การลดความหนาของชั้นสีในกระบวนการพ่นสีของกันชนรถยนต์โดยการปรับค่าปัจจัยของปืนพ่นสี

นายวิศรุต วัลลภาพันธุ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Paint thickness reduction in the painting process of car bumpers by adjusting spray gun's factors

Mr. Visarut Vanlapapan

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดความหนาของชั้นสีในกระบวนการพ่นสีของกันชนรถยนต์โดยการปรับค่าปัจจัยของปืนพ่นสี
โดย	นายวิศรุต วัลลภาพันธุ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐ์ ลีละวัฒน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวช ชาญสง่าเวช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิศรุต วัลลภาพันธุ์ : การลดความหนาของชั้นสีในกระบวนการพ่นสีของกันชนรถยนต์โดยการปรับค่าปัจจัยของปืนพ่นสี. (Paint thickness reduction in the painting process of car bumpers by adjusting spray gun's factors) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นสีใสบนกันชนรถยนต์ กับปัจจัยนำเข้าต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนการนำเอาเครื่องมือทางสถิติมาช่วยค้นหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยนำเข้าดังกล่าว เพื่อให้ความหนาของชั้นสีมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ 17.5 um. สำหรับการระบุปัจจัยนำเข้านั้น ผู้วิจัยพบว่า ความกว้างหน้าปืน อัตราการไหลของสี และระยะห่างของปืนพ่น เป็น 3 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความหนาของชั้นสีใสบนกันชนรถยนต์ จากนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนองแบบ บ็อกซ์-เบห์นเคน เพื่อค้นหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 กับความหนาของชั้นสีใส เพื่อระบุค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยทั้ง 3 ที่จะทำให้ค่าความหนาของชั้นสีใสมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ 17.5 um. มากที่สุด ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่า ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับความกว้างหน้าปืน อัตราการไหลของสี และระยะห่างของปืนพ่นมีค่าเท่ากับ 15 cm. 200 cc./min. และ 10 cm. ตามลำดับ และเมื่อนำค่าดังกล่าวมาทดสอบโดยผู้ฝึกสอนประจำแผนก ก็ปรากฏว่า ค่าความหนาของชั้นสีใสลดลงจาก 22.22 um. เหลือเพียง 17 um.

ภายหลังจากการทดสอบเบื้องต้น ผู้วัจัยได้นำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมดังกล่าวไปปรับตั้งในกระบวนการผลิตจริง แล้วทำการเก็บค่าความหนาของชั้นสีใสอีกเป็นจำนวน 30 วัน ผู้วิจัยพบว่า ค่าความหนาของชั้นสีใสลดลงจากค่าก่อนการปรับปรุงที่ 22.2 um. เหลือเพียง 17.4 um. ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ 17.5 um. โดยยังคงคุณภาพของชิ้นงานได้ในระดับที่ดี อีกทั้งค่าความสามารถของกระบวนการที่ดี หรือ Cp และ Cpk ยังมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (1.49 และ1.45 ตามลำดับ) ส่งผลทำให้สามารถลดต้นทุนการใช้สี และปัญหาคุณภาพของชั้นสีลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6170965921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORD: paint thickness

Visarut Vanlapapan : Paint thickness reduction in the painting process of car bumpers by adjusting spray gun's factors. Advisor: Asst. Prof. PISIT JARUMANEEROJ, Ph.D.

The objective of this research is to study the relationship between clear paint layer thickness of automobile bumpers and other input factors, as well as to determine appropriate settings for such input so that the thickness of clear paint layer is as close as to the target value of 17.5 um. Based on the cause-and-effect diagram, we find that gun pattern, paint flow rate, and spray gun distance are three main factors that greatly affect clear paint layer thickness. We then design the box-behnken response surface experiments for the identification of equations that well explain relationships between clear paint layer thickness and these three input factors. Our experimental results indicate that the appropriate factor levels for the gun pattern, the paint flow rate, and the spray gun distance are 15 cm., 200 cc./min, and 10 cm., respectively. This setting is proven to be notably effective as clear paint layer thickness could be reduced from 22.22 um. to 17 um. – a lot closer to the target value of 17.5 um. – by the departmental master trainer.

After applying such a setting to the whole production line, we also find that clear paint layer thickness is satisfactorily reduced to 17.4 um., with a good process capability – Cp and Cpk are 1.49 and 1.45 – leading to a significant reduction in painting cost, and so the improvement in the quality of painting process.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายท่าน ทางผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษาตลอดจนแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์ และแก้ไขปัญหาตั้งแต่เริ่มต้นจนจบเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐ์ ลีละวัฒน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย ดร.ชูเวช ชาญสงาเวช กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้โอกาสผู้วิจัยได้เข้าไปทำการศึกษาวิจัย และให้ความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัยตลอดจนคณะทำงานของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่ให้คำแนะนำตลอดเวลาในการทำวิจัย คอยให้ความช่วยเหลือในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจที่ดีตลอดมา รวมทั้งขอขอบคุณกำลังใจจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงมา ณ ที่นี้ด้วย

วิศรุต วัลลภาพันธุ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 รายละเอียดเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา 3

1.3 การศึกษาสภาพปัญหา และความสำคัญของปัญหาในปัจจุบัน 5

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 8

1.5 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย 8

1.6 ผลที่ได้รับ 8

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ 9

1.8 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน 9

บทที่ 2 11

2.1 เครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 11

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

2.3 สรุปการทบทวนทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 36

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3 37
3.1 การวิเคราะห์ปัญหา 37
3.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Root cause analysis) 41
3.3 สรุปผลขั้นตอนการวิเคราห์หาปัจจัยนำเข้า 51
บทที่ 4 52
4.1 การออกแบบการทดลอง 52
4.2 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง 55
4.3 ผลการทดลอง 55
4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 56
4.5 การหาระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนำเข้า 62
4.6 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ 64
บทที่ 5 65
5.1 การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง 65
5.2 การติดตามผลการทดลอง 68
5.3 ผลลัพธ์ของการทดลองที่นำไปใช้ในกระบวนการจริง 70
บทที่ 6 78
6.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 78
6.2 ข้อเสนอแนะ 81
บรรณานุกรม 82
ประวัติผู้เขียน 85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ประเภทของพลาสติกชนิดต่างๆที่นำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนรถยนต์ 23
ตารางที่ 2.2 แสดงต้นทุนของกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา XYZ..... 29
ตารางที่ 2.3 แสดงถึงต้นทุนของกระบวนการผลิตหลังปรับปรุง..... 30
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลความหนาของสีใสของกันชนหลังที่บริเวณ zone B..... 40
ตารางที่ 3.2 ปัจจัยนำเข้าและผลกระทบของปัจจัยต่อความหนาของชั้นสีใส 43
ตารางที่ 3.3 เกณฑ์การให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับความหนาของชั้นสีใส..... 47
ตารางที่ 3.4 การประเมินคะแนนความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาของชั้นสีใส 47
ตารางที่ 3.5 สรุปปัจจัยนำเข้าที่นำไปศึกษาต่อหรือไม่นำไปศึกษาต่อ และแนวทางการปรับปรุง..... 49
ตารางที่ 4.1 สรุปปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในการทดลอง..... 53
ตารางที่ 4.2 ตารางการออกแบบการทดลอง (Design Matrix) แบ่งตามระดับ -1, 0, +1 54
ตารางที่ 4.3 ตารางการออกแบบการทดลอง (Design Matrix) แบ่งตามระดับของปัจจัย..... 54
ตารางที่ 4.4 ตารางการออกแบบการทดลองและผลการทดลอง..... 56
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและความหนาของชั้นสี 58
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและความหนาของชั้นสี โดยวิธีการ Stepwise 59
ตารางที่ 4.7 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัยที่ทำให้ความหนาของชั้นสีได้ตามเป้าหมาย63
ตารางที่ 5.1 ผลลัพธ์ของความหนาของชั้นสีหลังจากการทำการทดลองโดยผู้ฝึกสอนประจำแผนก.. 66
ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบความหนาของชั้นสีใสก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุงกระบวนการพ่นสี 67
ตารางที่ 5.3 ขั้นตอนกระบวนการทำงานของพนักงานช่างพ่นสี..... 68
ตารางที่ 5.4 การปรับตั้งค่าของปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับปืนพ่นสี 69
ตารางที่ 5.5 ตารางจัดเก็บข้อมูลการทดลอง 70

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองเป็นเวลา 30 วัน 70

ตารางที่ 5.7 สรุปค่าผลลัพธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสีภายหลังการทดลอง 76

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 กราฟแสดงยอดขายรถยนต์ส่งออก (Export sale Volume) 2

รูปที่ 1.2 กราฟแสดงยอดขายรถยนต์ภายในประเทศ (Domestic Sale Volume) 2

รูปที่ 1.3 แผนผังกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนภายในโรงงาน 5

รูปที่ 1.4 ขั้นตอนการผลิตของผลิตภัณฑ์กันชนหน้า-หลัง 6

รูปที่ 1.5 ขั้นตอนการผลิตของผลิตภัณฑ์คอนโซลภายในรถยนต์ 6

รูปที่ 1.6 กราฟพาเรโต้ของปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้นภายในแผนกฯ 7

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผล 14

รูปที่ 2.2 Central Composite Design สำหรับ 3 Factors 17

รูปที่ 2.3 แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของการใช้งานชิ้นส่วนพลาสติกในรถยนต์ 19

รูปที่ 2.4 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา 24

รูปที่ 2.5 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าที่สามารถทำนายได้จาก Kernal Density Estimation 25

รูปที่ 2.6 สรุปหลักการของ Lean 26

รูปที่ 2.7 แผนผังโรงงานก่อน-หลังการปรับปรุง 27

รูปที่ 2.8 แผนผังโรงงานก่อน – หลังการปรับปรุง 27

รูปที่ 2.9 แผนภาพพาเรโต้แสดงถึงลำดับต้นทุนการผลิตที่สูงสุด 31

รูปที่ 2.10 แผนภาพก้างปลาเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ High Tool cost 32

รูปที่ 2.11 แผนภาพก้างปลาเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ High gas consumption 32

รูปที่ 2.12 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้สีก่อน-หลังการปรับปรุง 34

รูปที่ 2.13 ผังโรงงานเค้าโครงร่างก่อนปรับปรุง 35

รูปที่ 2.14 ผังโรงงานทางเลือกที่ออกแบบขึ้นใหม่ 36

รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการภายในแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก 37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.2 แผนผังของกระบวนการพ่นสี 38
รูปที่ 3.3 แผนภาพพาเรโต้สำหรับแสดงต้นทุนประเภทต่างของวัตถุดิบทางตรง 39
รูปที่ 3.4 แสดงถึงตำแหน่งของกันชนในการพ่นแยกเป็น zone 39
รูปที่ 3.5 กราฟการกระจายตัวความหนาของชั้นสีใส ก่อนการปรับปรุง 41
รูปที่ 3.6 แผนภูมิก้างปลาแสดงถึงการวิเคราะห์โดยใช้หลัก 4M 43
รูปที่ 3.7 แผนภาพพาเรโต้จัดลำดับผลรวมของคะแนนของปัจจัยนำเข้า 48
รูปที่ 4.1 การกระจายตัวส่วนตกค้างของความหนาของชั้นสี 57
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลกระทบหลักของปัจจัย X1 60
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลกระทบหลักของปัจจัย X2 61
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลกระทบหลักของปัจจัย X3 61
รูปที่ 4.5 กราฟพื้นผิวผลตอบ (Surface plot) ของ X1 และ X2 62
รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์จากฟังก์ชั่น Response Optimizer จากโปรแกรม Minitab 63
รูปที่ 5.1 กราฟ Histogram การกระจายตัวของความหนาของชั้นสีหลังปรับปรุง 67
รูปที่ 5.2 Process capability ของค่า Paint thickness ก่อนการปรับปรุง 72
รูปที่ 5.3 Process capability ของค่า Paint thickness หลังการปรับปรุง 72
รูปที่ 5.4 Process capability ของค่า %NV ก่อนการปรับปรุง 73
รูปที่ 5.5 Process capability ของค่า %NV หลังการปรับปรุง 73
รูปที่ 5.6 Process capability ของค่า Color shade ก่อนการปรับปรุง 74
รูปที่ 5.7 Process capability ของค่า Color shade หลังการปรับปรุง 74
รูปที่ 5.8 Process capability ของค่า Wave scan ก่อนการปรับปรุง 75
รูปที่ 5.9 Process capability ของค่า Wave scan หลังการปรับปรุง 75
รูปที่ 5.10 กราฟพาเรโต้ของปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้นภายในแผนกฯ ก่อนการปรับปรุง 77
รูปที่ 5.11 กราฟพาเรโต้ของปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้นภายในแผนกฯ หลังการปรับปรุง 77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมยานยนต์ของไทยถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักของประเทศ และของโลก โดยในปีพ.ศ. 2562 ที่ผ่านมาประเทศไทยได้ส่งออกยานยนต์กว่า 1,050,056 คัน ไปยังประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก เช่น เอเชีย , โอเชียเนีย , ยุโรป , อเมริกาเหนือ และตะวันออกกลาง อย่างไรก็ดีในช่วง 7 ปีที่ผ่านมา ภาพรวมการส่งออกของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยกลับมีแนวโน้มถดถอยลง (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.1) โดยเมื่อเทียบกับปีพ.ศ. 2561 ยอดส่งออกยานยนต์ของไทยในปีพ.ศ.2562 มีจำนวนลดลง 7.5% ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากสงครามการค้าระหว่างประเทศจีนและอเมริกา ผนวกกับการแข็งค่าขึ้นของเงินบาทอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อสภาวะเศรษฐกิจตลอดจนการซื้อ-ขายรถยนต์ในแต่ละประเทศทั่วโลก สำหรับประเทศไทยในปีพ.ศ. 2562 ที่ผ่านมายอดขายรถยนต์ภายในประเทศอยู่ที่ 1,007,552 คัน มีจำนวนต่ำกว่าปีพ.ศ. 2561 ที่มียอดขายที่ 1,041,739 คัน (โตโยต้า, 2020) หรือคิดเป็นการลดลงของยอดขายกว่า 3.3% ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.2 ปัจจัยลบต่าง ๆ ล้วนแล้วแต่ส่งผลทำให้ยอดการผลิตรถยนต์ของบริษัทรถยนต์ภายในประเทศลดต่ำลง และมีผลสะท้อนเชิงลบไปยังผลกำไรของบริษัทผลิตรถยนต์อันเนื่องมาจากต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างคงที่แต่กลับมีปริมาณการผลิตที่ลดลง

ด้วยเหตุข้างต้นบริษัทผลิตรถยนต์ในประเทศไทยหลายแห่งได้ปิดตัวลง ล่าสุด คือ บริษัท General Motor (GM) ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ยี่ห้อ Chevrolet ที่มีการประกาศยุติกิจการทั้งหมดภายในประเทศไทย ตามแนวทางนโยบายของบริษัทแม่ที่ได้วางแผนการปรับโครงสร้าง GM ทั่วโลกไว้ ทาง GM ได้ทะยอยถอนตัวจากกลุ่มตลาดที่มีศักยภาพในการทำกำไรน้อย และกลุ่มตลาดที่มียอดขายต่ำกว่าความคาดหวัง สำหรับสถานการณ์ในประเทศไทย ระหว่างปีพ.ศ. 2562 GM สามารถขายรถยนต์ Chevrolet ได้เพียง 15,161 คัน และในรถยนต์รุ่น Captiva ที่เปิดตัวไปเมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ยอดขายในช่วง 3 เดือนแรกจำหน่ายได้เพียง 530 คันเท่านั้น (Headlightmag, 2563) จากการปิดตัวของบริษัท GM ภายในประเทศไทย ส่งผลให้พนักงานของบริษัทดังกล่าวจำนวนมากกว่า 1,500 คนต้องตกงานกระทันหัน และมีผลกระทบกับคู่ค้า (Supplier) ในระบบของห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain) เป็นวงกว้าง

เพื่อให้บริษัทผลิตรถยนต์สามารถดำเนินกิจการต่อไป ในช่วงวิกฤตเศรษฐกิจที่ยังคงต้องรักษาผลกำไรของบริษัทไว้ บริษัทรถยนต์แต่ละแห่งจึงจำเป็นต้องทำกิจกรรมลดต้นทุนต่าง ๆ ภายในโรงงานอย่างต่อเนื่อง เช่น กิจกรรมการติดตามการลดต้นทุนโดยผู้บริหารระดับสูงเพื่อก่อให้เกิดวัฒนธรรมการลดต้นทุนภายในองค์กร หรือการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ , กิจกรรมการลดต้นทุนโดยใช้ Six sigma เพื่อปรับปรุงกระบวนให้มีค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องอยู่ในค่าที่ควบคุมและสามารถลดต้นทุนของเสียลงได้ , กิจกรรมการวางแผนการผลิต (Production planning) ที่มีการวางแผนให้สัดส่วนการทำงานล่วงเวลา (Overtime) น้อยลงเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายแรงงาน 1.5 , 2.0 และ 3.0 เท่า ตามกฎหมายแรงงาน การดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้อาจจำเป็นต้องปรับกำลังการผลิต หรือปรับ Takt time ให้ช้าลง และจำเป็นต้องนำคนออกจากกระบวนการผลิตเพื่อช่วยให้สามารถจัดการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กับต้นทุนด้านแรงงาน (Labor cost) ได้อย่างเหมาะสมตามยอดการผลิตที่เข้ามา ส่วนของคนส่วนเกินจากการผลิตก็จะถูกนำไปจัดตั้งเป็นทีมพิเศษให้เหมาะสมกับโรงงานต่อไป โดยอาจนำไปปรับปรุงการผลิต ปรับปรุงคุณภาพ หรือปรับปรุงผลิตผล เพื่อช่วยให้บริษัทยังคงรักษาผลกำไรในช่วงที่ต้องเผชิญกับวิกฤตเศรษฐกิจ และเรื่องยอดการผลิตที่มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งนับรวมถึงบริษัทกรณีศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ โดยในปีพ.ศ. 2563 บริษัทรถยนต์กรณีศึกษาคาดการณ์ว่า ในปีพ.ศ. 2563 จะมียอดขายรถยนต์ภายในประเทศไทยรวม 940,000 คัน หรือลดลง 6.7% เมื่อเทียบกับปีพ.ศ. 2562 (โตโยต้า, 2562) โดยมิได้นับรวมถึงผลกระทบจากการระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 ที่มีการแพร่ระบาดไปทั่วโลก

รูปที่ 1.1 กราฟแสดงยอดขายรถยนต์ส่งออก (Export sale Volume)
(สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2563)

รูปที่ 1.2 กราฟแสดงยอดขายรถยนต์ภายในประเทศ (Domestic Sale Volume)
(สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2563)

1.2 รายละเอียดเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตรถยนต์นั่งส่วนบุคคลขนาดใหญ่ในจังหวัดฉะเชิงเทรา มีโรงงานย่อยจำนวนทั้งสิ้น 2 โรงงาน โรงงานย่อยแห่งแรกก่อที่ตั้งขึ้นเมื่อปีพ.ศ. 2532 มีการผลิตรถยนต์นั่งส่วนบุคคลขนาดเล็กจำนวน 3 รุ่น กำลังการผลิตรวม 250,000 คันต่อปี โรงงานย่อยแห่งที่สองก่อตั้งขึ้นเมื่อปีพ.ศ. 2556 มีการผลิตรถยนต์นั่งส่วนบุคคลขนาดกลาง-ใหญ่จำนวน 3 รุ่น มีกำลังการผลิตรวมอยู่ที่ 80,000 คันต่อปี รถยนต์ที่ผลิตออกมามีการส่งจำหน่ายทั้งภายในประเทศ (Domestic) และส่งขายต่างประเทศ (Export) โดยส่งขายไปยังภูมิภาคเอเชีย , เอเชียตะวันออกกลาง และทวีปต่างๆ ทั่วโลก นอกจากนี้โรงงานกรณีศึกษายังมีการผลิตชิ้นส่วนเพื่อส่งขายเป็นอะไหล่ภายในประเทศ และต่างประเทศ

1.2.1 กระบวนการผลิตรถยนต์ในโรงงาน

กระบวนการผลิตของรถยนต์ ประกอบด้วย 5 กระบวนหลัก และ 3 กระบวนการย่อย รวมทั้งสิ้น 8 กระบวนการ ในแต่ละกระบวนการจะมีการติดตั้งระบบ และอุปกรณ์ที่ทันสมัยต่าง ๆ เพื่อลดมลพิษ และของเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการผลิตภายในโรงงานอย่างเป็นระบบ

1) กระบวนการพิมพ์ตัวถัง (Press shop)

กระบวนการพิมพ์ตัวถังถือเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการผลิตรถยนต์ โดยจะมีการนำแผ่นเหล็กมาพิมพ์ขึ้นรูปโดยมีแม่พิมพ์เป็นแบบในการพิมพ์ของแต่ละชิ้นส่วน เช่น ประตู และฝากระโปรง ซึ่งในกระบวนการนี้จะมีเครื่องจักรในการพิมพ์ทั้งหมด 3 ประเภท แบ่งตามขนาดของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) กระบวนการเชื่อมตัวถัง (Welding shop)

กระบวนการเชื่อมตัวถังเป็นกระบวนการที่อยู่ถัดมาจากกระบวนการพิมพ์ตัวถัง ชิ้นงานที่ผ่านการพิมพ์ขึ้นรูปจะถูกนำมาทำการเชื่อมให้ชิ้นส่วนติดกันจนกลายเป็นตัวถังรถยนต์ ในขั้นตอนจะนี้มีการใช้งานทั้งแรงงานคน และหุ่นยนต์ (Robot) เพื่อทำการเชื่อมในบริเวณที่ต้องการความแม่นยำสูง เมื่อทำการเชื่อมเสร็จสิ้นจะมีการตรวจสอบคุณภาพของตัวถังรถยนต์ก่อนที่จะส่งไปยังขั้นตอนต่อไป

3) กระบวนการพ่นสีตัวถัง (Paint shop)

กระบวนการพ่นสีตัวถังจะเริ่มต้นที่การนำตัวถังรถยนต์ไปชุบลงในบ่อกันสนิม (EDP) ด้วยวิธีการชุบระบบไฟฟ้า เพื่อปกป้องตัวถังรถยนต์ไม่ให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนจนทำ

ให้เกิดสนิม จากนั้นจะทำการซีลยาแนว (Sealer) ในบริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนตัวถังเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำจากการใช้งานรถยนต์ แล้วจึงทำการพ่นสีลงบนตัวถังรถยนต์ โดยจะมีการพ่นสีทั้งหมด 3 ชั้น เริ่มที่สีรองพื้น (Primer) , สีจริง (Base) และชั้นสีใส (Clear) เมื่อทำการพ่นสีเสร็จสิ้น ตัวถังรถยนต์จะถูกนำไปอบให้สีแห้งแล้วทำการตรวจสอบคุณภาพของสีก่อนที่จะส่งต่อไปยังกระบวนการต่อไป

4) กระบวนการประกอบชิ้นส่วน (Assembly shop)

ตัวถังรถยนต์ที่ได้ผ่านการทำสีเรียบร้อยแล้ว จะถูกส่งไปยังกระบวนการประกอบชิ้นส่วน ซึ่งจะมีการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ทั้งภายในตัวรถยนต์ (Interior) ตัวอย่างเช่น คอนโซลหน้ารถยนต์ , เครื่องเล่นเพลง และเบาะที่นั่งรถยนต์ รวมถึงภายนอกรถยนต์ (Exterior) เช่น โคมไฟหน้ารถยนต์ , ชุดยางอะไหล่ , ล้อรถยนต์ และเครื่องยนต์ แล้วจึงทำการติดเครื่องยนต์ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการก่อนที่จะส่งต่อไปยังกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ

5) กระบวนการจัดส่งชิ้นส่วน (Assembly logistics shop)

กระบวนการจัดส่งชิ้นส่วนเป็นกระบวนการสนับสนุนการจัดส่งชิ้นส่วนต่าง ๆ ของรถยนต์ให้กับกระบวนการประกอบชิ้นส่วน เริ่มต้นจากการรับชิ้นส่วนเข้ามายังโรงงานทั้งชิ้นส่วนที่มาจากภายในประเทศ (Local part) และชิ้นส่วนที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ (Import part) แล้วทำการแยกบรรจุภัณฑ์ออกมาเพื่อนำส่งไปยังแต่ละกระบวนการย่อยของแผนกประกอบชิ้นส่วน โดยมีรถที่ใช้ในการขนส่ง คือ รถขนส่งไฟฟ้า (E-car) ทำหน้าที่ขนส่งชิ้นส่วนไปส่งด้านข้างสถานีงานประกอบ

6) กระบวนการผลิตชิ้นส่วนช่วงล่าง (Part shop)

ชิ้นส่วนช่วงล่างของรถยนต์ เช่น ชุดโช๊คสปริง , คานหน้า และ คานหลัง ที่นำไปประกอบยังกระบวนการประกอบชิ้นส่วนล้วนแล้วแต่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนช่วงล่าง ที่มีลำดับการผลิตเริ่มต้นจากการรับวัตถุดิบมาจากกระบวนการพิมพ์ตัวถัง และ Supplier ชิ้นส่วนดังกล่าวจะถูกลำเลียงเข้าสู่กระบวนการเชื่อม และต่อด้วยขั้นตอนชุบสีกันสนิม แล้วส่งต่อไปยังกระบวนการประกอบชิ้นส่วนย่อย ก่อนเสร็จสิ้นจะมีขั้นตอนในการตรวจสอบคุณภาพ และทำการขนส่งต่อไปยังแผนกประกอบชิ้นส่วนเพื่อนำไปประกอบเข้ากับตัวรถยนต์ต่อไป

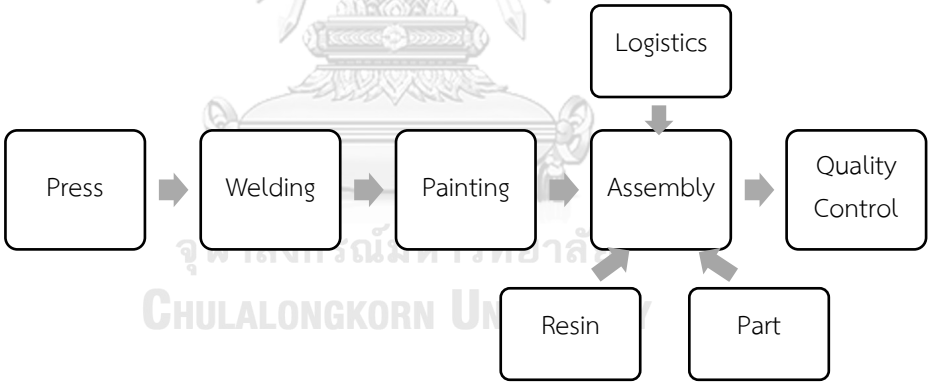
7) กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Resin shop)

กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเป็นกระบวนการสนับสนุนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกที่ใช้ในรถยนต์ ได้แก่ กันชนหน้า , กันชนหลัง และคอนโซล เริ่มต้นจากการฉีดเม็ดพลาสติกขึ้นรูปผ่านเครื่อง Injection molding แล้วส่งต่อไปยังขั้นตอนการพ่นสี และประกอบชิ้นส่วนย่อย จากนั้นจึงทำการตรวจสอบคุณภาพ ก่อนที่จะส่งต่อไปยังแผนกประกอบชิ้นส่วน

8) กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ (Quality Control shop)

เมื่อทำการประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเสร็จสิ้น รถยนต์จะถูกขับเคลื่อนไปยังแผนกสุดท้าย คือแผนกควบคุมคุณภาพของรถยนต์ (Quality Control shop) เพื่อทำการตรวจสอบตัวรถทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของ Appearance , Functional , Safety defect และ Testing Static/Dynamic ก่อนที่จะทำการส่งมอบให้กับลูกค้าต่อไป

เมื่อรถยนต์ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเสร็จสิ้น รถยนต์จะถูกส่งต่อไปยังหน่วยงาน Vehicle Logistics เพื่อเตรียมขนส่งไปยังตัวแทนจำหน่ายทั่วประเทศ ดังแสดงในแผนผังกระบวนการรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แผนผังกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนภายในโรงงาน

1.3 การศึกษาสภาพปัญหา และความสำคัญของปัญหาในปัจจุบัน

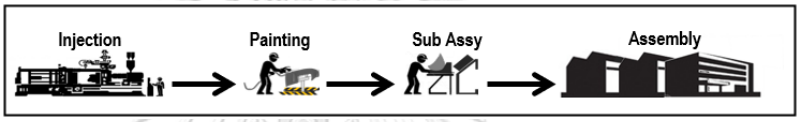
ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในส่วนงานของกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกหรือเรียกว่า “Resin shop” อันเป็นกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกที่ใช้ในรถยนต์ โดยใช้เครื่องจักรในการฉีดขึ้นรูปพลาสติกขึ้นมาเป็นชิ้นส่วนของรถยนต์ ตัวอย่างเช่น

- กันชนหน้ารถยนต์ (Front bumper)
- กันชนหลังรถยนต์ (Rear bumper)

- กันชนด้านข้าง (Rocker mold)
- คอนโซลหน้ารถยนต์ (Instrument panel)

สำหรับกระบวนการผลิตของกันชนหน้า-หลังของรถยนต์ รวมไปถึงชิ้นส่วนคอนโซลภายในรถยนต์ มีความคล้ายคลึงกัน โดยสามารถสรุปกระบวนการผลิตได้ดังนี้

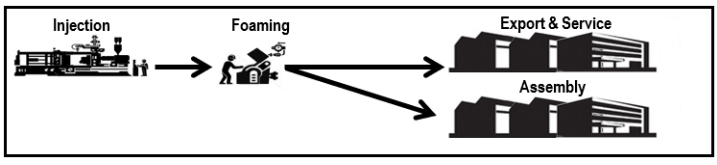
1) กันชนหน้า-หลัง (Front , Rear Bumper) เป็นกลุ่มชิ้นส่วนที่เริ่มต้นจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปแบบ Injection machine จากนั้นชิ้นส่วนดังกล่าวจะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการพ่นสีโดยใช้แรงงานคนในการพ่นสีทั้งหมด 8 สถานีการพ่น สีที่ใช้จะมี 3 ชั้น เมื่อทำการพ่นสีเสร็จสิ้น ชิ้นงานจะถูกส่งไปทำการประกอบชิ้นส่วนอาทิเช่น เซนเซอร์หลัง ชิ้นส่วนย่อยของกันชนจะถูกประกอบเข้ากับตัวกันชน แล้วส่งต่อไปยังขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ (QC) ในขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่จะส่งต่อไปยังลูกค้าหรือแผนกประกอบชิ้นส่วนที่จะนำชิ้นส่วนดังกล่าวไปทำการประกอบเป็นตัวรถต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ขั้นตอนการผลิตของผลิตภัณฑ์กันชนหน้า-หลัง

2) คอนโซลภายในรถยนต์ (Instrument panel) เป็นกลุ่มชิ้นส่วนที่เริ่มทำการผลิตด้วยการฉีดขึ้นรูปแล้วส่งต่อไปยังกระบวนการทำโฟม (Foaming) โดยใช้เครื่องจักรในการอบรีดแผ่นหนังเข้ากับตัวคอนโซลเพื่อตกแต่งคอนโซลรถยนต์ให้มีความสวยงาม ก่อนส่งต่อไปยังแผนกประกอบชิ้นส่วนเพื่อนำไปประกอบเข้ากับตัวรถ หรือนำส่งไปยังแผนกส่งออกชิ้นส่วนเพื่อนำส่งไปขายที่ต่างประเทศ

ความแตกต่างของกระบวนการผลิตของสองกลุ่มผลิตภัณฑ์อยู่ที่กระบวนการพ่นสีซึ่งจะมีเฉพาะในกลุ่มกันชนหน้า-หลังเท่านั้น และในทางกลับกันกลุ่มของคอนโซลภายในรถยนต์จะมีกระบวนการทำโฟมซึ่งไม่ปรากฏในการผลิตกันชนหน้า-หลัง ดังแสดงในรูปที่ 1.4 และ 1.5



รูปที่ 1.5 ขั้นตอนการผลิตของผลิตภัณฑ์คอนโซลภายในรถยนต์

ผู้วิจัยเข้าไปศึกษาภายในกระบวนการผลิตของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยปัจจุบันกระบวนการผลิตมีการควบคุมความสามารถทางการผลิตผ่านตัวแปรชี้วัด (KPIs) ทั้งสิ้น 4 หัวข้อ อันประกอบไปด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

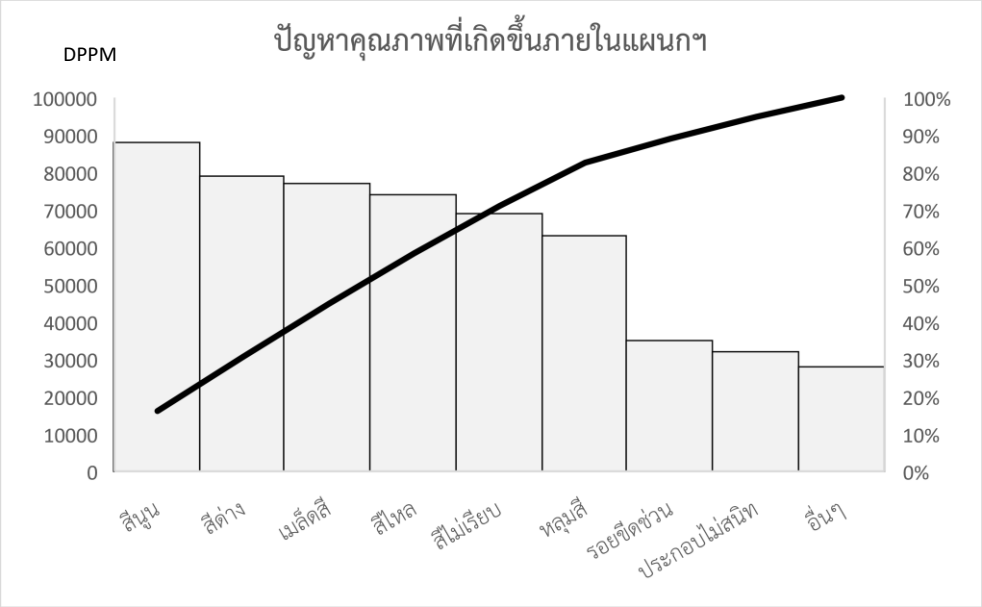
1) Safety หรือ ความปลอดภัยในการทำงานประกอบไปด้วยการสถานีการทำงานที่ออกแบบบนพื้นฐานของความปลอดภัย โดยมีเป้าหมายคือปราศจากการเกิดอุบัติเหตุในงาน (On job accident) หรืออุบัติเหตุภายนอกงาน (Off job accident)

2) Quality หรือ คุณภาพของสินค้าที่ดี ตรงตามความต้องการของลูกค้า หรือตามคุณสมบัติ (Specification) ของชิ้นส่วนนั้น ตัวอย่างเช่น ความหนาของชั้นสี ความเรียบ และความเที่ยงตรงของสี

3) Productivity หรือการควบคุมผลผลิตสามารถวัดผลโดยยอดการผลิตเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด โดยปราศจากการหยุดของสายการผลิต

4) Cost หรือ ต้นทุนการผลิต กล่าวคือสามารถผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพออกมาภายใต้ต้นทุนมาตรฐาน ไม่ก่อให้เกิดต้นทุนที่สูญเปล่า รวมถึงเป้าหมายในการทำกิจกรรมลดต้นทุนตามนโยบายในแต่ละปีของบริษัท

ปัจจุบันแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกสามารถควบคุมตัวแปรชี้วัดความสามารถของกระบวนการผลิตในหัวข้อ Safety หรือความปลอดภัยในการทำงานได้เป็นอย่างดีโดยออกแบบสถานีการทำงานตามหลักกการความปลอดภัยร่วมกับหลักการของการยศาสตร์ หัวข้อ Productivity หรือการควบคุมปริมาณผลผลิตที่ต้องการต่อวันให้ได้ตามเป้าหมายสามารถบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามในหัวข้อ Quality ยังคงมีปัญหาคุณภาพที่ลูกค้าพบเจอ เช่น ปัญหาสีไหล สีด่าง สีเป็นเมล็ด และหัวข้อของ Cost หรือต้นทุนการผลิตส่วนเกินจากปัญหาคุณภาพ หรือปัญหาในเรื่องของการใช้วัตถุดิบทางตรง และวัตถุดิบทางอ้อมมากเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จะมุ่งทำการศึกษาและทำการแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อ Quality และ Cost เป็นหลัก



รูปที่ 1.6 กราฟพาเรโต้ของปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้นภายในแผนกฯ

อ้างอิงจากข้อมูลในกราฟพาเรโต้ของปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้นภายในแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกดังรูปที่ 1.6 ทำการเก็บข้อมูลในเดือน กรกฎาคม 2563 สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าปัญหาคุณภาพลำดับต้นๆ ของแผนก มีความเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการพ่นสีภายในแผนก ซึ่งมีเพียงกลุ่มผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียวที่ทำการพ่นสีคือกลุ่มของกันชนรถยนต์ ปัญหาของการพ่นสีนับเป็นปัญหาเรื้อรังตั้งแต่ก่อตั้งโรงงานจนถึงปัจจุบัน จากการที่ได้ปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญของแผนกฯ ลักษณะของปัญหาจะเกี่ยวข้องกับพื้นผิวของชั้นสีที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพ เนื่องจากปริมาณของสีที่ไปติดอยู่บนตัวชิ้นงานมีลักษณะที่ไม่คงที่ จึงส่งผลก่อให้เกิดปัญหาจำพวกสีไหล, สีนูน, สีไม่เรียบ ที่การเกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับการควบคุมความหนาของชั้นสีให้ได้ตามเป้าหมายตามคุณสมบัติที่ลูกค้ากำหนด

ดังนั้นจากผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญกับการแก้ไขปัญหาของขั้นตอนการพ่นสี โดยการศึกษาความหนาของชั้นสี อันเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพ เช่น สีนูน สีไหล สีไม่เรียบ

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของความหนาชั้นสีร่วมกับปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้อง และนำเครื่องมือทางสถิติเข้ามาร่วมแก้ไขปัญหาคุณภาพเพื่อปรับปรุงปัญหาคุณภาพของแผนกรวมถึงสามารถลดต้นทุนที่สูญเสียลงได้

1.5 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะชิ้นส่วนที่ผลิตภายในแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก เท่านั้น

1.5.2 งานวิจัยนี้จะทำการทดลองเฉพาะชิ้นส่วนของรุ่นเดียวเท่านั้น

1.5.3 ศึกษาเฉพาะบริเวณกระบวนการภายในแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก

1.5.4 ขั้นตอนการทดลองพ่นสีใช้พนักงานผู้ฝึกสอนประจำแผนก เท่านั้น

1.6 ผลที่ได้รับ

1.6.1 สามารถทราบความแปรปวนที่เกิดขึ้นภายในแผนกที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพ และต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้น

1.6.2 ทราบปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญและทราบถึงจุดที่เหมาะสมที่สุดที่จะสามารถปรับปรุงปัญหาด้านคุณภาพ และต้นทุนที่สูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.7.1 ใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับสายการผลิตของโรงงาน เพื่อดำเนินการขยายผลไปยังส่วนงานอื่น ๆ ภายในโรงงานในการทำกิจกรรมปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง

1.7.2 สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ปัญหาคุณภาพลดลงส่งผลให้ต้นทุนที่สูญเสียลดน้อยลง และสามารถแข่งขันกับคู่แข่งในอุตสาหกรรมยานยนต์ได้

1.8 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

1.8.1 วางแผนโครงการ (Plan)

- ปรึกษากับผู้บริหารของโรงงานถึงสถานการณ์ และความต้องการในปัจจุบันเพื่อทำการเลือกหัวข้อของการปรับปรุงกระบวนการ ตลอดจนร่วมกันตัดสินใจจัดลำดับเรื่องที่มีความสำคัญสูงสุดที่จำเป็นที่จะต้องปรับปรุง
- ทำการจัดตั้งคณะทำงานโดยมีผู้จัดทำงานวิจัยเป็นหัวหน้าคณะทำงาน และมีผู้บริหารของโรงงานร่วมให้คำปรึกษา
- จัดทำแผนงาน (Action plan) เพื่อควบคุมแผนการทำงานให้เป็นไปตามเวลาที่กำหนดไว้

1.8.2 การชี้ปัญหาที่มีอยู่ในปัจจุบัน (Clarify the problem)

- ศึกษาความแปรปวนภายในกระบวนการทั้งหมดและนำมาจำแนกเป็นส่วน ๆ เพื่อที่จะไล่เรียงตามลำดับของความสำคัญ
- ทำการศึกษาปัญหาโดยละเอียดในเรื่องของความแปรปวนที่สนใจ
- ทราบถึงช่องว่างระหว่างสิ่งที่ควรเป็น และสิ่งที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.8.3 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ปัญหา (Break down the problem)

- ศึกษากระบวนการผลิตโดยละเอียด
- ทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้เครื่องมือ “5W1H”

1.8.4 กำหนดเป้าหมายของแผนงาน (Target setting)

- กำหนดเป้าหมายหลัก (Main KPIs)
- กำหนดเป้าหมายรอง (Sub KPIs)

1.8.5 การวิเคราะห์หาต้นตอของปัญหา (Analysis the root cause)

- ทำการระดมความคิด (Brainstorming) ระหว่างผู้จัดทำและผู้เชี่ยวชาญในเรื่องต่าง ๆ เพื่อระบุปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง
- วิเคราะปัญหาโดยใช้เครื่องมือ “4M” (Man , Machine , Method , Material)
- วิเคราะห์ปัญหาโดยใช้เครื่องมือเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA)
- ทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)
- กระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้เครื่องมือทางสถิติต่าง ๆ เช่น ANOVA , Multiple Regression
  เพื่อทราบถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรทำเข้าต่างๆกับค่า Y
- ทำการหาค่าของปัจจัยนำเข้าที่ดีที่สุดโดยใช้ “Response Optimizer”

1.8.6 การพัฒนาแผนการปรับปรุง (Develop countermeasures)

- เลือกค่าของปัจจัยนำเข้าที่จะนำเข้าไปสู่กระบวนการทดลอง
- นำค่าของปัจจัยนำเข้าที่ปรับปรุงไปทำการเปลี่ยนแปลงค่าภายในกระบวนการผลิต
- ทำการทดลองและจัดเก็บผลการทดลอง

1.8.7 ผลลัพธ์ของการปรับปรุง (See countermeasures through)

- ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนและหลังปรับปรุง
- นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ในเชิงสถิติ
  เช่น Descriptive statistic , T- test , Process capability เป็นต้น

1.8.8 การประเมินผลลัพธ์และกระบวนการ (Evaluate both results and process)

- ทำการประเมินผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง
- แก้ไขหรือปรับปรุงกระบวนการอีกครั้งเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น

1.8.9 สร้างมาตรฐานของงานที่ประสบความสำเร็จ (Standardize successful process)

- จัดทำแผนงานมาตรฐาน (Standardized work sheet) ให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานนำไปใช้งานได้ในกระบวนการผลิต
- จัดทำแผนงานที่จะนำไปขยายผลต่อในกระบวนอื่น ๆ ที่มีลักษณะการทำงานเดียวกัน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการลดต้นทุนของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก ให้สอดคล้องกับสถานการณ์ของอุตสาหกรรมยานยนต์ในปัจจุบัน และนโยบายของผู้บริหารระดับสูงในการรักษาผลกำไรของบริษัทกรณีศึกษา โดยการลดต้นทุนของกระบวนการผลิตจึงจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการค้นหาแนวคิด และวิธีการในการลดต้นทุนประเภทต่าง ๆ รวมถึงการศึกษาเครื่องมือทางสถิติที่จำเป็นต้องใช้ในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.1 เครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อนำมาใช้แก้ไขปัญหาในงานวิจัย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นการศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่มีหัวข้อเกี่ยวกับการลดต้นทุนในกระบวนการผลิต ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการพ่นสี และชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต

2.1 เครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1.1 การระดมสมอง (Brainstorming) (ประชาสรรณ์, 2004)

ความเป็นมาของการระดมสมอง เป็นกระบวนการหนึ่งในการให้ได้มาซึ่งแนวคิดโดยใช้ความคิดสร้างสรรค์เพื่อพยายามหาข้อสรุป ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Osborn (2473) ในขณะที่ดำรงตำแหน่งเป็นผู้บริหารในบริษัทโฆษณาอันมีชื่อเสียงในช่วงปลายยุค พ.ศ. 2473 เขามีความเชื่อว่าองคกรใดๆ ก็ตามจะประสบความสำเร็จได้ก็ด้วยการคิดสร้างสรรค์ดังที่เขาได้กล่าวไว้ว่า “จินตนาการ เป็นหน้าที่ขั้นพื้นฐานของมนุษยชาติ” นอกจากนี้เขายังได้กล่าวว่า ในสถานการณใดๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในที่ประชุมความคิดใหม่ๆ ล้วนแล้วแต่ถูกทำลายด้วยพฤติกรรมบางอยางของคนบางพวกที่ไม่สามารถยอมรับความคิดของบุคคลอื่นๆ โดยเฉพาะหากแนวคิดใหม่ๆ นั้นไม่มีน้ำหนักหนักแน่นพอหรือได้รับการเสนอจากผู้ที่ไม่มีตำแหน่งหรืออำนาจ ดังนั้นเขาจึงได้เสนอแนวทางที่จะช่วยละลายพฤติกรรมเหล่านั้นพร้อมให้ทุกคนสามารถปลดปล่อยความคิดสร้างสรรค์ของตนออกมาได้อย่างเต็มความสามารถด้วยกระบวนการอันแสนง่ายที่มีกฎว่าให้ทุกคนชวยกันระดมแนวคิดต่างๆ ออกมาให้มากที่สุดภายในกรอบระยะเวลาที่กำหนดซึ่งไม่นานมากจนเกินไป จากนั้นจึงผ่านกระบวนการกรองเพื่อเอาแนวความคิดชั้นยอดออกมาในท้ายสุด จากเหตุดังกล่าวทำให้วิธีการระดมสมองความคิดนี้ให้รับความนิยมแพร่หลายออกไปอย่างกว้างขวางในเวลาไม่ช้า เพราะสามารถที่จะนำไปใช้และเป็นประโยชน์ต่อองค์กรต่างๆได้เป็นอย่างดี

กฎในการระดมสมองโดย Osborn (2473)

1) ห้ามวิจารณ์

กระบวนการการตัดสินแนวความคิดใด ๆ ของแต่ละคนที่นำเสนอมาจะกระทำได้ก็ต่อเมื่อภายหลังจากจบขั้นตอนของการระดมความคิดได้เสร็จสิ้นไปแล้วเท่านั้น

2) อนุญาตให้เสนอความคิดแบบออกนอกลู่นอกทางได้

การเสนอความคิดที่ยิ่งออกนอกกรอบจำกัดมากเท่าใดก็ยิ่งดีเพื่อที่จะให้ได้แนวความคิดแนวความคิดที่แปลกใหม่ และสามารถต่อยอดไปได้ แทนที่จะเงียบอยู่ไม่กล้าแสดงความคิดเห็นใดๆ

3) ปริมาณมากๆ เข้าไว้

การเสนอแนวความคิดยิ่งมากโอกาสที่จะไปสูผลลัพธ์ที่คาดหวังไว้จะมากยิ่งขึ้น

4) รวบรวมและปรับปรุง

ผู้เข้าร่วมจะต้องช่วยกันปรับปรุงแนวคิดที่ช่วยกันระดมให้ดียิ่งขึ้น และหากมีการนำเอาแนวคิด 2 อย่างมารวมกันก็ถือได้ว่าเป็นแนวคิดใหม่เช่นกัน

งานวิจัยนี้จะนำหลักการระดมสมองเข้าไปช่วยในการทำงานร่วมกันเป็นทีมเพื่อหาข้อสรุปในเรื่องของการค้นหาปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่กำลังแก้ไข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.2 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) (ประชาสรรณ์, 2004)

แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) มีความสามารถในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจที่ก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าวนั้น (Possible Cause) เราอาจคุ้นเคยกับแผนผังสาเหตุและผลในชื่อของ ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) เนื่องจากหน้าตาแผนภูมิมีลักษณะคล้ายปลาที่เหลือแต่ก้างหรือหลายๆ คนอาจรู้จักในชื่อของแผนผังอิชิกาว่า (Ishikawa Diagram) ซึ่งได้รับการพัฒนาครั้งแรกโดย Ishikawa (2486) แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว

เมื่อไรจึงจะใช้แผนผังสาเหตุและผล

1) เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้ปัญหาเกิดขึ้น

2) เมื่อต้องการทำการศึกษาทำความเข้าใจหรือทำความรู้จักกับกระบวนการอื่น ๆ เพราะเมื่อมีการทำผังก้างปลา จะทำให้เราสามารถรู้กระบวนการของแผนกอื่นได้ง่ายขึ้นเพื่อที่จะใช้แก้ไขปัญหาที่พนักงานรู้ปัญหาเฉพาะในพื้นที่ของตนเท่านั้น

3) เมื่อต้องการให้เป็นแนวทางในการระดมสมองซึ่งจะช่วยให้ทุก ๆ คนให้ความสนใจในปัญหาของกลุ่มแสดงไว้ที่หัวปลา และช่วยกันระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุต่างๆที่ทำให้เกิดปัญหานั้นขึ้น

วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผลหรือผังก้างปลา

สิ่งสำคัญในการสร้างแผนผังคือต้องทำเป็นทีมหรือเป็นกลุ่มโดยใช้ขั้นตอน 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) กำหนดชื่อของปัญหาที่หัวปลาให้ชัดเจน

2) กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ เช่น 4M

3) ระดมสมอง (Brainstorming) เพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย

4) หาสาเหตุหลักของปัญหา (Root cause analysis)

5) จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ (Ranking Priority)

6) หาแนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผล

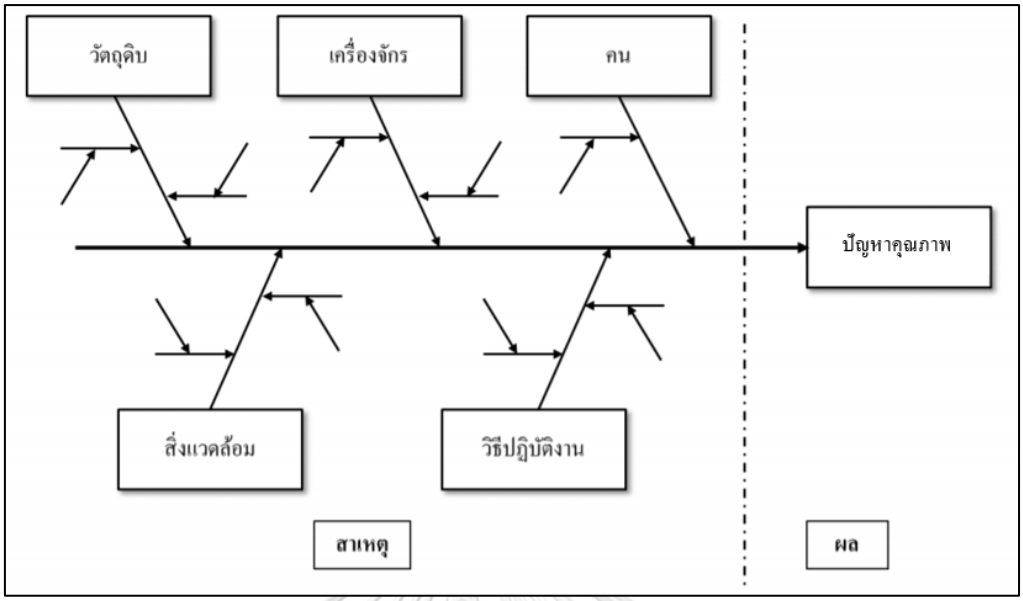
ผังก้างปลาประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ส่วนปัญหา หรือผลลัพธ์ (Problem or Effect) ซึ่งจะแสดงอยู่ที่หัวปลา

2) ส่วนสาเหตุ (Causes) จะสามารถแยกย่อยออกได้อีกเป็น

- ปัจจัย (Factors) ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา (หัวปลา)
- สาเหตุหลัก
- สาเหตุย่อย

สาเหตุของปัญหาจะเขียนไว้ในก้างปลาแต่ละก้าง ก้างย่อยเป็นสาเหตุของก้างรองและก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลักเป็นต้น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผล
(ประชาสรรณ์, 2004)

การกำหนดปัจจัยบนก้างปลา

เราสามารถที่จะกำหนดกลุ่มปัจจัยอะไรก็ได้แต่ต้องมั่นใจว่ากลุ่มที่เรากำหนดไว้เป็นปัจจัยนั้นสามารถที่จะช่วยให้เราแยกแยะและกำหนดสาเหตุต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ และเป็นเหตุเป็นผลโดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) เพื่อจะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ ซึ่ง 4M 1E นี้มาจาก Man คน หรือพนักงาน - Machine เครื่องจักร – Material วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการ - Method กระบวนการทำงาน - Environment สภาพแวดล้อม และบรรยากาศการทำงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การกำหนดหัวข้อปัญหาที่หัวปลา

การกำหนดหัวข้อปัญหาควรกำหนดให้ชัดเจน หากเรากำหนดประโยคปัญหานี้ไม่ชัดเจนตั้งแต่แรกจะทำให้เราใช้เวลามากในการค้นหาสาเหตุและจะใช้เวลานานในการทำผังก้างปลาการกำหนดปัญหาที่หัวปลา เช่น อัตราของเสีย ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่นค่า Cp Cpk SD ที่ยังไม่ได้ตามเป้าหมาย เป็นต้น จะเห็นได้ว่าควรกำหนดหัวข้อปัญหาในเชิงลบ เทคนิคการระดมความคิดเพื่อจะได้ก้างปลาที่ละเอียดสวยงามคือการถามทำไม ทำไม ทำไม ในการเขียนแต่ละก้างย่อย ๆ

ข้อดีของแผนภูมิก้างปลา

1) แผนภูมิก้างปลาใช้ในการรวบรวมความคิดของสมาชิกทุกคนโดยสามารถแบ่งแยกความคิดเป็นหมวดหมู่ต่างๆ

2) ทำให้ทราบสาเหตุหลัก และสาเหตุย่อยของปัญหาเพื่อทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาทำให้เราสามารถแก้ปัญหาได้ถูกวิธี

ข้อเสียของแผนภูมิก้างปลา

1) ความคิดไม่อิสระเนื่องจากมีแผนภูมิก้างปลาเป็นตัวกำหนดความคิดของสมาชิกในทีมจะมารวมอยู่ที่แผนภูมิก้างปลา

2) ต้องใช้ผู้ที่มีความสามารถสูงในการระดมความคิด

งานวิจัยในครั้งนี้จะนำแผนผังแสดงเหตุและผลเข้าไปใช้ในขั้นตอนของการหาต้นตอของปัญหา (Rootcause analysis) โดยมีการวิเคราะห์ในรูปแบบของ 4M เพื่อแยกประเภทของสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา

2.1.3 การประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis)

(นภัสสวงศ์, 2559)

การประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินความสามารถของกระบวนการ ที่เราสนใจในเชิงความแปรปวนของกระบวนการ หรือการหาความสามารถในการเข้าใกล้เป้าหมายของกระบวนการ โดยกระบวนการที่ดีจะมีคุณสมบัติที่สำคัญ 4 ประการ คือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1) กระบวนการมีความเสถียร (Stable)
2) สัดส่วนของเสียในกระบวนการต่ำ (Small proportion of defectives)
3) ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (Mean on target)
4) ความแปรปวนของกระบวนการต่ำ (Low variation)

การประเมินค่าความสามารถของกระบวนการมักชี้วัดจากหลายตัวชี้วัดประกอบกัน เช่น อัตราส่วนของชิ้นงานที่เสียต่อชิ้นงานที่ผลิตได้ทั้งหมด (Defect rate) อัตราส่วนของของดีต่อของที่ผลิตทั้งหมด (%Yield) และค่า Process capability index (Cp และ Cpk) ซึ่งถูกนิยามไว้ ดังนี้

Cp คือ ค่าที่บ่งบอกถึงอัตราส่วนของการกระจายตัว (USL – LSL) เมื่อเทียบกับ 6 sigma หากกระบวนการใดๆ มีการกระจายตัวที่ต่ำ ค่า Cp จะมีค่าสูง หรือกล่าวได้ว่า กระบวนการนั้นๆ มีความสามารถที่ดี โดยสมการที่ 1 เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่า Cp เมื่อกำหนดให้ USL แทน

ขอบเขตของข้อกำหนดด้านบน LSL แทนขอบเขตของข้อกำหนดด้านล่าง และ σ แทนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการที่สนใจ

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

Cpk คือ ค่าเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกระบวนการ กับค่าขอบเขตกำหนดเฉพาะด้านใดด้านหนึ่งที่ใกล้ที่สุด หากกระบวนการใดๆ มีการกระจายตัวที่ต่ำ ค่า Cpk จะมีค่าที่สูง หรือกล่าวได้ว่า กระบวนการนั้นๆ มีความสามารถที่ดี ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าได้โดยใช้สมการที่ 2-4

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (2)$$

$$C_{pu} = \frac{USL-\mu}{3\sigma} \quad (3)$$

$$C_{pl} = \frac{\mu-LSL}{3\sigma} \quad (4)$$

อัตราส่วนของเสียต่อหน่วย คือค่าของอัตราส่วนของจำนวนของเสียในการผลิตของผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น (DPU : Defect per unit) โดยมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 5

$$\text{DPU} = \frac{\text{จำนวนทั้งหมดของข้อบกพร่อง}}{\text{จำนวนทั้งหมดของหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ผลิต}} \quad (5)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.4 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology)

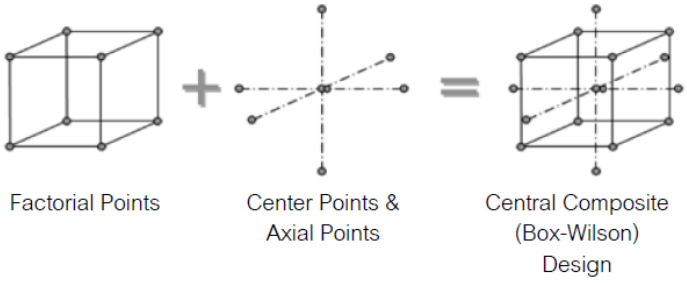
(ปารเมศ, 2545)

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology หรือ RSM) เป็นวิธีการออกแบบการทดลองรูปแบบหนึ่ง ซึ่งที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ และสถิติเข้ามาช่วยในการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่มีตัวแปรจำนวนมาก ในปัญหาพื้นผิวตอบสนองส่วนใหญ่ ผู้ทำการทดลองมักจะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนอง และตัวแปรอิสระ ผู้ทดลองจึงจำเป็นต้องหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการหาค่าความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างค่าตอบสนองและตัวแปรอิสระที่พิจารณา

1) Central Composite Design (CCD)

Central Composite Design เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรตอบสนอง ที่มีลักษณะความสัมพันธ์แบบเส้นโค้งโพลิโนเมียลกำลังสอง (Second-Order Model) การทดลองรูปแบบนี้เป็นการทดลองที่ 3 ระดับ และมีการกำหนดค่าของแต่ละระดับเป็น -1, 0, และ +1 การทดลองแบบ CCD มีข้อดี คือ ผู้ทดลองสามารถเลือกบาง Runs หรือบางสภาวะการทดลองที่จำเป็น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการสร้างแบบจำลองทางสถิติได้ วิธีการนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่มีข้อจำกัดด้านเวลา จำนวน Run และการทดลองที่มีต้นทุนสูง

การศึกษา Central Composite Design ทั้งหมดตัวแปร 3 ตัว สามารถแสดงดังรูป ซึ่งจะเห็นได้ว่าการออกแบบการทดลองจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ 1) Factorial Points ซึ่งในที่นี้เป็นการนำ 2-Level Full Factorial มาเป็นส่วนหนึ่งของการทดลอง 2) Axial Points เป็นการปรับค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งในขณะที่ Fix ให้ค่าตัวแปรอื่นอยู่ที่ค่ากลาง 3) Center Points เป็นการปรับค่าของตัวแปรทุกตัวแปรที่ค่ากลาง โดยมีการเลือกค่า Alpha = 1 หรือ ระยะจาก Axial Point ไปยัง Center Point เป็น 1 ซึ่งค่าดังกล่าวมักจะเหมาะสมในทางปฏิบัติ (บางครั้งเรียก design ที่ alpha = 1 แบบนี้ว่า face centered design) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 Central Composite Design สำหรับ 3 Factors

2) Box-Behnken Design

การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken เป็นการออกแบบการทดลองแบบ 3 ระดับ เพื่อใช้ในการสร้างพื้นผิวตอบ และถูกสร้างขึ้นโดยการรวมกันระหว่างการออกแบบแฟกทอเรียล 2k กับการออกแบบ Block ที่ไม่บริบูรณ์ หากเปรียบเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) นั้น การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken จะมีข้อดีกว่าในด้านของความยืดหยุ่นของการทดลอง เนื่องจากการออกแบบการทดลองแบบ CCD จะใช้จุดศูนย์กลางเพื่อคำนวนตัวประมาณของค่าความผิดพลาดเฉพาะจุดศูนย์กลางที่ถูกรันในบล็อกเดียวกันเท่านั้น แต่ในการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design จะไม่มีการรวมที่จุดใดจุดหนึ่งของลูกบาศก์ หากแต่จะมีการควบคุมด้วยขีดจำกัดบนและล่างแทน ซึ่งเหมาะกับการทดลองที่มีต้นทุนในการทดลองสูง

ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken เนื่องจากเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพ และเป็นที่นิยมสำหรับศึกษาปัจจัยที่ 3 ระดับ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยเชิงปริมาณ (Quantitative factors) เช่น ความหนาของชั้นสีที่พ่น และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบสี

งานวิจัยนี้จะนำเครื่องมือทางสถิติที่ได้ศึกษาและทบทวนมาในเรื่องของวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) และการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) เพื่อนำไปปรับปรุงปัจจัยนำเข้าต่าง ๆ ที่มีผลต่อตัวแปรที่สนใจเพื่อที่จะสามารถปรับค่าให้เข้าสู่ค่าที่ควบคุมได้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 แนวโน้มของกระบวนการพ่นสีของอุตสาหกรรมรถยนต์ในอนาคต (Schulz, 2013)

สีรถยนต์มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันพื้นผิวของตัวรถยนต์ และช่วยเสริมความสวยงามของภาพลักษณ์ภายนอกให้แก่ตัวรถยนต์ เพื่อตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าในรูปแบบของสีประเภทต่าง ๆ เช่น สีเมทัลลิค , สีโซลิด และสีขาวมุข ที่มีความนิยมในปัจจุบัน ในขณะที่ความต้องการของลูกค้ามีความหลากหลายมากขึ้น ทางด้านของโรงงานผลิตรถยนต์ กระบวนการพ่นสีเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานมากที่สุด และต้นทุนการใช้สีก็มีมูลค่าที่มาก ภายในโรงงานผลิตกระบวนการพ่นสีรถยนต์จำเป็นต้องใช้งานเตาอบสีซึ่งใช้ความร้อนสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีในสมัยใหม่ ๆ เพื่อจะสามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า หรือมีประสิทธิภาพสูงสุด และยังคงรักษาคุณภาพของกระบวนการผลิตได้สมบูรณ์ ส่วนเรื่ององค์ประกอบของสีและสารเคลือบสีนั้นยังคงเป็นความท้าทายของวงการอุตสาหกรรมรถยนต์ที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานการสึกหรอทางกายภาพ , เคมี และกลศาสตร์ ภายใต้แรงกดดันในการแข่งขันด้านต้นทุนการผลิตระดับโลก การจัดกระบวนการผลิตด้วยการวางแผนผังในการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสูด และมีการนำเรื่อง nano-ceramic pretreatment เข้ามาใช้ในกระบวนการ เพื่อประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดการปล่อยมลพิษ ในด้านสิ่งแวดล้อมนั้นสารเคลือบที่ใช้ในการจุ่มตัวรถลงไปในสีประกอบไปด้วยสาร Solvent ที่น้อยกว่า 1% และไม่มีสาร tin เพื่อรองรับกับกฎหมายของ Europe

เทคโนโลยีเรื่อง Skid-free conveyer ยังแพร่หลายไม่เฉพาะแต่กระบวนการ pretreatment แต่รวมถึงกระบวนการ coating เพราะสามารถช่วยลดการใช้งานพลังงานลงได้ เนื่องจากความร้อนที่สูญเสียไปกับการใช้งาน skid ที่ใหญ่ในเตา oven. และสายพานการผลิตของการพ่นสีส่วนใหญ่จะใช้สีที่มีส่วนผสมของน้ำเป็นตัวทำละลาย (water-based paint) เป็นหลักเนื่องจากนโยบายการรักษาสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่าสีแบบที่ใช้ Solvent เป็นตัวทำละลาย (Solvent-containing) แต่ยังคงมีการปรับปรุงที่ได้ผลดีกว่าคือการทำกระบวนการพ่นสีแบบ wet-on-wet application เป็นรูปแบบการพ่นสีทั้งสามชั้น เริ่มต้นจากสี

รองพื้น (primer) , สีจริง (Base) และสีใส (Clear) ทำการพ่นไปโดยที่ยังไม่ผ่านการอบเพื่อทำให้แห้งสนิทเลยในทันที ผลที่ได้ดีกว่าทั้งในเรื่องของกระบวนการผลิตที่สั้นกว่า และสามารถลดการใช้งานพลังงานลดได้และมีการปล่อยมลพิษที่ต่ำลง

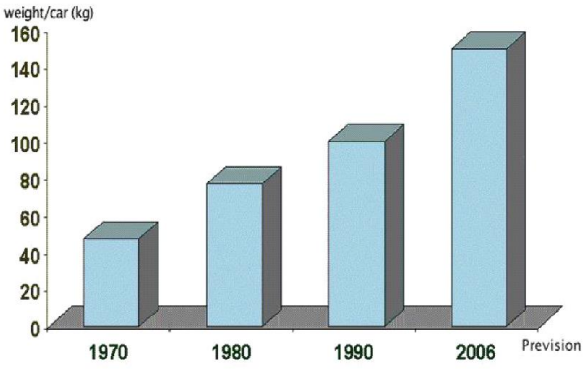
การลดการสูญเสียจากกระบวนการพ่นสีในรูปแบบของการใช้ปืนพ่น โดยจะมีการคำนวณระดับของประสิทธิภาพการใช้งานสีให้มากกว่า 90% ทั้งในรูปแบบของการพ่นสีโดยใช้หุ่นยนต์และการใช้คนในการพ่นเพื่อที่จะลดปริมาณการใช้สีในกระบวนการผลิตจะส่งผลต่อต้นทุนของกระบวนการผลิตโดยตรงนั้นเอง

แนวทางในการปรับปรุงดังกล่าวทางผู้วิจัยได้นำไปทำการเสนอต่อผู้บังคับบัญชาแต่ยังไม่สามารถนำมาใช้ได้ในงานวิจัยครั้งนี้เนื่องจากจำเป็นต้องลงทุนอุปกรณ์ในการปรับกระบวนการ จึงนำไปพิจารณาอีกครั้งในอนาคต

2.2.2 วัสดุพอลิเมอร์สำหรับการใช้งานด้านยานยนต์ (Patil, Patel, & Purohit, 2017)

การใช้งานวัสดุพลาสติกคุณภาพสูงกำลังเป็นเรื่องที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมรถยนต์ เนื่องจากสามารถตอบโจทย์การใช้งาน (functionality) มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และมีน้ำหนักที่เบาส่งผลต่ออัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงที่ดีขึ้น หากเราสามารถลดน้ำหนักของตัวรถลงได้ประมาณ 10% ส่งผลให้อัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงดีขึ้นประมาณ 5-7% และช่วยลดการกัดกร่อนระยะยาวซึ่งหากเทียบกับวัสดุที่เป็นเหล็ก อายุการใช้งานของพลาสติดจะอายุยาวนานกว่า , สามารถขึ้นรูปได้อย่างอิสระสวยงามและตอบสนองต่อการออกแบบนวัตกรรมในรูปแบบใหม่ ๆ ได้ รวมถึงตอบโจทย์เรื่องของความปลอดภัย , ความประหยัด และที่สำคัญที่สุดคือเป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recyclability)

ปัจจุบันค่าเฉลี่ยของน้ำหนักรถยนต์ 1 คัน มีน้ำหนักของชิ้นส่วนที่เป็นพลาสติกอยู่ประมาณ 150 kg. เทียบกับชิ้นส่วนที่เป็นโลหะอยู่ประมาณ 1,163 kg. มีแนวโน้มเพิ่มจากอดีต ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของการใช้งานชิ้นส่วนพลาสติกในรถยนต์
(Patil et al., 2017, p. 3808)

การศึกษาจะมี polymer 13 ประเภท ที่สามารถใช้งานในรถยนต์ได้ มี 3 ประเภทหลัก ๆ มีสัดส่วนรวมกันเท่ากับ 66% ที่นิยมใช้ในรถยนต์ ได้แก่ Polypropylene - PP (32%) , Polyurethane – PUR (17%) , PVC (16%)

1). PP (Polypropylene)

วัสดุประเภทนี้มีข้อดีในด้านความแข็งแรง ความแข็งแกร่ง และสามารถในการทนอุณหภูมิสูง ซึ่งทนได้มากกว่าโพลีเอทธิลีน และโพรพิลีนถูกนำไปใช้อย่างประสบความสำเร็จในการขึ้นรูปของเส้นใย เนื่องจากมีความแข็งแรงเป็นพิเศษ และโพลีโพรพีลีนก็เป็นหนึ่งในพลาสติกที่มีน้ำหนักเบาที่สุดที่มีความหนาแน่น 0.905 กรัม / ซม. มีความสามารถในการทนต่อสารเคมีได้อย่างดีเยี่ยมมีความทนทานต่อรังสี UV ที่ดีที่สุด และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมก่อสร้างอีกด้วย

การใช้งาน : กันชนรถยนต์, ถังเก็บสารเคมี, ฉนวนสายเคเบิล, กล่องเก็บแบตเตอรี่, กระป๋องน้ำมัน

2). PUR (Polyurethane)

คุณสมบัติที่สำคัญคือแข็ง, ยืดหยุ่น และอ่อนนุ่ม ยูรีเทนมีความต้านทานต่อการขัดถูที่ดีเยี่ยม โฟมโพลียูรีเทนแข็งได้กลายเป็นวัสดุฉนวนอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนต่ำ และประหยัดต้นทุน ใช้เป็นฉนวนกันความร้อน และการใช้งานอื่น ๆ จะถูกจำกัด โพลียูรีเทนไม่สามารถอยู่รอดได้ดีเมื่อถูกแสงแดดโดยตรงหรือสัมผัสกับตัวทำละลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่

การใช้งาน : เบาะโฟม , แผงฉนวนโฟม , ล้อและยางรถยนต์ , ชิ้นส่วนช่วงล่างรถยนต์ , ชิ้นส่วนพลาสติกแข็ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3). PVC (Polyvinyl chloride)

วัสดุนี้ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ในการป้องกันที่พื้นด้านล่างของตัวรถยนต์เพื่อปกป้องจุดรอยต่อต่าง ๆ และสายไฟบริเวณใต้ท้องรถ โดยคุณสมบัติของวัสดุชนิดนี้คือความแข็ง และความยืดหยุ่นขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใช้งาน มีความต้านทานที่ดีต่อการกัดกร่อนของสารเคมีและตัวทำละลาย มีความคงทนต่อสภาวะอุณหภูมิต่างๆ ได้ดี

การใช้งาน : คอนโซลรถยนต์ , ใช้พ่นใต้ท้องรถยนต์ , ท่อ , ประตู , แท้งค์เก็บสารเคมี

4). PC (Polycarbonate)

โพลีคาร์บอเนตมักใช้สำหรับงานในอุตสาหกรรมยานยนต์ มีคุณสมบัติของความแข็ง, ความเหนียว และมีความทนทานต่อสภาพอากาศที่ยอดเยี่ยม มีคุณสมบัติทางความร้อน และความต้านทานต่อรังสี UV มีลักษณะความโปร่งใสคล้ายกับอะคริลิค

การใช้งาน : เลนส์ของไฟหน้ารถยนต์ , หน้าจอ , แผงหน้าปัดรถยนต์หรือเครื่องบิน

5). Acrylonitrile/butadiene/styrene (ABS)

วัสดุนี้เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ทนทาน เป็นโคพอลิเมอร์ที่สร้างขึ้นโดยการโพลีเมอร์สไตรีน และอะคริโลไนไตรล์ในที่ที่มีโพลีบูทาเดียน สไตรีนให้ผิวพลาสติกที่เงางามและไม่กันน้ำ บิวทาไดอีนซึ่งเป็นสารยางให้ความยืดหยุ่นแม้ในอุณหภูมิต่ำ สามารถดัดแปลงได้หลากหลายเพื่อปรับปรุงความต้านทานแรงกระแทก , ความทนทาน , ทนความร้อน, สภาพอากาศ และความต้านทานต่อสารเคมี

การใช้งาน : ชิ้นส่วนยานยนต์ , แดชบอร์ด , ฝาครอบล้อผลิตที่อยู่อาศัย , หน้ากาก และวัสดุบุผิว

6). Polyamide (PA, Nylon 6/6, Nylon 6)

โพลีอะไมด์เป็นที่รู้จักกันในนามไนล่อน 6/6 หรือไนล่อน 6 เป็นไนล่อนอเนกประสงค์ที่สามารถขึ้นรูปได้ทั้งแบบหล่อและแบบอัดขึ้นรูป ไนลอน 6/6 มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีทนต่อการสึกหรอ มีต้นทุนที่ต่ำและมีความแข็งแรงเชิงกลสูง วัสดุแข็งและมั่นคง การประยุกต์ใช้โพลีอะไมด์หลักคือการผลิตชิ้นส่วนที่อยู่ภายใต้ฝากระโปรงหน้าโดยส่วนใหญ่จะใช้โพลีอะไมด์ (PA) พร้อมกับเสริมด้วยไฟเบอร์กลาส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การใช้งาน : เกียร์ , พุ่มไม้ , ลูกเบี้ยว , แบริ่ง , ชิ้นส่วนภายใต้ฝากระโปรงรถยนต์

7). PS (Polystyrene)

พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีรูปร่างคล้ายแก้วมีความแข็ง, ราคาถูก, มีความทนทานต่อสารเคมีและไฟฟ้า มีความมันวาวสูงและเกรดการกระแทกสูงเป็นพิเศษ เป็นพลาสติกที่ผลิตง่ายแต่มีความต้านทานต่อแสง UV ที่ไม่ดี

การใช้งาน : ตัวเรือนอุปกรณ์ , ปุ่ม , ชิ้นส่วนรถยนต์

8). PE (Polyethylene)

พลาสติกประเภทนี้นิยมใช้งานกันในระดับโลก เนื่องจากมีช่วงในการยืดหยุ่น และคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ขึ้นอยู่ในกระบวนการผลิต มีความต้านทานความชื้นที่ดี และต้นทุนในการผลิตต่ำ

การใช้งาน : ตัวถังรถ (เสริมด้วยกระจก) , ฉนวนไฟฟ้า

9). POM (Polyoxymethylene)

Polyoxymethylene หรือที่รู้จักในชื่อ Acetal , Polyacetal และ Polyformaldehyde เป็นโพลิเมอร์วิศวกรรมประสิทธิภาพสูง ใช้ในชิ้นส่วนที่มีความแม่นยำซึ่งต้องการความแข็งสูง แรงเสียดทานต่ำ และความมั่นคงของมิติที่ยอดเยี่ยม คุณสมบัติเหล่านี้มีความเสถียรในอุณหภูมิต่ำ POM ยังทนต่อสารเคมีและเชื้อเพลิงได้ดี

การใช้งาน : ภายนอกและภายนอก , ระบบเชื้อเพลิง , ไกด์หน้าต่าง , ไฟแช็ค , สเปรย์วาล์ว , ตัวยึดและส่วนประกอบของเฟอร์นิเจอร์

10). PMMA (Acrylic)

วัสดุประเภทนี้เป็นเทอร์โมพลาสติกใส มีน้ำหนักเบา หรือทนต่อการแตกหักที่ดีกว่ากระจก ทนทานต่อ UV ได้ดี และทนต่อสภาพอากาศคุณภาพแสงที่สูง ราคาถูกกว่า PC แต่เกิดรอยขีดข่วนได้ง่าย

การใช้งาน : windows, จอแสดงผล, หน้าจอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

11). PBT (Polybutylene terephthalate)

คุณสมบัติมีความทนทานต่อสารเคมี และคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี เป็นวัสดุที่แข็งและเหนียว มีความต้านทานต่อความเครียดแบบไดนามิกความร้อน

การใช้งาน : ตัวเรือนและไฟตัดหมอก , ส่วนหน้าหลังคาดวงอาทิตย์ , ตัวเรือนระบบล็อค , มือจับประตู , ชิ้นส่วนคาร์บูเรเตอร์

12). PET (Polyethylene Terephthalate)

พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลท มีสภาพคล้ายกันกับ PBT มีความคงตัวทางความร้อนที่ดีมีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี และมีคุณสมบัติของพื้นผิวที่ดีเยี่ยม ส่วนใหญ่จะใช้ในการสร้างเส้นใยสังเคราะห์และขวดพลาสติก คุณอาจรู้จักมันบนฉลากเสื้อผ้า ภายใต้ชื่อ“ โพลีเอสเตอร์”

การใช้งาน : ที่ปัดน้ำฝนแขนและที่อยู่อาศัยเกียร์, ที่ยึดไฟหน้า, ฝาครอบเครื่องยนต์

13). ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate)

คุณสมบัติที่โดดเด่นของพลาสติกประเภทนี้คือมีความเหนียว ความแข็งแกร่งที่ดีทนต่อสารเคมีและความคงตัวทางความร้อนได้ดีทนต่อสภาพอากาศได้ดีอายุการใช้งานยาวนาน มีสีเหลือง ความมันวาวสูง ข้อเสียคือเมื่อเผาจะทำให้เกิดควันพิษ

การใช้งาน : ตัวเรือนโปรไฟล์ชิ้นส่วนภายในและการใช้งานกลางแจ้ง

โดยสามารถสรุปประเภทของพลาสติกที่นำไปใช้ในรถยนต์ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทของพลาสติกชนิดต่างๆที่นำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนรถยนต์
(Patil et al., 2017, p.3809)

Component	Main types of plastics	Average Weight in car (Kg.)
Bumpers	PS, ABS, PC/PBT	10
Seating	PUR, PP, PVC, ABS, PA	13
Dashboard	PP, ABS, SMA, PPE, PC	7
Fuel systems	HDPE, POM, PA, PP, PBT	6
Body	PP, PPE, UP	6
Under-bonnet components	PA, PP, PBT	9
Interior trim	PP, ABS, PET, POM, PVC	20
Electrical components	PP, PE, PBT, PA, PVC	7
Exterior trim	ABS, PA, PBT, POM, ASA, PP	4
Lighting	PC, PBT, ABS, PMMA, UP	5
Upholstery	PVC, PUR, PP, PE	8
Liquid reservoirs	PP, PE, PA	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

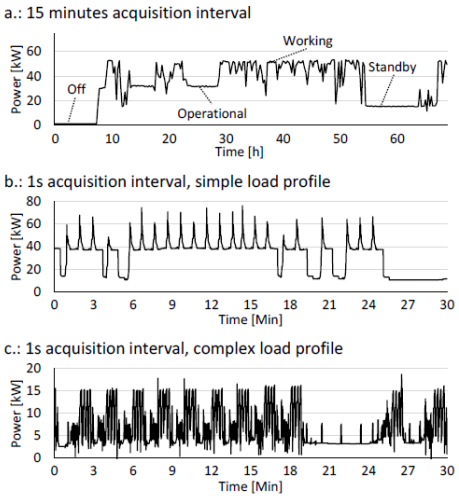
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติของพลาสติกประเภทต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบพลาสติกในแต่ละประเภท และทราบถึงข้อจำกัดต่างๆ ก่อนที่จะทำการปรับปรุงกระบวนการ สำหรับชิ้นส่วนกันชนหน้า-หลังของโรงงานกรณีศึกษาจะเลือกใช้วัสดุพลาสติกแบบประเภท PP (Polypropylene) มีข้อดีในด้านของความแข็งแรงสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงแต่จำเป็นต้องอาศัยการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง

2.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของพลังงานที่ใช้ในการผลิตรถยนต์โดยอัตโนมัติ

(Labbus et al., 2019)

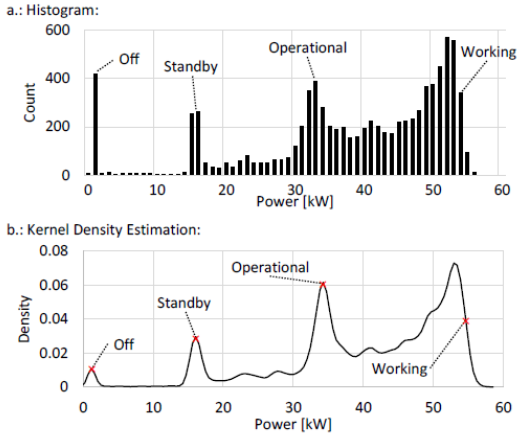
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการประเมินข้อมูลการใช้งานไฟฟ้าภายในโรงงานผลิตรถยนต์ วิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือการนำ energy load profile ของแต่ละเครื่องมาคำนวณร่วมกันกับแผนการผลิต และซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ โดยวิธีการดังกล่าวยังคงมีช่องว่างระหว่างข้อมูลพลังงานที่แตกต่างกัน จึงเป็นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้เพื่อสร้างระบบวิเคราะห์ และคำนวณพลังงานให้ทราบถึงการบริโภคไฟฟ้าภายในโรงงานเพื่อนำไปใช้งานในการวางแผนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้สามารถผลิตสินค้าได้ภายใต้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด

การประเมินการใช้พลังงานของเครื่องจักรแต่ละตัวสามารถทำได้ โดยการเก็บค่าทางสถิติเป็นเวลาหนึ่ง เพื่อให้ทราบถึงสถานะการทำงานของเครื่องจักรในสถานะต่างๆ ดังรูปที่ 2.4 แล้วนำเข้าไปเก็บและสร้างโมเดลในการทำนายโดยใช้ KSE : Kernal density function จนกระทั่งได้ค่าที่ออกมาดังรูปที่ 2.5 เพื่อนำไปใช้งานในการวางแผนของระบบการผลิตใหม่ และเปรียบเทียบอัตราการกินพลังงานเมื่อเทียบกันในแต่ละเครื่องจักร ข้อดีที่ได้จากการจัดทำในครั้งนี้คือ สามารถลด workload ในการป้อนข้อมูลโดยคนเพื่อป้อนสถานะการทำงานของเครื่องจักรเข้าไปที่ระบบโดยใช้สมการทำนายค่าพลังงานไฟฟ้า เป็นหน่วย Kw เพื่อให้ทราบถึงสถานะการทำงานของเครื่องจักรแต่ละตัว



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา

(Labbus et al., 2019)



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าที่สามารถทำนายได้จาก Kernal Density Estimation (Labbus et al., 2019)

งานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ทบทวนในชิ้นนี้กล่าวถึงวิธีการลดต้นทุนของการใช้งานพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรต่างๆ ภายในโรงงานสามารถทราบสถานะการทำงานของทุกเครื่องภายในโรงงาน รวมไปถึงความสามารถวิเคราห์อัตราการบริโภคพลังงานนำไปสู่ความสามารถในการจำกัดการใช้งานเท่าที่จำเป็นจะส่งผลให้สามารถลดต้นทุนทางด้านพลังงานลง และยังสามารถลด workload ของพนักงานในการป้อนข้อมูล

2.2.4 ผลลัพธ์ของการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการสำหรับสายการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าในโรงงานที่มีต้นทุนดีที่สุด (Pujol, 2016)

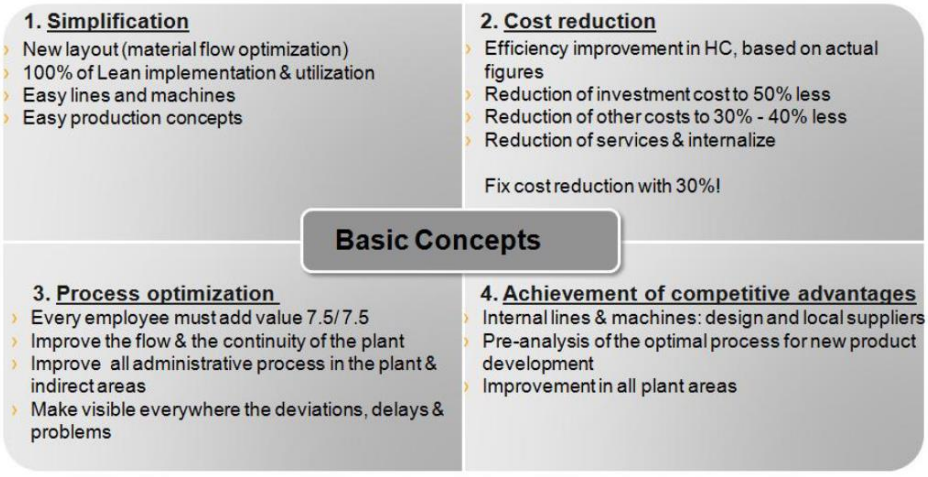
วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการแบ่งปันตัวอย่างของโรงงานที่มีมาตรฐานเรื่องการจัดการต้นทุนที่ดีในระดับโลกโดยการใช้หลักการของ Lean production เพื่อกำจัดของเสียประเภทต่างๆ การหาจุดที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างองค์กรในหน้าที่ที่รับผิดชอบใหม่ ๆ การศึกษาวิจัยจัดทำขึ้นที่บริษัทผลิตรถยนต์ในประเทศ Romania

สถานการณ์ตลาดรถยนต์ในประเทศ Romania ตอนนี้มีแนวโน้มต่าง ๆ สามารถสรุปได้เป็นประเด็นดังนี้

- รถยนต์มีแนวโน้มมีความฟังก์ชั่นที่ซับซ้อนเพิ่มเติมขึ้นมาจากแต่ก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (infotainment) อุปกรณ์ด้านความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้นและความสามารถด้านการขับขี่อัตโนมัติเพื่อเพิ่มความสะดวกสะบายในการขับรถให้ดียิ่งขึ้น

- ผู้ผลิตรถยนต์ส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการออกแบบพื้นฐานของรถยนต์ที่สามารถใช้งานชิ้นส่วนร่วมกันได้เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการพัฒนา และวิจัยชิ้นส่วนใหม่ ซึ่งจะทำให้ราคาของชิ้นส่วนถูกลง
- ลูกค้าที่ใช้งานรถยนต์มีความคาดหวังในเรื่องของคุณภาพ และการปรับแต่งเฉพาะของตนเอง
- สถานการณ์ของอุตสาหกรรมยานยนต์มีการแข่งกัน และกดดันในเรื่องของราคามาก
- ทิศทางของตลาดต่างชาติมีแนวโน้มที่จะมองหารถยนต์เพื่อตอบโจทย์การใช้งานในชีวิตประจำวันซึ่งมีราคาประหยัด

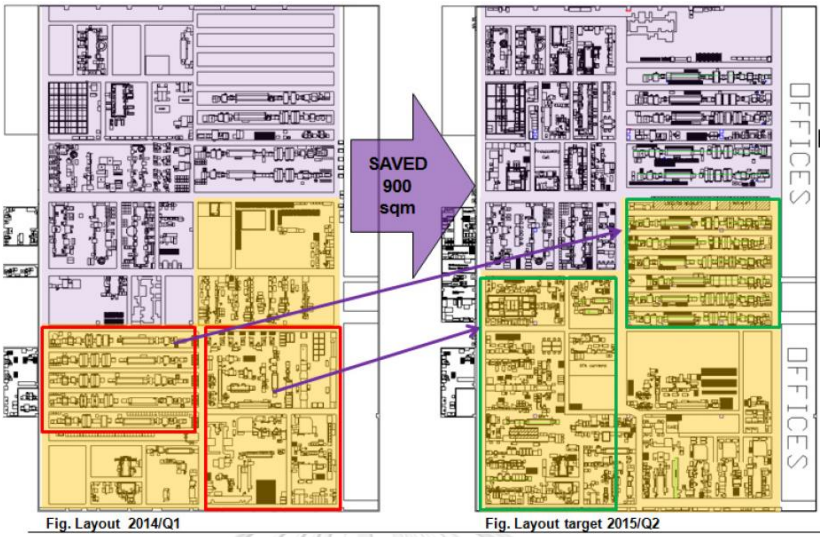
การพัฒนาโรงงานให้เป็นโรงงานผลิตรถยนต์ที่มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด จำเป็นต้องใช้หลักการของ Lean เข้ามาช่วยในการจัดตั้งกิจกรรมการปรับปรุงกระบวนการภายในโรงงาน ส่วนแรกคือการทำกระบวนการให้เป็นกระบวนการผลิตที่ง่ายมี Layout ในการผลิตที่เหมาะสม ส่วนที่สองคือการทำการลดต้นทุนทั้งในเรื่องของประสิทธิภาพในการใช้งานคนเมื่อเทียบกับปริมาณงานที่มีอยู่จริง การลดเงินในเรื่องของเงินลงทุนใหม่ และลดค่าใช้จ่ายอื่นๆ ทุกประเภท เพื่อสามารถลดต้นทุนคงที่ ถัดไปส่วนที่สามในเรื่องของการจัดกระบวนการทำงานที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น งานของพนักงานทุกคนควรจะเป็นงานที่สร้างคุณค่าให้แก่องค์กร กระบวนการที่ดีควรจะมีการจัดทำปัญหาต่างๆ ให้สามารถมองเห็นได้ง่าย เพื่อที่จะสามารถแข่งขันกับองค์กรภายนอกได้ (ดังแสดงสรุปในรูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 สรุปหลักการของ Lean
(Pujol, 2016, p. 391)

สำหรับเฟสถัดไปเป็นการปรับเปลี่ยนแผนผังภายในโรงงาน เพื่อปรับปรุงการไหลของกระบวนการลดการใช้พื้นที่จะสามารถทำการกระชับพื้นที่ และลดเวลาของกระบวนการผลิตในโรงงาน โดยการจัดแผนผังโรงงานใหม่ โดยพิจารณาจากการวางแผนการผลิตร่วมกับการหาจุดที่เหมาะสม

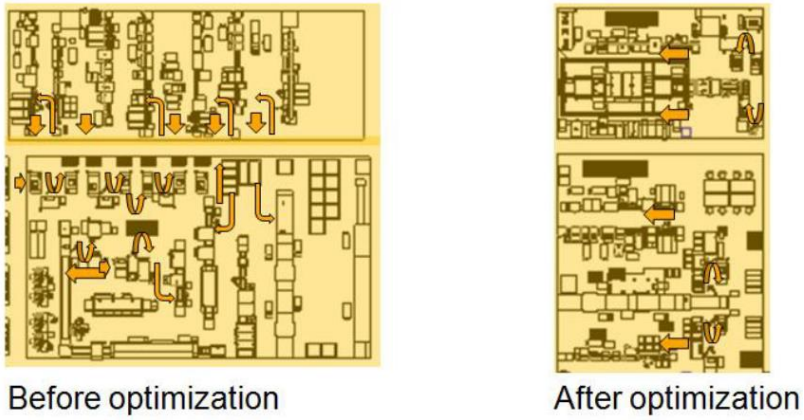
(Optimization) ให้การใช้งานพื้นที่น้อยที่สุด ปรากฏดังรูปที่ 2.7 ที่แสดงถึงแผนผังโรงงานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง



รูปที่ 2.7 แผนผังโรงงานก่อน-หลังการปรับปรุง

(Pujol, 2016, p. 392)

กระบวนการผลิตที่ถูกปรับปรุงจะสามารถเห็นแนวทางในการทำงานเปลี่ยนจากระบบการผลิตแบบ Batch ให้กลายเป็นระบบ One piece flow เพื่อลดความซับซ้อนของกระบวนการและยังสามารถลดพื้นที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนผังโรงงานก่อน – หลังการปรับปรุง

(Pujol, 2016, p. 392)

กิจกรรมปรับปรุงกระบวนการทั้งหมดถูกจัดทำมาเป็นเวลา 12 เดือน โรงงานดังกล่าวได้พัฒนาเป็นโรงงานที่ดีที่สุดด้านต้นทุนการผลิต โดยสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 50% และลดปัญหาประจำวันที่เกิดขึ้นได้ 80%

สามารถสรุปปัจจัยแห่งความสำเร็จได้ดังนี้

1) ทำทุกกระบวนการให้เป็นกระบวนการที่ง่าย
2) ทำกระบวนการผลิตให้เป็นระบบต่อเนื่อง (work in flow)
3) จัดตั้งทีมปฏิบัติงานพร้อมทั้งเป้าหมายการทำงาน และบทบาทหน้าที่ที่รับผิดชอบให้ชัดเจน
4) ลดของเสีย หรือสิ่งที่ไม่จำเป็นทุกสิ่งและใช้คนเพื่อสร้างงานที่มีคุณค่า และไม่ปกปิดปัญหาซึ่งกันและกัน
5) การมีส่วนร่วมระหว่างคนทำงานเป็นสิ่งที่สำคัญ
6) การสร้างทีมงานที่ดีเพื่อร่วมใจกันเพื่อโรงงานของเราให้เป็นโรงงานที่ดีที่สุด

งานวิจัยที่นำมาศึกษาข้างต้นระบุถึงการนำหลักการของ Lean production เข้ามาค้นหาความสูญเปล่า หรือการสูญเสียภายในกระบวนการ เพื่อที่จะสามารถทำการลดต้นทุนได้พร้อมทั้งการหาค่าของปัจจัยนำเข้าที่ดีที่สุด ตัวอย่างในงานวิจัยคือการวางแผนผังภายในโรงงานใหม่เพื่อทำให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพสูงที่สุดภายใต้การใช้งานพื้นที่ที่น้อยที่สุด

2.2.5 การลดต้นทุนการผลิตโดยใช้เครื่องมือ QC tool และการจัดการข้อมูลดิจิทัลแบบ Realtime (Shivajee, Singh, & Rastogi, 2019)

อุตสาหกรรมยานยนต์มีบทบาทที่สำคัญในระบบเศรษฐกิจของประเทศอินเดีย คิดเป็นสัดส่วนหลักของ GDP ประชากรภายในประเทศอินเดียถึง 7.1% และคิดเป็นการจ้างงานถึง 22 ล้านคน โดยที่แนวโน้มของการผลิตยานยนต์ประเภทสองล้อภายในประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้นและสูงที่สุดในบรรดาทุกประเภทของยานยนต์ที่มีการผลิตภายในประเทศ

ยอดผลิตของยานยนต์ประเภทสองล้อมียอดการผลิตที่มีปริมาณมาก โดยมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งกำลังศึกษาในเรื่องของการจัดการต้นทุนของกระบวนการผลิตโดยมีเป้าหมายคือ

- เพื่อระบุองค์ประกอบของต้นทุนทั้งหมดภายในโรงงานในแต่ละกระบวนการของกระบวนการผลิตยานยนต์
- เพื่อนำเครื่องมาทางด้าน Quality tool และ IT tool ไปใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต
- สามารถทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆ ในกระบวนการผลิตที่สามารถทำให้ลดต้นทุนทางการผลิตได้

ขั้นตอนในการจำแนกประเภทของต้นทุนการผลิตเป็นทั้งหมดสามส่วนได้แก่ ค่าวัตถุดิบทางตรง ค่าแรงทางตรง และต้นทุนในการแปลงสภาพของกระบวนผลิต มีการเก็บข้อมูลต้นทุนดังกล่าวโดยใช้ SCADA และ SAP สำหรับโรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตยานยนต์ประเภทสองล้อมีส่วนแบ่งการตลาดสูงถึง 46% เหตุผลหลักที่ทำให้มียอดขายที่สูงคือเรื่องความสามารถของอัตราการบริโภคของน้ำมันต่ำและมีราคาจำหน่ายที่ต่ำ

ต้นทุนการแปลงสภาพของกระบวนการผลิตที่สามารถเก็บข้อมูลได้ที่แสดงในตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึง ต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งสองส่วนงานคือ Frame plant ประกอบไปด้วยกระบวนการเชื่อมและพ่นสีมีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยทั้งสิ้น 57.25 บาท/หน่วย , Machine shop 37.25 บาท/หน่วย และ Frame assembly มีต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 5.5 บาทต่อหน่วย โดยมีรายละเอียดต้นทุนหลังการปรับปรุงดังที่แสดงในตารางที่ 2.3 อาทิเช่น การลดต้นทุนแก๊สที่ใช้ในการ ให้ความร้อนแก่เตาอบ ค่ากระดาษสำหรับการติดมาร์คในกระบวนการพ่นสี ลดค่าถุงมือที่ใช้ในกระบวนการค่า air filter

ตารางที่ 2.2 แสดงต้นทุนของกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา XYZ
(Shivajee et al., 2019, p. 6)

S.No	Sections and Manufacturing cost Determinants	Cost/Vehicles for FY 15-16
A	**Frame plant (Weld and paint shop)**	**57.25**
1	Gas for oven heating	17.00
2	Paper masking for painting	7.18
3	Graphaics Rejection	6.00
4	Other chemicals used for treatment of paint waste	4.90
5	Brazing Fillar Rod	3.15
6	Sheet Metal Parts Rejection	3.10
7	Paint Removal Chemicals	2.76
8	Pretreatment Chemicals	2.40
9	Mig wire	2.11
10	Buffing Abrasive Wheel	2.11
11	Oxyacetalene Gas	1.24
12	Air filters	1.16
13	Liquid Argon Gas	1.05
14	Hand Gloves	0.83
15	Sanding Disc	0.65
16	Copper Electrode for Seam Welding	0.63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.2 แสดงต้นทุนของกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา XYZ (ต่อ)

S.No	Sections and Manufacturing cost Determinants	Cost/Vehicles for FY 15-16
17	Sanding Belt	0.59
18	Rust Preventive Chemical	0.39
B	**Machine Shops**	**37.25**
1	Tool cost	26.20
2	Consumables	9.50
3	Aluminium and Steel Parts Rejection	1.55
C	**Frame Assembly**	**5.50**
1	Assembly Parts Rejections	2.60
2	Consumables	2.90
Total Manufacturing Coversion Cost		**100**

ตารางที่ 2.3 แสดงถึงต้นทุนของกระบวนการผลิตหลังปรับปรุง
(Shivajee et al., 2019, p. 6)

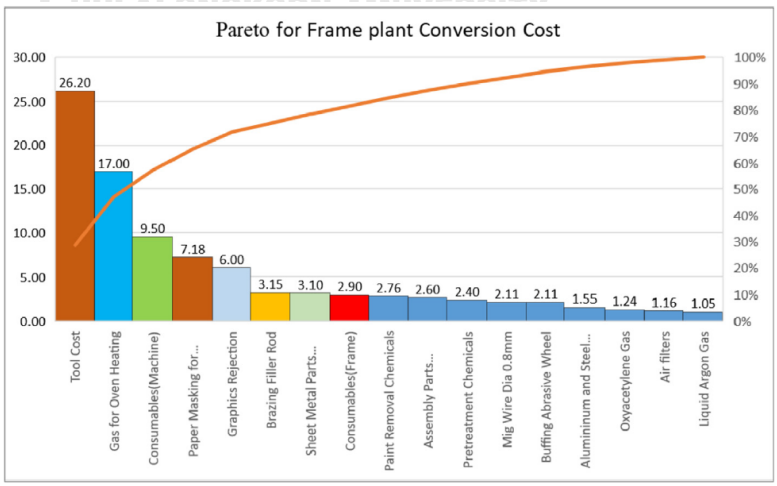
SN	Manufacturing cost Determinants	FY15-16	FY17-18	Saving	Improvement details.
A	**Frame plant (Weld and paint shop)**	**57.25**	**35.67**	**21.58**	Saved US $2.2 million
1	Gas for oven heating	17.00	10.88	6.12	Change of propane to natural gas
2	Paper masking for painting	7.18	1.5	5.68	Masking layout change
3	Graphaics Rejection	6.00	2.56	3.44	Graphic size optimized
4	Other chemicals used for treatment	4.90	2.5	2.40	Sludge being transferred
5	Brazing Fillar Rod	3.15	2.28	0.87	Altenate supplier introduced
6	Sheet Metal Parts Rejection	3.10	2.66	0.44	Process made defect free
7	Paint Removal Chemicals	2.76	0.76	2.00	Rework improve
8	Pretreatment Chemicals	2.40	1.97	0.43	Now chemical introduced
9	Mig wire	2.11	1.5	0.61	Wastage reduced
10	Buffing Abrasive Wheel	2.11	2	0.11	Rework reduce
11	Oxyacetalene Gas	1.24	1.92	-0.68	Supplier increase gas price
12	Air filters	1.16	1.17	-0.01	Alternate supplier introduced
13	Liquid Argon Gas	1.05	1.02	0.03	Wastage reduced
14	Hand Gloves	0.83	0.86	-0.03	No improvement observed
15	Sanding Disc	0.65	0.64	0.01	No major improvement observed

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.3 แสดงถึงต้นทุนของกระบวนการผลิตหลังปรับปรุง (ต่อ)

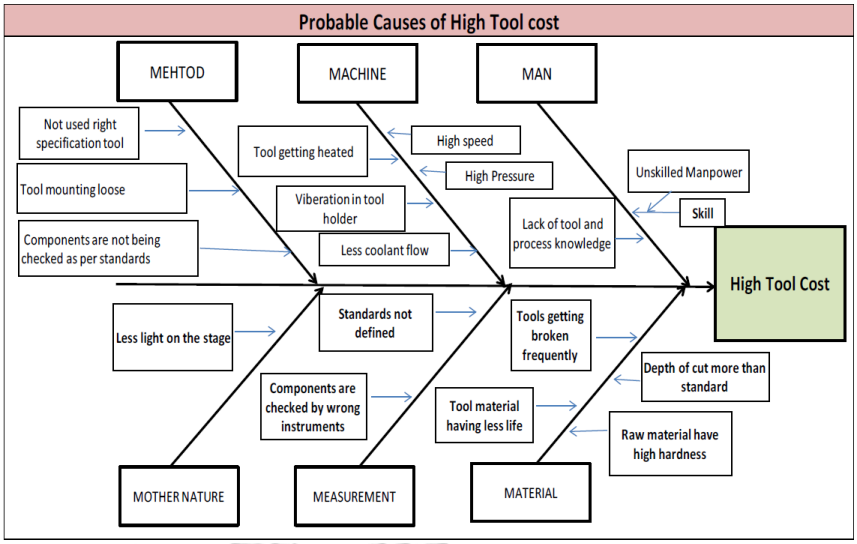
SN	Manufacturing cost Determinants	FY15-16	FY17-18	Saving	Improvement details.
16	Copper Electrode for Seam Welding	0.63	0.54	0.09	No major improvement observed
17	Sanding Belt	0.59	0.56	0.03	No major improvement observed
18	Rust Preventive Chemical	0.39	0.33	0.06	No major improvement observed
B	**Machine Shops**	**37.25**	**34.87**	**2.38**	Cost reduced in tool segments
1	Tool cost	26.20	23.65	2.55	High performance tools introduced
2	Consumables	9.50	9.69	-0.19	Cost increased
3	Aluminium and Steel Parts Rejection	1.55	1.53	0.02	Improve daily work management
C	**Frame Assembly**	**5.50**	**5.28**	**0.22**	No major improvement observed
1	Assembly Parts Rejections	2.60	2.43	0.17	Process made defect free
2	Consumables	2.90	2.85	0.05	Improve daily work management
Total Manufacturing Coversion cost		**100**	**75.82**	**24.18**	**Saved US $2.2 million**

หลังจากที่ทราบต้นทุนของกระบวนการผลิตแล้ว ได้นำเครื่องมือ QC tool เข้ามาใช้งานโดยเริ่มต้นจาก Pareto chart นำมาจัดลำดับความสำคัญของปัญหาในเรื่องของต้นทุนของกระบวนการผลิตที่มีค่าสูงที่สุด และสามารถสังเกตเห็นได้ว่าต้นทุนที่สูงที่สุดอยู่ที่ Frame plant โดยแยกย่อยประเภทของต้นทุนที่สูงสุดได้แก่ tool cost , gas for baking oven (ดังแสดงในภาพที่ 2.9) จึงได้นำเครื่องมือแผนภาพก้างปลา หรือ Cause and effect diagram เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานต้นทุนดังกล่าวที่สูง (ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และ 2.11)

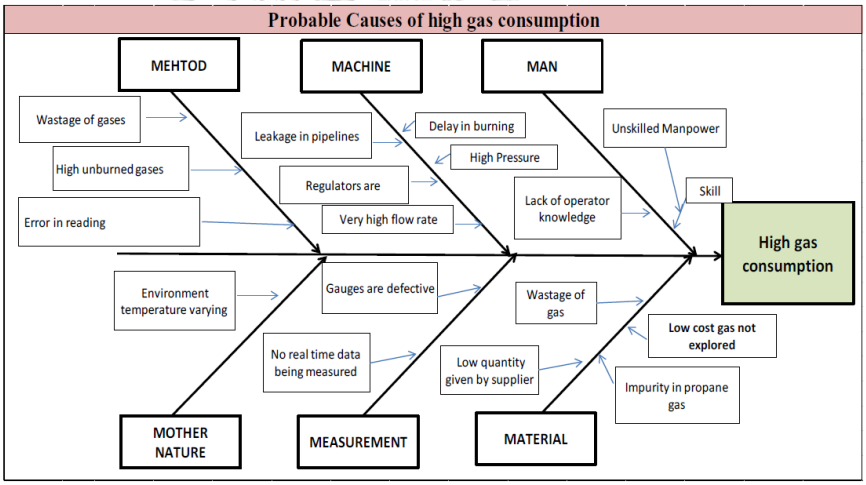


รูปที่ 2.9 แผนภาพพาเรโต้แสดงถึงลำดับต้นทุนการผลิตที่สูงสุด

(Shivajee et al., 2019, p. 9)



รูปที่ 2.10 แผนภาพก้างปลาเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ High Tool cost (Shivajee et al., 2019, p. 10)



รูปที่ 2.11 แผนภาพก้างปลาเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ High gas consumption (Shivajee et al., 2019, p. 10)

การศึกษาข้อมูลทั้งหมดทางโรงงานได้ปรับปรุงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นที่ก่อให้เกิดต้นทุนทางการผลิตที่สูงในเรื่องของ Tool cost โดยการนำเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงมาใช้งานให้มีอายุการใช้งานที่นานยิ่งขึ้น และการใช้สาร propane สามารถปรับเปลี่ยนไปใช้งาน natural gas ได้ paper masking สามารถปรับปรุงขนาดให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่ใช้งานได้ พลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนของเตาอบภายในกระบวนการพ่นสีสามารถปรับเปลี่ยนสารเคมีประเภทใหม่ที่สามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปได้ว่าอุตสาหกรรมยานยนต์กำลังจะประสบพบเจอกับการแข่งขันกันภายในกลุ่มในเรื่องของต้นทุนการผลิต ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาองค์ประกอบของต้นทุนภายในโรงงาน และขั้นตอนในการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการผลิตโดยการใช้เครื่องมือ QC tool อาทิเช่น pareto chart , cause and effect diagram เพื่อที่จะสามารถลดต้นทุนของกระบวนการผลิตลง แต่อย่างไรก็ตามคงเป็นเรื่องยากที่จะทำการลดต้นทุนโดยปราศจากการลงทุนแต่ในสำหรับโรงงานที่มีปริมาณการผลิตจำนวนมากๆ (mass production) การคืนทุนสำหรับการปรับปรุงกระบวนการเป็นเรื่องที่ง่าย เนื่องจากปริมาณของยอดการผลิตที่สูง

ผลงานวิจัยชิ้นนี้ได้มีตัวอย่างในการใช้งานเครื่องมือของ QC tool อาทิเช่น แผนภาพพาเรโต้ และ แผนภาพก้างปลานำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ให้เห็นถึงสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะนำไปเข้าสู่ขั้นตอนในการปรับปรุงต่อไป ผู้วิจัยได้ใช้ความรู้ที่ได้จากการทบทวนเครื่องมือ แผนภาพพาเรโต้ และแผนภาพก้างปลามาใช้ในการต่อยอดในการค้นหา สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาในงานวิจัยนี้

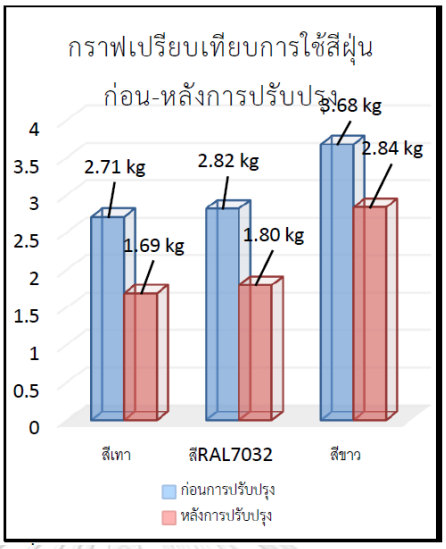
2.2.6 การลดต้นทุนกระบวนการพ่นสี (ทวีศักดิ์, 2020)

การศึกษาสภาพของกระบวนการผลิตรางไฟฟ้า ตู้สวิทซ์บอร์ดเคเบิ้ลแลดเดอร์ มีปัญหาที่ต้องการแก้ไขคือ ปัญหาเรื่องความสิ้นเปลืองการใช้สีฝุ่นที่มีปริมาณมาก การลดเวลาในประกอบชิ้นงาน ลดเวลาของกระบวนการลำเลียงเคลื่อนย้ายวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิต งานวิจัยนี้จัดทำวิธีการดำเนินงานคือการออกแบบเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 2 ชนิด ได้แก่ ใบตรวจสอบการพ่นสีก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อทำการเก็บข้อมูลการพ่นสีก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ โดยมีปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของการพ่นสีได้แก่ ค่าเนื้อสี แรงดันไฟฟ้า แรงดันลม และอีกเครื่องมือนึงก็คือการวิเคราะห์ปัญหาและแก้ไขปัญหาของงานพ่นสีฝุ่นโดยใช้แผนภูมิแสดงเหตุและผล (Cause and effect diagram) ที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความผิดปกติกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากสาเหตุหลัก และสาเหตุย่อย

ปัญหาที่พบคือความหนาสีของสีแต่ละชนิดมีค่าอยู่ในเกณฑ์สูงและเกินมาตรฐานทำให้ปริมาณการใช้สีเกินกว่าค่าปกติ ส่งผลกระทบต่อต้นทุนที่สิ้นเปลืองเกินความจำเป็น จึงได้ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพทั้งสองเพื่อค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ก่อให้เกิดปัญหา เพื่อจะนำมาปรับปรุงค่าให้ดียิ่งขึ้น ได้แก่ ค่าเนื้อสี แรงดันไฟฟ้า และแรงดันลม จากงานวิจัยสามารถพบได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 90 กิโลโวลต์ แรงดันลมคือ 3.5 บาร์ และผลทดลองค่าของเนื้อสีที่เหมาะสมสำหรับสีเทาและสีเรียบเท่ากับ 60% ส่วนสีขาวจะเท่ากับ 80% หลังจากมีการปรับปรุงดังกล่าวส่งผลให้ปริมาณการใช้สีเทาลดลง 1.02 กิโลกรัม สามารถคิดเป็นต้นทุนที่ลดลงได้เท่ากับ 69.36 บาท สีเรียบลดลง 1.02 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน 104.04 บาท และสีขาวลดลง 0.84 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน 79.80 บาท โดยคิดเป็นเงินต่อ 12 ชิ้นงาน (ตาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดกราฟปริมาณการใช้สีก่อน-หลังการปรับปรุงในรูปที่ 2.12) และยังคงสามารถควบคุมคุณภาพของกระบวนการได้อีกด้วย



รูปที่ 2.12 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้สีก่อน-หลังการปรับปรุง
(ทวีศักดิ์, 2020, p.527)

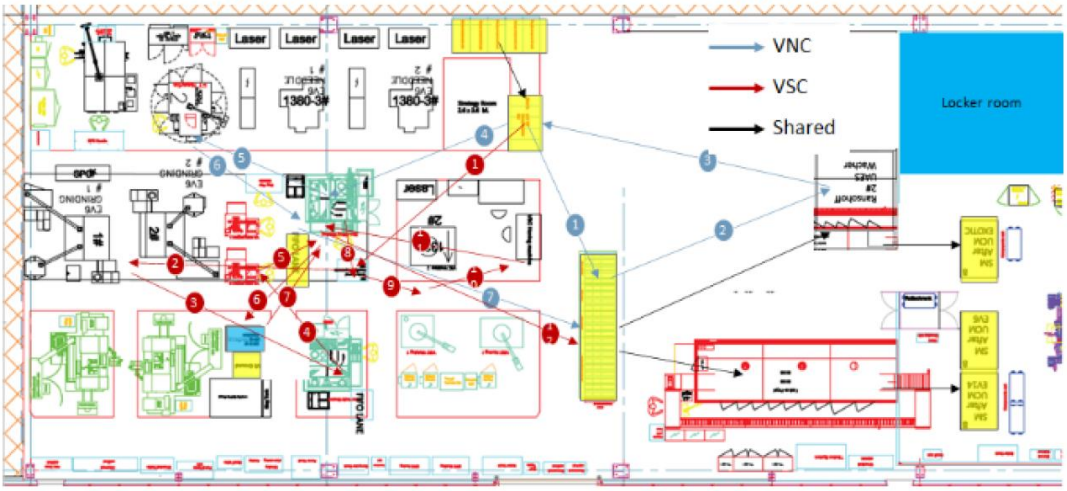
งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์ในการลดต้นทุนของกระบวนการพ่นสี เช่นเดียวกับงานวิจัยของผู้วิจัย โดยเริ่มจากการขั้นตอนในการค้นหาปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการพ่นสีโดยใช้เครื่องมือแผนภูมิแสดงเหตุ และผลที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความผิดปกติกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงทำการปรับปรุงค่าของปัจจัยนำเข้าอันได้แก่ค่าเนื้อสี แรงดันไฟฟ้า แรงดันลม ให้เข้าสู่ค่าที่เหมาะสม ส่งผลให้ปริมาณการใช้สีลดลง และสามารถลดต้นทุนของการใช้สีได้จริง ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำแนวทางในงานวิจัยนี้ไปทำการปรับใช้ในงานวิจัยแต่มีความแตกต่างกันในเรื่องของสภาพของกระบวนการผลิตที่มีชนิดของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีปัจจัยนำเข้าที่แตกต่างกัน

2.2.7 การออกแบบผังโรงงานเพื่อลดต้นทุนค่าขนถ่ายวัสดุระหว่างสถานีงาน ในสายการผลิต Pre-manufacturing (กนกวรรณ, 2020)

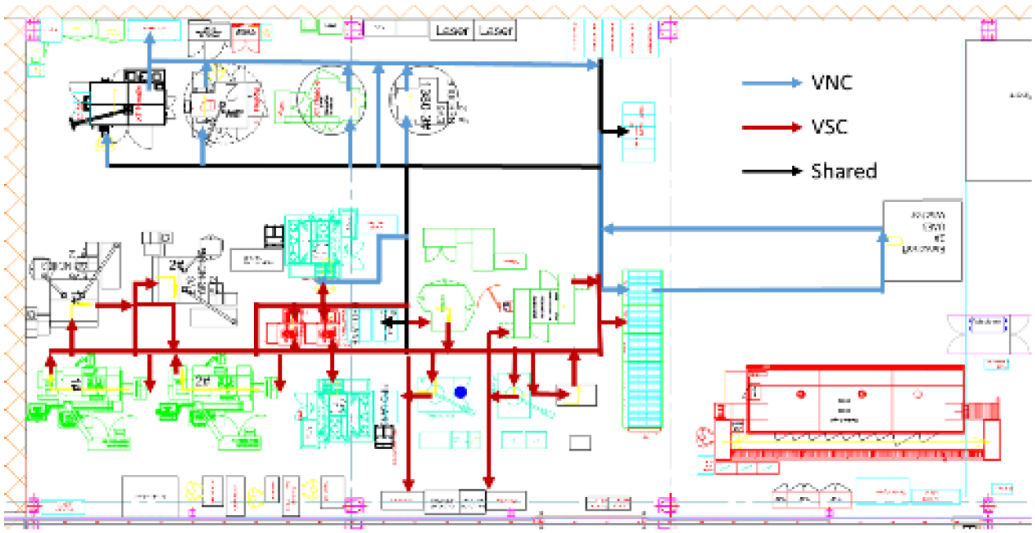
งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการลดต้นทุนโดยใช้หลักการของการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด คำนึงถึงเส้นทางการไหลของวัสดุ การจัดวางสถานีงานของสายการผลิตต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อที่จะต้องการลดระยะทางในการขนส่งวัสดุระหว่างสถานีงาน ซึ่งมีกระบวนการผลิตอยู่ด้วยกันสองกระบวนการคือ Valve Seat Complete และ Needle

การใช้ทฤษฎีการวางแผนผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic layout planning; SLP) ร่วมกับโปรแกรม Auto-cad ในสายการผลิตเพื่อเข้ามาช่วยทำการปรับปรุงกระบวนการในครั้งนี้โดย แนวทางในการปรับปรุงจะมุ่งเน้นไปที่ระดับความสัมพันธ์ของแต่ละสถานีงาน เส้นทางการไหล และหลักการยศาสตร์พื้นที่การทำงานของมนุษย์

ผลที่ได้จากการออกแบบผังของโรงงานใหม่ มีผลทำให้ระยะทางในการขนส่งวัสดุลดลง 40.46% และสามารถปรับปรุงความสามารถของกระบวนการผลิตได้เพิ่มขึ้นอีก 10.72% ส่งผลให้ต้นทุนค่าแรงทางตรงที่เกิดจากพนักงานขนส่งวัสดุลดลงเท่ากับ 317,250 บาทต่อปี งานวิจัยนี้ยังคงมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับเรื่องของการนำปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องเข้ามาพิจารณาในการออกแบบแผนผังโรงงานซึ่งทำให้ระยะทางในการขนส่งลดลงได้อีก และสามารถลดต้นทุนได้เพิ่มเติมต่อไปในอนาคต ผังของโรงงานก่อน-หลังการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ผังโรงงานเค้าโครงร่างก่อนการปรับปรุง จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่า ผังของโรงงานก่อนการปรับปรุงจะมีลักษณะของเส้นทางขนส่งวัสดุระหว่างสถานีงานที่มีความซับซ้อน และมีการจัดวางสถานีการทำงานในลักษณะที่มีการกระจายตัวออกจากกัน และในรูปที่ 2.14 เป็นรูปแผนผังโรงงานทางเลือกที่ออกแบบขึ้นใหม่โดยใช้โปรแกรมเข้ามาช่วยเหลือเพื่อให้ระยะทางในการขนส่งที่น้อย โดยมีลักษณะการวางสถานีงานที่เป็นเส้นตรง



รูปที่ 2.13 ผังโรงงานเค้าโครงร่างก่อนปรับปรุง
(กนกวรรณ, 2563, p. 1181)



รูปที่ 2.14 ผังโรงงานทางเลือกที่ออกแบบขึ้นใหม่
(กนกวรรณ, 2563, p.1181)

2.3 สรุปการทบทวนทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนทฤษฎีที่จำเป็นในการดำเนินงานของผู้วิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาเครื่องมือทางสถิติแต่ละประเภท เช่น แผนภูมิก้างปลา , การประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) ตลอดจนการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) โดยมีเป้าหมายที่จะนำเครื่องมือดังกล่าวไปใช้ในงานวิจัย

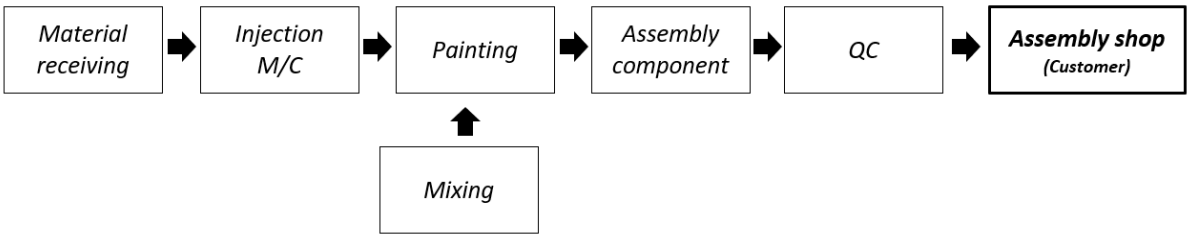
สำหรับการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่มีอยู่ในเรื่องของการลดต้นทุนของกระบวนการผลิตภายในโรงงานทั้งในรูปแบบต่างๆ เช่น การลดต้นทุนเชื้อเพลิงในการขนส่งโดยการปรับปรุงแผนผังภายในโรงงานใหม่ การปรับเปลี่ยนเครื่องมือในการทำงานที่จะทำให้ต้นทุนของอุปกรณ์มีค่าที่ลดลง การปรับชนิดของแก๊สที่ใช้ในการ baking oven หรือสามารถปรับเปลี่ยนสารเคมีประเภทใหม่ที่สามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีค่าใช้จ่ายที่ลดน้อยลง และงานวิจัยเรื่องการลดต้นทุนกระบวนการพ่นสี โดย ทวีศักดิ์ และคณะ (2020) มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยในครั้งนี้ ทั้งในเชิงวิธีการปฏิบัติงานที่เริ่มต้นจากการใช้เครื่องมือของ QC tool เช่น แผนภูมิก้างปลา การวิเคราะห์ 4M การระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อร่วมกันค้นหาปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้สีที่พ่นลงบนชิ้นงาน และทำการปรับปรุงค่าของปัจจัยนำเข้าเพื่อที่จะได้ผลก็คือมีปริมาณของการใช้สีที่ลดลง และคุณภาพของชิ้นงานที่ดีขึ้น แต่ในงานวิจัยในครั้งนี้จะมีความแตกต่างไปในเรื่องการใช้งานการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design ร่วมกับวิธีการพิสูจน์สมมุติฐาน (Hypothesis testing) และวิธีการวิเคราะห์ความแปรปวน (Analysis of Variance) เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการทดลองที่ได้ผลลัพธ์หลังการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพ และแม่นยำมากยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้า

3.1 การวิเคราะห์ปัญหา

ปัญหาที่ได้หยิบยกมาดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ เกี่ยวข้องกับการศึกษาความสัมพันธ์ของความหนาของชั้นสีที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยนำเข้าต่างๆ ในกระบวนการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยได้เข้าไปศึกษากระบวนการของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยละเอียด โดยโครงสร้างของระบบการผลิตภายในแผนกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการภายในแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก

1) ขั้นตอนการรับวัตถุดิบ (Material receiving)

ขั้นตอนนี้มีหน้าที่ในการรับวัตถุดิบที่ใช้งานในกระบวนการผลิต เช่น เม็ดพลาสติกที่ใช้กับเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก, สี, ทินเนอร์ และรวมถึงส่วนผสมของสีชนิดต่าง ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

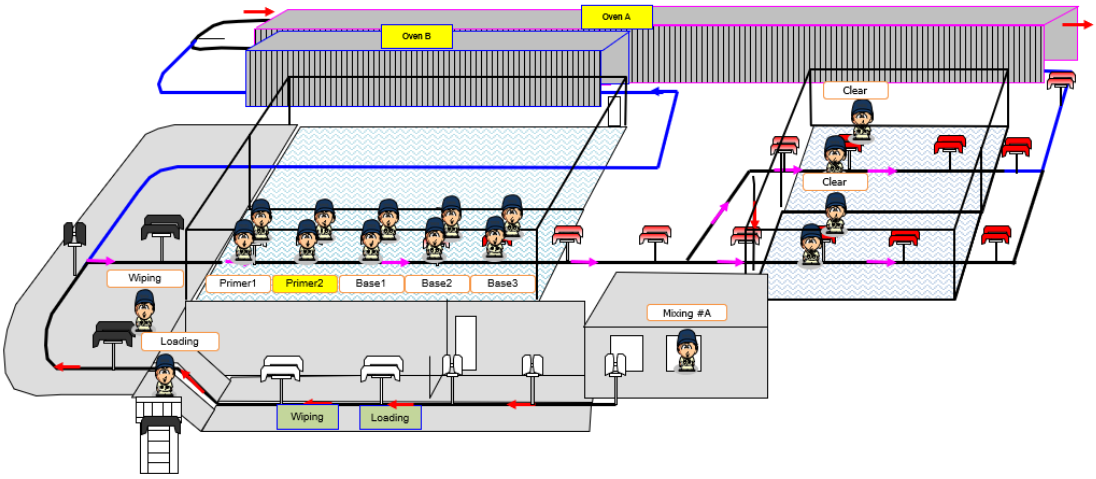
2) ขั้นตอนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยเครื่องฉีด (Injection Machine)

หลังจากทำการป้อนเม็ดพลาสติก และการติดตั้งแม่พิมพ์ (Mold) ลงบนเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก เครื่องฉีดจะฉีดชิ้นส่วนพลาสติกออกมา เช่น กันชนหน้า-หลัง โดยชิ้นส่วนที่ออกมาจะเป็นชิ้นส่วนดำ (Black part) ก่อนจะเตรียมส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไป

3) ขั้นตอนการพ่นสี (Painting)

กระบวนการทำงานภายในกระบวนการพ่นสีของโรงงานกรณีศึกษา จะใช้แรงงานคนในการผลิตทั้งหมด กล่าวคือไม่มีหุ่นยนต์ภายในกระบวนการ โดยมีการเริ่มต้นการทำงานจากขั้นตอนในการลำเลียง (loading) ชิ้นส่วนดำเข้ามาที่กระบวนการพ่นสี พร้อมทำการเป่าลมเพื่อกำจัดฝุ่นก่อนที่ลำเลียงต่อไปยังสถานีการพ่นสี ในสถานีแรกของการพ่นสีเป็นการพ่นสีรองพื้น (Primer) การพ่นสีรองวัสดุนี้จะช่วยรองรับการพ่นของชั้นสีจริง ให้ได้ความหนาของชั้นสีตรงตามค่ามาตรฐาน ถัดไปคือสถานีการพ่นสีจริง (Base) ซึ่ง

มีความหลากหลายของสีที่พ่นแบ่งตามรหัสสี และความต้องการของลูกค้า สุดท้ายเป็นการพ่นสีใส (Clear) ทำหน้าที่เสมือนชั้นเคลือบสีเพื่อให้เกิดความเงางามมีความสวยงามก่อนนำเข้าสู่เตาอบ อบด้วยความร้อนอุณหภูมิสูงก่อนที่จะออกมายังปลายสายพานการผลิตของกระบวนการพ่นสีเพื่อจะส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังของกระบวนการพ่นสี

4) ขั้นตอนการผสมสี (Mixing)

การผสมสีเป็นกระบวนการที่ทำหน้าที่ในการป้อนสีเข้าสู่ระบบสี มีหน้าที่หลักในการติดตั้งถังสี รวมถึงสารเคมีที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผสมสีต่างๆ เข้าไปที่ตำแหน่งติดตั้ง ตลอดจนมีหน้าที่ในการควบคุมค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรในระบบสีทั้งหมดให้อยู่ในค่าปกติ

Chulalongkorn University

5) ขั้นตอนในการประกอบชิ้นส่วนย่อย (Assembly component)

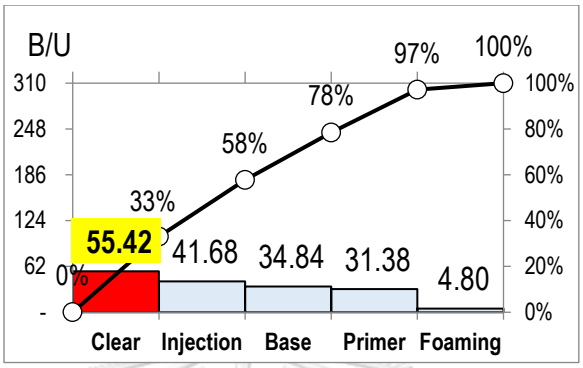
ชิ้นส่วนที่เสร็จสิ้นจากกระบวนการพ่นสีจะถูกส่งต่อมายังสถานีงานประกอบชิ้นส่วนย่อย อาทิ เช่น ชิ้นส่วนพลาสติกของกันชนหน้า, เขี้ยวล๊อคของกันชน, เซนเซอร์หน้า-หลัง และไฟตัดหมอก

6) ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ (Quality control)

ขั้นตอนสุดท้ายของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกก่อนที่จะส่งต่อไปยังลูกค้าก็คือ แผนกประกอบชิ้นส่วนมีหน้าที่ในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ก่อนส่งมอบต่อไปยังลูกค้า

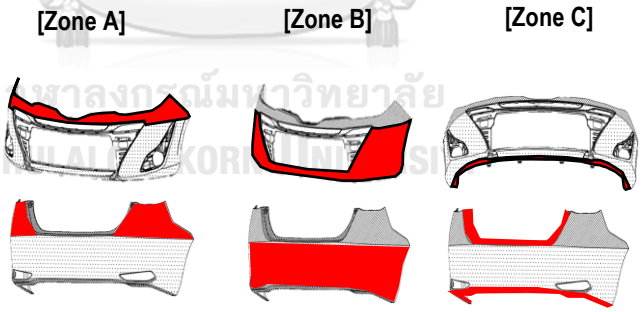
เมื่อทราบรายละเอียดของกระบวนการผลิตทั้งหมดภายในแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการเจาะลึกเข้าไปภายในขั้นตอนการพ่นสีพบว่าสีใส (Clear) เป็นวัตถุดิบทางตรงที่มีสัดส่วนปริมาณการใช้งานเมื่อคิด

เป็นต้นทุนสูงสุดดังรูปที่ 3.3 โดยทำการเก็บข้อมูลในเดือน กรกฎาคม 2563 ผู้วิจัยจึงเลือกสีใสที่ใช้งานในกลุ่มผลิตภัณฑ์กันชนหน้า-หลังของรถยนต์มาดำเนินงานวิจัยเป็นลำดับแรก โดยได้ทำการกำหนดขอบเขตของการศึกษาให้อยู่ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์กันชนหน้า-หลัง



รูปที่ 3.3 แผนภาพพาเรโต้สำหรับแสดงต้นทุนประเภทต่างของวัตถุดิบทางตรง

ข้อมูลความหนาของชั้นสีใสใช้วิธีการวัดความหนาของชั้นสีจากการตัดชิ้นส่วน และนำชิ้นงานมาส่องวัดด้วยกล้องไมโครสโคป (Microscope) โดยแบ่งเป็นโซนต่าง ๆ ทั้งหมด 3 zone ได้แก่ zone A หรือบริเวณที่ลูกค้าสามารถมองเห็นได้ง่าย zone B หรือบริเวณถัดลงมาตรงกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ และ zone C หรือบริเวณที่อยู่ด้านใต้ของผลิตภัณฑ์ที่ยากต่อการมองเห็น (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 แสดงถึงตำแหน่งของกันชนในการพ่นแยกเป็น zone

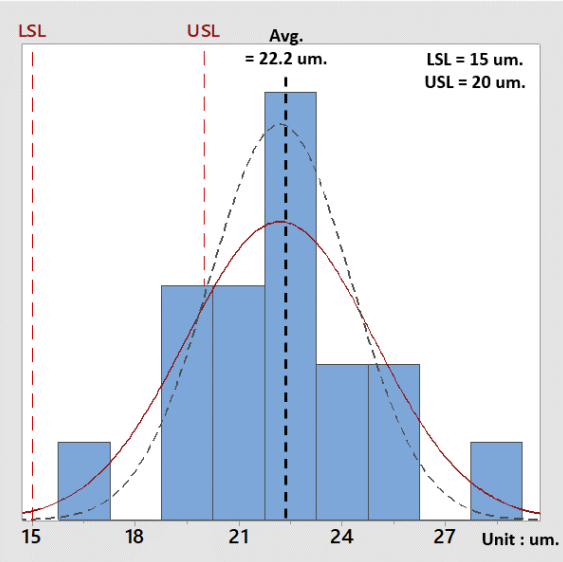
ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลความหนาของชั้นสีใสของกันชนหลังที่บริเวณ zone B เนื่องจากเป็นบริเวณที่พบเจอปัญหาของเสียมากที่สุด และเป็นตำแหน่งที่มีพื้นที่มากที่สุด พบว่าค่าความหนาของชั้นสีใสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.2 um เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ระหว่างขีดข้อจำกัดด้านล่าง (LSL) = 15 um และขีดข้อจำกัดด้านบน (USL) = 20 um ซึ่งเมื่อนำข้อมูลความหนาของชั้นสีใสใน zone B ของกันชนหลังที่เก็บข้อมูลมาได้เป็นจำนวน 35 ข้อมูล (ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 3.1) มาสร้างเป็นกราฟ Histogram ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ผู้วิจัยยังพบอีกว่านอกเหนือไปจากค่าเฉลี่ยความหนาของชั้นสี (mean) ที่สูงเกินกว่ากรอบมาตรฐานแล้ว ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ

ชั้นสีใสในบริเวณดังกล่าว (SD) ยังมีค่าสูงกว่า 2.73 ส่งผลทำให้ค่า Cp = 0.40 และค่า Cpk = 0.36 มีค่าต่ำกว่าค่าที่ยินยอมได้ (1.00) ผู้วิจัยจึงได้เลือกทำการศึกษาการกระบวนการพ่นสีใสในบริเวณดังกล่าวโดยละเอียดมุ่งหวังให้ค่าเฉลี่ยของความหนาชั้นสีใสให้ลดลงเข้ามาอยู่กึ่งกลางระหว่างขีดจำกัดด้านล่าง (LSL) และขีดข้อจำกัดด้านบน (USL) อีกทั้งยังมุ่งหวังให้ค่า SD ต่ำลง ค่า Cp , Cpk มีค่าสูงขึ้น และสามารถเป็นแนวทางในการปรับปรุงการพ่นสีในบริเวณอื่น ๆ ของทั้งผลิตภัณฑ์กันชนหน้า และกันชนหลังของรถยนต์ต่อไปในอนาคต

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลความหนาของสีใสของกันชนหลังที่บริเวณ zone B

No.	Thickness (um)	No.	Thickness (um)
1	22	19	24
2	22	20	23
3	25	21	19
4	22	22	16
5	23	23	21
6	21	24	17
7	24	25	20
8	22	26	26
9	21	27	25
10	22	28	24
11	21	29	29
12	20	30	29
13	22	31	22
14	20	32	22
15	21	33	25
16	22	34	20
17	20	35	21
18	24		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.5 กราฟการกระจายตัวความหนาของชั้นสีใส ก่อนการปรับปรุง

3.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Root cause analysis)

3.2.1 ขั้นตอนการจัดตั้งทีมงาน

การวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาของชั้นสีใสที่สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานนั้น เริ่มจาก การจัดตั้งทีมงานปรับปรุงกระบวนการผลิตที่มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับกระบวนการผลิตพลาสติกที่ใช้ในรถยนต์ ทั้งผู้ชำนาญการในงานที่เกี่ยวข้องกับงานพ่นสีโดยเฉพาะ ในการหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา แนวทางการแก้ไขปัญหาและดำเนินงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของงานที่วางแผนไว้ โดยมีสมาชิกในการทำงานดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ผู้ดำเนินงานวิจัย

  ผู้ดำเนินงานวิจัยทำหน้าที่ในการควบคุมและดำเนินงานทั้งหมดของโครงการ ตลอดจนการออกแบบการทดลองให้มีความเหมาะสมกับสถานการณ์ จำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถทำการวิเคราะห์ผล สรุปผลการทดลองโดยการอธิบายผลกระทบระหว่างปัจจัย และผลตอบสนองได้อย่างชัดเจน

  ประวัติการทำงาน : จบการศึกษาชั้นปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทริอนิกส์ เมื่อปี 2012 ปฏิบัติงานที่บริษัทกรณีศึกษามาทั้งหมด 7 ปี ในแผนกบริหารโรงงาน อยู่ในส่วนงานการพัฒนาและปรับปรุงโรงงาน มีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับกิจกรรมการปรับปรุงกระบวนการต่างๆ ภายในโรงงาน และควบคุมดัชนีชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตภายในโรงงาน (Production Efficiency) ที่สัมพันธ์กับการควบคุมต้นทุนของโรงงานในด้านต้นทุนค่าแรงทางตรงของกระบวนการผลิตให้มีค่าที่ลดลงสอดคล้องกับนโยบายของผู้บริหารขององค์กร

- ผู้จัดการแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก

ผู้จัดการเป็นเสมือนกับที่ปรึกษาของโครงการในฐานะผู้ชำนาญการของแผนกมีหน้าที่ในการควบคุมดูแลภาพรวมของกระบวนการผลิตภายในแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกเพื่อให้ตอบโจทย์ในเรื่องของคุณภาพที่ดี สามารถส่งของให้ลูกค้าได้ตามความต้องการ และมีประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่ดี รวมไปถึงมีหน้าที่ในการอนุมัติงานปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการก่อนที่จะมีการปรับปรุงกระบวนการภายในแผนก

ประวัติการทำงาน : มีประสบการณ์ทำงานในการทำงานที่บริษัทกรณีศึกษา ในแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกเป็นระยะเวลา 25 ปี โดยเริ่มต้นการทำงานจากตำแหน่ง ช่าง ที่ทำหน้าที่ดูแลแม่พิมพ์ในการฉีดขึ้นรูปตลอดจนหน้าที่ความรับผิดชอบในสถานีงานอื่นๆ ภายในแผนกฯ จนกระทั่งได้เลื่อนตำแหน่งเป็นผู้จัดการในปี 2015 ทำหน้าที่ดูแลภาพรวมของแผนกในฐานะผู้เชี่ยวชาญของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกจนถึงปัจจุบัน

- หัวหน้าวิศวกร

ตำแหน่งนี้มีหน้าที่ในการดูแลควบคุมระบบการผลิตภายในแผนก ทั้งงานที่ผลิตจำนวนมากในปัจจุบัน (Mass production) งานปรับปรุงกระบวนการ (Process improvement) และงานของรุ่นใหม่ (New project) เพื่อสามารถทำให้งานรุ่นใหม่เข้ามาผลิตได้ภายในกระบวนการที่มีอยู่ในปัจจุบันโดยการปรับเปลี่ยนเครื่องมือหรืออุปกรณ์เพื่อให้สามารถรองรับงานดังกล่าวได้

ประวัติการทำงาน : จบการศึกษาชั้นปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล เมื่อปี 2010 เข้าทำงานที่บริษัทกรณีศึกษาเมื่อปี 2011 โดยมีประสบการณ์ทำงานทั้งสิ้น 9 ปีจนถึงปัจจุบัน มีหน้าที่เป็นส่วนช่วยเหลือสนับสนุนงานในเชิงวิศวกรรมให้แก่ทีมฝ่ายผลิตเป็นอย่างดี

- หัวหน้ากลุ่มของงานพ่นสี

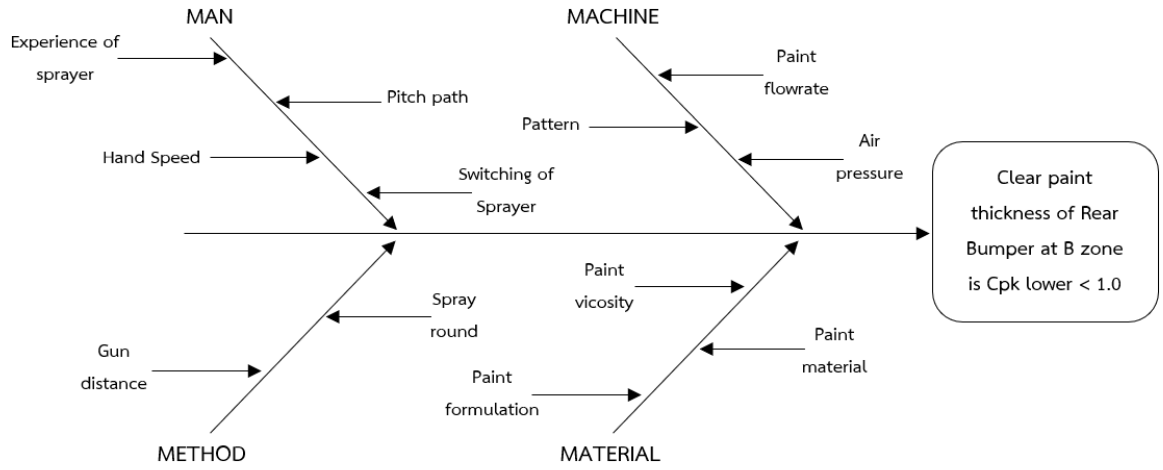
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หัวหน้ากลุ่มงานมีหน้าที่หลักในการควบคุมกระบวนการพ่นสีภายในแผนกให้ได้ตามภารกิจนั้นก็คือคุณภาพความต้องการของลูกค้า ปริมาณการผลิตได้ตามเป้าหมายในแต่ละวันและมีการบริหารจัดการงานประจำวันของกลุ่มงานของตนเอง ตัวอย่างเช่น การวางแผนงานทำความสะอาด กระบวนการสี การบริหารการจัดการ attendance หรือ การทำงานล่วงเวลาของพนักงาน และทำการจัดการในส่วนงานของการปรับปรุงงานของส่วนงานที่ตนเองดูแล (Improvement job)

ประวัติการทำงาน : มีประสบการณ์ทำงานในการทำงานที่บริษัทกรณีศึกษา ในแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกเป็นระยะเวลา 24 ปี โดยมีความเชี่ยวชาญพิเศษในด้านของกระบวนการพ่นสี การแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชั้นสี ปัญหาของเสียบนผิวสีทั้งหมด ถือเป็นบุคลากรที่สำคัญของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกเป็นอย่างยิ่ง

3.2.2 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

การระดมความคิดของสมาชิกทำงานทุกคนเพื่อระบุปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความหนาของชั้นสีภายใต้หลักการ 4M (Man – Machine – Method – Material) ซึ่งสามารถสรุปปัจจัยต่างๆ ได้ทั้งสิ้น 12 ปัจจัยดังแสดงในแผนภูมิก้างปลารูปที่ 3.6 และตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.6 แผนภูมิก้างปลาแสดงถึงการวิเคราะห์โดยใช้หลัก 4M

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยนำเข้าและผลกระทบของปัจจัยต่อความหนาของชั้นสีใส

ลำดับที่	หมวดหมู่	ปัจจัยนำเข้า	ผลกระทบของปัจจัยนำเข้า
1	Man	Hand speed ความเร็วมือ	ความเร็วมือในขณะกำลังเดินปืนพ่นสีที่กำลังพ่นสีลงบนชิ้นงานโดยจะต้องใช้ความเร็วมือที่คงที่ และความเร็วมือในการเดินปืนที่ช้าเกินไปจะส่งผลทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของสีไหลอันเนื่องมาจากสีที่พ่นออกมาเยอะเกินกว่าค่ามาตรฐาน และในทางตรงกันข้ามหากช่างพ่นเดินปืนเร็วเกินกว่าค่ามาตรฐานจะส่งผลให้ค่าความหนาของชั้นสีต่ำกว่ามาตรฐานเพราะละอองสีไปจับกับตัวชิ้นงานได้น้อยลง

Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยนำเข้าและผลกระทบของปัจจัยต่อความหนาของชั้นสีใส (ต่อ)

ลำดับที่	หมวดหมู่	ปัจจัยนำเข้า	ผลกระทบของปัจจัยนำเข้า
2	Man	Pitch path ระยะในการพ่นเหลื่อม	การพ่นสีลงบนตัวชิ้นงานแนวในการพ่นเป็นลักษณะแนวยาวต่อเนื่อง และในขณะที่มีการพ่นพื้นที่ต่อเนื่องกันจำเป็นต้องมีระยะในการพ่นสีเหลื่อมกันกับแนวพ่นเดิมซึ่งจะมีผลต่อความหนาของชั้นสีและปริมาณของการใช้สีโดยตรง ถ้าหากว่าระยะในการพ่นเหลื่อมมากจะยิ่งทำให้ปริมาณในการใช้สีเพิ่มสูงขึ้น
3	Man	Experience of sprayer ประสบการณ์ของช่างพ่น	ประสบการณ์ของช่างพ่นถือเป็นส่วนที่สำคัญ เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับช่างพ่น ตัวอย่างเช่น ความคงที่ในการพ่น ความเร็วในการลากปืนจะต้องคงที่ การเว้นระยะห่างของปืนกับชิ้นงานจะต้องคงที่ และจะต้องทำงานให้สัมพันธ์กับสายพานของระบบการผลิตโดยมีเวลา takt time เป็นตัวกำหนด
4	Man	Switching of sprayer การสลับช่างพ่น	ช่วงเวลาในการสลับตัวของช่างพ่นตามกฎหมายการทำงานที่เกี่ยวข้องกับงานเสี่ยงอันตรายในการพ่นสีจะต้องทำงานไม่เกินวันละ 4 ชั่วโมง โดยปกติแล้วเวลาที่ช่างพ่นเปลี่ยนหรือสลับตัวกันในช่วงแรกมักจะมีโอกาสของการเกิดปัญหาคุณภาพเกิดขึ้นดังนั้นเวลาในการสลับเปลี่ยนตัวช่างพ่นจึงเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญต่อคุณภาพของชิ้นงาน
5	Machine	Paint flowrate อัตราการไหลของสี	อัตราการไหลของสี (Paint flowrate) เป็นปัจจัยนำเข้าของเครื่องจักรอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถปรับค่าได้ที่ตัวปืนพ่นสี โดยการศึกษานี้จะทำการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการไหลที่ 3 ระดับ คือ 200 , 220 และ 240 cc.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยนำเข้าและผลกระทบของปัจจัยต่อความหนาของชั้นสีใส (ต่อ)

ลำดับที่	หมวดหมู่	ปัจจัยนำเข้า	ผลกระทบของปัจจัยนำเข้า
6	Machine	Air pressure แรงดันอากาศ	แรงดันอากาศ (Air pressure) เป็นปัจจัยนำเข้าของเครื่องจักรที่สามารถปรับตั้งค่าได้ ในระบบของปืนพ่นสีจะมีการใช้ลมเข้ามาเพื่อช่วยขับเคลื่อนสีที่พ่นออกไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการปรับตั้งค่าแรงดันอากาศที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.15 , 0.325 และ 0.5 Mpa.
7	Machine	Pattern ความกว้างหน้าปืน	ความกว้างหน้าปืน (Pattern) เป็นปัจจัยนำเข้าของเครื่องจักรที่สามารถปรับตั้งค่าได้ โดยความกว้างของหน้าปืนจะส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของสีในแนวกว้าง และปริมาณของสีที่ใช้ในการพ่น สำหรับค่าความกว้างของหน้าปืนที่ทำการศึกษามีอยู่ 3 ระดับ คือ 15 , 17.5 และ 20 cm.
8	Method	Gun distance ระยะห่างของปืนพ่น	ระยะห่างของปืนพ่นกับพื้นผิวของชิ้นงาน โดยระยะห่างดังกล่าวมีผลต่อละอองสีที่ออกมาจากปลายของปืนพ่นระยะทาง และการกระจายของละอองสีที่ตกลงบนตัวชิ้นงาน จะทำให้ผลของระยะห่างของปืนพ่นที่เปลี่ยนแปลงไป มีผลโดยตรงต่อความหนาของชั้นสี หากระยะห่างของปืนพ่นมากจะทำให้ความหนาของชั้นสีลดลง ในทางตรงกันข้ามหากระยะห่างของปืนพ่นเข้าใกล้ชิ้นงานมากทำให้ความหนาของชั้นสีมาก
9	Method	Spray round จำนวนรอบในการพ่น	จำนวนรอบในการพ่นสีซ้ำ โดยปกติแล้วค่ามาตรฐานในการพ่นสีกำหนดไว้เดิมอยู่ที่ 2 รอบ อันเนื่องมาจากเหตุผลต่าง ๆ ในการออกแบบสถานีในการพ่นสี กำหนดโดยตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความเร็วของสายพานการผลิต ประเภทของสีที่เกี่ยวกับระยะเวลาในการแห้งของสี และระยะเวลาในการเซ็ตตัวของสีก่อนที่จะเข้าไปทำการอบ รวมไปถึงความกว้างของสถานีการพ่นที่เกี่ยวข้องกับเวลา cycle time ที่ใช้ในการพ่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยนำเข้าและผลกระทบของปัจจัยต่อความหนาของชั้นสีใส (ต่อ)

ลำดับที่	หมวดหมู่	ปัจจัยนำเข้า	ผลกระทบของปัจจัยนำเข้า
10	Material	Paint viscosity ความหนืดของสี	เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติหนึ่งของสีที่ใช้ในการพ่น ความหนืดของสีมีผลต่อระยะเวลาในการเซ็ตตัว ระยะเวลาในการพ่นห่างของแต่ละสถานี
11	Material	Paint material ประเภทของสี	สีที่ใช้ในการพ่นรถยนต์มีหลากหลายชนิดทั้งสีที่แห้งเร็ว (1K) มีส่วนประกอบของตัวสีเพียงอย่างเดียว การใช้งานจะต้องนำตัวทำละลายมาผสม เช่น ทินเนอร์ หรือสีอีกประเภทคือสีแห้งช้า (2K) เป็นสีที่มีองค์ประกอบทั้งตัวสีและตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากการแห้งตัวแล้วจะมีคุณสมบัติในด้านความแข็งแรงของชั้นฟิล์มสูง มีความทนทาน ยึดเกาะได้ดี สีประเภทสีอบ สีชนิดนี้จะแห้งตัวเร็วมากโดยการอบที่อุณหภูมิ 120 – 160 C มีฟิล์มสีที่มีคุณภาพดีมาก มีความแข็งแรงของชั้นฟิลม์สีสูง ทนต่อตัวทำละลายและสารเคมีต่าง ๆ นอกจากนั้นยังมีการยึดเกาะที่เยี่ยมมาก ให้ความเงาดี ทนต่อแสงแดด และคงในสภาพเดิมได้เป็นอย่างดี สีชนิดนี้คือสีที่ใช้ในโรงงานประกอบรถยนต์ที่เรากำลังศึกษา
12	Material	Paint formulation สูตรผสมของสี	องค์ประกอบภายในสีที่ใช้ในการพ่นสีรถยนต์มีสูตรใช้การผสมสีก่อนนำไปใช้งานในการพ่น ประกอบไปด้วยเนื้อสี หลายส่วน เช่น ผงสี ตัวทำละลาย สารปรับแต่ง และสารที่ทำให้สีแข็งตัว

ผู้วิจัยได้ร่วมกันในการระดมความคิดของทีมงาน โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนของแต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความหนาของชั้นสี ให้สมาชิกทั้ง 3 ท่าน มีผู้จัดการแผนก หัวหน้าวิศวกร และหัวหน้ากลุ่มของงานพ่นสี ลงคะแนนให้กับแต่ละปัจจัยและร่วมกันเสนอความคิด แนวทางการแก้ไขปัญหา และร่วมกันตัดสินใจอย่างเป็นระบบร่วมกัน หลังจากนั้นจึงมาสรุปข้อมูลของคะแนนและสรุปความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของชั้นสีใส และทำการจัดอันดับปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าความหนาของชั้นสีใสมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐาน ตลอดจนกำหนดระดับของปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทดลองต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.3 เกณฑ์การให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับความหนาของชั้นสีใส

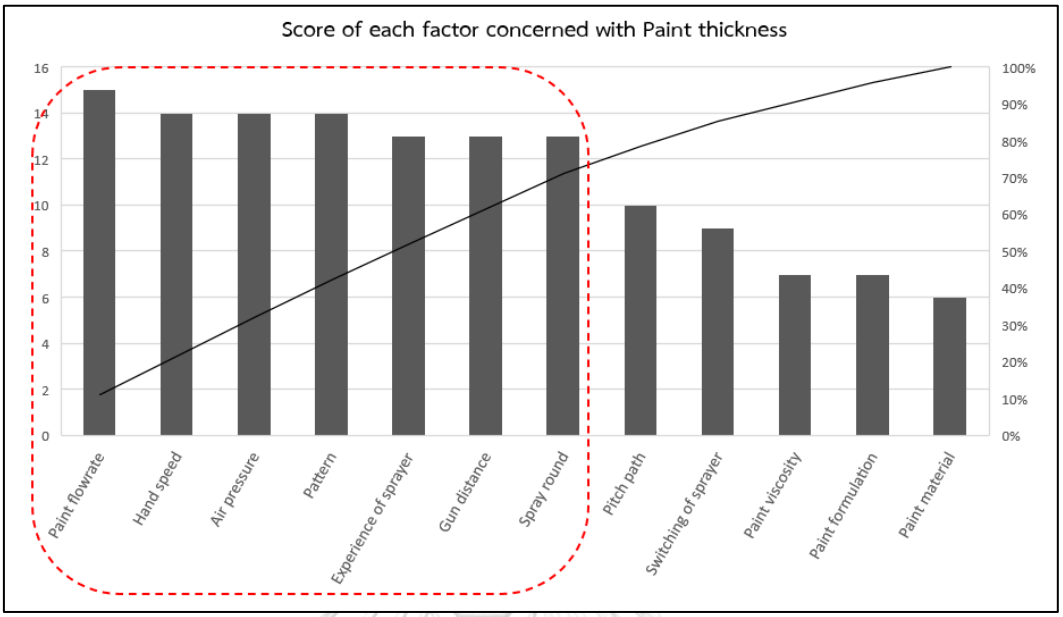
ระดับความสัมพันธ์	ความหมายของระดับความสัมพันธ์	คะแนน
มากที่สุด	ปัจจัยมีความสัมพันธ์ต่อความหนาของชั้นสีมากที่สุด	5
มาก	ปัจจัยมีความสัมพันธ์ต่อความหนาของชั้นสีมาก	4
ปานกลาง	ปัจจัยมีความสัมพันธ์ต่อความหนาของชั้นสีปานกลาง	3
น้อย	ปัจจัยมีความสัมพันธ์ต่อความหนาของชั้นสีน้อย	2
น้อยมาก	ปัจจัยมีความสัมพันธ์ต่อความหนาของชั้นสีน้อยมาก	1
ไม่มีผล	ปัจจัยไม่มีความสัมพันธ์ต่อความหนาของชั้นสี	0

ตารางที่ 3.4 การประเมินคะแนนความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาของชั้นสีใส

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คะแนนรวม
		คะแนน	คะแนน	คะแนน	
1	Hand speed ความเร็วมือ	4	5	5	14
2	Pitch path ระยะในการพ่นเหลื่อม	4	3	3	10
3	Experience of sprayer ประสบการณ์ของช่างพ่น	4	4	5	13
4	Switching of sprayer การสลับช่างพ่น	3	3	3	9
5	Paint flowrate อัตราการไหลของสี	5	5	5	15
6	Air pressure แรงดันอากาศ	5	5	4	14
7	Pattern ความกว้างหน้าปืน	5	4	5	14
8	Gun distance ระยะห่างของปืนพ่น	4	4	5	13
9	Spray round จำนวนรอบในการพ่น	4	4	5	13
10	Paint viscosity ความหนืดของสี	2	3	2	7
11	Paint material ประเภทของสี	2	2	2	6
12	Paint formulation สูตรผสมของสี	2	2	3	7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สรุปผลรวมของคะแนนจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน แสดงในรูปที่ 3.7 สามารถสังเกตเห็นว่าคะแนนของปัจจัยนำเข้าทั้ง 7 ตัวมีค่าที่ใกล้เคียงกันเราจึงนำมาวิเคราะห์ต่อ โดยแยกเป็นหมวดหมู่ของ 4M



รูปที่ 3.7 แผนภาพพาเรโต้จัดลำดับผลรวมของคะแนนของปัจจัยนำเข้า

สำหรับปัจจัยในหมวดคน (Man) สมาชิก และผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่า ปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับคน เช่น ความเร็วในการเดินปืน (Hand speed) ระยะในการพ่นเหลื่อม (Pitch path) และประสบการณ์ของช่างพ่น (Experience of sprayer) ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาของชั้นสีจากคะแนนที่ได้รับเป็นลำดับต้น ๆ แต่แนวทางในการพัฒนาจะมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงความสามารถของพนักงานพ่นสีโดยการฝึกฝนอบรม และการประเมินผลโดยหน่วยงานที่รับผิดชอบการทำ Skill training โดยการฝึกฝนทักษะการทำงานของพนักงานเป็นรายบุคคลที่มีอยู่แล้วในแผนกฯ มีการจัดการที่เป็นระบบอยู่แล้ว ในการวิจัยในครั้งนี้จึงไม่นำปัจจัยนี้เข้าไปทำการทดลองต่อ

ส่วนปัจจัยในหมวดของเครื่องจักร (Machine) เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับตั้งค่าของอุปกรณ์ในการพ่นสีต่าง ๆ เช่น การปรับตั้งปืนที่ใช้ในการพ่น หรือการปรับตั้งระบบลมที่ใช้ภายในกระบวนการ ส่งผลโดยตรงต่ออัตราการไหลของสี และความหนาของชั้นสี ผู้ดำเนินงานวิจัยจึงได้หยิบยกปัจจัยในหมวดนี้ไปศึกษาต่อ เนื่องจากกลุ่มของ machine ในการจัดลำดับคะแนนรวมจะได้อยู่ในลำดับต้น ๆ ได้เลือกปัจจัยบางส่วนจากหมวดวิธีการ (Method) ก็คือ ระยะห่างของปืนกับชิ้นงานเข้าร่วมศึกษาด้วย เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับความหนาของชิ้นงานโดยตรง สำหรับจำนวนรอบในการพ่นสีนั้นอาจมีผลต่อความหนาของชั้นสี แต่จำนวนรอบการพ่นสีถูกกำหนดไว้ที่ 2 รอบ จึงไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้อันเนื่องมาจากค่ามาตรฐานในการออกแบบสถานีทำงานที่มีระยะเวลา (Takt time) ในการทำงานที่จำกัดจึงจำเป็นต้องคงปัจจัยนี้ไว้ที่ 2 รอบ

ปัจจัยในหมวดวัตถุดิบ (Material) ถูกกำหนดไว้ตามคุณสมบัติ (Specification) ของบริษัทแม่ที่กำหนดไว้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยในส่วนนี้ส่งผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพของชิ้นงาน จึงไม่สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อศึกษาได้ ดังนั้นปัจจัยหลักที่ผู้วิจัยเลือกดำเนินการศึกษาต่อ จึงมีเพียง 3 ปัจจัย ดังมีรายละเอียดดังนี้

1) ความกว้างหน้าปืน (Pattern) เป็นปัจจัยนำเข้าของเครื่องจักรที่สามารถปรับตั้งค่าได้ โดยความกว้างของหน้าปืนจะส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของสีในแนวกว้าง และปริมาณของสีที่ใช้ในการพ่น สำหรับค่าความกว้างของหน้าปืนที่ทำการศึกษามีอยู่ 3 ระดับ คือ 15 , 17.5 และ 20 cm.

2) อัตราการไหลของสี (Paint flowrate) เป็นปัจจัยนำเข้าของเครื่องจักรอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถปรับค่าได้ โดยในการศึกษานี้จะทำการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการไหลที่ 3 ระดับ คือ 200 , 220 และ 240 cc./min

3) ระยะห่างของปืน (Gun distance) หรือช่วงระยะห่างระหว่างตัวปืนกับชิ้นงาน เป็นปัจจัยนำเข้าด้านวิธีการที่สำคัญ โดยระยะดังกล่าวจะส่งผลต่อระยะการจับตัวของสี ตลอดจนปริมาณการใช้สีในการพ่นที่ทำให้ได้ความหนาที่แตกต่างกันซึ่งในการทดลอง ผู้วิจัยได้กำหนดระยะห่างของปืนไว้ 3 ระดับ ที่ 10, 15 และ 20 cm.

ตารางที่ 3.5 สรุปปัจจัยนำเข้าที่นำไปศึกษาต่อหรือไม่นำไปศึกษาต่อ และแนวทางการปรับปรุง

ลำดับที่	หมวดหมู่	ปัจจัยนำเข้า	นำไปศึกษาต่อ	ไม่นำไปศึกษาต่อ	แนวทางการปรับปรุง
1	Man	Hand speed ความเร็วมือ		√	ปัจจัยที่เกี่ยวกับคนในแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกจะมีหน่วยงานที่จะรับผิดชอบเกี่ยวกับทักษะความสามารถในการทำงานพิเศษหรือความสามารถด้านการพ่นสี โดยเฉพาะมีพื้นที่บริเวณสำหรับซ้อมและฝึกฝนทักษะที่เกี่ยวข้องกับการพ่นสี โดยมีอาจารย์ผู้รับผิดชอบและหลักการประเมินผลอย่างชัดเจน อาทิเช่น การประเมินความเร็วมือในการพ่นชิ้นงานทดสอบ การวัดระยะเหลื่อม การตรวจสอบชิ้นงานหลังจากการพ่นเสร็จสิ้น
2	Man	Pitch path ระยะในการพ่นเหลื่อม		√	
3	Man	Experience of sprayer ประสบการณ์ของช่างพ่น		√	
4	Man	Switching of sprayer การสลับช่างพ่น		√	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.5 สรุปปัจจัยนำเข้าที่นำไปศึกษาต่อหรือไม่นำไปศึกษาต่อ และแนวทางการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับที่	หมวดหมู่	ปัจจัยนำเข้า	นำไปศึกษาต่อ	ไม่นำไปศึกษาต่อ	แนวทางการปรับปรุง
5	Machine	Paint flowrate อัตราการไหลของสี	√		ปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับการปรับตั้งค่าของอุปกรณ์เกี่ยวกับการพ่น เช่น อัตราการไหลของสี และแรงดันอากาศมีผลโดยตรงต่อกันตามหลักการ ดังนั้นจึงเลือกเฉพาะอัตราการไหลของสี ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อการขับเคลื่อนสีออกจากปืนพ่น จึงนำปัจจัยดังกล่าวไปออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยในครั้งนี้
6	Machine	Air pressure แรงดันอากาศ		√	
7	Machine	Pattern ความกว้างหน้าปืน	√		
8	Method	Gun distance ระยะห่างของปืนพ่น	√		ระยะห่างของปืนมีผลต่อการตกกระทบของสีลงบนตัวชิ้นงาน ผู้วิจัยจึงนำปัจจัยนี้ไปศึกษาต่อร่วมกันกับปัจจัยของ Machine
9	Method	Spray round จำนวนรอบในการพ่น		√	เนื่องจากจำนวนรอบจะถูกจำกัดคงที่ที่ 2 รอบ ตามการออกแบบของสถานีพ่นและปริมาณการใช้สีที่กำหนดไว้
10	Material	Paint viscosity ความหนืดของสี		√	ปัจจัยในหมวดวัตถุดิบ (Material) ถูกกำหนดไว้ตามคุณสมบัติ (Specification) ของบริษัทแม่ จึงไม่สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อศึกษาได้ เนื่องจากมีผลกระทบต่อคุณภาพสีค่อนข้างมาก และคุณสมบัติของสีในปัจจุบันตรงตามการออกแบบของสถานีการพ่นที่ใช้ในปัจจุบัน
11	Material	Paint material ประเภทของสี		√	
12	Material	Paint formulation สูตรผสมของสี		√	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 สรุปผลขั้นตอนการวิเคราห์หาปัจจัยนำเข้า

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าเริ่มต้นจากศึกษากระบวนการของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกอย่างละเอียด เพื่อให้ทราบข้อมูลโดยละเอียดก่อนทำวิเคราะห์เจาะลึกในเรื่องความหนาของชั้นสี โดยให้ความสำคัญกับสีใสเนื่องจากเป็นวัตถุดิบทางตรงที่มีสัดส่วนปริมาณการใช้คิดเป็นต้นทุนสูงที่สุด โดยอยู่ในการผลิตสินค้าในกลุ่มของกันชนหน้า-หลังที่มีกระบวนการพ่นสี (painting) จึงทำการเก็บข้อมูลการใช้สีใสในกระบวนการผลิตจนกระทั้งพบปัญหาในการพ่นสีที่มีความหนาของชั้นสีมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ส่งผลทำให้เกิดความสูญเสียเชิงต้นทุนและเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านคุณภาพ ปัจจุบันมีค่าเฉลี่ยของความหนาของชั้นสีใสเท่ากับ 22.2 um เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานกำหนดไว้ ระหว่าง LSL = 15 um และ USL = 20 um และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ยังมีค่าที่สูงเท่ากับ 2.73 ส่งผลทำให้ค่า Cp = 0.40 และค่า Cpk = 0.36 มีค่าต่ำกว่าค่าที่ยินยอมได้ (1.00) ผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษากระบวนการพ่นสีใสในบริเวณดังกล่าวโดยละเอียด โดยมุ่งหวังให้ปัญหาทางด้านคุณภาพลดลงและส่งผลให้ต้นทุนความสูญเสียดังกล่าวลดต่ำลง ด้วยวิธีการศึกษาปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้อง และทำการปรับค่าเฉลี่ยของความหนาชั้นสีใสให้ลดลงเข้ามาอยู่กึ่งกลางระหว่างขีดจำกัดด้านล่าง (LSL) และขีดข้อจำกัดด้านบน (USL) รวมถึงการปรับปรุงค่า Cp และ Cpk

จากปัญหาข้างต้นนำไปสู่ขั้นตอนในการจัดตั้งทีมงานขึ้นมาเพื่อทำโครงการปรับปรุงกระบวนการในครั้งนี้ จากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางภายในแผนกเข้ามาร่วมกันระดมความคิด เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับความหนาของชั้นสีใสในกระบวนการพ่นสีผ่านการทำการประเมินแบบให้คะแนนของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ และสรุปคะแนนเป็นรูปแบบของแผนพาเรโต้เพื่อลำดับปัจจัยที่มีความสำคัญสูงที่สุดไปยังความสำคัญที่น้อยที่สุด เพื่อนำไปสรุปแนวทางในการปรับปรุงของแต่ละปัจจัยนำเข้า ในบางปัจจัยมีแนวทางในการปรับปรุงภายในแผนกดังกล่าวอยู่แล้วเราจึงไม่นำเข้ามาวิจัยเพิ่มเติมในครั้งนี้ ในบางปัจจัยเป็นปัจจัยที่หากเราปรับเปลี่ยนจะมีผลในเรื่องของคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยตรง ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงให้ความสำคัญกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ Machine เป็นหลักในการวิจัยในครั้งนี้ สรุปปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปวิจัยต่อในครั้งนี้จะมีทั้งสิ้น 3 ตัวด้วยกันคือ 1) อัตราการไหลของสี (Paint flowrate) 2) ความกว้างหน้าปืน (Pattern) 3) ระยะห่างของปืนพ่น (Gun distance) จึงจะนำทั้ง 3 ปัจจัยนำเข้าไปศึกษาต่อในลำดับถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ

ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ เริ่มจากการนำปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการไหลของสี ความกว้างหน้าปืน และระยะห่างของปืนพ่น นำมาทดสอบสมมุติฐานในเรื่องความสัมพันธ์ที่มีต่อความหนาของชั้นสีใส ที่เป็นผลที่ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านคุณภาพ และต้นทุน โดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ตัวที่มีผลต่อความหนาของชั้นสีด้วยวิธีการ Stepwise Regression และหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยแต่ละตัวโดยใช้ Response Optimizer. โดยใช้โปรแกรมมินิเทป (Minitab) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การออกแบบการทดลอง

4.1.1 การกำหนดปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

ปัจจัยนำเข้าที่นำไปวิจัยมีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการไหลของสี ความกว้างหน้าปืน และระยะห่างของปืนพ่น ปัจจัยทั้ง 3 ตัวจะอยู่ในกระบวนการพ่นสีกันชนในสถานีงานการพ่นสีของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยผู้วิจัยนำปัจจัยดังกล่าวไปทำการออกแบบการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนอง คือ ความหนาของชั้นสีใส ที่มีผลต่อปัญหาทางด้านคุณภาพ และต้นทุนที่สูงขึ้น

4.1.2 การออกแบบการทดลอง

ปัจจัยนำเข้าที่ได้จากขั้นตอนที่ผ่านมา มีจำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการไหลของสี ความกว้างหน้าปืน และระยะห่างของปืนพ่น จะถูกนำไปศึกษาต่อด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) แบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน (Box-behnken Design) เนื่องจากตัวแปรนำเข้ามีจำนวน 3 ปัจจัย จำนวนของการทดลองทั้งหมดจึงเท่ากับ 15 การทดลอง ซึ่งเป็นจำนวนที่น้อยว่าการออกแบบการทดลองในรูปแบบอื่น เนื่องด้วยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนไม่ได้รวมเอาระดับของปัจจัยที่จุดยอดของลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของแต่ละตัวแปร ซึ่งเป็นตัวช่วยในการลดต้นทุน หรือประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกการออกแบบการทดลอง แบบบ็อกซ์-เบห์นเคน มาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ โดยมีการกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัยที่ระดับสูง (+1) ระดับกลาง (0) และระดับต่ำ (-1) โดยมีแนวทางในการกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าแต่ละตัว ดังนี้

1) ความกว้างหน้าปืน เป็นปัจจัยที่สามารถทำการปรับตั้งค่าได้ที่เครื่องจักร โดยความกว้างของหน้าปืนจะส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของสีในแนวกว้าง และปริมาณของสีที่ใช้ในการพ่น สำหรับค่าความกว้างของหน้าปืนในปัจจุบันที่ทำการใช้อยู่คือ 17.5 cm. การศึกษาในครั้งนี้จะทำการปรับระดับขึ้น และลงอีกระดับ ทำให้การทดลองมี 3 ระดับ คือ 15 , 17.5 และ 20 cm.

2) อัตราการไหลของสี เป็นปัจจัยนำเข้าของเครื่องจักรอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถปรับค่าได้โดยการปรับตั้งที่บริเวณตัวปืนพ่นสี โดยในการศึกษานี้จะทำการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการไหลที่ 3 ระดับ คือ 200 , 220 และ 240 cc./min ในปัจจุบันใช้การพ่นที่ 220 cc/min. ซึ่งยังไม่เคยถูกปรับเปลี่ยนมาก่อนแต่อย่างใด

3) ระยะห่างของปืนพ่น หรือช่วงระยะห่างระหว่างตัวปืนกับชิ้นงานเป็นปัจจัยนำเข้าด้านวิธีการที่สำคัญ โดยระยะดังกล่าวส่งผลต่อระยะการจับตัวของสี ตลอดจนปริมาณการใช้สีในการพ่นที่ทำให้ได้ความหนาที่แตกต่างกันซึ่งในการทดลอง ผู้วิจัยได้กำหนดระยะห่างของปืนไว้ 3 ระดับ ที่ 10, 15 และ 20 cm. โดยที่มาตรฐานในการทำงานในปัจจุบันกำหนดระยะห่างของปืนพ่นกับตัวชิ้นงานอยู่ที่ 15 cm.

ปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ตัว และระดับของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ระดับ ได้ถูกกำหนดด้วยสัญลักษณ์ A, B และ C เพื่อนำไปดำเนินงานวิจัยต่อไป สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในการทดลอง

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับปัจจัย			หน่วย
		-1	0	1	
A	ความกว้างหน้าปืน	15	17.5	20	cm.
B	อัตราการไหลของสี	200	220	240	cc./min.
C	ระยะห่างของปืนพ่น	10	15	20	cm.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดตารางการออกแบบการทดลอง (Design matrix) ตามจำนวนของปัจจัยนำเข้าที่มีอยู่ทั้งสิ้น 3 ปัจจัยด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน (Box-behnken Design) โดยมีการกำหนดลำดับในการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) วัตถุประสงค์เพื่อให้ผลการทดลองเป็นอิสระต่อกัน จำนวนของการทดลองดังกล่าวจะได้เท่ากับ 15 การทดลอง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางการออกแบบการทดลอง (Design Matrix) แบ่งตามระดับ -1, 0, +1

STD order	Run order	Factor		
		A	B	C
1	13	-1	-1	0
2	4	1	-1	0
3	14	-1	1	0
4	12	1	1	0
5	5	-1	0	-1
6	9	1	0	-1
7	15	-1	0	1
8	7	1	0	1
9	1	0	-1	-1
10	2	0	1	-1
11	10	0	-1	1
12	3	0	1	1
13	11	0	0	0
14	8	0	0	0
15	6	0	0	0

ตารางที่ 4.3 ตารางการออกแบบการทดลอง (Design Matrix) แบ่งตามระดับของปัจจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STD order	Run order	Factor		
		A	B	C
1	13	15	200	15
2	4	20	200	15
3	14	15	240	15
4	12	20	240	15
5	5	15	220	10
6	9	20	220	10
7	15	15	220	20
8	7	20	220	20
9	1	17.5	200	10
10	2	17.5	240	10

ตารางที่ 4.3 ตารางการออกแบบการทดลอง (Design Matrix) แบ่งตามระดับของปัจจัย (ต่อ)

STD order	Run order	Factor		
		A	B	C
11	10	17.5	200	20
12	3	17.5	240	20
13	11	17.5	220	15
14	8	17.5	220	15
15	6	17.5	220	15

4.2 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยได้เริ่มดำเนินการทดลองตามการออกแบบการทดลองที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น การทดลองครั้งนี้จะเริ่มจากการจัดการประชุมร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้องภายในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกก่อนที่จะเริ่มการทดลองจะต้องทำการขออนุมัติกับทางผู้อำนวยการฝ่ายก่อนที่จะเริ่มการทดลอง โดยมีการมอบหมายการทำงานให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องแต่ละคนในการเตรียมการปรับตั้งอุปกรณ์จำพวกปืนพ่น และผู้ที่รับผิดชอบในเรื่องการฝึกฝนพนักงานช่างพ่น โดยสามารถเรียบเรียงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1) จัดประชุมผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อให้ทราบถึงแผนงานในแต่ละขั้นตอน

2) ดำเนินงานทดลองตามรูปแบบการออกแบบการทดลองที่ได้กำหนดไว้ดังตารางที่ 4.3 โดยมีการปรับตั้งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวปืนพ่นสี และรูปแบบการทำงานของพนักงานช่างพ่นสี

3) นำชิ้นงานที่ผ่านการทดลองดังกล่าวมาทำการวัดความหนาของชั้นสี โดยใช้กล้อง Microscope ในการวัด

4) จัดทำการสรุปผลการทดลอง พร้อมทั้งอภิปรายผลการทดลอง

4.3 ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้ภายหลังจากการทดลองตามการออกแบบการทดลองด้วยการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่กำหนดไว้ เป็นจำนวน 15 ครั้ง ทำการทดลองในเดือนสิงหาคม 2563 โดยอาศัยเวลาหลังจากจบกระบวนการผลิตประจำวันทำการทดลอง ปรากฏผลการทดลองออกมาเป็นค่าความหนาของชั้นสีใส (Clear paint thickness) ดังตารางที่ 4.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.4 ตารางการออกแบบการทดลองและผลการทดลอง

STD order	Run order	Factor			Clear paint Thickness
		A	B	C	
1	13	15	200	15	19
2	4	20	200	15	16
3	14	15	240	15	20
4	12	20	240	15	20
5	5	15	220	10	25
6	9	20	220	10	20
7	15	15	220	20	18
8	7	20	220	20	17
9	1	17.5	200	10	13
10	2	17.5	240	10	17
11	10	17.5	200	20	15
12	3	17.5	240	20	16
13	11	17.5	220	15	21
14	8	17.5	220	15	21
15	6	17.5	220	15	21

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้วิจัยหลังจากทราบผลการทดลองด้วยวิธีการออกแบบการทดลองที่กำหนดไว้ข้างต้นโดยโปรแกรมมินิแทป (Minitab) ขั้นตอนต่อไปคือขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ เริ่มต้นจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เป็นลำดับแรกเพื่อยืนยันว่าข้อมูลที่ได้มาสามารถที่จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ในการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติของปัจจัยหรือไม่ ด้วยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบไปด้วย สมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่ สมมติฐานการแจงแจงแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง (Normality Assumption) สมมติฐานความคงที่ของค่าความแปรปรวนของค่าส่วนตกค้าง (Variance Stability) และสมมติฐานของความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้าง (Independence of Residual) หลังจากตรวจสอบ จะนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการทดสอบความมีนัยสำคัญต่อปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อความหนาของชั้นสี โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปวน และทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

4.4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองของความหนาของชั้นสี

4.4.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

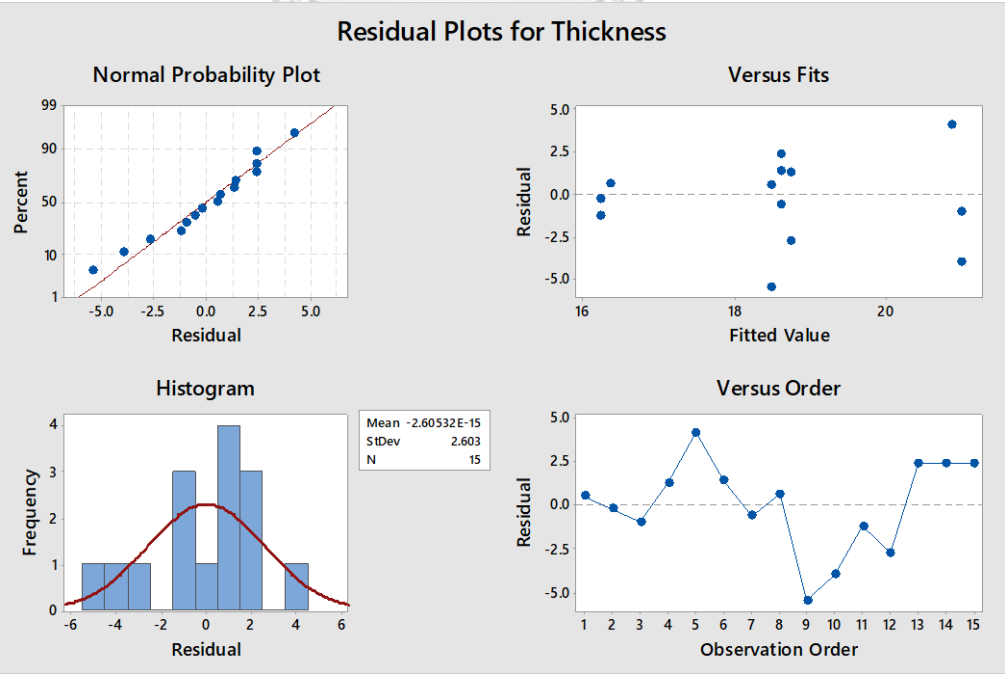
ผู้วิจัยสามารถทำการสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองของความหนาของชั้นสี โดยอ้างอิงจากรูปที่ 4.1ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) การทดลองสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง (Normality Assumption) ในกราฟ Normal Probability Plot สามารถแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่มีการจัดเรียงตัวเป็นแนวเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ

2) การทดสอบสมมติฐานความคงที่ของความแปรปวนของค่าส่วนตกค้าง (Variance Stability) โดยสังเกตจากกราฟ Residual Versus Fitted Value ซึ่งมีการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์ และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีค่าความแปรปวนที่คงที่

3) กราฟ Histogram จะแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ สามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ

4) การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้าง สามารถดูได้จากกราฟ Residual Versus Observation order ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีการกระจายเป็นบวก และลบอย่างสุ่ม ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้ม หรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวส่วนตกค้างของความหนาของชั้นสี

4.4.1.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับความหนาของชั้นสี

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อความหนาของชั้นสี ด้วยการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและความหนาของชั้นสี

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	9	147.500	16.389	12.610	0.006
X1	1	4.667	4.667	3.590	0.117
X2	1	40.164	40.164	30.900	0.003
X3	1	8.221	8.221	6.320	0.054
X1*X1	1	5.769	5.769	4.440	0.089
X2*X2	1	39.000	39.000	30.000	0.003
X3*X3	1	11.308	11.308	8.700	0.032
X1*X2	1	0.000	0.000	0.000	1.000
X1*X3	1	0.000	0.000	0.000	1.000
X2*X3	1	4.000	4.000	3.080	0.140
Error	5	6.500	1.300	-	-
Lack-of-Fit	3	6.500	2.167	-	-
Pure Error	2	0.000	0.000	-	-
Total	**14**	**154.000**	**-**	**-**	**-**
Model summary		**S**	**R-Sq**	**R-Sq (adj)**	**R-Sq (Pred)**
		1.14018	95.78%	88.18%	32.74%
Regression Equation		Y = -362 - 8.00 X1 + 3.825 X2 + 4.15 X3 + 0.2 X1*X1 - 0.00812 X2*X2 - 0.07 X3*X3 + 0.0 X1*X2 - 0.0 X1*X3 - 0.01 X2*X3			

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและความหนาของชั้นสี การวิเคราะห์การหาสมการความสัมพันธ์แบบเต็มรูป (Full model) จากสมการที่ได้จะแสดงให้ทราบถึงพจน์ของปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รวมอยู่ด้วย ได้ผลลัพธ์ค่า R-Sq เท่ากับ 95.78 % และค่า R-Sq (adj) เท่ากับ 88.18 % ในขั้นตอนถัดไปจะทำการตัดพจน์ของปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญออกด้วยวิธี Stepwise Regression ที่ระดับนัยสำคัญ 0.15 เข้ามาช่วยในการทดสอบเพื่อนำปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความหนาของชั้นสีเพื่อไปสร้างสมการความสัมพันธ์แบบลดรูป (Reduced Model) ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและความหนาของชั้นสี โดยวิธีการ Stepwise

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	147.500	21.071	22.69	0.000
X1	1	7.518	7.518	8.10	0.025
X2	1	43.851	43.851	47.22	0.000
X3	1	10.731	10.731	11.56	0.011
X1*X1	1	5.769	5.769	6.21	0.041
X2*X2	1	39.000	39.000	42.00	0.000
X3*X3	1	11.308	11.308	12.18	0.010
X2*X3	1	4.000	4.000	4.31	0.077
Error	7	6.500	0.929	-	-
Lack-of-Fit	5	6.500	1.300	-	-
Pure Error	2	0.000	0.000	-	-
Total	**14**	**154.000**	**-**	**-**	**-**
Model summary		**S**	**R-Sq**	**R-Sq (adj)**	**R-Sq (Pred)**
		0.963624	95.78%	91.56%	65.58%
Regression Equation		Y = -362 - 8.00 X1 + 3.825 X2 + 4.15 X3 + 0.2 X1*X1 - 0.00812 X2*X2 - 0.07 X3*X3 - 0.01 X2*X3			

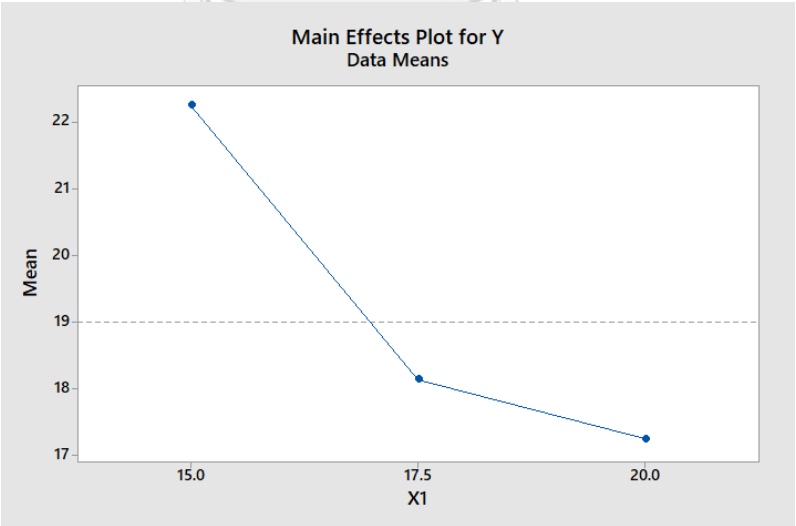
อ้างอิงจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) ดังรูปที่ 4.3 พบว่าพจน์ของปัจจัยที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนาของชั้นสีที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 หรือ ปัจจัยที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 มีทั้งหมด 7 เทอม ซึ่งประกอบไปด้วยผลกระทบหลัก (Main Effect Term) ได้แก่ X1, X2, X3 เทอมกำลังสองของปัจจัย (Second Order Term) ได้แก่ X1*X1, X2*X2, X3*X3 และเทอมของผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย (Interaction Term) ได้แก่ X2*X3 ดังนั้นเทอมของปัจจัยที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจะถูกนำมาสร้างเป็น

สมการความสัมพันธ์แบบลดรูป (Reduced Model) ที่อยู่ในรูปแบบสมการในรูปแบบหน่วยที่แท้จริง (Uncoded Unit) ดังสมการที่ 4.1 โดยผลลัพธ์ของค่า R-Sq ที่ได้เท่ากับ 95.78 % และค่า R-Sq (adj) เท่ากับ 91.56 % ซึ่งภายหลังจากการทำ Stepwise regression ส่งผลให้ค่า R-Sq (adj) นั้นมีค่าสูงขึ้น

Paint thickness = -362 – 8 X1 + 3.825 X2 + 4.15 X3 + 0.2 X1*X1 – 0.00812 X2*X2 – 0.07 X3*X3 – 0.01 X2*X3 (4.1)

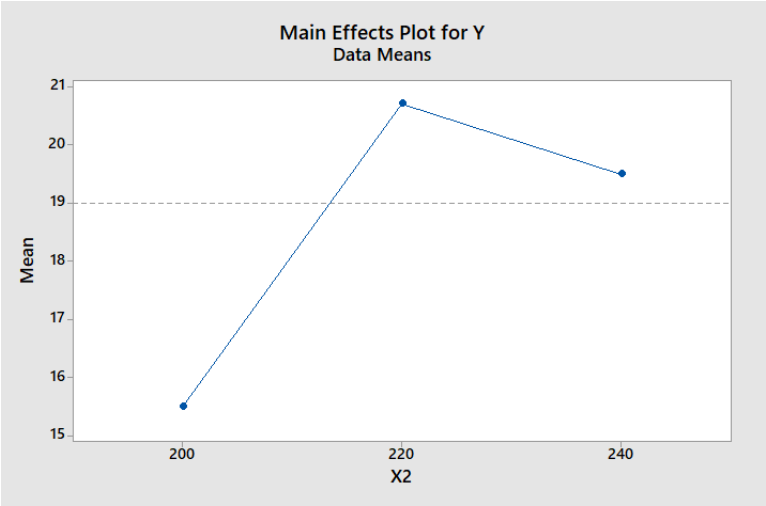
ผลการวิเคราะห์ข้างต้นผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่าปัจจัย X1, X2 และ X3 เป็นปัจจัยนำเข้าที่มีเทอมของผลกระทบหลัก เทอมผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย ได้แก่ ปัจจัย X2, ปัจจัย X3 และเทอมกำลังสองที่ส่งผลต่อความหนาของชั้นสีอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ ปัจจัย X1, X2 และ X3 ดังนั้น สำหรับปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยผู้วิจัยได้เลือกใช้กราฟพื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) เข้ามาใช้งานเพื่อการอธิบายความสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัย และสำหรับเทอมของผลกระทบหลักจะเลือกใช้ กราฟผลกระทบหลัก (Main Effect Plot) เข้ามาเพื่อช่วยในการอธิบายความสัมพันธ์ที่มีผลกระทบต่อความหนาของชั้นสี

ปัจจัย X1 หรือ ความกว้างหน้าปืน มีผลกระทบโดยตรงต่อความหนาของชั้นสี จากระดับความกว้างของหน้าปืนสูงที่สุดจะส่งผลให้ความหนาของชั้นสีน้อยที่สุด เป็นผลจากรัศมีความกว้างของหน้าปืนที่ส่งผลต่อทิศทางการกระจายตัวของสีถูกขับเคลื่อนออกจากตัวปืนโดยที่ความหนาของชั้นสีจะมากที่สุดเมื่อความกว้างของหน้าปืนมีค่าน้อยที่สุดหรือการกระจายตัวของสีแคบส่งผลให้สีที่ถูกขับจากกระบอกปืนพุ่งไปติดชิ้นงานได้มากขึ้น ดังความสัมพันธ์ที่แสดงในกราฟผลกระทบหลัก (Main effect Plot) รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลกระทบหลักของปัจจัย X1

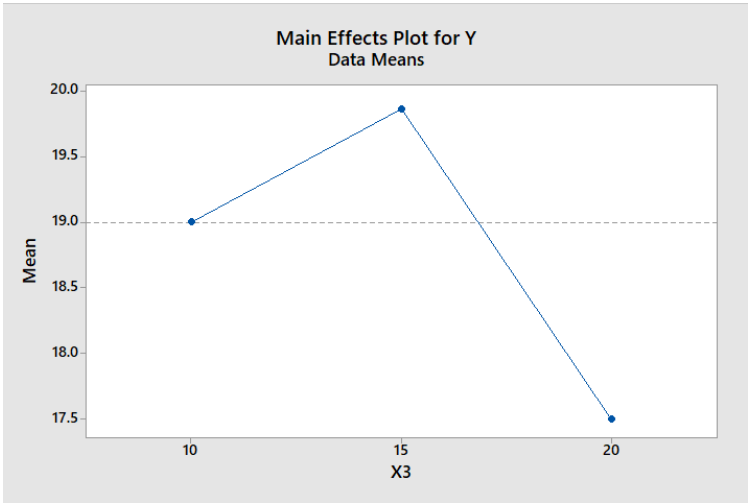
ปัจจัย X2 หรือ อัตราการไหลของสี (Flow rate) มีผลกระทบโดยตรงต่อความหนาของชั้นสี จากระดับอัตราการไหลของสีที่ระดับกลางจะส่งผลต่อความหนาของชั้นสีสูงที่สุด เกิดจากปริมาณอัตราการไหลของสีที่ไหลผ่านกระบอกปืนที่ทำให้สีตกลงบนชิ้นงานซึ่งจะส่งผลต่อความหนาของชั้นสี โดยอัตราการไหลของสีที่ระดับต่ำจะส่งผลให้ความหนาของชั้นสีน้อยที่สุด ดังความสัมพันธ์ที่แสดงในกราฟผลกระทบหลัก (Main effect Plot) รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลกระทบหลักของปัจจัย X2

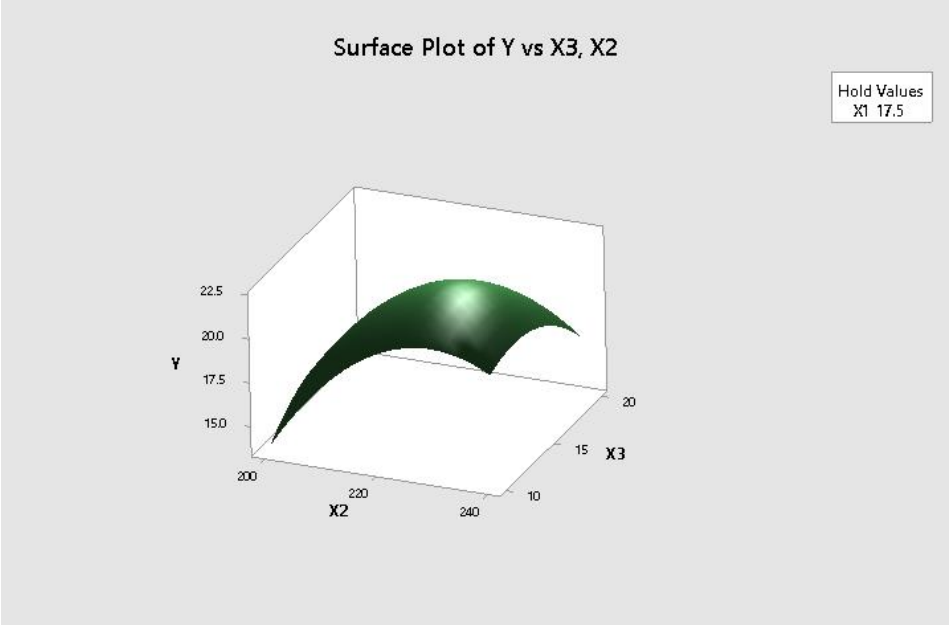
ปัจจัย X3 หรือ ระยะห่างของปืนพ่น มีผลกระทบโดยตรงต่อความหนาของชั้นสี เนื่องจากระยะห่างระหว่างชิ้นงาน และตัวปืนส่งผลต่อปริมาณสีที่พุ่งออกจากปืนพ่นที่สีจะไปติดที่ชิ้นงาน โดยที่ระยะห่างของปืนพ่นที่สูงที่สุดจะส่งผลให้ความหนาของชั้นสีน้อยที่สุด แต่ในทางกลับกันระยะห่างของปืนพ่นในระดับกลางจะได้ผลลัพธ์ของความหนาของชั้นสีสูงที่สุด ดังความสัมพันธ์ที่แสดงในกราฟผลกระทบหลัก (Main effect Plot) รูปที่ 4.4 โดยที่ระยะห่างของปืนพ่น จะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการสูญเสียสีที่ตกลงบนพ่นก่อให้เกิด ต้นทุนทางด้านวัตถุดิบทางตรงที่สูง และทำให้ต้นทุนของกระบวนการผลิตสูงขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลกระทบหลักของปัจจัย X3

ปัจจัยร่วมที่มีผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย ผู้วิจัยได้ทำการสร้างกราฟพื้นผิวผลตอบ (Surface plot) ดังรูปที่ 4.5 สามารถแสดงได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของ X2 หรือ อัตราการไหลของสีจะส่งผลต่อความหนาของชั้นสีที่เพิ่มขึ้น และจะมีค่าที่ลดลงเมื่อ X3 หรือระยะห่างของปืนมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อนำตัวปืนออกห่างจากชิ้นงานจะเกิดการกระจายตัวของสีที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้สีที่พ่นไปติดกับตัวชิ้นงานได้น้อยลง ก่อให้เกิดการสูญเสียสีที่ตกลงไปที่บริเวณพื้นส่งผลต่อต้นทุนวัตถุดิบทางตรงที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมสูงขึ้น



รูปที่ 4.5 กราฟพื้นผิวผลตอบ (Surface plot) ของ X1 และ X2

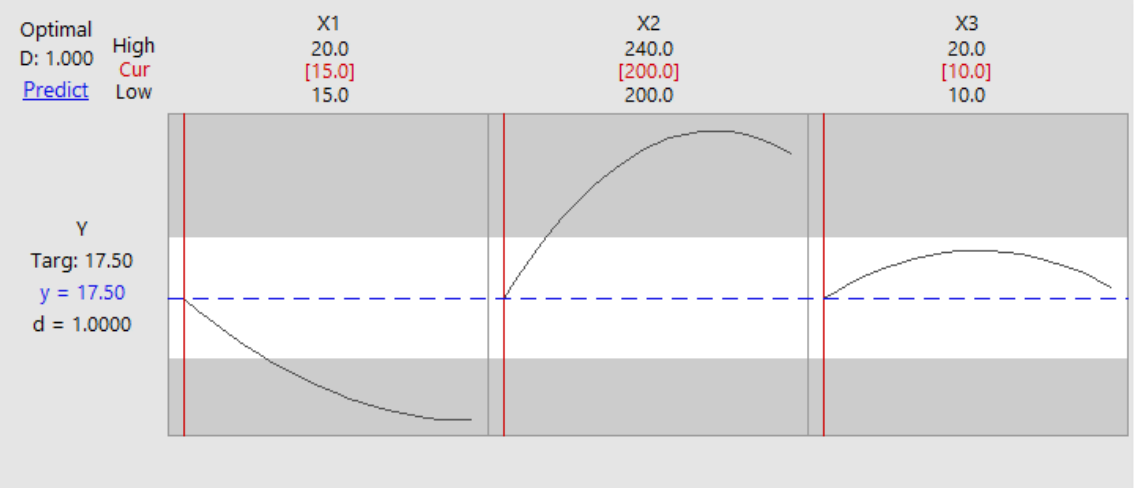
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.5 การหาระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนำเข้า

ผู้วิจัยได้ดำเนินการต่อหลังจากที่ทราบสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและความหนาของชั้นสี จากนั้นจะทำการหาค่าของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุดทั้ง 3 ปัจจัย โดยใช้ฟังก์ชั่น Response Optimizer ในโปรแกรมมินิแทป (Minitab) เพื่อหาค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ความหนาของชั้นสีตรงตามเป้าหมายที่ต้องการ โดยที่ความหนาของชั้นสีมีช่วงของการควบคุมดังต่อไปนี้

- ขีดข้อจำกัดด้านล่าง (Lower Specification limit) = 15 um.
- ค่าเป้าหมาย (Target) = 17.5 um.
- ขีดข้อจำกัดด้านบน (Upper Specification limit) = 20 um.

