

การลดของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกและสีบางในกระบวนการพ่นสีฝุ่นบนกรอบกระจกของหลังคารถ  
กระบะอเนกประสงค์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2565  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEFECTIVE REDUCTION FROM CRACKING PAINT AND THIN PAINT IN POWDER COATED  
PAINTING PROCESS ON WINDOW FRAME OF CANOPY



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกและสีบางในกระบวนการพ่นสีฝุ่นบนกรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์
โดย	น.ส.พิชญา วาดสูงเนิน
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

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

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

พินญา วาดสูงเนิน : การลดของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกและสีบางในกระบวนการพ่นสี  
 ฝุ่นบนกรอบกระจกของหลังคาถระบะอเนกประสงค์. ( DEFECTIVE REDUCTION  
 FROM CRACKING PAINT AND THIN PAINT IN POWDER COATED PAINTING  
 PROCESS ON WINDOW FRAME OF CANOPY) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.นภัสสวงศ์  
 ไอศกศิลป์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกและ  
 สีบางในกระบวนการพ่นสีฝุ่นบนกรอบกระจกของหลังคาถระบะอเนกประสงค์ งานวิจัยนี้ได้  
 ประยุกต์แนวคิดซิกซ์ ซิกมา (Six-Sigma) หรือวิธีการ DMAIC ในการปรับปรุงโดยเริ่มจากการศึกษา  
 สภาพปัญหาในปัจจุบัน วิเคราะห์ความมั่นคงและความเที่ยงของระบบการตรวจสอบข้อบกพร่อง  
 จากนั้นได้วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยการระดมความคิด จัดทำแผนผังสาเหตุและผล เมทริกซ์  
 สาเหตุและผล เพื่อกำหนดปัจจัยนำเข้าหลัก และนำปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง  
 ประเภทสีแตกและสีบาง 5 ปัจจัยไปออกแบบการทดลองเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง  
 สัดส่วนของเสียและปัจจัยที่มีนัยสำคัญ จากนั้นใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม เพื่อหาระดับของแต่ละ  
 ปัจจัยที่เหมาะสมที่จะช่วยลดสัดส่วนของเสียรวม หลังจากนั้นได้จัดทำแผนควบคุม และเอกสาร  
 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ผลลัพธ์ที่ได้หลังการปรับปรุงกระบวนการ พบว่า สามารถลดสัดส่วนของ  
 เสียจาก 8 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 1.13 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียได้  
 6,877,484 บาทต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ  
 ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต .....  
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6370198621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Powder coated process, Defective rate reduction, Automotive part,  
Six-sigma

Pichaya Wadsungnoen : DEFECTIVE REDUCTION FROM CRACKING PAINT  
AND THIN PAINT IN POWDER COATED PAINTING PROCESS ON WINDOW  
FRAME OF CANOPY. Advisor: Asst. Prof. Napassavong Osothsilp

This research aims to reduce the defective rate from cracking paint and thin paint defects in Powder Coated Painting process of window frame of canopy. This research applied the Six Sigma approach or DMAIC for improvement. Firstly, the problem was defined. Secondly, the accuracy and the precision of the inspection system were appraised. After that, the potential causes for cracking and thin paint defects were analyzed by brain storming and using the cause and effect diagram and the cause and effect matrix to identify key process input variables. Then, the five factors were experimented to find the regression equation showing the relationship between the defective rate and the significant factors. Next, the optimal values of significant factors were found and implemented. The improvement led to the reduction of defective rate from 8 percent to 1.13 percent and the reduction of the rework cost of 6,877,484 baht per year.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2022

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาระหว่างการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดำรง ทวีแสงสกุลไทย กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสผู้วิจัยในการศึกษาวิจัย และให้ความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี ตลอดจนคณะทำงานที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำต่าง ๆ และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้คำแนะนำต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมไปถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณมารดา ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอบคุณกำลังใจจากเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงมา ณ ที่นี้ด้วย

พิชญ์ วาดสูงเนิน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา .....	2
1.2.1 แผนผังกระบวนการผลิตหลังการถนอมเนกประสงค์ของโรงงานกรณีศึกษา .....	2
1.2.2 โครงสร้างองค์กรของแผนกพ่นสีของโรงงานกรณีศึกษา .....	4
1.2.3 ผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา .....	5
1.3 สภาพปัญหาปัจจุบัน .....	5
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	8
1.5 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย .....	8
1.6 ผลที่ได้รับ.....	8
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	9
1.8 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	9
1.9 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย.....	10
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับสีฝุ่นและการพ่นสีฝุ่น.....	11

2.1.1 ประวัติความเป็นมาของสีฝุ่น (Powder coating).....	11
2.1.2 หลักการเคลือบสีฝุ่น .....	12
2.1.3 ชนิดของสีผง.....	13
2.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพ่นสีฝุ่น .....	13
2.1.5 ข้อบกพร่องที่เกิดกับสี.....	16
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับซิกซ์ ซิกมา.....	18
2.2.1 ประวัติความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา.....	18
2.2.2 ความหมายของซิกซ์ ซิกมา .....	18
2.2.3 ตัววัดระดับของคุณภาพซิกซ์ ซิกมา .....	19
2.2.4 ขั้นตอนการทำงานของ ซิกซ์ ซิกมา.....	20
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย .....	21
2.3.1 แผนผังกระบวนการ (Process Mapping).....	21
2.3.2 แผนภาพพาเรโต (Pareto diagram).....	21
2.3.3 การระดมความคิด (Brainstorming).....	22
2.3.4 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) .....	23
2.3.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA: Measurement System Analysis) .....	23
2.3.6 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) .....	28
2.3.7 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) .....	28
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36
บทที่ 3 การนิยามปัญหา.....	40
3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน.....	40
3.2 สภาพปัญหาปัจจุบัน .....	40



3.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิตชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์ เอนกประสงค์.....	43
3.2.2 กระบวนการพ่นสีฝุ่น.....	48
3.2.3 การกำหนดตัวชี้วัดและเป้าหมาย .....	51
3.3 การสร้างสัญญาโครงการ (Project Charter).....	52
3.4 สรุประยะนิยามปัญหา .....	54
บทที่ 4 การวัดสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง.....	55
4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความมั่นคงและความเที่ยงของระบบการวัด (Attribute Agreement Analysis).....	55
4.2 คำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้วัดสภาพปัญหา .....	61
4.3 สรุปค่าตัวชี้วัดสภาพปัญหา .....	62
4.4 สรุประยะการวัดสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง.....	62
บทที่ 5 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา.....	63
5.1 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) .....	63
5.2 เมทริกซ์สาเหตุและผล.....	66
5.3 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา.....	76
บทที่ 6 การปรับปรุงกระบวนการ .....	77
6.1 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทำการทดลอง .....	77
6.2 การเลือกแบบการทดลองที่ใช้ในงานวิจัย.....	77
6.3 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ .....	78
6.4 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลอง.....	80
6.5 การสร้างตารางการออกแบบการทดลอง.....	85
6.6 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง.....	88
6.7 ผลการทดลอง .....	89

6.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	90
6.9 การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า .....	97
6.10 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ .....	103
บทที่ 7 การทดสอบยืนยันผล และการติดตามควบคุม .....	104
7.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง.....	104
7.1.1 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลอง .....	105
7.1.2 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อยืนยันผล.....	105
7.1.3 ผลการทดลองการยืนยันผล.....	105
7.2 การติดตามและควบคุม .....	106
7.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุง .....	110
7.4 สรุประยะการติดตามควบคุมดูแล .....	111
บทที่ 8 บทสรุป และข้อเสนอแนะ .....	112
8.1 สรุประยะการนิยามปัญหา .....	112
8.2 สรุประยะการวัดสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง.....	112
8.3 สรุประยะวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา.....	113
8.4 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ .....	113
8.5 สรุประยะการติดตามควบคุม .....	114
8.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย.....	115
8.7 ข้อเสนอแนะ .....	115
8.8 การตีพิมพ์งานวิจัย .....	115
บรรณานุกรม .....	116
ประวัติผู้เขียน .....	119

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย .....	10
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างระดับคุณภาพ ชิกซ์ ชิกมา และค่า PPM .....	19
ตารางที่ 2.2 ขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบด้วยข้อมูลนับ .....	26
ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การตัดสินใจในการยอมรับของค่าดัชนีชี้วัด $O_E$ , $I_{FA}$ และ $I_{MISS}$ .....	27
ตารางที่ 4.1 เกณฑ์การตัดสินใจในการยอมรับของระบบการวัด.....	57
ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบ .....	58
ตารางที่ 4.3 ผลสรุปของค่าดัชนีชี้วัดของระบบการวัดของข้อมูลตัวอย่าง .....	60
ตารางที่ 5.1 เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล .....	66
ตารางที่ 5.2 คะแนนรวมของแต่ละปัจจัยนำเข้า.....	67
ตารางที่ 5.3 ผลกระทบของแต่ละปัจจัยนำเข้าและคะแนน .....	68
ตารางที่ 5.4 ปัจจัยที่นำไปศึกษาต่อ.....	71
ตารางที่ 5.5 ข้อมูลความหนาของกรอบกระจกในเดือนธันวาคม 2564 .....	74
ตารางที่ 5.6 เมทริกซ์สาเหตุและผล .....	75
ตารางที่ 5.6 เมทริกซ์สาเหตุและผล (ต่อ).....	76
ตารางที่ 6.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัย .....	80
ตารางที่ 6.2 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองปริมาณการพ่นสี ที่เกิดของเสียประเภทสีแตก.....	81
ตารางที่ 6.3 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองปริมาณการพ่นสี ที่เกิดของเสียประเภทสีบาง .....	81
ตารางที่ 6.4 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองระยะห่างปืน ที่เกิดของเสียประเภทสีแตก.....	82
ตารางที่ 6.5 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองระยะห่างปืน ที่เกิดของเสียประเภทสีบาง .....	82
ตารางที่ 6.6 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองอุณหภูมิในการอบ ที่เกิดของเสียประเภทสีแตก .....	83

ตารางที่ 6.7 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองอุณหภูมิในการอบ ที่เกิดของเสียประเภทสีบาง .....	83
ตารางที่ 6.8 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเวลาในการอบ ที่เกิดของเสียประเภทสีแตก .....	84
ตารางที่ 6.9 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเวลาในการอบ ที่เกิดของเสียประเภทสีบาง.....	84
ตารางที่ 6.10 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง .....	85
ตารางที่ 6.11 ตารางการออกแบบการทดลองหน่วยที่เป็นค่ารหัส (Design matrix Coded unit)...	85
ตารางที่ 6.12 ตารางการออกแบบการทดลองหน่วยที่เป็นค่าจริง (Design matrix Uncoded unit) .....	87
ตารางที่ 6.13 การเกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก และสีบาง .....	89
ตารางที่ 6.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและผลการวิเคราะห์การถดถอยของสัดส่วนของเสีย รวมแบบเต็มรูปแบบ.....	91
ตารางที่ 6.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบลดตัวแปรของ สัดส่วนของเสียรวม .....	92
ตารางที่ 6.16 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกกลุ่มที่ 1 .....	98
ตารางที่ 6.17 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกกลุ่มที่ 2 .....	99
ตารางที่ 6.18 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกกลุ่มที่ 3 .....	100
ตารางที่ 6.19 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกกลุ่มที่ 4 .....	101
ตารางที่ 6.20 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกกลุ่มที่ 5 .....	102
ตารางที่ 6.21 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย.....	103
ตารางที่ 7.1 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุง .....	104
ตารางที่ 7.2 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ .....	106
ตารางที่ 7.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน .....	106
ตารางที่ 7.4 แผนควบคุม .....	108
ตารางที่ 7.5 แบบฟอร์มตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องพ่นสีฝุ่น.....	109
ตารางที่ 8.1 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย .....	114



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ผลิตรถยนต์ประกอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์ .....	2
รูปที่ 1.2 แผนผังกระบวนการผลิตหลังคารถกระบะเอนกประสงค์ .....	2
รูปที่ 1.3 แผนผังโครงสร้างองค์กรของแผนกพันธกิจของโรงงานกรณีศึกษา.....	4
รูปที่ 1.4 ปริมาณการผลิตและสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 - เมษายน พ.ศ. 2565 .....	6
รูปที่ 1.5 สัดส่วนของเสียประเภทต่างๆ ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 - เมษายน พ.ศ. 2565 .....	6
รูปที่ 1.6 แผนภูมิพาเรโตสัดส่วนของเสียตามประเภทข้อบกพร่อง.....	7
รูปที่ 1.7 แผนภูมิพาเรโตค่าใช้จ่ายในการซ่อมสี.....	8
รูปที่ 2.1 ลักษณะการทำงานของปืนพ่นสีฝุ่น.....	14
รูปที่ 2.2 หลักการพาเรโต .....	22
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผล .....	23
รูปที่ 2.4 คุณสมบัติด้านไอเอส.....	24
รูปที่ 2.5 คุณสมบัติความสามารถในการผลิตซ้ำและความสามารถในการทำซ้ำ.....	25
รูปที่ 2.6 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ .....	29
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการออกแบบการทดลองการทดลองแฟคทอเรียล $2^k$ เมื่อ $k = 3$ .....	31
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการออกแบบการทดลองการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วนแบบ One-Half เมื่อ $k=3$ .....	32
รูปที่ 2.9 กราฟพื้นที่ผิวตอบและกราฟโครงร่างของตัวแปรตอบสนองที่มีค่ามากที่สุด.....	33
รูปที่ 2.10 กราฟพื้นที่ผิวตอบและกราฟโครงร่างของตัวแปรตอบสนองที่มีค่าน้อยที่สุด .....	33
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง กรณี 2 ปัจจัย .....	34
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง กรณี 3 ปัจจัย .....	34

รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน กรณี 3 ปัจจัย.....	35
รูปที่ 3.1 แผนภูมิพาเรโตสัดส่วนของเสียตามประเภทข้อบกพร่อง.....	41
รูปที่ 3.2 แผนภูมิพาเรโตค่าใช้จ่ายในการซ่อมสี.....	42
รูปที่ 3.3 ลักษณะข้อบกพร่องประเภทสีแตกของชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์ .....	42
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์ .....	44
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนของกระบวนการทำความสะอาดผิวชิ้นงาน .....	46
รูปที่ 3.6 แผงผังของกระบวนการพ่นสีฝุ่น .....	49
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการกระจายตัวของสีฝุ่นที่ออกจากปืนพ่นสี.....	50
รูปที่ 5.1 แผนผังสาเหตุและผลประเภทสีแตก (Cause and Effect Diagram).....	64
รูปที่ 5.2 แผนผังสาเหตุและผลประเภทสีบาง (Cause and Effect Diagram).....	65
รูปที่ 5.3 แผนภูมิพาเรโตแสดงลำดับคะแนนของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทสีแตกและ สีบาง .....	67
รูปที่ 5.4 การวัดความหนากรอบกระจก.....	72
รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการปรับระยะห่างปืน .....	73
รูปที่ 5.6 แผนภาพกล่องเชิงเปรียบเทียบความหนาของกรอบกระจกในเดือนธันวาคม 2564 .....	75
รูปที่ 6.1 กราฟความน่าจะเป็นแบบการแจกแจงปกติของค่าส่วนตกค้าง (Probability Plot) .....	93
รูปที่ 6.2 กราฟของส่วนตกค้างและลำดับของการทดลอง (Versus Order).....	94
รูปที่ 6.3 กราฟของส่วนตกค้างและค่าฟิต (Versus Fits).....	95
รูปที่ 6.4 ผลกระทบร่วมระหว่างปริมาณการพ่นสีและระยะห่างปืน.....	96
รูปที่ 6.5 ผลกระทบร่วมระหว่างระยะห่างปืนและอุณหภูมิ .....	96
รูปที่ 6.6 ผลกระทบร่วมระหว่างเวลาในการอบและปริมาณการพ่นสี.....	97
รูปที่ 7.1 สัดส่วนของเสียข้อบกพร่องประเภทต่าง ๆ ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	110

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

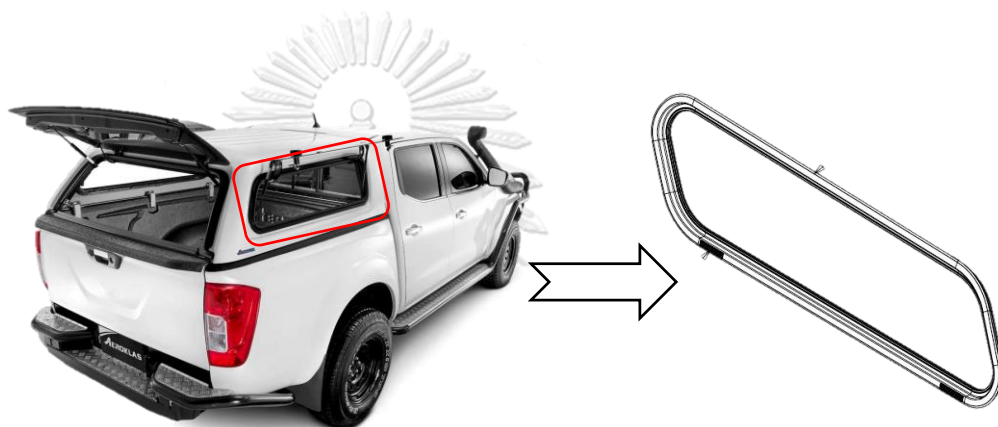
เนื่องจากในปัจจุบันธุรกิจประเภทอุตสาหกรรมยานยนต์มีแนวโน้มฟื้นตัวหลังจากได้รับผลกระทบของการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 ในปี 2563 ที่ส่งผลให้เศรษฐกิจเกิดการชะลอตัวและการซื้อของผู้บริโภคภายในประเทศและส่งออกซบเซาอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามการผลิตและการจำหน่ายของอุตสาหกรรมยานยนต์ได้ฟื้นตัวในปี 2564-2565 ตามสถานะเศรษฐกิจที่มีแนวโน้มที่ดีขึ้น และส่งผลให้ในวงการอุตสาหกรรมยานยนต์ได้กลับมามีอัตราการแข่งขันที่สูงมากขึ้น ซึ่งในการแข่งขันทางธุรกิจนั้นจำเป็นต้องมีกลยุทธ์ที่สำคัญในการแข่งขัน ได้แก่ การตอบสนองความต้องการของลูกค้า และการควบคุมคุณภาพและพัฒนาคุณภาพของสินค้าให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงและพัฒนาเพื่อป้องกันการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานหรือมีข้อบกพร่อง หากผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่องระหว่างกระบวนการผลิต จะส่งผลให้เกิดต้นทุนคุณภาพที่ไม่จำเป็น เช่น ต้นทุนของสินค้าที่เสีย ต้นทุนในกระบวนการผลิตซ้ำ ต้นทุนค่าแรงพนักงานผลิตและพนักงานตรวจสอบ เป็นต้นหากทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น เพื่อป้องกันการเกิดข้อบกพร่องจะช่วยให้ลดต้นทุนคุณภาพอีกทั้งช่วยให้ประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตดียิ่งขึ้น ลดปัญหาการส่งผลิตภัณฑ์ล่าช้าเนื่องจากปัญหาคุณภาพและได้เพิ่มความเชื่อมั่นให้กับลูกค้าอีกด้วย

ดังนั้น สำหรับการวิจัยนี้จะทำการศึกษาโดยมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต โดยได้ประยุกต์แนวคิดซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) มาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดจำนวนของเสีย เนื่องจากแนวคิดนี้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่ามีประสิทธิภาพอย่างมากในการช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิต โดยแนวคิดซิกซ์ ซิกมาได้ทำการแบ่งระยะในการศึกษาออกเป็น 5 ระยะ ได้แก่ การนิยามปัญหา การวัดผลและเก็บข้อมูลของปัญหา การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การปรับปรุง และการควบคุมกระบวนการ



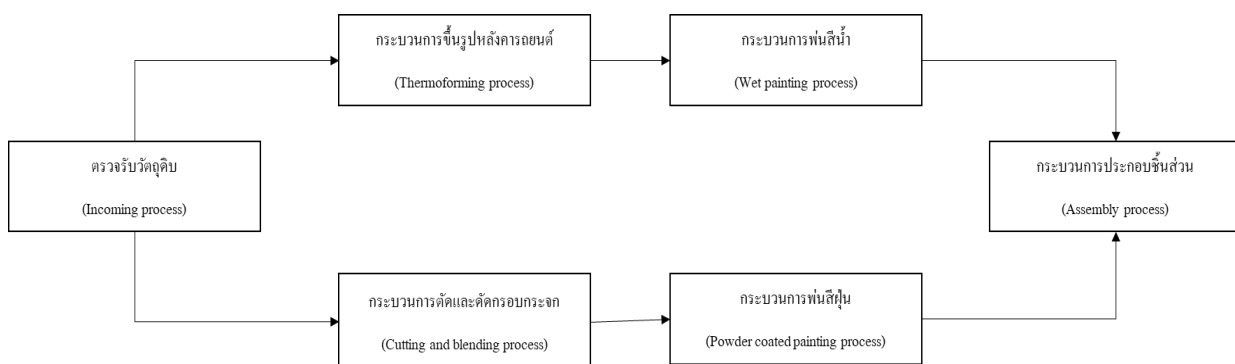
## 1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานที่ประกอบธุรกิจเกี่ยวกับอุปกรณ์ชุดแต่งรถยนต์เอนกประสงค์ ก่อตั้งเมื่อปี 2539 ซึ่งเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ชุดแต่งรถยนต์ลำดับที่ 1 เพื่อจัดส่งให้แก่โรงงานประกอบรถยนต์ โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะแผนกพ่นสีฝุ่นในกระบวนการพ่นสีชุดแต่งครอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่อยู่ระหว่างกระบวนการขึ้นรูปและกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ หากกระบวนการนี้พบของเสียเป็นจำนวนมากจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดความล่าช้าและไม่สามารถส่งออกผลิตภัณฑ์ได้ตามเวลาที่กำหนด



รูปที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์ครอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์

### 1.2.1 แผนผังกระบวนการผลิตหลังคารถกระบะเอนกประสงค์ของโรงงานกรณีศึกษา



รูปที่ 1.2 แผนผังกระบวนการผลิตหลังคารถกระบะเอนกประสงค์

จากแผนผังกระบวนการผลิตหลังการกระบะอบเนกประสงค์สามารถอธิบายกระบวนการผลิต โดยสังเขปได้ดังต่อไปนี้

1) กระบวนการตรวจรับวัตถุดิบ (Incoming process)

กระบวนการตรวจรับเข้าของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต เช่น เม็ดพลาสติก สารเคมี สี และอุปกรณ์การติดตั้งอื่น ๆ เพื่อให้มั่นใจในคุณภาพของวัตถุดิบก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิต และช่วยลดปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตอีกด้วย

2) กระบวนการขึ้นรูปหลังการกระบะอบเนกประสงค์ (Thermoforming process)

กระบวนการขึ้นรูปแบบ Thermoforming เป็นกระบวนการที่นำแผ่นซีทพลาสติกไปร่นไฟจนร้อน และเกิดการอ่อนตัวแล้วจึงนำไปอัดขึ้นรูป ทั้งไว้จนแผ่นพลาสติกเย็นและแข็งตัวคงรูปตามแม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ซึ่งในกระบวนการขึ้นรูปหลังการกระบะอบเนกประสงค์จะใช้แผ่นซีทพลาสติก ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ที่มีคุณสมบัติสามารถทนต่อแรงกระแทก ความร้อน สารเคมี และทนต่อสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดีจึงเหมาะสมนำมาใช้สำหรับการผลิตชิ้นส่วนของรถยนต์เป็นอย่างมาก

3) กระบวนการตัดและตัดกรอบกระจก (Cutting and blending process)

กระบวนการตัดและตัดกรอบกระจกคือการนำอลูมิเนียมเฟรมมาตัดเพื่อให้เป็นรูปทรงของกรอบกระจกสำหรับหลังการกระบะอบเนกประสงค์และทำการตัดแต่งให้ได้ตามขนาดมาตรฐานของกรอบกระจก

4) กระบวนการพ่นสี (Painting process)

กระบวนการพ่นสีคือกระบวนการที่เคลือบสารเคมีหรือสีเพื่อปกปิดพื้นผิวของชิ้นงานโดยขั้นตอนการพ่นสีจะเริ่มจากกระบวนการเตรียมผิวของชิ้นงานโดยการขัดเปิดผิวเพื่อช่วยให้การยึดเกาะของสีดีขึ้นหลังจากนั้นจะนำชิ้นงานมาทำความสะอาดเพื่อพ่นสีรองพื้น (Primer) ซึ่งช่วยในการปกปิดพื้นผิวที่มีข้อบกพร่องที่ชิ้นงาน ก่อนจะนำเข้าสู่กระบวนการพ่นและอบสีในขั้นตอนสุดท้าย

#### 5) กระบวนการพ่นสีฝุ่น (Powder coated painting process)

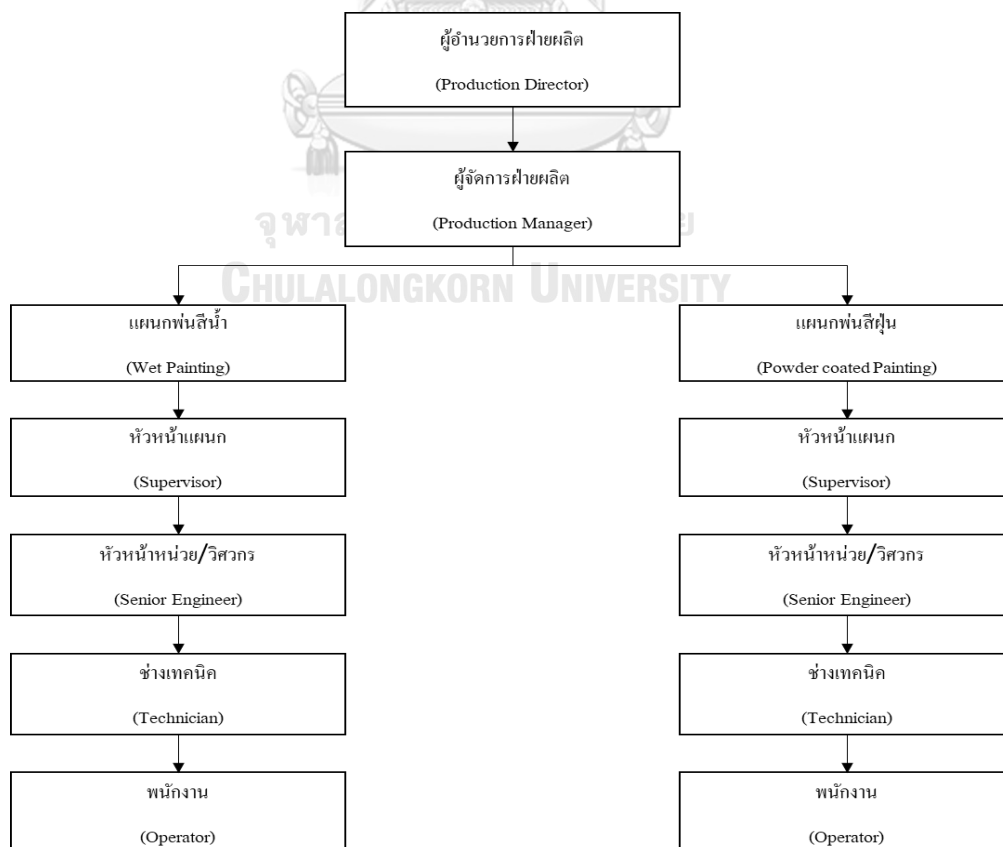
การพ่นสีฝุ่นคือลักษณะของการพ่นสีที่เนื้อสีเป็นชนิดผงฝุ่นเหมือนกับแป้ง โดยวัสดุสีฝุ่นอาศัยประจุไฟฟ้า +/- มาพ่นด้วยการใช้ลมดูดจากถังสีและยิงตรงผ่านท่อและพ่นสีออกจากปลายปืนพ่นไปยังจุดที่ต้องการ โดยกระบวนการนี้สามารถใช้ได้เฉพาะกับวัสดุที่เป็นประเภทโลหะเท่านั้น

#### 6) กระบวนการประกอบ (Assembly Process)

กระบวนการประกอบคือการนำชิ้นงานกิ่งสำเร็จรูปที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปและกระบวนการพ่นสีมาแล้วนำมาประกอบรวมกับชุดอุปกรณ์ติดตั้งอื่น ๆ เพื่อให้ชิ้นงานเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปก่อนนำไปเข้าสู่กระบวนการบรรจุหีบห่อเพื่อส่งขายในลำดับถัดไป

### 1.2.2 โครงสร้างองค์กรของแผนกพ่นสีของโรงงานการศึกษา

โครงสร้างองค์กรของแผนกสีจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือแผนกพ่นสีน้ำและแผนกพ่นสีฝุ่น โดยแผนกพ่นสีมีลักษณะผังองค์กรในระดับบริหารซึ่งแสดงดังรูป 1.2



รูปที่ 1.3 แผนผังโครงสร้างองค์กรของแผนกพ่นสีของโรงงานการศึกษา

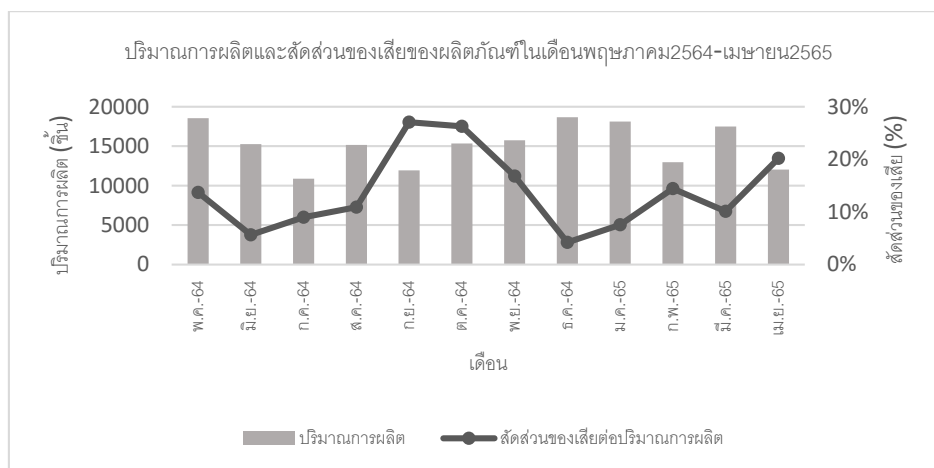
### 1.2.3 ผลกระทบของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษานี้เป็นโรงงานผลิตชุดแต่งรถยนต์ ที่มีผลิตภัณฑ์หลักอยู่ 4 ประเภทหลัก ได้แก่

- 1) แผ่นพลาสติกปูพื้นรถกระบะ (Bed liner)
- 2) บันไดข้างรถกระบะ (Side step)
- 3) หลังคารถกระบะเอนกประสงค์ (Canopy)
- 4) ชุดแต่งรถยนต์อื่น ๆ (Other)

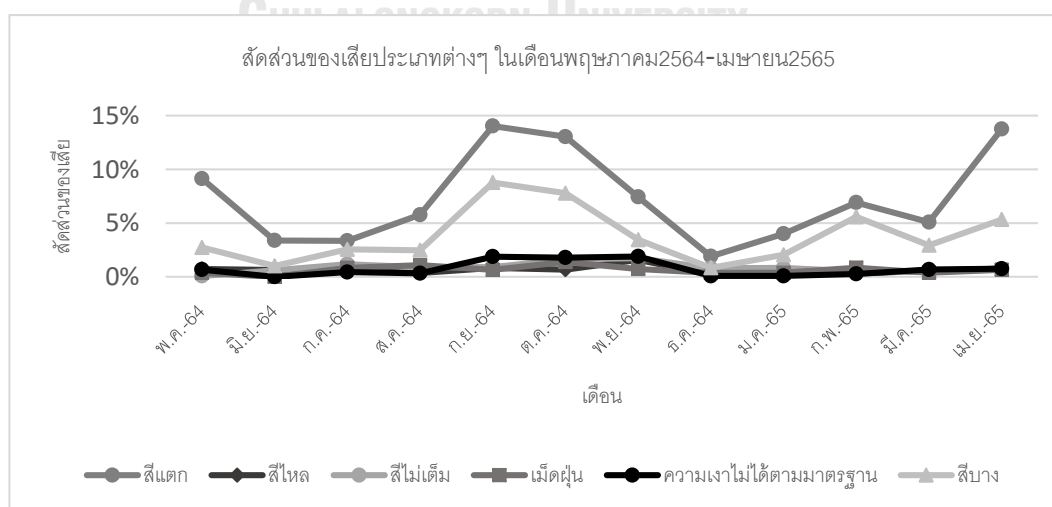
### 1.3 สภาพปัญหาปัจจุบัน

ในปัจจุบันกระบวนการพ่นสีฝุ่นสำหรับชุดแต่งรถกระบะของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์พบข้อบกพร่องหลังจากกระบวนการพ่นสีบางชนิด เช่น สีแตก พ่นสีไม่ติด เม็ดฝุ่น ความหนาสีไม่ได้ตามมาตรฐาน ความเงาไม่ได้ตามมาตรฐาน และสีไหล ฯลฯ ซึ่งข้อบกพร่องเหล่านี้ไม่สามารถพบได้ในกระบวนการตรวจสอบชิ้นงานก่อนพ่นสี หรือการเตรียมผิวชิ้นงาน แต่ตรวจพบในขั้นตอนสุดท้ายในการตรวจสอบคุณภาพ จึงทำให้เกิดปัญหาและความสูญเสียเป็นอย่างมาก เนื่องจากกระบวนการพ่นสีฝุ่นนั้นผ่านขั้นตอนหลายขั้นตอนและใช้เวลานานจึงจะสามารถพบว่าข้อบกพร่องเหล่านี้เกิดขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่ข้อบกพร่องเหล่านี้จะเกิดคล้าย ๆ กันภายในล็อตการผลิตเดียวกัน โดยของเสียที่เกิดขึ้นทำให้เกิดความสูญเสียต่าง ๆ เช่น วัสดุดิบในการผลิต ต้นทุนในการผลิตต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น ต้นทุนแรงงาน และต้นทุนเครื่องจักร อีกทั้งยังเสียค่าใช้จ่ายและเวลาในการแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและลดต้นทุนในการผลิตที่ไม่จำเป็นจึงต้องมีการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีฝุ่นสำหรับชุดแต่งรถกระบะของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์ โดยการกำหนดค่าของปัจจัยต่างในกระบวนการพ่นสีฝุ่นที่เหมาะสม



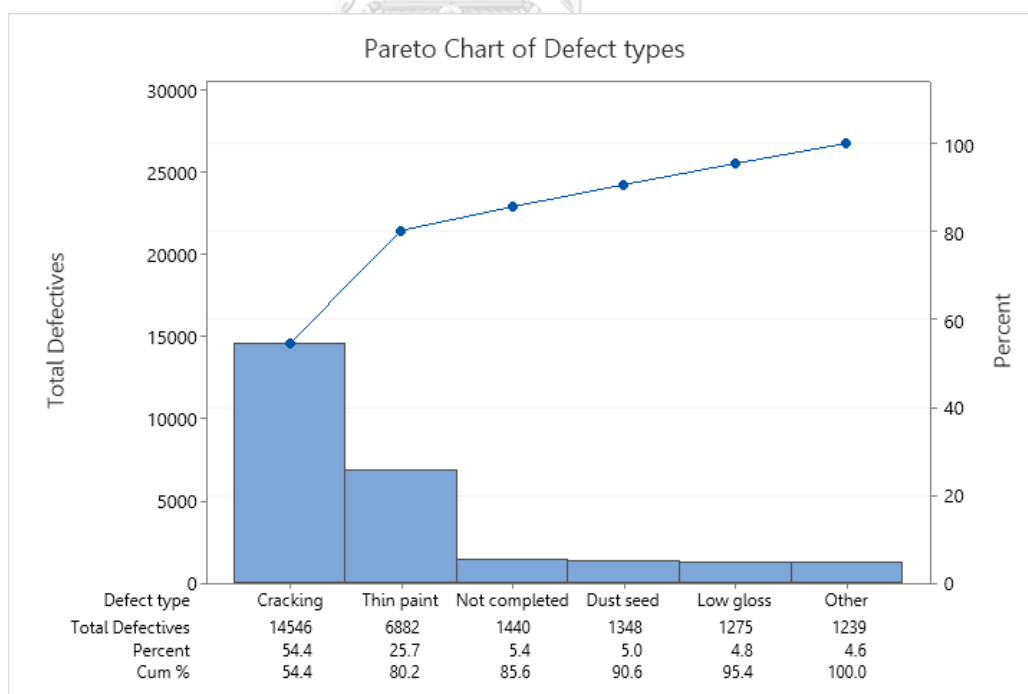
รูปที่ 1.4 ปริมาณการผลิตและสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 - เมษายน พ.ศ. 2565

จากการพิจารณาสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทต่าง ๆ จากกระบวนการพ่นสีฝุ่นในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2565 ดังแสดงในรูป 1.4 จะพบว่าจากประเภทข้อบกพร่องทั้งหมด จะพบปัญหาสีแตกมีสัดส่วนมากที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อบกพร่องประเภทอื่น ๆ และมีค่าเฉลี่ยของเสียตลอดทั้งปีเท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตทั้งหมดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2565 โดยจากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าในแต่ละเดือนสัดส่วนของเสียมีจำนวนแตกต่างกันมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากความหนาของกรอบกระจกในแต่ละล็อตการผลิตที่ต่างกัน และมีการปรับระดับปัจจัยของเครื่องพ่นสีเพื่อช่วยลดสัดส่วนของเสียในแต่ละล็อตการผลิต แต่เนื่องจากไม่มีมาตรฐานการปรับตั้งที่ชัดเจน จึงส่งผลให้การปรับตั้งบางครั้งให้ผลไม่ดันทักและส่งผลให้สัดส่วนของเสียในแต่ละเดือนมีจำนวนแตกต่างกันมาก

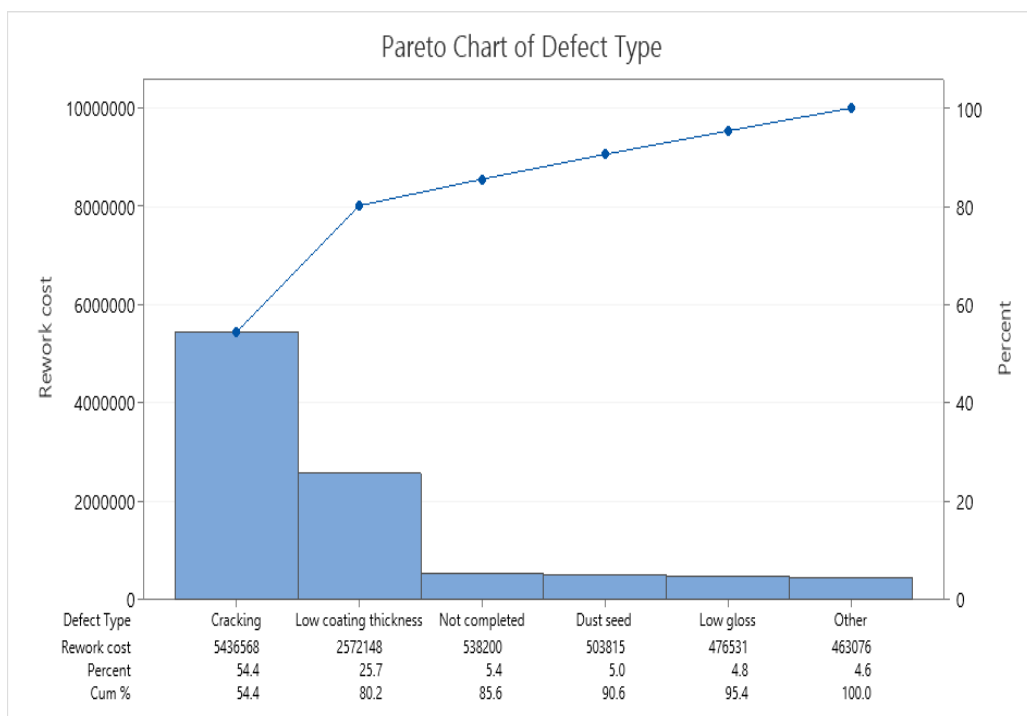


รูปที่ 1.5 สัดส่วนของเสียประเภทต่างๆ ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 - เมษายน พ.ศ. 2565

ดังนั้นได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิพาเรโตเพื่อช่วยในการคัดเลือกข้อบกพร่องที่ควรปรับปรุงก่อน ดังแสดงในรูปที่ 1.5 จะเห็นได้ว่าของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตก (Cracking) มีจำนวนของเสียที่มากเป็นอันดับหนึ่ง โดยคิดเป็นสัดส่วนคือ 54.4 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในปี 2564 และจำนวนของเสียที่มากเป็นอันดับที่สอง คือของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีบาง (Thin paint) โดยคิดเป็นสัดส่วนคือ 25.7 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียทั้งหมด ซึ่งทั้ง 2 ประเภทข้อบกพร่องมีสัดส่วน 80.2 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้น และเมื่อพิจารณาข้อมูลค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องจากกระบวนการพ่นสีฝุ่นสำหรับชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์ของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1.6 พบว่าค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องประเภทสีแตก มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมเป็นอันดับหนึ่ง คือ 5,436,567.5บาท ซึ่งมีสัดส่วนเป็น 54.4 เปอร์เซ็นต์และอันดับที่สองคือค่าใช้จ่ายในการซ่อมสีบางคือ 2,572,148บาท ซึ่งมีสัดส่วนเป็น 25.7 เปอร์เซ็นต์ โดยรวมค่าใช้จ่ายในการซ่อมสีของทั้ง 2 ข้อบกพร่องมีสัดส่วน 80.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อซึ่งหากสองปัญหานี้ได้รับการแก้ไขจะส่งผลให้สามารถลดจำนวนของเสีย ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการซ่อมสีได้มาก และยังสามารถช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางมาศึกษาต่อ



รูปที่ 1.6 แผนภูมิพาเรโตสัดส่วนของเสียตามประเภทข้อบกพร่อง



รูปที่ 1.7 แผนภูมิพาเรโตค่าใช้จ่ายในการซ่อมสี

#### 1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนของเสียและต้นทุนที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางในกระบวนการพ่นสีฝุ่นสำหรับชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์อเนกประสงค์

#### 1.5 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาเฉพาะกระบวนการพ่นสีฝุ่นสำหรับกรอบกระจกของหลังคารถยนต์อเนกประสงค์เท่านั้น
2. แก้ไขเฉพาะข้อบกพร่องปัญหาสีแตกและสีบางในกระบวนการพ่นสีฝุ่นเท่านั้น
3. ปรับปรุงเฉพาะในกรณีที่เงินลงทุนไม่สูงและได้รับการยอมรับจากโรงงานกรณีศึกษา

#### 1.6 ผลที่ได้รับ

วิธีการทำงานในกระบวนการพ่นสีฝุ่นที่เหมาะสมที่ช่วยลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบาง

### 1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถลดจำนวนข้อเสียจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางและต้นทุนคุณภาพที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีฝุ่นได้
2. สามารถกำหนดมาตรฐานในกระบวนการพ่นสีฝุ่นและปรับปรุงกระบวนการพ่นสีฝุ่นให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

### 1.8 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะดำเนินการตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา 5 ระยะดังต่อไปนี้

1. การศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลและกำหนดปัญหา
  - 1) จัดตั้งคณะทำงานที่เกี่ยวข้องเพื่อแก้ไขปัญหาและปรับปรุงกระบวนการพ่นสีฝุ่น โดยคัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ และความเชี่ยวชาญในกระบวนการพ่นสีฝุ่น
  - 2) ศึกษากระบวนการพ่นสีฝุ่นสำหรับชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เนกประสงค์ พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับกระบวนการพ่นสีฝุ่น เช่น จำนวนในการพ่นสีฝุ่นสำหรับชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เนกประสงค์ในแต่ละเดือน และค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการพ่นสีฝุ่นเป็นต้น
  - 3) วิเคราะห์ข้อมูลข้อบกพร่องโดยอาศัยแผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) เพื่อกำหนดประเภทของข้อบกพร่องที่จะแก้ไข และขอบเขตในการปรับปรุง
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
3. การเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพของปัญหาและการวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบข้อบกพร่อง
  - 1) เก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการเพื่ออธิบายสภาพของปัญหาด้วยขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม
  - 2) วิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนและความเที่ยงในการตรวจสอบข้อบกพร่อง
4. การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา
  - 1) ระดมความคิด (Brainstorming) เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่มีโอกาสทำให้เกิดข้อบกพร่อง โดยอาศัยแผนผังก้างปลา (Fish bone diagram) เข้ามาช่วยวิเคราะห์ เพื่อนำไปเรียงลำดับความสำคัญในแต่ละปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อข้อบกพร่องและช่วยตัดปัจจัยที่มีผลน้อยออกไปเพื่อลดจำนวนปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อ





## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการพ่นสีฝุ่นสำหรับชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย โดยมีหัวข้อสำคัญดังต่อไปนี้

- 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับสีฝุ่นและการพ่นสี
- 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับ ซิกซ์ ซิกมา
- 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับสีฝุ่นและการพ่นสีฝุ่น

##### 2.1.1 ประวัติความเป็นมาของสีฝุ่น (Powder coating)

ในประเทศเยอรมัน ได้มีการทดลองการเคลือบสีโดยกรรมวิธีจุ่มโลหะที่ถูกร้อนที่อุณหภูมิหนึ่งมาแล้วลงในผงพลาสติก ซึ่งพลาสติกจะละลายเคลือบติดกับผิวโลหะได้ ในเวลาต่อมาได้เกิดเป็นกระบวนการทางการค้าไป แต่เนื่องจากกรรมวิธีในการผลิตดังกล่าวนั้นใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงในการผลิต เพราะมีข้อจำกัดทางคุณสมบัติของพลาสติกในการทนความร้อน ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่แพร่หลายเท่าที่ควร ในเวลาต่อมาเมื่อปี พ.ศ. 2503 ได้มีการค้นพบสีผงซึ่งสามารถรับประจุไฟฟ้าได้เมื่อพ่นออกไป จึงได้มีการนำมาพัฒนาในแวดวงอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในการเคลือบสี ซึ่งถูกเรียกว่า กระบวนการเคลือบสถิต (Electro Static process) วัสดุสีผงที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ พีวีซี (PVC) โพลีเอทิลีน (Polyethylene) และ ไนลอน (Nylon) กระบวนการเคลือบสีนี้จะแตกต่างจากวิธีจุ่มโลหะร้อนลงในผงพลาสติก จนกระทั่งปี พ.ศ. 2505 ได้มีการค้นคว้าและพัฒนาผลพลาสติกประเภทประจุไฟฟ้าได้มากขึ้น เพื่อลดขั้นตอนในการอบชิ้นงานก่อนการพ่นสี (Pre-heat) และในปี พ.ศ. 2507 ได้มีสีผงที่มีสูตรและขนาดเม็ดสีเหมาะสมกับการพ่นมากขึ้น และได้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมมากขึ้น โดยพลาสติกที่นำมาใช้ผลิตผงสีจะมาจาก อีพอกซี (Epoxy) ในการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของการเคลือบสีฝุ่น ได้เป็นที่นิยมอย่างมากทางด้านกระบวนการเตรียมชิ้นงานในอุตสาหกรรม และเทคโนโลยีได้ถูก

นำไปดัดแปลงใช้ในงานอื่น ๆ ซึ่งการเคลือบผิวด้วยสีฝุ่นให้ข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น การเตรียมชิ้นงาน ความสวยงาม คุณภาพ ความทนทาน ความประหยัดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การใช้สีฝุ่นในปัจจุบันได้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมแขนงอื่นอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่นอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ของใช้ภายในครัวเรือนขนาดใหญ่ เช่น ตู้เย็น เครื่องซักผ้า และเฟอร์นิเจอร์เคลือบสี เป็นต้น [1]

### 2.1.2 หลักการเคลือบสีฝุ่น

ระบบการเคลือบสีด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ อาศัยการสร้างประจุไฟฟ้าระหว่างวัตถุ 2 ชนิดให้เกิดความแตกต่างของประจุ ทำให้เกิดเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าซึ่งกันและกัน ซึ่งหลักการสร้างประจุไฟฟ้ามี 2 หลักการได้แก่

#### 1. หลักการสร้างประจุไฟฟ้าโดยการขัดสี (Frictional Electricity)

หลักการนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางไฟฟ้า โดยอาศัยการขัดสีของผงวัสดุสีเพื่อสร้างประจุหนึ่ง การเกิดประจุจะเกิดขึ้นโดยทำให้ผงวัสดุสีที่ขาดอิเล็กตรอนจะมีประจุเป็น (+) และผงวัสดุสีได้รับอิเล็กตรอนจะมีประจุเป็น (-) โดยผงสีที่มีประจุจะเคลื่อนที่ตามแนวของแรงเหนี่ยวนำระหว่างพื้นผิวสีกับชิ้นงาน ลักษณะของผงสีจะมีลักษณะเป็นฝุ่นฟุ้งปกคลุมไปที่ชิ้นงาน และจัดเรียงตัวกันบนผิวชิ้นงาน โดยหลักการนี้สามารถนำไปใช้กับผงวัสดุที่มีองค์ประกอบหลักของ Epoxy, Polyurethane, Acrylic, Polyamide เป็นต้น

#### 2. หลักการสร้างประจุไฟฟ้าโดยการแตกตัวของประจุไฟฟ้าด้วยความต่างศักย์กำลังสูง (High Tension Ionization)

หลักการนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางไฟฟ้า โดยอาศัยการเหนี่ยวนำประจุบริเวณหัวพ่น ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงขึ้น แนวแรงจากผลของสนามไฟฟ้าจากความต่างศักย์นี้จะทำให้เกิดทางเดินที่สะสมประจุลบของอากาศ เพื่อนำผงสีไปสู่วิวขิงชิ้นงานได้ ผงสีจะจัดเรียงตัวเองโดยจะตั้งแกนตามยาวและเรียงตั้งไปตามยาวของชิ้นงาน วิธีนี้จะนำไปใช้กับผงวัสดุที่มีองค์ประกอบของ Polyester, Epoxy-Polyester, PVC, Teflon เป็นต้น

### 2.1.3 ชนิดของสีผง

สีผงที่ใช้ในอุตสาหกรรม จะเป็นสีผงที่มีเนื้อสีล้วนไม่มีน้ำมันผสมสี โดยวัตถุดิบที่ใช้ทำสีผงจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการนำไปใช้ในงานแต่ละประเภท ซึ่งมีอยู่ 3 ประเภทหลัก ๆ คือ

#### 1. ประเภทอีพอกซี (Epoxy)

สีชนิดนี้จะมีคุณสมบัติเหมาะสมกับงานทั่วไป เพื่อความสวยงามและป้องกันการสึกกร่อนของผิวโลหะไม่ให้ถูกทำลายได้ง่าย ทนต่อสภาพทางเคมีได้ดี จึงเป็นที่นิยมใช้กับงานอุตสาหกรรม แต่อย่างไรก็ตามสีประเภทนี้หากนำไปใช้กับงานภายนอกความเงาจะลดลง เนื่องจากเนื้อสีถูกทำร้ายได้ด้วยแสงแดดเมื่อสัมผัสเป็นระยะเวลานานๆ ดังนั้นสีผงประเภทนี้จึงไม่เหมาะนำมาใช้กับงานที่ใช้กลางแจ้งตลอดเวลา

#### 2. ประเภทอีพอกซีและโพลีเอสเตอร์ (Epoxy & Polyester)

เป็นสีที่ได้รับการพัฒนาปรับปรุงเพื่อให้สามารถนำไปใช้กับงานกลางแจ้งได้ดีขึ้น รวมทั้งคุณสมบัติอื่นๆ เพิ่มขึ้นด้วย เช่น พ่นง่ายขึ้น สีไม่เพี้ยน ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของเตาอบควบคุมไม่ตามมาตรฐาน และยังทนต่อการแช่น้ำได้ดีอีกด้วย

#### 3. ประเภทโพลีเอสเตอร์ (Polyester)

เป็นสีผงที่ได้รับการพัฒนาให้ทนต่อแสงแดดอย่างดีเลิศ จึงเหมาะกับงานที่ต้องตากแดดอยู่กลางแจ้ง หรือตากฝนเป็นเวลานาน ๆ

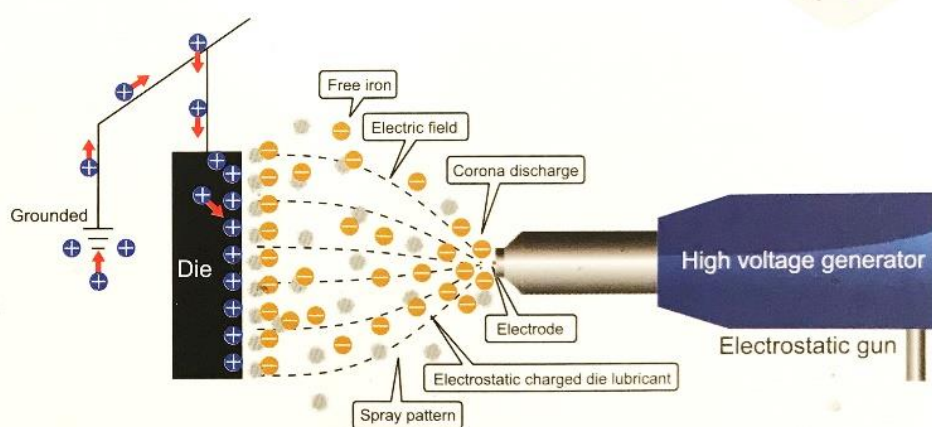
### 2.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพ่นสีฝุ่น

อุปกรณ์หลัก ๆ ที่ใช้ในกระบวนการพ่นสีฝุ่นประกอบด้วย [1]

#### 1. ปืนพ่นสี (Spray Gun)

ปืนพ่นสีฝุ่นกระบวนการทำงานคล้ายกับปืนพ่นสีน้ำมัน โดยหลักการของสีฝุ่นก่อนจะถูกส่งออกมาจะต้องทำให้อยู่ในสภาพ Fluidization ก่อนโดยการผ่านอากาศที่ถูกอัดตัวเข้าไปผสมกับสีฝุ่น ซึ่งจะทำให้สีฝุ่นประพฤติตัวเหมือนกับของไหลและสามารถส่งผ่านไปตามท่อได้ แสดงดังรูปที่ 2.1 ส่วนของปืนพ่นสีเมื่อสีฝุ่นในสภาพ Fluidization ผ่านเข้ามาก่อนที่จะออกจากปลายกระบอกปืนจะมีอิเล็กโทรดที่อยู่ซึ่งจะเป็นอิเล็กโทรดที่มีความต่างศักย์สูง หรือเรียกว่า High Voltage Electrode ช่วงการ

ใช้งานอยู่ระหว่าง 20-100 KV และชิ้นงานหรือพื้นผิวที่จะถูกพ่นจะต่อกับกราวด์ หลักการเหมือนกับให้อนุภาคของสีฝุ่นนำไฟฟ้าจากอิเล็กโทรดความต่างศักย์สูงไปยังกราวด์ซึ่งต่อกับชิ้นงานเมื่ออนุภาคสีฝุ่นวิ่งผ่านอิเล็กโทรด โดยอิเล็กโทรดความต่างศักย์สูงจะคายประจุไปยังอนุภาคของสีฝุ่น ซึ่งค่อย ๆ ลอยไปตามแรงดันของ Fluidization เมื่อพ่นปากกระบอกปืนพ่นสีจะถูกสนามไฟฟ้าดูดเข้าไปยังชิ้นงานที่ต่อกับกราวด์ ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจรพอดี เมื่ออนุภาคเกาะชิ้นงานแล้วจะคายประจุและติดอยู่ที่ผิวของชิ้นงาน อนุภาคต่อมาก็จะมาเกาะเรื่อย ๆ จนกระทั่งเป็นฉนวนมากพอที่จะไม่ทำให้สนามไฟฟ้าผ่านออกไปได้ จึงทำให้สีไม่สามารถเกาะที่ผิวได้อีก



รูปที่ 2.1 ลักษณะการทำงานของปืนพ่นสีฝุ่น

(ที่มา: <http://www.thaimetalworks.com/พ่นสีฝุ่น-powder-coating/>)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 2. ห้องพ่นสี (Booth)

ชนิดของห้องพ่นสีจะแบ่งออกเป็น 4 ประเภทได้แก่

### 2.1 ห้องพ่นสีมาตรฐานทั่วไป (Standard Booth)

เหมาะกับงานทั่วไปที่มีการเปลี่ยนสีบ่อย และรูปร่างของชิ้นงานแตกต่างกันตัวชุดห้องพ่นสีจะแยกจากระบบรีไซเคิล พัดลมระบบอากาศจะให้ผลดีเมื่อติดตั้งในแนวตั้ง ตัวผงสีจะถูกรับคืนมาโดยการใช้ไซโคลนฟิลเตอร์ โดยผงสีส่วนเกินจะถูกดูดกลับและรีไซเคิลในแท่งค์ของไซโคลนส่วนละเอียดมากๆ จะถูกกรองและไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้อีก

## 2.2 ห้องพ่นสีแบบโมดูลาท (Moducart Booth)

ห้องพ่นประเภทนี้จะมีเฟรมด้านบนและกล่องบรรจุชุดเก็บสีส่วนเกินประกอบอยู่ด้านล่าง ซึ่งจะเป็นที่เก็บของชุดกรองสีฝุ่น การระบายอากาศจะให้ผลดีในแนวตั้ง โดยข้อนี้ของห้องพ่นสีประเภทนี้ได้แก่ ประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้ง เหมาะกับการติดตั้งขนาดกลาง

## 2.3 ห้องพ่นสีแบบ MVH (Maintain Ventilation in Horizontal Booth)

เป็นห้องพ่นสีที่ทันสมัย และมีช่วงการใช้งานได้กว้าง เหมาะกับการพ่นสีขนาดใหญ่ มีการพ่นสีหลากหลาย และมีการเปลี่ยนสีบ่อย ๆ

## 2.4 ห้องพ่นสีแบบพื้นด้านล่างราบ (Flat Bottom Booth)

พื้นห้องพ่นสีจะยกระดับขึ้น 50 เซนติเมตรเพื่อให้สะดวกต่อการเข้าไปในพื้นห้องพ่นสีได้ง่าย สามารถปรับปั่นพ่นสี และสามารถติดตั้งตัวกวาดสีอัตโนมัติได้ ส่วนด้านล่างตัวกวาดสีจะขับเคลื่อนด้วยแม่เหล็กโดยทำหน้าที่กวาดสีลงสู่ถังเก็บสีอีกด้านหนึ่งของห้องพ่นสี

## 3. ถังเก็บและจ่ายสีอัตโนมัติ (Automation Powder Hopper)

หลักการการทำงานของถังเก็บสี คือประกอบด้วยถังเก็บซึ่งจะทำให้ผงสีเกิด Fluidized ด้านล่างถังเก็บสีจะประกอบด้วยแผ่น Polyethylene ซึ่งเจาะรูพรุน จะทำให้เกิด Fluidization ในอากาศ และจะกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วผิวหน้า และรักษาสภาพของการเป็นเนื้อเดียวเอาไว้ ตัวนำผงสีออกมาคือ ลูกสูบ ซึ่งจะติดตั้งกับฝาปิดด้านบน โดยลูกสูบจะดูดสีในถังเก็บสีและส่งออกไปสู่ปั่นพ่นสี ตัวลูกสูบนี้อาจมีจุดต่อกับสายอากาศ 2 จุดซึ่งเกี่ยวเนื่องกัน

## 4. ตู้ควบคุม (Control Cabinet)

ตู้ควบคุมนี้ใช้ควบคุมเครื่องจักร หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ทั่วไปแต่ที่สำคัญ โดยสิ่งที่ทำการควบคุมได้แก่ การควบคุมปั่นพ่นสีแต่ละตัว เช่น ควบคุมความต่างศักย์ อัตราการไหลของสีฝุ่น และรูปแบบการพ่นสี เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถควบคุมถังเก็บและจ่ายสีอัตโนมัติ เพื่อควบคุมการเป็น Fluidization ซึ่งจะส่งผลให้สีกระจายตัวได้ดี และควบคุมระบบรีไซเคิล รวมถึงการควบคุมระบบความปลอดภัยต่างๆ อีกด้วย

## 5. โซ่ลำเลียง (Chain Excavator)

การลำเลียงชิ้นงานเข้าเตาอบสีโดยปกติจะใช้เป็นระบบต่อเนื่อง ซึ่งอาศัยการใช้โซ่ลำเลียง โดยโซ่จะติดตั้งอยู่บนรางที่ระดับบน ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการแขวนชิ้นงานและพาชิ้นงานเข้าสู่เตาอบ โซ่ลำเลียงนี้จะเป็นเส้นต่อเนื่องกันที่จะพางานผ่านห้องพ่นสีด้วย การไหลของชิ้นงานขึ้นโซ่ลำเลียงก็กระทำโดยลักษณะแขวนชิ้นงานเข้ากับลวดแขวนและแขวนบนโซ่ลำเลียงอีกที สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงในระบบโซ่ลำเลียงคือระยะทางภายหลังจากออกจากเตา เพื่อให้ชิ้นงานได้มีโอกาสระบายความร้อนออกสู่บรรยากาศและเย็นตัวก่อนที่จะถูกเก็บออกจากโซ่ และระยะแขวนชิ้นงานบนโซ่ต้องให้ห่างกัน อย่าให้สัมผัสกันได้ก่อนและหลังเข้าเตาอบ เพราะอาจจะเกิดปัญหาชิ้นงานติดกัน และทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้

## 6. เตาอบ (Oven)

เตาอบจะแปรผันไปตามการใช้งาน หรือบางครั้งอาจจะปรับเปลี่ยนได้ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งานจริง โดยหลักการทำงานของเตาอบคือเพื่อใช้สำหรับการละลายสีฝุ่นให้ยึดเกาะกับชิ้นงาน ซึ่งจะต้องกำหนดอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมกับประเภทของสีฝุ่นรวมทั้งชิ้นงานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาคุณภาพหลังจากทำการอบสี

### 2.1.5 ข้อบกพร่องที่เกิดกับสี

ข้อบกพร่องที่เกิดกับสีฝุ่นมีโอกาสเกิดจากสาเหตุหลายประการ ดังนี้ [2]

1. การเตรียมผิววัสดุก่อนทำการพ่นสีไม่ดีพอ
2. วิธีการพ่นสีไม่ถูกต้อง
3. ทำการพ่นสีภายใต้สภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป ใช้ระยะเวลาในการอบนานเกินไป เป็นต้น
4. ความหนาสีในการเคลือบชิ้นงานไม่เหมาะสม
5. เลือกใช้วัสดุดิบที่ไม่เหมาะสมกับประเภทของสี

ดังนั้นสามารถป้องกันการเกิดข้อบกพร่องต่าง ๆ โดยการหลีกเลี่ยงสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง

ข้อบกพร่องที่เกิดกับการพ่นสีมีหลายลักษณะ ดังนี้

### 1. เม็ดสี (Seeding, Dust seed)

เม็ดสี หมายถึง พื้นผิวหลังจากการพ่นสีมีเม็ดฝุ่นเล็ก ๆ เกาะอยู่บนพื้นผิว อาจจะเป็นกลุ่มเม็ดสีหรือไม่เป็นกลุ่มก็ได้ โดยสาเหตุอาจเกิดจากมีสิ่งสกปรกตรงข้างในหัวปืนพ่นสี สายลมในการพ่นสี หรือ ฝุ่นละอองในห้องพ่นสีก็ได้

### 2. สีแตก (Cracking)

สีแตก หมายถึง สีที่เคลือบชิ้นงานเกิดการแยกตัว โดยรอยแยกทำให้ฟิล์มสีเกิดการแตกร้าว จนเห็นถึงเนื้อผิวของชิ้นงาน และบางครั้งส่งผลให้สีไม่ยึดเกาะกับชิ้นงานและร่อนออกมาเป็นแผ่นได้ โดยสาเหตุเกิดจากสารเคลือบผิวไม่สามารถขยายตัวและหดตัว ซึ่งอาจจะเกิดจากความหนาสีมากเกินไป หรือ อุณหภูมิและเวลาในการอบสีมากเกินไป ทำให้สีสามารถเกิดรอยแตกได้

### 3. ผิวส้ม (Orange Peel)

ผิวส้ม หมายถึง ลักษณะของพื้นผิวสีที่พ่นแล้วไม่เรียบคล้ายผิวส้ม ซึ่งข้อบกพร่องนี้เกิดได้หลายสาเหตุ ยกตัวอย่างเช่น ความหนืดของสารเคลือบสูงเกินไป ความหนาของสีมากเกินไป ความดันของลมที่พ่นไม่ถูกต้อง และขณะพ่นหัวปืนพ่นสีอยู่ห่างจากวัสดุมากเกินไป เป็นต้น

### 4. สีย้อยหรือสีไหล (Sagging)

สีย้อย หมายถึง การที่สารเคลือบผิวไหลลงมาระหว่างทำการเคลือบแล้วเกิดการแข็งตัว ทำให้ผิวสีไม่สม่ำเสมอ มีขอบล่างหนา โดยปกติ การย้อยจะลักษณะเหมือนมัน เกิดขึ้นเฉพาะพื้นผิวในแนวตั้ง โดยสาเหตุการเกิดสีย้อยเกิดได้จากการเคลือบหนาเกินไป หรือเกิดจากการอบสีที่อุณหภูมิต่ำเกินไป เป็นต้น

### 5. สีบาง (Low coating thickness)

สีบาง หมายถึง การที่สารเคลือบผิวของชิ้นงานมีความหนาท่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ในบางครั้งสีอาจจะไม่เคลือบผิวชิ้นงานได้อย่างทั่วถึงจนมองเห็นเนื้อผิวของชิ้นงาน ซึ่งข้อบกพร่องนี้อาจจะส่งผลทำให้ชิ้นงานเกิดปัญหาสนิมได้ หากทำการใช้ไปเป็นเวลานาน โดยสาเหตุการเกิดปัญหาสีบางได้มาจากการพ่นสีในระยะที่ห่างจากชิ้นงานจนเกินไป หรืออัตราในการพ่นสีต่ำเกินไป



## 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับซิกซ์ ซิกมา

### 2.2.1 ประวัติความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา

แนวคิดซิกซ์ ซิกมา เกิดขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ 2533 โดยที่วิศวกรของบริษัท Motorola ได้ทำการคิดค้นขึ้นภายใต้การนำทีมโดย Dr.Mikel Harry ได้พัฒนาและสร้างโครงการเพื่อปรับปรุงคุณภาพสินค้า และได้ตีพิมพ์และเปิดเผยวิธีปรับปรุงคุณภาพของสินค้าวิธีใหม่ที่ชื่อว่า “วิธีซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)” โดยตั้งชื่อตามตัวอักษรกรีก ( $\sigma$ ) ที่มีความหมายนัยทางสถิติ คือ ระดับความผันแปรของกระบวนการ ซึ่งบริษัท Motorola ได้รับความสำเร็จที่วัดออกมาเป็นตัวเงินมหาศาลจากการดำเนินงานตามแนวคิดทาง ซิกซ์ ซิกมา [3]

ต่อมาบริษัท GE ซึ่งนำโดย Jack Welch ได้ปรับเปลี่ยนรูปแบบดั้งเดิมของ ซิกซ์ ซิกมา ให้เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้มากขึ้น โดยปรับแก้รูปแบบ ซิกซ์ ซิกมา ของ Motorola ให้เน้นการทำไปเป็นเรื่องๆ ในระยะเวลาที่กำหนด หรือ รูปแบบ Project Based Approach นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมในส่วนของการบริหารโครงการและแนวทางในการจูงใจให้ผู้บริหารเล็งเห็นความสำคัญของการดำเนินการ และเพิ่มวิธีการประเมินผลสำเร็จที่สามารถวัดผลออกมาในรูปแบบการเงินที่ดีขึ้นของบริษัท ด้วยรูปแบบใหม่ของ ซิกซ์ ซิกมา จึงเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากในบริษัททั่วไป

### 2.2.2 ความหมายของซิกซ์ ซิกมา

ซิกมา (Sigma:  $\sigma$ ) เป็นพยัญชนะตัวหนึ่งในภาษากรีกที่นักสถิตินำมาใช้แทนความหมายระดับความผันแปรของกระบวนการ หรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความหมายของซิกซ์ ซิกมาสามารถตีความหมายออกมาสองนัยสำคัญเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติได้ดังนี้

ความหมายเชิงทฤษฎี คือ ความพยายามในการลดความผันแปรของกระบวนการ โดยบีบให้ความผันแปรของกระบวนการทั้งหมดตกอยู่ในขีดจำกัดของข้อกำหนดด้านคุณภาพ และยอมให้มีของเสียได้ไม่เกิน 3.4 ครั้งใน 1 ล้านครั้ง (3.4 PPM) หรือ ความสูญเสียโอกาสลงให้เหลือเพียง 3.4 หน่วย (Defect per Million Opportunities: DPMO)

ความหมายเชิงปฏิบัติ เป็นเรื่องของการใช้หลักสถิติในการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ เน้นผลสำเร็จในรูปของการลดต้นทุนจากการดำเนินโครงการ โดยไม่เน้นว่าต้องจบโครงการที่ไม่เกิน 3.4 PPM [3]

### 2.2.3 ตัววัดระดับของคุณภาพซิกซ์ ซิกมา

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการดำเนินโครงการ ซิกซ์ ซิกมา คือการเลือกตัวชี้วัดเพื่อบอกระดับของคุณภาพในกระบวนการที่เหมาะสม ซึ่งความเหมาะสมนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ลักษณะของผลิตภัณฑ์ และความต้องการของลูกค้า เช่น โอกาสของการเกิดของเสียหรือความผิดพลาดต่อการทำงาน 1 ล้านครั้ง (Defect per Million Opportunities: DPMO)

ระดับคุณภาพของ ซิกซ์ ซิกมา ถ้ามีค่ามากหมายความว่าคุณภาพของกระบวนการผลิตนั้นอยู่ในระดับสูง ในกรณีที่กระบวนการผลิตที่ใช้อยู่เป็นกระบวนการระดับ ซิกซ์ ซิกมา ที่สมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับ 6.0 และในขณะเดียวกันค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติที่ต้องการของผลผลิตจะตรงกับค่าเป้าหมายพอดี โดยกระบวนการ ระดับ ซิกซ์ ซิกมา ที่สมบูรณ์จำนวนของเสียต่อจำนวน 1 ล้าน หรือ PPM จะมีค่าเท่ากับ 0.002 แต่ในระยะยาวเมื่อกระบวนการทำงานเริ่มเสื่อมสภาพลง ผลที่ได้คือค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติที่ต้องการจะมีผลคลาดเคลื่อนไปจากค่าเป้าหมาย ตามปกติแล้วในกรณีที่อยู่ขั้นเลวร้ายที่สุดความคลาดเคลื่อนนี้จะสูงถึง  $1.5 \sigma$  จากระดับ  $6 \sigma$  ซึ่งทำให้ระดับคุณภาพ ซิกซ์ ซิกมา ลดลงเหลือเพียง 4.5 และจำนวนของเสียต่อจำนวน 1 ล้าน หรือ PPM จะมีค่าเท่ากับ 3.4 โดยแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างระดับคุณภาพ ซิกซ์ ซิกมา และค่า PPM ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างระดับคุณภาพ ซิกซ์ ซิกมา และค่า PPM

ระดับคุณภาพ ซิกมา	ค่าเฉลี่ย = เป้าหมาย		ค่าเฉลี่ย = เป้าหมาย $\pm 1.5 \sigma$		ขอบเขต ข้อกำหนด
	เปอร์เซ็นต์ ของดี	ของเสีย (PPM)	เปอร์เซ็นต์ ของดี	ของเสีย (PPM)	
1	68.27	317,300	30.23	697,700	$\pm 1 \sigma$
2	95.45	45,500	69.13	308,700	$\pm 2 \sigma$
3	99.73	2,700	93.32	66,810	$\pm 3 \sigma$
4	99.9937	63	99.370	6,210	$\pm 4 \sigma$
5	99.999943	0.57	99.97670	233	$\pm 5 \sigma$
6	99.9999998	0.002	99.999660	3.4	$\pm 6 \sigma$

## 2.2.4 ขั้นตอนการทำงานของ ชิกซ์ ชิกมา

แนวคิดของ ชิกซ์ ชิกมา ขึ้นอยู่กับการเก็บวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาทางในการปรับปรุงกระบวนการที่ทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง โดยจุดมุ่งหมายในการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธี ชิกซ์ ชิกมา คือลดความคลาดเคลื่อนและการเปลี่ยนแปลงแบบหลากหลาย หรือ Variability ในกระบวนการ ซึ่งจะมีวิธีการอยู่ 5 ขั้นตอน หรือ DMAIC ได้แก่ การระบุชี้หรือกำหนด (Define: D) การวัด (Measure: M) การวิเคราะห์ (Analyze: A) การปรับปรุง (Improve: I) และการควบคุม (Control: C) โดยทั้ง 5 ขั้นตอนมีรายละเอียด ดังนี้ [4]

1. การนิยามปัญหา (Define: D) เป็นช่วงที่มีความสำคัญมากที่สุดในการบวนของ DMAIC โดยมีการกำหนดปัญหาและเป้าหมายอย่างชัดเจน ว่าปัญหาคืออะไร ส่วนไหนที่จำเป็นต้องทำการปรับปรุง และจะทำการปรับปรุงถึงระดับไหน

2. การวัด (Measure: M) เป็นช่วงที่มีการเก็บข้อมูลเพื่อทำการประเมินและวัดผลของการปฏิบัติงาน ในรูปตัวชี้วัดต่างๆ โดยประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบวัด (Gauge R&R) พิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบันโดยอาจจะพิจารณาจากของเสียในปัจจุบัน ทำการระดมความคิด (Brainstorming) เพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable) ที่อาจมีผลทำให้เกิดของเสียในกระบวนการ การวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบของกระบวนการด้วยผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis: FMEA) เป็นต้น

3. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis: A) เป็นขั้นตอนที่เริ่มทำการเจาะลึกลงไป ในรายละเอียดเพื่อวิเคราะห์หาข้อสรุปเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งจะพิจารณาจากปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้จากวิธีการ (Method) เครื่องจักร (Machine) วัสดุดิบ (Material) การวัดผล (Measure) พนักงาน (Man) และสภาพแวดล้อม (Environment) โดยนำปัจจัยที่ได้มา ออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ทดสอบความนัยสำคัญของปัจจัย เช่นการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing) เป็นต้น

4. การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve: I) หลังจากได้วิธีในการแก้ไขปัญหาที่เป็นไปได้แล้ว จะเริ่มทำการรวบรวมหลักเกณฑ์และการวิเคราะห์สรุปผลการทดลอง จากนั้นทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล และสรุปผลที่ได้จากการทดลองนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง

5. การควบคุม (Control: C) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของแนวคิดทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งเป็นการนำแนวทางที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุง นำไปปฏิบัติในกระบวนการผลิตจริง และมีการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ผล โดยมีการจัดทำเอกสารเพื่อการควบคุม เช่นคู่มือการปฏิบัติ (Work instruction) แผนการควบคุม (Control plan) เป็นต้น

## 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

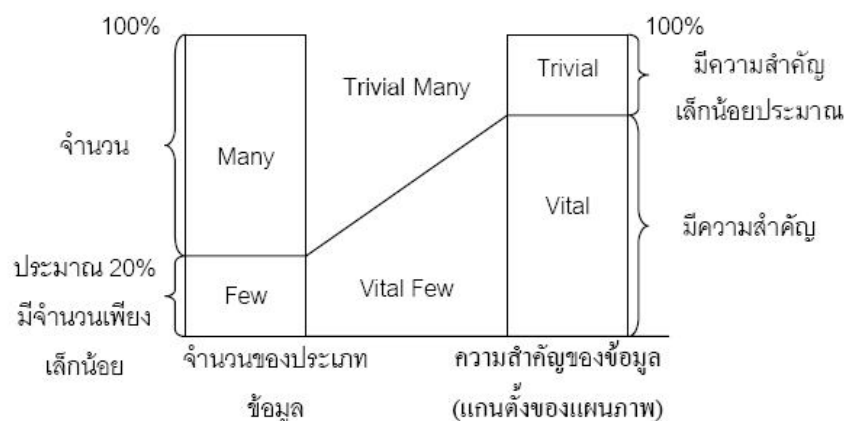
### 2.3.1 แผนผังกระบวนการ (Process Mapping)

แผนผังกระบวนการคือการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิตทั้งกระบวนการ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะหาสาเหตุของปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยแผนผังกระบวนการจะแสดงการไหลของกระบวนการตั้งแต่ปัจจัยนำเข้า (Input) ไปจนถึงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น (Output) ซึ่งตอนนี้เปรียบเสมือนการตรวจวิเคราะห์กระบวนการผลิตโดยการระดมสมอง เพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ได้ทราบรายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนทั้งกระบวนการผลิต ทำให้ทราบถึงสิ่งที่ผิดปกติที่เกิดขึ้นในทุก ๆ ขั้นตอนของกระบวนการหรือทราบสาเหตุที่แท้จริงของข้อบกพร่อง [5]

### 2.3.2 แผนภาพพาเรโต (Pareto diagram)

แผนภูมิพาเรโต เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับแสดงสาเหตุของปัญหาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่อง โดยแผนภูมิพาเรโตนี้จะเรียงจำนวนข้อมูลจากมากไปหาน้อย เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจว่าสาเหตุปัญหาใดควรนำไปปรับปรุงก่อน อีกทั้งยังสามารถใช้ตรวจสอบผลที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุงกระบวนการได้อีกด้วย แผนภูมิพาเรโตมีลักษณะคล้ายกับแผนภูมิฮิสโตแกรม (Histogram diagram) คือมีลักษณะเป็นกราฟแท่งรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างเท่ากัน และในแต่ละแท่งจะเรียงชิดติดกัน แต่แผนภูมิพาเรโตจะประกอบด้วยแกนตั้ง 2 แกนและแกนนอน 1 แกนคือ แกนตั้งด้านซ้ายเป็นจำนวนของการเกิดสาเหตุข้อบกพร่อง แกนด้านขวาเป็นร้อยละสะสมของการเกิดสาเหตุข้อบกพร่อง ส่วนแกนนอนเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ซึ่งการวิเคราะห์แผนภูมิพาเรโตนั้นมีพื้นฐานมาจาก “หลักการพาเรโต” ที่กล่าวว่าปัญหาหรือความสูญเสียที่มีความสำคัญ 80% มักจะมีสาเหตุมาจากประมาณ 20% ของสาเหตุทั้งหมด ในขณะที่อีก 80% ของสาเหตุจะมีผลต่อปัญหาที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยอีก 20% ดังนั้นแผนภูมิพาเรโตจะเป็นเครื่องมือที่ช่วยชี้ให้เห็นเฉพาะปัญหาที่สำคัญจริง ๆ นั้นมาจากไม่กี่สาเหตุและปัญหาที่มีความสำคัญ

น้อยเกิดจากหลากหลายสาเหตุซึ่งไม่จำเป็นที่จะต้องแก้ไขทุก ๆ สาเหตุของปัญหาแต่จงเลือกเฉพาะสาเหตุหลักที่สำคัญ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2 [6]



รูปที่ 2.2 หลักการพาเรโต

### 2.3.3 การระดมความคิด (Brainstorming)

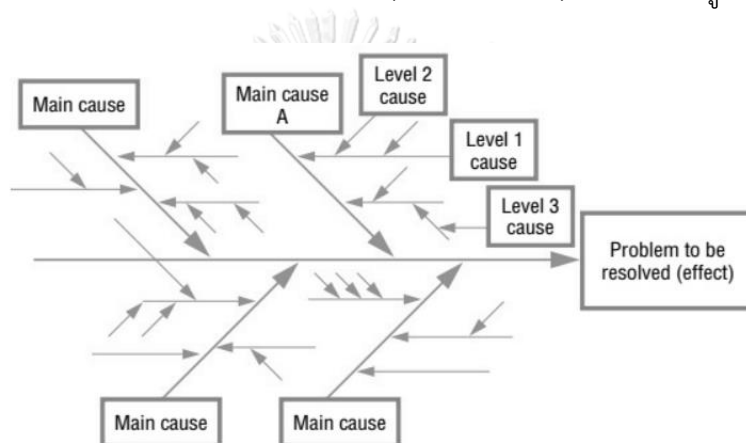
การระดมความคิด คือ การแสดงความคิดเห็นร่วมกันระหว่างสมาชิก เพื่อเป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การค้นหาค้นหาต้นเหตุที่แท้จริงของปัญหา เลือกปัญหา และวิธีการแก้ไขปัญหา เป็นต้น ประเด็นหนึ่งที่มีความสำคัญในการระดมความคิด คือ ความคิดอันเกิดจากการใช้ความคิด มีบ่อยครั้งที่ความคิดดี ๆ เกิดขึ้นจากการใช้ความคิด การต่อยอดความคิด การคิดต่าง ดังนั้นการระดมความคิดจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญเป็นอย่างมากในการทำงานร่วมกันเป็นหมู่คณะ [7]

หลักการในการระดมความคิด มีดังนี้

1. เปิดโอกาสให้ทุกความสามารถแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ
2. รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น
3. ปริมาณในหัวข้อที่เสนอยิ่งมาอย่างดี
4. ห้ามวิจารณ์ในระหว่างที่มีการเสนอความคิดเห็น
5. สามารถเสนอความคิดเห็นที่แตกต่างและออกนอกกลุ่มนอกทางได้
6. หลีกเลี่ยงการปะทะคารม
7. เมื่อได้ผลแล้วควรทำการรวบรวมแล้วนำไปปรับปรุง

### 2.3.4 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ผังแสดงเหตุและผล คือแผนภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ (Effect) และสาเหตุ (Cause) ที่ทำให้เกิดผลลัพธ์นั้น ๆ โดยลักษณะของผังแสดงเหตุและผลมีอีกชื่อเรียกว่า “ผังก้างปลา” หรือ Fish Bond Diagram วัตถุประสงค์ของการสร้างผังแสดงเหตุและผล เพื่อแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของสาเหตุ องค์ประกอบต่างๆ ที่ทำให้เกิดผลลัพธ์นั้น ๆ และ กำหนดแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่สาเหตุนั้น ทั้งนี้องค์ประกอบ หรือสาเหตุหลักที่นิยมใช้ในผังผังก้างปลา คือ สัญลักษณ์คำว่า 4M1E ได้แก่ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุดิบ (Material) วิธีการทำงาน (Method) และสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.3 [4]



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผล

### 2.3.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA: Measurement System Analysis)

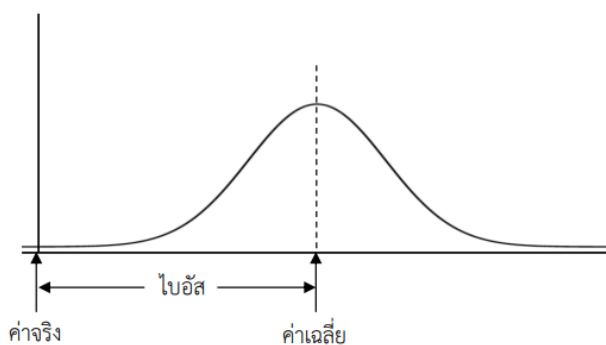
การวิเคราะห์ระบบการวัดคือ การศึกษาความผันแปรต่าง ๆ ระหว่างการตรวจวัด ซึ่งเกิดขึ้นได้จากอุปกรณ์ การวัด วิธีการวัด ทักษะของผู้วัด และสภาพแวดล้อม ประกอบเข้าด้วยกัน โดยการวิเคราะห์ระบบการวัดสามารถแยกความผันแปรของข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความผันแปรของตำแหน่ง และ ความผันแปรของความกว้าง ซึ่งอธิบายอย่างละเอียดได้ดังนี้ [8, 9]

#### 1. ความผันแปรของตำแหน่ง (Location Variation)

ความผันแปรของตำแหน่ง คือ คุณสมบัติการเข้าใกล้ของค่าเฉลี่ยจากผลการวัดหลาย ๆ ครั้ง เมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง โดยจะถูกกำหนดด้วยความผันแปร 3 ลักษณะดังต่อไปนี้

- ลักษณะด้านความไบอัส (Bias)

ค่าไบอัส หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าจริง กับค่าเฉลี่ยที่วัดได้บนคุณลักษณะและ  
 ชิ้นงานวัดเดียวกันโดยคุณสมบัติด้านไบอัสนี้จะเป็นตัววัดความคลื่อนเชิงระบบการวัด ดังแสดงในรูป  
 ที่ 2.4



รูปที่ 2.4 คุณสมบัติด้านไบอัส

- ลักษณะด้านความเสถียร (Stability)

ความเสถียรภาพของระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรทั้งหมดในการวัดที่ได้จากระบบการ  
 วัดหนึ่งโดยอาศัยชิ้นงานหรือค่ามาตรฐานเดียวกัน ในการวัดคุณลักษณะประการหนึ่งตลอดเวลาที่  
 ยาวนานขึ้น หรือเรียกอีกอย่างหนึ่ง คือ คุณสมบัติด้านอายุการใช้งานของอุปกรณ์วัดโดยพิจารณาจาก  
 ความผันแปรโดยรวมในระบบการวัดที่ได้จากการวัดงานมาตรฐานขึ้นขึ้นตลอดเวลา

- ลักษณะด้านความเป็นเส้นตรง (Linearity)

ความเป็นเส้นตรงของระบบการวัด หมายถึง ความสามารถของเครื่องมือวัดที่ไม่เปลี่ยนแปลง  
 ไปเมื่อมีการเปลี่ยนพิสัยของการวัด เป็นคุณสมบัติที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าวัดภายในระยะวัดที่  
 กำหนด

2. ความผันแปรของความกว้าง (Width Variation)

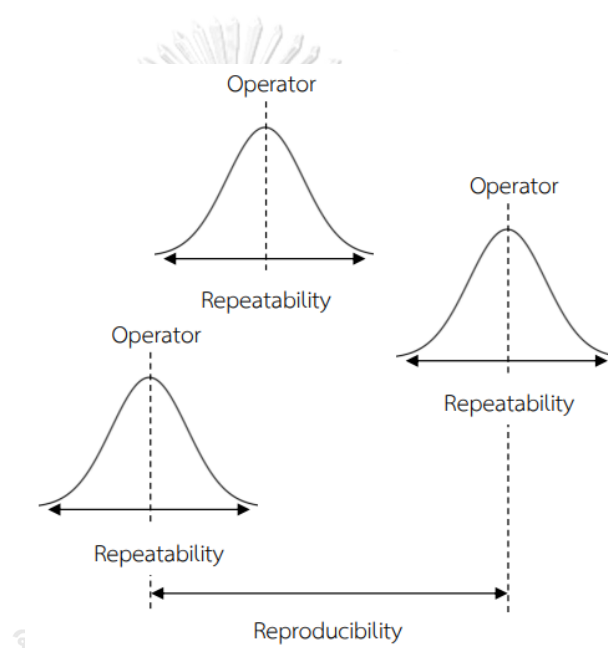
ความผันแปรของความกว้าง คือ ลักษณะของความแตกต่างของค่าคงที่ซึ่งได้จากการวัด  
 ชิ้นงานเดิมด้วยเครื่องมือวัดอันเดิม โดยทั่วไปแล้วจะเรียกความผันแปรของความกว้างของระบบการ  
 วัดว่า ความแม่นยำ (Precision) เป็นตัววัดความผันแปรของระบบการวัดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม  
 โดยสามารถลักษณะของระบบการวัดแบบผันแปรของความกว้างออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

- ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability)

ความสามารถในการทำซ้ำ หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็นของระบบการวัดโดยใช้พนักงานวัดเพียงคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกัน ในการวัดชิ้นงานเดียวกันซ้ำ ๆ

- ความสามารถในการผลิตซ้ำ (Reproducibility)

ความสามารถในการผลิตซ้ำ หมายถึง ค่าความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากอุปกรณ์เดียวกันในชิ้นงานเดียวกันแต่จะแตกต่างกันระหว่างพนักงาน (Appraiser Variation) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 คุณสมบัติความสามารถในการผลิตซ้ำและความสามารถในการทำซ้ำ

### การวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดของข้อมูลแบบหน่วยนับ (MSA for Attribute)

ระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ หมายถึง ระบบการตรวจสอบที่มีการแยกแยะข้อมูลเป็นการประเมินผลในลักษณะเชิงคุณภาพ เช่น การตรวจสอบเพื่อแยกแยะของดีและของเสีย ซึ่งระบบการวัดที่ดีต้องมีทั้งความแม่นยำ (Accuracy) และ ความเที่ยง (Precision) โดยความแม่นยำจะพิจารณาในเรื่องการบอกประเภทได้อย่างถูกต้อง ส่วนความเที่ยงจะพิจารณาในเรื่องที่พนักงานสามารถตรวจสอบชิ้นงานเดิมซ้ำหลายๆ ครั้งแล้วได้ผลเหมือนกัน

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบหน่วยนับ



1. กำหนดจำนวนพนักงานที่จะทำการทดสอบ
2. กำหนดชิ้นงานตัวอย่างและจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำ โดยจำนวนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงาน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบด้วยข้อมูลนับ

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

3. ออกแบบการเก็บข้อมูลและดำเนินการเก็บข้อมูล โดยลำดับในการเก็บข้อมูลต้องเป็นแบบสุ่มเพื่อลดความลำเอียงในการบอกค่า และการตรวจสอบในแต่ละรอบของพนักงานแต่ละคนให้ทำการตรวจสอบแบบสุ่ม เมื่อตรวจสอบครบหนึ่งรอบแล้ว ในรอบต่อไปให้กำหนดลำดับในการตรวจสอบชิ้นงานเป็นสุ่มอีกเช่นกัน
4. เมื่อได้ข้อมูลการตรวจสอบมาครบตามที่กำหนด นำข้อมูลมาคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงความสามารถของระบบวัด

ดัชนีชี้วัดที่ใช้ในการประเมินความสามารถระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ

1. การวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน (Within appraiser)
  - 1.1. การวิเคราะห์ความเที่ยงหรือความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีทหะบิลิตี้ของพนักงานแต่ละคน

% รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงานแต่ละคน = % คะแนนของพนักงานวัดแต่ละคน (% appraiser score)

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

- 1.2. การวิเคราะห์ความถูกต้อง (ประสิทธิผล, ความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ) ของการวัดของพนักงานแต่ละคน

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

ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงาน (Operator effectiveness index:  $O_E$ )

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

ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False alarm index:  $I_{FA}$ )

$$I_{FA} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบว่าไม่ผ่าน}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่มีคุณภาพผ่าน * จำนวนครั้งการตรวจสอบ}}$$

ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (Index of a miss:  $I_{MISS}$ )

$$I_{MISS} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบว่าผ่าน}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่มีคุณภาพเป็นไม่ผ่าน * จำนวนครั้งการตรวจสอบ}}$$

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

ผลการตัดสินใจ	$O_E$	$I_{FA}$	$I_{MISS}$
ยอมรับพนักงานทดสอบได้	$\geq 90\%$	$\leq 5\%$	$\leq 2\%$
ยอมรับแบบกำกึ่ง (อาจจำเป็นต้องการปรับปรุง)	$80\% \leq O_E < 90\%$	$5\% < I_{FA} \leq 10\%$	$2\% < I_{MISS} \leq 5\%$
ไม่สามารถให้การยอมรับได้ (ต้องการการปรับปรุง)	$< 80\%$	$> 10\%$	$> 5\%$

## 2. การวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน

### 2.1. การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน

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

### 2.2. การวิเคราะห์ความพ้องกันและความถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน

% คะแนนของประสิทธิภาพของค่าแอดทริบิวต์

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

### 2.3.6 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis)

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ หมายถึง ความสามารถของกระบวนการเป็นการแสดงถึงความสามารถของกระบวนการในการผลิตสินค้าได้ตรงตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งกำหนดในลักษณะของขีดจำกัดข้อกำหนด

#### การประเมินความสามารถของกระบวนการที่มีข้อมูลแบบนับ

ข้อมูลแบบนับเป็นข้อมูลที่ไม่มีคุณสมบัติอธิบายความผันแปรจึงมีความจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลนับให้อยู่ในรูปของจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่อง เพื่อการเปรียบเทียบให้อยู่ในรูปแบบของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Z) สำหรับการแปลงให้เป็นดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ

การกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการจะขึ้นอยู่กับเกณฑ์การตัดสินใจของผู้วิเคราะห์ที่สำคัญ เช่น หากต้องการประเมินถึงความสามารถของกระบวนการในรูปแบบของจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยที่เกิดขึ้น ก็สามารถใช้ค่าสัดส่วนโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์บกพร่อง ( $\bar{p}$ ) เป็นตัววัดความสามารถของกระบวนการได้ แต่หากต้องการประเมินในรูปดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ เพื่อเปรียบเทียบผลการปรับปรุงกระบวนการนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ดัชนีที่วัดศักยภาพของความสามารถ (Potential Capability: Cp) และดัชนีที่วัดความสามารถที่แท้จริงของกระบวนการ (Actual Capability: Cpk) โดย Cp ใช้เพื่อตัดสินกระบวนการว่ามีค่าความสามารถเพียงใด ตามเงื่อนไขบางประการ และ Cpk ใช้ตัดสินกระบวนการได้โดยไม่จำเป็นที่ค่าเฉลี่ยของความแปรผันดังกล่าวต้องอยู่ที่กึ่งกลางของช่วงมาตรฐานของข้อกำหนด

### 2.3.7 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

การออกแบบการทดลอง คือ การออกแบบแผนการทดลองในการเก็บข้อมูลเพื่อทดสอบว่าตัวแปรนำเข้าที่สนใจมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่ [9, 10]

#### ส่วนประกอบของการทดลอง

1. ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่ปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

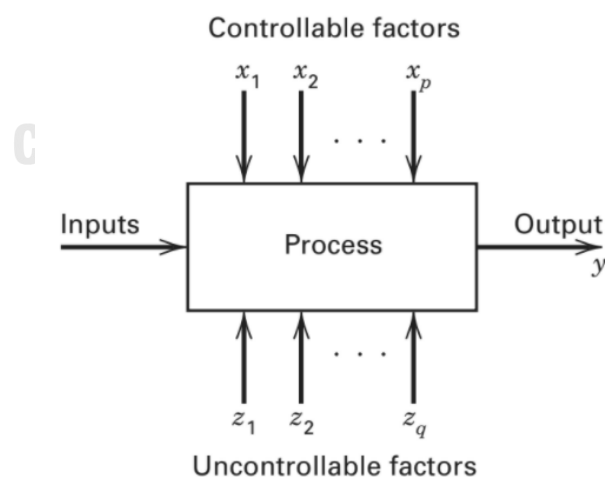
2. หน่วยทดลอง (Experiment Unit) คือ สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของการทดลอง ซึ่งได้รับจากทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจจะผันแปรไปได้จากการ

ทดลองหนึ่งไปสู่อีกการทดลองหนึ่ง แม้ว่าจะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้ค่าจำกัดของหน่วยทดลองให้ชัดเจน

3. ปัจจัย (Factor) คือ กลุ่มของทริทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกับปัจจัย ซึ่งสามารถใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ โดยปัจจัยนั้นอาจเป็นไปได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและปริมาณ

แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ แสดงดังรูปที่ 2.6 ปัจจัยสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factor) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลอง และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factor) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีและต้นทุน โดยปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้แบ่งออกเป็น 3 ตัวแปร ดังนี้

1. ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) คือ ตัวแปรที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ส่วนใหญ่มักได้แก่ เวลา หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น
2. ตัวแปรแทรกซ้อน (Nuisance Variable) คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่ไม่ทราบมาก่อน สามารถกำจัดอิทธิพลของแปรแทรกซ้อนได้โดยการสุ่ม
3. ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ผลลัพธ์หรือตัวชี้วัดสิ่งที่สนใจปรับปรุงซึ่งสามารถวัดค่าได้ เช่น ความหนาของชิ้นงาน ความยืดหยุ่นของชิ้นงาน เป็นต้น



รูปที่ 2.6 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ

### วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

1. เพื่อทดสอบผลกระทบหลักของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง (Main Effect)
2. เพื่อทดสอบผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง (Interaction Effect)
3. เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง ซึ่งจะใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ
4. เพื่อสนับสนุนการปรับปรุงในเรื่องการออกแบบผลิตภัณฑ์ การออกแบบกระบวนการ การดำเนินงานของกระบวนการ

### ประเภทของการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

1. การออกแบบการทดลองแบบทีละปัจจัย (One-Factor-at-a-Time: OFAT)

วิธีนี้เป็นการทดสอบทีละปัจจัย โดยในการทดสอบแต่ละครั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น และคงค่าของปัจจัยอื่น ๆ ไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่ง เมื่อทดสอบปัจจัยอื่นก็จะเปลี่ยนค่าปัจจัยนั้นเพียงปัจจัยเดียว และคงค่าของปัจจัยอื่น ๆ ไว้ที่ค่า ๆ หนึ่งเช่นกัน ดังนั้นการทดลองแบบนี้จะสามารถสรุปผลได้เพียงทีละปัจจัย แต่ไม่สามารถสรุปผลของปัจจัยอื่น ๆ ที่ถูกคงค่าไว้ได้ นอกจากนั้นด้วยรูปแบบ OFAT จะพบว่าทำให้ไม่สามารถศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้ และวิธีนี้จะใช้จำนวนการทดลองและขนาดตัวอย่างมากกว่าการทดลองแบบแปรค่ามากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อมกัน

2. การออกแบบการทดลองแบบแปรค่ามากกว่าหนึ่งปัจจัยไปพร้อมกัน (Design of Experiment: DOE)

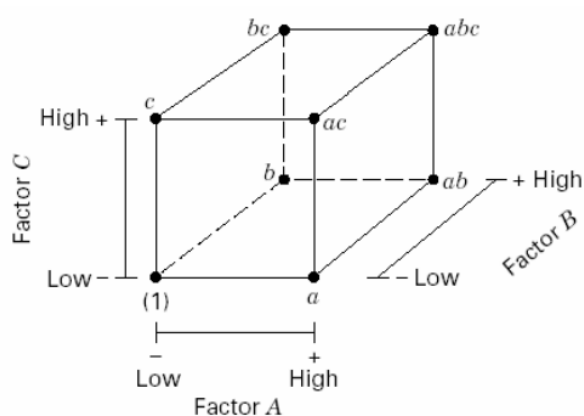
วิธีนี้เป็นการทดสอบที่สามารถให้เห็นผลของปัจจัยใด ๆ ที่ระดับของปัจจัยอื่น ๆ อย่างน้อยสองระดับ ซึ่งทำให้สามารถศึกษาถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาได้ ซึ่งแตกต่างกับวิธีการของการทดลองแบบทีละปัจจัย ที่ไม่สามารถศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้ และวิธีนี้จะใช้ขนาดตัวอย่างน้อยกว่าวิธีการแบบทดสอบทีละปัจจัยในการที่จะได้คุณภาพของผลสรุปในระดับเดียวกัน

## ประเภทของการทดลองแบบ Design of Experiment: DOE

**ประเภทที่ 1** เป็นแบบการทดลองที่ใช้สำหรับทดสอบเพื่อหาว่าปัจจัยใดที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นการทดลองที่มีการทดสอบแต่ละปัจจัยที่สองระดับเท่านั้น เพื่อประหยัดจำนวนการทดลอง แบบการทดลองในประเภทนี้ ได้แก่ แบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป หรือแบบ  $2^k$  (Full or  $2^k$  Factorial Design) และแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design)

### การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป หรือแบบ $2^k$ (Full or $2^k$ Factorial Design)

การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป หรือแบบ  $2^k$  คือ แบบการทดลองที่ประกอบไปด้วยทุกคอมบิเนชัน (Combination) ของระดับปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยจะถูกทดลองที่สองระดับในหน่วยที่เป็นค่ารหัส คือจะมีค่าระดับสูง (+1 หรือ high: H) และที่ค่าระดับต่ำ (-1 หรือ low: L) ดังรูปที่ 2.7 หากจำนวนปัจจัยที่ศึกษามี  $k$  ปัจจัย จะมีจำนวนสภาวะการทดลองทั้งหมดเท่ากับ  $2^k$



(a) Geometric view

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

(b) The design matrix

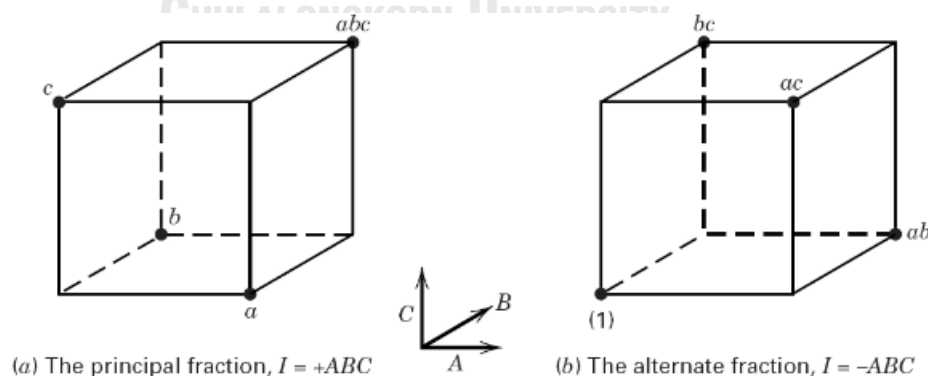
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการออกแบบการทดลองการทดลองแฟคทอเรียล  $2^k$  เมื่อ  $k = 3$

### การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design)

การทดลองแฟคทอเรียลบางส่วนจะสามารถหาจำนวนการทดลองได้จาก  $2^{k-p}$  โดยที่  $k$  คือจำนวนปัจจัยและ  $p$  คือ 1, 2, 3,... โดยถ้ากำหนดให้  $p = 1$  จำนวนการทดลองจะเป็นครึ่งหนึ่งของ การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป หรือเรียกว่า One-Half Fraction of the  $2^k$  design ซึ่งการทดลองบางส่วนแบบ One-Half Fraction แสดงดังรูปที่ 2.8 การทดลองประเภทนี้จะใช้กับกรณีที่มีข้อจำกัด

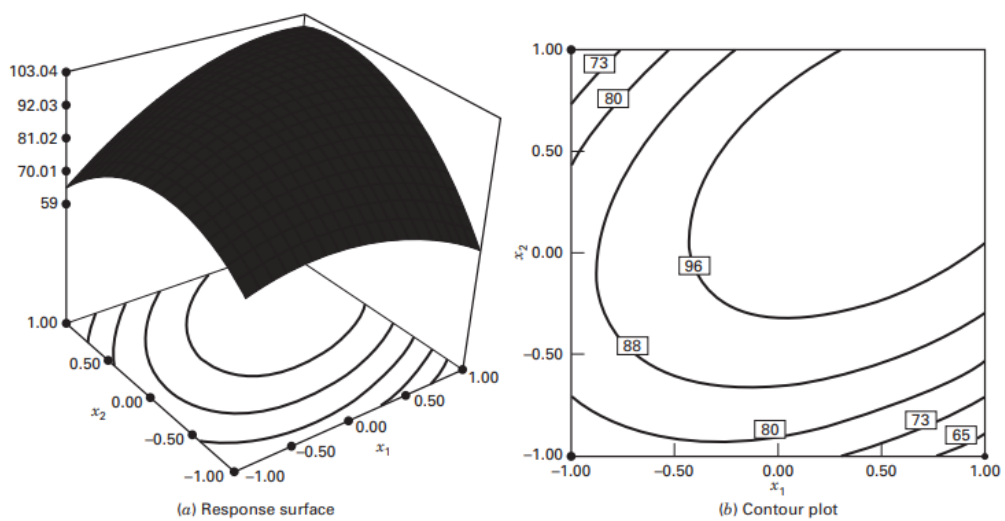
ทางด้านเวลา งบประมาณ และทรัพยากร หรือใช้ในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญในตอนเริ่มต้นโครงการ จากกรณีศึกษามากมายพบว่าผลกระทบร่วมตั้งแต่ลำดับสามขึ้นไปหรือผลกระทบร่วมตั้งแต่สามปัจจัยขึ้นไปจะมีค่าน้อยมากจนไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถละทิ้งการประมาณค่าของผลกระทบร่วมตั้งแต่สามปัจจัยขึ้นไปได้ โดยในการออกแบบประเภทนี้จำเป็นต้องเลือกสถานะที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง เนื่องจากหากเลือกสถานะที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ไม่สามารถหาผลกระทบหลักหรือผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้ ซึ่งเรียกว่าการเกิด Confounding (Alias structure) ซึ่งผลกระทบเหล่านี้ไม่สามารถละทิ้งการประมาณค่าได้ ดังนั้นในการทดลองจะต้องเลือกคุณภาพของผลสรุปที่มีความเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา (Design Resolution) โดยรายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเลือกใช้ค่า Resolution ต่างๆ ดังต่อไปนี้

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

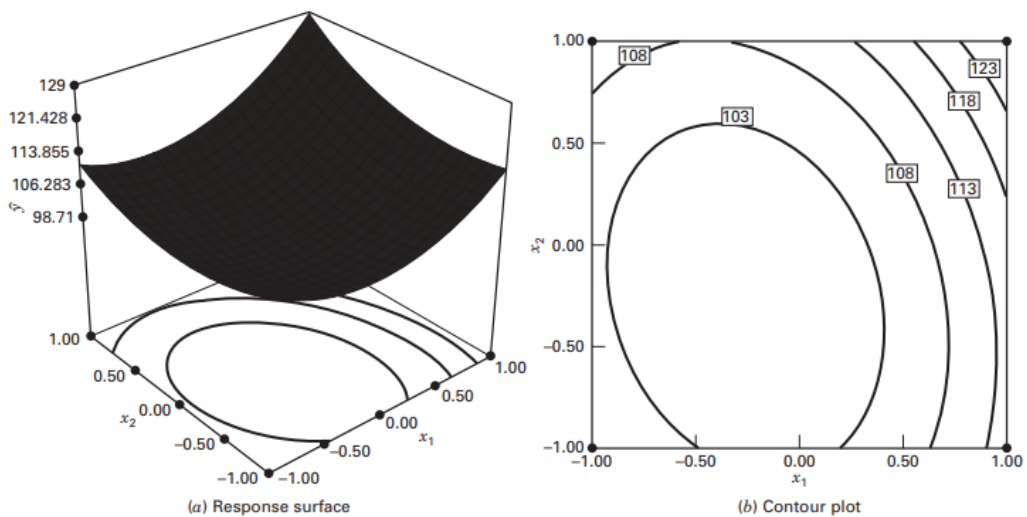


รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการออกแบบการทดลองการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วนแบบ One-Half เมื่อ  $k=3$

**ประเภทที่ 2** การทดลองที่ใช้สำหรับทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ ซึ่งเรียกว่า การแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบ (Response surface Design) ซึ่งในการหาค่าที่เหมาะสมนี้แต่ละปัจจัยต้องถูกทดสอบที่มากกว่าสองระดับ ทำให้สามารถเห็นจุดที่ตัวแปรตอบสนองมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดได้ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.9 และ 2.10 ตามลำดับ หรือที่ค่าตัวแปรตอบสนองที่ระดับที่ต้องการได้ แบบการทดลองในประเภทนี้ ได้แก่ การทดลองแบบส่วนประสมการ (Central Composite Design: CCD) และแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken)



รูปที่ 2.9 กราฟพื้นผิวที่ผิวตอบและกราฟโครงร่างของตัวแปรตอบสนองที่มีค่ามากที่สุด



รูปที่ 2.10 กราฟพื้นผิวที่ผิวตอบและกราฟโครงร่างของตัวแปรตอบสนองที่มีค่าน้อยที่สุด

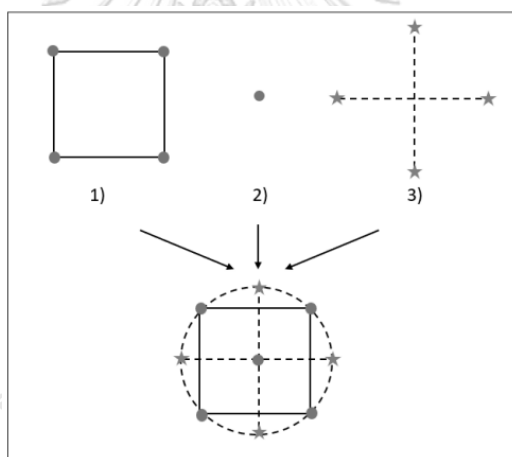


### การทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD)

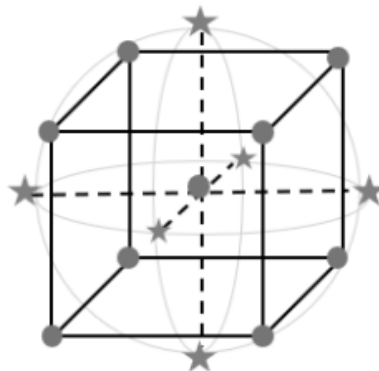
แบบการทดลองแบบส่วนประสมการประกอบด้วยส่วนการทดลอง 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่

1. ส่วนการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปหรือแฟคทอเรียลบางส่วน จำนวน  $2^k$  หรือ  $2^{k-p}$  ครั้งการทดลอง
2. ส่วนของจุดแกน (Axial Runs) จำนวน  $2k$  ครั้งการทดลอง
3. ส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Runs)

จากรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางในกรณีมี 2 และ 3 ปัจจัย ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัจจัยใด ๆ จะถูกทดลองที่ 5 ระดับ โดยที่จุดแฟคทอเรียลจะอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางเท่ากับระยะที่จุดแกนอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลาง ซึ่งจะทำให้คุณภาพการพยากรณ์ดีเท่าเทียมกันที่ทุกช่วงขงระดับปัจจัยที่ทำการทดลอง



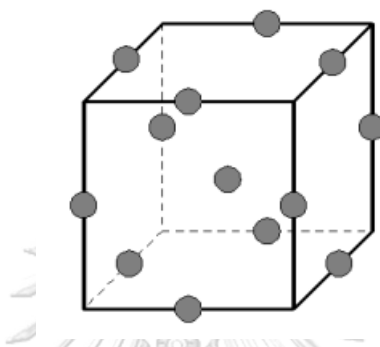
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง กรณี 2 ปัจจัย



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง กรณี 3 ปัจจัย

### การทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เป็นการออกแบบการทดลองสำหรับจำนวนปัจจัยตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไป โดยปัจจัยใด ๆ จะถูกทดลองที่ 3 ระดับ ซึ่งสถานะของการทดลองจะประกอบด้วย การทดลองที่จุดกึ่งกลาง (Midpoints) ของแต่ละด้านและที่จุดศูนย์กลางของตัวแบบ ดังแสดงที่รูป 2.13



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน กรณี 3 ปัจจัย

#### ขั้นตอนในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. ระบุวัตถุประสงค์ของการทำการทดลอง เช่น กำหนดตัวแปรตอบสนองและปัจจัยที่จะศึกษา และกำหนดว่าจะศึกษา เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยหรือศึกษาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย
2. ออกแบบการทดลอง

2.1 กำหนดแบบการทดลองที่ใช้โดยพิจารณาตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาว่าต้องการศึกษาเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย หรือศึกษาเพื่อหาค่าที่มีความเหมาะสมของปัจจัย นอกจากนี้การกำหนดแบบการทดลองจะต้องพิจารณาจากจำนวนปัจจัย จำนวนครั้งในการทดลอง และคุณภาพของผลสรุปที่ได้จากการทดลอง

#### 2.2 เขียนเมทริกซ์การออกแบบ

2.3 กำหนดค่าของแต่ละระดับของปัจจัยที่ทำการทดสอบจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบหน่วยที่แท้จริง (Uncoded unit) และแบบหน่วยที่เป็นค่ารหัส (Coded Unit)

2.4 กำหนดตัวแปรอื่น ๆ ที่อาจจะมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง

3. ทำการทดลองตามที่ออกแบบไว้ โดยจัดให้ลำดับการทดลองในรูปแบบสุ่ม
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ตรวจสอบสมมติฐานว่าข้อมูลมีลักษณะที่เหมาะสมที่จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติ ได้แก่การวิเคราะห์ความถดถอย (Analysis of Variance: ANOVA) หรือการทดสอบแบบ t ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยได้หรือไม่

4.2 พิจารณากราฟผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยและกราฟผลกระทบหลักของปัจจัยว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองในทิศทางใด

5. คำนวณค่าผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยและผลกระทบหลักของปัจจัย
6. ทดสอบความมีนัยสำคัญของผลกระทบปัจจัยด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (Hypothesis testing)
7. ปรับปรุงแบบจำลอง
8. สรุปสมการความสัมพันธ์ระหว่างเทอมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญของตัวแปรตอบสนอง
9. หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Technique)
10. สรุปผลการทดลอง

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดของเสียในกระบวนการพ่นสีในอุตสาหกรรมยานยนต์มีดังต่อไปนี้

ชนิกานต์ รักธงไทย [11] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ พบข้อบกพร่องประเภทสีแตกหลังจากกระบวนการพ่นสี ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่พบมากที่สุดในการพ่นสีและมีมูลค่าในการซ่อมสีสูงที่สุด ดังนั้นจึงได้นำแนวคิดทางซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) มาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานวิจัย โดยเริ่มจากการศึกษาสภาพของปัญหา กระบวนการทำงาน ทำการวิเคราะห์ความแม่นยำในการตรวจวัด ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา และทำการคัดเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดปัญหาสีแตกเข้ามาวิเคราะห์เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม และทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งค่าปัจจัยที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ที่ 40 องศา

เซลเซียส ความดันในการล้างชิ้นงาน ที่ 1.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแรงดันไฟฟ้าในการชุบ สี ED ที่ 180 โวลต์ หลังจากปรับปรุงกระบวนการ พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก จาก 3.82 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.97 เปอร์เซ็นต์ และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกลดลงจาก 132,898 บาท เหลือ 27,603 บาท

อาทิตย์ หงสพันธ์ [7] ได้ทำการซึ่งกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ มีเป้าหมายในการปรับปรุง 40 เปอร์เซ็นต์ทั้งค่าใช้จ่ายในการซ่อมสีและจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย โดยได้คัดเลือกแก้ไขข้อบกพร่อง ที่มีจำนวนมากและก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมสูง 7 ชนิด ได้แก่ ข้อบกพร่องประเภทเส้นใย สีเป็น คราบ สีเป็นรอยขีด เม็ดผง สีไหล เม็ดพื้น และสีเป็นหลุม ในการดำเนินงานวิจัยได้ใช้แนวทางการ ปรับปรุงของซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน เริ่มจากระยะการนิยามปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์ กระบวนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลเชิงนับ การวิเคราะห์ ความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน และระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อการเกิด ข้อบกพร่องต่าง ๆ หลังจากการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่องได้นำเอาปัจจัยที่เลือกมาทำการ ทดลองด้วยวิธีการทางสถิติ และทำการปรับปรุงโดยหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม หลังจากการ ปรับปรุงสามารถลดจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันลงได้ 57 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดจำนวน ค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องต่อคันลงได้ 55 เปอร์เซ็นต์

สุวิทย์ บุญชูจรัส [12] ได้ศึกษากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ เพื่อพัฒนาระบบควบคุม คุณภาพ โดยจากการศึกษาพบว่าโรงงานตัวอย่างยังขาดระบบควบคุมคุณภาพที่มีประสิทธิภาพ สาเหตุ มาจากขาดการวางแผนกระบวนการตรวจสอบคุณภาพที่ดี ซึ่งสาเหตุดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อ คุณภาพผลผลิตของโรงงาน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาการตรวจสอบวัสดุนำเข้า ได้มีการ จัดระบบการตรวจสอบวัสดุก่อนนำเข้าไปใช้ โดยสามารถตรวจสอบสีที่ไม่ได้คุณภาพที่ส่งเข้ามาภายใน โรงงาน คิดเป็น 26.2 เปอร์เซ็นต์ของสีทั้งหมด และได้ทำการตรวจสอบและควบคุมในกระบวนการ ผลิตได้มีการจัดทำแผนงานในรูปแบบของผังการควบคุมในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ จากนั้นได้ จัดแบ่งหน้าที่การทำงาน มาตรฐานควบคุมวิธีการใช้งาน รวมทั้งติดตามบันทึกผล จากผลการ ดำเนินงานพบว่า สามารถสร้างความชัดเจนในการทำงาน การติดตามควบคุมและสามารถนำข้อมูลที่ ตรวจสอบได้ไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพภายในสายการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สมเกียรติ มงคลสมัย [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยควบคุมกระบวนการพ่นสีฝุ่นที่มีอิทธิพลต่อ คุณภาพของสี ได้แก่ ความหนาของชั้นสี ความผิดพลาดของสีที่ได้เทียบกับสีมาตรฐาน แสงยึดเกาะ

ของสีบนชิ้นงาน การทนต่อสารเคมีและตัวทำละลาย โดยกระบวนการพ่นสีฝุ่นนี้ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือการเตรียมผิวชิ้นงาน การพ่นสีฝุ่นลงบนผิวชิ้นงาน และการอบสี จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยควบคุมกระบวนการพ่นสีฝุ่นมีอิทธิพลต่อคุณภาพของสีภายหลังการอบสี ได้แก่ ความต่างศักย์ระหว่างพื้นพ่นสีกับชิ้นงาน ปริมาณของลมผสมที่ใช้ในการพ่นสี อุณหภูมิที่ใช้ในการอบสี และระยะเวลาในการอบสี เป็นต้น หลังจากการทดลองหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดปัญหาคุณภาพที่เกิดจากสีฝุ่นนั้น คือ ความต่างศักย์ระหว่างพื้นพ่นสีกับชิ้นงาน เท่ากับ 70 กิโลวัตต์ ปริมาณของลมผสมที่ใช้ในการพ่นสี เท่ากับ 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบสี เท่ากับ 180 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการอบสี เท่ากับ 15 นาที

