การลดของเสียประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

น.ส.ชนิกานต์ รักธงไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEFECTIVE REDUCTION FROM CRACK DEFECTS IN PAINTING PROCESS OF MOTORCYCLE PARTS

Miss Chanikan Rakthongthai

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 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์
โดย	น.ส.ชนิกานต์ รักธงไทย
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
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อริศรา เจียมสงวนวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชนิกานต์ รักธงไทย : การลดของเสียประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์. (DEFECTIVE REDUCTION FROM CRACK DEFECTS IN PAINTING PROCESS OF MOTORCYCLE PARTS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) มาประยุกต์ใช้การดำเนินงานวิจัย เริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหาและกระบวนการทำงาน ต่อมาทำการวิเคราะห์ความแม่นยำและถูกต้องของระบบการวัดโดยการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทสีแตกด้วยสายตา จากนั้นทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล และเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัย โดยใช้ตารางแสดงเหตุและผล และทำการคัดเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดปัญหาสีแตก ซึ่งมีทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED และวิธีการขัดผิวชิ้นงาน จากนั้นในขั้นตอนปรับปรุงกระบวนการ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ทดสอบสมมติฐานของวิธีการขัดผิวชิ้นงาน พบว่า วิธีการขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้งเกิดสัดส่วนของเสียน้อยกว่าวิธีการขัดเฉพาะแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญ จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการขัดเป็นแบบขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ในส่วนของอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ทำการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน จากนั้นทำการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งค่าปัจจัยที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ความดันในการล้างชิ้นงาน เท่ากับ 1.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เท่ากับ 180 โวลต์ หลังจากนั้นนำค่าปัจจัยที่เหมาะสมนี้ไปปรับใช้จริงในกระบวนการ เพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้ และจัดทำแผนควบคุมและวิธีการปฏิบัติงานใหม่หลังจากปรับปรุงกระบวนการ พบว่า สามารถลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกจาก 3.82 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดลงไปได้ 2.85 เปอร์เซ็นต์ และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกลดลงจาก 132,898 บาท เหลือ 27,603 บาท ซึ่งลดลงไปได้ 105,295 บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6170136021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: SIX SIGMA, PAINTING PROCESS, CRACK DEFECT, DEFECT REDUCTION

Chanikan Rakthongthai : DEFECTIVE REDUCTION FROM CRACK DEFECTS IN PAINTING PROCESS OF MOTORCYCLE PARTS . Advisor: Asst. Prof. Napassavong Osothsilp, Ph.D.

This research aims to reduce the proportion of defective and rework costs due to crack defects in the painting process of motorcycle parts. This research applied the Six Sigma approach. Firstly, the problem statement and working process are defined. Secondly, an attribute measurement system was assessed for accuracy and precision by an attribute agreement analysis to inspect the crack defect. Next, the potential causes for crack defects were analyzed and prioritized by Cause-and-Effect Diagram and Cause-and-Effect Matrix. Then, the four factors were the test for statistical significance: pretreatment temperature, pretreatment pressure, electrodeposited paint voltage, and sanding method. In the improvement phase, the experiment was divide into two parts: the hypothesis test of the sanding method, the result that both the horizontal and vertical sanding methods were significantly less proportion of defectives than only horizontally sanding method. Therefore, the sanding method has improved to be both horizontal and vertical sanding. Also, the Box-Behnken design is applied to prove pretreatment temperature, pretreatment pressure, and electrodeposited paint voltage. In addition, the optimal levels of factors determine. The optimal setting was at the pretreatment temperature of 40 degrees Celsius, pretreatment pressure of 1.4 kilograms per square centimeter, and electrodeposited paint voltage of 180 volts. After that, the optimal setting is adjusted in the process to confirm the expected result. Finally, develop a new control plan and standard operating procedure to control the process after the improvement. After improvement, the result proportion of defective due to crack defects decreased from 3.82 percent to 0.97 percent, equivalent to a 2.85 percent reduction. Furthermore, the rework costs reduced from 132,898 baht to 27,603 baht, equivalent to a 105,295 baht reduction.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Industrial Engineering	Student's Signature .....
Academic Year:	2020	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาระหว่างการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อริศรา เจียมสงวนวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดำรง ทวีแสงสกุลไทย กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสผู้วิจัยเข้าไปทำการศึกษาวิจัย รวมทั้งให้เข้าร่วมในการฝึกอบรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ และให้ความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี ตลอดจนคณะทำงานที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำต่าง ๆ และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมไปถึงพนักงานและเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอบคุณกำลังใจจากเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงมา ณ ที่นี้ด้วย

ชนิกานต์ รักธงไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูปภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา 2

1.3 สภาพปัญหาปัจจุบัน 3

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 6

1.5 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย 6

1.6 ผลที่ได้รับ 6

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ 7

1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 7

1.9 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย 9

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับสีและการพ่นสี 10

2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสี 10

2.1.2 วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว 10

2.1.3 องค์ประกอบของสี 11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.4 การเกิดฟิล์มของสารเคลือบผิว (Film Formation) 11
2.1.5 การแห้งของสารเคลือบผิว 12
2.1.6 สีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ 12
2.1.7 ความรู้พื้นฐานในการพ่นสี 14
2.1.8 เทคนิคการพ่นสี 15
2.1.9 ข้อบกพร่องที่เกิดกับสี 16
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับซิกซ์ ซิกมา 18
2.2.1 ความหมายและประวัติความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา 18
2.2.2 ระดับคุณภาพซิกมา 19
2.2.3 กระบวนการมาตรฐานของซิกซ์ ซิกมา 19
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 21
2.3.1 แผนผังกระบวนการ (Process Mapping) 21
2.3.2 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) 21
2.3.3 การระดมความคิด (Brainstorming) 22
2.3.4 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) 22
2.3.5 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) 24
2.3.6 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) 25
2.3.7 การวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) 29
2.3.8 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of Experiment: DOE) 31
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40
บทที่ 3 การนิยามปัญหา 43
3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน 43
3.2 สภาพปัญหาปัจจุบัน 44
3.3 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ 45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.4 การกำหนดตัวชี้วัดและเป้าหมาย 50
3.5 การสร้างสัญญาโครงการ (Project Charter) 51
3.6 สรุประยะนิยามปัญหา 52
บทที่ 4 การวัดสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง 53
4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด (Attribute Agreement Analysis) 53
4.2 คำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้วัดสภาพปัญหา 59
4.3 สรุปค่าตัวชี้วัดสภาพปัญหา 60
4.4 สรุประยะการวัดสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง 61
บทที่ 5 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา 62
5.1 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า 62
5.2 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา 70
บทที่ 6 การปรับปรุงกระบวนการ 71
6.1 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทำการทดลอง 71
6.2 การเลือกแบบการทดลองที่ใช้ในงานวิจัย 71
6.3 การทดสอบสมมติฐาน 72
6.4 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 74
6.5 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลอง 76
6.6 การสร้างตารางการออกแบบการทดลอง 79
6.7 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง 80
6.8 ผลการทดลอง 80
6.9 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 81
6.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 83
6.11 การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า 89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.12 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ 92
บทที่ 7 การทดสอบยืนยันผล และการติดตามควบคุม 93
7.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง 93
7.1.1 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลอง 94
7.1.2 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อยืนยันผล 95
7.1.3 ผลการทดลองการยืนยันผล 95
7.2 การติดตามและควบคุมผล 96
7.3 ข้อมูลหลังจากการปรับปรุง 102
7.4 สรุประยะการติดตามควบคุมผล 103
บทที่ 8 บทสรุป และข้อเสนอแนะ 104
8.1 สรุประยะการนิยามปัญหา 104
8.2 สรุประยะการวัดสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง 104
8.3 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา 105
8.4 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ 105
8.5 สรุประยะการติดตามควบคุม 106
8.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย 106
8.7 ข้อเสนอแนะ 107
บรรณานุกรม 108
ประวัติผู้เขียน 111

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย 9

ตารางที่ 2.1 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละระดับคุณภาพซิกมา 19

ตารางที่ 2.2 ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ 27

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การตัดสินใจในการยอมรับของค่าดัชนีชี้วัด O_E, I_{FA} และ I_{MISS} 28

ตารางที่ 2.4 ค่า α ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางตั้งแต่ 2-6 ปัจจัย 39

ตารางที่ 4.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ 53

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การตัดสินใจในการยอมรับของระบบการวัด 55

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด 56

ตารางที่ 4.4 ผลสรุปของค่าดัชนีชี้วัดของระบบการวัดของข้อมูลตัวอย่าง 58

ตารางที่ 5.1 เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล 64

ตารางที่ 5.2 คะแนนรวมของแต่ละปัจจัยนำเข้า 64

ตารางที่ 5.3 ผลกระทบของแต่ละปัจจัย 66

ตารางที่ 5.4 ปัจจัยที่นำไปศึกษาต่อและปัจจัยที่ไม่นำไปศึกษาต่อและแนวทางการปรับปรุงแก้ไข ... 67

ตารางที่ 6.1 การกำหนดระดับปัจจัยจากวิธีการขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี 72

ตารางที่ 6.2 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานของวิธีการขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี 73

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองของวิธีการขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี 73

ตารางที่ 6.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเนื่องจากวิธีการขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี 74

ตารางที่ 6.5 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทำการทดลอง 76

ตารางที่ 6.6 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองของอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน 77

ตารางที่ 6.7 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองของความดันในการล้างชิ้นงาน 77

ตารางที่ 6.8 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองของความดันในการล้างชิ้นงาน 78

ตารางที่ 6.9 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองของแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED..... 78
ตารางที่ 6.10 ตารางการออกแบบการทดลอง (Design Matrix)..... 79
ตารางที่ 6.11 ผลการทดลองการเกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก 80
ตารางที่ 6.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและผลการวิเคราะห์การถดถอยของสัดส่วนของเสีย 84
ตารางที่ 6.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบลดตัวแปรของสัดส่วนของเสีย..... 85
ตารางที่ 6.14 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer..... 90
ตารางที่ 6.15 การปรับค่าปัจจัยเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ..... 91
ตารางที่ 6.16 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกต่ำที่สุด 91
ตารางที่ 7.1 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุง..... 93
ตารางที่ 7.2 สัดส่วนของเสียและต้นทุนของเสียที่เกิดหลังจากปรับปรุงกระบวนการ 95
ตารางที่ 7.3 วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการพ่นสี..... 96
ตารางที่ 7.4 แผนควบคุมกระบวนการ..... 100
ตารางที่ 7.5 แผ่นตรวจสอบการตั้งค่าการล้างคราบไขมันชิ้นงาน..... 101
ตารางที่ 7.6 แผ่นตรวจสอบการตั้งค่าการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยไฟฟ้า 101
ตารางที่ 7.7 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียและต้นทุนของเสียก่อนและหลังปรับปรุง..... 102

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ผังองค์กรของแผนกสี 2
รูปที่ 1.2 ปริมาณการผลิตและสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ในเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 25623
รูปที่ 1.3 สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ในเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2562 4
รูปที่ 1.4 แผนภูมิพาเรโตสัดส่วนของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่องในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2562 5
รูปที่ 1.5 แผนภูมิพาเรโตค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2562 5
รูปที่ 1.6 ลักษณะข้อบกพร่องประเภทสีแตกของรถจักรยานยนต์ 6
รูปที่ 2.1 สีแต่ละชั้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ 13
รูปที่ 2.2 กระบวนการวัด 20
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผลแบบการวิเคราะห์ความผันแปร 23
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผลแบบจำแนกตามกระบวนการ 23
รูปที่ 2.5 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ 32
รูปที่ 2.6 กราฟความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติของค่าความผิดพลาด 33
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดและลำดับของการทดลอง 34
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดและค่าฟิต 34
รูปที่ 2.9 การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ 36
รูปที่ 2.10 การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วนแบบ One-Half ของสามปัจจัย 37
รูปที่ 2.11 กราฟพื้นผิวตอบและกราฟโครงร่างของตัวแปรตอบสนองที่มีค่ามากที่สุด 38
รูปที่ 2.12 กราฟพื้นผิวตอบและกราฟโครงร่างของตัวแปรตอบสนองที่มีค่าน้อยที่สุด 38
รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง 39
รูปที่ 2.14 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken กรณีที่มีสามปัจจัย 39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.1 แผนภูมิพาเรโตสัดส่วนของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่องในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2562 44

รูปที่ 3.2 แผนภูมิพาเรโตค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2562 45

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนของกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์ 46

รูปที่ 3.4 ขั้นตอนในกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน 47

รูปที่ 5.1 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตก 63

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงลำดับคะแนนของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทสีแตก 65

รูปที่ 6.1 กราฟส่วนตกค้าง 83

รูปที่ 6.2 กราฟความน่าจะเป็นแบบการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าส่วนตกค้าง 83

รูปที่ 6.3 กราฟพื้นผิวผลตอบของปัจจัยความดันในการล้างชิ้นงานและแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED88

รูปที่ 6.4 กราฟผลกระทบของปัจจัยอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน 89

รูปที่ 7.1 สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทต่าง ๆ ก่อนและหลังปรับปรุง 103

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมรถจักรยานยนต์ของโลกส่วนใหญ่อยู่ในประเทศภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก โดยมีสัดส่วนการจำหน่ายในภูมิภาคนี้ถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการจำหน่ายทั่วโลกในแต่ละปี ทำให้เกิดการย้ายฐานการผลิตรถจักรยานยนต์ของค่ายรถระดับโลกเข้ามาอยู่ใกล้ตลาดเป้าหมาย เพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง ตั้งแต่ช่วงทศวรรษที่ 1960 เป็นต้นมา จะเห็นว่าฐานผลิตรถจักรยานยนต์ของโลกส่วนใหญ่อยู่ในภูมิภาคเอเชีย โดยไทยมีสถานะเป็นประเทศผู้ผลิตรถจักรยานยนต์สำคัญอันดับ 5 ของโลกรองจากจีน อินเดีย อินโดนีเซีย และเวียดนาม ตามลำดับ สำหรับในประเทศไทยการผลิตรถจักรยานยนต์มีแนวโน้มขยายตัวต่อเนื่องในช่วง 1 ถึง 3 ปีข้างหน้า โดยในปี 2562 มีปริมาณการผลิต 2.10 ถึง 2.15 ล้านคัน และคาดว่าขยายตัวต่อเนื่องในปี 2563 ถึง 2564 เป็น 2.12 ถึง 2.17 ล้านคัน และ 2.14 ถึง 2.19 ล้านคัน โดยมีปัจจัยหนุนการเติบโตจากทั้งตลาดในประเทศ และตลาดส่งออกตามการฟื้นตัวของเศรษฐกิจไทยและเศรษฐกิจประเทศคู่ค้า และอานิสงส์จากการย้ายฐานการผลิตรถจักรยานยนต์ขนาดใหญ่เข้ามาในไทย ซึ่งจะมีผลให้การส่งออกรถจักรยานยนต์ของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง ทำให้อุตสาหกรรมรถจักรยานยนต์ต้องเผชิญภาวะการแข่งขันสูง ซึ่งในการแข่งขันทางธุรกิจกลยุทธ์ที่สำคัญในการแข่งขัน คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ทางโรงงานกรณีศึกษาซึ่งเป็นโรงงานที่ประกอบธุรกิจผลิตรถจักรยานยนต์จึงได้ให้ความสำคัญกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการที่จะช่วยยกระดับคุณภาพของสินค้าให้ดีขึ้น โดยได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น เพื่อไม่ให้เกิดข้อบกพร่องกับผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์ไม่เกิดข้อบกพร่อง ส่งผลให้ไม่ต้องทำการซ่อมผลิตภัณฑ์ หรือทิ้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถซ่อมได้ ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์หรือค่าใช้จ่ายที่ต้องทิ้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถซ่อมได้ อีกทั้งช่วยให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาซ่อมผลิตภัณฑ์ที่เกิดข้อบกพร่อง

ในการผลิตรถจักรยานยนต์ กระบวนการพ่นสีนับได้ว่าเป็นกระบวนการหลักและมีความสำคัญกระบวนการหนึ่ง โดยวัตถุประสงค์ในการพ่นสี คือ เพื่อสร้างความความสวยงามให้กับผลิตภัณฑ์ และป้องกันพื้นผิวของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์จากมลภาวะต่าง ๆ โดยสีที่เคลือบผิวจะช่วยให้พื้นผิวของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์มีความทนทานต่ออากาศ น้ำ และสารเคมีต่าง ๆ อีกทั้ง ยังช่วยให้พื้นผิวของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์มีความแข็งแรง ทนทานต่อการขัดสีได้มากขึ้น และมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น แต่ในกระบวนการพ่นสี มักพบปัญหาของเสีย คือ เกิดข้อบกพร่องกับผลิตภัณฑ์ ซึ่ง

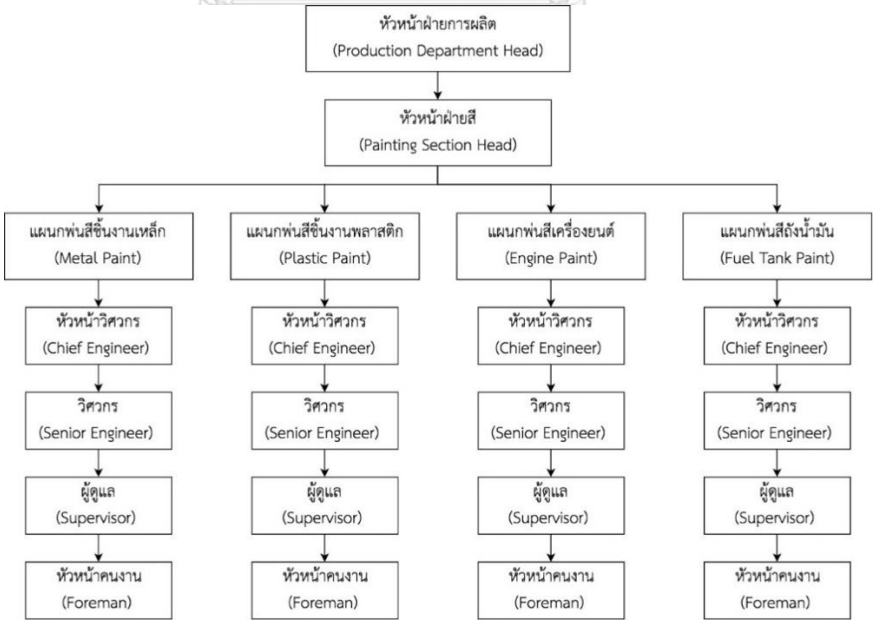
สาเหตุในการเกิดข้อบกพร่องนั้นมีหลายประการ เช่น เตรียมพื้นผิวชิ้นส่วนที่ต้องการพ่นสีไม่ดีพอ ทำการพ่นสีภายใต้ภาวะที่ไม่เหมาะสม หรือพ่นสีบางหรือหนาเกินไป เป็นต้น

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาโดยมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ เพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น โดยการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) มาใช้ทางการปรับปรุง ได้แก่ การนิยามปัญหา (Define Phase) การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) การปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase) และการควบคุมกระบวนการ (Control Phase) เนื่องจากเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพและลดต้นทุนในกระบวนการผลิต

1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานที่ประกอบธุรกิจยานยนต์ ซึ่งผลิตรถจักรยานยนต์ อะไหล่ และชิ้นส่วนของรถจักรยานยนต์ ซึ่งจำหน่ายทั้งภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะแผนกสีในส่วนของกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์

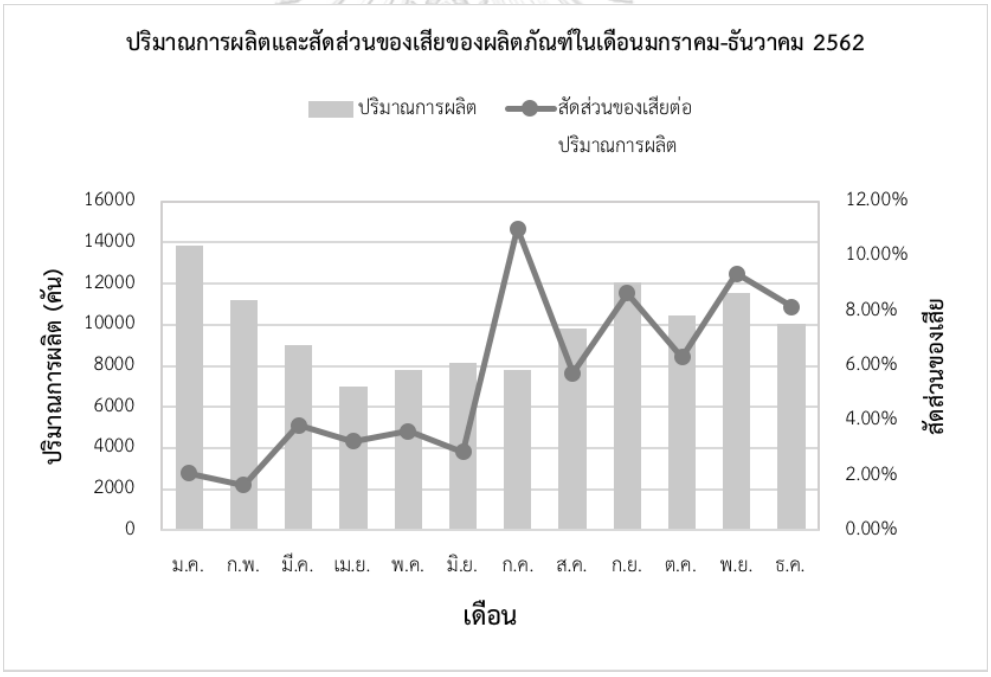
โครงสร้างองค์กรของแผนกสีจะแบ่งออกเป็นแผนกพ่นสีชิ้นงานประเภทเหล็ก แผนกพ่นสีชิ้นงานประเภทพลาสติก แผนกพ่นสีถังน้ำมัน และแผนกพ่นสีเครื่องยนต์ โดยแผนกสีมีลักษณะผังองค์กรในระดับบริหารซึ่งแสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ผังองค์กรของแผนกสี

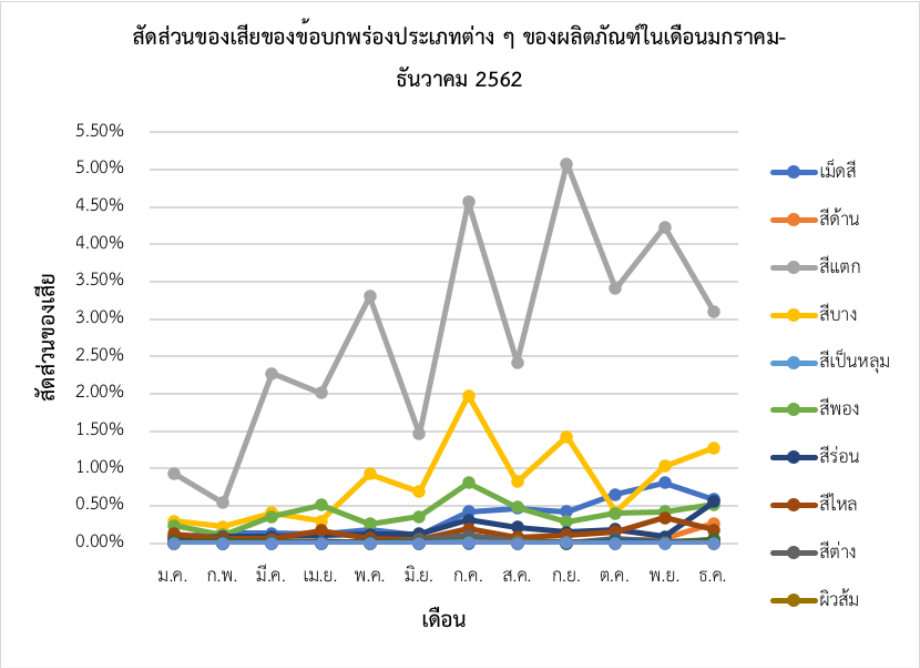
1.3 สภาพปัญหาปัจจุบัน

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลของปริมาณการผลิตและสัดส่วนของเสียที่พบในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการพ่นสีของรถจักรยานยนต์ของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1.2 พบว่า การผลิตรถจักรยานยนต์ในช่วงเดือนเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 มีของเสียเกิดขึ้นเฉลี่ย 5.54 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตทั้งหมด โดยในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายนมีของเสียเฉลี่ย 2.88 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต และในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคมมีของเสียเฉลี่ย 8.21 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต และมีของเสียเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 11.01 เปอร์เซ็นต์ในเดือนกรกฎาคม จะเห็นได้ว่าช่วงหกเดือนหลังมีของเสียเกิดขึ้นมากกว่าช่วงหกเดือนแรกอย่างชัดเจน เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน โดยของเสียที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียในด้านต่าง ๆ ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนเครื่องจักร และเวลา อีกทั้งเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเลือกศึกษาเพื่อลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการพ่นสีของรถจักรยานยนต์



รูปที่ 1.2 ปริมาณการผลิตและสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ในเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2562

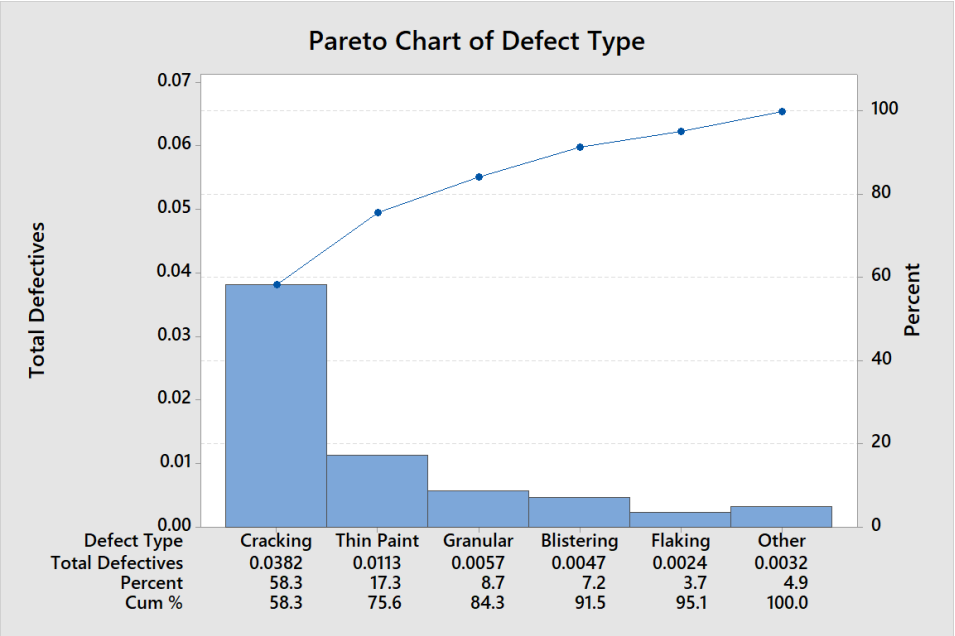
เมื่อพิจารณาสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทต่าง ๆ จากกระบวนการพ่นสีในช่วงมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2562 ที่แสดงดังรูปที่ 1.3 จะพบว่า ข้อบกพร่องประเภทสีแตกมีของเสียสูงสุดตลอดทั้งปี พ.ศ. 2562 เมื่อเทียบกับข้อบกพร่องอื่น ๆ ที่เกิดขึ้น โดยข้อบกพร่องประเภทสีแตกมีของเสียเฉลี่ยเท่ากับ 2.77 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตทั้งหมด โดยในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายนจะมีของเสียเฉลี่ยเท่ากับ 1.75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต และในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม มีของเสียเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากช่วงหกเดือนแรกโดยมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยเท่ากับ 3.80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต



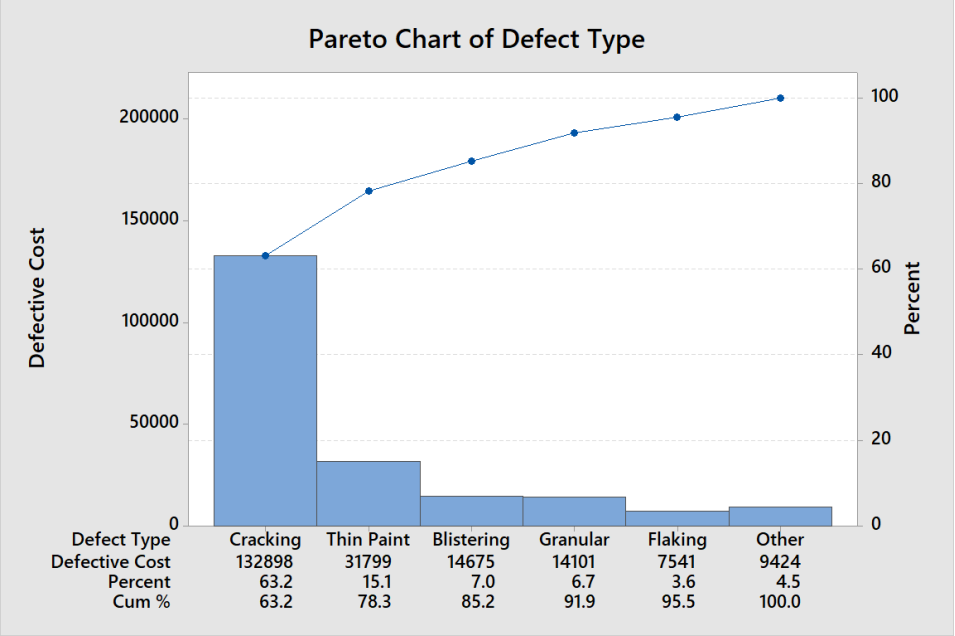
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 1.3 สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ในเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2562

เมื่อพิจารณาข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภทต่าง ๆ จากกระบวนการพ่นสีของรถจักรยานยนต์ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1.4 พบว่าสัดส่วนของเสียที่มากเป็นอันดับหนึ่ง คือ สีแตก (Cracking Paint) โดยมีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 3.82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคิดเป็น 58.3 เปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนของเสียทั้งหมด และเมื่อพิจารณาข้อมูลค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องจากกระบวนการพ่นสีของรถจักรยานยนต์ของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1.5 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องประเภทสีแตก มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมเป็นอันดับหนึ่ง คือ 132,898 บาท ในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม ซึ่งคิดเป็น 63.2 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องทั้งหมด ดังนั้นจึงเลือกข้อบกพร่องประเภทสีแตกมาทำการศึกษาวิจัย



รูปที่ 1.4 แผนภูมิพาเรโตสัดส่วนของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่องในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2562



รูปที่ 1.5 แผนภูมิพาเรโตค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2562

จากการวิเคราะห์สภาพปัญหาในกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์ในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 สรุปได้ว่า ของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกของผลิตภัณฑ์ ควรได้รับการปรับปรุงเนื่องจากมีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้นสูงที่สุด คือ 58.3 เปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนของเสียทั้งหมด และมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องสูงสุดถึง 132,898 บาท ซึ่งถ้าแก้ปัญหาข้อบกพร่องนี้ได้ ก็จะสามารถลดจำนวนของเสียส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นได้

ลักษณะข้อบกพร่องประเภทสีแตก (Cracking Paint) ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ คือ สีทับหน้ามีการแตกและทะลุผิวเคลือบอย่างน้อย 1 ชั้น ที่บริเวณตัวหนังสือของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ แสดงดังรูปที่ 1.6 ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านความสวยงามของผลิตภัณฑ์

รูปที่ 1.6 ลักษณะข้อบกพร่องประเภทสีแตกของรถจักรยานยนต์

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดสัดส่วนของเสียและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาและทำการปรับปรุงเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์เท่านั้น

2. ทำการปรับปรุงเฉพาะในกรณีที่ไม่มีการลงทุนสูง

1.6 ผลที่ได้รับ

1. ระดับของค่าปรับตั้งที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่มีผลในการลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์

2. วิธีการทำงานที่เหมาะสมหลังจากปรับปรุงกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์

2. สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการซ่อมข้อบกพร่องประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์

3. สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนา และปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์อื่น ๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์ในงานวิจัยนี้ มีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นและกำหนดหัวข้องานวิจัย

1) จัดตั้งคณะทำงานสำหรับแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น และปรับปรุงกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์

2) ศึกษากระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์ และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับรถจักรยานยนต์ และค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

3) วิเคราะห์ข้อมูลข้อบกพร่องประเภทต่าง ๆ ที่เกิดจากกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์ โดยอาศัยแผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) เพื่อกำหนดประเภทของข้อบกพร่องที่จะทำการแก้ไขและปรับปรุง

4) กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตในการปรับปรุง

2. การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาแนวทางและวิธีการแก้ไขปัญหา

3. การวัดสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง

1) วิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดโดยการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตา (Attribute Agreement Analysis)

2) คำนวณขนาดตัวอย่าง เพื่อใช้วัดสภาพปัญหา

3) สรุปค่าตัวชี้วัดสภาพปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

1) ระดมความคิด (Brainstorming) เพื่อกำหนดสาเหตุที่เป็นไปได้ของข้อบกพร่อง และหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อข้อบกพร่องที่ได้เลือกว่าจะทำการแก้ไข โดยอาศัยแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

2) ลำดับความสำคัญของปัจจัย เพื่อทำการตัดปัจจัยที่คาดว่าส่งผลน้อยออกไป โดยใช้ตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

5. การปรับปรุงกระบวนการ

1) ดำเนินการทดลองโดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ในการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย โดยมีขั้นตอน ดังนี้

ก) กำหนดตัวแปรตอบสนอง และตัวแปรอิสระ และพิจารณาข้อจำกัดที่จะส่งผลต่อการทดลอง

ข) พิจารณาเลือกแบบการทดลอง และกำหนดระดับของปัจจัย

ค) กำหนดขั้นตอนการทดลอง และวิธีเก็บข้อมูล

ง) ทำการทดลองตามแผนที่วางไว้

จ) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ฉ) ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยการเก็บข้อมูลหลังการได้ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

2) กำหนดวิธีปฏิบัติงาน

ก) จัดทำเอกสารวิธีการปฏิบัติงานใหม่

6. การควบคุมกระบวนการ

1) เก็บรวบรวมข้อมูลหลังการปรับปรุง

2) สรุปผลการปรับปรุงที่ได้ โดยพิจารณาเปรียบเทียบผลการปรับปรุงจากสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกที่สามารถลดลงได้ และค่าใช้จ่ายในการซ่อมที่ลดลงได้หลังการปรับปรุงด้วย