ผู้วิจัยเมื่อทำการกำหนดเป้าหมายของความหนาของชั้นสีได้แล้ว จากนั้นจะใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) โดยใช้ฟังก์ชั่น Response Optimizer เพื่อทำการหาค่าของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย ที่เหมาะสมเพื่อที่จะส่งผลต่อความหนาของชั้นสีที่ได้ตามเป้าหมายที่ต้องการ ผลการวิเคราะห์จากการทำ Response Optimizer จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์จากฟังก์ชั่น Response Optimizer จากโปรแกรม Minitab

ผู้วิจัยสามารถสรุปผลจากการทำ Response Optimizer โดยการกำหนดค่าเป้าหมาย (Target) ไว้ที่ 17.5 um. ขีดข้อจำกัดด้านล่าง (LSL) เท่ากับ 15 um. และขีดข้อจำกัดด้านบน (USL) เท่ากับ 20 um. โดยปรากฏค่าปรับตั้งที่ได้ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัยที่ทำให้ความหนาของชั้นสีได้ตามเป้าหมาย

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ค่าที่ปรับตั้งที่ได้	หน่วย
A	ความกว้างหน้าปืน	15	cm.
B	อัตราการไหลของสี	200	cc./min.
C	ระยะห่างของปืนพ่น	10	cm.

ค่าปรับตั้งที่ได้จะถูกนำไปใช้ปรับใช้งานภายในกระบวนการพ่นสีของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกเพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้ต่อไป

4.6 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ

ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการที่ผู้จัดทำได้ดำเนินการเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้า และความหนาของชั้นสี โดยอาศัยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) จากข้อมูลของการทดลองสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนาของชั้นสี จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและความหน้าของชั้นสี และทำการหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้ฟังก์ชั่น Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab จนกระทั้งพบค่าของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัยที่เหมาะสมได้แก่ ความกว้างหน้าปืน เท่ากับ 15 cm. อัตราการไหลของสี เท่ากับ 200 cc./min. และระยะห่างของปืนพ่น เท่ากับ 10 cm. หลังจากที่ได้ค่าปรับตั้งของปัจจัยทั้ง 3 เรียบร้อยแล้วผู้วิจัยจะนำค่าดังกล่าวไปปรับใช้ในโรงงานต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
ขั้นตอนการติดตามและควบคุมผล

ขั้นตอนถัดมาคือการติดตามและควบคุมผลการทดลอง ภายหลังจากที่ได้ปัจจัยนำเข้าใหม่จากบทที่ 4 นำไปใช้ยังกระบวนการผลิตจริง เพื่อทำการทดลองและเก็บผลการทดลองเพื่อยืนยันผลการปรับปรุงที่ได้ รวมถึงการจัดทำแผนงานมาตรฐานในการทำงานหลังจากการปรับปรุงเพื่อเป็นมาตรฐานให้แก่พนักงานสายการผลิตเพื่อปรับใช้งานต่อไป

5.1 การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ผู้วิจัยทำการทดลองโดยนำค่าปรับตั้งที่ได้เข้าไปทำการปรับตั้งเครื่องจักรภายในกระบวนการพ่นสีของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก เพื่อที่จะพิสูจน์ว่าหลังจากการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าใหม่เข้าไปแล้วจะส่งผลให้ค่าความหนาของชั้นสีลดลงเข้าสู่เป้าหมาย (Target) ได้หรือไม่ โดยการนำผลการทดลองที่ได้มาทำการเปรียบเทียบค่าก่อน-หลังการปรับปรุง

5.1.1 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้เริ่มต้นจากการจัดประชุมเพื่ออธิบายวัตถุประสงค์ของการทดลองในครั้งนี้พร้อมทั้งอธิบายแผนงานโดยละเอียดให้แก่สมาชิกในทีม, ผู้ที่เกี่ยวข้อง และผู้บริหารของแผนกฯ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องทำการจัดเตรียมแผนการดำเนินงาน และเครื่องจักรให้พร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของค่าปรับตั้งตัวใหม่ที่จะนำไปทดลองที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการในบทที่ 4 โดยมีรายละเอียดแบ่งเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เริ่มต้นจากการเตรียมวัตถุดิบในการทดลอง ตัวอย่างเช่น การเตรียมสีในระบบให้พร้อมเพียงกับการทดลอง

2) ทำการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าของกระบวนการพ่นสี ตามที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงในบทที่ 4 โดยการปรับตั้งค่าที่ตัวปืนพ่นสีที่ใช้ในการทดลอง

3) เริ่มกระบวนการผลิตชิ้นส่วน ตัวอย่างโดยนำค่าปัจจัยนำเข้าใหม่ไปใช้งาน

4) ทำการเก็บตัวอย่างหลังจากการพ่นสี และทำการวัดค่าโดยใช้กล้องไมโครสโคป

5) ทำการวิเคราะห์ และสรุปผลที่ได้จากการทดลอง

5.1.2 ผลการทดลองการยืนยันผล

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองพ่นสีบนชิ้นงานจริง ภายในสถานีพ่นสีโดยใช้เวลาหลังจบกระบวนการผลิตในกะกลางวันในเดือนกันยายน 2563 โดยผู้ที่ทำการพ่นทดลองคือ ผู้ฝึกสอนประจำแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก และทำการบันทึกผลการทดลองเป็นจำนวน 25 ข้อมูล โดยสามารถสรุปผลลัพธ์ค่าความหนาของชั้นสีใสที่ได้ดังตารางที่ 5.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.1 ผลลัพธ์ของความหนาของชั้นสีหลังจากการทำการทดลองโดยผู้ฝึกสอนประจำแผนก

ครั้งที่	ความกว้างหน้าปืน (cm.)	อัตราการไหลของสี (cc./min.)	ระยะห่างของปืนพ่น (cm.)	ความหนาของชั้นสีใส (um.)
1	15	200	10	19
2	15	200	10	18
3	15	200	10	15
4	15	200	10	16
5	15	200	10	16
6	15	200	10	17
7	15	200	10	19
8	15	200	10	16
9	15	200	10	15
10	15	200	10	18
11	15	200	10	16
12	15	200	10	17
13	15	200	10	15
14	15	200	10	18
15	15	200	10	17
16	15	200	10	18
17	15	200	10	16
18	15	200	10	19
19	15	200	10	16
20	15	200	10	16
21	15	200	10	18
22	15	200	10	16
23	15	200	10	18
24	15	200	10	17
25	15	200	10	19
เฉลี่ย	15	200	10	17

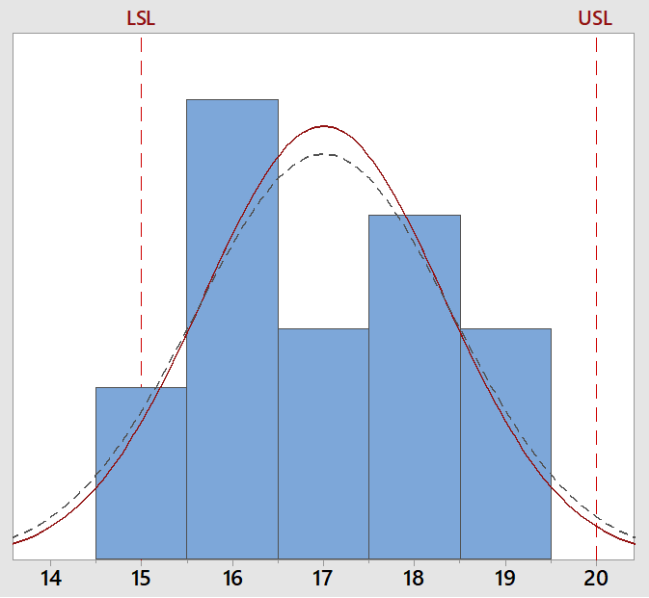
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองจากตารางที่ 5.1 ไปเปรียบเทียบความหนาของชั้นสีก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบความหนาของชั้นสีใสก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุงกระบวนการพ่นสี

ตัวแปรตอบสนอง	ค่าก่อน ปรับปรุง	ค่าคาดหมาย หลังปรับปรุง	ค่าจริง หลังปรับปรุง	ผลต่างระหว่าง ค่าคาดหมาย และค่าจริงหลัง การปรับปรุง	ผลต่างระหว่าง ก่อน และหลัง การปรับปรุง
ความหนาของชั้นสีใส (um.)	22.2	17.5	17.0	-3%	-23%

จากตารางที่ 5.1 และ 5.2 เป็นการสรุปผลการทดลองที่ได้จากการทดลองในสถานีพ่นสีเป็นจำนวน 25 ครั้ง ทำการพ่นโดยใช้ผู้ฝึกสอนประจำแผนก พบว่าความหนาของชั้นสีใสมีค่าความหนาหลังการปรับปรุงเท่ากับ 17.0 um ซึ่งลดลงจากค่าก่อนการปรับปรุงที่ 22.2 um. มีส่วนต่างที่ลดลง 5.2 um หรือคิดเป็น 23 เปอร์เซ็นต์ ผลลัพธ์ของการทดลองสามารถทำให้ความหนาของชั้นสีมีค่าที่ลดลงได้ โดยการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่ตัวปืน ซึ่งจะส่งผลให้ความหนาของชั้นสีใสเข้ามาอยู่ในช่วงควบคุม ภายในระหว่างค่า LSL และ USL ดังรูปกราฟ Histogram รูปที่ 5.1 โดยที่ผลการทดลองมีค่าความหนาของชั้นสีอยู่ในช่วงที่สามารถควบคุมคุณภาพสีของชิ้นงานได้



รูปที่ 5.1 กราฟ Histogram การกระจายตัวของความหนาของชั้นสีหลังปรับปรุง

5.2 การติดตามผลการทดลอง

ผู้วิจัยภายหลังจากการปรับปรุงกระบวนการพ่นสี และทำการทดลองเพื่อยืนยันผลแล้ว ทางผู้วิจัยจึงได้เข้าไปทำการสำรวจเอกสารงานมาตรฐานภายในกระบวนการพ่นสี เกี่ยวกับวิธีการปฏิบัติงานของพนักงาน และการปรับตั้งปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับตัวปืน และทำการแก้ไขค่าปัจจัยนำเข้าที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่เพื่อเป็นมาตรฐานในการทำงาน ดังตารางที่ 5.3 ซึ่งจะเป็นเอกสารใบงานลำดับงานมาตรฐาน (Work Sequence) ที่จะระบุถึงขั้นตอนการทำงาน และเวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานพ่นสี และตารางที่ 5.4 เป็นตารางที่ระบุถึงการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับตัวปืนพ่นสีที่จำเป็นต้องตั้งค่าก่อนที่จะเริ่มกระบวนการพ่นสี

ตารางที่ 5.3 ขั้นตอนกระบวนการทำงานของพนักงานช่างพ่นสี

ใบงานลำดับงานมาตรฐาน(Work Sequence)

APPROVED	CHECKED	ISSUED
MGR	ASST. MGR LP	GL.

รุ่นรถ : COMMON

หมายเลขเอกสาร :

หน้า _1_ / _1_

ชื่องาน SPRAYER | Takt Time :1.75

การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล(PPE) : ● รองเท้าเซฟตี้ ○ หมวกแข็ง ● หมวกผ้า ○ ที่อุดหู/ที่ครอบหู ○ สนับแขน ○ ถุงมือผ้า 0 ถุงมือ
○ ถุงมือยาง ○ เอี๊ยม ○ ที่ครอบจมูก/ที่ปิดจมูก ● ที่กรองอากาศ(หน้ากากพ่นสี) ● ชุดป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ ○ แว่นตา ○ สายคาดเอว

ลำดับ	หมายเลขใบงานมาตรฐาน	ความสำคัญ	ชื่องาน	ใบบันทึกที่เกี่ยวข้อง	เวลา(วินาที) งาน	เดิน
1	E-PTS-020R0011		ตรวจสอบตำแหน่งของบริเวณที่พ่นของชิ้นงาน		8	2
2	E-PTS-020R0014		ใช้ผ้าลูบบริเวณที่ทำการพ่น		12	2
3	E-PTS-020R0028	S	พ่นสี		58	2
4	E-PTS-020R0019		ตรวจสอบคุณภาพ หลังการพ่นสี		15	4
				รวม	93	10
				รวมทั้งหมด	103	

บันทึกการเปลี่ยนแปลงแก้ไขเอกสาร

Rev.No.	ผู้ออกเอกสาร	รายการเปลี่ยนแปลงแก้ไข	วันที่มีผลบังคับใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.4 การปรับตั้งค่าของปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับปืนพ่นสี

Painting parameter setting

รุ่นรถ : COMMON

หมายเลขเอกสาร : หน้า _1_ / _1_

ชื่องาน : SPRAYER PARAMETER CONTROL | Takt Time :1.75

Painting Parameter	Before	After	Unit
Vicosity	16	16	Sec
Paint flow rate	220-240	200	CC.
Spray round	2	2	round
Pattern	17.5	15	cm.
Pitch part	100	100	mm.
Gun distance	15	10	cm.
Hand speed	600	600	mm./sec.
Air pressure	0.15	0.15	Mpa

ผู้วิจัยได้ทำการปรึกษากับผู้บริหารของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก เกี่ยวกับผลการทดลองโดยใช้ผู้ฝึกสอนประจำแผนก ที่ผ่านมามีผลสำเร็จจากการทำการทดลองปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าใหม่ โดยมีผลลัพธ์คือความหนาของชั้นสีลดลงเข้าสู่ช่วงควบคุม (Control limit) ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ขอทำการอนุมัติกับทางผู้บริหารในการทดลองนำไปใช้งานในกระบวนการผลิตจริง ทำการเก็บผลการทดลองเป็นเวลา 30 วัน ภายในเดือน ตุลาคม 2563 เก็บผลการทดลองวันละ 1 ชิ้น หลังจากนั้นนำมาวัดความหนาของชั้นสีโดยเก็บรวบรวมข้อมูลได้ทั้งสิ้น 30 ชิ้น เก็บข้อมูลโดยใช้ฟอร์มการบันทึกผลการทดลองที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและเก็บรวบรวมข้อมูล ดังตารางที่ 5.5 โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลค่าควบคุมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสี เช่น ความหนาของชั้นสี , %NV , Wave scan , color shade และ appearance เพื่อที่จะสามารถมั่นใจได้ว่าภายหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับผิวสีไม่ว่าจะเป็นเรื่องของความหนาที่ไม่ได้ตามค่ามาตรฐาน , ค่าความเรียบ และไม่ก่อให้เกิดปัญหาสีไหล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.5 ตารางจัดเก็บข้อมูลการทดลอง

Painting parameter recording form

No.	Paint thickness	%NV	Wave scan	Color shade	Apperance
Spec =>	15-20	55-60	<= 45	+- 0.3	OK
1					
2					
3					
Avg.					

5.3 ผลลัพธ์ของการทดลองที่นำไปใช้ในกระบวนการจริง

ผู้วิจัยได้เริ่มทำการทดลองปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าใหม่ที่ได้ในกระบวนการพ่นสีของแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยใช้เวลาในการทดลองทั้งสิ้น 30 วัน โดยเก็บตัวอย่างชิ้นงานมาทำการวัดค่าเป็นจำนวน 1 ชิ้นต่อวัน ภายหลังจากจบกระบวนการผลิตในกะกลางวัน รวมเป็นข้อมูลทั้งสิ้น 30 ข้อมูล ได้ผลลัพธ์ปรากฏดังตารางที่ 5.6 โดยการบันทึกความหนาของชั้นสีใส และรวมถึงค่าควบคุมที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของสี

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองเป็นเวลา 30 วัน

No.	Paint thickness	%NV	Wave scan	Color shade	Apperance
Spec =>	15-20	55-60	<= 45	+- 0.3	OK
1	17.4	57.3	22.1	0.13	OK
2	18.1	57.5	21.7	0.13	OK
3	17.6	57.1	22.4	0.13	OK
4	17.4	57.5	22.2	0.12	OK
5	18.1	58.1	22.0	0.14	OK
6	17.9	57.3	22.3	0.12	OK
7	17.2	57.4	22.7	0.13	OK
8	17.9	56.5	22.5	0.13	OK
9	18.4	57.5	21.5	0.14	OK

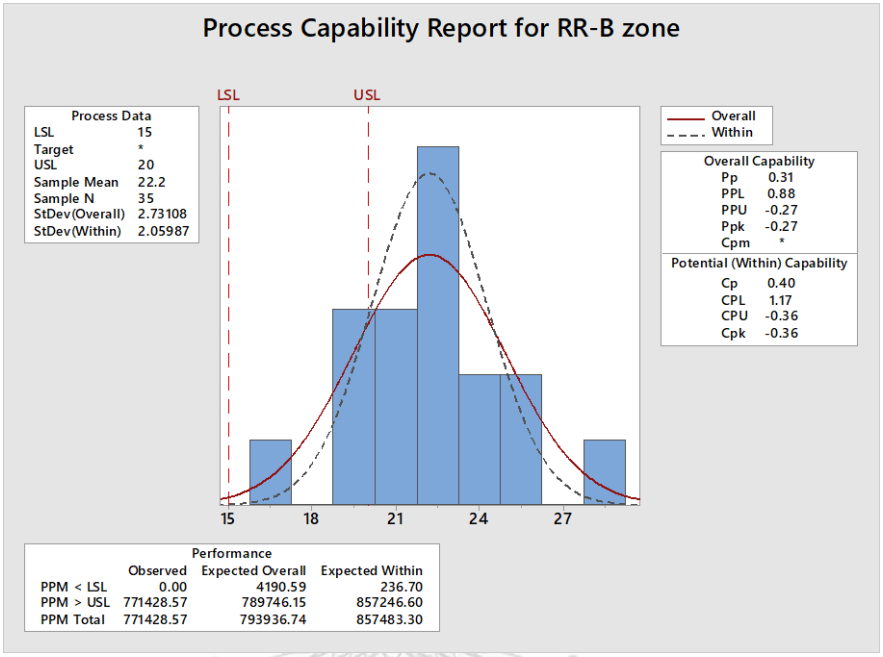
ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองเป็นเวลา 30 วัน (ต่อ)

No.	Paint thickness	%NV	Wave scan	Color shade	Apperance
Spec =>	**15-20**	**55-60**	**<= 45**	**+- 0.3**	**OK**
10	16.7	57.1	22.4	0.12	OK
11	17.9	57.0	22.3	0.12	OK
12	16.9	57.1	21.9	0.13	OK
13	17.3	57.2	22.6	0.14	OK
14	18.0	57.1	22.4	0.12	OK
15	17.9	57.1	21.6	0.12	OK
16	18.3	57.3	21.6	0.13	OK
17	17.1	57.8	22.5	0.13	OK
18	16.7	57.3	21.7	0.14	OK
19	16.5	57.6	22.5	0.12	OK
20	17.4	57.4	22.5	0.12	OK
21	17.9	56.9	22.2	0.13	OK
22	17.2	57.0	22.1	0.10	OK
23	17.5	57.3	22.6	0.12	OK
24	16.6	56.5	22.5	0.13	OK
25	17.1	57.3	21.6	0.13	OK
26	17.4	57.4	21.7	0.15	OK
27	17.0	57.1	22.3	0.12	OK
28	18.0	57.6	22.7	0.13	OK
29	17.1	57.1	21.6	0.15	OK
30	16.7	57.6	22.3	0.13	OK
Avg.	**17.4**	**57.3**	**22.2**	**0.13**	**OK**
SD.	**0.540**	**0.330**	**0.383**	**0.009**	**-**

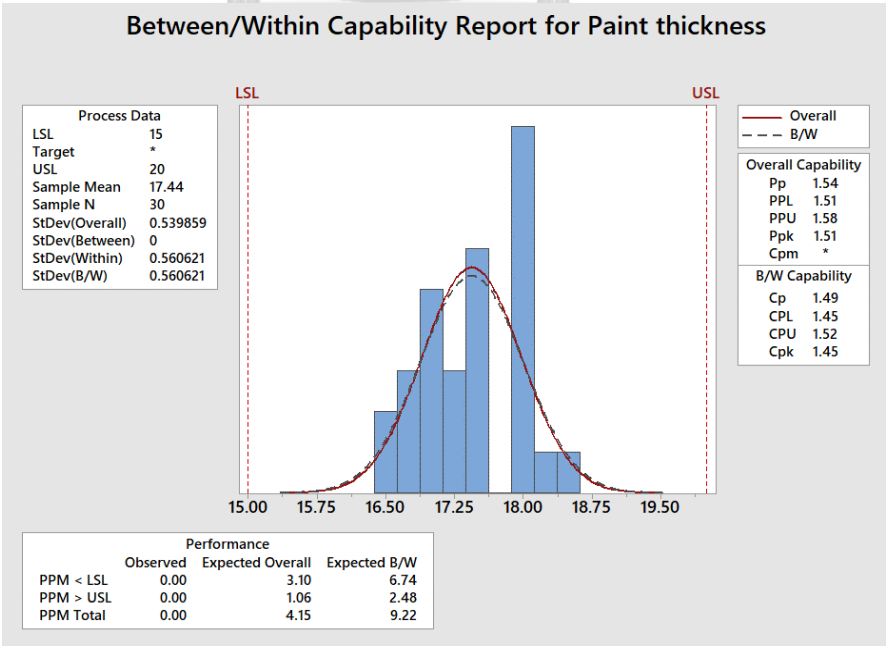
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้วิจัยได้รับผลการทดลองจากหัวหน้างานของกระบวนการพ่นสี จากการทดลองเป็นจำนวน 30 ครั้ง ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเท่ากับ 17.4 um. อยู่ในค่าควบคุมระหว่าง USL และ LSL ดังตารางที่ 5.6 ฉะนั้น สามารถสรุปได้ว่าหลังจากผู้วิจัยทำการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าของปืนพ่นสีใหม่ ส่งผลให้ค่าความหนาของชั้นสีลดลงมาอยู่ในกรอบของ USL และ LSL รวมถึงค่าควบคุมที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของสี %NV , Wave scan , Color

shade และ appearance ที่ภายหลังจากการปรับปรุง ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์การกระจายตัวโดยการใช้โปรแกรมมินิเทป (Minitab) ในฟังก์ชั่น Capability analysis เพื่อทำการพลอต กราฟ Histogram รวมไปถึงวัดความสามารถของกระบวนการผ่านค่า Cp และ Cpk ดังแสดงข้อมูลของปัจจัยความหนาของชั้นสีในรูปที่ 5.2 และ 5.3 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของความหนาของชั้นสีใส มีแนวโน้มที่ดีขึ้น โดยการเลื่อนเข้าไปสู่ค่า USL และ LSL และยังมีค่า Cp และ Cpk ที่สูงขึ้น

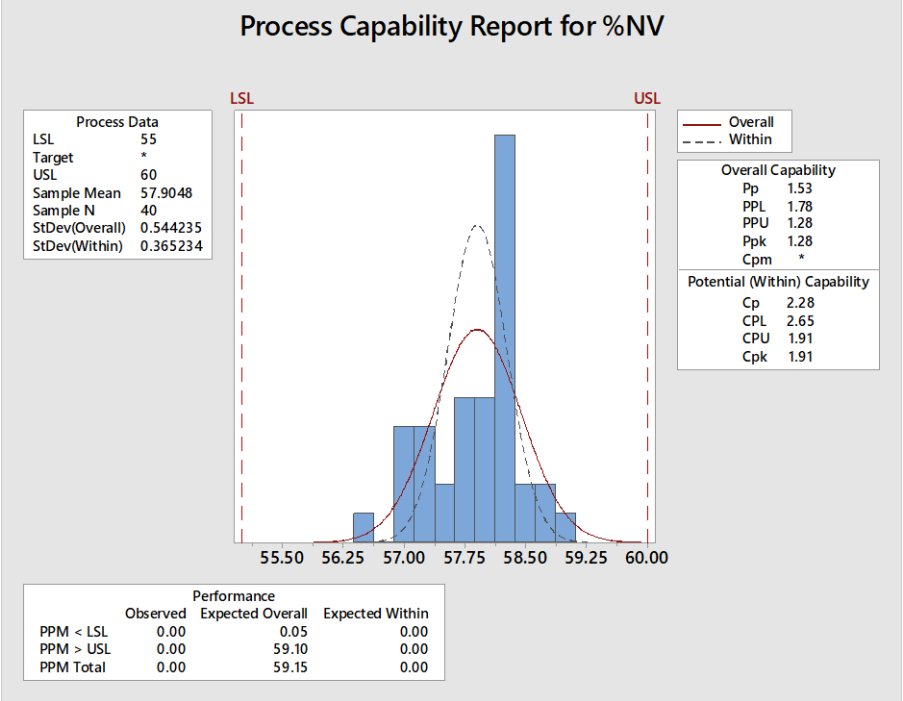


รูปที่ 5.2 Process capability ของค่า Paint thickness ก่อนการปรับปรุง

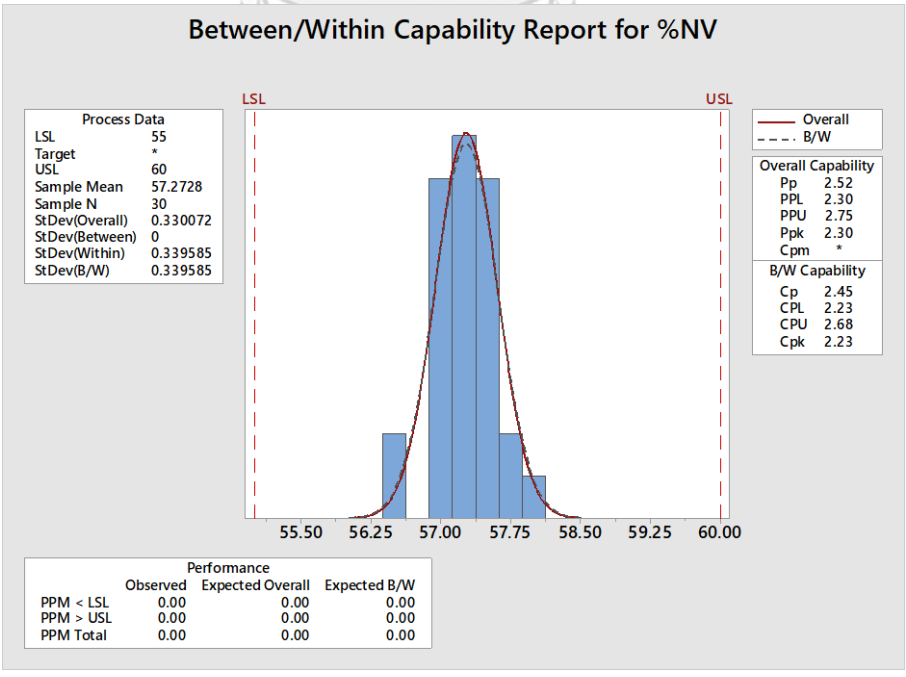


รูปที่ 5.3 Process capability ของค่า Paint thickness หลังการปรับปรุง

กราฟ Histogram ของ %NV ดังแสดงข้อมูลก่อน-หลังการปรับปรุงในรูปที่ 5.4 และ 5.5 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวที่มีแนวโน้มที่ยังคงรักษาความสามารถของกระบวนการ โดยสังเกตได้จากค่า Cp, Cpk ที่มีผลลัพธ์ที่ได้มากกว่า 1.33

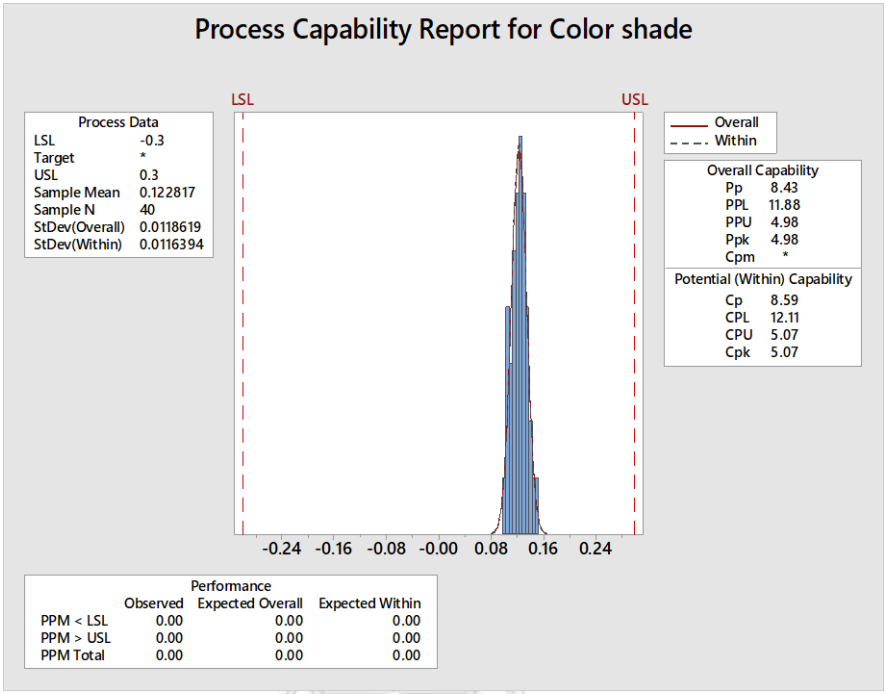


รูปที่ 5.4 Process capability ของค่า %NV ก่อนการปรับปรุง

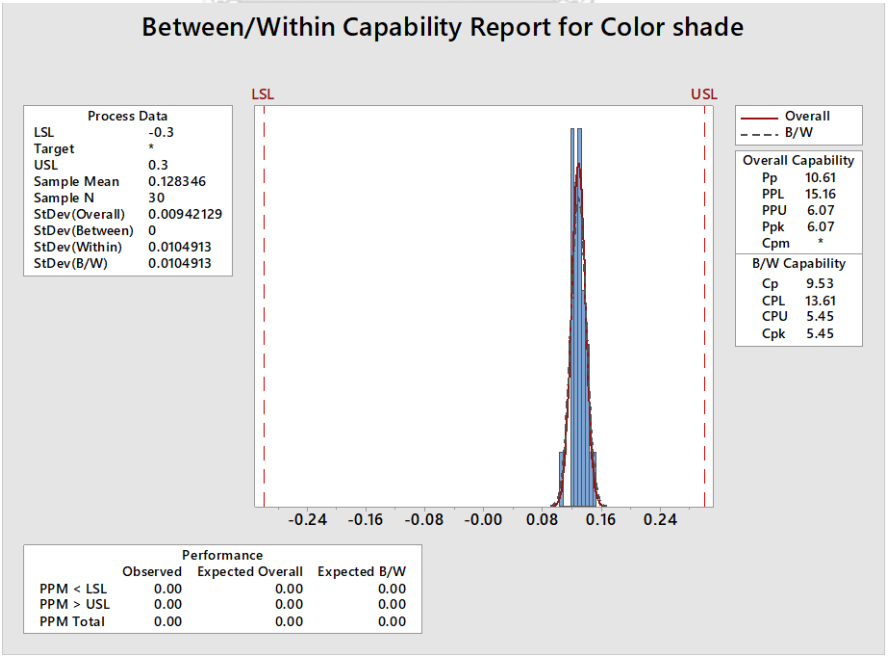


รูปที่ 5.5 Process capability ของค่า %NV หลังการปรับปรุง

กราฟ Histogram ของ Color shade ดังแสดงข้อมูลก่อน-หลังการปรับปรุงในรูปที่ 5.6 และ 5.7 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวที่มีแนวโน้มที่ยังคงรักษาความสามารถของกระบวนการ โดยสังเกตได้จากค่า Cp, Cpk ที่มีผลลัพธ์ที่ได้มากกว่า 1.33

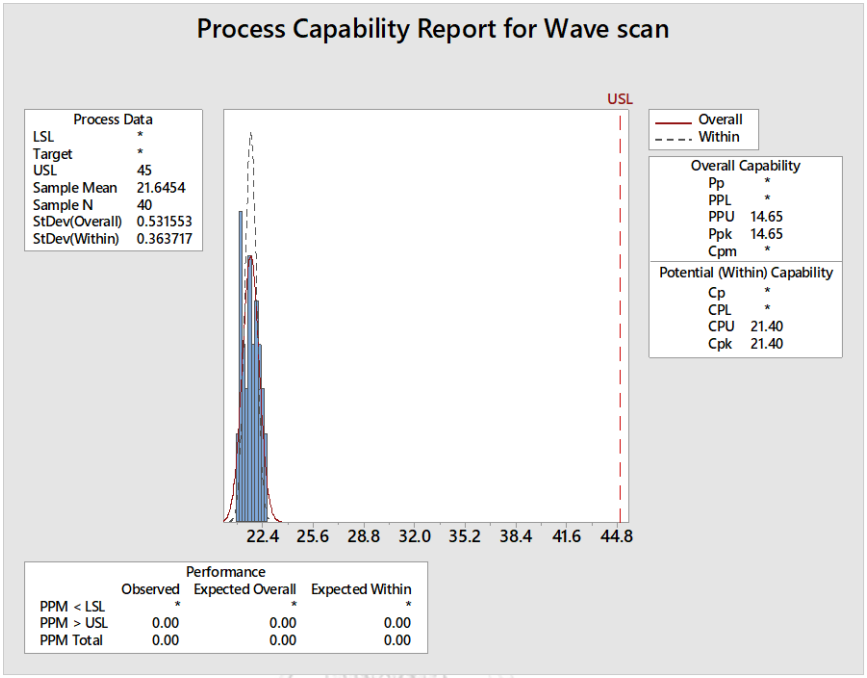


รูปที่ 5.6 Process capability ของค่า Color shade ก่อนการปรับปรุง

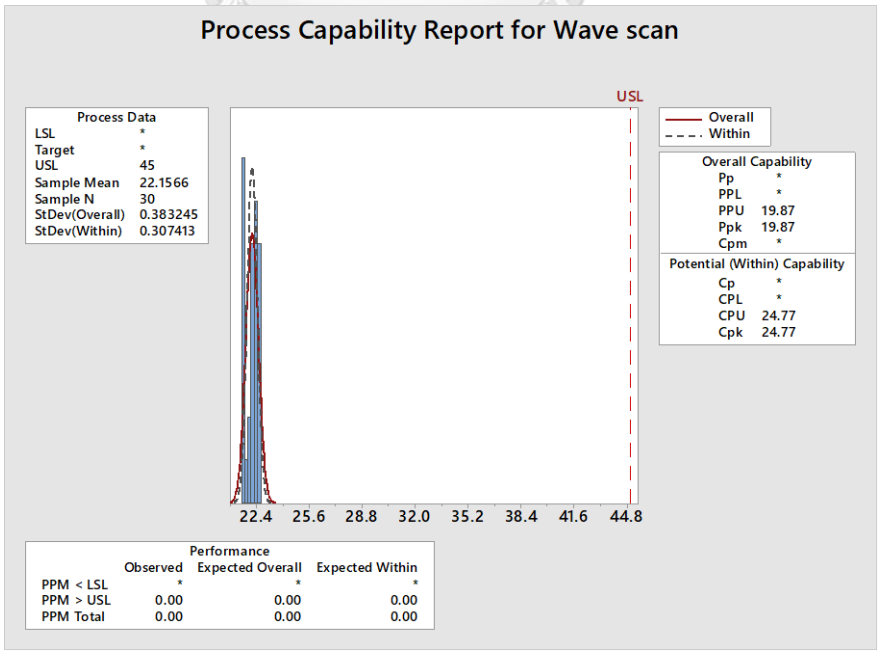


รูปที่ 5.7 Process capability ของค่า Color shade หลังการปรับปรุง

กราฟ Histogram ของ Wave scan ดังแสดงข้อมูลก่อน-หลังการปรับปรุงในรูปที่ 5.8 และ 5.9 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวที่มีแนวโน้มที่ยังคงรักษาความสามารถของกระบวนการ โดยสังเกตได้จากค่า Cp, Cpk ที่มีผลลัพธ์ที่ได้มากกว่า 1.33



รูปที่ 5.8 Process capability ของค่า Wave scan ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 5.9 Process capability ของค่า Wave scan หลังการปรับปรุง

ค่าความหนาของชั้นสีใส และค่าควบคุมที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของสี รวมถึง ค่าความสามารถของกระบวนการ Cp , Cpk สามารถสรุปได้ ตารางที่ 5.7 ผลลัพธ์ความหนาของชั้นสีมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17.4 um. ค่า SD มีค่าเท่ากับ 0.540 มีค่าที่ดีขึ้นมีการกระจายตัวที่แคบลง ส่งผลให้ค่า Cp , Cpk มีผลลัพธ์ที่ดีเยี่ยม เท่ากับ 1.49 และ 1.45 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงภายหลังจากการปรับปรุงชุดข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่ภายใต้กรอบของ Control limit สำหรับค่า Cp, Cpk ของผลลัพธ์ของ Quality parameters ทั้ง 3 ตัว ของสีที่ถูกนำมาควบคุม มีค่าผ่านเกณฑ์ทั้งหมด ดังตารางที่ 5.7 แสดงถึงค่า Cp, Cpk ของผลลัพธ์ก่อน-หลังของการทดลอง ฉะนั้นผู้วิจัยจึงสามารถสรุปหลังการทดลองได้ว่า การปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับปืนพ่นสีส่งผลให้ความหนาของชั้นสีลดลงเข้าสู่กรอบควบควบคุมที่ control limit และไม่ก่อให้เกิดปัญหาในเชิงคุณภาพเกิดขึ้นภายหลังจากการปรับปรุง

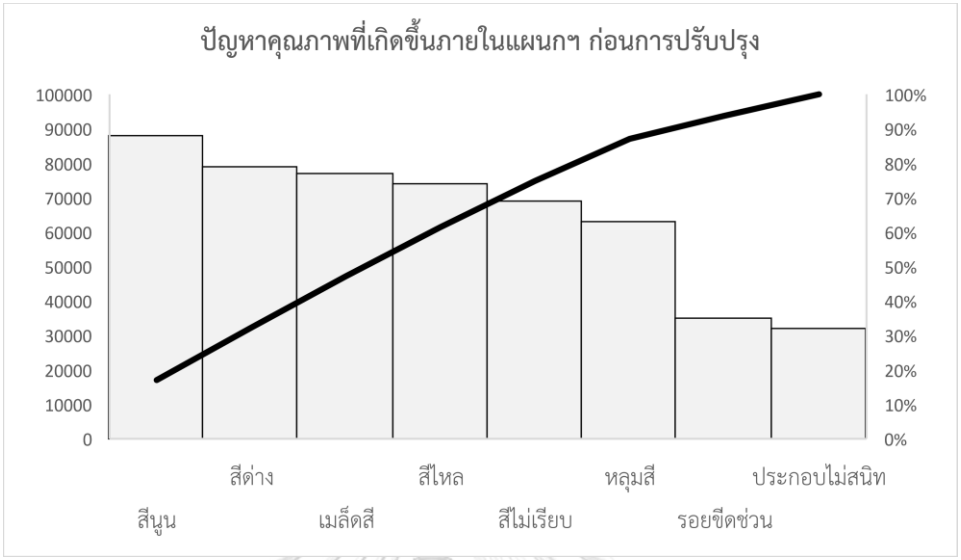
ตารางที่ 5.7 สรุปค่าผลลัพธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสีภายหลังการทดลอง

		Average Value		SD		Cp		Cpk		Evaluate
Parameter	**Control limit**	**Before**	**After**	**Before**	**After**	**Before**	**After**	**Before**	**After**	
Paint thickness	15-20	22.2	17.4	2.73	0.54	0.4	1.49	0.36	1.45	OK
%NV	55-60	57.9	57.3	0.54	0.33	2.28	2.45	1.91	2.23	OK
Wave scan	<= 45	21.65	22.16	0.53	0.38	-	-	21.4	24.77	OK
Color shade	+- 0.3	0.12	0.13	0.012	0.010	8.59	9.53	5.07	5.45	OK
Appearance	OK	OK	OK	-	-	-	-	-	-	OK

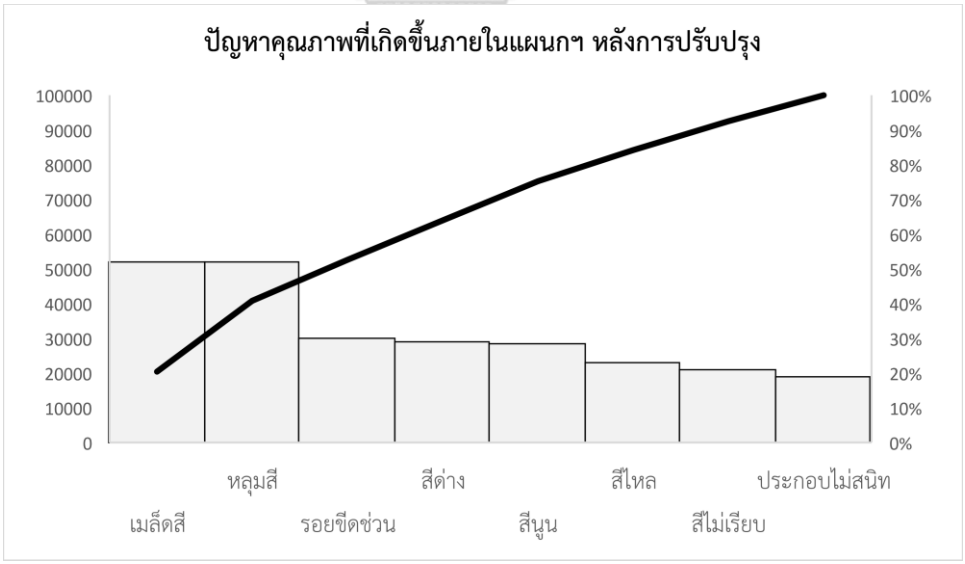
ผู้วิจัยภายหลังจากทำกระบวนการทดลองทั้งหมดเสร็จสิ้นได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูล ปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้นภายในแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกก่อนการปรับปรุง (ทำการเก็บข้อมูลในเดือน กรกฎาคม 2563) และภายหลังทำการปรับปรุง (ทำการเก็บข้อมูลในเดือน ตุลาคม 2563) ดังรูปที่ 5.9 และ 5.10 สามารถสังเกตเห็นได้ว่าภายหลังจากการปรับปรุงที่ผู้วิจัยได้จัดทำ และการปรับปรุงทางด้านของหน่วยงานที่พัฒนาทักษะในการพ่น (Skill training) ปัญหาทางด้านคุณภาพมีแนวโน้มที่ลดลง จากสาเหตุที่งานวิจัยสามารถศึกษาและเข้าใจความสัมพันธ์ของความหนาของชั้นสี กับปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนการปรับตั้งค่าใหม่ จนกระทั่งสามารถการควบคุมความหนา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ของชั้นสีให้ได้ตามเป้าหมายที่ต้องการ ส่งผลต่อปัญหาคุณภาพลดลงมากที่สุด 3 ลำดับแรกได้แก่ สีนูน สีไหล และสีด่าง และปัญหาอื่นๆ ลดลงตามลำดับ



รูปที่ 5.10 กราฟพาเรโต้ของปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้นภายในแผนกฯ ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 5.11 กราฟพาเรโต้ของปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้นภายในแผนกฯ หลังการปรับปรุง

บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปรายละเอียดทั้งหมดในการวิจัยในครั้งนี้ ตั้งต้นจากปัญหาเรื่องของกระบวนการพ่นสี การออกแบบการทดลอง การใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ ตลอดจนการนำค่าปรับตั้งใหม่ที่ได้ไปใช้งานในกระบวนการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา ตลอดจนข้อเสนอแนะและข้อจำกัดของงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้เข้าไปทำการศึกษาในส่วนงานของกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของบริษัทกรณีศึกษา ที่เป็นกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกที่ใช้ในรถยนต์ ในปัจจุบันแผนกฯ มีพันธกิจในการควบคุมตัวแปรชี้วัด (KPIs) แบ่งเป็น 4 หัวข้อได้แก่ Safety , Quality , Productivity และ Cost แต่อย่างไรก็ตามในหัวข้อ Quality ยังคงพบเจอปัญหาทางด้านคุณภาพเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น ปัญหาสีไหล ปัญหาสีเป็นเมล็ด ปัญหาสีด่าง ในหัวข้อ Cost ก็ยังคงพบปัญหาต้นทุนการผลิตส่วนเกินจากปัญหาคุณภาพ หรือปัญหาในการใช้วัตถุดิบทางตรงมากเกินกว่าที่ค่ามาตรฐานกำหนดไว้ งานวิจัยในครั้งนี้จึงพุ่งเป้าในการศึกษาเรื่องของปัญหา Quality และ Cost เป็นหลัก หากเข้ามาดูข้อมูลภายในแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติกจะพบกับปัญหาคุณภาพหลากหลายปัญหา จากการที่ได้ปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญของแผนกฯ ลักษณะของปัญหาจะเกี่ยวข้องกับพื้นผิวของชั้นสีที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากปริมาณของสีที่ไปติดอยู่บนตัวชิ้นงานมีลักษณะที่ไม่คงที่ จึงส่งผลก่อให้เกิดปัญหาจำพวกสีไหล, สีนูน, สีไม่เรียบ ที่มีความสัมพันธ์กับการควบคุมความหนาของชั้นสีให้ได้ตามเป้าหมายตามคุณสมบัติที่ลูกค้ากำหนด โดยมีเป้าหมายที่จะปรับปรุงเรื่องของปัญหาด้านคุณภาพของแผนก และสามารถลดทุนต้นที่สูญเสียไปได้

การดำเนินงานทางผู้วิจัยจะทำงานร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้องภายในแผนกฯ เพื่อร่วมกันจัดลำดับความสำคัญของปัญหาทางด้านคุณภาพและต้นทุน เพื่อหยิบยกปัญหาขึ้นมาแก้ไขเป็นลำดับแรก ผลสรุปที่ได้พบว่าชิ้นส่วนที่พบเจอปัญหาสูงสุดนั้นก็คือกันชนหน้า-หลังที่ผ่านกระบวนการพ่นสี โดยมีสีใส (Clear) เป็นวัตถุดิบทางตรงที่มีสัดส่วนของต้นทุนที่เกิดขึ้นสูงสุดจากปัญหาในเรื่องของคุณภาพ และทำการวิเคราะห์ถึงตำแหน่งของการเกิดปัญหาสูงที่สุดจะอยู่ที่ zone B อันเนื่องจากเป็นบริเวณที่พบเจอปัญหาของเสียมากที่สุด และเป็นตำแหน่งที่มีพื้นที่มากที่สุด ลูกค้าสามารถพบเจอปัญหาได้ง่าย เมื่อผู้วิจัยเข้าไปทำการเก็บข้อมูลพบว่าค่าความหนาของชั้นสีใสมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 22.2 um. เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดอยู่ไว้ระหว่างขีดข้อจำกัดด้านล่าง (LSL) = 15 um. และขีดข้อจำกัดบน (USL) = 20 um. จะสังเกตุเห็นได้ว่าความหนาของชั้นสีใสมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน และยังคงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงเท่ากับ 2.73 ส่งผลให้ค่า Cp และ Cpk มีค่าเท่ากับ 0.40 และ 0.36 ตามลำดับ และมีค่าต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ที่ 1.0 ผู้วิจัยจึงได้ทำการพุ่งเป้าศึกษาเรื่องปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความหนาของชั้นสีใสของกันชนหลังที่ zone B

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาเริ่มต้นจากกระบวนการจัดตั้งทีมงานปฏิบัติงานที่ชัดเจนประกอบไปด้วยตัวผู้วิจัยเอง , ผู้จัดการแผนกฉีดขึ้นรูปพลาสติก , หัวหน้าวิศวกร และ หัวหน้าของกลุ่มของงานพ่นสี ร่วมกันวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผล หรือแผนผังก้างปลา โดยใช้หลักการของ 4M ในการค้นหาปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับความหนาของชั้นสีใสที่มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน แบ่งเป็นหมวดหมู่ MAN-MACHINE-METHOD-MATERIAL ผู้วิจัยได้ร่วมกับทีมงานในการระดมความคิดและลงคะแนนตามความเห็นของแต่ละบุคคล จนกระทั้งสรุปคะแนนออกมาเพื่อจัดลำดับปัจจัยที่มีคะแนนสูงที่สุด ผลรวมของคะแนนที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านจะมีปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 7 ตัวที่มีค่าคะแนนรวมที่ใกล้เคียงกัน ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านจึงต้องทำการระดมความคิดอีกครั้ง ในปัจจัยของ Man พิจารณาแล้วเห็นถึงการทำงานของหน่วยงาน skill training ที่มีการจัดอบรม และประมาณผลที่ชัดเจนอยู่แล้ว ในปัจจัยที่จึงไม่ถูกทำเข้าไปทำการทดลองต่อ ปัจจัยในส่วนของเครื่องจักรจะเกี่ยวข้องกับการปรับตั้งอุปกรณ์ปืนพ่นสี และระบบของลมที่ใช้ในกระบวนการ ผู้วิจัยจะนำปัจจัยในหมวดนี้ไปศึกษาต่อ เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับระดับของความหนาของชั้นสีโดยตรง เช่นเดียวกับปัจจัยในด้าน method และปัจจัยในหมวดของวัตถุดิบเนื่องจากถูกกำหนดมาจากทางบริษัทแม่จึงไม่สามารถทำการปรับเปลี่ยนได้ในครั้งนี้ จากการพิจารณาอย่างถี่ถ้วนแล้วปัจจัยที่ผู้วิจัยและทีมงานเลือกดำเนินการศึกษาต่อจึงมีทั้งสิ้น 3 ปัจจัย คือ ความกว้างหน้าปืน (Pattern) โดยที่ความกว้างหน้าปืนจะมีผลต่อการกระจายตัวของสีในแนวกว่าง อัตราการไหลของสี (Paint flowrate) เป็นปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับตัวปืน และระยะห่างของปืนพ่น (Gun distance) ช่วงระยะห่างของปืนพ่นและชิ้นงานที่มีผลต่อการจับตัวของสีลงบนชิ้นงาน

ปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ตัวแปร ได้แก่อัตราการไหลของสี ความกว้างหน้าปืน และระยะห่างของปืนพ่น ที่ได้ทำการเลือกมาวิจัย ผู้วิจัยได้นำทั้ง 3 ปัจจัยนี้ไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนอง คือความหนาของชั้นสีใส โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน (Box-behnken Design) เนื่องจากตัวแปรนำเข้ามี 3 ปัจจัย จำนวนการทดลองจะได้เท่ากับ 15 การทดลอง โดยการปรับตั้งค่าของปัจจัยนำเข้าเป็น 3 ระดับ การดำเนินการทดลองตามการออกแบบการทดลองที่ได้กำหนดไว้ได้ถูกเริ่มต้นขึ้นด้วยการจัดประชุมผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อให้ทราบถึงแผนงาน และดำเนินการทดลองเพื่อเก็บผลความหนาของชั้นสีที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อได้ผลการทดลองมาผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมมินิเทป (Minitab) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อความหนาของชั้นสีใสด้วยการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ด้วยวิธีการหาสมการความสัมพันธ์แบบเต็มรูป (Full model) ได้ผลลัพธ์ค่า R-Sq เท่ากับ 95.78% และค่า R-sq (adj) เท่ากับ 88.18% และทำขั้นตอนในการตัดพจน์ของปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญออกด้วยวิธี Stepwise regression จะส่งผลให้ค่า R-Sq เท่ากับ 95.78% และค่า R-sq (adj) เท่ากับ 91.56% ภายหลังจากการทำ Stepwise regression ส่งผลให้ค่า R-Sq (adj) นั้นมีค่าสูงขึ้น ผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยทั้ง 3 ตัว มีเทอมของผลกระทบหลักที่มีผลต่อความหนาของชั้นสีใสอย่างมีนัยสำคัญ เทอมผลกระทบร่วมจะมีปัจจัย X2 , X3 และเทอมกำลังสองของทั้ง 3 ปัจจัยส่งผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน

การดำเนินงานต่อไปหลังจากที่ทราบสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและความหนาของชั้นสีแล้วนั้นคือการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของทั้ง 3 ปัจจัย โดยใช้ฟังก์ชั่น Response Optimizer ของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โปรแกรมมินิเทป (Minitab) เพื่อหาค่าระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุดที่ส่งผลให้ความหนาของชั้นสีตรงตามเป้าหมายที่ต้องการโดยมีค่าเป้าหมาย (Target) เท่ากับ 17.5 um. , ขีดข้อจำกัดล่าง (LSL) เท่ากับ 15 um. และขีดข้อจำกัดด้านบน (USL) เท่ากับ 20 um. ค่าผลลัพธ์ของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมทั้ง 3 ตัวได้แก่ ความกว้างหน้าปืน ที่ค่า 15 cm. , อัตราการไหลของสี เท่ากับ 200 cc./min. และ ระยะห่างของปืนพ่นสี เท่ากับ 10 cm. ค่าปรับตั้งใหม่ที่ได้จึงได้ถูกนำไปทดลองภายในกระบวนการพ่นสีเป็นจำนวน 25 ครั้ง เพื่อยืนยันผลการทดลองโดยผู้ฝึกสอนของกระบวนการพ่นสี ผลปรากฏว่าค่าเฉลี่ยความหนาของชั้นสีใส ลดลงจากค่าก่อนปรับปรุงที่ 22.2 um. เป็น 17.0 um. มีค่าที่ลดลง -23% สามารถสรุปได้ว่าการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่ตัวปืนใหม่ ส่งผลให้ความหนาของชั้นสีลดลงเข้าสู่ช่วงของ Control limit

ผู้วิจัยได้เข้าไปตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานในการทำงาน และทำการแก้ไขวิธีการปฏิบัติงานและการปรับตั้งค่าของอุปกรณ์ และปืนพ่นสีใหม่ พร้อมทั้งทำการทดลองใช้ในกระบวนการผลิตจริงเป็นเวลา 30 วัน มีการเก็บผลการทดลองวันละ 1 ชิ้น พร้อมทั้งจัดเก็บข้อมูลของค่าควบคุมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสี เช่น ความหนาของชั้นสีใส , ค่า %NV , ค่า Wave scan , Color shade และ Appearance เพื่อให้มั่นใจได้ว่าภายหลังจากการปรับปรุงกระบวนการในครั้งนี้จะไม่ส่งผลต่อปัญหาคุณภาพของสีที่จะเกิดขึ้นกับผิวสีไม่ว่าจะเป็นเรื่องของความหนาของชั้นสีที่ไม่ได้มาตรฐาน หรือการเกิดปัญหาสีไม่เรียบ ภายหลังจากการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 30 วัน ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของความหนาของชั้นสีใสที่ได้มีค่าเท่ากับ 17.4 um. ค่าควบคุมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสีทุกตัวยังคงสามารถรักษาระดับภายใต้ control limit ได้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์การกระจายตัวโดยใช้ฟังก์ชั่น Capability analysis ของโปรแกรมมินิเทป (Minitab) เพื่อดูแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูล และค่า Cp , Cpk โดยสามารถสรุปผลได้ว่าค่าความหนาของชั้นสีใส และค่าควบคุมของสี %NV , Wave scan , Color shade สามารถคงระดับความสามารถของ Cp , Cpk ที่มีค่ามากกว่า 1.33 ได้ทุกค่า นั้นหมายถึงการปรับปรุงการปรับตั้งค่าปัจจัยของปืนพ่นสีในครั้งนี้ ส่งผลให้ความหนาของชั้นสีลดลง และค่าควบคุมต่างๆของชั้นสียังคงสามารถรักษาระดับเดิมไว้ได้ โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาในเชิงคุณภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลสรุปการปรับปรุงกระบวนการครั้งนี้ในรูปแบบของตัวเงิน สามารถสรุปได้ดังนี้ ต้นทุนที่ใช้จ่าย ได้แก่ ค่าวัตถุดิบทางตรง (Direct material cost) ที่ใช้ในการพ่นทดลอง เป็นจำนวนเงิน 3,474 บาท และค่าแรงการทำงานล่วงเวลา (Over time cost) สำหรับพนักงานในทีม เป็นจำนวนเงิน 52,864 บาท รวมเป็นต้นทุนที่ใช้จ่ายไปทั้งสิ้น 56,338 บาท แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่ได้จะสามารถทำให้แผนกฯ สามารถที่จะลดต้นทุนค่าสีใสในต้นทุนวัตถุดิบทางตรงลงได้เนื่องจากการปรับปรุงความหนาของชั้นสี โดยการปรับค่าอัตราการไหลของสี (Flowrate) จาก 220 cc./min. ให้เป็น 200 cc./min. จะส่งผลให้ปริมาตรของสีที่ใช้ในการผลิตกันชน 1 ชิ้นสามารถลดลงได้คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 18.69 cc. ต่อการผลิต 1 ชิ้น หรือ 186,012 cc. ต่อการผลิตใน 1 เดือน หรือ 2,232,148 cc. ต่อการผลิตใน 1 ปี โดยสามารถคำนวณเป็นต้นทุนที่สามารถลดลงได้มีค่าเท่ากับ 5.79 บาท/ชิ้น คำนวณเป็นต้นทุนที่ลดลงได้ในระยะยาว ใน 1 เดือนจะสามารถลดค่าวัตถุดิบทางตรงได้เท่ากับ 57,663 บาท/เดือน หรือคิดเป็นต่อปีได้เท่ากับ 691,966 บาทต่อปี ซึ่งมีจุดคุ้มทุนได้ภายในระยะเวลา 1 เดือน และยังสามารถปรับปรุงปัญหาทางด้านคุณภาพของแผนกฯ ให้ดียิ่งขึ้นโดยเฉพาะปัญหาสีไหล, สีนูน, สีไม่เรียบ ที่มีแนวโน้มการลดลงอย่างชัดเจน

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) โรงงานกรณีศึกษาสามารถขยายผลการวิจัยต่อไปยังกระบวนการพ่นสีที่สถานีการพ่นสีอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นสถานีการพ่นสีรองพื้น, สถานีการพ่นสีจริง และสามารถขยายผลต่อไปยังแผนกสีตัวถังรถ โดยมีเป้าหมายในการปรับปรุงเรื่องของปัญหาคุณภาพให้ดียิ่งขึ้น

2) งานวิจัยที่จัดทำในครั้งนี้สามารถเป็นแบบแผนในการปรับปรุงกระบวนการโดยใช้หลักการทางสถิติเพื่อแก้ไขปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ ในอนาคตโรงงานกรณีศึกษาสามารถสนับสนุนบุคลากรเพิ่มเติมความรู้ทางด้านสถิติให้เพิ่มมากขึ้น

3) การปรับปรุงกระบวนการขององค์กรต้องการแรงสนับสนุนหรือผลักดันจากทางผู้บริหารระดับสูงขององค์กร เพื่อที่จะสามารถบรรลุเป้าหมายของการทำกิจกรรมปรับปรุงกระบวนการได้

4) การปรับปรุงปัญหาทางด้านคุณภาพภายในองค์กรควรใช้หลักการทางสถิติเข้ามาเพื่อการแก้ไขปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดโอกาสการกลับมาของปัญหาเดิมซ้ำๆ

5) การปรับปรุงกระบวนการในอนาคตควรที่จะพิจารณาถึงระบบโรงงานอัตโนมัติ (Automation) ที่เข้ามาเพิ่มเติม โดยอาจใช้เงินลงทุนที่ไม่สูงนัก และผลตอบแทนจากการลงทุนที่ไม่นานจนเกินไป เพื่อเป้าหมายในการลดต้นทุนลงในระยะยาว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Bysko, S., Krystek, J., Bysko, S. J. C., & Engineering, I. (2020). Automotive paint shop 4.0. *139*, 105546.

Cavalcante, E. S., Vasconcelos, L. G. S., de Farias Neto, G. W., Ramos, W. B., & Brito, R. P. J. P. i. O. C. (2020). Automotive painting process: Minimizing energy consumption by using adjusted convective heat transfer coefficients. *140*, 105479.

Chen, H., Sheng, W., Xi, N., Song, M., & Chen, Y. (2002). *Automated robot trajectory planning for spray painting of free-form surfaces in automotive manufacturing.* Paper presented at the Proceedings 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 02CH37292).

Jung, C.-K., Bae, I.-S., Lee, S.-B., Cho, J.-H., Shin, E.-S., Choi, S.-C., & Boo, J.-H. J. T. S. F. (2006). Development of painting technology using plasma surface technology for automobile parts. *506*, 316-322.

Kim, B., Yoon, J.-H., Choi, B.-S., Shin, Y. C. J. S., & work, h. a. (2013). Exposure assessment suggests exposure to lung cancer carcinogens in a painter working in an automobile bumper shop. *4*(4), 216-220.

Labbus, I., Teiwes, H., Filz, M.-A., Herrmann, C., Gonter, M., Rössinger, M., & Thiede, S. J. P. C. (2019). Automated statistical evaluation of energy data in the automotive production. *81*, 1154-1159.

Patil, A., Patel, A., & Purohit, R. (2017). An overview of Polymeric Materials for Automotive Applications. *Materials Today: Proceedings, 4*(2, Part A), 3807-3815. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.278

Pujol, F. X. (2016). Results Optimization Process for Automotive Electronic Production in the Best-cost Country Production Plant. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 221*, 388-394. doi:https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.128

Ribeiro, P., Sá, J., Ferreira, L., Silva, F., Pereira, M., & Santos, G. J. P. M. (2019). The Impact of the Application of Lean Tools for Improvement of Process in a Plastic Company: a case study. *38*, 765-775.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Schulz, D. (2013). Painting Trends in the Automotive Industry. *Metal Finishing, 111*(5), 38-40. doi:https://doi.org/10.1016/S0026-0576(13)70268-X

Shivajee, V., Singh, R. K., & Rastogi, S. (2019). Manufacturing conversion cost reduction using quality control tools and digitization of real-time data. *Journal of Cleaner Production, 237*, 117678. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117678

Singh, J., & Singh, H. J. I. J. o. L. S. S. (2020). Application of lean manufacturing in automotive manufacturing unit.

Streitberger, H.-J., & Dossel, K.-F. (2008). *Automotive paints and coatings*: John Wiley & Sons.

Warr, P., & Kohpaiboon, A. J. J. o. S. A. E. (2018). Explaining Thailand's automotive manufacturing success. *35*(3), 425-448.

Winter, F., Musliu, N. J. A. T. o. I. S., & Technology. (2021). Constraint-based Scheduling for Paint Shops in the Automotive Supply Industry. *12*(2), 1-25.

โตโยต้า. (2020). โตโยต้าแถลงยอดขายรถยนต์ปี 2562 คาดการณ์ตลาดรวมในประเทศปี 2563. Retrieved from https://www.toyota.co.th/news/Zdng3VOq

กนกวรรณ. (2020). การออกแบบผังโรงงานเพื่อลดต้นทุนค่าขนถ่ายวัสดุระหว่างสถานีงานในสายการผลิต *Pre-manufacturing*. Paper presented at the IE network 2020.

กุศลิน. (2554). การลดของเสียในกระบวนการเป่าฟิล์ม โดยวิธีซิกซ์ ซิกมา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

จรัล. (2552). บทความ *DOE* ตอน *Central Composite Design*.

จักรพันธ์. (2554). การปรับปรุงค่าคุณสมบัติที่สำคัญของทรายเคลือบเรซินสำหรับทำไส้แบบกลวง. . จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

ทวีศักดิ์. (2020). การลดต้นทุนกระบวนการพ่นสี. Paper presented at the IE network 2020.

นภัสสวงศ์. (2559). เอกสารประกอบการเรียนวิชา Quality Improvement.

ประชาสรรณ์. (2004). การประยุกต์ใช้แผนที่ความคิดในการระดมสมอง.

ปารเมศ. (2545). การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2563). ยอดขายรถยนต์ประจำปี.

อนุธิดา. (2561). การลดต้นทุนโดยการปรับส่วนผสมแก้วและปัจจัยในกระบวนการหลอม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วิศรุต วัลลภาพันธุ์
วัน เดือน ปี เกิด	19 มกราคม 2534
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่อยู่ปัจจุบัน	206/74 หมู่บ้านวิลเลจ3 ซอยมหาชัย ถนนบางนาตราด ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี สมุทรปราการ 10540

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University