้นผิวภายในไม่เรียบ มีครีบ และมีฟองอากาศ บริษัท XYZ จึงได้ทำการประยุกต์ใช้วิธี Six Sigma DMAIC

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ร่วมกับวิธีการจัดการ 5ส เพื่อแก้ไขปัญหา DMAIC ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการนำวิธี Six Sigma มาใช้ร่วมกับการจัดการ 5ส บริษัท XYZ ได้รับการปรับปรุงในระดับซิกมาและมีจำนวนข้อบกพร่องต่อล้านโอกาส (DPMO) ลดลง ซึ่งนำไปสู่การประหยัดต้นทุนอย่างมีนัยสำคัญและเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน

A. Maged และคณะ [12] ได้ประยุกต์ใช้วิธีการของ Six Sigma เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายจากการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยกำจัดข้อบกพร่องหลักที่เกิดขึ้นโดยมีวิธีการดำเนินงาน 5 ขั้นตอนตามหลัก DMAIC ของ Six Sigma ซึ่งได้แก่ การกำหนดปัญหา การวัด การวิเคราะห์ปัญหา การปรับปรุงกระบวนการ และการควบคุมกระบวนการ ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้เครื่องมือเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่มีประสิทธิภาพ เช่น แผนภูมิการควบคุมกระบวนการทางสถิติ (SPC) แผนภูมิพาเรโต ฮิสโตแกรม แผนภาพ Ishikawa การวิเคราะห์ระบบการวัด การทดสอบสมมติฐาน และรายการตรวจสอบ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ต้องการ ผลการวิจัยพบว่าอัตราการปฏิเสธชิ้นงานลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และมีระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายที่ดีขึ้น ซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 4.06 เป็น 4.5 และต้นทุนคุณภาพต่ำ (COPQ) ลดลงจากก่อนการปรับปรุง 45%

I. Rattanabunditsakun [13] ได้ทำการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดสัดส่วนของเสียชนิดจุดดำที่เกิดในกระบวนการฉีดพลาสติกขึ้นรูป ซึ่งก่อนปรับปรุงกระบวนการพบปริมาณของเสียชนิดจุดดำที่เครื่องฉีดพลาสติกเบอร์ P24 และ P25 รวมกันเท่ากับ 0.65% ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบ DMAIC ของ Six Sigma มาเป็นเครื่องมือในการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขคุณภาพ ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการกำหนดปัญหา ขั้นตอนการวัด ขั้นตอนการวิเคราะห์ ขั้นตอนการปรับปรุง และขั้นตอนการควบคุม ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญในการเกิดของเสียชนิดจุดดำนั้นมี 4 ปัจจัย ได้แก่ ความสะอาดของสกรูและกระบอกฉีด วัตถุดิบเก่าตกค้างในกระบอกฉีด การเสื่อมสภาพของวัตถุดิบ และการปนเปื้อนในถังกรวย เมื่อสามารถระบุถึงปัจจัยที่มีนัยสำคัญได้แล้ว ในขั้นตอนปรับปรุงจึงนำทั้ง 4 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาพที่เหมาะสมในกระบวนการ โดยใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล และทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปใช้จริงในกระบวนการผลิต และสุดท้าย ในขั้นตอนการควบคุม ได้จัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน แผนควบคุม และแผนภูมิความคุม เพื่อให้แน่ใจว่าสภาพที่เหมาะสมในกระบวนการอยู่ในสภาวะควบคุม จากผลการประยุกต์ใช้ตัวแบบ DMAIC ของ Six Sigma พบว่าสามารถที่จะลดสัดส่วนของเสียชนิดจุดดำที่เกิดในกระบวนการฉีดพลาสติกขึ้นรูปที่เครื่องฉีดพลาสติกเบอร์ P24 และ P25 ลงมารวมกันจาก 0.65% ลงมาที่ 0.34% หรือ ลดลงถึง 47.69% หลังปรับปรุงกระบวนการ

T. Rattanaruengyot [14] ได้ทำการศึกษาวิธีการลดของเสียสำหรับกระบวนการฉีดท่อพลาสติกในโรงงานแห่งหนึ่ง โดยใช้หลักการ DMIAC ของซิกซ์ ซิกมาซึ่งประกอบไปด้วยห้าหลักการหลัก ได้แก่ การนิยามปัญหา การสร้างวิธีตรวจวัดปัญหา การวิเคราะห์หาวิธีแก้ปัญหา การแก้ไขปัญหา และการควบคุมกระบวนการ การนิยามปัญหาเพื่อที่จะค้นหาต้นเหตุในการเกิดของเสียนั้นประกอบไปด้วย แผนภูมิก้างปลา (Cause-and-Effect Diagram) การวิเคราะห์ความเสี่ยงและแผนภูมิพาเรโต การสร้างวิธีตรวจวัดปัญหานั้นวิเคราะห์ด้วย FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) เพื่อที่จะค้นหาตัวแปลหลักที่ก่อให้เกิดหรือเป็นต้นตอในการเกิดของเสีย และการวิเคราะห์หาวิธีแก้ปัญหาใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เพื่อที่หาค่าของตัวแปลหลักที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ดีที่สุดจากการทดลอง สำหรับกระบวนการแก้ไขปัญหานั้นได้นำค่าของตัวแปลหลักที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ดีที่สุดในการทดลองมาตรวจสอบและทดลองใหม่และถูกเก็บข้อมูลอีกครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้คือสามารถนิยามตัวแปลหลักสี่ชนิดที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกในโรงงาน และหลังจากที่ได้หาค่าที่ให้ผลดีที่สุดของแต่ละตัวแปลหลักแล้ว งานวิจัยนี้สามารถลดของเสียที่ผลิตออกมาจาก 8.8% เหลือ5.25% ซึ่งได้ลดของเสียไป 3.55% และทำให้ทางบริษัทสามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตไปได้ถึง 3,600,000 ล้านบาทต่อปี

T. Rakic และคณะ [15] ได้ทำการเปรียบเทียบการออกแบบการทดลอง 4 แบบ ซึ่งได้แก่ แบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ (Two-level Full Factorial design) แบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) แบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) และแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป 3 ระดับ (Three-level Full Factorial design) เพื่อหาแบบการทดลองที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการพัฒนาวิธีการทางโครมาโตกราฟีสำหรับการตรวจหาฟลูโคนาโซลและสิ่งเจือปน โดยจากผลการทดลองพบว่าแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมการคงอยู่ของสารที่ทำการทดสอบได้และยังพบว่าแบบจำลองที่ได้มีค่า Adj. R^2 และ Pred. R^2 ต่ำ แบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนให้แบบจำลองที่มีค่า R^2 และ Adj. R^2 เป็นที่น่าพอใจ แต่พบว่าความสามารถในการทำนายไม่ดีนักเนื่องจากได้ค่า Pred. R^2 ต่ำ และสำหรับแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางและแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป 3 ระดับ พบว่าแบบการทดลองทั้งสองแบบให้แบบจำลองที่มีพารามิเตอร์ทางสถิติเป็นที่น่าพอใจและความมีนัยสำคัญของปัจจัยการตรวจสอบที่ได้จากแบบการทดลองทั้งสองนี้มีความคล้ายคลึงกัน โดยแม้ว่าค่า Pred. R^2 ที่ได้จากแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป 3 ระดับนั้นจะดีกว่าเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามการทดลองแบบส่วนประสมกลางได้รับเลือกให้เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดเพื่อนำไปศึกษาต่อ

เนื่องจากมีจำนวนการทดลองที่น้อยกว่าอย่างมากเมื่อเทียบกับแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป 3 ระดับและข้อมูลที่ได้นั้นมีคุณภาพเพียงพอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

การนิยามปัญหา

จากการศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้นำเอาทฤษฎีต่างๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการเก็บข้อมูล การนำเสนอข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและข้อบกพร่อง ทั้งนี้เพื่อใช้หาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขและลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในโรงงานกรณีศึกษาต่อไป ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน

3.2 การศึกษาสภาพปัจจุบัน

3.3 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

3.4 การกำหนดตัวชี้วัดและเป้าหมาย

3.3 การสร้างสัญญาโครงการ

3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน

คณะทำงานในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยตัวแทนจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องและมีความชำนาญในกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อขึ้นรูปปลั๊กตัวเมีย มีความรู้และสามารถที่จะวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดข้อบกพร่องและหาวิธีการแก้ไขและการควบคุมกระบวนการเพื่อที่จะลดสัดส่วนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นได้ โดยคณะทำงานในงานวิจัยนี้มีดังนี้

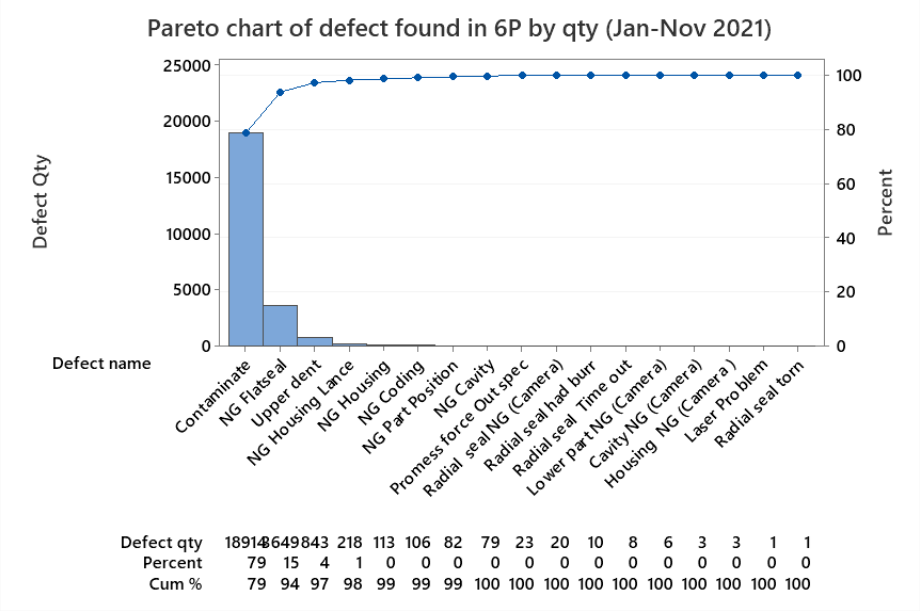
- ผู้จัดการฝ่ายผลิตกระบวนการฉีดพลาสติก
- ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรกระบวนการฉีดพลาสติก
- ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ
- หัวหน้าฝ่ายผลิตกระบวนการฉีดพลาสติก
- วิศวกรกระบวนการฉีดพลาสติก
- วิศวกรแม่พิมพ์
- วิศวกรซ่อมบำรุงกระบวนการฉีดพลาสติก
- วิศวกรประกันคุณภาพ (ผู้วิจัย)

3.2 สภาพปัญหาปัจจุบัน

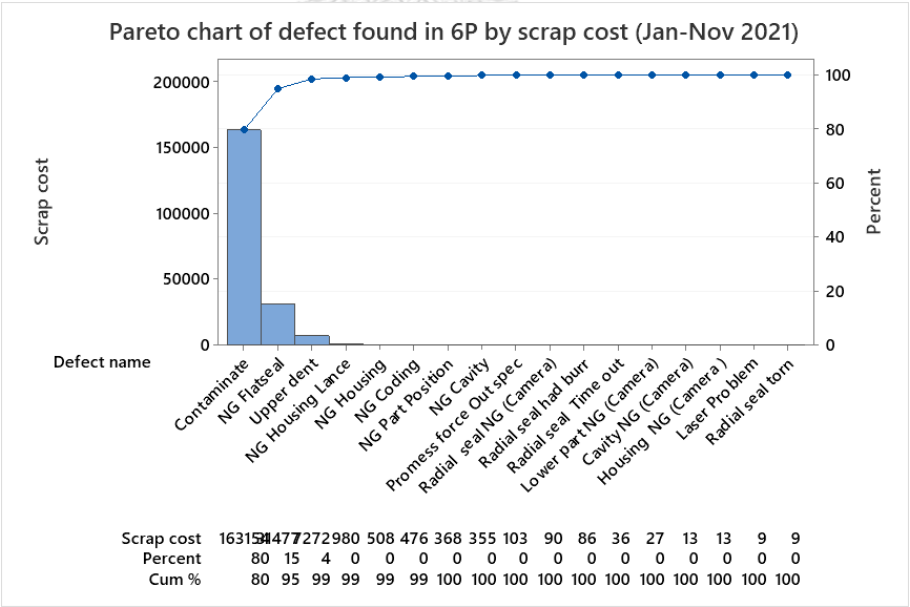
เมื่อได้ศึกษาประเภทของปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P แสดงดังแผนผังพาเรโตรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 พบว่าของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมนั้นมีจำนวนและต้นทุนของเสียสูงที่สุดเป็นอันดับหนึ่งโดยมีสัดส่วนอยู่ที่ 79% และ 80% ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

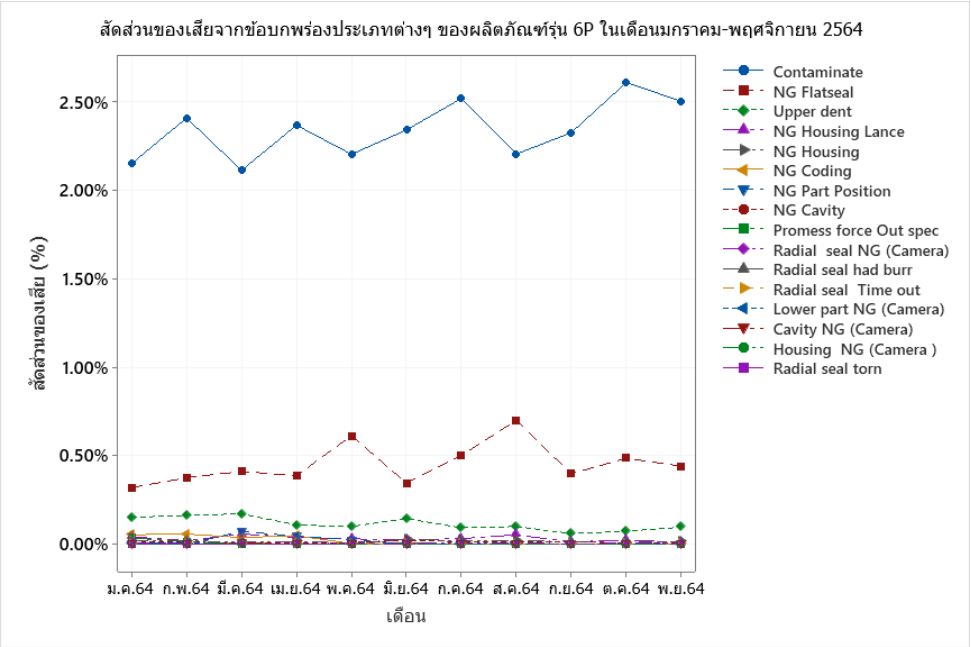
นอกจากนี้รูปที่ 3.3 ได้แสดงให้เห็นว่าข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกเดือน จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงเลือกทำการศึกษาและปรับปรุงของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P



รูปที่ 3.1 แผนผังพาเรโตจำนวนของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ในเดือนมกราคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2564



รูปที่ 3.2 แผนผังพาเรโตต้นทุนของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ในเดือนมกราคม - พฤศจิกายน 2564



รูปที่ 3.3 สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ในเดือนมกราคม-พฤศจิกายน 2564

3.3 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

ผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ประกอบด้วยชิ้นส่วน A และ B มาประกอบกันดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตแล้วจะได้เป็นผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ดังแสดงในรูปที่ 3.5 กระบวนการผลิตปลั๊กตัวเมียมีขั้นตอนการผลิตซึ่งประกอบด้วย 12 ขั้นตอน สามารถอธิบายด้วยแผนผังกระบวนการผลิตดังแสดงในรูปที่ 3.6

a. ชิ้นส่วน A b. ชิ้นส่วน B

รูปที่ 3.4 ชิ้นส่วน A และ B สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

รูปที่ 3.5 ผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

1) การรับวัตถุดิบ

เมื่อวัตถุดิบจัดส่งถึงจุดรับวัตถุดิบ พนักงานฝ่ายคลังวัตถุดิบจะทำตรวจสอบความถูกต้องและจำนวนของวัตถุดิบว่าตรงตามใบจัดส่งวัตถุดิบหรือไม่ โดยวัตถุดิบสำหรับการผลิตปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P นั้นมี 2 ชนิด ดังนี้

1.1) วัตถุดิบสำหรับผลิตชิ้นส่วน A ได้แก่ Polybutylene Terephthalate (PBT)

1.2 ชิ้นส่วน B ได้แก่ Axial seal สำเร็จรูปซึ่งผลิตมาจากวัตถุดิบ Vinyl Methyl Silicone (VMQ)

2) การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ

วัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตที่ส่งมอบโดยผู้จัดหาภายนอก จะถูกตรวจสอบตามมาตรฐานที่กำหนด โดยจะมีเพียงวัตถุดิบที่มีคุณภาพตามมาตรฐานเท่านั้นที่จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิต

3) การนำวัตถุดิบสำหรับการผลิตชิ้นส่วน A ขึ้นประจำจุดเติมวัตถุดิบ

เมื่อวัตถุดิบผ่านการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานกำหนด จะถูกนำไปประจำที่จุดเติมวัตถุดิบอัตโนมัติที่กำหนด

4) เลือกโปรแกรมที่หน้าเครื่องฉีดและผลิตรุ่นที่ต้องการ

พนักงานปรับตั้งเครื่องฉีดจะทำหน้าที่เลือกโปรแกรมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์รุ่นที่ต้องการและกดปุ่มเริ่มผลิตงานและแจ้งพนักงานตรวจสอบคุณภาพเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานชิ้นแรก ซึ่งภายในโปรแกรมจะมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานไว้ยกตัวอย่างเช่น ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ และระยะเวลา Delay time เป็นต้น

5) กระบวนการตรวจสอบคุณภาพด้วยสายตา

พนักงานตรวจสอบคุณภาพจะทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานชิ้นแรกที่ผลิตออกมาตามมาตรฐานที่กำหนด ถ้าชิ้นงานมีคุณภาพตามที่กำหนดจะสามารถดำเนินการผลิตต่อไปได้ แต่ถ้าคุณภาพของชิ้นงานไม่เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด จะต้องแจ้งให้พนักงานปรับตั้งทำการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องก่อนแล้วจึงทำการตรวจสอบคุณภาพอีกครั้ง จนกว่าจะได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ สำหรับชิ้นงานที่มีคุณภาพต่ำกว่ากำหนดจะถูกแยกไว้ในกล่องสีแดงเพื่อรอทำลายในภายหลัง

6) การจัดเก็บชิ้นส่วน A เพื่อรอประกอบ

ชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพจะถูกจัดเก็บไว้ในภาชนะและพื้นที่ที่กำหนดโดยมีฝาปิดอย่างมิดชิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากภายนอก เพื่อรอสำหรับดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

7) การประกอบชิ้นส่วน A และ B

ชิ้นส่วนต่างๆ ตามรายการชิ้นส่วนในการผลิต (Bill of Materials) จะถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปด้วยเครื่องประกอบอัตโนมัติ

8) การตรวจสอบคุณภาพด้วยกล้องอัตโนมัติ

หลังจากการประกอบปลั๊กตัวเมียจะถูกตรวจสอบด้วยกล้องตรวจสอบอัตโนมัติเพื่อตรวจสอบว่าการประกอบนั้นเสร็จสมบูรณ์และมีชิ้นส่วนครบถ้วนหรือไม่ ทั้งนี้จะไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมได้ สำหรับการแยกระหว่างชิ้นงานดีและชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องนั้นจะถูกแยกด้วยระบบอัตโนมัติ โดยชิ้นงานที่มีคุณภาพตามที่กำหนดจะถูกลำเลียงไปยังกล่องเก็บชิ้นงานดี สำหรับชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องจะถูกแยกไปเก็บไว้ในกล่องงานเสียโดยอัตโนมัติเพื่อรอทำลายในภายหลัง

9) การจัดเก็บปลั๊กตัวเมียเพื่อรอตรวจสอบและบรรจุ

ปลั๊กตัวเมียที่ได้จากการประกอบจะถูกจัดเก็บไว้ในภาชนะและพื้นที่ที่กำหนดโดยมีฝาปิดอย่างมิดชิด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากภายนอก เพื่อรอสำหรับดำเนินการตรวจสอบและบรรจุในลำดับถัดไป

10) การตรวจสอบด้วยสายตา

ก่อนการบรรจุ ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ทุกชิ้นจะถูกตรวจสอบคุณภาพด้วยสายตาอีกครั้งตามขั้นตอนที่กำหนด ซึ่งในการตรวจสอบขั้นตอนนี้จะสามารถตรวจจับข้อบกพร่องจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมได้ โดยชิ้นงานที่มีคุณภาพตามที่กำหนดจะถูกนำไปบรรจุลงในกล่องทันที แต่สำหรับชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพตามที่กำหนดจะถูกแยกไว้ในกล่องสีแดงเพื่อรอทำลายในภายหลัง

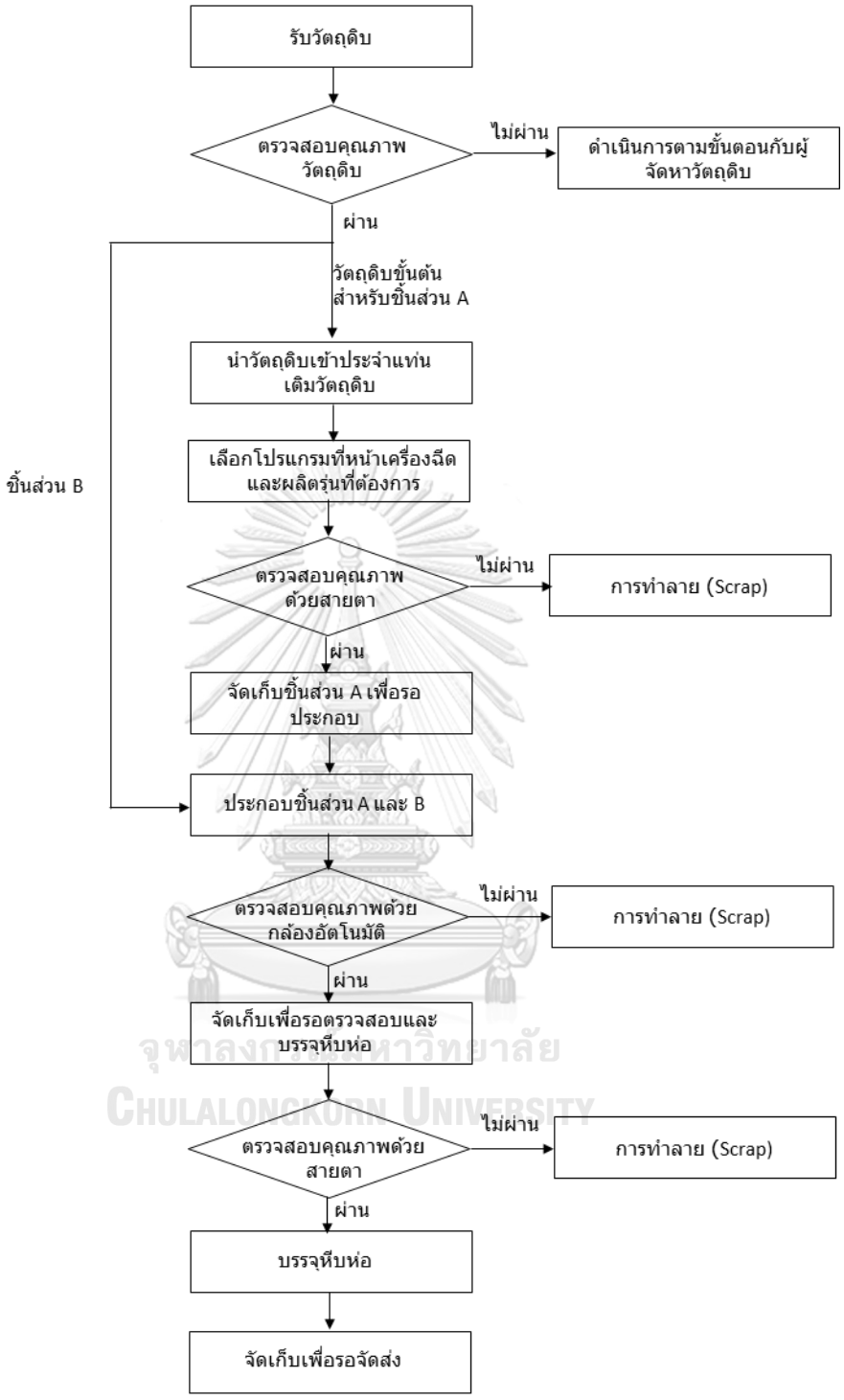
11) การบรรจุหีบห่อ

ปลั๊กตัวเมียที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานกำหนดจะถูกบรรจุลงกล่องตามจำนวนที่กำหนด จากนั้นทำการปิดผนึกและติดฉลากตามที่กำหนด

12) การจัดเก็บเพื่อรอจัดส่ง

ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานและบรรจุหีบห่อเรียบร้อยแล้วจะถูกจัดเก็บไว้ในคลังสินค้าผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อรอการจัดส่งไปยังลูกค้าในลำดับถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.6 แผนผังขั้นตอนการผลิตปลั๊กตัวเมีย

3.4 การกำหนดตัวชี้วัดและเป้าหมาย

ดังที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ปัญหาที่ผู้วิจัยเลือกเพื่อดำเนินการปรับปรุงคือ ของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P โดยมีเป้าหมายในการปรับปรุงคือ ปรับปรุงให้มีสัดส่วนของเสียลดลงจากเดิม 50 เปอร์เซ็นต์ โดยจะใช้ตัวชี้วัดคือเปอร์เซ็นต์ของเสีย ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณของเสียที่พบกับปริมาณการผลิตทั้งหมด และอีกตัวชี้วัดคือต้นทุนของเสียจากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น โดยแต่ละตัวชี้วัดมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของเสีย} = \frac{\text{ปริมาณของเสียที่พบ}}{\text{ปริมาณการผลิตทั้งหมด}}\ x\ 100$$

$$\text{ต้นทุนของเสีย} = \text{ต้นทุนในการผลิตปลั๊กตัวเมียรุ่น } 6P\ x \text{ ปริมาณของเสียที่พบ}$$

โดยที่ต้นทุนในการผลิตปลั๊กตัวเมีย 1 ชิ้นมีค่าเท่ากับ 8.63 บาท

3.5 การสร้างสัญญาโครงการ

Project Charter	
Project Title: การลดของเสียการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการฉีดปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P	
Business Case: เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้โรงงานมีต้นทุนจากของเสียสูงขึ้นและมีผลกำไรลดลง	**Project Constraints:** 1. คณะทำงานมีเวลามีเวลาให้โครงการ 6 ชั่วโมง/สัปดาห์ 2. ได้รับอนุญาตให้ใช้เครื่องฉีดพลาสติกในการทดลอง 3 ชั่วโมง/สัปดาห์
Problem Statement: จากข้อมูลการผลิตปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ในระยะเวลา 1 ปีย้อนหลัง ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2564 - มิถุนายน 2565 พบว่าเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมสูงเป็นอันดับหนึ่งโดยมีสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องนี้เท่ากับ 2.49% ของปริมาณการผลิต ซึ่งส่งผลทำให้มีต้นทุนจากของเสียดังกล่าวสูงถึง 2,166,199 บาท	**Project Assumptions:** 1. ได้รับการสนับสนุนทรัพยากรที่จำเป็นสำหรับการปรับปรุงแก้ไขจากผู้บริหาร 2. ได้พบผู้บริหารเพื่อปรึกษาและข้อคำชี้แนะ 1 ครั้ง/สัปดาห์

Project Charter

Project Title: การลดของเสียจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการฉีดปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

Objective Statement:

ปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อลดสัดส่วนของเสียและต้นทุนของเสียที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ให้ลดลงจาก 2.49% เป็น 1.25% ภายในเดือนพฤศจิกายน 2565

Project Metrics:

1. Business Metric: ความพึงพอใจของผู้บริหาร
2. Primary Metric: สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P
3. Secondary Metric: ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร
4. Consequential Metric: รอบเวลาในการผลิต
5. Financial Metric: ต้นทุนของเสีย

Project Scope:

1) ศึกษาและปรับปรุงข้อบกพร่องประเภทการการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6Pเท่านั้น
2) ปรับปรุงเฉพาะสาเหตุที่สามารถจัดทำให้แล้วเสร็จภายในระยะเวลาโครงการ หรือภายในสิ้นเดือนพฤศจิกายน 2565 เท่านั้น

Team Members:

ผู้จัดการฝ่ายผลิตกระบวนการฉีดพลาสติก
ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรกระบวนการฉีดพลาสติก
ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ
หัวหน้าฝ่ายผลิตกระบวนการฉีดพลาสติก
วิศวกรกระบวนการฉีดพลาสติก
วิศวกรแม่พิมพ์
วิศวกรซ่อมบำรุงกระบวนการฉีดพลาสติก
วิศวกรประกันคุณภาพ (ผู้วิจัย)

Project Timeline:

ระยะเวลาการดำเนินโครงการตั้งแต่
1 พฤศจิกายน 2564 ถึง 30 พฤศจิกายน 2565

Phase	เริ่มต้น	สิ้นสุด
Define	1 พ.ย. 64	1 ม.ค. 65
Measure	1 ก.พ. 65	31 มี.ค. 65
Analysis	1 มี.ค. 65	30 เม.ย. 65
Improve	1 พ.ค. 65	30 ก.ย. 65
Control	1 ก.ย. 65	30 พ.ย. 65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.6 สรุประยะนิยามปัญหา

ในระยะการนิยามปัญหาผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและประเภทของปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P พบว่าเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมสูงเป็นอันดับหนึ่งโดยมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยจากข้อบกพร่องนี้เท่ากับ 2.49 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต ซึ่งส่งผลทำให้มีต้นทุนจากของเสียดังกล่าวสูงถึง 2,166,199 บาท จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อลดสัดส่วนของเสียและต้นทุนของเสียที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ให้ลดลง 50% จาก 2.49% เป็น 1.25% ภายในเดือนพฤศจิกายน 2565

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

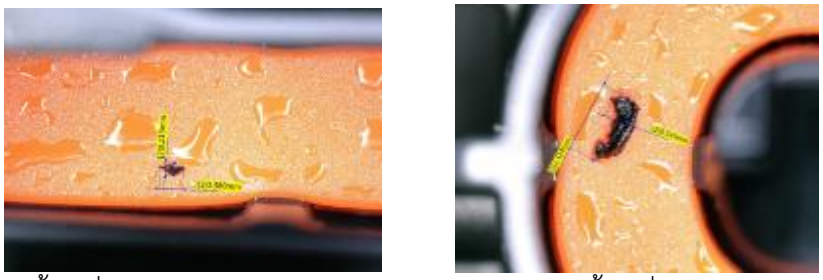
การวัดสภาพปัญหาก่อนการปรับปรุง

ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อแยกแยะว่าชิ้นงานมีข้อบกพร่องหรือไม่ ผลการตรวจสอบจะต้องสามารถเชื่อถือได้ ผู้วิจัยจึงจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดเสียก่อน โดยใช้การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) หากพบว่าผลการตรวจสอบนั้นไม่แม่นหรือไม่เที่ยง จะต้องทำการปรับปรุงระบบการตรวจสอบเพื่อให้ได้ผลที่ออกมาอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต่อไป

4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด (Attribute Agreement Analysis)

การตรวจสอบคุณภาพของโรงงานกรณีศึกษานั้นผลที่ได้จากการตรวจสอบมี 2 ลักษณะ ได้แก่ ผ่าน (Good : G) และไม่ผ่าน (No Good : NG) ซึ่งเป็นข้อมูลประเภทการนับหรือข้อมูลที่มีการประเมินแบบคุณลักษณะ (Attribute data) จึงทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งมีความชำนาญในการจำแนกระหว่างของดีและของเสียตามมาตรฐานที่กำหนดไว้เป็นอย่างดี
2. ให้ผู้เชี่ยวชาญทำการคัดเลือกปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P จำนวน 30 ชิ้น เพื่อใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบ ซึ่งประกอบด้วยตัวปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ที่ผ่านมาตรฐานจำนวน 15 ชิ้น และปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ที่ไม่ผ่านมาตรฐานจำนวน 15 ชิ้น โดยแบ่งออกเป็นปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ที่มีข้อบกพร่องจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกแปลมขนาดใหญ่ 8 ชิ้น และมีข้อบกพร่องจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกแปลมขนาดเล็กอีกจำนวน 7 ชิ้น รูปภาพตัวอย่างปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ที่ไม่ผ่านมาตรฐานแสดงดังรูปที่ 4.1



a. การปนเปื้อนสิ่งแปลกแปลมขนาดเล็ก b. การปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมขนาดใหญ่

รูปที่ 4.1 ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน

3. สุ่มเรียกพนักงานตรวจสอบคุณภาพทั้งหมด 3 คน เพื่อตรวจสอบคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ที่เตรียมไว้จำนวน 30 ชิ้น โดยทำการตรวจสอบซ้ำ 3 ครั้ง (อ้างอิงเกณฑ์ของ Fasser and

Brettner, 1992 แสดงดังตารางที่ 4.1) โดยให้พนักงานทั้ง 3 คนตรวจสอบให้ครบทุกคนสำหรับครั้งที่ 1 จากนั้นจึงเป็นครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ตามลำดับ และในการตรวจสอบแต่ละครั้งให้ลำดับตัวอย่างชิ้นงานในการตรวจสอบแบบสุ่ม โดยไม่ให้พนักงานทราบว่าเป็นชิ้นงานใด ทำการบันทึกผลการตรวจสอบทั้ง 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	**จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำที่สุด**	**จำนวนทดลองซ้ำที่ต่ำที่สุด**
1	24	5
2	18	4
มากกว่าหรือเท่ากับ 3	12	3

4. เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบ และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้

1. การวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบแต่ละคน

1.1 ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Appraiser Score)

1.2 ความถูกต้องของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน ซึ่งได้แก่

- ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Attribute Score)
- ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน (Operator Effectiveness Index: O_E)
- ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False Alarm Index: I_{FA})
- ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (Index of Miss: I_{MISS})

2. การวิเคราะห์ระหว่างพนักงานตรวจสอบ

2.1 การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน (Screen Effective Score or Reproducibility)

2.2 การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน (%Attribute Screen Effective Score)

โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินผลความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด จะอ้างอิงจาก Automotive Industry Action Group (AIAG) โดยมีรายละเอียดของการประเมินดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การตัดสินใจในการยอมรับของระบบการวัด

การวิเคราะห์	ดัชนีวัด	เกณฑ์การยอมรับ	ผลการตัดสินใจ
การวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบแต่ละคน	ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Appraiser Score)	≥ 80%	ยอมรับพนักงานตรวจสอบได้
	ความถูกต้องของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน		
	- ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Attribute Score)	≥ 80%	ยอมรับพนักงานตรวจสอบได้
	- ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน (Operator Effectiveness Index: O_E)	≥ 90%	ยอมรับพนักงานตรวจสอบได้
		≥ 80%	ยอมรับแบบก้ำกึ่ง (อาจจำเป็นต่อการปรับปรุง
		< 80%	ไม่สามารถยอมรับได้ (ต้องการการปรับปรุง)
	- ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False Alarm Index: I_{FA})	≤ 5%	ยอมรับพนักงานตรวจสอบได้
		≤ 10%	ยอมรับแบบก้ำกึ่ง (อาจจำเป็นต่อการปรับปรุง
		> 10%	ไม่สามารถยอมรับได้ (ต้องการการปรับปรุง)
การวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบแต่ละคน	- ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (Index of Miss: I_{MISS})	≤ 2%	ยอมรับพนักงานตรวจสอบได้
		≤ 5%	ยอมรับแบบก้ำกึ่ง (อาจจำเป็นต่อการปรับปรุง
		> 5%	ไม่สามารถยอมรับได้ (ต้องการการปรับปรุง)
การวิเคราะห์ระหว่างพนักงานตรวจสอบ	ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน (Screen Effective Score or Reproducibility)	≥ 80%	ยอมรับพนักงานตรวจสอบได้
	การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน (%Attribute Screen Effective Score)	≥ 80%	ยอมรับพนักงานตรวจสอบได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด ได้ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด

ตัวอย่างที่	พนักงานตรวจสอบคนที่ 1			พนักงานตรวจสอบคนที่ 2			พนักงานตรวจสอบคนที่ 3			คุณภาพที่แท้จริง	ตรวจสอบได้เหมือนกันทุกคนและทุกครั้ง	ตรวจสอบพบข้อบกพร่องได้ทุกคน
	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
2	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
4	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
6	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
7	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
8	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
9	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
10	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
11	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
12	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
13	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
14	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
15	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
16	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
17	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
18	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
19	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
20	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
21	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
22	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
23	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
24	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
25	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
26	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
27	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
28	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
29	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
30	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y

G หมายถึง คุณภาพของชิ้นงานผ่านมาตรฐาน

NG หมายถึง คุณภาพของชิ้นงานไม่ผ่านมาตรฐาน

Y หมายถึง ตรวจสอบได้เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน หรือตรวจสอบข้อบกพร่องได้ถูกต้องทุกคน

N หมายถึง ตรวจสอบได้ไม่เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน หรือตรวจสอบข้อบกพร่องได้ไม่ถูกต้องทุกคน

เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 4.3 มาคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดต่างๆ เพื่อประเมินระบบการวัด ได้ผลดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์พนักงานต่ละคน

1.1 ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Appraiser Score)

% รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 1 = $\frac{30}{30}$ = 1 = 100%

% รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 2 = $\frac{30}{30}$ = 1 = 100%

% รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 3 = $\frac{30}{30}$ = 1 = 100%

1.2 ความถูกต้องของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน

1.2.1 ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Attribute Score)

% คะแนนของค่าแอตทริบิวต์ของพนักงานคนที่ 1 = $\frac{30}{30}$ = 1 = 100%

% คะแนนของค่าแอตทริบิวต์ของพนักงานคนที่ 2 = $\frac{30}{30}$ = 1 = 100%

% คะแนนของค่าแอตทริบิวต์ของพนักงานคนที่ 3 = $\frac{30}{30}$ = 1 = 100%

1.2.2 ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน (Operator Effectiveness Index: O_E)

O_E ของพนักงานคนที่ 1 = $\frac{90}{30x3}$ = 1 = 100%

O_E ของพนักงานคนที่ 2 = $\frac{90}{30x3}$ = 1 = 100%

O_E ของพนักงานคนที่ 3 = $\frac{90}{30x3}$ = 1 = 100%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2.3 ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False Alarm Index: I_{FA})

I_{FA} ของพนักงานคนที่ 1 = $\frac{0}{15x3}$ = 0 = 0%

I_{FA} ของพนักงานคนที่ 2 = $\frac{0}{15x3}$ = 0 = 0%

I_{FA} ของพนักงานคนที่ 3 = $\frac{0}{15x3}$ = 0 = 0%

1.2.4 ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (Index of Miss: I_{MISS})

I_{MISS} ของพนักงานคนที่ 1 = $\frac{0}{15x3}$ = 0 = 0%

I_{MISS} ของพนักงานคนที่ 1 = $\frac{0}{15x3}$ = 0 = 0%

I_{MISS} ของพนักงานคนที่ 1 = $\frac{0}{15x3}$ = 0 = 0%

2. การวิเคราะห์ระหว่างพนักงานตรวจสอบ

2.1 การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน (Screen Effective Score or Reproducibility)

% ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ = $\frac{30}{30}$ = 1 = 100%

2.2 การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน (%Attribute Screen Effective Score)

% คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์ = $\frac{30}{30}$ = 1 = 100%

ผลสรุปของค่าดัชนีชี้วัดระบบการวัดของข้อมูล แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลสรุปของค่าดัชนีชี้วัดของระบบการวัดของข้อมูล

ดัชนีชี้วัด	**พนักงานตรวจสอบคนที่ 1**	**พนักงานตรวจสอบคนที่ 2**	**พนักงานตรวจสอบคนที่ 3**
ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Appraiser Score)	100%	100%	100%
ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Attribute Score)	100%	100%	100%
ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน (Operator Effectiveness Index: O_E)	100%	100%	100%
ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False Alarm Index: I_{FA})	0%	0%	0%
ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (Index of Miss: I_{MISS})	0%	0%	0%
การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน (Screen Effective Score or Reproducibility)	100%		
การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน (%Attribute Screen Effective Score)	100%		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบคุณภาพทั้ง 3 คน พบว่า พนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภท

การปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P โดยมีค่า $O_E \geq 90\%$ $I_{FA} \leq 5\%$ และ $I_{MISS} \leq 2\%$ หมายความว่า ความมีประสิทธิผลของพนักงาน การตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด และการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาดล้วนแล้วอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และในส่วนของการวิเคราะห์ระหว่างพนักงานซึ่งเป็นการมองภาพรวมของทั้งระบบการวัดนั้นพบว่า ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน และความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงานมีค่าเท่ากับ 100% แสดงว่าระบบการวัดมีความเชื่อถือได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่เกิดจากการวัดไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P นั่นคือมีความแม่นและความเที่ยงในระดับที่ให้ผลการตรวจสอบที่เชื่อถือได้

4.2 คำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้วัดสภาพปัญหา

จากการเก็บข้อมูลได้สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ในเดือนกรกฎาคม 2564 ถึงเดือนมิถุนายน 2565 พบว่ามีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 2.49% จากปริมาณการผลิต 10,100,000 ชิ้น เพื่อให้มั่นใจว่าขนาดของตัวอย่างนั้นเพียงพอและสามารถอ้างอิงไปยังประชากรได้อย่างน่าเชื่อถือ จึงต้องทำการกำหนดขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการเก็บข้อมูลก่อน ซึ่งในที่นี้คือต้องการประมาณค่าสัดส่วนของประชากร กรณีไม่ทราบประชากร ดังนั้นสามารถคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้จากสมการที่ 4.1

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 pq}{e^2} \quad (4.1)$$

โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่าง

$Z_{\alpha/2}$ คือ ค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น (1-α)%

P คือ สัดส่วนของลักษณะที่สนใจของประชากร ซึ่งในงานวิจัยนี้ หมายถึง สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม

q คือ สัดส่วนของลักษณะที่ไม่สนใจของประชากร (q = 1-p)

e คือ ความผิดพลาดที่ยอมรับได้หรือขนาดความแตกต่างสูงสุดของค่าที่ประมาณได้กับค่าจริงของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดตัวอย่าง

- กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 99% จะได้ ค่า $Z_{\alpha/2} = Z_{0.01/2} = Z_{0.005} = 2.58$
- กำหนดค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง (e) เท่ากับ 0.001 หรือ 0.01%
- ค่าสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุง (p) คือ 0.0249

แทนค่าในสมการ

$$n = \frac{(2.58^2)(0.0249)(0.9751)}{0.001^2} = 161{,}095.2 = 161{,}096 \text{ ชิ้น}$$

ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.001 ได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในการประมาณค่าสัดส่วนของเสียต้องมีค่าเท่ากับ 161,096 ชิ้น เป็นอย่างน้อย ซึ่งข้อมูลจำนวน 10,100,000 ชิ้น ที่มีอยู่จึงเพียงพอและสามารถใช้ในการประมาณค่าสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ได้

4.3 สรุประยะการวัดสภาพปัญหาก่อนการปรับปรุง

ในระยะการวัดสภาพปัญหาก่อนการปรับปรุง ได้มีการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบคุณภาพทั้ง 3 คน พบว่า พนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P โดยมีค่า OE ≥ 90% IFA ≤ 5% และ IMISS ≤ 2% หมายความว่า ความมีประสิทธิผลของพนักงานการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด และการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาดล้วนแล้วอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และในส่วนของการวิเคราะห์ระหว่างพนักงานซึ่งเป็นการมองภาพรวมของทั้งระบบการวัดนั้นพบว่า ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน และความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงานมีค่าเท่ากับ 100% แสดงว่าระบบการวัดมีความเชื่อถือได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่เกิดจากการวัดไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P นั่นคือมีความแม่นและความเที่ยงในระดับที่ให้ผลการตรวจสอบที่เชื่อถือได้ จากนั้นเมื่อทำการคำนวณว่าข้อมูลที่มีอยู่เหมาะสมในการประมาณค่าสัดส่วนของเสียหรือไม่ ซึ่งจากการคำนวณพบว่าขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในการประมาณค่าสัดส่วนของเสียต้องมีค่าเท่ากับ 161,096 ชิ้น เป็นอย่างน้อย ดังนั้นข้อมูลที่มีอยู่จำนวน 10,100,000 ชิ้น จึงเพียงพอและสามารถใช้ในการประมาณค่าสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

5.1 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการรวบรวมความคิดจากคณะทำงานทั้งหมด เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) โดยให้คณะทำงานร่วมเสนอความคิดถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่คาดว่าจะส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P โดยแบ่งหัวข้อปัจจัยนำเข้าหลักออกเป็น 5 หัวข้อ ซึ่งได้แก่ สาเหตุจากพนักงาน (Man) สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine) สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material) สาเหตุจากวิธีการปฏิบัติงาน (Method) และสาเหตุจากสภาพแวดล้อม (Environment) โดยผลจากการระดมความคิดแสดงดังรูปที่ 5.1

2. คัดกรองและจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่เป็นไปได้ เพื่อเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีความเกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องมากที่สุดไปศึกษาต่อไป โดยนำความคิดเห็นทั้งหมดจากคณะทำงานมาให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล ซึ่งวิธีในการให้คะแนนคือให้มีการปรึกษาหารือภายในคณะทำงานและยอมรับระดับคะแนนในแต่ละปัจจัยร่วมกัน โดยเกณฑ์การให้คะแนนแสดงในตารางที่ 5.1 ผลจากการให้คะแนนความร่วมกันของคณะทำงานโดยเรียงลำดับจากคะแนนมากไปน้อยแสดงดังรูปที่ 5.2 ซึ่งเหตุผลประกอบในการให้คะแนนแต่ละปัจจัยแสดงดังตารางที่ 5.2 และปัจจัยที่ถูกเลือกและแนวทางในการปรับปรุงแต่ละปัจจัยแสดงดังตารางที่ 5.3

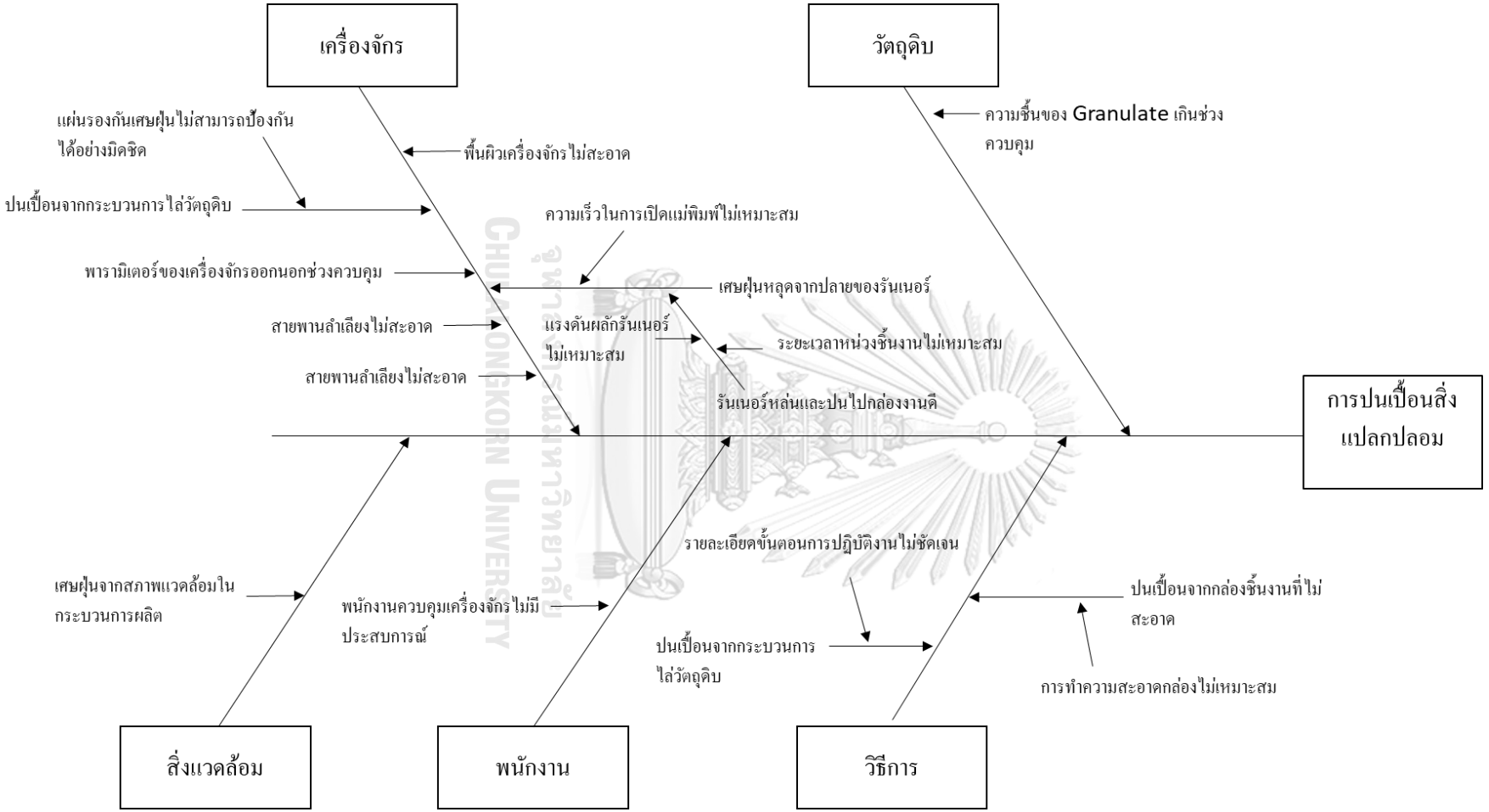
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P มาจากเศษรันเนอร์ที่หล่นลงไปในกล่องงานดี ซึ่งโดยปกติแล้วรันเนอร์จะต้องหล่นลงไปที่กล่องงานเสีย โดยลักษณะบริเวณส่วนปลายของรันเนอร์คือมีเนื้อพลาสติกที่ขรุขระยื่นออกมาจึงทำให้เศษพลาสติกหลุดออกมาได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระแทก และเศษพลาสติกที่หลุดออกมานั้นจะไปติดอยู่ที่บริเวณต่าง ๆ ของชิ้นส่วน A ที่มีลักษะเป็นร่องและมีรู โดยหลังจากที่ชิ้นส่วน A ถูกประกอบเข้ากับชิ้นส่วน B แล้วเศษพลาสติกจะไปเกาะติดที่ชิ้นส่วน B ที่มีพื้นผิวสีส้มและมีลักษณะพื้นผิวที่มีน้ำมันอยู่ปริมาณมากซึ่งจะทำให้โอกาสในการเกาะติดของเศษพลาสติกนั้นเกิดขึ้นได้ง่ายยิ่งขึ้นและจะทำให้สามารถสังเกตุเห็นการปนเปื้อนได้โดยง่ายเนื่องจากมีสีที่ตัดกันอย่างชัดเจน ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดการปะปนของรันเนอร์ลงไปในกล่องงานดีได้แก่ แรงดัน

ผลักรันเนอร์ไม่เหมาะสม และระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน (Delay time) ไม่เหมาะสม ส่วนปัจจัยที่ส่งผลทำให้ปลายของรันเนอร์ไม่เรียบได้แก่ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของทั้งสามปัจจัยข้างต้นในลำดับต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่ามีอีก 2 ปัจจัยที่ส่งผลเช่นเดียวกันได้แก่ สายพานลำเลียงไม่สะอาดซึ่งจะทำการศึกษาหาความถี่ในการทำความสะอาดที่เหมาะสม และแผ่นรองกันเศษฝุ่นไม่สามารถป้องกันได้อย่างมิดชิดซึ่งมีแนวทางในปรับปรุงโดยจัดทำแผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลได้ดังนี้

- แรงดันผลักรันเนอร์ไม่เหมาะสม การผลักรันเนอร์ออกจากแม่พิมพ์จะถูกควบคุมโดยแรงดัน หากแรงดันมากพอก็จะทำให้มีแรงส่งไปที่เข็มกระทุ้งมากและสามารถผลักรันเนอร์ออกมาได้เร็ว แต่ถ้าหากแรงดันต่ำเกินไปก็จะทำให้มีแรงส่งไปที่เข็มกระทุ้งน้อยและผลักรันเนอร์ออกจากแม่พิมพ์ได้ช้า รันเนอร์ก็จะร่วงออกจากแม่พิมพ์ช้ากว่าเวลาอันควรคือร่วงในช่วงเวลาใกล้เคียงกับที่ชิ้นงานร่วง จึงส่งผลทำให้รันเนอร์มีโอกาสที่จะตกลงไปที่กล่องงานดีพร้อม ๆ กับชิ้นงาน และมีโอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากรันเนอร์มาที่ชิ้นงานได้
- ระยะเวลาหน่วงชิ้นงานไม่เหมาะสม ระยะเวลาหน่วงชิ้นงานเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดเวลาในการผลักชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เมื่อเข็มกระทุ้งเริ่มทำงานในช่วงเวลาเดียวกันแผ่นกั้นชิ้นงานก็จะเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งเปิดเพื่อบังคับให้ชิ้นงานตกลงไปที่สายพานลำเลียงและลำเลียงชิ้นงานไปที่กล่องงานดี จากนั้นแผ่นกั้นชิ้นงานจึงจะเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งปิดโดยอัตโนมัติเพื่อป้องกันไม่ให้รันเนอร์ในรอบถัดไปปะปนยังกล่องงานดี ซึ่งโดยปกติแล้วเข็มกระทุ้งจะผลักชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ภายหลังจากที่รันเนอร์ร่วงลงไปที่กล่องงานเสียซึ่งจะทำให้รันเนอร์ไม่ปะปนไปกับชิ้นงาน ซึ่งถ้าหากระยะเวลาหน่วงสั้นเกินไปจะทำให้ชิ้นงานและรันเนอร์ร่วงออกจากแม่พิมพ์ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากรันเนอร์มาที่ชิ้นงานได้
- ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม การที่แม่พิมพ์เปิดเร็วไปจะทำให้เกิดแรงกระชากขึ้นที่ชิ้นงานในจังหวะที่โมลด์แยกออกจากกัน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปลายของรันเนอร์ไม่เรียบและมีโอกาสที่เศษพลาสติกจะหลุดออกมาได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับแรงกระแทก ในทางตรงกันข้ามด้วยความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่ช้ากว่าจะมีส่วนช่วยให้รันเนอร์ขาดออกจากชิ้นงานได้อย่างเหมาะสมทำให้ปลายของรันเนอร์มีความขรุขระน้อยลง แต่ทั้งนี้ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่ช้าจะทำให้รอบเวลาการผลิตเพิ่มขึ้นและมีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 5.1 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอม

ตารางที่ 5.1 เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล

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

ตารางที่ 5.2 คะแนนรวมของแต่ละปัจจัยนำเข้าและเหตุผลประกอบการให้คะแนน

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า	คะแนน	เหตุผลประกอบการให้คะแนน
1	ความชื้นของเม็ดพลาสติก (Granulate) เกินช่วงควบคุม	1	เนื่องจากกระบวนการตรวจรับวัตถุดิบมีการตรวจสอบความชื้นของความชื้นของเม็ดพลาสติก ก่อนส่งวัตถุดิบเข้ากระบวนการผลิตทุกครั้ง ดังนั้นปัจจัยนี้จึงมีโอกาสเกิดขึ้นน้อย
2	พื้นผิวเครื่องจักรไม่สะอาด	3	มีการกำหนดให้ทำความสะอาดตามพื้นผิวเครื่องจักรอยู่เป็นประจำดังนั้นโอกาสในการเกิดการปนเปื้อนจึงอยู่ในระดับปานกลาง
3	สายพานลำเลียงไม่สะอาด	9	ถึงแม้ว่าจะมีการกำหนดให้ทำความสะอาดตามพื้นผิวอยู่เป็นประจำเช่นเดียวกับเครื่องจักร แต่คณะทำงานมองว่ายังมีโอกาสในการเกิดการปนเปื้อนอยู่เนื่องจากสายพานลำเลียงมีการสัมผัสโดยตรงกับรันเนอร์ที่ปนมากับชิ้นงานดี
4	พารามิเตอร์ของเครื่องจักรออกนอกช่วงควบคุม	1	เนื่องจากเครื่องจักรถูกควบคุมด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ ซึ่งจะสามารถเฝ้าระวังพารามิเตอร์ของเครื่องจักรไม่ให้ออกนอกช่วงควบคุม
5	ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม	9	การที่แม่พิมพ์เปิดช้าหรือเร็วไปอาจจะส่งผลทำให้ปลายของรันเนอร์ไม่เรียบ และมีโอกาสที่จะมีเศษฝุ่นพลาสติกหลุดออกมาได้ง่ายขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

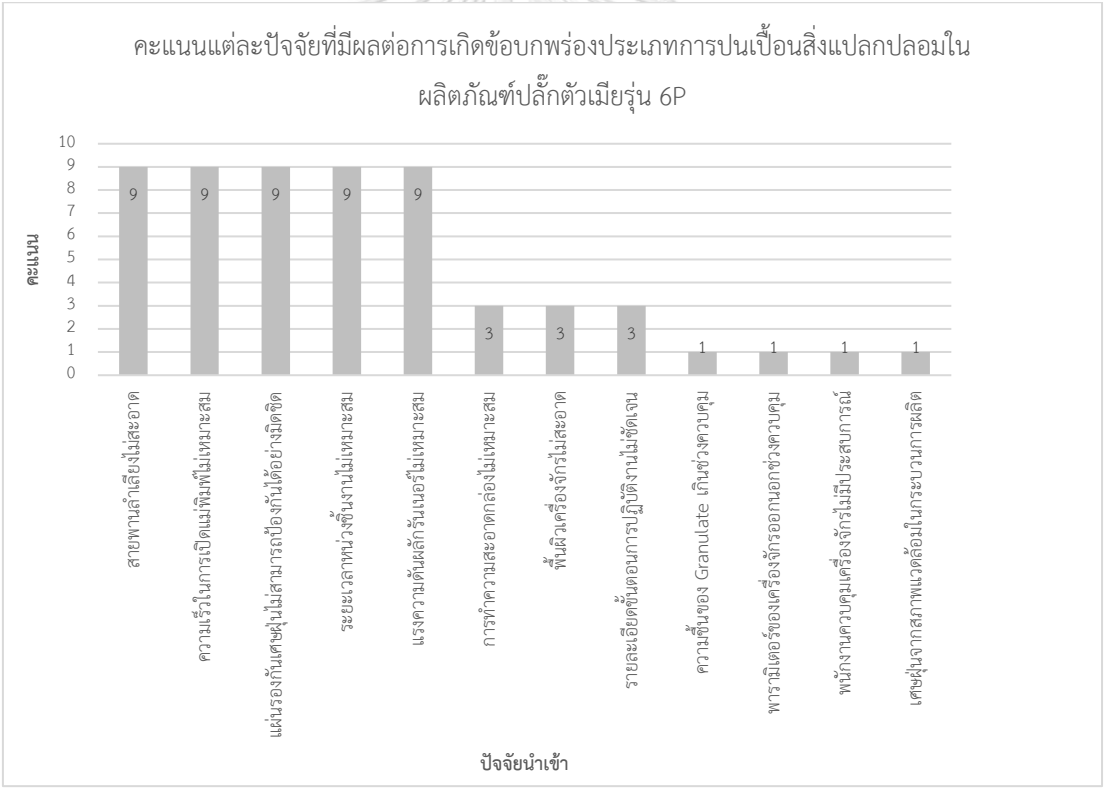
ตารางที่ 5.2 คะแนนรวมของแต่ละปัจจัยนำเข้าและเหตุผลประกอบการให้คะแนน (ต่อ)

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า	คะแนน	เหตุผลประกอบการให้คะแนน
6	แผ่นรองกันเศษฝุ่นไม่สามารถป้องกันได้อย่างมิดชิด	9	หากแผ่นรองกันเศษฝุ่นไม่สามารถป้องกันสิ่งแปลกปลอมได้อย่างมิดชิด จะทำให้มีช่องว่างซึ่งในขั้นตอนการไล่วัตถุดิบส่งผลทำให้เศษฝุ่นสามารถหล่นร่วงไปยังกล่องชิ้นงานและปนเปื้อนกับชิ้นงานได้
7	ระยะเวลาหน่วงชิ้นงานไม่เหมาะสม	9	ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดเวลาในการผลักชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งถ้าระยะเวลาหน่วงไม่เหมาะสม เข็มกระทุ้งอาจจะผลักชิ้นงานออกเร็วไป ซึ่งจะทำให้รันเนอร์หลุดไปพร้อมกับชิ้นงาน จะส่งผลทำให้มีโอกาสการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมเกิดขึ้น
8	แรงดันในการผลักรันเนอร์ไม่เหมาะสม	9	ในกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อขึ้นรูปชิ้นส่วน A จะมีการใช้แรงดันเพื่อใช้ในการผลักรันเนอร์ออกจากแม่พิมพ์ แรงดันที่ต่ำไปจะทำให้รันเนอร์หลุดออกจากแม่พิมพ์ช้าและมีโอกาสตกลงไปที่กล่องงานงานดีแทนที่จะตกลงไปในกล่องงานเสีย จะส่งผลทำให้มีโอกาสการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมเกิดขึ้น
9	การทำความสะอาดกล่องไม่เหมาะสม	3	จากการตรวจสอบที่จุดทำความสะอาดกล่องชิ้นงาน พบว่ามีโอกาสที่มีเศษสิ่งแปลกปลอมยังเหลืออยู่หลังการทำความสะอาด ปัจจัยนี้จึงมีโอกาสทำให้เกิดข้อบกพร่องอยู่ในระดับปานกลาง
10	รายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานของการไล่วัตถุดิบไม่ชัดเจน	3	จากการตรวจสอบขั้นตอนการปฏิบัติงานของการไล่วัตถุดิบพบว่ายังขาดความสมบูรณ์และมีโอกาสทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ แต่เมื่อสัมภาษณ์พนักงานควบคุมเครื่องจักรจึงพบว่าพนักงานทำถูกต้องครบถ้วน ดังนั้นโอกาสการเกิดข้อบกพร่องจากปัจจัยนี้อยู่ในระดับปานกลาง ทั้งนี้คณะทำงานได้ทำการปรับปรุงขั้นตอนการปฏิบัติงานให้มีความถูกต้องครบถ้วนมากขึ้นเพื่อให้ชัดเจนต่อการปฏิบัติงานของพนักงานเนื่องจากสามารถจัดทำได้โดยง่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.2 คะแนนรวมของแต่ละปัจจัยนำเข้าและเหตุผลประกอบการให้คะแนน (ต่อ)

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า	คะแนน	เหตุผลประกอบการให้คะแนน
11	พนักงานควบคุมเครื่องจักรไม่มีประสบการณ์	1	จากการสัมภาษณ์พนักงานควบคุมเครื่องจักรพบว่าพนักงานทำถูกต้องครบถ้วนตามขั้นตอน ดังนั้นโอกาสการเกิดข้อบกพร่องจากปัจจัยนี้อยู่ในระดับน้อย
12	เศษฝุ่นจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต	1	เศษสิ่งแปลกปลอมที่พบบนชิ้นงานมีลักษณะที่ใหญ่และมีน้ำหนัก จึงมีโอกาสน้อยที่สิ่งแปลกปลอมดังกล่าวจะปนเปื้อนมาจากสภาพแวดล้อมในการผลิต



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงลำดับคะแนนของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

ตารางที่ 5.3 แนวทางในการปรับปรุงแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

ลำดับที่	ขั้นตอน	ปัจจัยนำเข้า	ศึกษาต่อ	ไม่ศึกษาต่อ	แนวทางการปรับปรุงแก้ไข
1	ก่อนเริ่มการผลิต	แผ่นรองกันเศษฝุ่นไม่สามารถป้องกันได้อย่างมิดชิด	✓		จัดทำแผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่ให้สามารถป้องกันได้อย่างมิดชิด
2		สายพานลำเลียงไม่สะอาด	✓		กำหนดความถี่ในการทำความสะอาดสายพานลำเลียงที่เหมาะสม
3	การฉีด	ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม	✓		ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม
4		ระยะเวลาหน่วงชิ้นงานไม่เหมาะสม	✓		ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม
5		แรงดันในการผลักรันเนอร์ไม่เหมาะสม	✓		ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม

นอกเหนือจากแนวทางการปรับปรุงแก้ไขที่ระบุไว้ในตางรางที่ 5.3 แล้วคณะทำงานยังได้พิจารณาถึงการล้างชิ้นงานหลังจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปและข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมที่ถูกตรวจพบที่กระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้ายด้วยสายตาก่อนการบรรจุหีบห่อ แต่เนื่องการการล้างชิ้นงานจะต้องมีการลงทุนด้านเครื่องจักรเพิ่มเติม อีกทั้งยังมีต้นทุนด้านค่าสาธารณูปโภคซึ่งได้แก่ ค่าน้ำ เป็นต้น ดังนั้นวิธีนี้การล้างชิ้นงานจึงไม่ผ่านการอนุมัติจากผู้บริหาร โดยผู้บริหารได้ชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงคือให้ทำการปรับปรุงที่สาเหตุรากเหง้าของปัญหาโดยให้หลีกเลี่ยงการลงทุนเพิ่มเติม

5.2 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

จากรูปที่ 5.2 พบว่าปัจจัยที่ได้รับคะแนนระดับความสัมพันธ์มากมีทั้งหมด 5 ปัจจัย ผู้วิจัยจึงเลือก 5 ปัจจัยดังกล่าวไปทำการศึกษาต่อ โดยมีแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขสำหรับทั้ง 5 ปัจจัยแสดงดังตารางที่ 5.3 ปัจจัยนำเข้าที่ไม่สามารถปรับตั้งค่าได้มี 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) แผ่นรองกันเศษฝุ่นไม่สามารถป้องกันได้อย่างมิดชิด ซึ่งมีแนวทางในการปรับปรุงโดยออกแบบแผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่ให้

สามารถป้องกันได้อย่างมิดชิด และ 2) สายพานลำเลียงไม่สะอาด ซึ่งมีแนวทางในการปรับปรุงโดยศึกษาหาความถี่ในการในการทำความสะอาดสายพานลำเลียงที่เหมาะสมและไม่กระทบกับรอบเวลาการผลิตมากจนเกินไป และมีปัจจัยนำเข้าที่สามารถปรับตั้งค่าได้ 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม ระยะเวลาหน่วงชิ้นงานไม่เหมาะสม และแรงดันในการผลักรันเนอร์ไม่เหมาะสม จะปรับปรุงโดยใช้การออกแบบการทดลองด้วยแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Design) เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยและหาค่าที่เหมาะสมที่ของปัจจัยเหล่านั้นที่สามารถแยกรันเนอร์ไม่ให้ปนไปกับกล่องงานดีซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องที่เกิดจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6

การปรับปรุงกระบวนการ

จากระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่ามีปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ทั้งหมด 5 ปัจจัย โดยในระยะนี้จะนำปัจจัยที่ได้มาทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมที่ส่งผลให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยที่สุด ซึ่งปัจจัยที่มีนัยสำคัญมีดังนี้

1. รูปแบบของแผ่นรองกันเศษฝุ่น
2. ความถี่ในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง
3. ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์
4. ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน
5. แรงดันในการผลักรันเนอร์

6.1 การเลือกแบบการทดลองที่ใช้ในงานวิจัย

จากปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 5 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญข้างต้น มีปัจจัยที่ไม่สามารถปรับตั้งค่าได้ 2 ปัจจัย ได้แก่ รูปแบบของแผ่นรองกันเศษฝุ่น จะทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานว่าแผ่นรองกันเศษฝุ่นแบบใดให้สัดส่วนของเสียที่น้อยกว่าระหว่างแผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมและแผ่นรองกันเศษฝุ่นที่ออกแบบใหม่ และความถี่ในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง จะทำการกำหนดความถี่ในการทำความสะอาดที่แตกต่างกันและเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียเพื่อหาความถี่ที่เหมาะสม จากนั้นจึงทำการทดลองสำหรับ 3 ปัจจัยที่เหลือที่ปรับตั้งค่าได้ ซึ่งได้แก่ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน และแรงดันในการผลักรันเนอร์ โดยจากที่ได้ศึกษางานวิจัยที่ได้ทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมของแบบการทดลองเพื่อใช้ในงานวิจัย ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางโดยจะประกอบด้วยส่วนการทดลอง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแฟคทอเรียล ส่วนจุดแกน (Axial Runs) และส่วนจุดศูนย์กลาง (Center Runs) ซึ่งมีจุดแฟคทอเรียลอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางเท่ากับระยะที่จุดแกนอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลาง ซึ่งจะทำให้คุณภาพการพยากรณ์ดีเท่าเทียมกันที่ทุกช่วงของระดับปัจจัยที่ทำการทดลอง มีจำนวนการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง โดยที่ปัจจัยใด ๆ จะถูกทดลองที่ 5 ระดับ ทั้งนี้เหตุผลที่ผู้วิจัยไม่เลือกใช้แบบการทดลองแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคนที่มีจำนวนการทดลองน้อยกว่าแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง 5 การทดลอง นั้นเป็นเพราะว่าจะให้คุณภาพการพยากรณ์ที่ดีในบางช่วงเนื่องจากไม่มีการทำการทดลองที่จุดแฟคทอเรียล [10], [15] และเหตุผลที่ผู้วิจัยไม่เลือกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป 3 ระดับ นั้นเป็นเพราะว่ามีจำนวนการทดลองที่มากกว่าแบบการทดลองแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางถึง 7 การทดลองแต่ให้คุณภาพการ

พยากรณ์ที่ใกล้เคียงกับแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ซึ่งเป็นแบบการทดลองที่มีความเหมาะสมที่สุดทั้งในส่วนของจำนวนการทดลองและคุณภาพการพยากรณ์ของแบบจำลอง [15] นอกจากนี้ข้อจำกัดของแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางด้านการปรับตั้งค่าปัจจัยที่จะต้องทำการปรับตั้งค่าในระดับเลขทศนิยมเพื่อทำการทดลองนั้นก็ไม่ได้เป็นอุปสรรคแต่อย่างใด เนื่องจากเครื่องฉีดพลาสติกที่โรงงานกรณีศึกษานั้นเป็นเครื่องระบบไฟฟ้าซึ่งสามารถปรับตั้งค่าในระดับเลขทศนิยมได้

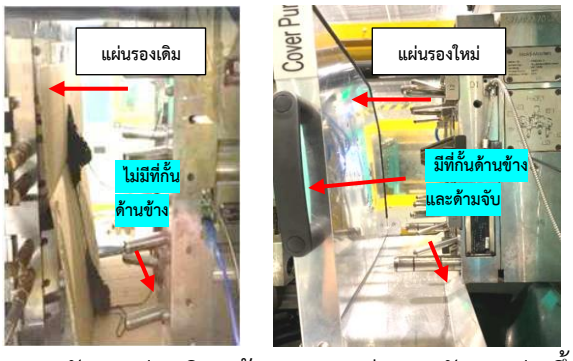
6.2 การทดสอบสมมติฐานสำหรับรูปแบบของแผ่นรองกันเศษฝุ่น

ก่อนเริ่มการผลิตที่เครื่องฉีดพลาสติกจะต้องมีการปล่อยให้น้ำพลาสติกไหลออก (Purging) เป็นจำนวน 10 ช็อต เพื่อเป็นการไล่ระบบ โดยในขั้นตอนนี้จะต้องใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นเพื่อป้องกันเศษฝุ่นไม่ให้ร่วงลงไปโดนแผ่นกั้นชิ้นงาน ซึ่งแผ่นรองกันเศษฝุ่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นถูกจัดทำขึ้นมาอย่างไม่เป็นมาตรฐานโดยดัดแปลงมาจากกล่องกระดาษลูกฟูกซึ่งไม่สามารถป้องกันเศษฝุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความเสี่ยงที่เศษฝุ่นจากการไล่วัตถุดิบอาจร่วงลงไปโดนแผ่นกั้นชิ้นงานซึ่งนำไปสู่การปนเปื้อนไปยังชิ้นงานได้ และนอกจากนี้ยังมีโอกาสปนเปื้อนเศษฝุ่นที่อาจหลุดมาจากกล่องกระดาษอีกด้วย คณะทำงานจึงได้ออกแบบแผ่นรองกันเศษฝุ่นขึ้นใหม่โดยใช้วัสดุที่มีความคงทนและมีรูปร่างที่เหมาะสมต่อการใช้งานซึ่งสามารถป้องกันเศษฝุ่นได้ทุกทิศทางการเคลื่อนที่เป็นไปได้ของวัตถุดิบซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันมากยิ่งขึ้น รูปแผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมและแผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่แสดงดังรูปที่ 6.1 โดยกำหนดระดับของปัจจัยเพื่อทดสอบสมมติฐานดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ระดับปัจจัยของรูปแบบแผ่นรองกันเศษฝุ่น

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
แผ่นรองกันเศษฝุ่น	แผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิม
	แผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 6.1 แผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิม (ซ้าย) และแผ่นรองกันเศษฝุ่นขึ้นใหม่ (ขวา)

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน

1. ทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มที่ใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นที่แตกต่างกัน หลังจากชิ้นงานออกจากเครื่องจักรให้ทำการจัดเก็บใส่กล่องชิ้นงานและเขียนป้ายบ่งชี้ไว้
2. นำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการผลิตตามขั้นตอนการผลิต
3. ทำการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม และบันทึกผล

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0 : สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมและแผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่ไม่แตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิม มากกว่าการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่

วิธีการคำนวณขนาดตัวอย่าง

เนื่องจากเหตุการณ์ที่จำเป็นต้องใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นนั้นมีความถี่ไม่มาก โดยปกติแล้วจะเกิดขึ้นในกรณีที่เริ่มต้นทำการผลิตใหม่หรือหลังการหยุดเครื่อง โดยในระหว่างการผลิตจะนำแผ่นกั้นออก ดังนั้นคณะทำงานจึงมีความเห็นให้ทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 รอบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ซึ่งเท่ากับจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 500,000 ชิ้นงาน เพื่อให้มั่นใจว่ากลุ่มตัวอย่างจะสามารถสะท้อนถึงผลของปัจจัยที่ศึกษาได้ โดยจากการเก็บตัวอย่างจำนวน 500,000 ชิ้นงาน พบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดจากการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่เท่ากับ 2.38% โดยสัดส่วนของเสียที่เกิดจากแผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมนั้นได้จากข้อมูลการผลิตในเดือนกรกฎาคม 2564 - เดือนมิถุนายน 2565 ซึ่งมีปริมาณการผลิตทั้งหมด 10,100,000 ชิ้นและมีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 2.49% นั่นเอง และสามารถนำมาคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 6.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.2 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานของแผ่นรองกันเศษฝุ่น

Power and Sample Size

Test for Two Proportions
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)
Calculating power for baseline p = 0.0249
α = 0.05

Results

Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.0238	412603	0.9	0.900001

The sample size is for each group.

จากตารางที่ 6.2 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมด้วยฟังก์ชั่น Power and Sample Size สำหรับการทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของประชากร 2 กลุ่ม ในโปรแกรม Minitab พบว่าต้องทำการเก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อยเท่ากับ 412,603 ชิ้นงาน ที่กำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.9 และระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจำนวนข้อมูลจำนวน 500,000 ข้อมูลที่มีอยู่จึงเพียงพอและไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพิ่ม ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลนี้เพื่อการทดสอบสมมติฐานต่อไปได้

ผลการทดสอบสมมติฐาน

จากการทดลองโดยใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นที่แตกต่างกัน พบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดจากการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมและแผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่เท่ากับ 2.49% และ 2.38% ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 6.3 และจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.0005 แสดงดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นที่แตกต่างกัน

ประเภทของแผ่นรองกันเศษฝุ่น	จำนวนชิ้นงานทดสอบ	จำนวนของเสีย	สัดส่วนของเสีย
แผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิม	10,100,000	251,008	2.49%
แผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่	500,000	11,907	2.38%

ตารางที่ 6.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นที่แตกต่างกัน

Test and CI for Two Proportions

Method

p_1: proportion where Sample 1 = Event
p_2: proportion where Sample 2 = Event
Difference: $p_1 - p_2$

Descriptive Statistics

Sample	N	Event	Sample p
Sample 1	10100000	251008	0.024852
Sample 2	500000	11907	0.023814

Estimation for Difference

Difference	95% Lower Bound for Difference
.0010383	0.000675

CI based on normal approximation

Test

Null hypothesis	$H_0: p_1 - p_2 = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: p_1 - p_2 > 0$

Method	Z-Value	P-Value
Normal approximation	4.70	0.000
Fisher's exact		0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

จากการปรับปรุงแผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่ และทดลองใช้จริง ผลการทดลองพบว่ามีสัดส่วนของเสียลดลงจาก 2.49% เป็น 2.38% และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.0005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่มีสัดส่วนของเสียน้อยกว่าการใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

6.3 ความถี่ในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง

เนื่องจากสายพานลำเลียงมีการสัมผัสโดยตรงกับชิ้นงานรวมไปถึงรันเนอร์ที่อาจปะปนมากับชิ้นงาน จึงทำให้อาจมีสิ่งแปลกปลอมสะสมอยู่ที่สายพานและเพิ่มโอกาสในการปนเปื้อนเข้าไปสู่ชิ้นงานได้ ด้วยความถี่ในการทำความสะอาดปัจจุบันที่ 1 ครั้งต่อสัปดาห์อาจไม่เพียงพอเมื่อเทียบกับปริมาณการผลิตในจำนวนที่มากถึงวันละ 30,000 ชิ้น ทางคณะทำงานจึงทำการปรับปรุงโดยการเพิ่มความถี่เป็น 1 ครั้งต่อกะ โดยจะเพิ่มเข้าไปในขั้นตอนของการทำ 5ส. ก่อนเริ่มการผลิตของแต่ละกะ ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมต่อการปฏิบัติงานในแต่ละกะของการผลิต เนื่องจากมีการทำ 5ส. อยู่แล้ว เพียงแต่เพิ่มขั้นตอนการทำความสะอาดสายพานเข้าไปอีกหนึ่งขั้นตอน ซึ่งการเพิ่มนี้สามารถยอมรับได้เนื่องจากไม่ได้กระทบกับปริมาณการผลิตมากนัก ซึ่งสามารถกำหนดระดับของปัจจัยเพื่อทดสอบสมมติฐานได้ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ระดับปัจจัยของรูปแบบแผ่นรองกันเศษฝุ่น

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
ความถี่ในการในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง	1 ครั้งต่อกะ
	1 ครั้งต่อสัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน

1. ทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มที่มีการทำความสะอาดสายพานด้วยความถี่ต่างกัน หลังจากชิ้นงานออกจากเครื่องจักรให้ทำการจัดเก็บใส่กล่องชิ้นงานและเขียนป้ายบ่งชี้ไว้
2. นำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการผลิตตามขั้นตอนการผลิต
3. ทำการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม และบันทึกผล

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0 : สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากการทำความสะอาดสายพานด้วยความถี่ 1 ครั้งต่อสัปดาห์และ 1 ครั้งต่อกะไม่แตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากการทำความสะอาดสายพานด้วยความถี่ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ มากกว่าความถี่ 1 ครั้งต่อกะ

<u>วิธีการคำนวณขนาดตัวอย่าง</u>

คณะทำงานมีความเห็นให้ทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 รอบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ซึ่งเท่ากับจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 500,000 ชิ้นงาน เพื่อให้มั่นใจว่ากลุ่มตัวอย่างจะสามารถสะท้อนถึงผลของปัจจัยที่ศึกษาได้ โดยจากการเก็บตัวอย่างจำนวน 500,000 ชิ้นงาน พบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดจากการใช้ความถี่ในการทำความสะอาดสายพาน 1 ครั้งต่อกะมีค่าเท่ากับ 2.36% โดยสัดส่วนของเสียที่เกิดจากการใช้ความถี่ในการทำความสะอาดสายพาน 1 ครั้งต่อสัปดาห์นั้นได้จากข้อมูลการผลิตในเดือนกรกฎาคม 2564 - เดือนมิถุนายน 2565 ซึ่งมีปริมาณการผลิตทั้งหมด 10,100,000 ชิ้นและมีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 2.49% นั่นเอง และสามารถนำมาคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานของความถี่ในการทำความสะอาดสายพาน

Power and Sample Size

Test for Two Proportions
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)
Calculating power for baseline p = 0.0249
α = 0.05

Results

Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.0236	294230	0.9	0.900000

The sample size is for each group.

จากตารางที่ 6.6 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมด้วยฟังก์ชั่น Power and Sample Size สำหรับการทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของประชากร 2 กลุ่ม ในโปรแกรม Minitab พบว่าต้องทำการเก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อยเท่ากับ 294,230 ชิ้นงาน ที่กำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.9 และระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจำนวนข้อมูลจำนวน 500,000 ข้อมูลที่มีอยู่จึงเพียงพอและไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพิ่ม ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลนี้เพื่อการทดสอบสมมติฐานต่อไปได้

<u>ผลการทดสอบสมมติฐาน</u>

จากการทดลองโดยใช้ความถี่ในการทำความสะอาดสายพานที่แตกต่างกัน พบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดจากการใช้ความถี่ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และ 1 ครั้งต่อกะ เท่ากับ 2.49% และ 2.36%

ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 6.7 และจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.0005 แสดงดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.7 ผลการทดลองการใช้ความถี่ในการทำความสะอาดสายพานที่แตกต่างกัน

ความถี่ในการในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง	จำนวนชิ้นงานทดสอบ	จำนวนของเสีย	สัดส่วนของเสีย
1 ครั้งต่อสัปดาห์	10,100,000	251,008	2.49%
1 ครั้งต่อกะ	500,000	11,808	2.36%

ตารางที่ 6.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการใช้ความถี่ในการทำความสะอาดสายพานที่แตกต่างกัน

Test and CI for Two Proportions

Method

p_1: proportion where Sample 1 = Event
p_2: proportion where Sample 2 = Event
Difference: $p_1 - p_2$

Descriptive Statistics

Sample	N	Event	Sample p
Sample 1	10100000	251008	0.024852
Sample 2	500000	11808	0.023616

Estimation for Difference

	Difference	95% Lower Bound for Difference
	0.0012363	0.000874

CI based on normal approximation

Test

Null hypothesis	$H_0: p_1 - p_2 = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: p_1 - p_2 > 0$

Method	Z-Value	P-Value
Normal approximation	5.61	0.000
Fisher's exact		0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

จากการปรับปรุงโดยการเพิ่มความถี่ในการทำความสะอาดสายพาน ผลการทดลองพบว่ามีสัดส่วนของเสียลดลงจาก 2.49% เป็น 2.36% และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.0005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าความถี่ในการทำความสะอาดสายพาน 1 ครั้งต่อกะ มีสัดส่วนของเสียน้อยกว่าความถี่ 1 ครั้งต่อสัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ

6.4 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้า

สำหรับปัจจัยนำเข้าที่สามารถปรับตั้งค่าได้ 3 ปัจจัยที่เหลือ ซึ่งได้แก่ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน และแรงดันในการผลักรันเนอร์ จะถูกนำมาศึกษาโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง โดยที่แต่ละปัจจัยจะถูกทดลองที่ 5 ระดับ ได้แก่ $-\alpha$, -1,

0, +1 และ +α โดย α มีค่าเท่ากับ 1.682 ซึ่งแสดงดังตารางที่ 6.9 โดยการเลือกระดับในการทดลองของแต่ละปัจจัยมีเหตุผลประกอบ ดังต่อไปนี้

- **ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์**

ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์จะส่งผลกระทบต่อความขรุขระที่ปลายของรันเนอร์ ซึ่งนำไปสู่การปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมที่หลุดออกจากส่วนปลายของรันเนอร์เข้าสู่ชิ้นงาน โดยความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ต่ำจะมีความขรุขระที่ปลายรันเนอร์น้อยกว่าความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่สูงกว่า เนื่องจากความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่สูงนั้นจะมีแรงกระชากเกิดขึ้นมากที่รอยต่อระหว่างชิ้นงานและปลายของรันเนอร์ในจังหวะที่โมลด์แยกออกจากกัน ซึ่งการตั้งค่าปัจจุบันสำหรับความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์จะอยู่ในช่วงระหว่าง 40 - 60 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยถ้าหากใช้ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์น้อยกว่า 30 มิลลิเมตรต่อวินาที จะส่งผลให้รอบเวลาการผลิตสูงกว่ามาตรฐานกำหนด แต่ถ้าหากใช้ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์มากกว่า 60 มิลลิเมตรต่อวินาที จะส่งผลทำให้สัดส่วนของเสียสูงขึ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยเลือกทำการทดลองความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ในช่วงที่กว้างกว่าการตั้งค่าปัจจุบันเนื่องจากต้องการทราบถึงกระทบของความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่เป็นไปได้ที่มีต่อสัดส่วนของเสีย และคำนวณเปรียบเทียบว่ารอบเวลาที่เพิ่มขึ้นนั้นมีความคุ้มค่าหรือไม่เมื่อเทียบกับสัดส่วนของเสียที่ลดลง โดยที่ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาทีนั้น อยู่ในระดับที่ยอมรับได้เนื่องจากไม่ได้ส่งผลกระทบจนทำให้การผลิตล่าช้าหรือทำให้เกิดการส่งมอบช้ากว่ากำหนด ดังนั้นช่วงของความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่จะทำการทดลองคือ 30- 70 มิลลิเมตรต่อวินาที

- **ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน**

ระยะเวลาหน่วงชิ้นงานจะส่งผลกระทบต่อการปะปนของรันเนอร์ ซึ่งนำไปสู่การปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมที่หลุดออกจากส่วนปลายของรันเนอร์เข้าสู่ชิ้นงาน โดยการตั้งค่าปัจจุบันสำหรับระยะเวลาหน่วงชิ้นงานคือ 0.5 – 1.0 วินาที ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาหน่วงชิ้นงานนั้นจะส่งผลกระทบโดยตรงกับรอบเวลาการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกช่วงของระยะเวลาหน่วงชิ้นงานตามช่วงเดิมเพื่อทำการทดลองซึ่งได้แก่ 0.5 – 1.0 วินาที

- **แรงดันผลักรันเนอร์**

แรงดันผลักรันเนอร์จะส่งผลกระทบต่อการปะปนของรันเนอร์ ซึ่งนำไปสู่การปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมที่หลุดออกจากส่วนปลายของรันเนอร์เข้าสู่ชิ้นงานเช่นเดียวกันกับระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน โดยการตั้งค่าปัจจุบันสำหรับแรงดันผลักรันเนอร์คือ 8 – 13 บาร์ ซึ่งผู้วิจัยเลือกทำการทดลองในช่วงของแรงดันผลักรันเนอร์ 8 – 15 บาร์ โดยเหตุผลที่เลือกทำการทดลองที่แรงดันมากกว่า 13 บาร์ ซึ่งมากกว่าการตั้งค่าปัจจุบันนั้นเป็นเพราะว่าแรงดันที่มากจะทำให้มีแรงส่งไปที่เข็มกระทุ้งมากและ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สามารถผลักรันเนอร์ออกมาได้เร็ว รันเนอร์ก็จะไม่ปะปนไปกับชิ้นงานซึ่งจะช่วยลดโอกาสการเกิดการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากรันเนอร์มาที่ชิ้นงานได้ดังที่กล่าวไว้ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาว่าแรงดัน โดยการที่ปรับตั้งค่าแรงดันที่สูงขึ้นนั้นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ายังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้เนื่องจากไม่ได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ถ้าใช้แรงดันผลักรันเนอร์ต่ำกว่า 8 บาร์ จะทำให้เกิดสัดส่วนของเสียสูง และถ้าใช้แรงดันมากกว่า 15 บาร์ รันเนอร์จะกระเด็นไปชนกับอีกด้านของแม่พิมพ์

ตารางที่ 6.9 ปัจจัยและระดับของปัจจัยนำเข้า

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย					หน่วย
		-1.682	-1	0	1	+1.682	
Speed	ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์	30	38.11	50	61.89	70	มิลลิเมตรต่อวินาที
Delay time	ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน	0.5	0.6	0.75	0.9	1	วินาที
Pressure	แรงดันในการผลักรันเนอร์	8	9.5	11.5	13.5	15	บาร์

6.5 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลอง

เนื่องจากยังไม่มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสีย แต่พบว่ามีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณหาขนาดของตัวอย่างแบบค่าสัดส่วน 2 กลุ่ม โดยในการคำนวณขนาดตัวอย่างจะคำนวณมาจากค่าสัดส่วนโดยประมาณของของเสียที่ระดับต่ำและระดับสูงของแต่ละปัจจัยจากข้อมูลจากการผลิตในอดีตที่มี [15] ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการประยุกต์ใช้วิธีข้างต้น โดยกำหนดกำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.9 และระดับความเชื่อมั่น 95%

- **ปัจจัยความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์**

เนื่องจากข้อมูลการผลิตที่ผ่านมาไม่เคยมีการใช้ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที และ 70 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลที่ใกล้เคียงที่สุด คือความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 40 มิลลิเมตรต่อวินาที เกิดสัดส่วนของเสีย 2.18% และที่ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 60 มิลลิเมตรต่อวินาที เกิดสัดส่วนของเสีย 3.74% จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์เปลี่ยนไป 20 มิลลิเมตรต่อวินาที สัดส่วนของเสียจะต่างกัน 1.56% ในที่นี้สมมติว่าการเกิดสัดส่วนของเสียมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เพราะฉะนั้นเมื่อความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์เปลี่ยนไป 40 มิลลิเมตรต่อ

วินาที สัดส่วนของเสียจะต่างกัน 3.12% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการทดลองได้ 776 ชิ้นงาน แสดงดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองของความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์

Power and Sample Size_2.18%,5.3%,0.9

Test for Two Proportions
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)
Calculating power for baseline p = 0.0218
α = 0.05

Results

Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.053	776	0.9	0.900322

The sample size is for each group.

- **ปัจจัยระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน**

จากข้อมูลการผลิตที่ผ่านมาพบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน 0.5 วินาที จะทำให้เกิดสัดส่วนของเสีย 5.42% และที่ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน 1 วินาที เกิดสัดส่วนของเสีย 2.07% จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาหน่วงชิ้นงานเปลี่ยนไป 0.5 วินาที สัดส่วนของเสียจะต่างกัน 3.35% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการทดลองได้ 673 ชิ้นงาน แสดงดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองของระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน

Power and Sample Size_2.07%,5.42%,0.9

Test for Two Proportions
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)
Calculating power for baseline p = 0.0207
α = 0.05

Results

Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.0542	673	0.9	0.900029

The sample size is for each group.

- **ปัจจัยแรงดันในการผลักรันเนอร์**

เนื่องจากข้อมูลการผลิตที่ผ่านมาไม่เคยมีการใช้แรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลที่ใกล้เคียงที่สุด คือแรงดันในการผลักรันเนอร์ 13 บาร์ เกิดสัดส่วนของเสีย 2.25% และที่แรงดันในการผลักรันเนอร์ 8 บาร์ เกิดสัดส่วนของเสีย 4.30% จะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดันในการผลักรันเนอร์เปลี่ยนไป 5 บาร์ สัดส่วนของเสียจะต่างกัน 2.05% ในที่นี้สมมติว่าการเกิดสัดส่วนของเสียมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เพราะฉะนั้นเมื่อแรงดันในการผลักรันเนอร์เปลี่ยนไป 7 บาร์ สัดส่วนของ

เสียจะต่างกัน 2.87% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการทดลองได้ 904 ชิ้นงาน แสดงดังตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองของแรงดันในการผลักรันเนอร์

Power and Sample Size_2.25%,5.12%,0.9

Test for Two Proportions
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)
Calculating power for baseline p = 0.0225
α = 0.05

Results

Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.0512	904	0.9	0.900179

The sample size is for each group.

จากการคำนวณขนาดตัวอย่างของแต่ละปัจจัยที่กำลังของการทดสอบเท่ากับ 0.9 และระดับความเชื่อมั่น 95% จากนั้นจึงเลือกใช้ขนาดตัวอย่างที่มากที่สุดในการทำการทดลอง เพราะฉะนั้นในแต่ละการทดลองต้องใช้ชิ้นงานในการทดลองอย่างน้อย 904 ขึ้นงาน ซึ่งขนาดตัวอย่างของแต่ละปัจจัย แสดงดังตารางที่ 6.13 และในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ชิ้นงานในการทดลอง 1,200 ขึ้นงาน ซึ่งการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง จะมีการทดลองที่ปัจจัยระดับต่ำ 4 การทดลอง และที่ปัจจัยระดับสูง 4 การทดลอง ดังนั้น ในแต่ละการทดลองจะใช้ชิ้นงานในการทดลอง 300 ชิ้นงาน

ตารางที่ 6.13 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองของสำหรับแต่ละปัจจัยนำเข้า

ปัจจัยนำเข้า	ขนาดตัวอย่าง (จำนวนชิ้นงาน)
ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์	776
ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน	673
แรงดันในการผลักรันเนอร์	904

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.6 การสร้างตารางการออกแบบการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ซึ่งประกอบด้วยส่วนการทดลอง 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ส่วนแฟคทอเรียล (Factorial) ส่วนจุดแกน (Axial Runs) และส่วนจุดศูนย์กลาง (Center Runs) โดยมีปัจจัยนำเข้าที่จะทำการศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน และแรงดันผลักรันเนอร์ ซึ่งจะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง แสดงดังตารางที่ 6.14 และตารางที่ 6.15

ตารางที่ 6.14 ตารางการออกแบบการทดลองหน่วยที่เป็นค่ารหัส (Coded unit)

Central Composite Design

Design Summary

Factors:	3	Replicates:	1
Base runs:	20	Total runs:	20
Base blocks:	1	Total blocks:	1

α = 1.68179
Two-level factorial: Full factorial

Point Types

Cube points:	8
Center points in cube:	6
Axial points:	6
Center points in axial:	0

StdOrder	PtType	Blocks	Speed	Delay time	Pressure
1	1	1	-1.00	-1.00	-1.00
2	1	1	1.00	-1.00	-1.00
3	1	1	-1.00	1.00	-1.00
4	1	1	1.00	1.00	-1.00
5	1	1	-1.00	-1.00	1.00
6	1	1	1.00	-1.00	1.00
7	1	1	-1.00	1.00	1.00
8	1	1	1.00	1.00	1.00
9	-1	1	-1.682	0.00	0.00
10	-1	1	1.682	0.00	0.00
11	-1	1	0.00	-1.682	0.00
12	-1	1	0.00	1.682	0.00
13	-1	1	0.00	0.00	-1.682
14	-1	1	0.00	0.00	1.682
15	0	1	0.00	0.00	0.00
16	0	1	0.00	0.00	0.00
17	0	1	0.00	0.00	0.00
18	0	1	0.00	0.00	0.00
19	0	1	0.00	0.00	0.00
20	0	1	0.00	0.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6.15 ตารางการออกแบบการทดลองแบบหน่วยที่เป็นค่าจริง (Uncoded unit)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Speed	Delay time	Pressure
11	1	-1	1	50.00	0.50	11.50
15	2	0	1	50.00	0.75	11.50
12	3	-1	1	50.00	1.00	11.50
19	4	0	1	50.00	0.75	11.50
8	5	1	1	61.89	0.90	13.50
2	6	1	1	61.89	0.60	9.50
3	7	1	1	38.11	0.90	9.50

ตารางที่ 6.15 ตารางการออกแบบการทดลองแบบหน่วยที่เป็นค่าจริง (Uncoded unit) (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Speed	Delay time	Pressure
7	8	1	1	38.11	0.90	13.50
20	9	0	1	50.00	0.75	11.50
10	10	-1	1	70.00	0.75	11.50
13	11	-1	1	50.00	0.75	8.14
1	12	1	1	38.11	0.60	9.50
9	13	-1	1	30.00	0.75	11.50
16	14	0	1	50.00	0.75	11.50
14	15	-1	1	50.00	0.75	14.86
17	16	0	1	50.00	0.75	11.50
18	17	0	1	50.00	0.75	11.50
6	18	1	1	61.89	0.60	13.50
4	19	1	1	61.89	0.90	9.50
5	20	1	1	38.11	0.60	13.50

6.7 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

ก่อนทำการทดลองทำการอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับการทดลองให้กับคณะทำงานเพื่อให้เข้าใจขั้นตอนทำการทดลองที่ถูกต้องและป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. จัดเตรียมเครื่องจักรและวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

2. ทำการผลิตชิ้นงานโดยปรับตั้งความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน และแรงดันผลักรันเนอร์ ตามลำดับการทดลองที่กำหนดไว้ในตารางที่ 6.15

3. นำชิ้นงานเข้าสู่การกระบวนการผลิตและทำการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมและบันทึกผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.8 ผลการทดลอง

ผลการทดลองตามวิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง เพื่อศึกษาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม โดยมีปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน และแรงดันผลักรันเนอร์ ซึ่งมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง ได้ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 6.16

ตารางที่ 6.16 ผลการทดลองการเกิดข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Speed	Delay time	Pressure	Defective rate
1	12	1	1	38.11	0.60	9.50	0.0500
2	6	1	1	61.89	0.60	9.50	0.0533
3	7	1	1	38.11	0.90	9.50	0.0267
4	19	1	1	61.89	0.90	9.50	0.0333

ตารางที่ 6.16 ผลการทดลองการเกิดข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Speed	Delay time	Pressure	Defective rate
5	20	1	1	38.11	0.60	13.50	0.0267
6	18	1	1	61.89	0.60	13.50	0.0400
7	8	1	1	38.11	0.90	13.50	0.0167
8	5	1	1	61.89	0.90	13.50	0.0333
9	13	-1	1	30.00	0.75	11.50	0.0233
10	10	-1	1	70.00	0.75	11.50	0.0400
11	1	-1	1	50.00	0.50	11.50	0.0433
12	3	-1	1	50.00	1.00	11.50	0.0267
13	11	-1	1	50.00	0.75	8.00	0.0500
14	15	-1	1	50.00	0.75	15.00	0.0233
15	2	0	1	50.00	0.75	11.50	0.0333
16	14	0	1	50.00	0.75	11.50	0.0333
17	16	0	1	50.00	0.75	11.50	0.0300
18	17	0	1	50.00	0.75	11.50	0.0333
19	4	0	1	50.00	0.75	11.50	0.0333
20	9	0	1	50.00	0.75	11.50	0.0367

6.9 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองมี 4 ขั้นตอน ได้แก่

- สร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง
- ปรับปรุงแบบจำลองโดยการลดรูปแบบจำลองให้มีเฉพาะเทอมที่มีนัยสำคัญ
- การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
- การอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยของเทอมที่มีนัยสำคัญ

โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

1) สร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

จากการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยแบบเต็มรูป (Full Model) ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 6.17 ซึ่งพบว่าจำนวนเทอมที่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มี 5 เทอม ได้แก่ 1) ผลกระทบหลักของความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 2) ผลกระทบหลักระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน 3) ผลกระทบหลักแรงดันในการผลักรันเนอร์ 4) ผลกระทบร่วมระหว่างความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์กับแรงดันในการผลักรันเนอร์ 5) ผลกระทบร่วมระหว่างระยะเวลาหน่วงชิ้นงานกับแรงดันในการผลักรันเนอร์ ส่วนความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งระหว่างปัจจัยและสัดส่วนของเสียนั้นไม่มีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับสัดส่วนของเสียเป็นเส้นตรงที่มีผลกระทบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ร่วมของบางปัจจัยที่มีนัยสำคัญ จะเห็นได้ว่าเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยแบบเต็มรูปจะให้สมการความสัมพันธ์ที่มีเทอมที่ไม่มีนัยสำคัญรวมอยู่ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองโดยการลดรูปแบบจำลองให้มีเฉพาะเทอมที่มีนัยสำคัญ

ตารางที่ 6.17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและผลการวิเคราะห์การถดถอยของสัดส่วนของเสียแบบเต็มรูป

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

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.033321	0.000956	34.87	0.000	
Speed	0.004981	0.000634	7.86	0.000	1.00
Delay time	-0.006475	0.000636	-10.18	0.000	1.00
Pressure	-0.006608	0.000623	-10.61	0.000	1.00
Speed*Speed	-0.000469	0.000618	-0.76	0.465	1.02
Delay time*Delay time	0.000725	0.000627	1.16	0.274	1.02
Pressure*Pressure	0.001191	0.000578	2.06	0.066	1.02
Speed*Delay time	0.000833	0.000828	1.01	0.338	1.00
Speed*Pressure	0.002500	0.000828	3.02	0.013	1.00
Delay time*Pressure	0.003333	0.000828	4.03	0.002	1.00

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0023417	96.88%	94.07%	84.09%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.001703	0.000189	34.51	0.000
Linear	3	0.001524	0.000508	92.64	0.000
Speed	1	0.000339	0.000339	61.80	0.000
Delay time	1	0.000568	0.000568	103.66	0.000
Pressure	1	0.000617	0.000617	112.47	0.000
Square	3	0.000035	0.000012	2.10	0.164
Speed*Speed	1	0.000003	0.000003	0.58	0.465
Delay time*Delay time	1	0.000007	0.000007	1.34	0.274
Pressure*Pressure	1	0.000023	0.000023	4.24	0.066
2-Way Interaction	3	0.000144	0.000048	8.78	0.004
Speed*Delay time	1	0.000006	0.000006	1.01	0.338
Speed*Pressure	1	0.000050	0.000050	9.12	0.013
Delay time*Pressure	1	0.000089	0.000089	16.21	0.002
Error	10	0.000055	0.000005		
Lack-of-Fit	5	0.000033	0.000007	1.47	0.342
Pure Error	5	0.000022	0.000004		
Total	19	0.001758			

Regression Equation in Uncoded Units

Defect rate = 0.3058 - 0.000809 Speed - 0.2426 Delay time - 0.02374 Pressure
- 0.000003 Speed*Speed + 0.0322 Delay time*Delay time
+ 0.000298 Pressure*Pressure + 0.000467 Speed*Delay time
+ 0.000105 Speed*Pressure + 0.01111 Delay time*Pressure

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) ปรับปรุงแบบจำลองโดยการลดรูปแบบจำลองให้มีเฉพาะเทอมที่มีนัยสำคัญ

เพื่อให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนองที่มีความกระชับ จึงทำการปรับปรุงแบบจำลองโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบขั้นตอน (Stepwise Method) ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 6.18 ซึ่งพบว่าจำนวนเทอมที่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มี 5 เทอม ได้แก่ 1) ผลกระทบหลักของความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 2) ผลกระทบหลักระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน 3) ผลกระทบหลักแรงดันในการผลักรันเนอร์ 4) ผลกระทบร่วมระหว่างความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์กับแรงดันในการผลักรันเนอร์ 5) ผลกระทบร่วมระหว่างระยะเวลาหน่วงชิ้นงานกับแรงดันในการผลักรันเนอร์ และจากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจหรือ R-Sq (adj) มีค่า 92.67 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าตัวแปรอิสระในสมการถดถอยสามารถอธิบายความผันแปรของค่าสัดส่วนของเสียประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม ได้ 92.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง R-Sq (adj) มีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสมการถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ได้ ซึ่งสามารถพยากรณ์ค่าสัดส่วนของเสียประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมได้ดังสมการที่ 6.1 ซึ่งแสดงค่าปัจจัยอยู่ในหน่วยที่เป็นค่าจริง

Defect rate = 0.2400 - 0.000790 Speed - 0.1709 Delay time - 0.01689 Pressure
+ 0.000105 Speed*Pressure + 0.01111 Delay time*Pressure (6.1)

ตารางที่ 6.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและผลการวิเคราะห์การถดถอยของสัดส่วนของเสียแบบขั้นตอน

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%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและผลการวิเคราะห์การถดถอยของสัดส่วนของเสียแบบขั้นตอน (ต่อ)

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

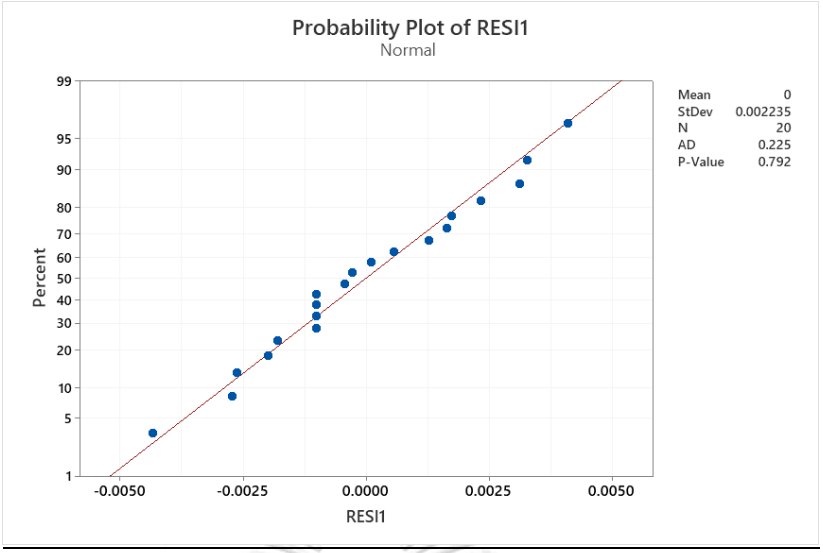
3) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ทำการตรวจสอบว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้หรือไม่ โดยทำการทดสอบสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่ สมมติฐานส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ สมมติฐานส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน และสมมติฐานส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ เมื่อข้อมูลผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ แล้วจึงสามารถนำแบบจำลองไปใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าต่อไป [5] ซึ่งผลการทดสอบสมมติฐานเป็นดังนี้

<u>สมมติฐานที่ 1 ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ</u>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

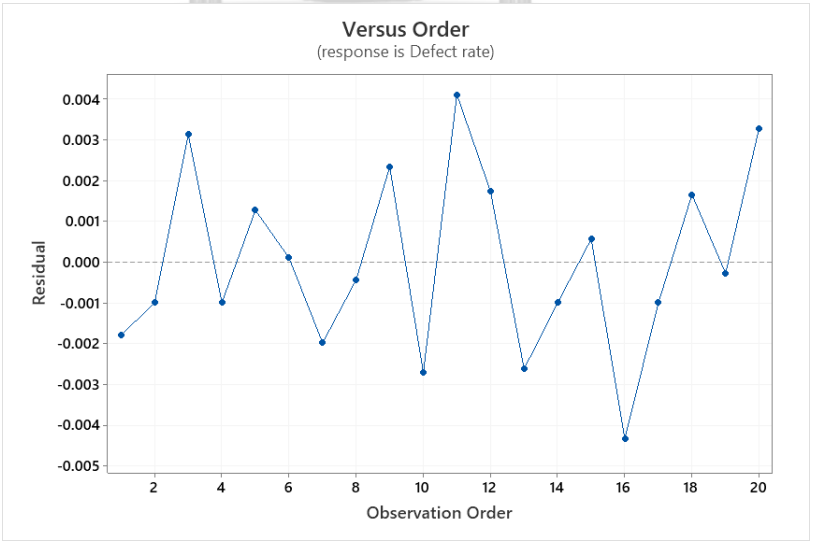
การทดสอบว่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากกราฟความน่าจะเป็นแบบการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าส่วนตกค้างดังแสดงในรูปที่ 6.2 ซึ่งพบว่ามีลักษณะการจัดเรียงของค่าส่วนตกค้างใกล้เคียงเส้นตรง และมีค่า p-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างเท่ากับ 0.792 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 6.2 กราฟความน่าจะเป็นแบบการแจกแจงปกติของค่าส่วนตกค้าง

<u>สมมติฐานที่ 2 ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน</u>

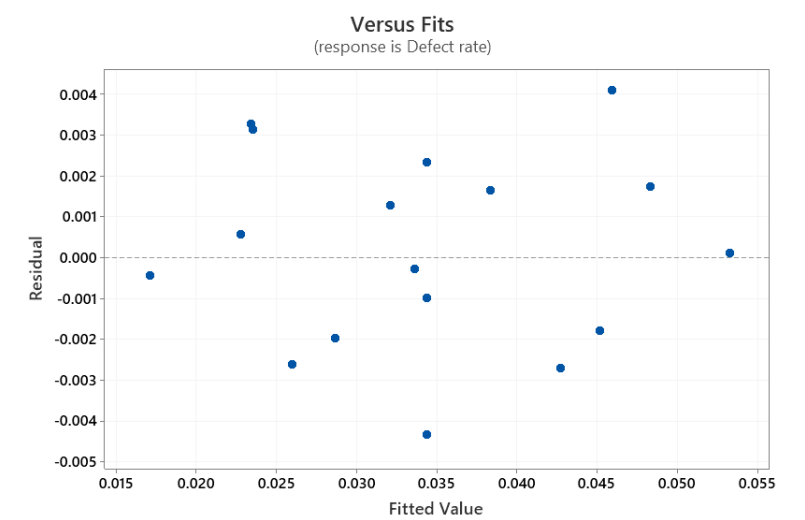
ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน มีความหมายว่าค่าส่วนตกค้างของครั้งการทดลองใด ๆ จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าส่วนตกค้างของครั้งการทดลองก่อนหน้า จึงควรเห็นค่าส่วนตกค้างมีการกระจายอย่างสุ่มรอบแนวแกนศูนย์ เมื่อพล็อตค่าส่วนตกค้างตามลำดับการทดลอง [5] จากกราฟของส่วนตกค้างและลำดับของการทดลอง (Versus Order) ดังแสดงดังในรูปที่ 6.3 พบว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอย่างสุ่มรอบแนวแกนศูนย์ จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 6.3 กราฟของส่วนตกค้างและลำดับของการทดลอง

<u>สมมติฐานที่ 3 ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่</u>

สมการที่ความเหมาะสมจะให้ค่าฟิตที่ใกล้เคียงกับค่าที่สังเกตได้และจะมีส่วนตกค้างที่มีค่าใกล้เคียงกันที่ทุก ๆ ค่าฟิต ซึ่งควรจะเห็นค่าส่วนตกค้างกระจายตัวทั้งเป็นบวกและลบรอบแนวแกนศูนย์ ด้วยความกว้างของการกระจายใกล้เคียงกันตลอดค่าฟิตทั้งหมด จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่และสมการที่ฟิตมีความแม่นที่จะทำนายค่าที่สังเกตได้อย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงระดับของปัจจัยที่ทำการทดลอง [5] ซึ่งจากกราฟของส่วนตกค้างและค่าฟิตที่ได้จากสมการ (Versus Fits) ดังแสดงดังในรูปที่ 6.4 พบว่าส่วนตกค้างกระจายตัวทั้งเป็นบวกและลบรอบแนวแกนศูนย์ด้วยความกว้างของการกระจายใกล้เคียงกันตลอดค่าฟิตทั้งหมด จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่



Chulalongkorn University

รูปที่ 6.4 กราฟของส่วนตกค้างและค่าฟิตที่ได้จากสมการ

จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยสมมติฐาน 3 ข้อข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน และส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ จึงสามารถนำแบบจำลองไปใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าในลำดับต่อไป

4) การอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยของเทอมที่มีนัยสำคัญ

- ผลกระทบร่วมระหว่างความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์และแรงดันในการผลักรันเนอร์

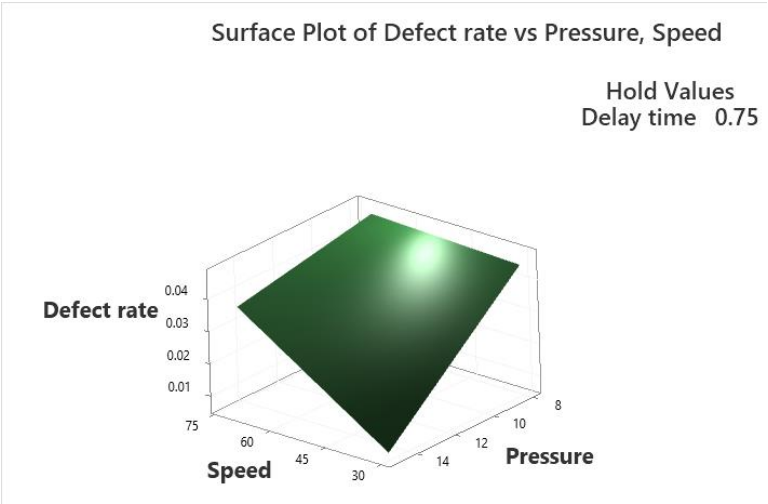
จากกราฟกราฟพื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) ดังรูปที่ 6.5 พบว่าแรงดันในการผลักรันเนอร์จะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับสัดส่วนของเสีย โดยเมื่อแรงดันในการผลักรันเนอร์สูงขึ้นจะทำให้มีสัดส่วนของเสียลดลง ในทำนองเดียวกันเมื่อสังเกตุที่ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ก็จะพบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับสัดส่วนของเสียเช่นกัน โดยเมื่อความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์เพิ่มสูงขึ้นจะ

ทำให้สัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น โดยสามารถอธิบายถึงผลกระทบหลักของความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ได้ว่า เมื่อความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ช้าจะทำให้แม่พิมพ์เคลื่อนที่ออกจากกันได้ช้า รันเนอร์จึงค่อย ๆ ขาดออกจากชิ้นงานได้อย่างเหมาะสม จึงทำให้ที่ส่วนปลายของรันเนอร์มีความขรุขระน้อย และเมื่อปลายของรันเนอร์มีความขรุขระน้อยก็จะทำให้เศษพลาสติกที่ปลายของรันเนอร์หลุดออกมาได้ยากขึ้น จึงส่งผลให้โอกาสในการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P นั้นเกิดขึ้นได้น้อยลงเช่นเดียวกัน โดยรูปภาพแสดงความขรุขระที่ส่วนปลายรันเนอร์ที่ได้จากความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที และ 70 มิลลิเมตรต่อวินาที แสดงดังรูปที่ 6.6 และสามารถอธิบายถึงผลกระทบหลักของแรงดันในการผลักรันเนอร์ได้ว่า เมื่อแรงดันในการผลักรันเนอร์มาก ก็จะทำให้มีแรงส่งไปที่เข็มกระทุ้งมากจึงสามารถผลักรันเนอร์ออกมาได้เร็ว รันเนอร์ก็จะร่วงออกจากแม่พิมพ์ได้เร็วคือร่วงก่อนที่ชิ้นงานจะร่วง เมื่อรันเนอร์ร่วงออกจากแม่พิมพ์ได้เร็วก็จะทำให้รันเนอร์ตกลงไปที่กล่องงานเสียและไม่ปะปนไปกับชิ้นงานหรือปะปนไปได้น้อยลง โอกาสในการปนเปื้อนของเศษพลาสติกที่จะหลุดออกจากส่วนปลายของรันเนอร์นั้นจึงลดลง จึงส่งผลให้สัดส่วนของเสียนั้นลดลงด้วยเช่นกัน

โดยพบว่าที่แรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ และเมื่อความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นจาก 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ไปที่ 70 มิลลิเมตรต่อวินาที จะทำให้สัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก โดยเพิ่มขึ้น 0.0314 (0.0384 - 0.0070) ในขณะที่เมื่อแรงดันในการผลักรันเนอร์เท่ากับ 8 บาร์ ไม่ว่าจะใช้ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่ระดับใด สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยสัดส่วนของเสียจะเพิ่มขึ้นเพียง 0.0020 (0.0449 - 0.0469) เมื่อความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นจาก 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ไปที่ 70 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งเกิดจากผลกระทบร่วมระหว่างความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์และแรงดันในการผลักรันเนอร์ โดยสามารถคำนวณค่าสัดส่วนของเสียได้จากการแทนค่าระดับปัจจัยความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์และแรงดันในการผลักรันเนอร์ที่ต้องการทราบค่าและแทนค่าระยะเวลาหน่วงชิ้นงานที่ระดับกลางในสมการที่ 6.1

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถอธิบายถึงเหตุผลการลดลงของสัดส่วนของเสียที่แตกต่างกันจากการเปลี่ยนแปลงของความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์เปลี่ยนจาก 70 มิลลิเมตรต่อวินาที ไปที่ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่แรงดันในการผลักรันเนอร์เท่ากับ 8 บาร์ และ 15 บาร์ ได้คือ แรงดันในการผลักรันเนอร์เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการปะปนของรันเนอร์เข้าไปสู่ชิ้นงาน ส่วนความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระที่ส่วนปลายของรันเนอร์ ซึ่งถึงแม้ว่าแรงดันในการผลักรันเนอร์ที่ระดับเดียวกันจะทำให้รันเนอร์ปะปนเข้าไปสู่ชิ้นงานในจำนวนที่ใกล้เคียงกัน แต่ด้วยระดับความขรุขระที่ส่วนปลายของรันเนอร์ที่ไม่เท่ากันซึ่งเป็นผลมาจากระดับความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่แตกต่างกัน จึงทำให้มีสัดส่วนของเสียที่ไม่เท่ากัน จากเหตุผลข้างต้นจึงส่งผลให้ค่าระดับของความเร็ว

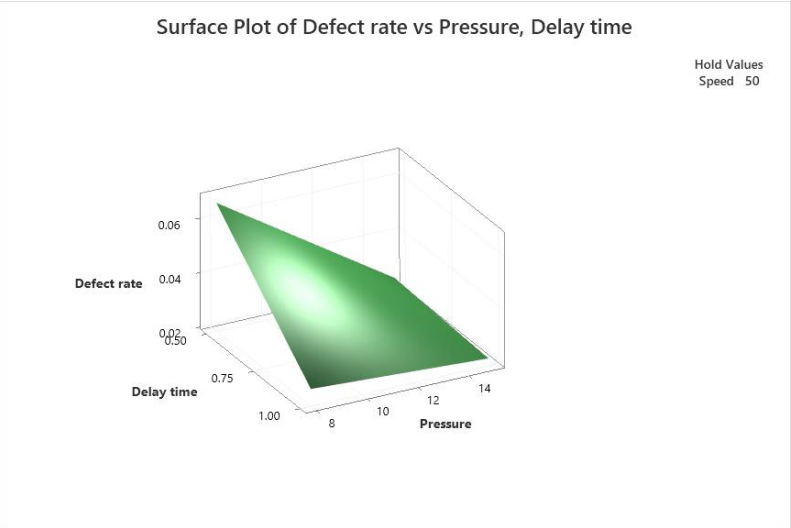
ในการเปิดแม่พิมพ์ช้าและแรงดันในการผลักรันเนอร์มากเป็นระดับที่มีสัดส่วนของเสียต่ำที่สุด ซึ่งได้แก่ แรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ และความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที



รูปที่ 6.5 กราฟพื้นผิวผลตอบของปัจจัยความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์และแรงดันในการผลักรันเนอร์ที่มีต่อตัวแปรตอบสนองสัดส่วนของเสียประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม

a. ความเร็ว 30 มิลลิเมตรต่อวินาที b. ความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อวินาที

รูปที่ 6.6 ส่วนปลายของรันเนอร์จากการใช้ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่แตกต่างกัน ถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ 6.7 กราฟพื้นผิวผลตอบของปัจจัยแรงดันในการผลักรันเนอร์และระยะเวลาหน่วงชิ้นงานที่มีต่อตัวแปรตอบสนองสัดส่วนของเสียประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม

- ผลกระทบร่วมระหว่างระยะเวลาหน่วงชิ้นงานและแรงดันในการผลักรันเนอร์

สำหรับผลกระทบหลักของระยะเวลาหน่วงชิ้นงานจากกราฟพื้นผิวผลตอบดังรูปที่ 6.7 จะพบว่าระยะเวลาหน่วงชิ้นงานมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับสัดส่วนของเสียเช่นเดียวกันกับผลกระทบหลักของแรงดันในการผลักรันเนอร์ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ โดยเมื่อระยะเวลาหน่วงชิ้นงานเพิ่มขึ้นจะได้สัดส่วนของเสียที่ลดลง โดยสามารถอธิบายถึงเหตุผลของผลกระทบหลักของระยะเวลาหน่วงชิ้นงานได้ว่า เมื่อระยะเวลาหน่วงชิ้นงานมากขึ้น นั่นคือมีระยะห่างของเวลาเพื่อเว้นช่วงระหว่างที่รันเนอร์และชิ้นงานร่วงออกจากแม่พิมพ์นานขึ้น เมื่อระยะห่างของเวลาระหว่างที่รันเนอร์และชิ้นงานร่วงออกจากแม่พิมพ์นานขึ้น ชิ้นงานก็จะร่วงออกจากแม่พิมพ์ได้ช้าลง ซึ่งชิ้นงานจะร่วงออกจากแม่พิมพ์ภายหลังจากที่รันเนอร์ร่วงลงไปก่อนหน้าแล้ว จึงทำให้รันเนอร์ปะปนไปกับชิ้นงานได้น้อยลง เมื่อรันเนอร์ปะปนไปกับชิ้นงานได้น้อยลง โอกาสในการปนเปื้อนของเศษพลาสติกที่จะหลุดออกจากส่วนปลายของรันเนอร์นั้นจึงลดลง จึงส่งผลให้สัดส่วนของเสียนั้นลดลงด้วยเช่นเดียวกัน

ทั้งนี้พบว่าที่แรงดันในการผลักรันเนอร์เท่ากับ 8 บาร์ และเมื่อระยะเวลาหน่วงชิ้นงานเปลี่ยนจาก 0.5 วินาที ไปที่ 1 วินาที สัดส่วนของเสียจะลดลงอย่างมาก โดยลดลง 0.0410 (0.0664 - 0.0254) ในขณะที่เมื่อแรงดันในการผลักรันเนอร์เท่ากับ 15 บาร์ เมื่อระยะเวลาหน่วงชิ้นงานเปลี่ยนจาก 0.5 วินาที ไปที่ 1 วินาที นั้นกลับพบว่าสัดส่วนของเสียลดลงเพียงเล็กน้อย โดยลดลงเพียง 0.0021 (0.0238 - 0.0217) ซึ่งการลดลงนี้น้อยกว่าการลดลงเมื่อแรงดันในการผลักรันเนอร์เท่ากับ 8 บาร์ ซึ่งเป็นผลมาจากผลกระทบร่วมระหว่างระยะเวลาหน่วงชิ้นงานและแรงดันในการผลักรันเนอร์

โดยสามารถคำนวณค่าสัดส่วนของเสียได้จากการแทนค่าระดับปัจจัยระยะเวลาหน่วงชิ้นงานและแรงดันในการผลักรันเนอร์ที่ต้องการทราบค่า และแทนค่าความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ที่ระดับกลางในสมการที่ 6.1

โดยเหตุผลการลดลงของสัดส่วนของเสียที่แตกต่างกันจากการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาหน่วงจาก 0.5 วินาที ไปที่ 1 วินาที ที่ระดับแรงดันในการผลักรันเนอร์ 8 บาร์และ 15 บาร์ นั้นเป็นเพราะว่าทั้งระยะเวลาหน่วงชิ้นงานและแรงดันในการผลักรันเนอร์ล้วนแล้วเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการปะปนของรันเนอร์เข้าไปสู่ชิ้นงานด้วยกันทั้งคู่ โดยที่ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน 0.5 วินาทีนั้นจะส่งผลทำเกิดการปะปนของรันเนอร์เข้าไปสู่ชิ้นงานที่มาก และเมื่อมาพบกับระดับแรงดันในการผลักรันเนอร์ที่ 8 บาร์ที่ก็ส่งผลทำให้เกิดการปะปนของรันเนอร์เข้าไปสู่ชิ้นงานที่มากเช่นเดียวกัน ที่ระดับการตั้งค่านี้จึงส่งผลทำให้เกิดสัดส่วนของเสียที่มากที่สุด เนื่องจากเมื่อเกิดการปะปนของรันเนอร์เข้าไปสู่ชิ้นงานมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาหน่วงจาก 0.5 วินาที ไปที่ 1 วินาทีนั้นจึงส่งผลทำให้การลดลงของสัดส่วนของเสียนั้นมีมาก ในทางตรงกันข้ามที่ระดับแรงดันในการผลักรันเนอร์ที่ 15 บาร์นั้นมีส่วนเสริมที่ช่วยลดการปะปนของรันเนอร์เข้าไปสู่ชิ้นงานได้ การเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาหน่วงจาก 0.5 วินาที ไปที่ 1 วินาที จึงส่งผลทำให้การลดลงของสัดส่วนของเสียนั้นมีไม่มากนักเมื่อเทียบกับที่ระดับแรงดันในการผลักรันเนอร์ที่ 8 บาร์

6.10 การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า

หลังจากการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยแบบแล้วลำดับต่อไปจึงทำการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Technique) โดยตัวแปรตอบสนองในงานวิจัยนี้ คือ สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม ซึ่งจากการวิเคราะห์การถดถอย พบว่าปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัยซึ่งได้แก่ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน และแรงดันในการผลักรันเนอร์ มีนัยสำคัญต่อการเกิดของเสียประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม โดยการหาค่าที่เหมาะสมของระดับของแต่ละปัจจัยนั้นจะใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer จากโปรแกรม Minitab โดยระบุตัวแปรตอบสนองคือสัดส่วนของเสีย วัตถุประสงค์คือต้องการค่าต่ำที่สุด(Minimize) โดยที่ค่าขอบล่าง (Lower) ค่าเป้าหมาย (Target) และค่าขอบบน (Upper) โปรแกรม Minitab จะใช้ค่าจากสัดส่วนของเสียที่ได้จากการผลการทดลอง สำหรับค่าน้ำหนัก (Weight) นั้นสามารถป้อนค่าได้ระหว่าง 0.1 ถึง 10 ซึ่งเป็นตัวกำหนดรูปร่างของฟังกชั่นความพึงพอใจ (Desirability Function) [17]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 เนื่องจากกำหนดให้ความพึงพอใจลดลงจากจุดเป้าหมายไปยังค่าขอบด้วยอัตราคงที่ และค่าความสำคัญของตัวแปรตอบสนอง (Importance) มีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีตัวแปรตอบสนองเพียงอย่างเดียวซึ่งได้แก่สัดส่วนของเสีย จึงกำหนดเป็นค่าใดก็ได้ในช่วง 0.1 ถึง 10 ซึ่งผลการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าแสดงดังตารางที่ 6.19

ตารางที่ 6.19 ผลการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer

Response Optimization: Defect rate

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Defect rate	Minimum		0.0167	0.0533	10	1

Solution

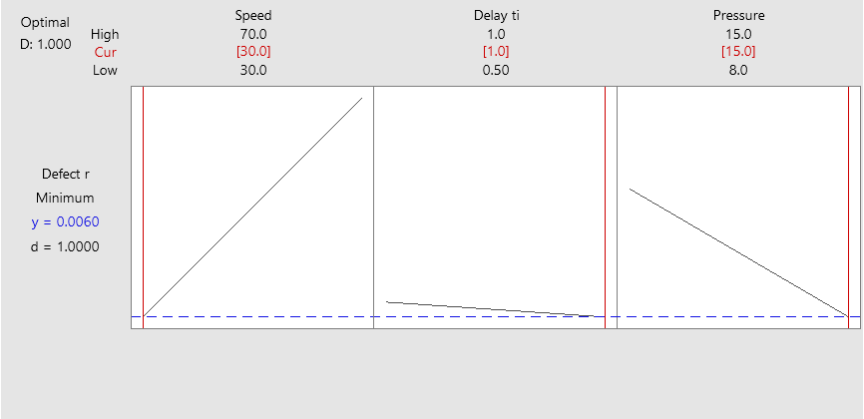
Solution	Speed	Delay time	Pressure	Defect rate Fit	Composite Desirability
1	30	1	15	0.0059620	1

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
Speed	30
Delay time	1
Pressure	15

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Defect rate	0.00596	0.00440	(-0.00347, 0.01539)	(-0.00501, 0.01693)

ตารางที่ 6.19 ผลการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer (ต่อ)



จากผลการหาค่าที่เหมาะสมด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer พบว่า จะได้สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมเท่ากับ 0.00596 หากตั้งค่าความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน 1 วินาที และแรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ ซึ่งให้ค่า Composite Desirability เท่ากับ 1 หมายความว่าสามารถหาค่าปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองตามที่ต้องการได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าระดับที่เหมาะสมข้างต้นที่ทำให้ได้สัดส่วนของ

เสียต่ำที่สุดคือ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ต่ำ ระยะเวลาหน่วงชิ้นงานมาก และแรงดันในการผลักรันเนอร์สูง นั่นเป็นเพราะว่าระยะเวลาหน่วงชิ้นงานที่มากและแรงดันในการผลักรันเนอร์สูงจะส่งผลให้มีการปะปนของรันเนอร์เข้าไปสู่ชิ้นงานได้น้อย และที่ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ต่ำก็จะทำให้เศษพลาสติกที่ปลายของรันเนอร์นั้นหลุดออกมาได้ยากขึ้นเนื่องจากมีความขรุขระน้อย จึงส่งผลให้โอกาสในการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P นั้นเกิดขึ้นได้น้อยลงเช่นเดียวกัน ดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยของเทอมที่มีนัยสำคัญ

ทั้งนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าปรับตั้งที่เหมาะสมที่ได้จากฟังก์ชัน Response Optimizer กับค่าปรับตั้งในปัจจุบันจะพบว่าแรงดันในการผลักรันเนอร์ที่เพิ่มขึ้นเป็น 15 บาร์ ซึ่งการตั้งค่าในปัจจุบันคือ 10 บาร์ โดยการที่ปรับตั้งค่าแรงดันที่สูงขึ้นนั้นมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้เนื่องจากไม่ได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ลดลงเป็น 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งการตั้งค่าในปัจจุบันคือ 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ส่วนระยะเวลาหน่วงชิ้นงานเพิ่มขึ้นเป็น 1 วินาที ซึ่งการตั้งค่าในปัจจุบันคือ 0.7 วินาที โดยการลดลงของความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์และการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาหน่วงชิ้นงานนั้นส่งผลทำให้มีรอบเวลาในการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากปัจจุบันที่ 10 วินาทีต่อ 4 ชิ้นงาน เป็น 10.67 วินาทีต่อ 4 ชิ้นงาน แต่เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาได้มีแผนในการเพิ่มจำนวนเครื่องจักรในการผลิตเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นของลูกค้าอยู่ก่อนแล้ว ซึ่งการเพิ่มเครื่องจักรนี้ช่วยให้รอบเวลาในการผลิตที่เพิ่มขึ้นข้างต้นนั้นไม่กระทบต่อปริมาณการผลิตเนื่องจากมีกำลังผลิตเพียงพอ

6.11 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ

สำหรับระยะการปรับปรุงกระบวนการ จากปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 5 ปัจจัย ผู้วิจัยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกได้แก่ ทดสอบสมมติฐานสำหรับปัจจัยที่ไม่สามารถปรับตั้งค่าได้ 2 ปัจจัย คือ 1) รูปแบบของแผ่นรองกันเศษฝุ่น ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานว่าแผ่นรองกันเศษฝุ่นใดให้สัดส่วนของเสียที่น้อยกว่าระหว่างแผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมและแผ่นรองกันเศษฝุ่นที่ออกแบบใหม่ ซึ่งพบว่าแผ่นรองกันเศษฝุ่นที่ออกแบบใหม่เกิดสัดส่วนของเสียน้อยกว่าแผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมอย่างมีนัยสำคัญ และ 2) ความถี่ในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานว่าความถี่ในการทำความสะอาด ซึ่งพบว่าความถี่ในการทำความสะอาดสายพาน 1 ครั้งต่อกะมีสัดส่วนของเสียน้อยกว่าความถี่ 1 ครั้งต่อสัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ และสำหรับส่วนที่สองได้ทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบแบบส่วนประสมกลาง สำหรับอีก 3 ปัจจัยที่เหลือที่ปรับตั้งค่าได้ ซึ่งได้แก่ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน และแรงดันในการผลักรันเนอร์ ทั้งหมด 20 การทดลอง พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นได้ทำการหาค่าระดับที่เหมาะสมของทั้ง 3 ปัจจัยด้วยฟังก์ชั่น Response Optimizer ซึ่งได้ค่าที่เหมาะสม คือ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน 1 วินาที และแรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ โดยจะนำค่าระดับที่เหมาะสมของทั้ง 3 ปัจจัยที่ได้ไปปรับใช้จริงในกระบวนการเพื่อทำการทดสอบยืนยันผลในลำดับต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7

การทดสอบยืนยันผล และการติดตามควบคุม

หลังจากที่ได้วิธีการปรับปรุงเพื่อให้ได้สัดส่วนของเสียที่ลดลงแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการทดสอบยืนยันผลและการติดตามควบคุม โดยจำเป็นต้องมีการแก้ไขมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานและแผนควบคุมกระบวนการให้สอดคล้องกับผลการปรับปรุงที่ได้ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าวิธีการปรับปรุงดังกล่าวจะมีการปฏิบัติตามและได้รับการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อที่จะรักษาระดับสัดส่วนของเสียไม่ให้สูงขึ้นไปเกินกว่าผลที่ได้จากการปรับปรุง

7.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้จากระยะการปรับปรุงกระบวนการโดยนำค่าระดับของปัจจัยที่ได้มาทำการปรับใช้ในกระบวนการและทำการผลิตชิ้นงานเพื่อติดตามผล โดยค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมแสดงดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับการปรับปรุง

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม	หน่วย
Speed	ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์	30	มิลลิเมตรต่อวินาที
Delay time	ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน	1	วินาที
Pressure	แรงดันในการผลักรันเนอร์	15	บาร์
-	ประเภทของแผ่นรองกันเศษฝุ่น	แผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่	-
-	ความถี่ในการในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง	1 ครั้งต่อกะ	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.1.1 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลอง

เพื่อให้มั่นใจว่าขนาดของตัวอย่างนั้นเพียงพอและสามารถอ้างอิงไปยังประชากรได้อย่างน่าเชื่อถือ จะต้องทำการกำหนดขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการเก็บข้อมูลก่อน ซึ่งในที่นี้คือต้องการประมาณค่าสัดส่วนของประชากร กรณีไม่ทราบขนาดประชากร ดังนั้นสามารถคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้จากสมการที่ 7.1

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 pq}{e^2} \quad (7.1)$$

โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่าง

$Z_{\alpha/2}$ คือ ค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น (1-α)%

P คือ สัดส่วนของลักษณะที่สนใจของประชากร ซึ่งในงานวิจัยนี้ หมายถึง สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม

q คือ สัดส่วนของลักษณะที่ไม่สนใจของประชากร (q = 1-p)

e คือ ความผิดพลาดที่ยอมรับได้หรือขนาดความแตกต่างสูงสุดของค่าที่ประมาณได้กับค่าจริงของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง

ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดตัวอย่าง

- กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 99% จะได้ ค่า $Z_{\alpha/2} = Z_{0.01/2} = Z_{0.005} = 2.58$
- ค่าสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุง (p) คือ 0.0249 หรือ 2.49%
- กำหนดค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง (e) เท่ากับ 0.001 หรือ 0.1%

แทนค่าในสมการ

$$n = \frac{(2.58^2)(0.0249)(0.9751)}{0.001^2} = 161{,}095.22 = 161{,}096 \text{ ชิ้น}$$

ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.001 ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในการทดลองเพื่อยืนยันผลหลังจากปรับปรุงกระบวนการต้องมีค่าเท่ากับ 161,096 ชิ้น เป็นอย่างน้อย ซึ่งในการทดลองเพื่อยืนยันผลได้ใช้จำนวนชิ้นงาน 500,000 ชิ้น รวมเป็นระยะเวลาทั้งหมด 17 วัน ซึ่งจำนวนข้อมูลที่มีอยู่มีค่ามากกว่าที่ต้องการ จึงเพียงพอและสามารถใช้ในการประมาณค่าสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.1.2 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อยืนยันผล

เพื่อให้มั่นใจว่าผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องได้ทำการปรับตั้งระดับค่าปัจจัยของเครื่องจักรได้อย่างถูกต้อง จึงได้ทำการประชุมและอธิบายแผนการทดลองกับคณะทำงานก่อนดำเนินการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการผลิตชิ้นงานโดยใช้ระดับค่าที่เหมาะสมของทั้ง 5 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ตามตารางที่ 7.1 โดยดำเนินการผลิตเป็นระยะเวลาทั้งหมด 17 วัน จำนวนชิ้นงาน 500,000 ชิ้น
2. นำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการผลิตตามขั้นตอนการผลิต
3. ทำการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม และบันทึกผล

7.1.3 ผลการทดลองเพื่อยืนยันผล

จากการทดลองผลิตเพื่อยืนยันผลการปรับปรุง โดยปรับตั้งค่าตามค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมเป็นระยะเวลา 17 วัน ใช้ขนาดตัวอย่างทั้งหมด 500,000 ชิ้น ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 7.2 ซึ่งจากการทดลองพบว่าสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมลดลงเหลือ 0.71 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุงคือ 2.49 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียลงไปได้ 1.78 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 7.2 ขนาดตัวอย่างและสัดส่วนของเสียเพื่อยืนยันผล

วันที่	ขนาดตัวอย่าง	สัดส่วนของเสีย
1	30,000	0.76%
2	30,000	0.78%
3	30,000	0.65%
4	30,000	0.68%
5	30,000	0.80%
6	30,000	0.76%
7	30,000	0.82%
8	30,000	0.60%
9	30,000	0.63%
10	30,000	0.64%
11	30,000	0.77%
12	30,000	0.84%
13	30,000	0.63%
14	30,000	0.64%
15	30,000	0.72%
16	30,000	0.76%
17	20,000	0.66%
รวม	**500,000**	**0.71%**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

7.2 การติดตามและควบคุมผล

เพื่อให้มั่นใจว่าผลของการปรับปรุงที่ได้จะได้รับการปฏิบัติตามอย่างเหมาะสมและมีตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานและแผนควบคุม โดยเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานแสดงดังตารางที่ 7.3 แผนควบคุมแสดงดังตารางที่ 7.4 ใบบันทึก

การทำ 5 ส. แสดงดังตารางที่ 7.5 และใบบันทึกการตรวจสอบแรงดันในการผลักรันเนอร์แสดงดังตารางที่ 7.6

ตารางที่ 7.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานในการฉีดขึ้นรูปปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

ลำดับที่	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	รายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงาน
1	การทำ 5 ส.	ก่อนเริ่มการปฏิบัติงานให้ทำการตรวจสอบ 5 ส. บริเวณรอบเครื่องจักรตามรายการที่ระบุไว้ในใบบันทึกการทำ 5 ส. และลงบันทึก
2	ปรับตั้งแรงดันผลักรันเนอร์	ทำการปรับตั้งแรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ +0/-5 ที่เกจวัดความดันด้านข้างเครื่องจักร
3	เลือกโปรแกรมในการฉีดขึ้นรูปปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P	เลือกโปรแกรมการผลิตรุ่น 6P ที่หน้าจอควบคุมเครื่องจักรและทำการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ ให้ถูกต้องทุกครั้งก่อนเริ่มการผลิต - ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที +20/-0 - ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน 1 วินาที +0/-0.5
3	การไล่วัตถุดิบ	นำแผ่นรองกันเศษฝุ่นมาวางกั้นไว้ที่ตำแหน่งใต้แม่พิมพ์แล้วกดปุ่มเดินเครื่องเพื่อทำการไล่วัตถุดิบก่อนเริ่มการผลิตเป็นจำนวน 10 ช็อต เพื่อทำความสะอาดระบบและไล่ฟองอากาศออกมาให้หมด เมื่อครบจำนวน 10 ช็อตแล้วให้นำแผ่นรองกันเศษฝุ่นออกและเทเศษพลาสติกจากการไล่วัตถุดิบลงในกล่องที่จัดเตรียมไว้ข้างเครื่องจักร
4	เริ่มการผลิต	กดปุ่มเดินเครื่องจักรจำนวน 5 ช็อต แล้วจึงกดปุ่มหยุดเครื่องจักร และนำชิ้นงานที่ได้ไปให้พนักงานตรวจสอบคุณภาพงานชิ้นแรกก่อน ถ้าผลการตรวจสอบผ่านจึงทำการกดปุ่มเดินเครื่องจักรเพื่อเริ่มการผลิตแบบต่อเนื่อง
5	ตรวจสอบคุณภาพชิ้นแรก	ทำการตรวจสอบคุณภาพของงานที่ผลิตออกมา 5 ช็อตแรกตามมาตรฐานที่กำหนด ถ้าผลการตรวจสอบผ่านจึงสามารถดำเนินการผลิตต่อไปได้ แต่ถ้าผลการตรวจสอบไม่ผ่านให้แจ้งพนักงานปรับตั้งทำการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องก่อนแล้วจึงทำการตรวจสอบคุณภาพอีกครั้ง จนกว่าผลการตรวจสอบจะผ่าน ชิ้นงานเสียให้แยกไว้ในกล่องสีแดงเพื่อรอทำลาย ส่วนชิ้นงานดีให้วางไว้ที่จุดหน้าเครื่องจักรและทำการบันทึกข้อมูลการตรวจสอบที่ใบบันทึกหน้าเครื่องจักร
6	การตรวจสอบคุณภาพระหว่างการผลิต	สุ่มตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานทุก ๆ 2 ชั่วโมง ตามมาตรฐานที่กำหนด ถ้าถ้าผลการตรวจสอบไม่ผ่าน ให้แจ้งหัวหน้างานและแยกชิ้นงานเสียไว้ในกล่องสีแดงเพื่อรอทำลายในภายหลัง ส่วนงานดีให้คืนไว้ในกล่องบรรจุชิ้นงานสีน้ำเงิน หลังจากการตรวจสอบเสร็จสิ้นแล้วให้ทำการบันทึกข้อมูลการตรวจสอบในใบบันทึกผลการตรวจสอบ
7	การจัดเก็บชิ้นส่วนเพื่อรอประกอบ	ทำการปิดฝากล่องชิ้นงานและนำไปจัดเก็บไว้ในพื้นที่ที่กำหนดเพื่อรอประกอบในขั้นตอนต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7.4 แผนควบคุมการฉีดขึ้นรูปปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P

หมายเลขขั้นตอน	ชื่อขั้นตอน	เครื่องจักร / อุปกรณ์	คุณลักษณะ		ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือวัด	ขนาดตัวอย่าง	ความถี่	วิธีการควบคุม	วิธีการแก้ไข
			ผลิตภัณฑ์	กระบวนการ						
1	การทำ 5ส.	เครื่องฉีดพลาสติกระบบไฟฟ้า	-	ความสะอาดของสายพานลำเลียง	ต้องไม่มีเศษพลาสติก / สิ่งสกปรก / เศษฝุ่น / ชิ้นงานค้างบนสายพาน	ตรวจสอบด้วยสายตา	-	1 ครั้งต่อกะ	ใบบันทึกการทำ 5 ส.	ทำความสะอาดสิ่งสกปรก
2	การไล่วัตถุดิบ		-	แผ่นรองกันเศษฝุ่นมีความมิดชิด	ต้องไม่มีเศษพลาสติก / เศษฝุ่นจากการไล่วัตถุดิบติดที่แผ่นกั้นชิ้นงาน	ตรวจสอบด้วยสายตา	-	ก่อนเริ่มการผลิต	ใบบันทึกการทำ 5 ส.	ทำความสะอาดสิ่งสกปรก
3	การฉีดขึ้นรูปปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P		-	ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์	30 มิลลิเมตรต่อวินาที +20/-0	คอมพิวเตอร์ควบคุม	-	ตลอดเวลา	โปรแกรมฉีดขึ้นรูปรุ่น 6P	ปรับให้อยู่ในค่ามาตรฐานอัตโนมัติ
				ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน	1 วินาที +0/-0.5					
				แรงดันในการผลักรันเนอร์	15 บาร์ +0/-5	เกจวัดความดัน	-	2 ครั้งต่อกะ	ใบบันทึกแรงดัน	ปรับให้อยู่ในค่ามาตรฐาน
			ลักษณะปรากฏ	-	ไม่มีข้อบกพร่องดังนี้ ครีบ ฉีดไม่เต็ม สิ่งแปลกปลอม รอยไหม้ รอยขีดข่วน คราบสกปรก รอยเชื่อมประสาน เสียรูป ตัวหนังสือถูกต้องชัดเจน และปัญหาอื่นๆ นอกเหนือจากตัวอย่างมาตรฐาน	ตรวจสอบด้วยสายตาเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน	1 ช็อต	การตรวจสอบชิ้นแรก	ใบบันทึกการตรวจสอบคุณภาพ	แจ้งพนักงานปรับตั้งพารามิเตอร์
							1 ช็อต	ทุก 2 ชั่วโมง		

ตารางที่ 7.5 ใบบันทึกการทำ 5 ส.

ลำดับที่	หัวข้อตรวจสอบ	มาตรฐาน	วิธีการ	ความถี่	กะ	วันที่															
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	หน้าแม่พิมพ์	ต้องไม่มีเศษพลาสติก / สิ่งสกปรกติดหน้าแม่พิมพ์	ทิชชูสีฟ้า / สายตา	ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น	A																
					B																
2	แผ่นกั้นชิ้นงาน	ต้องไม่มีเศษพลาสติก / สิ่งสกปรกติดแผ่นกั้นชิ้นงาน	ทิชชูสีฟ้า / สายตา	ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น	A																
					B																
3	พื้นที่ใต้แม่พิมพ์	ต้องไม่มีเศษพลาสติก / สิ่งสกปรก / ชิ้นงานบนพื้น	ทิชชูสีฟ้า / สายตา	ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น	A																
					B																
4	พื้นที่ข้างแม่พิมพ์	ต้องไม่มีเศษพลาสติก / สิ่งสกปรก / ชิ้นงานบนพื้น	ทิชชูสีฟ้า / สายตา	ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น	A																
					B																
5	สายพานลำเลียง	ต้องไม่มีเศษพลาสติก / สิ่งสกปรก / เศษฝุ่น / ชิ้นงานค้างบนสายพาน	ทิชชูสีฟ้า / สายตา	1 ครั้งต่อกะ	A																
					B																

ลำดับที่	หัวข้อตรวจสอบ	มาตรฐาน	วิธีการ	ความถี่	กะ	วันที่															
						17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	-
1	ทำความสะอาดหน้าแม่พิมพ์	ต้องไม่มีเศษพลาสติก / สิ่งสกปรกติดหน้าแม่พิมพ์	ทิชชูสีฟ้า / สายตา	ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น	A																-
					B																-
2	ทำความสะอาดแผ่นกั้นชิ้นงาน	ต้องไม่มีเศษพลาสติก / สิ่งสกปรกติดที่แผ่นกั้นชิ้นงาน	ทิชชูสีฟ้า / สายตา	ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น	A																-
					B																-
3	ทำความสะอาดพื้นที่ใต้แม่พิมพ์	ต้องไม่มีเศษพลาสติก / สิ่งสกปรก / ชิ้นงานบนพื้นที่ใต้แม่พิมพ์	ทิชชูสีฟ้า / สายตา	ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น	A																-
					B																-
4	ทำความสะอาดพื้นที่ข้างแม่พิมพ์	ต้องไม่มีเศษพลาสติก / สิ่งสกปรก / ชิ้นงานบนพื้นที่ข้างแม่พิมพ์	ทิชชูสีฟ้า / สายตา	ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น	A																-
					B																-
5	ทำความสะอาดสายพานลำเลียง	ต้องไม่มีเศษพลาสติก / สิ่งสกปรก / เศษฝุ่น / ชิ้นงานค้างบนสายพาน	ทิชชูสีฟ้า / สายตา	1 ครั้งต่อกะ	A																-
					B																-

ตารางที่ 7.6 ใบบันทึกการตรวจสอบแรงดันในการผลัก

เดือน/ปี	ค่ามาตรฐาน	กะ	เวลา	วันที่																หมายเหตุ
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	แรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ +0/-5	A	เช้า																	
			บ่าย																	
		B	เช้า																	
			บ่าย																	
		กะ	เวลา	วันที่																หมายเหตุ
				17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	27	29	30	31	-	
		A	เช้า																-	
			บ่าย																-	
		B	เช้า																-	
			บ่าย																-	

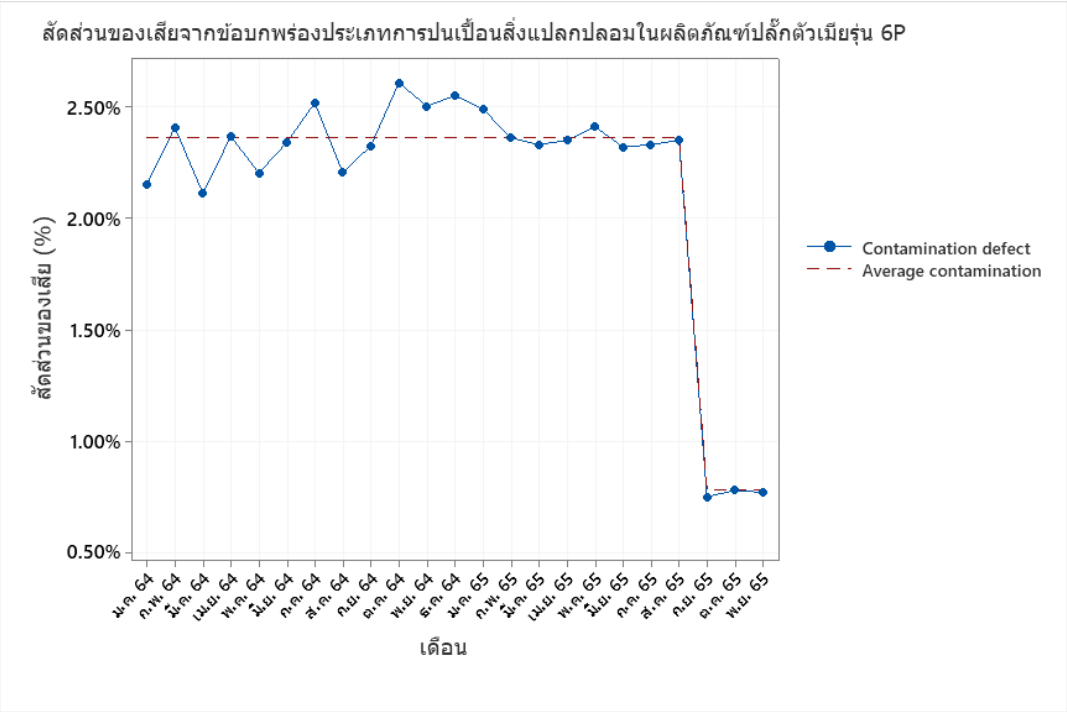
7.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการตามขั้นตอนการปฏิบัติงานและแผนควบคุมที่กำหนดเป็นระยะเวลา 34 วัน ปริมาณการผลิตทั้งหมด 1,000,000 ชิ้น พบว่ามีสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P เป็น 0.78 เปอร์เซ็นต์ โดยหากเทียบกับสัดส่วนของเสียที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจริงหลังจากการปรับปรุงมีค่ามากกว่าค่าพยากรณ์ 0.18 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเทียบกับสัดส่วนของเสียที่พบก่อนการปรับปรุงที่ 2.49 เปอร์เซ็นต์ พบว่าหลังจากการปรับปรุงสามารถลดสัดส่วนของเสียลงไปได้ 1.71 เปอร์เซ็นต์ โดยกราฟสัดส่วนของเสียเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 7.1 ซึ่งข้อมูลก่อนการปรับปรุงจะอยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม 2564 - สิงหาคม 2565 และหลังการปรับปรุงอยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนกันยายน 2565 - พฤศจิกายน 2565 จะเห็นได้ว่าหลังจากการปรับปรุงสัดส่วนของเสียลดลงเป็นอย่างมาก

สำหรับต้นทุนของเสียที่สามารถลดได้จากการปรับปรุง หากพิจารณาจากข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณการผลิตในปี 2566 ซึ่งคาดว่าจะมีปริมาณการผลิตปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ทั้งสิ้น 27,000,000 ชิ้น เมื่อคำนวณจำนวนของเสียที่อาจเกิดขึ้นโดยใช้สัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุงที่ 2.49 เปอร์เซ็นต์ จะเกิดของเสียขึ้นทั้งหมด 672,300 ชิ้น โดยที่ต้นทุนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P มีมูลค่า 8.63 บาทต่อชิ้นงาน ดังนั้นจะทำให้มีต้นทุนของเสียก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 5,801,949 บาท และหากคำนวณจำนวนของเสียที่อาจเกิดขึ้นโดยใช้สัดส่วนของเสียหลังการปรับปรุงที่ 0.78 เปอร์เซ็นต์ จะเกิดของเสียขึ้นทั้งหมด 211,599 ชิ้น จึงทำให้ต้นทุนของเสียหลังการปรับปรุงลดลงเหลือ 1,826,099 บาทต่อปี ด้วยตัวเลขนี้หมายความว่าสามารถลดต้นทุนของเสียได้ถึง 3,975,850 บาทต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 7.7

ตารางที่ 7.7 การเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียและต้นทุนของเสียก่อนและหลังปรับปรุง

ตัวแปรตอบสนอง	ค่าก่อนปรับปรุง	ค่าพยากรณ์จากสมการถดถอย	ค่าหลังปรับปรุง	ผลต่างระหว่างค่าพยากรณ์และค่าจริงหลังปรับปรุง	ผลต่างระหว่างค่าก่อนและหลังปรับปรุง
สัดส่วนของเสีย (%)	2.49	0.60	0.78	0.18	1.71
ปริมาณของเสีย (ชิ้น)	672,300	162,000	211,599	49,599	460,701
ต้นทุนของเสียต่อปี (บาท)	5,801,949	1,398,060	1,826,099	428,039	3,975,850



รูปที่ 7.1 สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ในเดือนมกราคม 2564 - พฤศจิกายน 2565

7.4 สรุประยะการติดตามควบคุมผล

ในระยะการติดตามควบคุมผล ได้ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลที่ได้จากระยะการปรับปรุงกระบวนการ โดยปรับตั้งค่าปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยตามค่าระดับที่เหมาะสม และทำการเก็บข้อมูลของเสียที่พบ จากนั้นได้ทำการแก้ไขเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานและแผนควบคุมเพื่อให้มั่นใจว่าผลการปรับปรุงที่ได้ได้รับการปฏิบัติตามอย่างเหมาะสม โดยหลังจากการติดตามผลการปรับปรุงกระบวนการพบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ลงจาก 2.49 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดลงไปได้ 1.71 เปอร์เซ็นต์ และส่งผลให้ต้นทุนของเสียลดลงจาก 5,801,949 บาท เหลือเพียง 1,826,099 บาท ซึ่งลดลงไปได้ถึง 3,975,850 บาทต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 8

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P โดยประยุกต์ใช้แนวคิดของ ซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบด้วย 5 ระยะ ได้แก่ ระยะการนิยามปัญหา ระยะการวัดสภาพปัญหาก่อนการปรับปรุงระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหา ระยะการปรับปรุงกระบวนการ และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ โดยบทสรุปของการดำเนินงานทั้งหมดมีดังนี้

8.1 สรุประยะการนิยามปัญหา

ในระยะการนิยามปัญหาผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและประเภทของปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P พบว่าเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมสูงเป็นอันดับหนึ่งโดยมีสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องนี้เท่ากับ 2.49 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต ซึ่งส่งผลทำให้มีต้นทุนจากของเสียดังกล่าวสูงถึง 180,517 บาทต่อเดือน จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อลดสัดส่วนของเสียและต้นทุนของเสียที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ให้ลดลง 50% จาก 2.49% เป็น 1.25% ภายในเดือนพฤศจิกายน 2565

8.2 สรุประยะการวัดสภาพปัญหาก่อนการปรับปรุง

ในระยะการวัดสภาพปัญหาก่อนการปรับปรุง ได้มีการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบคุณภาพทั้ง 3 คน พบว่า พนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P โดยมีค่า OE ≥ 90% IFA ≤ 5% และ IMISS ≤ 2% หมายความว่า ความมีประสิทธิผลของพนักงานการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด และการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาดล้วนแล้วอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และในส่วนของการวิเคราะห์ระหว่างพนักงานซึ่งเป็นการมองภาพรวมของทั้งระบบการวัดนั้นพบว่า ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน และความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงานมีค่าเท่ากับ 100% แสดงว่าระบบการวัดมีความเชื่อถือได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่เกิดจากการวัดไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P นั่นคือมีความแม่นและความเที่ยงในระดับที่ให้ผลการตรวจสอบที่เชื่อถือได้

8.3 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เริ่มจากการระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์รุ่น 6P ทั้งหมด 12 ปัจจัย จากนั้นจึงคัดกรองและจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่เป็นไปได้ พบว่ามีปัจจัยที่ได้รับคะแนนระดับความสัมพันธ์มากทั้งหมด 5 ปัจจัย ผู้วิจัยจึงเลือกปัจจัยดังกล่าวเพื่อไปศึกษาต่อ สำหรับปัจจัยนำเข้าที่ไม่สามารถปรับตั้งค่าได้มี 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) แผ่นรองกันเศษฝุ่นไม่สามารถป้องกันได้อย่างมิดชิด มีแนวทางในการปรับปรุงโดยออกแบบแผ่นรองกันเศษฝุ่นใหม่ให้สามารถป้องกันได้อย่างมิดชิด และ 2) สายพานลำเลียงไม่สะอาด มีแนวทางในการปรับปรุงโดยศึกษาหาความถี่ในการในการทำความสะอาดสายพานลำเลียงที่เหมาะสมที่ไม่กระทบกับรอบเวลาการผลิตมากจนเกินไป และมีปัจจัยนำเข้าที่สามารถปรับตั้งค่าได้ 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม ระยะเวลาหน่วงชิ้นงานไม่เหมาะสม และแรงดันในการผลักรันเนอร์ไม่เหมาะสม จะปรับปรุงโดยใช้การออกแบบการทดลองด้วยแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Design) เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยและหาค่าที่เหมาะสมที่ของปัจจัยเหล่านั้นที่เป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องที่เกิดจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ได้

8.4 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ

สำหรับระยะการปรับปรุงกระบวนการ จากปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 5 ปัจจัย ผู้วิจัยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกได้แก่ ทดสอบสมมติฐานสำหรับปัจจัยที่ไม่สามารถปรับตั้งค่าได้ 2 ปัจจัย คือ 1) รูปแบบของแผ่นรองกันเศษฝุ่น ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานว่าแผ่นรองกันเศษฝุ่นใดให้สัดส่วนของเสียที่น้อยกว่าระหว่างแผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมและแผ่นรองกันเศษฝุ่นที่ออกแบบใหม่ ซึ่งพบว่าแผ่นรองกันเศษฝุ่นที่ออกแบบใหม่เกิดสัดส่วนของเสียน้อยกว่าแผ่นรองกันเศษฝุ่นเดิมอย่างมีนัยสำคัญ และ 2) ความถี่ในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานว่าความถี่ในการทำความสะอาด ซึ่งพบว่าความถี่ในการทำความสะอาดสายพาน 1 ครั้งต่อกะมีสัดส่วนของเสียน้อยกว่าความถี่ 1 ครั้งต่อสัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงโดยใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่นที่ออกแบบใหม่และใช้ความถี่ในการทำความสะอาดสายพาน 1 ครั้งต่อกะ และสำหรับส่วนที่สองได้ทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบแบบส่วนประสมกลางสำหรับอีก 3 ปัจจัยที่เหลือที่ปรับตั้งค่าได้ ซึ่งได้แก่ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน และแรงดันในการผลักรันเนอร์ ทั้งหมด 20 การทดลอง พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อสัดส่วนของ

เสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นได้ทำการหาค่าระดับที่เหมาะสมของทั้ง 3 ปัจจัยด้วยฟังก์ชั่น Response Optimizer ซึ่งได้ค่าที่เหมาะสม คือ ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน 1 วินาที และแรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ โดยจะนำค่าระดับที่เหมาะสมของทั้ง 3 ปัจจัยที่ได้ไปปรับใช้จริงในกระบวนการเพื่อทำการทดสอบยืนยันผลในลำดับต่อไป

8.5 สรุประยะการติดตามควบคุม

ในระยะการติดตามควบคุมผล ได้ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลที่ได้จากระยะการปรับปรุงกระบวนการ โดยปรับตั้งค่าปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยตามค่าระดับที่เหมาะสม และทำการเก็บข้อมูลของเสียที่พบ จากนั้นเพื่อให้มั่นใจว่าผลการปรับปรุงที่ได้มีการปฏิบัติตามอย่างเหมาะสมจึงได้ทำการแก้ไขเอกสารในกระบวนการผลิต โดยที่ SOP นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่จะมีการแปลงแปลงในระดับของขั้นตอนการปฏิบัติงานและแผนควบคุม ซึ่งได้แก่

- ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที +20/-0
- ระยะเวลาหน่วงชิ้นงาน 1 วินาที +0/-0.5
- แรงดันในการผลักรันเนอร์ 15 บาร์ +0/-5
- การใช้แผ่นรองกันเศษฝุ่น
- ความถี่ในการในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง 1 ครั้งต่อกะ

โดยหลังจากการติดตามผลการปรับปรุงกระบวนการ พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ลงจาก 2.49 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดลงไปได้ 1.71 เปอร์เซ็นต์ และส่งผลให้ต้นทุนของเสียลดลงจาก 5,801,949 บาท เหลือเพียง 1,826,099 บาท ซึ่งลดลงไปได้ถึง 3,975,850 บาทต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ในโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งฉีดขึ้นรูปพลาสติกด้วยเครื่องฉีดพลาสติดประเภทแนวนอนแบบระบบไฟฟ้าเพียงเท่านั้น
2. ผลของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้ในงานวิจัยนี้สามารถใช้ได้กับการผลิตผลิตภัณฑ์ปลั๊กตัวเมียรุ่น 6P ในโรงงานกรณีศึกษาเพียงเท่านั้น
3. ผลของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยนี้ มาจากการศึกษาปัจจัยเพียง 5 ปัจจัยเท่านั้น

8.7 ข้อเสนอแนะ

1. สามารถลดสัดส่วนของเสียจาก 0.78 เปอร์เซ็นต์ลงได้อีก หากศึกษาและปรับปรุงปัจจัยอื่นที่ได้ระดมสมองมาเพิ่มเติม
2. สามารถนำวิธีการศึกษาจากงานวิจัยนี้ ไปประยุกต์ใช้กับการลดข้อบกพร่องจากการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์อื่นได้ ทั้งนี้ต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ อย่างครบถ้วนเนื่องจากรูปแบบและรุ่นของเครื่องฉีดพลาสติก รวมไปถึงรูปแบบของแม่พิมพ์อาจมีความแตกต่างกันออกไป
3. สามารถนำขั้นตอนการปรับปรุงในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้ เพียงแต่อาจจะต้องมีการปรับบางส่วนให้เข้ากับปัญหาและกระบวนการผลิตนั้น ๆ
4. สำหรับงานวิจัยในอนาคตอาจจำเป็นต้องศึกษาวิธีการในการตรวจสอบการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมด้วยวิธีอื่น ที่สามารถตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มองไม่เห็นหรือมองเห็นได้ยากด้วยสายตา เพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบที่แม่นและเที่ยงมากยิ่งขึ้น เช่น การวิเคราะห์ทางเคมี เป็นต้น
5. เพื่อให้โครงการการปรับปรุงคุณภาพนั้นสำเร็จลุล่วงตามแผนที่วางไว้ คณะทำงานจำเป็นต้องอุทิศตนตามบทบาทหน้าที่ตามสัญญาโครงการ และควรมีการประชุมติดตามความคืบหน้าเป็นระยะ หากพบปัญหาระหว่างการดำเนินโครงการควรมีการวางแผนการแก้ไขเพื่อหาทางออกและรายงานผู้บริหารเพื่อขอคำชี้แนะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.8 การตีพิมพ์งานวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ที่วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ซึ่งได้รับการรับรองโดยศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) ให้อยู่ในวารสารกลุ่มที่ 2 โดยได้ส่งบทความไปเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2022 ซึ่งในขณะนี้อยู่ระหว่างการกลั่นกรองบทความก่อนลงตีพิมพ์โดยคณะผู้ทรงคุณวุฒิ

บรรณานุกรม

1] W.G Frizelle. *Injection molding technology*, in *Applied Plastics Engineering Handbook*. Elsevier. p. 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] สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. พลาสติกสำหรับรถยนต์. Plastics Intellegemce Monthly 2557 [cited 2565 11 กุมภาพันธ์].

[5] นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์. เอกสารประกอบการเรียนวิชา *Quality Improvement*. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2563.

[6] วชิรพงษ์ สาลีสิงห์. ปฏิวัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค *Six Sigma* ฉบับ *Champion* และ *Black belt*. กรุงเทพมหานคร: กรุงเทพฯ : ศีริวัฒนาอินเตอร์พริ้นท์, 2548.

[7] วราภรณ์ ขำสนิท. การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกกรณีที่มีข้อบกพร่องหลายชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

[8] มานะพงศ์ โชติวิรัตน์. การลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในการผลิตชิ้นงานพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

[9] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ / โดย กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549.

[10] D.C Montgomery. *Design and analysis of experiments / Douglas C. Montgomery*. 8th ed. Hoboken, N.J. : Wiley, 2013.

[11] A. Alshammari, S. Redha, S. Hussain, T. Nazzal, Z. Kamal and W. Smew, *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.

[12] 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.

[13] I. Rattanabunditsakun. *Black dot defect reduction in plastic injection moulding process*.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Master's Thesis, Department of Industrial Engineering, Engineering, Chulalongkorn University. 2014.

[14] T. Rattanaruengyot. *DEFECT REDUCTION IN PLASTIC PIPE EXTRUSION PROCESS*. Master's Thesis, Department of Industrial Engineering, Engineering, Chulalongkorn University. 2014.

[15] ชนิกานต์ รักธงไทย. การลดของเสียประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2563.

[16] T. Rakić, I. Kasagić-Vujanović, M. Jovanović, B. Jančić-Stojanović and D. Ivanović, *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, 47(8), 1334-1347, 2014

[17] Minitab® 21 Support. *Response Optimizatiom*. Determining the weight in response optimization 2557 [cited 2565 13 พฤศจิกายน].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อรรถพล งามสำโรง
วัน เดือน ปี เกิด	13 พฤศจิกายน 2533
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลอรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	348/37 คอนโดเดอะลิฟวิ่งพลัส อาคาร D หมู่ 7 ตำบลบ่อวิน อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี รหัสไปรษณีย์ 20230

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University