3) จัดทำแผนควบคุม และกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำงาน

7. สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.9 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ลำดับที่	ขั้นตอนการดำเนินการ	ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย																			
		ม.ค. 63	ก.พ. 63	มี.ค. 63	เม.ย. 63	พ.ค. 63	มิ.ย. 63	ก.ค. 63	ส.ค. 63	ก.ย. 63	ต.ค. 63	พ.ย. 63	ธ.ค. 63	ม.ค. 64	ก.พ. 64	มี.ค. 64	เม.ย. 64	พ.ค. 64	มิ.ย. 64	ก.ค. 64	ส.ค. 64
1	การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นและกำหนดหัวข้องานวิจัย																				
2	การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง																				
3	การวัดสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง																				
4	การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา																				
5	การปรับปรุงกระบวนการ																				
6	การควบคุมกระบวนการ																				
7	สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ																				
8	จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์																				

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ให้น้อยลงตามเป้าหมายของโรงงานกรณีศึกษา ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย โดยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับสีและการพ่นสี

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับซิกซ์ ซิกมา

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับสีและการพ่นสี

2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสี

สีเป็นสารเคลือบผิวที่เหมาะสมที่สุดต่อการเคลือบเพื่อซ่อนหรือปกปิดผิวทั้งผิวไม้ ปูน และโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหมาะต่อการนำไปใช้กับวัตถุที่มีราคาถูกหรือที่มีผิวไม่สวยงาม ดังนั้น การเคลือบสีจึงทำให้วัตถุดังกล่าวมีคุณค่าและราคาเพิ่มมากขึ้น สีเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ได้มาจากการผสมสารหลายชนิดเข้าด้วยกัน สารแต่ละชนิดก็จะมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามสมบัติเฉพาะตัว ดังนั้น การศึกษาสมบัติของสารแต่ละชนิดก่อนที่จะนำสีไปใช้งาน จึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ สีได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ [1]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.2 วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว

สารเคลือบผิว (Surface Coatings) เช่น สี มีอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อมนุษย์ มากมายพอควร เช่น จิตรกรใช้สีเป็นสื่อแสดงออกถึงจินตนาการของตนในรูปแบบต่าง ๆ กัน นักอุตสาหกรรมใช้สารเคลือบผิวป้องกันพื้นผิววัสดุโครงสร้างให้มีความคงทนถาวรขึ้น เป็นต้น วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิวมีอยู่ด้วยกัน 2 ประการ [2] คือ

1. เพื่อป้องกันพื้นผิววัสดุจากมลภาวะต่าง ๆ สารเคลือบผิวจะช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุที่ถูกเคลือบมีความทนทานต่ออากาศ น้ำ และสารเคมีต่าง ๆ นอกจากนี้ สารเคลือบผิวยังช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุมีความแข็งแรงขึ้น ทนทานต่อการขัดสีได้มากขึ้น และอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

2. เพื่อตกแต่งให้แลดูสวยงาม ความสวยงามของวัสดุหลังการเคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิวอาจมาจากสี (Color) จากความเงา (Gloss) จากลวดลายตกแต่ง (Texture) หรือจากความสว่าง (Lighting) หรือจากทั้งหมดรวมกัน สีของผิวหน้ามีผลต่อการสะท้อนแสงของผิวหน้านั้น ๆ สีขาวจะสะท้อนแสงได้สูงสุด และสีดำจะสะท้อนแสงได้ต่ำสุด

2.1.3 องค์ประกอบของสี

สี (Paint) หมายถึง สารที่มีส่วนผสมของผงสี (Pigment) สารยึด (Binder) หรือสิ่งนำสี (Vehicle) ตัวทำละลาย (Solvent) และสารเติมแต่ง (Additives) [2]

1. ผงสี เป็นสารที่ให้สีและมีความสามารถในการปิดบังพื้นผิวหรือกำลังซ่อนแสง (Hiding Power) ผงสีอาจเป็นสารประกอบอินทรีย์หรือออนินทรีย์ก็ได้

2. สารยึดหรือสิ่งนำสี คือ สารที่ทำหน้าที่ยึดประสวนอนุภาคของสารประกอบในสีเข้าไว้ด้วยกัน ให้เกิดเป็นฟิล์มของสีติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ ตัวอย่างของสารยึด ได้แก่ น้ำมันแห้งเร็ว (Drying Oil) เรซินธรรมชาติ เรซินสังเคราะห์ เป็นต้น

3. ตัวทำละลาย มีหน้าที่ช่วยปรับความหนืดของสี เพื่อให้เหมาะต่อการผลิต หรือสะดวกต่อการใช้ ตัวทำละลายส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์

4. สารเติมแต่ง เป็นสารที่เติมลงไปในสีเพียงเล็กน้อย เพื่อช่วยให้สีมีสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น ทำให้สีแห้งเร็วขึ้น ทำให้สีไม่ขึ้นรา เป็นต้น

2.1.4 การเกิดฟิล์มของสารเคลือบผิว (Film Formation)

การเปลี่ยนสภาพจากสารเคลือบผิวในภาชนะบรรจุไปเป็นฟิล์มที่ติดยึดแน่นกับผิว และทำให้พื้นผิวมีความทนทานเพิ่มขึ้น คือ กระบวนการการเกิดฟิล์ม ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน [2] คือ

1. แอพพลิเคชัน (Application) เป็นการนำสารเคลือบผิวไปเคลือบผิวหน้าหรือทำให้ผิวหน้าของวัสดุเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ ขึ้น การทำอาจใช้แปรง ลูกกลิ้ง การพ่น หรือการจุ่ม

2. ฟิกเซชัน (Fixation) เป็นการทำให้ฟิล์มติดแน่น ไม่หลุดออกจากผิวหน้า และไม่เกิดเป็นชั้นของฟิล์มที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่น กรณีที่เป็นสารเคลือบผิวที่มีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นส่วนประกอบ การเกิดเป็นฟิล์มในขั้นตอนฟิกเซชัน จะเกิดโดยการระเหยของตัวทำละลาย

3. การบ่ม (Curing) เป็นการทำให้ฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนฟิกเซชันแล้วมีความทนทานดีขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้แสง ความร้อนหรืออากาศ

2.1.5 การแห้งของสารเคลือบผิว

โดยทั่วไป สารเคลือบผิวจะแห้งโดยกรรมวิธีต่าง ๆ กันได้ 2 แบบ [2] คือ

1. การแห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ (Physical Drying) การแห้งด้วยวิธีการนี้เกิดจากการระเหยของตัวทำละลายกลายเป็นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะทุติยภูมิ (Secondary Force) อย่างอ่อน ๆ ดังนั้น ฟิล์มที่เกิดจึงยังคงละลายได้ในตัวทำละลายของมัน

2. การแห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี (Chemical Drying) ฟิล์มที่ได้จากการแห้งตัวโดยวิธีการนี้ยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะปฐมภูมิ (Primary Bond) จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น ฟิล์มที่ได้จะแข็งแรง และทนทานต่อตัวทำละลาย

การแห้งโดยกรรมวิธีทางเคมีนี้ อาจเกิดโดย

2.1 การแห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารเคลือบผิวประเภทนี้จะดูดออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ขนาดอณูของสารเคลือบผิวใหญ่ขึ้น จนรวมตัวเป็นฟิล์มแห้งแข็งตามต้องการ เช่น สีน้ำมันทาบ้านที่ผลิตจากอัลคิดเรซิน (Alkyd Resin) เป็นต้น

2.2 การแห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี สารเคลือบผิวประเภทนี้ ส่วนใหญ่บรรจุในภาชนะแยกกัน ก่อนใช้จึงนำมาผสมกันตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งเมื่อผสมแล้ว จะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง ดังนั้น เมื่อผสมแล้วจึงต้องใช้ให้หมดภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ ถ้าปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิห้อง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดบ่มเย็น (Cold Curing Coatings) แต่ถ้าการเกิดปฏิกิริยาต้องใช้อุณหภูมิสูง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดอบ (Stoving or Baking Coatings)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.6 สีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์

การเคลือบสีในอุตสาหกรรมยานยนต์ สารเคลือบผิวหรือสีที่ใช้เคลือบจะมีหลายชั้น ประกอบไปด้วย 5 ชั้น คือ สารฟอสเฟต (Phosphate) สีอีดีพี (Electro Deposited Paint: EDP) สีรองพื้น (Primers) สีชั้นล่าง (Undercoats) และสีทับหน้า (Topcoats) ตามลำดับ [2-4] ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 สีแต่ละชั้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์

สีในแต่ละชั้นมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. สารฟอสเฟต (Phosphate)

การเคลือบผิวด้วยสารฟอสเฟต เป็นกระบวนการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการสึกกร่อนของชิ้นงาน และเพิ่มการยึดเกาะระหว่างสีและผิวของชิ้นงาน โดยการเคลือบผิวด้วยสารฟอสเฟตจะช่วยเพิ่มการยึดเกาะของสีได้ดีกว่าในกรณีที่เคลือบสีลงบนผิวชิ้นงานโดยตรง เนื่องจากพื้นผิวชิ้นงานซึ่งเป็นเหล็ก ถ้ามีความตึงผิวมากจะทำให้ผิวของเหล็กก็มีความเรียบมาก ทำให้คุณสมบัติในการยึดเกาะของสีด้อยลงจึงจำเป็นต้องมีการเคลือบผิวโลหะด้วยสารฟอสเฟต ซึ่งสารฟอสเฟตจะทำปฏิกิริยากับผิวเหล็กเกิดเป็นสารประกอบ ทำให้ผิวเหล็กมีความขรุขระ เนื่องจากการเกิดผลึกของสารประกอบ ทำให้สีที่จะมาเคลือบสามารถยึดเกาะกับผิวเหล็กได้ดีขึ้น และสามารถป้องกันไม่ให้เกิดสนิม

2. สีอีดีพี (Electro Deposited Paint: EDP)

อีดีพีเป็นกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า โดยอาศัยความต่างศักย์ไฟฟ้าตรงข้ามกันระหว่างชิ้นงานและสีอีดี ซึ่งกระบวนการนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะของสี ป้องกันการเกิดสนิม และการสึกกร่อนของชิ้นงาน

3. สีรองพื้น (Primers)

สีรองพื้นเป็นสีที่ใช้เคลือบเป็นชั้นแรกบนพื้นผิวของวัสดุ หน้าที่ของสีรองพื้นมีดังนี้ คือ ยึดเกาะกับพื้นผิววัสดุและเสริมการยึดเกาะระหว่างสีชั้นถัดไปกับพื้นผิววัสดุ ในกรณีที่ใช้เคลือบโลหะจะช่วยป้องกันไม่ให้โลหะเกิดการกัดกร่อน

4. สีชั้นล่าง (Undercoats)

สีชั้นล่าง หมายถึง สีที่ใช้เคลือบบนพื้นผิวหลังจากผ่านการรองพื้น หรือใช้เคลือบหลังจากการเตรียมพื้นผิวที่เคลือบสีมาก่อนแล้วและก่อนการเคลือบชั้นสุดท้าย สีชั้นล่างควรมีความสามารถในการปิดบังผิวหน้าดี มีสีเดียวกับสีชั้นสุดท้าย และเข้ากันได้กับสีชั้นอื่น สารยึดที่ใช้ในสีชั้นล่าง ได้แก่ น้ำมันวาร์นิช ฟีนอลิกเรซิน และอัลคิดเรซิน โดยฟิล์มที่ได้จากสีชั้นล่างนอกจาก

จะละเอียดและปิดบังผิวหน้าดีแล้ว ยังมีสีเรียบสม่ำเสมออีกด้วย และโดยทั่วไปความเงาของสีชั้นล่างจะอยู่ระหว่างด้านถึงกึ่งด้าน

5. สีทับหน้า (Topcoats or Finishing Coats)

สีทับหน้าเป็นสีขั้นสุดท้ายที่จะให้คุณสมบัติที่สวยงาม เงางาม และคงทน โดยสีทับหน้าสำหรับงานอุตสาหกรรมยานยนต์ (Industrial Finishes) จะเป็นสีทับหน้าจากอะคริลิกเรซินชนิดเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Acrylic Finishes) ความอ่อนตัวไม่เปราะ และความแข็งของสีทับหน้าชนิดนี้ ขึ้นกับชนิดและน้ำหนักโมเลกุลของอะคริลิกโมโนเมอร์ สีอะคริลิกจะแห้งโดยการระเหยของตัวทำละลาย และแห้งได้เร็วจึงนิยมใช้กันในอุตสาหกรรมยานยนต์ สำหรับเรซินที่ใช้โดยทั่วไปจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูง

2.1.7 ความรู้พื้นฐานในการพ่นสี

การพ่นสีจะต้องเลือกใช้ปืนพ่นสีและอุปกรณ์ประกอบที่ถูกต้อง อีกทั้งความหนืดของสีและความดันของลมหรืออากาศต้องมีความเหมาะสม เนื่องจากความหนืดของสีจะมีอิทธิพลต่อระดับของการแตกตัวเป็นฝอยละอองของสีและคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม ถ้าสีมีความหนืดสูงเกินไปละอองสีที่ได้ก็จะหยาบ ซึ่งจะเป็นผลทำให้สีลอกได้ง่าย แต่ถ้าความหนืดต่ำเกินไปละอองสีที่ได้ก็จะละเอียดเกินไป จนมีผลทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้จากการพ่นมีความบางมากเกินไปด้วยเช่นกัน เพราะสีที่พ่นจะแห้งก่อนที่จะเกาะจับกับพื้นผิวของชิ้นงาน ความหนืดที่เหมาะสมของสีจะเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสีแต่ละชนิด แต่ละยี่ห้อที่แตกต่างกันออกไป สำหรับความดันของลมหรืออากาศที่ดีที่สุด ปกติจะกำหนดได้โดยการทดลองพ่นก่อนการพ่นจริง โดยทั่วไปควรจะใช้ความดันที่ต่ำที่สุดที่สามารถจะทำให้เกิดฝอย เนื่องจากความดันที่สูงกว่านี้อาจจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยการพ่นสี จะแบ่งออกเป็น 3 แบบ [2] ดังนี้

1. การพ่นโดยใช้ลมอัด (Air Spraying)

เครื่องพ่นหรือปืนพ่น (Spray Gun) เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะในการเคลือบพื้นผิวที่มีพื้นที่มาก ตลอดจนพื้นผิวที่เป็นซอก เป็นมุม โค้งหรือเว้า ซึ่งยากต่อการทาด้วยแปรงหรือลูกกลิ้ง สำหรับปืนพ่นระบบใช้ลมอัด (Air-assisted Spray Gun) เป็นเครื่องพ่นที่ต้องใช้แรงดันจากลมดันให้สีออกจากหัวพ่นเป็นละอองฝอย ก่อนทำการพ่น จะต้องเลือกใช้ขนาดของหัวพ่นให้ถูกต้องเหมาะสมกับงานและสีที่ใช้ ต้องปรับความหนืดของสีและแรงดันลมให้เหมาะสม ซึ่งความหนืดที่เหมาะสมของสีแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ส่วนแรงดันลมที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 40-60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นอกจากนี้ในขณะที่พ่นควรให้หัวพ่นอยู่ห่างจากชิ้นงานประมาณ 9-12 นิ้ว โดยตั้งปืน

พ่นให้ตั้งฉากและขนานกับผิวงานที่จะพ่น จะทำให้ฟิล์มที่ได้มีความหนาสม่ำเสมอ และการเคลื่อนปืนพ่นแต่ละครั้ง ควรให้ฟิล์มที่ได้ทับกันในช่วง 25-30 เปอร์เซ็นต์ทุกครั้ง

2. การพ่นแบบไม่ใช้ลม (Airless Spraying)

การพ่นโดยระบบนี้ เป็นการใช้ปั๊มลูกสูบดูดสีโดยตรงจากภาชนะแล้วอัดดันสีให้ผ่านหัวฉีดออกมา เป็นละอองขนาดสม่ำเสมอด้วยความดันสูง โดยไม่อาศัยอากาศเป็นตัวนำพา

3. การพ่นด้วยกำลังไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Spraying)

การพ่นโดยวิธีการนี้ เครื่องพ่นจะถูกต่อกับแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูง และวัสดุที่ต้องการเคลือบจะถูกต่อสายดินไว้ เมื่อปล่อยพลังงานไฟฟ้าออกมาจะเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นระหว่างหัวปืนพ่นและวัสดุที่ต้องการเคลือบ ดังนั้นเมื่อพ่นสี อนุภาคสีที่มีประจุจะถูกดูดโดยพื้นผิวที่ต้องการพ่น เมื่อเกาะติดแล้วจะเป็นกลาง ได้ฟิล์มที่มีความหนาสม่ำเสมอ

2.1.8 เทคนิคการพ่นสี

การพ่นสีที่มีประสิทธิภาพ นอกจากจะขึ้นอยู่กับการเตรียมพื้นผิวงาน คุณภาพของสี คุณภาพ ของตัวทำละลาย สัดส่วนการผสมกันระหว่างสีกับตัวทำละลาย การเลือกใช้ปืนพ่นสีและอุปกรณ์งานสี และการปรับแต่งปืนพ่นสี เหล่านี้แม้จะได้ดำเนินการมาเป็นอย่างดีเพียงใดแล้วก็ตาม แต่ถ้าเทคนิคในการพ่นไม่ดีและประสบการณ์ของผู้พ่นไม่เพียงพอแล้ว สีที่พ่นออกมาก็ไม่อาจจะดีได้ ดังนั้น ผู้พ่นจึงต้องมีเทคนิคการพ่นที่ดีด้วย ส่วนใหญ่ผู้มีประสบการณ์จะมีความชำนาญในการใช้เทคนิคเหล่านี้ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเทคนิคในการพ่นที่ดี เทคนิคในการพ่นสีที่ดีนอกจากจะทำให้สีเกาะติดแน่นกับพื้นผิวของงานแล้ว ยังจะทำให้สีที่พ่นราบเรียบสม่ำเสมอ เทคนิคในการพ่นที่ดี [1] มีดังนี้

1. ขณะทำการพ่น ปืนพ่นสีจะต้องตั้งได้ฉากและขนานไปกับพื้นผิวของงาน

ตามปกติในการพ่นสีแต่ละครั้ง เพื่อให้การพ่นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปืนพ่นสีจะต้อง เคลื่อนที่ขนานและตั้งได้ฉากกับพื้นผิวของงานที่พ่นทุกครั้ง โดยจะต้องมีระยะห่างระหว่างหัวพ่นกับ พื้นผิวของงานประมาณ 7-10 นิ้ว และการถือปืนพ่นสีให้อยู่ใกล้กับพื้นผิวงานมากเกินไปจะทำให้สีหนา ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้สีไหลย้อยได้ และการถือปืนให้ห่างออกมาจากพื้นผิวงานมากเกินไป จะทำให้ละอองสีเกิดการฟุ้งกระจายเป็นละอองแห้ง ทำให้เกิดฝุ่นสีมากเกินไป และทำให้ผิวสีที่พ่นขรุขระ และสีด้าน การส่ายหรือตวัดปืนเป็นส่วนโค้งจะทำให้สีเกาะติดพื้นผิวงานไม่เท่ากัน สีที่อยู่ตรงกลางจะหนากว่าสีที่อยู่ทางด้านข้าง การเอียงหรือการกระดกปืนพ่นสีขึ้นลงในระหว่างการพ่นจะทำให้แผ่นฟิล์มสีที่พ่นหนาไม่สม่ำเสมอกัน และอาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดหมอกและฝุ่นสีขึ้นได้

2. ขณะทำการพ่น ปืนพ่นสีจะต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สม่ำเสมอตลอดเวลา

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของปืนพ่นสีจะมีผลทั้งต่อการประหยัดเนื้อสีและพลังงานของผู้พ่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ถ้ามากเกินไปจะทำให้สีไม่เกาะติดพื้นผิวงาน ทำให้ต้องเสียเวลาในการพ่นซ้ำและเปลืองสี แต่ถ้าความเร็วในการเคลื่อนที่ช้าเกินไปก็จะทำให้สีหนา และอาจมีผลทำให้สีไหลย้อย ซึ่งทำให้เสียเวลาในการขัดแล้วพ่นใหม่และเปลืองสีอีกด้วยเช่นกัน ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมจะทำให้แผ่นฟิล์มสีที่เปียกเกาะติดพื้นผิวงานได้เป็นอย่างดี

3. ระยะเหลื่อมหรือระยะเกยทับระหว่างการพ่นแนวแรกกับแนวถัดไปจะต้องเท่ากันทุกครั้ง

ระยะเหลื่อมหรือระยะเกยทับแนวในการพ่น ถ้าถูกต้องแล้วจะทำให้สีที่พ่นหนาสม่ำเสมอดีและไม่เห็นรอยต่อ ระยะดังกล่าวไม่ควรให้มีมากจนเกินความจำเป็น เพราะจะทำให้เสียเวลาในการพ่นและเปลืองสี

4. การเหนี่ยวไกปืนตลอดระยะเวลาของการพ่น จะต้องเหนี่ยวให้เท่ากันโดยตลอด ปกติควรเหนี่ยวให้สุดระยะของไกปืนตามที่ได้ตั้งไว้

2.1.9 ข้อบกพร่องที่เกิดกับสี

ข้อบกพร่องที่เกิดกับสารเคลือบผิว หรือฟิล์มของสารเคลือบผิว ไม่ว่าจะเป็นสี วาร์นิช หรือแลกเกอร์ อาจเป็นผลมาจากสาเหตุหลายประการดังนี้ [2] คือ

1. การเตรียมพื้นผิววัสดุที่ต้องการเคลือบยังไม่ดีพอ เช่น พื้นผิวไม่สะอาดหรือไม่แห้งสนิท เป็นต้น
2. ใช้เทคนิคหรือกรรมวิธีการเคลือบไม่ถูกต้อง
3. ทำการเคลือบภายใต้ภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิต่ำเกินไป หรือความชื้นสูงเกินไป เป็นต้น
4. เคลือบพื้นผิวบางหรือหนาเกินไป
5. เลือกใช้สารเคลือบผิวที่ไม่เหมาะสมกับพื้นผิววัสดุ
6. เลือกใช้วัตถุดิบที่ไม่เหมาะสมกับชนิดของสารเคลือบผิว หรือวัตถุดิบที่ใช้มีคุณภาพต่ำ

ดังนั้น สามารถป้องกันการเกิดข้อบกพร่อง หรือให้เกิดน้อยที่สุดได้ โดยการหลีกเลี่ยงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ข้อบกพร่องที่เกิดกับสารเคลือบผิว มีหลายลักษณะ ดังนี้

1. ความด้าน (Blushing)

ความด้าน หมายถึง ลักษณะทึบแสงของฟิล์มของแลกเกอร์ที่กำลังแห้ง ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนของส่วนที่เป็นของแข็งของผลิตภัณฑ์ ความด้านมี 2 แบบ คือ ความด้านเนื่องจากความชื้น (Moisture Blushing) และความด้านเนื่องจากกัม (Gum Blushing) แบบแรกมีสาเหตุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากความชื้นสูง และแบบหลังมีสาเหตุจากการเลือกใช้ตัวทำละลายที่ไม่ถูกต้อง เกิดการระเหยเร็วเกินไป เป็นผลให้ของแข็งที่ไม่ระเหยบางส่วนตกตะกอน

2. การพอง (Blistering)

การพอง หมายถึง การโป่งที่ผิวของฟิล์มของสีที่แห้งแล้ว เนื่องจากมีความชื้นหรือแก๊สใต้ฟิล์มของสี ส่วนใหญ่การพองจะเกิดกับสีสำหรับการตกแต่งที่ทำมาจากอัลคิดเรซิน อีพอกซีเอสเตอร์ ยูรีเทนออยล์ และน้ำมันวาร์นิช บางครั้งการพองจะหายไป หลังจากที่ได้ไล่ความชื้นหรือแก๊สออกจากฟิล์มแล้ว

3. รอยแตก (Cracking)

รอยแตก หมายถึง ข้อบกพร่องของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่เกิดการแยกตัว โดยรอยแยกที่เกิดขึ้นทำให้ฟิล์มเกิดการแตกร้าว มีการทะลุผิวเคลือบอย่างน้อย 1 ชั้น เนื่องจากสารเคลือบผิวไม่สามารถขยายตัวและหดตัวได้ในอัตราที่เท่ากันระหว่างกรรมวิธีการแห้งตัวของฟิล์ม ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลือบสารเคลือบผิวหนาเกินไป การเกิดรอยแตก ยังมีสาเหตุเนื่องจากฟิล์มเปราะ ดังนั้น การแก้ไขจึงทำได้โดยการเลือกใช้สารเคลือบผิวที่มีความยืดหยุ่นมากกว่า

4. การเป็นใยแมงมุม (Cobwebbing)

การเป็นใยแมงมุม หมายถึง การเกิดเป็นเส้นใยเล็ก ๆ แทนละออง เมื่อพ่นแลกเกอร์บางประเภท เช่น แลกเกอร์จากยางคลอริเนเตด การเป็นใยแมงมุมอาจทำให้ลดน้อยลงและขจัดให้หมดไป โดยการเลือกใช้ตัวทำละลายอย่างระมัดระวัง และปรับภาวะการพ่นให้เหมาะสม

5. การเป็นรูเข็มและการเป็นหลุม (Pinholing and Cratering)

การเป็นรูเข็ม หมายถึง การเกิดเป็นรูเข็มเล็ก ๆ บนผิวของฟิล์มของสารเคลือบผิว มีสาเหตุมาจากระหว่างการเคลือบเกิดฟองอากาศเล็ก ๆ ซึ่งจะแตกระหว่างกรรมวิธีแห้งตัวเป็นฟิล์ม ทำให้ผิวของฟิล์มเกิดเป็นรูเล็ก ๆ ลักษณะเหมือนรูเข็ม ในกรณีที่เคลือบหนามาก ๆ ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่ และเมื่อฟองอากาศนี้แตกระหว่างการแห้งตัว จะทำให้เกิดเป็นแอ่งเล็ก ๆ รูปถ้วยในฟิล์ม เรียกข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นนี้ว่า การเป็นหลุม

6. การล่อนเป็นเกล็ด (Flaking)

การล่อนเป็นเกล็ด หมายถึง ปรากฏการณ์ที่ฟิล์มของสารเคลือบผิวหลุดออกมาเป็นแผ่นเล็ก ๆ ซึ่งมี รูปร่างแตกต่างกัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร การล่อนเป็นเกล็ด มีสาเหตุจากฟิล์มของสารเคลือบผิวไม่มีแรงยึดกับผิววัสดุ มักจะเกิดกับผิววัสดุที่ยังมีความชื้นหลงเหลืออยู่ ดังนั้น เมื่อเคลือบด้วยสารเคลือบผิว แรงดันจากน้ำใต้ฟิล์มจะดันฟิล์มให้หลุดออกมา โดยที่ขั้นแรกฟิล์มจะเกิดการพองก่อน แล้วจึงจะล่อนเป็นเกล็ดออกมา

7. ลักษณะผิวส้ม (Orange Peel)

ข้อบกพร่องชนิดนี้ แสดงถึงลักษณะของฟิล์มที่พ่นแล้วไม่เรียบคล้ายผิวส้ม มีสาเหตุหลายประการ คือ ความหนืดของสารเคลือบผิวสูงเกินไป ใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายที่ไม่เหมาะสม กล่าวคือ ใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำในปริมาณสูงเกินไป ความดันของลมที่พ่นไม่ถูกต้อง และขณะพ่น หัวพ่นอยู่ห่างจากผิววัสดุมากเกินไป เกิดการสูญเสียตัวทำละลายก่อนที่สารเคลือบผิวจะไปเกาะที่ผิววัสดุ ทำให้ฟิล์มที่ได้ไม่เรียบ

8. การย้อย (Sagging or Curtaining)

การย้อย หมายถึง การที่ฟิล์มของสารเคลือบผิวไหลลงมาระหว่างทำการเคลือบแล้วเกิดการแข็งตัว เป็นผลให้ผิวเคลือบไม่สม่ำเสมอ มีขอบล่างหนา โดยปกติ การย้อยจะมีลักษณะเหมือนม่าน เกิดขึ้นเฉพาะพื้นผิวในแนวดิ่ง การย้อย มีสาเหตุมาจากการเคลือบหนาเกินไป หรือเกิดจากการใช้ตัวทำละลายที่ระเหยได้ช้า หรือมีสาเหตุจากการเคลือบทำที่อุณหภูมิต่ำเกินไป

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับซิกซ์ ซิกมา

2.2.1 ความหมายและประวัติความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา

เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1990 บริษัท Motorola คิดเทคนิคการบริหารกระบวนการขึ้นมาชนิดหนึ่งเรียกว่า “ซิกซ์ ซิกมา” โดยตั้งชื่อตามตัวอักษรกรีกที่มีความหมายนัยทางสถิติ คือ ระดับของความผันแปรของกระบวนการ บริษัท Motorola ได้รับผลสำเร็จที่วัดออกมาเป็นตัวเงินมหาศาลจากการดำเนินงานตาม แนวทางของ ซิกซ์ ซิกมา ต่อมาบริษัท GE โดย Jack Welch ปรับเปลี่ยนรูปแบบดั้งเดิมของซิกซ์ ซิกมา ให้เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้มากขึ้น โดยปรับแก้รูปแบบซิกซ์ ซิกมา ของ Motorola ให้เป็นลักษณะของการเน้นทำเป็นเรื่อง ๆ ในระยะเวลาที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมในส่วนของการบริหารโครงการ และแนวทางในการจูงใจให้ผู้บริหารทุกระดับเล็งเห็นความสำคัญของการดำเนินงาน [5]

กล่าวโดยสรุป ซิกซ์ ซิกมา คือ แนวทางการพัฒนาองค์กรที่มีประสิทธิภาพสูง โดยมีเป้าหมาย คือ 3.4 ความผิดพลาดในหนึ่งล้านครั้งของการทำงาน เช่น มีของเสีย 3.4 ชิ้นต่อการผลิตสินค้าหนึ่งล้านชิ้น

คำว่าซิกซ์ ซิกมา [6] จะอ้างอิงถึงเป้าหมายเฉพาะของการลดของเสียให้เข้าใกล้ศูนย์ ซิกมา (σ) คือ ตัวอักษรกรีก ในทางสถิติใช้แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร ซิกมาหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นบอกให้ทราบถึงความแปรปรวนภายในกลุ่มของประชากร ในมุมมองของสถิตินั้นเป้าหมายของซิกซ์ ซิกมา คือ การลดความแปรปรวนเพื่อให้เกิดส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด ทำให้ผลิตภัณฑ์หรือบริการมีคุณค่ามากกว่าหรือเท่ากับความคาดหวังของลูกค้า

2.2.2 ระดับคุณภาพซิกมา

ระดับคุณภาพซิกมา (Sigma Quality Level) [5] แบ่งความสามารถของกระบวนการเป็น 6 ระดับ แสดงดังตารางที่ 2.1 สมมติว่ากระบวนการมีระดับคุณภาพที่ 3 ซิกมา นั่นคือ กระบวนการผลิตชิ้นงานดีคิดเป็น 93.32 เปอร์เซ็นต์ หรือผลิตของเสียจำนวน 66,807 ชิ้นต่อโอกาสในการผลิตจำนวน หนึ่งล้านชิ้น (PPM) และที่ระดับสูงสุด คือระดับ 6 ซิกมา กระบวนการจะผลิตชิ้นงานดีคิดเป็น 99.999660 เปอร์เซ็นต์ หรือผลิตของเสียจำนวน 3.4 ชิ้นต่อโอกาสในการผลิตจำนวนหนึ่งล้านชิ้น (PPM) ตัวเลขในตารางที่ 2.1 นั้น ได้จากการคำนวณค่าทางสถิติของการแจกแจงแบบปกติโดยยอม ให้มีการขยับของกระบวนการได้เท่ากับ 1.5σ (หรือที่เรียกว่า Mean Shifted) เนื่องจากกระบวนการไม่ได้อยู่นิ่ง ๆ อาจจะมีการขยับซ้ายขยับขวาตลอดเวลา ดังนั้น นักอุตสาหกรรมศาสตร์จึงกำหนดค่าเผื่อ (Allowance) ยอมให้กระบวนการขยับไปขยับมาได้เล็กน้อย แต่ต้องไม่เกิน 1.5σ เพราะถ้าใช้ค่าอัตราของเสียที่ยอมให้มีได้ ณ ระดับ 6σ ตามทฤษฎีคงเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ

ตารางที่ 2.1 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละระดับคุณภาพซิกมา

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2.3 กระบวนการมาตรฐานของซิกซ์ ซิกมา

กระบวนการมาตรฐานของซิกซ์ ซิกมา ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน [7] คือ การระบุชี้หรือกำหนด (Define: D) การวัด (Measure: M) การวิเคราะห์ (Analyze: A) การปรับปรุง (Improve: I) และการควบคุม (Control: C) โดยทั้ง 5 ขั้นตอนมีรายละเอียด ดังนี้

1. การนิยามปัญหา (Define: D) เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากที่สุด และบ่งชี้ว่ากระบวนการใดคือสิ่งที่ลูกค้าต้องการและเป็นเสียงของลูกค้า (Voice of Customer)

2. การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure: M) เป็นตรรกะ (Logic) เพื่อกำหนดและเป็นการนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป คือ การวิเคราะห์ ขั้นตอนการวัดมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อรวบรวมข้อมูลและนำมาใช้ในการตรวจสอบ (Validate) และวัดปริมาณ (Quantify) ของปัญหาหรือโอกาส จากนั้นเริ่มแยกข้อเท็จจริงและตัวเลขซึ่งอาจให้ข้อสันนิษฐานเกี่ยวกับสาเหตุของปัญหา โดยกระบวนการวัดจะมี 3 ส่วนหลักที่ต้องวัด คือ ข้อมูลนำเข้า (Input) กระบวนการ (Process) ข้อมูลนำออก (Output) แสดงดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 กระบวนการวัด

3. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze: A) จะเริ่มเจาะลึกลงไปในรายละเอียดและขยายความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการและปัญหา หากทุกสิ่งเป็นไปอย่างที่ต้องการก็จะเริ่มทำการบ่งชี้เหตุที่อยู่เบื้องหลังปัญหา ซึ่งจะพิจารณาได้จากวิธีการ (Method) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) การวัดผล (Measure) สภาพแวดล้อม (Environment) และคน (People) อีกหนึ่งในความสำคัญของขั้นตอนวิเคราะห์ คือ การเลือกใช้เครื่องมือทางอุตสาหการที่ถูกต้อง

4. การปรับปรุง (Improve: I) เมื่อได้วิธีการแก้ไขปัญหาที่สามารถเป็นไปได้ ก็จะเริ่มทำการรวบรวมหลักเกณฑ์และการวิเคราะห์ รวมทั้งต้นทุนและผลกำไรจะถูกนำมาใช้เพื่อเลือกทางแก้ไขปัญหาที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากที่สุด การแก้ไขแบบ DMAIC จะต้องได้รับการบริหารอย่างรอบคอบและได้รับการตรวจสอบ และจะต้องมีการทำโครงการนำ ผู้ปฏิบัติจะต้องดำเนินการวิเคราะห์ปัญหาอย่างระมัดระวังเพื่อพิจารณาว่าสิ่งใดอาจผิดพลาดและเตรียมพร้อมที่จะป้องกันหรือจัดการรับมือกับความยุ่งยากที่อาจเกิดขึ้นได้

5. การควบคุม (Control: C) เพื่อป้องกันไม่ให้มีการกลับไปสู่กระบวนการแบบเดิม ๆ จึงต้องทำการพัฒนากระบวนการติดตามเพื่อรักษาการเปลี่ยนแปลงที่ได้ดำเนินการไว้ให้คงอยู่ สร้างแผนการตอบสนองสำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับปัญหาที่จะเกิดขึ้น ส่งมอบความรับผิดชอบในโครงการให้กับผู้ปฏิบัติงานจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.3.1 แผนผังกระบวนการ (Process Mapping)

แผนผังกระบวนการ (Process Mapping) [8] เป็นแผนผังแสดงขั้นตอนกระบวนการทำงานทั้งหมด โดยการใช้สัญลักษณ์มาตรฐานที่แสดงถึงลำดับขั้นตอนกระบวนการทำงาน ซึ่งจะแสดงการไหลของกระบวนตั้งแต่ปัจจัยนำเข้า (Input) จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการ (Output) โดยประโยชน์ของแผนผังกระบวนการจะช่วยให้สามารถมองเห็นภาพรวมของกระบวนการว่ามีการทำงานอย่างไร ทำให้สามารถทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาได้

2.3.2 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) [6] เป็นแผนภาพที่ช่วยให้สามารถมองเห็นองค์ประกอบของปัญหาที่มีผลกระทบมากที่สุด ที่ถูกใช้กับข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่องหรือข้อมูลของคุณลักษณะ (Attribute Data) แผนภูมิพาเรโตนั้นมีพื้นฐานมาจาก “หลักการพาเรโต” ที่กล่าวว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของผลกระทบที่ปรากฏ นั้นเกิดเนื่องมาจาก 20 เปอร์เซ็นต์ของสาเหตุต่าง ๆ การกำหนดดังกล่าวไม่จำเป็นต้องมีตัวเลขเท่ากับ 80 และ 20 เท่านั้นสำหรับข้อมูลจริง แต่การใช้งานจะมีลักษณะในทำนองเดียวกันนี้

<u>สิ่งที่พึงทราบเกี่ยวกับแผนภูมิพาเรโตมี 2 ประการ</u> คือ

1. แกนตั้งของแผนภูมิจำเป็นต้องมีความสูงของสเกลอย่างน้อยเท่ากับจำนวนรวมของการนับเพื่อที่จะสามารถพิจารณาได้ว่า แต่ละชนิดของความบกพร่องนั้นมีผลกระทบต่อสภาวะปัญหามากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับสภาวะปัญหาโดยรวมทั้งหมด
2. การจัดเรียงชนิดของข้อมูล (แท่งกราฟแต่ละแท่ง) ให้จัดเรียงตามลำดับความถี่จากมากไปหาน้อย

แผนภูมิพาเรโตเป็นที่นิยม เนื่องจากง่ายแก่การรวบรวมข้อมูล (โดยทั่วเป็นข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง หรือเป็นตัวชี้วัดของผลกระทบบางกรณี ที่อาจจะเป็นข้อมูลแบบต่อเนื่อง) และง่ายแก่การสร้าง อีกทั้งง่ายแก่การตีความเพื่อวิเคราะห์ผล ช่วยให้มุ่งเน้นที่จะแก้ปัญหาเฉพาะบางส่วนซึ่งมีผลกระทบมากที่สุด

ข้อจำกัดเพียงอย่างเดียวของแผนภูมิพาเรโต คือ เป็นตัวแทนของข้อมูลที่เกิดขึ้นที่เวลาเพียงจุดเดียวเท่านั้น แต่กระบวนการนั้นมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดข้อมูลใหม่ขึ้นมาซึ่งเป็นไปได้ว่าอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังนั้น จึงจำเป็นต้องพิจารณารูปแบบของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

2.3.3 การระดมความคิด (Brainstorming)

การระดมความคิด [9, 10] เป็นกระบวนการที่รวบรวมความคิดจากกลุ่มคนที่เกี่ยวข้องให้มากที่สุดในระยะเวลาอันสั้น เพื่อเป็นการค้นหาและสร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในโอกาสต่าง ๆ เช่น การพัฒนางาน ตั้งแต่ระดับการวางแผน การค้นหาปัญหา เลือกปัญหา หาสาเหตุของปัญหา และวิธีการแก้ไขปัญหา เป็นต้น

<u>หลักในการระดมความคิด</u> มีดังนี้

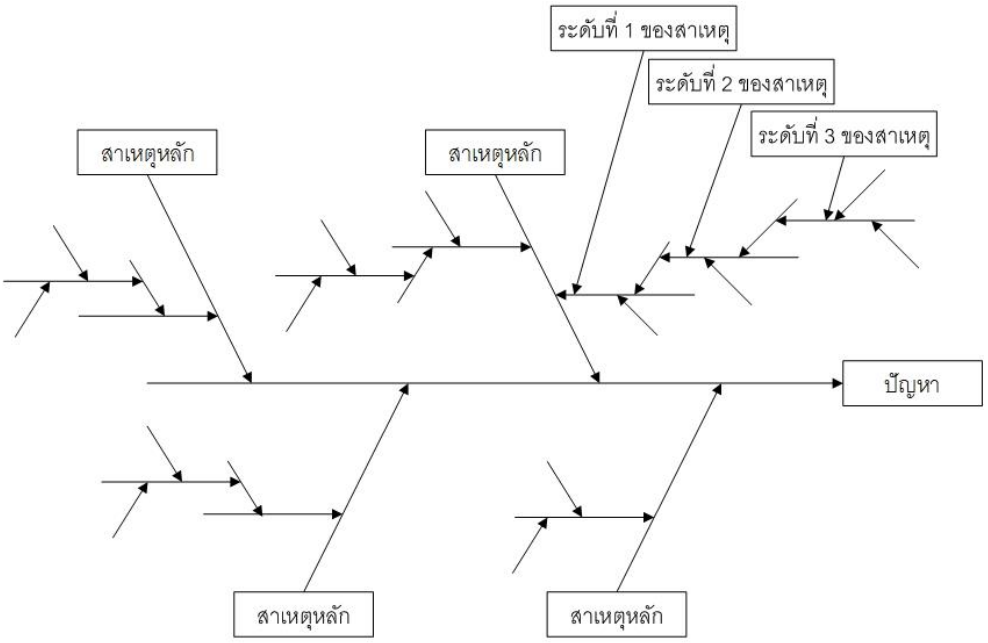
1. หัวข้อในการระดมความคิดต้องมีความชัดเจน
2. ตองไม่มีการวิจารณระหว่างการระดมความคิด โดยเป็นการเปิดให้ผู้ร่วมระดมความคิดมีอิสระในการแสดงความคิดเห็น
3. ปริมาณของข้อเสนอแนะยิ่งมากยิ่งดี
4. การเสนอแนะมีทั้งข้อเสนอเพิ่มเติมจากแนวคิดของคนอื่นและการเสนอแนวคิดสร้างสรรค์ใหม่ ๆ
5. ตองรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น หลีกเลี่ยงการปะทะคารมในที่ประชุม
6. เมื่อได้ผลแล้วควรทำการรวบรวมแล้วนำไปปรับปรุง

2.3.4 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) [7] เป็นแผนผังสำหรับการนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลสำหรับประเด็นปัญหาที่ต้องการพิจารณา มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องดำเนินการระดมสมอง (Brainstorming) โดยแผนผังสาเหตุและผลนี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

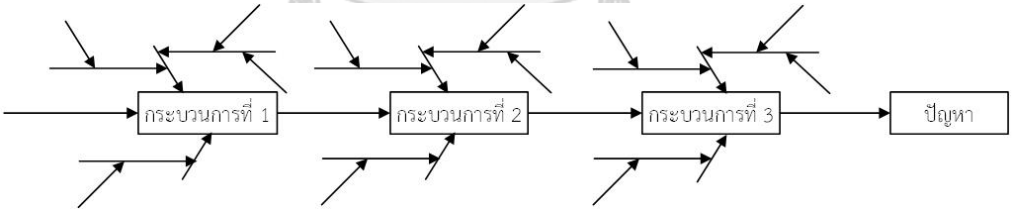
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. การวิเคราะห์ความผันแปร (Dispersion Analysis) ใช้แสดงสาเหตุของการเกิดความผันแปรในคุณภาพที่แสดงด้วยหัวข้อปัญหาตามลำดับก่อนและหลังด้วยการตั้งคำถามว่า “ทำไมจึงเกิดความผันแปร” โดยมีจุดเด่น คือ ช่วยแสดงอย่างเป็นระบบถึงปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปร และสาเหตุหลักมักจัดกลุ่มตามปัจจัยการผลิต 5M หรือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุ (Material) วิธีการ (Method) การวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผลแบบการวิเคราะห์ความผันแปร

2. การจำแนกตามระบบกระบวนการผลิต (Process Classification) ใช้สำหรับการแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลโดยมีการจำแนกตามกระบวนการย่อยต่าง ๆ โดยจุดเด่นของแผนผังประเภทนี้คือ สามารถสร้างได้ง่ายและสื่อความหมายได้ดี แต่มีจุดด้อยคือการที่แผนผังทำให้ดูเหมือนว่ามีสาเหตุซ้อนสาเหตุ จึงทำให้สาเหตุมีมากกว่า 1 ปัจจัยซึ่งทำให้ยากต่อการที่จะวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผลแบบจำแนกตามกระบวนการ

3. การกำหนดรายการของสาเหตุ (Cause Enumeration) แผนผังประเภทนี้จะทำการมุ่งเน้นไปสู่รายการสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา โดยความคิดสำหรับแผนผังแบบกำหนดรายการสาเหตุนี้จะต้องมาจากเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (Intrinsic Technology) แผนผังประเภทนี้มีประโยชน์ คือ สามารถทำให้ได้รับทราบถึงรายการของสาเหตุทั้งหมดจากระบบของงาน (พิจารณาจากความเรื้อรังของปัญหาที่เกิด) ทำให้พิสูจน์หาสาเหตุได้ค่อนข้างง่าย แต่มีข้อเสียคือ มีความยากในการสร้างค่อนข้างมาก แผนผังประเภทนี้เหมาะกับปัญหาการปรับปรุงคุณภาพ

<u>วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผล</u>

1. นิยามปัญหาให้ชัดเจน นิยามในรูปปริมาณ
2. ใช้วิธีการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหา
3. กำหนดแนวคิดของการจำแนกสาเหตุ
4. นำปัญหาต่าง ๆ ที่มาจากการระดมสมองแล้วมาจัดกลุ่มแนวคิดตามสาเหตุที่กำหนดไว้
5. เมื่อจัดกลุ่มของสาเหตุแล้วนำมาจัดทำเป็นแผนผังรูปก้างปลาและตรวจสอบอีกครั้งว่า ความเป็นสาเหตุและผลซึ่งกันและกันมีความถูกต้องหรือไม่และจัดกลุ่มถูกต้องหรือไม่
6. ดำเนินการทบทวนข้อความของสาเหตุรากเหง้าหรือสาเหตุเบื้องต้นที่ระบุในแผนผัง หาข้อมูลเชิงตัวเลขและเชิงคุณภาพมาสนับสนุนข้อสรุป

<u>การตีความแผนผังสาเหตุและผล</u>

ทำการพิจารณาว่าเมื่อมีการปรับระดับของสาเหตุ จะทำให้ลักษณะคุณภาพที่ระบุปัญหาเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ ถ้าหากมีการปรับระดับสาเหตุแล้วไม่มีผลใด ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านคุณภาพ จะแสดงว่าสาเหตุและผลนั้นมีได้มีความสัมพันธ์ใด ๆ ต่อกัน ควรจะมีการทบทวนแผนผังสาเหตุและผลใหม่

2.3.5 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) [9] คือ ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษา (Key Process Output Variables: KPOVs) กับปัจจัยนำเข้าที่สำคัญต่าง ๆ ที่ได้จากการระดมสมองโดยใช้ผังแสดงเหตุและผล โดยจะวิเคราะห์ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองต่าง ๆ ที่พิจารณา โดยใช้ความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของผู้ร่วมทำการระดมสมอง ผลลัพธ์ที่สำคัญของการทำตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลจะต้องทำแผนภูมิพาเรโต เพื่อเรียงปัจจัยตามลำดับผลกระทบที่มีต่อปัญหาที่ทำการพิจารณา ทำให้สามารถพิจารณาเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในระดับต้น ๆ มาทำการแก้ไขก่อน หรือนำผลที่ได้มาใช้ในการประเมินแผนการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลจะมีการกำหนดคะแนนตามความสำคัญของต่อลูกค้าและเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ทางธุรกิจ ตัวเลขที่สูงจะแสดงถึงความสำคัญที่มาก ในแต่ละแถวจะแสดงตัวแปรจากผังกระบวนการหรือสาเหตุจากแผนภาพสาเหตุและผล ส่วนจุดตัดของแต่ละแถวกับแต่ละคอลัมน์จะใช้สำหรับป้อนค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อยู่ในแถว (นอน) และคอลัมน์ ถ้าหากมีความสัมพันธ์กันมาก น้ำหนักในที่นี้ก็จะมีค่าสูงขึ้น จำนวนค่าของความสัมพันธ์ที่ป้อนในแต่ละช่องตามแนวนอน เมื่อนำมาคูณกับค่าความสำคัญในแถวบนแล้วรวม

ผลคูณที่ได้ไว้ในช่องขวามือสุดก็จะเป็นการบ่งบอกถึงความรุนแรงของผลกระทบที่จะมีต่อผลผลิตค่าที่มีระดับคะแนนอยู่ในระดับสูงสุดจะสามารถอนุโลมได้ว่าเป็นตัวแปรหลักที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิต (Key Process Input Variables: KPIVs) ซึ่งควรจับตามองและศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงกระบวนการให้ดียิ่งขึ้น

2.3.6 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

การวิเคราะห์ระบบการวัด [11, 12] มีจุดประสงค์ในการวิเคราะห์ถึงแหล่งที่มาของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด เพื่อยืนยันความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลอง โดยค่าความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด สามารถแบ่งเป็น 2 องค์ประกอบ คือ

ความผันแปรภายใต้เงื่อนไขของระบบการวัด (Repeatability) หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expected Value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยการใช้พนักงานวัดคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันซ้ำ ๆ โดยทั่วไปจะหมายถึงความผันแปรของอุปกรณ์ แต่ในบางครั้งอาจเกิดมาจากสาเหตุหลักอื่น ๆ เช่น ทักษะของพนักงานหรือปัจจัยแวดล้อม

ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด (Reproducibility) หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าการวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดตัวเดียวกันในการวัดงานชิ้นเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปมักจะหมายถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด จึงอาจเรียกว่าความผันแปรระหว่างพนักงานวัด (Appraiser Variation: AV) แต่ในบางครั้งความผันแปรนี้อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่พนักงานวัด เช่น ความผันแปรระหว่างวิธีการวัด ความผันแปรระหว่างสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดของข้อมูลแบบหน่วยนับ (MSA for Attribute)

การประเมินผลและวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบเมื่อข้อมูลเป็นข้อมูลนับเป็นการประเมินผลในลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute Characteristics) เช่น รสชาติ ความสวยงาม ความเรียบร้อย หรือบางครั้งพารามิเตอร์อาจเป็นลักษณะเชิงผันแปร (Variable Characteristics) แต่ทำการนับเนื่องจากเป็นการเอาไปเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ หรือ Go/No Go Gauge ดังนั้นในการศึกษากระบวนการวัดแบบอาศัยข้อมูลนับ จะเป็นการประเมินโดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบกับพิกัดของข้อจำกัดเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นยอมรับหรือปฏิเสธ และผ่านหรือไม่ผ่าน จึงไม่สามารถประเมินผลได้ว่าคุณภาพของงานที่ตรวจสอบนั้นดีหรือไม่ดีอย่างไร

การศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดเมื่อเป็นข้อมูลนับสามารถแบงออกได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีการประเมินผลระยะสั้น (Short Method) และวิธีการประเมินผลระยะยาว (Long Method)

การประเมินผลระยะยาวนั้นจะอาศัยกราฟแสดงสมรรถนะของระบบการวัด (Gauge Performance Curve: GPC) ที่แสดงถึงโอกาสในการตรวจสอบแล้วยอมรับคุณภาพของสิ่งตัวอย่าง ที่แต่ละค่าของสิ่งตัวอย่างมีการกำหนดในรูปของค่าอ้างอิงเพื่อพิจารณาค่าไบอัสและค่ารีพีททะบิลิตี โดยทำการตัดสินใจว่าค่าไบอัสมีความแตกต่างจากค่าศูนย์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยอาศัยตัวสถิติทดสอบ t โดยที่

$$t = \frac{31.3 \times |\text{ค่าไบอัส}|}{\text{คารีพีททะบิลิตี}} \qquad (2.1)$$

ค่ารีพีททะบิลิตีจะพิจารณาได้จากค่าความแตกต่างของค่าวัดค่าอ้างอิงที่สอดคลองกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้วยอมรับ (Pa) 0.995 กับค่าวัดอ้างอิงที่สอดคลองกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้วยอมรับ (Pa) 0.005 แล้วหารด้วยตัวประกอบ เพื่อการปรับค่า (Adjustment Factor) (AIAG, 2002)

การประเมินผลการตรวจสอบระยะสั้นมีกระบวนการประเมินผล ดังนี้

1. เลือกผู้ชำนาญการซึ่งเป็นบุคคลที่มีความสามารถเป็นพิเศษในการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือเสียและลูกค้าให้การยอมรับในผลตรวจสอบดังกล่าว
2. กำหนดล็อตมาตรฐาน (Standard Lot) สำหรับใช้ในการตรวจสอบเพื่อประเมินความสามารถของระบบการวัด โดยล็อตดังกล่าวควรประกอบด้วยสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดี สิ่งตัวอย่างมีคุณภาพไม่ดี และสิ่งตัวอย่างที่คุณภาพก้ำกึ่งอย่างละ 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด โดยงานก้ำกึ่งควรประกอบด้วยงานดีแบบก้ำกึ่ง และงานไม่ดีแบบก้ำกึ่งอย่างละครึ่ง (Fasser and Brettner, 1992)
3. เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบ 2 ถึง 4 คน โดยพนักงานที่เลือกมาต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพที่ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดีและการทดสอบประเมินผลแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบที่อาศัยความรู้สึก
4. กำหนดจำนวนชิ้นตัวอย่างและจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำ โดยจำนวนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงานทดสอบดังตารางที่ 2.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.2 ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	**จำนวนชิ้นงานตัวอย่าง ที่ต่ำที่สุด**	**จำนวนทดลองซ้ำ ที่ต่ำที่สุด**
1	24	5
2	18	4
มากกว่าหรือเท่ากับ 3	12	3

5. สุ่มพนักงานตรวจสอบขึ้นมาคนหนึ่งแล้วตรวจสอบตัวอย่างงานแบบสุ่มเพื่อประเมินคุณภาพของสิ่งตัวอย่างว่าผ่าน (Good: G) หรือไม่ผ่าน (No Good: NG) และทำเช่นนี้จนครบจำนวนพนักงานที่จะทำการทดสอบ

6. เมื่อได้ข้อมูลการตรวจสอบมาครบตามที่กำหนดแลว จึงนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่าดัชนีชี้วัดต่าง ๆ ที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป เพื่อให้ทราบถึงความสามารถของระบบการวัด

7. หาค่าเปอร์เซ็นต์รีพีททะบิลิตีของพนักงานตรวจสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว ให้ทำการอบรมพนักงานใหม่รวมทั้งประเมินผลของพนักงานใหม่ เพื่อปรับปรุงค่ารีพีททะบิลิตีให้ดีขึ้น แต่หากเปอร์เซ็นต์ความไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (%Attribute Score) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว จะต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือต้องกำหนดให้ชิ้นงานได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการเฉพาะเท่านั้น สำหรับเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตีของการตรวจสอบ (% Screen Effective Score) และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ (% Attribute Effective Score) ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดแล้วมีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้น เพื่อปรับปรุงให้ได้ค่าที่ดีขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดัชนีชี้วัดที่ใช้ในการประเมินความสามารถของระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ

1. การวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน

1.1 การวิเคราะห์ความเที่ยงหรือความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตีของพนักงานแต่ละคน

%รีพีททะบิลิตีของพนักงานแต่ละคน = %คะแนนของพนักงานวัดแต่ละคน (%Appraiser Score)

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \qquad (2.2)$$

1.2 การวิเคราะห์ความถูกต้อง (ประสิทธิผล, ความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ) ของการวัดของพนักงานแต่ละคน ซึ่งเกณฑ์การตัดสินใจในการยอมรับของค่าดัชนีชี้วัด O_E, I_{FA}, และ I_{MISS} แสดงดังตารางที่ 2.3

$$\%\text{คะแนนของค่าแอตทริบิวต์} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (2.3)$$

ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน (Operator Effectiveness Index: O_E)

$$O_E = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง}}{\text{โอกาสทั้งหมดของการตัดสินใจ}} \quad (2.4)$$

ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False Alarm Index: I_{FA})

$$I_{FA} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะปฏิเสธอย่างผิดพลาด}} \quad (2.5)$$

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

$$I_{MISS} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับอย่างผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะยอมรับอย่างผิดพลาด}} \quad (2.6)$$

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การตัดสินใจในการยอมรับของค่าดัชนีชี้วัด O_E, I_{FA} และ I_{MISS}

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

2. การวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน

2.1 การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน

%ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี = %Screen Effective Score (Reproducibility)

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (2.7)$$

2.2 การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน

%คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์ = %Attribute Screen Effective Score

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (2.8)$$

2.3.7 การวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Study) [13] คือ การกำหนดตัวพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการแล้วทำการวัด เพื่อการรวบรวมข้อมูลที่แสดงถึงพารามิเตอร์ดังกล่าว และถ้าข้อมูลอยู่ในภายใต้การควบคุมจะทำการอนุมานทางสถิติสำหรับกระบวนการที่ศึกษาต่อไปและอาจเรียกการศึกษานี้ว่าการกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Product Characterization)

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

<u>การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการมีขั้นตอน</u> ดังนี้

1. การทวนสอบของกำหนดเฉพาะ (Specification) ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากการทวนสอบแบบ (Design Output) ของผลิตภัณฑ์และทบทวนข้อตกลงกับลูกค้าว่ายอมรับข้อกำหนดเฉพาะดังกล่าวหรือไม่

2. การชักสิ่งตัวอย่างจากกระบวนการทั้งแบบระยะสั้นและระยะยาว

3. การทวนสอบสภาวะเสถียรของกระบวนการโดยอาศัยแผนภูมิควบคุม เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลที่ได้จากสิ่งตัวอย่างอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติสำหรับกำหนดคุณสมบัติในด้านความสามารถคาดการณได้หรือไม่

4. การประเมินค่ามาตรฐานข้อกำหนด (Z-Score)

5. การประเมินค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการพร้อมการวิเคราะห์สาเหตุของความผันแปรเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

การประเมินความสามารถของกระบวนการที่มีข้อมูลแบบนับ

ข้อมูลแบบนับเป็นข้อมูลที่ไม่มีคุณสมบัติอธิบายความผันแปรจึงมีความจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลนับให้อยู่ในรูปของจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่อง เพื่อการเปรียบเทียบให้อยู่ในรูปของสเกลของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Z) สำหรับการแปลงให้เป็นดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ

ในการกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการในกรณีข้อมูลแบบนี้จะขึ้นอยู่กับเกณฑ์การตัดสินใจของผู้วิเคราะห์เป็นสำคัญ เช่น ถ้าหากต้องการประเมินถึงความสามารถของกระบวนการในรูปแบบของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นแล้ว สามารถใช้ค่าสัดส่วนโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์บกพร่อง ($\bar{p}$) เป็นตัววัดความสามารถของกระบวนการได้ แต่ถ้าหากต้องการประเมินในรูปดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ เพื่อการเปรียบเทียบผลการปรับปรุงกระบวนการ สามารถแสดงในรูปของดัชนี P_p และ P_{pk} ดังนั้น ในการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบนับจะต้องเริ่มจากการหาค่า $\bar{p}$ ก่อนเสมอ โดย

$$\bar{p} = \frac{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยรวม } \sum np}{\text{จำนวนตรวจสอบโดยรวม } \sum n} \tag{2.9}$$

ดังนั้น ในการประเมินค่า $\bar{p}$ จะต้องประเมินจากข้อมูลโดยรวมค่าดัชนีที่ประเมินจากค่า $\bar{p}$ จึงถือเป็นดัชนีความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาวเสมอ โดยความสามารถด้านศักยภาพของ กระบวนการอาจจะประเมินได้ในรูปอัตราส่วนความสามารถ (P_R) หรือดัชนีความสามารถ (P_p) สำหรับ ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจะประเมินได้ในรูปดัชนีความสามารถ (P_{pk})

$$P_{o\ Bench} = \frac{1}{3} Z_{Bench} \tag{2.10}$$

โดยที่ Z_{Bench} จะได้จากกรณีกำหนดสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องมีค่าเท่ากันทั้งสองด้าน

$$P_{R\ Bench} = \frac{1}{P_{p\ Bench}} \tag{2.11}$$

และ $$P_{ok\ Bench} = \frac{1}{3} Z_{Bench} \tag{2.12}$$

โดยที่ Z_{Bench} ได้จากการกำหนดให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของค่ากลางเพียงด้านเดียว

2.3.8 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of Experiment: DOE)

การออกแบบการทดลอง [12, 14, 15] คือ การออกแบบทดลองเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยหรือตัวแปรใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา โดยมีจุดมุ่งหมายดังนี้

1. เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อ จากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต
2. เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

<u>สวนประกอบของการทดลอง</u>

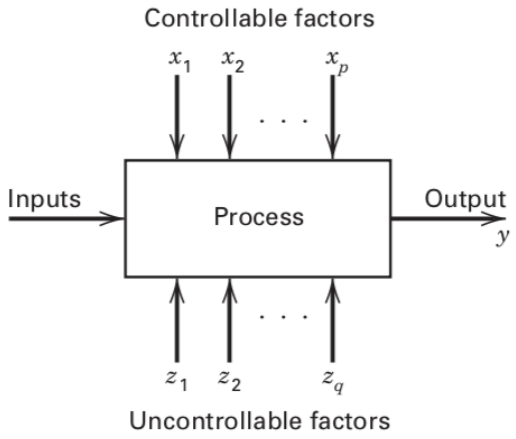
1. ทรีทเมนต (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่ปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง
2. หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นมาตรหรือหน่วยใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต ซึ่งโดยคำจำกัดความ หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของการทดลอง ซึ่งได้รับจากทรีทเมนตเดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัดอาจผันแปรไปได้จากการทดลองหนึ่งไปสู่อีกการทดลองหนึ่ง แม้ว่าจะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน
3. ปัจจัย (Factor) ได้แก กลุ่มของทรีทเมนตทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน (A Particular Class of Related Treatment) อาจใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและปริมาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากแบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.5 ปัจจัยสามารถแบ่งออกเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลอง ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้ เนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุน ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมแบ่งออกเป็น

1. ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) คือ ตัวแปรที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ส่วนใหญ่มักได้แก่ เวลา หรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น
2. ตัวแปรแทรกซ้อน (Nuisance Variable) คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่ไม่ทราบมาก่อน สามารถกำจัดอิทธิพลของตัวแปรแทรกซ้อนได้โดยการสุ่ม

3. ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ผลลัพธ์หรือตัวชี้วัดสิ่งที่สนใจปรับปรุง ซึ่งสามารถวัดค่าได้ เช่น อัตราผลิตผลดี (Yield) สัดส่วนของเสีย ความหนาของชิ้นงาน ความแข็งของชิ้นงาน เป็นต้น ในการทดลองหนึ่ง ๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้



รูปที่ 2.5 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ

<u>ขั้นตอนในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

1. ระบุวัตถุประสงค์ของการทำการทดลอง ได้แก่ การกำหนดตัวแปรตอบสนองและปัจจัยที่จะศึกษาและการกำหนดว่าจะศึกษา เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยหรือจะศึกษาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย

2. ออกแบบการทดลอง

2.1 กำหนดแบบการทดลองที่จะใช้ โดยพิจารณาตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาว่าต้องการศึกษาเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย หรือจะศึกษาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย ซึ่งจะใช้แบบการทดลองที่แตกต่างกันดังกล่าวข้างต้น นอกจากนั้นการกำหนดแบบการทดลองที่จะใช้ยังต้องพิจารณาจากจำนวนปัจจัย จำนวนของครั้งการทดลองที่สามารถทำได้ และคุณภาพของผลสรุปที่จะได้จากแบบ การทดลอง

2.2 เขียนเมทริกซ์การออกแบบ

2.3 กำหนดค่าของแต่ละระดับของปัจจัยที่จะทำการทดสอบจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบหน่วยที่แท้จริง (Uncoded Unit) และแบบหน่วยที่เป็นค่ารหัส (Coded Unit)

2.4 กำหนดตัวแปรอื่น ๆ ที่อาจจะมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง เพื่อทำการควบคุมตัวแปรเหล่านั้น

3. ทำการทดลองตามที่ออกแบบไว้ โดยจัดให้ลำดับการทดลองเป็นไปอย่างสุ่ม เพื่อขจัดผลที่เกิดจากตัวแปรรบกวน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ตรวจสอบสมมติฐานว่าข้อมูลมีลักษณะที่เหมาะสมที่จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติ ได้แก่ การวิเคราะห์ความถดถอย (Analysis of Variance: ANOVA) หรือการทดสอบแบบ t ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์ค่าเรซิดวล (Residuals) ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างค่าที่สังเกตได้กับค่าฟิตหรือค่าที่ประมาณได้จากสมการความสัมพันธ์ โดยค่าความผิดพลาดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.13

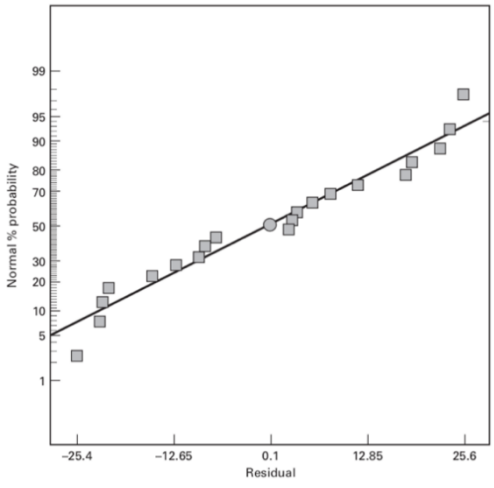
$$e = y - \hat{y} \tag{2.13}$$

<u>สมมติฐาน (Assumptions) ในการทดสอบค่าความผิดพลาด</u>

สมมติฐานที่ควรเป็นจริง คือ ค่าความผิดพลาดต้องมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกันและมีค่าความแปรปรวนคงที่ ดังกล่าวโดยละเอียดได้ดังนี้

<u>สมมติฐานที่ 1</u> ค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ

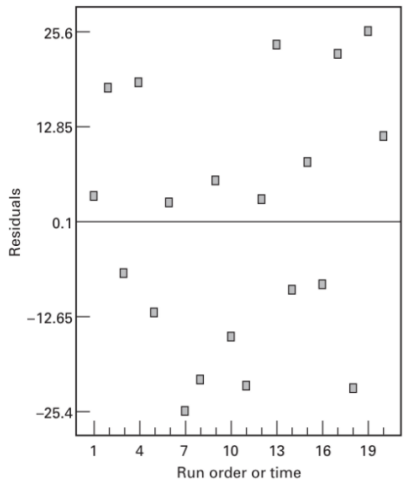
การทดสอบทำได้โดยพิจารณาจากผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normality Test) ของค่าความผิดพลาด หรือพิจารณาจากกราฟความน่าจะเป็นแบบการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งจะต้องมีลักษณะหรือแนวโน้มใกล้เคียงหรือเป็นเส้นตรง



รูปที่ 2.6 กราฟความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติของค่าความผิดพลาด

<u>สมมติฐานที่</u> 2 ค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน

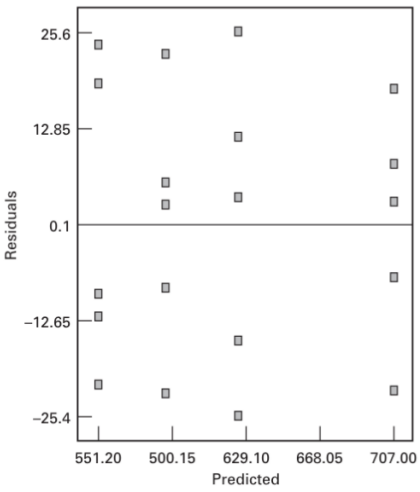
การทดสอบทำได้โดยพิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดและลำดับของการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งจะต้องไม่แสดงสัญญาณของการเกิดแนวโน้มของข้อมูล



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดและลำดับของการทดลอง

<u>สมมติฐานที่ 3</u> ค่าผิดพลาดมีค่าความแปรปรวนคงที่

การทดสอบทำได้โดยพิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดและค่าฟิต ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งข้อมูลที่แสดงในกราฟควรมีลักษณะการกระจายตัวแบบสุ่ม (ไม่มีรูปแบบ)



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดและค่าฟิต

4.2 พิจารณากราฟผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยและกราฟผลกระทบหลักของปัจจัยว่าปัจจัยมีผลต่อตัวแปรตอบสนองในทิศทางใด

5. คำนวณค่าผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยและผลกระทบหลักของปัจจัย

6. ทดสอบความมีนัยสำคัญของผลกระทบของปัจจัยด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (Hypothesis Testing)

7. ปรับปรุงแบบจำลอง (ถ้าจำเป็น) เช่น ทำการลดรูปแบบจำลอง

8. สรุปสมการความสัมพันธ์ระหว่างเทอมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญและตัวแปรตอบสนอง

9. หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทาให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Technique)

10. สรุปผลการทดลอง

<u>ประเภทของการออกแบบการทดลอง</u>

การออกแบบการทดลองสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่

1. การออกแบบการทดลองแบบ One-Factor-at-a-Time (OFAT)

วิธีนี้เป็นการทดสอบทีละปัจจัย โดยในการทดสอบแต่ละครั้งจะมีการเปลี่ยนค่าปัจจัยใด ๆ เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น และคงค่าของปัจจัยอื่น ๆ ที่สนใจศึกษาพร้อมกันไว้ที่ค่า ๆ หนึ่ง ดังนั้นจะสามารถสรุปผลได้เพียงทีละปัจจัย แต่ไม่สามารถสรุปผลของปัจจัยอื่น ๆ ที่ถูกคงค่าไว้ได้ ด้วยรูปแบบของ OFAT จะพบว่าทำให้ไม่สามารถศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้ และวิธีนี้จะใช้จำนวนการทดลองและขนาดตัวอย่างมากกว่าการทดลองแบบ Design of Experiment (DOE)

2. การออกแบบการทดลองแบบ Design of Experiment (DOE)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีนี้เป็นการทดสอบที่สามารถให้เห็นผลของปัจจัยใด ๆ ที่ระดับของปัจจัยอื่น ๆ อย่างน้อยสองระดับ ซึ่งทำให้สามารถศึกษาถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาได้ซึ่งแตกต่างกับวิธีการของ OFAT ที่ไม่สามารถศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้ และวิธี DOE ใช้จำนวนการทดลองและขนาดตัวอย่างน้อยกว่าวิธีการแบบ OFAT

<u>ประเภทของแบบการทดลองแบบ DOE</u>

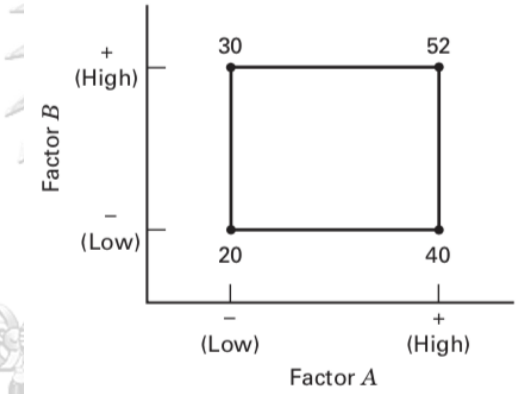
แบบการทดลองแบบ DOE นั้นมีหลายแบบ ซึ่งสามารถจัดเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท คือ

<u>ประเภทที่ 1</u> เป็นแบบการทดลองที่ใช้สำหรับทดสอบเพื่อหาว่าปัจจัยใดมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นแบบการทดลองที่มีการทดสอบแต่ละปัจจัยที่สองระดับเท่านั้น เพื่อประหยัดจำนวนการทดลอง แบบการทดลองในประเภทนี้ ได้แก่ แบบการทดลอง

แฟคทอเรียลเต็มรูป หรือแบบ 2^k (Full or 2^k Factorial Design) และแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design)

<u>การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 2^k (2^k Factorial Design)</u>

เป็นการออกแบบการทดลองที่ใช้ในกรณีที่มี k ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยจะถูกทดลองที่สอง ระดับ คือ ที่ค่าที่ระดับสูง (+1 หรือ High: H) และระดับต่ำ (-1 หรือ Low: L) ซึ่งรูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปกรณีมีสองปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยถูกทดสอบที่สองระดับระดับในการทดลองอาจจะเกิดจากข้อมูลในเชิงปริมาณ (Quantitative) เช่น อุณหภูมิ ความดัน เวลา เป็นต้น หรือข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative) เช่น เครื่องจักรสองเครื่อง คนสองคน เป็นต้น ในการออกแบบการทดลองเช่นนี้จะช่วยให้จำนวนการทดลองน้อยที่สุดเพื่อศึกษาผลของปัจจัย k ชนิด ซึ่งการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบ 2^k มักจะถูกนำมาใช้ในการคัดกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในช่วงของการเริ่มต้นโครงการ



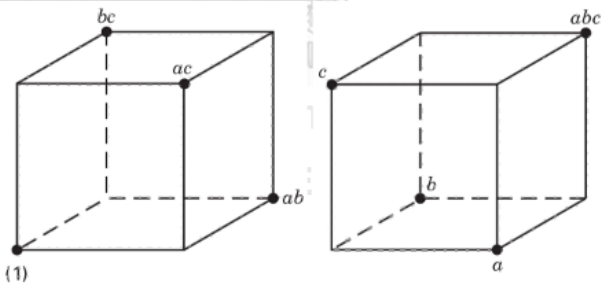
รูปที่ 2.9 การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ

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

เมื่อจำนวนของปัจจัยที่นำมาศึกษาในรูปแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2^k เพิ่มขึ้น จำนวนการทดลองที่ต้องใช้ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยอย่างก้าวกระโดด โดยในการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วนจะสามารถหาจำนวนการทดลองได้ จาก 2^{k-p} โดยที่ k คือ จำนวนปัจจัยและ p คือ 1, 2, 3,... โดยถ้ากำหนดให้ p เท่ากับ 1 จำนวนการทดลองจะเป็นครึ่งหนึ่งของการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป (One-Half Fraction of the 2^k Design) ซึ่งการทดลองบางส่วนแบบ One-Half ของสามปัจจัยแสดงดังรูปที่ 2.10 แผนการทดลองประเภทนี้จะใช้กับกรณีที่มีข้อจำกัดทางด้านเวลา งบประมาณ และทรัพยากร หรือใช้ในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญในตอนเริ่มต้นโครงการ จากงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีการศึกษากรณีศึกษาหลากหลายพบว่า ผลกระทบร่วมตั้งแต่ลำดับสามขึ้นไปหรือผลกระทบร่วมตั้งแต่สามปัจจัยขึ้นไปจะมีค่าน้อยมากเข้าใกล้ศูนย์จนไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถละทิ้งการประมาณค่าของผลกระทบร่วมตั้งแต่

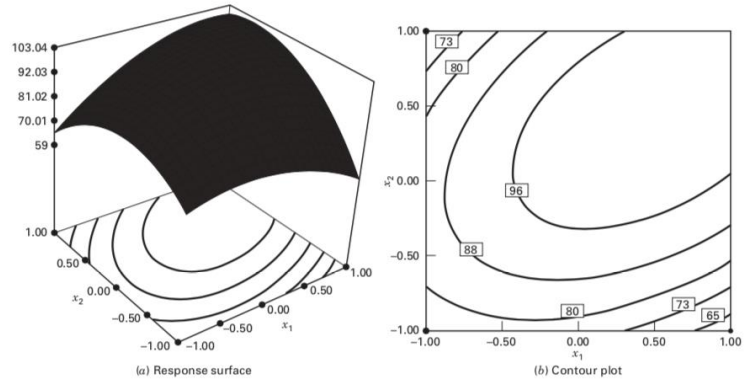
ลำดับสามขึ้นไปได้ หากสามารถละทิ้งการประมาณค่าเทอมเหล่านี้ได้ ก็สามารถทำการทดลองที่จำนวนสภาวะเพียงบางส่วนได้ ในการออกแบบประเภทนี้จำเป็นจะต้องเลือกสภาวะการทดลองที่เหมาะสม เนื่องจากหากเลือกสภาวะการทดลองที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้ไม่สามารถหาผลกระทบหลักหรือผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยได้อย่างอิสระ ซึ่งเรียกว่า การเกิด Confounding (Alias Structure) ซึ่งผลกระทบเหล่านี้ไม่สามารถละทิ้งการประมาณค่าได้ ดังนั้น ในการออกแบบการทดลองจะต้องเลือกคุณภาพของผลสรุปที่จะได้จากผลการทดลอง (Design Resolution) ที่มีความเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา โดยรายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบที่เกิดจากการเลือกใช้ค่า Resolution ต่าง ๆ จะแสดงดังนี้

- Resolution III: ผลกระทบหลักจะไม่ปะปนกับผลกระทบหลักของปัจจัยอื่น ๆ แต่ผลกระทบหลักจะปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย
- Resolution IV: ผลกระทบหลักของปัจจัยจะไม่ปะปนกับผลกระทบหลักของปัจจัยอื่น ๆ และไม่ปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย แต่ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยจะปะปนกันเอง
- Resolution V: ผลกระทบหลักของปัจจัยจะไม่ปะปนกับผลกระทบหลักของปัจจัยอื่น ๆ และไม่ปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย และผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยก็จะไม่ปะปนกันเอง แต่ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยจะปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่างสามปัจจัย

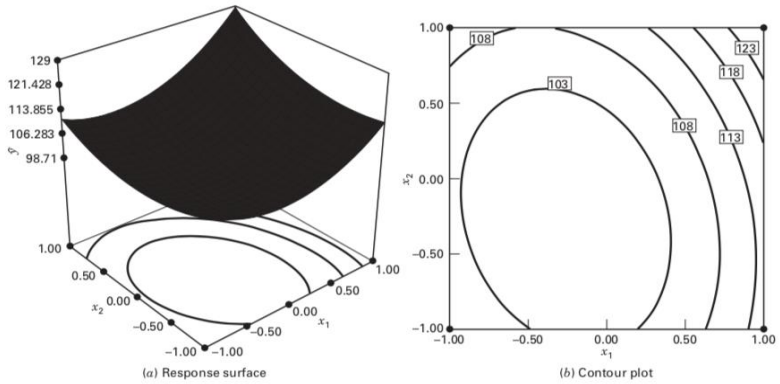


รูปที่ 2.10 การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วนแบบ One-Half ของสามปัจจัย

<u>ประเภทที่ 2</u> เป็นแบบการทดลองที่ใช้สำหรับทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ เรียกว่า การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบ (Response Surface Design) ซึ่งในการหาค่าที่เหมาะสมนี้แต่ละปัจจัยต้องถูกทดสอบที่มากกว่าสองระดับ ทำให้สามารถเห็นจุดที่ตัวแปรตอบสนองมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดได้ แสดงดังรูปที่ 2.11 และ 2.12 ตามลำดับ หรือที่ค่าตัวแปรตอบสนองที่ระดับที่ต้องการได้ แบบการทดลองในประเภทนี้ ได้แก่ แบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken)



รูปที่ 2.11 กราฟพื้นผิวตอบและกราฟโครงร่างของตัวแปรตอบสนองที่มีค่ามากที่สุด

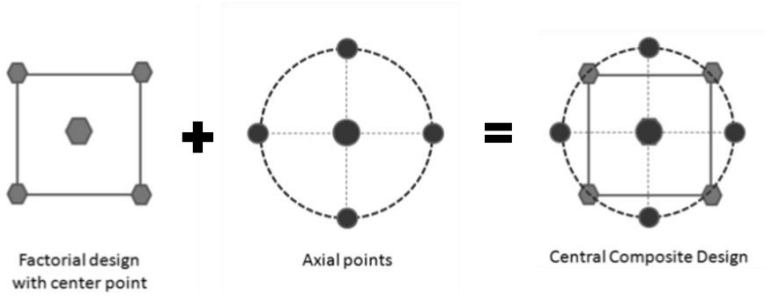


รูปที่ 2.12 กราฟพื้นผิวตอบและกราฟโครงร่างของตัวแปรตอบสนองที่มีค่าน้อยที่สุด

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

การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางนั้นเหมาะสมกับการสร้างตัวแบบที่มีลักษณะเป็นโพลิโนเมียลกำลังสอง (Second-order Model) ซึ่งจะประกอบด้วยการทดลอง 3 ส่วนได้แก่ ส่วนของการทดลองแฟคทอเรียล 2^k (Factorial Runs) หรือแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{k-p} ส่วนของจุดแกน (Axial Runs) และส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Runs) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.13

การกำหนดระดับปัจจัยของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของการทดลองแฟกทอเรียลจะทำการทดลองอยู่ที่ระดับ +1 และ -1 ในส่วนของจุดศูนย์กลางจะใช้ระดับของการทดลอง 0 และส่วนการทดลองที่ส่วนของจุดแกนจะอยู่ที่ระดับ $+\alpha$ และ $-\alpha$ โดยค่า α จะเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนปัจจัยซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

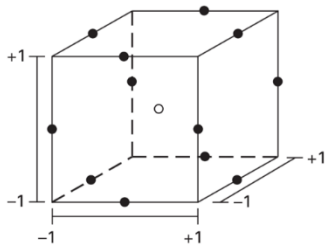
ตารางที่ 2.4 ค่า α ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางตั้งแต่ 2-6 ปัจจัย

จำนวนปัจจัย	ส่วนการทดลองแฟคทอเรียล	ค่า α
2	2^2	1.414
3	2^3	1.682
4	2^4	2.000
5	2^5	2.378
5	2^{5-1} (Fractional Factorial Design)	2.000
6	26	2.828
6	2^{6-1} (Fractional Factorial Design)	2.378

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>แบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken)</u>

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



รูปที่ 2.14 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken กรณีที่มีสามปัจจัย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดของเสียในกระบวนการพ่นสีในอุตสาหกรรมยานยนต์มีดังต่อไปนี้

อรรถพล ฤทธิภักดี [16] ได้ทำการศึกษากระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์ พบปัญหาที่เกิดจากความบกพร่องของกระบวนการพ่นสีที่ส่งผลต่อผิวของชิ้นส่วนเป็นส่วนมาก ได้แก่ สีเป็นเม็ด สีเป็นขนผ้า สีเป็นหลุม สีบาง สีไหลย้อย ผิวเป็นรอย และปัญหาด้านคุณภาพที่เกิดจากการขาดการวางแผนการตรวจสอบทางด้านคุณภาพของชิ้นส่วน การขาดมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพ การขาดการบำรุงรักษาความสะอาดในกระบวนการพ่นสี และการขาดประสบการณ์ในการทำงานของพนักงาน จึงได้นำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบด้านคุณภาพ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) มาใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วน โดยแนวทางแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าว ได้แก่ จัดทำมาตรฐานการทำงาน เพิ่มความถี่ในการทำความสะอาด จัดฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับการพ่นสี และจัดทำใบตรวจสอบในกระบวนการพ่นสี ผลจากการปรับปรุง พบว่า เปอร์เซ็นต์ของเสียเทียบยอดการผลิต ลดลงจาก 16.37 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 9.37 เปอร์เซ็นต์ และปัญหาของเสียที่ลูกค้าส่งคืนมีเปอร์เซ็นต์ของเสียเทียบยอดส่งให้ลูกค้าลดลงจาก 1.52 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 1.10 เปอร์เซ็นต์

เขมิกา วันทอง [17] ได้ทำการลดของเสียในกระบวนการพ่นสีโช้คอัพรถจักรยานยนต์ โดยข้อบกพร่องที่ก่อให้เกิดของเสียหลักจากกระบวนการพ่นสี ได้แก่ สีเป็นเม็ด สีพอง และสีเป็นรอย จากนั้นได้ทำการแก้ไขปรับปรุงโดยใช้การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง และการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพในกระบวนการพ่นสีโช้คอัพรถจักรยานยนต์เป็นเครื่องมือคุณภาพหลัก โดยจะมุ่งเน้นเพื่อกำจัดข้อบกพร่องจากกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ กระบวนการการตรวจรับวัตถุดิบ การ Machining การ Buffing การเตรียมสีและความพร้อมของระบบ การเตรียมผิว การอบน้ำแห้ง การพ่นสี และการอบสีแห้ง ซึ่งการแกไขข้อบกพรองนั้นมีทั้งการกำหนดมาตรฐานการทำงาน การจัดระบบรวบรวมข้อมูล การจัดทำอุปกรณ์ป้องกันพลาด การกำหนดรูปแบบสำหรับการตรวจสอบ การจัดหาเครื่องมือสำหรับการตรวจสอบ การฝึกอบรมพนักงานและอื่น ๆ ผลจากการปรับปรุงและลดของเสียตามขั้นตอนการวิจัยดังกล่าว พบว่า จำนวนของเสียทั้งหมดลดลง จากเดิม 21.91 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 2.81 เปอร์เซ็นต์ ข้อบกพร่องประเภทสีเป็นเม็ดลดลงจาก 8.23 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.66 เปอร์เซ็นต์ สีพองลดลงจาก 5.83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.75 เปอร์เซ็นต์ และสีเป็นรอยลดลงจาก 4.48 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 1.06 เปอร์เซ็นต์

ทิชา แสนสม [18] ได้ทำการลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์ โดยผลิตภัณฑ์มีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากเม็ดฝุ่นต่อปริมาณการผลิตเท่ากับ 151,259 DPPM (Defect Part per Million) ซึ่งสาเหตุหลักมาจากความสกปรกของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการพ่นสี และระบบจ่ายอากาศในห้องพ่นสี ส่งผลให้บริษัทต้องสูญเสียต้นทุนนับหลายล้านบาทต่อปี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างเร่งด่วน โดยประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน คือ การนิยามปัญหา การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และการควบคุมกระบวนการ ตามลำดับ การดำเนินงานในการปรับปรุงคุณภาพนั้น เริ่มจากการศึกษากระบวนการทำงานเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดปัญหาเม็ดฝุ่น โดยจะทำไปพร้อมกับการศึกษาความแม่นยำและถูกต้องของระบบการวัด การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล และคัดเลือกตัวแปรที่จะนำมาศึกษาโดยการใช้เทคนิคลักษณะบกพร่องและผลกระทบ จากนั้นจึงนำปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหาเม็ดฝุ่นมาทำการทดสอบด้วยวิธีทางสถิติ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาเม็ดฝุ่น ได้แก่ ระบบจ่ายอากาศ ตัวจับยึดชิ้นงาน ปืนพ่นสี ถุงมือพ่นสี เสื้อผ้าพนักงาน และพนักงานไม่ปฏิบัติตามวิธีทำงาน จากนั้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการโดยการประยุกต์การออกแบบการทดลอง และควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อป้องกันปัญหาไม่ให้เกิดขึ้นซ้ำอีก จากการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์ด้วยแนวทางซิกซ์ ซิกมา พบว่า จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์หลังการปรับปรุงเท่ากับ 46,892 DPPM ซึ่งสามารถลดของเสียได้ 69 เปอร์เซ็นต์ของของเสียก่อนทำการปรับปรุง

อาทิตย์ หงสพันธ์ [10] ได้ทำการลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ โดยได้เลือกแก้ไขข้อบกพร่องทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ ข้อบกพร่องประเภทเส้นใย สีเป็นคราบ สีเป็นรอยขีด เม็ดผง สีไหล เม็ดพื้น และสีเป็นหลุม เนื่องจากข้อบกพร่องดังกล่าวเกิดเป็นจำนวนมาก และก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมสูง จากนั้นได้ใช้แนวทางการปรับปรุงของซิกซ์ ซิกมาทั้ง 5 ขั้นตอน เริ่มจากระยะการนิยามปัญหา จากนั้นในระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้วิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลเชิงนับโดยวิเคราะห์ทั้งความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด จากนั้นวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน แล้วจึงระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องทั้ง 7 ชนิด โดยใช้แผนภาพและตารางแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผล และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ จากนั้นในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่องได้นำปัจจัยที่เลือกมาทำการทดสอบนัยสำคัญด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการทางสถิติ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และวิธีการเช็ดรถ จากนั้นปรับปรุงโดยหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยโดยการออกแบบการทดลอง หลังจากหาค่าที่เหมาะสมได้แล้ว ทำการทดสอบยืนยันผลและกำหนดแผนควบคุมและมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานใหม่ในระยะติดตามควบคุม หลังการปรับปรุงสามารถลดจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันลงได้ 57 เปอร์เซ็นต์ คือจาก 0.37 ลดลงเหลือ 0.16 และสามารถลดจำนวนค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องต่อคันลงได้ 55 เปอร์เซ็นต์ คือจาก 88 บาทต่อคัน ลดลงเหลือ 40 บาทต่อคัน ซึ่งเมื่อคำนวณจากข้อมูลยอดการผลิตที่ได้พยากรณ์ไว้ของปี 2553 ที่มียอดการผลิตเท่ากับ 166,955 คัน คาดว่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 5,796,469 บาท

K.Srinivasan และคณะ [19] ได้ทำการลดของเสียในกระบวนการพ่นสีโช้คอัพรถยนต์ โดยได้เลือกแก้ไขข้อบกพร่อง 2 ชนิด ได้แก่ ข้อบกพร่องประเภทสีลอก และสีพอง โดยจะทำการมุ่งเน้นที่จะลดของเสียจากกระบวนการเตรียมผิว (Pretreatment) จากนั้นได้ใช้แนวทางการปรับปรุงของซิกซ์ ซิกมาทั้ง 5 ขั้นตอน เริ่มจากระยะการนิยามปัญหา จากนั้นในระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ จากนั้นในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อการเกิดสีลอกและสีพอง โดยใช้แผนภาพและตารางแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผล และมาตรวัดของลิเคิร์ท (Likert Scale) เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่จะนำมาแก้ไข ซึ่งพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง ได้แก่ อุณหภูมิทำความสะอาด ความเป็นกรดด่าง (pH) ของฟอสเฟต และอุณหภูมิของฟอสเฟต จากนั้นปรับปรุงโดยหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยโดยการออกแบบการทดลอง หลังจากหาค่าที่เหมาะสมได้แล้ว ทำการทดสอบยืนยันผลและกำหนดแผนควบคุมและมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานใหม่ในระยะติดตามควบคุม เมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานก่อนที่จะพ่นสี พบว่าของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีลอกและสีพองลดลง โดยพิจารณาได้จากที่กระบวนการมีระดับคุณภาพซิกมาเพิ่มขึ้นจาก 3.3 เป็น 4.5 ซึ่งแสดงถึงกระบวนการพ่นสีโช้คอัพรถยนต์มีคุณภาพมากขึ้นและมีความแปรปรวนภายในกระบวนการลดลง

บทที่ 3
การนิยามปัญหา

ระยะการนิยามปัญหานั้นเป็นการจัดตั้งคณะทำงานเพื่อแก้ไขปัญหา ศึกษาขั้นตอนการทำงานของกระบวนการพ่นสีและแผนภาพการผลิต และรวบรวมข้อมูลข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิพาเรโต แล้วทำการกำหนดข้อบกพร่องหลักที่จะเลือกนำมาทำการปรับปรุง

3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน

ในการจัดตั้งคณะทำงานนั้นมีส่วนสำคัญที่จะช่วยแก้ไขปัญหา และปรับปรุงเพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยคณะทำงานจะมาจากผู้มีความรู้และเชี่ยวชาญในกระบวนการพ่นสี โดยคณะทำงานมีหน้าที่หลัก คือ นำความรู้และประสบการณ์มาใช้ในการระดมสมอง เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่น่าจะเป็น หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์คัดเลือกสาเหตุและหาปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ และดำเนินการปรับปรุงกระบวนการ เพื่อลดข้อบกพร่องและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการซ่อม ซึ่งคณะทำงานประกอบด้วย

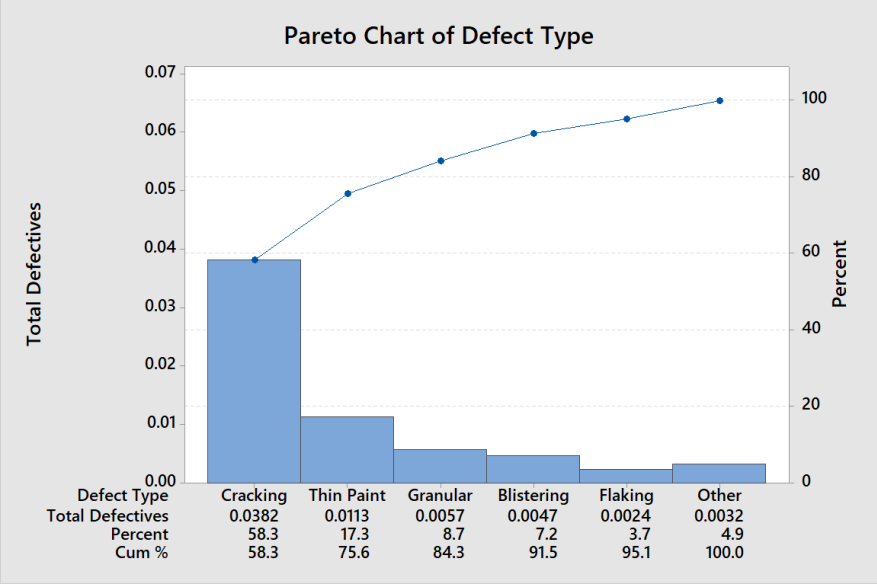
- หัวหน้าฝ่ายการผลิต (Production Department Head)
- หัวหน้าฝ่ายสี (Painting Section Head)
- หัวหน้าวิศวกร (Chief Engineer)
- วิศวกร (Senior Engineer)
- ผู้ดูแล (Supervisor)
- หัวหน้าคนงาน (Foreman)
- ผู้วิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

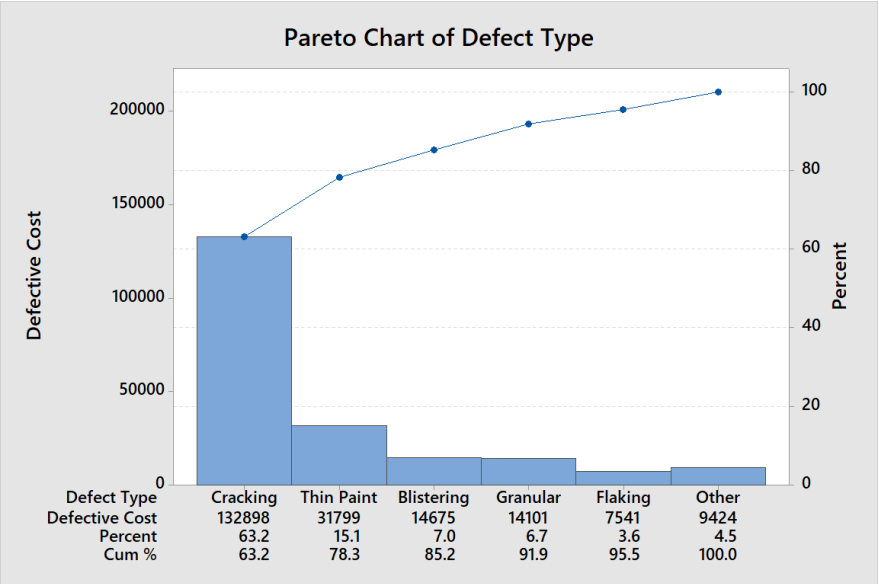
3.2 สภาพปัญหาปัจจุบัน

จากการศึกษากระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 พบว่ามีข้อพร่องเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ข้อพร่องประเภทสีแตก ทำให้เกิดเป็นของเสีย จึงทำให้เกิดการสูญเสียในด้านต่าง ๆ ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนเครื่องจักร และเวลา อีกทั้งเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภทต่าง ๆ จากกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1 พบว่า สัดส่วนของเสียที่มากเป็นอันดับหนึ่ง คือ สีแตก (Cracking Paint) โดยมีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 3.82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคิดเป็น 58.3 เปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนของเสียทั้งหมด และเมื่อพิจารณาข้อมูลค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องจากกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.2 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องประเภทสีแตก มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมเป็นอันดับหนึ่ง คือ 132,898 บาท ในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม ซึ่งคิดเป็น 63.2 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องทั้งหมด ดังนั้นจึงเลือกข้อบกพร่องประเภทสีแตกมาทำการศึกษาวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนภูมิพาเรโตสัดส่วนของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่องในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2562



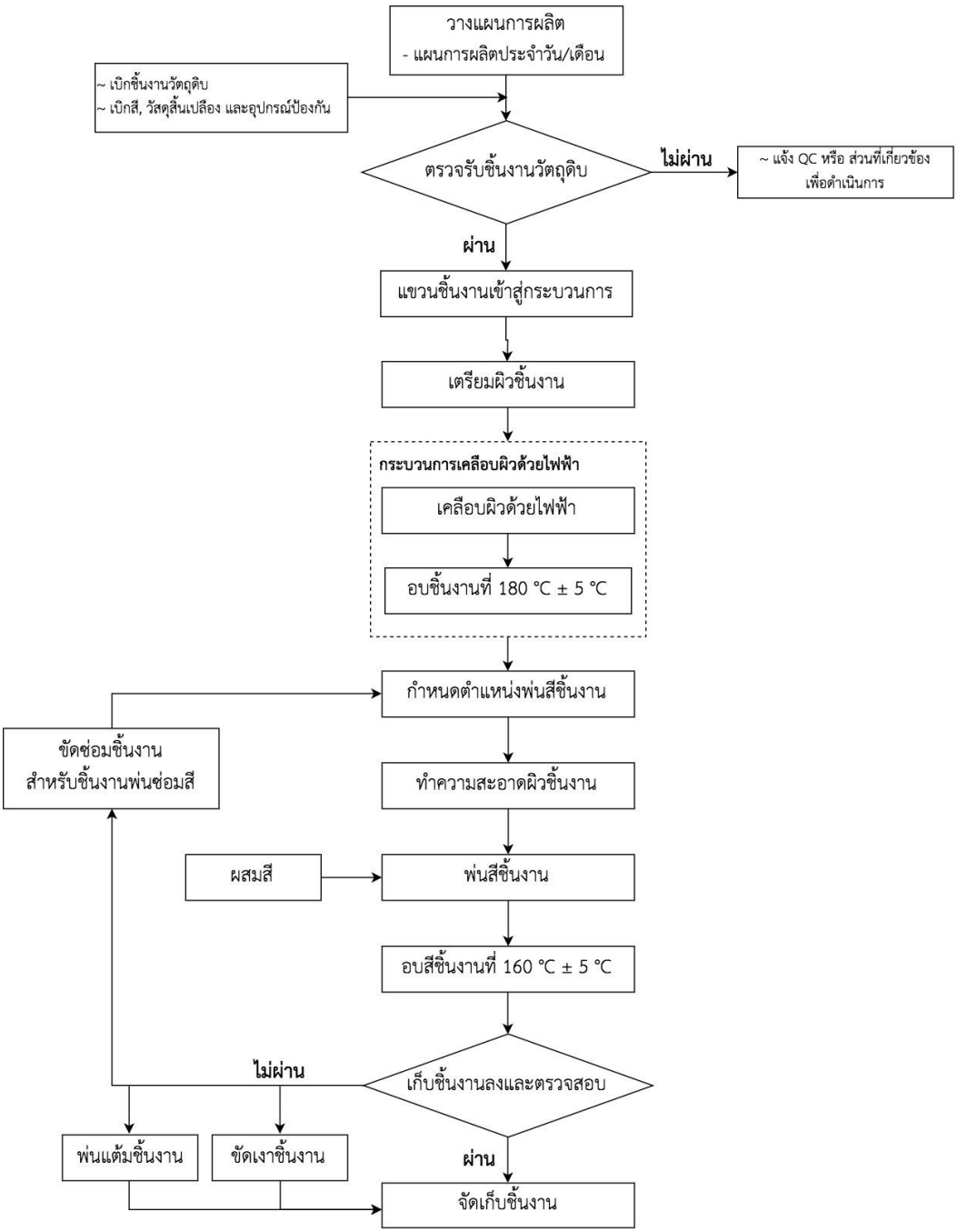
รูปที่ 3.2 แผนภูมิพาเรโตค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2562

3.3 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

กระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ประกอบด้วย 12 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้ และแผนผังของกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ แสดงดังรูปที่ 3.3

1. การวางแผนการผลิต (Production Plan)
2. การตรวจรับชิ้นงานวัตถุดิบ (Receive Raw Material)
3. การแขวนชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการ (Loading on Line Conveyor)
4. กระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน (Pretreatment Process)
5. กระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electro Deposited Paint: EDP)
6. การกำหนดตำแหน่งพ่นสีชิ้นงาน (Masking)
7. การทำความสะอาดผิวชิ้นงาน (Cleaning)
8. กระบวนการพ่นสี (Coating)
9. การอบสีชิ้นงาน (Baking)
10. การเก็บชิ้นงานลงและตรวจสอบ
11. การจัดเก็บชิ้นงานสมบูรณ์และการส่งมอบ
12. การตรวจสอบคุณภาพสี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนของกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์

กระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์ ในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. การวางแผนการผลิต (Production Plan)

หัวหน้างานฝ่ายผลิตหรือผู้รับผิดชอบรับแผนการผลิตประจำวัน/เดือน จากฝ่ายวางแผนการผลิต เพื่อจัดลำดับของการผลิต

2. การตรวจรับชิ้นงานวัตถุดิบ (Receive Raw Material)

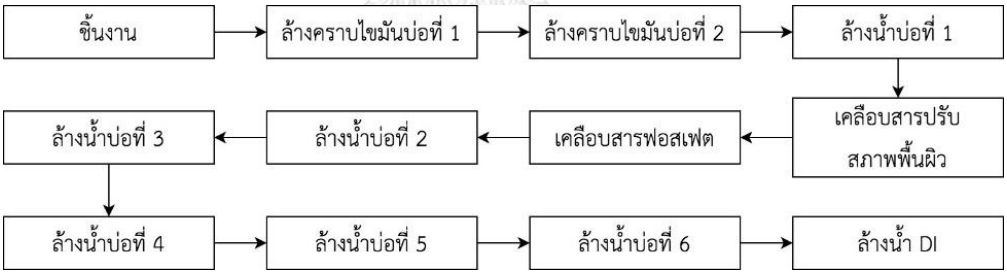
ทำการเบิกชิ้นงานวัตถุดิบตามแผนการผลิตจากหน่วยงานที่รับผิดชอบ และทำการตรวจสอบทั้งจำนวนและคุณภาพของชิ้นงานวัตถุดิบก่อนส่งเข้ากระบวนการผลิต โดยชิ้นงานต้องไม่มีคราบสนิม แนวขัดลึก รอยบุบ รอยจากปากกา เม็ดเชื่อม และรอยลึกหรือนูนบนผิวชิ้นงาน

3. การแขวนชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการ (Loading on Line Conveyor)

ตรวจสอบจำนวนชิ้นงานวัตถุดิบให้ครบตามจำนวนในกระดานควบคุมการผลิต จากนั้นทำการแขวนชิ้นงาน โดยจิ๊ก (Jig) ที่ใช้ในการแขวนชิ้นงานต้องต้องมีสีเกาะหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร จากนั้นแขวนป้ายบอกชื่อสีและลำดับของการผลิตที่ไม้แขวนหลัก (Main Hanger) นำหน้ากลุ่มชิ้นงานกลุ่มสีนั้น

4. กระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน (Pretreatment Process)

การเตรียมผิวชิ้นงาน คือ กระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานวัตถุดิบ โดยกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน มีขั้นตอน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนในกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน

4.1 ล้างคราบไขมันบ่อที่ 1 (Degreasing 1)

ล้างคราบไขมันบนผิวชิ้นงานด้วยสารเคมีล้างคราบไขมัน และตั้งค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการล้าง ความดัน เวลาในการล้าง และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ตามมาตรฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบค่าฟรีอัลคาไลน์ (F.AL) ให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้

4.2 ล้างคราบไขมันบ่อที่ 2 (Degreasing 2)

ล้างคราบไขมันบนผิวชิ้นงานด้วยสารเคมีล้างคราบไขมัน และตั้งค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการล้าง ความดัน เวลาในการล้าง และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ตามมาตรฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบค่าฟรีอัลคาไลน์ (F.AL) ให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้

4.3 ล้างน้ำบ่อที่ 1 (Water Rinse 1)

ล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานด้วยน้ำรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis: RO) ซึ่งเป็นระบบน้ำล้น (Over Flow) และตั้งค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการล้าง ความดัน และเวลาในการล้างตามมาตรฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบค่าความนำไฟฟ้า (Electricity Conductivity: EC) ให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้

4.4 เคลือบสารปรับสภาพพื้นผิว (Surfacing Condition)

เคลือบสารปรับสภาพพื้นผิวชิ้นงาน โดยตั้งค่าอุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการล้าง ตามมาตรฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และค่า Contaminate (T.C.) ให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้

4.5 เคลือบสารฟอสเฟต (Phosphating)

เคลือบสารฟอสเฟตบนผิวชิ้นงาน โดยตั้งค่าอุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการล้างตามมาตรฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบค่า T.A. ค่า F.A และค่า A.C ให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้

4.6 ล้างน้ำบ่อที่ 2 (Water Rinse 2)

ล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานด้วยน้ำรีเวอร์สออสโมซิส โดยตั้งค่าอุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการล้างตามมาตรฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบค่า Contaminate ให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้

4.7 ล้างน้ำบ่อที่ 3 (Water Rinse 3)

ล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานด้วยน้ำรีเวอร์สออสโมซิส โดยตั้งค่าอุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการล้างตามมาตรฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.8 ล้างน้ำบ่อที่ 4 (Water rinse 4)

ล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานด้วยน้ำรีเวอร์สออสโมซิส โดยตั้งค่าอุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการล้างตามมาตรฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบค่า Contaminate ให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้

4.9 ล้างน้ำบ่อที่ 5 (Water rinse 5)

ล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานด้วยน้ำรีเวอร์สออสโมซิส โดยตั้งค่าอุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการล้างตามมาตรฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบค่า Contaminate ให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้

4.10 ล้างน้ำบ่อที่ 6 (Water rinse 6)

ล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานด้วยน้ำรีเวอร์สออสโมซิส โดยเป็นการจุ่มล้าง โดยตั้งค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการล้าง และความดันตามมาตรฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบค่าความนำไฟฟ้าให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้

4.11 ล้างน้ำ DI (Deionized water rinse)

ล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานด้วยน้ำดีไอ (Deionized: DI) ซึ่งเป็นระบบน้ำล้น โดยตั้งค่าอุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการล้างตามมาตรฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบค่าความนำไฟฟ้าให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้

5. กระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electro Deposited Paint: EDP)

หลังจากชิ้นงานผ่านการเตรียมผิว ชิ้นงานทั้งหมดจะผ่านกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าก่อนเข้าสู่กระบวนการพ่นสีห้องสีชั้นล่าง (Undercoat) และสีทับหน้า (Topcoat) โดยชิ้นงานจะจุ่มลงในสี ED ที่อุณหภูมิ ความดันฟิลเตอร์ และแรงดันไฟฟ้าตามมาตรฐาน เมื่อเคลือบสี ED เสร็จ จะทำการล้างทำความสะอาดคราบสี ED ให้ออกจากชิ้นงานที่บ่ออัลตราฟิลเตรชัน (Ultra filtration: UF) ที่ 1 2 และ 3 โดยใช้ค่าความนำไฟฟ้าตามมาตรฐาน จากนั้นทำการเป่าสี ED ก่อนเข้าเตาอบ เพื่อไม่ให้มีสี ED ขังตามซอกชิ้นงาน จากนั้นอบแห้งชิ้นงานโดยนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิตามมาตรฐาน

6. การกำหนดตำแหน่งพ่นสีชิ้นงาน (Masking)

สำหรับชิ้นงานที่ต้องกำหนดตำแหน่งพ่นสีชิ้นงาน ให้พนักงานจุดทำความสะอาดนำอุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง (Masking jig) ติดบนชิ้นงาน โดยชิ้นงานต้องไม่มีเม็ดเชื่อม สีไหล คราบสนิม และไม่มีรอยขัดถึงเนื้อเหล็กจากกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

7. การทำความสะอาดผิวชิ้นงาน (Cleaning)

ทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของชิ้นงาน หากพบคราบสนิมบนผิวชิ้นงาน ให้ยกชิ้นงานนั้นลงจากสายพานลำเลียงทันที หากพบเศษผงหรือฝุ่นติดบนผิวชิ้นงาน ให้ใช้ปืนลมเป่าพร้อมทั้งใช้แปรงขนอ่อนปัดเศษฝุ่นออก และหากพบชิ้นงานซึ่งมีรอยเปื้อนตกค้างจากการเตรียมผิวชิ้นงาน ให้ใช้ผ้าสะอาดชุบเบนซินขาวเช็ดบริเวณที่เปื้อน จากนั้นใช้ลมเป่า และปัดฝุ่นก่อนปล่อยเข้าพ่นสี

8. กระบวนการพ่นสี (Coating)

เริ่มจากการผสมสีกับทินเนอร์ให้ได้ความหนืดตามที่กำหนด และทำการปั่นกวนสีตลอดเวลา จากนั้นทำการพ่นสีที่ชิ้นงาน โดยเริ่มจากการพ่นสีรองพื้น (Primer) ถัดมาพ่นสีชั้นล่าง (Undercoat) และสุดท้ายพ่นสีทับหน้า (Topcoat) โดยให้มีความหนาของสีตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

9. การอบสีชิ้นงาน (Baking)

หลังจากชิ้นงานผ่านการพ่นสี จากนั้นอบแห้งชิ้นงานโดยนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิและเวลาตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

10. การเก็บชิ้นงานลงและตรวจสอบ

ทำการตรวจสอบชิ้นงานสำเร็จรูปทุกชิ้น หากชิ้นงานไม่เป็นไปตามข้อกำหนดให้จัดแยกชิ้นงานที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และดำเนินการซ่อมแก้ไขตามวิธีการซ่อมในแต่ละประเภทของปัญหา

11. การจัดเก็บชิ้นงานสมบูรณ์และการส่งมอบ

จัดเก็บชิ้นงานสมบูรณ์ที่ถูกจัดส่งมาจากจุดเก็บชิ้นงานลง ทำการจัดเก็บชิ้นงานตามพื้นที่ที่กำหนดไว้ หากพบว่าจำนวนชิ้นงานไม่ครบตามแผนการผลิตหรือชิ้นงานมีปัญหาด้านคุณภาพ ให้ทำการแจ้งหัวหน้างานผู้รับผิดชอบทำการแก้ไขต่อไป

12. การตรวจสอบคุณภาพสี

เมื่อมีการเปลี่ยนล็อตการผลิตของสีใหม่ หัวหน้างานหรือผู้ที่ได้รับมอบหมายในหน่วยงานจะต้องรับแผ่นล็อตสีล็อตใหม่ จากผู้นำส่งสีของบริษัทสีและจะต้องทำการตรวจสอบแผ่นล็อตสี เทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน หากไม่ผ่านการตรวจสอบให้แจ้งพนักงานสำนักงานฝ่ายวิศวกรรมการผลิตหรือผู้ที่ได้รับมอบหมายทำการสุ่มทดสอบสีอีกครั้งหนึ่ง หากไม่ผ่านให้ทำเอกสารขอส่งคืนสีนั้นคืนให้แก่ผู้ผลิตสี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4 การกำหนดตัวชี้วัดและเป้าหมาย

ปัญหาที่จะดำเนินการปรับปรุง คือ ของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกของผลิตภัณฑ์ โดยมีเป้าหมายในการแก้ไข คือ ทำการปรับปรุงให้มีสัดส่วนของเสียลดลงจากเดิม 50 เปอร์เซ็นต์ โดยจะใช้ตัวชี้วัด คือ เปอร์เซ็นต์ของเสีย ซึ่งเป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของเสียกับปริมาณที่ผลิตทั้งหมด ในการวัดปริมาณของเสีย เพื่อแสดงปริมาณของเสียจากกระบวนการพ่นสี และอีกตัวชี้วัด คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น โดยแต่ละตัวชี้วัดมีวิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของเสีย} = \frac{\text{ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น}}{\text{ปริมาณที่ผลิตทั้งหมด}} \times 100$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการซ่อมต่อชิ้นงาน} = (\text{ค่าสี} + \text{ค่าทินเนอร์} + \text{ค่าแรงงาน}) \times \text{ปริมาณของเสีย}$$

โดยที่

ค่าสี เท่ากับ 454 บาทต่อกิโลกรัม

ค่าทินเนอร์ เท่ากับ 761 บาทต่อกิโลกรัม

ค่าแรงงาน เท่ากับ 160 บาทต่อชั่วโมง

3.5 การสร้างสัญญาโครงการ (Project Charter)

<table>
<tr><th colspan="2">Project Charter</th></tr>
<tr><td colspan="2">Project Title: การลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์</td></tr>
<tr><td>Business Case:
มีสัดส่วนของเสียสูงจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ส่งผลกระทบให้มีต้นทุนของเสียสูงขึ้น และผลกำไรของโรงงานลดลง</td><td rowspan="2">Project Constraints:
1. สมาชิกในทีมมีเวลาให้โครงการ 10 ชั่วโมงต่อสัปดาห์
2. ต้องวางแผนการทดลองไม่ให้กระทบกับการผลิตจริง
3. มีของเสียเกิดขึ้นจากการทำการทดลอง

Project Assumptions:
1. ได้รับการสนับสนุนในการดำเนินโครงการจากผู้บริหารระดับสูงในโรงงาน
2. ทางทีมงานกับผู้บริหารระดับสูงจะทำการประชุมเกี่ยวกับโครงการนี้เดือนละสองครั้ง เพื่อที่จะปรึกษาและหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น</td></tr>
<tr><td>Problem Statement:
ในกระบวนการพ่นสีของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ พบว่ามีสัดส่วนของเสียสูง ซึ่งของเสียส่วนใหญ่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตก โดยมีสัดส่วนของเกิดขึ้น 3.82 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต ส่งผลให้ในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคมมีต้นทุนของเสียสูงถึง 132,898 บาท</td></tr>
<tr><td>Objective Statement:
ปรับปรุงกระบวนการพ่นสี เพื่อลดการเกิดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ให้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ภายในเดือนมิถุนายน 2564</td><td>Team Members:
โสรัช หัวหน้าฝ่ายการผลิต
รัสรินทร์ หัวหน้าฝ่ายสี</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2">Project Charter</td></tr>
<tr><td colspan="2">Project Title: การลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์</td></tr>
<tr><td>Project Metrics:
Business Metric: ความพึงพอใจของผู้บริหาร
Primary Metric: สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์
Secondary Metric: พื้นที่จัดเก็บของเสีย
Consequential Metric: รอบเวลาในการผลิต
Financial Metric: ต้นทุนของเสีย</td><td>อนันตการ หัวหน้าวิศวกร
วีระวัฒน์ วิศวกร
สันติ ผู้ดูแล
นิคม หัวหน้าคนงาน
ชนิกานต์ ผู้วิจัย</td></tr>
<tr><td>Project Scope:
ศึกษาและปรับปรุงกระบวนการพ่นสี เฉพาะแผนกพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่เป็นเหล็ก</td><td>Project Timeline:
ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินโครงการ
<u>ตั้งแต่ 1 มกราคม 2563 ถึง 30 มิถุนายน 2564</u>
<table>
<tr><th>Phase</th><th>เริ่มต้น</th><th>สิ้นสุด</th></tr>
<tr><td>Define</td><td>1 ม.ค. 63</td><td>31 มิ.ย. 63</td></tr>
<tr><td>Measure</td><td>1 ก.ค. 63</td><td>30 ก.ย. 63</td></tr>
<tr><td>Analysis</td><td>1 ต.ค. 63</td><td>31 ธ.ค. 64</td></tr>
<tr><td>Improve</td><td>1 ม.ค. 64</td><td>31 พ.ค. 64</td></tr>
<tr><td>Control</td><td>1 มิ.ย. 64</td><td>30 มิ.ย. 64</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

3.6 สรุประยะนิยามปัญหา

ในระยะการนิยามปัญหา ได้ทำการจัดตั้งคณะทำงาน แล้วศึกษากระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์ จากนั้นรวบรวมข้อมูลสัดส่วนของเสียและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์จากกระบวนการพ่นสีของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 สรุปได้ว่า ของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกของผลิตภัณฑ์ ควรได้รับการปรับปรุงเนื่องจากมีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้น 3.82 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณการผลิต คิดเป็น 58.3 เปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนของเสียทั้งหมด และมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องสูงสุดถึง 132,898 บาท ซึ่งถ้าแก้ปัญหาข้อบกพร่องนี้ได้ ก็จะสามารถลดจำนวนของเสียส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นได้

บทที่ 4
การวัดสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง

ระยะการวัดเพื่ออธิบายสภาพปัญหานั้น ประกอบด้วยการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งการวัดที่ขาดทักษะความชำนาญ นั้นเป็นสาเหตุทำให้เกิดความผันแปรในระบบการวัดทำให้ผลที่ออกมาไม่ถูกต้อง (ไม่แม่น) และไม่เที่ยง และไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้ จึงต้องทำการวิเคราะห์ทดสอบแล้วปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ได้ผลที่ออกมาอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จากนั้นคำนวณขนาดตัวอย่าง เพื่อใช้วัดสภาพปัญหา และสรุปค่าตัวชี้วัดสภาพปัญหา

4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด (Attribute Agreement Analysis)

ในงานวิจัยนี้ตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาเป็นตัวแปรที่มีลักษณะเชิงคุณลักษณะ (Attribute Characteristic) คือ ผ่าน (Good: G) หรือไม่ผ่าน (No Good: NG) ยอมรับหรือปฏิเสธ ซึ่งเป็นข้อมูลประเภทการนับหรือข้อมูลที่มีการประเมินแบบคุณลักษณะ (Attribute Data) โดยประเมินผลเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะจึงทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ ซึ่งจะทำทั้งการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์มีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ทำการคัดเลือกผู้ชำนาญการที่มีความสามารถในการแยกแยะ และตัดสินว่าข้อบกพร่องที่พบเป็นข้อบกพร่องตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการตรวจสอบหรือไม่ โดยจำนวนชิ้นงานที่ต้องใช้ในการทดสอบและจำนวนการทดลอง อ้างอิงจากเกณฑ์ของ Fasser and Brettner, 1992 แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่าง ที่ต่ำที่สุด	จำนวนทดลองซ้ำ ที่ต่ำที่สุด
1	24	5
2	18	4
มากกว่าหรือเท่ากับ 3	12	3

2. คัดเลือกชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์พ่นสีจำนวน 20 ชิ้น เพื่อเป็นกลุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบ ซึ่งในการคัดเลือกตัวอย่างชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ 20 ชิ้น จะต้องมีสีเดียวกันทั้งหมด และจะต้องเป็นรถจักรยานยนต์ที่มีทั้งข้อบกพร่องที่ผ่านมาตรฐาน และไม่ผ่านมาตรฐานการตรวจสอบ

3. ทำการสุ่มเรียกผู้ชำนาญการมาทำการตรวจสอบชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่คัดเลือกมาทั้ง 20 ชิ้น แล้วบันทึกผลการตรวจสอบว่าพบข้อบกพร่องประเภทสีแตกหรือไม่

4. ทำการสุ่มเรียกพนักงานตรวจสอบทั้งหมด 3 คน มาทำการตรวจสอบชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่คัดเลือกมาทั้ง 20 ชิ้น แล้วบันทึกผลการตรวจสอบว่าพบข้อบกพร่องประเภทสีแตกหรือไม่ โดยทำการตรวจสอบซ้ำคันละ 3 ครั้ง (อ้างอิงเกณฑ์ของ Fasser and Brettner, 1992 แสดงดังตารางที่ 4.1) และในการตรวจสอบในแต่ละครั้งของพนักงานแต่ละคน ให้ลำดับชิ้นงานในการนำมาตรวจสอบเป็นแบบสุ่ม โดยไม่ให้พนักงานทราบว่าเป็นชิ้นงานชิ้นใด เมื่อตรวจสอบครบหนึ่งรอบแล้ว ในรอบต่อไปให้กำหนดลำดับในการตรวจสอบชิ้นงานเป็นแบบสุ่มอีกเช่นกัน แล้วบันทึกผลการตรวจสอบ

5. เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบ และนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด เพื่อให้ทราบถึงความสามารถของพนักงานและระบบการวัด ในการประเมินผลจะประกอบไปด้วย

1. <u>การวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบแต่ละคน</u>

    1.1 ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Appraiser Score)

    1.2 ความถูกต้องของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน ได้แก่

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

2. <u>การวิเคราะห์ระหว่างพนักงานตรวจสอบ</u>

    2.1 ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน (%Screen Effective Score (Reproducibility))

    2.2 การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน (%Attribute Screen Effective Score)

โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินผลความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด จะอ้างอิงจาก Automotive Industry Action Group (AIAG) โดยมีรายละเอียดของการประเมิน แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การตัดสินใจในการยอมรับของระบบการวัด

การวิเคราะห์	ดัชนีชี้วัด	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%	ไม่สามารถให้การยอมรับได้ (ต้องการการปรับปรุง)
	- ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False Alarm Index: I_{FA})	≤ 5%	ยอมรับพนักงานตรวจสอบได้
		≤ 10%	ยอมรับแบบก้ำกึ่ง (อาจจำเป็นต่อการปรับปรุง)
		> 10%	ไม่สามารถให้การยอมรับได้ (ต้องการการปรับปรุง)
	- ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (Index of a Miss: I_{MISS})	≤ 2%	ยอมรับพนักงานตรวจสอบได้
		≤ 5%	ยอมรับแบบก้ำกึ่ง (อาจจำเป็นต่อการปรับปรุง)
		> 5%	ไม่สามารถให้การยอมรับได้ (ต้องการการปรับปรุง)
การวิเคราะห์ระหว่างพนักงานตรวจสอบ	ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน (% Screen Effective Score (Reproducibility))	≥ 80%	ยอมรับพนักงานตรวจสอบได้
	ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน (%Attribute Screen Effective Score)	≥ 80%	ยอมรับพนักงานตรวจสอบได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด ได้ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด

ชิ้นที่	พนักงานตรวจสอบ คนที่ 1			พนักงานตรวจสอบ คนที่ 2			พนักงานตรวจสอบ คนที่ 3			คุณภาพที่แท้จริง	ตรวจสอบได้เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน	ตรวจสอบพบข้อบกพร่องได้ถูกต้องทุกคน
	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	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	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
5	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	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	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	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	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	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	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
18	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
19	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
20	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y

G หมายถึง คุณภาพของชิ้นงานผ่านมาตรฐาน

NG หมายถึง คุณภาพของชิ้นงานไม่ผ่านมาตรฐาน

Y หมายถึง ตรวจสอบได้เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน หรือตรวจสอบพบข้อบกพร่องได้ถูกต้องทุกคน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

N หมายถึง ตรวจสอบได้ไม่เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน หรือตรวจสอบพบข้อบกพร่องได้ไม่ถูกต้องทุกคน

เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 4.3 มาคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินระบบการวัด ซึ่งได้ค่าดัชนีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. <u>การวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน</u>

1.1 ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Appraiser Score)

$$\%\text{รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 1} = \frac{20}{20} = 1 = 100\%$$

$$\%\text{รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 2} = \frac{20}{20} = 1 = 100\%$$

$$\%\text{รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 3} = \frac{20}{20} = 1 = 100\%$$

1.2 ความถูกต้องของการวัดของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน

1.2.1 ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Attribute Score)

$$\%\text{รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 1} = \frac{20}{20} = 1 = 100\%$$

$$\%\text{รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 2} = \frac{20}{20} = 1 = 100\%$$

$$\%\text{รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 3} = \frac{20}{20} = 1 = 100\%$$

1.2.2 ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน (Operator Effectiveness Index: O_E)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$O_E \text{ ของพนักงานคนที่ 1} = \frac{60}{20\times3} = 1 = 100\%$$

$$O_E \text{ ของพนักงานคนที่ 2} = \frac{60}{20\times3} = 1 = 100\%$$

$$O_E \text{ ของพนักงานคนที่ 3} = \frac{60}{20\times3} = 1 = 100\%$$

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

$$I_{FA} \text{ ของพนักงานคนที่ 1} = \frac{0}{10\times3} = 0 = 0\%$$

$$I_{FA} \text{ ของพนักงานคนที่ 2} = \frac{0}{10\times3} = 0 = 0\%$$

$$I_{FA} \text{ ของพนักงานคนที่ 3} = \frac{0}{10\times3} = 0 = 0\%$$

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

I_{MISS} ของพนักงานคนที่ 1 $= \frac{0}{10\times3} = 0 = 0\%$

I_{MISS} ของพนักงานคนที่ 2 $= \frac{0}{10\times3} = 0 = 0\%$

I_{MISS} ของพนักงานคนที่ 3 $= \frac{0}{10\times3} = 0 = 0\%$

2. <u>การวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน</u>

2.1 การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน

%ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ $= \frac{20}{20} = 1 = 100\%$

2.2 การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน

%คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์ $= \frac{20}{20} = 1 = 100\%$

ผลสรุปของค่าดัชนีชี้วัดระบบการวัดของข้อมูล แสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลสรุปของค่าดัชนีชี้วัดของระบบการวัดของข้อมูลตัวอย่าง

ดัชนีชี้วัด	**พนักงานตรวจสอบ คนที่ 1**	**พนักงานตรวจสอบ คนที่ 2**	**พนักงานตรวจสอบ คนที่ 3**
ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Appraiser Score)	100%	100%	100%
ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Attribute Score)	100%	100%	100%
ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน (O_E)	100%	100%	100%
ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (I_{FA})	0%	0%	0%
ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (I_{MISS})	0%	0%	0%
ความพ้องกันของค่าวัด	100%		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดัชนีชี้วัด	พนักงานตรวจสอบ คนที่ 1	พนักงานตรวจสอบ คนที่ 2	พนักงานตรวจสอบ คนที่ 3
ระหว่างพนักงาน (%Screen Effective Score)			
ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน (%Attribute Screen Effective Score)	100%		

จากการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน พบว่าพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทสีแตก โดยมีค่า $O_E \geq 90\%$ $I_{FA} \leq 5\%$ และ $I_{MISS} \leq 2\%$ แสดงว่า ความมีประสิทธิผลของพนักงานอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ ในส่วนของการปฏิเสธอย่างผิดพลาด (การปฏิเสธของดี) พบว่าสามารถให้การยอมรับได้ และการยอมรับอย่างผิดพลาด (การยอมรับของเสีย) อยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ ส่วนของการวิเคราะห์ระหว่างพนักงานโดยเป็นการมองทั้งระบบการวัด พบว่าค่าความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงานและค่าความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงานมีค่าเท่ากันซึ่งเท่ากับ 100% ดังนั้น ระบบการวัดจึงมีความน่าเชื่อถือได้ จึงพิจารณาให้ปัจจัยที่เกิดจากการวัดไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 คำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้วัดสภาพปัญหา

จากการเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียที่เกิดจากกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์ในเดือนมิถุนายนถึงเดือนธันวาคม 2563 พบว่า มีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้น 3.71% จากปริมาณการผลิต 45,926 ชิ้น จากนั้นคำนวณว่าขนาดตัวอย่างนี้เพียงพอหรือไม่ ในการนำมาประมาณค่าสัดส่วน โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95% และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง (e) เท่ากับ 0.005 คำนวณได้จากสมการที่ 4.1

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

โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่าง

N คือ ขนาดประชากร

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

p คือ สัดส่วนของลักษณะที่สนใจของประชากร
ซึ่งในงานวิจัยนี้ หมายถึงสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทสีแตก

q คือ สัดส่วนของลักษณะที่ไม่สนใจของประชากร

e คือ ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง

<u>คำนวณขนาดตัวอย่าง</u>

- กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% จะได้ว่า ค่า $Z_{\alpha/2} = Z_{0.05/2} = Z_{0.025}$ = 1.96
- กำหนดค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง (e) เท่ากับ 0.005
- แทนค่าในสมการ

$$n = \frac{(1.96)^2(0.0371)(0.9629)}{(0.005)^2} = 5,489.23 = 5,490 \text{ ชิ้น}$$

ดังนั้น ถ้าต้องการประมาณค่าสัดส่วน ต้องเก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อยเท่ากับ 5,490 ชิ้น ซึ่งในกรณีนี้จำนวนข้อมูลที่มีอยู่มีค่ามากกว่าที่ต้องการ จึงไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพิ่มและสามารถใช้ข้อมูลทั้ง 45,926 ชิ้น ในการประมาณค่าสัดส่วนได้ และเมื่อใช้ข้อมูลทั้ง 45,926 ชิ้น มาคำนวณค่าความผิดพลาด จะได้ค่าเท่ากับ 0.002 ซึ่งช่วงความเชื่อมั่นอยู่ที่ 3.51% ถึง 3.91%

4.3 สรุปค่าตัวชี้วัดสภาพปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน พบว่าพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทสีแตก โดยมีค่า $O_E \geq 90\%$ $I_{FA} \leq 5\%$ และ $I_{MISS} \leq 2\%$ แสดงว่า ความมีประสิทธิผลของพนักงานอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ ในส่วนของการปฏิเสธอย่างผิดพลาด (การปฏิเสธของดี) พบว่าสามารถให้การยอมรับได้ และการยอมรับอย่างผิดพลาด (การยอมรับของเสีย) อยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ ส่วนของการวิเคราะห์ระหว่างพนักงานโดยเป็นการมองทั้งระบบการวัด พบว่าค่าความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงานและค่าความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงานมีค่าเท่ากันซึ่งเท่ากับ 100% ดังนั้น ระบบการวัดจึงมีความน่าเชื่อถือได้ จึงพิจารณาให้ปัจจัยที่เกิดจากการวัดไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

จากนั้นทำการคำนวณว่าขนาดตัวอย่างนี้เพียงพอหรือไม่ ในการนำมาประมาณค่าสัดส่วน โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95% และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง (e) เท่ากับ 0.005 โดยใช้ข้อมูลสัดส่วนของเสียที่เกิดจากกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์ในเดือนมิถุนายนถึงเดือนธันวาคม 2563 ซึ่งมีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้น 3.71% จากปริมาณการผลิต 45,926 ชิ้น จากการคำนวณขนาดตัวอย่าง พบว่า ถ้าต้องการประมาณค่าสัดส่วน ต้องเก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อยเท่ากับ 5,490 ชิ้น ซึ่งในกรณีนี้จำนวนข้อมูลที่มีอยู่มีค่ามากกว่าที่ต้องการ จึงไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพิ่มและสามารถใช้ข้อมูลทั้ง 45,926 ชิ้น ในการประมาณค่าสัดส่วนได้ และเมื่อใช้ข้อมูลทั้ง 45,926 ชิ้น มาคำนวณค่าความผิดพลาด จะได้ค่าเท่ากับ 0.002 ซึ่งช่วงความเชื่อมั่นอยู่ที่ 3.51% ถึง 3.91%

4.4 สรุประยะการวัดสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง

ในระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุ เริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) หลังจากการวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน พบว่ามีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทสีแตก โดยความมีประสิทธิผลของพนักงาน การปฏิเสธอย่างผิดพลาด (การปฏิเสธของดี) และการยอมรับอย่างผิดพลาด (การยอมรับของเสีย) อยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ ส่วนของการวิเคราะห์ระหว่างพนักงานโดยเป็นการมองทั้งระบบการวัด พบว่าค่าความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงานและค่าความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงานมีค่าเท่ากันซึ่งเท่ากับ 100% ดังนั้น ระบบการวัดจึงมีความน่าเชื่อถือได้ และเมื่อคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้วัดสภาพปัญหา พบว่า ถ้าต้องการประมาณค่าสัดส่วน ต้องเก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อยเท่ากับ 5,490 ชิ้น ซึ่งในกรณีนี้จำนวนข้อมูลที่มีอยู่มีค่ามากกว่าที่ต้องการ จึงไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพิ่มและสามารถใช้ข้อมูลทั้ง 45,926 ชิ้น ในการประมาณค่าสัดส่วนได้ ดังนั้น สามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อใช้วิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาจะเป็นการค้นหาสาเหตุหลักที่คาดว่าทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยการระดมสมองจากคณะทำงานที่มีความรู้และเชี่ยวชาญในกระบวนการพ่นสี และใช้แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัย เพื่อทำการตัดปัจจัยที่คาดว่าส่งผลน้อยออกไป โดยใช้ตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เพื่อกำหนดปัจจัยนำเข้าหลักที่อาจมีผล (Key Process Input Variable) เพื่อนำไปศึกษาและปรับปรุงต่อไป

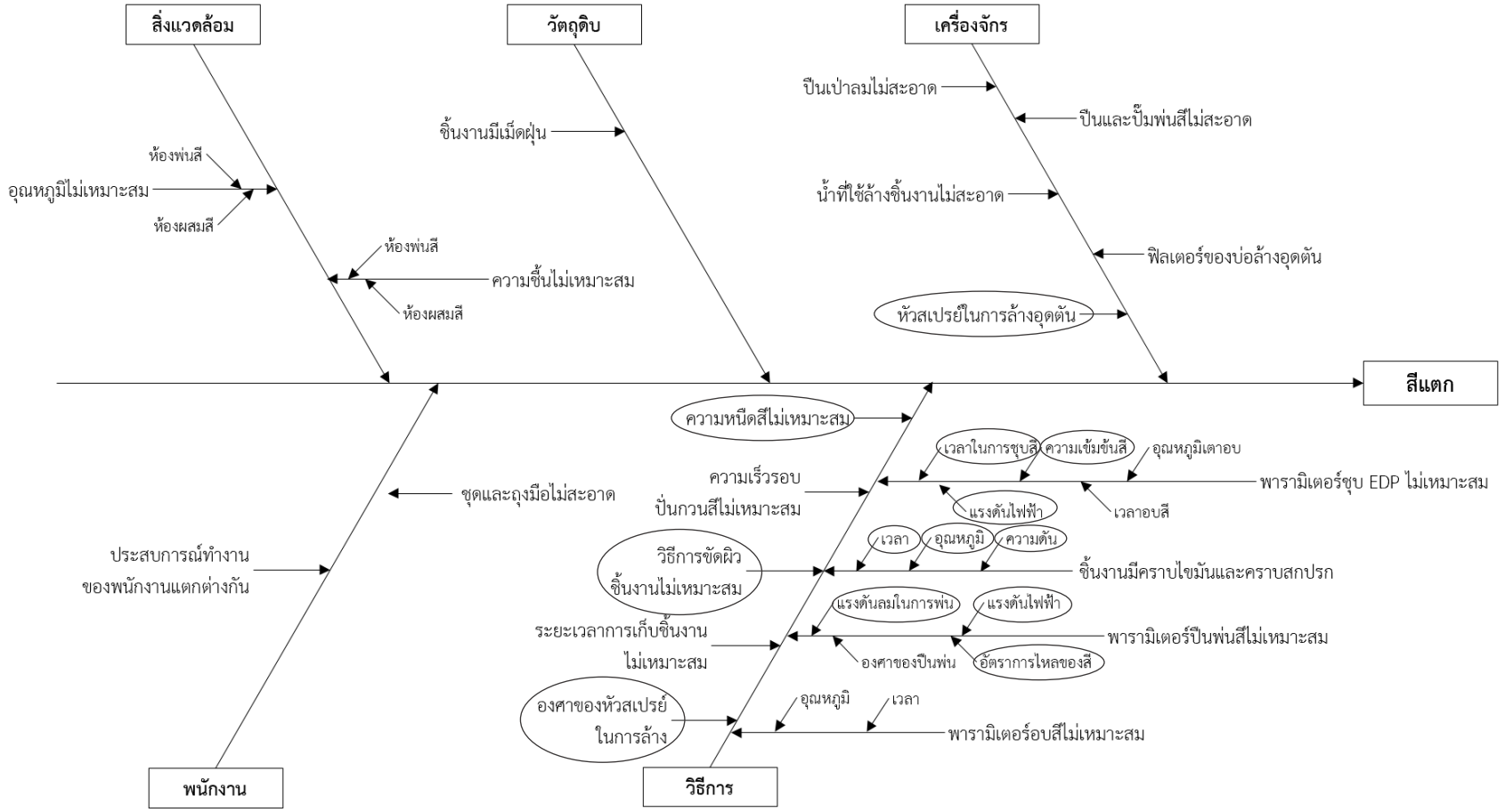
5.1 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า

ในขั้นตอนนี้จะทำการรวบรวมความคิดของคณะทำงานทั้งหมด เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะส่งผลต่อปัญหาสีแตก ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. จัดทำแผนภาพสาเหตุและผล เพื่อระดมความคิดหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตก โดยในการจัดทำจะให้คณะทำงานทุกคนได้เสนอความคิดเห็น จากนั้นจึงรวบรวมและแยกประเด็นต่าง ๆ มาจัดทำแผนภาพ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์โดยแบ่งหัวข้อหลักออกเป็น 5 กลุ่ม คือ สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man) สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine) สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material) สาเหตุจากวิธีการทำงาน (Method) และสาเหตุจากสิ่งแวดล้อม (Environment) ซึ่งปัจจัยที่เป็นไปได้ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.1

Chulalongkorn University

2. นำปัจจัยทั้งหมดที่พิจารณาโดยคณะทำงานแล้วมาให้คะแนน ซึ่งใช้หลักการของตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยในการให้คะแนนจะทำการประชุมและปรึกษาแล้วคณะทำงานจำนวน 5 คน ซึ่งประกอบด้วยวิศวกร (Senior Engineer) ผู้ดูแล (Supervisor) และหัวหน้าคนงาน (Foreman) ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการพ่นสี โดยทุกคนยอมรับคะแนนร่วมกัน จากนั้นเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยจากคะแนนที่ได้รวบรวมมา เพื่อทำการตัดปัจจัยที่ไม่ส่งผลหรือส่งผลน้อยในการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตก โดยมีการกำหนดคะแนนระดับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลแสดงดังตารางที่ 5.1 จากนั้นรวมคะแนนของแต่ละปัจจัย แสดงดังตารางที่ 5.2 หลังจากนั้นนำคะแนนที่ได้มาเรียงลำดับจากมากไปน้อย โดยใช้กราฟเพื่อที่จะทำการตัดปัจจัยที่มีคะแนนน้อยอย่างเห็นได้ชัดออกไป ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตก

ตารางที่ 5.1 เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล

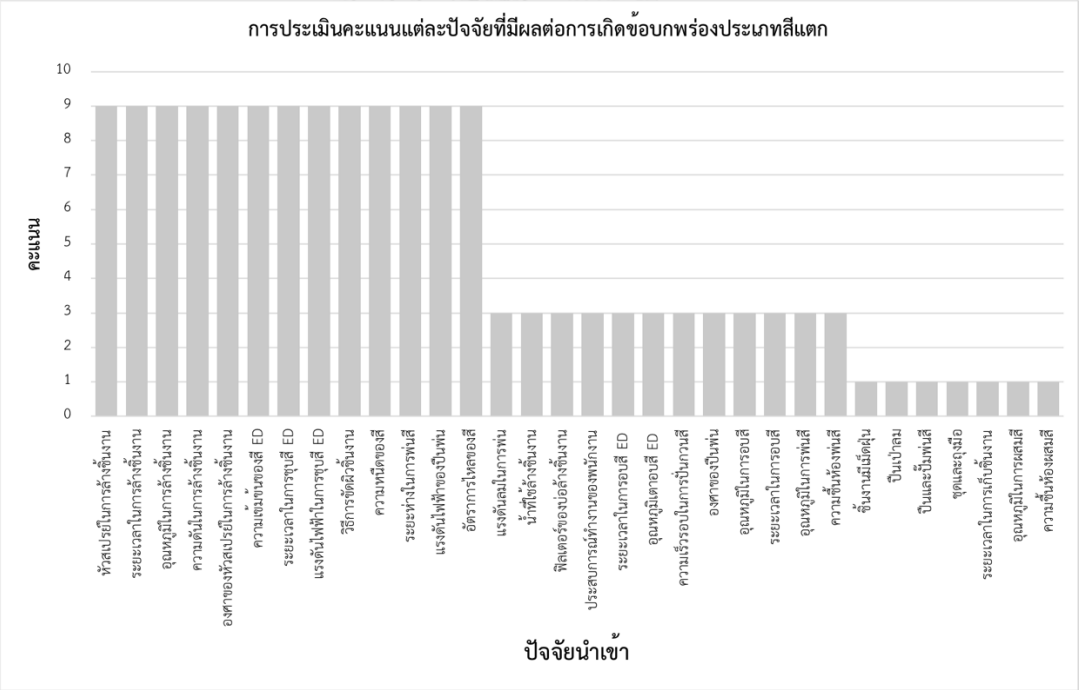
ระดับความสำคัญ	ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล	คะแนน
มาก	ปัจจัยที่มีผลมากและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องมาก	9
ปานกลาง	ปัจจัยที่มีผลปานกลางและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องปานกลาง	3
น้อย	ปัจจัยที่มีผลน้อยและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องน้อย	1
น้อยมาก	ปัจจัยที่มีผลน้อยมากและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องน้อยมาก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

ตารางที่ 5.2 คะแนนรวมของแต่ละปัจจัยนำเข้า

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า	คะแนน
1	ชิ้นงานมีเม็ดฝุ่น	1
2	หัวสเปรย์ในการล้างชิ้นงาน	9
3	น้ำที่ใช้ล้างชิ้นงาน	3
4	ฟิลเตอร์ของบ่อล้างชิ้นงาน	3
5	ปืนเป่าลม	1
6	ปืนและปั๊มพ่นสี	1
7	ประสบการณ์ทำงานของพนักงาน	3
8	ชุดและถุงมือ	1
9	ระยะเวลาในการล้างชิ้นงาน	9
10	อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน	9
11	ความดันในการล้างชิ้นงาน	9
12	องศาของหัวสเปรย์ในการล้างชิ้นงาน	9
13	ระยะเวลาในการอบสี ED	3
14	อุณหภูมิเตาอบสี ED	3
15	ความเข้มข้นของสี ED	9
16	ระยะเวลาในการชุบสี ED	9
17	แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED	9
18	วิธีการขัดผิวชิ้นงาน	9
19	ความหนืดของสี	9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า	คะแนน
20	ความเร็วรอบในการปั่นกวนสี	3
21	ระยะห่างในการพ่นสี	9
22	แรงดันลมในการพ่น	3
23	แรงดันไฟฟ้าของปืนพ่น	9
24	องศาของปืนพ่น	3
25	อัตราการไหลของสี	9
26	อุณหภูมิในการอบสี	3
27	ระยะเวลาในการอบสี	3
28	ระยะเวลาในการเก็บชิ้นงาน	1
29	อุณหภูมิในการผสมสี	1
30	ความชื้นห้องผสมสี	1
31	อุณหภูมิในการพ่นสี	3
32	ความชื้นห้องพ่นสี	3



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงลำดับคะแนนของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทสีแตก

จากกราฟแสดงลำดับคะแนนของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทสีแตก พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกที่มีคะแนนสูง มีทั้งหมด 13 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยจะส่งผลกระทบ ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลกระทบของแต่ละปัจจัย

ลำดับที่	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้า	วิธีการปฏิบัติงาน	ผลกระทบ
1	กระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน	หัวสเปรย์ในการล้างชิ้นงาน	พนักงาน	พนักงานไม่ทำการตรวจสอบและเปลี่ยนหัวสเปรย์ตามระยะเวลาที่กำหนด หรือกำหนดระยะเวลาในการตรวจสอบหัวสเปรย์ไม่เหมาะสม ทำให้หัวสเปรย์ในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานอุดตัน ส่งผลให้ล้างชิ้นงานไม่สะอาด ทำให้เกิดข้อบกพร่องได้
2		ระยะเวลาในการล้างชิ้นงาน	เครื่องจักร	ระยะเวลาในการล้างชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับความเร็วของสายพาน ซึ่งถ้าตั้งความเร็วสายพานเร็วเกินไปจะทำให้ระยะเวลาในการล้างชิ้นงานน้อยลง ส่งผลให้ล้างชิ้นงานไม่สะอาด ทำให้เกิดข้อบกพร่องได้
3		อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน	พนักงาน/เครื่องจักร	การตั้งค่าอุณหภูมิ และความดันในการล้างแต่ละครั้งอาจจะไม่เท่ากัน หรือไม่ตรงตามมาตรฐาน ทำให้เกิดความผันแปรในกระบวนการ ส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องได้
4		ความดันในการล้างชิ้นงาน	พนักงาน/เครื่องจักร	
5		องศาของหัวสเปรย์ในการล้างชิ้นงาน	พนักงาน	พนักงานทำการเปลี่ยนหัวสเปรย์ใหม่แล้วปรับองศาของหัวสเปรย์ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ล้างชิ้นงานไม่สะอาด ทำให้เกิดข้อบกพร่องได้
6	กระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า	ความเข้มข้นของสี ED	พนักงาน	ในการผสมสีแต่ละครั้งอาจทำให้ได้ความเข้มข้นของสี ED ไม่เท่ากัน หรือไม่ตรงตามมาตรฐาน ทำให้เกิดความผันแปรในกระบวนการ ส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องได้
7		แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED	พนักงาน/เครื่องจักร	การตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ในแต่ละครั้งไม่เท่ากัน หรือไม่ตรงตามมาตรฐาน ทำให้เกิดความผันแปรในกระบวนการ ส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องได้
8		ระยะเวลาในการชุบสี ED	พนักงาน/เครื่องจักร	ระยะเวลาในการชุบสี ED จะขึ้นอยู่กับความเร็วของสายพาน ซึ่งถ้าตั้งความเร็วสายพานช้าเกินไปจะทำให้ระยะเวลาในการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับที่	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้า	วิธีการปฏิบัติงาน	ผลกระทบ
				ชุบสี ED มากขึ้น จะส่งผลให้สีมีความหนามากเกินไป ทำให้เกิดข้อบกพร่องได้
9	กระบวนการพ่นสี	วิธีการขัดผิวชิ้นงาน	พนักงาน	หากทำการขัดลูบไม่ทั่วทั้งชิ้นงานหรือขัดลูบไม่ดี จะทำให้สียึดเกาะได้น้อยลงทำให้เกิดข้อบกพร่องได้
10		ความหนืดของสี	พนักงาน	ในการผสมสีแต่ละครั้งอาจทำให้ได้ความความหนืดของสีไม่เท่ากัน หรือไม่ตรงตามมาตรฐาน ทำให้เกิดความผันแปรในกระบวนการ ส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องได้
11		ระยะห่างในการพนสี	พนักงาน	ระยะห่างในการพ่นสีของพนักงานแต่ละคนไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความผันแปรในกระบวนการ ส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องได้
12		แรงดันไฟฟ้าของปืนพ่น	พนักงาน	การตั้งค่าแรงดันไฟฟ้า และอัตราการไหลของสีของปืนพ่นของพนักงานแต่ละคน อาจจะไม่เท่ากันหรือไม่ตรงตามมาตรฐาน ทำให้เกิดความผันแปรในกระบวนการ ส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องได้

จากแผนภูมิพาเรโตแสดงลำดับคะแนนของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทสีแตก โดยปัจจัยที่มีคะแนนสูง มีทั้งหมด 13 ปัจจัย โดยทำการคัดเลือกปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อและปัจจัยที่ไม่นำไปศึกษาต่อและแนวทางการปรับปรุงแก้ไข แสดงดังตารางที่ 5.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.4 ปัจจัยที่นำไปศึกษาต่อและปัจจัยที่ไม่นำไปศึกษาต่อและแนวทางการปรับปรุงแก้ไข

ลำดับที่	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้า	ศึกษาต่อ	ไม่ศึกษาต่อ	แนวทางการปรับปรุงแก้ไข
1	กระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน	หัวสเปรย์ในการล้างชิ้นงาน		✓	โดยปกติทางโรงงานจะมีฝ่ายซ่อมแซมและบำรุงรักษาที่จะตรวจดูหัวสเปรย์ที่ใช้ล้างชิ้นงาน การแก้ไขกำหนดระยะเวลาในการตรวจดูหัวสเปรย์ให้ถี่ขึ้นจากเดิม และเมื่อหัวสเปรย์เกิดการอุดตัน ให้ทำการเปลี่ยนหัวสเปรย์ใหม่ทันที
2		ระยะเวลาในการล้างชิ้นงาน		✓	เนื่องจากกระบวนการเป็นการผลิตอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น ระยะเวลาในการล้างชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับความเร็วของสายพาน ซึ่งทำการปรับแก้ได้ยาก เนื่องจากอาจกระทบกับ

ลำดับที่	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้า	ศึกษาต่อ	ไม่ศึกษาต่อ	แนวทางการปรับปรุงแก้ไข
					กระบวนการอื่น ๆ และส่งผลต่อปริมาณผลผลิตได้
3		อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน	✓		นำปัจจัยดังกล่าวมาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม
4		ความดันในการล้างชิ้นงาน	✓		
5		องศาของหัวสเปรย์ในการล้างชิ้นงาน		✓	โดยปกติทางโรงงานจะมีฝ่ายซ่อมแซมและบำรุงรักษาที่จะตรวจดูหัวสเปรย์ที่ใช้ล้างชิ้นงาน การแก้ไขเมื่อพบหัวสเปรย์ที่พ่นสารเคมีและน้ำไม่โดนชิ้นงาน ให้ทำการปรับองศาของหัวสเปรย์ใหม่ทันที จากนั้นตรวจสอบด้วยสายตาว่าหัวสเปรย์พ่นสารเคมีและน้ำโดนชิ้นงานแล้ว
6	กระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า	ความเข้มข้นของสี ED		✓	ทางทีมผลิตไม่ต้องการให้ปรับความเข้มข้นของสี ED เนื่องจากมีค่าที่เหมาะสมกำหนดเป็นมาตรฐานในการผลิตอยู่แล้ว
7		แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED	✓		นำปัจจัยดังกล่าวมาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม
8		ระยะเวลาในการชุบสี ED		✓	เนื่องจากกระบวนการเป็นการผลิตอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น ระยะเวลาในการชุบสี ED จะขึ้นอยู่กับความเร็วของสายพาน ซึ่งทำการปรับแก้ได้ยาก เนื่องจากอาจกระทบกับกระบวนการอื่น ๆ และส่งผลต่อปริมาณผลผลิตได้
9	กระบวนการพ่นสี	วิธีการขัดผิวชิ้นงาน	✓		การขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี จากเดิมมีการขัดผิวชิ้นงานในแนวนอนเพียงแนวเดียว อาจทำให้สียึดเกาะได้ไม่ดี จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการขัด โดยขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้งในลักษณะของตาข่าย เพื่อเพิ่มการยึดเกาะของสีให้ดีขึ้น
10		ระยะห่างในการพ่นสี		✓	เนื่องจากระยะห่างในการพ่นสีขึ้นอยู่กับพนักงานแต่ละคน ซึ่งทำการควบคุมได้ยาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับที่	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้า	ศึกษาต่อ	ไม่ศึกษาต่อ	แนวทางการปรับปรุงแก้ไข
11	กระบวนการพ่นสี	ความหนืดของสี		✓	ทางทีมผลิตไม่ต้องการให้ปรับค่าความหนืดสี แรงดันไฟฟ้าในการพ่น และอัตราการไหลของสี เนื่องจากมีค่าที่เหมาะสมกำหนดเป็นมาตรฐานในการผลิตอยู่แล้ว
12		แรงดันไฟฟ้าของปืนพ่น		✓	
13		อัตราการไหลของสี		✓	

หลังจากทำการคัดเลือกปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อ โดยปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อมีทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED และวิธีการขัดผิวชิ้นงาน โดยแต่ละปัจจัยส่งผลกระทบต่อการเกิดสีแตก ดังนี้

1. อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน

ถ้าใช้อุณหภูมิในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานน้อยเกินไป คราบไขมันหรือคราบสกปรกที่ผิวชิ้นงานอาจจะออกไม่หมดส่งผลให้ผิวชิ้นงานไม่สะอาด ซึ่งถ้าผิวของชิ้นงานไม่สะอาดจะส่งผลให้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวและสารฟอสเฟตเคลือบที่ผิวชิ้นงานได้น้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างสีและผิวชิ้นงานลดลง ทำให้เกิดสีแตกขึ้นได้ และถ้าอุณหภูมิในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานมากเกินไป สารเคมีที่ใช้ในการล้างชิ้นงานจะเกิดฟองจำนวนมาก ซึ่งอาจลดประสิทธิภาพในการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ทำให้คราบไขมันหรือคราบสกปรกที่ผิวชิ้นงานออกไม่หมด ส่งผลให้ผิวชิ้นงานไม่สะอาด ซึ่งถ้าผิวของชิ้นงานไม่สะอาดจะส่งผลให้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวและสารฟอสเฟตเคลือบที่ผิวชิ้นงานได้น้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างสีและผิวชิ้นงานลดลง ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ความดันในการล้างชิ้นงาน

ถ้าใช้ความดันในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานน้อยเกินไป ทำให้ความแรงที่พุ่งออกจากหัวสเปรย์ของน้ำ สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวและสารฟอสเฟตลดลง ส่งผลให้ทำความสะอาดผิวชิ้นงานไม่สะอาด ซึ่งถ้าผิวของชิ้นงานไม่สะอาดจะส่งผลให้เมื่อนำไปพ่นสีประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างสีและผิวของชิ้นงานลดลง ทำให้เกิดสีแตกขึ้นได้ และถ้าใช้ความดันในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานมากเกินไป อาจทำให้หัวสเปรย์เกิดความเสียหายได้

3. แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED

หากแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED มากเกินไป จะส่งผลให้สีมีความหนามากเกินไป ทำให้สีไม่สามารถขยายตัวและหดตัวได้ในอัตราที่เท่ากันระหว่างกรรมวิธีการแห้งตัวของฟิล์ม เนื่องจากความเค้นจากการเคลือบสีตรงบริเวณผิวจะหดตัวเร็วกว่าฟิล์มสี ส่งผลให้สีเกิดการแตกได้ และถ้าใช้

แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED น้อยเกินไป ส่งผลให้สีมีความหนาน้อยเกินไป ส่งผลให้ป้องกันการเกิดสนิม และการสึกกร่อนของชิ้นงานได้น้อยลง

4. วิธีการขัดผิวชิ้นงาน

หากขัดลูบไม่ทั่วทั้งชิ้นงานหรือขัดลูบไม่ดี จะทำให้สียึดเกาะได้น้อยลงทำให้เกิดสีแตกได้ เนื่องจากการขัดผิวเป็นการเพิ่มความขรุขระให้กับพื้นผิวชิ้นงาน ซึ่งจะช่วยทำให้สียึดเกาะได้ดีขึ้น

5.2 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เริ่มจากระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ โดยใช้แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) พบว่ามีปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 32 ปัจจัย จากนั้นเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัย เพื่อทำการตัดปัจจัยที่คาดว่าส่งผลน้อยออกไป โดยใช้ตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) พบว่าเหลือปัจจัยนำเข้า 13 ปัจจัย จากนั้นทำการคัดเลือกปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อและปัจจัยที่ไม่นำไปศึกษาต่อและแนวทางการปรับปรุงแก้ไข โดยมีปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED และวิธีการขัดผิวชิ้นงาน เนื่องจากข้อมูลการผลิตที่มีไม่ละเอียดเพียงพอ ทำให้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ ดั้งนั้น จึงต้องทำการทดลองใหม่ เพื่อเก็บข้อมูลและนำมาวิเคราะห์ โดยนำปัจจัยดังกล่าวมาทดสอบสมมติฐานว่ามีผลอย่างนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกหรือไม่ และจะนำปัจจัยที่มีนัยสำคัญไปทำการปรับปรุง เพื่อหาค่าปัจจัยในกระบวนการพ่นสีที่เหมาะสมที่ทำให้มีของเสียเกิดขึ้นน้อยลง โดยอาศัยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
การปรับปรุงกระบวนการ

ระยะการปรับปรุงกระบวนการ จะทำการทดสอบความมีนัยสำคัญของ 4 ปัจจัยที่เลือกมาศึกษาต่อ ได้แก่ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED และวิธีการขัดผิวชิ้นงาน และกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยเริ่มจากทำการออกแบบการทดลอง ซึ่งรูปแบบการทดลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ การทดสอบสมมติฐาน เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยของปัจจัย และพิสูจน์ว่าปัจจัยเหล่านั้นมีผลจริงหรือไม่ก่อนที่จะนำไปทดลองเพื่อวิเคราะห์ผล และการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่จะทำให้การพ่นสีมีชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกน้อยที่สุด

6.1 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทำการทดลอง

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา พบว่าปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบสำคัญต่อปัญหาข้อบกพร่องประเภทสีแตกมีทั้งหมด 4 ปัจจัย ดังนี้

1. อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน
2. ความดันในการล้างชิ้นงาน
3. แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED
4. วิธีการขัดผิวชิ้นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.2 การเลือกแบบการทดลองที่ใช้ในงานวิจัย

ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบสำคัญต่อปัญหาข้อบกพร่องประเภทสีแตกมีทั้งหมด 4 ปัจจัย ดังนั้น การออกแบบการทดลองจาก 4 ปัจจัย จึงได้เลือกรูปแบบการทดลองออกเป็น 2 แบบ ดังนี้ แบบที่ 1 คือ การทดลองทีละปัจจัยสำหรับปัจจัยวิธีการขัดผิวชิ้นงาน เพื่อทดสอบว่าวิธีการขัดผิวชิ้นงานแบบใดให้สัดส่วนของเสียน้อยกว่า เมื่อได้วิธีการขัดผิวชิ้นงานที่เหมาะสมแล้วจึงจะไปทำการหาค่าที่เหมาะสมของ 3 ปัจจัยที่เหลือต่อไป โดยใช้การทดลองแบบที่ 2 คือ การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) สำหรับ 3 ปัจจัยที่เหลือ โดยจะใช้จำนวนการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง ซึ่งมีจำนวนการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design) ที่มีจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 20 การทดลอง

นอกจากนั้น การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน จะไม่ได้รวมจุดใด ๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรไว้ ทำให้ไม่มีการทดลองในสภาวะที่รวมของปัจจัยระดับสูงและระดับต่ำทั้งหมด ซึ่งหลีกเลี่ยงการเกิดต้นทุนหรือของเสียที่มากขึ้นได้ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน สำหรับทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ ซึ่งตัวแปรตอบสนองในการทดลองนี้ คือ สัดส่วนของเสียประเภทสีแตก

6.3 การทดสอบสมมติฐาน

ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการพ่นสีชิ้นงาน จะมีการขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี โดยการขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี จากเดิมมีการขัดผิวชิ้นงานในแนวนอนเพียงแนวเดียว อาจทำให้สียึดเกาะได้ไม่ดี จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการขัด โดยขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ในลักษณะของตาข่าย เพื่อเพิ่มการยึดเกาะของสีให้ดีขึ้น โดยตั้งสมมติฐานของการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 การกำหนดระดับปัจจัยจากวิธีการขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
วิธีการขัดผิวชิ้นงาน	ขัดผิวชิ้นงานแนวนอนเพียงแนวเดียว
	ขัดผิวชิ้นงานทั้งแนวนอนและแนวตั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน

1. เตรียมชิ้นงานเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มชิ้นงานที่ขัดผิวชิ้นงานแนวนอนเพียงแนวเดียวแบบที่ 1 และกลุ่มชิ้นงานที่ขัดผิวชิ้นงานทั้งแนวนอนและแนวตั้งแบบที่ 2
2. นำชิ้นงานทั้งสองกลุ่มเข้าสู่กระบวนการพ่นสี
3. ทำการตรวจสอบปัญหาสีแตกที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน และบันทึกผล

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0 : สัดส่วนของเสียเรื่องสีแตกเมื่อใช้วิธีการขัดผิวแบบที่ 1 และวิธีการขัดผิวแบบที่ 2 ไม่แตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนของเสียเรื่องสีแตกเมื่อใช้วิธีการขัดผิวแบบที่ 1 มากกว่าวิธีการขัดผิวแบบที่ 2

วิธีการคำนวณขนาดตัวอย่าง

จากการเก็บข้อมูล 7,800 ชิ้นงาน พบว่า สัดส่วนของเสียที่เกิดจากการขัดผิวชิ้นงานแนวนอนเพียงแนวเดียวเท่ากับ 4.23% และสัดส่วนของเสียกลุ่มชิ้นงานที่ขัดผิวชิ้นงานทั้งแนวนอนและแนวตั้งเท่ากับ 2.86% สามารถนำมาคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานของวิธีการขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing comparison p = baseline p (versus >)
Calculating power for baseline p = 0.0286
α = 0.05

Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.0423	3941	0.95	0.950024

The sample size is for each group.

โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการเก็บข้อมูลไว้แล้วจำนวน 7,800 ชิ้นงาน เมื่อคำนวณขนาดตัวอย่างพบว่าต้องเก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อยเท่ากับ 3,941 ชิ้นงาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในกรณีนี้จำนวนข้อมูลที่มีอยู่แล้วมีค่ามากกว่าจำนวนข้อมูลที่ต้องการ จึงไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพิ่ม และสามารถใช้ข้อมูลทั้ง 7,800 ข้อมูลนี้ในการทดสอบสมมติฐานต่อไปได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการทดสอบสมมติฐาน

จากการทดลอง พบว่า เมื่อใช้วิธีการขัดผิวชิ้นงานแนวนอนเพียงแนวเดียว มีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 4.23% และวิธีการขัดผิวชิ้นงานทั้งแนวนอนและแนวตั้ง มีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 2.86% แสดงดังตารางที่ 6.3 และจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.0005 แสดงดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองของวิธีการขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี

วิธีการขัดผิวชิ้นงาน	จำนวนชิ้นงานทดสอบ	จำนวนของเสีย	สัดส่วนของเสีย
ขัดผิวชิ้นงานแนวนอนเพียงแนวเดียว	7,800	330	4.23%
ขัดผิวชิ้นงานทั้งแนวนอนและแนวตั้ง	7,800	223	2.86%

ตารางที่ 6.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเนื่องจากวิธีการขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	330	7800	0.042308
2	223	7800	0.028590

Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0.0137179
95% lower bound for difference: 0.00885098
Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 4.64 P-Value = 0.000

Fisher's exact test: P-Value = 0.000

<u>สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน</u>

จากการปรับปรุงวิธีการขัด โดยขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้งในลักษณะของตาข่าย พบว่า มีสัดส่วนของเสียลดลงจาก 4.23% เป็น 2.86% และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.0005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าวิธีการขัดผิวชิ้นงานทั้งแนวนอนและแนวตั้งเกิดสัดส่วนของเสียน้อยกว่าการขัดผิวชิ้นงานแนวนอนเพียงแนวเดียวอย่างมีนัยสำคัญ

6.4 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากปัจจัยนำเข้าจำนวน 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ซึ่งเป็นปัจจัยแบบแปรผันจะถูกนำมาศึกษา เพื่อหาผลกระทบต่อการเกิดสีแตกของชิ้นงานในกระบวนการพ่นสี โดยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) โดยการกำหนดระดับการทดลองของปัจจัยนำเข้า จะกำหนดตามช่วงของการใช้งานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งแต่ละปัจจัยจะทำการทดลองอยู่ที่ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (-1) ระดับสูง (+1) และที่จุดศูนย์กลาง (0) ซึ่งแสดงดังตารางที่ 6.5 และในการเลือกระดับในการทดลองของแต่ละปัจจัย มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน

โดยปกติแล้วโรงงานกรณีศึกษาจะมีการปรับตั้งค่าอุณหภูมิในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานอยู่ที่ 38-42 องศาเซลเซียส เนื่องจากถ้าใช้อุณหภูมิในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานที่น้อยกว่า 38 องศาเซลเซียส อาจจะทำให้ล้างคราบไขมันหรือคราบสกปรกที่ผิวชิ้นงานออกไม่หมดส่งผลให้

ผิวชิ้นงานไม่สะอาด ซึ่งถ้าผิวของชิ้นงานไม่สะอาดจะส่งผลให้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวและสารฟอสเฟตเคลือบที่ผิวชิ้นงานได้น้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างสีและผิวชิ้นงานลดลง ทำให้เกิดสีแตกขึ้นได้ และเมื่ออุณหภูมิในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานมากกว่า 42 องศาเซลเซียส สารเคมีที่ใช้ในการล้างชิ้นงานจะเกิดฟองจำนวนมาก ซึ่งอาจลดประสิทธิภาพในการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ทำให้คราบไขมันหรือคราบสกปรกที่ผิวชิ้นงานออกไม่หมด ส่งผลให้ผิวชิ้นงานไม่สะอาด ซึ่งถ้าผิวของชิ้นงานไม่สะอาดจะส่งผลให้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวและสารฟอสเฟตเคลือบที่ผิวชิ้นงานได้น้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างสีและผิวชิ้นงานลดลง ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียได้ ดังนั้น จึงเลือกทำการทดลองอุณหภูมิในการล้างชิ้นงานในช่วง 38-42 องศาเซลเซียส

2. ความดันในการล้างชิ้นงาน

โดยปกติแล้วโรงงานกรณีศึกษาจะมีการปรับตั้งค่าความดันในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานอยู่ที่ 0.5-1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เนื่องจากถ้าใช้ความดันในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานที่น้อยกว่า 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำให้น้ำ สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวและสารฟอสเฟตออกมาจากหัวสเปรย์ได้น้อย ส่งผลให้ทำความสะอาดผิวชิ้นงานไม่สะอาด ซึ่งถ้าผิวของชิ้นงานไม่สะอาดจะส่งผลให้เมื่อนำไปพ่นสีประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างสีและผิวของชิ้นงานลดลง ทำให้เกิดสีแตกขึ้นได้ และถ้าใช้ความดันในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานมากกว่า 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อาจทำให้หัวสเปรย์เกิดความเสียหายได้ ดังนั้น จึงเลือกทำการทดลองความดันในการล้างชิ้นงานในช่วง 0.5-1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3. แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED

โดยปกติแล้วโรงงานกรณีศึกษาจะมีการปรับตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED อยู่ที่ 180-220 โวลต์ เนื่องจากถ้าใช้แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED น้อยกว่า 180 โวลต์ ส่งผลให้สีมีความหนาน้อยเกินไป ส่งผลให้ป้องกันการเกิดสนิม และการสึกกร่อนของชิ้นงานได้น้อยลง และถ้าใช้แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED มากกว่า 220 โวลต์ จะส่งผลให้สีมีความหนามากเกินไป ทำให้สีไม่สามารถขยายตัวและหดตัวได้ในอัตราที่เท่ากันระหว่างกรรมวิธีการแห้งตัวของฟิล์ม เนื่องจากความเค้นจากการเคลือบสีตรงบริเวณผิวจะหดตัวเร็วกว่าฟิล์มสี ส่งผลให้สีเกิดการแตกได้ ดังนั้น จึงเลือกทำการทดลองแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ในช่วง 180-220 โวลต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6.5 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทำการทดลอง

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย	ระดับปัจจัย			หน่วย
		-1	0	+1	
Temp	อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน	38	40	42	องศาเซลเซียส (°C)
Pressure	ความดันในการล้างชิ้นงาน	0.5	1	1.5	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2)
VoltageED	แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED	180	200	220	โวลต์ (V)

6.5 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลอง

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสีย ดังนั้น ในการเก็บข้อมูลจึงต้องคำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม เพื่อให้ข้อมูลที่เก็บมานั้นทำให้เกิดอำนาจการทดสอบหรือความน่าจะเป็นในการตรวจจับผลของปัจจัยได้สูง แต่เนื่องจากไม่มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณขนาดตัวอย่าง สำหรับการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนที่มีตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสีย ในงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณหาขนาดของตัวอย่างแบบค่าสัดส่วน 2 กลุ่ม โดยในการคำนวณขนาดตัวอย่างจะคำนวณจากค่าสัดส่วนโดยประมาณของของเสียที่ระดับต่ำและระดับสูงของแต่ละปัจจัยเท่านั้น ซึ่งในการประมาณค่าสัดส่วนของเสียที่ระดับต่ำ และระดับสูงของแต่ละปัจจัย จะใช้จากข้อมูลเดิมที่มี และกำหนดกำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.8 และระดับความเชื่อมั่น 95%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากข้อมูลการผลิตที่ผ่านมา พบว่า ที่อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน 38 องศาเซลเซียส เกิดสัดส่วนของเสีย 5.73% และที่อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน 42 องศาเซลเซียส เกิดสัดส่วนของเสีย 4.31% จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการล้างชิ้นงานเปลี่ยนไป 4 องศาเซลเซียส สัดส่วนของเสียจะต่างกัน 1.42% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการทดลองได้ 194 ชิ้นงาน แสดงดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองของอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing comparison p = baseline p (versus ≠)
Calculating power for baseline p = 0.573
α = 0.05

Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.431	194	0.8	0.801142

The sample size is for each group.

เนื่องจากข้อมูลการผลิตที่ผ่านมาไม่มีการใช้ความดันในการล้างชิ้นงานที่ 0.5 และ 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้น จึงได้เลือกใช้ข้อมูลที่ใกล้เคียงที่สุด คือ ที่ความดันในการล้างชิ้นงาน 0.8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เกิดสัดส่วนของเสีย 2.71% และที่ความดันในการล้างชิ้นงาน 1.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เกิดสัดส่วนของเสีย 1.73% จะเห็นได้ว่าเมื่อความดันในการล้างชิ้นงานเปลี่ยนไป 0.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สัดส่วนของเสียจะต่างกัน 0.98% ในที่นี้สมมติว่าการเกิดสัดส่วนของเสียมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เพราะฉะนั้นที่ความดันในการล้างชิ้นงานเปลี่ยนไป 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สัดส่วนของเสียจะต่างกัน 1.63% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการทดลองได้ 111 ชิ้นงาน แสดงดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองของความดันในการล้างชิ้นงาน

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing comparison p = baseline p (versus ≠)
Calculating power for baseline p = 0.173
α = 0.05

Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.336	111	0.8	0.800317

The sample size is for each group.

จากข้อมูลการผลิตที่ผ่านมา พบว่า ที่แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED 180 โวลต์ เกิดสัดส่วนของเสีย 3.69% และที่แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED 220 โวลต์ เกิดสัดส่วนของเสีย 4.79% จะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เปลี่ยนไป 40 โวลต์ สัดส่วนของเสียจะต่างกัน 1.1% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการทดลองได้ 316 ชิ้นงาน แสดงดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองของความดันในการล้างชิ้นงาน

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing comparison p = baseline p (versus ≠)
Calculating power for baseline p = 0.479
α = 0.05

Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.369	316	0.8	0.800426

The sample size is for each group.

จากการคำนวณขนาดตัวอย่างของแต่ละปัจจัย ที่กำลังของการทดสอบเท่ากับ 0.8 และระดับความเชื่อมั่น 95% สรุปได้ว่า ได้เลือกใช้ขนาดตัวอย่างที่มากที่สุดในการทำการทดลอง เพราะฉะนั้นในแต่ละการทดลองต้องใช้ชิ้นงานในการทดลองอย่างน้อย 316 ชิ้นงาน ซึ่งขนาดตัวอย่างของแต่ละปัจจัย แสดงดังตารางที่ 6.9 และในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ชิ้นงานในการทดลอง 320 ชิ้นงาน โดยในการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน จะมีการทดลองที่ปัจจัยระดับต่ำ 4 การทดลอง และที่ปัจจัยระดับสูง 4 การทดลอง ดังนั้น ในแต่ละการทดลองจะใช้ชิ้นงานในการทดลอง 80 ชิ้นงาน

ตารางที่ 6.9 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองของแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED

ปัจจัย	ขนาดตัวอย่าง (ชิ้นงาน)
อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน	194
ความดันในการล้างชิ้นงาน	111
แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED	316

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.6 การสร้างตารางการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) ซึ่งสภาวะของการทดลองจะประกอบด้วยการทดลองที่จุดกึ่งกลาง (Midpoints) ของแต่ละด้านและที่จุดศูนย์กลางของตัวแบบ แบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนจะไม่มีการทำการทดลองที่จุดแฟคทอเรียล โดยในงานวิจัยนี้มีปัจจัยที่ทำการศึกษาจำนวน 3 ปัจจัย ซึ่งมีจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 15 การทดลอง แสดงดังตารางที่ 6.10 ภายหลังจากการกำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแล้วจึงเริ่มทำการสร้างตารางออกแบบการทดลอง (Design Matrix) โดยกำหนดให้มีลำดับการทดลองอย่างสุ่ม (Randomization) เพื่อให้ผลการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน และลดผลกระทบของปัจจัยรบกวนที่อาจเกิดขึ้นในการทดลอง

ตารางที่ 6.10 ตารางการออกแบบการทดลอง (Design Matrix)

Box-Behnken Design

```
Factors:       3     Replicates:     1
Base runs:    15     Total runs:    15
Base blocks:   1     Total blocks:   1

Center points: 3
```

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Temp	Pressure	VoltageED
9	1	2	1	40	0.5	180
13	2	0	1	40	1	200
3	3	2	1	38	1.5	200
2	4	2	1	42	0.5	200
15	5	0	1	40	1	200
11	6	2	1	40	0.5	220
12	7	2	1	40	1.5	220
6	8	2	1	42	1	180
8	9	2	1	42	1	220
5	10	2	1	38	1	180
1	11	2	1	38	0.5	200
7	12	2	1	38	1	220

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Temp	Pressure	VoltageED
14	13	0	1	40	1	200
4	14	2	1	42	1.5	200
10	15	2	1	40	1.5	180

6.7 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

ดำเนินการทดลองตามตารางการออกแบบที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งก่อนดำเนินการทดลองได้ทำการประชุมและอธิบายแผนการทดลองที่ได้ออกแบบกับคณะทำงาน เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานได้จัดเตรียมวัตถุดิบและทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักรได้อย่างถูกต้องตามสภาวะการทดลองที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. จัดเตรียมชิ้นงานที่ต้องใช้ในการดำเนินการทดลอง
2. ทำการปรับอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ตามตารางการออกแบบการทดลองที่กำหนดไว้ในตารางที่ 6.10
3. หลังจากชิ้นงานออกจากผ่านกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า ให้ทำการขัดชิ้นงานทั้งแนวนอนและแนวตั้งในลักษณะของตาข่าย จากนั้นนำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการพ่นสี
4. ทำการตรวจสอบปัญหาสีแตกที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานและบันทึกผล

6.8 ผลการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการดำเนินการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ซึ่งมีจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 15 การทดลอง เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตก ได้แก่ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ได้ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 ผลการทดลองการเกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก

StdOrder	RunOrder	Temp	Pressure	VoltageED	**สัดส่วนของเสียประเภทสีแตก**
9	1	40	0.5	180	0.08
13	2	40	1	200	0.04
3	3	38	1.5	200	0.07

StdOrder	RunOrder	Temp	Pressure	VoltageED	สัดส่วนของเสียประเภทสีแตก
2	4	42	0.5	200	0.09
15	5	40	1	200	0.05
11	6	40	0.5	220	0.13
12	7	40	1.5	220	0.12
6	8	42	1	180	0.04
8	9	42	1	220	0.11
5	10	38	1	180	0.05
1	11	38	0.5	200	0.11
7	12	38	1	220	0.12
14	13	40	1	200	0.03
4	14	42	1.5	200	0.05
10	15	40	1.5	180	0.01

6.9 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง จำเป็นต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากผลของการทดลองก่อนว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นเหมาะสมกับข้อมูลจริงในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยต้องเป็นไปตามสมมติฐาน 3 ข้อที่เกี่ยวข้องกับส่วนตกค้าง ได้แก่ สมมติฐานส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ สมมติฐานส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน และสมมติฐานส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ เมื่อแบบจำลองเป็นไปตามสมมติฐานจึงจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญและระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

<u>สมมติฐานที่ 1 ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ</u>

การทดสอบสมมติฐานส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ สามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากฮิสโตแกรมที่แสดงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้าง หากค่าส่วนตกค้างมีค่าใกล้ 0 ค่าความผิดพลาดควรจะมีการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 สังเกตได้จากฮิสโตแกรมจะมีลักษณะ

คล้ายระฆังคว่ำ จากนั้นพิจารณาที่กราฟความน่าจะเป็นแบบการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าส่วนตกค้าง ซึ่งจะต้องมีแนวโน้มของการจัดเรียงของค่าส่วนตกค้างใกล้เคียงหรือเป็นเส้นตรง จากนั้นทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normality Test) ของค่าส่วนตกค้าง และพิจารณาจากค่า P-value ของการทดสอบ หากค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ จะสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ จะเห็นได้ว่าฮิสโตแกรมจะมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ แสดงดังรูปที่ 6.1 แสดงว่าค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ และเมื่อพิจารณาที่กราฟความน่าจะเป็นแบบการแจกแจงปกติ ค่าส่วนตกค้างมีการจัดเรียงในลักษณะเป็นเส้นตรง และเมื่อทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง P-value มีค่า 0.293 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น สรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 6.2

<u>สมมติฐานที่ 2 ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน</u>

การทดสอบสมมติฐานส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน สามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างของครั้งการทดลองใด ๆ จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าส่วนตกค้างของครั้งการทดลองก่อนหน้า คือต้องมีการกระจายอย่างสุ่ม และไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน

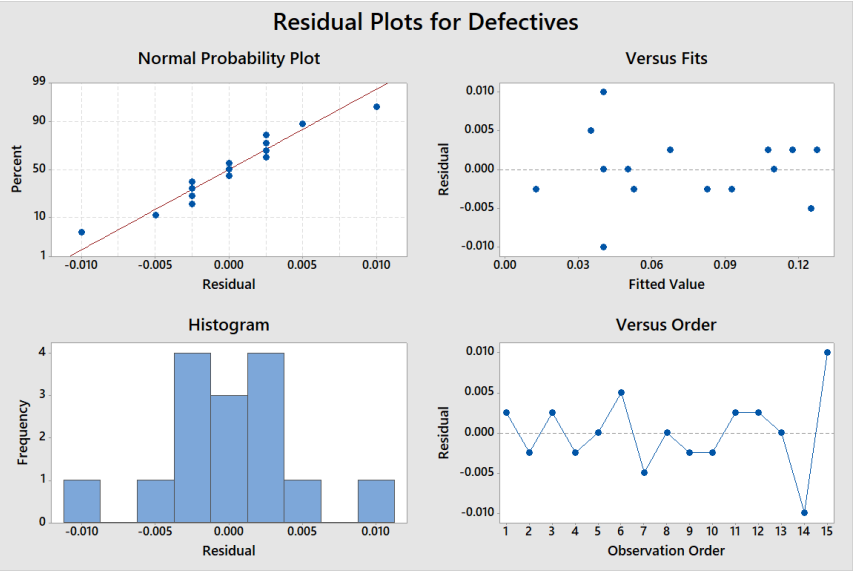
จากการทดสอบสมมติฐานส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน จะเห็นได้ว่ากราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) มีการกระจายอย่างสุ่ม และไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน แสดงดังรูปที่ 6.1 ดังนั้น สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

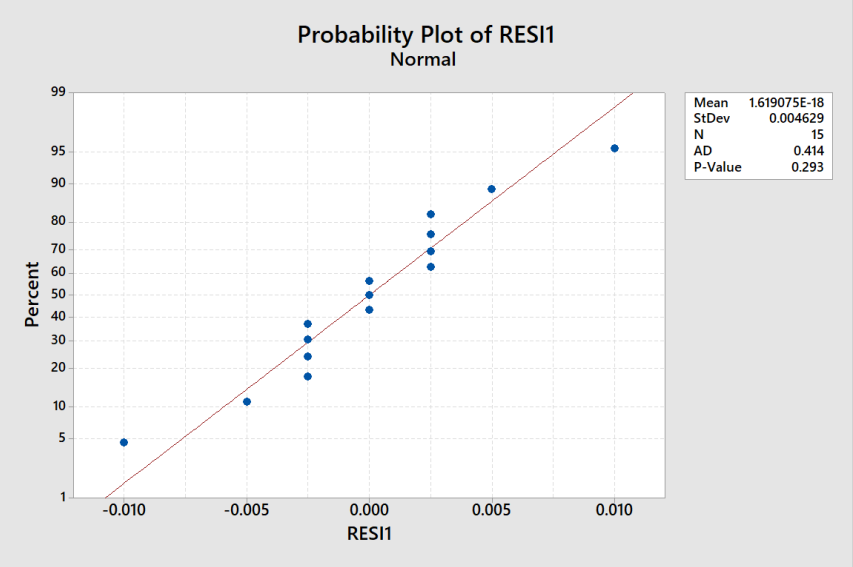
<u>สมมติฐานที่ 3 ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่</u>

การทดสอบสมมติฐานส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ สามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) โดยค่าส่วนตกค้างกระจายตัวทั้งเป็นบวกและลบรอบแนวแกนศูนย์ และไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด

จากการทดสอบสมมติฐานส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ จะเห็นได้ว่ากราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด แสดงดังรูปที่ 6.1 ดังนั้น สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นอิสระต่อกันมีค่าความแปรปรวนคงที่



รูปที่ 6.1 กราฟส่วนตกค้าง



รูปที่ 6.2 กราฟความน่าจะเป็นแบบการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าส่วนตกค้าง

6.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการสร้างแบบจำลองหรือสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย ได้ผลการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและผลการวิเคราะห์การถดถอยของสัดส่วนของเสีย

Response Surface Regression: Defectives versus Temp, Pressure, VoltageED

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.020033	0.002226	37.10	0.000
Linear	3	0.014900	0.004967	82.78	0.000
Temp	1	0.000450	0.000450	7.50	0.041
Pressure	1	0.003200	0.003200	53.33	0.001
VoltageED	1	0.011250	0.011250	187.50	0.000
Square	3	0.004233	0.001411	23.52	0.002
Temp*Temp	1	0.001131	0.001131	18.85	0.007
Pressure*Pressure	1	0.001869	0.001869	31.15	0.003
VoltageED*VoltageED	1	0.001869	0.001869	31.15	0.003
2-Way Interaction	3	0.000900	0.000300	5.00	0.058
Temp*Pressure	1	0.000000	0.000000	0.00	1.000
Temp*VoltageED	1	0.000000	0.000000	0.00	1.000
Pressure*VoltageED	1	0.000900	0.000900	15.00	0.012
Error	5	0.000300	0.000060		
Lack-of-Fit	3	0.000100	0.000033	0.33	0.808
Pure Error	2	0.000200	0.000100		
Total	14	0.020333			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0077460	98.52%	95.87%	89.92%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.04000	0.00447	8.94	0.000	
Temp	-0.01500	-0.00750	0.00274	-2.74	0.041	1.00
Pressure	-0.04000	-0.02000	0.00274	-7.30	0.001	1.00
VoltageED	0.07500	0.03750	0.00274	13.69	0.000	1.00
Temp*Temp	0.03500	0.01750	0.00403	4.34	0.007	1.01
Pressure*Pressure	0.04500	0.02250	0.00403	5.58	0.003	1.01
VoltageED*VoltageED	0.04500	0.02250	0.00403	5.58	0.003	1.01
Temp*Pressure	-0.00000	-0.00000	0.00387	-0.00	1.000	1.00
Temp*VoltageED	0.00000	0.00000	0.00387	0.00	1.000	1.00
Pressure*VoltageED	0.03000	0.01500	0.00387	3.87	0.012	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

```
Defectives = 9.50 - 0.3538 Temp - 0.520 Pressure - 0.02213 VoltageED + 0.00438 Temp*Temp
             + 0.0900 Pressure*Pressure + 0.000056 VoltageED*VoltageED
             - 0.00000 Temp*Pressure + 0.000000 Temp*VoltageED + 0.001500 Pressure*VoltageED
```

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้ากับสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก โดยการวิเคราะห์การถดถอยแบบเต็มรูป (Full Model) จะเห็นได้ว่าเทอมที่มีนัยสำคัญ คือ มีค่า P-value น้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีอยู่ 7 เทอม ได้แก่ ผลกระทบหลักของอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เทอมกำลังสองของอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED และผลกระทบร่วมระหว่างความดันในการล้างชิ้นงานกับแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เนื่องจากการวิเคราะห์การถดถอยแบบเต็มรูป (Full Model) จะแสดงเทอมที่ไม่มีนัยสำคัญรวมอยู่ด้วย ดังนั้น จึงได้ปรับปรุงแบบจำลองโดยการลดรูปแบบจำลองให้มีเฉพาะเทอมที่นัยสำคัญ เพื่อให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและ

สัดส่วนของเสียที่มีความกระชับ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบลดตัวแปร (Backward Elimination) แสดงดังตารางที่ 6.13

ตารางที่ 6.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบลดตัวแปรของสัดส่วนของเสีย

Response Surface Regression: Defectives versus Temp, Pressure, VoltageED

Backward Elimination of Terms

α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	0.020033	0.002862	66.78	0.000
Linear	3	0.014900	0.004967	115.89	0.000
Temp	1	0.000450	0.000450	10.50	0.014
Pressure	1	0.003200	0.003200	74.67	0.000
VoltageED	1	0.011250	0.011250	262.50	0.000
Square	3	0.004233	0.001411	32.93	0.000
Temp*Temp	1	0.001131	0.001131	26.38	0.001
Pressure*Pressure	1	0.001869	0.001869	43.62	0.000
VoltageED*VoltageED	1	0.001869	0.001869	43.62	0.000
2-Way Interaction	1	0.000900	0.000900	21.00	0.003
Pressure*VoltageED	1	0.000900	0.000900	21.00	0.003
Error	7	0.000300	0.000043		
Lack-of-Fit	5	0.000100	0.000020	0.20	0.936
Pure Error	2	0.000200	0.000100		
Total	14	0.020333			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0065465	98.52%	97.05%	94.34%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.04000	0.00378	10.58	0.000	
Temp	-0.01500	-0.00750	0.00231	-3.24	0.014	1.00
Pressure	-0.04000	-0.02000	0.00231	-8.64	0.000	1.00
VoltageED	0.07500	0.03750	0.00231	16.20	0.000	1.00
Temp*Temp	0.03500	0.01750	0.00341	5.14	0.001	1.01
Pressure*Pressure	0.04500	0.02250	0.00341	6.60	0.000	1.01
VoltageED*VoltageED	0.04500	0.02250	0.00341	6.60	0.000	1.01
Pressure*VoltageED	0.03000	0.01500	0.00327	4.58	0.003	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

Defectives = 9.50 - 0.3538 Temp - 0.5200 Pressure - 0.02212 VoltageED + 0.004375 Temp*Temp
+ 0.0900 Pressure*Pressure + 0.000056 VoltageED*VoltageED
+ 0.001500 Pressure*VoltageED

จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบลดตัวแปร (Backward Elimination) จะเห็นได้ว่าเทอมที่มีนัยสำคัญ คือ มีค่า P-value น้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีอยู่ 7 เทอม ได้แก่ ผลกระทบหลักของอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เทอมกำลังสองของอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED

และผลกระทบร่วมระหว่างความดันในการล้างชิ้นงานกับแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED และจากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจหรือ R-Sq (adj) มีค่า 97.05 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าตัวแปรอิสระในสมการถดถอยสามารถอธิบายความผันแปรของค่าสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกได้ 97.05 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่น่าพึงพอใจ เนื่องจากมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น สมการถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ได้ ซึ่งสามารถพยากรณ์ค่าสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกได้ดังสมการที่ 6.1

Defectives = 9.50 - 0.3538 Temp - 0.52 Pressure -0.02212 VoltageED + 0.004375 Temp*Temp + 0.09 Pressure* Pressure + 0.000056 VoltageED*VoltageED + 0.0015 Pressure*VoltageED (6.1)

จากการพิจารณากราฟผลกระทบหลักของความดันในการล้างชิ้นงานและแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED โดยพิจารณาจากกราฟพื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงดังรูปที่ 6.3 จะพบว่า เมื่อความดันในการล้างชิ้นงานเพิ่มขึ้น จะได้สัดส่วนของเสียที่น้อยลง เนื่องจากเทอมกำลังสองของความดันในการล้างชิ้นงานมีนัยสำคัญ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความดันในการล้างชิ้นงานมีความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้ง ซึ่งจะเห็นได้จากการที่สัดส่วนของเสียน้อยลงมาก เมื่อความดันในการล้างชิ้นงานเพิ่มจากระดับ 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ไปเป็นระดับ 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่เมื่อความดันในการล้างชิ้นงานเพิ่มจากระดับ 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ไปเป็นระดับ 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สัดส่วนของเสียน้อยลงไม่มากนัก เมื่อเทียบกับการปรับระดับจาก 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ไปเป็นระดับ 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ลดลงจะได้สัดส่วนของเสียที่น้อยลง เนื่องจากเทอมกำลังสองของแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED มีนัยสำคัญ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED มีความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้ง ซึ่งจะเห็นได้จากการที่สัดส่วนของเสียน้อยลงมาก เมื่อแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ลดลงจากระดับ 220 โวลต์ ไปเป็นระดับ 200 โวลต์ แต่เมื่อแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ลดลงจากระดับ 200 โวลต์ ไปเป็นระดับ 180 โวลต์ สัดส่วนของเสียน้อยลงไม่มากนัก เมื่อเทียบกับการปรับระดับจาก 220 โวลต์ ไปเป็นระดับ 200 โวลต์

จากการพิจารณากราฟผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยความดันในการล้างชิ้นงานกับแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED จะพบว่า ที่ความดันในการล้างชิ้นงานอยู่ที่ระดับ 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เปลี่ยนจาก 220 โวลต์ ไปที่ 180 โวลต์ สัดส่วนของเสียจะลดลง 0.0412 (0.1195 - 0.0783) ในขณะที่เมื่อความดันในการล้างชิ้นงานอยู่ที่ระดับ 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เปลี่ยนจาก 220 โวลต์ ไปที่ 180 โวลต์ สัดส่วนของเสียจะลดลง 0.1012 (0.1095 - 0.0083) ซึ่งลดลงมากกว่าเมื่อความดันในการล้างชิ้นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

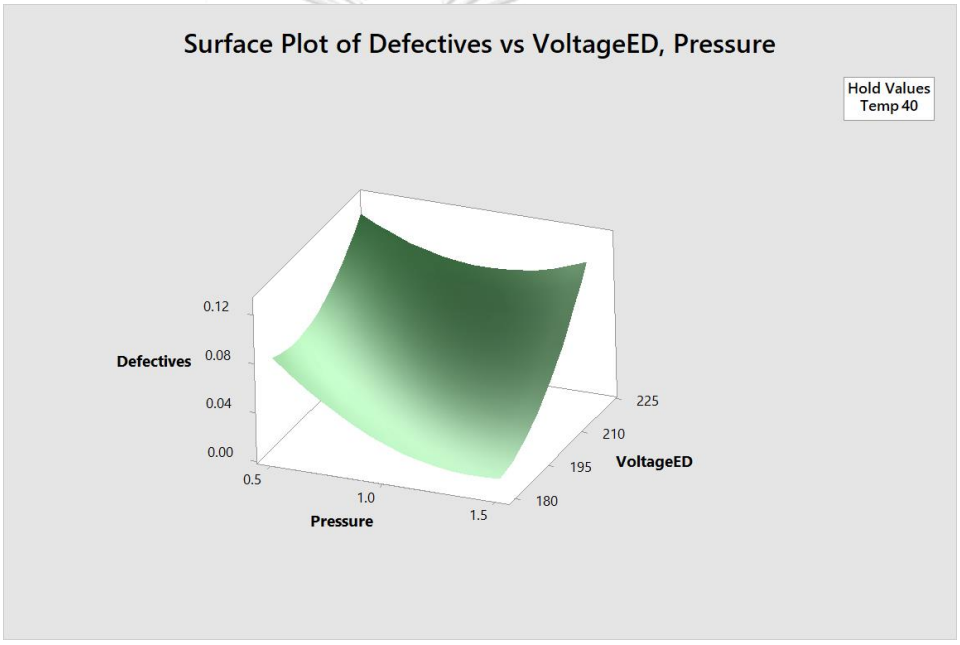
อยู่ที่ระดับ 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อพิจารณาที่แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED 180 โวลต์ เมื่อความดันในการล้างชิ้นงานเพิ่มจากระดับ 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ไปเป็นระดับ 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สัดส่วนของเสียจะลดลง 0.07 (0.0783 - 0.0083) ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED 220 โวลต์ เมื่อความดันในการล้างชิ้นงานเพิ่มจากระดับ 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ไปเป็นระดับ 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สัดส่วนของเสียจะลดลง 0.01 (0.1195 - 0.1095) ดังนั้น ที่แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED 180 โวลต์ สัดส่วนของเสียจะลดลงมากกว่าที่แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED 220 โวลต์ ค่าสัดส่วนของเสียสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6.1 โดยแทนค่าระดับปัจจัยความดันในการล้างชิ้นงานและแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ที่ต้องการทราบค่าและแทนค่าอุณหภูมิในการล้างชิ้นงานที่ระดับกลาง

โดยสามารถอธิบายผลกระทบหลักของความดันในการล้างชิ้นงานได้ว่าที่ความดันในการล้างชิ้นงานระดับสูงกว่า เมื่อแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED อยู่ที่ค่า ๆ หนึ่ง ทำให้ความแรงที่พุ่งออกจากหัวสเปรย์ของน้ำ สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวและสารฟอสเฟตจะแรงมากกว่าความดันในการล้างชิ้นงานที่ระดับต่ำกว่า ส่งผลให้ทำความสะอาดผิวชิ้นงานได้สะอาดมากกว่า ซึ่งถ้าผิวของชิ้นงานสะอาดจะส่งผลให้เมื่อนำไปพ่นสีประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างสีและผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดสีแตกลดลง

สำหรับผลกระทบหลักของแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ที่แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ระดับสูงกว่า ทำให้เกิดสีแตกมากกว่าที่ระดับต่ำกว่า เนื่องจากเมื่อแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED มากเกินไป จะส่งผลให้สีมีความหนามากเกินไป ทำให้สีไม่สามารถขยายตัวและหดตัวได้ในอัตราที่เท่ากันระหว่างกรรมวิธีการแห้งตัวของฟิล์ม เนื่องจากความเค้นจากการเคลือบสีตรงบริเวณผิวจะหดตัวเร็วกว่าฟิล์มสี ส่งผลให้สีเกิดการแตกได้

ในส่วนของผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยความดันในการล้างชิ้นงานกับแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.3 เมื่อแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED น้อยลง จะได้สัดส่วนของเสียที่น้อยลง แต่เมื่อแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED มากขึ้น จะได้สัดส่วนของเสียที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสีมีความหนามากขึ้น ทำให้สีไม่สามารถขยายตัวและหดตัวได้ในอัตราที่เท่ากันระหว่างกรรมวิธีการแห้งตัวของฟิล์ม เนื่องจากความเค้นจากการเคลือบสีตรงบริเวณผิวจะหดตัวเร็วกว่าฟิล์มสี ส่งผลให้สีเกิดการแตกได้ง่ายกว่า และเมื่อใช้ความดันในการล้างชิ้นงาน 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของเสียจะลดลงไม่มาก แต่เมื่อความดันในการล้างชิ้นงานเพิ่มขึ้นเป็น 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สัดส่วนของเสียลดลงมากขึ้น เนื่องจากเมื่อความดันในการล้างชิ้นงานเพิ่มขึ้น ทำให้ความแรงที่พุ่งออกจากหัวสเปรย์ของน้ำ สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวและสารฟอสเฟตจะแรงมากขึ้น ส่งผลให้ทำความสะอาดผิวชิ้นงานได้สะอาดมากกว่า และเมื่อผิวชิ้นงานสะอาดทำให้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิว

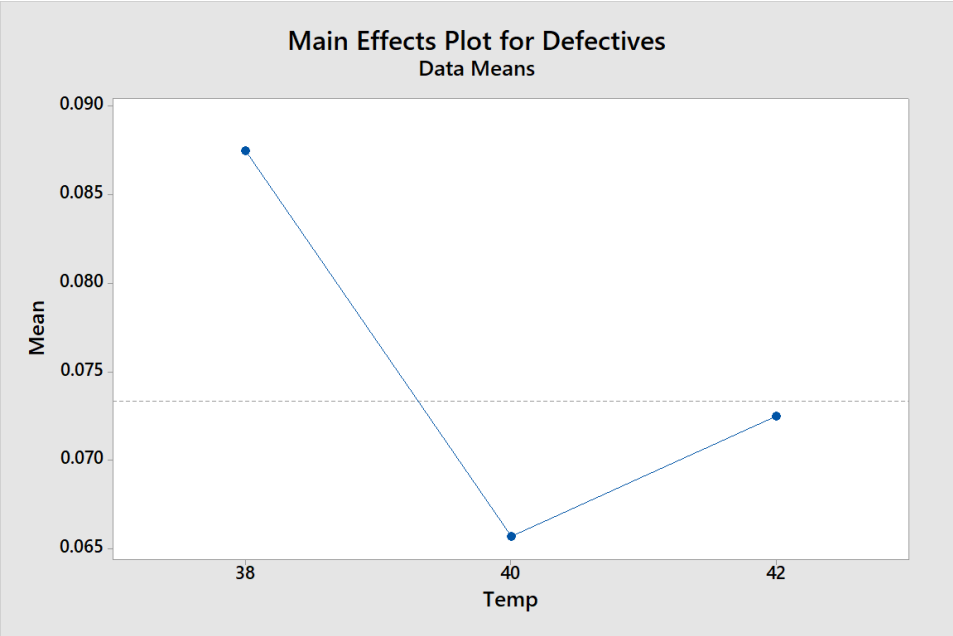
และสารฟอสเฟตเคลือบผิวชิ้นงานได้ดี ซึ่งจะช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างสีและผิวของชิ้นงาน ดังนั้น เมื่อชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการเคลือบผิวด้วยสี ED ทำให้สีเกิดการยึดเกาะกับผิวของชิ้นงานได้ดีขึ้น ส่งผลให้สัดส่วนของเสียลดลงได้มากกว่า โดยจะเห็นได้ว่าที่ความดันในการล้างชิ้นงาน 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED 180 โวลต์ เป็นจุดที่เกิดสัดส่วนของเสียต่ำที่สุด แต่จากกราฟผลกระทบหลักของแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของเสียอาจลดลงได้อีก ถ้าใช้แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED น้อยกว่า 180 โวลต์ แต่ไม่สามารถปรับลงไปได้อีก เนื่องจากถ้าใช้แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED น้อยกว่า 180 โวลต์ ส่งผลให้สีมีความหนาน้อยเกินไป ส่งผลให้ป้องกันการเกิดสนิม และการสึกกร่อนของชิ้นงานได้น้อยลง



รูปที่ 6.3 กราฟพื้นผิวผลตอบของปัจจัยความดันในการล้างชิ้นงานและแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ที่มีต่อตัวแปรตอบสนองสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก

ในส่วนของผลกระทบหลักของอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน โดยพิจารณาจากกราฟผลกระทบหลัก แสดงดังรูปที่ 6.4 เมื่อใช้อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน 38 องศาเซลเซียส จะได้สัดส่วนของเสียที่มากที่สุด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการล้างชิ้นงานเป็น 40 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าเกิดสัดส่วนของเสียต่ำที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิในการล้างชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการล้างคราบไขมันหรือคราบสกปรกที่ผิวชิ้นงานได้ดีกว่า ทำให้ผิวของชิ้นงานสะอาดมากกว่า ส่งผลให้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวและสารฟอสเฟตเคลือบที่ผิวชิ้นงานได้ดีกว่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างสีและผิวชิ้นงาน

ดีกว่า จึงเกิดสัดส่วนของเสียน้อยกว่า แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการล้างชิ้นงานเป็น 42 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าสัดส่วนของเสียค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในการล้างชิ้นงานจะเกิดฟองจำนวนมาก ซึ่งอาจลดประสิทธิภาพในการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ทำให้คราบไขมันหรือคราบสกปรกที่ผิวชิ้นงานออกไม่หมด ส่งผลให้ผิวชิ้นงานไม่สะอาด ซึ่งถ้าผิวของชิ้นงานไม่สะอาดจะส่งผลให้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวและสารฟอสเฟตเคลือบที่ผิวชิ้นงานได้น้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างสีและผิวชิ้นงานลดลง ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียได้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 6.4 กราฟผลกระทบของปัจจัยอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน

6.11 การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า

หลังจากที่ได้วิเคราะห์การถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับสัดส่วนของเสีย จากนั้นจึงทำการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Technique) โดยในงานวิจัยนี้ตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียประเภทสีแตก ซึ่งจากการวิเคราะห์การถดถอย พบว่า ปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัยมีนัยสำคัญต่อการเกิดของเสียประเภทสีแตก ดังนั้นจึงต้องการหาค่าที่เหมาะสมของระดับปัจจัยที่ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกน้อยที่สุด ซึ่งในการหาค่าที่เหมาะสมจะใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer จากโปรแกรม Minitab ในการหาค่า โดยจะต้องระบุตัวแปรตอบสนอง วัตถุประสงค์ ค่าเป้าหมายของตัวแปร การให้น้ำหนักกับค่าเป้าหมาย (Weight) และกำหนดค่าความสำคัญ (Importance) ของตัวแปร

ตอบสนอง โดยในงานวิจัยนี้จะใช้หลักเกณฑ์ในการกำหนดวัตถุประสงค์แบบต้องการค่าต่ำที่สุด (Minimize) และกำหนดให้น้ำหนักกับค่าเป้าหมายและความสำคัญของตัวแปรตอบสนองมีค่าเท่ากับ 1 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย แสดงดังตารางที่ 6.14

ตารางที่ 6.14 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer

Response Optimization: Defectives

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Defectives	Minimum		0.01	0.13	1	1

Solution

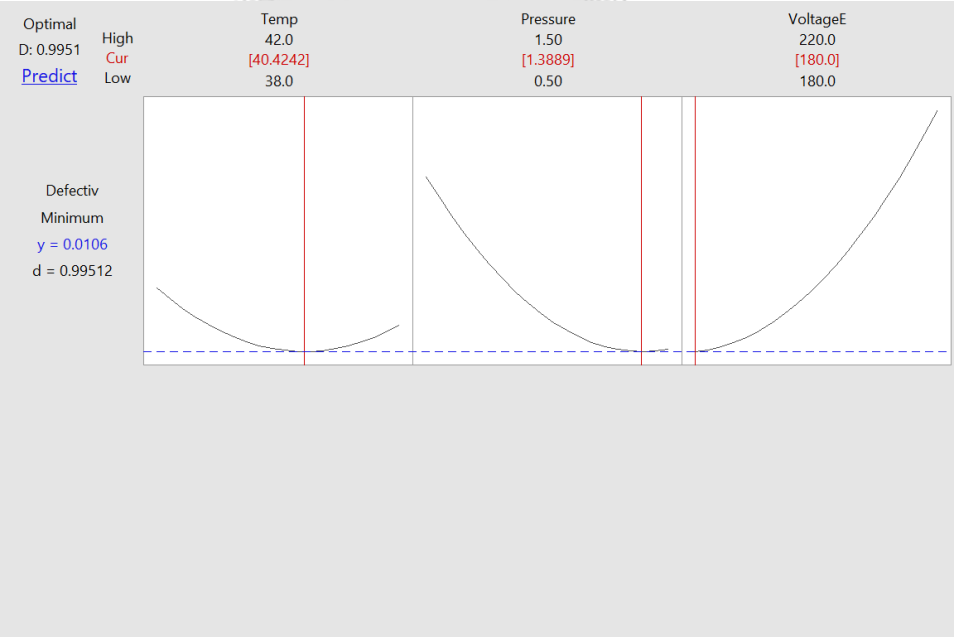
Solution	Temp	Pressure	VoltageED	Defectives Fit	Composite Desirability
1	40.4242	1.38889	180	0.0105854	0.995122

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
Temp	40.4242
Pressure	1.38889
VoltageED	180

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Defectives	0.01059	0.00481	(-0.00079, 0.02196)	(-0.00862, 0.02979)

Optimization Plot



จากผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer พบว่า จะได้สัดส่วนของเสียประเภทสีแตกที่ค่าต่ำที่สุด หากตั้งค่าอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน 40.4242 องศาเซลเซียส ความดันในการล้างชิ้นงาน 1.3889 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED 180 โวลต์ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถตั้งค่าอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน และความดันในการล้างชิ้นงานที่ตำแหน่งที่เป็นทศนิยมได้ จึงต้องปรับค่าปัจจัยเหล่านี้ให้เป็นจำนวนเต็ม ดังนั้นจึงได้ปรับความดันในการล้างชิ้นงานเป็นสองสภาวะ และลองปรับค่าอุณหภูมิในการล้างชิ้นงานที่เหมาะสมที่สุดกับสภาวะของความดันในการล้างชิ้นงานนั้น ๆ ที่จะทำให้ค่า Composite Desirability มีค่าสูงที่สุด จากตารางที่ 6.15 ค่าที่เหมาะสมจะทำให้ได้ค่า Composite Desirability สูงที่สุด และทำให้ได้สัดส่วนของเสียประเภทสีแตกที่ค่าต่ำที่สุด จะเกิดขึ้นเมื่อตั้งอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน 40 องศาเซลเซียส ความดันในการล้างชิ้นงาน 1.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED 180 โวลต์ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าทำนายของสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกเป็น 0.0114 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกต่ำที่สุด แสดงดังตารางที่ 6.16

ตารางที่ 6.15 การปรับค่าปัจจัยเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน (°C)	**ความดันในการล้างชิ้นงาน (kg/cm^2)**	**แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED (V)**	**Composite Desirability**	**สัดส่วนของเสีย**
39	1.3	180	0.9148	0.0202
40	1.3	180	0.9825	0.0121
41	1.3	180	0.9773	0.0127
39	1.4	180	0.9206	0.0195
40	1.4	180	0.9883	0.0114
41	1.4	180	0.9831	0.0120

ตารางที่ 6.16 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกต่ำที่สุด

สัญลักษณ์ของปัจจัย	**ปัจจัย**	**ระดับปัจจัยที่เหมาะสม**	**หน่วย**
Temp	อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน	40	องศาเซลเซียส (°C)
Pressure	ความดันในการล้างชิ้นงาน	1.4	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2)
VoltageED	แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED	180	โวลต์ (V)

6.12 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ

ในระยะการปรับปรุงกระบวนการ เริ่มจากการออกแบบการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ทำการทดสอบสมมติฐานของวิธีการขัดผิวชิ้นงาน จากการทดสอบสมมติฐานของวิธีการขัดผิวชิ้นงานทั้งสองแบบ คือ ขัดเฉพาะแนวนอน และขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้งในลักษณะของตาข่าย พบว่า วิธีการขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้งเกิดสัดส่วนของเสียน้อยกว่าวิธีการขัดเฉพาะแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญ จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการขัดเป็นแบบขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้งในลักษณะของตาข่าย สำหรับอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ทำการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) ทั้งหมด 15 การทดลอง พบว่า ทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อการเกิดสีแตกอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้น ทำการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งค่าปัจจัยที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ความดันในการล้างชิ้นงาน เท่ากับ 1.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เท่ากับ 180 โวลต์ หลังจากนั้นนำค่าปัจจัยที่เหมาะสมนี้ไปปรับใช้จริงในกระบวนการ เพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7
การทดสอบยืนยันผล และการติดตามควบคุม

การทดสอบยืนยันผล และตรวจติดตามควบคุมเป็นการนำค่าการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการมาปรับใช้ในกระบวนการจริง และทำการเก็บข้อมูล เพื่อยืนยันผลการปรับปรุงที่ได้ พร้อมทั้งจัดทำแผนควบคุมและวิธีการปฏิบัติงานใหม่ในส่วนที่ได้มีการปรับปรุง เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดปัญหาของเสียเพิ่มขึ้นอีก จากนั้นทำการประเมินและสรุปผล โดยเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

7.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

การทดสอบยืนยันผลเป็นการนำค่าการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ มาทำการตั้งค่าเครื่องจักรในกระบวนการผลิต โดยค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของ 4 ปัจจัย แสดงดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุง

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม	หน่วย
Temp	อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน	40	องศาเซลเซียส (°C)
Pressure	ความดันในการล้างชิ้นงาน	1.4	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2)
VoltageED	แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED	180	โวลต์ (V)
-	วิธีการขัดผิวชิ้นงาน	ขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้ง	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.1.1 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลอง

ก่อนที่จะทำการทดลองเพื่อยืนยันผล ต้องทำการกำหนดขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการเก็บข้อมูลก่อน เพื่อให้ข้อมูลที่เก็บมานั้นทำให้เกิดอำนาจการทดสอบหรือความน่าจะเป็นในการตรวจจับผลของปัจจัยได้สูง โดยในการหาขนาดตัวอย่าง คำนวณได้จากสมการที่ 7.1

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

โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่าง

N คือ ขนาดประชากร

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

p คือ สัดส่วนของลักษณะที่สนใจของประชากร
ซึ่งในงานวิจัยนี้ หมายถึงสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทสีแตก

q คือ สัดส่วนของลักษณะที่ไม่สนใจของประชากร

e คือ ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง

<u>คำนวณขนาดตัวอย่าง</u>

- กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% จะได้ว่า ค่า $Z_{\alpha/2} = Z_{0.05/2} = Z_{0.025} = 1.96$
- กำหนดค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง (e) เท่ากับ 0.005
- แทนค่าในสมการ

$$n = \frac{(1.96)^2(0.009)(0.9618)}{(0.005)^2} = 1,415.73 = 1,416 \text{ ชิ้น}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดังนั้น ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในการทดลองเพื่อยืนยันผลหลังจากปรับปรุงกระบวนการ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริงเท่ากับ 0.005 อย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 1,416 ชิ้น ซึ่งในการทดลองเพื่อยืนยันผลได้ใช้จำนวนชิ้นงาน 2,800 ชิ้น ซึ่งจำนวนข้อมูลที่มีอยู่มีค่ามากกว่าที่ต้องการ จึงเพียงพอและสามารถใช้ในการประมาณค่าสัดส่วนได้

7.1.2 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อยืนยันผล

ก่อนดำเนินการทดลองได้ทำการประชุมและอธิบายแผนการทดลองกับคณะทำงาน เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานได้จัดเตรียมวัตถุดิบและทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักรได้อย่างถูกต้องตามค่าที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. จัดเตรียมชิ้นงานที่ต้องใช้ในการดำเนินการทดลอง ซึ่งจะใช้ชิ้นงานในการทดสอบทั้งหมด 2,800 ชิ้น ใช้เวลาเก็บชิ้นงานทั้งหมด 14 วัน โดยเก็บชิ้นงานวันละ 200 ชิ้น โดยทำการเก็บชิ้นงานกระจายไปในช่วงเวลา 08.00-11.00 น. และ 13.00-16.00 น.

2. ทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ตามค่าที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงที่กำหนดไว้ในตารางที่ 7.1

3. หลังจากชิ้นงานออกจากผ่านกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า ให้ทำการขัดชิ้นงานทั้งแนวนอนและแนวตั้งในลักษณะของตาข่าย จากนั้นนำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการพ่นสี

4. ทำการตรวจสอบปัญหาสีแตกที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานและบันทึกผล

7.1.3 ผลการทดลองการยืนยันผล

จากการดำเนินการแก้ไขปรับปรุง และทำการเก็บข้อมูลของเสียข้อบกพร่องประเภทสีแตก ผลการทดลองหลังจากปรับตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมแล้ว แสดงดังตารางที่ 7.2 จากการทดลองเพื่อยืนยันผลเป็นระยะเวลา 14 วัน โดยใช้ขนาดตัวอย่างทั้งหมด 2,800 ชิ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุง พบว่า สัดส่วนของเสียประเภทสีแตกลดลงเหลือ 1.03 เปอร์เซ็นต์ จาก 3.82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดลงไปได้ 2.79 เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 7.2 สัดส่วนของเสียและต้นทุนของเสียที่เกิดหลังจากปรับปรุงกระบวนการ

วันที่	ขนาดตัวอย่าง	สัดส่วนของเสีย
1	200	0.005
2	200	0.01
3	200	0.015
4	200	0.01
5	200	0.02
6	200	0.01
7	200	0.005

วันที่	ขนาดตัวอย่าง	สัดส่วนของเสีย
8	200	0.015
9	200	0.01
10	200	0.005
11	200	0.015
12	200	0.005
13	200	0.01
14	200	0.01

7.2 การติดตามและควบคุมผล

การติดตามและควบคุมผลเป็นการควบคุมกระบวนการ เพื่อให้มีการปรับตั้งค่าปัจจัยตามค่าที่เหมาะสมและควบคุมไม่ให้เกิดปัญหาของเสียเพิ่มขึ้นอีก โดยจัดทำเอกสารวิธีการปฏิบัติงานใหม่และจัดทำแผนควบคุม เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำงาน ซึ่งวิธีการปฏิบัติงาน แสดงดังตารางที่ 7.3 แผนควบคุม แสดงดังตารางที่ 7.4 แผ่นตรวจสอบการตั้งค่าการล้างคราบไขมันชิ้นงาน แสดงดังตารางที่ 7.5 และแผ่นตรวจสอบการตั้งค่าการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 7.6

ตารางที่ 7.3 วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการพ่นสี

ลำดับที่	กระบวนการไหลของงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน
1	การวางแผนการผลิต	หัวหน้างานฝ่ายผลิตหรือผู้รับผิดชอบรับแผนการผลิตประจำวัน/เดือน จากฝ่ายวางแผนการผลิต เพื่อจัดลำดับของการผลิต
2	การตรวจรับชิ้นงานวัตถุดิบ	ทำการเบิกชิ้นงานวัตถุดิบตามแผนการผลิตจากหน่วยงานที่รับผิดชอบ และทำการตรวจสอบทั้งจำนวนและคุณภาพของชิ้นงานวัตถุดิบก่อนส่งเข้ากระบวนการผลิต โดยชิ้นงานต้องไม่มีคราบสนิม แนวขัดลึก รอยบุบ รอยจากปากกา เม็ดเชื่อม และรอยลึกหรือนูนบนผิวชิ้นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับที่	กระบวนการไหลของงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน
3	การแขวนชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการ	ตรวจสอบจำนวนชิ้นงานวัตถุดิบให้ครบตามจำนวนในกระดานควบคุมการผลิต จากนั้นทำการแขวนชิ้นงาน โดยจิ๊ก (Jig) ที่ใช้ในการแขวนชิ้นงานต้องต้องมีสีเกาะหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร จากนั้นแขวนป้ายบอกชื่อสีและลำดับของการผลิตที่ไม้แขวนหลัก (Main Hanger) นำหน้ากลุ่มชิ้นงานกลุ่มสีนั้น
4	กระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน	การเตรียมผิวชิ้นงาน คือ กระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานวัตถุดิบ โดยให้พนักงานประจำจุดเตรียมผิวชิ้นงานปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) เรื่อง Pretreatment Process
5	กระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า	หลังจากชิ้นงานผ่านการเตรียมผิว ชิ้นงานทั้งหมดจะผ่านกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า ก่อนเข้าสู่กระบวนการพ่นสีห้องสีชั้นล่าง (Undercoat) และสีทับหน้า (Topcoat) โดยชิ้นงานจะจุ่มลงในสี ED ที่อุณหภูมิ ความดันฟิลเตอร์ และแรงดันไฟฟ้าตามมาตรฐาน เมื่อเคลือบสี ED เสร็จ จะทำการล้างทำความสะอาดคราบสี ED ให้ออกจากชิ้นงานที่บ่ออัลตราฟิลเตรชัน (Ultra filtration: UF) ที่ 1 2 และ 3 โดยใช้ค่าความนำไฟฟ้าตามมาตรฐาน จากนั้นทำการเป่าสี ED ก่อนเข้าเตาอบ เพื่อไม่ให้มีสี ED ขังตามซอกชิ้นงาน จากนั้นอบแห้งชิ้นงานโดยนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิตามมาตรฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับที่	กระบวนการไหลของงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน
6	การกำหนดตำแหน่งพ่นสีชิ้นงาน	สำหรับชิ้นงานที่ต้องกำหนดตำแหน่งพ่นสีชิ้นงาน ให้พนักงานจุดทำความสะอาดนำอุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง (Masking jig) ติดบนชิ้นงาน โดยชิ้นงานต้องไม่มีเม็ดเชื่อม สีไหล คราบสนิม และไม่มีรอยขัดถึงเนื้อเหล็กจากกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า
7	การทำความสะอาดผิวชิ้นงาน	ทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของชิ้นงาน หากพบคราบสนิมบนผิวชิ้นงาน ให้ยกชิ้นงานนั้นลงจากสายพานลำเลียงทันที หากพบเศษผงหรือฝุ่นติดบนผิวชิ้นงาน ให้ใช้ปืนลมเป่าพร้อมทั้งใช้แปรงขนอ่อนปัดเศษฝุ่นออก และหากพบชิ้นงานซึ่งมีรอยเปื้อนตกค้างจากการเตรียมผิวชิ้นงาน ให้ใช้ผ้าสะอาดชุบเบนซินขาวเช็ดบริเวณที่เปื้อน จากนั้นใช้ลมเป่า และปัดฝุ่นก่อนปล่อยเข้าพ่นสี
8	การขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี	ก่อนเข้าสู่กระบวนการพ่นสี ให้ทำการขัดชิ้นงานทั้งแนวนอนและแนวตั้งในลักษณะของตาข่าย
9	กระบวนการพ่นสี	เริ่มจากการผสมสีกับทินเนอร์ให้ได้ความหนืดตามที่กำหนด และทำการปั่นกวนสีตลอดเวลา จากนั้นทำการพ่นสีที่ชิ้นงาน โดยเริ่มจากการพ่นสีรองพื้น (Primer) ถัดมาพ่นสีชั้นล่าง (Undercoat) และสุดท้ายพ่นสีทับหน้า (Topcoat) โดยให้มีความหนาของสีตามมาตรฐานที่กำหนดไว้
10	การอบสีชิ้นงาน	หลังจากชิ้นงานผ่านการพ่นสี จากนั้นอบแห้งชิ้นงานโดยนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิและเวลาตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับที่	กระบวนการไหลของงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน
11	การเก็บชิ้นงานลงและตรวจสอบ	ทำการตรวจสอบชิ้นงานสำเร็จรูปทุกชิ้น หากชิ้นงานไม่เป็นไปตามข้อกำหนดให้จัดแยกชิ้นงานที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และดำเนินการซ่อมแก้ไขตามวิธีการซ่อมในแต่ละประเภทของปัญหา
12	การจัดเก็บชิ้นงานสมบูรณ์และการส่งมอบ	จัดเก็บชิ้นงานสมบูรณ์ที่ถูกจัดส่งมาจากจุดเก็บชิ้นงานลง ทำการจัดเก็บชิ้นงานตามพื้นที่ที่กำหนดไว้ หากพบว่าจำนวนชิ้นงานไม่ครบตามแผนการผลิตหรือชิ้นงานมีปัญหาด้านคุณภาพ ให้ทำการแจ้งหัวหน้างานผู้รับผิดชอบทำการแก้ไขต่อไป
13	การตรวจสอบคุณภาพสี	เมื่อมีการเปลี่ยนล็อตการผลิตของสีใหม่ หัวหน้างานหรือผู้ที่ได้รับมอบหมายในหน่วยงานจะต้องรับแผ่นล็อตสีล็อตใหม่ จากผู้นำส่งสีของบริษัทสีและจะต้องทำการตรวจสอบแผ่นล็อตสี เทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน หากไม่ผ่านการตรวจสอบให้แจ้งพนักงานสำนักงานฝ่ายวิศวกรรมการผลิตหรือผู้ที่ได้รับมอบหมายทำการสุ่มทดสอบสีอีกครั้งหนึ่ง หากไม่ผ่านให้ทำเอกสารขอส่งคืนสีนั้นคืนให้แก่ผู้ผลิตสี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7.4 แผนควบคุมกระบวนการ

ลำดับที่	การดำเนินกระบวนการ	เครื่องจักร, อุปกรณ์ และวัตถุดิบ	มาตรฐานในการควบคุมกระบวนการ	ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือวัด	การสุ่มตัวอย่าง			วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ
						จำนวน	ความถี่	เอกสารบันทึก		
1	กระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน	- ล้างคราบไขมันที่ผิวชิ้นงาน	- อุณหภูมิในการล้าง	40°C	คอมพิวเตอร์ควบคุม	-	4 ครั้ง	Check sheet	ปรับให้ได้มาตรฐาน	พนักงานเคมี
			- ความดันในการล้าง	1.4 kg/cm^2	คอมพิวเตอร์ควบคุม	-	4 ครั้ง	Check sheet	ปรับให้ได้มาตรฐาน	พนักงานเคมี
			- ค่า F.AL	2.5-3.5 point	ทดสอบด้วยสารเคมี	-	4 ครั้ง	Check sheet	ปรับให้ได้มาตรฐาน	พนักงานเคมี
			- ค่า pH	< 10.5	กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์	-	4 ครั้ง	Check sheet	ปรับให้ได้มาตรฐาน	พนักงานเคมี
2	กระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า	- ชิ้นงานเคลือบสี ED	- แรงดันไฟฟ้า	180 V	คอมพิวเตอร์ควบคุม	-	4 ครั้ง	Check sheet	ปรับให้ได้มาตรฐาน	พนักงาน ED Line
			- อุณหภูมิบ่อสี	อุณหภูมิ 28±1°C	คอมพิวเตอร์ควบคุม	-	4 ครั้ง	Check sheet	ปรับอุณหภูมิให้ได้มาตรฐาน	พนักงาน ED Line
			- ความดัน Filter	ความดันต่างกัน 2 จุด ไม่เกิน 1 kg/cm^2	คอมพิวเตอร์ควบคุม	-	4 ครั้ง	Check sheet	เปลี่ยนใหม่	พนักงาน ED Line
			- %ค่า NV	NV 15±1%	ทำการทดสอบ	-	4 ครั้ง	Check sheet	ปรับค่าสีให้ได้มาตรฐาน	พนักงาน ED Line
		- เป่าสี ED ก่อนเข้าเตาอบ		ไม่ให้มีสี ED ขังตามซอกชิ้นงาน	สายตา	ทุกชิ้น	ทุกครั้ง	-	ขัดลูบสี ED ที่มีการพองออก	พนักงาน ED Line
3	การขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี	- ชิ้นงานก่อนพ่นสี	- ชิ้นงานต้องมีการขัดลูบทั้งแนวนอนและแนวตั้ง	ชิ้นงานต้องมีรอยขัดลูบทั้งแนวนอนและแนวตั้ง	สายตา	ทุกชิ้น	ทุกครั้ง	-	ให้ทำการขัดลูบใหม่	พนักงานขัดลูบ

ตารางที่ 7.5 แผ่นตรวจสอบการตั้งค่าการล้างคราบไขมันชิ้นงาน

แผ่นตรวจสอบการตั้งค่าการล้างคราบไขมันชิ้นงาน

เดือน_____พ.ศ._____

วันที่	ค่ามาตรฐาน				จุดตรวจ	ค่าที่ได้				หมายเหตุ
	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kg/cm^2)	ค่า F.AL (point)	ค่า pH		1	2	3	4	
1	40	1.4	2.5-3.5	< 10.5	อุณหภูมิ					
					ความดัน					
					ค่า F.AL					
					ค่า pH					
. . .	40	1.4	2.5-3.6	< 10.5	อุณหภูมิ					
					ความดัน					
					ค่า F.AL					
					ค่า pH					
31	40	1.4	2.5-3.7	< 10.7	อุณหภูมิ					
					ความดัน					
					ค่า F.AL					
					ค่า pH					

ตารางที่ 7.6 แผ่นตรวจสอบการตั้งค่าการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยไฟฟ้า

แผ่นตรวจสอบการตั้งค่าการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยไฟฟ้า

เดือน_____พ.ศ._____

วันที่	ค่ามาตรฐาน				จุดตรวจ	ค่าที่ได้				หมายเหตุ
	แรงดันไฟฟ้า (V)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน Filter (kg/cm^2)	%NV		1	2	3	4	
1	180	28±1°C	ΔP = OUT-IN ≦ 1.0	15.0±1.0	แรงดันไฟฟ้า					
					อุณหภูมิ					
					ความดัน Filter					
					%NV					
. . .	180	28±1°C	ΔP = OUT-IN ≦ 1.0	15.0±1.0	แรงดันไฟฟ้า					
					อุณหภูมิ					
					ความดัน Filter					
					%NV					
31	180	28±1°C	ΔP = OUT-IN ≦ 1.0	15.0±1.0	แรงดันไฟฟ้า					
					อุณหภูมิ					
					ความดัน Filter					
					%NV					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.3 ข้อมูลหลังจากการปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการ เป็นระยะเวลา 21 วัน จากปริมาณการผลิตทั้งหมด 5,717 ชิ้น เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก 0.97 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของเสียที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้สมการถดถอย ซึ่งมีค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 1.14 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจริงหลังจากปรับปรุงน้อยกว่าค่าพยากรณ์ 0.17 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุง พบว่า สามารถลดสัดส่วนของเสียลงไปได้ 2.85 เปอร์เซ็นต์

หากพิจารณาต้นทุนของเสียที่ลดลงได้ต่อปี จากข้อมูลปริมาณการผลิตที่พยากรณ์ได้ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 คาดว่าจะมีการผลิตทั้งสิ้น 50,816 ชิ้น และต้นทุนของเสียประเภทสีแตกมีมูลค่าคือ 56 บาทต่อชิ้นงาน เกิดจากค่าสี เท่ากับ 9 บาท ค่าทินเนอร์ เท่ากับ 15 บาท และค่าแรงงาน เท่ากับ 32 บาท ดังนั้น ต้นทุนของเสียประเภทสีแตกลดลงเหลือ 27,603 บาทต่อปี ซึ่งก่อนปรับปรุงต้นทุนของเสียอยู่ที่ 132,898 บาท ซึ่งหลังปรับปรุงสามารถลดต้นทุนของเสียได้ 105,295 บาท การเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียและต้นทุนของเสียก่อนและหลังปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 7.7

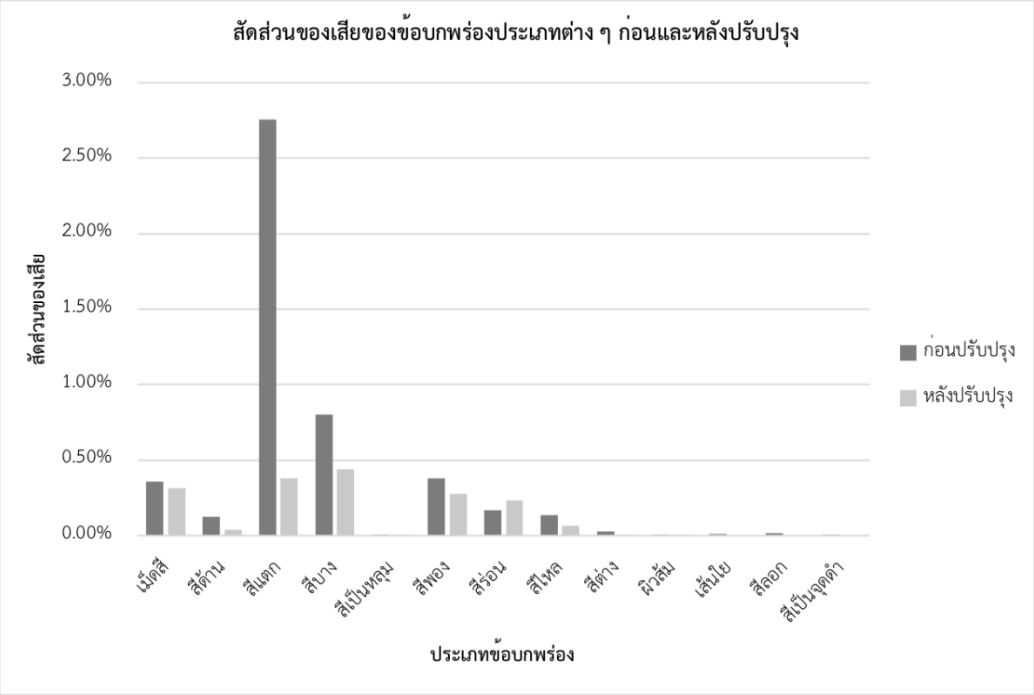
ตารางที่ 7.7 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียและต้นทุนของเสียก่อนและหลังปรับปรุง

ตัวแปรตอบสนอง	ค่าก่อนปรับปรุง	ค่าพยากรณ์หลังปรับปรุง	ค่าหลังปรับปรุง	ผลต่างระหว่างค่าพยากรณ์และค่าจริงหลังปรับปรุง	ผลต่างระหว่างก่อนและหลังปรับปรุง
สัดส่วนของเสีย (%)	3.82	1.14	0.97	0.17%	ลดลง 2.85%
ต้นทุนของเสีย (บาท)	132,898	32,440	27,603	4,837 บาท	ลดลง 105,295 บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เนื่องจากการปรับปรุงกระบวนการพ่นสี เพื่อลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก อาจทำให้เกิดข้อบกพร่องอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้นได้ ดังนั้น จึงได้ทำการวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลการเกิดสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นหลังจากปรับปรุง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 7.1 พบว่า จากการปรับปรุงกระบวนการพ่นสี ส่วนใหญ่ไม่ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องอื่น ๆ เพิ่มขึ้น แต่มีสัดส่วนของเสียประเภทสีร่อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากเดิม 0.17 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.23 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุของการเกิดสีร่อนมักจะเกิดกับผิววัสดุที่ยังมีความชื้นหลงเหลืออยู่ เมื่อนำไปพ่นสี แรงดันจากน้ำใต้ฟิล์มสีจะดันฟิล์มสีให้หลุดออกมา ซึ่งอาจเกิดจากการใช้อุณหภูมิในการอบชิ้นงานไม่เหมาะสม ทำให้ผิวชิ้นงาน

มีความชื้นหลงเหลืออยู่ ดังนั้น การเกิดสีร่อนจึงไม่เกี่ยวกับการปรับปรุงสีแตก และในการปรับปรุงได้มีการเพิ่มค่าความดันในการล้างชิ้นงานเป็น 1.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจากเดิมมีการใช้งานอยู่ที่ระดับ 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่า ไม่กระทบต่อต้นทุนในการผลิต เนื่องจากใช้มอเตอร์ตัวเดิม และความเร็วมอเตอร์ไม่แปรผันตามความแรงดันที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งปริมาณน้ำในบ่อล้างชิ้นงานสูญเสียเท่าเดิมเท่ากับอัตราการไหลเดิม กล่าวคือน้ำไหลเข้าเท่ากับน้ำไหลออก ทำให้การปรับแรงดันไม่มีผลการเปลี่ยนแปลง เพราะฉะนั้นสามารถใช้ค่าการปรับตั้งปัจจัยนี้ในกระบวนการพ่นสีต่อไปได้



Chulalongkorn University

รูปที่ 7.1 สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทต่าง ๆ ก่อนและหลังปรับปรุง

7.4 สรุประยะการติดตามควบคุมผล

ในระยะการติดตามควบคุมผล เริ่มจากการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยการปรับตั้งค่าปัจจัยตามค่าที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ และทำการเก็บข้อมูล เพื่อยืนยันผลการปรับปรุงที่ได้ จากนั้น จัดทำเอกสารวิธีการปฏิบัติงานใหม่และจัดทำแผนควบคุม เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำงานต่อไป ซึ่งหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ พบว่า สามารถลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกจาก 3.82 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดลงไปได้ 2.85 เปอร์เซ็นต์ และต้นทุนของเสียลดลงจาก 132,898 บาท เหลือ 27,603 บาท ซึ่งลดลงไปได้ 105,295 บาท

บทที่ 8
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทสีแตกที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น โดยได้นำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) มาใช้ทางการปรับปรุง คือ ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุ (Measure Phase) ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุ (Analyze Phase) ระยะการปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase) และระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) โดยบทสรุปของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

8.1 สรุประยะการนิยามปัญหา

ในระยะการนิยามปัญหา ได้ทำการจัดตั้งคณะทำงาน แล้วศึกษากระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์ จากนั้นรวบรวมข้อมูลสัดส่วนของเสียและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์จากกระบวนการพ่นสีของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 สรุปได้ว่า ของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกของผลิตภัณฑ์ ควรได้รับการปรับปรุงเนื่องจากมีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้น 3.82 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณการผลิต คิดเป็น 58.3 เปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนของเสียทั้งหมด และมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องสูงสุดถึง 132,898 บาท ซึ่งถ้าแก้ปัญหาข้อบกพร่องนี้ได้ ก็จะสามารถลดจำนวนของเสียส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.2 สรุประยะการวัดสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง

ในระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุ เริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) หลังจากการวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน พบว่ามีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทสีแตก โดยความมีประสิทธิผลของพนักงาน การปฏิเสธอย่างผิดพลาด (การปฏิเสธของดี) และการยอมรับอย่างผิดพลาด (การยอมรับของเสีย) อยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ ส่วนของการวิเคราะห์ระหว่างพนักงานโดยเป็นการมองทั้งระบบการวัด พบว่าค่าความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงานและค่าความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงานมีค่าเท่ากันซึ่งเท่ากับ 100% ดังนั้น ระบบการวัดจึงมีความน่าเชื่อถือได้ และเมื่อคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้วัดสภาพปัญหา พบว่า ถ้าต้องการประมาณค่าสัดส่วน ต้องเก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อยเท่ากับ 5,490 ชิ้น ซึ่งในกรณีนี้จำนวนข้อมูลที่มี

อยู่มีค่ามากกว่าที่ต้องการ จึงไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพิ่มและสามารถใช้ข้อมูลทั้ง 45,926 ชิ้น ในการประมาณค่าสัดส่วนได้ ดังนั้น สามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อใช้วิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

8.3 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เริ่มจากระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ โดยใช้แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) พบว่ามีปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 32 ปัจจัย จากนั้นเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัย เพื่อทำการตัดปัจจัยที่คาดว่าส่งผลน้อยออกไป โดยใช้ตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) พบว่าเหลือปัจจัยนำเข้า 13 ปัจจัย จากนั้นทำการคัดเลือกปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อและปัจจัยที่ไม่นำไปศึกษาต่อและแนวทางการปรับปรุงแก้ไข โดยมีปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED และวิธีการขัดผิวชิ้นงาน เนื่องจากข้อมูลการผลิตที่มีไม่ละเอียดเพียงพอ ทำให้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ เนื่องจากไม่ได้มีการควบคุมปัจจัย โดยในแต่ละช่วงเวลามีการปรับตั้งค่าปัจจัยที่แตกต่างกันออกไป ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าการตั้งค่าปัจจัยที่ระดับนี้จะเกิดของเสียขึ้นปริมาณเท่าไร ดังนั้น จึงต้องทำการทดลองใหม่ เพื่อเก็บข้อมูลและนำมาวิเคราะห์ โดยนำปัจจัยดังกล่าวมาทดสอบสมมติฐานว่ามีผลอย่างนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกหรือไม่ และจะนำปัจจัยที่มีนัยสำคัญไปทำการปรับปรุง เพื่อหาค่าปัจจัยในกระบวนการพ่นสีที่เหมาะสมที่ทำให้มีของเสียเกิดขึ้นน้อยลง โดยอาศัยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.4 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ

ในระยะการปรับปรุงกระบวนการ เริ่มจากการออกแบบการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและสัดส่วนของเสีย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ทำการทดสอบสมมติฐานของวิธีการขัดผิวชิ้นงาน จากการทดสอบสมมติฐานของวิธีการขัดผิวชิ้นงานทั้งสองแบบ คือ ขัดเฉพาะแนวนอน และขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้งในลักษณะของตาข่าย พบว่า วิธีการขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้งเกิดสัดส่วนของเสียน้อยกว่าวิธีการขัดเฉพาะแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญ จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการขัดเป็นแบบขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้งในลักษณะของตาข่าย สำหรับอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ทำการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) ทั้งหมด 15 การทดลอง พบว่า ทั้ง

สามปัจจัยมีผลต่อการเกิดสีแตกอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นทำการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งค่าปัจจัยที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ความดันในการล้างชิ้นงาน เท่ากับ 1.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เท่ากับ 180 โวลต์ หลังจากนั้นนำค่าปัจจัยที่เหมาะสมนี้ไปปรับใช้จริงในกระบวนการ เพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้

8.5 สรุประยะการติดตามควบคุม

ในระยะการติดตามควบคุมผล เริ่มจากการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยการปรับตั้งค่าปัจจัยตามค่าที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ และทำการเก็บข้อมูล เพื่อยืนยันผลการปรับปรุงที่ได้ จากนั้น จัดทำเอกสารวิธีการปฏิบัติงานใหม่และจัดทำแผนควบคุม เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำงานต่อไป ซึ่งหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ พบว่า สามารถลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกจาก 3.82 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดลงไปได้ 2.85 เปอร์เซ็นต์ และต้นทุนของเสียลดลงจาก 132,898 บาท เหลือ 27,603 บาท ซึ่งลดลงไปได้ 105,295 บาท

8.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. ศึกษาและทำการปรับปรุงเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่เป็นชิ้นส่วนเหล็กเท่านั้น

2. ค่าการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมที่ได้จากการปรับปรุงกระบวนการสามารถใช้ได้กับกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่เป็นชิ้นส่วนเหล็กเท่านั้น

3. ค่าการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมที่ได้จากการปรับปรุงกระบวนการจะมาจากการกำหนดค่าระดับของปัจจัยอื่น ๆ ที่ระดับการใช้งานปัจจุบัน

4. มีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียประเภทสีแตก นอกเหนือจาก 4 ปัจจัยที่ได้ เลือกมาทำการปรับปรุง เช่น ความเข้มข้นของสี ED ความหนืดของสี แรงดันไฟฟ้าของปืนพ่น และอัตราการไหลของสี เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.7 ข้อเสนอแนะ

1. ผลของการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่เป็นชิ้นส่วนอื่น ๆ ได้ แต่ต้องคำนึงถึงความแตกต่างของแต่ละชิ้นส่วน วิธีการทำงาน และข้อกำหนดเฉพาะ เนื่องจากบางปัจจัยอาจไม่สามารถใช้ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมเช่นเดียวกับชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่เป็นชิ้นส่วนเหล็ก

2. สามารถศึกษาเพิ่มเติมในปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการเกิดของเสียประเภทสีแตก เช่น ความเข้มข้นของสี ED ความหนืดของสี แรงดันไฟฟ้าของปืนพ่น และอัตราการไหลของสี เพื่อลดสัดส่วนของเสียและต้นทุนของเสีย

3. ในการศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการเกิดของเสียประเภทสีแตก ควรทำการวิเคราะห์อย่างรอบคอบ เนื่องจากในการปรับปรุงอาจทำให้เกิดข้อบกพร่องอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

[1] ประณต กุลประสูติ. เทคนิคงานสี. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

[2] อรอุษา สรวารี. สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแลกเกอร์). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

[3] M. Doerre, L. Hibbitts, G. Patrick, and N. Akafuah, Advances in Automotive Conversion Coatings during Pretreatment of the Body Structure: A Review, Coatings, vol. 8, no. 11, 2018.

[4] N. Akafuah, S. Poozesh, A. Salaimeh, G. Patrick, K. Lawler, and K. Saito, Evolution of the Automotive Body Coating Process—A Review, Coatings, vol. 6, no. 2, 2016.

[5] วชิรพงษ์ สาลีสิงห์. ปฏิวัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค Six Sigma ฉบับ Champion และ Black Belt. กรุงเทพมหานคร: ศิริวัฒนา อินเตอร์พริ้นท์, 2548.

[6] อาร์ คาวานาช. เส้นทางสู่ Six Sigma. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท้อป, 2548.

[7] ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย. วิศวกรรมคุณภาพและการจัดการ : เข็มทิศการปรับปรุงและสร้างนวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562.

[8] T. Pyzdek. The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels. New York: McGraw-Hill Professional, 2003.

[9] ธีรพร เสนพรหม. การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

[10] อาทิตย์ หงสพันธ์. การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

[11] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย Minitab 15 (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549.

[12] นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์. เอกสารประกอบการเรียนวิชา Quality Improvement. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2562.

[13] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. กรุงเทพมหานคร:

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549.

[14] ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[15] D. C. Montgomery. Design and analysis of experiments. 8 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.

[16] อรรถพล ฤทธิภักดี. การปรับปรุงคุณภาพสำหรับกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

[17] เขมิกา วันทอง. การลดของเสียในกระบวนการพ่นสีโช้คอัพรถจักรยานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

[18] ทิชา แสนสม. การลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

[19] K. Srinivasan, S. Muthu, N. K. Prasad, and G. Satheesh, Reduction of Paint line Defects in Shock Absorber Through Six Sigma DMAIC Phases, Procedia Engineering, vol. 97, pp. 1755-1764, 2014.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวชนิกานต์ รักธงไทย
วัน เดือน ปี เกิด	9 มิถุนายน 2538
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลอาภากรเกียรติวงศ์ ฐานทัพเรือสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วัสดุศาสตร์ แขนงวิชาพอลิเมอร์และสิ่งทอ
ที่อยู่ปัจจุบัน	126/58 หมู่ 4 ซอย คลองบางไผ่ 5 ตำบล สำนักท้อน อำเภอ บ้านฉาง จังหวัดระยอง รหัสไปรษณีย์ 21130

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY