ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
248498

การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลการสำรวจการเคลื่อนย้ายดินล้ำในประเทศไทย

นายสุกฤษฎิ์ โชคชัยรุ่งโรจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00254029

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชา
248497

การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า

นายอาทิตย์ หงสพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5071527521

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

Mr.Artit Hongsapan

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)

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

248497

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.

248497

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 นายอาทิตย์ 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

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

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..... การประกอบขั้นสุดท้าย	57
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 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉพาะข้อบกพร่องที่เลือกจะแก้ไขแบ่งชนิดตามวิธีที่ใช้ ซ่อม.....	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

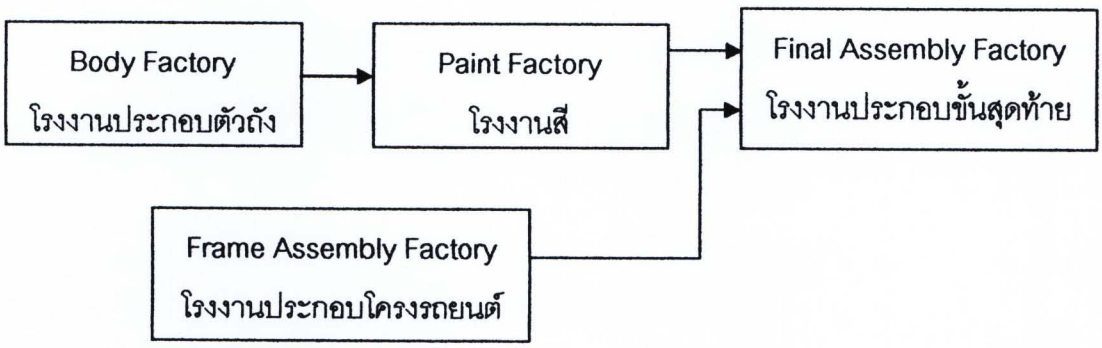
ตารางที่ 5.4 สมการการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย..... 105
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey..... 107
ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab..... 109
ตารางที่ 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

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

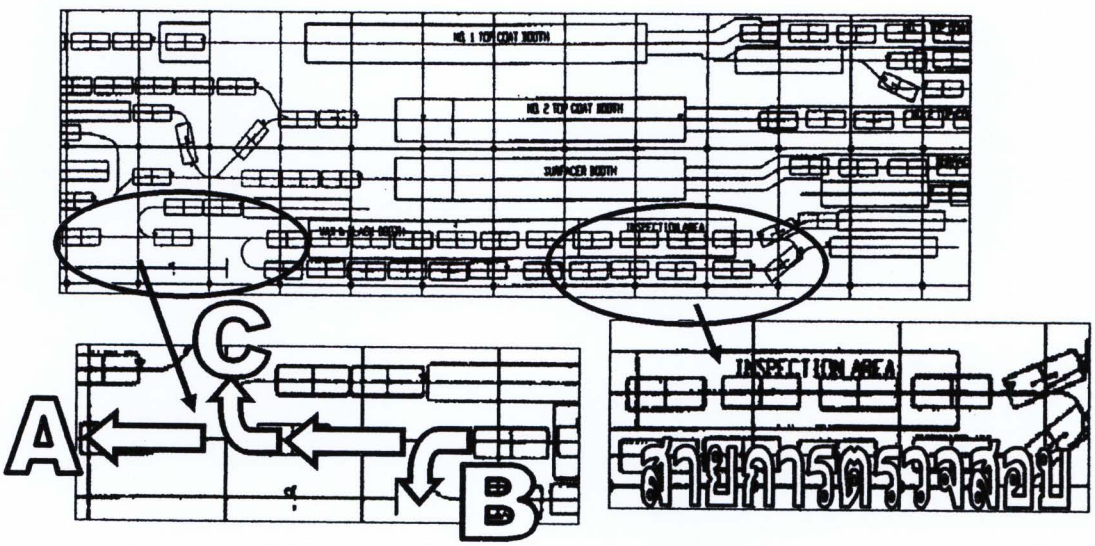
รูปที่ 5.6 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง..... 110
รูปที่ 5.7 ผลของปัจจัยหลักที่มีต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย..... 111
รูปที่ 5.8 ผลของอันตรกิริยาที่มีต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ย..... 112
รูปที่ 6.1 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design 115
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 ออกนอกค่า ควบคุม..... 135

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