อรรถพล ฤทธิภักดี [13] ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพสำหรับกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์ โดยได้ใช้หลักการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบด้านคุณภาพ (Failure mode and Effects Analysis: FMEA) มาใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกของโรงงานตัวอย่าง จากการศึกษาได้พบปัญหาที่เกิดจากความบกพร่องของกระบวนการพ่นสี ที่ส่งผลกระทบต่อผิวของชิ้นส่วนเป็นจำนวนมาก ได้แก่ สีเป็นเม็ด สีเป็นขนผ้า สีเป็นหลุม สีบาง สีไหลย้อย ผิวเป็นรอย และปัญหาด้านคุณภาพที่เกิดจากการขาดการวางแผนการตรวจสอบทางด้านคุณภาพของชิ้นงาน การขาดมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพ การขาดการบำรุงรักษาความสะอาดในกระบวนการพ่นสี และการขาดประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงาน หลังจากได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องต่าง ๆ รวมทั้งแนวทางในการลดข้อบกพร่อง ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการโดยจัดทำมาตรฐานในการทำงาน เพิ่มความถี่ในการทำความสะอาดภายในห้องพ่น จัดฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับการพ่นสี และจัดทำใบตรวจสอบในกระบวนการพ่นสี พบว่าเปอร์เซ็นต์ของเสียเทียบยอดขายลดลงจาก 16.37 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 9.37 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปัญหาของเสียที่ลูกค้าส่งคืนมีเปอร์เซ็นต์ของเสียเทียบยอดส่งให้ลูกค้าลดลงจาก 1.52 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 1.10 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มในการลดลงอย่างต่อเนื่อง

S.Krishna Priya และคณะ [14] ได้ทำการวิจัยโดยใช้แนวคิดทางซิกซ์ ซิกมาเข้ามาใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่เกิดในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ เพื่อลดกระบวนการที่ไม่จำเป็นในสายการประกอบและลดค่าใช้จ่ายทางปัญหาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยได้ดำเนินกา[14]วิเคราะห์หาที่มาข้อบกพร่องด้วยหลักการ DMAIC (Define – Measure – Analysis – Improvement – Control) และ RCA (Root Cause Analysis) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และปรับปรุง

กระบวนการประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ หลังจากดำเนินการปรับปรุงสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ไม่เป็นในกระบวนการประกอบรถยนต์และจำนวนข้อเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ

V.Pranavi และคณะ [15] ได้ทำการวิจัยเพื่อลดปัญหาคุณภาพสีหลุดของฝากระโปรงด้านนอกรถยนต์โดยใช้แนวคิดทางซิกซ์ ซิกมาและหลักการ DMAIC เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุที่จริงของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต หลังจากการวิเคราะห์ปัญหาและทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่าจำนวนในการทำซ้ำของการผลิตฝากระโปรงหน้ารถยนต์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยจำนวนข้อบกพร่องต่อเดือนลดลงจาก 230 ชิ้น เหลือ 54 ชิ้น ซึ่งคิดเป็น 85 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการถูกปฏิเสธจากลูกค้า OEM จาก 3 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการวิจัยนี้จะนำหลักการของ DMAIC เข้าไปพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อเป้าหมายในการลดจำนวนข้อบกพร่องให้บรรลุเป้าหมายที่ศูนย์



## บทที่ 3

### การนิยามปัญหา

ระยะการนิยามปัญหาคือการจัดตั้งคณะทำงานเพื่อดำเนินการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพปัญหา ศึกษาขั้นตอนการทำงานของกระบวนการพ่นสีฝุ่นและแสดงด้วยแผนภาพการผลิต และนิยามปัญหาโดยเลือกปัญหาที่จะปรับปรุง และอธิบายสภาพปัญหา กำหนดตัวชี้วัด และวัตถุประสงค์ของการปรับปรุง

#### 3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน

การจัดตั้งคณะทำงานเพื่อช่วยเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีฝุ่น และร่วมวิเคราะห์หาสาเหตุที่น่าจะเป็นรากของปัญหารวมทั้งดำเนินการแก้ไขปรับปรุง เพื่อลดจำนวนของเสียและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการซ่อมสี โดยคณะทำงานจะมีความเชี่ยวชาญและความรู้ในการพ่นสีฝุ่นมาอย่างดี ซึ่งประกอบไปด้วย ผู้อำนวยการฝ่ายประกันคุณภาพที่เป็นผู้ให้คำปรึกษา 1 คน ผู้จัดการฝ่ายผลิต 1 คน หัวหน้าแผนกฝ่ายประกันคุณภาพการตรวจสอบสี 1 คน หัวหน้าหน่วยฝ่ายผลิต 2 คน และวิศวกรประกันคุณภาพการตรวจสอบสีรวมผู้จัดทำงานวิจัย 2 คน

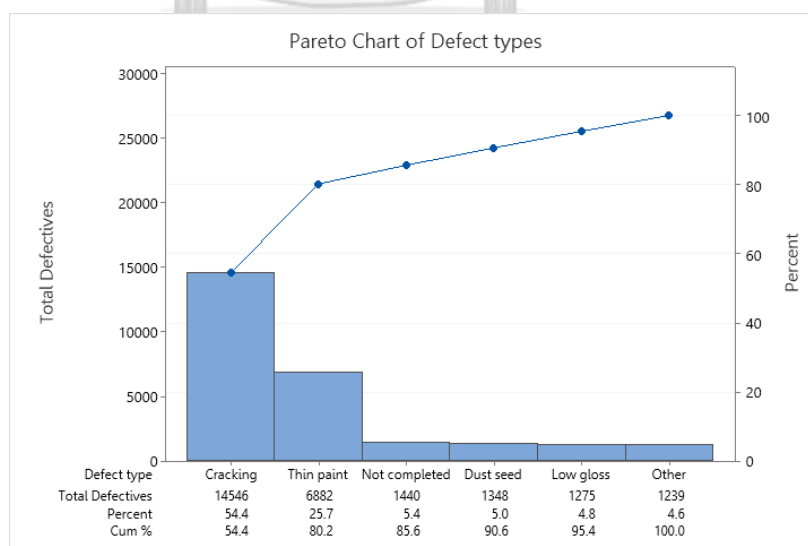
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

#### 3.2 สภาพปัญหาปัจจุบัน

จากการศึกษากระบวนการพ่นสีฝุ่นสำหรับชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2565 พบว่ามีข้อบกพร่องเกิดขึ้นในชิ้นงาน ได้แก่ สีแตก พ่นสีไม่ติด เม็ดฝุ่น ความหนาสีไม่ได้ตามมาตรฐาน ความเงาไม่ได้ตามมาตรฐาน และสีไหล ฯลฯ โดยจากการพิจารณาสัดส่วนของเสียซึ่งแสดงในรูปที่ 3.1 พบว่าของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตก (Cracking) มีจำนวนของเสียมากเป็นอันดับหนึ่ง โดยคิดเป็นสัดส่วนคือ 54.4 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียทั้งหมด และจำนวนของเสียที่มากเป็นอันดับที่สอง คือของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีบาง (Thin paint) โดยคิดเป็นสัดส่วนคือ 25.7 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียทั้งหมด ข้อบกพร่องทั้งสองประเภททำให้เกิดของเสียคิดเป็นสัดส่วน 80.2 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในปี 2564 โดยทั้งสองข้อบกพร่องนี้มีสาเหตุร่วมกัน และเมื่อพิจารณา

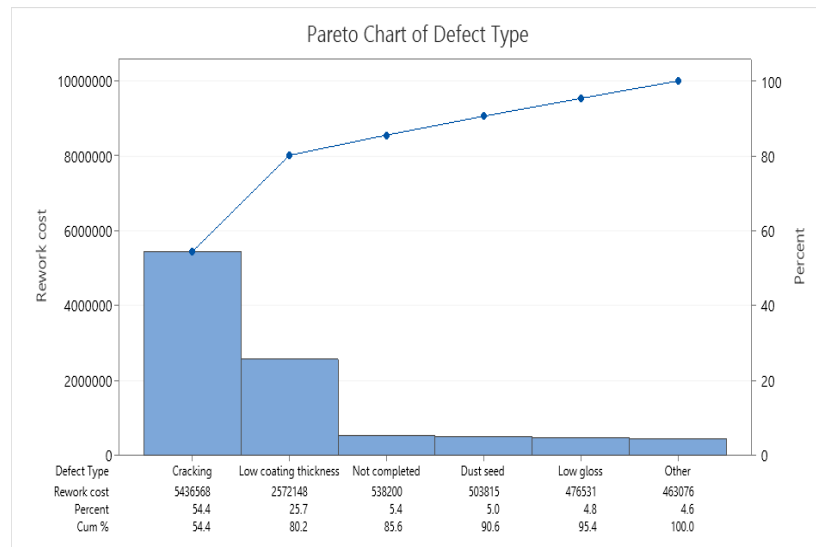
สัดส่วนของเสียเทียบกับปริมาณการผลิตพบว่าของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกมีจำนวนคิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต และข้อบกพร่องประเภทสีบางมีจำนวนคิดเป็น 4 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตในปี 2564

ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นทุกประเภทมีกระบวนการซ่อมข้อบกพร่องในรูปแบบเดียวกัน ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการซ่อมสีต่อหน่วยชิ้นงานจึงเท่ากัน เมื่อพิจารณาข้อมูลค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องจากกระบวนการพ่นสีฝุ่นสำหรับชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์ของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.2 พบว่าค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องประเภทสีแตก มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมเป็นอันดับหนึ่ง คือ 5,436,567.5 บาท ในปี 2564 ซึ่งมีสัดส่วนเป็น 54.4 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องทั้งหมด และค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องประเภทสีบาง มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมเป็นอันดับสอง คือ 2,572,148 บาท ซึ่งมีสัดส่วนเป็น 25.7 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องทั้งหมด ข้อบกพร่องทั้งสองประเภททำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมรวมกันคิดเป็นสัดส่วน 80.2 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องทั้งหมดที่เกิดขึ้นในปี 2564 โดยทั้งสองข้อบกพร่องนี้มีสาเหตุร่วมกัน หากปัญหาเหล่านี้ได้รับการแก้ไขจะส่งผลให้สามารถลดจำนวนของเสีย ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการซ่อมสี และยังสามารถช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางมาทำงานศึกษาวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนภูมิพาเรโตสัดส่วนของเสียตามประเภทข้อบกพร่อง





รูปที่ 3.2 แผนภูมิพาเรโตค่าใช้จ่ายในการซ่อมสี

ลักษณะข้อบกพร่องประเภทสีแตก (Cracking) จะมีลักษณะคือฟิล์มสีไม่ยึดเกาะกับชิ้นงาน และร่อนออกมาเป็นแผ่นจากตัวชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะภายนอกความสวยงามของผลิตภัณฑ์

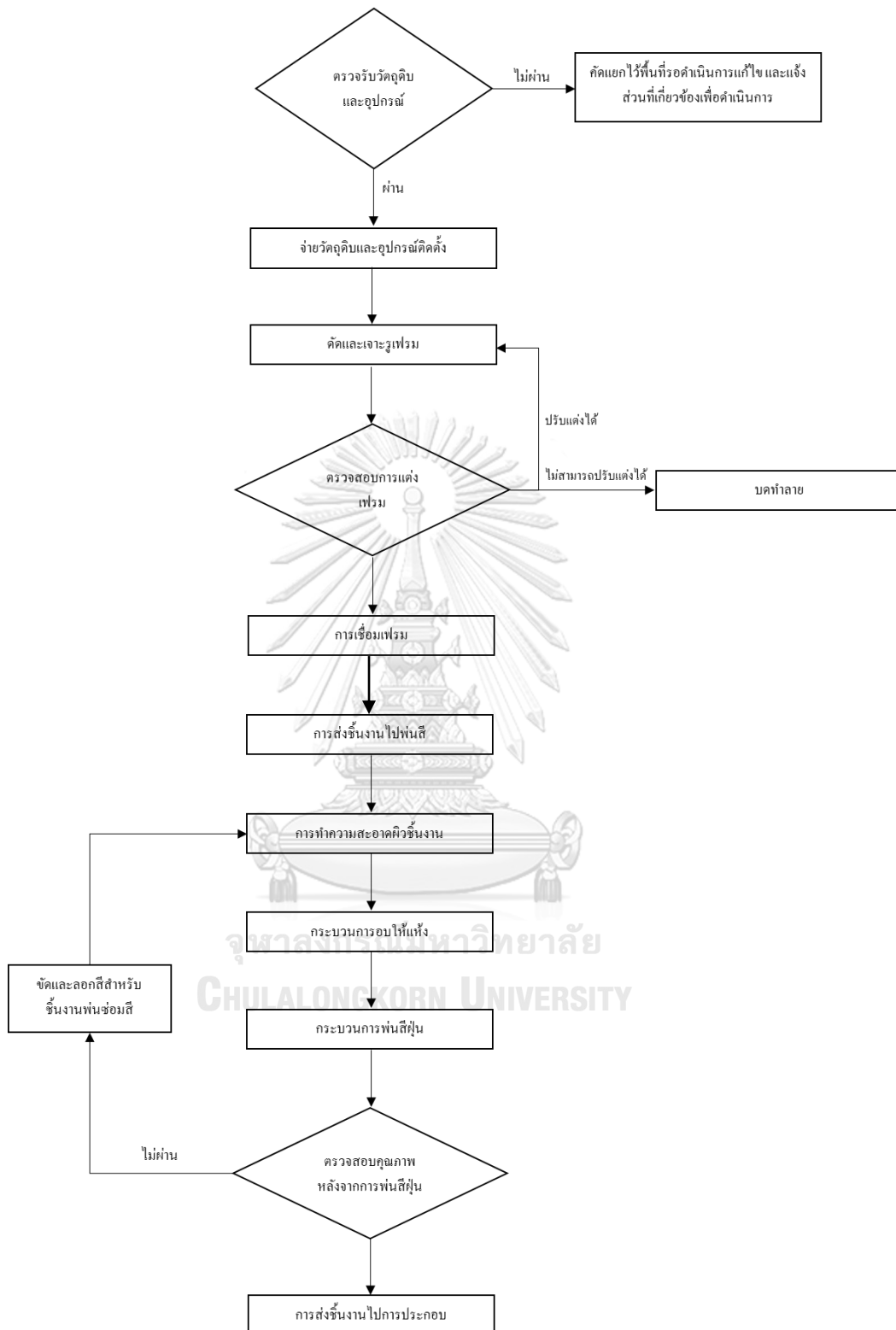


รูปที่ 3.3 ลักษณะข้อบกพร่องประเภทสีแตกของชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์

### 3.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิตชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์ เอนกประสงค์

กระบวนการผลิตชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์ ประกอบด้วย 12 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้ และแผนผังของกระบวนการผลิตชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์ แสดงดังรูปที่ 3.4

1. ตรวจรับวัตถุดิบ และอุปกรณ์ (Incoming Inspection Raw Material and Component Parts)
2. จำยวัตถุดิบและอุปกรณ์ติดตั้ง (Raw Material and Component Parts Distribute)
3. ตัดและเจาะรูเฟรม (Bending and Drilling main frame)
4. ตรวจสอบการแต่งเฟรม (Inspection main frame)
5. การเชื่อมเฟรม (Welding main frame)
6. การส่งชิ้นงานไปพ่นสี (Transfer to process painting)
7. การทำความสะอาดผิวชิ้นงาน (Pre-treatment cleaning surface)
8. กระบวนการอบให้แห้ง (Dry Oven)
9. กระบวนการพ่นสีฝุ่น (Powder coating process)
10. ตรวจสอบคุณภาพหลังจากการพ่นสีฝุ่น (Inspection after powder coated)
11. การส่งชิ้นงานไปการประกอบ (Transfer to process assembly)



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์

กระบวนการผลิตชุดแต่งกรอบกระจกของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์ ในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบวัตถุดิบ และอุปกรณ์ (Incoming Inspection Raw Material and Component Parts)

ตรวจสอบคุณภาพของอลูมิเนียมโปรไฟล์ก่อนทำการส่งเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยชิ้นงานต้องไม่มีรอยบุบ รอยขีดข่วน ไม่มีคราบขาว และขนาดหน้าตัดอลูมิเนียมโปรไฟล์ได้ตามมาตรฐาน ซึ่งกระบวนการนี้จะรับผิดชอบโดยพนักงานประกันคุณภาพฝ่ายตรวจรับวัตถุดิบ และอุปกรณ์

2. จ่ายวัตถุดิบและอุปกรณ์ติดตั้ง (Raw Material and Component Parts Distribute)

ทำการเบิกชิ้นงานวัตถุดิบตามแผนการผลิตเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยฝ่ายคลังสินค้าจะจ่ายจำนวนชิ้นงานตามใบเบิกชิ้นงานของฝ่ายผลิต เมื่อฝ่ายผลิตรับชิ้นงานแล้วจะทำการตรวจสอบจำนวนและคุณภาพของชิ้นงานเบื้องต้น โดยชิ้นงานต้องไม่มีรอยขีดข่วน รอยบุบ และไม่มีคราบขาวบนชิ้นงาน

3. ตัดและเจาะรูเฟรม (Bending and Drilling main frame)

ฝ่ายผลิตจะนำชิ้นงานเข้าสู่เครื่อง Bending machine เพื่อทำการดัดอลูมิเนียมโปรไฟล์ให้ได้รูปทรงขนาดตามแบบร่าง 2 มิติ (Drawing) และทำการเจาะรูสำหรับการใช้ยึดเกาะกับหน้าต่างของหลังคารถยนต์เอนกประสงค์โดยใช้เครื่อง Computer Numerical Control (CNC) ในการเจาะรูให้ได้ขนาดและจำนวนรูตามแบบร่าง 2 มิติ

4. ตรวจสอบการแต่งเฟรม (Inspection main frame)

ฝ่ายประกันคุณภาพชิ้นงานจะนำชิ้นงานที่ผ่านการตัดและเจาะรูเรียบร้อยแล้วนำไปตรวจสอบขนาดและความถูกต้องของการเจาะรูโดยใช้จิกในการตรวจสอบ หรือ Checking Fixture (CF) เพื่อยืนยันคุณภาพของชิ้นงานว่ามีรูปทรงขนาดและตำแหน่งของรูเจาะอยู่ในมาตรฐานที่ยอมรับได้

5. การเชื่อมเฟรม (Welding main frame)

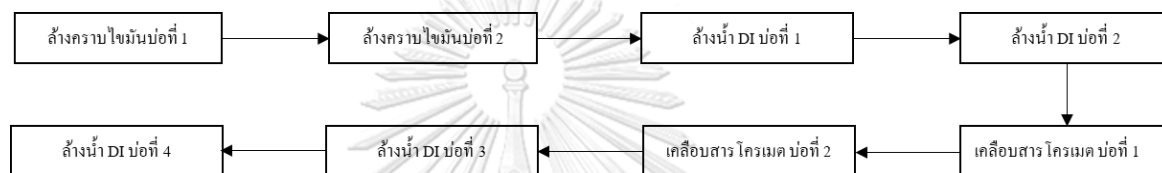
ฝ่ายผลิตจะนำชิ้นงานที่ผ่านการจัดและเจาะรูเรียบร้อยแล้วมาทำการเชื่อมปลายอลูมิเนียมโปรไฟล์ทั้ง 2 ฝั่งให้ติดกันโดยทำให้โลหะหลอมละลาย อาศัยความร้อนจากการอาร์ค (Arc) ที่อุณหภูมิประมาณ 6,000 องศาเซลเซียส

## 6. การส่งชิ้นงานไปพ่นสี (Transfer to process painting)

ฝ่ายผลิตจะตรวจสอบจำนวนชิ้นงานที่สำเร็จรูปตามจำนวนแผนการผลิต จากนั้นจะนำไปแขวนชิ้นงานโดยใช้จิ๊ก (Jig) ที่ใช้ในการแขวนชิ้นงาน และนำไปแขวนในไม้แขวน (Hanger)

## 7. การทำความสะอาดผิวชิ้นงาน (Pre-treatment cleaning surface)

การทำความสะอาดผิวชิ้นงาน คือกระบวนการที่นำชิ้นงานมาทำความสะอาดเพื่อกำจัดคราบไขมันและช่วยให้เพิ่มความสามารถในการยึดเกาะของสีฝุ่นได้ โดยกระบวนการทำความสะอาดผิวชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนของกระบวนการทำความสะอาดผิวชิ้นงาน

### 7.1 ล้างคราบไขมันบ่อที่ 1 (Degreasing 1)

การล้างคราบไขมันบนพื้นผิวของชิ้นงาน คือการนำสารเคมีที่ช่วยทำการละลายคราบไขมันออกจากพื้นผิวชิ้นงานเพื่อเป็นการเตรียมพื้นผิว โดยจะมีการตั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการล้าง มีการกำหนดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ตามมาตรฐาน และมีการตรวจสอบความเข้มข้นของน้ำยาล้างไขมันอย่างสม่ำเสมอ

### 7.2 ล้างคราบไขมันบ่อที่ 2 (Degreasing 2)

การล้างคราบไขมันบนพื้นผิวของชิ้นงาน คือการนำสารเคมีที่ช่วยทำการละลายคราบไขมันออกจากพื้นผิวชิ้นงานเพื่อเป็นการเตรียมพื้นผิว โดยจะมีการตั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการล้าง มีการกำหนดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ตามมาตรฐาน และมีการตรวจสอบความเข้มข้นของน้ำยาล้างไขมันอย่างสม่ำเสมอ

### 7.3 ล้างน้ำ DI บ่อที่ 1 (DI water rinse 1)

การล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานด้วยน้ำ DI (Deionized) ซึ่งเป็นการล้างน้ำยาล้างคราบไขมันและชำระล้างคราบไขมันออกจากชิ้นงาน โดยจะมีการตั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการล้าง มีการ

กำหนดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ตามมาตรฐาน และการตรวจสอบค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อย่างสม่ำเสมอ

#### 7.4 ล้างน้ำ DI บ่อที่ 2 (DI water rinse 2)

การล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานด้วยน้ำ DI (Deionized) ซึ่งเป็นการล้างน้ำยาล้างคราบไขมันและชำระล้างคราบไขมันออกจากชิ้นงาน โดยจะมีการตั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการล้าง มีการกำหนดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ตามมาตรฐาน และการตรวจสอบค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อย่างสม่ำเสมอ

#### 7.5 เคลือบสารโครเมต บ่อที่ 1 (Chrome plating 1)

การเคลือบผิวชิ้นงานด้วยสารโครเมตเป็นการเคลือบเพื่อป้องกันการหลุดจากการกัดกร่อน และป้องกันการเกิดสนิมขาวจากออลูมิเนียม โดยจะมีการตั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการล้าง มีการกำหนดค่าความเข้มข้นตามมาตรฐาน และมีการตรวจสอบความเข้มข้นของสารโครเมตอย่างสม่ำเสมอ

#### 7.6 เคลือบสารโครเมต บ่อที่ 2 (Chrome plating 2)

การเคลือบผิวชิ้นงานด้วยสารโครเมตเป็นการเคลือบเพื่อป้องกันการหลุดจากการกัดกร่อน และป้องกันการเกิดสนิมขาวจากออลูมิเนียม โดยจะมีการตั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการล้าง มีการกำหนดค่าความเข้มข้นตามมาตรฐาน และมีการตรวจสอบความเข้มข้นของสารโครเมตอย่างสม่ำเสมอ

#### 7.7 ล้างน้ำ DI บ่อที่ 3 (DI water rinse 3)

การล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานด้วยน้ำ DI (Deionized) ซึ่งเป็นการล้างสิ่งปนเปื้อนที่ติดอยู่กับผิวชิ้นงานออก โดยจะมีการตั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการล้าง มีการกำหนดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ตามมาตรฐาน และการตรวจสอบค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อย่างสม่ำเสมอ

#### 7.8 ล้างน้ำ DI บ่อที่ 4 (DI water rinse 4)

การล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานด้วยน้ำ DI (Deionized) ซึ่งเป็นการล้างสิ่งปนเปื้อนที่ติดอยู่กับผิวชิ้นงานออก โดยจะมีการตั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการล้าง มีการกำหนดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ตามมาตรฐาน และการตรวจสอบค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อย่างสม่ำเสมอ

### 8. กระบวนการอบให้แห้ง (Dry Oven)

หลังจากชิ้นงานผ่านกระบวนการทำความสะอาดผิวชิ้นงาน ชิ้นงานจะถูกส่งไปยังเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 160-170 องศาเซลเซียส ตามเวลามาตรฐานที่กำหนดไว้ เพื่อให้ชิ้นงานแห้งก่อนถูกส่งไปยังกระบวนการพ่นสีฝุ่น

### 9. กระบวนการพ่นสีฝุ่น (Powder coating process)

กระบวนการพ่นสีฝุ่นคือลักษณะของการพ่นสีที่เนื้อสีเป็นชนิดผงฝุ่นเหมือนกับแป้ง โดยวัสดุสีฝุ่นอาศัยประจุไฟฟ้า +/- มาพ่นด้วยการใช้ลมดูดจากถังสีและยิงตรงผ่านท่อและพ่นสีออกจากปลายปืนพ่นไปยังจุดที่ต้องการ โดยควบคุมความหนาของสีตามมาตรฐานที่กำหนด 80-120 ไมครอน ซึ่งในกระบวนการนี้ได้ควบคุมปัจจัยที่เหมาะสมในการพ่นสีฝุ่นเพื่อให้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยปัจจัยที่มีการควบคุมได้แก่ อุณหภูมิในการอบสี เวลาที่ใช้ในการอบ การปรับระยะห่างของปืนพ่นสี ปริมาณการในการพ่นสี ความเร็วลม กระแสไฟ เป็นต้น

### 10. ตรวจสอบคุณภาพหลังจากการพ่นสีฝุ่น (Inspection after powder coated)

การตรวจสอบคุณภาพหลังจากการพ่นสีฝุ่นจะทำการตรวจสอบหาข้อบกพร่องที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดและไม่สามารถยอมรับได้ หากชิ้นงานพบข้อบกพร่องจะทำการตัดแยก และดำเนินการซ่อมแก้ไขตามขั้นตอนกระบวนการแก้ไขชิ้นงานที่มีข้อบกพร่อง

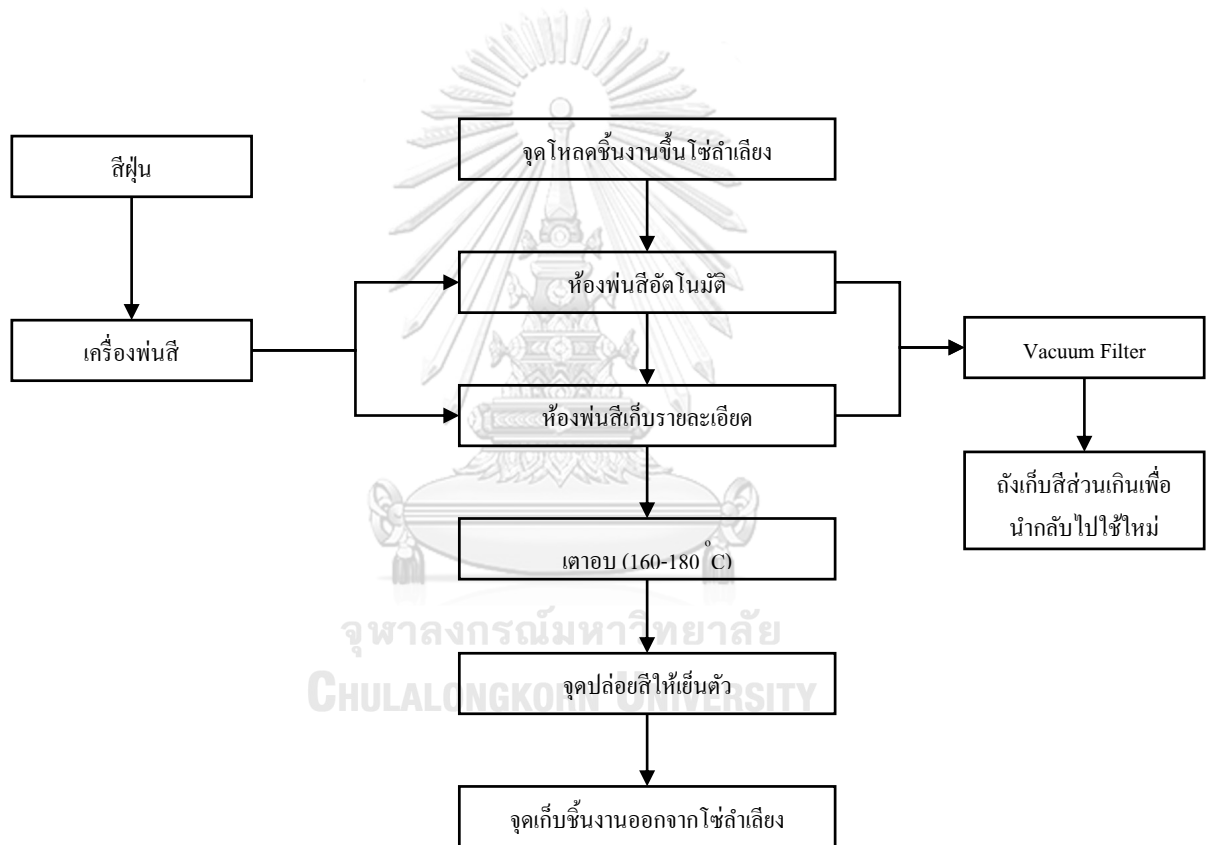
### 11. การส่งชิ้นงานไปกระบวนการประกอบ (Transfer to process assembly)

หลังจากชิ้นงานผ่านกระบวนการตรวจสอบหลังพ่นสีฝุ่นแล้วจะนำชิ้นงานไปวางไว้ที่รถเข็นชิ้นงานเพื่อทำการส่งต่อไปยังกระบวนการประกอบชิ้นงานในขั้นตอนถัดไป

## 3.2.2 กระบวนการพ่นสีฝุ่น

กระบวนการพ่นสีฝุ่นปัจจุบันเป็นไลน์ต่อเนื่องอัตโนมัติระหว่าง 2 กระบวนการ คือ การเคลือบโครเมต เพื่อเตรียมผิวชิ้นงานและการพ่นสีฝุ่น ซึ่งหลังจากผ่านกระบวนการเคลือบโครเมตและอบให้แห้งจะเข้าสู่กระบวนการพ่นสีฝุ่น ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้ และแผนผังของกระบวนการพ่นสีฝุ่น แสดงดังรูปที่ 3.6

1. จุดไหลตื้นงานขึ้นโซ่ลำเลียง
2. ห้องพ่นสีอัตโนมัติ
3. ห้องพ่นสีเก็บรายละเอียด
4. เตาอบ (160-180 °C)
5. จุดปล่อยสีให้เย็นตัว
6. จุดเก็บชิ้นงานออกจากโซ่ลำเลียง



รูปที่ 3.6 แผนผังของกระบวนการพ่นสีฝุ่น



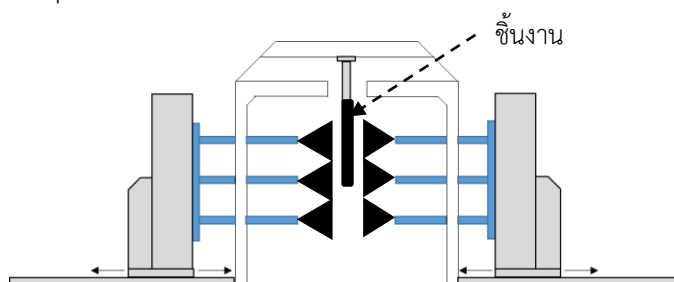
กระบวนการพ่นสีฝุ่นในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

### 1. จุดไหลตื้นงานชิ้นโซ่ลำเลียง

จุดการลำเลียงชิ้นงานเข้าห้องพ่นสีอัตโนมัติโดยใช้ระบบต่อเนื่อง ซึ่งอาศัยการใช้โซ่ลำเลียง ติดตั้งอยู่บนรางที่ระดับบน ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการแขวนชิ้นงานและพาชิ้นงานเข้าสู่ห้องพ่นสี โซ่ลำเลียงนี้จะ เป็นเส้นต่อเนื่องกันที่จะพางานผ่านเตาอบ (Oven) การไหลตื้นงานชิ้นโซ่ลำเลียงก็กระทำโดย ลักษณะแขวนชิ้นงานเข้ากับลวดแขวนและแขวนบนโซ่ลำเลียงอีกที สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงในระบบโซ่ ลำเลียงคือระยะทางภายหลังจากจากเตา เพื่อให้ชิ้นงานได้มีโอกาสระบายความร้อนออกสู่บรรยากาศ และเย็นตัวก่อนที่จะถูกเก็บออกจากโซ่ และระยะแขวนชิ้นงานบนโซ่ต้องให้ห่างกัน อย่าให้สัมผัสกันได้ ก่อนและหลังเข้าเตาอบ เพราะอาจจะเกิดปัญหาชิ้นงานติดกัน และทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้

### 2. ห้องพ่นสีอัตโนมัติ

ห้องพ่นสีอัตโนมัติคือห้องที่ใช้สำหรับการพ่นสีฝุ่นซึ่งถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม โดยสิ่งที่ทำการ ควบคุมได้แก่ ปริมาณการพ่นสี (g/min) ความดันลม (Bar) กำลังไฟ (KV) กระแสไฟ ( $\mu\text{A}$ ) อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) และเวลา (min) ระยะห่างปืน (cm) ความเร็วของสายพานลำเลียง (m/min) และระยะเวลาใน การพ่นสีฝุ่น โดยระยะเวลาในการพ่นสีฝุ่นจะถูกควบคุมโดยความเร็วของสายพานลำเลียง ซึ่งถูก กำหนดมาตรฐานความเร็วของสายพานลำเลียงที่ 1.6 เมตรต่อนาที และความดันลม 4 บาร์ นอกจากนี้การกระจายตัวของสีฝุ่นที่ออกจากปืนพ่นสี แสดงดังรูปที่ 3.7 ถูกควบคุมด้วยลักษณะและ ประเภทของปืนพ่นสีที่ใช้ งาน โดยโรงงานกรณีศึกษาได้เลือกประเภทของปืนที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ กรอบกระจก และการกระจายตัวของสีฝุ่นที่มีความสม่ำเสมอทั่วพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีขนาดหัวปืน ที่ 3.5 มิลลิเมตร และมีขนาดแผ่นกรองเม็ตสีฝุ่นที่ 100 ไมครอน โดยในกระบวนการนี้เป็น กระบวนการที่สำคัญเพื่อที่จะให้ชิ้นงานออกมาอย่างมีคุณภาพและได้มาตรฐานตามที่กำหนดจะต้อง ทำการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับชิ้นงาน



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการกระจายตัวของสีฝุ่นที่ออกจากปืนพ่นสี

### 3. ห้องพ่นสีเก็บรายละเอียด

ห้องพ่นสีเก็บรายละเอียดจะใช้ระบบ Manual ในการพ่นสีฝุ่นเพื่อทำการเก็บรายละเอียดตามจุดอับของชิ้นงานที่ปืนพ่นสีอัตโนมัติไม่สามารถเข้าถึงได้

### 4. เตอบ

หลังจากทำการพ่นสีเรียบร้อยแล้วสายพานลำเลียงจะนำชิ้นงานเข้าสู่เตอบเพื่อทำการละลายสีฝุ่นให้ยึดเกาะกับชิ้นงานซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการควบคุมอุณหภูมิ (°C) และเวลา (min) ในกรอบที่เหมาะสมกับประเภทของสีฝุ่นรวมทั้งชิ้นงานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาคุณภาพหลังจากทำการอบสี

### 5. จุดปล่อยสีให้เย็นตัว

หลังจากทำการอบสีเรียบร้อยแล้วสายพานลำเลียงจะนำชิ้นงานมายังจุดปล่อยสีให้เย็นตัวโดยจุดนั้นจะมีพัดลมเพื่อช่วยลดอุณหภูมิของชิ้นงานให้เร็วขึ้น และมีการยึดเกาะของสีที่ดี

### 6. จุดเก็บชิ้นงานออกจากโซ่ลำเลียง

หลังจากชิ้นงานเย็นตัวลงแล้วสายพานลำเลียงจะนำชิ้นงานมายังจุดเก็บชิ้นงานเพื่อนำชิ้นงานออกจากที่แขวน ก่อนทำการส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไป

### 3.2.3 การกำหนดตัวชี้วัดและเป้าหมาย

ปัญหาที่จะดำเนินการปรับปรุง คือ ของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางของชิ้นงาน โดยเป้าหมายในการแก้ไข คือ ทำปรับปรุงกระบวนการในการพ่นสีฝุ่นให้มีสัดส่วนของเสียลดลงจากเดิมมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์เป็นอย่างต่ำ โดยจะใช้ตัวชี้วัด คือ สัดส่วนของเสียและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น โดยมีวิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

$$\text{สัดส่วนของเสีย} = \frac{\text{ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น}}{\text{ปริมาณชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมด}} \times 100 \%$$

ค่าใช้จ่ายในการซ่อมชิ้นงาน = (ค่าน้ำยาลอกสีฝุ่น+ค่าอุปกรณ์ PPE+ค่ากำจัดขยะอันตราย+ค่าสีฝุ่น+ค่าสารเคมีในกระบวนการทำความสะอาดผิวชิ้นงาน+ค่าแรงงาน+ค่าไฟ+ค่าแก๊ส) × ปริมาณของเสีย โดยรายละเอียดค่าใช้จ่ายต่อชิ้น ดังต่อไปนี้

ค่าน้ำยาลอกสีฝุ่น	เท่ากับ	40 บาทต่อชิ้น
ค่าอุปกรณ์ PPE (ใช้แล้วทิ้ง)	เท่ากับ	295 บาทต่อชิ้น
ค่ากำจัดขยะอันตราย	เท่ากับ	10 บาทต่อชิ้น
ค่าสีฝุ่น	เท่ากับ	10 บาทต่อชิ้น
ค่าสารเคมี	เท่ากับ	5.5 บาทต่อชิ้น
ค่าแรงงาน (6 คน)	เท่ากับ	7.5 บาทต่อชิ้น
ค่าไฟ	เท่ากับ	1.25 บาทต่อชิ้น
ค่าแก๊ส	เท่ากับ	5.75 บาทต่อชิ้น
<b>ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการซ่อมสี</b>	<b>เท่ากับ</b>	<b>424.5 บาทต่อชิ้น</b>

### 3.3 การสร้างสัญญาโครงการ (Project Charter)

Project Charter	
<b>Project Title:</b> การลดของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกและสีบางในกระบวนการพ่นสีฝุ่นบนกรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์	
<b>Business Case:</b> ในปี 2564 ผลิตภัณฑ์กรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์ มีสัดส่วนของเสียข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางเป็นจำนวนมาก ส่งผลกระทบต่อการเพิ่มต้นทุนของเสียในกระบวนการผลิต	<b>Project Constraints:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>สมาชิกในทีมมีเวลาให้โครงการ 8 ชั่วโมงต่อสัปดาห์</li> <li>การวางแผนการทดลองต้องไม่กระทบกับกระบวนการผลิต</li> <li>มีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการทดลอง</li> </ol>

Project Charter																			
<p><b>Project Title:</b> การลดของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกและสีบางในกระบวนการพ่นสีฝุ่นบนกรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์</p>																			
<p><b>Problem statement:</b> ในกระบวนการพ่นสีฝุ่นบนกรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์พบว่ามีส่วนของเสียสูง โดยส่วนใหญ่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบาง โดยสัดส่วนของเสียรวม 8 เปอร์เซ็นต์ ส่งให้ในเดือนพฤษภาคม 2564 ถึง เมษายน 2565 มีต้นทุนของเสียถึง 8,008,715.5 บาท</p>	<p><b>Project Assumption:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) คณะทีมงานมีความรู้ ความสามารถเกี่ยวกับกระบวนการพ่นสีฝุ่นเป็นอย่างดี</li> <li>2) ได้รับการสนับสนุนในการดำเนินโครงการจากผู้บริหาร</li> <li>3) มีการสรุปผลการดำเนินงานให้กับผู้บริหารเดือนละครั้ง เพื่อปรึกษาและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา</li> </ol>																		
<p><b>Objective Statement:</b> ปรับปรุงกระบวนการพ่นสีฝุ่น เพื่อลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางของกรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์ ให้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ภายในเดือนพฤศจิกายน 2565</p>	<p><b>Team members:</b></p> <p>คุณอินทรีย์ ผู้อำนวยการฝ่ายประกันคุณภาพ คุณทรงศิลป์ ผู้จัดการฝ่ายผลิต คุณทินกฤต หัวหน้าแผนกฝ่ายประกันคุณภาพ คุณศักดิ์ชัย หัวหน้าแผนกฝ่ายประกันคุณภาพ คุณสิทธิชัย หัวหน้าหน่วยฝ่ายผลิต คุณยอดขวัญ หัวหน้าหน่วยฝ่ายประกันคุณภาพ คุณกฤษฎา วิศวกร คุณนภา พนักงานฝ่ายผลิต คุณพิชญา ผู้วิจัย</p>																		
<p><b>Project Scope:</b> ศึกษาและปรับปรุงกระบวนการพ่นสีฝุ่น เฉพาะผลิตภัณฑ์กรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์</p>	<p><b>Project Timeline:</b> ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินโครงการ ตุลาคม 2564 – พฤศจิกายน 2565</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Phase</th> <th>เริ่มต้น</th> <th>สิ้นสุด</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Define</td> <td>1 ต.ค. 64</td> <td>31 ธ.ค. 64</td> </tr> <tr> <td>Measure</td> <td>1 ม.ค. 65</td> <td>28 ก.พ. 65</td> </tr> <tr> <td>Analysis</td> <td>1 มี.ค. 65</td> <td>30 มิ.ย. 65</td> </tr> <tr> <td>Improve</td> <td>1 ส.ค. 65</td> <td>31 ต.ค. 65</td> </tr> <tr> <td>Control</td> <td>1 พ.ย. 65</td> <td>30 พ.ย. 65</td> </tr> </tbody> </table>	Phase	เริ่มต้น	สิ้นสุด	Define	1 ต.ค. 64	31 ธ.ค. 64	Measure	1 ม.ค. 65	28 ก.พ. 65	Analysis	1 มี.ค. 65	30 มิ.ย. 65	Improve	1 ส.ค. 65	31 ต.ค. 65	Control	1 พ.ย. 65	30 พ.ย. 65
Phase	เริ่มต้น	สิ้นสุด																	
Define	1 ต.ค. 64	31 ธ.ค. 64																	
Measure	1 ม.ค. 65	28 ก.พ. 65																	
Analysis	1 มี.ค. 65	30 มิ.ย. 65																	
Improve	1 ส.ค. 65	31 ต.ค. 65																	
Control	1 พ.ย. 65	30 พ.ย. 65																	

### 3.4 สรุประยษณียามปัญหา

ในระยษณการนียามปัญหา ได้จัดตั้งคณะทำงาน และศึกษากระบวนการพ่นสีฝุ่นของผลิตภัณฑ์กรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์ จากนั้นรวบรวมข้อมูลสัดส่วนของเสียและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์จากกระบวนการพ่นสีฝุ่นของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2565 สรุปได้ว่า ของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบาง ควรได้รับการปรับปรุงเนื่องจากมีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้น 8 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณการผลิต คิดเป็น 80.2 เปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนของเสียทั้งหมด และมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องสูงสุดถึง 8,000,715 บาท ซึ่งถ้าแก้ปัญหาข้อบกพร่องนี้ได้ ก็จะสามารถลดจำนวนของเสียส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นได้



## บทที่ 4

### การวัดสภาพปัญหา ก่อนปรับปรุง

ระยะการวัดเกี่ยวกับสภาพปัญหา ก่อนการปรับปรุงกระบวนการนั้น ประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด งานวิจัยนี้ได้ทำการวัด ซึ่งคือการตรวจสอบข้อบกพร่อง ตามลักษณะ ซึ่งเป็นข้อมูลแบบนับ จึงได้ใช้เทคนิค Attribute Agreement Analysis ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการตรวจสอบข้อบกพร่อง โดยการวัดที่ขาดทักษะความรู้ ความชำนาญ และองค์ประกอบต่าง ๆ เป็นสาเหตุให้เกิดความผันแปรในระบบการวัด ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้ออกมานั้นไม่มีความถูกต้อง จึงไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้ ดังนั้นต้องทำการวิเคราะห์ทดสอบแล้วปรับปรุงกระบวนการวัดเพื่อให้ได้ผลที่ออกมาอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ จากนั้นคำนวณขนาดของตัวอย่าง เพื่อใช้ในการวัดสภาพปัญหา และสรุปค่าตัวชี้วัดของสภาพปัญหา

#### 4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด (Attribute Agreement Analysis)

ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นการประเมินผลข้อมูลแบบนับ (Attribute data) คือ ผ่าน (Good: G) หรือไม่ผ่าน (No Good: NG) จึงทำการประเมินการวัดข้อมูลแบบนับ โดยจะวิเคราะห์ทั้งความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) ของระบบการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดบนกรอบกระจกของหลังคารถยนต์อเนกประสงค์ จะตรวจสอบ 100% ด้วยสายตา ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัดที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. กำหนดกลุ่มตัวอย่าง โดยคัดเลือกกรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์จำนวน 12 ชิ้น โดยอ้างอิงเกณฑ์ของ Fasser and Brettner (1992) ซึ่งประกอบไปด้วยกรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์ที่มีข้อบกพร่องที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอย่างชัดเจนจำนวน 3 ชิ้น และไม่ผ่านมาตรฐานอย่างชัดเจนจำนวน 3 ชิ้นและ 6 ชิ้นงานที่มีคุณภาพแบบกำกวม
2. คัดเลือกผู้ชำนาญการ ซึ่งผู้ชำนาญการต้องเป็นบุคคลที่สามารถแยกแยะคุณภาพของชิ้นงานได้เป็นอย่างดี และสามารถตัดสินใจได้ว่าข้อบกพร่องที่พบสามารถยอมรับได้หรือไม่

3. คัดเลือกพนักงาน โดยคัดเลือกพนักงานที่มีทักษะความชำนาญในการตรวจสอบในกระบวนการผลิตจำนวน 3 คน มาทำการตรวจชิ้นงานทั้ง 12 ชิ้น เพื่อทำการทดสอบและประเมินผล

4. ทำการทดลองโดยให้พนักงานแต่ละคนตรวจสอบกรอบกระจกของหลังคาของกระบะอเนกประสงค์จำนวน 12 ชิ้น โดยทำการตรวจสอบซ้ำ 3 ครั้งต่อชิ้นงาน 1 ชิ้นในลำดับการตรวจสอบแบบสุ่ม และสลับลำดับของชิ้นงาน เพื่อไม่ให้พนักงานจดจำกลุ่มตัวอย่างได้ โดยอ้างอิงเกณฑ์ของ Fasser and Brettner (1992)

5. บันทึกผลการตรวจสอบ เพื่อทำการประเมินความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการตรวจสอบ ในการประเมินผลจะประกอบไปด้วย

1. การวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบแต่ละคน (Within appraiser)

1.1 ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Appraiser Score)

1.2 ความถูกต้องของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน ได้แก่

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

2. การวิเคราะห์ระหว่างพนักงานตรวจสอบ

2.1 ความ พ้องกัน ของค่าวัด ระหว่างพนักงาน (% Screen Effective Score (Reproducibility))

2.2 การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน (%Attribute Screen Effective Score)

โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินผลความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด จะอ้างอิงจาก Automotive Industry Action Group (AIAG) โดยมีรายละเอียดของการประเมิน แสดงดังตารางที่

4.1

ตารางที่ 4.1 เกณฑ์การตัดสินใจในการยอมรับของระบบการวัด

การวิเคราะห์	ดัชนีชี้วัด	เกณฑ์การยอมรับ	ผลการตัดสินใจ	
การวิเคราะห์พนักงาน ตรวจสอบแต่ละคน (Within appraiser)	ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน ตรวจสอบแต่ละคน (%Appraiser Score)	$\geq 80\%$	ยอมรับพนักงาน ตรวจสอบได้	
	ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละ คน (%Attribute Score)	$\geq 80\%$	ยอมรับพนักงาน ตรวจสอบได้	
การวิเคราะห์พนักงาน ตรวจสอบแต่ละคน (Within appraiser)	ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงาน (Operator Effectiveness Index: $O_E$ )	$\geq 90\%$	ยอมรับพนักงาน ตรวจสอบได้	
		$\geq 80\%$	ยอมรับแบบกำกึ่ง	
		$< 80\%$	ไม่สามารถยอมรับได้	
	ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False Alarm Index: $I_{FA}$ )	$\leq 5\%$	ยอมรับพนักงาน ตรวจสอบได้	
		$\leq 10\%$	ยอมรับแบบกำกึ่ง	
		$> 10\%$	ไม่สามารถยอมรับได้	
	ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (Index of a Miss: $I_{MISS}$ )	$\leq 2\%$	ยอมรับพนักงาน ตรวจสอบได้	
		$\leq 5\%$	ยอมรับแบบกำกึ่ง	
		$> 5\%$	ไม่สามารถยอมรับได้	
	การวิเคราะห์ระหว่าง พนักงานตรวจสอบ	ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน (Reproducibility)	$\geq 80\%$	ยอมรับพนักงาน ตรวจสอบได้
		การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของ ค่าวัดระหว่างพนักงาน (% Attribute Screen Effective Score)	$\geq 80\%$	ยอมรับพนักงาน ตรวจสอบได้



จากการวิเคราะห์ความมั่นคงและความเที่ยงของระบบการวัด ได้ผลการตรวจสอบ แสดงดัง  
ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบ

ชั้นที่	พนักงานคนที่ 1			พนักงานคนที่ 2			พนักงานคนที่ 3			คุณภาพที่ แท้จริง	ตรวจสอบได้ เหมือนกัน	ตรวจสอบได้ ถูกต้องทุกคน
	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
2	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
3	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
4	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
6	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
7	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
8	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
9	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
10	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
11	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
12	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

G หมายถึง คุณภาพของชิ้นงานที่ผ่านมาตรฐาน

NG หมายถึง คุณภาพของชิ้นงานไม่ผ่านมาตรฐาน

Y หมายถึง ตรวจสอบได้เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน หรือตรวจสอบพบข้อบกพร่องได้  
ถูกต้องทุกคน

N หมายถึง ตรวจสอบได้ไม่เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน หรือตรวจสอบพบข้อบกพร่อง  
ได้ ไม่ถูกต้องทุกคน

เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 4.2 มาคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์เพื่อ  
ประเมินระบบการวัด ซึ่งได้ค่าดัชนีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

## 1. การวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบแต่ละคน (Within appraiser)

### 1.1 ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Appraiser Score)

$$\% \text{รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 1} = \frac{12}{12} = 1 = 100\%$$

$$\% \text{รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 2} = \frac{12}{12} = 1 = 100\%$$

$$\% \text{รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 3} = \frac{12}{12} = 1 = 100\%$$

### 1.2 ความถูกต้องของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน ได้แก่

#### 1.2.1 ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Attribute Score)

$$\% \text{รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 1} = \frac{12}{12} = 1 = 100\%$$

$$\% \text{รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 2} = \frac{12}{12} = 1 = 100\%$$

$$\% \text{รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 3} = \frac{12}{12} = 1 = 100\%$$

#### 1.2.2 ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงาน (Operator Effectiveness Index: $O_E$ )

$$O_E \text{ ของพนักงานคนที่ 1} = \frac{36}{12 \times 3} = 1 = 100\%$$

$$O_E \text{ ของพนักงานคนที่ 2} = \frac{36}{12 \times 3} = 1 = 100\%$$

$$O_E \text{ ของพนักงานคนที่ 3} = \frac{36}{12 \times 3} = 1 = 100\%$$

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

$$I_{FA} \text{ ของพนักงานคนที่ 1} = \frac{0}{6 \times 3} = 0 = 0\%$$

$$I_{FA} \text{ ของพนักงานคนที่ 2} = \frac{0}{6 \times 3} = 0 = 0\%$$

$$I_{FA} \text{ ของพนักงานคนที่ 3} = \frac{0}{6 \times 3} = 0 = 0\%$$

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

$$I_{MISS} \text{ ของพนักงานคนที่ 1} = \frac{0}{6 \times 3} = 0 = 0\%$$

$$I_{MISS} \text{ ของพนักงานคนที่ 2} = \frac{0}{6 \times 3} = 0 = 0\%$$

$$I_{MISS} \text{ ของพนักงานคนที่ 3} = \frac{0}{6 \times 3} = 0 = 0\%$$

## 2. การวิเคราะห์ระหว่างพนักงานตรวจสอบ

### 2.1 ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน (% Screen Effective Score (Reproducibility))

$$\% \text{ประสิทธิผลด้านรีพีทหะบิลิตี้} = \frac{12}{12} = 1 = 100\%$$

### 2.2 การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน (%Attribute Screen Effective Score)

$$\% \text{คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอดทริบิวต์} = \frac{12}{12} = 1 = 100\%$$

ผลสรุปของค่าดัชนีชี้วัดระบบการวัดของข้อมูล แสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลสรุปของค่าดัชนีชี้วัดของระบบการวัดของข้อมูลตัวอย่าง

การวิเคราะห์	ดัชนีชี้วัด	พนักงานคนที่ 1	พนักงานที่ 2	พนักงานคนที่ 3
การวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบแต่ละคน	ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน (%Appraiser Score)	100%	100%	100%
	ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน(% Appraiser Score)	100%	100%	100%

ตารางที่ 4.4 ผลสรุปของค่าดัชนีชี้วัดของระบบการวัดของข้อมูลตัวอย่าง (ต่อ)

การวิเคราะห์	ดัชนีชี้วัด	พนักงานคนที่ 1	พนักงานที่ 2	พนักงานคนที่ 3
การวิเคราะห์พนักงาน ตรวจสอบแต่ละคน	ดัชนีความมีประสิทธิภาพของ พนักงาน ( $O_E$ )	100%	100%	100%
	ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธ อย่างผิดพลาด ( $I_{FA}$ )	0%	0%	0%
	ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับ อย่างผิดพลาด ( $I_{MISS}$ )	0%	0%	0%
การวิเคราะห์ระหว่าง พนักงานตรวจสอบ	ความป้องกันของค่าวัด ระหว่างพนักงาน	100%		
	การวิเคราะห์ความป้องกัน และถูกต้องของค่าวัด ระหว่างพนักงาน	100%		

จากการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบ ทั้ง 3 คน พบว่าพนักงานทั้ง 3 คน มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ โดยมีค่า  $O_E \geq 90\%$   $I_{FA} \leq 5\%$  และ  $I_{MISS} \leq 2\%$  ในส่วนของการวิเคราะห์ระหว่างพนักงานตรวจสอบ พบว่าพนักงานมีความป้องกันของค่าวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นระบบวัดนี้จึงมีความน่าเชื่อถือได้ จึงพิจารณาให้ปัจจัยที่เกิดจากการวัดไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางของกรอบกระจก

#### 4.2 คำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้วัดสภาพปัญหา

จากการรวบรวมข้อมูลสัดส่วนของเสียที่เกิดจากกระบวนการพ่นสีฝุ่นของกรอบกระจกในเดือน มกราคมถึงเดือนธันวาคม 2563 พบว่า มีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางรวม 8 เปอร์เซ็นต์ จากปริมาณการผลิต 176,236 ชิ้น ในการประมาณสัดส่วน โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95 เปอร์เซ็นต์และค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้ของค่าที่ได้จากค่าจริง ( $e$ ) เท่ากับ 0.005 เพื่อคำนวณหาขนาดตัวอย่างเพื่อใช้วัดสภาพปัญหา ได้จากสมการที่ 4.1

$$n = \frac{z_{\alpha/2}^2 p(1-p)}{e^2} \quad (4.1)$$

โดยที่  $n$  คือ ขนาดตัวอย่าง

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

$p$  คือ สัดส่วนของลักษณะที่สนใจของประชากร

(สัดส่วนของสีประเภทสีแดงและสีบาง)

$e$  คือ ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง

คำนวณขนาดตัวอย่าง

$$n = \frac{(1.96)^2(0.08)(0.92)}{(0.005)^2} = 11,309.67 = 11,310 \text{ ชิ้น}$$

จากการคำนวณขนาดตัวอย่างพบว่าต้องเก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อย 11,310 ชิ้นสำหรับการทดลอง ซึ่งในกรณีนี้มีข้อมูลที่สามารถใช้ได้ทั้ง 176,236 ชิ้น จึงไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพิ่มเติม

#### 4.3 สรุปค่าตัวชี้วัดสภาพปัญหา

ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัดของพนักงานทั้ง 3 คน พบว่าพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทสีแดง และสีบางอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นระบบการวัดจึงมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งในการพิจารณาสำหรับปัจจัยที่เกิดจากการวัดนั้นไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแดงและสีของกรอบกระจก

#### 4.4 สรุประยะการวัดสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง

ในระยะเวลาการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา เริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด โดยงานวิจัยนี้ใช้ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ หรือ Attribute Agreement Analysis (AAA) จากวิเคราะห์พบว่าพนักงานทั้ง 3 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทสีแดงและสีบาง อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นระบบการวัดจึงมีความน่าเชื่อถือ และเมื่อคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้วัดสภาพปัญหา พบว่าจำนวนตัวอย่างต้องเก็บข้อมูลอย่างน้อย 11,310 ชิ้น ซึ่งข้อมูลที่อยู่มีจำนวนมากว่า จึงสามารถใช้ข้อมูลได้ทั้ง 176,236 ชิ้น ในการประมาณค่าสัดส่วน ดังนั้นสามารถใช้ระบบการวัดนี้ได้และสัดส่วนของเสียรวมก่อนปรับปรุงเท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์

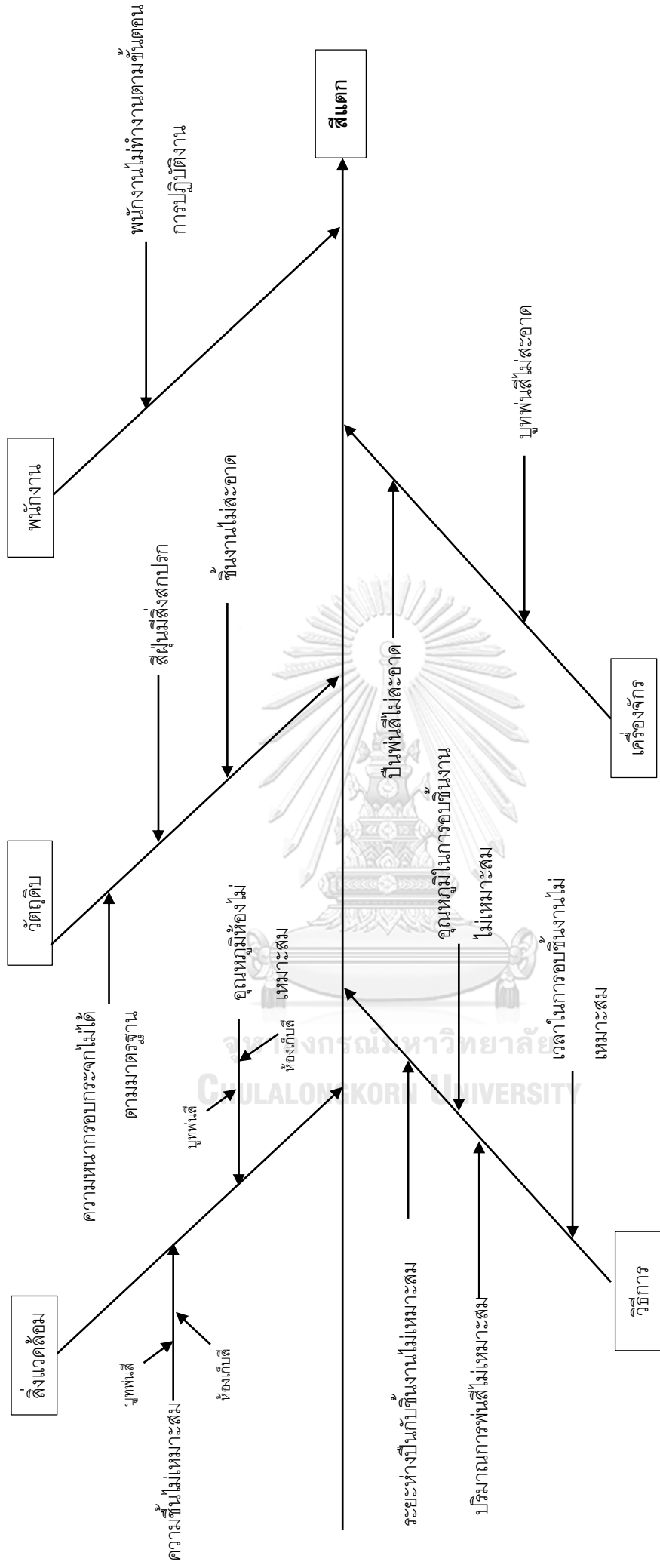
## บทที่ 5

### การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

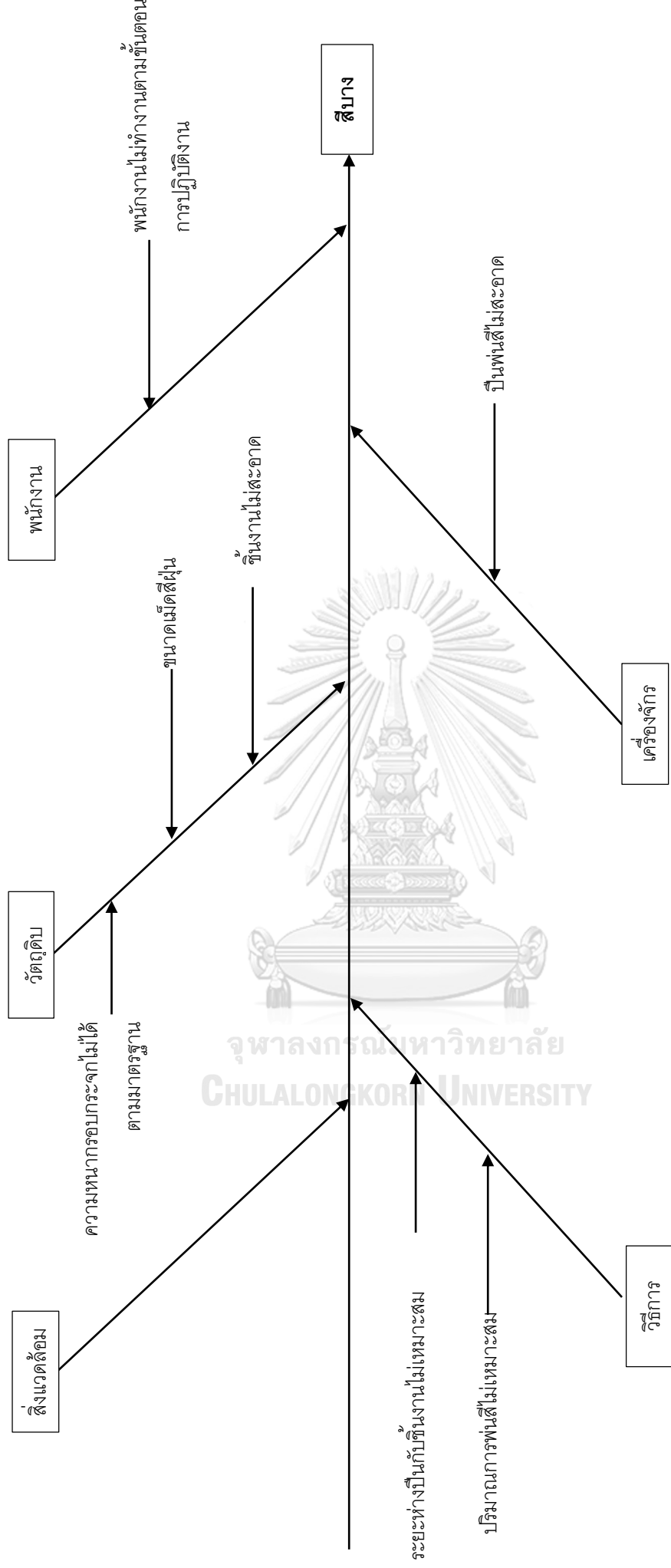
การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเป็นขั้นตอนเพื่อหาสาเหตุที่มีนัยสำคัญที่คาดว่าจะทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางในกระบวนการพ่นสีฝุ่นของกรอบกระจก โดยจะทำการระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการพ่นสีฝุ่น และนำผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัย โดยใช้เมทริกซ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เพื่อเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัย และกำหนดปัจจัยนำเข้าหลัก (Key process Input) เพื่อนำไปศึกษาเพิ่มเติม

#### 5.1 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

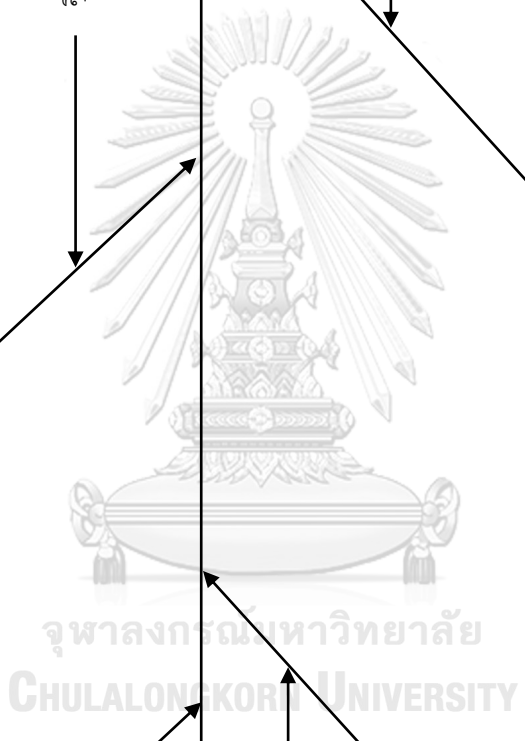
แผนผังแสดงสาเหตุและผล คือแผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยนำเข้าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและมีโอกาสก่อให้เกิดปัญหา โดยจะแบ่งออกเป็น สาเหตุปัจจัยหลัก และปัจจัยย่อย ซึ่งสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบาง แสดงดังรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 ตามลำดับ และสามารถอธิบายได้ดังนี้ สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man) สามารถเกิดได้จากที่พนักงานไม่ทำงานตามขั้นตอนการปฏิบัติงานจึงทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบาง สาเหตุที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material) สามารถเกิดได้จากที่ความหนาของกรอบกระจกไม่ได้ตามมาตรฐานและมีความผันแปรสูงระหว่างล็อต สีฝุ่นมีสิ่งสกปรกปนเปื้อนและชิ้นงานไม่สะอาดจึงทำให้เกิดข้อบกพร่องเป็นประเภทสีแตกและสีบาง สาเหตุที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม (Environment) สามารถเกิดได้จากความชื้นของบู่ทพ่นสีหรือห้องเก็บสีที่ไม่เหมาะสม อุณหภูมิบู่ทพ่นสีหรือห้องเก็บสีที่ไม่เหมาะสม จึงทำให้เกิดข้อบกพร่องเป็นประเภทสีแตก สาเหตุที่เกิดจากวิธีการปฏิบัติงาน (Method) สามารถเกิดได้จากระยะห่างระหว่างปืนกับชิ้นงานที่ไม่เหมาะสม ปริมาณการพ่นสีที่ไม่เหมาะสม อุณหภูมิหรือระยะเวลาในการอบสีที่ไม่เหมาะสมจึงทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบาง สาเหตุที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine) สามารถเกิดได้จากปืนพ่นสีไม่สะอาด บู่ทพ่นสีไม่สะอาดจึงทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบาง เนื่องจากมีหลายสาเหตุจึงต้องเรียงลำดับด้วยเมทริกซ์สาเหตุและผล



รูปที่ 5.1 แผนผังสาเหตุและผลประเภทสี่แตก (Cause and Effect Diagram)



รูปที่ 5.2 แผนผังสาเหตุและผลประเภทสียง (Cause and Effect Diagram)





## 5.2 เมทริกซ์สาเหตุและผล

เมทริกซ์สาเหตุและผล เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้เพื่อช่วยจัดลำดับความสำคัญระหว่างสาเหตุและผล และทำการให้คะแนนเพื่อช่วยในการตัดปัจจัยที่ไม่ส่งผลหรือส่งผลน้อยในการทำให้เกิดข้อบกพร่อง โดยในการให้คะแนนจะทำการประชุมและปรึกษากับคณะทำงานทุกคน เพื่อยอมรับคะแนนร่วมกัน จากนั้นเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยจากคะแนนที่รวบรวมมา โดยมีการกำหนดคะแนนระดับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลแสดงดังตารางที่ 5.1 เนื่องจากมีหลายสาเหตุจึงต้องเรียงลำดับด้วยเมทริกซ์สาเหตุและผลซึ่งแสดงดังตารางที่ 5.2 หลังจากนั้นคะแนนที่ได้มาเรียงลำดับจากมากไปน้อย โดยใช้แผนภูมิพาเรโตเพื่อที่จะทำการเลือกปัจจัยที่มีคะแนนมากไปศึกษาต่อไป ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.3 พบว่ามี 5 ปัจจัยที่จะเลือกไปศึกษาต่อ เนื่องจากมีความสัมพันธ์สูงมากกับข้อบกพร่องสี่แตกและสีบางซึ่ง 5 ปัจจัยที่มีคะแนนรวมกันเป็น 80.36 เปอร์เซ็นต์ของคะแนนทั้งหมด 5 ปัจจัยนี้ได้แก่ ความหนากรอบกระจกไม่ได้มาตรฐาน ระยะห่างระหว่างปืนกับชิ้นงานไม่เหมาะสม ปริมาณการพ่นสีไม่เหมาะสม อุณหภูมิในการอบชิ้นงานไม่เหมาะสม ระยะเวลาในการอบชิ้นงานไม่เหมาะสม

ตารางที่ 5.1 เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล

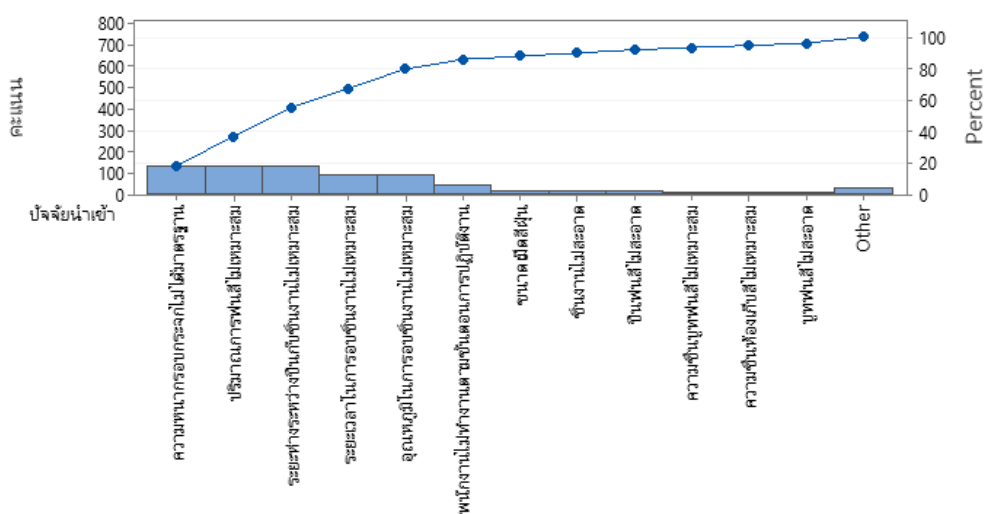
ระดับความสำคัญ	ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล	คะแนน
มาก	ปัจจัยที่มีผลมากและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องมาก	9
ปานกลาง	ปัจจัยที่มีผลปานกลางและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องปานกลาง	3
น้อย	ปัจจัยที่มีผลน้อยและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องน้อย	1
น้อยมาก	ปัจจัยที่มีผลน้อยมากและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องน้อยมาก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

ตารางที่ 5.2 คะแนนรวมของแต่ละปัจจัยนำเข้า

คะแนนความสำคัญ		10	5	คะแนนรวม
ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า	สี่แตก	สี่บาง	
1	ความขึ้นรูปพ่นสีไม่เหมาะสม	1	0	10
2	ความขึ้นห้องเก็บสีไม่เหมาะสม	1	0	10
3	อุณหภูมิพ่นสีไม่เหมาะสม	1	0	10
4	อุณหภูมิห้องเก็บสีไม่เหมาะสม	1	0	10
5	ความหนากรอบกระจกไม่ได้มาตรฐาน	9	9	135
6	ชิ้นงานไม่สะอาด	1	1	15
7	ขนาดเม็ดสีฝุ่น	1	1	15
8	สีฝุ่นมีสิ่งสกปรก	1	0	10
9	พนักงานไม่ทำงานตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน	3	3	45
10	ระยะห่างระหว่างปืนกับชิ้นงานไม่เหมาะสม	9	9	135
11	ปริมาณการพ่นสีไม่เหมาะสม	9	9	135
12	อุณหภูมิในการอบชิ้นงานไม่เหมาะสม	9	0	90
13	ระยะเวลาในการอบชิ้นงานไม่เหมาะสม	9	0	90
14	ปืนพ่นสีไม่สะอาด	1	1	15
15	รูปพ่นสีไม่สะอาด	1	0	10

## จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประเมินคะแนนแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทสี่บางและสี่แตก



รูปที่ 5.3 แผนภูมิพาเรโตแสดงลำดับคะแนนของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทสี่แตกและสี่บาง

ตารางที่ 5.3 ผลกระทบของแต่ละปัจจัยนำเข้าและคะแนน

ลำดับ ที่	ปัจจัย นำเข้า	ผลกระทบ	คะแนน	
			สี แดง	สี บาง
1	ความขึ้นรูป พ่นสีไม่ เหมาะสม	ในรูปพ่นสีมีการควบคุมความขึ้นให้อยู่ในสภาวะที่พอเหมาะจึงมีผลกระทบและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกน้อย และมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกน้อยมาก	1	0
2	ความขึ้น ห้องเก็บสีไม่ เหมาะสม	ในห้องเก็บสีมีการควบคุมความขึ้นให้อยู่ในสภาวะที่พอเหมาะจึงมีผลกระทบและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกน้อย และมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกน้อยมาก	1	0
3	อุณหภูมิรูป พ่นสีไม่ เหมาะสม	ในรูปพ่นสีมีการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะที่พอเหมาะจึงมีผลกระทบและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกน้อย และมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกน้อยมาก	1	0
4	อุณหภูมิห้อง เก็บสีไม่ เหมาะสม	ในห้องเก็บสีมีการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะที่พอเหมาะจึงมีผลกระทบและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกน้อย และมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกน้อยมาก	1	0
5	ความหนา กรอบ กระจกไม่ได้ มาตรฐาน	ความหนาของกรอบกระจกมีค่ามากจะส่งผลเกี่ยวข้องกับระยะห่างของปีนกับชิ้นงานที่มีค่าลดลงจึงส่งผลให้เกิดสีหนาและส่งผลให้เกิดปัญหาสีแตกได้ แต่หากลดความหนาของกรอบกระจกให้มีค่าน้อยจะส่งผลให้ระยะห่างของปีนกับผิวชิ้นงานมีค่ามากขึ้นจึงทำให้เกิดเกิดข้อบกพร่องประเภทสีบางได้	9	9

ตารางที่ 5.3 ผลกระทบของแต่ละปัจจัยนำเข้าและคะแนน (ต่อ)

ลำดับ ที่	ปัจจัยนำเข้า	ผลกระทบ	คะแนน	
			สีแตก	สีบาง
6	ชิ้นงานไม่สะอาด	ก่อนนำชิ้นงานไปพ่นสีฝุ่น ได้มีการนำชิ้นงานไปทำความสะอาดเพื่อขจัดคราบไขมัน และเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะของสีโดยตั้งค่าเวลาในการทำความสะอาดตามมาตรฐานจึงมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางน้อย	1	1
7	ขนาดเม็ดสีฝุ่น	เนื่องจากเครื่องเก็บสีจะมีตะแกรงเพื่อทำการขัดแยกเม็ดสีที่มีขนาดใหญ่เกินกว่ามาตรฐานออกจึงส่งผลให้ความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางน้อย	1	1
8	สีฝุ่นมีสิ่งสกปรก	เนื่องจากเครื่องเก็บสีจะมีตะแกรงเพื่อทำการขัดแยกสิ่งสกปรกออกจากเม็ดสีจึงส่งผลให้ความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกน้อยและความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีบางน้อยมาก	1	0
9	พนักงานไม่ทำงานตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน	เนื่องจากพนักงานที่ประจำพ่นสีฝุ่นได้รับการฝึกสอนและผ่านการประเมินจากหัวหน้างาน แต่มีโอกาสที่เกินข้อบกพร่องระหว่างพนักงานจึงมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางปานกลาง	3	3
10	ระยะห่างระหว่างปืนกับชิ้นงานไม่เหมาะสม	ระยะห่างปืนคือระยะห่างระหว่างปืนกับจุดแขวนชิ้นงานหากตั้งค่าระยะห่างของปืนให้ใกล้กับชิ้นงานจะส่งผลให้ความหนาของสีสูงและเกิดปัญหาสีแตกได้ แต่หากตั้งค่าระยะห่างของปืนไกลจากชิ้นงานจะส่งผลให้ความหนาสีต่ำเนื่องจากความฟุ้งของสีฝุ่นไม่สามารถยึดเกาะชิ้นงานได้ดีจึงส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีบาง	9	9

ตารางที่ 5.3 ผลกระทบของแต่ละปัจจัยนำเข้าและคะแนน (ต่อ)

ลำดับ ที่	ปัจจัยนำเข้า	ผลกระทบ	คะแนน	
			สีแตก	สีบาง
11	ปริมาณการพ่นสีไม่ เหมาะสม	ปริมาณการพ่นสีตามจะถูกกำหนดไว้ โดยหากตั้งค่า ปริมาณการพ่นสีสูงจะส่งผลให้เกิดปัญหาความหนาสีเกิน 120 ไมครอนเมื่อนำไปอบตามอุณหภูมิและเวลา มาตรฐานจะส่งผลให้เกิดปัญหาสีแตกได้ แต่หากตั้งค่า ปริมาณการพ่นสีต่ำจะส่งผลให้เกิดปัญหาความหนาสีต่ำ กว่า 80 ไมครอนจึงเกิดข้อบกพร่องประเภทสีบางได้	9	9
12	อุณหภูมิในการอบชิ้นงาน ไม่เหมาะสม	อุณหภูมิจะถูกควบคุมด้วยตู้ควบคุม การปรับตั้งอุณหภูมิ ที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับประเภทของสีและประเภท ชิ้นงานที่ใช้ในการอบ หากตั้งค่าอุณหภูมิในการอบสูง เกินไปจะส่งผลให้เกิดปัญหาสีกรอบจนทำให้สีที่ยึดเกาะ ผิวชิ้นงานแตกและหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้ แต่หากตั้ง ค่าอุณหภูมิต่ำเกินไปส่งผลให้เกิดปัญหาสีไม่ละลายและ ไม่สามารถยึดเกาะกับชิ้นงานได้ดี	9	0
13	ระยะเวลาในการอบชิ้นงาน ไม่เหมาะสม	ระยะเวลาในการอบจะถูกควบคุมด้วยเครื่องจับเวลาที่ ตู้ควบคุม การปรับตั้งระยะเวลาในการอบที่เหมาะสมจะ ขึ้นอยู่กับประเภทของสีและประเภทชิ้นงานที่ใช้ในการ อบ หากตั้งค่าระยะเวลาในการอบสูงเกินไปจะส่งผลให้ เกิดปัญหาสีกรอบจนทำให้สีที่ยึดเกาะผิวชิ้นงานแตก และหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้หลังจากการอบเป็น เวลานาน แต่หากตั้งค่าระยะเวลาในการอบต่ำเกินไปจะ ส่งผลให้เกิดปัญหาสีไม่ละลายและไม่สามารถยึดเกาะ ชิ้นงานได้ดี	9	0
14	ปืนพ่นสีไม่สะอาด	เนื่องจากกระบวนการตรวจสอบและทำความสะอาดปืน พ่นสีมีแผนการตรวจสอบประจำสัปดาห์ทำให้โอกาสที่ จะมีสีฝุ่นอุดตันปืนพ่นสีน้อยจึงส่งผลให้ความสัมพันธ์ใน การก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางน้อย	1	1

ตารางที่ 5.3 ผลกระทบของแต่ละปัจจัยนำเข้าและคะแนน (ต่อ)

ลำดับ ที่	ปัจจัยนำเข้า	ผลกระทบ	คะแนน	
			สี แตก	สี บาง
15	บุทพ่นสีไม่ สะอาด	เนื่องจากกระบวนการตรวจสอบและทำความสะอาดบุทพ่นสีมี แผนการตรวจสอบประจำสัปดาห์ทำให้โอกาสที่จะมีสีฝุ่นเกาะตามผนัง บุทพ่นน้อยจึงส่งผลให้ความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสี แตกน้อย และไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีบาง	1	0

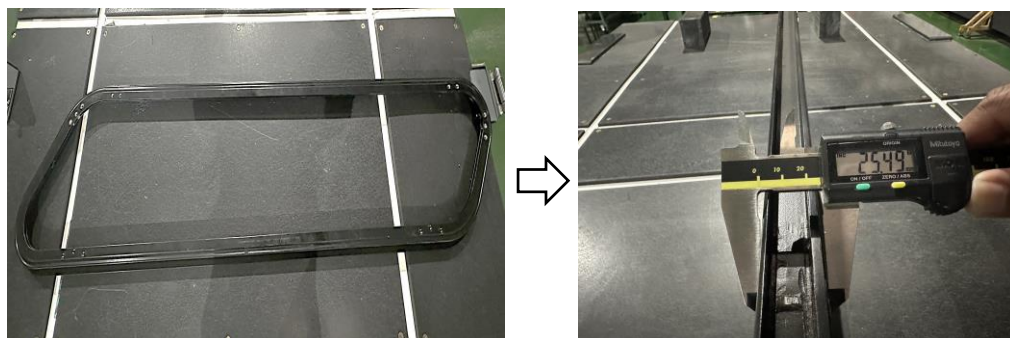
ตารางที่ 5.4 ปัจจัยที่นำไปศึกษาต่อ

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า
1	ความหนาของกรอบกระจก
2	ปริมาณการพ่นสี
3	ระยะห่างปืน
4	อุณหภูมิในการอบ
5	ระยะเวลาในการอบ

จากตารางที่ 5.4 ปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อ ได้แก่ ความหนาของกรอบกระจก ปริมาณการพ่นสี ระยะห่างปืน อุณหภูมิในการอบ และระยะเวลาในการอบ ซึ่งสามารถอธิบายอย่างละเอียดดังต่อไปนี้

#### 1. ความหนาของกรอบกระจก

ความหนาของกรอบกระจกมีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร (mm) โดยความหนาของกรอบกระจก จะมีค่ามาตรฐานควบคุมอยู่ที่  $25.4 \pm 0.5$  มิลลิเมตร ซึ่งสามารถทำการวัดความหนาจากการใช้ เครื่องมือวัดประเภทเวอร์เนียร์ แสดงดังรูปที่ 5.4 หากความหนาของกรอบกระจกมีค่ามากจะส่งผล เกี่ยวข้องกับระยะห่างของปืนกับชิ้นงานที่มีค่าลดลงจึงส่งผลให้ความหนาของสีหลังพ่นมากเกินไป 120 ไมครอนซึ่งทำให้เกิดสีหนาและส่งผลให้เกิดปัญหาสีแตกได้ แต่หากลดความหนาของกรอบกระจกให้มี ค่าน้อยจะส่งผลให้ระยะห่างของปืนกับผิวชิ้นงานมีค่ามากขึ้นจึงทำให้เกิดปัญหาความหนาสีต่ำกว่า 80 ไมครอนจึงเกิดข้อบกพร่องประเภทสีบางได้



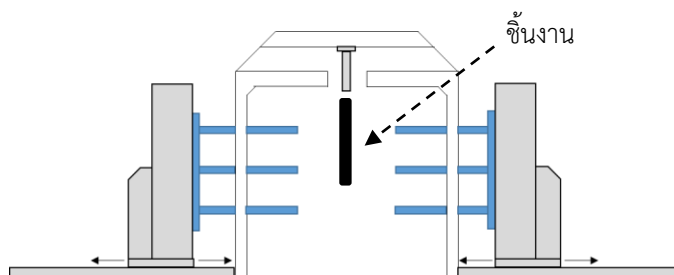
รูปที่ 5.4 การวัดความหนากรอบกระจก

## 2. ปริมาณการพ่นสี

ปริมาณการพ่นสีคือปริมาณในการพ่นสีออกจากปืนพ่นสีโดยมีหน่วยวัดเป็นกรัมต่อนาที ซึ่งถูกตั้งค่าและควบคุมด้วยตัวควบคุมเครื่องพ่นสีเพื่อให้ได้ปริมาณการพ่นสีตามที่ถูกกำหนดไว้ โดยมีช่วงควบคุมปริมาณการพ่นสีอยู่ที่ 0.2-1 กรัมต่อนาที โดยหากตั้งค่าปริมาณการพ่นสีสูงจะส่งผลให้เกิดปัญหาความหนาสีเกิน 120 ไมครอนเมื่อนำไปอบตามอุณหภูมิและเวลามาตรฐานจะส่งผลให้เกิดปัญหาสีแตกได้ แต่หากตั้งค่าปริมาณการพ่นสีต่ำจะส่งผลให้เกิดปัญหาความหนาสีต่ำกว่า 80 ไมครอน จึงเกิดข้อบกพร่องประเภทสีบางได้

## 3. ระยะห่างปืน

ระยะห่างปืนคือระยะห่างระหว่างปืนกับจุดแขวนชิ้นงานมีหน่วยวัดเป็นเซนติเมตร (cm) โดยมีช่วงควบคุมระยะห่างปืนอยู่ระหว่าง 24-25 เซนติเมตร โดยความละเอียดในการปรับตั้งสามารถปรับได้เป็นจุดทศนิยม 1 ตำแหน่ง เช่น 24.2 เซนติเมตร เป็นต้น จุดปรับตั้งระยะห่างปืนจะมีล้อเลื่อนสามารถเลื่อนเข้าหรือออกได้ หากต้องการลดระยะห่างปืนลงจะต้องเลื่อนปืนเข้าไปใกล้จุดแขวนชิ้นงานให้มากขึ้น หากต้องการเพิ่มระยะห่างปืนจะต้องเลื่อนปืนออกจากจุดแขวนชิ้นงาน โดยตัวอย่างการปรับระยะห่างปืนแสดงดังรูปที่ 3.10 ซึ่งในการตั้งค่าระยะห่างของปืนให้ใกล้กับชิ้นงานจะส่งผลให้ความหนาของสีมากกว่า 120 ไมครอนและเกิดปัญหาสีแตกได้ แต่หากตั้งค่าระยะห่างของปืนไกลจากชิ้นงานจะส่งผลให้ความหนาสีต่ำกว่า 80 ไมครอนเนื่องจากความฟุ้งของสีฝุ่นไม่สามารถยึดเกาะชิ้นงานได้ดีจึงส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีบาง



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการปรับระยะห่างปืน

#### 4. อุณหภูมิในการอบ

อุณหภูมิในการอบคืออุณหภูมิที่ใช้ในการอบสีฝุ่นให้ละลายติดชิ้นงานโดยมีหน่วยวัดเป็นองศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) โดยอุณหภูมินี้จะถูกควบคุมด้วยตู้ควบคุม การปรับตั้งอุณหภูมิที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับประเภทของสีและประเภทชิ้นงานที่ใช้ในการอบ โดยมีช่วงควบคุมที่ทางผู้ผลิตสีแนะนำอยู่ในช่วงอุณหภูมิ  $180\text{-}200\text{ }^{\circ}\text{C}$  หากตั้งค่าอุณหภูมิในการอบสูงเกินไปจะส่งผลให้เกิดปัญหาสีกรอบจนทำให้สีที่ยึดเกาะผิวชิ้นงานแตกและหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้ แต่หากตั้งค่าอุณหภูมิต่ำเกินไปจะส่งผลให้เกิดปัญหาสีไม่ละลายและไม่สามารถยึดเกาะกับชิ้นงานได้ดี

#### 5. ระยะเวลาในการอบ

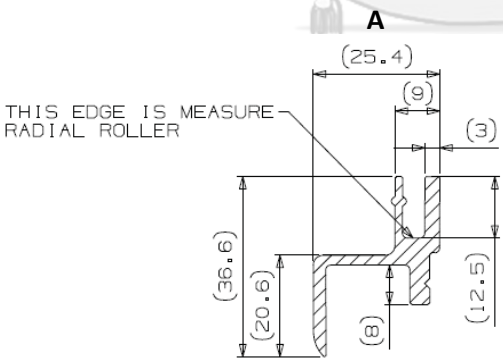
เวลาในการอบคือเวลาที่ใช้ในการอบสีฝุ่นให้ละลายติดชิ้นงานโดยมีหน่วยวัดเวลาเป็นนาที (min) ระยะเวลาในการอบจะถูกควบคุมด้วยเครื่องจับเวลาที่ตู้ควบคุม โดยมีช่วงควบคุมที่ทางผู้ผลิตสีแนะนำอยู่ในช่วงระยะเวลาในการอบประมาณ 45-60 นาที การปรับตั้งระยะเวลาในการอบที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับประเภทของสีและประเภทชิ้นงานที่ใช้ในการอบ หากตั้งค่าระยะเวลาในการอบสูงเกินไปจะส่งผลให้เกิดปัญหาสีกรอบจนทำให้สีที่ยึดเกาะผิวชิ้นงานแตกและหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้หลังจากการอบเป็นเวลานาน แต่หากตั้งค่าระยะเวลาในการอบต่ำเกินไปจะส่งผลให้เกิดปัญหาสีไม่ละลายและไม่สามารถยึดเกาะชิ้นงานได้ดี

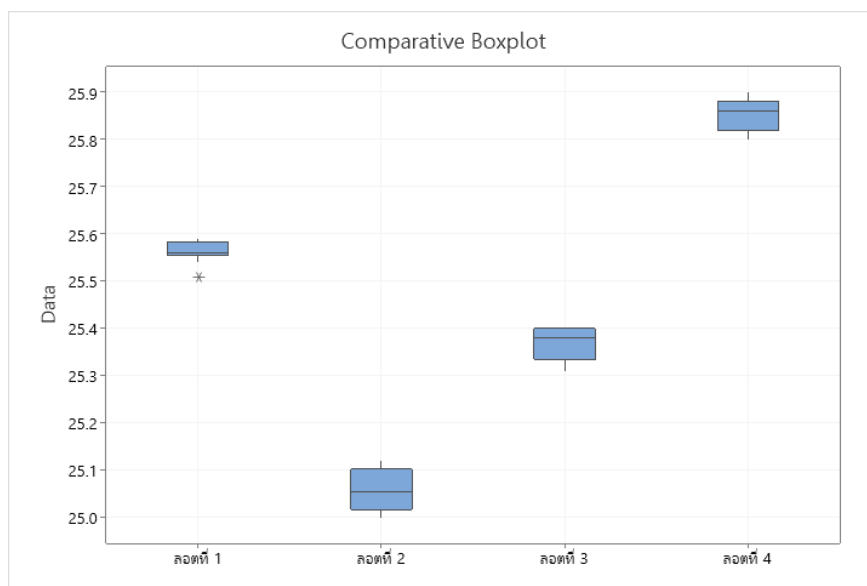
ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์บางตัวใช้ค่าปรับตั้งปัจจัยทั้งห้าเหล่านี้ที่ค่าเดียวกัน บางกลุ่มผลิตภัณฑ์ใช้ค่าปรับตั้งปัจจัยเหล่านี้แตกต่างกัน ในกลุ่มที่ใช้ค่าปรับตั้งปัจจัยเหล่านี้ที่ค่าเดียวกัน ก็พบว่า บางผลิตภัณฑ์ยังมีสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกที่สูง ผู้วิจัยจึงต้องการหาค่าปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ชุดแต่งกรอบกระจก และเมื่อพิจารณาที่ผลิตภัณฑ์ชุดแต่งกรอบกระจกพบว่า บางล็อตก็เกิดของเสียมาก บางล็อตก็ไม่เกิดของเสีย ผู้วิจัยจึงมีสมมติฐานว่าความหนาของกรอบกระจกอาจมีความแตกต่างกันระหว่างล็อตและอาจมีผลกระทบให้เมื่อใช้ค่าปรับตั้งปัจจัยที่ระดับ



เดียวกันทุกล็อต บางล็อตไม่เกิดของเสียเนื่องจากค่าปรับตั้งปัจจัยเหล่านั้นเหมาะสมกับความหนาของกรอบกระจกในล็อตนั้น ในขณะที่บางล็อตที่มีความหนาน้อย เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างปืนพ่นสีที่ระดับเดิม จะทำให้ระยะห่างที่แท้จริงระหว่างปืนพ่นสีกับชิ้นงานห่างมากเกินไป ทำให้ความหนาสีหลังพ่นมีค่าน้อย จึงทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีบาง แต่ขณะที่บางล็อตที่มีความหนามาก เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างปืนพ่นสีที่ระยะเดิม จะส่งผลให้ระยะห่างระหว่างตัวชิ้นงานกับตัวชิ้นงานน้อยลงจึงส่งผลให้ความหนาสีเพิ่มขึ้นและเมื่อนำไปอบจะเกิดปัญหาสีแตกได้ จากสมมติฐานที่ว่าความหนาของกรอบกระจกระหว่างล็อตอาจมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลความหนาของกรอบกระจก 4 ล็อตในเดือนธันวาคม 2564 แสดงดังตารางที่ 5.5 และเปรียบเทียบในรูปแบบแผนภาพกล่องเชิงเปรียบเทียบ (Comparative Box Plots) แสดงดังรูปที่ 5.5 และจากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบว่า ความหนาของกรอบกระจกที่รับมาจากผู้ส่งมอบชิ้นส่วนมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันระหว่างล็อตอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านี้ที่มีต่อสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องสีแตก และหาค่าปรับตั้งปัจจัยทั้งสี่ได้แก่ ปริมาณการพ่นสี ระยะห่างปืน อุณหภูมิและเวลาในการอบให้เหมาะสมกับความหนาสีที่แตกต่างกันระหว่างล็อต

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลความหนาของกรอบกระจกในเดือนธันวาคม 2564

รูปภาพ	ความหนาของกรอบกระจก (A)				
	ลำดับที่	ล็อตที่ 1	ล็อตที่ 2	ล็อตที่ 3	ล็อตที่ 4
 <p>Specification number: <math>25.4 \pm 0.5</math> mm  Nominal value: 25.4 mm  Lower spec. Limit: 24.9 mm  Upper spec. Limit: 25.9 mm</p>	1	25.56	25.03	25.37	25.88
	2	25.57	25.02	25.40	25.80
	3	25.58	25.08	25.40	25.84
	4	25.56	25.10	25.32	25.88
	5	25.51	25.11	25.39	25.88
	6	25.56	25.12	25.34	25.82
	7	25.59	25.02	25.31	25.84
	8	25.56	25.08	25.39	25.90
	9	25.54	25.01	25.35	25.88
	10	25.59	25.00	25.40	25.82



รูปที่ 5.6 แผนภาพกล่องเชิงเปรียบเทียบความหนาของกรอบกระจกในเดือนธันวาคม 2564

นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้งห้านี้พบว่า ปัจจัยเหล่านี้ได้ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทอื่น ๆ นอกจากข้อบกพร่องสีแตกและสีบางด้วย ดังแสดงในตารางที่ 5.6 โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ปริมาณการพ่นสีที่ไม่เหมาะสมสามารถส่งผลให้เกิดของเสียประเภท สีแตก สีบาง สีไหล และสีไม่เต็มได้ ระยะห่างระหว่างปืนกับชิ้นงานที่ไม่เหมาะสมสามารถส่งผลให้เกิดของเสียประเภท สีแตก สีบาง และสีไม่เต็ม อุณหภูมิในการอบชิ้นงานที่ไม่เหมาะสมสามารถส่งผลให้เกิดของเสียประเภท สีแตก เม็ดฝุ่น และความเงาไม่ได้ตามมาตรฐาน ระยะเวลาในการอบชิ้นงานไม่เหมาะสมสามารถส่งผลให้เกิดของเสียประเภท สีแตก สีไหล และความเงาไม่ได้ตามมาตรฐาน

ตารางที่ 5.6 เมทริกซ์สาเหตุและผล

คะแนนความสำคัญ		10	7	5	3	2	1	คะแนนรวม
ลำดับที่	ปัจจัย	สีแตก	สีบาง	สีไหล	สีไม่เต็ม	เม็ดฝุ่น	ความเงาไม่ได้ตามมาตรฐาน	
1	ความหนากรอบกระจกไม่ได้มาตรฐาน	9	9	0	0	0	0	153
2	ปริมาณการพ่นสีไม่เหมาะสม	9	3	3	3	0	0	135
3	ระยะห่างระหว่างปืนกับชิ้นงานไม่เหมาะสม	9	9	0	3	0	0	162

ตารางที่ 5.7 เมทริกซ์สาเหตุและผล (ต่อ)

คะแนนความสำคัญ		10	7	5	3	2	1	คะแนนรวม
ลำดับที่	ปัจจัย	สีแดง	สีบาง	สีเทา	สีไม่เต็ม	เม็ดฝุ่น	ความเงาไม่ได้มาตรฐาน	
4	อุณหภูมิในการอบชิ้นงานไม่เหมาะสม	9	0	0	0	3	9	105
5	ระยะเวลาในการอบชิ้นงานไม่เหมาะสม	9	0	3	0	0	9	114

### 5.3 สรุปกระบวนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในกระบวนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหานี้ ได้ทำการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่จะส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแดงและสีบาง โดยนำผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) มาใช้ในการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 15 ปัจจัย จากนั้นจึงนำปัจจัยนำเข้ามาเรียงลำดับความสำคัญ โดยใช้เมทริกซ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) พบว่ามีเพียง 5 ปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อ ได้แก่ ความหนากรอบกระจก ปริมาณการพ่นสี ระยะห่างระหว่างปืนกับชิ้นงาน อุณหภูมิในการอบชิ้นงาน และเวลาในการอบชิ้นงาน เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแดงและสีบางสูง ดังนั้นในการปรับปรุง เพื่อหาค่าปัจจัยในกระบวนการพ่นสีฝุ่นที่เหมาะสมที่ทำให้สัดส่วนของเสียลดลง จะใช้วิธีการออกแบบการทดลอง หรือ Design of Experiment (DOE) CHULALONGKORN UNIVERSITY

## บทที่ 6

### การปรับปรุงกระบวนการ

การปรับปรุงกระบวนการ จะทำการทดสอบความมีนัยสำคัญของ 5 ปัจจัยที่ได้เลือกมาศึกษา ต่อ ได้แก่ ความหนากรอบกระจก ปริมาณการพ่นสี ระยะห่างปืน อุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบ และกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยทำการออกแบบการทดลอง เพื่อทดสอบและ พิสูจน์ว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลจริงหรือไม่ และนำไปทดลองเพื่อวิเคราะห์ผล จากนั้นทำการออกแบบการ ทดลองแบบพื้นผิวตอบ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่จะทำให้การพ่นสีฝุ่นบนชิ้นงาน เกิดของเสียน้อยที่สุด

#### 6.1 ปัจจัยนำเข้านำมาทำการทดลอง

จากขั้นตอนวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา พบว่าปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อการศึกษา เกิด ข้อบกพร่องประเภทสีแตก และสีบาง มีทั้งหมด 5 ปัจจัย ดังนี้

1. ความหนากรอบกระจก
2. ปริมาณการพ่นสี
3. ระยะห่างปืน
4. อุณหภูมิในการอบ
5. เวลาในการอบ

#### 6.2 การเลือกแบบการทดลองที่ใช้ในงานวิจัย

ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อการศึกษา ข้อบกพร่องประเภทสีแตก และสีบาง มีทั้งหมด 5 ปัจจัย แต่สำหรับปัจจัยความหนาของกรอบกระจก นั้นไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากในแต่ละล็อต การผลิตของผู้รับเหมาจะมีความหนาของกรอบกระจกที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงได้เลือกแบบการทดลอง พื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางชนิด CCF (Face-Centered Central Composite Design: CCF) เนื่องจากการใช้จำนวนการทดลองที่น้อยกว่าแบบการทดลองพื้นผิวตอบชนิดอื่น โดยใช้ Central Composite Half ที่มีจำนวนการทดลองเพียง 32 การทดลอง ซึ่งน้อยกว่าการทดลองพื้นผิว

ตอบชนิดบ็อกซ์ – เบห์นเคน ที่มีจำนวนการทดลอง 46 การทดลอง เมื่อมีจำนวน 5 ปัจจัย และใช้ชนิด CCF เนื่องจากต้องการการทดลองปัจจัยใด ๆ เพียง 3 ระดับ ทำให้สามารถเป็นไปได้ในการจัดเตรียมกรอบกระจกที่ความหนา 3 ระดับให้มีขนาดตัวอย่างเพียงพอในแต่ละระดับความหนา ปัจจัยใด ๆ จะถูกทำการทดลองอยู่ที่ 3 ระดับในหน่วยแบบคาร์ทิส ได้แก่  $-\alpha$ ,  $0$ ,  $\alpha$ , โดย  $\alpha$  มีค่าเท่ากับ 1.000

### 6.3 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากปัจจัยนำเข้าจำนวน 5 ปัจจัย คือ ความหนากรอบกระจก ปริมาณการพ่นสี ระยะห่างปืน อุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบ ซึ่งเป็นปัจจัยแบบแปรผันจะถูกนำมาศึกษา เพื่อหาผลกระทบต่อ การเกิดสีแตกและสีบางของชิ้นงานในกระบวนการพ่นสีฝุ่น โดยทำการออกแบบการทดลองแบบส่วน ประสมกลาง โดยการกำหนดระดับการทดลองของปัจจัยนำเข้า จะกำหนดตามช่วงของการใช้งานที่ใช้ อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งแต่ละปัจจัยจะทำการทดลองอยู่ที่ 3 ระดับ ได้แก่  $-\alpha$ ,  $0$ ,  $\alpha$ , โดย  $\alpha$  มีค่าเท่ากับ 1.000 ดังตารางที่ 6.1 และในเลือกระดับในการทดลองของแต่ละปัจจัย มีรายละเอียดดังนี้

#### 1. ความหนากรอบกระจก

ความหนากรอบกระจกที่ได้รับมาจากผู้รับเหมา นั้นมีมาตรฐาน 24.9 – 25.9 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่ถูกกำหนดโดยลูกค้า หากความหนากรอบกระจกต่ำกว่า 24.9 มิลลิเมตร จะส่งผลให้ไม่สามารถประกอบชิ้นงานได้ เนื่องจากขนาดของความหนากรอบกระจกต่ำกว่าขนาดของ ช่องตัดกรอบกระจกในตัวหลังคารถกระบะเอนกประสงค์มาก และถ้าใช้ความหนากรอบกระจกสูงกว่า 25.9 มิลลิเมตร จะส่งผลให้ไม่สามารถประกอบชิ้นงานได้เช่นกัน เนื่องจากขนาดของความหนากรอบ กระจกสูงกว่าขนาดของช่องตัดกรอบกระจกในตัวหลังคารถกระบะเอนกประสงค์มาก

#### 2. ปริมาณการพ่นสี

ปริมาณการพ่นสีส่งผลกระทบบต่อความหนาของสี ซึ่งนำไปสู่การเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตก หรือสีบางได้หากปริมาณการพ่นสีไม่เหมาะสม โดยการตั้งค่าปัจจุบันคือ 0.5 – 0.8 กรัมต่อนาที โดย หากใช้ปริมาณการพ่นสีที่ต่ำกว่า 0.5 กรัมต่อนาที จะทำชิ้นงานมีความหนาสีต่ำกว่ามาตรฐานและทำ ให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีบาง และถ้าใช้ปริมาณการพ่นสีสูงกว่า 0.8 กรัมต่อนาที จะทำให้เกิด ชิ้นงานมีความหนาสีมากกว่ามาตรฐานและมีโอกาสทำเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกได้

### 3. ระยะห่างปืน

ระยะห่างปืนส่งผลกระทบต่อความหนาสี ซึ่งนำไปสู่การเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตก หรือสีบาง ได้หากกำหนดระยะห่างปืนที่ไม่เหมาะสม โดยการตั้งค่าในปัจจุบันคือ 24 – 25 เซนติเมตร โดยจุดปรับตั้งระยะห่างปืนจะมีล้อเลื่อนที่สามารถเลื่อนเข้าออกได้ ซึ่งการปรับตั้งค่าปัจจุบันนี้เป็นมาตรฐานที่ทางผู้รับเหมาแนะนำในการปรับตั้งค่าระยะห่างปืน ผู้วิจัยจึงเลือกช่วงระยะห่างปืนตามเดิมเพื่อทำการทดลองซึ่งได้แก่ 24 – 25 เซนติเมตร โดยหากใช้ระยะห่างปืนที่ต่ำกว่า 24 เซนติเมตร จะทำชิ้นงานมีความหนาสีสูงกว่ามาตรฐานและทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตก และถ้าใช้ระยะห่างปืนสูงกว่า 25 เซนติเมตร จะทำให้เกิดชิ้นงานมีความหนาสีต่ำกว่ามาตรฐานและมีโอกาสทำเกิดข้อบกพร่องประเภทสีบางได้

### 4. อุณหภูมิในการอบ

อุณหภูมิในการอบชิ้นงานส่งผลกระทบต่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกหากกำหนดอุณหภูมิในการอบชิ้นงานที่ไม่เหมาะสม โดยการตั้งค่าในปัจจุบันคือ 180 – 200 องศาเซลเซียส ซึ่งการปรับตั้งค่าปัจจุบันนี้เป็นมาตรฐานที่ทางผู้รับเหมาแนะนำในการปรับตั้งค่าระยะห่างปืน ผู้วิจัยจึงเลือกช่วงระยะห่างปืนตามเดิมเพื่อทำการทดลองซึ่งได้แก่ 180 – 200 องศาเซลเซียส โดยหากใช้อุณหภูมิในการอบชิ้นงานต่ำกว่า 180 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้สีฝุ่นไม่สุกและไม่สามารถยึดเกาะติดชิ้นงานได้ดี และถ้าใช้อุณหภูมิในการอบชิ้นงานสูงกว่า 200 องศาเซลเซียสจะส่งผลให้เกิดปัญหาสีกรอบจนทำให้สีที่ยึดเกาะผิวชิ้นงานแตกและหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้

### 5. เวลาในการอบ

เวลาในการอบชิ้นงานส่งผลกระทบต่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกหากกำหนดระยะเวลาในการอบชิ้นงานที่ไม่เหมาะสม โดยการตั้งค่าในปัจจุบันคือ 50 – 60 นาที โดยหากใช้ระยะเวลาในการอบชิ้นงานต่ำกว่า 50 นาที จะส่งผลให้สีฝุ่นไม่สุกและไม่สามารถยึดเกาะติดชิ้นงานได้ดี และถ้าใช้ระยะเวลาในการอบชิ้นงานสูงกว่า 60 นาทีจะส่งผลให้เกิดปัญหาสีกรอบจนทำให้สีที่ยึดเกาะผิวชิ้นงานแตกและหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้

ตารางที่ 6.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัย

สัญลักษณ์ ของปัจจัย	ปัจจัย	ระดับปัจจัย			หน่วย
		-1	0	+1	
Thickness	ความหนาของกรอบกระจก	25	25.3	25.7	มิลลิเมตร
Feed	ปริมาณการพ่นสี	0.5	0.65	0.8	กรัมต่อนาที
Distance	ระยะห่างปืน	24	24.5	25	เซนติเมตร
Temp	อุณหภูมิในการอบ	180	190	200	องศาเซลเซียส
Time	เวลาในการอบ	50	55	60	นาที

#### 6.4 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลอง

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ตัวแปรตอบสนองคือ สัดส่วนของเสียประเภทสีแตก และสีบาง ดังนั้นในการเก็บข้อมูลจึงต้องคำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม โดยงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างแบบค่าสัดส่วน 2 กลุ่ม ซึ่งในการคำนวณขนาดตัวอย่างจะคำนวณจากค่าสัดส่วนโดยประมาณของเสียที่ระดับต่ำและระดับสูงของแต่ละปัจจัย ในการประมาณค่าสัดส่วนของที่ระดับต่ำและระดับสูงนั้นจะใช้จากข้อมูลเดิมที่มี และกำหนดกำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.9 และระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการเก็บข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าที่ปริมาณการพ่นสี 0.5 กรัมต่อนาที เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก 2.45% และที่ปริมาณการพ่นสี 0.8 กรัมต่อนาที เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก 0.47% โดยจะเห็นว่าสัดส่วนของเสียแตกต่างกัน 1.98% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้ 226 ชิ้นงาน และที่ปริมาณการพ่นสี 0.5 กรัมต่อนาที เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีบาง 1.66% และที่ปริมาณการพ่นสี 0.8 กรัมต่อนาที เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีบาง 1.00% โดยจะเห็นว่าสัดส่วนของเสียแตกต่างกัน 0.66% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้ 1,250 ชิ้นงาน แสดงตารางที่ 6.2 และ 6.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.2 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองปริมาณการพ่นสี ที่เกิดของเสียประเภทสีแตก

Power and Sample Size				
Test for Two Proportions				
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)				
Calculating power for baseline p = 0.0047				
$\alpha = 0.05$				
<b>Results</b>				
Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power	
0.0575	226	0.9	0.901193	

ตารางที่ 6.3 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองปริมาณการพ่นสี ที่เกิดของเสียประเภทสีบาง

Power and Sample Size				
Test for Two Proportions				
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)				
Calculating power for baseline p = 0.01				
$\alpha = 0.05$				
<b>Results</b>				
Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power	
0.0276	1250	0.9	0.900141	

จากการเก็บข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าที่ระยะห่างปืน 24 เซนติเมตร เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก 0.35% และที่ระยะห่างปืน 25 เซนติเมตร เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก 1.24% โดยจะเห็นว่าสัดส่วนของเสียแตกต่างกัน 0.89% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้ 2,281 ชิ้นงาน และที่ระยะห่างปืน 24 เซนติเมตร เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีบาง 1.66% และที่ระยะห่างปืน 25 เซนติเมตร เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีบาง 1.75% โดยจะเห็นว่าสัดส่วนของเสียแตกต่างกัน 0.84% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้ 3,878 ชิ้นงาน แสดงตารางที่ 6.4 และ 6.5 ตามลำดับ



ตารางที่ 6.4 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองระยะห่างปืน ที่เกิดของเสียประเภทสีแตก

Power and Sample Size				
Test for Two Proportions				
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)				
Calculating power for baseline p = 0.0038				
$\alpha = 0.05$				
<b>Results</b>				
Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power	
0.0124	2281	0.9	0.900025	

ตารางที่ 6.5 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองระยะห่างปืน ที่เกิดของเสียประเภทสีบาง

Power and Sample Size				
Test for Two Proportions				
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)				
Calculating power for baseline p = 0.009				
$\alpha = 0.05$				
<b>Results</b>				
Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power	
0.0174	3878	0.9	0.900046	

จากการเก็บข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าที่อุณหภูมิในการอบ 180 องศาเซลเซียส เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก 1.38% และที่อุณหภูมิในการอบ 200 องศาเซลเซียส เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก 2.14% โดยจะเห็นได้ว่าสัดส่วนของเสียแตกต่างกัน 0.76% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้ 6,289 ชิ้นงาน และที่อุณหภูมิในการอบ 180 องศาเซลเซียส เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีบาง 0.81% และที่อุณหภูมิในการอบ 200 องศาเซลเซียส เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีบาง 2.43% โดยจะเห็นได้ว่าสัดส่วนของเสียแตกต่างกัน 1.62% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้ 1,275 ชิ้นงาน แสดงตารางที่ 6.6 และ 6.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.6 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองอุณหภูมิในการอบ ที่เกิดของเสียประเภทสีแตก

Power and Sample Size				
Test for Two Proportions				
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)				
Calculating power for baseline p = 0.0138				
$\alpha = 0.05$				
<b>Results</b>				
Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power	
0.0214	6289	0.9	0.900016	

ตารางที่ 6.7 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองอุณหภูมิในการอบ ที่เกิดของเสียประเภทสีบาง

Power and Sample Size				
Test for Two Proportions				
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)				
Calculating power for baseline p = 0.0081				
$\alpha = 0.05$				
<b>Results</b>				
Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power	
0.0243	1275	0.9	0.900197	

จากการเก็บข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าที่เวลาในการอบ 50 นาที เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก 0.74% และที่ระยะในการอบ 60 นาที เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก 1.26% โดยจะเห็นว่าสัดส่วนของเสียแตกต่างกัน 0.52% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้ 3,857 ชิ้นงาน และที่ระยะในการอบ 50 นาที เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีบาง 0.47% และที่อุณหภูมิในการอบ 200 องศาเซลเซียส เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีบาง 0.88% โดยจะเห็นว่าสัดส่วนของเสียแตกต่างกัน 0.41% ซึ่งสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้ 4,229 ชิ้นงาน แสดงตารางที่ 6.8 และ 6.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.8 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเวลาในการอบ ที่เกิดของเสียประเภทสีแตก

Power and Sample Size				
Test for Two Proportions				
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)				
Calculating power for baseline p = 0.0074				
$\alpha = 0.05$				
<b>Results</b>				
Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power	
0.0152	3857	0.9	0.900002	

5

ตารางที่ 6.9 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเวลาในการอบ ที่เกิดของเสียประเภทสีบาง

Power and Sample Size				
Test for Two Proportions				
Testing comparison p = baseline p (versus ≠)				
Calculating power for baseline p = 0.0047				
$\alpha = 0.05$				
<b>Results</b>				
Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power	
0.0109	4229	0.9	0.900009	

จากการคำนวณขนาดตัวอย่างของแต่ละปัจจัย ที่กำลังของการทดสอบเท่ากับ 0.9 และระดับความเชื่อมั่น 95% ได้เลือกใช้ขนาดตัวอย่างที่มากที่สุดในการทำการทดลอง ดังนั้นในแต่ละการทดลองต้องใช้ชิ้นงานอย่างน้อย 6,289 ชิ้นงาน ซึ่งขนาดของแต่ละปัจจัย แสดงดังตารางที่ 6.10 และในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ชิ้นงานในการทดลอง 8,000 ชิ้นงาน โดยในการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง จะมีการทดลองที่ปัจจัยระดับต่ำ 8 การทดลอง และที่ปัจจัยระดับสูง 8 การทดลอง เพราะฉะนั้นในแต่ละการทดลองจะใช้ชิ้นงานในการทดลอง 1,000 ชิ้นงาน

ตารางที่ 6.10 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ขนาดตัวอย่าง ประเภทสี่แตก	ขนาดตัวอย่าง ประเภทสี่บาง
ปริมาณการพ่นสี	226	1250
ระยะห่างปืน	2281	3878
อุณหภูมิในการอบ	6289	1275
เวลาในการอบ	3857	4229

### 6.5 การสร้างตารางการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบประสมกลางแบบ CCF ซึ่งประกอบด้วยส่วนการทดลอง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแฟคทอเรียล (Factorial) ส่วนจุดแกน (Axial Runs) และส่วนจุดศูนย์กลาง (Center Runs) โดยมีปัจจัยนำเข้าที่ทำการศึกษา 5 ปัจจัย ได้แก่ ความหนาของกรอบกระจก ปริมาณการพ่นสี ระยะห่างปืน อุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบ ซึ่งจะมีจำนวนการทดลองทั้ง 32 การทดลอง แสดงดังตารางที่ 6.11 และ ตารางที่ 6.12 ตามลำดับ หลังจากกำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแล้วจึงเริ่มทำการสร้างตารางออกแบบการทดลอง (Design Matrix) โดยกำหนดให้มีลำดับการทดลองอย่างสุ่ม เพื่อให้ผลการทดลองเป็นอิสระต่อกันและลดผลกระทบของปัจจัยรบกวนที่อาจเกิดขึ้นในการทดลอง

ตารางที่ 6.11 ตารางการออกแบบการทดลองหน่วยที่เป็นค่ารหัส (Design matrix Coded unit)

#### Central Composite Design

##### Design Summary

Factors:	5	Replicates:	1
Base runs:	32	Total runs:	32
Base blocks:	1	Total blocks:	1

$\alpha = 1$

Two-level factorial: Half fraction

##### Point Types

Cube points:	16
Center points in cube:	6
Axial points:	10
Center points in axial:	0

ตารางที่ 6.11 ตารางการออกแบบการทดลองหน่วยที่เป็นคาร์ทิส (Design matrix Coded unit)  
(ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E
1	19	1	1	-1	-1	-1	-1	1
2	9	1	1	1	-1	-1	-1	-1
3	24	1	1	-1	1	-1	-1	-1
4	21	1	1	1	1	-1	-1	1
5	31	1	1	-1	-1	1	-1	-1
6	12	1	1	1	-1	1	-1	1
7	20	1	1	-1	1	1	-1	1
8	8	1	1	1	1	1	-1	-1
9	29	1	1	-1	-1	-1	1	1
10	22	1	1	1	-1	-1	1	1
11	14	1	1	-1	1	-1	1	1
12	17	1	1	1	1	-1	1	-1
13	7	1	1	-1	-1	1	1	1
14	25	1	1	1	-1	1	1	-1
15	3	1	1	-1	1	1	1	-1
16	30	1	1	1	1	1	1	1
17	4	-1	1	-1	0	0	0	0
18	32	-1	1	1	0	0	0	0
19	10	-1	1	0	-1	0	0	0
20	16	-1	1	0	1	0	0	0
21	23	-1	1	0	0	-1	0	0
22	6	-1	1	0	0	1	0	0
23	28	-1	1	0	0	0	-1	0
24	13	-1	1	0	0	0	1	0
25	5	-1	1	0	0	0	0	-1
26	15	-1	1	0	0	0	0	1
27	26	0	1	0	0	0	0	0
28	18	0	1	0	0	0	0	0
29	2	0	1	0	0	0	0	0
30	27	0	1	0	0	0	0	0

ตารางที่ 6.11 ตารางการออกแบบการทดลองหน่วยที่เป็นค่ารหัส (Design matrix Coded unit)  
(ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E
31	1	0	1	0	0	0	0	0
32	11	0	1	0	0	0	0	0

ตารางที่ 6.12 ตารางการออกแบบการทดลองหน่วยที่เป็นค่าจริง (Design matrix Uncoded unit)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Thickness	Feed	Distance	Temp	Time
31	1	0	1	25.35	0.65	24.5	190	55
29	2	0	1	25.35	0.65	24.5	190	55
15	3	1	1	25	0.8	25	200	50
17	4	-1	1	25	0.65	24.5	190	55
25	5	-1	1	25.35	0.65	24.5	190	50
22	6	-1	1	25.35	0.65	25	190	55
13	7	1	1	25	0.5	25	200	60
8	8	1	1	25.7	0.8	25	180	50
2	9	1	1	25.7	0.5	24	180	50
19	10	-1	1	25.35	0.65	24.5	190	55
32	11	0	1	25.35	0.65	24.5	190	55
6	12	-1	1	25.7	0.8	24	180	60
24	13	-1	1	25.35	0.65	25	190	55
11	14	1	1	25	0.5	25	180	60
26	15	-1	1	25.35	0.65	24.5	180	60
20	16	-1	1	25.35	0.65	24.5	190	55
12	17	1	1	25.7	0.5	25	180	50
28	18	0	1	25.35	0.65	24.5	190	55
1	19	1	1	25	0.5	24	180	60
7	20	1	1	25	0.8	24	180	60
4	21	1	1	25.7	0.5	24	180	60
10	22	1	1	25.7	0.5	25	180	60
21	23	-1	1	25.35	0.65	24	190	55
3	24	1	1	25	0.8	24	180	50

ตารางที่ 6.12 ตารางการออกแบบการทดลองหน่วยที่เป็นค่าจริง (Design matrix Uncoded unit)  
(ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Thickness	Feed	Distance	Temp	Time
14	25	1	1	25.7	0.5	25	180	50
27	26	0	1	25.35	0.65	24.5	190	55
30	27	0	1	25.35	0.65	24.5	190	55
23	28	-1	1	25.35	0.65	24.5	180	55
9	29	1	1	25	0.5	24	180	50
16	30	1	1	25.7	0.8	25	180	60
5	31	1	1	25	0.5	25	180	50
18	32	-1	1	25.7	0.65	24.5	190	55

#### 6.6 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

ก่อนเริ่มการทดลองได้ทำการประชุมและอธิบายแผนการทดลองที่ได้ออกแบบกับคณะทำงาน เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานได้จัดเตรียมวัสดุดิบ อุปกรณ์และการปรับตั้งค่าเครื่องจักรได้อย่างถูกต้อง ภายใต้รูปแบบการทดลองที่กำหนดไว้ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. จัดเตรียมชิ้นงานที่ต้องใช้ในการทดลอง โดยได้แบบกลุ่มความหนาของกรอบกระจก ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ช่วงความหนา 24.90 – 25.15 มิลลิเมตร กลุ่มที่ 2 ช่วงความหนา 25.16 – 25.45 มิลลิเมตร และกลุ่มที่ 3 ช่วงความหนา 25.46 – 25.90 มิลลิเมตร
2. ทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักร ตามตารางการออกแบบการทดลองที่กำหนดไว้ในตารางที่ 6.12 และนำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการพ่นสี
3. ทำการตรวจสอบปัญหาสีแตก สีบาง และปัญหาอื่นๆ ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานและบันทึกผล

## 6.7 ผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง ซึ่งมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตก และสีบาง ในแต่ละกลุ่มของช่วงความหนาที่แตกต่างกัน ได้แก่ ปริมาณการพ่น ระยะห่างปืน อุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบ ได้ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 6.13

ตารางที่ 6.13 การเกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก และสีบาง

StdOrder	RunOrder	Thickness	Feed	Distance	Temp	Time	%Defective Cracking	%Defective Thin paint
1	19	25.00	0.5	24	180	60	0	4.1
2	9	25.70	0.5	24	180	50	3.1	0
3	24	25.00	0.8	24	180	50	5.6	0
4	21	25.70	0.5	24	180	60	4	0
5	31	25.00	0.5	25	180	50	0	2.9
6	12	25.70	0.8	24	180	60	5.8	0
7	20	25.00	0.8	24	180	60	5	0
8	8	25.70	0.8	25	180	50	4.5	0
9	29	25.00	0.5	24	180	50	0	2.6
10	22	25.70	0.5	25	180	60	0	4.2
11	14	25.00	0.5	25	180	60	3	0
12	17	25.70	0.5	25	180	50	3	0
13	7	25.00	0.5	25	200	60	0	4.2
14	25	25.70	0.5	25	180	50	3	0
15	3	25.00	0.8	25	200	50	5.4	0
16	30	25.70	0.8	25	180	60	5	0
17	4	25.00	0.65	24.5	190	55	0	3.2
18	32	25.70	0.65	24.5	190	55	4.1	0
19	10	25.35	0.65	24.5	190	55	0	3.9
20	16	25.35	0.65	24.5	190	55	4.1	0
21	23	25.35	0.65	24	190	55	4.9	0
22	6	25.35	0.65	25	190	55	2	0
23	28	25.35	0.65	24.5	180	55	3.9	0
24	13	25.35	0.65	25	190	55	2.3	0



ตารางที่ 6.13 การเกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก และสีบาง (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Thickness	Feed	Distance	Temp	Time	%Defective Cracking	%Defective Thin paint
25	5	25.35	0.65	24.5	190	50	3.5	0
26	15	25.35	0.65	24.5	180	60	3.8	0
27	26	25.35	0.65	24.5	190	55	3.9	0
28	18	25.35	0.65	24.5	190	55	4.5	0
29	2	25.35	0.65	24.5	190	55	4	0
30	27	25.35	0.65	24.5	190	55	4.2	0
31	1	25.35	0.65	24.5	190	55	4.2	0
32	11	25.35	0.65	24.5	190	55	4.3	0

### 6.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ผลได้ 4 ขั้นตอน ได้แก่

- สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง
- ปรับปรุงแบบจำลองโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบลดตัวแปร (Backward Elimination)
- ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
- การอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ

โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

#### 1. สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

จากการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและสัดส่วนของเสียรวมโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยแบบเต็มรูปแบบ (Full Model) แสดงดังตารางที่ 6.16 พบว่าจำนวนเทอมที่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มี 6 เทอม ได้แก่ 1) ผลกระทบหลักของระยะห่างปืน 2) ผลกระทบกำลังสองของปริมาณการพ่น 3) ผลกระทบกำลังสองของระยะห่างปืน 4) ผลกระทบกำลังสองของอุณหภูมิในอบ 5) ผลกระทบร่วมระหว่างปริมาณการพ่นสี่กับเวลาในการอบ 6) ผลกระทบร่วมระหว่างระยะห่างปืนกับอุณหภูมิในการอบ ซึ่งเห็นได้ว่าเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยแบบเต็มรูปแบบจะให้สมการความสัมพันธ์ที่มีเทอมที่ไม่มีนัยสำคัญรวมอยู่ด้วย ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงแบบจำลอง

โดยการลดรูปแบบจำลองให้มีเฉพาะเทอมที่มีนัยสำคัญ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบลดตัวแปร (Backward Elimination) แสดงดังตารางที่ 6.17

ตารางที่ 6.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและผลการวิเคราะห์การถดถอยของสัดส่วนของเสียรวมแบบเต็มรูปแบบ

<b>Response Surface Regression:%Defective versus Thickness, Feed, Distance, Temp, Time</b>						
<b>Coded Coefficients</b>						
<b>Term</b>	<b>Coef</b>	<b>SE Coef</b>	<b>T-Value</b>	<b>P-Value</b>	<b>VIF</b>	
Constant	-3701	1510	-2.45	0.032		
Thickness	171.2	97.8	1.75	0.108	243967.13	
Feed	-30.8	84.5	-0.37	0.722	28803.64	
Distance	144.6	42.8	3.37	0.006	99360.84	
Temp	-2.30	2.65	-0.87	0.404	96241.86	
Time	-0.40	3.88	-0.10	0.920	78555.16	
Thickness*Thickness	-3.98	1.90	-2.10	0.060	236070.33	
Feed*Feed	73.7	21.0	3.50	0.005	2948.00	
Distance*Distance	-2.450	0.832	-2.95	0.013	90010.73	
Temp*Temp	0.01571	0.00446	3.52	0.005	38455.63	
Time*Time	-0.0128	0.0170	-0.75	0.467	18237.77	
Thickness*Feed	0.60	2.42	0.25	0.811	15305.77	
Thickness*Distance	0.628	0.572	1.10	0.296	18083.39	
Thickness*Temp	0.0597	0.0692	0.86	0.407	38739.57	
Thickness*Time	0.0865	0.0508	1.70	0.117	8842.47	
Feed*Distance	-3.05	1.66	-1.84	0.093	6612.72	
Feed*Temp	0.099	0.387	0.26	0.803	22430.62	
Feed*Time	-0.327	0.119	-2.76	0.019	200.87	
Distance*Temp	-0.2112	0.0441	-4.79	0.001	23215.34	
Distance*Time	-0.0195	0.0356	-0.55	0.595	3984.96	
Temp*Time	0.0019	0.0110	0.18	0.863	24619.80	
<b>Model Summary</b>						
	<b>S</b>	<b>R-sq</b>	<b>R-sq(adj)</b>	<b>R-sq(pred)</b>		
	0.294001	96.35%	89.73%	*		
	0.213478	98.00%	94.37%	*		
<b>Regression Equation in Uncoded Units</b>						
%Defective = -3701 + 171.2 Thickness - 30.8 Feed + 144.6 Distance - 2.30 Temp - 0.40 Time - 3.98 Thickness*Thickness + 73.7 Feed*Feed - 2.450 Distance*Distance + 0.01571 Temp*Temp - 0.0128 Time*Time + 0.60 Thickness*Feed + 0.628 Thickness*Distance + 0.0597 Thickness*Temp + 0.0865 Thickness*Time - 3.05 Feed*Distance + 0.099 Feed*Temp - 0.327 Feed*Time - 0.2112 Distance*Temp - 0.0195 Distance*Time + 0.0019 Temp*Time						

## 2. ปรับปรุงแบบจำลองโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบลดตัวแปร

ตารางที่ 6.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบลดตัวแปรของ สัดส่วนของเสียรวม

<b>Response Surface Regression:%Defective versus Thickness, Feed, Distance, Temp, Time</b>					
$\alpha$ to remove = 0.05					
<b>Coded Coefficients</b>					
<b>Term</b>	<b>Coef</b>	<b>SE Coef</b>	<b>T-Value</b>	<b>P-Value</b>	<b>VIF</b>
Constant	-1.727	520	-3.32	0.003	
Thickness	0.710	0.247	2.87	0.009	1.37
Feed	32.4	37.2	0.87	0.395	4912.87
Distance	134.8	40.6	3.32	0.003	78518.53
Temp	0.63	1.14	0.55	0.586	15773.19
Time	0.2557	0.0753	3.39	0.003	25.94
Feed*Feed	42.0	14.4	2.91	0.009	1218.89
Distance*Distance	-1.940	0.857	-2.26	0.035	83972.53
Temp*Temp	0.01258	0.00339	3.71	0.001	19519.38
Feed*Distance	-2.58	1.17	-2.19	0.040	2915.23
Feed*Time	-0.329	0.121	-2.72	0.013	183.54
Distance*Temp	-0.2147	0.0429	-5.00	0.000	19291.84
<b>Model Summary</b>					
	<b>S</b>	<b>R-sq</b>	<b>R-sq(adj)</b>	<b>R-sq(pred)</b>	
	0.313773	92.45%	88.30%	75.35%	
<b>Regression Equation in Uncoded Units</b>					
%Defective =	-1.727 + 0.710 Thickness + 32.4 Feed + 134.8 Distance + 0.63 Temp + 0.2557 Time + 42.0 Feed*Feed - 1.940 Distance*Distance + 0.01258 Temp*Temp - 2.58 Feed*Distance - 0.329 Feed*Time - 0.2147 Distance*Temp				

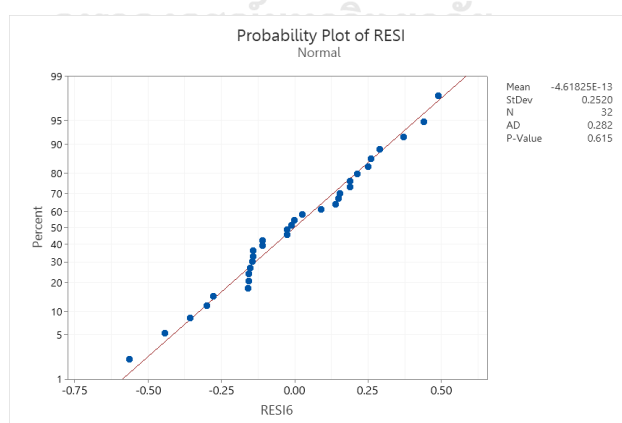
ได้แก่ ผลกระทบหลักของความหนากรอบกระจก ปริมาณการพ่นสี ระยะห่างปืน อุณหภูมิในการรอบ เวลาในการรอบ และ เทอมกำลังสองของปริมาณการพ่นสี ระยะห่างปืน และอุณหภูมิในการรอบ และ ผลกระทบร่วมระหว่างปริมาณในการพ่นสีและระยะห่างปืน ผลกระทบร่วมระหว่างปริมาณการพ่นสีกับเวลาในรอบ ผลกระทบร่วมระหว่างระยะห่างปืนกับอุณหภูมิในการรอบ และพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ R-Sqr(adj) มีค่า 88.30 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซนต์ ดังนั้น สมการถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ ซึ่งพยากรณ์ค่าส่วนของเสียรวมได้ดังสมการที่ 6.1

$$\begin{aligned} \% \text{ Defective} = & -1727 + 0.710 \text{ Thickness} + 32.4 \text{ Feed} + 134.8 \text{ Distance} + 0.63 \text{ Temp} \\ & + 0.2557 \text{ Time} + 42.0 \text{ Feed*Feed} - 1.940 \text{ Distance*Distance} + 0.01258 \text{ Temp*Temp} - \\ & 2.58 \text{ Feed*Distance} - 0.329 \text{ Feed*Time} - 0.2147 \text{ Distance*Temp} \end{aligned} \quad (6.1)$$

### 3. ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

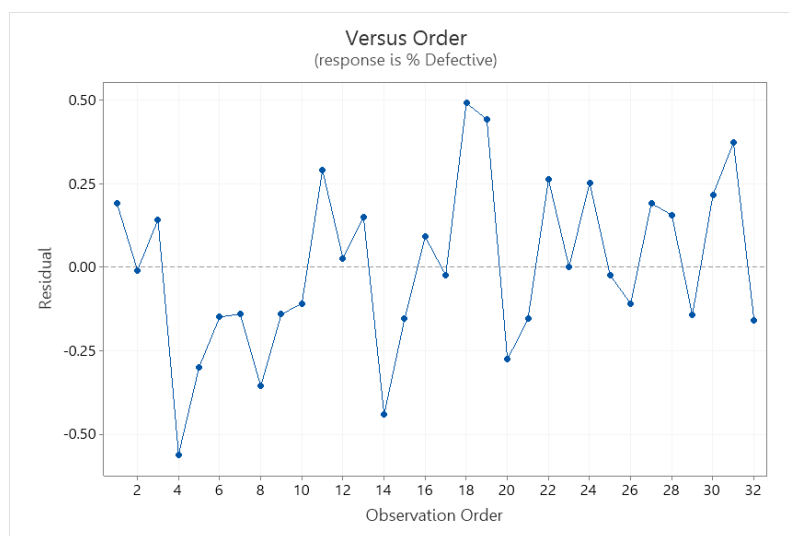
#### สมมติฐานที่ 1 ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

การทดสอบสมมติฐานส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ สามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากกราฟความน่าจะเป็นแบบการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าส่วนตกค้าง และพิจารณาจากค่า P-value แสดงดังรูปที่ 6.1 โดยพบว่าค่าส่วนตกค้างมีการจัดเรียงในลักษณะเป็นเส้นตรง และมีค่า P-value เท่ากับ 0.615 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 6.1 กราฟความน่าจะเป็นแบบการแจกแจงปกติของค่าส่วนตกค้าง (Probability Plot)  
สมมติฐานที่ 2 ส่วนตกค้างที่มีความเป็นอิสระต่อกัน

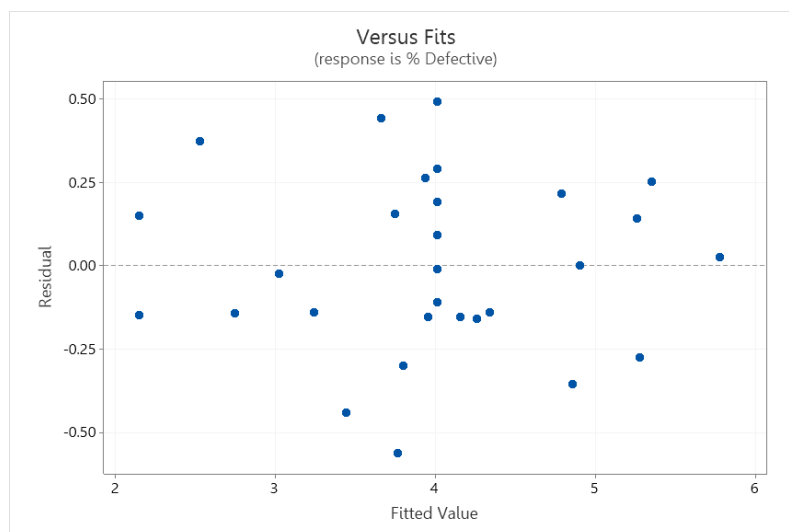
การทดสอบสมมติฐานส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน สามารถตรวจต่อได้โดยพิจารณา กราฟส่วนตกค้างและลำดับการทดลอง (Versus Order) โดยกราฟส่วนตกค้างและลำดับการทดลอง นั้นจะต้องมีการกระจายตัวของส่วนตกค้างของการทดลองใด ๆ จะมีการกระจายตัวแบบสุ่มและไม่มี ลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.2 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าข้อมูลชุดมีความ เป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 6.2 กราฟของส่วนตกค้างและลำดับของการทดลอง (Versus Order)

### สมมติฐานที่ 3 ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่

การทดสอบสมมติฐานส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ ตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากกราฟ ของส่วนตกค้างและค่าฟิต (Versus Fits) โดยสมการที่เหมาะสมจะส่งผลให้ส่วนตกค้างกระจายตัวทั้ง เป็นบวกและเป็นลบรอบแนวแกนศูนย์ และไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม จากผลการ ทดสอบสมมติฐาน แสดงดังรูปที่ 6.3 พบว่าส่วนตกค้างกระจายตัวเป็นทั้งบวกและลบรอบแนวแกน ศูนย์ และไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความ แปรปรวนคงที่

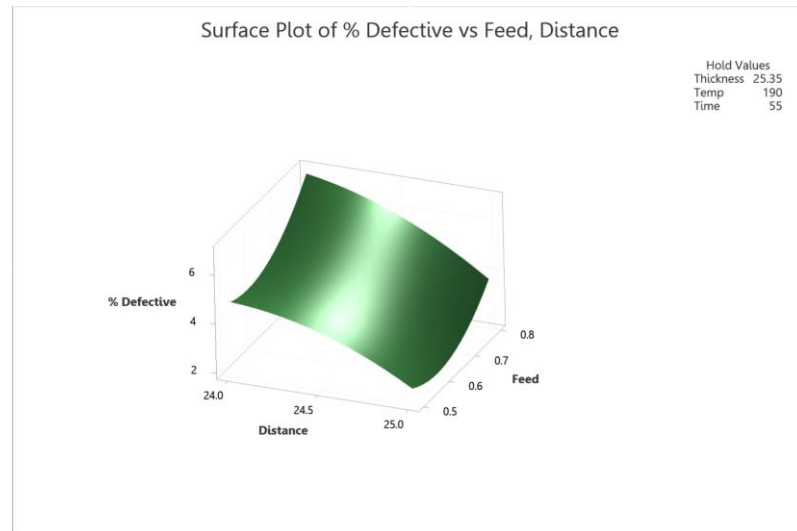


รูปที่ 6.3 กราฟของส่วนตกค้างและค่าฟิต (Versus Fits)

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้สมมติฐานทั้ง 3 ข้อข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน และส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ ดังนั้นจึงสามารถนำแบบจำลองนี้ไปใช้สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าในลำดับต่อไป

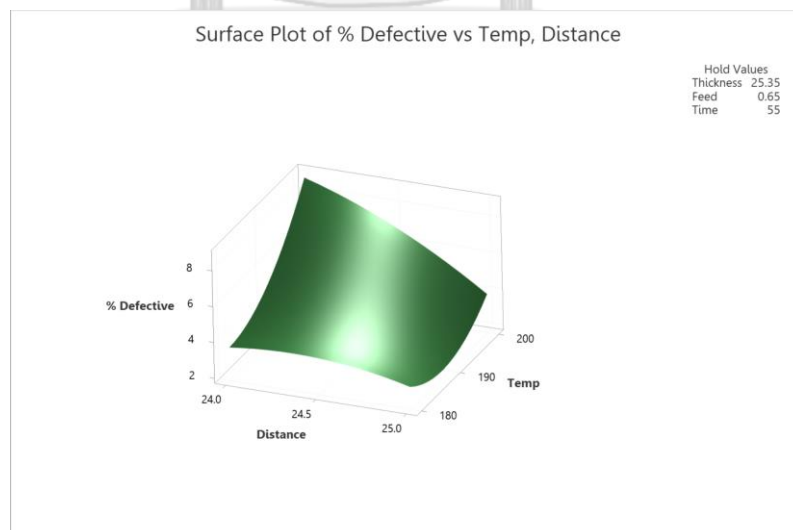
#### 4. การอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ

จากการพิจารณารูปพื้นผิวตอบ (Surface plot) ซึ่งแสดงผลกระทบร่วมระหว่างปริมาณการพ่นสีและระยะห่างปืนแสดงดังรูปที่ 6.4 จากกราฟจะพบว่า เมื่อระยะห่างปืนมาก ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 25 เซนติเมตร เมื่อปริมาณการพ่นสีเพิ่มขึ้นจาก 0.5 กรัมต่อนาที ไปยัง 0.8 กรัมต่อนาที เปอร์เซ็นต์ของเสียไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และสัดส่วนของเสียอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่เมื่อระยะห่างปืนอยู่ตำแหน่ง 24 เซนติเมตร เมื่อปริมาณการพ่นสีเพิ่มขึ้นจาก 0.5 กรัมต่อนาที ไปยัง 0.8 กรัมต่อนาที เปอร์เซ็นต์ของเสียเพิ่มขึ้นมากและอยู่ในระดับสูง จึงสามารถอธิบายเหตุผลของผลการทดลองนี้ได้ว่า เมื่อระยะห่างปืนใกล้กับชิ้นงานมากส่งผลให้ปริมาณสีฝุ่นที่ระดับการพ่นใด ๆ ไปเกาะชิ้นงานมาก ส่งผลให้ความหนาสีของชิ้นงานมากกว่ามาตรฐานและเกิดของเสียประเภทสีแตกมากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณการพ่นสีก็จะเกิดจำนวนเปอร์เซ็นต์ของเสียประเภทสีแตกมากขึ้น ในขณะที่เมื่อระยะห่างปืนห่างกับชิ้นงานจะส่งผลให้เกิดของเสียประเภทสีบางแต่จะมีจำนวนไม่มาก



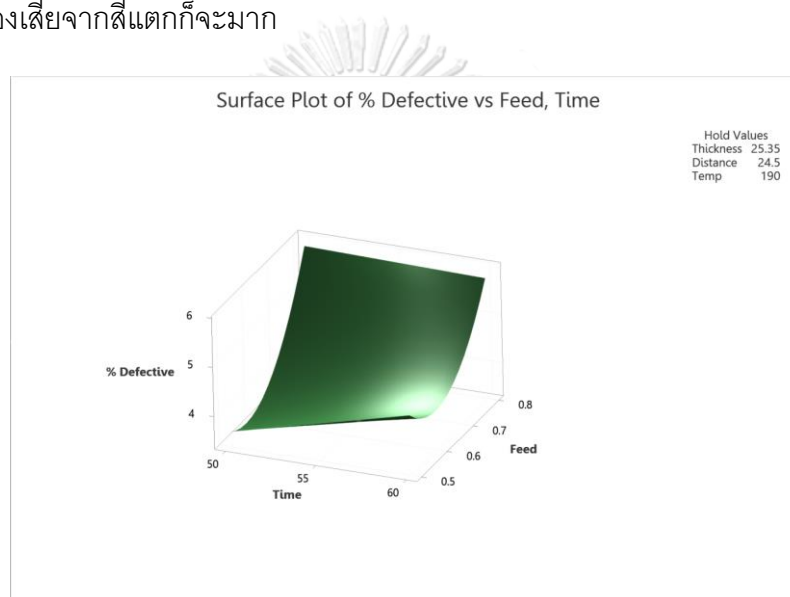
รูปที่ 6.4 ผลกระทบร่วมระหว่างปริมาณการพ่นสีและระยะห่างปืน

ผลกระทบร่วมระหว่างระยะห่างปืนและอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 6.5 จากกราฟจะพบว่า ที่อุณหภูมิในการอบต่ำไม่ว่าจะใช้ระยะห่างปืนเท่าใด ในช่วง 24 – 25 เซนติเมตร เปอร์เซ็นต์ของเสียจะต่ำและไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อที่อุณหภูมิในการอบสูงเมื่อระยะห่างปืนใกล้ขึ้น เปอร์เซ็นต์ของเสียซึ่งเกิดจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อปรับระยะห่างปืนใกล้กับชิ้นงานส่งผลให้ความหนาสีมาก และเมื่อทำการอบที่อุณหภูมิสูง ยิ่งจะส่งผลร่วมให้เกิดของเสียประเภทสีแตกมากขึ้น



รูปที่ 6.5 ผลกระทบร่วมระหว่างระยะห่างปืนและอุณหภูมิ

ผลกระทบร่วมระหว่างเวลาในการอบและปริมาณการพ่นสีแสดงดังรูปที่ 6.6 จากกราฟพบว่า ปริมาณการพ่นสีสูงไม่ว่าจะใช้เวลาในการอบเท่าใด เปอร์เซ็นต์ของเสียจะสูงแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก ในขณะที่ปริมาณการพ่นสีต่ำ เมื่อใช้เวลาในการอบน้อย จะเกิดเปอร์เซ็นต์ของเสียน้อย แต่เมื่อใช้เวลาในการอบเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ของเสียจะเพิ่มขึ้นมาก เนื่องจากที่ปริมาณการพ่นสีต่ำและเวลาที่ต่ำจะมีเกิดของเสียประเภทสีบางเล็กน้อย แต่เมื่อใช้เวลามากในการอบจะส่งผลให้สีฝุ่นที่ยึดเกาะชิ้นงานแตกหลุดร่อนออกมาได้ดังนั้นเมื่อที่เวลาในการอบสูงจะมีของเสียประเภทสีแตกเพิ่มขึ้นมาก ส่วนที่ปริมาณการพ่นสีสูง ทำให้ความหนาสีมาก ดังนั้นไม่ว่าใช้เวลาในการอบเท่าใด เปอร์เซ็นต์ของเสียจากสีแตกก็จะมาก



รูปที่ 6.6 ผลกระทบร่วมระหว่างเวลาในการอบและปริมาณการพ่นสี

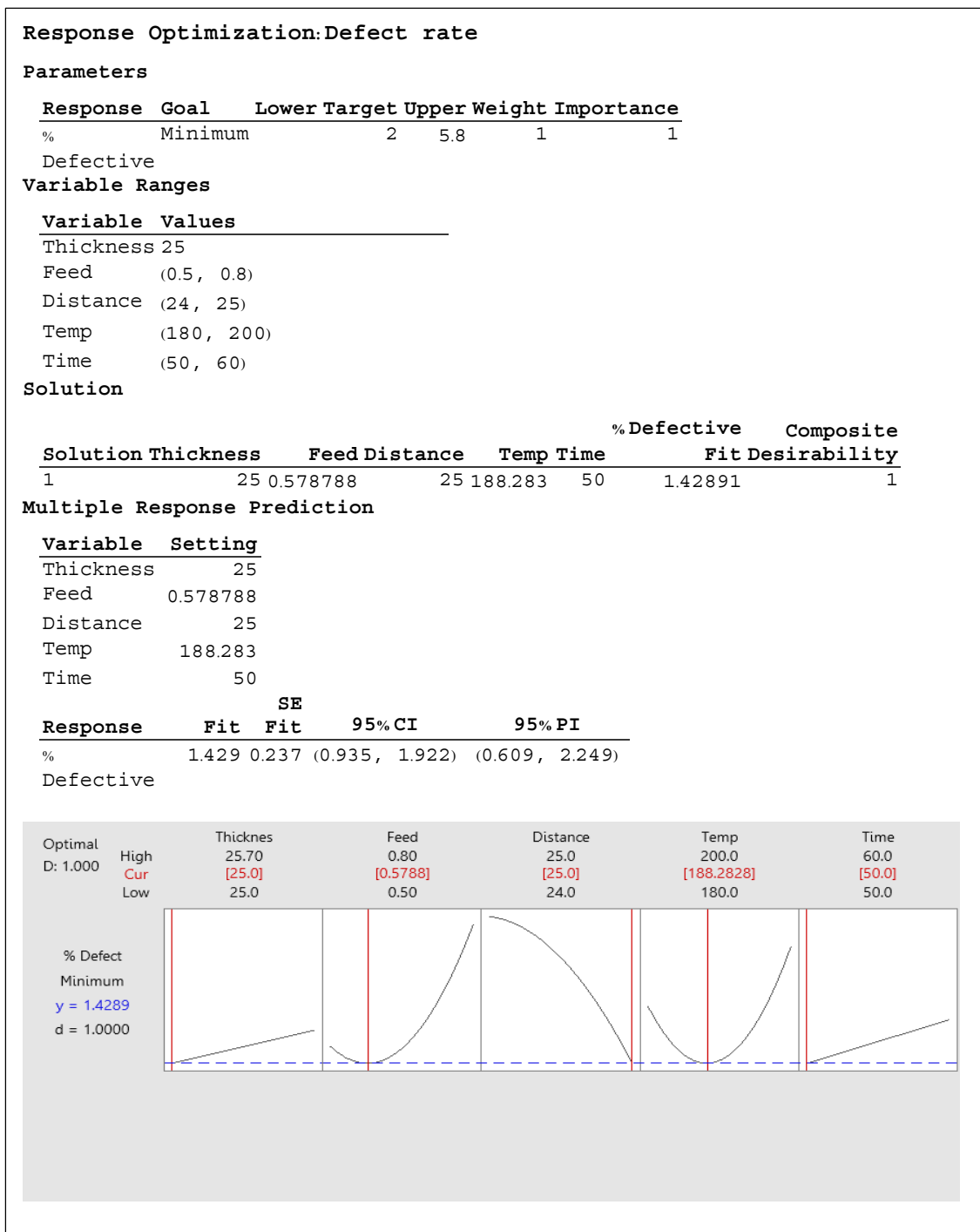
## 6.9 การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า

จากการวิเคราะห์การถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับสัดส่วนของเสีย จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Technique) โดยผู้วิจัยได้ทดลองยืนยันผลโดยใช้กรอบกระจก 5 ลอด ที่ความหนาที่แตกต่างกันดังนี้ 25, 25.2, 25.3, 25.5 และ 25.7 มิลลิเมตร เพื่อให้ครอบคลุมช่วงความหนาของกระจกที่ได้รับมาจากผู้ส่งมอบ ในแต่ละลวด ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Response Optimization ในการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยทั้งสี่ที่รองรับกับความหนากรอบกระจกที่ค่าต่างๆ โดยจะกำหนดตัวแปรตอบสนอง วัตถุประสงค์ ค่าเป้าหมายของตัวแปร การให้น้ำหนักกับค่าเป้าหมาย



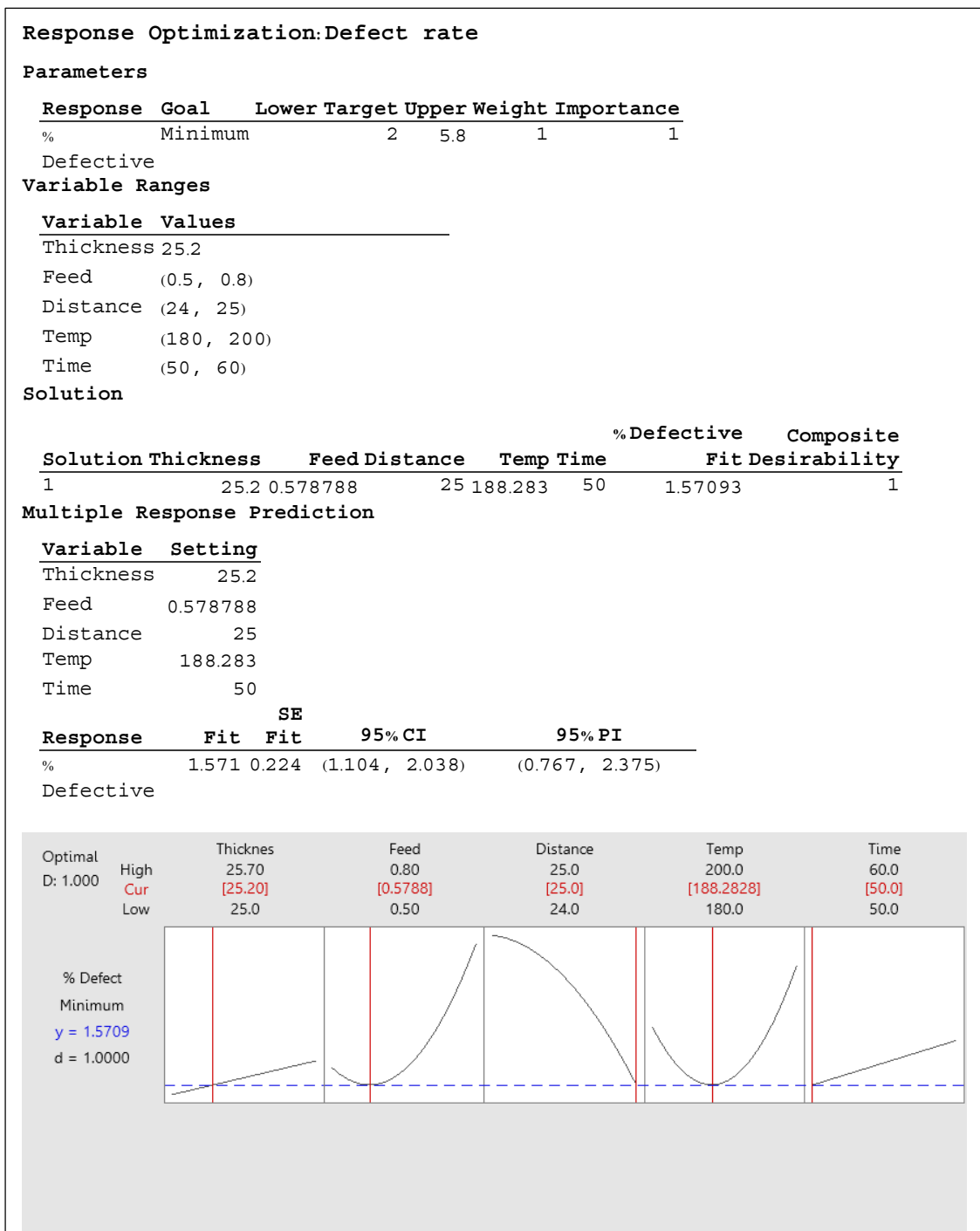
และกำหนดค่าความสำคัญของตัวแปรตอบสนอง โดยในงานวิจัยนี้ใช้หลักเกณฑ์ในการกำหนด วัตถุประสงค์แบบต้องการค่าที่ต่ำที่สุด (Minimize) และกำหนดให้น้ำหนักกับค่าเป้าหมายและความสำคัญของตัวแปรตอบสนองมีค่าเท่ากับ 1 โดยผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 6.16 ตารางที่ 6.17 ตารางที่ 6.18 ตารางที่ 6.19 ตารางที่ 6.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.16 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกกลุ่มที่ 1



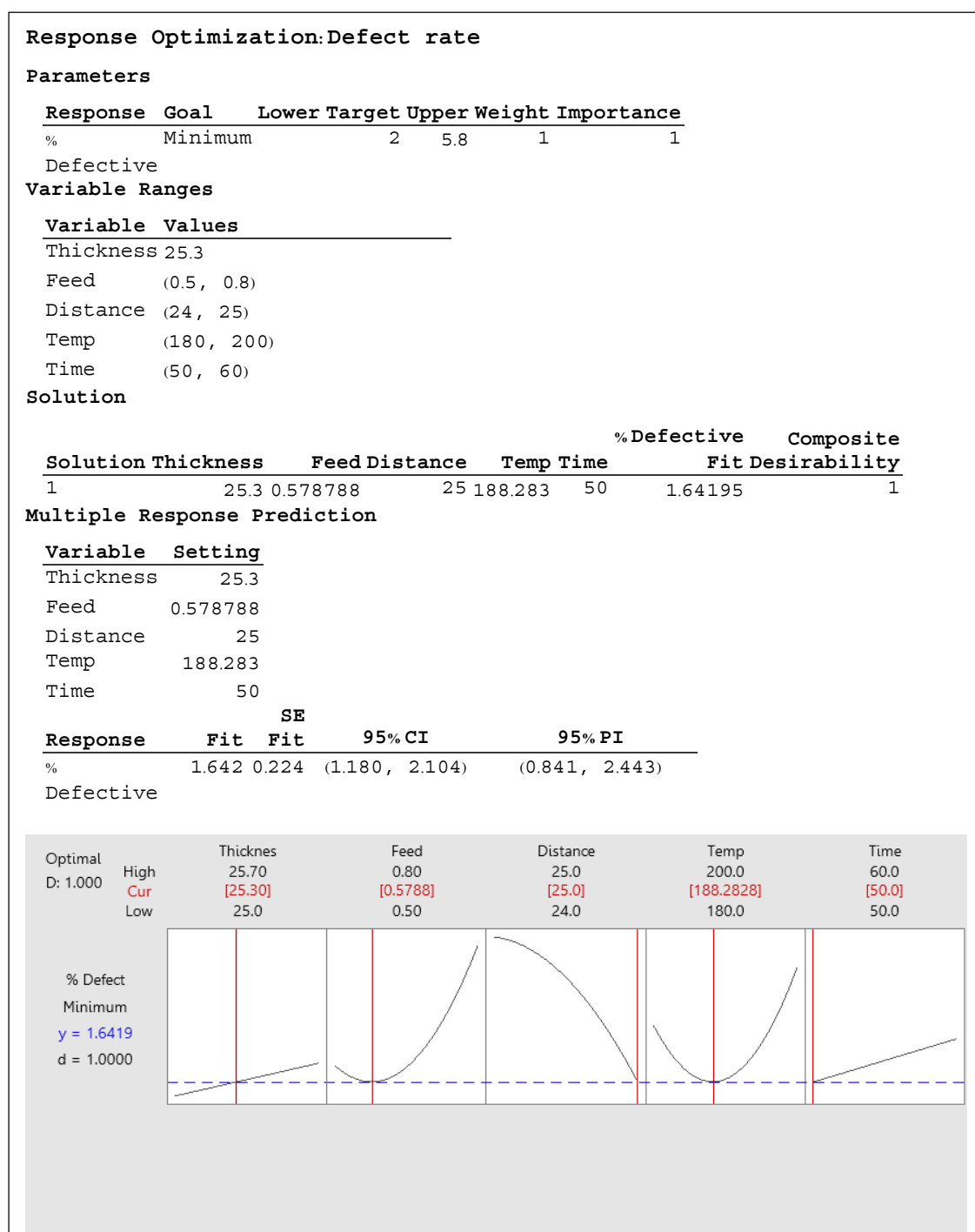
จากผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยสำหรับความหนากระจกเท่ากับ 25 มิลลิเมตร พบว่าจะได้สัดส่วนของเสียรวมที่ค่าต่ำที่สุดเมื่อ ปริมาณในการพ่นสีคือ 0.58 กรัมต่อนาที ระยะห่างปืนคือ 25 เซนติเมตร อุณหภูมิในการอบคือ 188 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคือ 50 นาที

ตารางที่ 6.17 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับความหนากระจกกลุ่มที่ 2



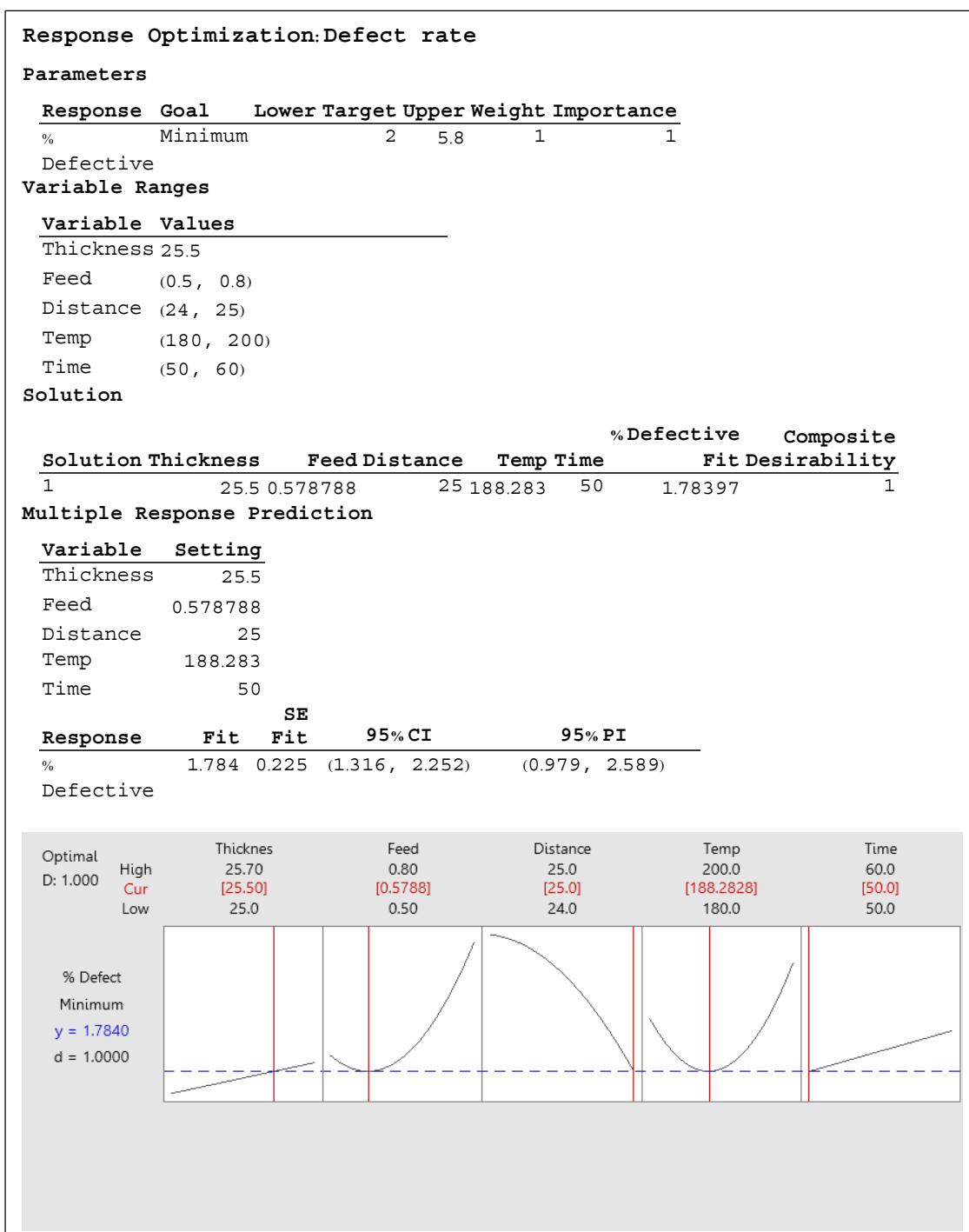
จากผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกเท่ากับ 25.2 มิลลิเมตร พบว่าจะได้สัดส่วนของเสียรวมที่ค่าต่ำที่สุดเมื่อ ปริมาณในการพ่นสีคือ 0.58 กรัมต่อนาที ระยะห่างปืนคือ 25 เซนติเมตร อุณหภูมิในการอบคือ 188 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคือ 50 นาที

ตารางที่ 6.18 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกกลุ่มที่ 3



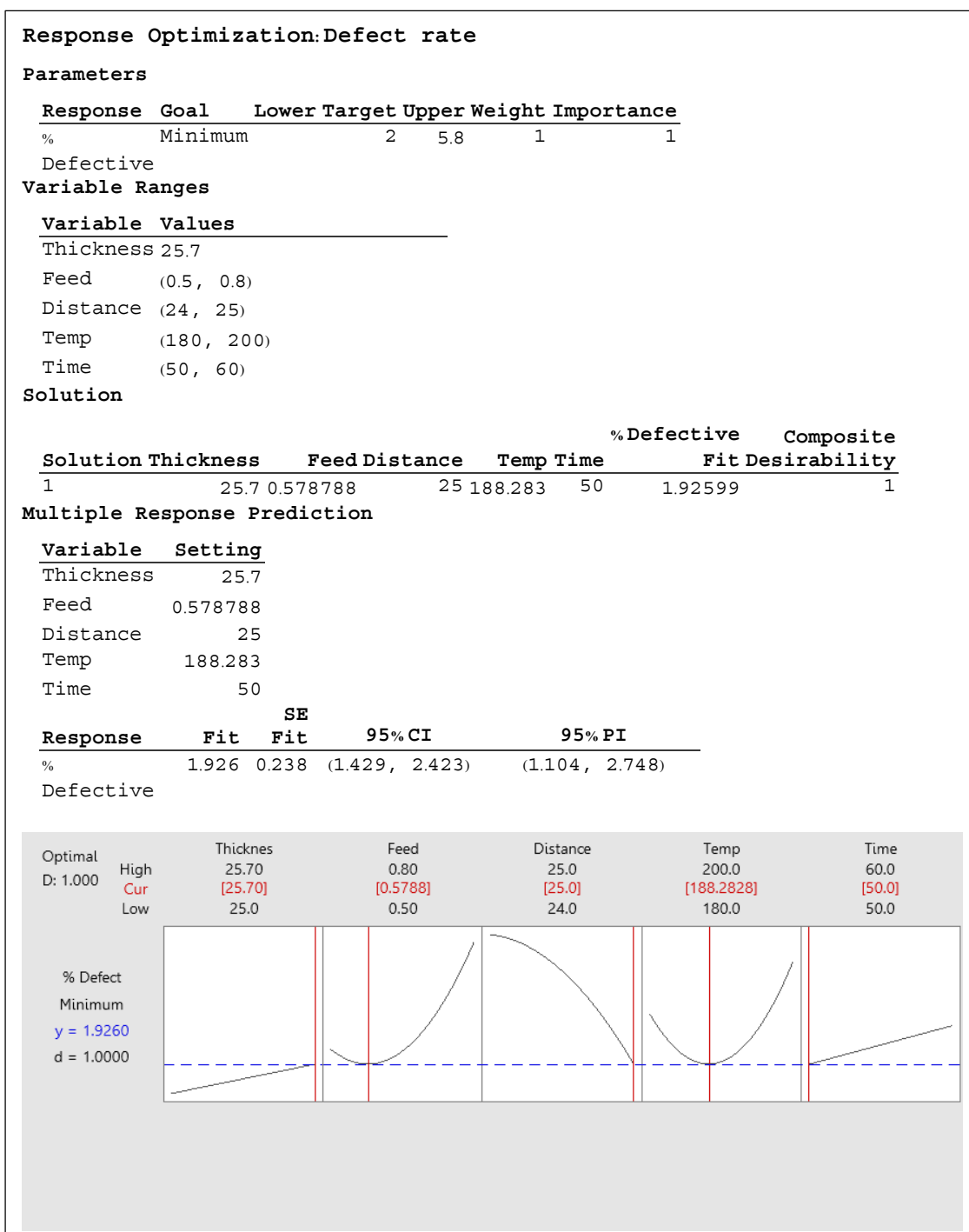
จากผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกเท่ากับ 25.3 มิลลิเมตร พบว่าจะได้สัดส่วนของเสียรวมที่ค่าต่ำที่สุดเมื่อ ปริมาณในการพ่นสีคือ 0.58 กรัมต่อนาที ระยะห่างปืนคือ 25 เซนติเมตร อุณหภูมิในการอบคือ 188 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคือ 50 นาที

ตารางที่ 6.19 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกกลุ่มที่ 4



จากผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกเท่ากับ 25.5 มิลลิเมตร พบว่าจะได้สัดส่วนของเสียรวมที่ค่าต่ำที่สุดเมื่อ ปริมาณในการพ่นสีคือ 0.58 กรัมต่อนาที ระยะห่างปืนคือ 25 เซนติเมตร อุณหภูมิในการอบคือ 188 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคือ 50 นาที

ตารางที่ 6.20 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกกลุ่มที่ 5



จากผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยสำหรับความหนากรอบกระจกเท่ากับ 25.7 มิลลิเมตร พบว่าจะได้สัดส่วนของเสียรวมที่ค่าต่ำที่สุดเมื่อ ปริมาณในการพ่นสีคือ 0.58 กรัมต่อนาที ระยะห่างปืนคือ 25 เซนติเมตร อุณหภูมิในการอบคือ 188 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคือ 50 นาที

จะเห็นได้ว่าที่ความหนากรอบกระจกใด ๆ จะเกิดสัดส่วนของเสียน้อยสุดเมื่อตั้งค่าปริมาณการพ่นสี 0.58 กรัมต่อนาที ระยะห่างปืน 25 เซนติเมตร อุณหภูมิในการอบ 188 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบ 50 นาที โดยเป็นการตั้งค่าที่ใช้ปริมาณการพ่นสีที่น้อย ระยะห่างปืนมาก อุณหภูมิในการอบอยู่ในระดับกลาง ๆ และเวลาในการอบน้อย เพื่อที่จะให้ความหนาสีของชิ้นงานไม่มากเกินไป และไม่ส่งผลให้เกิดสีแตก

#### 6.10 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ

ในการปรับปรุงกระบวนการ เริ่มจากการออกแบบการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกและสีบาง โดยปัจจัยนำเข้าได้แก่ ความหนากรอบกระจก ปริมาณการพ่นสี ระยะห่างระหว่างปืน อุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบ จากนั้นทำการออกแบบพื้นผิวตอบแบบประสมกแบบ CCF ทั้งหมด 32 การทดลอง พบว่าที่ความหนากรอบกระจกค่าใด ๆ จะเกิดสัดส่วนของเสียน้อยสุดเมื่อตั้งค่าปริมาณการพ่นสี 0.58 กรัมต่อนาที ระยะห่างปืน 25 เซนติเมตร อุณหภูมิในการอบ 188 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบ 50 นาที แสดงดังตารางที่ 6.21

ตารางที่ 6.21 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย

กลุ่มที่	ความหนากรอบกระจก (mm)	ปริมาณการพ่นสี (g/min)	ระยะห่างปืน (cm)	อุณหภูมิในการอบ (°C)	เวลาในการอบ (min)
1	25	0.58	25	188	50
2	25.2	0.58	25	188	50
3	25.3	0.58	25	188	50
4	25.5	0.58	25	188	50
5	25.7	0.58	25	188	50

## บทที่ 7

### การทดสอบยืนยันผล และการติดตามควบคุม

การทดสอบยืนยันผล และตรวจติดตามควบคุม โดยจะนำค่าการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการมาปรับใช้ในกระบวนการจริง จากนั้นทำการเก็บข้อมูล เพื่อยืนยันผลการปรับปรุงที่ได้ พร้อมจัดทำแผนควบคุมและปรับปรุงเอกสารขั้นตอนปฏิบัติงานใหม่ จากนั้นทำการประเมินและปรุงผล โดยเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

#### 7.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

การทดสอบยืนยันผลเป็นการนำค่าการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ มาทำการตั้งค่าเครื่องจักรในกระบวนการผลิต โดยค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของ 5 ปัจจัย แสดงดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุง

กลุ่มที่	ความหนากรอบ กระจก (mm)	ปริมาณการพ่นสี (g/min)	ระยะห่างปืน (cm)	อุณหภูมิใน การอบ (°C)	เวลาในการอบ (min)
1	25	0.58	25	188	50
2	25.2	0.58	25	188	50
3	25.3	0.58	25	188	50
4	25.5	0.58	25	188	50
5	25.7	0.58	25	188	50

### 7.1.1 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลอง

การกำหนดขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการเก็บข้อมูลก่อน เพื่อให้ข้อมูลที่เก็บมานั้นทำให้เกิดอำนาจการทดสอบและสามารถตรวจจับผลของปัจจัยได้ โดยอ้างอิงขนาดตัวอย่างจากการคำนวณขนาดตัวอย่างของแต่ละปัจจัยที่กำลังของการทดสอบเท่ากับ 0.9 และระดับความเชื่อมั่น 95% ได้เลือกใช้ขนาดตัวอย่างที่มากที่สุดในการทำทดลอง ดังนั้นในแต่ละการทดลองต้องใช้ชิ้นงานอย่างน้อย 6,289 ชิ้นงาน ซึ่งในการทดลองเพื่อยืนยันผลได้ใช้จำนวนชิ้นงาน 6,550 ชิ้น ซึ่งจำนวนข้อมูลที่มีอยู่มีค่ามากกว่าที่ต้องการ จึงเพียงพอและสามารถใช้ในการประมาณค่าสัดส่วนได้

### 7.1.2 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อยืนยันผล

ก่อนดำเนินการทดลองเพื่อยืนยันผล ได้ทำการประชุมกับทีมงานเพื่ออธิบายแผนการทดลองให้ผู้ที่เกี่ยวข้องทราบและได้ดำเนินการจัดเตรียมวัตถุดิบ แบ่งความหนาของกรอบกระจกออกเป็น 5 ลอต และทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักรได้อย่างถูกต้องตามค่าที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. แบ่งลวดความหนากรอบกระจกออกเป็น 5 ลอต ลอตละ 1,310 ชิ้น ได้แก่ ลอตที่ 1 ความหนากรอบกระจก 25 มิลลิเมตร ลอตที่ 2 ความหนากรอบกระจก 25.2 มิลลิเมตร ลอตที่ 3 ความหนากรอบกระจก 25.3 มิลลิเมตร ลอตที่ 4 ความหนากรอบกระจก 25.5 มิลลิเมตร ลอตที่ 5 ความหนากรอบกระจก 25.7 มิลลิเมตร
2. ทำการปรับตั้งค่าปริมาณการพ่นสี ระยะห่างปืน อุณหภูมิในการอบ และเวลาในการอบตามค่าที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงที่กำหนดไว้ในตารางที่ 7.1
3. หลังจากนั้นทำการตรวจสอบปัญหาสีแตกและสีบางของชิ้นงานและบันทึกผล

### 7.1.3 ผลการทดลองการยืนยันผล

จากการดำเนินการแก้ไขปรับปรุง และทำการเก็บข้อมูลของเสียข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบาง ผลการทดลองหลังจากการปรับตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 7.2 พบว่ามีสัดส่วนของเสียลดลงจาก 8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 1.13 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต ซึ่งลดลง 6.87 เปอร์เซ็นต์



ตารางที่ 7.2 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ

ลอตตัวอย่างที่	ขนาดตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ ของเสียสีแตก	เปอร์เซ็นต์ ของเสียสีบาง	เปอร์เซ็นต์ ของเสียสีรวม
1	1,310	0%	1.60%	1.60%
2	1,310	1.16%	0%	1.16%
3	1,310	1.30%	0%	1.30%
4	1,310	0.69%	0%	0.69%
5	1,310	0.92%	0%	0.92%

## 7.2 การติดตามและควบคุม

การติดตามและควบคุมผลเป็นการควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดปัญหาของเสียจากการผลิตเพิ่มขึ้น โดยจัดทำเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานใหม่และจัดทำแผนควบคุม เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำงาน ซึ่งขั้นตอนการปฏิบัติงาน แสดงดังตารางที่ 7.3 แผนการควบคุม (Control plan) แสดงดังตารางที่ 7.4 แบบฟอร์มตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องพ่นสีฝุ่น แสดงดังตารางที่ 7.5 และแบบฟอร์มการบันทึกค่าปัจจัยที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 7.6

ตารางที่ 7.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ลำดับที่	กระบวนการไหลของงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน
1	ตรวจรับวัตถุดิบ และอุปกรณ์	ฝ่ายประกันคุณภาพจะทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานก่อนส่งเข้ากระบวนการผลิต โดยชิ้นงานต้องไม่มีรอยขีดข่วน ครีบ คราบสนิม รอยบุบ พร้อมทั้งระบุความหนาของกรอบกระจกในแต่ละลอต
2	โหลดชิ้นงานขึ้นโซ่ลำเลียง	ตรวจสอบจำนวนชิ้นงานให้ครบตามแผนการผลิต จากนั้นทำการแขวนชิ้นงานไว้บนจุดแขวนชิ้นงาน (Hanger) เพื่อลำเลียงชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการพ่นสีฝุ่น

ตารางที่ 7.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (ต่อ)

ลำดับที่	กระบวนการไหลของงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน
3	การทำความสะอาดและเตรียมผิวชิ้นงาน	นำชิ้นงานมาทำความสะอาดเพื่อกำจัดคราบไขมันออกจากชิ้นงานโดยผ่านบ่อสารเคมีในการทำความสะอาดและเคลือบผิว ทั้ง 8 บ่อ ดังนี้ 1. บ่อล้างคราบไขมัน 1 2. บ่อล้างคราบไขมัน 2 3. บ่อล้างน้ำ DI 1 4. บ่อล้างน้ำ DI 2 5. บ่อเคลือบสารโครเมต 1 6. บ่อเคลือบสารโครเมต 2 7. บ่อล้างน้ำ DI 3 8. บ่อล้างน้ำ DI 4
4	การอบชิ้นงานให้แห้ง	ชิ้นงานจะถูกส่งไปยังเตาอบที่อุณหภูมิ 160 – 170 องศาเซลเซียส ควบคุมความเร็วของโซ่ลำเลียงที่ 1.6 เมตรต่อนาที
5	กระบวนการพ่นสีฝุ่น	ปรับตั้งค่าปัจจัยที่มีการควบคุมได้แก่ ระยะห่างปืน ปริมาณการในการพ่นสี ความเร็วลม กระแสไฟ ที่เหมาะสมตามความหนาของกรอบกระจกที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรม Minitab
6	การอบชิ้นงาน	หลังจากชิ้นงานผ่านกระบวนการพ่นสี จากนั้นอบแห้งชิ้นงานโดยนำเข้าสู่เตาอบที่อุณหภูมิและเวลาในการอบ ที่เหมาะสมตามความหนาของกรอบกระจกที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรม Minitab
7	การเก็บชิ้นงานและตรวจสอบ	ทำการตรวจสอบทุกชิ้น หากพบชิ้นงานไม่เป็นไปตามข้อกำหนดให้ทำการขัดแยะ ชีบंपประเภทของเสียเพื่อเก็บข้อมูล และดำเนินการส่งซ่อมแก้ไขตามวิธีการซ่อม

ตารางที่ 7.4 แผนควบคุม

แผนการควบคุม (Control plan)											
หมายเลข กระบวนการ Part / Process No.	ชื่อกระบวนการ (Process name)	เครื่องมือ (Tool) เครื่องจักร (Machine) อุปกรณ์ (Equipment)	คุณสมบัติ (Characteristics)		กระบวนการ(Process)	ข้อกำหนดและข้อกำหนด/ชิ้นส่วน (Production/Part Requirement)	วิธีการ (Method)			แนวทางการปฏิบัติเมื่อเกิดปัญหา (Proceeding to problem)	
			หมายเลข No.	ผลิตภัณฑ์ (Product) ผลิตภัณฑ์(Product)			การตรวจสอบ (Inspection)	ตัวอย่าง (Sample) ขนาด (Size)	ความถี่ (Frequency)		วิธีการควบคุม (Controlling method)
1	กระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน	ผู้ลำเลียงชิ้นงาน (Conveyor)	1	การที่ความสะอาดครบถ้วน				ตรวจสอบด้วยสารเคมี	3 ครั้ง	Check sheet	แจ้งหัวหน้าหน่วยผลิตเพื่อตรวจสอบและแก้ไข
			1.1	บ่อล้างครบถ้วน 1	40 - 60 กรัม/ลิตร		ทดสอบด้วยสารเคมี	3 ครั้ง			
			1.2	บ่อล้างครบถ้วน 2	40 - 60 กรัม/ลิตร		ทดสอบด้วยสารเคมี	3 ครั้ง			
			1.3	บ่อล้างน้ำ DI 1	pH 4.0 - 4.4		กระดาษชูนิเวอรัซ์อินดิเคเตอร์	3 ครั้ง			
			1.4	บ่อล้างน้ำ DI 2	pH 4.0 - 4.4		กระดาษชูนิเวอรัซ์อินดิเคเตอร์	3 ครั้ง			
			1.5	บ่อเคลือบสารโครเมต 1	20 - 40 ppm		ทดสอบด้วยสารเคมี	3 ครั้ง			
			1.6	บ่อเคลือบสารโครเมต 2	20 - 40 ppm		ทดสอบด้วยสารเคมี	3 ครั้ง			
			1.7	บ่อล้างน้ำ DI 3	pH 4.0 - 4.4		กระดาษชูนิเวอรัซ์อินดิเคเตอร์	3 ครั้ง			
2	การอบชิ้นงานให้แห้ง	ตู้อบ (Oven)	1	ความเร็ว	1.6 เมตร/นาที		สายตา	ทุกครั้ง	Check sheet	แจ้งหัวหน้าหน่วยผลิตเพื่อตรวจสอบและแก้ไข	
			2	ความดันแก๊ส	0.5 - 1 บาร์		Pressure Gauge	ทุกครั้ง			
3	กระบวนการพ่นสี	ผู้ลำเลียงชิ้นงาน (Conveyor) บูทพ่นสี	1	ระยะห่างกับชิ้นงาน	25 เซนติเมตร		สายตา	ทุกครั้ง	Check sheet	แจ้งหัวหน้าหน่วยผลิตเพื่อตรวจสอบและแก้ไข	
			2	ปริมาณการพ่นสี	0.58 กรัม/นาที		สายตา	ทุกครั้ง			
			3	ความเร็วลม	4 บาร์		สายตา	ทุกครั้ง			
			4	กระแสไฟ	80 KV		สายตา	ทุกครั้ง			
4	การอบชิ้นงาน	ตู้อบ (Oven)	1	อุณหภูมิ	188 องศาเซลเซียส		สายตา	ทุกครั้ง	Check sheet	แจ้งหัวหน้าหน่วยผลิตเพื่อตรวจสอบและแก้ไข	
			2	เวลา	50 นาที		สายตา	ทุกครั้ง			
										ผู้รับผิดชอบ: พนักงานฝ่ายผลิต	

ตารางที่ 7.5 แบบฟอร์มตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องพ่นสีฝุ่น

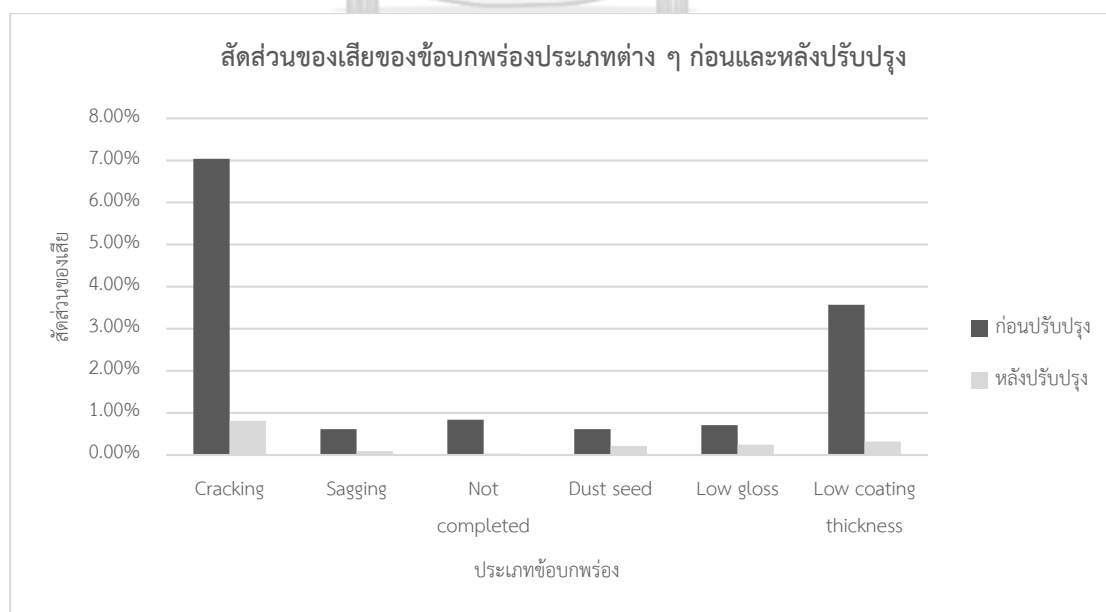
<b>แบบฟอร์มตรวจสอบ Condition พ่นสี Powder Coat</b>	
วันที่ .....เวลา .....ชนิดสี .....ชนิดชิ้นงาน .....lot สี.....	
<b>การแขวนชิ้นงาน</b>	
<input type="checkbox"/> Hanger ต้องอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน สีไม่หนา ไม่บิดงอ <input type="checkbox"/> Conveyor ต้องไม่มีเสียงดัง ผิดปกติ ไม่มีหยดน้ำมัน <input type="checkbox"/> ชิ้นงานไม่ชนกับชิ้นส่วนของเครื่องจักร	
<b>การล้างชิ้นงาน</b>	
แรงดันน้ำ _____ Bar Degreasing 1 _____ g/1 ค่าควบคุม 45 - 60 g/1 Degreasing 2 _____ g/1 ค่าควบคุม 45 - 60 g/1 Passivate Cr1 ค่าที่วัดได้ _____ point ค่าควบคุม 20 - 40 ppm Passivate Cr2 ค่าที่วัดได้ _____ point ค่าควบคุม 20 - 40 ppm	
<b>อุณหภูมิเตาอบ</b>	
Dry Oven _____ C° ค่าควบคุม 170 - 180 C° Bake Oven _____ C° ค่าควบคุม 180 - 200 C°	
<b>ปรับค่า Condition ปืนพ่น</b>	
ระยะห่างปืนกับชิ้นงานวัดได้ _____ cm ค่าควบคุม 24 - 25 cm ปริมาณสี _____ Flow ลม _____ KV _____ $\mu$ A _____ ความเร็ว Conveyor _____ m/min ค่าควบคุม 1.6 m/min ความหนาชิ้นงานหลังพ่นสี _____ Micron	
ผู้ปฏิบัติงาน _____	ผู้ตรวจสอบ _____

### 7.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุง

จากทำการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการ เป็นระยะเวลา 10 วัน จากปริมาณการผลิตทั้งหมด 6,550 ชิ้น เกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก 0.81 เปอร์เซ็นต์ และสีบาง 0.32 เปอร์เซ็นต์ โดยข้อสัดส่วนของเสียก่อนทำการปรับปรุงเมื่อเดือนพฤษภาคม 2564 ถึง เมษายน 2565 มีสัดส่วนของเสียประเภทสีแตก 7.04 เปอร์เซ็นต์ และสีบาง 1.12 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นหลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกได้ 6.23 เปอร์เซ็นต์ และ สีบาง 0.8 เปอร์เซ็นต์

หากพิจารณาต้นทุนของเสียที่ลดลงได้ต่อปี จากข้อมูลการพยากรณ์จำนวนการผลิตในปี 2566 คาดว่ามีการผลิต 176,236 ชิ้น และต้นทุนการซ่อมข้อบกพร่องคือ 424.5 บาทต่อชิ้นงาน ดังนั้นเมื่อสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกและสีบางลดลง 1.13 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต จะสามารถลดต้นทุนของเสียได้ 6,877,484.44 บาท

เนื่องจากการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีฝุ่น เพื่อลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกและสีบาง อาจทำให้เกิดข้อบกพร่องอื่น ๆ เพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์การเกิดสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีฝุ่น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 7.1 พบว่า หลังจากการปรับปรุงไม่ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียข้อบกพร่องประเภทอื่น ๆ เพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นสามารถใช้ค่าการปรับตั้งปัจจุบันในกระบวนการพ่นสีฝุ่นต่อไปได้



รูปที่ 7.1 สัดส่วนของเสียข้อบกพร่องประเภทต่าง ๆ ก่อนและหลังการปรับปรุง

#### 7.4 สรุประยะการติดตามควบคุมดูแล

จากการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยการปรับตั้งค่าปัจจัยตามค่าที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีฝุ่น และทำการเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันผลการปรับปรุง พร้อมทั้งจัดทำแผนควบคุม และขั้นตอนการปฏิบัติงานใหม่ เพื่อกำหนดมาตรฐานใหม่ในการทำงานหลังจากปรับปรุงกระบวนการทำงาน พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกและสีบางเหลือ 1.13 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต และสามารถลดต้นทุนของเสียได้ 6,877,484.44 บาทจากการพยากรณ์จำนวนการผลิตในปี 2566



## บทที่ 8

### บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการผันสีฝุ่นบนกรอบกระจกของหลังคารถกระบะ เอนกประสงค์ เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางที่เกิดขึ้นในกระบวนการผันสีฝุ่นและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมค่าบกร่องที่เกิดขึ้น โดยนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา (Six sigma) มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยแบบระยการดำเนินงานออกเป็น 5 ระยะดังนี้ ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุ (Measure Phase) ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุ (Analyse Phase) ระยะการปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase) และระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) โดยบทสรุปของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

#### 8.1 สรุประยะการนิยามปัญหา

ในการนิยามปัญหา ได้ทำการจัดตั้งคณะทำงาน เพื่อศึกษากระบวนการผันสีฝุ่น จากนั้นรวบรวมข้อมูลสัดส่วนของเสียและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์กรอบกระจกจากกระบวนการผันสีฝุ่นของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือน เมษายน พ.ศ. 2565 สรุปได้ว่า ของเสียที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทสีแตก และสีบางของผลิตภัณฑ์ ควรได้รับการปรับปรุงเนื่องจากมีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้น 8 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณการผลิต คิดเป็น 80.2 เปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนของเสียทั้งหมด และมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมสีสูงที่สุดถึง 8,008,715 บาท ซึ่งถ้าแก้ปัญหาข้อบกพร่องเหล่านี้ได้ จะสามารถลดจำนวนของเสียส่วนใหญ่และลดต้นทุนในการผลิตได้

#### 8.2 สรุประยะการวัดสภาพปัญหา ก่อนปรับปรุง

ในระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา เริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด โดยงานวิจัยนี้ใช้ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ หรือ Attribute Agreement Analysis จากวิเคราะห์พบว่าพนักงานทั้ง 3 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบาง อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นระบบการวัดจึงมีความน่าเชื่อถือ และเมื่อคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้วัดสภาพปัญหา พบว่าจำนวนตัวอย่างต้องเก็บข้อมูลอย่างน้อย 16,227 ชิ้น ซึ่ง

ข้อมูลที่อยู่มีจำนวนมากกว่า จึงสามารถใช้ข้อมูลได้ทั้ง 176,236 ชิ้น ในการประมาณค่าสัดส่วน ดังนั้นสามารถใช้ระบบการวัดนี้ได้และสัดส่วนของเสียรวมก่อนปรับปรุงเท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์

### 8.3 สรุประยะวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหานี้ ได้ทำการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่จะส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบาง โดยนำผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) มาใช้ในการวิเคราะห์พบว่ามีปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 15 ปัจจัย จากนั้นจึงนำปัจจัยนำเข้ามาเรียงลำดับความสำคัญ โดยใช้เมทริกซ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) และคัดเลือก 5 ปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อ ได้แก่ ความหนากรอบกระจก ปริมาณการพ่นสี ระยะห่างปืนกับชิ้นงาน อุณหภูมิในการอบชิ้นงาน และเวลาในการอบชิ้นงาน เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางสูง ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงจะหาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง 4 ปัจจัยที่เหมาะสมกับความหนาของกรอบกระจกในแต่ละล็อตก่อนจะเริ่มทำการผลิต

### 8.4 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ

ในการปรับปรุงกระบวนการ เริ่มจากการออกแบบการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกและสีบาง โดยปัจจัยนำเข้าได้แก่ ความหนากรอบกระจก ปริมาณการพ่นสี ระยะห่างปืน อุณหภูมิในการอบ และเวลาในการอบ ซึ่งได้มาจากการเลือกปัจจัย ที่มีผลกระทบต่อเกิดการเกิดข้อบกพร่องประเภทสีแตกและสีบางสูง โดยการใช้เมทริกซ์สาเหตุและผล จากนั้นทำการออกแบบพื้นผิวตอบแบบประสมกลางแบบ CCF เนื่องจากการใช้จำนวนการทดลองที่น้อยกว่าแบบการทดลองพื้นผิวตอบชนิดอื่น โดยใช้ Central Composite Half ที่มีจำนวนการทดลองเพียง 32 การทดลอง ซึ่งน้อยกว่าการทดลองพื้นผิวตอบชนิดบ็อกซ์ – เบห์นเคน ที่มีจำนวนการทดลอง 46 การทดลอง เมื่อมีจำนวน 5 ปัจจัย และใช้ชนิด CCF เนื่องจากต้องการการทดลองปัจจัยใด ๆ เพียง 3 ระดับ ทำให้สามารถเป็นไปได้ในการจัดเตรียมกรอบกระจกที่ความหนา 3 ระดับให้มีขนาดตัวอย่างเพียงพอในแต่ละระดับความหนา ปัจจัยใด ๆ จะถูกทำการทดลองอยู่ที่ 3 ระดับในหน่วยแบบคาร์ทิส ได้แก่  $-\alpha$ , 0,  $\alpha$ , โดย  $\alpha$  มีค่าเท่ากับ 1.000 จากนั้นได้นำมาหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยด้วย Response Optimization โดยผู้วิจัยได้ทดลองยืนยันผลโดยการทดสอบกับกรอบกระจกที่มีความหนาต่าง ๆ กัน 5 ลอตความหนาดังนี้ 25, 25.2, 25.3, 25.5 และ 25.7 มิลลิเมตร ในแต่ละล็อต ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Response Optimization ในการหาค่าที่



เหมาะสมของปัจจัยทั้งสี่ที่รองรับกับความหนากรอบกระจกที่ค่าต่างๆ พบว่าที่ความหนากรอบกระจกค่าใด ๆ จะเกิดสัดส่วนของเสียน้อยสุดเมื่อตั้งค่าปริมาณการพ่นสี 0.58 กรัมต่อนาที ระยะห่างปืน 25 เซนติเมตร อุณหภูมิในการอบ 188 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบ 50 นาที ดังแสดงในตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย

กลุ่มที่	ความหนากรอบกระจก (mm)	ปริมาณการพ่นสี (g/min)	ระยะห่างปืน (cm)	อุณหภูมิในการอบ (°C)	เวลาในการอบ (min)
1	25	0.58	25	188	50
2	25.2	0.58	25	188	50
3	25.3	0.58	25	188	50
4	25.5	0.58	25	188	50
5	25.7	0.58	25	188	50

#### 8.5 สรุประยะการติดตามควบคุม

จากการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยการปรับตั้งค่าปัจจัยตามค่าที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีฝุ่น และทำการเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันผลการปรับปรุง พร้อมทั้งจัดทำแผนควบคุม และขั้นตอนการปฏิบัติงานใหม่ เพื่อกำหนดมาตรฐานใหม่ในการทำงานหลังจากปรับปรุงกระบวนการทำงาน โดยกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงาน หรือ SOP ตามเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของระดับปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องพ่นสีฝุ่น ซึ่งได้แก่

1. ปริมาณการพ่นสี 0.58 กรัมต่อนาที
2. ระยะห่างปืน 25 เซนติเมตร
3. อุณหภูมิในการอบ 188 องศาเซลเซียส
4. เวลาในการอบ 50 นาที

โดยหลังจากการติดตามผลการปรับปรุงพบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกและสีบางเหลือ 1.13 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต และสามารถลดต้นทุนของเสียได้ 6,877,484 บาทจากการพยากรณ์จำนวนการผลิตในปี 2566

### 8.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. ศึกษาและทำการปรับปรุงเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีฝุ่นที่เป็นชิ้นส่วนอลูมิเนียมเท่านั้น
2. ค่าการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมที่ได้จากการปรับปรุงกระบวนการสามารถใช้ได้กับกระบวนการพ่นกรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์เท่านั้น
3. มีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียประเภทสีแตก และสีบาง นอกเหนือจาก 5 ปัจจัยที่เลือกมา ได้แก่ ขนาดเม็ดสีฝุ่น พนักงานไม่ทำงานตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน เป็นต้น

### 8.7 ข้อเสนอแนะ

1. ผลการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีฝุ่น สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีฝุ่นของชิ้นงานเหล็กอื่น ๆ ที่มีความหนาของชิ้นงานในแต่ละล็อตการผลิตที่แตกต่างกัน โดยจะต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเฉพาะที่แตกต่างกันของแต่ละรุ่นชิ้นงานที่จะทำการปรับปรุงด้วย
2. สามารถศึกษาเพิ่มเติมในปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเกิดของเสียประเภทสีแตกและสีบางได้
3. สามารถนำแนวทางการปรับปรุงไปใช้เพื่อลดปัญหาข้อบกพร่องประเภทอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีฝุ่นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 8.8 การตีพิมพ์งานวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ที่วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ซึ่งได้รับการรับรองโดยศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) กลุ่มที่ 2 โดยได้ส่งบทความไปเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2565 ซึ่งอยู่ในระหว่างการพิจารณาบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

## บรรณานุกรม

- 1] สมเกียรติ มงคลสมัย. การควบคุมปัจจัยกระบวนการของการพันสีฝุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [2] อรุษา สรวารี. สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแล็กเกอร์). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544
- [3] วชิรพงษ์ สาลีสิงห์. ปฏิวัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค Six Sigma ฉบับ Champion และ Black Belt. กรุงเทพมหานคร: ศรีวัฒนา อินเตอร์พรีนท์, 2548.
- [4] ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย. วิศวกรรมคุณภาพและการจัดการ : เข้มทิศการปรับปรุงและสร้างนวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562.
- [5] 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.
- [6] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. Vol. 2, กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551.
- [7] อาทิตย์ หงสพันธ์. การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพันสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- [8] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย Minitab 15 (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549.
- [9] นภัตสวางค์ โอสถศิลป์. เอกสารประกอบการเรียนวิชา Quality Improvement. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2563.
- [10] D. C. Montgomery. Design and analysis of experiments. 8 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2513.
- [11] ชนิกันต์ รักธงไทย. การลดของเสียประเภทสีแตกในกระบวนการพันสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562.
- [12] สุวิทย์ บุญชูจรัส. การพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพสำหรับกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

- [13] อรรถพล ฤทธิภักดี. การปรับปรุงคุณภาพสำหรับกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [14] Priya, S.K., V. Jayakumar, and S.S. Kumar, Defect analysis and lean six sigma implementation experience in an automotive assembly line. Materials Today: Proceedings, 2020. 22: p. 948-958.
- [15] Pranavi, V. and V. Umasankar, Application of Six Sigma approach on hood outer panel to reduce the defect in painting peel off. Materials Today: Proceedings, 2021. 46: p. 1269-1276.





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	พิชญา วาดสูงเนิน
วัน เดือน ปี เกิด	30 ตุลาคม 2537
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลโสธร จังหวัดยโสธร
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
ที่อยู่ปัจจุบัน	77/55 แคว้นเซี่ยคอนโดมิเนียม ซอยแบร์รี่1 ถนนสุขุมวิท107 ตำบลสำโรงเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ รหัสไปรษณีย์ 10270



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY