การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า

นายอาทิตย์ หงสพันธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEFECT REDUCTION IN PAINTING PROCESS OF CAR-BODYWORK BY SIX SIGMA APPROACH

Mr.Artit Hongsapan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า
โดย	นายอาทิตย์ หงสพันธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ เรี่ยวเดชะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ อัครประถมพงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาทิตย์ หงสพันธ์ : การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ซิกม่า. (DEFECT REDUCTION IN PAINTING PROCESS OF CAR-BODYWORK BY SIX SIGMA APPROACH) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, 152 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากงานซ่อมข้อบกพร่องหลัก และจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันโดยที่เลือกแก้ไขข้อบกพร่องที่มีจำนวนมากและก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมสูง 7 ชนิด ได้แก่ข้อบกพร่องประเภทเส้นใย, สีเป็นคราบ, สีเป็นรอยขีด, เม็ดผง, สีไหล, เม็ดพื้น และสีเป็นหลุมในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ โดยมีเป้าหมายในการปรับปรุงอยู่ที่ 40% ทั้งค่าใช้จ่ายในการซ่อมและจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย

การดำเนินงานวิจัยได้ใช้แนวทางการปรับปรุงของซิกซ์ ซิกม่า ทั้ง 5 ขั้นตอน เริ่มจากระยะการนิยามปัญหาได้ศึกษาสภาพปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการปรับปรุง จากนั้นในระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้วิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลเชิงนับโดยวิเคราะห์ทั้งความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด จากนั้นวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน แล้วจึงระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อการเกิดเส้นใย, สีเป็นคราบ, สีเป็นรอยขีด, เม็ดผง, สีไหล, เม็ดพื้น และสีเป็นหลุมโดยใช้แผนภาพและตารางแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผล และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ จากนั้นในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่องได้นำเอาปัจจัยที่เลือกมาทำการทดสอบนัยสำคัญด้วยวิธีการทางสถิติ และปรับปรุงโดยหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยโดยการออกแบบการทดลอง จากนั้นทดสอบยืนยันผลและกำหนดแผนควบคุมและมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานใหม่ในระยะการติดตามควบคุม

หลังการปรับปรุงสามารถลดจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันลงได้ 57% คือจาก 0.37 ลงเหลือ 0.16 และสามารถลดจำนวนค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องต่อคันลงได้ 55% คือจาก 88 บาทต่อคัน ลงเหลือ 40 บาทต่อคัน ซึ่งเมื่อคำนวณจากข้อมูลยอดการผลิตที่ได้พยากรณ์ไว้ของปี 2553 ที่มียอดการผลิตเท่ากับ 166,955 คัน คาดว่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 5,796,469 บาท

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต นายอาทิตย์ หงสพันธ์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

5071527521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : PAINTING PROCESS / CAR-BODYWORK / SIX SIGMA

ARTIT HONGSAPAN: DEFECT REDUCTION IN PAINTING PROCESS OF CAR-BODYWORK BY SIX SIGMA APPROACH. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. NAPASSAVONG ROJANAROWAN, PHD., 152 pp.

The objective of this research is to reduce rework cost and defects per unit in car-bodywork painting process. There are seven main defects to reduce, which are fiber, paint stain, scratch, dust, sagging, surface dust and crater. This research sets the goal to reduce 40% of rework cost and defect per unit (dpu).

This research applied the Six Sigma approach, which was composed of 5 phases. In the first phase, the Define phase, the problem statement, objective and scope were defined. Next, in the Measure phase, an Attribute Agreement Analysis was performed to appraise the measurement system capability in terms of both accuracy and precision. Then, Process Capability was studied. In the Analyze phase, possible causes of defect were brainstormed and organized in Cause-and-Effect Diagrams, Cause-and-Effect Matrix, and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). The causes with high priority were then tested for their statistical significance. In the Improve phase, the optimal levels of significant factors that yielded minimum defect rate were determined by the Response Surface Methodology. Then, confirmatory experiments were performed. In the Control phase, new control plan and standard operating procedure were developed in order to control the process after the improvement.

The improvement results in 57% defect reduction (0.37 dpu to 0.16 dpu) and 55% reduction of rework cost (88 baht to 40 baht). It is expected that the improvement will result in net saving of 5,796,469 baht year based on the forecasted capacity of 166,955 units in 2010.

Department : INDUSTRIAL ENGINEERING Student's Signature อาทิตย์ หงสพันธ์

Field of Study : INDUSTRIAL ENGINEERING Advisor's Signature

Academic Year : 2553

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความช่วยเหลือและเสียสละเวลาในการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ระหว่างการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ เรี่ยวเดชะ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ อัครประถมพงศ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาสำหรับความกรุณาให้ทำการศึกษาและโอกาสในการเข้าไปทำงานวิจัย รวมถึงความร่วมมือในการประชุม จัดตั้งคณะทำงานในการให้ข้อคิดเห็นระดมสมอง เก็บข้อมูลและร่วมทำการทดลองเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอบคุณสำหรับกำลังใจจากเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยที่ไม่ได้กล่าวถึงมา ณ ที่นี้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ข้อมูลทั่วไปโรงงานกรณีศึกษา 1

1.2 โครงสร้างองค์กรของโรงงานสี 3

1.3 ผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา 3

1.4 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 4

1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 6

1.6 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย 7

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 7

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

1.9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 7

1.10 แผนการดำเนินงาน 10

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

2.1 ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) 11

2.1.1 ประวัติของ Six Sigma 11

2.1.2 ความหมายของ ซิกซ์ ซิกม่า 12

2.1.3 ตัววัดระดับของคุณภาพ 13

2.1.4 กระบวนการมาตรฐานของ ซิกซ์ ซิกม่า 14

2.2 หลักสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ 15

2.2.1 แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) 15

หน้า

2.2.2 การระดมความคิด (Brainstorming) 16
2.2.3 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) 17
2.2.4 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA : Measurement System Analysis) ... 18
2.2.5 การวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) 27
2.2.6 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ 28
2.2.7 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (DOE : Design of Experiment) 30
2.2.8 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล 37
2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสี 44
2.3.1 คุณสมบัติของสี 44
2.3.2 องค์ประกอบของสี 44
2.3.3 ตัวอย่างปัญหาสีที่เกิดขึ้น 46
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 47
2.4.1 การควบคุมและปรับปรุงคุณภาพกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ 47
2.4.2 ซิกซ์ ซิกม่า กับการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม 48
บทที่ 3 การนิยามปัญหา 52
3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน 52
3.2 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ 52
3.2.1 กระบวนการผลิตอย่างละเอียดโดยแบ่งแยกตามกลุ่มงาน 52
3.2.2 แผนภาพการผลิต 54
3.2.3 กำลังการผลิต 56
3.3 การนิยามปัญหา 56
3.3.1 ประเภทของปัญหา (ตามความรุนแรงของผลกระทบต่อสายการผลิต) 56
3.3.2 การตรวจสอบและเก็บข้อมูลข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น..... 57
3.3.3 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมจากปัญหาที่รถไม่สามารถวิ่งตรงไปได้ 61
3.4 สรุประยะนิยามปัญหา 65
บทที่ 4 การวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา..... 66
4.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด..... 66
4.1.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด..... 66
4.1.2 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด..... 68

หน้า

4.2 การประเมินความสามารถของกระบวนการ..... 72
4.3 การระดมสมอง (Brainstorming) เพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable) 75
4.3.1 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องจากแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) 76
4.3.2 การวิเคราะห์ปัญหาจากตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)..... 85
4.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis)..... 92
4.4 สรุประยะการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา..... 99
บทที่ 5 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา..... 101
5.1 รูปแบบที่ใช้ในการทดลอง..... 101
5.1.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE)..... 101
5.2 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าในการออกแบบการทดลอง..... 102
5.3 การออกแบบการทดลอง 102
5.4 ตัวแปรตอบสนอง (Response) และการแปลงค่า (Transformation) 104
5.5 ขั้นตอนการทำการทดลอง 105
5.6 ผลการทดลอง 107
5.7 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง 108
5.7.1 การทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์..... 108
5.7.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 109
5.8 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา..... 112
บทที่ 6 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ..... 114
6.1 การออกแบบการทดลองเพิ่มเติม..... 114
6.2 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพิ่มเติม..... 118
6.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง..... 118
6.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 121
6.3 สรุประยะการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ..... 124
บทที่ 7 การทดสอบยืนยันผล และการตรวจติดตามควบคุม..... 126

หน้า

7.1 การทดสอบยืนยันผล..... 126
7.1.1 ขั้นตอนในการทดลอง..... 126
7.1.2 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง..... 127
7.1.3 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงและสรุปค่าใช้จ่ายที่ลดได้..... 130
7.2 การตรวจติดตามควบคุม..... 131
7.2.1 แผนการควบคุม..... 131
7.3 การประยุกต์ใช้แผนควบคุม..... 133
7.4 แผนปฏิบัติการแก้ไขเมื่อพบจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ออกนอกค่าควบคุม (Out of Control Action Plan หรือ OCAP)..... 135
7.5 สรุประยะการทดสอบยืนยันผล และการตรวจติดตามควบคุม..... 136
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 137
8.1 สรุประยะนิยามปัญหา..... 137
8.2 สรุประยะการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา..... 137
8.3 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา 138
8.4 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 139
8.5 สรุประยะการทดสอบยืนยันผล และการตรวจติดตามควบคุม 140
8.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย..... 140
8.7 ข้อเสนอแนะ..... 141
รายการอ้างอิง 142
ภาคผนวก 143
ภาคผนวก ก..... 144
ภาคผนวก ข..... 150
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 152

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sigma Quality Level 14

ตารางที่ 2.2 ขนาดสิ่งตัวอย่างในการประเมินผลระบบการตรวจสอบข้อมูลนับ 26

ตารางที่ 2.3 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน 38

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ One-Way-ANOVA 40

ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก 41

ตารางที่ 2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two-Fixed Effect Model 42

ตารางที่ 3.1 ยอดการผลิตและจำนวนปัญหาที่ทำให้รถไม่สามารถวิ่งตรงเพื่อส่งสาย..... 57
การประกอบขั้นสุดท้าย

ตารางที่ 3.2 มูลค่าของค่าใช้จ่ายในการซ่อมแต่ละชนิดของข้อบกพร่อง 5 อันดับแรก 64

ตารางที่ 4.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างแนะนำโดย Fasser and Brettner 67

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด..... 68

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด..... 69

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลชนิดของข้อบกพร่องที่พบซึ่งใช้ในการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่าง 72

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลชนิดของข้อบกพร่องที่พบในการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง 74

ตารางที่ 4.6 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉพาะข้อบกพร่องที่เลือกจะแก้ไขแบ่งชนิดตามวิธีที่ใช้ซ่อม..... 74

ตารางที่ 4.7 คะแนนความสำคัญที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนักของข้อบกพร่องแต่ละชนิด..... 86

ตารางที่ 4.8 เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล 86

ตารางที่ 4.9 การทำ Cause and Effect Matrix 87

ตารางที่ 4.10 ปัจจัยนำเข้า 10 ปัจจัยที่มีคะแนนสูงกว่า 100 คะแนน..... 89

ตารางที่ 4.11 กฎเกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (Severity Score: S)..... 94

ตารางที่ 4.12 กฎเกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง (Occurrence Score: O)..... 95

ตารางที่ 4.13 กฎเกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับ (Detection Score: D)..... 96

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis)..... 97

ตารางที่ 4.15 ปัจจัยนำเข้าที่ต้องนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุและทดสอบความมีนัยสำคัญ..... 99

ตารางที่ 5.1 ระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญ..... 102

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab..... 103

ตารางที่ 5.3 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง 104

ตารางที่ 5.4 สมการการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย..... 105
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey..... 107
ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab..... 109
ตารางที่ 6.1 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยเชิงคุณลักษณะ..... 115
ตารางที่ 6.2 ค่าที่ใช้ในการปรับตั้งของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลองเพิ่มเติม..... 115
ตารางที่ 6.3 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม..... 116
ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey..... 117
ตารางที่ 6.5 ผลการหาค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization) โดยโปรแกรม Minitab 123
ตารางที่ 7.1 ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่จะทำการปรับปรุง..... 126
ตารางที่ 7.2 จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยในการทดลองปรับค่าปัจจัยที่ระดับที่เหมาะสม..... 128
ตารางที่ 7.3 จำนวนข้อบกพร่องแบ่งตามประเภทการซ่อมในการทดลองปรับค่าปัจจัยที่ระดับที่เหมาะสม..... 129
ตารางที่ 7.4 แบบฟอร์มการตรวจสอบอุณหภูมิ, ความชื้น และความเร็วลม..... 132
ตารางที่ 7.5 การใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับควบคุมกระบวนการพ่นสี..... 134

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนภาพผังโรงงานกรณีศึกษา	2
รูปที่ 1.2 สายการตรวจสอบคุณภาพและเส้นทางของรถ	2
รูปที่ 1.3 ผังองค์กรห้องสี	3
รูปที่ 1.4 จำนวนการผลิตรถยนต์รุ่นต่าง ๆ ของโรงงานกรณีศึกษา	4
รูปที่ 1.5 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมของข้อบกพร่องชนิดต่าง ๆ	6
รูปที่ 2.1 หลักการพาเรโต	16
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผล	18
รูปที่ 2.3 การจำแนกสาเหตุของการวิเคราะห์ระบบการวัด	19
รูปที่ 2.4 ประเภทความผันแปรของระบบการวัด	22
รูปที่ 2.5 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ	31
รูปที่ 2.6 การออกแบบบล็อกแบบสุ่มบริบูรณ์	36
รูปที่ 2.7 องค์ประกอบของสี	44
รูปที่ 2.8 องค์ประกอบของผงสี	45
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนของกระบวนการพ่นสีรถรุ่น TFR	54
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างเอกสารการเก็บข้อมูล DPU	57
รูปที่ 3.3 แผนภูมิพาเรโตค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องทุกชนิด	63
รูปที่ 3.4 แผนภูมิพาเรโตปัญหาที่มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมเท่ากับ 80% ของทั้งหมด	64
รูปที่ 4.1 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องเส้นใย.....	78
รูปที่ 4.2 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องสีเป็นคราบ.....	79
รูปที่ 4.3 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องเม็ดผง	80
รูปที่ 4.4 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องสีเป็นรอยขีด.....	81
รูปที่ 4.5 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องเม็ดพื้น.....	82
รูปที่ 4.6 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องสีเป็นหลุม.....	83
รูปที่ 4.7 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องสีไหล.....	84
รูปที่ 4.8 แผนภูมิแท่งเรียงลำดับคะแนนของการวิเคราะห์ Cause and Effect Matrix	88
รูปที่ 5.1 การปรับตั้งค่าอุณหภูมิ.....	105
รูปที่ 5.2 การปรับตั้งค่าความชื้น	106
รูปที่ 5.3 การปรับตั้งค่าความเร็วลม.....	106
รูปที่ 5.4 การทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลที่ได้รับการแปลงค่าโดยวิธีของ Freeman และ Turkey	108
รูปที่ 5.5 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง....	110

รูปที่ 5.6 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง..... 110
รูปที่ 5.7 ผลของปัจจัยหลักที่มีต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย..... 111
รูปที่ 5.8 ผลของอันตรกิริยาที่มีต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย..... 112
รูปที่ 6.1 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design 115
รูปที่ 6.2 การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ..... 119
รูปที่ 6.3 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ..... 120
รูปที่ 6.4 แผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต..... 121
รูปที่ 6.5 กราฟผลหลักของปัจจัย..... 122
รูปที่ 6.5 กราฟผลของอันตรกิริยาของปัจจัย..... 122
รูปที่ 6.6 Optimization Plot จากโปรแกรม Minitab 124
รูปที่ 7.1 การกำหนดทิศทางการเป่าลมรถ 133
รูปที่ 7.2 การกำหนดทิศทางการเช็ดรถ..... 133
รูปที่ 7.3 แผนปฏิบัติการแก้ไขเมื่อพบจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ออกนอกค่าควบคุม..... 135

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

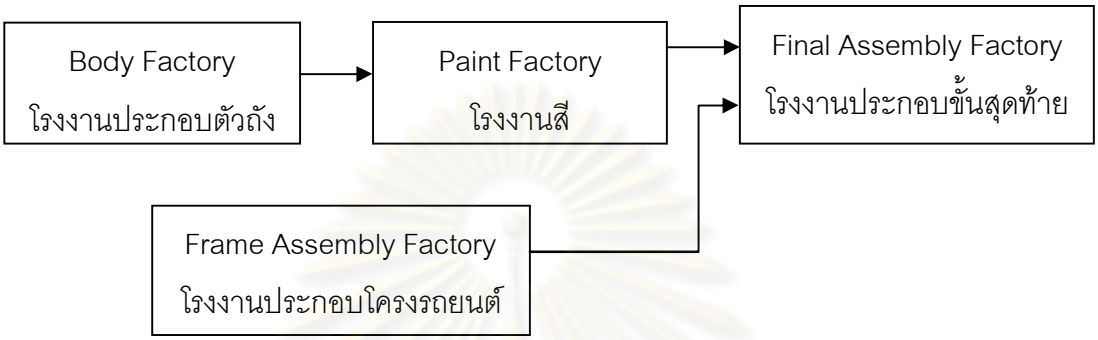
เนื่องด้วยในปัจจุบันธุรกิจทุกประเภทรวมถึงอุตสาหกรรมยานยนต์ได้รับผลกระทบจากสภาวะถดถอยทางเศรษฐกิจที่เริ่มมาจากประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปลายปี 2551 ทำให้มีการแข่งขันกันในอัตราที่สูงมากในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท โดยการที่จะสามารถอยู่รอดและมีส่วนแบ่งทางการตลาดได้มากที่สุดนั้นการตอบสนองความต้องการของลูกค้าเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด ซึ่งลูกค้ามักจะคำนึงถึงคุณภาพของสินค้าเป็นสำคัญ เพราะถ้าหากไม่สามารถควบคุมและพัฒนาคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐาน ก็จะส่งผลให้ลูกค้าเกิดการเปลี่ยนแปลงการเลือกซื้อสินค้าไปยังผู้ผลิตรายอื่นๆ จะเห็นได้ว่าในกระบวนการผลิตมักพบข้อบกพร่องและความไม่สมบูรณ์แบบของสินค้าอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งข้อบกพร่องดังกล่าวจะส่งผลต่อความเชื่อมั่นของลูกค้า ดังนั้นการปรับปรุงและพัฒนาสินค้าเพื่อทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจนั้น เป็นปัจจัยอันดับแรกที่ทุกอุตสาหกรรมไม่ควรมองข้าม เพราะถ้าหากเกิดความบกพร่องซ้ำๆ ก็จะส่งผลต่อความพึงพอใจของลูกค้า การปรับปรุงคุณภาพเพิ่มผลผลิต และลดการสูญเสียจากของเสียต่าง ๆ นั้นจึงเป็นหัวใจสำคัญของการอยู่รอดทางธุรกิจและการเติบโตทางอุตสาหกรรม โดยโรงงานกรณีศึกษานี้มีความมุ่งมั่นที่จะปรับปรุงคุณภาพเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันตลอดเวลา

งานวิจัยนี้จึงได้มีการประยุกต์ใช้แนวคิด ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการและลดจำนวนข้อบกพร่อง เนื่องจากเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่ามีประสิทธิภาพอย่างมากในการปรับปรุงคุณภาพและลดต้นทุนในกระบวนการผลิต โดยในงานวิจัยนี้ได้นำแนวคิด ซิกซ์ ซิกม่ามาใช้ทั้ง 5 ระยะคือ ระยะการนิยามปัญหา ระยะการวัดและเก็บข้อมูลสภาพปัญหา ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ระยะการปรับปรุงแก้ไข และระยะการทดสอบยืนยันผลและตรวจติดตามควบคุม ซึ่งเป็นการปรับปรุงกระบวนการและยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตลงได้อีกด้วย

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

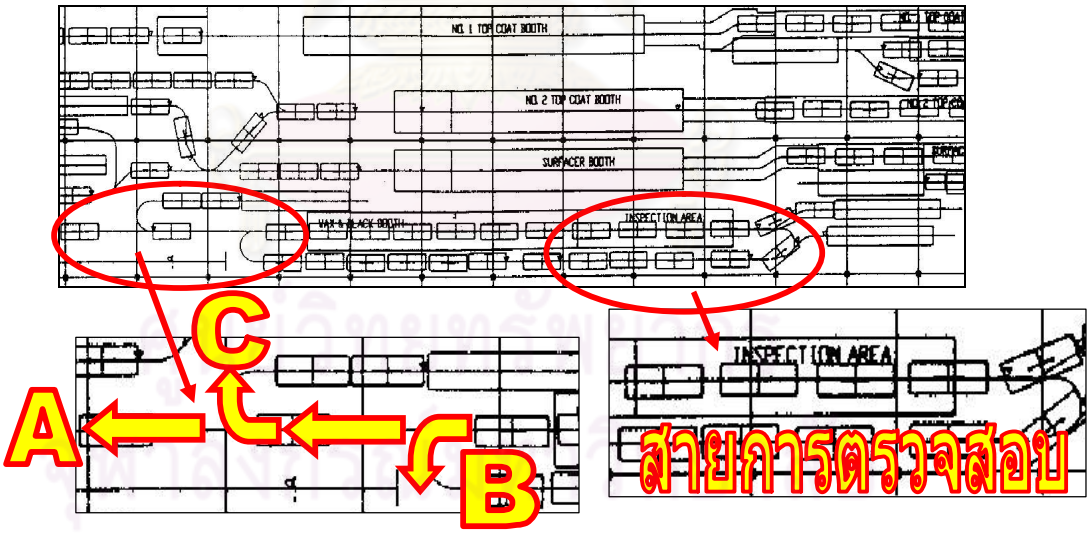
โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานประกอบรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ (ปิกอัพ) รถยนต์เอนกประสงค์ และรถบรรทุกขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี 2505 ด้วยจำนวนเงินลงทุน 5,447 ล้านบาท บนเนื้อที่ 104 ไร่ หรือ 166,400 $ม^2$ มีกำลังการผลิตของรถปิกอัพ 150,000 คันต่อปี และรถบรรทุก 2 ตันขึ้นไป 4,000 คันต่อปี โรงงานแห่งนี้ประกอบไปด้วยโรงงานย่อยอีก 4 โรงงานคือ โรงงานประกอบตัวถัง โรงงานสี โรงงานประกอบโครงรถยนต์ และโรงงานประกอบขั้นสุดท้าย ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะโรงงานสี เนื่องจากลักษณะของกระบวนการผลิตทั้งหมดโรงงานสีเป็นโรงงานที่อยู่ตรงกลางระหว่างโรงงานประกอบตัวถัง และโรงงานประกอบขั้น

สุดท้าย โดยถ้าหากโรงงานสีเกิดปัญหาที่ทำให้ไม่สามารถดำเนินการผลิตได้ จะส่งผลกระทบให้ทั้งโรงงานประกอบตัวถังที่ต้องส่งรถออกมาจากโรงงานไปยังโรงงานสีไม่สามารถส่งรถที่ประกอบเสร็จออกมาได้ และโรงงานประกอบขั้นสุดท้ายที่ต้องนำรถที่พ่นสีจากโรงงานสีมาประกอบ จะไม่มีรถมาดำเนินการผลิตต่อได้



รูปที่ 1.1 แผนภาพผังโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานสีเป็น โรงงานที่ในสายการผลิตเป็นแบบส่งออกผลิตภัณฑ์เส้นทางเดียวคือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านแต่ละกระบวนการพ่นสีจะวิ่งผ่านที่สายการตรวจสอบคุณภาพสีที่มีอยู่เพียงสายการตรวจสอบเดียวในโรงงานดังแสดงในรูปที่ 1.2



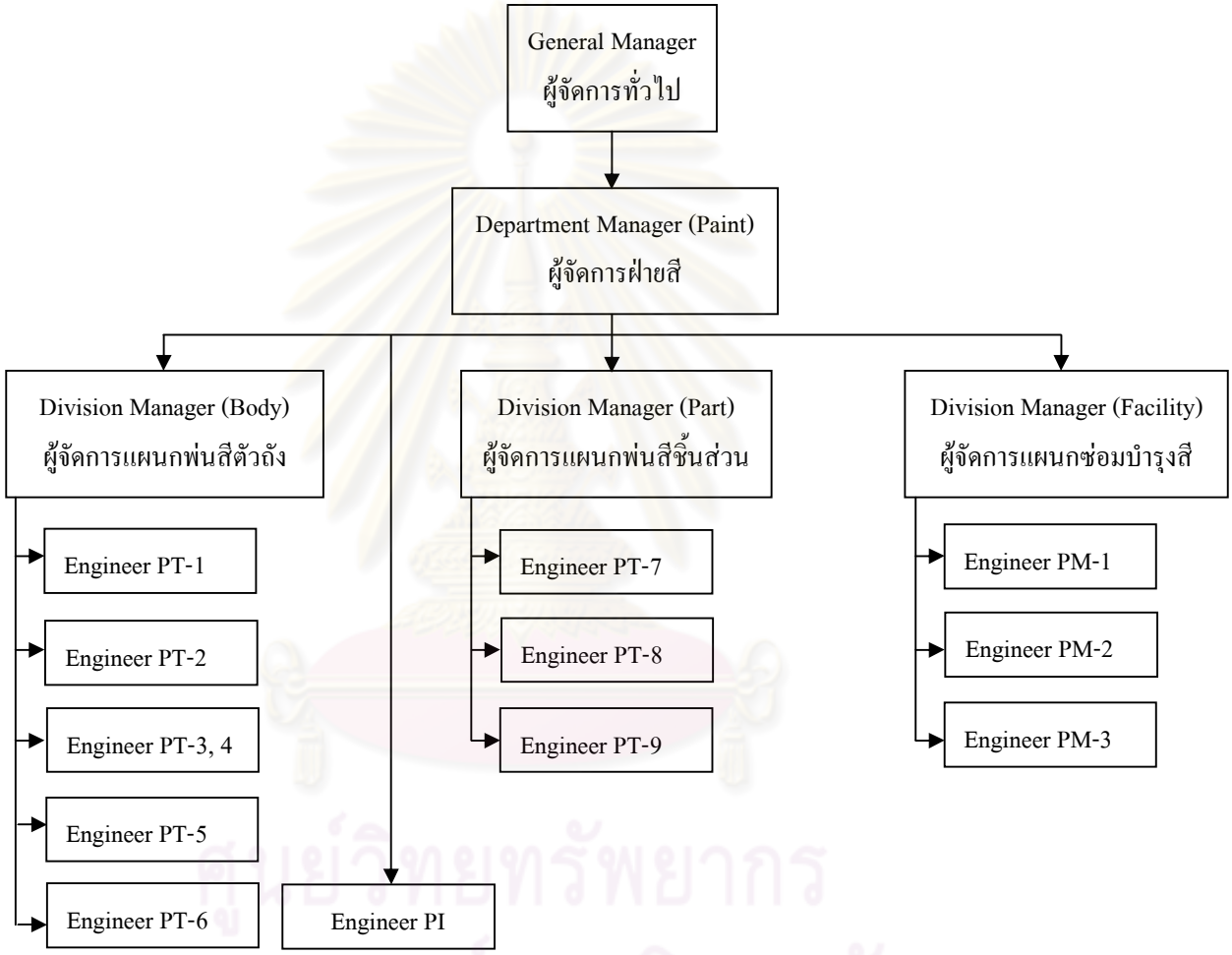
รูปที่ 1.2 สายการตรวจสอบคุณภาพและเส้นทางของรถ

ปัญหาในสายการตรวจสอบคือมีการหยุดเพื่อขัดซ่อมข้อบกพร่องที่มีจำนวนมาก หรือเกิดการขาดช่วงในสายการผลิตแบบโซ่ลากต่อเนื่องเกิดขึ้น (จากรูป 1.2 นั้น □ ในรูปแทนรถที่มีความต่อเนื่องในสายการผลิต) เนื่องจากต้องมีการวนรถออกจากสายการตรวจสอบไปยังจุดซ่อมสีที่ต้องอบคือเส้นทาง B ในรูป 1.2 ขณะที่อีกเส้นทางคือวนไปจุดขัดซ่อมทั้งคันเพื่อพ่นใหม่คือเส้นทาง C

ในรูป 1.2 โดยหากไม่มีการหยุดหรือวนรถออกไปทำให้ขาดช่วงนั้นเส้นทางปกติของรถคือวิ่งตรงเพื่อส่งรถไปโรงประกอบขั้นสุดท้าย คือเส้นทาง A ในรูป 1.2

1.2 โครงสร้างองค์กรของโรงงานสี

โครงสร้างองค์กรของโรงงานสีจะแบ่งออกตามหน้าที่ของแต่ละแผนกคือมีแผนกพ่นสีตัวถัง ชิ้นส่วน และแผนกซ่อมบำรุงสี จะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มงานย่อยอีกในแต่ละแผนกซึ่งแต่ละกลุ่มงานย่อยจะมีวิศวกรดูแล โดยที่ในโรงงานสีมีลักษณะผังองค์กรในระดับบริหารเป็นดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ผังองค์กรห้องสี

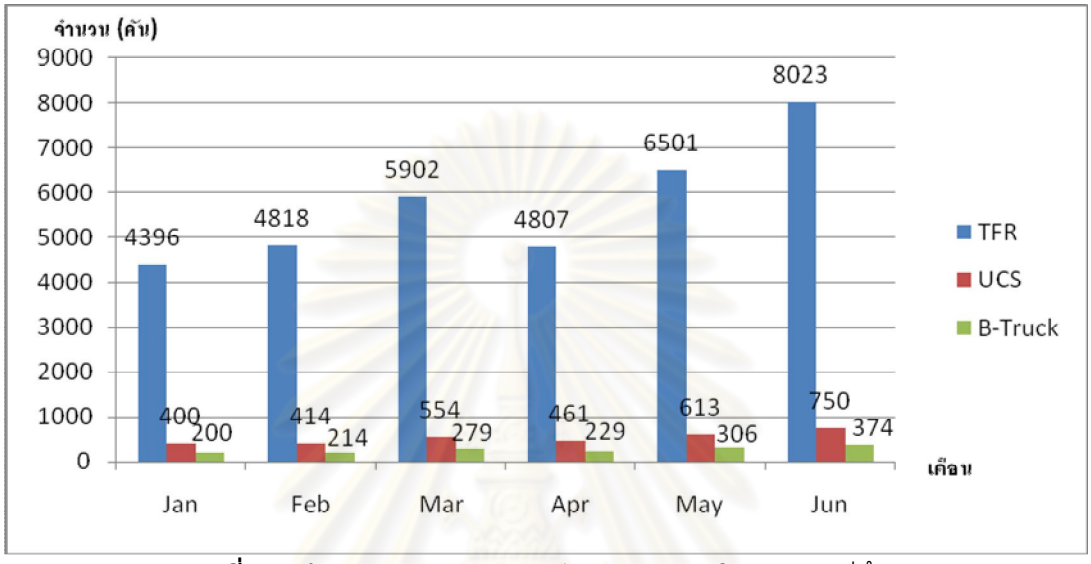
1.3 ผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษานี้เป็นโรงงานประกอบรถยนต์ ที่มีผลิตภัณฑ์หลักอยู่ 3 ประเภท แบ่งตามลักษณะการใช้งานดังนี้

1) รถรุ่น TFR เป็นรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ขนาดน้ำหนักไม่เกิน 1 ตัน
2) รถรุ่น UCS เป็นรถยนต์เอนกประสงค์ขับเคลื่อน 2 และ 4 ล้อ
3) รถรุ่น B-Truck เป็นรถบรรทุกขนาดกลาง และขนาดใหญ่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากข้อมูลจำนวนการผลิตของรถยนต์แต่ละรุ่นดังกล่าวตั้งแต่เดือน มกราคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2552 พบว่าโรงงานกรณีศึกษามีจำนวนการผลิตรถยนต์แบ่งตามจำนวนรุ่น ดังแสดงได้ในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 จำนวนการผลิตรถยนต์รุ่นต่าง ๆ ของโรงงานกรณีศึกษา

จะเห็นได้ว่ารถรุ่น TFR ซึ่งเป็นรถยนต์เพื่อการพาณิชย์นั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนการผลิตมากที่สุดของบริษัทคือเท่ากับ 88% ของจำนวนการผลิตรถทั้งหมดทุกรุ่น (6 เดือนแรกมีการผลิตถึง 34,447 คันจากจำนวนการผลิตทั้งหมด 39,241 คันและยังมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งทำการศึกษาโดยการลดจำนวนข้อบกพร่องและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากงานซ่อมของรถรุ่น TFR

1.4 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในกระบวนการผลิตสามารถตรวจสอบพบข้อบกพร่องบางชนิด เช่น เม็ดผง เส้นใย สีเป็นคราบ สีพอง ฯลฯ ได้หลังจากผ่านกระบวนการอบสีในแต่ละชั้นสีเท่านั้น ไม่สามารถที่จะพบได้ในระหว่างกระบวนการเตรียมผิวและขณะพ่นสี ทำให้เกิดความสูญเสียเป็นอย่างมาก เนื่องจากเมื่อเกิดข้อบกพร่องขึ้นแล้วต้องรอให้รถวิ่งผ่านการอบสีในเตาอบสีจนแห้งก่อนในแต่ละชั้นสี จึงจะพบว่ามีข้อบกพร่องเกิดขึ้น ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่องซ้ำในการพ่นสีรถคันถัด ๆ ไปในช่วงเวลาหลังจากเกิดข้อบกพร่องคันแรก ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงวิธีการทำงาน การกำหนดค่าของปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการพ่นสีที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการเกิดข้อบกพร่องขึ้นในกระบวนการพ่นสี

ชนิดการซ่อมข้อบกพร่องที่ต้องวนรถออกไปซ่อมนอกสายการตรวจสอบแบ่งออกได้ดังนี้

1) การซ่อมสีแห้งช้าเฉพาะจุด ใช้เวลาในการซ่อม 10 นาทีรถวิ่งไปเส้นทาง B (รูป 1.2)

2) การซ่อมสีแห้งช้าขนาดใหญ่ ใช้เวลาในการซ่อม 30 นาทีรถวิ่งไปเส้นทาง B (รูป 1.2)

3) การขัดซ่อมทั้งคันเพื่อพ่นใหม่ ใช้เวลาการซ่อม 110 นาทีรถวิ่งไปเส้นทาง C (รูป 1.2)

ซึ่งการซ่อมข้อบกพร่องทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมาข้างต้นเกิดจากการที่รถมีข้อบกพร่องที่ไม่สามารถที่จะซ่อมได้โดยการขัดยาในสายการตรวจสอบ ทำให้เกิดความจำเป็นต้องวนรถออกไปซ่อมนอกสายการตรวจสอบ โดยแต่ละประเภทของข้อบกพร่องนั้นการเลือกวิธีที่จะซ่อมข้อบกพร่องขึ้นอยู่กับ

1) ความลึกหรือตำแหน่งที่ข้อบกพร่องเกิดขึ้นว่าเกิดในชั้นสีใด

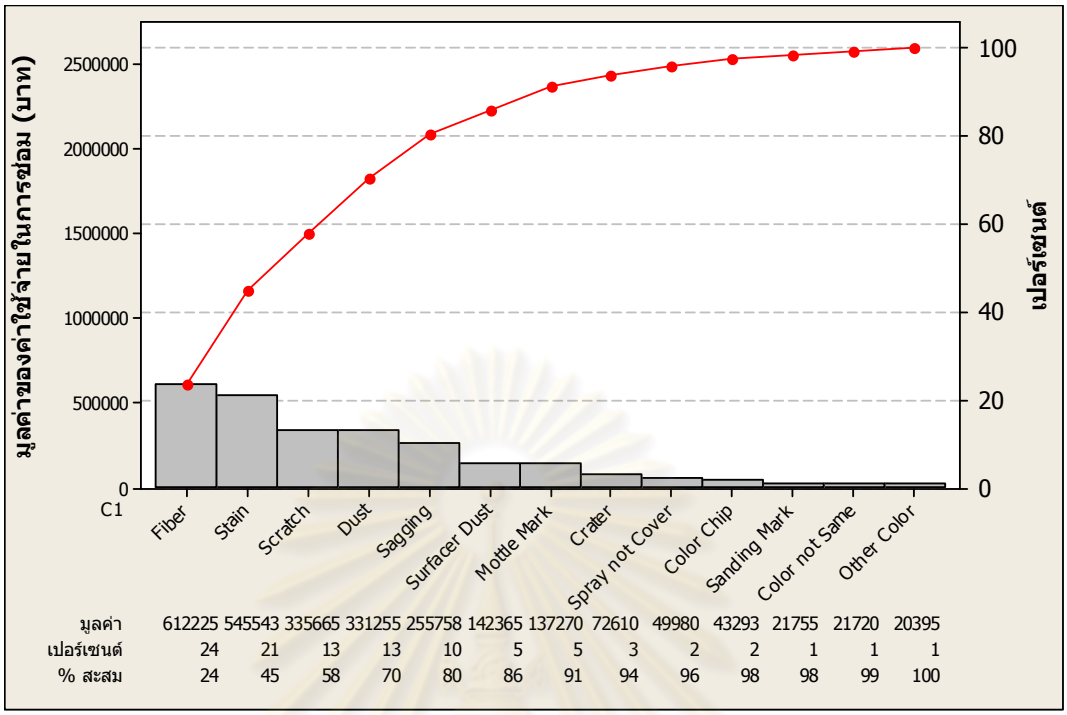
2) ความรุนแรงหรือขนาดของปัญหาที่เกิดขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าข้อบกพร่องประเภทหนึ่งๆ สามารถถูกซ่อมโดยชนิดการซ่อมใดก็ได้

โดยที่การซ่อมชนิดที่ 1 หรือการซ่อมสีแห้งช้าเฉพาะจุดมีจำนวนมากที่สุดถึง 14.22% ของจำนวนรถที่ผลิตทั้งหมด อีก 1.73% เป็นชนิดที่ 2 หรือการซ่อมสีแห้งช้าขนาดใหญ่ และที่เหลืออีก 1.48% เป็นชนิดที่ 3 หรือการขัดซ่อมทั้งคันเพื่อพ่นใหม่ โดย 80% แรกของจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีอยู่ทั้งหมด 5 ประเภทได้แก่ เส้นใย เม็ดผง สีเป็นคราบ เม็ดพื้น และสีเป็นหลุม

แต่ถ้าพิจารณาค่าใช้จ่ายจากการวนรถออกไปซ่อมข้อบกพร่อง 1 ครั้งจะได้ว่าการซ่อมชนิดที่ 3 ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมมากที่สุด รองลงมาเป็นชนิดที่ 2 และน้อยที่สุดคือชนิดที่ 1 ดังจะกล่าวรายละเอียดต่าง ๆ ของชนิดการซ่อมและค่าใช้จ่ายในการซ่อมในบทที่ 3 หัวข้อการนิยามปัญหา โดยข้อบกพร่องที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมเป็น 80% ของทั้งหมดมีอยู่ทั้งหมด 5 ประเภทได้แก่ เส้นใย สีเป็นคราบ สีเป็นรอยขีด เม็ดผง และสีไหล โดยการคำนวณค่าใช้จ่ายของการซ่อมในแต่ละข้อบกพร่องคิดจาก ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการซ่อมทั้ง 3 ชนิดการซ่อมที่กล่าวข้างต้นของแต่ละประเภทข้อบกพร่อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2,080,445 บาท

ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อสายการผลิตคือ ทำให้เกิดการสูญเสียแรงงานและวัตถุดิบที่ต้องใช้ในการซ่อมข้อบกพร่อง โดยข้อบกพร่องที่จะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมที่นอกเหนือไปจากการขัดซ่อมในสายการตรวจสอบคือข้อบกพร่องที่ทำให้รถไม่สามารถวิ่งตรงไป (วนออกไปที่จุดซ่อมสีที่ต้องอบหรือจุดขัดซ่อมทั้งคันเพื่อพ่นใหม่) เพื่อส่งรถไปยังโรงประกอบขั้นสุดท้าย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมของข้อบกพร่องชนิดต่าง ๆ

ในกระบวนการพ่นสีนั้น คุณภาพของผิวสีภายหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการพ่นสีจะขึ้นอยู่กับ การปรับตั้งค่าต่าง ๆ ในเครื่องจักรอุปกรณ์ วิธีการทำงานของพนักงาน สภาพแวดล้อมในการทำงาน ฯลฯ โดยที่ตัวแปรและข้อกำหนดต่าง ๆ นั้นไม่ได้เป็นสาเหตุของข้อบกพร่องชนิดเดียวแต่ยังสามารถก่อให้เกิดข้อบกพร่องได้หลายประเภท

จากความสูญเสียในระยะเวลา 6 เดือนที่เก็บข้อมูล (มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2552) นั้นหากคิดเป็นจำนวนเงินจะมีมูลค่าถึง 2,589,833 บาทที่เป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อม ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีสาเหตุที่เป็นไปได้หลายสาเหตุ โดยอาจเกิดได้ทั้งสาเหตุจากวิธีการทำงานของพนักงาน การปรับตั้งค่าในเครื่องจักรอุปกรณ์ หรือเกิดจากสภาพแวดล้อมการทำงานไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงเห็นว่าการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกม่า เข้ามาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ และลดข้อบกพร่องนั้นเป็นวิธีการที่เหมาะสม เนื่องจากข้อบกพร่องบางประเภทนั้นจำเป็นต้องใช้วิธีการทางสถิติและเครื่องมืออื่น ๆ นอกเหนือจาก 7 QC Tools เช่นการนำ FMEA มาใช้ในการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าที่น่าจะส่งผลให้เกิดข้อบกพร่อง นอกเหนือจากนั้นในข้อบกพร่องประเภท สีไหล สีบาง ที่เกี่ยวข้องและแปรผันโดยตรงกับค่าปรับตั้งของโรบอทหรือเครื่องพ่นสีอัตโนมัติที่มีค่าที่ใช้ในการปรับตั้งอยู่ 3 ชนิด ซึ่งทำให้ต้องมีการออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อให้ได้ค่าปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงเห็นว่าการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกม่ามาใช้นั้นเนื่องจากซิกซ์ ซิกม่าเป็นวิธีการที่มีกระบวนการแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการอย่างมีระบบและขั้นตอน โดยมีการนำเครื่องมือทางสถิติ เช่น การทดสอบสมมติฐาน และการออกแบบการทดลอง (DOE) เข้ามาช่วย เพื่อให้ได้สาเหตุในการเกิด

ข้อบกพร่องที่จะนำมาใช้ในการกำหนดวิธีการทำงานที่เหมาะสม และทำให้ได้ค่าในการปรับตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ซึ่งมีหลายปัจจัยเกี่ยวข้องกันที่เหมาะสม

1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ปรับปรุงมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานเพื่อลดจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากงานซ่อมข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์เพื่อการพาณิชย์

1.6 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีขอบเขตดังนี้

1. ศึกษาเฉพาะรถยนต์รุ่น TFR ซึ่งคือรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ขนาด 1 ตัน ที่เป็นผลิตภัณฑ์หลักของบริษัท
2. แก้ไขเฉพาะข้อบกพร่องหลักที่เป็น 80% แรกทั้งในด้านจำนวนและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่อง ตามหลักการของพาเรโตคือ เส้นใย สีเป็นคราบ สีเป็นรอยขีด เม็ดผง สีไหล เม็ดพื้น และสีเป็นหลุม
3. ปรับปรุงเฉพาะในกรณีที่ไม่มีการลงทุนที่สูงซึ่งไม่ได้รับการอนุมัติให้ทำจากบริษัท

1.7 ผลที่ได้รับ

1. ระดับของค่าปรับตั้งที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่มีผลในการลดจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสี
2. มาตรฐานการทำงาน (Operation Manual) ในสถานีงานที่ต้องมีการปรับปรุง ซึ่งมีการแก้ไขเพิ่มเติมข้อกำหนดใหม่ในเรื่องของคน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) และวิธีการทำงาน (Method)

1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ลดปริมาณข้อบกพร่องหลักที่ต้องวนออกไปซ่อมนอกสายการตรวจสอบทำให้ส่งรถไปสายการประกอบขั้นสุดท้ายไม่ได้ ซึ่งจะส่งผลให้จำนวนของข้อบกพร่องโดยรวมลดลงไปด้วย
2. ลดต้นทุนความสูญเสียด้านแรงงานและวัตถุดิบที่ต้องใช้ในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น
3. สามารถนำการแก้ปัญหาที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการพ่นสี

รถยนต์กระบวนประเภทอื่น ๆ หรือกระบวนการที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้

1.9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสี ได้ดำเนินการวิจัยตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่าทั้ง 5 ระยะดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase :D)
    1) จัดตั้งคณะทำงานเพื่อเข้าร่วมในโครงการ โดยพิจารณาคัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ และความชำนาญในกระบวนการพ่นสีรถยนต์
    2) ศึกษากระบวนการพ่นสีรถยนต์พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลทั่วไปของโรงงานตัวอย่าง และเก็บข้อมูลจำนวนรวมถึงค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องหลักที่ทำให้รถไม่สามารถวิ่งตรงไปโรงประกอบขั้นสุดท้ายได้ในสายการผลิต ระหว่างเดือนมกราคมถึงมิถุนายน 2552
    3) วิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยแผนภาพพาเรโต(Pareto Diagram)เพื่อทำการกำหนดประเภทของข้อบกพร่องที่จะแก้ไข วัตถุประสงค์ เป้าหมาย ตัวชี้วัด และระยะเวลาของโครงการ
3. ระยะการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา (Measure Phase : M)
    1) วิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด (Gage R&R) ในการตรวจสอบปัญหาสีด้วยสายตา
    2) เก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมเช่น ลักษณะของข้อบกพร่องหลัก รวมถึงค่าปรับตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีการใช้งานอยู่ เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่อง เก็บข้อมูลจำนวนข้อบกพร่องและจำนวนการตรวจสอบเพื่อนำไปพิจารณาหาความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน
    3) ระดมความคิด (Brainstorming) เพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable) ที่อาจมีผลต่อข้อบกพร่องหลักที่ได้เลือกว่าจะทำการแก้ไข โดยอาศัยแผนภาพก้างปลา (Cause and Effect Diagram) และทำการเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยเพื่อทำการตัดปัจจัยที่คาดว่ามีผลน้อยออกไป โดยใช้ Cause-and-Effect Matrix
    4) วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA)
    5) เลือกปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทดสอบความมีนัยสำคัญต่อไป
    6) วางแผนการทดลองและการเก็บข้อมูลในขั้นตอนต่อไป
4. ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis : A)

1) ในบางปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (KPIV) ที่เป็นปัจจัยเกี่ยวกับค่าปรับตั้งเครื่องจักร จะนำมาทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment หรือ DOE) เพื่อทดสอบหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่อง

2) ดำเนินการทดลองโดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ตามแผนที่กำหนดไว้

3) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่อง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance: ANOVA) หรือการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการคำนวณ

4) สรุปผลและวางแผนในขั้นตอนถัดไป

5. ระยะการปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve : I)

1) กำหนดแนวทางในการแก้ไขสาเหตุที่เลือกมา

2) สำหรับปัจจัยเกี่ยวกับค่าปรับตั้งเครื่องจักร ที่ได้ทดสอบแล้วว่ามีนัยสำคัญ จะดำเนินการทดลองเพิ่มเติมเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่สามารถลดจำนวนข้อบกพร่องลงได้

3) ทำการปรับปรุงกระบวนการตามแนวทางและวิธีการที่ได้กำหนดขึ้น

6. ระยะการทดสอบยืนยันผลและการตรวจติดตาม (Control : C)

1) ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง (Confirmation) โดยการเก็บข้อมูลหลังการทดลองเป็นระยะเวลา 1 เดือน หรือทดสอบตามจำนวนคันที่ได้จากการคำนวณ

2) จัดทำแผนควบคุม (Control Plan) และกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำงานแต่ละกระบวนการ

3) กำหนดวิธีการวัดและตรวจสอบปัญหาสี ขนาดตัวอย่าง และความถี่ในการวัด

4) สรุปผลการปรับปรุงที่ได้ โดยพิจารณาเปรียบเทียบผลการปรับปรุงจากสัดส่วนของจำนวนข้อบกพร่องที่สามารถลดลงได้ และค่าใช้จ่ายในการซ่อมที่สามารถลดลงได้หลังการปรับปรุงด้วย

7. สรุปผลและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.10 สรุประยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาและปรับปรุงในสายการผลิตเดียวกับสายการผลิตหลักของโรงงานกรณีศึกษา โดยได้ดำเนินการครบทั้ง 5 ระยะของกระบวนการซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งได้ใช้เวลาดำเนินการดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอน	ระยะเวลา (เดือน)
การศึกษาข้อมูล และระยะการนิยามปัญหา (Define : D)	4
การวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา (Measure : M)	4
การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis : A)	4
การปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve : I)	3
การตรวจติดตามควบคุม และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Control : C)	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

2.1.1 ประวิติของ Six Sigma (วชิรพงษ์ สาลีสิงห์, 2548)

เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1990 บริษัท Motorola คิดเทคนิคการบริหารกระบวนการขึ้นมาชนิดหนึ่งเรียกว่า “Six Sigma” โดยตั้งชื่อตามตัวอักษรกรีกที่มีความหมายนัยทางสถิติคือระดับของความผันแปรของกระบวนการ บริษัท Motorola ได้รับผลสำเร็จที่วัดออกมาเป็นตัวเงินมหาศาลจากการดำเนินงานตามแนวทางของ Six Sigma

ต่อมาบริษัท GE โดย Jack Welch ปรับเปลี่ยนรูปแบบดั้งเดิมของ Six Sigma ให้เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้มากขึ้น โดยปรับแก้รูปแบบ Six Sigma ของ Motorola ให้เป็นลักษณะของ Project Based Approach คือ เน้นทำเป็นเรื่อง ๆ ในระยะเวลาที่กำหนดไว้ (โดยประมาณ 6 เดือน) นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมในส่วนของการบริหารโครงการ และแนวทางในการจูงใจให้ผู้บริหารทุกระดับเล็งเห็นความสำคัญของการดำเนินงาน (ไม่ใช่คิดเพียงว่าเป็นหน้าที่ของวิศวกรในการปรับปรุงกระบวนการ) และยังเพิ่มในส่วนของวิธีการประเมินผลสำเร็จที่สามารถวัดผลออกมาได้ในรูปของการเงินที่ดีขึ้นของบริษัท ด้วยรูปแบบใหม่ของ Six Sigma จึงเป็นที่นิยมมากในบรรดาบริษัททั่วไป กล่าวกันว่าบริษัทจะสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานได้อย่างน้อย 500,000 – 1,000,000 เหรียญสหรัฐ จากการดำเนินโครงการ Six Sigma เพียงแค่ 3 – 4 โครงการต่อปี

อีกปัจจัยนึงที่ทำให้ Six Sigma มีชื่อเสียงขึ้นมาได้เป็นเพราะมีการนำมาใช้และแพร่หลายในช่วงที่เศรษฐกิจของโลกอยู่ในช่วงตกต่ำ โดยเฉพาะในประเทศยักษ์ใหญ่อย่างสหรัฐอเมริกา เพราะในขณะที่หลาย ๆ บริษัทได้มีการประกาศผลประกอบการออกมาแล้วทำให้ผู้ถือหุ้นน้ำตาร่วง กลับมีเพียงไม่กี่บริษัทที่ประกาศมาว่าได้กำไร ทั้งนี้เนื่องจากผู้บริหารได้มีการนำเครื่องมือที่มีชื่อว่า Six Sigma มาใช้ในองค์กร

ปัจจุบันเทคนิค Six Sigma ได้ถูกนำมาใช้กันในวงกว้างในภาคธุรกิจต่าง ๆ มากมายไม่ว่าจะเป็น ธุรกิจระดับ SMEs องค์กรขนาดใหญ่ อุตสาหกรรมการผลิต รวมไปถึงงานการบริการ โดยมีรูปแบบการนำไปใช้ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับรูปแบบของธุรกิจ

2.1.2 ความหมายของ ซิกซ์ ซิกม่า (วชิรพงษ์ สาลีสิงห์, 2548)

Sigma หรือ s เป็นอักษรกรีกโบราณ ในทางสถิติใช้แทนความหมายระดับความผันแปรของกระบวนการ หรือเรียกเป็นภาษาวิชาการว่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : s , SD) แต่ถ้ายกกำลังสองของ s ก็จะมีชื่อใหม่ว่า ความแปรปรวน (Variance : s2 , SD2) โดยความหมายทางกายภาพ ทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและความแปรปรวนนั้น จะกล่าวถึงระดับความผันแปรของกระบวนการนั่นเอง

ความหมายของ ซิกซ์ ซิกม่า สามารถตีความเป็นสองนัยสำคัญเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติได้ดังนี้

ความหมายเชิงทฤษฎี ซิกซ์ ซิกม่า คือ ความพยายามในการลดความแปรผันของกระบวนการ โดยพยายามบีบให้ความผันแปรทั้งหมดของกระบวนการตกอยู่ภายในขีดจำกัดของข้อกำหนดด้านคุณภาพ (USL และ LSL) และยอมให้มีของเสีย (หรือการ off Spec ของกระบวนการ) ได้ไม่เกิน 3.4 ครั้งใน 1 ล้านครั้ง (3.4 PPM) หรือเรียกอีกอย่างว่า ความสูญเสียโอกาสลงให้เหลือเพียงแค่ 3.4 หน่วยนั่นเอง (Defect per Million Opportunities, DPMO)

ความหมายเชิงปฏิบัติ เป็นเรื่องของการใช้หลักสถิติในการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ โดยใช้ควบคู่กับการบริหารโครงการที่ชาญฉลาด และเน้นผลสำเร็จในรูปของมูลค่าการลดต้นทุนจากการดำเนินโครงการ โดยไม่ได้เน้นว่าต้องจบโครงการที่ 3.4 PPM

นอกจากนั้นยังมีนักวิชาการหลาย ๆ ท่านกล่าวถึงความหมายของซิกซ์ ซิกม่าดังนี้

Mikel Harry (2000) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกม่า คือ วิถีแห่งระบบคุณภาพแบบหลายมิติ อันประกอบด้วย รูปแบบที่เป็นมาตรฐาน การจัดการที่ลงตัว และการตอบสนองตามหน้าที่ในองค์การซึ่งทั้งลูกค้าและผู้ผลิตจะได้ผลตอบแทนร่วมกันทั้งสองฝ่าย ไม่ว่าจะเป็นอรรถประโยชน์ ทรัพยากร และคุณค่าในตัวผลิตภัณฑ์

Gorge Eckes (2001) ได้ให้ความหมายของ ซิกซ์ ซิกม่า ว่าคือวิธีการใช้กลยุทธ์ปรับปรุงธุรกิจเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าและทำให้องค์กรมีความมั่นคงและมั่งคั่ง

Breyfogle (2001) ได้ให้ความหมายของซิกซ์ ซิกม่าไว้ว่า ซิกซ์ ซิกม่า เป็นส่วนผสมอันกลมกลืนระหว่างความฉลาดหลาย ๆ ด้านในการบริหารองค์กร โดยการพัฒนากลวิธีทางสถิติเพื่อใช้เป็นอาวุธขององค์กร โดยเป้าหมายสูงสุดของซิกซ์ ซิกม่า นี้ได้เน้นไปที่การนำเอาซิกซ์ ซิกม่า มาใช้เป็นกลยุทธ์ ของกิจการมากกว่าที่จะเป็นวิธีการควบคุมคุณภาพในกระบวนการหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ซิกซ์ ซิกม่า คือวิธีการและการประยุกต์ใช้กลวิธีทางสถิติในองค์กรเพื่อที่จะช่วยให้องค์กรสามารถทำกำไรได้เพิ่มขึ้น ได้ผลผลิตมากขึ้น

Evans และ Lindsay (2005) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกม่า เป็นวิธีการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจเพื่อหาหนทางและกำจัดต้นเหตุของปัญหาในการเกิดของเสียและความผิดพลาด ลดรอบ

เวลาการผลิตและต้นทุนการผลิต ปรับปรุงผลผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีขึ้น สามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ในทรัพย์สินและผลตอบแทนในกระบวนการผลิตและบริการ โดยปรับปรุงบนพื้นฐานกระบวนการแก้ปัญหา DMAIC หรือ Define, Measure, Analyze, Improve และ Control ที่ได้มีการรวบรวมเครื่องมือทางสถิติและเครื่องมือในการปรับปรุงผลผลิตไว้มากมาย

Robert P. Neuman และ Roland R. Cavanagh (2000) กล่าวว่า คือ ระบบที่ต้องอาศัยความเข้าใจและคล่องตัวเพื่อบรรลุ ผลักดัน และ จุดสูงสุดของความสำเร็จทางธุรกิจ ซิกซ์ ซิกม่า คือ การขับเคลื่อนอันเป็นเอกลักษณ์โดยการเข้าใจอย่างชัดเจนถึงความต้องการของลูกค้า มีวินัยในการใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติข้อเท็จจริง ข้อมูล และ มุ่งเน้นอย่างจริงจังในเรื่อง การบริหาร การปรับปรุง และ การสร้างขึ้นใหม่ของกระบวนการทางธุรกิจ

2.1.3 ตัววัดระดับของคุณภาพ

ในการดำเนินโครงการ ซิกซ์ ซิกม่า สิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือการเลือกตัวชี้วัดเพื่อบอกถึงระดับของคุณภาพในกระบวนการที่เหมาะสม ซึ่งความเหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต และความต้องการของลูกค้าเป็นสำคัญ เช่น โอกาสของการเกิดของเสียหรือความผิดพลาดต่อการทำงาน 1 ล้านครั้ง (Defect Per Million Opportunities) ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ Cp, Cpk, ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากคุณภาพที่ไม่ดีของผลิตภัณฑ์ (Cost of Poor Quality) ในงานวิจัยนี้คิดส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายทั้งหมดคือคิดเฉพาะค่าใช้จ่ายที่ทำให้รถไม่วิ่งตรงไปสายการประกอบขั้นสุดท้าย First Yield หรือ Rolled Throughput Yield ที่เป็นหนึ่งในตัววัดของงานวิจัยนี้ (จำนวนของรถวิ่งตรงไปสายการประกอบขั้นสุดท้าย) และค่า Sigma Quality Levelระดับคุณภาพของคุณภาพของกระบวนการในแนวคิด ซิกซ์ ซิกม่า จะอ้างอิงถึง Sigma Quality Level ที่บ่งบอกถึงโอกาสในการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตที่ระดับของ Sigma นั้น ๆ คือหากคิดค่าเฉลี่ยที่กึ่งกลางของกระบวนการจะได้ว่าที่ระดับ Sigma ที่ 6 นั้นมีโอกาสเกิดของเสียในกระบวนการเท่ากับ 0.002 ชิ้นต่อ 1 ล้านชิ้น แต่ในทางปฏิบัติเมื่อคิดค่าเผื่อของการขยับไปมาของกระบวนการที่ทำให้กระบวนการเลื่อนออกไปจากจุดกึ่งกลางเท่ากับ $\pm 1.5\sigma$ จะได้ว่าอัตราของเสียที่ค่าระดับ 6σ จึงมีค่าเท่ากับ 3.4 ชิ้นต่อ 1 ล้านชิ้น

ตารางที่ 2.1 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sigma Quality Level

Sigma Quality Level	Mean at Center		Mean Shifted 1.5s	
	Percentage	DPPM	Percentage	DPPM
1	68.27	317300	30.23	697700
2	95.45	45500	69.13	308700
3	99.73	2700	93.32	66810
4	99.9937	63	99.379	6210
5	99.999943	0.57	99.9767	233
6	99.9999998	0.002	99.99966	3.4

2.1.4 **กระบวนการมาตรฐานของ ซิกซ์ ซิกม่า** (ภาณุ ชุดเจือจีน, 2550)

กระบวนการมาตรฐานของ Six Sigma ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนสำคัญ คือ D: Define, M: Measure, A: Analyze, I: Improve, C: Control ซึ่งเรียกย่อๆ ว่า DMAIC โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน สรุปได้ ดังนี้

การนิยามปัญหา (D: Define) เป็นขั้นตอนแรกของการประยุกต์แนวคิดของซิกซ์ ซิกมา ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่การกำหนดทีมงาน เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยแผนภาพพาเรโต(Pareto Diagram) เพื่อกำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (M: Measure) ประกอบด้วยการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) พิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน โดยอาจจะพิจารณาจากปริมาณของเสียในปัจจุบัน ทำการระดมความคิด (Brainstorming) เพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable) ที่อาจมีผลให้เกิดของเสียในกระบวนการ การวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบของกระบวนการด้วยผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram รวมถึงการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis: FMEA) โดยขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาและเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญเพื่อคัดเลือกปัจจัยต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (A: Analyze) เป็นขั้นตอนถัดมาในวิธีการซิกซ์ ซิกมา โดยอาศัยวิธีการทางสถิติวินิจฉัยเพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง โดยนำเอาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (KPIV) ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ด้วย FMEA มาออกแบบการทดลอง (Design of Experiment หรือ DOE) ทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้า เช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) หรือการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis

Testing) แล้ววิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่จะนำไปทำการทดลองในขั้นตอนถัดไป

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (I: Improve) เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ การกำหนดขั้นตอนของการทดลองและวิธีการเก็บข้อมูล การทำการทดลองตามแผนการที่วางไว้ และการวิเคราะห์สรุปผลการทดลอง จากนั้นก็ต้องทำการทดสอบยืนยันผล เพื่อยืนยันข้อสรุปที่ได้จากการทดลองก่อนที่จะนำเอาผลที่ได้ไปใช้ในกระบวนผลิตจริง

การควบคุมกระบวนการผลิต (C: Control) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของวิธีการซิกซ์ ซิกมา ซึ่งเป็นการนำแนวทางที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงไปปฏิบัติตาม โดยมีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ผล ซึ่งจะต้องพิจารณาคัดเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับตัวแปรนั้นๆ ด้วยการกำหนดวิธีการวัด ขนาดกลุ่มตัวอย่าง ความถี่ในการวัด และกำหนดวิธีการแก้ไขเมื่อเกิดปัญหาว่าค่าที่ควบคุมไม่ตกอยู่ในขอบเขตที่ต้องการ

2.2 **หลักสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์** (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

2.2.1 **แผนภาพพาเรโต** (Pareto Diagram)

เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภท กลไกการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพ (เพื่อการคาดการณ์) แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือกรณีข้อมูลมีเสถียรภาพในระยะเวลานั้นจะสามารถคาดการณ์ได้ว่าข้อมูลประเภทใดควรมีค่ามากที่สุด ซึ่งหากมีการเก็บข้อมูลนานๆ จะเกิดการสะสม และทำให้ค่าสะสมของข้อมูลแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจนกรณีข้อมูลไม่มีเสถียรภาพที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ในแต่ละช่วงเวลาจะไม่สามารถกำหนดได้ว่าข้อมูลแบบใดจะมีความถี่มากที่สุด ซึ่งเป็นลักษณะของความไร้เสถียรภาพ โดยลักษณะดังกล่าวจะพบว่าข้อมูลจะมีการสะสม และค่าสะสมจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ แตกต่างกันอย่างไม่เด่นชัด

ประโยชน์ของแผนผังพาเรโต

1) สามารถบ่งชี้ให้เห็นว่าหัวข้อใดเป็นปัญหามากที่สุด

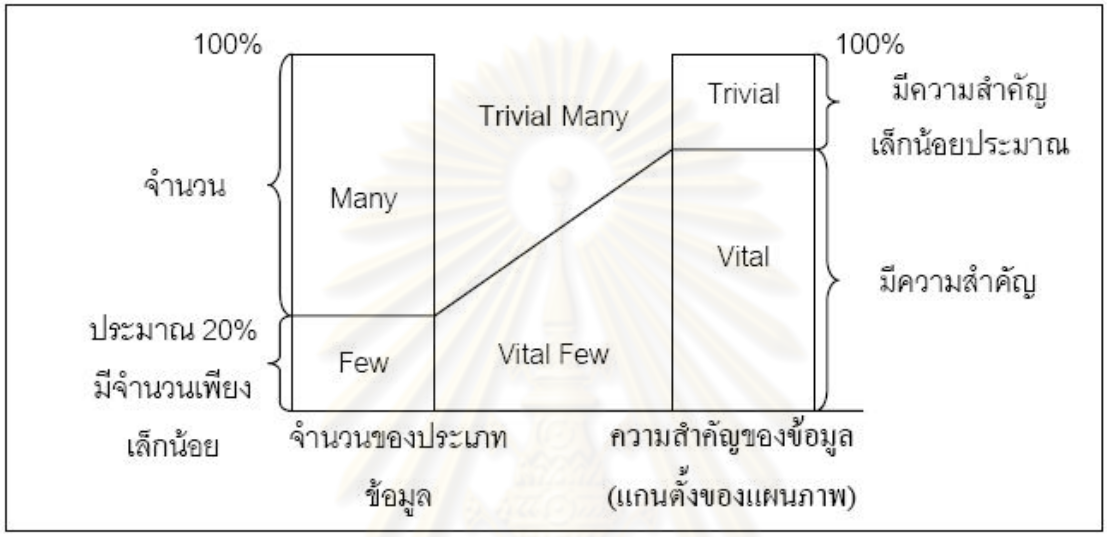
2) สามารถเข้าใจว่าแต่ละหัวข้อมีอัตราส่วนเป็นเท่าใดในส่วนทั้งหมด

3) ใช้กราฟแท่งบ่งชี้ขนาดของปัญหา ทำให้โน้มน้าวจิตใจได้ดี

4) ไม่ต้องใช้การคำนวณที่ยุ่งยาก ก็สามารถจัดทำได้และใช้ในการเปรียบเทียบผลได้

5) ใช้สำหรับการตั้งเป้าหมาย ทั้งตัวเลขและปัญหา

ถ้าหากข้อมูลอยู่ในสภาวะเสถียรภาพ ข้อมูลที่มีความสำคัญจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่ข้อมูลที่เหลืออีกจำนวนมากจะมีความสำคัญเพียงเล็กน้อย (Trivial Many) ตัวแบบของความมีเสถียรภาพของข้อมูลนั้น จะมีลักษณะข้อมูลที่มีความสำคัญมาก (ประมาณ 80% ของตัววัดความสำคัญทั้งหมด) มาจากประเภทข้อมูลจำนวนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 20% ของประเภทของข้อมูลทั้งหมด) เรียกกฎหลักการพาเรโตนี้ว่า กฎ 80-20 อธิบายได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการพาเรโต (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

ส่วนการตีความหมายแผนภาพพาเรโตนั้น แผนภาพพาเรโตใช้ในการตีความหมายความมีเสถียรภาพหรือไม่ของข้อมูลที่พิจารณาโดยมีข้อกำหนดคือ ถ้าตัวแบบของข้อมูลเป็นไปตามหลักการพาเรโต แสดงว่าข้อมูลนั้นอยู่ในสภาวะเสถียรภาพและสามารถใช้คาดการณ์ได้ แต่ถ้าตัวแบบของข้อมูลไม่ได้เป็นไปตามหลักการของพาเรโต แสดงว่าข้อมูลไร้เสถียรภาพอันเนื่องจากข้อมูลที่เก็บมาอยู่ในสภาวะการปรับตัว (Transient State) จึงควรมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม หรืออีกกรณีหนึ่งคือ ข้อมูลนั้นมาจากกระบวนการที่ไร้เสถียรภาพมีความจำเป็นต้องแก้ไขด้วยการทำให้กระบวนการมีมาตรฐาน

2.2.2 **การระดมความคิด** (Brianstorming)

การระดมความคิด คือ การแสดงความคิดเห็นร่วมกันระหว่างสมาชิก เพื่อเป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหา ซึ่งในพจนานุกรมได้ให้ความหมายว่า เป็นการคิดแบบไร้แบบแผน (Free-Form Thinking)

การระดมความคิดเป็นกระบวนการที่รวบรวมความคิดจากกลุ่มคนที่เกี่ยวข้องให้มากที่สุดในระยะเวลาอันสั้น เพื่อเป็นการค้นหาและสร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ ซึ่งจะถูกนำมาใช้ใน

โอกาสต่างๆ เช่นการพัฒนางาน ตั้งแต่ระดับการวางแผน การค้นหาปัญหา การหาทางออกของการปัญหา

หลักในการระดมความคิดมีดังนี้

1) หัวข้อในการระดมความคิดต้องมีความชัดเจน

2) ต้องไม่มีการวิจารณ์ระหว่างการระดมความคิด โดยเป็นการเปิดให้ผู้ร่วมระดมความคิดมีอิสระในการแสดงความคิดเห็น

3) ปริมาณของข้อเสนอแนะยิ่งมากยิ่งดี

4) การเสนอแนะมีทั้งข้อเสนอเพิ่มเติมจากแนวคิดของคนอื่นและการเสนอแนวคิดสร้างสรรค์ใหม่ ๆ

5) ต้องรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น หลีกเลี่ยงการปะทะคารมในที่ประชุม

6) เมื่อได้ผลแล้วควรทำการรวบรวมแล้วนำไปปรับปรุง

2.2.3 **ผังแสดงเหตุและผล** (Cause and Effect Diagram)

สำนักมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งญี่ปุ่น (JIS) ได้ให้คำนิยามของผังแสดงเหตุและผลว่าเป็นแผนผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบระหว่างสาเหตุหลาย ๆ สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบให้เกิดหนึ่งปัญหา

ผังแสดงเหตุและผล เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือ แผนภาพของอิชิกาว่า (Ishigawa Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงสาเหตุ (Cause) และ ผล (Effect) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของคุณภาพกับสาเหตุของมันโดยการดึงเอาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกมาเรียบเรียงสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพ มีประโยชน์ในการใช้เป็นเครื่องมือในการระดมสมองจากสมาชิกภายในกลุ่ม ทำให้เห็นปัญหาอย่างเป็นระบบและทราบสาเหตุของผลที่เกิดขึ้นซึ่งสาเหตุที่ได้จะละเอียดลึกซึ้งและมีขั้นตอนตามเหตุตามผล สะดวกที่จะนำสาเหตุนั้น ๆ ไปพิจารณาแก้ไข อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ในการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ได้มากมาย ช่วยชี้นำหรือช่วยในการอภิปราย รวบรวมประเด็นในการอภิปรายให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ผังก้างปลา จะพิจารณาแยกสาเหตุของปัญหาออกเป็นหัวข้อหลักทั้งหมด ๖ กลุ่ม ดังนี้

1) สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man)

2) สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine)

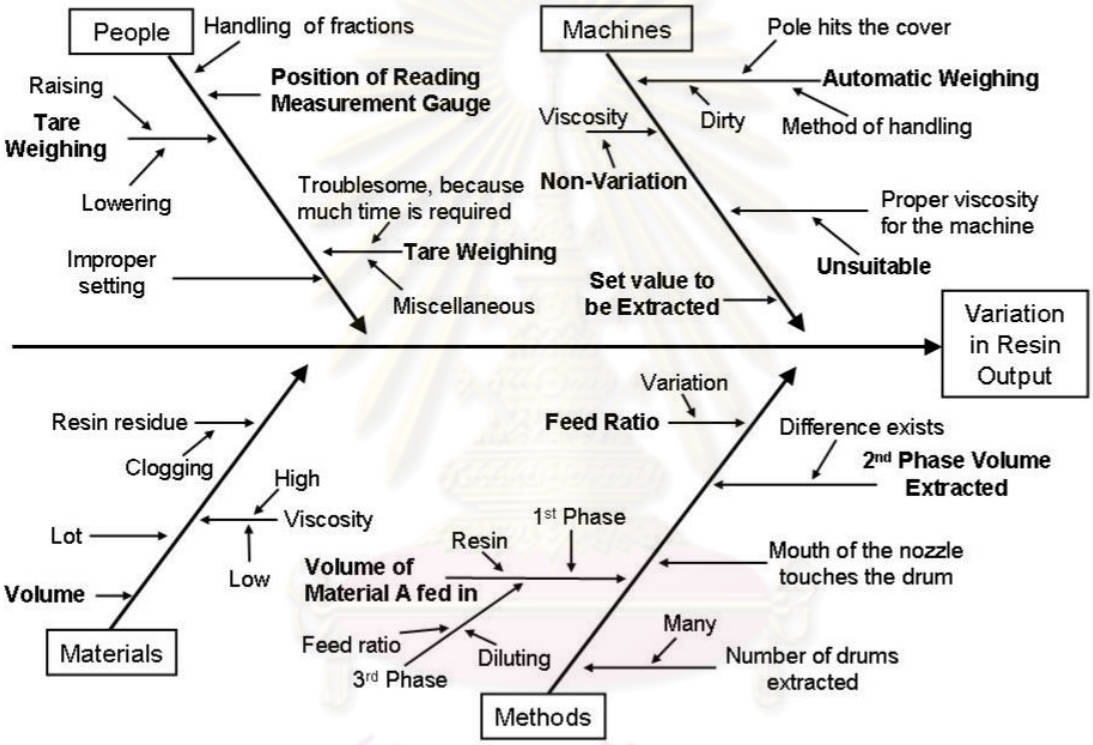
3) สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material)

4) สาเหตุจากวิธีการทำงาน (Method)

5) สาเหตุจากระบบการวัด (Measurement)

6) สาเหตุจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment)

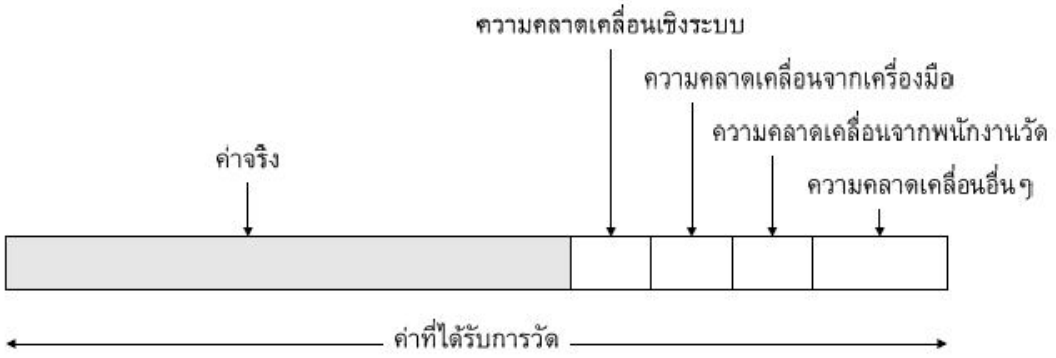
การใช้แผนภูมิก้างปลาต้องอาศัยการระดมความคิดจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย ถือเป็นเทคนิคหนึ่งของการระดมความคิด(Brainstorming) อย่างไรก็ตามการระดมความคิดแบบใช้แผนภูมิก้างปลาถึงแม้จะให้ผลดี แต่ก็ทำได้ยากเพราะการเขียนก้างปลาให้ถูกต้องและครอบคลุมสาเหตุของปัญหาให้กว้างขวางมากขึ้นจำเป็นต้องอาศัยผู้นำกลุ่มหรือประธานในการระดมความคิดที่ดีมีความสามารถและมีประสบการณ์มาก



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผล

2.2.4 **การวิเคราะห์ระบบการวัด** (MSA : Measurement System Analysis) (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546)

การวิเคราะห์ระบบการวัด มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ด้วยการจำแนกสาเหตุออกได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การจำแนกสาเหตุของการวิเคราะห์ระบบการวัด (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546)

เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด หลังจากนั้นให้ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือ เพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ หลังจากนั้นจะมีการลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มด้วยการประเมินแหล่งความผันแปรต่างๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่าวัด ถ้าพิจารณาถึงองค์ประกอบของค่าวัดแต่ละค่าแล้ว จะได้ว่า

$$X_{ij} = \mu + b + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij} \qquad (2.1)$$

โดยที่ X_{ij} คือ ค่าวัด

μ คือ ค่าจริงของงาน

b คือ ค่าไบอัส

α_i คือ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านชิ้นงาน

β_j คือ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านพนักงาน

$(\alpha\beta)_{ij}$ คือ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุร่วมของชิ้นงานกับพนักงาน

ε_{ij} คือ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุแบบสุ่ม

โดยกำหนดค่าวัดในรูปของความผันแปร (Measurement Variation) ได้ว่า

$$\sigma_x^2 = \sigma_\alpha^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_{\alpha\beta}^2 + \sigma^2 \qquad (2.2)$$

โดยที่ σ_x^2 คือ ค่าความผันแปร

σ_α^2 คือ ค่าความผันแปรจากชิ้นงาน

σ_β^2 คือ ค่าความผันแปรจากพนักงานวัด

$\sigma_{\alpha\beta}^2$ คือ ค่าความผันแปรร่วมของชิ้นงานกับพนักงานวัด

α^2 คือ ค่าความผันแปรอื่นๆ

ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัด

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดหัวข้อปัญหาขั้นตอนนี้ ทำการกำหนดหัวข้อปัญหาของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ที่จะทำการแก้ไข จากนั้นทำการสังเกตการณ์ปัญหาโดยการทวนสอบระบบการวัดเพื่อพิจารณาว่าระบบการวัดมีผลค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนองที่ใช้ระบุปัญหามากน้อยเพียงไร กรณีที่ระบบการวัดมีความผันแปรค่อนข้างมาก ให้กำหนดเป็นหัวข้อปัญหาสำหรับการแก้ไขปัญหาระบบการวัดต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดทีมแก้ไขปัญหากรณีปัญหาของระบบการวัดไม่มีความสลับซับซ้อน ผู้แก้ไขปัญหากระบวนการอาจจะดำเนินการแก้ไขปัญหาระบบการวัดได้โดยลำพัง แต่ถ้าระบบการวัดมีความสลับซับซ้อนและใช้เทคโนโลยีสูง มีความจำเป็นต้องแก้ไขปัญหาโดยอาศัยทีมงานแบบข้ามสายงาน (Cross-Functional Team) ซึ่งอาจจะประกอบด้วยฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายผลิต และฝ่ายประกันคุณภาพ โดยจำนวนสมาชิกจะขึ้นอยู่กับความสลับซับซ้อนของปัญหา โดยทั่วไปควรมีสมาชิกประมาณ 5-7 คนและไม่ควรเกิน 10 คน เพราะจะทำให้ทีมงานใหญ่เกินไป ทำให้การแก้ไขปัญหาไม่มีความคล่องตัวและทีมงานแก้ไขปัญหานี้ควรจะกำหนดหน้าที่ให้ชัดเจน พร้อมกำหนดแผนการประชุมและแผนดำเนินงานไว้ล่วงหน้า

ขั้นตอนที่ 3 การแสดงแผนภาพการไหลของระบบการวัดทีมแก้ไขจะต้องทำความเข้าใจกับแผนภาพการไหลของกระบวนการ ตลอดจนแผนภาพการไหลของระบบการวัด พร้อมการอภิปรายถึงสารสนเทศทั้งที่ทราบและไม่ทราบของระบบระบบการวัดที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการ โดยประเด็นสำคัญที่สุดที่ทีมแก้ไขปัญหาจะต้องหาข้อสรุปในขั้นตอนนี้คือแนวความคิดในการวัดงานของระบบการวัดที่พิจารณา ดังนั้น ในกรณีที่มีความจำเป็นอาจจะมีการเสนอชื่อผู้เชี่ยวชาญเข้ามาร่วมทีมแก้ไขปัญหาเพิ่มเติม

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์สาเหตุและผลทีมแก้ไขปัญหาจะต้องอาศัยหลักการระดมสมอง (Brainstorming) ในการระดมความคิด เพื่อค้นหาสมมติฐานของสาเหตุความผันแปรของระบบการวัด โดยทีมแก้ไขปัญหาอาจจะกำหนดให้อยู่ในรูปของแผนภาพก้างปลา และเมื่อระดมสมองพร้อมจัดความคิดแล้ว ให้ทีมแก้ไขปัญหาทำการอภิปรายถึงสารสนเทศทั้งที่ทราบและไม่ทราบ เพื่อกำหนดว่าปัจจัยใดคือสิ่งที่ควรจะเป็นแนวโน้มของสาเหตุ

ขั้นตอนที่ 5 การพิสูจน์สาเหตุและกำหนดมาตรการตอบโต้หลังจากกำหนดสมมติฐานของสาเหตุความผันแปรแล้ว จะดำเนินการพิสูจน์สมมติฐานโดยอาศัยตรรกะหรือข้อเท็จจริงจากกลวิธีทางสถิติ อาทิ การทดสอบด้วย ANOVA และเมื่อทราบสาเหตุรากเหง้าของความผันแปรแล้วให้กำหนดแนวความคิดในการแก้ไขปัญหา พร้อมสร้างทางเลือกเป็นมาตรการตอบโต้ เพื่อทำการเลือกมาตรการตอบโต้ที่มีความเหมาะสมที่สุด

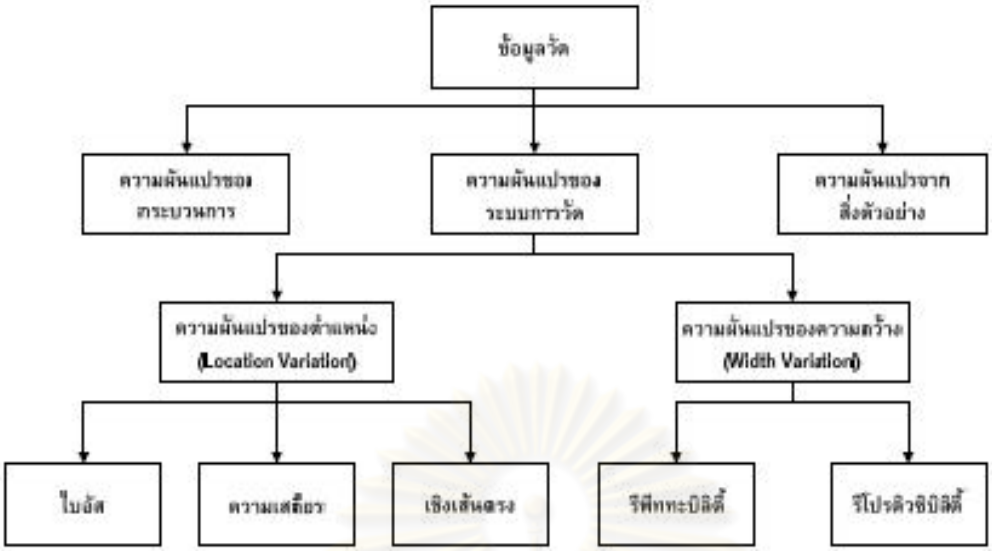
ขั้นตอนที่ 6 ตรวจความถูกต้องของมาตรการตอบโต้เป็นการพิจารณาถึงความถูกต้องของมาตรการตอบโต้ที่เลือกมา ซึ่งส่วนใหญ่มักจะอาศัยการดำเนินการด้วยหลักการออกแบบการทดลอง จากนั้นจึงจะประยุกต์ในระดับการผลิตจำนวนมาก (Mass Production) ภายใต้ปัจจัยที่แปรเปลี่ยนไปโดยสาเหตุธรรมชาติ

ขั้นตอนที่ 7 การจัดทำมาตรฐานภายหลังจากการนำมาตรการตอบโต้ไปใช้และมีการปรับแก้จนกระทั่งมั่นใจว่าได้ผลที่ดีแล้ว ให้ทำการแก้คู่มือการทำงานที่เกี่ยวข้อง ทั้งคู่มือการทำงาน (Work Instruction Manual) ระเบียบวิธีทำงาน (Procedure Manual) และให้ผู้มีอำนาจลงนามอนุมัติ (Buy-in) โดยการดำเนินการดังกล่าวจะทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่า สิ่งที่ได้รับการปรับแก้นี้จะได้รับการปฏิบัติต่อไป เพื่อป้องกันไม่ให้ปัญหาระบบการวัดดังกล่าวเกิดขึ้นซ้ำอีก การวิเคราะห์ผลระบบการวัด มีประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณา 3 ประการคือ

1) ความไว (Sensitivity) ของระบบการวัดคือ อินพุตที่เล็กที่สุดที่ทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุตที่สามารถตรวจจับได้หรือสามารถใช้ได้ โดยการพิจารณาความไวว่ามีความเพียงพอหรือไม่

2) ความเสถียร (Stable) คือ ความแตกต่างของค่าความผันแปรตลอดช่วงการใช้งานของเกจวัด โดยถือเป็นค่ารีพีททะบิลิตี้ตลอดขนาดชิ้นงาน (Repeatability Over Size)

3) ความสม่ำเสมอ (Consistent) หมายถึง ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากระบบการวัดต้องสม่ำเสมอตลอดช่วงที่คาดหมาย (Expected Range) และมีความผันแปรอย่างเพียงพอต่อการควบคุมผลิตภัณฑ์และกระบวนการ หรือความแตกต่างของค่าความผันแปรตลอดช่วงการใช้งานของเกจวัด โดยถือเป็นค่ารีพีททะบิลิตี้ตลอดเวลา (Repeatability Over Time)



รูปที่ 2.4 ประเภทความผันแปรของระบบการวัด (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546)

จากรูปที่ 2.4 ความผันแปรของระบบการวัด ประกอบด้วย

1) ความผันแปรของตำแหน่ง (Location Variation)เป็นคุณสมบัติของการเข้าใกล้ของค่าเฉลี่ยจากผลจากการวัดหลายๆ ครั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Reference Value) สามารถกำหนดได้ด้วยค่าความผันแปร ดังนี้

ไบอัส (Bias) หรือปริมาณความเอนเอียง หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าจริง (หรือค่าอ้างอิง) กับค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานวัดเดียวกันโดยคุณสมบัติด้านไบอัสนี้จะเป็นตัววัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของระบบการวัด

ความเสถียร (Stability) หรือการเลื่อนออกไปแบบค่อยเป็นค่อยไปของค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรทั้งหมดในการวัดที่ได้จากกระบวนการวัดหนึ่งโดยอาศัยชิ้นงานหรือค่ามาสเตอร์เดียวกันในการวัดคุณลักษณะประการหนึ่งตลอดช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้น

เชิงเส้นตรง (Linearity) หมายถึง ความแตกต่างของค่าไบอัสตลอดช่วงการใช้งานของอุปกรณ์วัด หรือค่าความแตกต่างของไบอัสเมื่อมีการเปลี่ยนย่านวัดไป

2) ความผันแปรของความกว้าง (Width Variation)โดยทั่วไปเรียกความผันแปรของความกว้างของระบบการวัดว่าความแม่น(Precision) ซึ่งหมายถึง อิทธิพลโดยรวมของความสามารถในการแยกความแตกต่าง(Dis-crimination) ความไว (Sensitivity) และความสามารถในการทำซ้ำ หรือรีพีททะบิลิตี้ ตลอดช่วงการใช้งานของระบบการวัด ซึ่งค่าของความแม่นจะเป็นตัววัดความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัดสามารถแบ่งความผันแปรออกเป็น

รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) หรือความผันแปรภายในเงื่อนไขของระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expected Value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยการใช้พนักงานวัดคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ ซึ่งโดยทั่วๆ ไปในอุตสาหกรรมหมายถึง ความผันแปรของอุปกรณ์ (Equipment Variation:EV) ทั้งนี้เพราะความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัดมักจะมีผลมาจากตัวอุปกรณ์

รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หรือความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งในอุตสาหกรรมทั่วไปมักจะหมายถึง ความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นของระบบการวัด

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความผันแปรของความกว้างของระบบการวัด ซึ่งหมายถึงความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด ในการศึกษามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเริ่มจากการวางแผนการศึกษา โดยมีประเด็นพิจารณาดังนี้

1) วิธีการและเวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด

การสอบเทียบเครื่องมือวัดถือเป็นการดำเนินการที่มีความสำคัญมากต่อการพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนด้านความถูกต้องในระบบการวัด โดยปกติจะต้องมีการสอบเทียบก่อนการศึกษารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ และไม่ควรมีการสอบเทียบใหม่ถ้าหากการศึกษายังไม่สิ้นสุดลง เพราะถ้ามีการสอบเทียบใหม่ในระหว่างการศึกษาแล้ว จะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมอยู่กับค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัดด้วย จึงต้องพยายามลดค่าความผันแปรโดยพยายามให้พนักงานวัดทุกคนมีความเข้าใจในกระบวนวิธีการสอบเทียบและดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ

2) จำนวนพนักงานวัดที่ใช้สำหรับการศึกษา GR&R

3) ในการกำหนดจำนวนพนักงานวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานั้น มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาก่อนว่าในระบบการผลิตมีพนักงานวัดจำนวนเท่าใด ถ้าหากเครื่องมือวัดดังกล่าวไม่ใช้พนักงานในการดำเนินการวัดเลย หรือมีการใช้พนักงานวัดเพียงคนเดียว แสดงว่าค่าความผันแปรในระบบการวัดไม่ได้มีผลจากสาเหตุด้านพนักงานวัด ในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานวัดจำนวนหลายคน ให้ทำการสุ่มพนักงานวัดมาทำการศึกษาอย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานวัดทุกคนจะต้องเป็นพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษาจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้วัดในการศึกษา GR&R จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษา โดยปกติจะใช้ 10 สิ่งตัวอย่าง ถ้าไม่สามารถดำเนินการได้ จะต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง x จำนวนของพนักงานวัด)มากกว่า 15 และถ้าไม่สามารถ

ดำเนินการตามกรณีนี้ ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่าง และสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงาน จะต้องทำให้ข้อมูลมีความแตกต่างกันไม่ต่ำกว่า 5 ประเภท

4) จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้นโดยปกติแล้วแนะนำให้ทำการวัดซ้ำที่แต่ละสิ่งตัวอย่างด้วยจำนวนซ้ำเท่าๆ กัน ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดให้มีการวัดซ้ำสำหรับพนักงานวัดแต่ละคนจำนวน 2-3 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชิ้น

5) วิธีการลดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างของการศึกษา GR&Rในการศึกษา GR&R บางกรณีนั้น จะไม่สามารถกำจัดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกจากการวัดซ้ำ ซึ่งทำให้ไม่สามารถเฉลี่ยออกความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกไปได้ในกรณีนี้ถ้ามีความจำเป็นต้องประมาณการค่ารีพีททะบิลิตี้ให้มีความถูกต้องที่สุด ก็จำเป็นต้องทำการทดลองขึ้นมาเพื่อชี้บ่งถึงปริมาณความผันแปรดังกล่าว

6) วิธีการวิเคราะห์ผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้เมื่อการทดลองสิ้นสุดลงต้องมีวิเคราะห์ผลคุณภาพของข้อมูล คือ การวิเคราะห์ผลความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัด ความเสถียร และความสม่ำเสมอของระบบการวัด จากนั้นจึงทำการประเมินผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ ซึ่งมีทั้งหมด 3 วิธี คือ

วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method) ซึ่งเหมาะกับกรณีการทดลองในช่วงสั้นๆ และไม่มีการวัดซ้ำ ข้อดีของวิธีการนี้คือ วิเคราะห์ผลได้ง่าย แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือ ไม่สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้

วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method) ซึ่งเหมาะสมกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้ แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้

วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มาจากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงานและชิ้นงานเป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้ แต่อย่างไรก็ดีวิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่ความยุ่งยากในการคำนวณ จึงต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Minitab) ช่วยในการคำนวณ

การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) สำหรับข้อมูลนับ (Attribute)

การประเมินผลและวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบเมื่อข้อมูลเป็นข้อมูลนับ เป็นการประเมินผลในลักษณะเชิงคุณภาพคือ เป็นเรื่องของรสชาติ ความสวยงาม ความเรียบร้อย ฯลฯ หรือบางครั้งพารามิเตอร์อาจเป็นลักษณะเชิงผันแปร แต่ทำการนับเนื่องจากเป็นการเอาไปเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ หรือ Go/No Go Gauge ดังนั้นในการศึกษากระบวนการวัดแบบอาศัยข้อมูลนับ จะเป็นการประเมินโดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบของข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นที่ยอมรับหรือปฏิเสธ และผ่านหรือไม่ผ่าน จึงไม่สามารถประเมินผลได้ว่าคุณภาพของงานที่ตรวจสอบนั้นดีหรือไม่ดีอย่างไร

การศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดเมื่อเป็นข้อมูลนับสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือวิธีการประเมินผลระยะสั้น (Gauge Performance Curve; GPC) ที่แสดงถึงโอกาสในการตรวจสอบแล้ววัดคุณภาพของสิ่งตัวอย่างงานกับข้อกำหนดในรูปของค่าอ้างอิงเพื่อพิจารณาค่าไบอัสและค่ารีพีททะบิลิตี โดยอาศัยตัวสถิติสำหรับทดสอบ t โดย

$$t = \frac{31.3 \times |\text{ค่าไบอัส}|}{\text{ค่ารีพีททะบิลิตี}} \qquad (2.3)$$

ค่ารีพีททะบิลิตีจะพิจารณาได้จากค่าความแตกต่างของค่าวัดค่าอ้างอิงที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้ว “ยอมรับ” (Pa) 0.995 กับค่าวัดอ้างอิงที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้ว “ยอมรับ” (Pa) 0.005 แล้วหารด้วยตัวประกอบเพื่อการปรับค่า 1.08 (AIAG, 2002)

สำหรับการประเมินผลการตรวจสอบระยะสั้นมีกระบวนการประเมินผลดังนี้

1) เลือกผู้ชำนาญการซึ่งเป็นบุคคลที่มีความสามารถพิเศษในการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือเสีย และลูกค้าให้การยอมรับในผลการตรวจสอบดังกล่าว

2) กำหนดล็อตมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบ เพื่อประเมินความสามารถของระบบการวัด โดยล็อตดังกล่าวควรประกอบด้วยสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดี สิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพไม่ดี และสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพก้ำกึ่งอย่างละ 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด โดยงานก้ำกึ่งควรประกอบด้วยงานดีก้ำกึ่งและงานไม่ดีก้ำกึ่งอย่างละครึ่ง (Fasser and Brettner, 1992)

3) เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบ 2-4 คนโดยพนักงานที่เลือกมาต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพและได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดี รวมทั้งผ่านการประเมินผลแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบที่อาศัยความรู้สึก

4) กำหนดจำนวนชิ้นงานตัวอย่าง และจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำโดยจำนวนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงานทดสอบดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 2.2 ขนาดสิ่งตัวอย่างในการประเมินผลระบบการตรวจสอบข้อมูลนับ (Fasser and Brettner, 1992)

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำสุด	จำนวนทดสอบซ้ำที่ต่ำสุด
1	24	5
2	18	4
≥3	12	3

5) สุ่มพนักงานตรวจสอบขึ้นมาหนึ่งคนแล้วตรวจสอบตัวอย่างแบบสุ่มเพื่อประเมินผลคุณภาพของสิ่งตัวอย่างว่าผ่าน (Good-G) หรือ ไม่ผ่าน (No Good-NG) และทำเช่นนี้จนครบจำนวนพนักงานที่จะทำการทดสอบ

6) ประเมินผลด้วยดัชนีต่าง ๆ ดังนี้

$$\%\ \text{รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2.4)$$

$$\%\ \text{ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2.5)$$

$$\%\ \text{ด้านประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบทุกคนเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2.6)$$

$$\%\ \text{ด้านประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2.7)$$

7) หากค่าเปอร์เซ็นต์รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วให้ทำการอบรมพนักงานใหม่รวมทั้งประเมินผลของพนักงานใหม่เพื่อปรับปรุงค่ารีพีททะบิลิตี้ให้ดีขึ้น แต่หากเปอร์เซ็นต์ความไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (% Attribute Score) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วจะต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือต้องกำหนดให้ชิ้นงานได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการเฉพาะเท่านั้น สำหรับเปอร์เซนต์ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ (% Attribute Effective Score) ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดแล้วมีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้น เพื่อปรับปรุงให้ได้ค่าที่ดีขึ้น

2.2.5 **การวัดความสามารถของกระบวนการ** (Process Capability)

ความหมายของการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Study) นั้น กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ(2549) ได้ให้ความหมายไว้ว่าคือ การกำหนดตัวพาราเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากระบวนการแล้วทำการวัดเพื่อการรวบรวมข้อมูลที่แสดงถึงพารามิเตอร์ดังกล่าว และถ้าข้อมูลอยู่ในสภาวะภายใต้การควบคุมก็จะทำการอนุมานทางสถิติสำหรับกระบวนการที่ศึกษาต่อไป

ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) หมายถึง การประเมินความผันแปรของกระบวนการ (อาจออยู่ในรูปของฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นที่ระบุทั้งรูปทรง ค่ากลาง และปริมาณของการกระจายของการแจกแจง) และวิเคราะห์ความผันแปรนี้กับข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพิจารณาถึงแหล่งความผันแปรต่าง ๆ เพื่อหาทางลดความผันแปรที่ศึกษาต่อไป

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1) การทวนสอบของกำหนดเฉพาะ (Specification) ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากการทวนสอบแบบ (design output) ของผลิตภัณฑ์และทบทวนข้อตกลงกับลูกค้าว่ายอมรับข้อกำหนดเฉพาะดังกล่าวหรือไม่

2) การชักสิ่งตัวอย่างจากกระบวนการ ทั้งแบบระยะสั้นและระยะยาว

3) การทวนสอบสภาวะเสถียรของกระบวนการโดยอาศัยแผนภูมิควบคุมเพื่อพิจารณาว่าข้อมูลที่ได้จากสิ่งตัวอย่างอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติสำหรับกำหนดคุณสมบัติในด้านความสามารถคาดการณ์ได้หรือไม่

4) การประเมินค่ามาตรฐานข้อกำหนด (Z-Score)

5) การประเมินค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ พร้อมการวิเคราะห์สาเหตุของความผันแปรเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

<u>แผนภูมิควบคุมของกระบวนการที่มีข้อมูลแบบนับ</u> (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2547)

ข้อมูลแบบนับเป็นข้อมูลที่ไม่มีคุณสมบัติอธิบายความผันแปรจึงมีความจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลนับให้อยู่ในรูปของจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยเพื่อการเปรียบเทียบให้อยู่ในรูปของสเกลของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Z) สำหรับการแปลงให้เป็นดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ

ในการกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการที่กรณีในการกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการในกรณีข้อมูลแบบนี้ จะขึ้นอยู่กับเกณฑ์การตัดสินใจของผู้วิเคราะห์เป็นสำคัญ เช่น ถ้าหากต้องการประเมินถึงความสามารถของกระบวนการในรูปแบบของจำนวน

ข้อบกพร่องเฉลี่ยที่เกิดขึ้นแล้ว ก็สามารถใช้ค่าจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ ($\bar{u}$) เป็นตัววัดความสามารถของกระบวนการได้ แต่ถ้าหากต้องการประเมินในรูปดัชนีความสามารถของกระบวนการเพื่อการเปรียบเทียบผลการปรับปรุงกระบวนการก็สามารถแสดงในรูปของดัชนี Pp, Ppk ดังนั้นในการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบนับจะต้องเริ่มต้นจากการหาค่า $\bar{u}$ ก่อนเสมอโดย

$$\bar{u} = \frac{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยรวม } \sum C}{\text{จำนวนการตรวจสอบโดยรวม } \sum N} \qquad (2.8)$$

ดังนั้นในการประเมินค่า $\bar{u}$ จะต้องประเมินจากข้อมูลโดยรวม โดยค่าขอบเขตบน (UCL) และค่าขอบเขตล่าง (LCL) รวมถึงค่ากลางของแผนภูมิควบคุม(CL) ซึ่งเราใช้ในการควบคุมกระบวนการและวัดความสามารถของกระบวนการ คือ

$$CL = \bar{u} \qquad (2.9)$$

$$UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{N}} \qquad (2.10)$$

และ $$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{N}} \qquad (2.11)$$

2.2.6 **การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA : Failure Mode and Effect Analysis)** (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551)

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต เป็นการศึกษาความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นเพื่อจะระบุผล

จุดประสงค์ของ FMEA คือ เพื่อกำหนดแง่มุมของการออกแบบผลิตภัณฑ์ การผลิตหรือการปฏิบัติงาน ซึ่งมีความวิกฤตต่อความล้มเหลวในรูปแบบต่างๆ เพื่อที่จะลดความล้มเหลวนั้น

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมตัวหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษา วิเคราะห์ถึงข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้ว เพื่อ

1) ระบุถึงผลกระทบ และความรุนแรงของข้อบกพร่องเหล่านั้น จะนำไปสู่การบ่งชี้และสาเหตุของข้อบกพร่องเหล่านั้น รวมถึงการพิจารณาอัตราการเกิดขึ้นของสาเหตุนั้นๆ

2) ตรวจสอบการควบคุมในปัจจุบันว่า มีการควบคุมหรือป้องกันไม่ให้สาเหตุที่ถูกระบุมานั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร มีประสิทธิภาพในการควบคุม ตรวจสอบและป้องกันได้ดีเพียงไร

3) จัดลำดับความสำคัญและเร่งด่วนในการแก้ปัญหา

4) ทำการแก้ปัญหา (Corrective Action) สำหรับปัญหาและสาเหตุที่วิกฤต

5) รวบรวมแนวทางในการแก้ปัญหาโดยจัดเก็บเป็นลักษณะเอกสาร เพื่อให้สามารถนำมาศึกษาถึงแนวทางการปฏิบัติที่ผ่านมา จุดประสงค์หลักของ FMEA คือ การลดข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นในการผลิตหรือการปฏิบัติงาน ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ประสบการณ์ความสามารถและความเชี่ยวชาญจากแผนกต่างๆ เพื่อที่จะได้มาประชุมร่วมกันเพื่อระบุถึง

- ข้อบกพร่อง
- ผลกระทบและความรุนแรง
- สาเหตุและอัตราการเกิด
- วิธีการควบคุมและประสิทธิภาพในการควบคุม
- แนวทางแก้ไข

FMEA มีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น

1) Design FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล้มเหลวนั้นในการใช้งานผลิตภัณฑ์ โดยผู้ออกแบบ (Design) จะต้องคำนึงว่าในการใช้งานจริงนั้น จะเกิดความล้มเหลว (Failure) แบบใดขึ้นบ้าง และจะส่งผลกระทบไปยังชิ้นส่วนอื่นๆ อย่างไร

2) Process FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการการผลิต หรือกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ FMEA

1) ระบุผลิตภัณฑ์หรือองค์ประกอบของระบบหรือส่วนของกระบวนการ

2) ทำรายการ Mode ของความล้มเหลวแต่ละส่วนนั้น

3) กำหนดผลที่แต่ละ Mode ของความล้มเหลวจะมีต่อส่วนต่างๆ ในข้อ 1.

4) ทำรายการสาเหตุที่เป็นไปได้ของแต่ละ Mode ของความล้มเหลว

5) ให้ประเมิน Mode ของความล้มเหลวนั้นเป็นตัวเลข มีสเกล 1-10 อาจจะใช้ประสบการณ์หรือข้อมูลความเชื่อถืออื่นใด ร่วมกับวิจารณญาณเพื่อกำหนดค่าดังกล่าวให้กับ

O : โอกาสในการเกิดความล้มเหลว (1=low, 10=high)

S : ความร้ายแรงหรือความวิกฤตของความล้มเหลวนั้น (1=low, 10=high)

D : ความยากในการค้นพบความเสียหายก่อนที่จะส่งถึงมือลูกค้า (1= ง่าย, 10 = ยาก)

6) คำนวณผลคูณของ O X S X D ซึ่งเรียกค่านี้ว่า RPN (Risk Priority Number) ทำให้การคำนวณทุก Mode ของความล้มเหลว ค่า RPN แสดงถึงความเร่งด่วนเมื่อเทียบกับ

Mode อื่นๆ

7) ให้ระบุวิธีการดำเนินการแก้ไข

2.2.7 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (DOE : Design of Experiment) (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

การออกแบบการทดลอง หมายถึง การออกแบบทดลองเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยหรือตัวแปรใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา โดยมีจุดมุ่งหมายดังนี้

1) เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

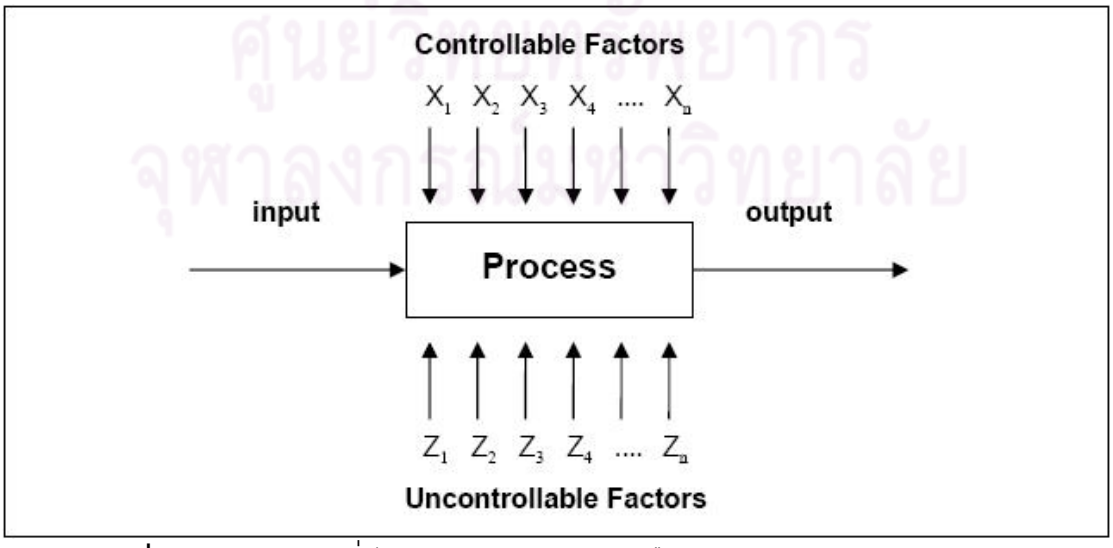
2) เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

ส่วนประกอบของการทดลอง

1) ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่ปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2) หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นมาตราหรือหน่วยใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ ซึ่งโดยคำจำกัดความ หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของการทดลอง ซึ่งได้รับจากทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจผันแปรไปได้จากการทดลองหนึ่งไปสู่อีกการทดลองหนึ่ง แม้ว่าจะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน

3) ปัจจัย (Factor) ได้แก่ กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน (A Particular Class of Related Treatment) อาจใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและปริมาณ



รูปที่ 2.5 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

จากรูปที่ 2.5 ปัจจัยสามารถแบ่งออกเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลองปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้ เนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุน ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมแบ่งออกเป็น

1) ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) หรือ Background Variableหรือตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลอง แต่ไม่ใช่ปัจจัยที่กำลังทำการศึกษา ส่วนใหญ่มักได้แก่ เวลา หรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น

2) Nuisance Variable คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่ไม่ทราบมาก่อน สามารถกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม

3). ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง เรียกอีกอย่างว่า ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ ในการทดลองหนึ่งๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้ การเลือกตัวแปรตามที่ดีควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงของตัวแปรและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาค่าสังเกตที่ได้รับจากทรีทเมนต์หนึ่งๆ ควรมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งสมมติฐานความเป็นปกติ (Normality) นี้เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเป็นแบบปกติ

วัตถุประสงค์ของการทดลองอาจเกี่ยวข้องกับประเด็นต่างๆ ดังนี้

1) หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ y (Response)

2) หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าตอบ y เพื่อทำให้ y อยู่ที่ค่าที่ต้องการ

3) หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าตอบ y เพื่อทำให้ y มีค่าน้อย

4) หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าตอบ y เพื่อทำให้ผลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ Z1, Z2,...,Zn มีค่าน้อยที่สุด

หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองมีดังนี้

1) เรพลิเคชัน (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ เรพลิเคชันมีคุณสมบัติ 2 ประการคือ ประการแรกทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติ

หรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบ

2) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลหรือความผิดพลาดจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3) บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision)ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ

แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะต้องเข้าใจอย่างถ่องแท้ว่า กำลังศึกษาอะไร จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้อย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการมีดังนี้

1) การนิยามปัญหา (Recognition of and statement of the problem) เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้ผู้ทดลองต้องทำความเข้าใจต่อสภาพปัญหาที่จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการวางแผนและดำเนินการทดลองต่อไป

2) การเลือกปัจจัย และระดับของปัจจัย (Choice of factors and levels) เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์จากงานวิจัยต่างๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร สุดท้ายคือ ระบุว่าเป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed Effect) แบบสุ่ม (Random Effect) หรือแบบผสม (Mixed Effect) ซึ่งสามารถอธิบายได้พอสังเขปดังนี้

- แบบกำหนดตายตัว (Fixed Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน
- แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน
- แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึง การผสมระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดตายตัวและแบบสุ่ม

3) การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Choice of response variable)การเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองต้องแน่ใจว่าตัวแปรตอบสนองนี้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ซึ่งมักจะเป็นค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

องกระบวนการ และเป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจมีตัวแปรตอบสนองหลายตัว จึงจำเป็นต้องกำหนดว่า อะไรบ้างคือตัวแปรตอบสนองและสามารถวัดค่าดังกล่าวได้อย่างไร ก่อนเริ่มดำเนินการทดลองควรมีการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าตัวแปรตอบสนองนั้น เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบการวัดดังกล่าวสามารถใช้กับการทดลองได้

4) การเลือกการออกแบบการทดลอง (Choice of experiment design) การเลือกการออกแบบเกี่ยวกับการทดลองขนาดของสิ่งตัวอย่าง (Replications) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล การเลือกใช้หลักการพื้นฐานใดบ้างในการออกแบบ ซึ่งในการเลือกการออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองตลอดเวลา

5) การดำเนินการทดลอง (Performing for experiment) การดำเนินการทดลองเป็นการทำตามแผนการทดลองที่ออกแบบไว้ ซึ่งจำเป็นต้องติดตามกระบวนการดำเนินการอย่างระมัดระวัง เนื่องจากหากมีสิ่งผิดพลาดเกิดขึ้นจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

6) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical analysis of data) ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำวิธีการทางสถิติมาใช้ เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ควรใช้ความรู้ทางวิศวกรรมหรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีเหตุผลและมีความน่าเชื่อถือ

7) การทดสอบเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing)เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ผู้ทดลองต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติของกระบวนการที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้ควรนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วยในการนำเสนอข้อมูล นอกจากนี้ควรทำการทดลองเพื่อยืนยัน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปอีกครั้ง

การเลือกรูปแบบการทดลอง

1) การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) เป็นแผนการทดลองแบบง่ายที่สุด เหมาะสมกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดว่าเนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่น จึงเรียกข้อมูลนี้ว่าข้อมูลแบบแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification)

ตามแผนการทดลองแสดงว่า เมื่อหน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้ว ความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากแต่ละหน่วยทดลองจะต้องเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้แผนการทดลองมีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองที่นำมาใช้ควร

มีลักษณะที่สม่ำเสมอหรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างหน่วยทดลองที่น้อยที่สุด หลักสำคัญของแผนการทดลองนี้คือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองหรือจัดหน่วยทดลองให้กับทรีทเมนต์จะต้องเป็นไปโดยสุ่ม ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

โครงสร้างข้อมูล

สมมติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์ (หรือ a ระดับ)

n คือ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีทเมนต์

Yij คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

Treatment	1	2	...	i	...	a	
	Y11	Y21		Yi1		Ya1	
	Y12	Y22		Yi2		Ya2	
	Y13	Y23		Yi3 Y		a3	
	.	.		.		.	
	.	.		.		.	
	Y1n	Y2n		Yin		Yan	
Totals	Y1	Y2		Yi		Ya	y..= Grand Total
Sample means	Y1	Y2		Yi		Ya	y..= Grand Mean

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i = 1,2,...,a \qquad (2.12)$$

$j = 1,2,...,n$ มนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

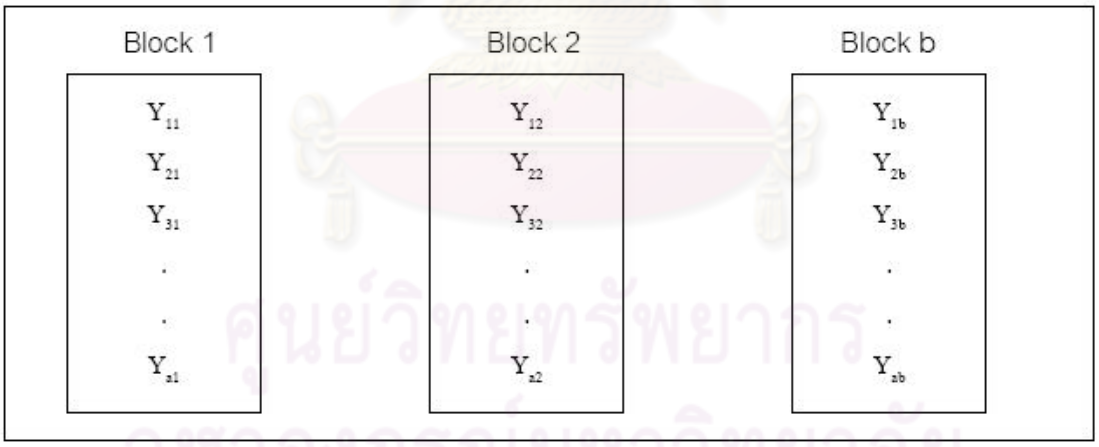
2. การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB)

ในบางการทดลองอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับหน่วยการทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความ

ผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปรส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ผลรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่น ที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม เป็นวิธีหนึ่งในหลายๆ วิธีของการจำแนกแบบสองทาง (Two-Way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะคือ ทางแนวนอน (Row) และทางแนวตั้ง (Column) มีหลักการคือ พยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะเรียกว่า บล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำ และให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกกระทำโดยสุ่ม กรณีนี้จะทำให้แยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกของกำลังสองได้

โครงสร้างข้อมูล สมมติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์ และ b บล็อก ตามแผนภาพจะเห็นว่ามีค่าสังเกต 1 ค่าต่อ 1 ทรีทเมนต์ในแต่ละบล็อก



รูปที่ 2.6 การออกแบบบล็อกแบบสุ่มบริบูรณ์ (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i = 1,2,...,a \quad j = 1,2,...,b \qquad (2.13)$$

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลการเกิดจากบล็อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

3. การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล เป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในกรณีที่มีปัจจัย ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุกๆ Treatment Combination ของปัจจัยทุกตัวที่ศึกษาจะถูกพิจารณาไปพร้อมๆ กัน

ผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) ในการทดลองที่มีผลแตกต่างของผลตอบที่เกิดขึ้นบนระดับต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่นๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายถึง ผลตอบของปัจจัยหนึ่งขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่นๆ นั่นเอง เรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมี อันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยค่าที่จุดต่างๆ คือตัวแปรตอบสนอง เมื่อมีปัจจัย 2 ตัวคือ A และ B โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับคือ – หรือ Low และ + หรือ High ประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล คือ มีจำนวนการทดลองน้อยกว่าการทดลองแบบอื่น และยังให้ผลที่เกี่ยวข้อง (Interaction Effect) ซึ่งมีความสำคัญมาก และไม่สามารถหาค่าได้จากการทดลองแบบเปรียบเทียบอย่างง่ายและการทดลองทีละปัจจัย (One factor at a time) ทั้งนี้ถ้าหากมีการละเลยผลของ Interaction อาจทำให้ข้อสรุปผิดพลาด

4. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2k (2k Factorial Design)

การออกแบบแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญที่สุดคือ กรณีที่มีปัจจัย K ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดันหรือเวลาเป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพก็ได้ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้นและ 2 ระดับจะแทนด้วยระดับสูง หรือต่ำ ของปัจจัยหนึ่งๆ หรือการมี หรือไม่มี ของปัจจัยนั้นๆ ก็ได้

ใน 1 เรพลิเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบ ประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2 \times 2 \times 2 \times \ldots \times 2 = 2^k$ ข้อมูล เรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2k

โดยกำหนด

- ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว
- การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomized)
- สมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติเป็นที่ยอมรับได้

2.2.8 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

จากสมการ $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ (2.14)

โดยที่ μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ y ตัวแปรมีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น y จะมีการกระจายแบบนี้ได้ต้องให้ $\boldsymbol{\varepsilon}$ มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\boldsymbol{\varepsilon}_{ij} \sim NID(0,\boldsymbol{\sigma}^2)$

การตรวจสอบ $\boldsymbol{\varepsilon}_{ij}$ มี 3 ขั้นตอน คือ

- การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยการใช้วิธีการดังนี้

  - การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (*x2* – Goodness of Fit Test)

  - การทดสอบแบบโคโกโมรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolgomorov-Smirnov Test)

  - การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (Normality Probability Plot: NOPP)

- การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่

- การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

2. การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ เป็นถ้อยแถลงที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นของตัวแปรแบบสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งค่าพารามิเตอร์ สมมติฐานแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

สมมติฐานที่กำหนด (Null Hypothesis) เป็นข้อสงสัยหรือข้อสมมติ

เกี่ยวกับลักษณะต่างๆ ในประชากรที่ต้องการพิสูจน์ว่าจริงหรือไม่ โดยใช้สัญลักษณ์ H_0

สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) เป็นข้อความหรือความคิดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่หวังว่าจะเป็น โดยจะต้องมีความหมายที่แย้งกับสมมติฐานที่กำหนด โดยใช้สัญลักษณ์ H_1 โดยโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด (Reject H_0) จะถูกกำหนดโดยระดับนัยสำคัญ ซึ่งเป็นโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่น้อยมากที่ค่าพารามิเตอร์จะตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานเป็นจริง โดยทั่วไปมักจะทำการเปลี่ยนช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหรือระดับความมีนัยสำคัญเป็นค่าวิกฤติ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนดการตัดสินใจที่ยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนดอาจเกิดความผิดพลาดได้ 2 กรณี คือ

กรณี 1 ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้องหรือมีความเป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) ซึ่งความผิดพลาดนี้คือ ระดับความมีนัยสำคัญในการตรวจสอบสมมติฐาน

กรณี 2 ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545)

สมมติฐานที่กำหนด	สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้อง	สมมติฐานที่กำหนดไม่มีความถูกต้อง
ยอมรับ	การตัดสินใจที่ถูกต้อง	ความผิดพลาดแบบที่ 2
ปฏิเสธ	ความผิดพลาดแบบที่ 1	การตัดสินใจที่ถูกต้อง

โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถแสดงได้ดังนี้

α = P (ความผิดพลาดแบบที่ 1)

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

β = P (ความผิดพลาดแบบที่ 2)

= P (การยอมรับสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดไม่ถูกต้อง)

โดยที่ $1-\beta$ = อำนาจของการทดสอบ

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

ภายหลังจากที่ได้ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองแล้ว ขั้นต่อไปก็คือ การนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ หรือหาแนวโน้มต่อไปโดยใช้หลักการของ ANOVA หรือ การถดถอย (Regression)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิต โดยการแยกผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Square: SST) ออกเป็นส่วนต่างๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุ โดยจะวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลองโดยพิจารณาความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวนแล้วแตกออกมาเป็นความแตกต่างย่อย ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่า แสดงว่าปัจจัยนั้นทำให้เกิดความแตกต่าง โดยมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square; MS) ซึ่งเป็นตัวที่ประมาณค่าความแปรปรวนที่ดีที่สุด

$$MS = \frac{ss}{df} \qquad (2.15)$$

เมื่อ ss คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

df คือ องศาของความอิสระ (Degree of Freedom)

สามารถอธิบายการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละแบบการทดสอบได้ดังนี้

- การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design:CRD)

สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

ตัวแบบ $y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$; i = 1,2,...,a (2.16)

j = 1,2,...,n

โดยที่ y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรให้ทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SS_T โดยที่

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij}^2\right] - \left(y_{..}^2 / N\right) \quad (2.17)$$

$$SS_{Tr} = \left[\sum_{i=1}^{a} y_i^2 / n\right] - \left(y_{..}^2 / N\right) \quad (2.18)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} \quad (2.19)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha, y1, y2}$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ One-Way-ANOVA (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
Treatment	SS_{Tr}	$a-1$	MS_{Tr}	MS_{Tr} / MS_E
Error	SS_E	$N-a$	MS_E	
Total	SS_T	$N-1$		

2. การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCB)

แยกความแปรปรวนออกเป็น 3 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน ความแปรปรวนเนื่องจากการบล็อก และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อน ของการทดลองการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

ตัวแบบ $y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$; i = 1,2,...,i (2.20)
j = 1,2,...,n

โดยที่ y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i
μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร
τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i
β_j คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่ j
ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SS_T โดยที่

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij}^2\right] - \left(y_{..}^2 / N\right) \quad (2.21)$$

$$SS_{Tr} = \left[\sum_{i=1}^{a} y_i^2 / n\right] - \left(y_{..}^2 / N\right) \quad (2.22)$$

$$SS_B = \left[\sum_{j=1}^{b} y_j^2 / a\right] - \left(y_{..}^2 / N\right) \quad (2.23)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} - SS_B \quad (2.24)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha, y1, y2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
Treatment	SS_{Tr}	$a-1$	MS_{Tr}	MS_{Tr} / MS_E
Block	SS_B	$b-1$	MS_B	MS_B / MS_E
Error	SS_E	$(a-1)(b-1)$	MS_E	
Total	SS_T	$N-1$		

3. การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีตัวแปร 2 ตัว ของตัวแปรแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Mode)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวแบบ $y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$; i = 1,2,...,a (2.25)

j = 1,2,...,b

k = 1,2,...,n

โดยที่ y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j ในทรีทเมนต์ที่ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i และปัจจัย B ทีเกิดจาก ทรีทเมนต์ที่ j

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2.26)$$

$$SS_A = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_i^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2.27)$$

$$SS_B = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b} y_j^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2.28)$$

$$SS_{subtotals} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2.29)$$

$$SS_{AB} = SS_{subtotals} - SS_A - SS_B \quad (2.30)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B \quad (2.31)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

โดยที่ถ้าหาก $F_0 \leq F_{\alpha, y1, y2}$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesisได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two-Fixed Effect Model (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
A	SS_A	$a-1$	MS_A	MS_A / MS_E
B	SS_B	$b-1$	MS_B	MS_B / MS_E
AB	SS_{AB}	$(a-1)(b-1)$	MS_{AB}	MS_{AB} / MS_E
Error	SS_E	$ab(n-1)$	MS_E	
Total	SS_T	$abn-1$		

2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสี

สี หรือ Painting คือ กระบวนการที่ของเหลวเปลี่ยนสภาพกลายเป็นฟิล์มบางเมื่อแห้งตัวจะมีลักษณะแข็งเกาะอยู่บนผิวของชิ้นงาน ซึ่งเกิดจากการนำเอาส่วนผสมต่าง ๆ ที่บดจนละเอียดผสมกลมกลืนจนเป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะเป็นของเหลวแล้วนำไปเคลือบบนผิววัสดุ

2.3.1 คุณสมบัติของสี

ในอุตสาหกรรมรถยนต์สีถูกใช้ในการเคลือบผิวของเหล็กที่ขึ้นรูปมา เพื่อช่วยในการป้องกันการกัดกร่อนต่าง ๆ ที่จะทำให้เกิดการผุพังและเป็นสนิม นอกจากนั้นยังใช้ในการให้สีสันกับตัวรถยนต์ ซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

1) Protection รถยนต์ เรือ สะพานและอื่น ๆ ซึ่งทำมาจากเหล็ก มีโอกาสเกิดสนิมได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศและเมื่อเกิดสนิมบนเนื้อเหล็กก็จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและความแข็งแรงลดลง ซึ่งจะทำให้เกิดการชำรุดเสียได้ ดังนั้นการพ่นสีจึงมีคุณสมบัติในการป้องกันอากาศไปสัมผัสกับชิ้นงาน อันจะทำให้เกิดสนิมได้

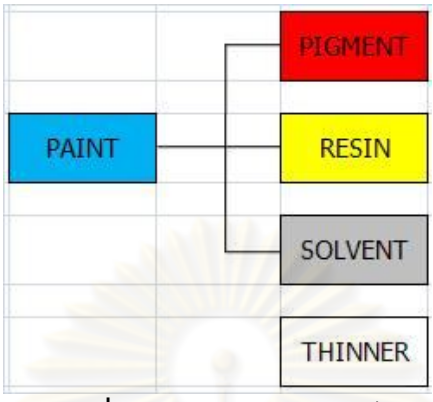
2) Cosmetic Improvement สีจะช่วยเพิ่มความเงางามและความสวยงามให้กับผิวของชิ้นงานซึ่งจะทำให้ชิ้นงานนั้นดูมีค่า และมีราคา

3) Identification by Painting สีไม่ใช่แค่ปกป้องผิวและช่วยเพิ่มความสวยงามของชิ้นงานเท่านั้น แต่ยังช่วยจัดกลุ่มและประเภทของชิ้นงานหรือหน่วยงานต่าง ๆ เช่น รถดับเพลิงจะจัดกลุ่มรถให้มีสีแดง พนักงานดับเพลิงก็จะใส่ชุดสีเหลือง ซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างจากสิ่งรอบด้านในขณะปฏิบัติงาน

2.3.2 องค์ประกอบของสี

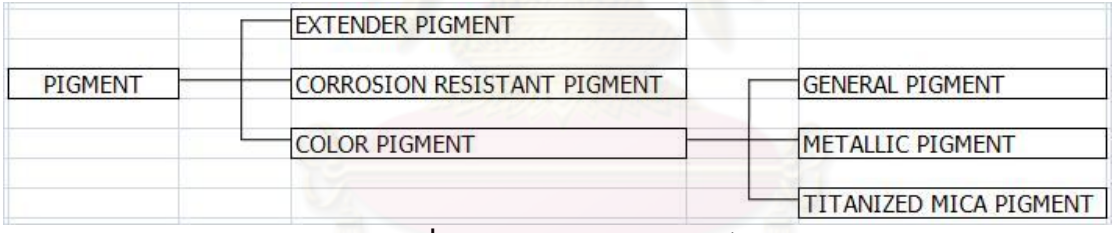
สีเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูง ประกอบด้วย Pigment, Resin และ

Solvent ที่รวมตัวกันอยู่และจะมีทินเนอร์ช่วยในการลดความหนืดของสีลงเมื่อนำไปใช้งาน ส่วนผสมของทินเนอร์จะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่จะนำสีไปใช้งาน



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบของสี

1) Pigment คือผงสีมีลักษณะเป็นแป้งที่ไม่รวมตัวกับน้ำ น้ำมัน และตัวทำละลาย เมื่อนำไปใช้งานก็จะนำไปบดให้ละเอียดจนเป็นอนุภาคเล็ก ๆ แล้วผสมกับเรซิ่น และส่วนผสมอื่น ๆ ก็จะอยู่ในรูปสารแขวนลอย ซึ่งสามารถแยกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 องค์ประกอบของผงสี

- Extender Pigment ใช้ในสีรองพื้น เพื่อลดรอยขีดข่วนบนผิวชิ้นงาน
- Corrosion Resistant Pigment ใช้ในสีรองพื้น เพื่อลดการผุกร่อนของชิ้นงาน
- Color Pigment ใช้เป็นสีภายนอกเพื่อช่วยให้ความสวยงาม สามารถแบ่งได้เป็น
  - General Pigment เป็นสีที่ใช้ทั่วไป เพื่อแสดงออกมาเป็นสีสัน เช่น สีแดง สีน้ำเงิน สีเหลือง สีขาว สีดำ
  - Metallic Pigment เป็นส่วนผสมที่ประกอบไปด้วยเม็ดอลูมิเนียม เพื่อเพิ่มความสว่างและเงางาม
  - Titanized Mica Pigment จะประกอบไปด้วยเกล็ดของ Mica

coat และ Titanium Oxide ซึ่งจะให้ความเงางามแก่สี

2) Resin คือของเหลวที่มีลักษณะโปร่งใสและจะจับตัวเป็นของแข็งเมื่อแห้งตัว อดีตมักจะใช้สิ่งนำสี (Vehicle) ที่สกัดได้จากธรรมชาติ เช่น Drying oil แต่ปัจจุบันได้เปลี่ยนมาใช้พวกเรซิ่นแทน

คุณสมบัติของเรซิ่นจะมีผลกับความละเอียด ความเงางามและความแข็งแรงในการต้านการขีดข่วนและการกัดกร่อนของผิวสี เรซิ่นมี 2 ชนิดดังนี้

- Natural Resin สกัดได้จากต้นไม้ใช้ทำแล็คเกอร์และสารให้ความเงาอื่นๆ แต่ในอุตสาหกรรมจะไม่นิยมใช้เพราะว่าต้องใช้เรซิ่นธรรมชาติในปริมาณที่มาก
- Synthetic Resin ได้จากการทำปฏิกิริยาทางเคมีของสารเคมีหลายชนิด และการทำสีชนิดใหม่ ๆ ก็พัฒนามาจากเรซิ่นชนิดนี้

3) Solvent และ Thinner เป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายและประสานระหว่างสาร 2 ชนิดให้เข้ากัน คือ Solvent หรือตัวทำละลายใช้เพื่อให้ผงสี ผสมสีกับเรซิ่นได้ง่ายขึ้น ทินเนอร์จะเป็นตัวทำละลายใช้เจือจางสี เพื่อปรับระดับความหนืดสี ตัวทำละลายและทินเนอร์นี้จะระเหยออกไปเมื่อสีแห้งตัวและจะไม่หลงเหลืออยู่ในสีอีก

2.3.3 ตัวอย่างปัญหาสีที่เกิดขึ้น

1) เม็ดผง

เป็นปัญหาจากการมีฝุ่นละอองสกปรกลอยมาติดบนผิวสีก่อนที่จะถูกอบสี ซึ่งเกิดได้ทั้งในห้องสีและเตาอบสี

2) เส้นใย

เป็นปัญหาที่เกิดจากทั้งการทีเส้นใยจากเสื้อผ้า และจากสีที่รวมตัวกันเป็นก้อน ลักษณะเป็นเส้นยาว ตกลงมาเกาะบนผิวสี

3) สีเป็นหลุม

ผิวสีเป็นรอยยุบในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งเรียกกันว่า “หลุม” โดยลักษณะของปัญหาคือเกิดการยุบตัวของสีบริเวณด้านบนของผิวสี สามารถสังเกตเห็นได้ โดยทั่วไปสาเหตุของการเกิดปัญหาหลุมมาจากการที่มีสิ่งแปลกปลอม

4) สีไหล

เกิดจากสีที่พ่นแล้วไม่เสมอ หนาเกินไปทำให้สีรวมตัวกันแล้วไหลไปตามแรงโน้มถ่วงของโลก โดยจะสังเกตเห็นเป็นตุ่มหรือเม็ดขนาดใหญ่ มักจะพบปัญหานี้บริเวณตามขอบตามมุมต่าง ๆ ของตัวรถ หรือตามชายล่างของฝาท้าย

5) สีเป็นคราบ

ผิวสีหลังออกมาจากเตาอบสีแล้วมีลักษณะเป็นคราบผิวไม่เรียบ หรือดูเหมือนมีลักษณะเป็นความมันและมีสิ่งสกปรกอยู่ใต้ผิวสี

6) รอยขีดข่วนและลายเส้นกระดาษทรายขัด

เกิดจากความผิดพลาดของพนักงานขณะทำการผลิตหรือตรวจสอบ เนื่องจากมีวัตถุที่มีความแข็งไปเสียดสีกับรถที่ทำการพ่นและอบสีเรียบร้อยแล้ว ทำให้เกิดริ้วรอยขึ้น หรือเกิดจากกระบวนการการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วขัดผิวงานไม่สม่ำเสมอ มุมขอบกระดาษทราย

7) สีเป็นฝ้า

ผิวสีมีลักษณะไม่เงามันและดูด้าน เหมือนมีการผสมกันระหว่างชั้นสีที่ติดกัน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การควบคุมและปรับปรุงคุณภาพกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์

งานวิจัยในการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์มีทั้งการปรับปรุงระบบการตรวจสอบดังเช่นของสุวิทย์ บุญชูจรัส (2539) ได้ทำการวิจัยเพื่อปรับปรุงระบบควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการพ่นสีตัวถังรถยนต์ โดยในงานวิจัยได้พบปัญหาคือการขาดการวางแผนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพที่ดี จึงได้เสนอวิธีการปรับปรุงที่มีทั้งสิ้น 3 ขั้นตอน ได้แก่ขั้นที่ 1 การทำการพัฒนาตรวจสอบวัสดุนำเข้า ได้มีการจัดทำระบบตรวจสอบวัสดุก่อนนำเข้าใช้งาน โดยวัสดุดังกล่าวคือ สี ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่ามีสีที่ไม่ได้คุณภาพเข้าสู่กระบวนการผลิตคิดเป็น 26.2% ของทั้งหมด ขั้นที่ 2 คือการพัฒนาการตรวจสอบและควบคุมในกระบวนการผลิตได้แก่ การลำดับหัวข้อการควบคุมในแต่ละกระบวนการย่อย การจัดแบ่งหน้าที่การทำงาน มาตรฐานการควบคุม วิธีการใช้ การติดตามบันทึกผล และขั้นสุดท้ายคือการพัฒนาการตรวจสอบคุณภาพผลผลิต ส่วนงานวิจัยที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการพ่นสีมีงานวิจัยของ สุวิทย์ กล่ำเพ็ง (2543) ที่เป็นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของการพ่นสี โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงปัญหาที่มีมากที่สุดในโรงงานตัวอย่าง คือปัญหาการเกิดฝุ่นผง สิ่งสกปรกในสี แบะการเกิดปัญหารอยด่าง โดยใช้เครื่องมือดังนี้ การระดมสมอง เทคนิคการควบคุมคุณภาพ และการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ ทำให้ภายหลังการแก้ไขสามารถลดปริมาณของเสียจาก 3.30% เหลือ 1.53%

งานวิจัยที่กล่าวมาเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการพ่นสีที่ทำการปรับปรุงโดยใช้เครื่องมือทางสถิติทั่วไปมาใช้ การประยุกต์ใช้ ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดข้อบกพร่องจากกระบวนการพ่นสีในกระบวนการประกอบรถยนต์ นั้นเน้นที่การปรับปรุงคุณภาพโดยอาศัยแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งมีจุดที่ทั้งเหมือนและแตกต่างไปจากงานวิจัยดังกล่าว

2.4.2 ซิกซ์ ซิกม่า กับการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม

ซิกซ์ ซิกม่า เป็นเครื่องมือที่ได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมการผลิต ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัยของภัทรา อายุวัฒน์ (2546) ที่เป็นการนำหลักการของซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการรับน้ำหนักกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด งานวิจัยเริ่มจากการค้นหาปัจจัยนำเข้าหลัก ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่สามารถตั้งค่าได้ ควบคุมได้ และมีแนวโน้มที่จะส่งผลให้ค่าผลลัพธ์ของกระบวนการดีขึ้น หลังจากนั้นจึงทำการกรองปัจจัยให้เหลือเพียงปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการปรับปรุงกระบวนการเท่านั้นคือการตั้งค่าของเครื่อง Shuttle และเครื่อง Swaging ให้เหมาะสม ซึ่งหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่าปริมาณที่เกิดขึ้นในกระบวนการลดลงเหลือเพียง 720 DPPM ที่ทำให้มีค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) สูงขึ้นจากเดิมอย่างมาก และมีค่ามากกว่า 1.33 ซึ่งเป็นเป้าหมายของการปรับปรุงในงานวิจัยนี้

งานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ ซิกซ์ ซิกม่าซึ่งการนำไปใช้งานนั้นโดยส่วนใหญ่แล้วตัวแปรตอบสนอง (Response) ในงานวิจัยเหล่านั้นจะเป็นข้อมูลแปรผัน (Variable)เนื่องจากเป็นข้อมูลที่มีเครื่องมือทางสถิติให้นำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายกว่าตัวแปรตอบสนองที่เป็นข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute) รวมทั้งขนาดที่ใช้มีจำนวนน้อยกว่าในขณะที่ให้ข้อมูลในการวิเคราะห์ที่มากกว่าด้วย จึงพบว่าในบางงานวิจัยที่มีตัวตอบสนองหรือค่า Y เป็นข้อมูลเชิงลักษณะจะมีการพยายามแปลงค่าข้อมูลเหล่านั้นให้เป็นข้อมูลแปรผันก่อนดำเนินการลดของเสียด้วยวิธีการซิกซ์ซิกม่าต่อไป เช่นในงานวิจัยของ Banuelas, Antony และ Brace (2005) ได้นำซิกซ์ ซิกม่า ไปประยุกต์ใช้ในการลดของเสียในกระบวนการเคลือบผิว (Coating) โดยได้กำหนดให้ตัวชี้วัดสมรรถนะของสายการผลิตคือจำนวนครั้งของการหยุดสายการผลิตในสายการผลิตเคลือบฟิล์ม และกำหนดให้ข้อบกพร่องคือความขัดข้องของการเปลี่ยนสปินเดิล (Spindle) ของเครื่อง Re-winder ที่มีชนิดของข้อมูลเชิงคุณลักษณะซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่เป็นที่ต้องการเนื่องจากการใช้ข้อมูลแปรผันจะให้ข้อมูล (Information) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์มากกว่า รวมทั้งข้อมูลเชิงคุณลักษณะยังต้องใช้ขนาดตัวอย่างจำนวนมากโดยเฉพาะในกรณีที่อัตราส่วนของเสียต่ำ ๆ ดังนั้นจึงได้ทำการเปลี่ยนข้อมูลเชิงคุณลักษณะ ให้เป็นข้อมูลแปรผันโดยการทำการทดสอบสมมติฐาน t-test ว่ารอบของการตัดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลของความขัดข้อง winder หรือไม่ ซึ่งได้ผลว่ารอบเวลาของการตัดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อการทำงานขัดข้องที่ระดับนัยสำคัญ 5% ดังนั้นจึงใช้ค่ารอบเวลาของการตัดเป็นตัวแปรตอบสนองเนื่องจากเป็นตัวทำนายที่ดีของการดำเนินงานของ winder นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545) ที่ได้ทำการประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋อง ซึ่งลักษณะของข้อมูลเป็นข้อมูลเชิง

คุณลักษณะที่มีสัดส่วนของเสียต่ำ (สัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุงมีค่า 0.0044 และหลังการปรับปรุงมีค่า 0.0028) นั้นได้ใช้แผนภูมิควบคุม p ในการควบคุมสัดส่วนของเสียที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตโดยได้ทำการตรวจติดตามเป็นรายวัน ส่วนงานวิจัยของ วสันต์ พุกผาสุก และ อรรถกร เก่งพล เป็นงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า โดยมีเป้าหมาย คือ การลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นลง 70 เปอร์เซ็นต์ การดำเนินงานจะเริ่มจากขั้นตอนการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น โดยระบุถึงขอบเขตปัญหาที่จะทำการแก้ไข และกำหนดตัวชี้วัดการปรับปรุงกระบวนการ โดยอาศัยการวัดความสามารถกระบวนการ พบว่าการเกิดเม็ดหรือ ตามดบนผิวชิ้นงาน ซึ่งเป็นเหตุทำให้เกิดของเสียมากที่สุด ขั้นตอนที่สองจะเป็นการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา โดยการสร้างแผนที่กระบวนการ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละงานในกระบวนการ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา โดย สร้างแผนภาพสาเหตุและผล ซึ่งจะนำมาเชื่อมโยงกับค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์ผลกระทบ อันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการเพื่อค้นหา สาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด จากนั้นจะศึกษาระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมียม เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความถูกต้องในระบบการตรวจสอบ ขั้นตอนที่สามเป็นการวิเคราะห์สาเหตุที่มีผลกระทบกับค่าความหยาบผิวชิ้นงานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน และนำมาหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ โดยเทคนิคการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ตอบสนอง ขั้นตอนสุดท้ายจะดำเนินการควบคุมตัวแปรต่างๆ โดยอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน และเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ ผลจากการปรับปรุง พบว่า ค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงจาก 146,295 PPM เหลือเพียง 25,780 PPM และทำให้ลดมูลค่าความ สูญเสียจาก 774,714 บาทต่อเดือนเหลือ 128,648 บาทต่อเดือน โดยสามารถลดระดับการเกิดของเสียลง 82 เปอร์เซ็นต์

จากงานวิจัยข้างต้นพบว่าในการดำเนินการลดของเสียด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่านั้น กรณีที่มีค่าตัวแปรตอบสนองเป็นข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute) หากสามารถทำได้ควรแปลงข้อมูลเชิงคุณลักษณะนั้นให้เป็นข้อมูลแปรผัน (Variable) เพื่อให้การนำไปวิเคราะห์และการทำการทดลองมีความง่ายและสะดวกขึ้น

งานวิจัยที่ใช้ ซิกซ์ ซิกม่าในกระบวนการพ่นสียังมีอยู่ไม่มาก และไม่สามารถพัฒนาให้กระบวนการไปถึงระดับ 6σ เนื่องจากต้องมีกิจกรรมการปรับปรุงเป็นจำนวนมากและใช้ค่าใช้จ่ายที่สูงมากจึงอาจจะเป็นการลงทุนที่มากเกินความจำเป็น แต่มีงานวิจัยของบริษัท Tata Auto Plastic Systems Limited (TAPS) ที่วิจัยโดยM. Kapadia, A. Mishra, S. Hemanth และ V. Limaye ได้นำหลักการของซิกซ์ ซิกม่ามาใช้ในการเพิ่มระดับความพึงพอใจของลูกค้าโดยหลังการปรับปรุงสามารถเพิ่ม First Pass Yield จาก 47.51% ขึ้นเป็น 83.6% รวมถึงเปอร์เซ็นต์ความไม่พอใจของลูกค้าลดลงจาก 23.98% มาเป็น 1% และการประยุกต์ใช้ ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อช่วยในการ

ปรับปรุง ได้ทำให้ของเสียลดลงเป็นอย่างมากและช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม (rework) ได้เป็นจำนวนมาก ดังเช่นงานวิจัยของ ภาณุ ชุดเจือจีน ที่ประยุกต์แนวคิดของซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากการพ่นสีรองพื้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากในกระบวนการผลิตกล่องนาฬิการาคาแพง ที่มีความต้องการด้านคุณภาพของสินค้าสูงมาก จากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่า กระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงมีปริมาณของเสียเท่ากับ 19,615 ชิ้นในหนึ่งล้านชิ้นของผลผลิต (Defect Parts per Million: DPPM) ทำให้บริษัทต้องสูญเสียเงินเป็นจำนวนนับล้านบาทต่อปี โดยของเสียที่เกิดจากการมีรูลึกและฟองบนกล่องคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 35.01 และ 13.97 ตามลำดับ ซึ่งประเภทของเสียทั้งสองรวมกันคิดเป็น 48.98 เปอร์เซ็นต์ จากประเภทของเสียทั้งหมด จากนั้นนำสาเหตุจากการระดมสมองและให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยมาทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี Two Proportions ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สามารถสรุปได้ว่า มีปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความหนืดของสารเคมีในการพ่นสีรองพื้น จำนวนรอบในการพ่นสีรองพื้น และรูปแบบการพ่นสีรองพื้น จึงได้ทำการปรับปรุงโดยการออกแบบการทดลองเพื่อหาหาจุดการทำงานที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละระดับของปัจจัยซึ่งจากการทดสอบยืนยันผลพบว่า สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 6,480 DPPM ซึ่งมีค่าลดลงจากเดิม 67 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงได้จัดทำเอกสารควบคุมขั้นตอนการปฏิบัติงาน เพื่อใช้เป็นเอกสารมาตรฐานในการปฏิบัติงาน และได้นำเอาเอกสารดังกล่าวไปฝึกอบรมพนักงาน นอกจากนั้นยังมีการจัดทำแผนคุณภาพให้กับโรงงานอีกด้วย หลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้รับหลังการปรับปรุงผ่านไปแล้วเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต พบว่า สัดส่วนของเสียมีค่าเหลือเพียง 3,240 DPPM ซึ่งเทียบเท่ากับ 2.99 σ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ ทิชา แสนสม ที่นำแนวความคิดซิกซ์ ซิกม่า ไปประยุกต์เพื่อใช้ในการลดของเสียในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้า โดยเม็ดผงเป็นของเสียหลักที่มีจำนวนถึง 151,259 DPPM (Defect Part per Million) ซึ่งสาเหตุหลังจากการวิเคราะห์สรุปได้ว่าเม็ดผงที่พบหลังกระบวนการพ่นสีมาจากความสกปรกของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการพ่นสี และระบบจ่ายอากาศในห้องพ่นสี จากนั้นจึงใช้ cause and effect matrix เพื่อกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดปัญหาเม็ดฝุ่น โดยจะทำไปพร้อมกับการศึกษาความแม่นยำและถูกต้องของระบบการวัด การคัดเลือกตัวแปรที่จะนำมาศึกษาโดยการใช้เทคนิคลักษณะบกพร่องและผลกระทบ(FMEA) แล้วจึงทำการทดสอบด้วยวิธีทางสถิติ และหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในกรณีที่มีปัจจัย 2 ปัจจัยขึ้นไป จากนั้นทำการควบคุมกระบวนการผลิตโดยการจัดทำมาตรฐานการทำงานจากค่าที่ได้จากการทดลอง และควบคุมกระบวนการโดยใช้การเก็บข้อมูลเชิงสถิติ และมีแผนการแก้ไขเมื่อค่าไม่อยู่ในค่าควบคุมเพื่อป้องกันปัญหาไม่ให้เกิดขึ้นซ้ำอีก เมื่อวิเคราะห์กระบวนการหลังการปรับปรุงแล้วพบว่าจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการพ่นสีกันชนหน้า

พลาสติกของรถยนต์หลังการปรับปรุงเท่ากับ 46,892 DPPM ซึ่งสามารถลดของเสียได้ 69% ของของเสียก่อนการปรับปรุง ความแตกต่างของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยเรื่องการลดของเสียในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าที่เป็นวัสดุประเภทพลาสติก คือทำการศึกษากระบวนการพ่นสีรถยนต์ที่วัสดุเป็นเหล็กที่มีกระบวนการพ่นสีเริ่มจากการชุบสีกันสนิม พ่นสีรองพื้น และพ่นสีจริง โดยที่ในแต่ละชั้นต้องมีการขัดเพื่อซ่อมข้อบกพร่องของแต่ละชั้นและเพื่อเป็นการเตรียมผิว ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการพ่นสีพลาสติกที่ไม่มีการขัดซ่อมข้อบกพร่องในแต่ละชั้น ทำให้ไม่เกิดข้อบกพร่องประเภทที่เกิดจากการเตรียมผิวไม่ดี ซึ่งทำให้กระบวนการพ่นสีกันหน้ามีเม็ดฝุ่นเป็นของเสียหลักเพียงอย่างเดียว อีกทั้งสีที่ใช้ในการพ่นเหล็กและพลาสติกยังเป็นคนละชนิดกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
การนิยามปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึง การจัดตั้งคณะทำงาน ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการพ่นสีที่อธิบายขั้นตอนการทำงานโดยการแสดงด้วยแผนภาพการผลิต คำอธิบายรายละเอียดของกระบวนการโดยแยกตามกลุ่มงาน กำลังการผลิต และการนิยามปัญหาโดยมีการอธิบายถึงวิธีการเก็บข้อมูลความ ความหมายและค่าใช้จ่ายในการซ่อมของชนิดการซ่อมต่าง ๆ การรวบรวมข้อมูลข้อบกพร่องที่นำเอามาคิดค่าใช้จ่าย เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิพาเรโต แล้วทำการกำหนดข้อบกพร่องหลักที่จะเลือกนำมาแก้ไข และตัวติดตามผลการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน

งานวิจัยนี้มีการจัดตั้งคณะทำงาน เพื่อช่วยกันเก็บข้อมูลรวบรวมข้อบกพร่องและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการซ่อมข้อบกพร่อง แล้วทำการร่วมวิเคราะห์หาสาเหตุที่น่าจะเป็น หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์คัดเลือกสาเหตุ และดำเนินการปรับปรุงแก้ไข เพื่อลดจำนวนข้อบกพร่องและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากงานซ่อม ซึ่งสมาชิกในคณะทำงานประกอบด้วย ผู้จัดการที่เป็นผู้ให้คำปรึกษา 1 คน วิศวกรด้านกระบวนการสีรวมผู้จัดทำงานวิจัย 4 คน วิศวกรด้านตรวจสอบคุณภาพงานสี 1 คน และหัวหน้าคนงานทั่วไป 5 คน

3.2 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์

กระบวนการพ่นสีของโรงงานกรณีศึกษา จะแบ่งออกเป็นกระบวนการพ่นสีรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ (ปิกอัพ) รถยนต์เอนกประสงค์ และรถบรรทุกขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างแตกต่างกัน แต่เนื่องจากจำนวนการผลิตของรถรุ่น TFR ซึ่งเป็นรถยนต์เพื่อการพาณิชย์นั้นมีจำนวนมากที่สุดคือ 88% ของจำนวนการผลิตรถยนต์ทั้งหมด ดังนั้นในงานศึกษาวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นในการศึกษากระบวนการพ่นสีของรถรุ่น TFR โดยมีขั้นตอนของกระบวนการดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.1 และรายละเอียดในแต่ละกระบวนการมีดังนี้

3.2.1 กระบวนการผลิตอย่างละเอียดโดยแบ่งแยกตามกลุ่มงาน

PT-1: Pretreatment and ED Process มีหน้าที่รับผิดชอบในการล้างเศษเหล็ก คราบน้ำมันที่มาจากโรงประกอบตัวถัง และปรับสภาพผิวตัวถัง (Pretreatment Process) รวมถึงทำการชุบสี กันสนิมตัวถังรถยนต์ด้วยระบบไฟฟ้า (EDP) สุดท้ายคือการพ่นสีที่มีส่วนผสมของ PVC ใต้ท้องเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและกันสนิม

PT-2: Sealing Process มีหน้าที่ในการยาแนวตามตะเข็บรอยต่อต่าง ๆ

ของรถยนต์เพื่อวัตถุประสงค์ 3 ข้อคือ กันน้ำรั่ว กันสนิม และเพื่อความสวยงาม ในบริเวณห้องโดยสารและด้านในของตัวรถยนต์

PT-3: Surfacer Coat Process มีหน้าที่ในการพ่นสีรองพื้น (Surfacer) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง การยึดเกาะ และปรับความต่างสีให้ใกล้เคียงกับสีจริง รวมถึงทำการขัดตกแต่งผิวสีและปัญหาเพื่อให้พร้อมสำหรับการพ่นสีจริง

PT-4: Top Coat Spray Booth no.1 มีหน้าที่ในการพ่นสีจริงซึ่งเป็นชั้นสีที่ให้เฉดสีกับตัวรถ(Base Coat) และพ่นสีเคลือบเงา(Clear Coat)ที่มีหน้าที่ให้ความเงาและมีคุณสมบัติต้านการสึกหรอจากสารเคมี การขีดข่วน และการป้องกันผลกระทบจากรังสียูวี โดยจะพ่นเฉพาะในรุ่นรถยนต์บรรทุกเพื่อการพาณิชย์ไม่เกิน 1 ตัน

PT-5: Top Coat Spray Booth no.2 มีหน้าที่เหมือนกับ PT-4 แต่พ่นสีจริงกับรถยนต์บรรทุกเพื่อการพานิชทั้งน้ำหนักไม่เกิน 1 ตัน และ 2 ตันขึ้นไป

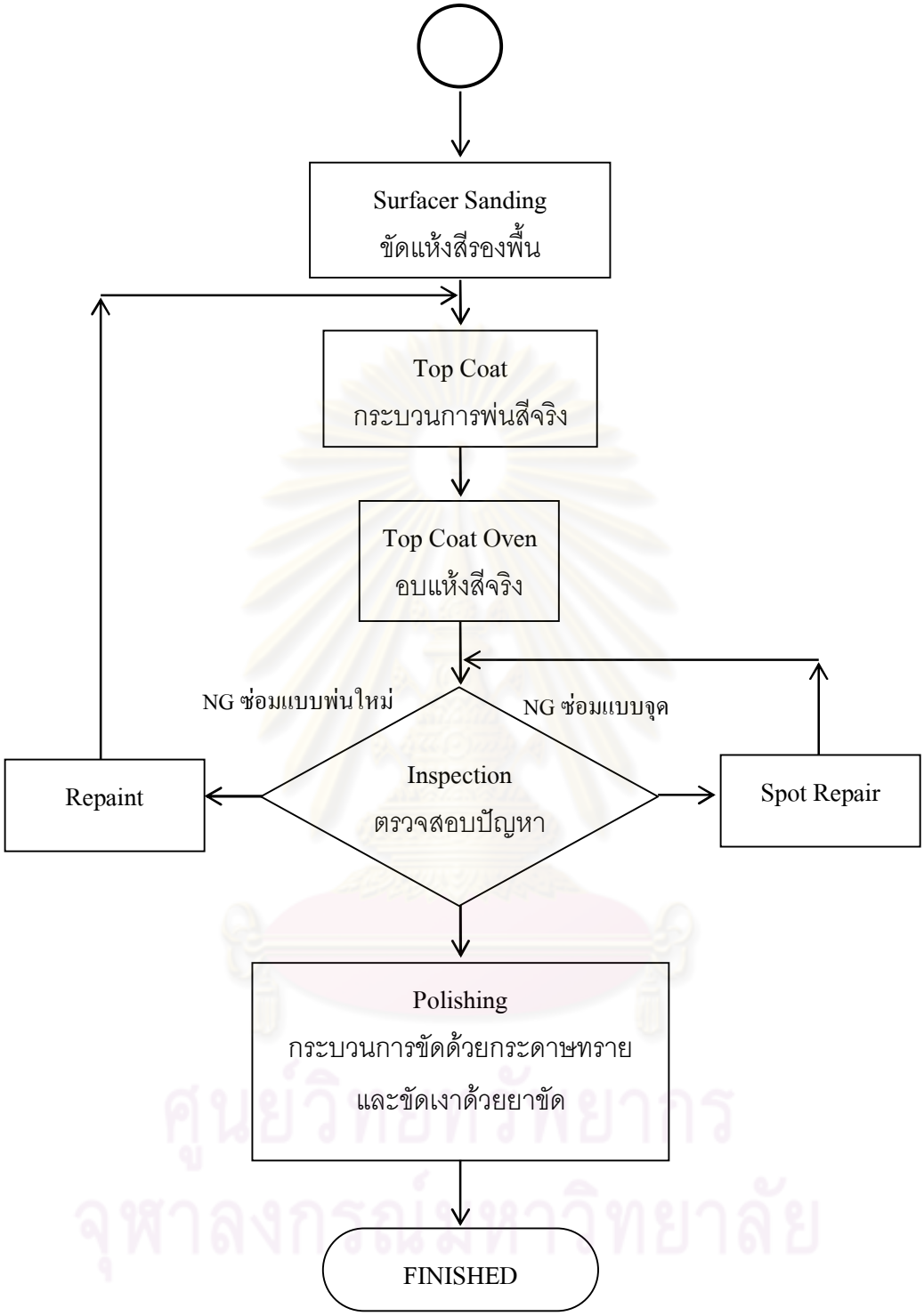
PT-6: Repair Inner & Outer area มีหน้าที่ในการซ่อมปัญหาสีทั้งการขัดยา ซ่อมแบบจุด และการพ่นซ่อมใหม่ รวมถึงเป็นหน่วยงานในการสนับสนุนการทำงานของหน่วยงานอื่น ๆ ในหน่วยงานผลิตสี

PI: Paint Inspection มีหน้าที่ในการตรวจสอบคุณภาพของการพ่นสีตัวถังรถยนต์ โดยมีการแบ่งการตรวจสอบออกเป็น 2 ลักษณะคือการตรวจสอบจุดหรือข้อบกพร่องบนผิวสี และการตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของสี ได้แก่การตรวจสอบค่าความเงาและความราบเรียบของผิวสี การตรวจสอบค่าความหนาของสี และการตรวจสอบค่าความต่างเฉดสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 แผนภาพการผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนของกระบวนการพ่นสีรถรุ่น TFR

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3 กำลังการผลิต

ใน 1 วันทำงานโรงงานตัวอย่าง มีการทำงาน 2 ช่วงเวลาคือ กะเช้า และกะกลางคืนที่มีระยะเวลาการทำงานในแต่ละกะดังนี้

กะเช้า เวลาทำงานปกติคือ 07.30 – 16.30 น.

กะกลางคืน เวลาทำงานปกติคือ 20.00 – 05.00 น.

โดยมีเวลาที่ไม่มีการผลิตคือ เวลาพักกลางวัน 60 นาที เวลาพักเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน 2 ช่วง ๆ ละ 10 นาที พักเพื่อตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน 2 ช่วง ๆ ละ 2 นาที เวลาเตรียมอุปกรณ์ก่อนเริ่มงาน 5 นาที เวลาในการเก็บอุปกรณ์และทำความสะอาดพื้นที่ทำงานก่อเลิกงาน 5 นาที รวมเวลาทั้งหมดเท่ากับ 94 นาที ซึ่งเมื่อนำไปหักลบออกจากเวลาการทำงานปกติจะได้ว่าเหลือเวลาที่มีการทำงานจริงเท่ากับ 446 นาที

ในโรงงานตัวอย่างดำเนินการผลิตโดยใช้ระบบโซ่สายพานลาก (Conveyor) ซึ่งมีการปรับตั้งค่าความเร็วของโซ่ในแต่ละจุดเพื่อกำหนดให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เสร็จสมบูรณ์ทุก ๆ 1.72 นาที หรือที่เรียกกันว่า Tact Time = 1.72 นาที/คัน

ดังนั้นจึงสามารถคิดกำลังการผลิตหรือเป้าหมายในการผลิตต่อวันได้ด้วยการคำนวณดังนี้

กำลังการผลิต = [(เวลาทำงาน – เวลาที่ไม่มีการผลิต) / Tact Time]
x ประสิทธิภาพการทำงานที่ 99%
= [(540 - 94) / 1.72] x 0.99
= 256 คัน / กะ

ดังนั้นใน 1 วันทำงานสามารถพ่นสีรถยนต์ได้ = 256 x 2 = 512 คัน

3.3 การนิยามปัญหา

3.3.1 ประเภทของข้อบกพร่อง (ตามความรุนแรงของผลกระทบต่อสายการผลิต)

เนื่องจากกระบวนการพ่นสีเป็นกระบวนการที่ต้องมีการอบแห้ง ดังนั้นหากเกิดข้อผิดพลาดปัญหาบางอย่างอาจพบแล้วสามารถแก้ไขได้ แต่บางอย่างไม่สามารถแก้ไขได้ และข้อบกพร่องบางอย่างไม่สามารถพบได้ต้องรอให้ผ่านกระบวน การอบก่อนจึงสามารถพบข้อบกพร่องได้ ซึ่งจะแบ่งปัญหาตามความรุนแรงที่ส่งผลกับสายการผลิตคือ

1) ข้อบกพร่องที่สามารถซ่อมได้ทันตามเวลา (Takt Time) ที่ตำแหน่งงานส่วนของกระบวนการตรวจสอบ

2) ข้อบกพร่องที่มีความรุนแรงหรือมีจำนวนมากไม่สามารถซ่อมได้ที่ Inspection Booth ต้องวนรถออกไปทำให้เกิดช่องว่างในกระบวนการผลิตเนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาใช้ระบบโซ่ลากแบบต่อเนื่อง ดังนั้นเมื่อมีรถถูกวนออกไปซ่อมก็จะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นมา ทำให้ผลิตภาพลด และต้องเสียแรงงานและวัตถุดิบในการซ่อมปัญหาที่เกิดขึ้น

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่เกิดแล้วไม่สามารถซ่อมได้ทันในสายการตรวจสอบเท่านั้น เนื่องจากเป็นข้อบกพร่องที่ไม่สามารถแก้ไขซ่อมได้ทันในกระบวนการปกติของโรงงานพ่นสี

3.3.2 การตรวจสอบและเก็บข้อมูลข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

ในการตรวจสอบเพื่อเก็บข้อมูลของข้อบกพร่องทุกประเภทที่เกิดขึ้นในสายการผลิตมีการเก็บข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์อยู่ 2 ลักษณะดังนี้

1) อัตราการเกิดข้อบกพร่องทั้งหมดต่อรถ 1 คัน (Defect Per Unit: DPU)

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนตัวรถทั้งหมด ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่ต้องวนรถออกไปซ่อมปัญหาที่ต้องขอบสีหรือขัดซ่อมทั้งคันเพื่อพ่นใหม่ทั้งหมด แล้วนำมาเฉลี่ยกับจำนวนรถทั้งหมดที่ทำการตรวจเช็คโดยในสายการตรวจสอบจะตรวจสอบรถที่วิ่งผ่านทุกคัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) เปอร์เซ็นต์ของรถที่วิ่งตรง (% Direct Run)

เป็นการเก็บข้อมูลข้อบกพร่องที่ทำให้เกิดการวนรถออกจากสายการตรวจสอบ เพราะว่าข้อบกพร่องนั้นไม่สามารถซ่อมได้โดยการขัดยาภายในสายการตรวจสอบคือต้องมีการวนรถออกไปซ่อมด้วยสีแห้งช้าทั้งแบบซ่อมเฉพาะจุด (Dot Repair) และแบบซ่อมขนาดใหญ่ (Spot Repair) ที่จุดซ่อมสีอบแห้งช้า และไปซ่อมโดยการขัดซ่อมทั้งคันเพื่อพ่นสีใหม่ (Repaint) ที่จุดขัดซ่อมทั้งคัน ซึ่งข้อบกพร่องที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ของรถวิ่งตรงน้อยลงเป็นข้อบกพร่องที่ทำให้เกิดผลกระทบโดยการคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อมมากกว่าการซ่อมโดยการขัดยาในสายการตรวจสอบ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นในการลดปัญหาที่ทำให้รถไม่สามารถวิ่งตรงได้

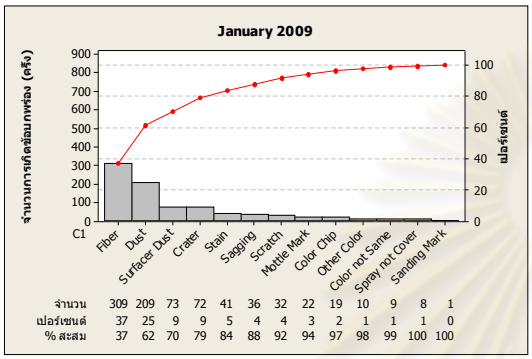
ตารางที่ 3.1 ยอดการผลิตและจำนวนปัญหาที่ทำให้รถไม่สามารถวิ่งตรงเพื่อส่งสายการประกอบขั้นสุดท้าย

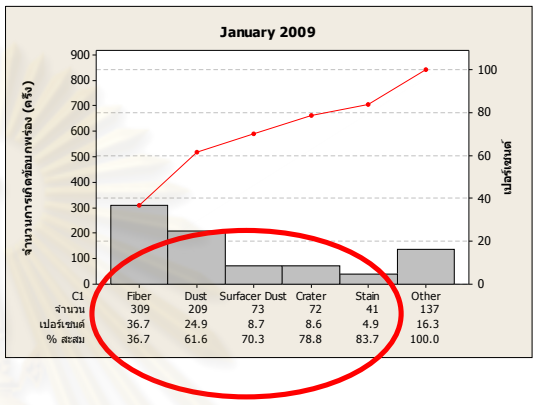
		ปี 2552					
		มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน
ยอดการผลิต (Paint Off)	Plan (คัน)	4,366	4,817	5,866	4,824	6,460	8,008
	Actual (คัน)	4,396	4,818	5,902	4,807	6,501	8,023
เปอร์เซนต์รถวิ่งตรง % Direct Run		80.8%	85.8%	84.8%	79.2%	81.1%	83.8%
เปอร์เซนต์รถที่ขัดซ่อมทั้งคันเพื่อพ่นใหม่ Repaint		1.7%	0.8%	1.2%	1.8%	1.7%	1.7%
เปอร์เซนต์รถที่ซ่อมสีแห้งช้าขนาดใหญ่ Spot Repair		1.6%	1.3%	1.9%	1.9%	2.3%	1.5%
เปอร์เซนต์รถที่ซ่อมสีแห้งช้าเฉพาะจุด Dot Repair		15.9%	12.1%	12.1%	17.1%	14.9%	13.0%

หลังจากทำการศึกษาข้อมูลของข้อบกพร่องที่ทำให้รถไม่สามารถวิ่งตรงเพื่อส่งให้สายการประกอบขั้นสุดท้าย ได้ทำแผนภูมิพาเรโตขึ้นมา เพื่อแสดงให้เห็นข้อบกพร่องในแต่ละชนิดว่ามีจำนวนกี่ข้อบกพร่องต่อเดือน จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ถึงความสอดคล้องของจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากที่สุด 5 อันดับแรกใน 6 เดือน (มกราคม 2552 – มิถุนายน 2552)

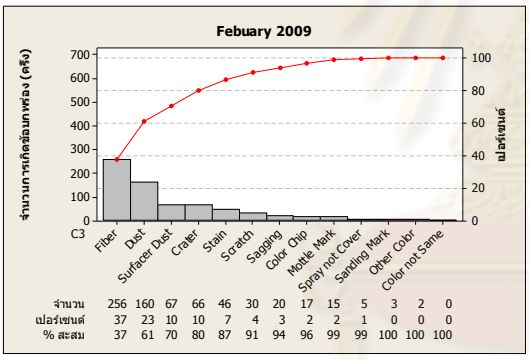
<u>1) ปัญหาทั้งหมด</u> <u>2) แสดง 5 ข้อบกพร่องหลัก</u>

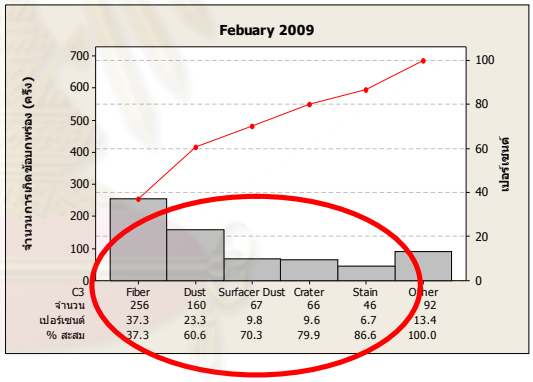
เดือนมกราคม



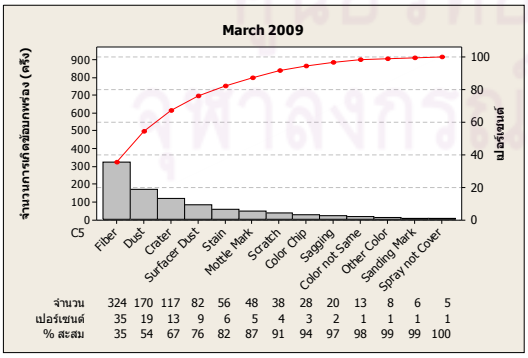


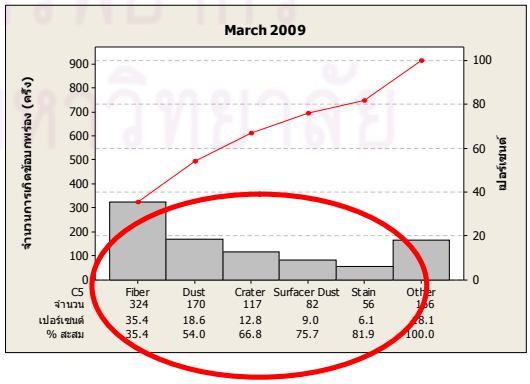
เดือนกุมภาพันธ์



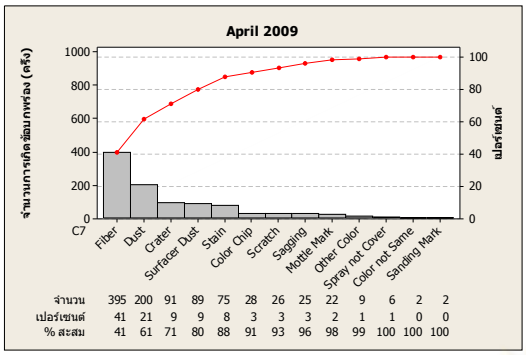


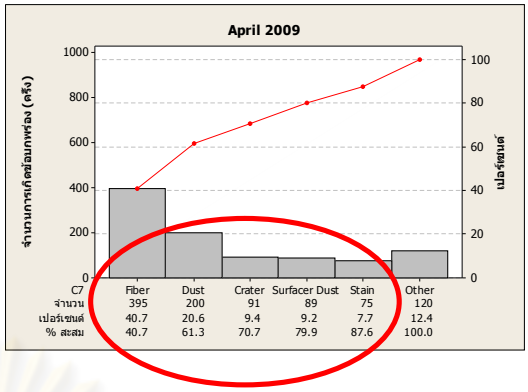
เดือนมีนาคม



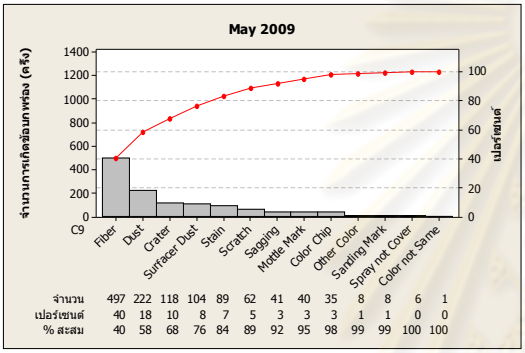


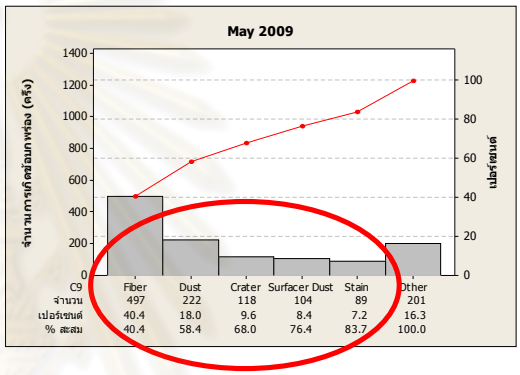
เดือนเมษายน



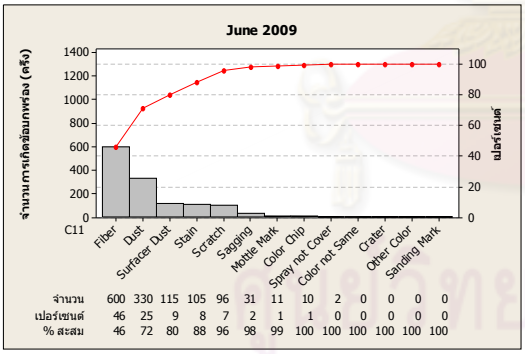


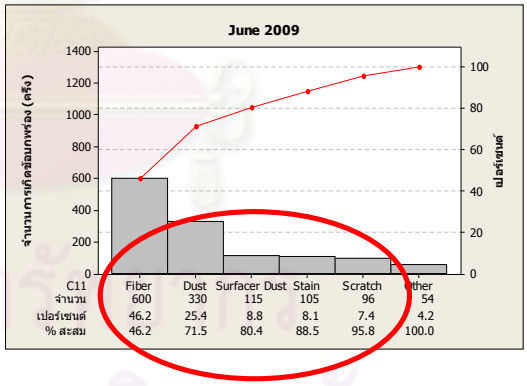
เดือนพฤษภาคม





เดือนมิถุนายน





หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแผนภูมิพาเรโตพบว่า 5 อันดับแรกของข้อบกพร่องจากทั้ง 6 เดือนที่ผ่านมาจะเป็นข้อบกพร่องที่เป็นประเภทซ้ำกันทั้ง 6 เดือน แต่อาจมีการสลับอันดับใน 5 อันดับแรก ซึ่งข้อบกพร่องทั้ง 5 ประเภทนั้นคือ

- Fiber (เส้นใย)
- Dust (เม็ดผง)
- Stain (สีเป็นคราบ)
- Surfacer Dust (เม็ดจากสีพื้น)
- Crater (สีเป็นหลุม)

จากนั้นในขั้นตอนต่อไปจะนำข้อมูลจำนวนการเกิดข้อบกพร่องมาคิดค่าใช้จ่ายในการซ่อม

แต่ละข้อบกพร่อง เพื่อทำการกำหนดข้อบกพร่องที่ควรทำการแก้ไข เนื่องจากตามหลักการของซิกซ์ซิกม่าจะให้ความสำคัญกับการลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมหรือมูลค่าความสูญเสียมากกว่าการลดจำนวนข้อบกพร่อง

3.3.3 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมจากปัญหาที่รถไม่สามารถวิ่งตรงไปได้

หลังจากที่ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิต และรวบรวมข้อมูลของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแล้ว จึงนำข้อมูลข้อบกพร่องมาทำการคำนวณเพื่อหาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการซ่อมข้อบกพร่องที่ทำให้รถไม่สามารถวิ่งตรงไปได้ ซึ่งค่าใช้จ่ายจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความรุนแรงของปัญหาที่เป็นตัวเลือกวิธีที่ใช้ในการซ่อมโดยวิธีการซ่อมมีอยู่ 3 วิธีแบ่งตามลักษณะ และพื้นที่ในการขัดซ่อมดังนี้

1) Dot Repair เป็นการซ่อมปัญหาที่มีพื้นที่ในการใช้กระดาษทรายขัดถึงสีรองพื้นแล้วใช้สีจริงซ่อมโดยใช้พื้นที่น้อยที่สุด คือเป็นพื้นที่ขนาดประมาณไม่เกิน 1-3 ตร.มม. โดยวิธีการซ่อมจะใช้ปลายพู่กันจุ่มสีแล้วแต้มสีไปยังบริเวณที่ขัดถึงสีรองพื้น จากนั้นจึงใช้เครื่องเป่าลมร้อนเป่าเป็นระยะเวลาประมาณ 10 นาทีจนสีแห้ง แล้วจึงทำการขัดยา ซึ่งวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมดังตารางข้างล่าง (คิดค่าแรงของพนักงานเท่ากับ 30 บาทต่อชั่วโมง)

Dot Repair

Process	Man-Hour		Cost from Man	Cost from Material
	man	time	(Baht)	(Baht)
1. ขัดกระดาษทรายเตรียมผิวงาน	1	20 mins.	10	70
2. ปลายพู่กันจุ่มสีแล้วแต้มสี	1	20 mins.	10	30
3. อบสี	-	10 mins.	-	-
4. ขัดเงาด้วยยาขัด	1	10 mins.	5	45
5. ตรวจสอบ	1	5 mins.	2.5	20
			27.5	165
	Total		192.5	

2) Spot Repair เป็นการซ่อมปัญหาโดยการขัดซ่อมโดยใช้กระดาษทรายขัดเปิดปัญหาให้ถึงพื้นเป็นพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่กว่าปัญหาประมาณ 2-3 เท่า ซึ่งไม่สามารถใช้วิธีการซ่อม Dot Repair ได้ เมื่อขัดแล้วจึงใช้สีจริงพ่นซ่อมให้กลบสีพื้นแล้วใช้ทินเนอร์พ่นบริเวณขอบของบริเวณที่ซ่อมเพื่อเป็นการแต่งให้ขอบของสีมีความกลมกลืนกับสีเดิม จากนั้นจึงนำเครื่องอบโดยการแผ่ความร้อนมาใช้อบโดยระยะเวลาในการอบประมาณ 30 นาทีจนสีแห้ง แล้วจึงทำการขัดยา ซึ่งวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมดังตารางข้างล่าง (คิดค่าแรงของพนักงานเท่ากับ 30 บาทต่อชั่วโมง)

Spot Repair

Process	Man-Hour		Cost from Man	Cost from Material
	man	time	(Baht)	(Baht)
1. ขัดกระดาษทรายเตรียมผิวงาน	1	20 mins.	10	70
2. พ่นสีซ่อมแห้งช้า	1	40 mins.	20	120
3. อบสี	-	30 mins.	-	-
4. ขัดเงาด้วยยาขัด	1	20 mins.	10	90
5. ตรวจสอบ	1	10 mins.	5	20
			45	300
	Total		345	

3) Repaint เป็นการซ่อมปัญหาที่ต้องทำการใช้กระดาษทรายขัดซ่อมปัญหาใหม่ทั้งคันเนื่องจากปัญหาที่เกิดมีความรุนแรงมากต้องขัดซ่อมจนถึงเหล็กหรือปัญหามีขนาดใหญ่ต้องใช้เวลาในการซ่อมนาน จึงใช้วิธีขัดซ่อมใหม่ทั้งคัน โดยวิธีการซ่อมจะใช้กระดาษขัดซ่อมปัญหาให้เรียบหรือให้ทะลุถึงสีพื้นหรืออาจจะถึงเหล็ก แล้วใช้กระดาษทรายขัดเบา ๆ รอบคันเพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะของสีที่จะทำการพ่นใหม่ทั้งคัน จากนั้นจึงนำรถเข้าพ่นใหม่ทั้งคันที่ห้องพ่นสีจริง ซึ่งวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมดังตารางข้างล่าง (คิดค่าแรงของพนักงานเท่ากับ 30 บาทต่อชั่วโมง)

Repaint

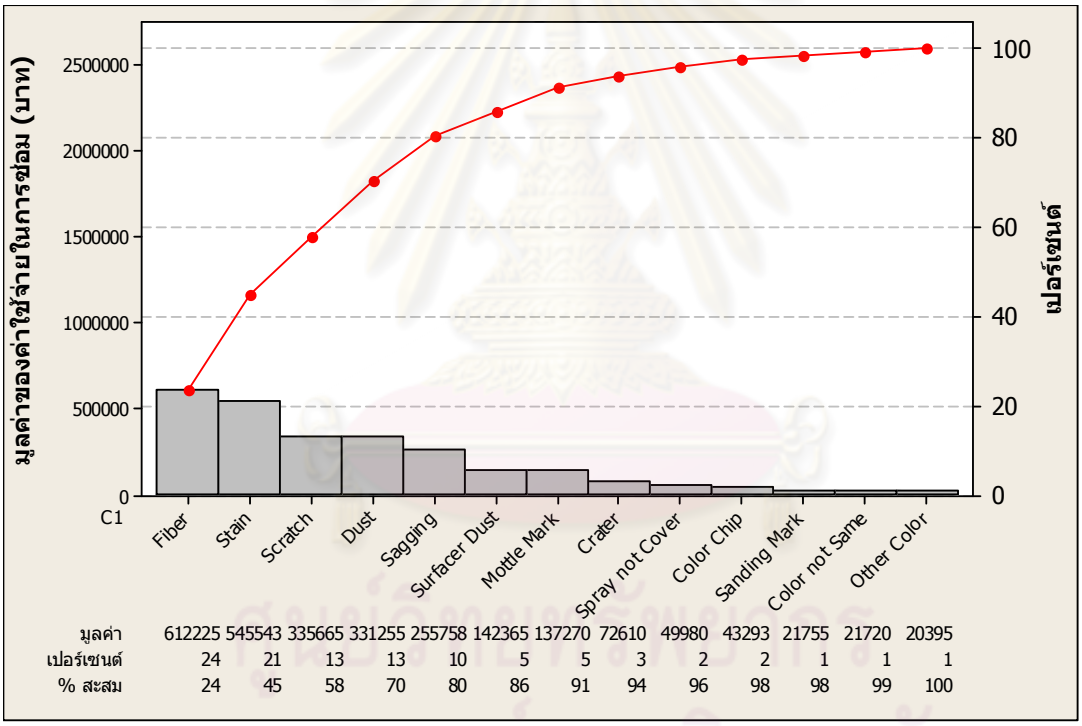
Process	Man-Hour		Cost from Man	Cost from Material
	man	time	(Baht)	(Baht)
1. ขัดกระดาษทรายเตรียมผิวงาน	3	30 mins.	45	350
2. พ่นสีจริง	10	20 mins.	100	1420
3. อบสี	-	60 mins.	-	-
4. ขัดเงาด้วยยาขัด	10	20 mins.	100	450
5. ตรวจสอบ	8	10 mins.	40	80
			285	2300
	Total		2585	

ดังนั้นความสูญเสียของปัญหาแต่ละปัญหาที่เกิดต้องมาจากผลรวมของค่าใช้จ่ายในการซ่อมแต่ละชนิดซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

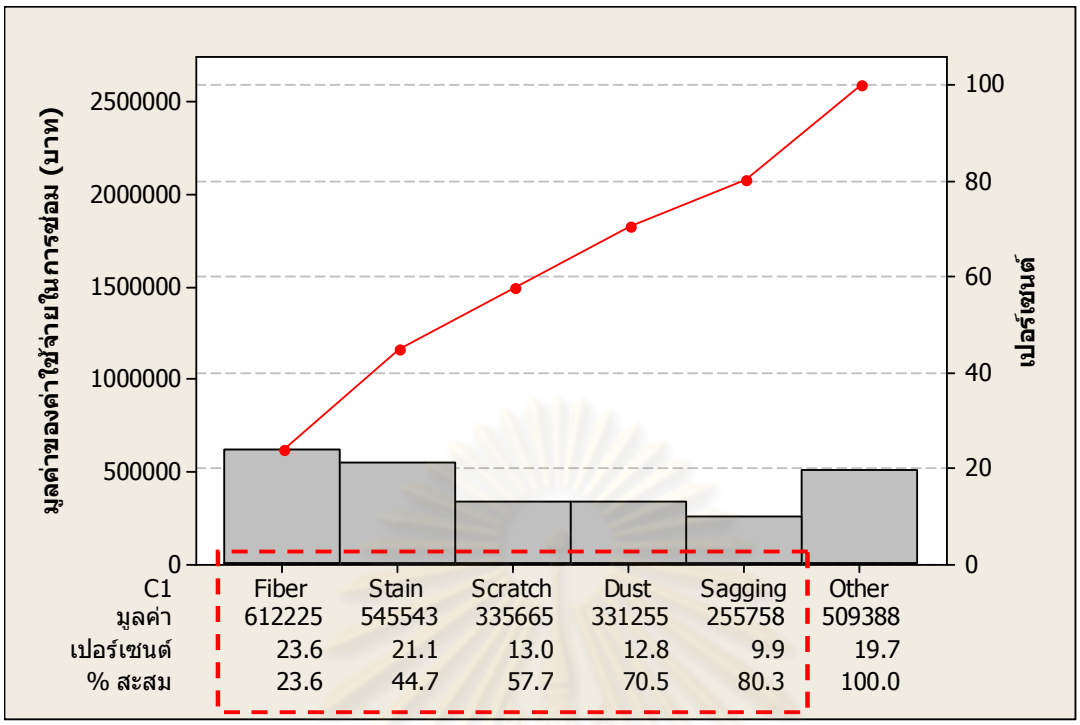
ค่าใช้จ่ายในการซ่อม (หน่วยเป็นบาท) มีค่าเท่ากับ ผลรวมของ

- ค่าใช้จ่ายในการซ่อมของปัญหาซ่อมสีแห้งช้าเฉพาะจุด คือ
  จำนวนรถที่ต้องซ่อมแบบ Dot Repair x ค่าซ่อม Dot Repair ต่อคัน
- ค่าใช้จ่ายในการซ่อมของปัญหาซ่อมสีแห้งช้าขนาดใหญ่ คือ
  จำนวนรถที่ต้องซ่อมแบบ Spot Repair x ค่าซ่อม Spot Repair ต่อคัน
- ค่าใช้จ่ายในการซ่อมของปัญหาขัดซ่อมสีใหม่ทั้งคัน คือ
  จำนวนรถที่ต้องซ่อมแบบ Repaint x ค่าซ่อม Repaint ต่อคัน

หลังการคำนวณจึงนำค่าใช้จ่ายในการซ่อมมาทำสร้างแผนภูมิพาเรโต ที่มีรายละเอียดของค่าใช้จ่ายในการซ่อมแต่ละข้อบกพร่องดังรูปที่ 3.2 และสร้างแผนภูมิพาเรโต ที่มีอันดับค่าใช้จ่ายในการซ่อมคิดเป็นมูลค่า 80% ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมทั้งหมดในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 แผนภูมิพาเรโตค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องทุกชนิด



รูปที่ 3.3 แผนภูมิพาเรโตข้อบกพร่องที่มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมเท่ากับ 80% ของทั้งหมด

จากแผนภูมิพาเรโตแสดงให้เห็นว่า 80% ของค่าใช้จ่าย(มีมูลค่าทั้งหมดคือ 2,589,833 บาท) ที่สูญเสียไปในการซ่อมนั้นสามารถจำแนกออกเป็นข้อบกพร่องที่ไม่สามารถซ่อมได้ทันในสายการตรวจสอบปกติมีอยู่ 5 ประเภทคือ เส้นใย สีเป็นคราบ สีเป็นรอยขีด เม็ดผง และสีไหล โดยข้อบกพร่องทั้ง 5 ประเภทนั้นสามารถนำมาเรียงตามลำดับของค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 3.2 มูลค่าของค่าใช้จ่ายในการซ่อมแต่ละชนิดของข้อบกพร่อง 5 อันดับแรก

	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องชนิดต่าง ๆ			รวม	
	ซ่อมสีแห้งช้าเฉพาะจุด	ซ่อมสีแห้งช้าขนาดใหญ่	พ่นใหม่ทั้งคัน	ทั้งหมด	ต่อเดือน
Fiber (เส้นใย)	444,675	43,470	124,080	612,225	102,037.50
Stain (สีเป็นคราบ)	23,677.50	41,055	480,810	545,542.50	90,923.75
Scratch (สีเป็นรอยขีด)	17,325	41,745	276,595	335,665	55,944.17
Dust (เม็ดผง)	261,800	4,830	64,625.00	331,255	55,209.17
Sagging (สีไหล)	8,277.50	9,660	237,820	255,757.50	42,626.25
			รวม	2,080,445	346,740.83

ซึ่งประเภทของข้อบกพร่องทั้งห้าตามตารางที่ 3.2 มีความแตกต่างกับประเภทของข้อบกพร่องห้าอันดับแรกที่มีจำนวนมากที่สุดของข้อบกพร่องที่ไม่สามารถซ่อมโดยการขัดยาได้ในสายการตรวจสอบ ได้แก่ข้อบกพร่องประเภท เส้นใย เม็ดผง สีเป็นคราบ เม็ดพื้น และสีเป็นหลุม โดยในงานวิจัยนี้จะใช้หลักการของ ซิกซ์ ซิกม่าในการลดจำนวนและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการลดข้อบกพร่องประเภท เส้นใย สีเป็นคราบ สีเป็นรอยขีด เม็ดผง สีไหล เม็ดพื้น และสีเป็นหลุม รวมทั้งหมด 7 ชนิด ที่คิดเป็น 80% ทั้งในการคิดเป็นจำนวนข้อบกพร่องต่อรถ 1 คันและในการคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน โดยจะเป็นการลดที่ตั้งเป้าหมายในการลดอยู่ที่ 70% ในกรณีที่มีการลงทุนและฝ่ายบริหารมีการอนุมัติให้ทำโครงการ รวมถึงโครงการปรับปรุงมีระยะเวลาในการดำเนินโครงการไม่เกินระยะเวลาในการทำงานวิจัยนี้ แต่ถ้าเป็นในกรณีที่ไม่จำเป็นต้องมีการลงทุนสูง และระยะเวลาในการดำเนินโครงการไม่เกินระยะเวลาในการทำงานวิจัยจะตั้งเป้าหมายในการลดอยู่ที่ 40% ทั้งในกรณีเป็นจำนวนข้อบกพร่องต่อรถ 1 คันและในการคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน

3.4 สรุประยะนิยามปัญหา

ในระยะนิยามปัญหานี้ ได้ทำการจัดตั้งคณะทำงาน แล้วศึกษากระบวนการพ่นสี รวมถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลของจำนวนและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องชนิดต่าง ๆ จากนั้นจึงได้กำหนดและนิยามปัญหาที่มีเป้าหมายที่จะทำการลดทั้งจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ในกระบวนการพ่นสีรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ (TFR) 80% แรกคือ เส้นใย เม็ดผง สีเป็นคราบ เม็ดพื้น และสีเป็นหลุม และทำการลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน 80% แรกของข้อบกพร่องที่ทำให้เกิดการวนรถออกจากสายการตรวจสอบเนื่องจากข้อบกพร่องนั้นไม่สามารถจะซ่อมได้โดยการขัดยาภายในสายการตรวจสอบ ทำให้ต้องใช้วิธีการซ่อมด้วยสีแห้งช้าทั้งแบบซ่อมเฉพาะจุด (Dot Repair) และแบบซ่อมขนาดใหญ่ (Spot Repair) ที่จุดซ่อมสีอบแห้งช้า และไปซ่อมโดยการขัดซ่อมทั้งคันเพื่อพ่นสีใหม่ (Repaint) ที่จุดขัดซ่อมทั้งคันนั้นคือ เส้นใย สีเป็นคราบ สีเป็นรอยขีด เม็ดผง และสีไหล ซึ่งข้อบกพร่องทั้งห้านั้นทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมช่วงเดือน มกราคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2552 เท่ากับ 2,080,445 บาท หรือคิดเป็นเฉลี่ยต่อเดือนคือ 346,740 บาทต่อเดือน โดยมีเป้าหมายในการลดกรณีที่ไม่ต้องลงทุนสูง และสามารถทำได้ภายในระยะเวลาในการทำงานวิจัยนี้อยู่ที่ 40% ของทั้งจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน และค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน

บทที่ 4
การวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา

ระยะการและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหานั้นเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ได้ทำการนิยามปัญหามาแล้ว โดยอาศัยเครื่องมือทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดปัญหา ในระยะนี้เริ่มจากการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งการวัดที่ขาดทักษะความชำนาญ และองค์ประกอบต่าง ๆ นั้นเป็นสาเหตุให้เกิดความผันแปรขึ้นในระบบการวัดทำให้ผลที่ได้ออกมาไม่มีความถูกต้อง ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้ จึงต้องทำการวิเคราะห์ทดสอบ แล้วปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ได้ผลที่ออกมาอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จากนั้นจึงทำการระดมสมองเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) เพื่อกำหนดปัจจัยนำเข้าหลักที่อาจมีผล (KPIV หรือ Key Process Input Variable)

4.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด

ในงานวิจัยนี้ตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาเป็นตัวแปรที่มีลักษณะเชิงคุณลักษณะ (Attribute Characteristic) คือ ผ่าน หรือ ไม่ผ่าน ยอมรับ หรือ ปฏิเสธ ซึ่งเป็นข้อมูลประเภทการนับ หรือข้อมูลที่มีการประเมินแบบคุณลักษณะ (Attribute Data) โดยประเมินผลเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ จึงทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ ซึ่งจะทำทั้งการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่

4.1.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด

1) ทำการคัดเลือกผู้ชำนาญการซึ่งได้รับการยอมรับจากภายในองค์กรและลูกค้าว่ามีความสามารถในการแยกแยะ และตัดสินว่าข้อบกพร่องที่พบเป็นข้อบกพร่องตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการตรวจสอบหรือไม่ ซึ่งในที่นี้คือพนักงานตรวจสอบคุณภาพสีจากส่วนกลางที่มีหน้าที่หลักคือการตรวจสอบคุณภาพสีที่มาจากผู้ผลิตสี และผู้ทำการอบรมพนักงานตรวจสอบสีใหม่ในสายการผลิต มาทำการตรวจสอบตัวถังรถยนต์พ่นสี ที่ถูกคัดเลือกมาในสายการผลิต จำนวน 3 คัน เพื่อเป็นกลุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบ

ตารางที่ 4.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างแนะนำโดย Fasser and Brettner (1992, p.204)

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

2) การคัดเลือกตัวอย่าง 3 คัน จะต้องรถคันที่มีสีเดียวกันทั้งหมด โดยจะต้องเป็นรถที่มีทั้งข้อบกพร่องที่ผ่านมาตรฐาน และไม่ผ่านมาตรฐานการตรวจสอบสี

3) ทำการสุ่มผู้ชำนาญการมาทำการตรวจสอบรถที่คัดเลือกมาทั้ง 3 คัน แล้วบันทึกผลการตรวจสอบเก็บไว้ว่าพบข้อบกพร่องประเภทใด และตำแหน่งใด

4) ทำการสุ่มเรียกพนักงานที่มีหน้าที่ตรวจสอบในสายการตรวจสอบที่มีอยู่ 8 คนมาทำการตรวจสอบรถ โดยจะทำการสุ่มเรียกขึ้นมาตรวจสอบทีละคนจนครบ

5) ในช่วงเช้าทำการทดลองโดยให้พนักงานตรวจสอบรถทีละคน ทำการตรวจสอบหาข้อบกพร่องของรถแต่ละคันแบบสุ่มลำดับ แล้วให้ผู้ชำนาญการทำการบันทึกข้อบกพร่องที่พนักงานตรวจสอบพบลงในแบบฟอร์มการตรวจสอบข้อบกพร่องจนครบ 3 คัน

6) ทำการวนรถในสายการตรวจสอบเพื่อให้รถมีการสลับตำแหน่งกัน

7) ในช่วงบ่ายทำการทดลองโดยให้พนักงานตรวจสอบรถทีละคน ทำการตรวจสอบหาข้อบกพร่องของรถแต่ละคันแบบสุ่มลำดับ แล้วให้ผู้ชำนาญการทำการบันทึกข้อบกพร่องที่พนักงานตรวจสอบพบลงในแบบฟอร์มการตรวจสอบข้อบกพร่องจนครบ 3 คัน อีกครั้ง

8) เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปบันทึกลงในแบบฟอร์มเพื่อทำการประเมินผลของการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดโดยในแต่ละเกณฑ์จะต้องได้ % ไม่ต่ำกว่า 85% ในการประเมินผลซึ่งประกอบไปด้วย

- % ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ (% appraiser score)

- % ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (% attribute score)

- % ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (% screen effective score)

- % ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ (% attribute screen effective score)

4.1.2 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด

เกณฑ์ที่ใช้ประเมินในการวิเคราะห์ระบบการวัดจะใช้เกณฑ์การยอมรับของโรงงานในปัจจุบัน ซึ่งมีการประเมินอยู่แล้ว แต่อาจจะมีรายละเอียดของการประเมินที่แตกต่างกัน โดยเกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด

	เกณฑ์การยอมรับ
% ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ (% appraiser score)	85%
% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (% attribute score)	85%
% ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (% screen effective score)	85%
% ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ (% attribute screen effective score)	85%

ผลการตรวจสอบของพนักงานทั้ง 8 คนแสดงดังตารางที่ 4.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด

คันที่	ตัวอย่างที่	ชนิดข้อบกพร่อง	พนักงานตรวจสอบคนที่ 1		พนักงานตรวจสอบคนที่ 2		พนักงานตรวจสอบคนที่3		พนักงานตรวจสอบคนที่ 4		พนักงานตรวจสอบคนที่ 5		พนักงานตรวจสอบคนที่ 6		พนักงานตรวจสอบคนที่ 7		พนักงานตรวจสอบคนที่ 8		ตรวจสอบได้เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน	ตรวจพบข้อบกพร่องได้ถูกต้องทุกคน
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
1	1	เส้นใย	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	2	สีเป็นคราบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	3	เส้นใย	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	4	เม็ดผง	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	5	เม็ดผง	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	6	เม็ดผง	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	7	เม็ดพื้น	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	8	เม็ดสี	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	9	เม็ดสี	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	Y	N
	10	เม็ดสี	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	11	เม็ดสี	พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	พบ	ไม่พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	N	N
	12	เม็ดผง	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	13	เม็ดผง	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
2	14	เม็ดผง	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	15	เม็ดผง	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	16	เส้นใย	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	17	เม็ดสี	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	18	เม็ดสี	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	19	เม็ดสี	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	20	สีเป็นหลุม	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	21	สีไหล	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	22	เม็ดผง	พบ	พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	พบ	N	N
	23	เม็ดสี	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	N	N
	24	เม็ดสี	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	25	สีเป็นรอยขีด	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y

ลำดับที่	ตัวอย่างที่	ชนิดข้อบกพร่อง	พนักงานตรวจสอบคนที่ 1		พนักงานตรวจสอบคนที่ 2		พนักงานตรวจสอบคนที่3		พนักงานตรวจสอบคนที่ 4		พนักงานตรวจสอบคนที่ 5		พนักงานตรวจสอบคนที่ 6		พนักงานตรวจสอบคนที่ 7		พนักงานตรวจสอบคนที่ 8		ตรวจสอบได้เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน	ตรวจพบข้อบกพร่องได้ถูกต้องทุกคน
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
2	26	เม็ดผง	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	27	เม็ดพื้น	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	28	เม็ดสี	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
3	29	เม็ดผง	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	30	เม็ดผง	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	31	เม็ดสี	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	32	เม็ดสี	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	33	เม็ดสี	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	34	เม็ดสี	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	35	เม็ดผง	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	36	เม็ดสี	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	37	เส้นใย	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	Y	Y
	38	สีเป็นคราบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	N	N

พบ หมายถึง การตรวจสอบพบข้อบกพร่องของพนักงานตรวจสอบ

ไม่พบ หมายถึง การตรวจสอบไม่พบข้อบกพร่องของพนักงานตรวจสอบ

Y หมายถึง การตรวจสอบที่พบข้อบกพร่องเดิมซ้ำ หรือตรวจสอบพบได้อย่างถูกต้อง

N หมายถึง การตรวจสอบที่ไม่พบข้อบกพร่องเดิมซ้ำ หรือตรวจสอบไม่ถูกต้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการที่ 2.4 ถึง 2.7 เราสามารถคำนวณเกณฑ์การยอมรับทั้ง 4 ดัชนี ได้ดังนี้

ประเมินผล % รีพิททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน ได้โดยนำข้อมูลผลการตรวจสอบได้เหมือนกันของพนักงานแต่ละคนมาประเมินดังนี้

% รีพิททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 1 = $\frac{37}{38}\times 100\%$ = 97%

% รีพิททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 2 = $\frac{37}{38}\times 100\%$ = 97%

% รีพิททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 3 = $\frac{37}{38}\times 100\%$ = 97%

% รีพิททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 4 = $\frac{37}{38}\times 100\%$ = 97%

% รีพิททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 5 = $\frac{38}{38}\times 100\%$ = 100%

% รีพิททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 6 = $\frac{37}{38}\times 100\%$ = 97%

% รีพิททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 7 = $\frac{37}{38}\times 100\%$ = 97%

% รีพิททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 8 = $\frac{36}{38}\times 100\%$ = 94%

ประเมินผล % ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน ได้โดยนำข้อมูลผลการตรวจสอบที่ได้ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้องตามคุณภาพงานที่แท้จริงของพนักงานแต่ละคนมาประเมินดังนี้

% ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 1 = $\frac{34}{38}\times 100\%$ = 89%

% ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 2 = $\frac{35}{38}\times 100\%$ = 89%

% ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 3 = $\frac{35}{38}\times 100\%$ = 89%

% ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 4 = $\frac{36}{38}\times 100\%$ = 94%

% ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 5 = $\frac{35}{38}\times 100\%$ = 89%

% ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 6 = $\frac{34}{38}\times 100\%$ = 89%

% ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 7 = $\frac{35}{38}\times 100\%$ = 89%

% ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 8 = $\frac{34}{38}\times 100\%$ = 89%

จากนั้นจึงมาประเมินด้านความมีประสิทธิผลของระบบการตรวจสอบโดยรวมทั้ง % ประสิทธิผลด้านรีพิททะบิลิตี้ของการตรวจสอบว่าพนักงานตรวจสอบทุกคนตรวจได้ซ้ำและ

เหมือนกัน (โดยไม่คำนึงถึงคุณภาพงานที่แท้จริง) และประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบโดยพิจารณาว่าที่ตรวจสอบได้ซ้ำและเหมือนกันมีความถูกต้องหรือไม่

%ประสิทธิผลด้านรีพิททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ = $\frac{34}{38}\times 100\%$ = 89%

%ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ = $\frac{33}{38}\times 100\%$ = 86%

4.2 การประเมินความสามารถของกระบวนการ

การศึกษาความสามารถของกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ สามารถศึกษาได้จากจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลโดยใช้วิธีการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่มีการกระจายตัวแบบปัวซอง ที่มีนิยามถึงจำนวนความสำเร็จ ข้อบกพร่องเฉลี่ย ที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร (Gerald van Belle, 2002)

$$n = \frac{4}{(\sqrt{\theta_0} - \sqrt{\theta_1})^2} \qquad (1)$$

โดยที่ θ_0 และ θ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของโอกาสที่จะพบข้อบกพร่อง ของข้อมูลชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2

- ข้อมูลชุดที่ 1(ข้อมูลในปัจจุบันหรือก่อนการปรับปรุง)

ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 330 คัน ได้จำนวนข้อบกพร่องที่เลือกจะแก้ไข 130 ข้อบกพร่อง ดังนั้นโอกาสในการพบข้อบกพร่อง เท่ากับ 0.40 โดยมีรายละเอียดข้อบกพร่องดังตารางที่ 4.3 คือ

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลชนิดของข้อบกพร่องที่พบซึ่งใช้ในการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่าง

ชนิดข้อบกพร่อง	จำนวน
FIBER (เส้นใย)	52
DUST DIRST (เม็ดผง)	22
SURFACER DUST (เม็ดพื้น)	13
INSECT (แมลง)	6
CRATER (หลุม)	21
COLOR DROP (สีหยด)	2
DENT (รอยบุบ)	4
CLEAR DROP (เคลียร์หยด)	3
SCRATCH (รอยขีด)	3
COLOR STAIN (สีเป็นคราบ)	12
SAGGING (สีไหล)	7
OTHER (อื่น ๆ)	7

- ข้อมูลชุดที่ 2(ข้อมูลหลังการปรับปรุง)

เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงได้ ดังนั้นจึงทำการประมาณจากการตั้งเป้าหมายการลดข้อบกพร่องไว้ที่ 40% ที่เป็นค่าเป้าหมายในกรณีที่ไม่ต้องลงทุนสูง และสามารถทำได้ภายในระยะเวลาในการทำงานวิจัยนี้ซึ่งจะทำให้หลังการปรับปรุงมีข้อบกพร่องเหลืออยู่ 60% ดังนั้นจึงนำค่าเป้าหมายมาใช้ในการคำนวณค่าประมาณข้อมูลหลังการปรับปรุงดังนี้

$$0.40 \times 60\% = 0.24$$

และเมื่อนำโอกาสการเกิดข้อบกพร่องที่ได้มาคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างได้เท่ากับ

$$= 4/ (\sqrt{0.40} - \sqrt{0.24})^2$$

$$= 196.82 \quad = 197 \text{ คัน}$$

แต่ในการเก็บข้อมูลจริงไม่ได้เก็บข้อมูลเท่ากับที่ได้คำนวณไว้ โดยได้ทำการเก็บข้อมูลตามจำนวนรถที่ผลิตจริงในวันที่ได้ทำการเก็บข้อมูลซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนทั้งหมด 364 คัน ได้ว่าจำนวนข้อบกพร่องที่เลือกจะทำการแก้ไข 135 ข้อบกพร่อง จากจำนวนข้อบกพร่องทั้งหมด 149 ข้อบกพร่อง ดังนั้นจะได้ว่าจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันคือ

$$\text{จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย} = \frac{\text{จำนวนข้อบกพร่องที่พบ}}{\text{จำนวนรถที่ตรวจสอบ (คัน)}} = \frac{135}{364}$$

$$= 0.371 = 0.37 \text{ ข้อบกพร่อง}$$

โดยรายละเอียดของข้อบกพร่องแต่ละชนิดที่ได้ทำการเก็บข้อมูลมาทั้ง 149 ข้อบกพร่อง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลชนิดของข้อบกพร่องที่พบในการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง

ชนิด	จำนวน
FIBER (เส้นใย)	55
DUST DIRST (เม็ดผง)	22
SURFACER DUST (เม็ดพื้น)	9
INSECT (แมลง)	3
CRATER (สีเป็นหลุม)	12
THINNER DROP (ทินเนอร์หยด)	2
DENT (รอยบุบ)	1
SCRATCH (สีเป็นรอยขีด)	13
COLOR STAIN (สีเป็นคราบ)	18
SAGGING (สีไหล)	6
OTHER (อื่น ๆ)	8

โดยหากคิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉพาะข้อบกพร่องที่เลือกจะแก้ไขนั้นสามารถคำนวณและแบ่งชนิดข้อบกพร่องตามวิธีที่ใช้ซ่อมได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉพาะข้อบกพร่องที่เลือกจะแก้ไขแบ่งชนิดตามวิธีที่ใช้ซ่อม

	ซ่อมสีแห้งช้าเฉพาะจุด	**ซ่อมสีแห้งช้าขนาดใหญ่**	**ขัดซ่อมสีใหม่ทั้งคัน**	**รวม**
เส้นใย	45	8	2	55
สีเป็นคราบ	12	5	1	18
สีเป็นรอยขีด	9	4	0	13
เม็ดผง	21	1	0	22
สีไหล	4	3	1	6
เม็ดพื้น	7	2	0	9
สีเป็นหลุม	10	2	0	12
รวม	108	25	4	135

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องเฉพาะข้อบกพร่องที่เลือกทำการแก้ไขแบ่งตามชนิดการซ่อมได้ดังนี้

1) การซ่อมสีแห้งช้าเฉพาะจุด พบ 108 ข้อบกพร่อง

คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อมเท่ากับ

= 192.5 x 108 = 20,790 บาท

2) การซ่อมสีแห้งช้าขนาดใหญ่ พบ 25 ข้อบกพร่อง

= 345 x 25 = 8,625 บาท

3) การขัดซ่อมทั้งคันเพื่อพ่นใหม่ พบ 4 ข้อบกพร่อง

= 2585 x 4 = 10,340 บาท

เมื่อรวมค่าใช้จ่ายในการซ่อมทั้งหมด แล้วนำมาเฉลี่ยด้วยจำนวนรถที่ตรวจสอบจะได้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉลี่ยต่อรถ 1 คันคือ

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉลี่ย} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่อง (บาท)}}{\text{จำนวนรถที่ตรวจสอบ (คัน)}}$$

$$= \frac{12127.5 + 19665 + 38775 \text{ (บาท)}}{364 \text{ (คัน)}}$$

= 87.89 บาท = 88 บาท

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องนอกสายการผลิตโดยเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณด้วยจำนวน 364 คันคือ 88 บาทต่อคัน

4.3 **การระดมสมอง** (Brainstorming) **เพื่อหาปัจจัยนำเข้า** (Key Process Input Variable)

ในขั้นตอนนี้เป็นการรวบรวมความคิดของทีมงานซึ่งประกอบไปด้วย วิศวกรด้านกระบวนการสีรวมผู้จัดทำงานวิจัย 4 คน วิศวกรด้านตรวจสอบคุณภาพงานสี 1 คน และหัวหน้าคนงานทั่วไป 5 คน รวมทั้งหมด 10คน โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ในการระดมสมองเพื่อกำหนดปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องหลักทั้ง 7 ชนิดดังนี้

- จัดทำแผนภาพก้างปลาหรือแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เพื่อระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดข้อบกพร่องหลักทั้ง 7 ชนิด โดยในการ

จัดทำจะเปิดโอกาสให้ทีมงานทุกคนได้เสนอความคิดเห็นอย่างเท่าเทียมและเป็นอิสระต่อกันในทุกปัจจัย แล้วจึงรวบรวมและแยกประเด็นต่าง ๆ มาจัดทำแผนภาพ

- นำปัจจัยทั้งหมดที่พิจารณาโดยทีมงานแล้วมาใช้การให้คะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญ ซึ่งใช้หลักการของตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ที่จะต้องมีการเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยจากคะแนนที่ได้รวบรวมมาเพื่อทำการตัดปัจจัยที่คาดว่ามีโอกาสส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องหลักทั้ง 7 ที่มีคะแนนน้อยออกไป

- จากนั้นนำปัจจัยที่เหลือซึ่งคาดว่าส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องสูงมาทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis) โดยใช้การระดมสมองจากทีมงานในหัวข้อโอกาสที่จะเกิด (Occurrence Score : O) ความรุนแรงของการส่งผลกระทบ (Severity Score : S) และการพิจารณาระบบตรวจจับ (Detection Score : D)

4.3.1 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องจากแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนภาพสาเหตุและผล หรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุต่าง ๆ ของการเกิดข้อบกพร่องหลัก 7 ชนิด ซึ่งจะทำการวิเคราะห์โดยแบ่งหัวข้อหลักออกเป็น 6 กลุ่มคือ

- สาเหตุที่เกิดจากบุคคลหรือพนักงาน (Man)
- สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine)
- สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material)
- สาเหตุจากวิธีการทำงาน (Method)
- สาเหตุจากกระบวนการวัด (Measurement)
- สาเหตุจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment)

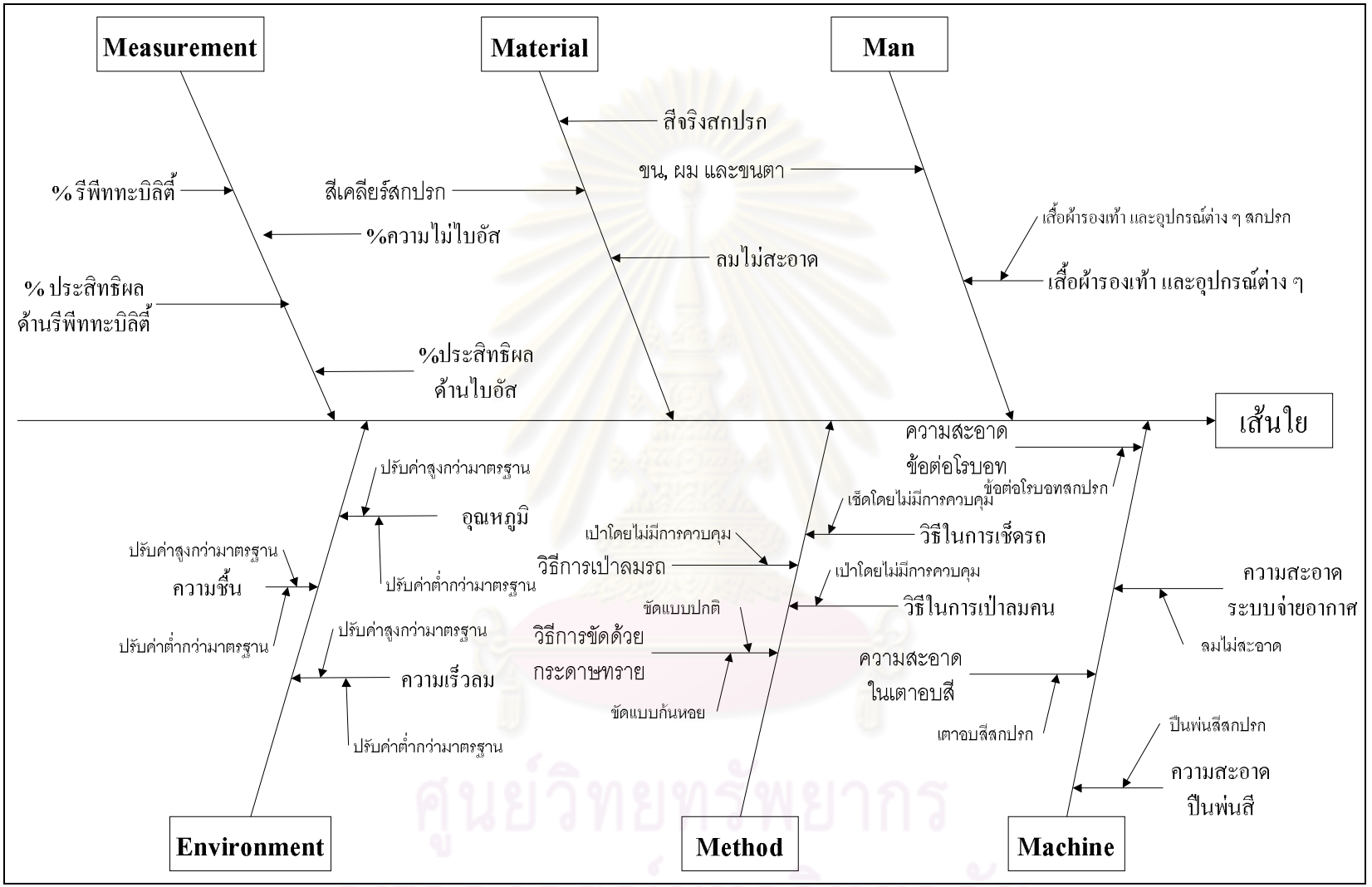
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยวิธีที่ใช้ในการค้นหาสาเหตุของข้อบกพร่องที่มีโอกาสเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดข้อบกพร่องขึ้น ซึ่งการระดมสมองของทีมงานมีวิธีการดังนี้

1) ทำการศึกษากระบวนการและขั้นตอนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยละเอียด โดยศึกษาข้อมูลของฝ่ายพ่นสีตัวถังและทำการเก็บข้อมูลที่หน้างานจริง เพื่อให้สามารถเข้าใจและชี้บ่งปัจจัยต่างๆ ที่มีโอกาสก่อให้เกิดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ได้

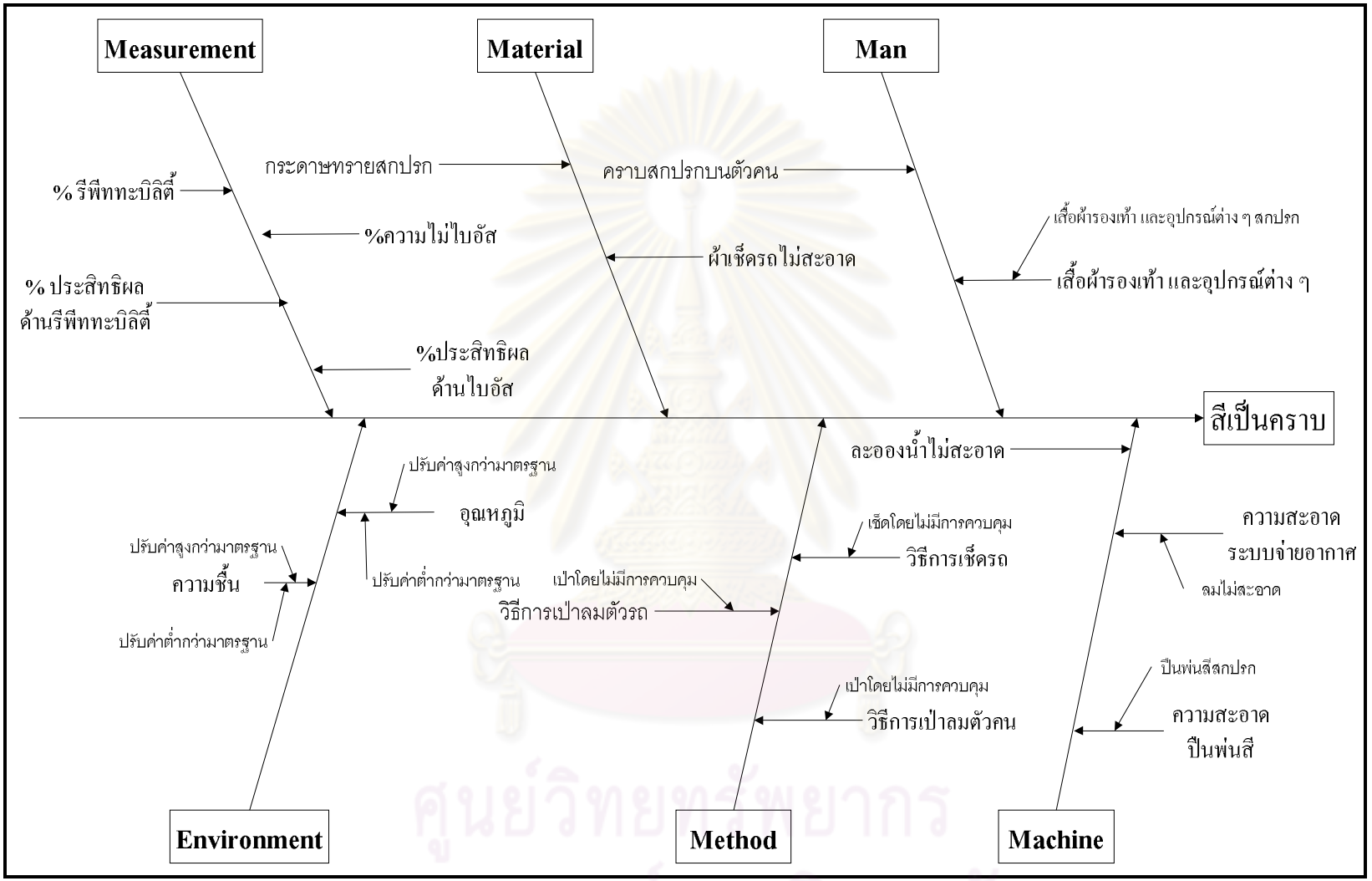
2) รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดและเรียกประชุมทีมงานเพื่อชี้บ่งปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่มีโอกาสก่อให้เกิดข้อบกพร่องขึ้นที่ตัวถังรถยนต์ โดยประยุกต์ใช้หลักการของแผนภาพสาเหตุและผล ซึ่งปัจจัยที่เป็นไปได้ในแต่ละข้อบกพร่องแสดงได้ดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



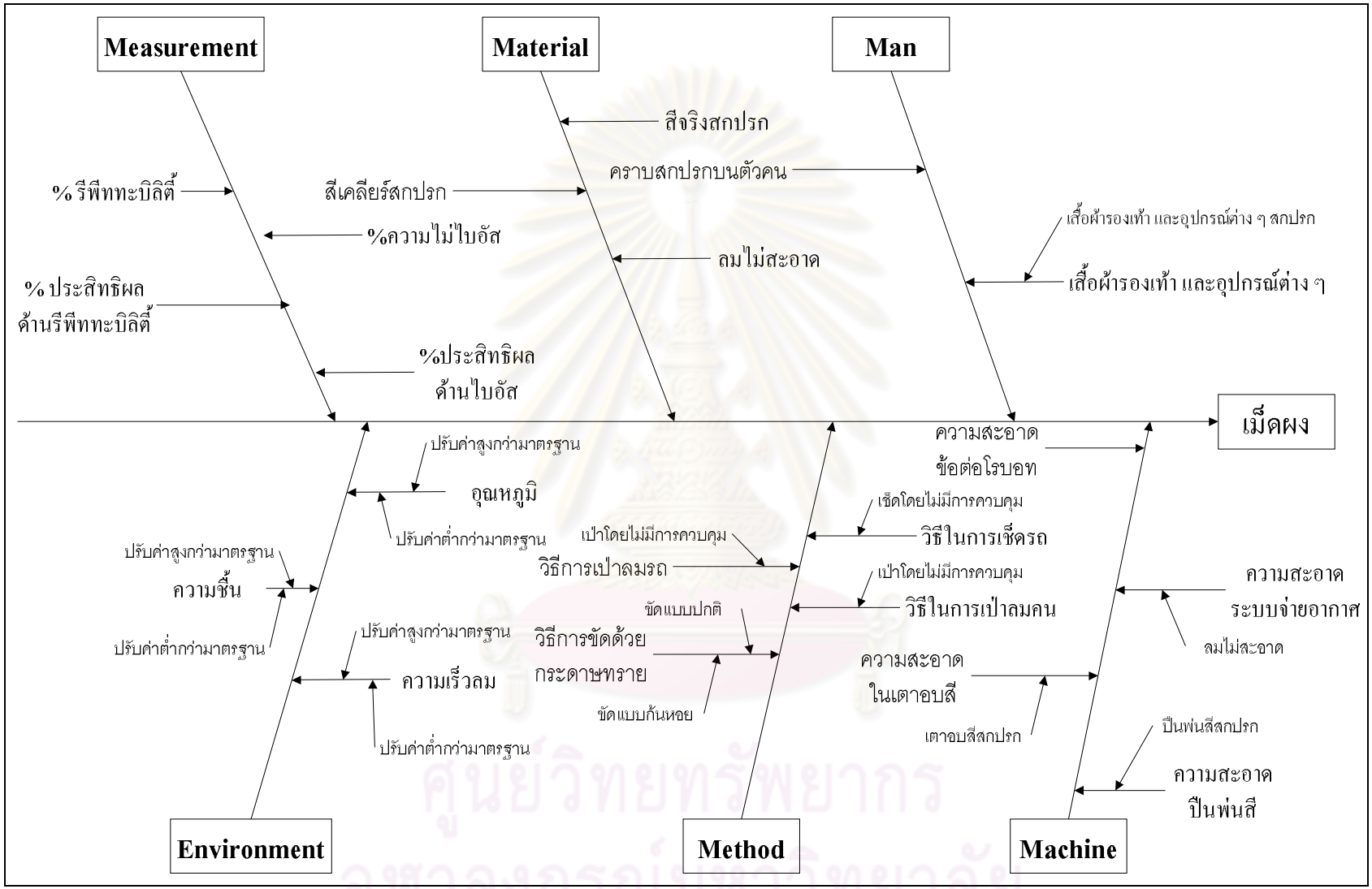
รูปที่ 4.1 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องเส้นใย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



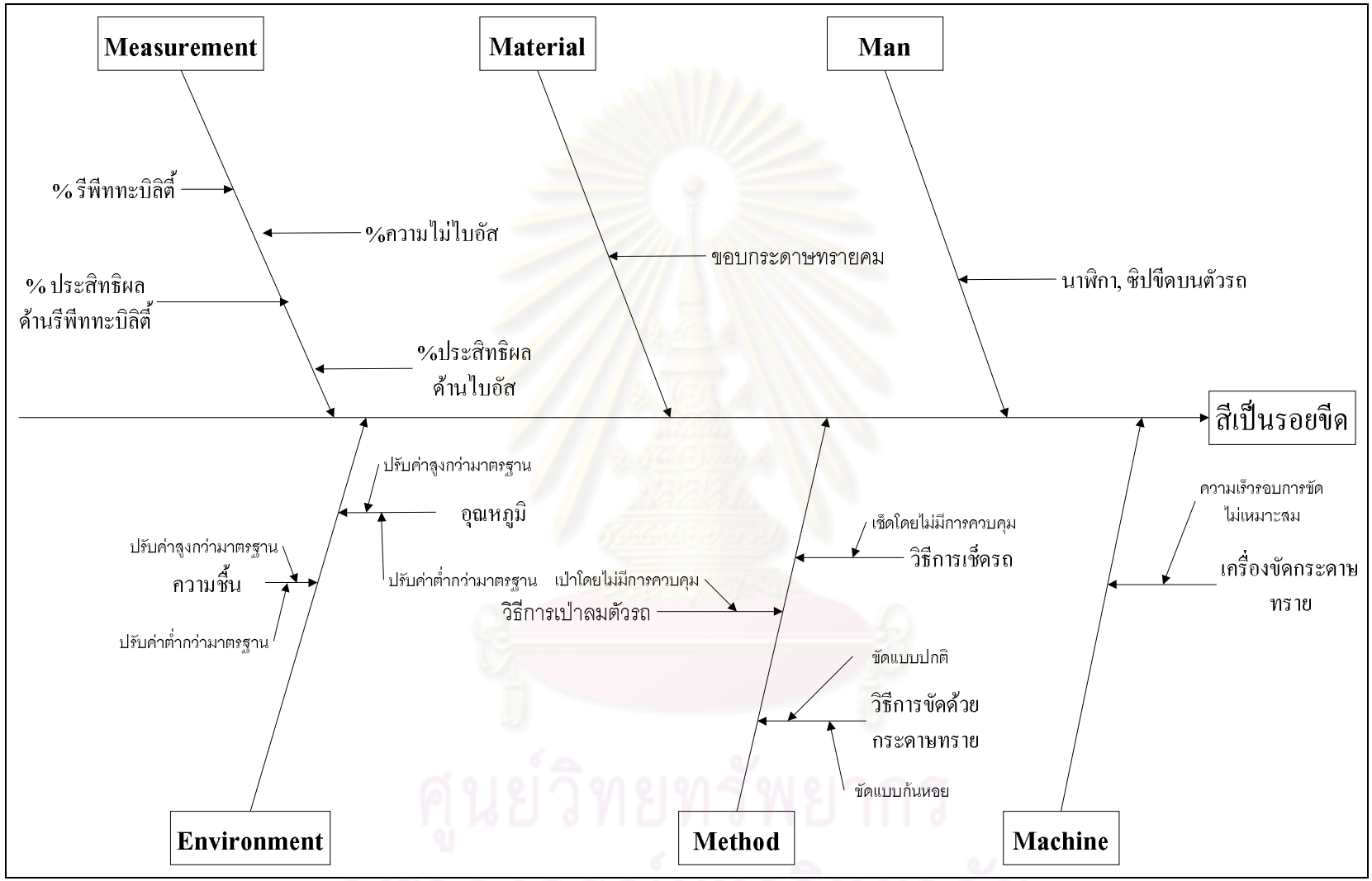
รูปที่ 4.2 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องสีเป็นคราบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



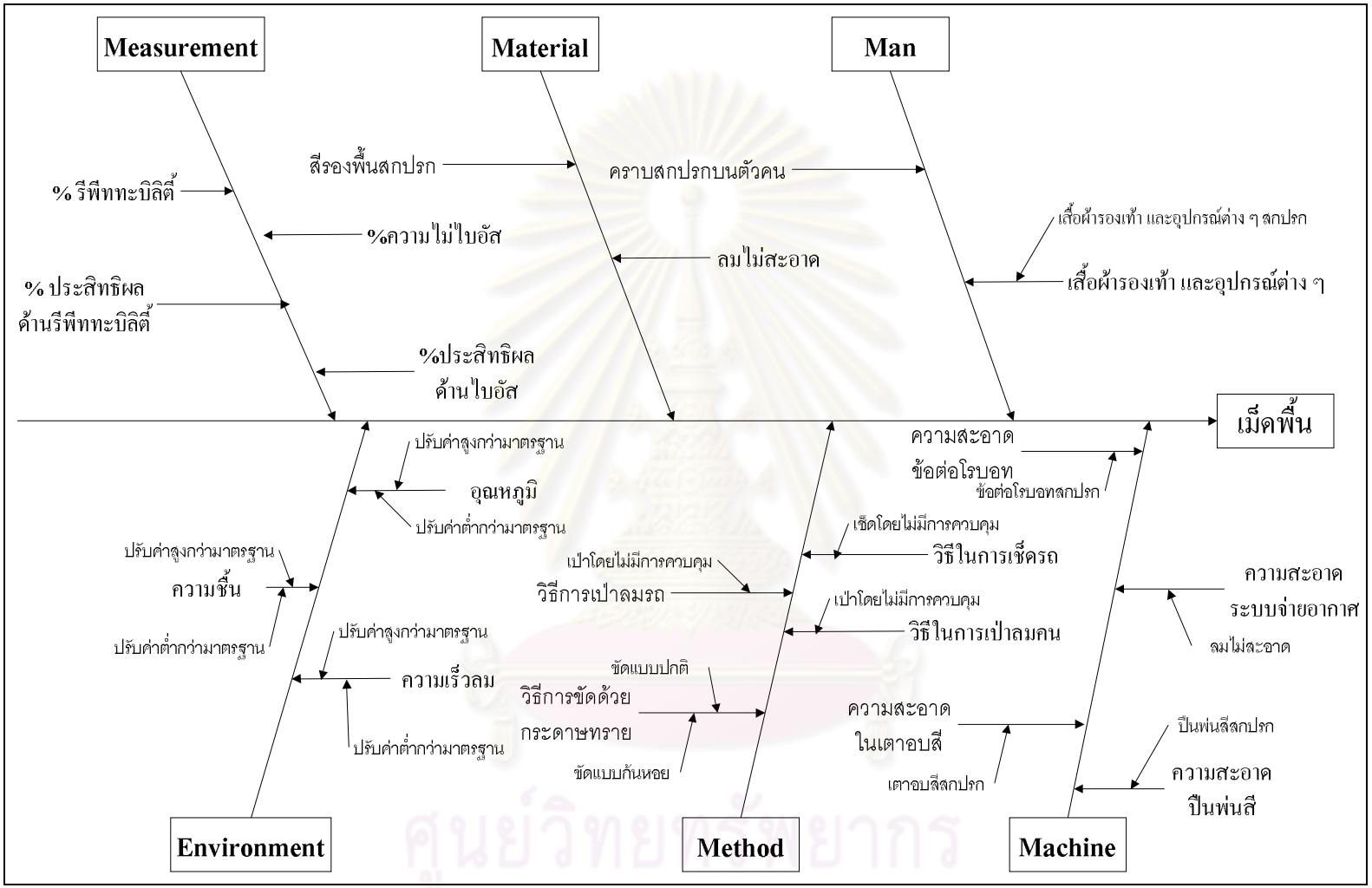
รูปที่ 4.3 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องเม็ดผง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



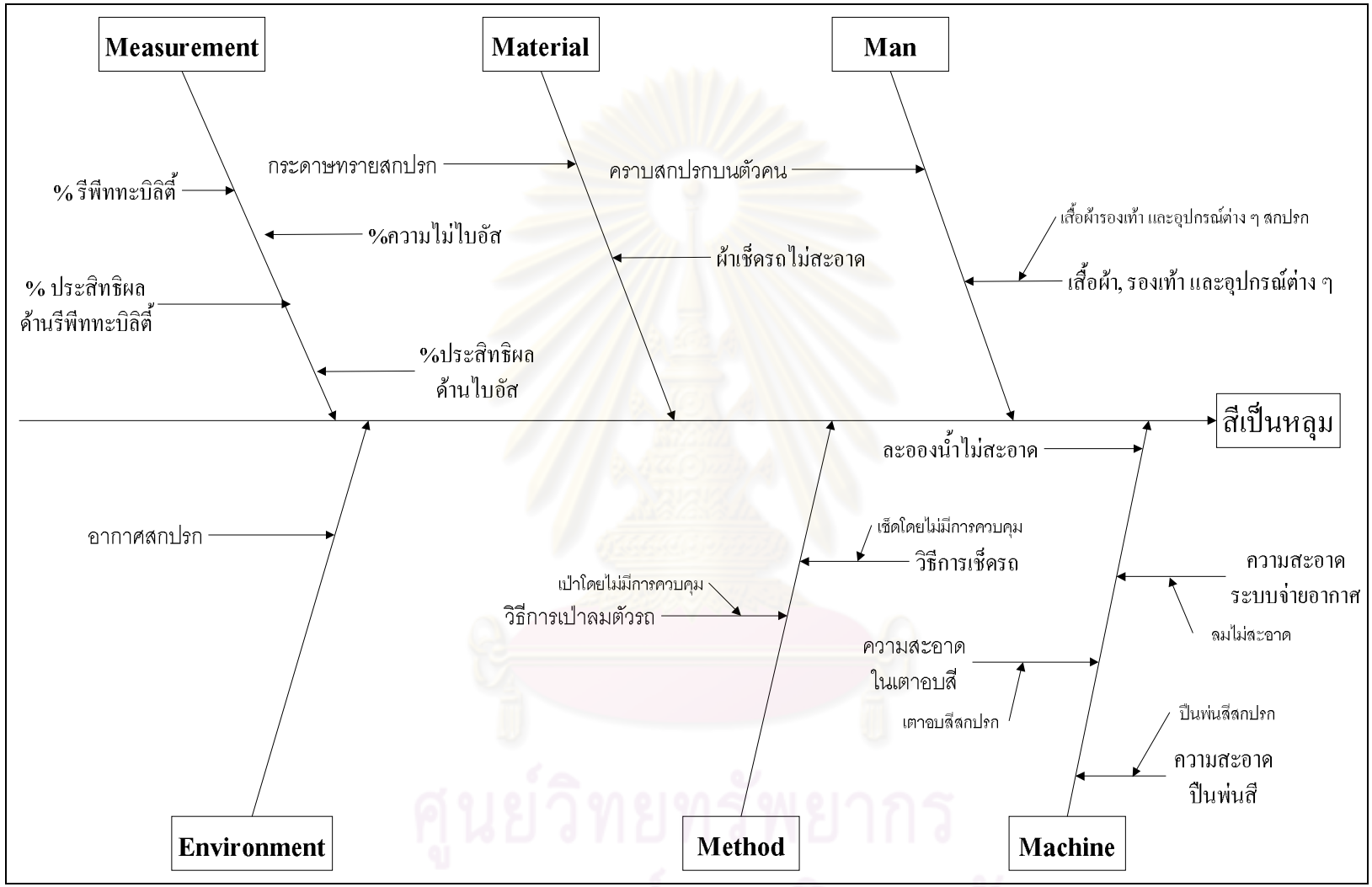
รูปที่ 4.4 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องสีเป็นรอยขีด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



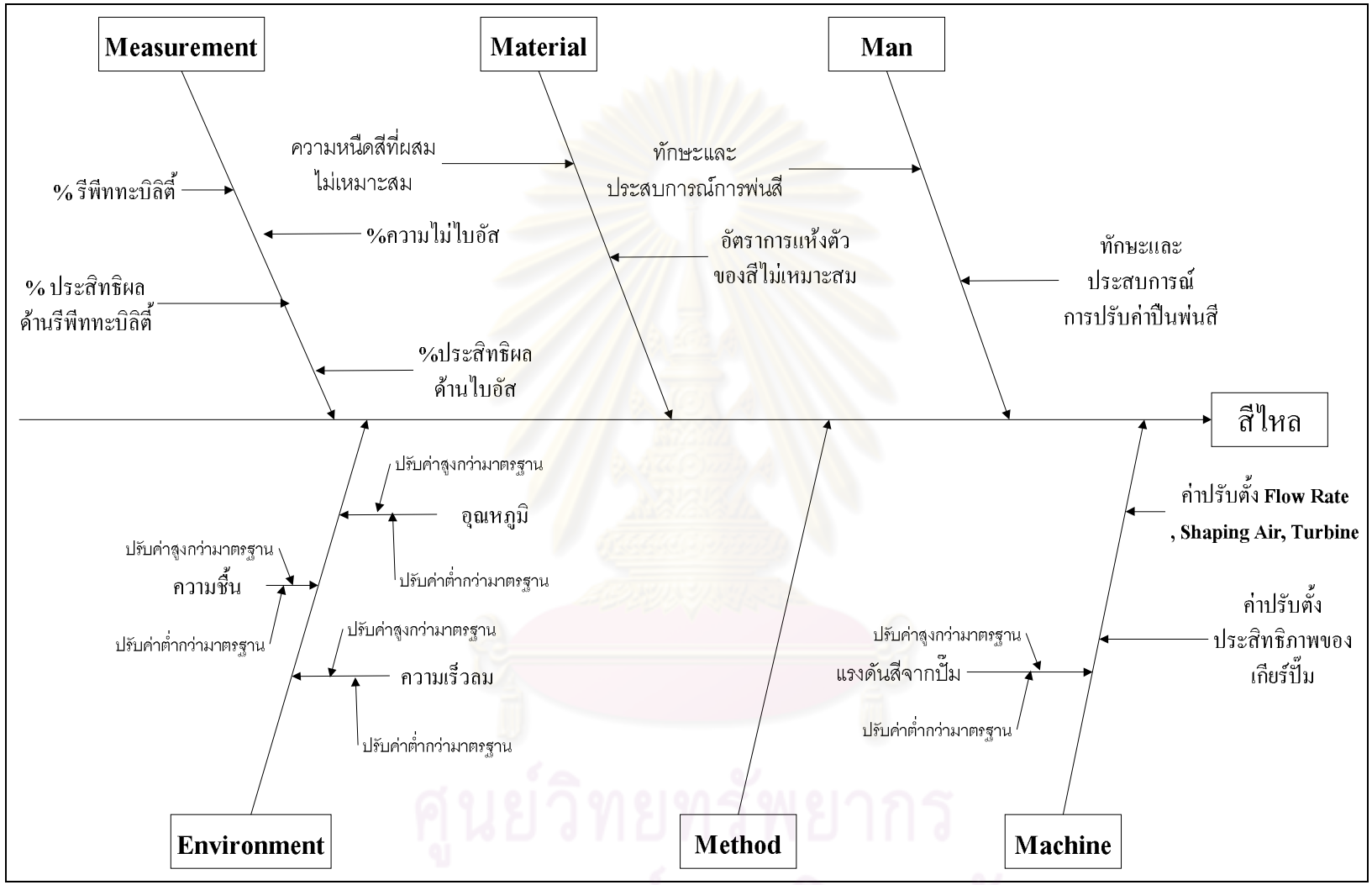
รูปที่ 4.5 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องเม็ดพื้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องสีเป็นหลุม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องสีไหล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 **การวิเคราะห์ปัญหาจากตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล** (Cause and Effect Matrix)

หลังจากการระดมสมองของทีมงานทำให้ได้ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องที่เราเลือกมาแก้ไขทั้ง 7 ชนิดแล้ว จากนั้นทำการกำหนดปัจจัยนำเข้าที่น่าจะมีผล หรือ KPIV โดยการนำปัจจัยทั้งหมดมาใช้การให้คะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญที่ใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล หรือ Cause and Effect Matrix ซึ่งมีการให้ความสำคัญกับข้อบกพร่องทั้ง 7 ชนิดโดยคิดจากปัจจัย 2 ปัจจัยคือ ความถี่ในการเกิดและผลกระทบเนื่องจากการนำออกไปซ่อมนอกสายการผลิต ซึ่งได้กำหนดเกณฑ์การให้ความสำคัญตามหัวข้อดังนี้

ความถี่ (อ้างอิงข้อมูลจากจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคม 2552 – มิถุนายน 2552)

มีความถี่ในการเกิดข้อบกพร่องมากเป็นอันดับที่ 1 มีค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญ 5 คะแนน

มีความถี่ในการเกิดข้อบกพร่องมากเป็นอันดับที่ 2 มีค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญ 4 คะแนน

มีความถี่ในการเกิดข้อบกพร่องมากเป็นอันดับที่ 3 มีค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญ 3 คะแนน

มีความถี่ในการเกิดข้อบกพร่องมากเป็นอันดับที่ 4 มีค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญ 2 คะแนน

มีความถี่ในการเกิดข้อบกพร่องตั้งแต่อันดับที่ 5 ไปมีค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญ 1 คะแนน

ผลกระทบเนื่องจากการนำออกไปซ่อมนอกสายการผลิต (อ้างอิงข้อมูลจากค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องเดือนมกราคม 2552 – มิถุนายน 2552)

มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องมากเป็นอันดับที่ 1 มีค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญ 5 คะแนน

มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องมากเป็นอันดับที่ 2 มีค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญ 4 คะแนน

มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องมากเป็นอันดับที่ 3 มีค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญ 3 คะแนน

มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องมากเป็นอันดับที่ 4 มีค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญ 2 คะแนน

มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องตั้งแต่อันดับที่ 5 ไปมีค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญ 1 คะแนน

ดังนั้นเมื่อรวมคะแนนจาก 2 หัวข้อ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 คะแนนความสำคัญที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนักของข้อบกพร่องแต่ละชนิด (อ้างอิงข้อมูลในเดือนมกราคม 2552 – มิถุนายน 2552 โดยมีจำนวนสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 34,447 คัน)

	คะแนนความสำคัญที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนัก						
	คะแนนของจำนวนข้อบกพร่อง			คะแนนของค่าใช้จ่ายในการซ่อม			รวม
	จำนวนข้อบกพร่อง	อันดับ	คะแนน	ค่าใช้จ่ายในการซ่อม	อันดับ	คะแนน	
เส้นใย	2,381	1	5	612,225	1	5	10
เม็ดผง	1,291	2	4	331,255	4	2	6
สีเป็นคราบ	412	5	1	545,543	2	4	5
สีเป็นรอยขีด	284	6	1	335,665	3	3	4
สีไหล	173	7	1	255,758	5	1	2
เม็ดพื้น	530	3	3	142,365	6	1	4
สีเป็นหลุม	464	4	2	72,610	8	1	3

ทำการให้คะแนนประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลมาใส่ในตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) โดยมีการกำหนดคะแนนระดับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล ที่ได้อ้างอิงจากเกณฑ์การกำหนดคะแนนของตารางแสดงระดับความสัมพันธ์ใน 7 New QC Tools ที่พัฒนาโดยองค์กร JUSE ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล

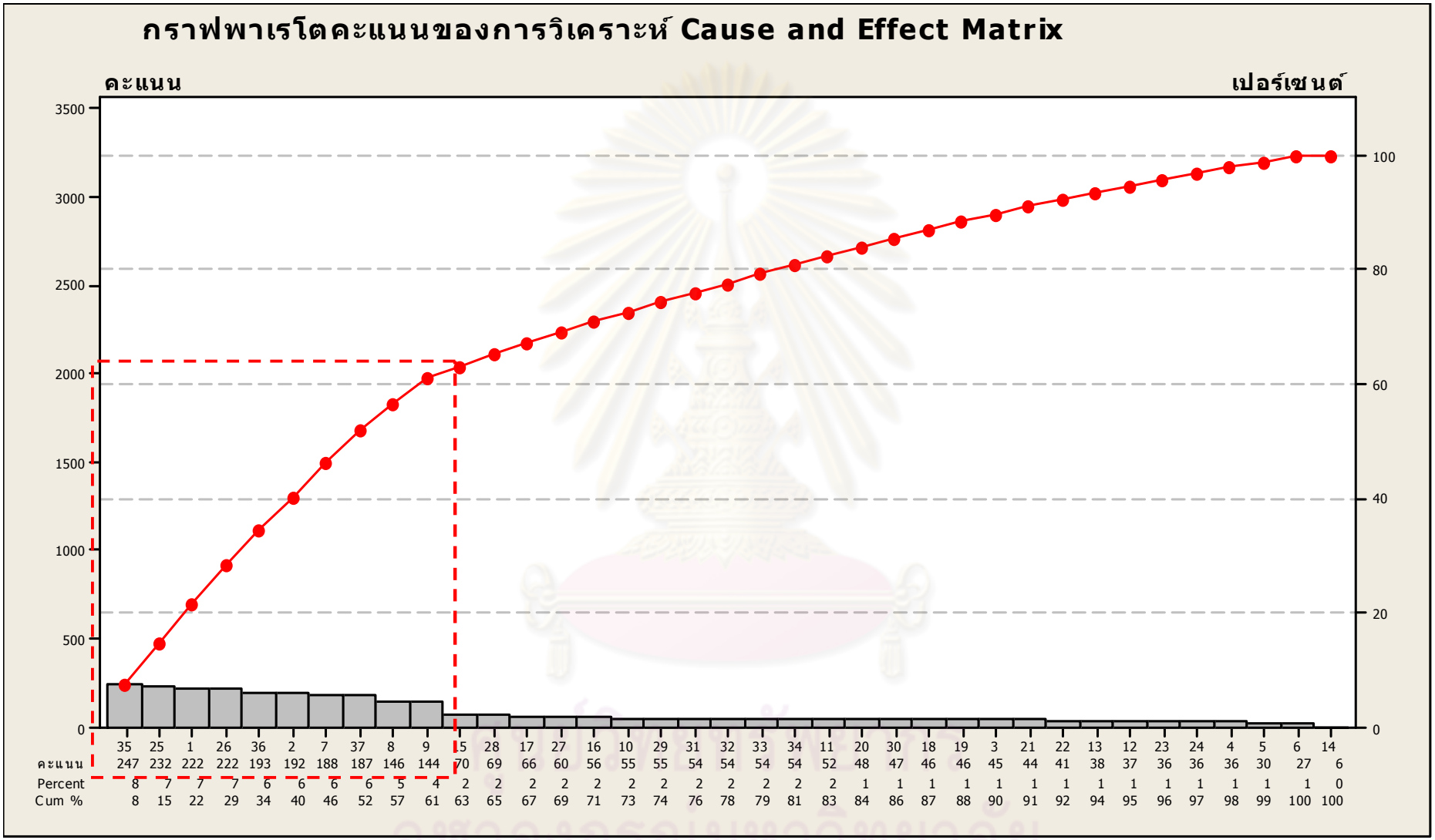
ระดับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล	คะแนน
1. ระดับสูง คือเป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงและมีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องมากๆ	9
2. ระดับปานกลาง คือเป็นปัจจัยที่มีผลปานกลางและมีความสัมพันธ์กับการเกิดข้อบกพร่องนั้น ๆ แต่ไม่มาก	3
3. ระดับต่ำ คือเป็นปัจจัยที่มีผลน้อยและมีความสัมพันธ์กับการเกิดข้อบกพร่องแบบนั้นน้อย	1
4. ระดับต่ำมาก คือไม่มีความสัมพันธ์และส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องแบบนั้น ๆ น้อยมาก	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ให้ทีมงานทำการลงคะแนนความสัมพันธ์ ที่อ้างอิงเกณฑ์ตามตารางที่ 4.8 ซึ่งต้องนำไปคูณกับคะแนนความสำคัญที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนักของแต่ละข้อบกพร่อง แล้วจึงรวมคะแนนของแต่ละปัจจัยในทุกข้อบกพร่องดังตารางที่ 4.9 หลังจากนั้นนำคะแนนที่ได้มาเรียงลำดับจากมากไปน้อยเพื่อที่จะทำการตัดปัจจัยที่มีคะแนนน้อยอย่างเห็นได้ชัดออกไปดังแสดงในรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.9 การทำ Cause and Effect Matrix

ลำดับที่	Area Cause (5M1E)	ปัจจัยนำเข้า	ชนิดของข้อบกพร่องและค่าถ่วงน้ำหนัก							
			เส้นใย	สีเป็นคราบ	สีเป็นรอยขีด	เม็ดผง	สีไหล	เม็ดฟิ้น	สีเป็นหลุม	รวม
			10	5	4	6	2	4	3	
1	MAN	เสื้อผ้า, รองเท้า และอุปกรณ์ต่าง ๆ	9	9	3	9	0	3	3	222
2	MAN	คราบสกปรกบนตัวคน	9	9	0	3	0	3	9	192
3	MAN	ขน, ผม และขนตา	3	1	0	1	0	1	0	45
4	MAN	นาฬิกา, ชิปขีดบนตัวรถ	0	0	9	0	0	0	0	36
5	MAN	ทักษะและประสบการณ์การปรับค่าปืนพ่นสี	1	0	1	1	3	1	0	30
6	MAN	ทักษะและประสบการณ์การพ่นสี	0	1	1	0	9	0	0	27
7	MACHINE	ความสะอาดในเตาอบสี	9	1	0	9	0	3	9	188
8	MACHINE	ค่าปรับตั้งประสิทธิภาพเกียร์ปั๊ม	9	1	0	3	9	3	1	146
9	MACHINE	ความสะอาดข้อต่อโรบอท	9	0	0	9	0	0	0	144
10	MACHINE	ความสะอาดระบบจ่ายอากาศ	3	0	0	3	0	1	1	55
11	MACHINE	ความสะอาดปืนพ่นสี	3	0	0	3	0	1	0	52
12	MACHINE	เครื่องขัดกระดาษทราย	1	1	3	1	0	1	0	37
13	MACHINE	ประสิทธิภาพของเกียร์ปั๊ม	1	0	0	1	9	1	0	38
14	MACHINE	แรงดันสีจากปั๊ม	0	0	0	0	3	0	0	6
15	MATERIAL	ผ้าเช็ดรถไม่สะอาด	1	9	0	1	0	0	3	70
16	MATERIAL	สีเคลียร์สกปรก	3	1	0	3	0	0	1	56
17	MATERIAL	สีรองพื้นสกปรก	1	1	0	1	0	9	3	66
18	MATERIAL	ความหนืดสีที่ผสม	3	0	0	1	3	1	0	46
19	MATERIAL	อัตราการแห้งตัว	3	0	0	1	3	1	0	46
20	MATERIAL	กระดาษทรายสกปรก	1	3	1	1	0	1	3	48
21	MATERIAL	ละอองน้ำไม่สะอาด	1	3	0	1	0	1	3	44
22	MATERIAL	ลมไม่สะอาด	1	0	0	3	0	1	3	41
23	MATERIAL	สีจริงสกปรก	1	1	0	3	0	0	1	36
24	MATERIAL	ขอบกระดาษทรายคม	0	0	9	0	0	0	0	36
25	METHOD	วิธีในการเช็ดรถ	9	9	1	9	0	3	9	232
26	METHOD	วิธีเป่าลมรถ	9	9	3	9	0	3	3	222
27	METHOD	วิธีในการเป่าลมคน	3	1	0	3	0	1	1	60
28	METHOD	วิธีการขัดด้วยกระดาษทราย	1	1	9	1	0	3	0	69
29	METHOD	วิธีการปรับค่าปืนพ่นสี	1	1	1	3	9	0	0	55
30	METHOD	วิธีการพ่นสี	1	1	1	1	9	1	0	47
31	MEASUREMENT	% รีพีททะบิลดี้	1	1	1	3	1	3	1	54
32	MEASUREMENT	%ความไม่ไบอัส	1	1	1	3	1	3	1	54
33	MEASUREMENT	% ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลดี้	1	1	1	3	1	3	1	54
34	MEASUREMENT	% ประสิทธิผลด้านไบอัส	1	1	1	3	1	3	1	54
35	ENVIRONMENT	อุณหภูมิ	9	9	1	9	9	9	0	247
36	ENVIRONMENT	ความเร็วลม	9	3	1	9	9	3	0	193
37	ENVIRONMENT	ความชื้น	9	9	1	3	9	3	0	187



รูปที่ 4.8 แผนภูมิแท่งเรียงลำดับคะแนนของการวิเคราะห์ Cause and Effect Matrix

ดังนั้นสามารถสรุปสาเหตุหลักที่มีคะแนนมากกว่า 100 คะแนน และมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดจากปัจจัยอื่นที่เหลือ โดยแบ่งแยกออกมาได้ 10 สาเหตุคือ

ตารางที่ 4.10 ปัจจัยนำเข้า 10 ปัจจัยที่มีคะแนนสูงกว่า 100 คะแนน

ลำดับที่	5M 1E	สาเหตุ	คะแนน
1	ENVIRONMENT	อุณหภูมิ	247
2	METHOD	วิธีในการเช็ดรถ	232
3	MAN	เสื้อผ้า รองเท้า และอุปกรณ์ต่าง ๆ	222
4	METHOD	วิธีเป่าลมรถ	222
5	ENVIRONMENT	ความเร็วลม	193
6	MAN	คราบสกปรกบนตัวคน	192
7	MACHINE	ความสะอาดในเตาอบสี	188
8	ENVIRONMENT	ความชื้น	187
9	MACHINE	ค่าปรับตั้งประสิทธิภาพเกียร์ปั๊ม	146
10	MACHINE	ความสะอาดข้อต่อโรบอท	144

ซึ่งทั้ง 10 ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับผลตอบ (Response) คือจำนวนข้อบกพร่องหลักทั้ง 7 ข้อบกพร่อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- อุณหภูมิ

อุณหภูมิในห้องพ่นสีมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องคือ เนื่องจากสีเป็นสารที่ต้องมีตัวทำละลาย ดังนั้นการแห้งตัวของสีที่อุณหภูมิสูงจะแห้งตัวไวกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้หากเกิดอุณหภูมิสูงปัญหาละอองสีที่พ่นรวมตัวกันส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องเส้นใย เม็ดผง และเม็ดพื้น ขณะเดียวกันที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลกับพนักงานที่ทำงานในจุดต่าง ๆ เกิดเป็นเหงื่อไคลติดตามตัวรถทำให้เกิดปัญหาสีเป็นคราบอีกด้วย ในทางตรงกันข้ามที่อุณหภูมิต่ำสีจะมีการแห้งที่ช้ากว่าปกติส่งผลให้เกิดปัญหาสีไหลได้อีกเช่นกัน

ปัจจัยนี้ส่งผลต่อข้อบกพร่อง 5 ประเภทคือ เส้นใย เม็ดผง เม็ดพื้น สีเป็นคราบ และสีไหล

- วิธีในการเช็ดรถ

การเช็ดรถก่อนส่งเข้าห้องพ่นสีเป็นกระบวนการเตรียมผิวรถให้สะอาดก่อนเข้าห้องพ่นสี โดยเป็นกระบวนการที่ใช้ผ้าชนิดพิเศษที่มีเส้นใยน้อยเช็ดทำความสะอาดผิวรถเพื่อให้ไม่มีเม็ดผงและเส้นใยจาก

ฝุ่นผงในอากาศและจากฝุ่นสีจากการขัดซ่อมด้วยกระดาษทราย รวมถึงเช็ดทำความสะอาดคราบสกปรกจากเสื้อผ้า อุปกรณ์ต่าง ๆ และตัวคนออกให้หมด

ปัจจัยนี้ส่งผลต่อข้อบกพร่อง 4 ประเภทคือ เส้นใย เม็ดผง เม็ดพื้น และสีเป็นคราบ

- เสื้อผ้า รองเท้า และอุปกรณ์ต่าง ๆ

ฝุ่น ผง คราบน้ำมัน บนอุปกรณ์ที่พนักงานสวมใส่และใช้งาน เป็นอีกตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานพ่นสีเนื่องจากเป็นส่วนที่ต้องสัมผัสกับชิ้นงานตลอดเวลา หากมีฝุ่น ผง และคราบต่างๆ บนอุปกรณ์เหล่านั้นก็จะส่งผลกระทบทำให้มีโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่องเนื่องจากการสัมผัสกับชิ้นงาน

ปัจจัยนี้ส่งผลต่อข้อบกพร่อง 4 ประเภทคือ เส้นใย เม็ดผง เม็ดพื้น และสีเป็นคราบ

- วิธีการเป่าลมรถ

การเป่าลมรถเป็นกระบวนการที่ใช้ลมในการขจัดฝุ่นผง เส้นใย และทำให้ผิวงานแห้ง เนื่องจากการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้ผ้าเช็ดซึ่งจะมีฝุ่นผง เส้นใยจากการเช็ดไม่หมด และผิวชิ้นงานมีความชื้นอยู่ หากเข้าไปพ่นทันทีโดยไม่มีการเป่าลมให้หมดและแห้ง จะทำให้เกิดข้อบกพร่องหลังการพ่นสี

ปัจจัยนี้ส่งผลต่อข้อบกพร่อง 4 ประเภทคือ เส้นใย เม็ดผง เม็ดพื้น และสีเป็นคราบ

- คราบสกปรกบนตัวคน

พนักงานที่ทำงานในห้องสีจะต้องสัมผัสกับตัวรถตลอดเวลาผ่านการใช้เครื่องมือป้องกันความปลอดภัยในการทำงาน เช่นถุงมือ เครื่องแบบพนักงานห้องสี เครื่องขัดกระดาษทราย และในบางกระบวนการอย่าง การขัดสีพื้นและสีรองพื้น ที่พนักงานต้องใช้นิ้วเปล่าในการลูบเพื่อหาข้อบกพร่องที่จะทำการขัด ดังนั้นก่อนเข้าทำงานทุกคนหลังเริ่มงาน หรือกลับมาจากพักหากไม่มีการดูแลทำความสะอาดร่างกายให้ดีจะทำให้มีโอกาสที่ตัวของพนักงานจะโดนผิวงานทำให้ผิวงานมีคราบ และฝุ่นผงติดไปเป็นฝุ่นและคราบแบบเหนียว

ปัจจัยนี้ส่งผลต่อข้อบกพร่อง 2 ประเภทคือ เม็ดผง และสีเป็นคราบ

- ความเร็วลม

ในการพ่นสีจะใช้ลมในการตีสีให้เป็นละอองสีเพื่อให้มีความละเอียดและทับถมกันขึ้นเป็นชั้นของสี ดังนั้นหลังการพ่นสีทุกครั้งทั้งในส่วนของการใช้หุ่นยนต์พ่นสี หรือใช้คนในการพ่นสีจะมีละอองของสีฟุ้งกระจายเกิดขึ้น ซึ่งหากละอองสีเหล่านั้นมีการรวมตัวกันก็จะเกิดเป็นเม็ดสี ถ้ามากกว่านั้นก็จะกลายเป็นใยสี ลอยไปตกลงบนผิวขอบชิ้นงานที่ยังเปียกอยู่ ทำให้ต้องวนไปซ่อมข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการใช้ลมในการจ่ายเข้าที่ด้านบนของห้องพ่นสีวิ่งลงไปที่ใต้ห้องพ่น โดยที่หากมีความเร็วลมที่มากก็จะต้องใช้

ปริมาณสีที่เยอะขึ้นในการพ่นซึ่งอาจทำให้ในบางบริเวณที่พ่นสีเข้าหาตัวรถในระยะใกล้นั้นเกิดสีไหล และความเร็วที่ลมที่ใช้น้อยก็จะทำให้ละอองสีฟุ้งกระจายจับตัวกันเกิดปัญหาเส้นใย เม็ดผง และเม็ดพื้นตามมา

ปัจจัยนี้ส่งผลต่อข้อบกพร่อง 3 ประเภทคือ เส้นใย เม็ดผง เม็ดพื้น และสีไหล

- ความชื้น

สีเป็นของเหลวที่ใช้ตัวทำละลายเป็นทินเนอร์ ซึ่งต้องมีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมในการให้เวลาสีมีการเรียงตัวกันก่อนมีการแห้งตัว หากมีอัตราส่วนความชื้นที่สูงจะทำให้สีมีการแห้งตัวที่ช้าเกินไปทำให้มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องประเภทสีไหล และถ้ามีอัตราส่วนความชื้นที่ต่ำจะทำให้สีมีการแห้งตัวที่เร็วเกิดข้อบกพร่องประเภทสีเป็นคราบและเส้นใยได้

ปัจจัยนี้ส่งผลต่อข้อบกพร่อง 3 ประเภทคือ เส้นใย สีเป็นคราบ และสีไหล

- ความสะอาดในเตาอบสี

กระบวนการอบสีเป็นกระบวนการที่ต่อจากการพ่นสีซึ่งเป็นกระบวนที่ทำให้ผิวสีที่เปียกมีการแห้งตัวสีและความเงาออกมา โดยเตาอบสีที่สะอาดจะทำให้มีโอกาสในการเกิดปัญหาฝุ่นผงและเส้นใยติดบนตัวรถน้อย แต่หากการทำความสะอาดเตาอบสีไม่ดีจะทำให้มีฝุ่นผง และเส้นใยลอยหมุนวนอยู่ในเตา ดังนั้นเมื่อรถที่ผ่านกระบวนการพ่นสีแล้วผิวสียังไม่แห้งตัววิ่งเข้าไปในเตาอบสีทำให้มีโอกาสที่จะมีฝุ่นผงและเส้นใยติดบนตัวรถหลังออกมาจากเตาอบสี

ปัจจัยนี้ส่งผลต่อข้อบกพร่อง 2 ประเภทคือ เส้นใย และเม็ดผง

- ค่าปรับตั้งประสิทธิภาพเกียร์ปั้ม

เกียร์ปั้มเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรีดอัดสีออกมา ซึ่งค่าปรับตั้งเป็นค่าที่ใช้กำหนดขนาดรูที่ยอมปล่อยให้สีออกมา โดยในการตั้งค่ามีหลักดังนี้ ค่ามากที่สุดที่ตั้งได้(เปิดให้สีออกมามากที่สุด)คือ 150 จนถึงค่าที่น้อยที่สุด (เปิดให้สีออกน้อยที่สุดเท่าที่ผู้ผลิตแนะนำ) คือ 100 ซึ่งปริมาณสีที่ออกมา หากปรับค่าไม่เหมาะสมคือปรับค่าประสิทธิภาพเกียร์ปั้มมาก จะทำให้มีปริมาณสีออกมามากกว่าค่าที่กำหนดให้หุ่นยนต์พ่นสีพ่น ซึ่งทำให้เกิดสีไหล และหากปรับให้มีค่าน้อยก็จะทำให้ปริมาณสีที่ออกมามีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดให้หุ่นยนต์พ่นสีพ่น ซึ่งทำให้เกิดสีบาง และยังทำให้สีที่ออกมามีลักษณะเป็นเม็ดเนื่องจากปริมาณสีกับปริมาณลมที่ออกมาไม่สมดุลกันเกิดเป็นข้อบกพร่องประเภทเม็ดผงได้

ปัจจัยนี้ส่งผลต่อข้อบกพร่อง 2 ประเภทคือ เม็ดผง และสีไหล

- ความสะอาดของข้อต่อโรบอท

ในกระบวนพ่นสีปัจจุบันมีการใช้โรบอทเป็นจำนวนมาก แบ่งออกเป็นห้องพ่นสีจริง เบอร์ 1 ทั้งหมด 14 ตัว ห้องพ่นสีจริงเบอร์ 2 ทั้งหมด 7 ตัว และห้องพ่นสีรองพื้นทั้งหมด 8ตัว ซึ่งขณะที่โรบอททำการพ่นสีนั้นแขนของโรบอทซึ่งมีข้อต่ออยู่จะมีการยืดออก และเคลื่อนไหวพ่นสีโดยรอบรถ ดังนั้นการทำความสะอาดและป้องกันความสกปรกที่สะสมในข้อต่อจึงมีความสำคัญในการป้องกันโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่องขึ้น

ปัจจัยนี้ส่งผลต่อข้อบกพร่อง 3 ประเภทคือ เส้นใย เม็ดผง และเม็ดพื้น

4.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis)

หลังจากที่ใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effects Matrix) ทำการหาปัจจัยนำเข้า (KPIV) ที่มีทั้งหมด 10 ปัจจัยที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์ต่อผลตอบ (Response) คือ ข้อบกพร่องหลักทั้ง 7 ประเภทแล้วนั้น จะต้องนำปัจจัยนำเข้าไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis) เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีโอกาสเกิดสูง ส่งผลกระทบรุนแรง และไม่มีตัวดักจับ เท่านั้นที่จะนำไปทำการทดลองในขั้นตอนถัดไป โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบดังนี้

1. จัดทำแผนภาพการไหลของกระบวนการ (หัวข้อที่ 3.2.2 แผนภาพการผลิต) เพื่อระบุรายละเอียดของกระบวนการ รวมถึงการใช้งานที่คาดว่าน่าจะมีผลกระทบต่อข้อบกพร่องที่ทำการศึกษา

2. ระบุปัจจัยนำเข้า (Key Process Input) ที่ได้จากการวิเคราะห์ตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

3. กำหนดลักษณะของข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด (Potential Failure Mode)

4. กำหนดผลกระทบของข้อบกพร่องที่จะเกิด (Potential Failure Effect) ว่าจะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์อย่างไร

5. ระบุคะแนนความรุนแรง (Severity Score: S) ของผลกระทบที่มีต่อแต่ละข้อบกพร่องซึ่งมาจากข้อมูลของปัจจุบันที่มีอยู่นำมาประกอบการพิจารณา โดยการประเมินคะแนนความร้ายแรงของแต่ละผลกระทบจะอยู่ในช่วงคะแนนน้อยคือ 1 ถึง คะแนนมากคือ 10 ที่จะบ่งบอกถึงความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ตามลำดับคะแนน เกณฑ์ของช่วงคะแนนความร้ายแรง ได้กำหนดและอ้างอิงจากกฎเกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบของ AIAG ในปี 2001 โดยได้มีการดัดแปลงเพื่อให้เข้ากับงานวิจัยนี้

6. ระบุสาเหตุที่มีแนวโน้มในการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Causes)

7. ระบุโอกาสในการเกิดของสาเหตุข้อบกพร่อง (Occurrence: C) ซึ่งเป็นการคาดคะเนความน่าจะเป็นที่สาเหตุของข้อบกพร่องที่ระบุจะเกิดขึ้น โดยช่วงคะแนนจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 และอ้างอิงเกณฑ์จาก AIAG เช่นเดียวกับการกำหนดคะแนนความรุนแรง

8. ระบุวิธีการควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน (Current Process Control) ที่ใช้ป้องกันลักษณะข้อบกพร่องที่มีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดขึ้น

9. ระบุการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection: D) หรือการประเมินถึงโอกาสที่จะตรวจพบข้อบกพร่อง โดยอ้างอิงกฎเกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุมของ AIAG ในปี 2001 ที่มีการแบ่งช่วงการให้คะแนนเป็นคะแนนน้อยคือ 1 ถึง คะแนนมากคือ 10 เช่นกัน

10. คำนวณตัวเลขแสดงความสำคัญของความเสี่ยง (RPN) ซึ่งค่า RPN นั้นได้มาจากผลคูณของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวข้างต้นคือ S x O x D

สำหรับกฎเกณฑ์การประเมินนั้นสามารถดูได้จากตารางที่ 4.11 ถึง 4.13 ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 กฎเกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (Severity Score: S)

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบ	คะแนน
ลูกค้าไม่ยอมรับทันที	พบข้อบกพร่องอยู่ในระดับสายตาพบเห็นโดยง่าย(100%) ลูกค้ามีความไม่พอใจมาก	10
	พบข้อบกพร่องอยู่ในระดับสายตาพบเห็นโดยง่าย(100%) ลูกค้ามีความไม่พอใจ	9
	พบข้อบกพร่องอยู่ในระดับสายตา สามารถพบเห็นได้(100%) หากตั้งใจสังเกตมากกว่า 1 ครั้ง	8
	พบข้อบกพร่องอยู่ในระดับสูงหรือต่ำกว่าระดับสายตา สามารถพบเห็นได้(100%) หากตั้งใจสังเกตมากกว่า 1 ครั้ง	7
	ลูกค้าส่วนใหญ่ (มากกว่า 75%) สังเกตเห็นได้ในระดับสายตาหากตั้งใจสังเกตมากกว่า 1 ครั้ง	6
	ลูกค้าประมาณครึ่งหนึ่ง (50%) สังเกตเห็นได้ในระดับสายตาหากตั้งใจสังเกตมากกว่า 1 ครั้ง	5
ลูกค้ายอมรับหากมีการซ่อมแก้ไข	ลูกค้าส่วนใหญ่ (มากกว่า 75%) สังเกตเห็นได้ในระดับสูงหรือต่ำกว่าระดับสายตาหากตั้งใจสังเกตมากกว่า 1 ครั้ง	4
	ลูกค้าประมาณครึ่งหนึ่ง (50%) สังเกตเห็นได้ในระดับสูงหรือต่ำกว่าระดับสายตาหากตั้งใจสังเกตมากกว่า 1 ครั้ง	3
	ลูกค้าประมาณส่วนน้อย (น้อยกว่า 25%) สังเกตเห็นข้อบกพร่องหากตั้งใจสังเกตมากกว่า 1 ครั้ง	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตได้	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 กฎเกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดของสาเหตุข้อบกพร่อง (Occurrence Score: O)

โอกาสการเกิดขึ้นของสาเหตุข้อบกพร่อง	อัตราการเกิดขึ้นของสาเหตุข้อบกพร่องใน 1 สัปดาห์ (ทำงานตั้งแต่ 5 วันขึ้นไป ตรวจสอบสาเหตุวันละ 2 ครั้ง)	คะแนน
สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ (ทุกวัน)	≥ 10 ครั้ง	10
	9 ครั้ง	9
สูง : เกิดข้อบกพร่องจำนวนวันมากกว่าครึ่งหนึ่งของวันทำงาน	8 ครั้ง	8
	7 ครั้ง	7
ปานกลาง : เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว ประมาณครึ่งหนึ่งของวันทำงาน	6 ครั้ง	6
	5 ครั้ง	5
	4 ครั้ง	4
ต่ำ : เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อยน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของวันทำงาน	3 ครั้ง	3
	2 ครั้ง	2
ต่ำมาก : เกือบจะไม่มีโอกาสจะเกิดข้อบกพร่อง	≤ 1 ครั้ง	1

โดยเกณฑ์เรื่องการประเมินผลโอกาสการเกิดของสาเหตุข้อบกพร่องมีการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปแปลงเป็นคะแนนตามเกณฑ์นั้น ได้ทำการเก็บข้อมูลในสายการผลิตระหว่างวันที่ 11-24 มกราคม พ.ศ. 2553 ซึ่งข้อมูลที่ได้นำมาเฉลี่ยเป็นอัตราการเกิดใน 1 สัปดาห์ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 กฎเกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับ (Detection Score: D)

การตรวจจับ	ความเป็นไปได้ในการตรวจจับโดยกระบวนการตรวจสอบในปัจจุบัน	คะแนน
มีความไม่แน่นอนสูงมาก	ระบบการตรวจสอบไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้เลย	10
	มีโอกาสน้อยมาก ๆ ที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	9
	มีโอกาสน้อยมากที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	8
มีความไม่แน่นอนสูง	มีโอกาสน้อยที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	7
มีความไม่แน่นอนปานกลาง	มีโอกาสปานกลางที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	6
		5
มีโอกาสที่จะตรวจจับได้สูง	มีโอกาสค่อนข้างสูงที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	4
	มีโอกาสสูงที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	3
	มีโอกาสสูงมากที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	2
สามารถตรวจจับได้แน่นอน	ระบบการตรวจสอบสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้แน่นอน	1

โดยที่ผลการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) สามารถดูได้จากตารางที่ 4.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis)

Process Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)										
No.	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	SEV. Score	Potential Causes	Occurrence Frequency per week (2 weeks data collection)	OCC. Score	Current Controls	DET. Score	RPN
1	อุณหภูมิ	สีที่พ่นออกมามีอัตราการแห้งตัวที่ไม่เหมาะสม	เกิดข้อบกพร่อง เส้นใย, เม็ดผง, เม็ดพื้น, สีเป็นคราบ และสีไหล	9	ค่าปรับตั้งของเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม	18/2 = 9	9	ไม่มีการตรวจสอบกรณีปกติ แต่มีการตรวจสอบเมื่อเกิดข้อบกพร่องในปริมาณสูงเท่านั้น	10	**810**
2	วิธีในการเช็ดรถ	ใช้ผ้าเช็ดฝุ่นผงและคราบสกปรกออกไปไม่หมด	เกิดข้อบกพร่อง เส้นใย, เม็ดผง, เม็ดพื้น และสีเป็นคราบ	8	เช็ดไม่ครอบคลุมทุกบริเวณ	11/2 = 5.5 = 6	6	มีขั้นตอนการทำ แต่ไม่มีการควบคุมและรูปแบบมาตรฐานในการเช็ดรถ	8	**384**
3	เสื้อผ้า, รองเท้า และอุปกรณ์ต่าง ๆ	เสื้อผ้า, รองเท้า และอุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่สะอาดขณะเข้าไปทำงาน	เกิดข้อบกพร่อง เส้นใย, เม็ดผง, เม็ดพื้น และสีเป็นคราบ	8	บริเวณที่ไม่สะอาดมีการสัมผัสกับตัวรถ	13/3 = 6.5 = 7	7	กำหนดให้มีการซักและล้างเปลี่ยนทุกวัน	2	**112**
4	วิธีเป่าลมรถ	ใช้เครื่องมือเป่าลมเป่าฝุ่นผงไม่หมดและเป่าคราบจากการเช็ดไม่แห้ง	เกิดข้อบกพร่อง เส้นใย, เม็ดผง, เม็ดพื้น และสีเป็นคราบ	8	เป่าลมไม่ครอบคลุมทุกบริเวณ	16/2 = 8	8	มีขั้นตอนการทำ แต่ไม่มีการควบคุมและรูปแบบมาตรฐานในการเป่าลมรถ	8	**512**
5	คราบสกปรกบนตัวคน	คราบสกปรกของอวัยวะที่สัมผัสตัวรถติดบนตัวรถ	เกิดข้อบกพร่อง เม็ดผง และสีเป็นคราบ	7	บริเวณที่ไม่สะอาดมีการสัมผัสกับตัวรถ	7/2 = 3.5 = 4	4	กำหนดให้มีล้างมือและและเป่าลมตัวทุกครั้งก่อนเข้าทำงาน	8	**224**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) (ต่อ)

Process Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)										
No.	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	SEV	Potential Causes	Occurrence Frequency per week (2 weeks data collection)	OCC	Current Controls	DET	RPN
6	ความเร็วลม	ลมมีความเร็วไม่เหมาะสมทำให้สีที่ฟุ้งกระจายในห้องพ่น ไม่ถูกดันลงบ่อน้ำใต้ห้องพ่น	เกิดข้อบกพร่องเส้นใย, เม็ดผง และสีไหล	8	ค่าปรับตั้งของเครื่องควบคุมความเร็วลมไม่เหมาะสม	17/2 = 8.5 = 9	9	ไม่มีการตรวจสอบกรณีปกติ แต่มีการตรวจสอบเมื่อเกิดข้อบกพร่องในปริมาณสูงเท่านั้น	10	**720**
7	ความชื้น	สีที่พ่นออกมามีอัตราการแห้งตัวที่ไม่เหมาะสม	เกิดข้อบกพร่องเส้นใย, สีเป็นคราบ และสีไหล	8	ค่าปรับตั้งของเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม	17/2 = 8.5 = 9	9	ไม่มีการตรวจสอบกรณีปกติ แต่มีการตรวจสอบเมื่อเกิดข้อบกพร่องในปริมาณสูงเท่านั้น	10	**720**
8	ความสะอาดในเตาอบสี	มีฝุ่นผงในเตาอบสีลอยมาเกาะตัวรถที่สียังไม่แห้ง	เกิดข้อบกพร่องเส้นใย และเม็ดผง	7	รอบในการกำหนดให้ทำความสะอาดไม่เหมาะสม	11/2 = 5.5 = 6	6	กำหนดให้ทำความสะอาดทุก 2 เดือน	3	**126**
9	ค่าปรับตั้งประสิทธิภาพเกียร์ปั้ม	สีที่พ่นออกมาจากโรบอทมีปริมาณมากหรือน้อยกว่าที่ปรับตั้งไว้	เกิดข้อบกพร่องเม็ดผง และสีไหล	7	ค่าปรับตั้งประสิทธิภาพเกียร์ปั้มไม่เหมาะสม	8/2 = 4	4	มีการตรวจสอบในวันหยุดทำความสะอาด	6	**168**
10	ความสะอาดข้อต่อโรบอท	มีเม็ดสีและใยสีหลุดออกมาจากข้อต่อไปติดที่ตัวรถขณะพ่นสีอยู่	เกิดข้อบกพร่องเส้นใย, เม็ดผง และเม็ดพื้น	7	รอบในการกำหนดให้ทำความสะอาดไม่เหมาะสม	9/2 = 4.5 = 5	5	กำหนดให้ทำความสะอาดทุกครั้งก่อนเริ่มทำงาน	8	**280**

หลังจากทำการให้คะแนนและวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis) ในแต่ละปัจจัยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำคะแนน RPN ที่แสดงถึงลักษณะและโอกาสในการเกิดความเสียหายที่ได้มาทำการคัดเลือกปัจจัยนำเข้า (KPIV) ที่จะไปวิเคราะห์และพิสูจน์สมมติฐาน โดยได้เลือกปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 7 ปัจจัยได้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปัจจัยนำเข้าที่ต้องนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุและทดสอบความมีนัยสำคัญ

NO.	**ปัจจัยนำเข้า** (KPIV)	RPN
1	อุณหภูมิ	810
2	วิธีในการเช็ดรถ	384
4	วิธีเป่าลมรถ	512
5	คราบสกปรกบนตัวคน	224
6	ความเร็วลม	720
7	ความชื้น	720
10	ความสะอาดข้อต่อโรบอท	280

4.4 สรุประยะการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา

- ระยะการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา เริ่มจากการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด โดยทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) หลังจากการวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบทั้ง 8 คนที่ทำการตรวจสอบตัวถังรถยนต์ 3 คันซ้ำ 2 ครั้ง พบว่าพนักงานทั้ง 8 คนผ่านเกณฑ์การตรวจสอบในหัวข้อ % ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ (% appraiser score) % ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (% attribute score) % ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (% screen effective score) และ% ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ (% attribute screen effective score) ทั้งหมดคือได้คะแนนมากกว่า 85% (โดย %ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบได้คะแนนน้อยที่สุดที่ 86%)

- จากนั้นจึงทำการประเมินความสามารถของกระบวนการซึ่งได้ข้อสรุปว่ากระบวนการในปัจจุบันที่ได้ทำการตรวจสอบรถทั้งหมด 364 คัน พบข้อบกพร่อง 135 ข้อบกพร่อง ดังนั้นได้จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันเท่ากับ 0.37 ข้อบกพร่อง และคำนวณค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องโดยเฉลี่ยต่อรถ 1 คันคือ 88 บาท

- การระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้นั้นเริ่มจากการใช้แผนภาพสาเหตุและผล หรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) มาเพื่อสรุปหาสาเหตุทั้งหมดที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง แล้วทำการให้คะแนนและความสำคัญในการวิเคราะห์ปัญหาจากตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) พบว่าหลังการให้คะแนนเหลือสาเหตุที่มีความเป็นไปได้สูงที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องอยู่ 10 สาเหตุที่มีคะแนนรวมมากกว่า 100 คะแนน และมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดจากปัจจัยอื่นที่เหลือ จึงได้นำปัจจัยที่เหลือไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects

Analysis) ซึ่งหลังจากการให้คะแนน RPN ตามเกณฑ์ที่กำหนดแล้วได้ปัจจัยที่มีค่า RPN สูงอยู่ 7 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ วิธีในการเช็ดรถ วิธีในการเป่าลมรถ คราบสกปรกบนตัวคน ความเร็วลม ความชื้น และความสะอาดของข้อต่อโรบอท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่มีนัยสำคัญต่อปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีรถยนต์ โดยจะทำการวิเคราะห์เชิงสถิติ มีการเปรียบเทียบถึงแนวทางและรูปแบบที่ใช้ในการทดลอง หลังจากเลือกแนวทางและรูปแบบที่ใช้ในการทดลองแล้วจึงนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญซึ่งได้จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis) ในบทที่ 4 มาทำการทดลองและทดสอบนัยสำคัญซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 7 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ วิธีในการเช็ดรถ วิธีในการเป่าลมรถ คราบสกปรกบนตัวคน ความเร็วลม ความชื้น และความสะอาดของข้อต่อโรบอท

โดยผลจากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่น่าจะมีผลกับการเกิดข้อบกพร่องและศึกษาการมีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย ที่จะเป็นแนวทางในการปรับปรุงและวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

5.1 รูปแบบที่ใช้ในการทดลอง

ในการเลือกรูปแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาเป็นทั้งตัวแปรที่มีลักษณะเชิงคุณลักษณะ (Attribute Characteristic) และตัวแปรที่มีลักษณะเชิงรูปธรรมหรือวัดค่าได้ (Variable Characteristic) รวมถึงการทำการทดลองที่ต้องทำควบคู่ไปกับการผลิตจริงดังนั้นขนาดตัวอย่างจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก ผู้ทำงานวิจัยจึงได้ตัดสินใจเลือกชนิดของการทดลองเป็นแบบการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment, DOE)

5.1.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE)

การออกแบบการทดลองที่เลือกคือการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k ที่มีปัจจัย 7 ปัจจัย แบบไม่มีจุดศูนย์กลาง เนื่องจากเป็นการทดลองที่ทดลองเพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองเท่านั้นจึงไม่ต้องทำการทดลองปรับระดับของปัจจัยครบทุกระดับ ซึ่งเป็นการประหยัดทั้งเวลาที่ใช้และค่าใช้จ่ายที่สูงในการทดลอง โดยที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ที่มีทั้งข้อมูลแบบผันแปรและข้อมูลเชิงคุณลักษณะ ซึ่งการออกแบบการทดลองสามารถสรุปข้อมูลได้ทั้งการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย และการมีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลอง

สำหรับการหาขนาดตัวอย่างที่ใช้ในแต่ละการทดลองนั้นสามารถอ้างอิงจากการคำนวณของสมการที่ 1 ในหัวข้อที่ 4.2 ที่นำค่าของข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันซึ่งเท่ากับ 0.40 และค่าเป้าหมายที่ต้องการลดลงไปให้เหลือ 0.24 มาคำนวณได้ว่าต้องเก็บข้อมูลรถ 197 คันขึ้นไปในแต่ละการทดลอง โดยในการเก็บตัวอย่างจริงได้ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 200 คันต่อ 1 การทดลอง ซึ่งเมื่อคำนวณขนาดตัวอย่างที่

ต้องการทั้งหมดในการออกแบบการทดลองที่มีการทดลองจำนวน 16 การทดลอง ดังนั้นจะต้องใช้จำนวนรถในการทดลองอย่างน้อย 3,200 คัน

5.2 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าในการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้มีปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งหมด 7 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ วิธีในการเช็ดรถ วิธีในการเป่าลมรถ คราบสกปรกบนตัวคน ความเร็วลม ความชื้น และความสะอาดของข้อต่อโรบอท ซึ่งทั้ง 7 ปัจจัยจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องหลัก โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกรูปแบบการออกแบบการทดลองแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k ที่มีปัจจัย 7 ปัจจัยแบบไม่มีจุดศูนย์กลาง และได้มีการกำหนดระดับการทดลองของปัจจัยนำเข้าปัจจัยละ 2 ระดับคือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) ซึ่งระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญ

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย	ประเภทของปัจจัย	ระดับต่ำ(-1)	ระดับสูง(+1)
A	อุณหภูมิ	แปรผัน	27	29
B	ความชื้น	แปรผัน	80	90
C	ความเร็วลม	แปรผัน	0.25	0.35
D	วิธีในการเป่าลมรถ	เชิงคุณลักษณะ	ไม่กำหนดทิศทาง	กำหนดทิศทาง
E	วิธีในการเช็ดรถ	เชิงคุณลักษณะ	ไม่กำหนดทิศทาง	กำหนดทิศทาง
F	คราบสกปรกบนตัวคน	เชิงคุณลักษณะ	ไม่มีข้อกำหนด	ล้างมือและเป่าลมตัวก่อนเข้าทำงาน
G	ความสะอาดของข้อต่อโรบอท	เชิงคุณลักษณะ	ทำความสะอาด 1 ครั้งต่อ 1 กะ	ทำความสะอาด 1 ครั้งต่อ 1 ช่วงการหยุดพัก

โดยที่ปัจจัย A, B และ C ค่าที่กำหนดในระดับต่ำและสูงคือค่าที่แนะนำมาจากผู้ผลิตสีซึ่งได้มีการออกแบบและทดลองสีให้ได้คุณสมบัติตามที่โรงงานกรณีศึกษาต้องการคืออุณหภูมิให้ปรับค่าอยู่ระหว่าง 27-29 องศาเซลเซียส ความชื้น 80-90% และความเร็วลม 0.25-0.35 เมตรต่อวินาที

5.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้จะใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k ที่มีปัจจัย 7 ปัจจัยแบบไม่มีจุดศูนย์กลาง เพื่อใช้ในการหาความมีนัยสำคัญของปัจจัยแต่ละปัจจัยเมื่อมีการเปลี่ยนระดับของปัจจัยจากระดับต่ำ (-1) ไปยัง ระดับสูง (+1) โดยการทดลองนี้ไม่ได้เพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไปเนื่องจากเป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญเมื่อเปลี่ยนระดับของปัจจัยจึงใช้แค่ 2 ระดับในแต่ละปัจจัยนำเข้าเท่านั้น ซึ่งการออกแบบการทดลองนี้จะทำให้ทราบถึงความมีอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยอีกด้วย เมื่อทราบว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญแล้ว จะนำเฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญไปทำการทดลองเพิ่มเติม โดยที่แต่ละปัจจัยมีมากกว่า 2 ระดับ เพื่อหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Minitab มาช่วยในการออกแบบการทดลอง เพื่อใช้ในการสร้างตารางการออกแบบ (Design Matrix) โดยในการออกแบบกำหนดให้ลำดับการทดลองมีการสุ่ม (Randomization) เพื่อให้ผลการทดลองไม่เป็นลำดับและมีความเป็นอิสระ (Independent) ต่อกัน ในงานวิจัยนี้มีปัจจัยทั้งหมด 7 ปัจจัย แบ่งเป็นปัจจัยแปรผัน (Variable Factors) จำนวน 3 ปัจจัย และปัจจัยเชิงคุณลักษณะ (Attribute Factors) จำนวน 2 ปัจจัย โดยเลือกค่า Resolution เท่ากับระดับ IV จึงได้ทำการทดลองเป็นจำนวน 16 การทดลอง (run) รายละเอียดเป็นดังตารางที่ 5.2 และ 5.3

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab

Fractional Factorial Design

Factors:	7	Base Design:	7, 16	Resolution:	IV
Runs:	16	Replicates:	1	Fraction:	1/8
Blocks:	1	Center pts (total):	0		

Design Generators: E = ABC, F = BCD, G = ACD

Defining Relation: I = ABCE = BCDF = ACDG = ADEF = BDEG = ABFG = CEFG

Alias Structure

I + ABCE + ABFG + ACDG + ADEF + BCDF + BDEG + CEFG

A + BCE + BFG + CDG + DEF + ABCDF + ABDEG + ACEFG
B + ACE + AFG + CDF + DEG + ABCDG + ABDEF + BCEFG
C + ABE + ADG + BDF + EFG + ABCFG + ACDEF + BCDEG
D + ACG + AEF + BCF + BEG + ABCDE + ABDFG + CDEFG
E + ABC + ADF + BDG + CFG + ABEFG + ACDEG + BCDEF
F + ABG + ADE + BCD + CEG + ABCEF + ACDFG + BDEFG
G + ABF + ACD + BDE + CEF + ABCEG + ADEFG + BCDFG
AB + CE + FG + ACDF + ADEG + BCDG + BDEF + ABCEFG
AC + BE + DG + ABDF + AEFG + BCFG + CDEF + ABCDEG
AD + CG + EF + ABCF + ABEG + BCDE + BDFG + ACDEFG
AE + BC + DF + ABDG + ACFG + BEFG + CDEG + ABCDEF
AF + BG + DE + ABCD + ACEG + BCEF + CDFG + ABDEFG
AG + BF + CD + ABDE + ACEF + BCEG + DEFG + ABCDFG
BD + CF + EG + ABCG + ABEF + ACDE + ADFG + BCDEFG
ABD + ACF + AEG + BCG + BEF + CDE + DFG + ABCDEFG

ตารางที่ 5.3 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

Design Table (randomized)

Run	A	B	C	D	E	F	G
1	-	-	+	+	+	-	-
2	+	+	-	-	-	+	+
3	-	-	-	+	-	+	+
4	+	+	+	+	+	+	+
5	-	-	-	-	-	-	-
6	-	+	+	-	-	-	+
7	+	+	-	+	-	-	-
8	+	-	+	-	-	+	-
9	+	+	+	-	+	-	-
10	-	+	+	+	-	+	-
11	-	+	-	-	+	+	-
12	-	-	+	-	+	+	+
13	+	-	-	+	+	+	-
14	-	+	-	+	+	-	+
15	+	-	+	+	-	-	+
16	+	-	-	-	+	-	+

เมื่อสัญลักษณ์ (-) หมายถึงระดับต่ำ และสัญลักษณ์ (+) หมายถึงระดับสูง

5.4 ตัวแปรตอบสนอง (Response) และการแปลงค่า (Transformation)

ในงานวิจัยนี้สนใจผลกระทบของการเกิดข้อบกพร่องหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีรถยนต์ โดยใช้การตรวจสอบด้วยสายตา และทำการประเมินผลเป็นแบบ ยอมรับ/ปฏิเสธ หรือ ผ่าน/ไม่ผ่าน ในแต่ละข้อบกพร่องที่พบ แล้วนับจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute Data) ดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้คือ จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยของกระบวนการพ่นสีรถยนต์นั่นเอง

เนื่องจากตัวแปรตอบสนองในงานวิจัยนี้เป็นจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยซึ่งเป็นคำนิยามของการกระจายตัวแบบปัวซองซ์ (Poisson) ดังนั้นก่อนการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาความมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง จะต้องมีการแปลงค่าตัวแปรตอบสนองก่อน เนื่องจากหากนำค่าที่ได้จากการทดลองไปใช้ในการวิเคราะห์ จะทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่เป็นไปตามสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) ของตัวแปรตอบสนอง และอาจทำให้การวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนได้ (Bisgaard and Fuller, 1994) โดยการแปลงข้อมูลที่ Bisgaard และ Fuller ได้นำเสนอนั้นมี 2 วิธีคือการแปลงค่าแบบมาตรฐานและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey ซึ่งมีสมการการแปลงข้อมูลทั้ง 2 วิธีดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 สมการการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย

ประเภทของข้อมูล	ประเภทของการกระจาย	การแปลงข้อมูลแบบมาตรฐาน	การแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey
ข้อมูลจำนวนนับ ($\hat{C}$)	ปัวซองซ์ (Poisson)	$\sqrt{\hat{C}}$	$\frac{(\sqrt{\hat{C}}+\sqrt{\hat{C}+1})}{2}$

5.5 ขั้นตอนการทำการทดลอง

ผู้วิจัยทำการทดลองตามลำดับการทดลองที่ได้ทำการสุ่มไว้จากโปรแกรม Minitab ซึ่งก่อนการทดลองต้องมีการเตรียมตัวโดยนำแผนการทดลองที่ได้มาอธิบายให้ทีมงานและผู้บริหาร เพื่อดำเนินการจัดเตรียมความพร้อมของเครื่องจักรและอุปกรณ์ รวมถึงอธิบายวิธีการทำงานให้กับพนักงาน เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ออกมามีความถูกต้องตรงตามระดับที่ต้องการตั้งค่าและได้วิธีการที่ถูกต้อง อีกทั้งยังต้องมีการควบคุมไม่ให้งานทดลองปะปนกับงานที่ผลิตจริง เนื่องจากใช้สายการผลิตเดียวกัน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิตามค่าที่กำหนดไว้ในลำดับการทดลองจากโปรแกรม Minitab โดยระดับต่ำคือ 27 องศาเซลเซียส และระดับสูงคือ 29 องศาเซลเซียสตามรูปที่ 5.1

รูปที่ 5.1 การปรับตั้งค่าอุณหภูมิ

2) ทำการปรับตั้งค่าความชื้นตามค่าที่กำหนดไว้ในลำดับการทดลองจากโปรแกรม Minitab โดยระดับต่ำคือ 80 เปอร์เซ็นต์ และระดับสูงคือ 90 เปอร์เซ็นต์ตามรูปที่ 5.2

รูปที่ 5.2 การปรับตั้งค่าความชื้น

3) ทำการปรับค่าความเร็วลมตามค่าที่กำหนดไว้ในลำดับการทดลองจากโปรแกรม Minitab โดยระดับต่ำคือ 0.25 เมตรต่อวินาที และระดับสูงคือ 0.35 เมตรต่อวินาทีตามรูปที่ 5.3

รูปที่ 5.3 การปรับตั้งค่าความเร็วลม

4) แจ้งหัวหน้างานว่าให้พนักงานตำแหน่งงานเป่าลมว่าทำงานเป่าลมด้วยวิธีไม่กำหนดทิศทางหรือกำหนดทิศทางตามลำดับการทดลองจากโปรแกรม Minitab
5) แจ้งหัวหน้างานว่าให้พนักงานตำแหน่งงานเช็ดรถว่าทำงานเช็ดรถด้วยวิธีไม่กำหนดทิศทางหรือกำหนดทิศทางตามลำดับการทดลองจากโปรแกรม Minitab
6) แจ้งหัวหน้างานว่าในการทดลองแต่ละครั้งให้พนักงานเข้าทำงานโดยไม่มีข้อกำหนดสามารถเข้าทำงานได้ทันที หรือต้องมีการล้างมือและเป่าลมตัวให้ฝุ่นสกปรกหลุดออกมาก่อนเข้าทำงานในพื้นที่ทำงาน
7) แจ้งและตรวจสอบข้อกำหนดการทำความสะอาดข้อต่อโรบอทให้เป็นไปตามลำดับการทดลองจากโปรแกรม Minitab
8) เข้าสู่กระบวนการทดลองโดยใช้ขนาดตัวอย่างในการทดลองตามที่ได้คำนวณไว้คืออย่างน้อย 197 คัน แต่ในการปฏิบัติจริงใช้การเก็บข้อมูลที่ 200 คัน
9) ทำการตรวจสอบรถที่ออกมาในสายงานตรวจสอบ แล้วบันทึกข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป

5.6 ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้สนใจผลกระทบของการเกิดข้อบกพร่องหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีรถยนต์ โดยผลการทดลองที่ได้เป็นจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย ซึ่งเมื่อนำไปแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey แล้วนั้นจะได้ผลดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey

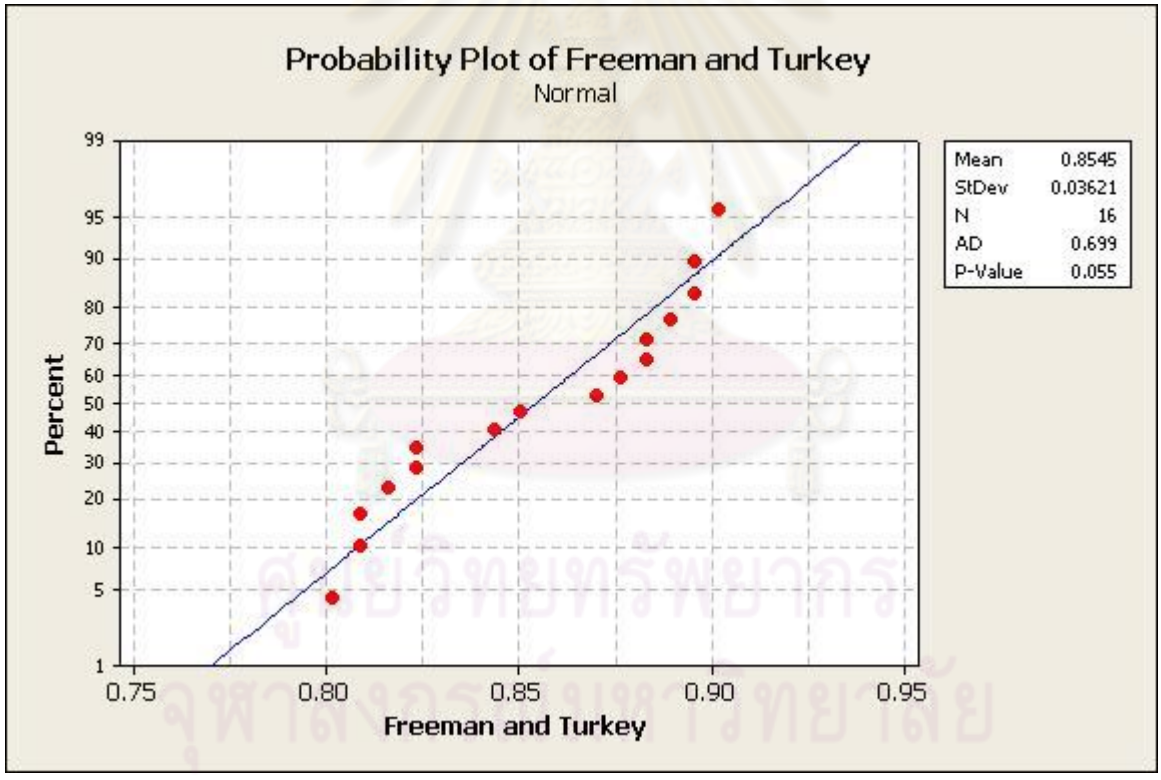
ลำดับการทดลอง (Run Order)	จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ($\hat{C}$)	วิธีมาตรฐาน ($\sqrt{\hat{C}}$)	วิธีของ Freeman และ Turkey ($(\sqrt{\hat{C}}+\sqrt{\hat{C}+1})/2$)
1	0.24	0.4899	0.8017
2	0.39	0.6245	0.9017
3	0.26	0.5099	0.8162
4	0.34	0.5831	0.8703
5	0.25	0.5000	0.8090
6	0.31	0.5568	0.8507
7	0.38	0.6164	0.8956
8	0.27	0.5196	0.8233
9	0.37	0.6083	0.8894
10	0.30	0.5477	0.8439
11	0.36	0.6000	0.8831
12	0.25	0.5000	0.8090
13	0.38	0.6164	0.8956
14	0.35	0.5916	0.8767
15	0.27	0.5196	0.8233
16	0.36	0.6000	0.8831

5.7 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองจะทำการทดสอบดูก่อนว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวอย่างปกติหรือไม่ก่อนทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่อง เพื่อใช้ในการกำหนดค่าปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

5.7.1 การทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์

แนวทางในการทดสอบการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ของข้อมูลที่ได้แปลงโดยวิธีของ Freeman และ Turkey ทำได้โดยนำข้อมูลที่แปลงค่ามาพลอตกราฟ Normal Probability Plot ว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติหรือไม่ ซึ่งกราฟที่ได้ควรจะมีลักษณะกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และเมื่อทำการทดสอบความเป็นปกติ (Normality Test) จะมีค่าของ P-Value มากกว่า 0.05



รูปที่ 5.4 การทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลที่ได้รับการแปลงค่าโดยวิธีของ Freeman และ Turkey

จากรูปที่ 5.4 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวไม่เบี่ยงเบนจากแนวเส้นตรงมากนัก และมีค่า P-Value เท่ากับ 0.055 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

5.7.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

แนวทางในการวิเคราะห์ผลการทดลองได้นำโปรแกรม Minitab มาช่วยในการทดสอบว่าปัจจัยนำเข้า และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยใช้กราฟ Normal Plot of the Effects กราฟผลของปัจจัยหลักที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง และกราฟผลของอันตรกิริยาที่มีต่อตัวแปรสนอง

ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

Factorial Fit: Freeman and Turkey versus A, B, C, D, E, F, G

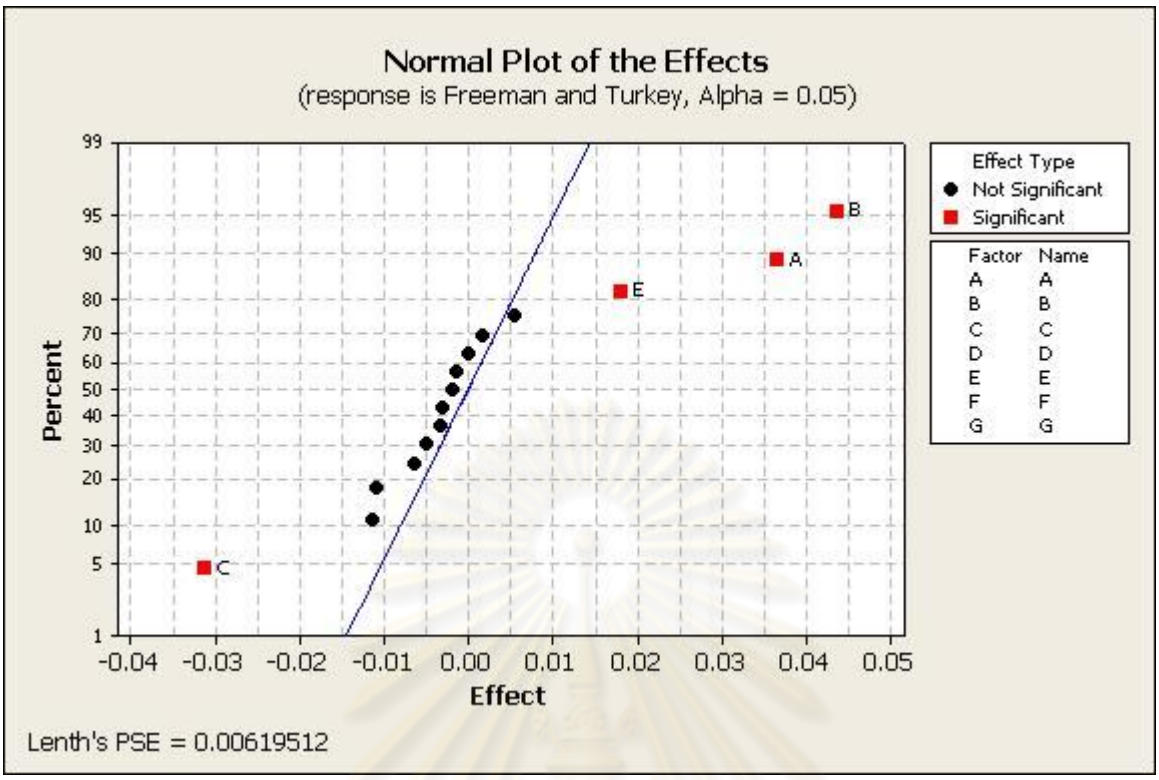
Estimated Effects and Coefficients for Freeman and Turkey (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		0.85454
A	0.03648	0.01824
B	0.04379	0.02189
C	-0.03118	-0.01559
D	-0.00323	-0.00162
E	0.01816	0.00908
F	0.00171	0.00086
G	-0.00132	-0.00066
A*B	-0.01084	-0.00542
A*C	-0.01125	-0.00563
A*D	0.00006	0.00003
A*E	0.00547	0.00273
A*F	-0.00181	-0.00091
A*G	-0.00503	-0.00251
B*D	-0.00633	-0.00316
A*B*D	-0.00309	-0.00155

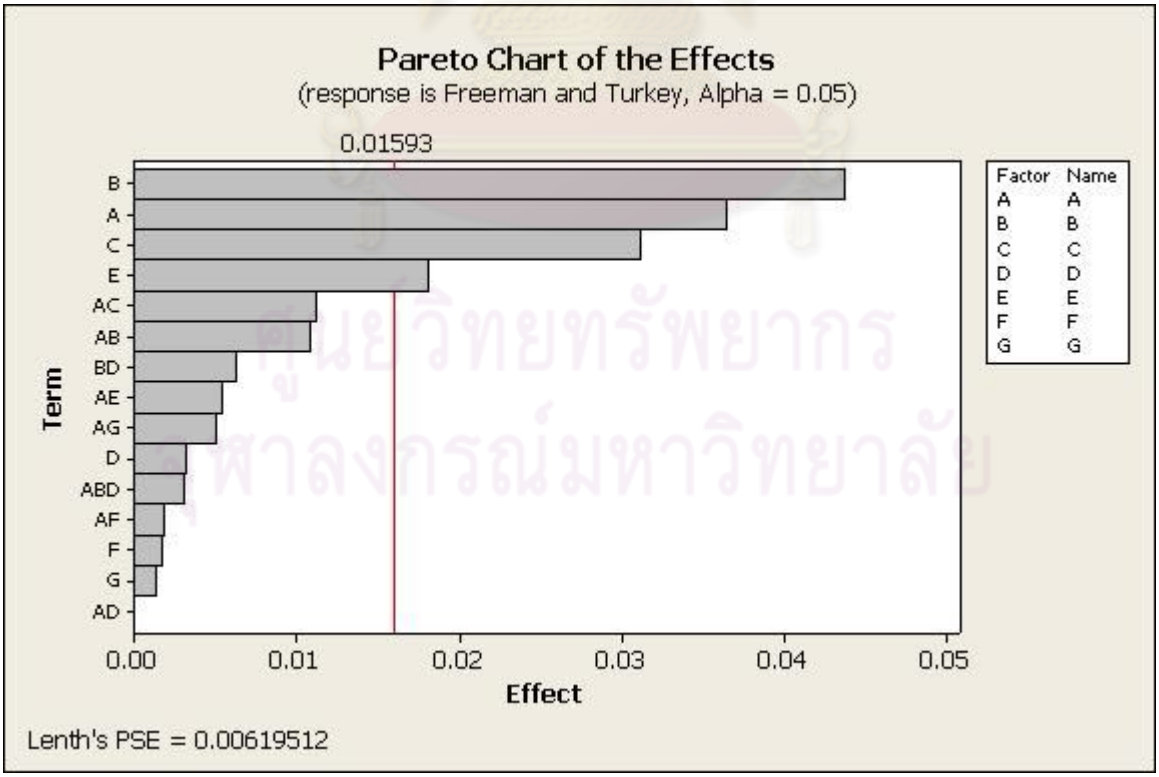
S = * PRESS = *

Analysis of Variance for Freeman and Turkey (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	7	0.0182619	0.0182619	0.00260884	*	*
2-Way Interactions	7	0.0013705	0.0013705	0.00019579	*	*
3-Way Interactions	1	0.0000382	0.0000382	0.00003822	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	15	0.0196706				



รูปที่ 5.5 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

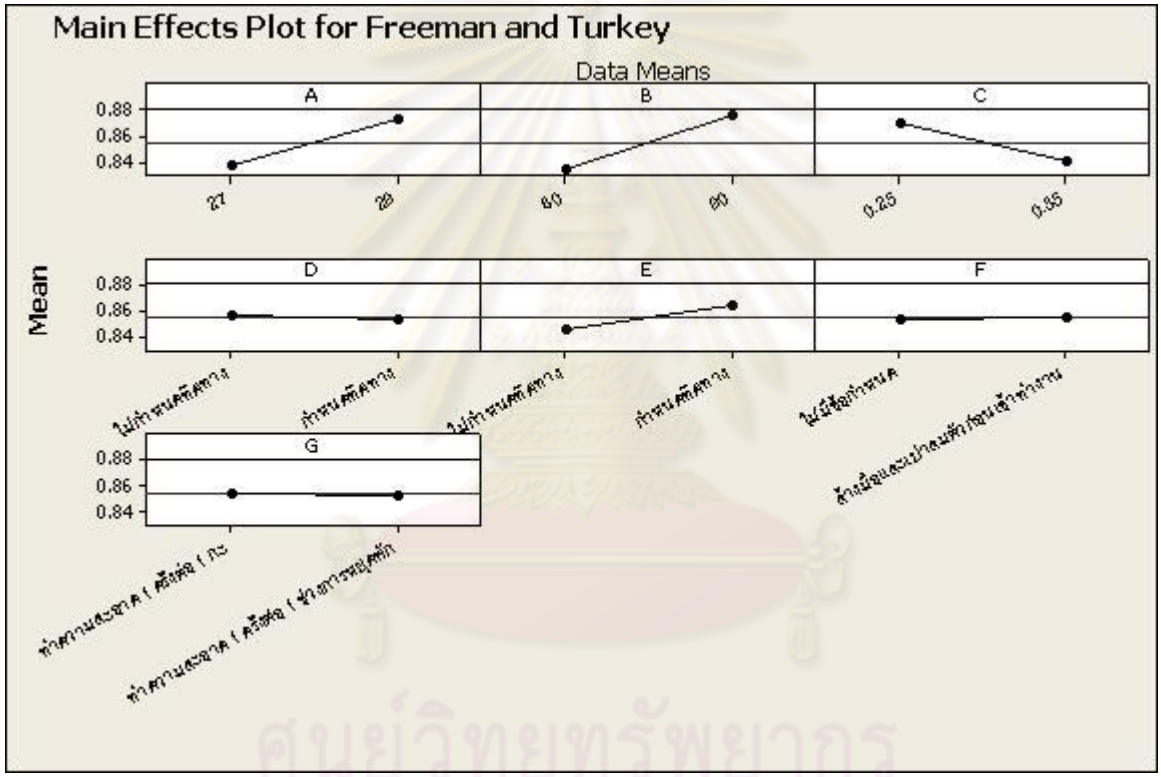


รูปที่ 5.6 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

โดยที่สัญลักษณ์ของปัจจัยสามารถอ้างอิงได้ในตารางที่ 5.2

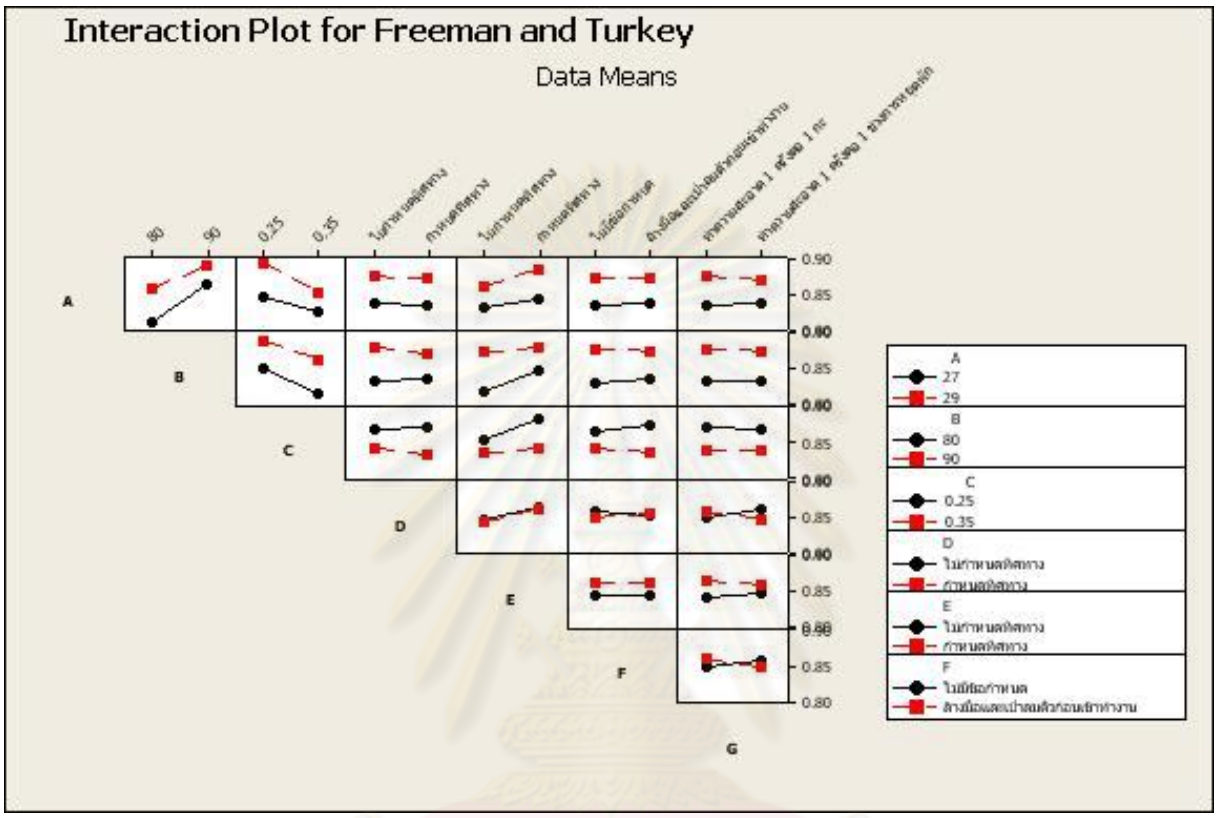
เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Minitab มาวิเคราะห์จะได้ว่าปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องหลักในกระบวนการพ่นสีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั้นคือปัจจัยที่มีค่าออกนอกแนวเส้นตรงของกราฟ Normal Plot of the Effects คือปัจจัย A อุณหภูมิ ปัจจัย B ความชื้น ปัจจัย C ความเร็วลม และปัจจัย E วิธีในการเช็ดรถ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักทั้งหมด และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดๆที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนั้นผลที่ได้จากโปรแกรม Minitab ยังสามารถแสดงแผนภาพผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ได้อีกในขั้นตอนการปรับปรุง ดังรูปที่ 5.7 และ 5.8



รูปที่ 5.7 ผลของปัจจัยหลักที่มีต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย

ผลของอันตรกิริยาที่มีต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.9 แต่อันตรกิริยาเหล่านี้ไม่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งยืนยันจากผลการทดสอบนัยสำคัญดังกล่าวข้างต้น



รูปที่ 5.8 ผลของอันตรกิริยาที่มีต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย

5.8 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเริ่มจากการเลือกรูปแบบที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย ซึ่งรูปแบบที่เลือกคือ การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment, DOE)

หลังจากวิเคราะห์แล้วสรุปได้ว่าเลือกวิธีการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 3,200 คัน การออกแบบการทดลองสามารถสรุปปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่อง และผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยแต่ละปัจจัยได้ ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกที่จะทำการทดสอบโดยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k ที่มีปัจจัย 7 ปัจจัยแบบไม่มีจุดศูนย์กลาง โดยสาเหตุที่ไม่ได้กำหนดจุดศูนย์กลางเนื่องจากว่าในขั้นตอนนี้เป็นการหาความมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองเท่านั้นจึงได้เลือก

กำหนดแค่ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) ซึ่งในการออกแบบการทดลองใช้จำนวนการทดลอง (run) ทั้งสิ้น 16 การทดลอง

จากนั้นเมื่อได้ผลการทดลองแล้ว ก่อนนำมาวิเคราะห์ต้องมีการแปลงค่าของตัวแปรตอบสนองให้เป็นไปตามสมมติฐานเรื่องความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีของ Freeman และ Turkey แล้วจึงนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งผลการวิเคราะห์นั้นข้อมูลที่ได้รับการแปลงแล้วมีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ผลได้ ซึ่งผลที่ได้พบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั้นปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเพื่อนำไปปรับปรุงหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือปัจจัย A อุณหภูมิ ปัจจัย B ความชื้น ปัจจัย C ความเร็วลม และปัจจัย E วิธีในการเช็ดรถ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักทั้งหมด และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดๆที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

หลังจากได้มีการหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองโดยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k ที่มีปัจจัย 7 ปัจจัยแบบไม่มีจุดศูนย์กลางแล้ว ได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab คือปัจจัยหลักทั้งหมดซึ่งมีอยู่ 4 ปัจจัยได้แก่ ปัจจัย A อุณหภูมิ ปัจจัย B ความชื้น ปัจจัย C ความเร็วลม และปัจจัย E วิธีในการเช็ดรถ โดยที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยใดๆ ที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนั้นจะมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพ่นสีที่ทำให้ได้ตัวแปรตอบสนองซึ่งคือจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่ำที่สุด

6.1 การออกแบบการทดลองเพิ่มเติม

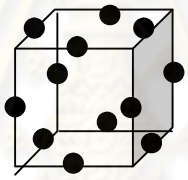
ผลจากการทดลองในขั้นตอนก่อนหน้านี้ได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองมีอยู่ 4 ปัจจัยคือ ปัจจัย A อุณหภูมิ ปัจจัย B ความชื้น ปัจจัย C ความเร็วลม และปัจจัย E วิธีในการเช็ดรถ ซึ่งแบ่งเป็นปัจจัยประเภทปรับตั้งค่าได้ 3 ปัจจัย และปัจจัยเชิงคุณลักษณะ 1 ปัจจัย โดยที่เป็นปัจจัยหลักทั้งหมดไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยใดๆ ที่มีนัยสำคัญ

ในส่วนของปัจจัยเชิงคุณลักษณะที่ทำการทดลองเดิม 4 ปัจจัยนั้นเมื่อทำการทดลองแล้วพบว่ามีเพียง 1 ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ คือ วิธีในการเช็ดรถ ส่วนอีก 3 ปัจจัย ไม่มีนัยสำคัญ ผู้วิจัยได้เลือกที่จะกำหนดและควบคุมระดับของปัจจัยเชิงคุณลักษณะ 2 ตัว ได้แก่ วิธีในการเช็ดรถและวิธีในการเป่าลม เนื่องจากวิธีในการเช็ดรถมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่อง ถึงแม้วิธีในการเป่าลมจะไม่มีนัยสำคัญ แต่ผู้วิจัยได้กำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานเป่าลมแบบมีการกำหนดทิศทางเนื่องจากมีความสะดวกในทางปฏิบัติและไม่กระทบกับค่าใช้จ่าย ส่วนอีก 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยเรื่องคราบสกปรกบนตัวคนและปัจจัยความสะอาดของข้อต่อโรบอท ผู้วิจัยไม่ได้กำหนดให้มีการปรับปรุง เนื่องจาก 2 ปัจจัยนี้ไม่มีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่อง และหากกำหนดให้มีการปรับปรุง จะทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น เช่น ปัจจัยเรื่องคราบสกปรกบนตัวคนที่ต้องมีการติดตั้งเครื่องจักรในการเป่าลมตัวและติดตั้งอ่างล้างมือเพิ่มเติม ส่วนปัจจัยเรื่องความสะอาดของข้อต่อโรบอทต้องมีการเพิ่มรอบการทำความสะอาด ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้ระดับของปัจจัยเชิงคุณลักษณะเป็นดังนี้

ตารางที่ 6.1 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยเชิงคุณลักษณะ

ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสม
วิธีในการเป่าลมรถ	กำหนดทิศทางในการเป่าลมรถ
วิธีในการเช็ดรถ	กำหนดทิศทางในการเช็ดรถ
คราบสกปรกบนตัวคน	ไม่มีข้อกำหนด
ความสะอาดของข้อต่อโรบอท	ทำความสะอาด 1 ครั้งต่อ 1 กะ

ในส่วนของปัจจัยที่ปรับตั้งค่าได้นั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองเพิ่มเติม โดยได้เลือกทำการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response surface design) แบบ Box-Behnken Design เนื่องจากเป็นแบบการทดลองที่กำหนดให้มีการทดสอบที่ระดับของปัจจัยตั้งแต่ 3 ระดับขึ้นไป ซึ่งจะทำให้สามารถหาค่าของปัจจัยปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 6.1 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design

จากเหตุผลข้างต้นทางผู้วิจัยจึงมีการทดลองเพิ่มเพื่อหาระดับของค่าปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีรายละเอียดการปรับตั้งค่าในแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 6.2 และมีรายละเอียดของตารางออกแบบการทดลองดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.2 ค่าที่ใช้ในการปรับตั้งของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลองเพิ่มเติม

ปัจจัย	**ระดับ**			**หน่วย**
	1	2	3	
อุณหภูมิ	27	28	29	องศาเซลเซียส
ความชื้น	80	85	90	เปอร์เซ็นต์
ความเร็วลม	0.25	0.30	0.35	เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 6.3 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

Design Table (randomized)

Run	Blk	A	B	C
1	1	-	-	0
2	1	-	+	0
3	1	0	0	0
4	1	+	0	-
5	1	0	+	+
6	1	+	+	0
7	1	0	+	+
8	1	0	0	0
9	1	-	0	-
10	1	0	0	0
11	1	-	-	0
12	1	-	0	+
13	1	0	+	-
14	1	-	0	-
15	1	+	+	0
16	1	+	0	-
17	1	0	-	-
18	1	0	-	-
19	1	0	-	+
20	1	0	0	0
21	1	0	+	-
22	1	+	0	+
23	1	0	0	0
24	1	+	-	0
25	1	0	-	+
26	1	+	-	0
27	1	0	0	0
28	1	-	+	0
29	1	+	0	+
30	1	-	0	+

หลังจากออกแบบการทดลองจึงได้ทำการทดลองตามลำดับของตารางออกแบบการทดลอง (Design Matrix) และเมื่อได้ผลการทดลองแล้วต้องนำข้อมูลไปทำการแปลงค่าโดยวิธีของ Freeman และ Turkey ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab โดยที่ขั้นตอนการทดลองอ้างอิงจากหัวข้อ 5.5 (ในบทที่ 5) ผลการทดลองและการแปลงค่าแสดงในตารางที่ 6.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey

ลำดับการทดลอง (Run Order)	จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ($\hat{C}$)	วิธีมาตรฐาน ($\sqrt{\hat{C}}$)	วิธีของ Freeman และ Turkey ($(\sqrt{\hat{C}}+\sqrt{\hat{C}+1})/2$)
1	0.24	0.4899	0.8017
2	0.28	0.5292	0.8303
3	0.19	0.4359	0.7634
4	0.44	0.6633	0.9317
5	0.20	0.4472	0.7713
6	0.32	0.5657	0.8573
7	0.21	0.4583	0.7791
8	0.16	0.4000	0.7385
9	0.23	0.4796	0.7943
10	0.16	0.4000	0.7385
11	0.24	0.4899	0.8017
12	0.12	0.3464	0.7024
13	0.28	0.5292	0.8303
14	0.15	0.3873	0.7298
15	0.29	0.5385	0.8371
16	0.35	0.5916	0.8768
17	0.20	0.4472	0.7713
18	0.20	0.4472	0.7713
19	0.16	0.4000	0.7385
20	0.16	0.4000	0.7385
21	0.32	0.5657	0.8573
22	0.19	0.4359	0.7634
23	0.20	0.4472	0.7713
24	0.33	0.5745	0.8639
25	0.16	0.4000	0.7385
26	0.32	0.5657	0.8573
27	0.19	0.4359	0.7634

28	0.21	0.4583	0.7791
29	0.29	0.5385	0.8371
30	0.12	0.3464	0.7024

6.2 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพิ่มเติม

ผลการทดลองที่ได้มานั้นต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนนำไปวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเมื่อผลการทดลองมีคุณสมบัติครบทั้ง 3 ข้อของเงื่อนไขการออกแบบการทดลองคือ NID $(0, \sigma^2)$ จึงจะทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

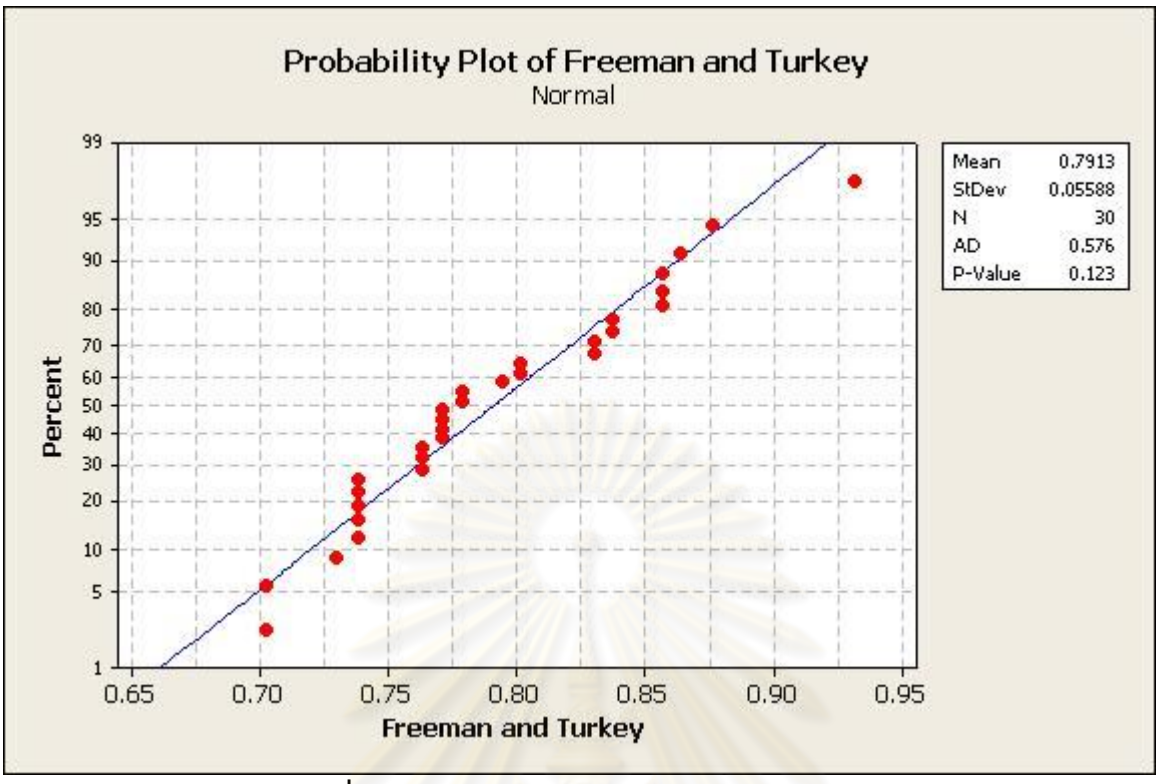
6.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ผลของการออกแบบการทดลองนั้น จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) โดยตรวจสอบว่าข้อมูลมีคุณสมบัติครบทั้ง 3 ข้อของเงื่อนไขการออกแบบการทดลองคือ NID $(0, \sigma^2)$ หรือไม่ ด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามสมมติฐาน ก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลของการออกแบบการทดลองดังนี้

6.2.1.1 การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ

ในการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normal Distribution Assumption) ทำโดยการพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของตัวแปรตอบสนองว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ซึ่งทำการพิจารณาจาก Normal Probability Plot การกระจายตัวควรเป็นตามแนวเส้นตรง และมีค่า P-Value จากการทดสอบความเป็นปกติ (Normality Test) มากกว่า 0.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



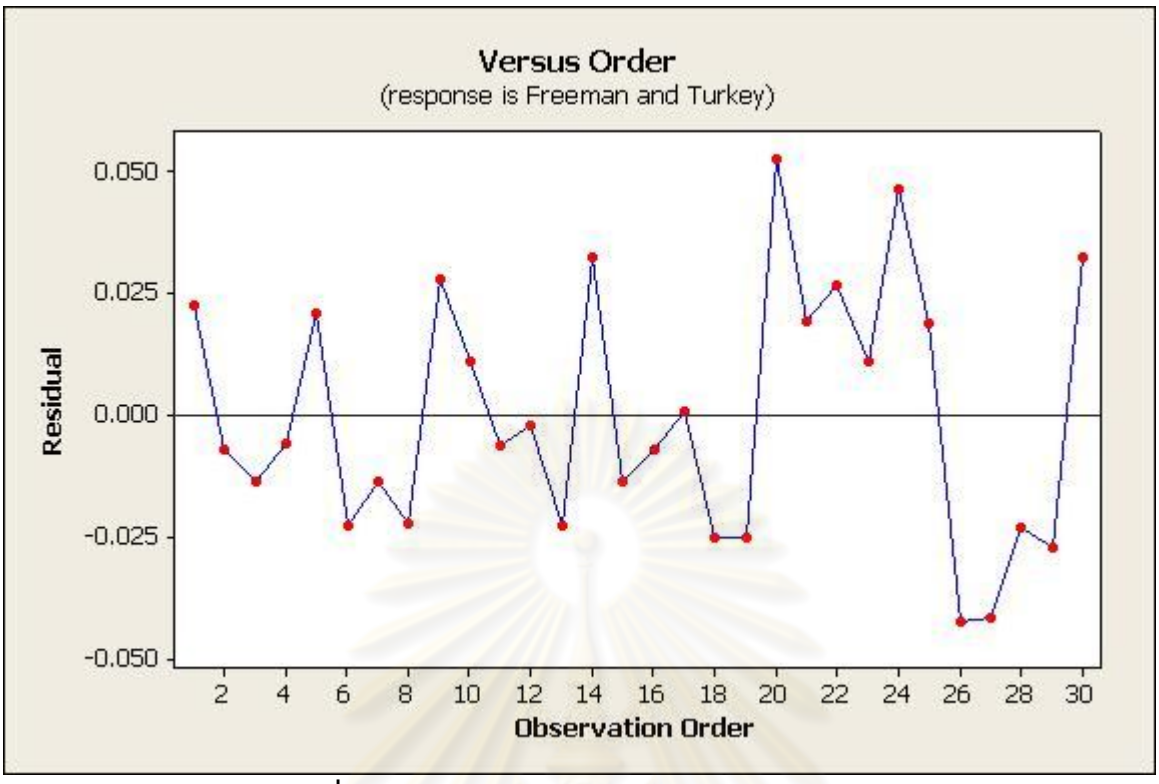
รูปที่ 6.2 การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

จากผลการทดสอบได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 คือมีค่าเท่ากับ 0.123 ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ

6.2.1.2 **การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ** (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



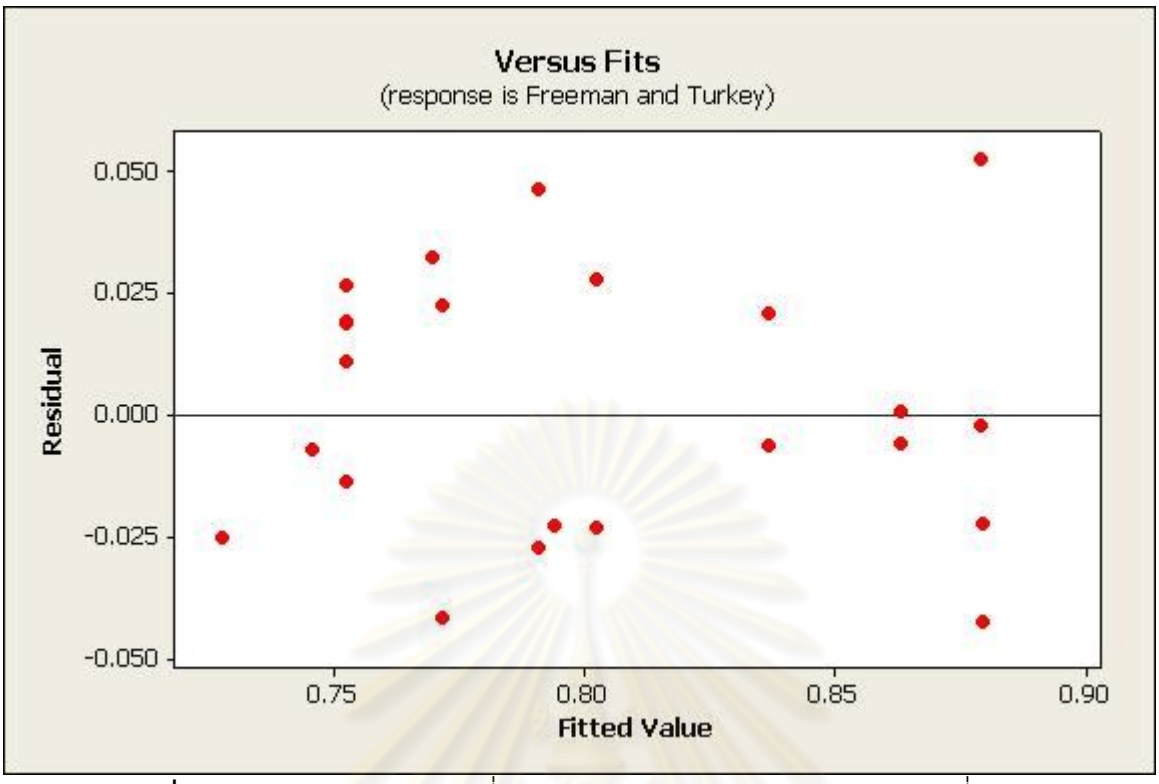
รูปที่ 6.3 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ

จากผลการทดสอบได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวที่มีรูปแบบอิสระต่อกันคือ ไม่มีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

6.2.1.3 **การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน** (Variance Stability)

การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนตรวจสอบได้โดยพิจารณาแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีการกระจายตัวที่มีรูปแบบกรวยปากเปิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



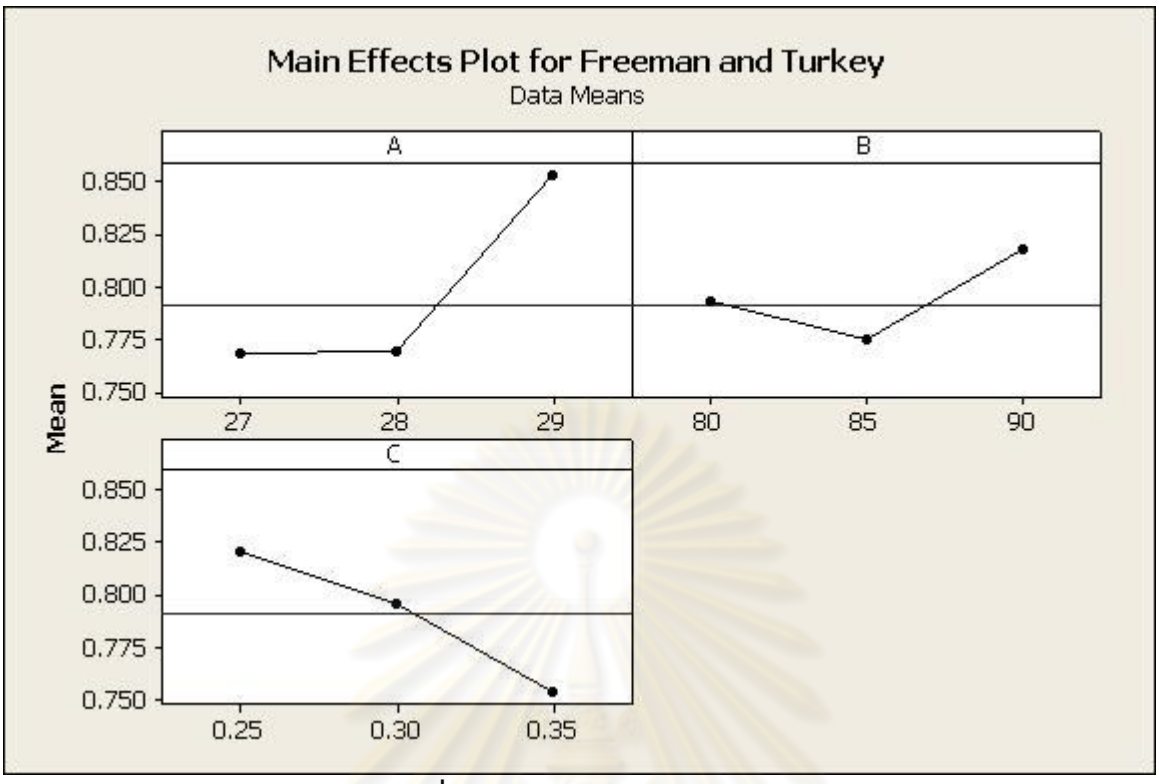
รูปที่ 6.4 แผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต

จากผลการทดสอบได้ว่าค่าส่วนตกค้างไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม หรือมีการกระจายตัวที่มีรูปแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

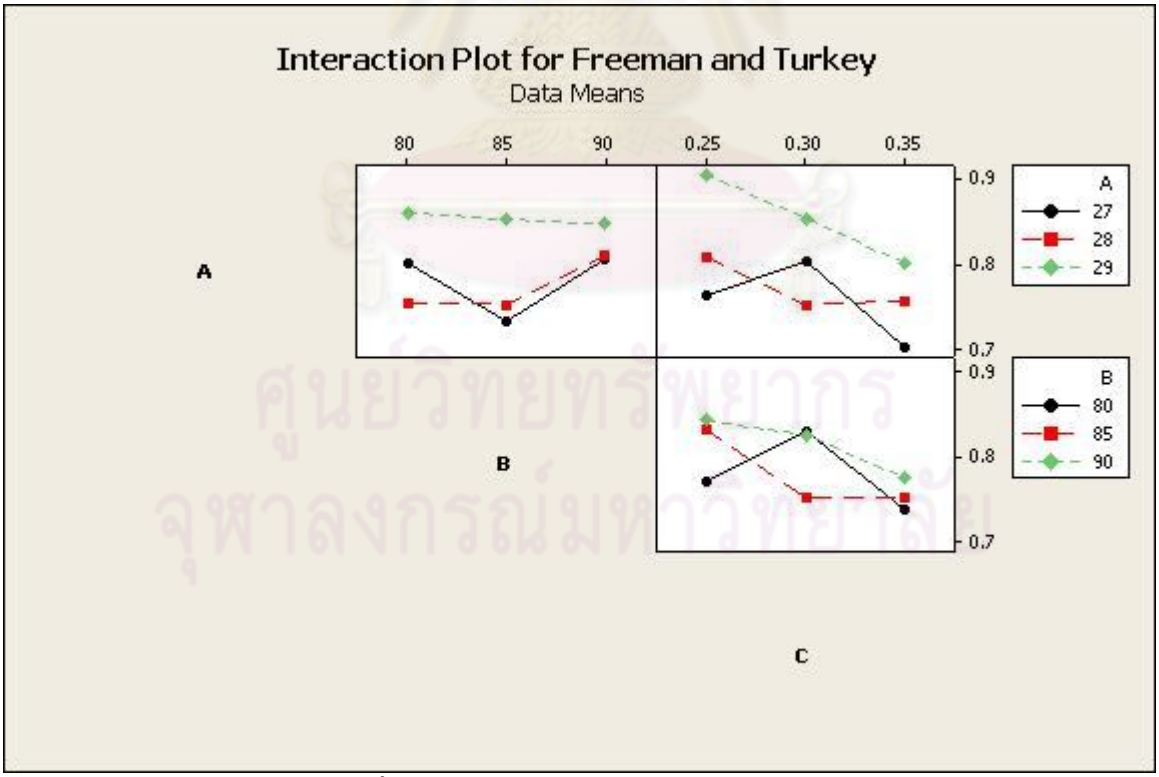
6.2.2 **การวิเคราะห์ผลการทดลอง**

การวิเคราะห์ผลของทดลองนั้น จะทำการวิเคราะห์ผลหลักและอันตรกริยาของปัจจัยทั้งสาม (Main Effects and Interaction Effects) ที่มีผลกระทบต่อสัดส่วนข้อบกพร่องหลักทั้ง 7 ข้อบกพร่องคือ เส้นใย สีเป็นคราบ เม็ดผง สีเป็นรอยขีด สีไหล เม็ดพื้น และสีเป็นหลุม ในกระบวนการพ่นสี โดยใช้กราฟผลหลัก (รูปที่ 6.5) กราฟอันตรกริยา (รูปที่ 6.6)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.5 กราฟผลหลักของปัจจัย



รูปที่ 6.5 กราฟผลของอันตรกิริยาของปัจจัย

ในการหาระดับปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย สามารถใช้หลักการ optimization โดยใช้ฟังก์ชั่น Response Optimization ของโปรแกรม Minitab พบว่าได้ระดับของปัจจัยที่มีค่าที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิที่ 27.6 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ 84.6% และความเร็วลมที่ 0.35 เมตรต่อวินาที และได้ค่าทำนายของจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยเท่ากับ 0.71 ซึ่งเป็นค่าที่แปลงค่าโดยวิธีของ Freeman และ Turkey หากแปลงค่ากลับเป็นจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยจะได้เท่ากับ 0.13 จุดต่อคัน

ตารางที่ 6.5 ผลการหาค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization) โดยโปรแกรม Minitab

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Freeman and	Minimum	0.702	0.702	0.802	1	1

Global Solution

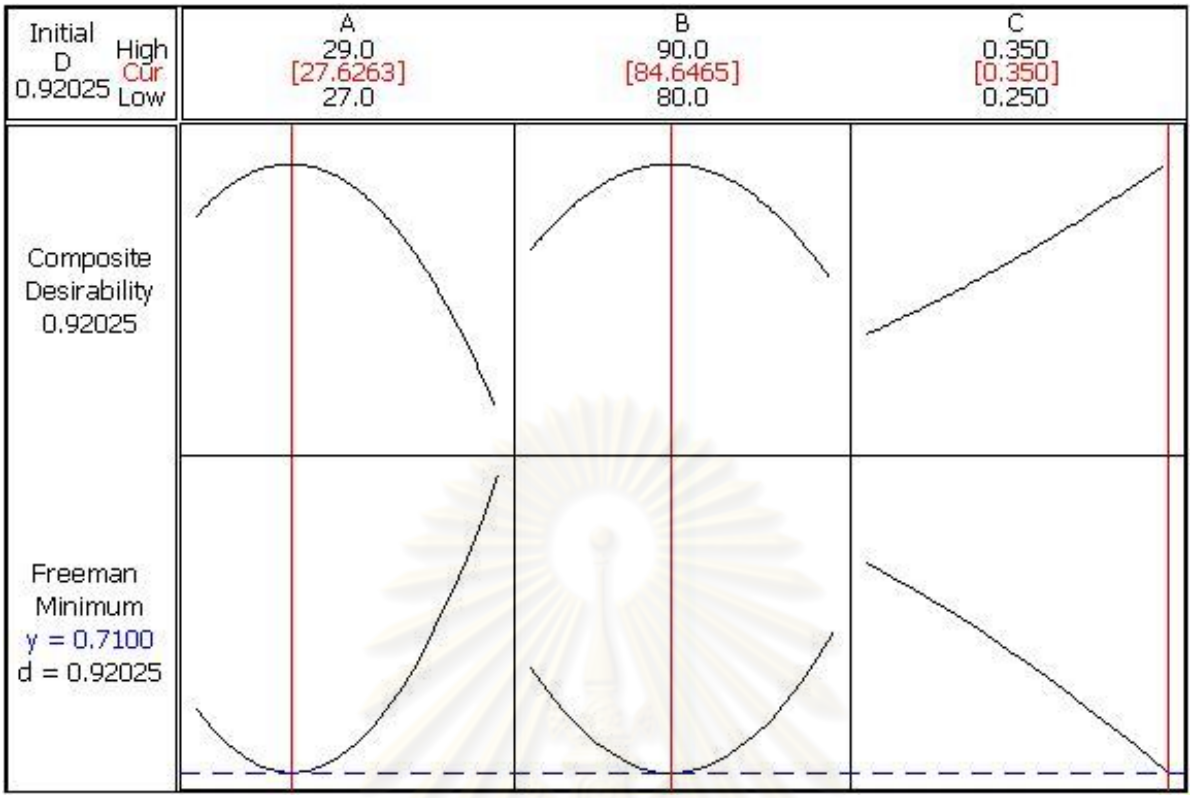
A = 27.6263
B = 84.6465
C = 0.35

Predicted Responses

Freeman and = 0.709975 , desirability = 0.920249

Composite Desirability = 0.920249

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.6 Optimization Plot จากโปรแกรม Minitab

6.3 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการเริ่มจากการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งผลจากบทที่ 5 ได้ว่าเป็นปัจจัยหลักทั้ง 4 ปัจจัยและไม่มีผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดๆ ดังนั้นจึงทำการทดลองเพิ่มเติมเฉพาะปัจจัยที่ต้องปรับตั้งค่าเนื่องทั้ง 3 ปัจจัยปรับตั้งทดสอบแล้วพบว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ โดยได้เลือกทำการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response surface design) แบบ Box-Behnken Design ส่วนปัจจัยเชิงคุณลักษณะอีก 4 ปัจจัยนั้นทำการทดลองแล้วพบว่ามีเพียง 1 ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ แต่เนื่องจากทั้ง 4 ปัจจัยเป็นขั้นตอนการทำงานที่มีความถูกต้องและน่าจะส่งผลให้กระบวนการดีขึ้นได้จึงกำหนดให้มีการปรับปรุงเป็นระดับสูง (+1) ทั้ง 4 ปัจจัย โดยได้ทำการตัดปัจจัยเรื่องคราบสกปรกบนตัวคนที่ต้องมีการติดตั้งเครื่องจักรในการเป่าลมตัวและติดตั้งอ่างล้างมือเพิ่มเติม รวมถึงปัจจัยความสะอาดของข้อต่อโรบอทที่มีการเพิ่มรอบการทำความสะอาดซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม โดยจะตัดไม่ทำการปรับปรุงเรื่องคราบสกปรกบนตัวคน และความสะอาดของจ้อต่อโรบอท ดังนั้นจึงเหลือการปรับปรุงทั้งหมด 5 ปัจจัยคืออุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม วิธีการเป่าลมรถ และวิธีในการเช็ดรถ ซึ่งในการออกแบบการทดลองเมื่อได้ผลการทดลองมาแล้วนั้นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของการทดลองว่าเป็นไปตามเงื่อนไขการออกแบบการทดลองคือ NID (0, σ^2) โดยตรวจสอบพบว่าเป็นไปตามเงื่อนไขทั้งหมด หลังจาก

นั้นจึงทำการวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสมในการทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าต่ำที่สุดที่ใช้วิธี Response Optimization โดยโปรแกรม Minitab ได้ว่าค่าที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิที่ 27.6 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ 84.6% และความเร็วลมที่ 0.35 เมตรต่อวินาที และได้ค่าทำนายของจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยท่ากับ 0.71 ซึ่งเป็นค่าที่แปลงค่าโดยวิธีของ Freeman และ Turkey หากแปลงค่ากลับเป็นจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยจะได้เท่ากับ 0.13 จุดต่อคัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7
การทดสอบยืนยันผล และการตรวจติดตามควบคุม

การทดสอบยืนยันผล และตรวจติดตามควบคุมเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) ซึ่งประกอบไปด้วยการเก็บข้อมูลที่ได้จากการปรับค่าของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญตามที่สรุปในขั้นตอนที่แล้วเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลทั้งหมด 10 ชุดข้อมูล โดยที่ไม่สามารถทำการทดสอบยืนยันผลได้ตามที่เขียนไว้ในหัวข้อ 1.9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านระยะเวลาในการวิจัยและได้รับอนุญาตให้ทำการทดสอบยืนยันผลจากทางโรงงานกรณีศึกษาตามระยะเวลาดังกล่าวคือ 1 สัปดาห์ ซึ่งเท่ากับ 5 วัน หรือ 10 กะทำงานเท่านั้น ซึ่งจะนำข้อมูลมาตรวจสอบว่าจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยเป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่ จากนั้นจึงทำแผนการควบคุมเพื่อกำหนดรอบการตรวจสอบและวิธีในการตรวจสอบปัจจัยปรับตั้งให้เป็นไปตามที่ได้ทำการทดลองไว้ และมีการนำแผนภูมิควบคุมเข้ามาใช้เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ในค่าควบคุม โดยหากออกนอกค่าควบคุมให้ดำเนินตามแผนการแก้ไขเมื่อกระบวนการออกนอกเส้นควบคุม รวมถึงจัดทำมาตรฐานการทำงานใหม่ในปัจจัยเชิงคุณลักษณะที่เป็นขั้นตอนการทำงาน

7.1 การทดสอบยืนยันผล

การทดสอบยืนยันผลเป็นการยืนยันผลของค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งหมดที่ได้เลือกและกำหนดมาในขั้นตอนที่แล้วที่มีการสรุปปัจจัยที่ทำการปรับปรุงทั้งหมด 5 ปัจจัย โดยค่าที่เหมาะสมของ 5 ปัจจัยดังกล่าวแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่จะทำการปรับปรุง

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสม	หน่วย
A	อุณหภูมิ	27.6	องศาเซลเซียส
B	ความชื้น	84.6	เปอร์เซ็นต์
C	ความเร็วลม	0.35	เมตรต่อวินาที
D	วิธีในการเป่าลม	กำหนดทิศทาง	-
E	วิธีในการเช็ดรถ	กำหนดทิศทาง	-

7.1.1 ขั้นตอนในการทดลอง

ทำการทดลองโดยมีการปรับตั้งค่าเครื่องที่ทำการปรับปรุงให้เรียบร้อยก่อนการปฏิบัติ และกำหนดให้มีการตรวจสอบเพื่อให้ค่าปรับตั้งเป็นไปตามที่กำหนดไว้ รวมถึงแจ้งหัวหน้างานให้ทำการปรับ

วิธีการทำงานเป่าลมรถและเช็ดรถให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ดังแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 2 มาตรฐานการทำงานในขั้นตอนเตรียมผิวชิ้นงาน (เป่าลม และเช็ดรถ) โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) ทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิให้มีค่าตามที่ได้จากการทดลองคือ 27.6 องศาเซลเซียส
2) ทำการปรับตั้งค่าความชื้นให้มีค่าตามที่ได้จากการทดลองคือ 84.6 เปอร์เซ็นต์
3) ทำการปรับค่าความเร็วลมให้มีค่าตามที่ได้จากการทดลองคือ 0.35 เมตรต่อวินาที
4) แจ้งหัวหน้างานว่าให้พนักงานตำแหน่งงานเป่าลมทำการเป่าลมด้วยวิธีกำหนดทิศทาง
5) แจ้งหัวหน้างานว่าให้พนักงานตำแหน่งงานเช็ดรถทำการเช็ดรถด้วยวิธีกำหนดทิศทาง
6) เข้าสู่กระบวนการทดลองโดยใช้ขนาดตัวอย่างในการทดลองตามที่ได้คำนวณไว้คืออย่างน้อย 197 คัน แต่ในการปฏิบัติจริงใช้การเก็บข้อมูลที่ 200 คัน ซึ่งนับเป็น 1 ชุดการทดลอง
7) ทำการตรวจสอบรถที่ออกมาในสายงานตรวจสอบ แล้วบันทึกข้อมูลจนครบ 10 ชุดการทดลอง แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ต่อไป

7.1.2 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เริ่มจากการนำข้อมูลผลการทดลองมาคิดเป็นจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย แล้วนำไปคำนวณค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน แล้วจึงนำข้อมูลก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเปรียบเทียบกัน จากนั้นจึงสรุปจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันที่ลดได้โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.2 จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยในการทดลองปรับค่าปัจจัยที่ระดับที่เหมาะสม

กลุ่มตัวอย่าง	ขนาดตัวอย่าง	จำนวนข้อบกพร่องที่พบ	จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน
1	200	35	0.18
2	200	30	0.15
3	200	31	0.16
4	200	27	0.14
5	200	39	0.20
6	200	38	0.19
7	200	34	0.17
8	200	28	0.14
9	200	29	0.15
10	200	27	0.14

จากตารางได้ว่าจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มตัวอย่างที่พบมีค่าตั้ง 0.14 ถึง 0.20 ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยรวมของจำนวนรถทั้งหมด 2,000 คัน จะได้ว่า

$$\text{จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย} = \frac{\text{จำนวนข้อบกพร่องรวม}}{\text{จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด}}$$

$$= 318 / 2000$$

$$= 0.159 = 0.16$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.3 จำนวนข้อบกพร่องแบ่งตามประเภทการซ่อมในการทดลองปรับค่าปัจจัยที่ระดับที่เหมาะสม

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนข้อบกพร่องที่พบ	การซ่อมสีแห้งช้าเฉพาะจุด	การซ่อมสีแห้งช้าขนาดใหญ่	การขัดซ่อมเพื่อพ่นใหม่ทั้งคัน
1	35	26	8	1
2	30	25	5	0
3	31	24	7	0
4	27	22	4	1
5	39	28	10	1
6	38	33	5	0
7	34	28	5	1
8	28	23	5	0
9	29	26	3	0
10	27	24	3	0

ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องเฉพาะข้อบกพร่องที่เลือกทำการแก้ไขแบ่งตามชนิดการซ่อมได้ดังนี้

1) การซ่อมสีแห้งช้าเฉพาะจุด พบ 259 ข้อบกพร่อง = 192.5 x 259

= 49,857.5 บาท

2) การซ่อมสีแห้งช้าขนาดใหญ่ พบ 55 ข้อบกพร่อง = 345 x 55

= 18,975 บาท

3) การขัดซ่อมทั้งคันเพื่อพ่นใหม่ พบ 4 ข้อบกพร่อง = 2585 x 4

= 10,340 บาท

เมื่อรวมค่าใช้จ่ายในการซ่อมทั้งหมด แล้วนำมาเฉลี่ยด้วยจำนวนรถที่ตรวจสอบจะได้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉลี่ยต่อรถ 1 คันคือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉลี่ย = ค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่อง (บาท) / จำนวนรถที่ตรวจสอบ (คัน)

= 49,857.5 + 18,975 + 10,340 (บาท) / 2000 (คัน)

= 39.58 บาท = 40 บาท

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องนอกสายการผลิตโดยเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณด้วยจำนวน 2000 คันคือ 40 บาทต่อคัน

สรุปผลการทดลองได้ว่าจำนวนข้อบกพร่องโดยเฉลี่ยที่เก็บได้มีค่าเท่ากับ 0.16 ซึ่งมากกว่าค่าที่โปรแกรม Minitab ฟังก์ชั่น Response Optimization คำนวณออกมาได้ 0.13 แต่มีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงที่มีจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยอยู่ที่ 0.37 เท่ากับ 57% และเมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องพบว่าเหลือเพียง 40 บาทต่อคัน ซึ่งลดลงจากก่อนการปรับปรุงที่มีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 88 บาทต่อคัน ถึง 55% ซึ่งลดลงจากเดิม 48 บาทต่อคัน ทำให้คาดว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมต่อปีได้ถึง 8,013,840 บาทต่อปี (คิดจากยอดการผลิตที่พยากรณ์ในปี พ.ศ. 2553 เท่ากับ 166,955 คัน)

7.1.3 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง และสรุปค่าใช้จ่ายที่ลดได้

ในงานวิจัยนี้มีการปรับปรุงที่อาจมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมอยู่ 3 ปัจจัยคือปัจจัยความเร็วลมที่อาจจะส่งผลให้มีปริมาณการใช้สีที่มากขึ้น วิธีในการเช็ดรถและวิธีในการเป่าลมรถที่อาจทำให้พนักงานทำงานไม่ทำตามเวลาในการทำงานที่กำหนดไว้ซึ่งสามารถนำมาคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านแรงงานคนที่เพิ่มขึ้นมา

ส่วนของปัจจัยความเร็วลมเมื่อทำการปรับตั้งค่าอยู่ที่ 0.35 เมตรต่อวินาที แล้วทำการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้สีในรถ 3 ล็อตการผลิตเป็นจำนวนทั้งหมด 90 คันพบว่ามีปริมาณการใช้สีอยู่ที่ประมาณ 96 กิโลกรัม คิดเป็นจำนวนสีเท่ากับ 6 ถังที่ใน 1 ถังมีปริมาณสีคือ 16 กิโลกรัมดังนั้นจึงสามารถคำนวณปริมาณการใช้สีเฉลี่ยได้ดังนี้

รถ 3 ล็อตการผลิตเท่ากับ 90 คัน มีปริมาณการใช้สีเท่ากับ 96 กิโลกรัม

รถ 1 คัน มีปริมาณการใช้สีเท่ากับ 96/90 = 1.07 กิโลกรัมต่อคัน

จากข้อมูลปริมาณการใช้สีระหว่างเดือนมกราคม 2553 ถึงเดือนกรกฎาคม 2553 โรงงานกรณีศึกษามีปริมาณการใช้สีเฉลี่ยอยู่ที่ 0.82 กิโลกรัม ซึ่งสามารถนำมาคำนวณค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นโดยคิดค่าสี 1 ถังเท่ากับ 850 บาท และคิดจากยอดการผลิตที่พยากรณ์ในปี พ.ศ. 2553 ที่คิดกำลังการผลิตที่ 166,955 คัน ได้เท่ากับ

[{(1.07 – 0.82 = 0.25 กิโลกรัม) x 166,955} / 16] x 850 = 2,217,371 บาท

หลังจากนั้นเมื่อทำการจับเวลาในการทำงานของพนักงานเมื่อต้องปรับวิธีการทำงานเป็นแบบกำหนดทิศทางตามภาคผนวก ข ตารางที่ ข.1 พบว่าพนักงานยังคงสามารถทำงานได้ตามเวลาในการทำงานที่กำหนดไว้ที่ 1.7 นาทีต่อคัน ดังนั้นจึงถือว่าการปรับปรุงส่วนนี้ไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม

ในส่วนของปัจจัยเรื่องอุณหภูมิและความชื้นเป็นการปรับตั้งค่าของเครื่องจักรซึ่งคิดค่าใช้จ่ายเป็นปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่คำนวณรวมออกมาเป็นของเครื่องจักรทุกเครื่องในโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งไม่สามารถแยกเก็บข้อมูลออกมาเพื่อคำนวณได้

ดังนั้นจึงสรุปว่าค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงที่เพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับปรุงซึ่งคำนวณดังกล่าวข้างต้นได้ว่าเท่ากับ 2,217,371 บาท คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ลดได้จริงจากการปรับปรุงเท่ากับ

8,013,840 - 2,217,371 = 5,796,469 บาท

7.2 การตรวจติดตามควบคุม

การตรวจติดตามควบคุมเป็นการปรับปรุงเพื่อให้กระบวนการมีการปรับค่าระดับของปัจจัยเป็นไปตามที่ได้ทำการทดลองสรุปผลไว้ โดยมีจัดทำแผนการควบคุมที่มีการกำหนดผู้ตรวจสอบ รอบเวลาที่ต้องทำการตรวจสอบ รวมถึงจัดทำมาตรฐานการทำงานใหม่ในปัจจัยที่ได้ปรับปรุง และมีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อให้มีการตรวจติดตามไม่ให้รถที่ผ่านกระบวนการพ่นสีมีจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยออกนอกค่าที่กำหนด ซึ่งได้มีการจัดทำแผนการแก้ไขเมื่อกระบวนการออกนอกเส้นควบคุม เพื่อให้กระบวนการเป็นไปตามที่กำหนด

7.2.1 แผนการควบคุม

ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่นำมาพิจารณากำหนดแผนการควบคุมนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือปัจจัยปรับตั้งค่า และปัจจัยเชิงคุณลักษณะซึ่งมีการกำหนดดังนี้

1) แผนการควบคุมปัจจัยปรับตั้งค่า มีอยู่ทั้งหมด 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยมีลักษณะการปรับเหมือนกันคือปรับตั้งค่าผ่านสวิตซ์ที่ตู้ควบคุม ซึ่งมีการใช้เซ็นเซอร์ในการวัดค่าที่ออกมาแบบเวลาจริง (Real Time) โดยที่การควบคุมปัจจัยต่าง ๆ นั้นกำหนดให้มีพนักงานซ่อมบำรุงมาตรวจสอบทุก 2 ชั่วโมง ซึ่งค่าที่วัดได้ต้องเท่ากับค่าที่กำหนดเท่านั้น หากไม่เป็นไปตามที่กำหนดให้แก้ไขทันที

ตารางที่ 7.4 แบบฟอร์มการตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม

แบบฟอร์มการตรวจสอบค่าปรับตั้งอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมของห้องพ่นสีจริง

วันที่ ___/___/___ กะ_____/ กลางวัน ผู้ตรวจสอบ _____

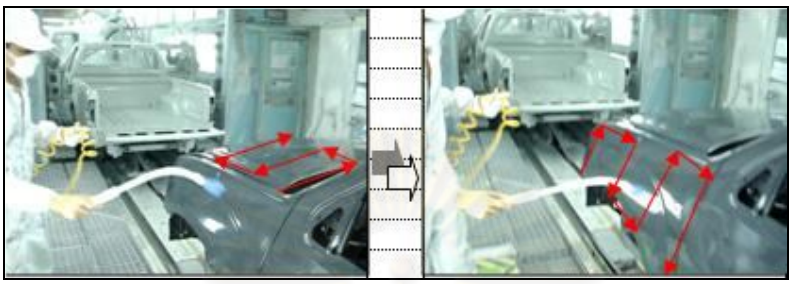
เวลาตรวจสอบ	อุณหภูมิ		ความชื้น		ความเร็วลม		ผลการตรวจสอบ	
	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้		
07.30	27.6		84.6		0.35		OK	NG
10.00	27.6		84.6		0.35		OK	NG
13.00	27.6		84.6		0.35		OK	NG
15.00	27.6		84.6		0.35		OK	NG

วันที่ ___/___/___ กะ_____/ กลางคืน ผู้ตรวจสอบ _____

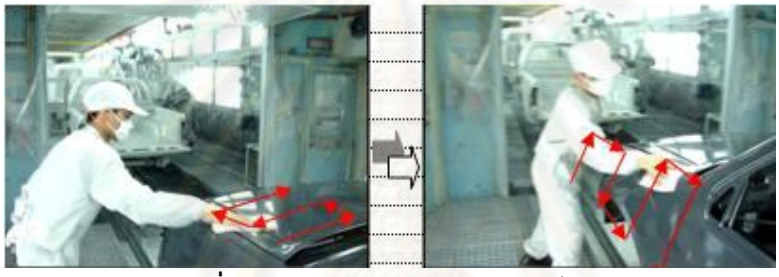
เวลาตรวจสอบ	อุณหภูมิ		ความชื้น		ความเร็วลม		ผลการตรวจสอบ	
	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้		
20.00	27.6		84.6		0.35		OK	NG
22.00	27.6		84.6		0.35		OK	NG
01.00	27.6		84.6		0.35		OK	NG
03.00	27.6		84.6		0.35		OK	NG

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) แผนการควบคุมปัจจัยเชิงคุณลักษณะที่มีอยู่ 2 ปัจจัยคือ วิธีในการเป่าลมรถ และวิธีในการเช็ดรถจะใช้วิธีการทำเอกสารชี้แจงการปฏิบัติของพนักงานให้มีการกำหนดทิศทางในการทำงานทั้ง 2 ปัจจัย ดังแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 2 มาตรฐานการทำงานในขั้นตอนเตรียมผิวชิ้นงาน (เป่าลม และเช็ดรถ)



รูปที่ 7.1 การกำหนดทิศทางการเป่าลมรถ



รูปที่ 7.2 การกำหนดทิศทางการเช็ดรถ

7.3 การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

โรงงานกรณีศึกษามีรูปแบบในการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบปัวซอง ซึ่งแผนภูมิควบคุมที่มีความเหมาะกับงานวิจัยนี้คือแผนภูมิควบคุมจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ u-chart (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2547) ซึ่งมีการคำนวณค่าที่อ้างอิงจากการเก็บข้อมูลผลการทดลองปรับตั้งระดับที่เหมาะสมของปัจจัย 2,000 คันในตารางที่ 7.2 โดยที่จำนวนที่เก็บข้อมูลในแผนภูมิแต่ละกลุ่มที่ 200 คันได้ค่าดังนี้

$$UCL_u, LCL_u = \bar{u} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{N}}$$

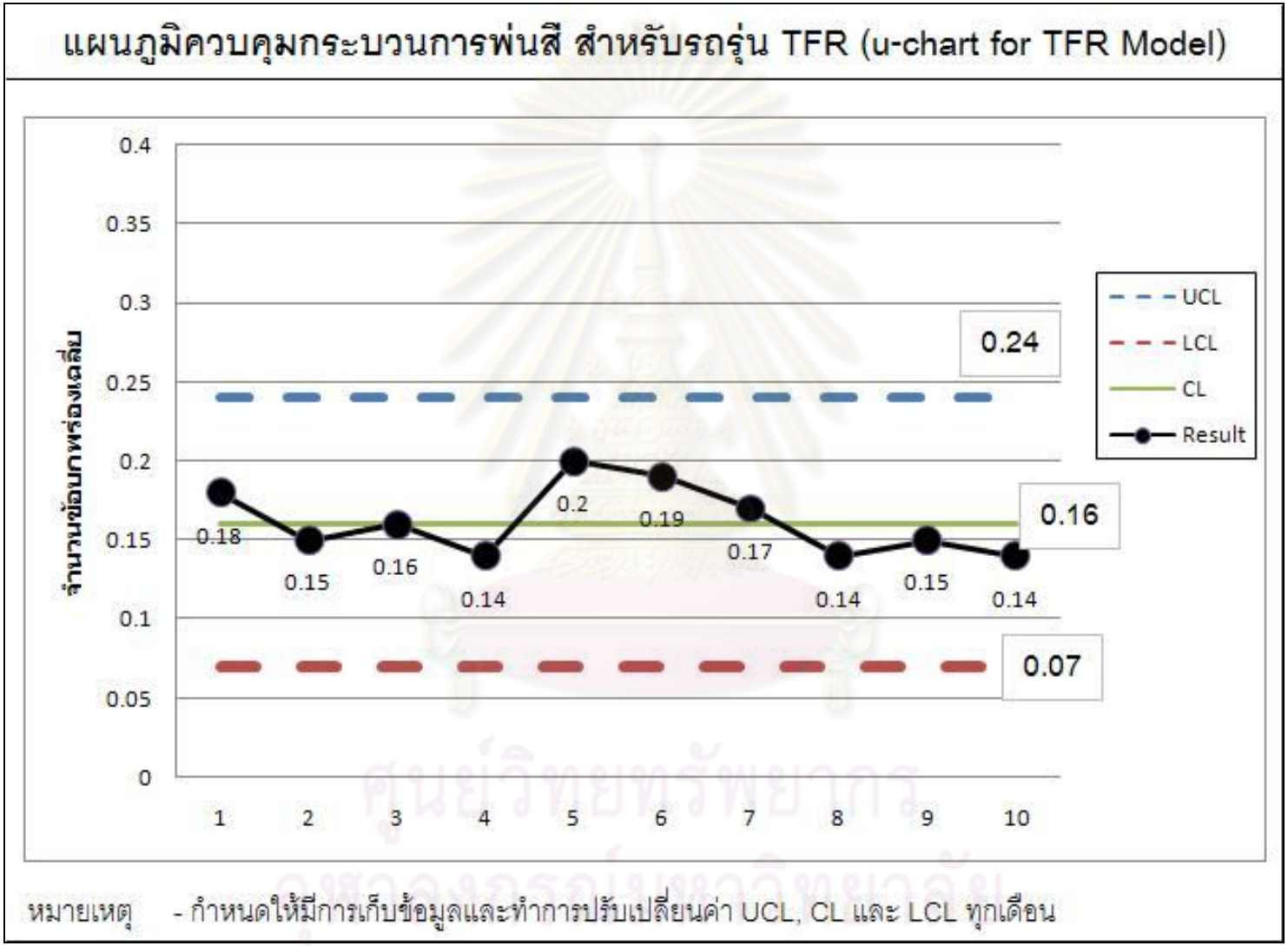
โดยที่ค่าของ $\bar{u}$ หรือ CL = $\frac{\text{จำนวนข้อบกพร่องรวมของผลิตภัณฑ์ (C)}}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบ (N)}}$

= 318 / 2000 = 0.16

ดังนั้น UCL = $0.16 + 3\sqrt{\frac{0.16}{200}}$ = 0.24

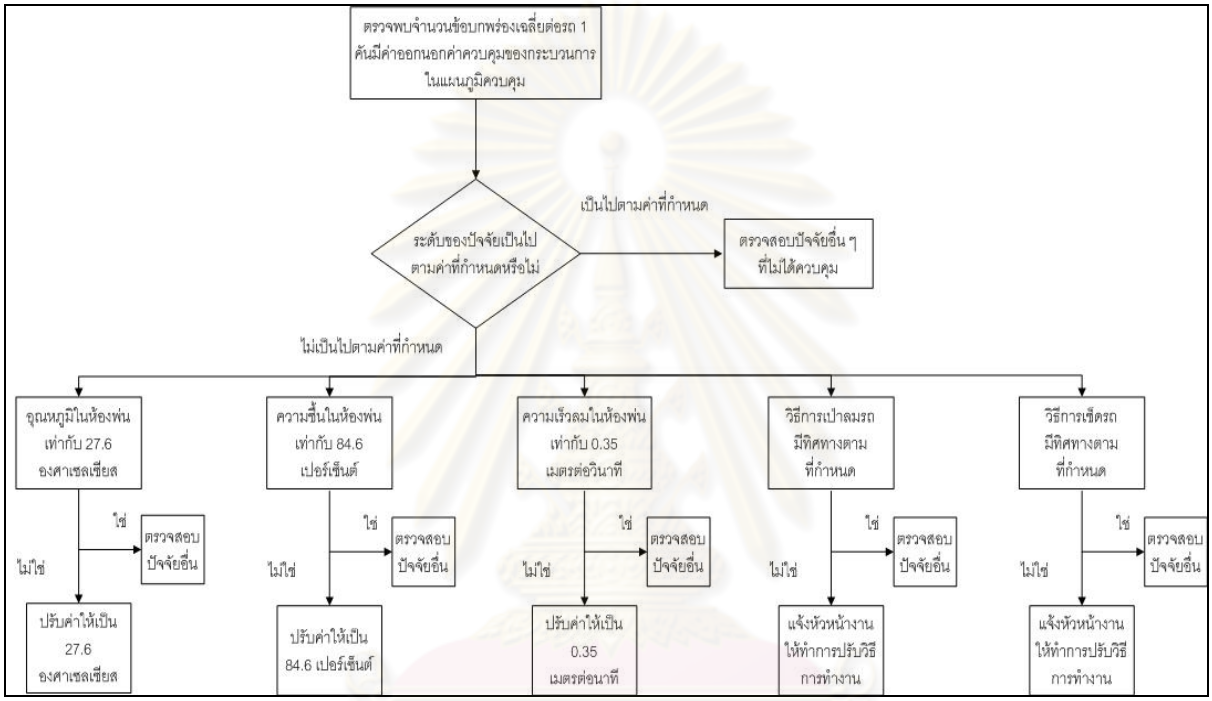
LCL = $0.16 - 3\sqrt{\frac{0.16}{200}}$ = 0.07

ตารางที่ 7.5 การใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับควบคุมกระบวนการพ่นสี



7.4 **แผนปฏิบัติการแก้ไขเมื่อพบจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ออกนอกค่าควบคุม** (Out of Control Action Plan **หรือ** OCAP)

การใช้แผนภูมิควบคุมกระบวนการนั้นเป็นการช่วยให้สามารถตรวจพบความผิดปกติซึ่งคือจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันมีค่าออกนอกค่าควบคุมของกระบวนการ โดยหากพบแล้วต้องทำการแก้ไขตามแผนปฏิบัติการแก้ไขเมื่อพบจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ออกนอกค่าควบคุม ดังนี้



รูปที่ 7.3 แผนปฏิบัติการแก้ไขเมื่อพบจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ออกนอกค่าควบคุม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.5 สรุประยะการทดสอบยืนยันผล และการตรวจติดตามควบคุม

ในการทดสอบยืนยันผลเป็นจำนวน 5 วันได้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 10 กลุ่มพบว่าจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันมีค่าเท่ากับ 0.16 ซึ่งมีค่าลดลงจากก่อนปรับปรุง 57% และเมื่อคิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องแบ่งตามประเภทการซ่อมมีค่าเท่ากับ 40 บาทต่อคัน ซึ่งเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงมีค่าลดลง 55% ซึ่งทั้งสองตัวชี้วัดสามารถลดลงได้มากกว่าค่าที่ตั้งไว้คือ 40% ของทั้งจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่อง โดยเมื่อคำนวณกับจำนวนการผลิตที่พยากรณ์ไว้ในปี 2553 พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมต่อปีได้ถึง 8,013,840 บาทต่อปี และเมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ลดได้จริงหลังหักค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงได้เท่ากับ 5,796,469 บาท

จากนั้นได้มีการจัดทำแผนควบคุมทั้งปัจจัยปรับตั้งค่าและปัจจัยเชิงคุณลักษณะ โดยปัจจัยปรับตั้งค่าได้ออกแบบแบบฟอร์มการตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ในห้องพ่นสีจริงซึ่งมีการกำหนดให้ต้องมีการมาตรวจสอบทุก 2 ชั่วโมงเพื่อทำการปรับค่าปรับตั้งเพื่อให้อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมเป็นไปตามระดับที่กำหนดไว้ ส่วนปัจจัยเชิงคุณลักษณะได้เพิ่มข้อกำหนดเพิ่มเติมเรื่องทิศทางในการทำงานขั้นตอนการเป่าลมและเช็ดรถ

และสุดท้ายได้ออกแบบแผนภูมิควบคุมจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ U-Chart เพื่อทำการควบคุมไม่ให้กระบวนการออกนอกเส้นขอบเขตควบคุมโดยหากออกนอกขอบเขตควบคุม ต้องมีการดำเนินการแก้ไขในทันทีตามแผนปฏิบัติการแก้ไขเมื่อพบจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ออกนอกค่าควบคุม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการพ่นสีตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน และลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่อง โดยมีเป้าหมายในการลดอยู่ที่ 40% ของทั้งจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน และค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่อง ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน 5 ขั้นตอนคือ ระยะการนิยามปัญหา ระยะการวัดและเก็บข้อมูลสภาพปัญหา ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ระยะการปรับปรุงแก้ไข และระยะการทดสอบยืนยันผลและตรวจติดตามควบคุม โดยบทสรุปของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

8.1 สรุประยะนิยามปัญหา

ในระยะนิยามปัญหานี้ ได้ทำการจัดตั้งคณะทำงาน แล้วศึกษากระบวนการพ่นสี รวมถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลของจำนวนและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องชนิดต่าง ๆ จากนั้นจึงได้กำหนดและนิยามปัญหาที่มีเป้าหมายที่จะทำการลดทั้งจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันในกระบวนการพ่นสีรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ (TFR) 80% แรกคือ เส้นใย เม็ดผง สีเป็นคราบ เม็ดพื้น และสีเป็นหลุม และทำการลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน 80% แรกของข้อบกพร่องที่ทำให้เกิดการวนรถออกจากสายการตรวจสอบเนื่องจากข้อบกพร่องนั้นไม่สามารถจะซ่อมได้โดยการขัดยาภายในสายการตรวจสอบ ทำให้ต้องใช้วิธีการซ่อมด้วยสีแห้งช้าทั้งแบบซ่อมเฉพาะจุด (Dot Repair) และแบบซ่อมขนาดใหญ่ (Spot Repair) ที่จุดซ่อมสีอบแห้งช้า และไปซ่อมโดยการขัดซ่อมทั้งคันเพื่อพ่นสีใหม่ (Repaint) ที่จุดขัดซ่อมทั้งคันนั้นคือ เส้นใย สีเป็นคราบ สีเป็นรอยขีด เม็ดผง และสีไหล ซึ่งข้อบกพร่องทั้งห้านั้นทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมช่วงเดือน มกราคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2552 เท่ากับ 2,080,445 บาท หรือคิดเป็นเฉลี่ยต่อเดือนคือ 346,740 บาทต่อเดือน (คิดค่าใช้จ่ายที่ยอดการผลิตของเดือนมกราคม 2552 ถึง มิถุนายน 2552 รวมระยะเวลา 6 เดือน เท่ากับ 34,447 คัน) โดยมีเป้าหมายในการลดกรณีที่ไม่ต้องลงทุนสูง และสามารถทำได้ภายในระยะเวลาในการทำงานวิจัยนี้อยู่ที่ 40% ของทั้งจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน และค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน

8.2 สรุประยะการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา

ระยะการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา เริ่มจากการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด โดยทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) หลังจากการวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบทั้ง 8 คนที่ทำการตรวจสอบตัวถังรถยนต์ 3 คันซ้ำ 2 ครั้ง ที่มีจุดตรวจสอบบนรถทั้ง 3 คันอยู่ 38 จุดตรวจสอบ พบว่าพนักงานทั้ง 8 คนผ่านเกณฑ์การตรวจสอบในหัวข้อ % ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ (% appraiser score) % ความไม่ไบอัสของ

พนักงานตรวจสอบ (% attribute score) % ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (% screen effective score) และ% ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ (% attribute screen effective score) ทั้งหมดคือได้คะแนนมากกว่าเกณฑ์ยอมรับที่กำหนดไว้คือ 85%

จากนั้นจึงทำการประเมินความสามารถของกระบวนการซึ่งได้ข้อสรุปว่ากระบวนการในปัจจุบันที่ได้ทำการตรวจสอบรถทั้งหมด 364 คัน พบข้อบกพร่อง 135 ข้อบกพร่อง ดังนั้นได้จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันเท่ากับ 0.37 ข้อบกพร่อง และคำนวณค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องโดยเฉลี่ยต่อรถ 1 คันคือ 88 บาท

การระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้นั้นเริ่มจากการใช้แผนภาพสาเหตุและผล หรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) มาเพื่อสรุปหาสาเหตุทั้งหมดที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง แล้วทำการให้คะแนนและความสำคัญในการวิเคราะห์ปัญหาจากตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) พบว่าหลังการให้คะแนนเหลือสาเหตุที่มีความเป็นไปได้สูงที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องอยู่ 10 สาเหตุที่มีคะแนนรวมมากกว่า 100 คะแนน และมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดจากปัจจัยอื่นที่เหลือ จึงได้นำปัจจัยที่เหลือไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis) ซึ่งหลังจากการให้คะแนน RPN ตามเกณฑ์ที่กำหนดแล้วได้ปัจจัยที่มีค่า RPN สูงอยู่ 7 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ วิธีในการเช็ดรถ วิธีในการเป่าลมรถ คราบสกปรกบนตัวคน ความเร็วลม ความชื้น และความสะอาดของข้อต่อโรบอท

8.3 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเริ่มจากการเลือกรูปแบบที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย ซึ่งรูปแบบที่เลือกคือ การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment, DOE)

หลังจากวิเคราะห์แล้วสรุปได้ว่าเลือกวิธีการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 3,200 คัน การออกแบบการทดลองสามารถสรุปปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่อง และผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยแต่ละปัจจัยได้ ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกที่จะทำการทดสอบโดยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k ที่มีปัจจัย 7 ปัจจัยแบบไม่มีจุดศูนย์กลาง โดยสาเหตุที่ไม่ได้กำหนดจุดศูนย์กลางเนื่องจากว่าในขั้นตอนนี้เป็นการหาความมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองเท่านั้นจึงได้เลือกกำหนดแค่ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) ซึ่งในการออกแบบการทดลองใช้จำนวนการทดลอง (run) ทั้งสิ้น 16 การทดลอง

จากนั้นเมื่อได้ผลการทดลองแล้ว ก่อนนำมาวิเคราะห์ต้องมีการแปลงค่าของตัวแปรตอบสนองให้เป็นไปตามสมมติฐานเรื่องความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีของ Freeman และ Turkey แล้วจึงนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งผลการวิเคราะห์นั้นข้อมูลที่ได้รับการแปลงแล้วมีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ผลได้ ซึ่งผลที่ได้พบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั้นปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเพื่อนำไปปรับปรุงหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือปัจจัย A อุณหภูมิ ปัจจัย B ความชื้น ปัจจัย C ความเร็วลม และปัจจัย E วิธีในการเช็ดรถ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักทั้งหมด และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดๆที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ

8.4 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการเริ่มจากการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งผลจากบทที่ 5 พบว่ามีปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง 4 ปัจจัยและไม่มีผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดๆ ดังนั้นจึงทำการทดลองเพิ่มเติมเฉพาะปัจจัย 3 ปัจจัยที่ระดับของปัจจัยเป็นค่าปรับตั้ง โดยได้เลือกทำการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response surface design) แบบ Box-Behnken Design ส่วนปัจจัยเชิงคุณลักษณะอีก 4 ปัจจัยเมื่อทำการทดลองแล้วพบว่ามีเพียง 1 ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ คือ วิธีในการเช็ดรถ ส่วนอีก 3 ปัจจัย ไม่มีนัยสำคัญ ผู้วิจัยได้เลือกที่จะกำหนดและควบคุมระดับของปัจจัยเชิงคุณลักษณะ 2 ตัว ได้แก่ วิธีในการเช็ดรถและวิธีในการเป่าลม เนื่องจากวิธีในการเช็ดรถมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่อง ถึงแม้วิธีในการเป่าลมจะไม่มีนัยสำคัญ แต่ผู้วิจัยได้กำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานเป่าลมแบบมีการกำหนดทิศทางเนื่องจากมีความสะดวกในทางปฏิบัติและไม่กระทบกับค่าใช้จ่าย ส่วนอีก 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยเรื่องคราบสกปรกบนตัวคนและปัจจัยความสะอาดของข้อต่อโรบอทไม่มีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่อง ซึ่งหากกำหนดให้มีการปรับปรุง จะทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงเหลือการปรับปรุงทั้งหมด 5 ปัจจัยคืออุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม วิธีการเป่าลมรถ และวิธีในการเช็ดรถ ซึ่งในการออกแบบการทดลองเมื่อได้ผลการทดลองมาแล้วนั้นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของการทดลองว่าเป็นไปตามเงื่อนไขการออกแบบการทดลองคือ NID (0, σ^2) โดยตรวจสอบพบว่าเป็นไปตามเงื่อนไขทั้งหมด หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสมในการทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าต่ำที่สุดด้วยวิธี Response Optimization โดยโปรแกรม Minitab ได้ว่าค่าที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิที่ 27.6 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ 84.6% และการความเร็วลมที่ 0.35 เมตรต่อวินาที โดยมีค่าทำนายจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.71 ซึ่งเป็นค่าที่แปลงค่าโดยวิธีของ Freeman และ Turkey หากแปลงค่ากลับเป็นจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยจะได้เท่ากับ 0.13 จุดต่อคัน

8.5 สรุประยะการทดสอบยืนยันผล และการตรวจติดตามควบคุม

ในการทดสอบยืนยันผลเป็นจำนวน 5 วันได้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 10 กลุ่มพบว่าจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันมีค่าเท่ากับ 0.16 ซึ่งมีค่าลดลงจากก่อนปรับปรุง 57% และเมื่อคิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องแบ่งตามประเภทการซ่อมมีค่าเท่ากับ 40 บาทต่อคัน ซึ่งเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงมีค่าลดลง 55% ซึ่งทั้งสองตัวชี้วัดสามารถลดลงได้มากกว่าค่าที่ตั้งไว้คือ 40% ของทั้งจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยและค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่อง โดยเมื่อคำนวณกับจำนวนการผลิตที่พยากรณ์ไว้ในปี 2553 พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมต่อปีได้ถึง 8,013,840 บาทต่อปี (คิดค่าใช้จ่ายที่ยอดการผลิตที่พยากรณ์ในปี 2553 เท่ากับ 166,955 คัน) และเมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ลดได้จริงหลังหักค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงได้เท่ากับ 5,796,469 บาท

จากนั้นได้มีการจัดทำแผนควบคุมทั้งปัจจัยปรับตั้งค่าและปัจจัยเชิงคุณลักษณะ โดยปัจจัยปรับตั้งค่าได้ออกแบบแบบฟอร์มการตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ในห้องพ่นสีจริงซึ่งมีการกำหนดให้ต้องมีการมาตรวจสอบทุก 2 ชั่วโมงเพื่อทำการปรับค่าปรับตั้งเพื่อให้อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมเป็นไปตามระดับที่กำหนดไว้ ส่วนปัจจัยเชิงคุณลักษณะได้เพิ่มข้อกำหนดเพิ่มเติมเรื่องทิศทางในการทำงานขั้นตอนการเป่าลมและเช็ดรถ

และสุดท้ายได้ออกแบบแผนภูมิควบคุมจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ U-Chart เพื่อทำการควบคุมไม่ให้กระบวนการออกนอกเส้นขอบเขตควบคุมโดยหากออกนอกขอบเขตควบคุม ต้องมีการดำเนินการแก้ไขในทันทีตามแผนปฏิบัติการแก้ไขเมื่อพบจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ออกนอกค่าควบคุม

8.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1) การทดลองต้องทำควบคู่ไปกับการผลิตในสายการผลิตจริง จึงทำให้ในการทดลองแต่ละครั้งต้องทำเครื่องหมายไว้ที่รถที่ทำการทดลองนั้น และยังไม่สามารถทำการทดลองเป็นจำนวนมากเนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อสายการผลิต

2) การปรับปรุงไม่ได้รับอนุญาตให้ทำการปรับปรุงที่ต้องมีการลงทุนสูง

3) ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงเนื่องจากมีการปรับปรุงโดยการปรับตั้งค่าเครื่องจักร และปรับวิธีการทำงานของพนักงานที่ไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเท่านั้น โดยในการปรับตั้งเครื่องจักรนั้น การคิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นไม่สามารถคำนวณได้เพราะการคำนวณค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บในแต่ละเดือนนั้นเป็นคำนวณค่าใช้จ่ายรวมของทั้งโรงงานพ่นสี ซึ่งไม่สามารถแยกข้อมูลมาคิดค่าไฟฟ้าที่อาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากการปรับตั้งค่าได้

8.7 ข้อเสนอแนะ

1) ผลของการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ในสายการผลิตอื่น ๆ ที่มีความเหมือนหรือคล้ายกับกระบวนการพ่นสี โดยต้องคำนึงถึงวิธีการทำงาน ข้อกำหนดเฉพาะ และสภาพเครื่องจักรด้วย

2) สามารถทำการปรับปรุงเพิ่มเติมในการลดข้อบกพร่องที่มีความสำคัญรองลงมาจากที่กำหนดให้ปรับปรุงในงานวิจัยนี้ได้

3) ในส่วนของปัจจัยที่ต้องมีการลงทุนเพิ่มเติม อาจต้องมีการนำมาพิจารณาเพื่อเพิ่มระดับคุณภาพของกระบวนการผลิต

4) การปรับปรุงกระบวนการพ่นสีระดับของปัจจัยแต่ละปัจจัย ต้องมีการทำมาตรฐานการทำงาน ข้อกำหนดและค่ามาตรฐานในการควบคุม ซึ่งต้องมีการจัดฝึกอบรมพนักงานให้มีความรู้ความเข้าใจเพื่อให้การทำงานเป็นไปตามที่กำหนดและจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันอยู่ในค่าควบคุมของกระบวนการในแผนภูมิควบคุมกระบวนการ รวมถึงต้องมีการจัดกิจกรรมให้พนักงานมีความรู้สึกมีส่วนร่วมในการปรับปรุงและเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการพ่นสีทุกคน

5) กรณีปัจจัยประเภทความเร็วลมจากการทดลองพบว่าเมื่อมีการปรับตั้งค่าสูงขึ้นแนวโน้มของจำนวนข้อบกพร่องที่พบมีค่าลดลง ซึ่งเป็นประเด็นที่ผู้วิจัยคิดว่าควรศึกษาเพิ่มเติม แล้วทำการตรวจสอบว่าส่งผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของสีเช่นความแข็ง, ค่าการยึดเกาะ และความความหนาหรือไม่เนื่องจากหากปรับค่าเพิ่มขึ้นจะเกินค่าที่ทางผู้ผลิตสีแนะนำมาคือระหว่าง 0.25-0.35 เมตรต่อวินาที และควรตรวจสอบด้านค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการปรับค่าความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทำให้ต้องเพิ่มกำลังของพัดลมที่ใช้ในการปั่นใบพัดลมให้เร็วขึ้น และเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้สีเนื่องจากต้องทำการเพิ่มค่าอัตราการไหลของสีที่พ่นออกมาจากโรบอท เนื่องจากลมที่จ่ายลงมามีความเร็วมากขึ้นจะส่งผลให้ละอองสีที่พ่นออกมาวิ่งไปที่ตัวรถน้อยลงซึ่งต้องปรับให้มีอัตราการไหลสีที่สูงขึ้น ทำให้บริษัทต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิต ซึ่งในการทำงานจำเป็นต้องคำนึงถึงเป้าหมายที่ต้องให้ต้นทุนรวม (Total Cost) ต่ำที่สุด โดยต้นทุนรวมประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายด้านค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายปริมาณสีที่เพิ่มขึ้น นำไปหักออกจากค่าใช้จ่ายในการซ่อมสีที่ลดลงได้

6) ในงานวิจัยนี้พบว่าปัจจัยเรื่องคราบสกปรกบนตัวคน และความสะอาดของข้อต่อโรบอทเป็นปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยเป็นปัจจัยที่หากเลือกทำการปรับปรุงจะต้องมีการลงทุนเพิ่มเติมที่สูงซึ่งทางโรงงานกรณีศึกษาไม่อนุญาต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่ได้ทำการศึกษาเพิ่มถึงความคุ้มค่าในการลงทุน แต่ทางผู้วิจัยคิดว่าหากในกรณีงานปรับปรุงเรื่องอื่น ๆ ที่ผู้ที่ทำการศึกษาสนใจทำพบว่ามีปัจจัยใดที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง ให้ทำการวิเคราะห์โครงการในลักษณะการเปรียบเทียบเป็นระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period) เพื่อหาว่าควรลงทุนเพิ่มเติมหรือไม่

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย MINITAB. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ . พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551.

ทิชา แสนสม. การลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ภาณุ ชุดเจือจีน. การประยุกต์ซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดของเสียจากการพ่นสีรองพื้นในกระบวนการผลิตกล่องนาฬิการาคาแพง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

วชิรพงษ์ สาลีสิงห์. ปฏิวัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค Six Sigma ฉบับ Champion และ Black Belt. กรุงเทพฯ : ศิริวัฒนา อินเตอร์พริ้นท์, 2548.

สุวิทย์ กล่ำเพ็ง. การวิเคราะห์และควบคุมปัจจัยคุณภาพที่มีผลกระทบต่อการพ่นสีรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว. การลดการสูญเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ภาษาอังกฤษ

Belle, Gerald. Statistical Rules of Thumb. John Wiley and Sons, Inc., 2002

Bisgaard, S. and Fuller, H. T. Analysis of factorial experiments with defects or defectives as the response. Journal of Quality Engineering 7: 2 (1994): 429-443.

Bisgaard, S. and Fuller, H. T. Sample size estimates for two-level factorial designs with binary response. Journal of Quality Technology 27: 4 (1995): 344-354.

Breyfogle, F. W. III. Implementing six sigma: Smarter solutions using statistical methods. New York: John Wiley & Sons, 2001.

Eches, George. Six Sigma for Everyone. New York : John Wiley & Sons, 2003.

Evans, James R. and Lindsay, William M. An Introduction to Six Sigma & Process Improvement. Ohio : Thomson, 2005.

Kapadia, M. Mishra A. Hemanth S. and Limaye V. Improving Customer Satisfaction through Six Sigma: A Paint Shop Case Study. USA: Tata Auto Plastic Systems Limited (TAPS), 2002.

Montgomery, D. C. Design and analysis of experiments. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2005

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก. 1 ตัวอย่างแบบฟอร์มรายการตรวจสอบในการวิเคราะห์ระบบการวัด

คันที่	ตัวอย่างที่	ชนิดข้อบกพร่อง	พนักงานตรวจสอบคนที่ 1		พนักงานตรวจสอบคนที่ 2		พนักงานตรวจสอบคนที่ 3		พนักงานตรวจสอบคนที่ 4		พนักงานตรวจสอบคนที่ 5		พนักงานตรวจสอบคนที่ 6		พนักงานตรวจสอบคนที่ 7		พนักงานตรวจสอบคนที่ 8		พนักงานตรวจพบข้อบกพร่องได้ทุกครั้งและทุกคน	พนักงานตรวจได้เหมือนกันอย่างถูกต้อง
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
	1																			
	2																			
	3																			
	4																			
	5																			
	6																			
	7																			
	8																			
	9 10																			
	11																			
	12																			
	13																			
	14																			
	15																			
	16																			
	17																			
	18																			
	19																			
	20																			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก. 2 ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

Run	Sample Size	เส้นใย	สีเป็นคราบ	สีเป็นรอยขีด	เม็ดผง	สีไหล	เม็ดพื้น	สีเป็นหลุม	จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน
1	200	26	8	2	7	1	2	1	0.24
2	200	38	10	5	14	3	6	2	0.39
3	200	29	9	6	4	1	2	1	0.26
4	200	35	11	7	8	2	3	1	0.34
5	200	25	10	6	7	0	2	0	0.25
6	200	27	12	7	10	2	4	0	0.31
7	200	36	10	5	14	1	7	2	0.38
8	200	27	11	2	10	0	3	0	0.27
9	200	36	12	6	13	1	6	0	0.37
10	200	25	15	1	12	2	4	1	0.3
11	200	35	11	7	9	2	5	3	0.36
12	200	24	12	1	8	1	3	1	0.25
13	200	36	14	7	12	1	5	1	0.38
14	200	32	8	5	13	1	9	2	0.35
15	200	27	8	7	9	0	1	1	0.27
16	200	33	15	7	9	2	3	2	0.36

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก. 3 ผลการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

Run	Sample Size	เส้นใย	สีเป็นคราบ	สีเป็นรอยขีด	เม็ดผง	สีไหล	เม็ดพื้น	สีเป็นหลุม	จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน
1	200	24	7	3	9	1	2	1	0.24
2	200	22	5	4	12	3	7	2	0.28
3	200	22	5	1	8	0	2	0	0.19
4	200	39	13	9	12	2	10	2	0.44
5	200	24	3	1	7	0	3	1	0.2
6	200	27	8	5	10	3	9	2	0.32
7	200	26	4	2	7	0	2	1	0.21
8	200	20	5	1	3	0	2	0	0.16
9	200	24	6	3	10	0	3	0	0.23
10	200	19	3	1	7	0	1	0	0.16
11	200	27	4	1	11	0	3	1	0.24
12	200	11	2	2	4	1	2	1	0.12
13	200	23	13	5	10	1	2	1	0.28
14	200	16	4	1	7	1	1	0	0.15
15	200	29	8	7	9	1	2	1	0.29
16	200	29	10	5	14	3	6	2	0.35
17	200	22	6	2	5	1	2	1	0.2
18	200	23	7	3	5	0	2	0	0.2
19	200	21	4	2	4	0	1	0	0.16
20	200	14	4	3	5	2	4	0	0.16
21	200	32	8	3	9	1	7	3	0.32
22	200	24	6	1	5	0	1	0	0.19
23	200	16	6	3	7	1	6	0	0.2
24	200	28	15	1	12	2	7	1	0.33
25	200	15	6	2	5	0	3	1	0.16
26	200	31	11	1	10	1	9	1	0.32
27	200	18	7	3	6	0	3	1	0.19
28	200	22	3	2	6	1	6	2	0.21
29	200	30	9	7	9	0	1	1	0.29
30	200	13	5	2	2	0	1	0	0.12

ตารางที่ ก. 4 ผลการทดลองเพื่อทดสอบและยืนยันผลการทดลอง

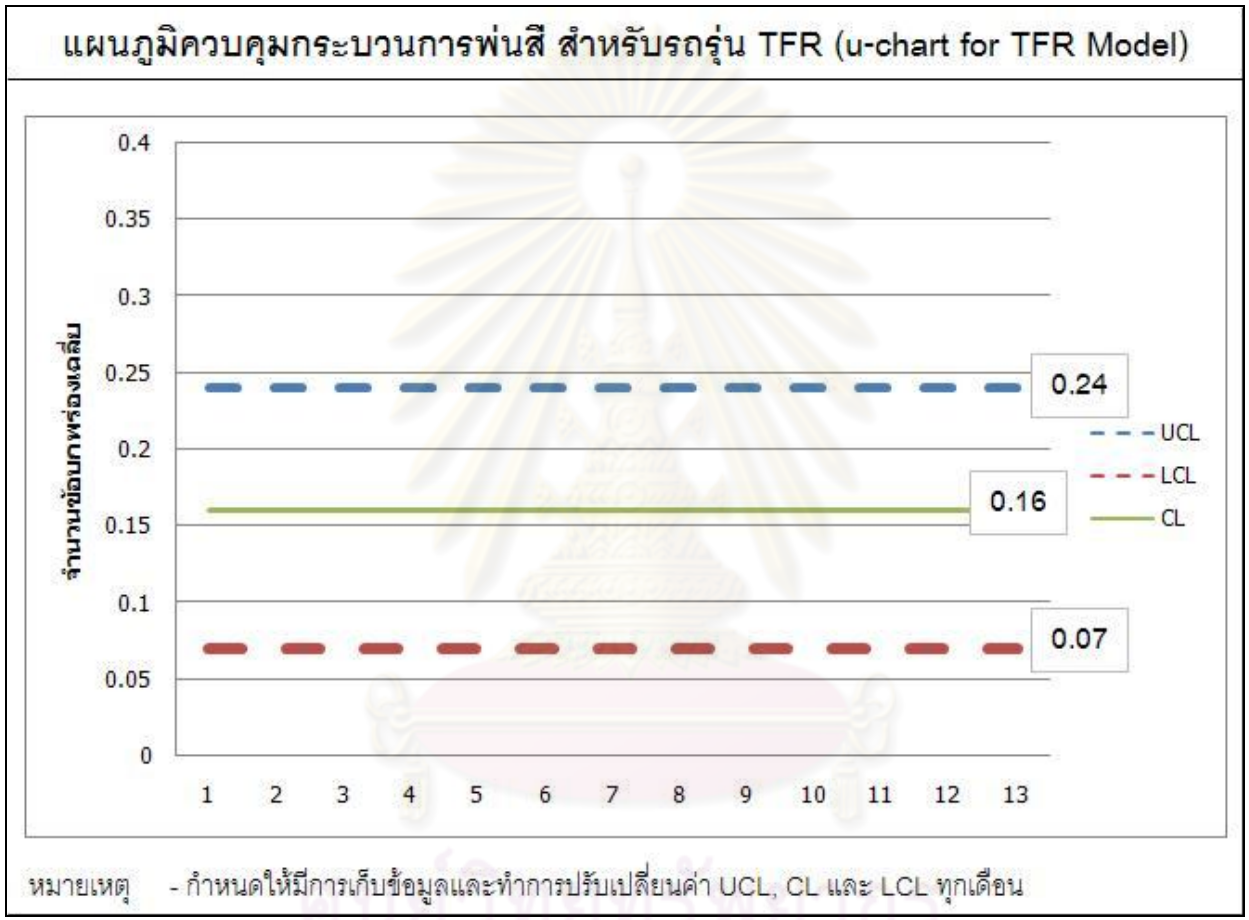
Run	Sample Size	เส้นใย	สีเป็นคราบ	สีเป็นรอยขีด	เม็ดผง	สีไหล	เม็ดพื้น	สีเป็นหลุม	จำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน
1	200	21	7	1	4	0	2	0	0.18
2	200	18	3	1	5	0	2	1	0.15
3	200	19	3	2	3	1	2	1	0.16
4	200	15	4	3	4	0	1	0	0.14
5	200	18	6	6	7	0	2	0	0.2
6	200	17	8	4	5	0	4	0	0.19
7	200	17	5	2	4	0	4	2	0.17
8	200	13	3	2	7	0	3	0	0.14
9	200	16	3	2	2	1	5	0	0.15
10	200	14	2	1	6	1	3	0	0.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข. 1 แผนภูมิควบคุมกระบวนการพ่นสี

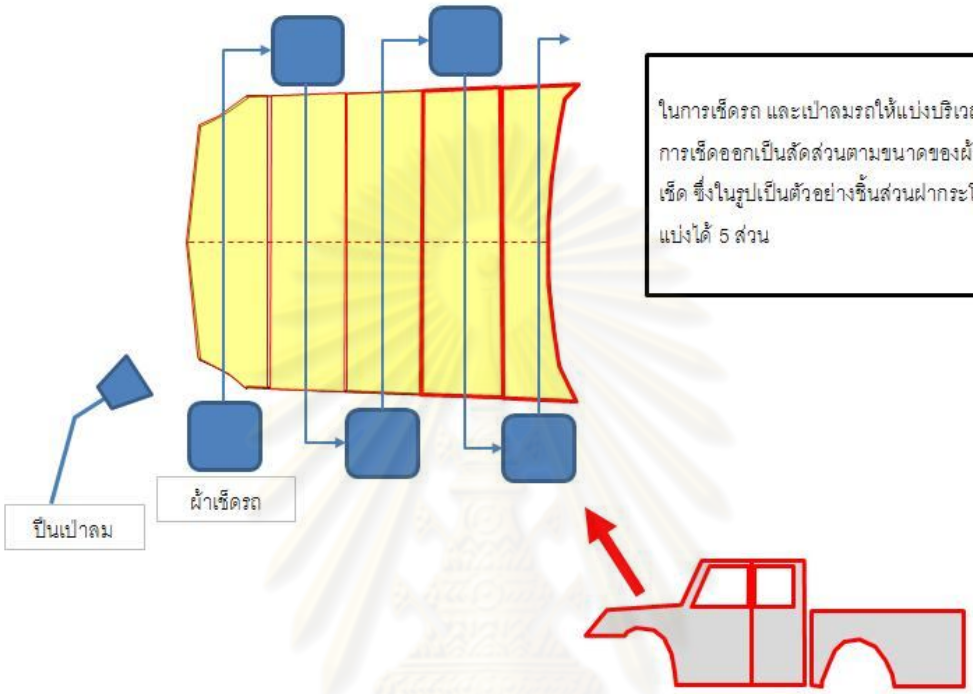


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข. 2 มาตรฐานการทำงานในขั้นตอนเตรียมผิวชิ้นงาน (เป่าลม และเช็ดรถ)

	Work Instruction	

Stage : Preparation Process (Blowing and Wiping)



ข้อควรระวัง	หัวข้อคุณภาพ	อุปกรณ์ที่ต้องใช้	
1) ในการเป่าลมด้วยปืนเป่าลมให้ระวังปากปืนเป่าลมโดนชิ้นส่วนของรถที่จะทำให้เกิดรอยขีดข่วนได้	ป้องกันปัญหารอยขีดบนตัวรถ	1) ผ้าเช็ดรถ 2) ปืนเป่าลม 3) ผ้าปิดจมูกหรือหน้ากาก ป้องกันฝุ่นผง 4) ถุงมือแบบเส้นใยน้อย	
2) ผ้าที่ใช้เช็ดรถกำหนดให้เช็ด 10 คันแล้วต้องเปลี่ยนผ้าผืนใหม่	ป้องกันปัญหาเส้นใย สีเป็นคราบ เม็ดผง		ผู้อนุมัติ หรือ ผู้ตรวจสอบ
3) ทิศทางการเช็ดต้องเช็ดจากบนลงล่างและจากด้านหน้ารถไปด้านหลังรถ	เพื่อให้เป็นมาตรฐานและลดจำนวน		ผู้รายงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอาทิตย์ หงสพันธ์ เกิดเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัด กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ๒ จังหวัดกรุงเทพฯ และเข้าศึกษาต่อจนสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ฯ ธนบุรี ในปีการศึกษา 2548 ภายหลังจบการศึกษาได้เข้าทำงานที่บริษัท อีซูซุมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรฝ่ายการผลิต จากนั้นจึงได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย