การวิเคราะห์และลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ

นายไกรกุล ลิกขะไชย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# DEFECT ANALYSIS AND LOSS REDUCTION IN CORRUGATED PAPER BOX BOARD PROCESS

Mr. Kraikul Liggachai

สถาบันวิทยบริการ
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 2007

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การวิเคราะห์และลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ |
| โดย | นายไกรกุล ลิกขะไชย |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไกรกุล ลิกขะไชย : การวิเคราะห์และลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ (DEFECT ANALYSIS AND LOSS REDUCTION IN CORRUGATED PAPER BOX BOARD PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา : 185 หน้า

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ แบ่งการดำเนินการออกเป็น 3 ส่วน 1) ศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง พบว่าจำนวนของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้น 11.41% คิดเป็นสัดส่วนที่มาจากกระบวนการพิมพ์ถึง 69.65% เมื่อวิเคราะห์เจาะจงลงไปพบว่าของเสียส่วนใหญ่มาจาก 4 ประเภทหลัก ๆ คือ สีพิมพ์เพี้ยน-ไม่สม่ำเสมอ สีพิมพ์สกปรก คราบขี้หมึก และคราบขับหลัง โดยพิจารณาเลือกเครื่องพิมพ์ในกลุ่ม 4 สี และพบว่าผลิตภัณฑ์ B ในกลุ่มบรรจุภัณฑ์อาหาร มีอัตราการเติบโตในระดับที่สูงพร้อม ๆ กับปริมาณของเสียที่สูงตามไปด้วย เมื่อนำข้อมูลปัญหาสีพิมพ์เพี้ยนมาพิจารณาพบว่าดัชนีความสามารถของกระบวนการค่า (ความเปรียบต่างสี) อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดี ควรนำมาปรับปรุง 2) ดำเนินการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ประกอบไปด้วยการคัดเลือกตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าโดยใช้ แผนผังก้างปลา ตารางสาเหตุและผล เชื่อมโยงเพื่อหาความรุนแรงของปัญหาด้วย FMEA ตลอดจนวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบการวัด 3) ดำเนินการวิเคราะห์และปรับปรุงโดยทำการทดสอบสมมติฐานของตัวแปร จากปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือก 4 ปัจจัย พบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี จากนั้นนำมาออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^K$ โดยเพิ่มจุดศูนย์กลาง 3 จุด ทดลองซ้ำ 2 Replicate เพื่อหาอิทธิพลของตัวแปร พบว่ามีเพียง 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA) มีผลค่อค่าความเปรียบต่างสี โดยรูปแบบของการทดลองนี้มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง (Curvature) จึงทำการออกแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบเพิ่มเติมเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของทั้ง 2 ปัจจัย และเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองจึงใช้หลักการทางสถิติ (One Sample T-Test) ทดสอบ พบว่าสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้จริง จากนั้นดำเนินการจัดทำแผนเพื่อควบคุมกระบวนการต่อไป

จากข้อมูลหลังการปรับปรุงพบว่าความสามารถของกระบวนการของค่าความเปรียบต่างสีอยู่ในระดับที่สูงขึ้นอยู่ในระดับที่พอใช้ถึงดีและจากการกำหนดมาตรฐานปัจจัยการผลิตรวมถึงแผนควบคุมการผลิตทำให้สามารถลดจำนวนของเสียจากเดิม 11.41% เหลือเพียง 5.90%

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ.... ลายมือชื่อนิสิต.....ไกรกุล.....

สาขาวิชา....วิศวกรรมอุตสาหการ... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา....2550.....

## 4771405021: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: PACKAGING/ PRINTING CONTRAST/ PROCESS CAPABILITY/ DEFECT LOSS/ LOSS ANALYSIS.

KRAIKUL LIGGACHAI: DEFECT ANALYSIS AND LOSS REDUCTION IN CORRUGATED PAPER BOX BOARD PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.PARAMES CHUTIMA, Ph.D.,185 pp.

The objective of this thesis is to reduce defect loss in the corrugated paper boxes manufacturing process. In it consists of 3 phases which 1) Define phase : to define problem , objective and scope. Defect in the printing is a major of all defect we scope in the 4 color of printing machine. After analysis statistic data, process capability of process color in offset printing system which is bad criteria. 2) Measuring phase is to define key process input are list by cause and effect diagram, cause and effect matrix and FMEA and analyze the precision of measurement system is Spectrophotometer is acceptance. 3) Analyze and improving phase is to use Design of Experiment (DOE) $2^K$ 3 centerpoint with 2 replicate to analyze interested key input variable. The interested variable is effect to the print contrast is 2 variable is Dampening temperature and Ratio of Isopropyl Alcohol in dampening solution. Because the design is a curvature (quadratic model) then design the experiment by use response surface methodology (RSM) to find the optimized level of 2 variables. The experiment result can increase process capability of print contrast. The confirm experiment is run in mean and can apply in real process. After control process by the control plan and standard adjustment.

The data of process capability after improving the process is between fair to good criteria level include the control plan action it can reduce a defect from 11.41 to 5.90% of all defect

Department : Industrial Engineering.... Student's Signature : .....

Field of study : Industrial Engineering... Advisor's Signature : .....

Academic year : ....2007.....

# กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้ความรู้ และเป็นผู้เสนอแนะแนวทาง ในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ ท่านประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ และอาจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ ที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นอย่างมาก รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนร่วมคณะทำงานแผนกต่าง ๆ ของโรงงานตัวอย่าง ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์ในด้านข้อมูลเพื่อใช้ในการประกอบการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยติดตามและช่วยเหลือผู้วิจัยตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ คุณประโยชน์อันพึงจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ บิดา มารดา ซึ่งให้ทั้งกำลังใจและให้ทุก ๆ สิ่งมาโดยตลอด รวมทั้งคณาจารย์ ทุกท่าน เพื่อน้อมรำลึกถึงพระคุณในการศึกษาแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฑ

บทที่

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา..... 1

1.2 แนวความคิดเพื่อการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย..... 2

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 3

1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน..... 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 บทบาทหน้าที่ของบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ..... 5

2.2 ประเภทบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ..... 5

2.3 อิทธิพลของสีที่มีต่อบรรจุภัณฑ์..... 6

2.4 การมองเห็นสีและการวัดค่าสี..... 10

2.5 ความสูญเสียและการเพิ่มผลผลิต..... 15

2.6 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)..... 20

2.7 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)..... 22

2.8 การวิเคราะห์ระบบการวัดและความสามารถของกระบวนการ..... 23

2.9 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Measurement System Analysis) 27

2.10 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE)..... 28

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.11 พื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology)…….. 38
2.12 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล…… 41
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…… 48
บทที่ 3 สภาพปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง…….…….... 51
3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานตัวอย่าง..... 51
3.2 รายละเอียดขั้นตอนการเตรียมการผลิต…… 57
3.3 รายละเอียดขั้นตอนการผลิต…….. 62
3.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน……. 71
3.5 ขอบเขตของปัญหา…… 75
3.6 การพิจารณาเลือกเครื่องจักรเพื่อทำการปรับปรุง……. 76
3.7 สรุปสภาพปัญหาของโรงงานตัวอย่าง……... 79
บทที่ 4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา……..……..... 80
4.1 บทนำ……. 80
4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)……... 80
4.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยผังแสดงเหตุและผล……... 87
4.4 การระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ FMEA……..…... 94
4.5 สรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา……. 105
บทที่ 5 การดำเนินการวิเคราะห์และปรับปรุง……..... 106
5.1 บทนำ…….. 106
5.2 การทดสอบสมมติฐาน…… 107
5.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^K$ ($2^K$ Factorial Design)…… 128
5.4 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง……. 137
5.5 การทดสอบยืนยันผล…… 145
5.6 ปัญหาสีพิมพ์สกปรก…… 148
5.7 การควบคุมกระบวนการผลิต……..……... 151
5.8 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต……... 154

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.9 สรุปการดำเนินการวิเคราะห์และปรับปรุง..... 157

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 158

6.1 บทนำ..... 158

6.2 บทสรุปศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง..... 159

6.3 บทสรุปการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา..... 159

6.4 บทสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์และปรับปรุง..... 160

6.5 ข้อจำกัดในการดำเนินงานวิจัย..... 164

6.6 ข้อเสนอแนะ..... 164

รายการอ้างอิง..... 165

ภาคผนวก..... 167

ภาคผนวก ก แบบฟอร์มการให้คะแนนอัตราความสำคัญต่อค่าความเปรียบต่างสี.... 168

ภาคผนวก ข ค่าผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้งหมด..... 170

ภาคผนวก ค ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดสอบ..... 172

ภาคผนวก ง ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วน แอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้นในระหว่างการผลิต..... 174

ภาคผนวก จ ค่าความสามารถของกระบวนการของค่าความเปรียบต่างสี..... 176

ภาคผนวก ฉ เอกสารวิธีการปฏิบัติงานการตั้งเครื่องพิมพ์ (WI-PDD-001)..... 181

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 185

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงบทบาทหน้าที่ของบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ ..... 5
ตารางที่ 2.2 ลำดับความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cp..... 26
ตารางที่ 2.3 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน..... 43
ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ One Way ANOVA..... 45
ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก..... 46
ตารางที่ 2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ Two Fix Effect Model..... 47
ตารางที่ 3.1 แสดงสัดส่วนยอดขายผลิตภัณฑ์แยกตามประเภทและสายการผลิต..... 55
ตารางที่ 3.2 กระบวนการผลิต : กล่องกระดาษแข็งชนิดประกบฟูก..... 57
ตารางที่ 3.3 กระบวนการผลิต : กล่องกระดาษแข็งชนิดไม่ประกบฟูก..... 57
ตารางที่ 3.4 กำลังการผลิตของเครื่องจักร..... 61
ตารางที่ 3.5 ชนิดและรูปแบบการเคลือบผิว..... 64
ตารางที่ 3.6 รายละเอียดมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละสายการผลิต..... 71
ตารางที่ 3.7 รายละเอียดข้อมูลการผลิตในสายการผลิตที่ 1..... 72
ตารางที่ 3.8 รายละเอียดข้อมูลการผลิตในสายการผลิตที่ 2..... 72
ตารางที่ 3.9 รายละเอียดข้อมูลการผลิตในสายการผลิตที่ 3..... 72
ตารางที่ 3.10 รายละเอียดข้อมูลการผลิตในสายการผลิตที่ 4..... 72
ตารางที่ 3.11 รายละเอียดข้อมูลการผลิตในสายการผลิตที่ 5..... 72
ตารางที่ 3.12 รายละเอียดข้อมูลการผลิตในสายการผลิตที่ 6..... 72
ตารางที่ 3.13 ข้อมูลของเสียแยกตามประเภทและกระบวนการผลิต..... 73
ตารางที่ 3.14 ข้อมูลประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตามลำดับปริมาณ..... 74
ตารางที่ 3.15 สรุปข้อมูลประเภทของเสียหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต..... 75
ตารางที่ 3.16 เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกปรับปรุงเครื่องจักรตามหลักของระบบ TPM..... 76
ตารางที่ 3.17 ข้อมูลการผลิตของเครื่องจักรในแผนกพิมพ์..... 77
ตารางที่ 3.18 ข้อมูลสัดส่วนปริมาณการผลิตจำแนกตามกลุ่มผลิตภัณฑ์..... 77
ตารางที่ 3.19 ข้อมูลสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตและ % ของเสีย (Defect)..... 78
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการตรวจสอบคุณภาพในระยะสั้น..... 82

# สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการประเมินประสิทธิผล..... 83
ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ของการตรวจวัดค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)..... 85
ตารางที่ 4.4 ค่า % GR&R ที่ยอมรับได้ของข้อมูลประเภทวัดค่าได้..... 85
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลระบบการวัดด้วยโปรแกรม Minitab..... 85
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล..... 90
ตารางที่ 4.7 คะแนนของปัจจัยทั้ง 16 อันดับที่นำไปศึกษาต่อด้วย FMEA..... 92
ตารางที่ 4.8 กฎเกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (Severity)..... 96
ตารางที่ 4.9 กฎเกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม (Detection)..... 97
ตารางที่ 4.10 กฎเกณฑ์การประเมินผลโอกาสของผลกระทบที่เกิดขึ้น (Occurrence)..... 98
ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ FMEA. 99
ตารางที่ 4.12 แสดงค่า RPN ที่วิเคราะห์ได้จากตาราง FMEA..... 103
ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี
ในกระบวนการพิมพ์ที่อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง..... 110
ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี
ในกระบวนการพิมพ์ที่อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง..... 111
ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี
ในกระบวนการพิมพ์ที่ผสมและไม่ผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์..... 115
ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี
ในกระบวนการพิมพ์ที่ผสมและไม่ผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์..... 116
ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี
ในกระบวนการพิมพ์ที่ค่า pH น้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง..... 120
ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี
ในกระบวนการพิมพ์ที่ค่า pH น้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง..... 121
ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี
ในกระบวนการพิมพ์ที่ %IPA ในน้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง..... 125

# สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี ในกระบวนการพิมพ์ที่ %IPA ในน้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง..... 126
ตารางที่ 5.9 แสดงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปทำการทดลอง..... 127
ตารางที่ 5.10 Matrix ของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล..... 130
ตารางที่ 5.11 ผลการออกแบบการทดลอง..... 131
ตารางที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Cyan Color) Code Unit..... 136
ตารางที่ 5.13 Matrix ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง..... 138
ตารางที่ 5.14 ผลการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (CCD)..... 138
ตารางที่ 5.15 แสดงผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Code Units) ของการออกแบบ การทดลองแบบส่วนประสมกลาง..... 141
ตารางที่ 5.16 แสดงผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Uncode Units) ของการออกแบบ การการทดลองแบบส่วนประสมกลาง..... 142
ตารางที่ 5.17 แสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับในแต่ละปัจจัย..... 145
ตารางที่ 5.18 การวิเคราะห์ผลต่างค่าความเปรียบต่างสีของสี Black กับค่า Mean..... 147
ตารางที่ 5.19 การวิเคราะห์ผลต่างค่าความเปรียบต่างสีของสี Cyan กับค่า Mean..... 147
ตารางที่ 5.20 การวิเคราะห์ผลต่างค่าความเปรียบต่างสีของสี Magenta กับค่า Mean..... 147
ตารางที่ 5.21 การวิเคราะห์ผลต่างค่าความเปรียบต่างสีของสี Yellow กับค่า Mean..... 148
ตารางที่ 5.22 การควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต..... 152
ตารางที่ 5.23 แผนการการควบคุมสภาวะแวดล้อม..... 153
ตารางที่ 5.24 แผนการการควบคุมสภาวะการปรับตั้งเครื่องจักร..... 153
ตารางที่ 5.25 ความสามารถของกระบวนการค่าความเปรียบต่างสีก่อน-หลังการปรับปรุง... 154
ตารางที่ 5.26 เปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต-หลังการปรับปรุง..... 155
ตารางที่ 5.27 เปรียบเทียบปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต..... 156
ตารางที่ 6.1 ความสามารถของกระบวนการ ค่าความเปรียบต่างสีก่อนและหลัง การปรับปรุง..... 158
ตารางที่ 6.2 แสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของแต่ละระดับ..... 161

# สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 6.3 การควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตงานพิมพ์..... 161
ตารางที่ 6.4 แผนการการควบคุมสภาวะแวดล้อม..... 162
ตารางที่ 6.5 แผนการการควบคุมสภาวะการปรับตั้งเครื่องจักร..... 162
ตารางที่ 6.6 ความสามารถของกระบวนการค่าความเปรียบต่างสีก่อน-หลังการปรับปรุง.... 163
ตารางที่ 6.7 เปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต..... 163
ตารางที่ ก.1 แบบฟอร์มการให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี..... 169
ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบสมมติฐานของแต่ละปัจจัย..... 171
ตารางที่ ค.1 ค่าผลการทดสอบยืนยันการทดสอบ..... 173
ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วน
แอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้นในระหว่างการผลิต..... 175

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ช่วงความยาวของคลื่นแสง (Wave Length)..... 10
รูปที่ 2.2 แผนภูมิสีซีไออี $L^* a^* b^*$ 1976..... 11
รูปที่ 2.3 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)..... 13
รูปที่ 2.4 หลักการวัดค่าสีที่สะท้อนเข้าเครื่อง Specrtophotometer..... 14
รูปที่ 2.5 รูปแบบความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)..... 23
รูปที่ 2.6 รูปแบบการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด..... 27
รูปที่ 2.7 ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ..... 28
รูปที่ 2.8 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (มีอันตรกิริยา)..... 34
รูปที่ 2.9 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (ไม่มีอันตรกิริยา)..... 34
รูปที่ 2.10 พื้นผิวตอบแบบสามมิติ..... 38
รูปที่ 2.11 กราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวตอบ..... 38
รูปที่ 2.12 วิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบ..... 40
รูปที่ 2.13 พื้นผิวตอบกำลังหนึ่งและเส้นทางปีนขึ้นด้วยทางขึ้นที่ชันที่สุด..... 41
รูปที่ 3.1 แผนผังโครงสร้างการบริหารงานของโรงงานตัวอย่าง (ส่วนโรงงาน)..... 52
รูปที่ 3.2 ผลิตภัณฑ์หลักของโรงงานตัวอย่าง..... 53
รูปที่ 3.3 แผนภาพกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ..... 56
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนในส่วนเตรียมการผลิต..... 58
รูปที่ 3.5 รูปแบบเครื่องตัดกล่องแนวราบ (Flated Bed Diecutting Machine)..... 58
รูปที่ 3.6 เครื่องยิงเพลท (Plated Setter)..... 59
รูปที่ 3.7 แผ่นแม่พิมพ์สำเร็จรูปที่ใช้ในการสร้างแม่พิมพ์..... 60
รูปที่ 3.8 แผ่นแม่พิมพ์ออฟเซตที่ผ่านขั้นตอนการล้างสร้างภาพ..... 60
รูปที่ 3.9 ลักษณะของการพิมพ์ในระบบออฟเซต (Offset Printing System)..... 62
รูปที่ 3.10 เครื่องพิมพ์ระบบออฟเซตป้อนแผ่น (Sheet Fed Offset Printing Machine)..... 63
รูปที่ 3.11 เครื่องเคลือบผิวน้ำยาวาร์นิช (Coating Machine)..... 65
รูปที่ 3.12 เครื่องเคลือบผิวแบบอาบน้ำยาฉายแสงยูวี (UV Coating Machine)..... 65

# สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.13 เครื่องประกบแผ่นฟูกหรือเครื่องลามิเนต (Laminating Machine)…… 67
รูปที่ 3.14 ลักษณะของเครื่องปั๊มคัทหรือไดคัท (Diecut Machine)…… 68
รูปที่ 3.15 แบบปั๊มคัท (Platen Dieboard)..... 68
รูปที่ 3.16 เครื่องปะกาวแบบอัตโนมัติ (Automatic Gluing Machine)…….. 69
รูปที่ 3.17 สัดส่วนของเสียสายการผลิตที่ 1…….. 72
รูปที่ 3.18 สัดส่วนของเสียสายการผลิตที่ 2…….. 72
รูปที่ 3.19 สัดส่วนของเสียสายการผลิตที่ 3…….. 72
รูปที่ 3.20 สัดส่วนของเสียสายการผลิตที่ 4…….. 72
รูปที่ 3.21 สัดส่วนของเสียสายการผลิตที่ 5…….. 72
รูปที่ 3.22 สัดส่วนของเสียสายการผลิตที่ 6…….. 72
รูปที่ 3.23 กราฟพาเรโตแสดงจำนวนและประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต….. 74
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis : MSA…… 86
รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงเหตุและผลกรณีวิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่ามีผลกระทบต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)…….. 89
รูปที่ 4.3 กราฟพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)…….. 93
รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของ FMEA……. 94
รูปที่ 4.5 กราฟพาเรโตแสดงสาเหตุปัญหาที่ทำให้เกิดของเสีย……. 104
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานสำหรับอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)…….... 108
รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อปรับตั้งอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นที่ระดับต่ำ (5 องศาเซลเซียส)…… 109
รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อปรับตั้งอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นที่ระดับสูง (25 องศาเซลเซียส)…….. 109
รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสีกระบวนการพิมพ์ที่อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง…….. 110

# สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.5 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นระดับต่ำและระดับสูง..... 112
รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานสำหรับการผสมและไม่ผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)..... 113
รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อไม่ผสมสารเติมแต่ง (Additive) ในหมึกพิมพ์..... 114
รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อผสมสารเติมแต่ง (Additive) ในหมึกพิมพ์..... 114
รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสีในกระบวนการพิมพ์ที่ผสมและไม่ผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์..... 115
รูปที่ 5.10 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่ผสมและไม่ผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์..... 117
รูปที่ 5.11 ขั้นตอนการทดลองสมมติฐานสำหรับค่า pH ในน้ำยาทำชื้นที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)..... 118
รูปที่ 5.12 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อปรับตั้งค่า pHน้ำยาทำชื้นที่ระดับต่ำ (4)..... 119
รูปที่ 5.13 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อปรับตั้งค่า pH น้ำยาทำชื้นที่ระดับสูง (6)..... 119
รูปที่ 5.14 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสีในกระบวนการพิมพ์ที่ค่า pH น้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง เท่ากับ 4 และ 6..... 120
รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่ค่า pH ระดับต่ำและสูง เท่ากับ 4 และ 6..... 122
รูปที่ 5.16 ขั้นตอนการทดลองสมมติฐานสำหรับปริมาณแอลกอฮอล์ : %IPA ในน้ำยาทำชื้นที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)..... 123
รูปที่ 5.17 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อปรับตั้งเปอร์เซ็นต์ IPA ที่ระดับต่ำ (5%)..... 124

# สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.18 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อปรับตั้งเปอร์เซ็นต์ IPA ที่ระดับสูง (20%)…….. 124
รูปที่ 5.19 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสีในกระบวนการพิมพ์ที่% IPA ระดับต่ำและระดับสูง (5% และ 20%)…….. 125
รูปที่ 5.20 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่% IPA ระดับต่ำและสูง 5% และ 20%..... 127
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Cyan Color)…….. 132
รูปที่ 5.22 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล…….. 133
รูปที่ 5.23 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูก Fit…….. 133
รูปที่ 5.24 สภาพหมึกพิมพ์เหลวตัวส่งผลกระทบต่อสมดุลทางการพิมพ์……..…….. 134
รูปที่ 5.25 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่าง Cyan)……..……... 135
รูปที่ 5.26 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่าง Cyan)……..……... 135
รูปที่ 5.27 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (PC of Cyan)…….. 139
รูปที่ 5.28 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล…….. 140
รูปที่ 5.29 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูก Fit…… 140
รูปที่ 5.30 กราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA)……... 142
รูปที่ 5.31 กราฟพื้นผิวผลตอบระหว่างปัจจัยอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA)……... 143
รูปที่ 5.32 กราฟโครงร่าง Overlaid ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA)……... 143
รูปที่ 5.33 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ…… 144
รูปที่ 5.34 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผลการทดลอง……..…… 146

# สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.35 แผนภาพแสดงเหตุและผลกรณีวิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่ามีผลกระทบต่อสีพิมพ์สกปรก..... 149
รูปที่ 5.36 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำยาทำชื้นระหว่างการผลิต..... 151
รูปที่ 5.37 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น..... 151
รูปที่ 5.38 กราฟเปรียบเทียบปริมาณของเสียก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ..... 156
รูปที่ จ-1 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีดำ (Black) ก่อนการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น..... 177
รูปที่ จ-2 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีดำ (Black) หลังการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น..... 177
รูปที่ จ-3 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีฟ้า (Cyan) ก่อนการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น..... 178
รูปที่ จ-4 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีฟ้า (Cyan) หลังการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น..... 178
รูปที่ จ-5 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีแดง (Magenta) ก่อนการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น..... 179
รูปที่ จ-6 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีแดง (Magenta) หลังการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น..... 179
รูปที่ จ-7 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีเหลือง (Yellow) ก่อนการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น..... 180
รูปที่ จ-8 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีเหลือง (Yellow) หลังการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น..... 180

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันจากสภาพเศรษฐกิจที่มีการแข่งขันสูง ประกอบกับธุรกิจในด้านการพิมพ์บรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษมีการขยายตัวมากขึ้น รวมถึงรูปแบบและความต้องการในปัจจุบัน เป็นไปในลักษณะที่เน้นความมีรูปแบบที่หลากหลาย ในขณะที่ Lot Size ของการสั่งซื้อกลับยิ่งมีจำนวนเล็กลงไปเรื่อย ๆ อุตสาหกรรมการพิมพ์เป็นอุตสาหกรรมที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง และ จากการศึกษาผลผลิตของอุตสาหกรรมดังกล่าว พบว่ามีมูลค่าเพิ่มขึ้นทุกปี ในขณะเดียวกันอัตราการแข่งขันในอุตสาหกรรมดังกล่าวก็ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากการที่อุตสาหกรรมอื่น ๆ ขยายตัวความต้องการในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ก็มากขึ้นตามไปด้วย ทำเกิดผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมด้านการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งที่จากผู้ประกอบการจากต่างประเทศและจากภายในประเทศด้วยกันเอง ดังนั้นผู้ประกอบการและผู้ที่เกี่ยวข้องอุตสาหกรรมดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องปรับตัว เพื่อรองรับกับการเปลี่ยนแปลงและสภาวะการแข่งขันที่เพิ่มมากขึ้น ในการที่จะผลิตงานให้ได้คุณภาพดี ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ จำเป็นต้องอาศัยหลักการควบคุมกระบวนการผลิตที่ดี และมีการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติที่เชื่อถือได้ เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำ และสามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และปรับปรุงควบคุมกระบวนการผลิตตลอดจนลดโอกาสข้อผิดพลาด หรือลดปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อกระบวนการผลิต

เนื่องจากสภาพการดำเนินการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา เดิมเป็นการผลิตในลักษณะที่รองรับปริมาณการผลิตที่มีจำนวนมาก กอปรกับรูปแบบและวิธีการที่เน้นประสบการณ์มากกว่าระบบงานที่เป็นมาตรฐาน จากแนวโน้มความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไป อีกทั้งโรงงานกรณีศึกษาเองยังไม่ได้มีแผนรองรับความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทั้งในแง่ของเวลาสูญเปล่า โดยเฉพาะการปรับตั้งเครื่อง ในกระบวนการที่เป็นคอขวด เกิดของเสียที่มาจากการกระบวนการปรับตั้งและในกระบวนการผลิต ดังนั้นองค์กรเองจำเป็นที่จะต้องพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องทั้งกระบวนการให้บริการและกระบวนการผลิต ตั้งแต่เริ่มรับงานจากลูกค้าไปจนถึงสิ้นสุดกระบวนการเพื่อลดความสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต

## 1.2 แนวความคิดเพื่อการวิจัย

จากสภาพการณ์ปัจจุบัน บริษัทฯ ที่จะสามารถยืนหยัดอยู่ได้ในสภาวการณ์ที่มีการแข่งขันรุนแรงทั้งในด้านของคุณภาพ ,การส่งมอบ ตลอดจนต้นทุนของการผลิต จำเป็นต้องมีการวางแผนเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี และความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วของผู้บริโภค

จากการที่โรงงานกรณีศึกษา ต้องปรับตัวเพื่อเร่งทำการผลิตให้ทันต่อความต้องการของลูกค้า กอปรกับ Lot Size การผลิต ที่ลดลงไปตามรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่เน้นความหลากหลายขึ้น ทำให้โรงงานกรณีศึกษาต้องประสบกับปัญหาต่าง ๆ ตามมา คือ

1.การปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์บ่อยเพื่อเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งในแง่ของวัตถุดิบ และเวลาในการปรับตั้งเครื่อง

2.รูปแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย ส่งผลให้การควบคุมกระบวนการผลิตในปัจจุบันทำได้ยาก รวมทั้งเกิดของเสียขึ้นเป็นจำนวนมาก

3.กระบวนการผลิตที่เป็นไปอย่างเร่งรีบ เพื่อให้ทันต่อความต้องการของลูกค้าทำให้ขาดการวางแผนและเตรียมการรองรับปัญหาและผลกระทบ

4.การสูญเสียเวลาในการแก้ไขปัญหาในระหว่างกระบวนการผลิต จากความผันแปรของปัจจัยนำเข้าในกระบวนการผลิต

5.ขาดการควบคุมกระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบและมีมาตรฐานทำให้เกิดของเสียขึ้นเป็นจำนวนมาก

## 1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

มุ่งเน้นการหาแนวทางในการลดความสูญเสีย โดยสร้างระบบในการลดความสูญเสีย (Losses) ของโรงงานกรณีศึกษา ครอบคลุมดังนี้

1.วิเคราะห์และปรับปรุงเพื่อลดปริมาณของเสีย (Defect Losses) โดยมุ่งเน้นที่ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

2.ปรับปรุงค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ซึ่งเป็นดัชนีวัดค่าความสามารถของกระบวนการผลิตและควบคุมคุณภาพสีพิมพ์

3.การวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะในเครื่องพิมพ์ 4 สี (R 600 4C R 700 4C และ L 640 4C) เท่านั้น

4.การวิจัยนี้เลือกศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ B ในกลุ่มของบรรจุภัณฑ์อาหาร (Food Packaging) มาเป็นต้นแบบ

5.วิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าต่าง ๆ ด้วยเทคนิคทางสถิติโดยใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการวิเคราะห์และคำนวณและวางแผนควบคุมกระบวนการ

## 1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียและวิเคราะห์หาข้อบกพร่องจากกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ

1.เพื่อศึกษาถึงปัญหาหลักที่ทำให้เกิดความสูญเสียในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษของโรงงานกรณีศึกษา

2.เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อให้กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

3.เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงปัจจัยด้านต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบให้เกิดความสูญเสียกับชิ้นงานในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ

## 1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

ในการดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1.สำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.รวบรวมบันทึกข้อมูลและปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

3.นำข้อมูลและปัญหาที่ได้มาทำการวิเคราะห์ โดยใช้เครื่องมือคุณภาพเข้ามาช่วย ในการวิเคราะห์ปัญหา

4.หาแนวทางการแก้ไข ปรับปรุง กระบวนการผลิต การลดของเสีย การลดเวลาการปรับตั้งและวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต

5.ดำเนินการตามแนวทางที่ได้วางไว้

6.เปรียบเทียบผลที่ได้ก่อนและหลังทำการวิจัย

7.สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

8.จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ผลการศึกษาจะเป็นแนวทางในการปฏิบัติวิธีเพื่อวิเคราะห์ปัญหาปรับปรุง แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นของโรงงาน กรณีศึกษาอื่น ๆ รวมทั้งเข้าใจถึงการนำเสนอในรูปแบบทางสถิติ

2.เพิ่มความเชื่อมั่นต่อลูกค้าที่จะได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสอดคล้องตรงตามข้อกำหนดที่ต้องการ

3.ทำให้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพ ถูกส่งไปยังกระบวนการถัดไป หรือถูกส่งยังลูกค้าได้ในปริมาณที่สูงและรวดเร็วขึ้น

4.ลดปริมาณของเสียอันเนื่องจากการที่ผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการผลิต

5.ใช้เป็นแนวทางในการขยายผลเพื่อใช้ในสายการผลิตอื่น ๆ ในอนาคตต่อไป

6.เป็นแนวทางในงานวิจัยเพื่อลดความสูญเสียของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอื่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 บทบาทหน้าที่ของบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ

ปุ่น คงเจริญเกียรติ (2538) ได้กล่าวว่าบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้มากที่สุดและมีแนวโน้มใช้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากการรีไซเคิลได้ง่าย อันเป็นผลจากการรณรงค์สิ่งแวดล้อม กระดาษนับเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทเดียวที่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้จากการปลูกป่าทดแทน กระดาษที่ใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์มีหลายประเภทและสามารถพิมพ์ตกแต่งได้ง่ายและสวยงาม นอกจากนี้ ยังสะดวกต่อการขนส่งจากผู้ผลิตไปยังผู้ใช้ต่อเนื่องจากสามารถพับได้ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง นอกจากนี้ บรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ ยังมีหน้าที่สอดคล้องกับวิทยาการอีก 2 ด้าน คือ ทางด้านเทคนิคและทางด้านการตลาด จำแนกรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงบทบาทและหน้าของบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ

| ประเภทบรรจุภัณฑ์ | ด้านเทคนิค (Technical) | ด้านการตลาด (Marketing) |
|---|---|---|
| Corrugated Paper Board Boxes | 1.การบรรจุใส่ | 1.การส่งเสริมการขาย |
| | 2.การปกป้องคุ้มครอง | 2.การแสดงข้อมูลสินค้า |
| | 3.การรักษาคุณภาพสินค้า | 3.การตั้งราคาขายได้สูงขึ้น |
| | 4.การขนส่ง | 4.การเพิ่มปริมาณขาย |
| | 5.การวางจำหน่าย | 5.ให้ความถูกต้องรวดเร็ว |
| | 6.การรักษาสิ่งแวดล้อม | 6.การรณรงค์ |

## 2.2 ประเภทบรรจุภัณฑ์กระดาษ

การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ (Packaging) เริ่มจากความรู้เกี่ยวกับกระดาษที่นำมาขึ้นรูปและคุณสมบัติของสินค้าที่จะบรรจุใส่ เช่น หากสินค้าจำพวกอาหารก็จะต้องเลือกวัสดุและรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่สามารถปกป้องและรักษาคุณภาพสินค้าได้ โดยทั่วไปบรรจุภัณฑ์กระดาษที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสามารถแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 กล่องกระดาษแข็งพับได้ กล่องกระดาษแข็งสามารถขึ้นรูปและจัดส่งเป็นแผ่นแบบราบ (Flat Blanks) เมื่อถึงโรงงานบรรจุอาจนำไปทากาวพร้อมกับบรรจุสินค้า หรือตัวกล่องอาจทากาวตามขอบข้างกล่องไว้ให้เรียบร้อย เพื่อทำการบรรจุและปิดฝากล่องได้ทันที แต่ไม่ว่าจะขึ้นรูปแบบใด เวลาขนส่งจะพับแบนราบเพื่อประหยัดค่าขนส่งกล่องกระดาษแข็งอาจแบ่งย่อยเป็นแบบท่อ (Tube) และแบบถาด (Tray) ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

2.2.2 กล่องกระดาษแบบคงรูป ตัวอย่างของกล่องประเภทนี้ได้แก่ กลักไม้ขีดไฟ หรือกล่องใส่รองเท้าแบบมีฝาครอบกล่องจำพวกนี้เมื่อแปรรูปเสร็จจะถูกส่งไปในรูปของกล่อง ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วทำให้มีค่าขนส่งสูง นอกจากนี้ในการผลิตยังไม่สามารถผลิตได้เร็วเท่ากล่องพับได้ ทำให้มีราคาต่อหน่วยสูง อย่างไรก็ตามกล่องกระดาษแบบคงรูปนี้สามารถใช้งานได้นาน ตัวอย่างเช่น การเก็บรองเท้าหลังการใส่แต่ละครั้ง ถ้ามีการออกแบบที่ดีกล่องแบบนี้จะช่วยเสริมสร้างคุณค่าของสินค้าทำให้ราคาไม่ใช่ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้กล่องแบบนี้

2.2.3 บรรจุภัณฑ์การ์ด (Carded Packaging) เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ประกอบด้วยกระดาษแผ่นหนึ่งและพลาสติกอีกแผ่นหนึ่งซึ่งอาจขึ้นรูปมาก่อนหรือไม่ก็ได้ แนบหรือเชื่อมติดกับแผ่นกระดาษและพลาสติกเข้าด้วยกันโดยมีสินค้าแทรกอยู่ตรงกลาง บรรจุภัณฑ์การ์ดนี้แบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ แบบ บลิสเตอร์แพ็ค (Blister Pack) และแบบผิวเรียบ (Skin Pack)

2.2.4 บรรจุภัณฑ์กระดาษแบบเคลือบหลายชั้น ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว จุดอ่อนของบรรจุภัณฑ์กระดาษ คือ รูพรุนของกระดาษ การปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเคลือบกับพลาสติกและเปลวอะลูมิเนียมทำให้บรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบหลายชั้นได้รับความนิยมมากในการบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม

## 2.3 อิทธิพลของสีที่มีต่อบรรจุภัณฑ์

สีที่นิยมใช้กับบรรจุภัณฑ์ ซึ่งนอกจากจะต้องบ่งบอก ถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ภายในได้ชัดเจนแล้ว ยังต้องมีความสวยงามและเด่นชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผลิตภัณฑ์ตั้งอยู่บนชั้นวางขายในหมู่ของผลิตภัณฑ์คู่แข่ง

ตัวอย่างของการเลือกสีตามประเภทของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น

1.ผลิตภัณฑ์อาหารนิยมใช้สีแดง ส้ม เหลือง สีเขียวใบไม้ เป็นสีที่บอกถึงความสดและเสริมสุขภาพ

2.ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ จะใช้สีหลักเป็นสีเขียว เพราะแสดงถึงความสดใหม่

3.คุกกี้ ช็อกโกแลต และกาแฟ จะใช้สีน้ำตาล

4.อาหารพวกธัญพืช จะใช้สีเหลือง หรือ สีแดง

5.อาหารทะเลจะใช้สีฟ้าเป็นต้น

การเลือกใช้สีสำหรับบรรจุภัณฑ์ไม่มีกฎอะไรตายตัว อาจจะขึ้นอยู่กับยุคสมัยและความนิยมของผู้บริโภคเป็นสำคัญ มีตัวอย่างที่เห็นได้เด่นชัดก็คือ บรรจุภัณฑ์ประเภทเนื้อ ในอดีต มักไม่นิยมใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีสีเขียว เพราะอาจให้ความรู้สึกว่าเนื้อเหล่านั้นเกิดการปนเปื้อนของเชื้อราได้ แต่ปัจจุบันนี้ได้เปลี่ยนไป

ตัวอย่างของการเลือกสีตามประเภทของระดับคุณภาพสินค้า เช่น

1.ผลิตภัณฑ์สีแดงเลือดนกและสีม่วงคราม ให้ความรู้สึกฟุ่มเฟือย หรูหรา เหมาะสำหรับสินค้าชั้นสูง

2.สีน้ำเงินและสีทอง ให้ความรูสึกขรึม และเยือกเย็น เหมาะสำหรับตลาดชั้นกลาง

ดังนั้น อารมณ์และความรู้สึกต่อการมองเห็นสีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญยิ่งและมีอิทธิพลต่อความรู้สึกของผู้พบเห็น ซึ่งในแต่ละกลุ่มบุคคลย่อมมีความชอบและมีความพึงพอใจที่แตกต่างกันด้วยเหตุผลหลายประการ รวมถึงเหตุผลเฉพาะส่วนบุคคลด้วย

พลังของแต่ละสีในการจับความสนใจของผู้บริโภค

| สี | ความสนใจ |
|---|---|
| สีส้ม | 21.4 |
| สีแดง | 18.6 |
| สีน้ำเงิน | 17.0 |
| สีดำ | 13.4 |

| | |
|---|---|
| สีเขียว | 12.6 |
| สีเหลือง | 12.0 |
| สีม่วง | 5.5 |
| สีเทา | 0.7 |

(Dr.Jean – Paul Favre , 1969 : 40)

นอกจากนี้ยังสามารถบ่งชี้หรือแสดงถึง รสชาติ (Taste) กลิ่น (Smell) รูปร่างท่าทาง (appearance) น้ำหนัก (Weight) และแม้แต่อุณหภูมิ (Temperature) ได้อีกด้วยแสดงว่าไม่ได้กระตุ้นหรือก่อให้เกิดความรู้สึกจำกัดเฉพาะแค่การมองเห็นสีเท่านั้น แต่สียังมีอิทธิพลในการกระตุ้นความรู้สึกด้านอื่น ๆ ด้วย

ความสัมพันธ์ของสีต่อเรื่องของรสชาติ

| | |
|---|---|
| 1.เปรี้ยว (acid) | : สีเขียวเหลือง , สีเหลืองเขียว |
| 2.หวาน (sweet) | : สีส้ม สีเหลือง สีแดง สีชมพู |
| 3.ขม (bitter) | : สีฟ้าแก่ ๆ สีน้ำตาล สีเขียวมรกต สีม่วง |
| 4.เค็ม (salted) | : สีเทากับสีเขียวอ่อน ๆ หรือสีน้ำเงินอ่อน ๆ |

ในขณะที่ในหนังสือ Color sell your package ได้กล่าวถึงสีที่สื่อรสชาติไว้ว่า

1.สีแดงสด สื่อรสหวาน สีสำหรับแยมเยลลี่

2.สีเขียวเข้ม สื่อถึงสุขภาพดี และความเป็นธรรมชาติ เหมาะเป็นสีสำหรับผัก

3.สีทอง สื่อความแพงและเด่น (คุณภาพ) สำหรับสินค้าคุณภาพสูง

4.สีส้ม สื่อความทันสมัยและน่ารับประทานใช้กับเนื้อสดหรืออาหารจากมะเขือเทศ

(Dr.Jean – Paul Favre , 1969 : 91)

ความสัมพันธ์ของสีต่อเรื่องกลิ่น (smell)

| | |
|---|---|
| 1.กลิ่นฉุน (salted) | : สีส้ม |
| 2.กลิ่นฉุนเล็กน้อย | : สีเขียว |
| 3.กลิ่นหอม | : สีม่วง ,ม่วงอ่อน หรือที่เกี่ยวข้องกับของหอม |
| 4.สีที่น่าพอใจ | : สีมัว ๆ โดยเฉพาะสีโทนอบอุ่น |

(Dr.Jean – Paul Favre , 1969 : 68)

ความสัมพันธ์ของสีต่อเรื่องรูปร่างท่าทาง (appearance)

1.ของแข็งและเนื้อหาที่แน่น : สีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ
2.ของเหลว : สีเขียวเย็น ๆ และสีน้ำเงิน
3.ของเหลวที่เป็นครีมหนา : สีชมพูอ่อน
4.สินค้าที่เป็นผง : สีน้ำตาลอ่อนค่อนไปทางเหลือง

(Dr.Jean – Paul Favre , 1969 : 40)

ความสัมพันธ์ของสีต่อเรื่องน้ำหนัก (Weight)

โดยมีการใส่ผลิตภัณฑ์ในห่อขนาดเดียวกันแต่สีต่างกัน ให้ผู้ทดสอบประมาณน้ำหนักจากการมองเห็น

| สี | น้ำหนักโดยประมาณ (ปอนด์) |
|---|---|
| สีขาว | 3.1 |
| สีเหลือง | 3.5 |
| สีเขียว | 4.1 |
| สีน้ำเงิน | 4.7 |
| สีม่วง | 4.8 |
| สีเทา | 4.8 |
| สีแดง | 4.9 |
| สีดำ | 5.8 |

(Dr.Jean – Paul Favre , 1969 : 69)

ความสำคัญของสีจะเพิ่มมากขึ้นในฐานะของปัจจัยที่จะช่วยส่งเสริมในด้านการขายสินค้า โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1.ผู้บริโภคมีความภักดีในตรายี่ห้อน้อย
2.สินค้าแต่ละยี่ห้อไม่ค่อยมีความแตกต่างในเรื่องราคาและคุณภาพนัก
3.การซื้อของผู้บริโภคเป็นการซื้อแบบทันทีทันใด (Impulsive Buying) ซึ่งผู้บริโภคมิได้มีการวางแผนในการซื้อมาก่อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

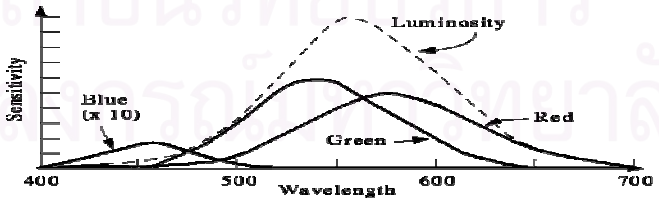
จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของสีมีส่วนสำคัญในการช่วยจูงใจการเลือกซื้อสินค้าและมีผลต่อความรู้สึก รวมทั้งทัศนคติที่มีต่อสินค้าภายใต้บรรจุที่เป็นตัวกลางในการสื่อสารต่อผู้บริโภค ดังนั้นคุณภาพสีของงานพิมพ์บนบรรจุภัณฑ์ที่ถูกต้องตรงตามสีสัน ที่ทางลูกค้าได้ออกแบบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในด้านการแข่งขันเด่นชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผลิตภัณฑ์ตั้งอยู่บนชั้นวางขายในหมู่ของผลิตภัณฑ์คู่แข่ง ดังนั้นผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์จึงต้องพยามตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าในเรื่องของ Specification ที่ลูกค้ากำหนดแบบมาแล้ว และความสม่ำเสมอของคุณภาพสีให้ได้มากที่สุด ซึ่งจะเป็นสิ่งสำคัญในการเสริมสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า

## 2.4 **การมองเห็นสีและการวัดค่าสี** (Color Theory and Measurement)

2.4.1 ทฤษฎีไตรโครมาติก (Trichromatic Theory)

เป็นทฤษฎีที่คิดค้นขึ้นโดยยัง นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษในปี พ.ศ. 2345 และต่อมานักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ เฮล์มโฮลต์ ได้ปรับปรุงแก้ไขและเพิ่มเติมเนื้อหาของทฤษฎีของยัง ดังนั้นทฤษฎีนี้อาจเรียกว่า ทฤษฎียัง-เฮล์มโฮลต์ (Young-Helmholts Theory ) ใจความสำคัญของทฤษฎีนี้มีอยู่ว่า “ในบริเวณจอตามีเซลล์รับแสง หรือ เซลล์รูปกรวยอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ เซลล์รับแสงความยาวคลื่นสั้น เซลล์รับแสงความยาวคลื่นกลางและเซลล์รับแสงความยาวคลื่นยาว

เซลล์รับแสงแต่ละชนิดมีความไวต่อแสงสีในความยาวคลื่นของสเปกตรัมแสงขาวได้ไม่เท่ากันต่อแสงในแต่ละความยาวคลื่นนั่นเอง โดยเมื่อเซลล์รูปกรวยแต่ละชนิดได้รับการกระตุ้นไม่เท่ากันก็จะผลิตสัญญาณที่จะส่งไปยังสมองแตกต่างกัน ทำให้เกิดการรับรู้สีต่างๆ ขึ้นได้ เซลล์รับแสงข้างต้นได้รับการกำหนดชื่อตามความยาวคลื่นของแสงที่ก่อให้เกิดกิจกรรมภายในเซลล์มากที่สุด หรือ เป็นความยาวคลื่นของแสงที่เซลล์รับแสงทั้ง 3 ประเภทมีความไวมากที่สุด ดังรูปที่ 2.1




รูปที่ 2.1 ช่วงความยาวของคลื่นแสง (Wave Length)

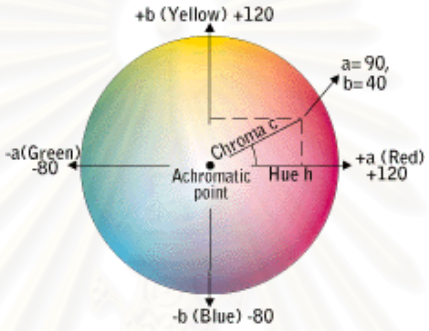
1.เซลล์รับแสงในช่วงความยาวคลื่นสั้น (Short-Wavelength Receptor, S) หรือเซลล์รับแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน

2.เซลล์รับแสงความยาวคลื่นกลาง (Medium-Wavelength Receptor, M) หรือเซลล์รับแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีเขียว

3.เซลล์รับแสงความยาวคลื่น (Long-Wavelength Receptor, L) หรือเซลล์รับแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีแดง

2.4.2 แผนภูมิสีซีไออี แอลสตาร์ เอสตาร์ บีสตาร์ (CIE L* a * b * color space)

เรียกย่อๆ ว่า แผนภูมิสีซีแล็บ (CIE Lab Color Space) แผนภูมิซีแล็บนี้เป็นแผนภูมิที่สร้างขึ้นตามทฤษฎีการมองเห็นสีคู่ตรงข้ามซึ่งแตกต่างจากระบบการวัดสีด้วยค่าไตรสติมูลัสซึ่งเป็นระบบที่สร้างขึ้นตามทฤษฎีการมองเห็นสีไตรโครมาติก แผนภูมิซีแล็บนี้เป็นแผนภูมิสีสามมิติประกอบด้วยแกน 3 แกนคือ แกน L*แกน a* และ แกน b* ดังรูปที่ 2.2




รูปที่ 2.2 แผนภูมิสีซีไออี $L^*$ $a^*$ $b^*$ 1976

(ที่มา www.boscarol.com/media/images/cms/cie4.gif)

โดยที่กำหนดให้

แกน L* เป็นแกนที่ใช้แสดงมิติความสว่างสีสัมพัทธ์ของสี มีมาตราอยู่ระหว่าง 0-100

แกน a* เป็นแกนที่ใช้แสดงความเป็นสีแดงและความเป็นสีเขียวของสี โดยส่วนของแกนที่เป็น “+” ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีแดง ยิ่งค่า a* มีค่าเป็นบวกมากเท่าไร สีก็จะยิ่งมีความเป็นสีแดงเท่านั้น และส่วนของแกนที่เป็น “ – ” ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีเขียว ยิ่งค่า a* เป็นลบมากเท่าได สีก็จะยิ่งมีความเป็นสีเขียวมากขึ้นเท่านั้น

แกน b* เป็นแกนที่ใช้แสดงความเป็นสีเหลืองและความเป็นสีน้ำเงินของสี โดยส่วนของแกนที่เป็น “+” ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีเหลือง ยิ่งค่า b* มีค่าเป็นบวกมากเท่าไร สีก็ยิ่งมีความเป็นสีเหลืองมากขึ้นมากเท่านั้น และส่วนของแกนที่เป็น “ – ” ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีน้ำเงิน ยิ่งค่า b* มีค่าเป็นลบมากเท่าได สีก็จะยิ่งมีความเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นเท่านั้น

สำหรับสีองค์ทั้งหลายเป็นสีที่มีค่า a* และ b* เท่ากับ 0 แต่มีค่า L* แตกต่างกัน โดยสีที่ขาวที่สุดจะมีค่า L* = 100 และสีที่ดำที่สุดจะมีค่า L* = 0 ส่วนสีเทาจะเป็นสีที่มีค่า L* อยู่ระหว่างค่า L* สีขาวและ L* สีดำ

2.4.3 ค่าความแตกต่างสี (Delta L*a*b*)

การใช้งานค่าสีในระบบการวัดสีต่างๆ ในลักษณะหนึ่งนอกเหนือไปจากการใช้เพื่อกำหนดสีก็คือ การหาค่าความแตกต่างระหว่างสีสองสีใดๆ เพื่อนำค่าความแตกต่างในการคำนวณได้ไปใช้เป็นเกณฑ์ในการผลิตสี โดยในการผลิตสีที่ต้องการผลิตสีให้มีใกล้เคียงกับสีมาตรฐาน ก็สามารถนำค่าสีซีไออีของสีมาตรฐานและของสีที่ผลิตได้มาเปรียบเทียบ และคำนวณเป็นตัวเลขแล้วสังเกตดูว่าด้วยตัวเลข แสดงความแตกต่างดังกล่าว สีที่ผลิตได้มองเห็นแตกต่างจากสีมาตรฐานอยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ หากได้ก็สามารถใช้ค่าความแตกต่างของสีดังกล่าวเป็นค่ามาตรฐานในการผลิตสีต่อ ๆ ไปได้

ในระบบการวัดสีซีไออี ค่าความแตกต่างของสีสองสีใดๆสามารถคำนวณได้ โดยใช้ค่าพิกัดซีแล็บ (CIE-Lab) ของสีสองสีนั้น มาคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้

การคำนวณหาค่าความแตกต่างสีรวม

$$\Delta E^*_{ab} = [(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2]^{1/2}$$

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]$$

โดยที่ $\Delta E^*_{ab}$ คือ ความแตกต่างสีรวมระหว่างมาตรฐานและงานพิมพ์

$L_1^*\ a_1^*\ b_1^*$ คือ ค่าสีพิกัดซีแล็บของมาตรฐาน

$L_2^*\ a_2^*\ b_2^*$ คือ ค่าสีพิกัดซีแล็บของงานพิมพ์

ในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์ โดยทั่วไปใช้ค่าความแตกต่างสีรวมเป็นหลัก ยิ่งความแตกต่างสีรวม ระหว่างสีบนแผ่นพิมพ์มาตรฐานกับสีเดียวกันบนแผ่นพิมพ์จริงมีค่าน้อยมากเท่าใด ก็จะมีสีเหมือนกันมากเท่านั้น ในการกำหนดตัวเลขค่าความแตกต่างสีรวมที่จะใช้เป็นค่ามาตรฐานในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์ ว่าควรมีค่าเป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพของงานพิมพ์ที่ต้องการเป็นสำคัญ ถ้าเป็นงานพิมพ์ที่ต้องการคุณภาพสูง ก็ต้องกำหนดให้ตัวเลข ค่า

ความแตกต่างสีรวม เป็นตัวเลขน้อย ๆ เช่น 2 หรือ 3 เป็นสีพิมพ์จริงเหมือนกับสีมาตรฐานที่ต้องการมากที่สุด ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer)

2.4.4 เครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer)

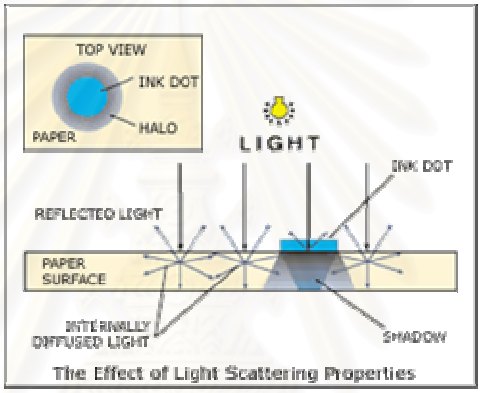
สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ คือ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดการส่องผ่านหรือการสะท้อนแสงของภาพสี ในรูปที่ 2.3 โดยเป็นการวัดความเข้มหรือปริมาณของแสงที่ความยาวคลื่นประมาณตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร ทั้งนี้การวัดมักทำที่ช่วงความยาวคลื่นแคบๆ เช่น 10 หรือ 20 นาโนเมตร เป็นต้น โดยค่าการสะท้อนแสงหรือค่าการส่องผ่านแสงในแต่ละความยาวคลื่นที่ได้ จะนำไปใช้ในการเขียนกราฟการสะท้อนแสงหรือส่องผ่านแสงของภาพ

องค์ประกอบภายในของสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ผลิตจากผู้ผลิตต่างรายกันนั้น มีความแตกต่างสำคัญในเรื่องของมุมของแสงตกกระทบและมุมที่ใช้วัด ชนิดของอุปกรณ์แยกกระจายแสงและอุปกรณ์ตรวจจับแสง รวมทั้งตำแหน่งของอุปกรณ์แยกกระจายแสงด้วย โดยที่สเปกโทรโฟโตมิเตอร์บางชนิดอาจมีอุปกรณ์ แยกกระจายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงก่อนที่แสงจะตกกระทบแถบหมึกพิมพ์ที่นำมาวัด แทนที่จะแยกกระจายแสง ซึ่งหากทำการวัดการสะท้อนแสงโดยใช้สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่มีความแตกต่างในปัจจัยข้างต้นดังกล่าว ก็จะมีผลให้ค่าที่วัดได้แตกต่างกัน และอาจทำให้ไม่สามารถตรวจวัดลักษณะบางลักษณะของหมึกพิมพ์ได้ ได้แก่ ความมันวาวและความวาวแสง

ดังนั้น ในการนำเสนอข้อมูลที่วัดได้จึงจำเป็นที่จะต้องระบุปัจจัย ดังกล่าวไว้ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งมุมที่ใช้วัด เพื่อว่าในการเปรียบเทียบข้อมูลที่วัดได้จาก สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ต่างเครื่องกัน สามารถทำได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 2.3 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

ในปัจจุบัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์มีการใช้งานกันมากในอุตสาหกรรมผลิตหมึกพิมพ์ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเทียบสีหมึกพิมพ์ที่ได้จากการผสมขึ้นใหม่ด้วยหมึกพิมพ์แม่สีต่างๆ ที่บริษัทมีเพื่อให้ได้สีตามที่ลูกค้าต้องการ ส่วนในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์นั้นได้เริ่มมีการนำเข้ามาใช้แทนเดนซิโทมิเตอร์กันมากขึ้น โดยเฉพาะการควบคุมคุณภาพสิ่งพิมพ์ที่ต้องพิมพ์ด้วยสีพิเศษต่างๆ ที่ไม่ใช่หมึกพิมพ์สอดสี ซึ่งเดนซิโทมิเตอร์ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อควบคุม คุณภาพได้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีผู้ผลิตเดนซิโทมิเตอร์และสเปกโทรโฟโตมิเตอร์รวมเข้าไว้ในเครื่องเดียวกัน ทำให้สามารถวัดค่าความดำ ค่าการสะท้อนแสง และค่าสีซีไออีของภาพได้ทั้งหมดโดยมีหลักในการทำงานดังรูปที่ 2.4




รูปที่ 2.4 หลักการวัดค่าสีที่สะท้อนเข้าเครื่อง Spectophotometer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.5 **ความสูญเสียและการเพิ่มผลผลิต** (Loss and Productivity Theory)

ความสูญเสีย คือ การกระทำใด ๆ ก็ตามที่ใช้ทรัพยากรไปไม่ว่าจะเป็นแรงงาน วัตถุดิบ เวลา เงิน หรืออื่น ๆ แต่ไม่ได้ทำให้สินค้าหรือบริการเกิด คุณค่าหรือการเปลี่ยนแปลง ภาษาญี่ปุ่นเรียกความสูญเสียว่า มุดะ (Muda) หรือ ความสูญเปล่าก็คือ การกระทำที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าต่อตัวสินค้าหรือบริการนั่นเอง

2.5.1 ประเภทของความสูญเสีย (Type of Waste)

ไทอิจิ โอโนะ (Taiichi Ohno) รองประธานบริหาร บริษัท โตโยต้า ประเทศญี่ปุ่น ได้แบ่งประเภทของความสูญเสียหรือมุดะออกเป็น 7 ชนิด (7 Wastes) ประกอบด้วย

1. การผลิตมากเกินไป (Overproduction) คือ การผลิตที่เร็วกว่า มากกว่า หรือก่อนที่กระบวนการต่อไปจะต้องการ ซึ่งเกิดมาจากการพยากรณ์ที่ไม่เหมาะสม ทำให้การมีเวลานำที่ยาวนาน ความต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บมากขึ้นและต้องใช้ทรัพยากรในการบริหารจัดการมาก

2. การรอคอย (Waiting) คือ การเกิดการรอคอยต่างๆในขณะทำการผลิต เช่น การรอตั้งเครื่อง รอคอยวัสดุ หรือรอชิ้นงานเป็นต้น เป็นการแสดงถึงการใช้เวลาอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดความล่าช้าในการผลิตและส่งมอบ เกิดต้นทุนสูญเปล่า

3. การขนย้าย (Transportation) คือ จะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายวัสดุต่างๆ ซึ่งเกิดได้ทั้งในส่วนของพื้นที่ในการเก็บรักษาของคงคลังและในระหว่างกระบวนการผลิต อาจเกิดมาจากการวางผังโรงงานที่ไม่ดี การขาดระเบียบในการจัดชิ้นงาน ทำให้เกิดเสียแรงงานและเวลาในการขนส่ง ก่อให้เกิดต้นทุนที่สูงขึ้น เกิดความเสียหายระหว่างการเคลื่อนย้าย

4. กระบวนการที่ไม่เหมาะสม (Inappropriate Processing) เช่น การใช้เครื่องมือที่ไม่ถูกต้อง มาตรฐานในการทำงานไม่เพียงพอ การจัดลำดับงานไม่เหมาะสม การนำเครื่องจักรใหญ่ๆที่มีความสามารถในการผลิตได้ทีละมากๆ มาผลิตจำนวนน้อยทำให้เสียค่าใช้จ่ายเกินความจำเป็น ทำให้เกิดต้นทุนที่ไม่จำเป็น เสียเวลาและแรงงาน

5. การเก็บวัสดุคงคลัง (Unnecessary Inventory) นำมาสู่การมีเวลานำที่ยาวนาน เสียพื้นที่ในการจัดเก็บ เกิดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บและต้นทุนจม หรือเกิดความเสื่อมสภาพและล้าสมัยของวัสดุ

6. การเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Motions) เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่เคลื่อนไหวของพนักงาน เกิดมาจากท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น การโค้งตัว การเอื้อมหยิบ เป็นต้น การจัดวางผังและการจัดลำดับงานที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดความเมื่อยล้าและส่งผลต่อการทำงาน ทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย

7. ของเสีย (Defects) อาจเกิดมาจากผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพ ความเสียหายขณะผลิตหรือขนย้าย ทำให้เสียเวลาและแรงงานในการตรวจสอบแก้ไข เกิดต้นทุนสูญเปล่าความสูญเปล่าที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นสิ่งที่ควรถูกกำจัดหรือทำให้ลดลงในกระบวนการผลิตต่าง ๆ เพื่อให้การปฏิบัติงาน มีแต่สิ่งที่เป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์

นอกจากความสูญเปล่าทั้ง 7 ประการ (7 Waste) ที่กล่าวมาแล้วนั้น ในปัจจุบันได้มีผู้เพิ่มความสูญเปล่าเข้าไปอีกตัวหนึ่งเป็นความสูญเปล่าตัวที่ 8 คือ ความสูญเปล่าจากคน ซึ่งเป็นไปได้ทั้งที่คนทำในสิ่งที่เป็นความสูญเปล่า และการที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์จากคน

2.5.2 สาเหตุการเกิดของเสีย (Cause of Defect)

สาเหตุที่เป็นสากลในที่นี้คือ ความผิดแผกกัน (Variation) (ซึ่งในอีกนิยามหนึ่งทางสถิติใช้คำว่าความผันแปร) ความผิดแผกกันในกระบวนการผลิต มีสาเหตุมาจากปัจจัยสำคัญ 4 ตัวคือ

- Material หรือ วัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิต
- Machinery หรือ เครื่องจักรกลที่ใช้ผลิต
- Method of Work หรือ วิธีการทำงาน
- Man-Made Error หรือ ความบกพร่องที่เกิดจากการกระทำของบุคคลที่เกี่ยวข้อง

เราจะพบเสมอว่า แม้แต่ชิ้นงานที่ผลิตออกมาตามกันจากเครื่องจักรตัวเดียวกันในเวลาไล่เลี่ยกัน ก็ไม่เคยมีชิ้นงานคู่ใด ที่มีขนาดหรือคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ ชิ้นงานที่มีคุณสมบัติผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนดก็จะถูกคัดออกไปเป็นของเสีย ขณะที่ชิ้นงานที่มีคุณสมบัติอยู่ในค่าพิกัดความเผื่อหรือตรงตามข้อกำหนดทางเทคนิค ก็ถูกจัดว่าเป็นของดีและส่งต่อไปได้ พนักงานผู้ปฏิบัติงานประจำแต่ละเครื่องก็มีความผิดแผกกันไปทั้งรูปร่าง หน้าตา อุปนิสัย ความหนักเบา

และจังหวะการทำงาน ตลอดจนความละเอียดรอบคอบและความพิถีพิถันที่แตกต่างออกไป ก็มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของงานที่ผลิตออกมาจากหน่วยผลิตของเขา

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า กระบวนการผลิตก็ คือกระบวนการที่ผนวกรวมและสะสมเอาความผิดแผกจำนวนมากมารวมกันลงในชิ้นงานที่ผลิตอกไปในแต่ละชิ้น

2.5.3 การวิเคราะห์สาเหตุของความสูญเสีย

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความสูญเสียในการผลิตก็คือ ทรัพยากรในโรงงาน อันได้แก่ คนงาน วัตถุดิบ , วิธีการทำงาน และเครื่องจักร การเริ่มต้นจะลดความสูญเสียนั้น จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัจจัยที่ทำให้เกิดความสูญเสียดังกล่าว โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

1. หลักการเก็บข้อมูล ข้อมูล คือแนวทางสู่การแก้ปัญหาของเรา จากข้อมูลจะบอกปรากฏการณ์พฤติกรรมหรือคุณสมบัติใด ๆ ที่เราต้องการจะทราบ ดังนั้นก่อนที่จะลงมือเก็บข้อมูลเราจะต้องสร้างภาพมองให้ชัดเจนในใจเราก่อนว่า เราต้องการเก็บข้อมูลไปทำอะไรในเชิงการควบคุมคุณภาพ วัตถุประสงค์ของการเก็บข้อมูลคือ เพื่อควบคุมและติดตามดู เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของความไม่สอดคล้องและตรวจเช็ค

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล สร้างระบบรายงานและบันทึกข้อมูล เพื่อดูการกระจายของกระบวนการผลิต หรือดูสาเหตุของสิ่งที่ต้องการปรับปรุง ว่ามีการกระจายากน้อยเพียงใด มีสาเหตุเนื่องมาจากอะไร และจะได้ทราบที่มาของปัญหา ในการเก็บรวบรวมข้อมูลมีเทคนิคเครื่องมือหลายชนิดที่ใช้ เช่น ใบตรวจสอบ , ผังพาเรโต , กราฟและรูปแผนภูมิต่าง ๆ

3 การวิเคราะห์สาเหตุของความสูญเสีย ในการปฏิบัติงานลดความสูญเสียนั้นจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้การวิเคราะห์ปัญหาอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้ในการค้นหาต้นตอของสาเหตุที่มาของปัญหา โดยใช้คำถาม 5W และ 1H ประกอบด้วย

Who : ใครทำให้เกิดความสูญเสีย
What : ความสูญเสียเกิดจากอะไร
Where : ความสูญเสียเกิดขึ้นที่ไหน
When : ความสูญเสียเกิดขึ้นเมื่อไร
Why : ทำไมจึงเกิดความสูญเสียนั้น
How : ความสูญเสียเกิดขึ้นได้อย่างไร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการวิเคราะห์สาเหตุนั้น ผู้ตั้งคำถามต้องเรียนรู้ในการตั้งคำถามที่เป็นประโยชน์ เพื่อนำไปสู่สาเหตุที่แท้จริงในการแก้ปัญหา อีกวิธีหนึ่งที่นิยมแพร่หลายในการวิเคราะห์ปัญหา คือ แผนผังก้างปลาหรือแผนผังเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นแผนผังที่ใช้ต่อจากแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) กล่าวคือ หลังจากตัดสินใจเลือกปัญหาใด ๆ จากแผนผังพาเรโตแล้ว ขั้นต่อไปก็เป็นการระดมความคิดเพื่อแก้ปัญหาที่เลือกขึ้นมา โดยแสดงผลของสาเหตุของปัญหาไว้ที่ปลายของแผนผัง และระหว่างทางถึงปลายของแผนผัง จะแสดงถึงสาเหตุของปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดจากการระดมความคิดจำแนกเหมือนก้างปลา

2.5.4 การแก้ไขปัญหาความสูญเสีย

แม้ว่าในทุกกระบวนการผลิตต่างก็มีปัจจัยหลาย ๆ ตัวที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตนั้น แต่ทว่าต่างล้วนสามารถจำแนกปัจจัยสาเหตุเหล่านั้นออกได้ในลักษณะคล้าย ๆ กันเป็น 2 ชนิด คือ

1.Chance Cause (สาเหตุที่เป็นปกติวิสัยหรือเป็นธรรมชาติของการผลิต) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรงและไม่มีผลต่อคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้เกิดจากความผันแปรหรือความแตกต่างเล็ก ๆ น้อย ๆ ของวัตถุดิบและปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ซึ่งแน่นอนว่าไม่มีของ 2 สิ่งที่เหมือนกันทุกประการ เพียงแต่ว่าความแตกต่างเหล่านี้อยู่ในพิกัดที่ขอบเขตข้อกำหนดได้อนุญาตเอาไว้แล้วในค่าพิกัดความเผื่อของชิ้นงาน

2.Assignable Cause (สาเหตุที่ระบุได้หรือสาเหตุที่กำจัดได้) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปร ที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความชำรุด ความไม่ได้เกณฑ์ ฯลฯ ของปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และไม่ใช่เป็นปกติวิสัยหรือธรรมชาติของการผลิตนั้น ๆ จำเป็นต้องได้รับการกำจัด หรือแก้ไข จึงจะทำให้คุณภาพของงานผลิตกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้งได้

ฉะนั้น ในการจะธำรงรักษากระบวนการผลิตให้อยู่ในสภาวะสมดุลแล้ว เราจะยอมรับความเบี่ยงเบนที่เกิดจากสาเหตุโดยบังเอิญ แต่จะเฝ้าดู ค้นหาและกำจัดสาเหตุของความเบี่ยงเบนที่ระบุได้เหล่านั้นออกไป พร้อม ๆ กับการจัดตั้งมาตรการป้องกัน เพื่อมิให้สาเหตุที่ระบุได้เหล่านั้นเกิดขึ้นซ้ำอีก โดยการควบคุมกระบวนการผลิต

2.5.5 แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Mapping)

ส่วนนี้ถือเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งการที่จะสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิต โดยจะต้องทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอน เพื่อที่จะสามารถระบุตัวแปรสำคัญในกระบวนการผลิต (Process Input) และผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process Output) ขั้นตอนนี้จึงเปรียบเสมือนเป็นการตรวจวิเคราะห์กระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะทำให้เราทราบถึงสิ่งผิดปกติหรือทราบสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหา โดยการทดลอง โดยการตั้งสมมติฐานหรือโดยการใช้ข้อมูลทางด้านสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธี

การสร้างแผนภาพการไหลของผลิตภัณฑ์ จำเป็นต้องใช้การระดมสมอง (Brainstorm) และทีมงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการไหลนั้นจะต้องสามารถบอกถึงสาเหตุแห่งความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์จำเป็นอย่างยิ่งในการระบุที่มาของข้อบกพร่องและสิ่งที่ถูกซ่อนอยู่ภายในกระบวนการผลิต (Hidden Factory) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่ในการจัดเก็บ

2.5.6 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

(ฮิโตชิ คุเมะ เขียน และ วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์ ผู้แปล 2536) กล่าวว่า ผังแสดงเหตุและผล คือ ผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง กล่าวคือ คุณลักษณะทางคุณภาพ คือ ผลที่เกิดขึ้นจากเหตุ คือ ปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นต้นตอของคุณลักษณะอันนั้น ประเภทการวิเคราะห์สาเหตุและผลออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) การเข้าสู่วิธีการระดมสมอง ที่ถือปฏิบัติกันมาแล้วเขียนเป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลโดยแผนภาพนี้ จะเป็นเครื่องมือที่ดีมากเมื่อทราบว่าผลกระทบที่สำคัญเพียงประการเดียวที่จะวิเคราะห์คืออะไร

2. ตารางสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) แผนภาพในรูปแบบตารางที่แสดงถึงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างผลของกระบวนการ (Y's) Key Proces Output Variable และปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ (X's) Key Process Input Variable

การสร้างผังแสดงเหตุและผลที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาได้จริง ๆ ไม่ใช่เรื่องง่าย ๆ ผู้ที่สามารถสร้างแผนผังก้างปลาได้ถูกต้อง คือ ผู้ที่มีโอกาสแก้ปัญหาทางคุณภาพได้ถูกต้องเช่นเดียวกัน ข้อสังเกตเกี่ยวกับผังแสดงเหตุและผลจะต้องทำการแยกแยะและเลือกสรรเพื่อหาปัจจัยอันเป็นสาเหตุแห่งปัญหานั้นควรใช้การปรึกษาหารือในกลุ่มคนหลาย ๆ ความคิดมาร่วมกัน เพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างไปจะก่อผลเสียภายหลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุด) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุในรูปแบบขนาดหรือปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้ เพราะในที่สุดแล้วผลสรุปจากผังก้างปลาจะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต

## 2.6 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)

ไดอะแกรมของเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของปัญหา (ผล) กับปัจจัยต่าง ๆ (สาเหตุ) ที่เกี่ยวข้อง โดยพัฒนามาจากมหาวิทยาลัยโตเกียว โดย ศาสตราจารย์ Kaoru Ishikawa ในปี ค.ศ.1943 ที่บริษัท Kawasaki Steel Works หลังจากนั้นก็ได้ใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น และตามที่กล่าวแล้วข้างต้นว่าไดอะแกรมของเหตุและผลนี้เป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาและสามารถใช้ได้กับทุก ๆปัญหาที่เกิดขึ้น ยิ่งใช้หรือเขียนไดอะแกรมมากเท่าใด ก็ยิ่งทำให้ได้ผลดีหรือเกิดความชำนาญมากยิ่งขึ้น

ซึ่งจะเป็นการระดมความคิดเพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อปัญหาในการเกิดของเสียทั้ง 3 ประเภท ซึ่งเครื่องมือที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการพิจารณาคือแผนภูมิก้างปลา ในการระดมความคิดนี้จะกระทำโดยสมาชิกในทีมทำการระดมความคิดโดยอิสระ เพราะในขั้นตอนนี้ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้คือจำนวนปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยผลของการระดมความคิดแยกตามแหล่งที่มาของสาเหตุทั้ง 6 ประเภท ดังแผนภาพก้างปลาของปัญหาแต่ละประเภท โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. ชี้ลักษณะคุณภาพที่เป็นปัญหาออกมาให้ชัดเจน

2. ทางด้านขวาสุดเขียนปัญหาหรือความผิดพลาด โดยลากเส้นจากซ้ายไปขวามาที่กรอบหรือตัวปัญหา (Effect)

3. เขียนสาเหตุหลักของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยใช้องค์ประกอบ 5M และ 1 E ซึ่งประกอบไปด้วย Man, Machine, Material, Method, Measurement และ Environment

4. เขียนสาเหตุรองและสาเหตุย่อย ๆ ลงไป ที่ส่งผลต่อ ๆ กันไป ให้ได้มากที่สุด ซึ่งจะทำให้โอกาสในการพบสาเหตุที่รากเหง้า (Root Cause Effect) ได้มากขึ้น

5. สำรวจดูว่ามีสาเหตุอื่นใดอีกหรือไม่

6. จัดลำดับความสำคัญมากน้อยของสาเหตุ เพื่อการแก้ไขต่อไป โดยในขั้นตอนนี้จะเชื่อมโยงไปยังการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ FMEA เพื่อใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น

7. เติมหัวข้อที่เกี่ยวข้องลงไป เช่น ชื่อผลิตภัณฑ์ (Product) ขั้นตอนการผลิต (Process) วัน เดือน ปี ชื่อผู้ที่ทำการระดมสมอง

การนำผังแสดงเหตุและผลไปใช้งาน จะต้องใส่น้ำหนักหรือคะแนนให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัวเพื่อจะได้ใช้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา ซึ่งแนวทางเสนอแนะนี้จะนำไปเชื่อมโยงกับผังแสดงเหตุและผลที่จะไปเชื่อมโยงกับ FMEA ต่อไป โดยมีวิธีการสร้างตาราง (Cause and Effect Diagram : C&E Diagram) ดังนี้

1. กำหนดรายการของตัวแปรที่แสดงผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ (Y's) ที่ด้านบนของตาราง โดยรายการเหล่านี้จะต้องเป็นสิ่งที่คณะทำงาน และ/ หรือลูกค้าเชื่อว่ามีความสำคัญ โดยรายการเหล่านี้อาจเป็นส่วนหนึ่ง (Subset) ของรายการ Y's ที่บ่งชี้ผ่านแผนภาพแสดงการไหลของกระบวนการ (Process Map)

2. จัดอันดับของตัวแปรแต่ละตัวให้เป็นตัวเลขโดยใช้สเกลที่สมเหตุสมผล (โดยทั่วไป มักใช้สเกล 1-10) โดย Y ที่มีความสำคัญมากที่สุดจะได้คะแนนรวมมากที่สุด

3. บ่งชี้ถึงปัจจัยป้อนเข้าที่มีแนวโน้มจะเป็นสาเหตุ (Potential Cause) หรือ X's ทั้งหมดที่เป็นไปได้ในช่องซ้ายมือของตาราง

4. ให้อัตราเป็นตัวเลข (ความสัมพันธ์ร่วม) แสดงอิทธิพลของ X แต่ละตัวที่มีต่อ Y แต่ละตัวภายใต้กรอบในตารางที่พิจารณา โดยการกำหนดเกณฑ์นี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของคณะทำงาน

5. ใช้คอลัมน์ทั้งหมดของตารางในการวิเคราะห์และจัดอันดับสำคัญก่อนหลัง เพื่อหาจุดเน้นในการสร้าง FMEA เบื้องต้น

## 2.7 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)

FMEA ย่อมาจากคำว่า Failure Mode and Effect Analysis แปลว่า การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ โดยมีการพิจารณาว่า จะมีข้อบกพร่องอะไรบ้างที่มีโอกาสเกิดขึ้น โดยข้อบกพร่องนั้นจะมีผลกระทบรุนแรงมากน้อยเพียงใด ข้อบกพร่องแต่ละลักษณะเกิดจากสาเหตุใด เป้าหมายหลักของ FMEA คือ การสร้างระบบการป้องกันหรือลดโอกาสการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง กำจัดสาเหตุของข้อบกพร่อง รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องให้พบก่อนถูกส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป ซึ่งยังผลให้การร้องเรียนของลูกค้าต่อสินค้า หรือบริการที่ส่งมอบลดลง ความพึงพอใจของลูกค้าอยู่ในระดับสูงขึ้นทำให้องค์กรมีศักยภาพการแข่งขันในระดับสากลทั้งในด้านคุณภาพ ราคา การส่งมอบ การบริการ รวมถึงการสร้างขวัญ กำลังใจและสภาพแวดล้อมในการทำงานอย่างมีคุณภาพ โดยมีขั้นตอนในการจัดทำระบบ FMEA ดังนี้

1 จัดตั้งทีมงาน FMEA ในที่นี้สมาชิกควรจะมาจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่หลากหลาย

2 วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ตามขั้นตอนดังนี้

- ระดมสมองหาลักษณะข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้น

- ประเมินผลกระทบต่อระบบและหาสาเหตุของข้อบกพร่องแต่ละรายการพร้อมทั้งวิธีตรวจจับข้อบกพร่อง

- ประเมินตัวเลขความเสี่ยงชี้นำ (Risk Priority Number : RPN) โดย RPN = ผลคูณของระดับความรุนแรงของผลกระทบ (S : Severity) และโอกาสหรือความถี่ของสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง (O : Occurence) และระดับความสามารถในการตรวจจับ (Detection) โดยในแต่ละค่ามีเกณฑ์ตั้งแต่ 1 -10 โดย RPN (Risk Priority Number) = S X O X D

ค่ามากที่สุดคือ 1,000 (10 x 10 x 10) หมายถึง ความรุนแรงของปัญหารุนแรงที่สุด มีโอกาสเกิดบ่อยครั้งและความสามารถในการตรวจจับได้ต่ำมาก

ค่าน้อยที่สุดคือ 1 (1 x 1 x 1) หมายถึง ความรุนแรงของปัญหาน้อยมาก โอกาสเกิดปัญหาแทบไม่มีเลยและความสามารถในการตรวจจับได้อยู่ในระดับสูง

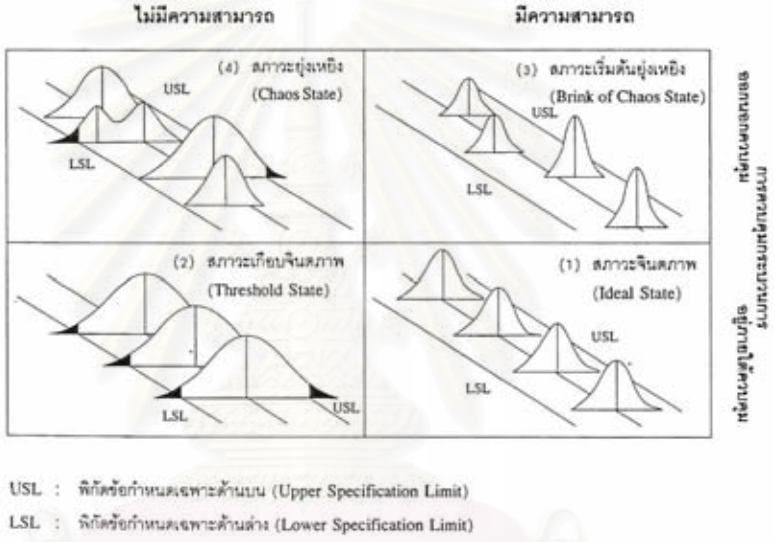
- วางมาตรการปรับปรุงโดยจัดลำดับความสำคัญตามค่า RPN จากค่ามากไปค่าน้อย (ตัวเลขยิ่งน้อยยิ่งดี ถ้ายิ่งมากต้องรีบหามาตรการดำเนินการแก้ไข / ป้องกัน)

3 ทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยมีการติดตามผลและทบทวนค่า RPN ใหม่

## 2.8 การวิเคราะห์ระบบการวัดและความสามารถของกระบวนการ

2.8.1 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจะมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับการควบคุมกระบวนการ การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการที่อาศัยข้อมูลจากการวัดสิ่งตัวอย่างนั้น มีความจำเป็นต้องพิจารณาก่อนเสมอว่า ข้อมูลดังกล่าวมีความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติหรือสาเหตุผิดธรรมชาติที่สามารถพิจารณาได้ การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการนี้ จัดเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากของโปรแกรมการปรับปรุงคุณภาพโดยรวม ลักษณะรูปแบบความสามารถของกระบวนการแสดงดังรูปที่ 2.5




รูปที่ 2.5 รูปแบบสภาวะของกระบวนการ (Process Capability)

ข้อมูลที่ได้จาการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการนี้ใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อาทิ

- คาดการณ์ได้ว่ากระบวนการมีความสามารถในการผลิตตามข้อกำหนดรวมทั้งช่วยเหลือนักวิจัยพัฒนาในการตัดสินใจเลือกหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการและช่วยกำหนดความถี่ของการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อเฝ้าพินิจกระบวนการ
- การกำหนดความต้องการด้านสมรรถนะสำหรับอุปกรณ์ใหม่ไปจนถึงการเลือกผู้ส่งมอบและควบคุมผู้ส่งมอบ
- ข้อมูลที่ได้สามารถช่วยในการวางแผนลำดับขั้นตอนของกระบวนการผลิตเมื่อมีอิทธิพลร่วมของปัจจัย (Interaction Effect)
- การลดความผันแปรในกระบวนการผลิตและช่วยในการการลดต้นทุนคุณภาพ (Cost of Quality) ด้วยการลดต้นทุนด้านข้อบกพร่อง

2.8.2 ดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index)

ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของกระบวนการ ซึ่งเน้นในเรื่องของความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการและความเข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่ต้องการ โดยจะช่วยให้เจ้าของกระบวนการ ผู้บริหารและลูกค้าได้ว่า

- กระบวนการที่กำลังเกี่ยวข้องอยู่นั้น มีความสามารถในการให้ผลลัพธ์ได้ตามที่ต้องการหรือออกแบบไว้หรือไม่ ซึ่งเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงความอยู่ตัวของความผันแปรที่เกิดจากชนิดสามัญ (Common Cause)
- มีความสามารถในการควบคุมความผันแปรที่มีอยู่ในกระบวนการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่เราหรือลูกค้าต้องการได้ดีแค่ไหน อย่างไร
- ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีแนวโน้มของการเกิดของเสียที่มีขนาดโตเกินไป (เข้าใกล้หรืออยู่นอกขอบเขตกำหนดด้านบน) หรือมีขนาดเล็กเกินไป (เข้าใกล้หรืออยู่นอกขอบเขตกำหนดด้านล่าง) เพื่อที่จะสามารถช่วยให้เจ้าของกระบวนการเข้าหาจุดที่มีความเหมาะสมได้อย่างถูกทิศทางและมีความเหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ

การคำนวณค่าดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการนั้น ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการวัดคุณภาพของกระบวนการดังนี้

1.เมื่อต้องการวัดความสามารถของกระบวนการว่า กระบวนการนั้นมีความสามารถแค่ไหน (Process Capability potential) โดยมีค่าดัชนีวัดเป็น Cp (C ย่อมาจาก Capability หรือความสามารถ ส่วน p Process หรือกระบวนการ) ซึ่งไม่สนว่าค่าเฉลี่ย หรือตำแหน่งของกระบวนการนั้น ๆ (X) จะตั้งอยู่จุดตรงกลาง (Centering) หรือไม่

$$Cp = (USL - LSL)/(6\sigma)$$

โดยที่

USL : Upper Specification Limit หรือขอบเขตกำหนดด้านบน

LSL : Lower Specification Limit หรือขอบเขตกำหนดด้านล่าง

$\sigma$ : Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. เมื่อต้องการวัดความสามารถของกระบวนการว่า กระบวนการว่าตั้งอยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนดหรือไม่สำหรับกระบวนการที่กำลังดำเนินอยู่ โดยวัดค่าดัชนีเป็น Cpk ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดของดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการที่เป็นขอบเขตกำหนดด้านบน (Cpu) หรือดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการที่เป็นขอบเขตกำหนดด้านล่าง (Cpl)

K : ระยะที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ห่างจากตรงกลางของขอบเขตที่กำหนด

โดยที่

$$C_{pu} = (USL - X)/(3\sigma)$$

$$C_{pl} = (X - LSL)/(3\sigma)$$

3. เมื่อต้องการวัดผลการปฏิบัติงานหรือสมรรถนะ (Performance) ของกระบวนการพร้อมด้วยตำแหน่งค่าเฉลี่ยของกระบวนการว่าตั้งอยู่ตรงกลางของขอบเขต (Centering) ที่กำหนดหรือไม่ สำหรับกระบวนการในเบื้องต้น เป็นการให้ความสนใจในความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนกโดยรวม โดยวัดค่าดัชนีเป็น Ppk (P แทน Preliminary หรือเบื้องต้นและ p แทน Process หรือกระบวนการ)

$$P_{pu} = (USL - X)/3\sigma)$$

$$P_{pl} = (X - LSL)/3\sigma)$$

$$\sigma_s = \sum(X - X)2 / (n-1)$$

ในกรณีที่ไม่สนใจตำแหน่งของค่าเฉลี่ย ดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการเป็น Pp ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$P_p = (USL - LSL)/6\sigma)$$

พิจารณาความหมายดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการโดยเทียบกับตารางที่ 2.2

- ถ้าค่าดัชนี Cp และ Cpk ยิ่งมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่า กระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง

- ถ้าค่าดัชนี Cp กับค่า Cpk มีค่าไม่เท่ากัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่อยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนด หากค่า Cpk = Cpu ก็แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการใกล้ด้าน USL มากกว่าหรือหนีห่างด้าน LSL มากเกินไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้มีการกำหนดหลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์ลำดับ ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cp แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลำดับความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cp

| ค่าดัชนี (Cp Index) | ลำดับความสามารถของกระบวนการ |
|---|---|
| $2.00 \leq Cp$ | ดีเหลือเชื่อ |
| $1.67 \leq Cp < 2.00$ | ดีเลิศ |
| $1.33 \leq Cp < 1.67$ | ดี |
| $1.00 \leq Cp < 1.33$ | พอใช้ |
| $0.67 \leq Cp < 1.00$ | ไม่ดี |
| $Cp < 0.67$ | ไม่ดีมาก |

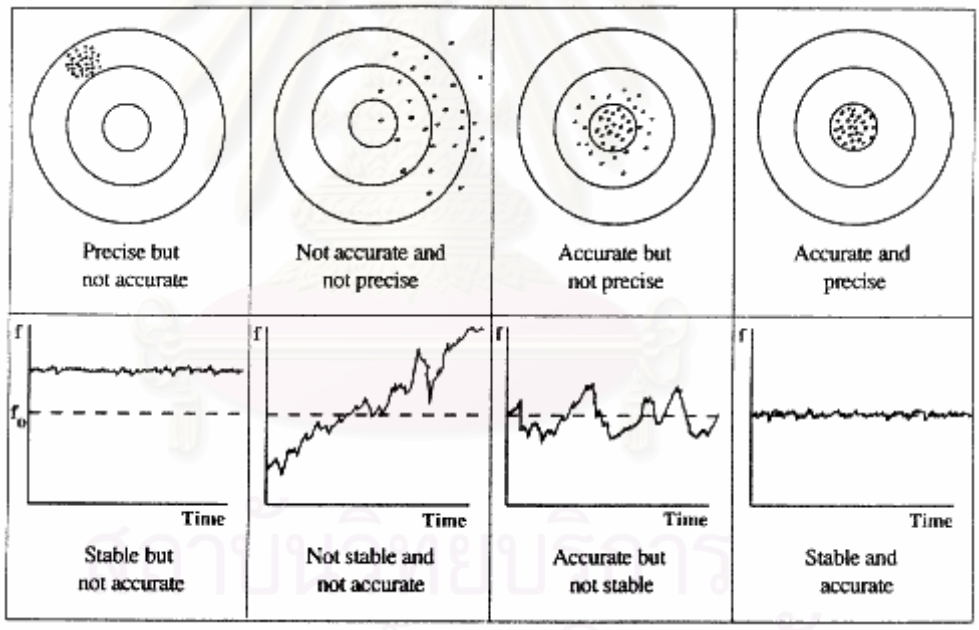
ในการพิจารณาความสามารถของกระบวนการเพื่อการปฏิบัติการแก้ไข ในกรณีกระบวนการไม่มีความสามารถนั้นสามารถสรุปได้กล่าวคือ ในกรณีที่ความสามารถด้านสมรรถนะต่ำและความสามารถด้านศักยภาพมีค่าต่ำด้วย ก็มีความจำเป็นต้องดำเนินการลดความผันแปรของกระบวนการลงด้วยการออกแบบใหม่ เพื่อให้กระบวนการมีความมั่นคงต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือออกแบบข้อกำหนดเฉพาะของกระบวนการที่ใช้อยู่แล้วเสียใหม่ รวมถึงการแก้ไขด้วยการฝึกอบรมพนักงานใหม่ด้วย ในกรณีที่ความสามารถด้านทางด้านสมรรถนะของกระบวนการมีค่าต่ำแต่ความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพมีค่าสูงแล้วแสดงว่ามีปัญหาด้านการควบคุมกระบวนการจึงมีความจำเป็นต้องหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าปรับตั้งของกระบวนการแล้วทำการปรับตั้งเพื่อให้ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการสูงขึ้น

นอกจากนี้แล้ว ในการวิเคราะห์เพื่อการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการนี้ ควรมีการพิจารณาร่วมกันถึงดัชนีความสามารถของกระบวนการทั้งการศึกษาแบบระยะสั้นและระยะยาวด้วย ซึ่งถ้าหากพบว่า ค่า Cpk และ Ppk มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำ แสดงว่ากระบวนการดังกล่าวขาดความสามารถอันเนื่องมาจากการออกแบบกระบวนการ จึงมีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรของกระบวนการแล้วทำการกำหนดค่าที่เหมาะสมเพื่อลดขนาดความผันแปรของกระบวนการลง

## 2.9 **การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด** (Measurement System Analysis)

การวิเคราะห์ระบบความแม่นยำของเครื่องมือวัดมีความสำคัญมาก เนื่องจากการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้อง มีความมั่นใจในเสถียรภาพของเครื่องมือวัด ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์ เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่โดยมีรูปแบบของการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด ดังรูปที่ 2.6

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัด เพื่อทำการแยกแหล่งความแปรผันออกเป็น เป็นส่วน ๆ ประกอบด้วย ชิ้นงาน (Part to part variation) พนักงานวัด (Appraiser variation) ความผันแปรร่วม (Interaction variation) ซึ่งตามนิยามของความแม่นยำและความเที่ยงตรงมีดังต่อไปนี้




รูปที่ 2.6 รูปแบบการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

ความแม่นยำ (Precision) คือ ความสามารถในการวัดให้ผลค่าที่ใกล้กันมาก ค่าจะไม่กระจัดกระจายและให้ความแม่นยำไม่เปลี่ยนค่ามากไม่มีการปรับวิธีหรือการปรับเครื่องมือวัด

ความเที่ยงตรง (Accuracy) คือ ความสามารถในการวัดที่ให้ค่าใกล้ความจริงมาก ผลต่างของค่าจริงและค่าวัดโดยเฉลี่ยน้อยมาก

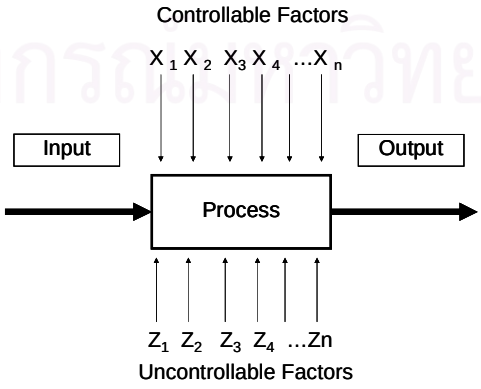
ในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Precision Analysis) มุ่งพิจารณา 2 ประเด็นหลักซึ่ง ประกอบด้วย คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัด หรือ อุปกรณ์การวัดหรือไม่ และระบบการวัดที่พิจารณามีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ ที่แสดงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่ คุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้ ถ้าหากมีการจำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นแล้วจะได้รับการ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1. ความสามารถในการทำซ้ำ หรือ Repeatability และ 2.ความสามารถในการทำเหมือน หรือ Reproducibility โดยที่ Repeatability ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันและด้วยพนักงานคนเดียวกัน ซึ่งโดยปกติจะใช้ ค่า Repeatability ในการประมาณค่า ความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น (Short-Term Measurement) ส่วน Reproducibility ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันแต่ต่างพนักงานกัน โดยปกติจะใช้ ค่าReproducibility ในการประมาณค่าความแปรผันของระบบการวัดในระยะยาว

## 2.10 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

2.10.1 การออกแบบทดลอง (Design of Experiment) หมายถึง การออกแบบทดลองเพื่อตรวจสอบดูว่า ปัจจัย (Factor)ใดๆ หรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา โดยมีรูปแบบปัจจัยนำเข้าดังรูปที่ 2.7 และจุดมุ่งหมายดังนี้

1.เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

2. เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ




รูปที่ 2.7 ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ

2.10.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของการทดลองประกอบไปด้วย

1. ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่เราปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2. หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นมาตราหรือหน่วยซึ่งใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ ซึ่งโดยคำจำกัดความแล้ว หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของทดลอง ซึ่งได้รับจาก ทรีทเมนต์เดียวกัน ในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจผันแปรไปได้จากการทดลองหนึ่งไปสู่อีกการทดลองหนึ่ง

3. ปัจจัย (Factor) ได้แก่ กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน (A Particular Class of Related Treatment) อาจใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ

แม้ว่าจะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน ปัจจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น

1.ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลอง

2.ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ อาจเนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุนปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แบ่งออกเป็น

- Noise Variable หรือ Background Variable หรือ ตัวแปรรบกวน ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลองแต่ไม่ใช่ปัจจัยที่เรากำลังทำการศึกษา ส่วนใหญ่มัก ได้แก่ เวลา หรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น

- Nuisance Variable คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่เราไม่ทราบมาก่อน เราสามารถกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variableได้โดยการสุ่ม

3. ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง เรียกอีกอย่างหนึ่งกว่า ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระนั่นเอง ในการทดลองหนึ่งๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้

ในการเลือกตัวแปรตามที่ดี ควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงของตัวแปรนั้นและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาว่า ค่าสังเกตที่ได้รับจาก ทรีทเมนต์ (Treatment) หนึ่ง ๆ ควรมีการแจกแจงแบบปกติโดยประมาณ ซึ่งข้อสมมติฐานในเรื่องของความเป็นปกติ (Normality) เป็นสิ่งที่จำเป็นในการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การแปลงข้อมูล ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเป็นแบบปกติ มีวัตถุประสงค์ของการทดลองอาจจะเกี่ยวข้องกับประเด็นต่างๆ ดังนี้

1. หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ y (Response)

2. หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y (Response) เพื่อทำให้ผลตอบ y มีค่าตามที่ต้องการ

3. หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y (Response) เพื่อทำให้ผลตอบ y มีค่าน้อยที่สุด

4.หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y (Response) เพื่อทำให้ผลตอบที่ไม่สามารถควบคุมได้ $Z_1, Z_2, Z_3, \ldots Z_n$ ค่าน้อยที่สุด

2.10.3 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

1. เรพลิเคชั่น (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ มีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรก จะทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้หน่วยวัดขั้นพื้นฐานสำหรับการพิจารณา ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ และประการที่สอง ถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ซึ่งทำให้สามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบ

2. แรนดอมไมเซชั่น (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้ง เป็นแบบสุ่ม วิธีการเชิงสถิติกำหนดข้อมูล (ความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายเป็นแบบอิสระ แรมดอมไมเซชั่นนี้ จะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การแรนดอมไมเซชั่นสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3. บล็อกกิง (Blocking) เทคนิคที่ใช้เพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่าง ๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดจากการ Blocking

2.10.4 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติ ในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นที่ต้องเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่า กำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. การนิยามปัญหา (Recognition of and Statement of the Problem) เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิตซึ่งการนิยามปัญหานี้ผู้ทดลองต้องทำความเข้าใจต่อสภาพของปัญหาที่จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการวางแผน และดำเนินการทดลองต่อไป

2. การเลือก ปัจจัย ระดับ ขอบเขตของปัจจัย (Choice of Factors and Levels) เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎี และประสบการณ์จากงานวิจัยต่างๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้น ควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร สุดท้ายคือ ระบุว่าที่ใช้เป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed effect) แบบสุ่ม (Random Effect) หรือแบบผสม ซึ่งสามารถอธิบายได้พอเป็นสังเขปดังนี้

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

3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Choice of Response Variable) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองต้องแน่ใจว่าตัวแปรตอบสนองนี้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ซึ่งมักจะเป็นค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ และเป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจมี ตัวแปรตอบสนองหลายตัว จึงจำเป็นต้องกำหนดว่า อะไรบ้างคือตัวแปรตอบสนองและสามารถวัดค่าดังกล่าว ได้อย่างไร ก่อนเริ่มดำเนินการทดลองควรมีการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าตัวแปรตอบสนองนั้น เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบการวัดดังกล่าวสามารถใช้กับการทดลองได้

4. การเลือกการออกแบบการทดลอง (Choice of Experimental Design) การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการกำหนดขนาดของสิ่งตัวอย่าง การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล การเลือกใช้หลักการพื้นฐานใดบ้างในการออกแบบการทดลอง ซึ่งในการเลือกการออกแบบ จำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองตลอดเวลา

5. การดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment) การดำเนินการทดลองเป็นการทำตามแผนการทดลองที่ออกแบบ จำเป็นต้องติดตามกระบวนการอย่างระวัง เนื่องว่าจากหากมีสิ่งผิดพลาดเกิดขึ้นจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

6. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Analysis of data) ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำวิธีการทางสถิติมาใช้ เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น และ ข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์ควรใช้ความรู้ทางวิศวกรรม หรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการประกอบด้วย เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีเหตุผล และมีความน่าเชื่อถือ

7.การสรุปผลและการทดสอบเพื่อยืนยันผล (Conclusion) เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ผู้ทำการทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติของกระบวนการทดลองที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้ควรที่จะมีการนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วยในการนำเสนอข้อมูล นอกจากนี้แล้ว ควรทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปอีกครั้งด้วย

2.10.5 การเลือกแบบการทดลอง

1. การออกแบบทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) เป็นแผนการทดลองแบบง่ายที่สุด เหมาะสมกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปร ปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดว่า เนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่น จึงเรียกข้อมูลนี้ว่า ข้อมูลแบบแจกแจงทางเดียว One-Way Classification

แผนการทดลองนี้ แสดงว่าเมื่อหน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้ว ความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากแต่ละหน่วยของการทดลอง ต้องเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่แตกต่างกันเท่านั้น ดังนั้น เพื่อให้แผนการทดลองนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองนี้นำมาใช้จึงควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอหรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างหน่วยทดลองที่น้อยสุด หลักสำคัญของแผนการทดลองนี้คือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองหรือจัดหน่วยทดลองให้แก่ ทรีทเมนต์ ต้องเป็นไปโดยสุ่ม ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

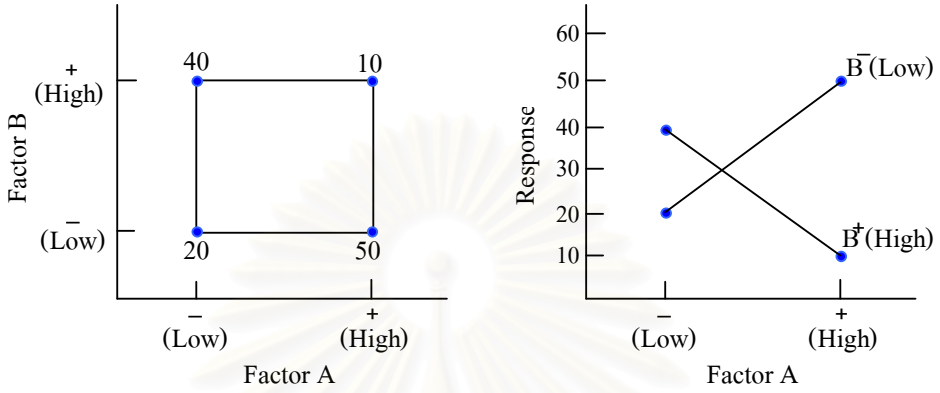
2. การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB) ในบางการทดลองอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับหน่วยทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำการใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปร ส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ยอดรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่น ที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพล ของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก เป็นวิธีการหนึ่งในหลาย ๆ วิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (Two-way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ทางแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) มีหลักการ คือ พยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะเรียกว่า บล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำ และให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกกระทำโดยสุ่ม กรณีนี้จะทำให้เราแตกแยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกของกำลังสองได้

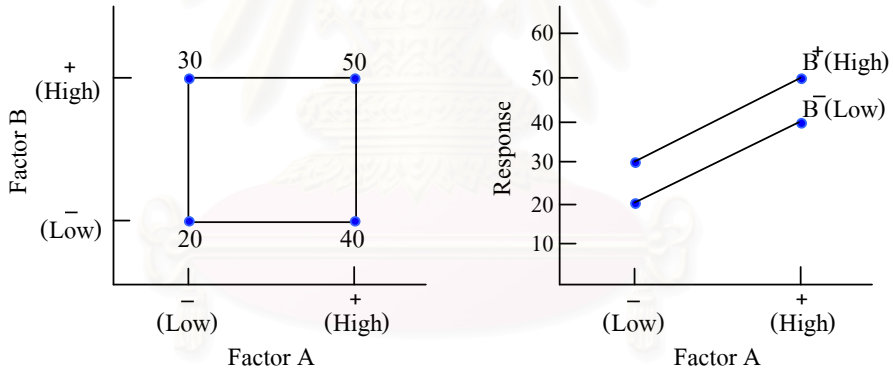
2.10.6 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) เป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในกรณีที่มีปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุก ๆ Treatment combination ของปัจจัยทุกตัวที่ศึกษา จะถูกพิจารณาไปพร้อม ๆ กันผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยหนึ่งหมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) ในการทดลองที่มีผลแตกต่างของผลตอบที่เกิดขึ้นบนระดับต่าง ๆ ของปัจจัยหนึ่งมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่น ๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายถึง ผลตอบของปัจจัยหนึ่งขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่น ๆ นั่นเอง เรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยค่าที่จุดต่างๆ คือตัวแปรตอบสนอง เมื่อมีปัจจัย 2 ตัวคือ A และ B โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับคือ – หรือ Low และ + หรือ High ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9

ประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล คือมีจำนวนการทดลองน้อยกว่าการทดลองแบบอื่น และยังให้ผลที่เกี่ยวกับ Interaction Effect ซึ่งมีความสำคัญมาก และไม่สามารถหาค่าได้จากได้การทดลองแบบเปรียบเทียบอย่างง่ายและการทดลองทีละปัจจัย ทั้งนี้หากมีการละเลยผลของ Interaction อาจทำให้ข้อสรุปผิดพลาด




รูปที่ 2.8 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (มีอันตรกิริยา)




รูปที่ 2.9 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (ไม่มีอันตรกิริยา)

2.10.7 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^K$ ($2^K$ Factorial Design)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญที่สุดคือ กรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัยซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพก็ได้ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น และใน 2 ระดับจะแทนด้วยระดับ “ สูง ” หรือ “ ต่ำ ” ของปัจจัยหนึ่ง ๆ หรือการ “ มี ” หรือ “ไม่มี” ของปัจจัยนั้น ๆ ก็ได้

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

1. ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว
2. การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomized)
3. สมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติเป็นที่ยอมรับได้

2.10.8 การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (Two-Level Fractional Factorial Design) เมื่อจำนวนปัจจัยในการออกแบบ $2^K$ เพิ่มขึ้น โดยมากแล้วจำนวนการทดลองสำหรับเรพลิเคตที่บริบูรณ์จะเพิ่มขึ้นมากเกินกว่าที่ทรัพยากร (เช่น เวลา ค่าใช้จ่าย เป็นต้น) ที่มีอยู่จะรองรับได้ ถ้าผู้ทดลองสามารถตั้งสมมติฐานอย่างมีเหตุผลได้ว่า อันตรกิริยาขั้นสูงบางตัวสามารถละเลยได้ในกรณีเช่นนี้ข่าวสารเกี่ยวกับปัจจัยหลักและอันตรกิริยาขั้นต่ำอาจจะหาได้โดยการทดลองเพียงแค่เศษส่วนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลอย่างบริบูรณ์

การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design) ถูกนำมาใช้กันมากในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผล กล่าวคือในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่กำลังอยู่ในความสนใจ สามารถใช้การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลเพื่อค้นหาว่าปัจจัยใดบ้าง (ถ้ามี) เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้ส่วนมากจะใช้ในตอนเริ่มต้นโครงการ เนื่องจากโดยมากแล้วในขณะนั้นมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่มีแนวโน้มจะเป็นปัจจัยที่มีผลน้อยหรือไม่มีผลต่อผลตอบที่กำลังพิจารณาอยู่ หลังจากการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้วปัจจัยที่มีผลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อ ๆ ไป ความสำเร็จของการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลขึ้นอยู่กับแนวคิดที่สำคัญ 3 ประการคือ

1. หลักการที่ว่ามีปัจจัย (Factor) จำนวนน้อยที่มีผล เมื่อมีตัวแปรหลายตัว การดำเนินการต่าง ๆ ของระบบหรือกระบวนการมีแนวโน้มที่จะถูกกำหนดโดยปัจจัยหลักและอันตรกิริยา (Interaction) ขั้นต่ำเพียงบางตัวเท่านั้น

2. คุณสมบัติการฉายการออกแบบ การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลสามารถถูกฉายไปสู่การออกแบบที่ดีกว่า (ใหญ่กว่า) ในเซตย่อยของปัจจัยที่มีผล

3. การทดลองต่อเนื่อง เป็นไปได้ที่จะรวมการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2 การทดลองหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะทำการให้เกิดการทดลองอย่างต่อเนื่องที่มีการออกแบบที่ใหญ่กว่าและสามารถประมาณผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่อยู่ในความสนใจได้ดียิ่งขึ้น

2.10.9 มิติการออกแบบ

เนื่องจากการออกแบบที่มีมิติ III , IV , V มีความสำคัญซึ่งให้นิยามและตัวอย่างสำหรับการออกแบบได้ดังนี้

การออกแบบมิติ III (Resolution III) การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลักใด ๆ ที่จะคู่แฝดแฝงกับผลหลักตัวอื่นๆแต่ผลหลักจะคู่แฝดแฝงกับอันตรกิริยาสองปัจจัย และอันตรกิริยาสองปัจจัยอาจจะคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกันได

การออกแบบมิติ IV (Resolution IV) การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลักใด ๆ ที่จะคู่แฝดแฝงกับผลหลักตัวอื่นๆแต่อันตรกิริยาสองปัจจัยจะคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกัน

การออกแบบมิติV (Resolution V) การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลักหรืออันตรกิริยาสองปัจจัยใด ๆ ที่จะคู่แฝดแฝงกับผลหลักตัวอื่น ๆ หรืออันตรกิริยาสองปัจจัยตัวอื่น ๆ แต่อันตรกิริยาสองปัจจัยจะคู่แฝดแฝงกับอันตรกิริยาสามปัจจัย

การออกแบบยิ่งมีมิติสูงก็ยิ่งมีข้อจำกัดน้อยลงในเรื่องสมมติฐานเกี่ยวกับว่า อันตรกิริยาใดจะถูกละเลยได้เพื่อที่จะได้มาซึ่งการตีความหมายข้อมูลอย่างถูกต้อง

2.10.10 การเพิ่มจุดศูนย์กลางให้แก่การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล $2^k$

ประการสำคัญในการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ระดับ คือสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้น(Linearity) ของผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆถ้าพจน์ของอันตรกิริยาถูกเติมเข้าไปในผลหลักหรือแบบจำลองขั้นแรก (First-Order Model) นั่นคือ

$$y = \beta_o + \sum_{j=1}^{k} \beta_i x_j + \sum \sum_{i \lhd j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

ดังนั้นแบบจำลองที่สามารถแสดงส่วนโค้งบางประการในฟังก์ชันของผลตอบ ส่วนโค้งที่เกิดจากการบิดเบี้ยวของระนาบ Plane ที่ถูกทำให้เกิดขึ้นจากผลของอันตรกิริยา $\beta_{ij} x_i x_j$ มีบางกรณีที่ส่วนโค้งในฟังก์ชันผลตอบไม่เพียงพอที่จะสร้างสมการจำลองตามแบบสมการข้างต้นได้ จึงเหมาะสมที่จะใช้แบบจำลองนี้มากกว่า

$$y = \beta_o + \sum_{j=i}^{k} \beta_j x_j + \sum \sum_{i \lhd j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{j=i}^{k} \beta_{ij} x_j^2 + \varepsilon$$

โดยที่ $\beta_{ij}$ จะแสดงถึงผลขั้นที่สอง (Second-Order Model) หรือผลแบบควอดราติก (Quadratic Effect) และสมการนี้เรียกกว่า แบบจำลองพื้นผิวของผลตอบขั้นที่สอง(Second-order Response Surface Model) ในการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ จะใช้สมการจำลองขั้นแรกมากกว่าแต่มีความเป็นไปได้ที่บางครั้งแบบจำลองขั้นที่สองมีความเหมาะสมมากกว่า

กรณีเช่นนี้วิธีการเรพลิเคต การทดลองบางจุดในแฟคทอเรียล $2^k$ ที่จะป้องกันส่วนโค้งที่เกิดจากผลขั้นที่สองนี้และสามารถที่จะหาค่าประมาณของความผิดพลาดได้อย่างอิสระโดยการเติมจุดศูนย์กลางให้แก่การออกแบบ $2^k$ ซึ่งทำการทดลองจำนวน n เรพลิเคตที่จุด $x_i = 0(i = 1,2,...k)$ เหตุผลของการเติมการทดลองเช่นนี้เข้าไปคือ จุดศูนย์กลางที่เติมเข้าไป โดยให้ปัจจัยทั้ง k ตัวนี้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ

เพื่อแสดงการพิจารณาการออกแบบ $2^2$ ที่มีข้อมูล 1ตัว ที่แต่ละจุดของแฟคทอเรียล (-,-) , (+,-) , (-,+) และ (+,+) และที่มีข้อมูลที่มีจุดศูนย์กลาง (0,0,)อยู่ $n_c$ กำหนดให้ $\overline{y}_f$ เป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ค่า ที่จุดทั้ง 4 ของแฟคทอเรียล และกำหนด ให้ $\overline{y_c}$ เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล $n_c$ ที่จุดกึ่งกลาง ถ้าผลต่างระหว่าง $\overline{y_F} - \overline{Y_C}$ มีค่าน้อยจุดศูนย์กลางนี้อยู่บนหรือใกล้กับระนาบที่ผ่านจุดของแฟคทอเรียลแล้วจะไม่มีส่วนโค้งแบบควอดราติก ค่าผลรวมของกำลังสองสำหรับส่วนโค้งแบบคออดราติกบริสุทธิ์ (pure quadratic curvature) ซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 1 หาได้จาก

$$SS_{pure\ \ Quadratic} = \frac{n_F n_C \left( \bar{y}_F - \bar{y}_C \right)^2}{n_F + n_c}$$

โดยที่ $n_F$ คือจำนวนของจุดในการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล ค่านี้อาจถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบกับค่าผิดพลาดของกำลังสองเฉลี่ยเพื่อที่จะทดสอบความเป็นส่วนโค้งแบบบริสุทธิ์ ยิ่งกว่านั้นเมื่อมีการเติมจุดเข้าไปที่จุดศูนย์กลางของการออกแบบ $2^k$ การทดสอบส่วนโค้งดังสมการข้างต้นคือ การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ

$$H_o : \sum_{j=1}^{k} \beta_{jj} = 0$$

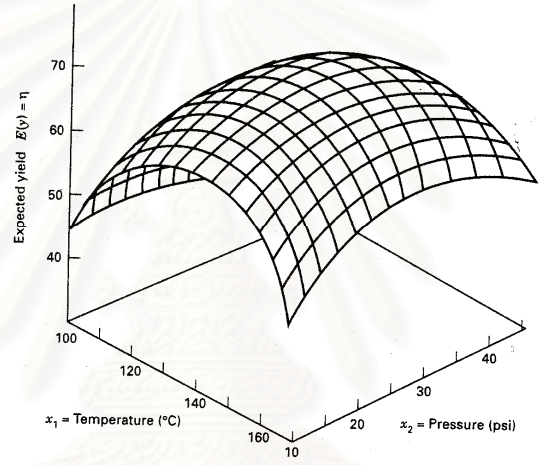
$$H_1 : \sum_{j=1}^{K} \beta_{jj} \neq 0$$

ยิ่งกว่านั้นถ้าจุดแฟคทอเรียลในการออกแบบไม่มีเรพลิเคต สามารถใช้จุดศูนย์กลาง $n_c$ นี้ในการสร้างตัวประมาณของความผิดพลาดซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $n_c$-1 ขึ้นได้อีกด้วย

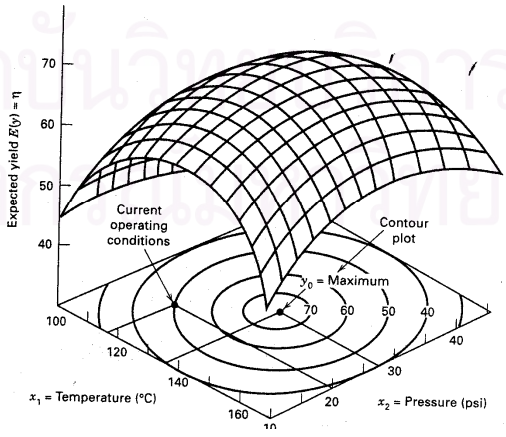
## 2.11 **พื้นผิวผลตอบ** (Response Surface Methodology,RSM)

วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology, RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยผลที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้

พื้นผิวตอบในรูปแบบของกราฟฟิก ดังรูปที่ 2.10 ช่วยให้มองรูปร่างของพื้นผิวตอบได้ดียิ่งขึ้น โดยมากแล้วจะพล๊อตเส้นโครงร่าง (Contour Plot) ของพื้นผิวตอบดังแสดง ดังรูปที่ 2.11 สร้างเส้นโครงร่างเช่นนี้ เส้นที่มีค่าของผลตอบคงที่จะถูกวาดอยู่บนระนาบ $X_1$ และ $X_2$ เส้นโครงร่างแต่ละเส้นจะมีความสูงของพื้นผิวตอบที่เท่ากันค่าหนึ่ง




รูปที่ 2.10 กราฟพื้นผิวตอบแบบสามมิติ (Response Surface Plot)




รูปที่ 2.11 กราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวตอบ (Contour Plot)

ในปัญหาเกี่ยวกับพื้นที่ผิวตอบส่วนมาก จะไม่สามารถทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระ ดังนั้น ขั้นตอนแรก ต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และเซ็ตของตัวแปรอิสระ ซึ่งตามปกติแล้วจะใช้ฟังก์ชั่นพหุนามที่มีกำลังต่ำ ๆ ที่อยู่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ถ้าแบบจำลองของผลตอบมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่จะใช้ในการประมาณความสัมพันธ์ก็คือแบบจำลองกำลังหนึ่ง

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องในระบบ จะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสอง

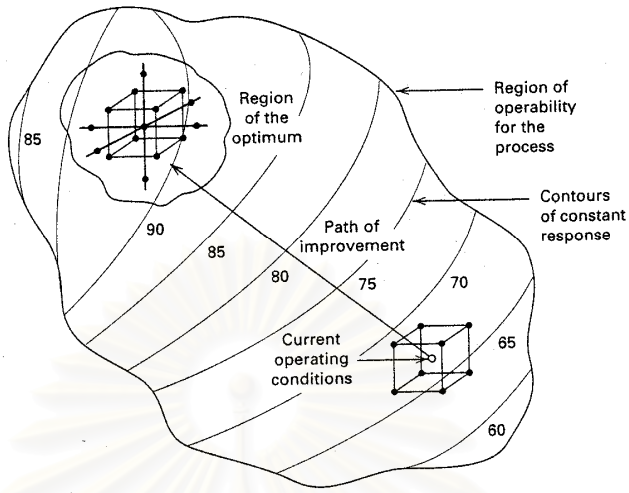
$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum\sum_{i<j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวตอบส่วนมากจะใช้แบบจำลองหนึ่งในสองแบบที่กล่าวมา แน่นอนว่าแบบจำลองพหุนามที่กล่าวมานี้จะไม่สามารถใช้ประมาณความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระ แต่ทว่าถ้าพื้นผิวที่สนใจอยู่นั้นมีขนาดค่อนข้างเล็กแล้ว แบบจำลองเหล่านี้จะใช้งานได้ดีพอสมควร วิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method) จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองพหุนาม การวิเคราะห์พื้นผิวตอบจะเกิดขึ้นกับพื้นผิวที่สร้างขึ้นนี้ ถ้าพื้นผิวที่สร้างขึ้นสามารถใช้ประมาณฟังก์ชันผลตอบได้อย่างดีเพียงพอ

ดังนั้นการวิเคราะห์พื้นผิวที่ถูกสร้างขึ้นมานี้จะสามารถใช้ประมาณได้เหมือนกับการวิเคราะห์ระบบจริง พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองสามารถประมาณได้เป็นอย่างดี ถ้าทำการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะเก็บค่าได้อย่างเหมาะสม การออกแบบสำหรับการสร้างพื้นผิวตอบเรียกว่า การออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

การวิเคราะห์พื้นผิวเป็นวิธีการแบบมีลำดับขั้นตอน บ่อยครั้งจุดบนพื้นผิวตอบที่ห่างไกลออกไปจากจุดที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 2.12 พบว่าผลตอบจองระบบนี้ไม่ค่อยเป็นส่วนโค้งและแบบจำลองกำลังหนึ่งก็พอเพียงในการสร้างแบบจำลอง วัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อปรับปรุงให้มากที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อที่จะไปใกล้จุดที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วที่สุด และเมื่อพบอาณาเขตของค่าที่ดีที่สุดแล้ว ให้นำแบบจำลองที่ซับซ้อนขึ้น เช่น แบบจำลองกำลังสอง เข้ามาวิเคราะห์และการทดลองเพื่อที่จะให้สามารถหาจุดที่ดีที่สุดได้

จุดประสงค์สุดท้ายของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบ คือ การหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดสำหรับระบบ หรือเพื่อที่จะหาอาณาเขตของปัจจัยก่อให้เกิดการทำงานอย่างน่าพอใจ




รูปที่ 2.12 วิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบ

2.11. การปีนขึ้นด้วยทางชันที่สุด

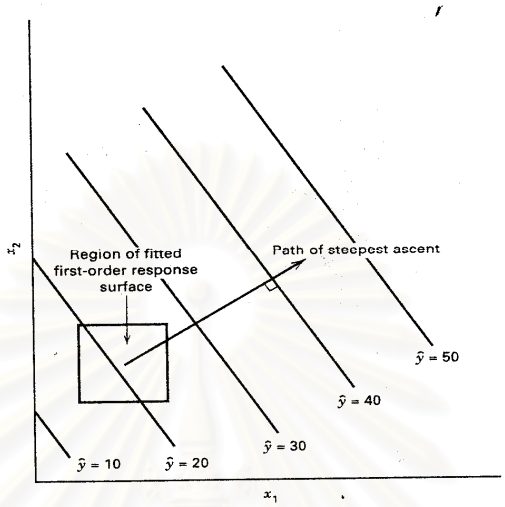
การประมาณค่าเงื่อนไขการทำงานที่ดีที่สุดเบื้องต้นสำหรับระบบที่กำลังศึกษานั้นจะอยู่ห่างไกลจากจุดที่ดีที่สุดตัวจริง ในกรณีเช่นนั้นวัตถุประสงค์ของผู้ทำการทดลอง คือ การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วจากจุดตั้งต้นไปสู่บริเวณใกล้กับจุดที่ดีที่สุด วิธีการที่ใช้ควรเป็นวิธีการที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ เมื่ออยู่ห่างไกลจากจุดที่ดีที่สุด โดยมากจะสมมติแบบจำลองกำลังหนึ่งนั้นเป็นแบบจำลองที่สามารถประมาณพื้นผิวที่แท้จริงสำหรับบริเวณเล็ก ๆ ของตัวแปร X

วิธีการปีนขึ้นด้วยทางชันที่สุด (Steepest Ascent) เป็นวิธีการที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่อย่างเป็นอันดับบนเส้นทางที่มีความชันมากที่สุด กล่าวคือ ในทิศทางที่มีการเพิ่มขึ้นของผลตอบสูงที่สุด แน่นอนถ้าต้องการหาค่าที่ต่ำที่สุดแทน เรียกว่าวิธีการปีนลงด้วยทางชันที่สุด (Steepest Descent) แบบจำลองกำลังหนึ่งที่ถูกสร้างขึ้นมาก็คือ

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^{k} \hat{\beta}_i x_i$$

และพื้นผิวตอบกำลังหนึ่ง (First-Order Response Surface) จะเป็นเส้นโครงร่างของ $\hat{y}$ ซึ่งเป็นอันดับเส้นขนาน ดังรูปที่ 2.13 ทิศทางของการปีนขึ้นด้วยทางชันที่สุดคือทิศทางที่ค่า $\hat{y}$ มีค่าเพิ่มขึ้นรวดเร็วที่สุด ทิศทางนี้คือเส้นที่ขนานกับเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวที่ถูกสร้างขึ้นมา เส้นทางที่ผ่านจุดศูนย์กลางของอาณาเขตที่กำลังสนใจและตั้งฉากกับพื้นผิวที่สร้างขึ้นมาเป็นเส้นทางในการปีนขึ้นที่มีความชันสูงสุด

ดังนั้น การก้าวย่าง (Step) บนเส้นทางเดินนี้จะเป็นสัดส่วนกับสัมประสิทธิ์การถดถอย $\{\hat{\beta}_i\}$ ขนาดที่แท้จริงของก้าวย่างจะหาได้จากประสบการณ์กับกระบวนการของผู้ทำการทดลองหรือข้อพิจารณาทางปฏิบัติอื่น ๆ




รูปที่ 2.13 พื้นผิวตอบกำลังหนึ่งและเส้นทางปีนขึ้นด้วยทางชั้นที่ชันที่สุด

การทดลองจะมีการทำขึ้นบนเส้นทางที่มีความชันมากที่สุดจนกระทั่งค่าของผลตอบไม่สามารถที่จะเพิ่มขึ้นอีกได้ หลังจากนั้นแบบจำลองกำลังหนึ่งตัวใหม่จะถูกสร้างขึ้นมา ต้องมีการหาเส้นทางที่มีความชันสูงสุดขึ้นมาใหม่ และกระบวนการดังกล่าวที่กล่าวมาข้างต้นจะเกิดขึ้นอีกครั้ง ในที่สุดก็จะมาสู่จุดที่อยู่ใกล้กับจุดที่มีค่าดีที่สุด ซึ่งจะถูกบ่งชี้โดยดูจาก Lack of Fit ของแบบจำลองกำลังหนึ่ง เมื่อถึงตอนนั้นการทดลองเพิ่มเติมจะถูกดำเนินการขึ้นเพื่อหาตัวประมาณของค่าที่ดีที่สุด

## 2.12 **หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล**

### 2.12.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

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

ซึ่ง $\mu$ คือ ค่าเฉลี่ย

$\tau$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

$\varepsilon$ คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ y ตัวแปรมีการกระจายแบบแจกปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น y จะมีกากระจายแบบนี้ได้ต้องให้ $\varepsilon$ มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\varepsilon_{ij} \sim \mathrm{NID}(o, \sigma^2)$ การตรวจสอบ $\varepsilon_{ij}$ มี 3 ขั้นตอน คือ

1.การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่โดยใช้หลักการทางด้านสถิติดังต่อไปนี้

- การทดสอบแบบไคร์สแควร์ ( $\chi^2$ – Goodness of Fit Test)
- การทดสอบแบบโคโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolgomorov-Smirnov Tes)
- การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)

2.การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

2.12.2 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test)

การทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ เป็นถ้อยแถลงที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นของตัวแปรแบบสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งค่าพารามิเตอร์โดยสมมติฐานแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1. สมมติฐานที่กำหนด (Null Hypothesis) เป็นข้อสงสัยหรือข้อสมมติเกี่ยวกับลักษณะต่างๆในประชากรที่ต้องการพิสูจน์ว่าจริงหรือไม่ โดยใช้สัญลักษณ์ $H_O$

2. สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) เป็นข้อความหรือความคิดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ ที่หวังว่าจะเป็นโดยจะต้องมีความหมายที่แย้งกับสมมติฐานที่กำหนดโดยชัดเจน โดยใช้สัญลักษณ์ $H_1$ โดยโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด (Reject $H_O$) จะถูกกำหนดโดยระดับนัยสำคัญ ซึ่งเป็นโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่น้อยมากที่ค่าพารามิเตอร์จะตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานเป็นจริง

โดยทั่วไปมักจะทำการเปลี่ยนช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหรือระดับความมีนัยสำคัญเป็นค่าวิกฤติ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือใช้ในการเปรียบเทียบหรือใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนดการตัดสินใจที่ยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนดอาจเกิดความผิดพลาดได้ 2 กรณี คือ

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

กรณี 2 ความผิดพลาดที่เกิดจากเกิดการยอมรับสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ (Type II Error) ซึ่งสามารถสรุปได้ดัง ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน

| สมมติฐานที่กำหนด | สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้อง | สมมติฐานที่กำหนดไม่มีความถูกต้อง |
|---|---|---|
| ยอมรับ | การตัดสินใจถูกต้อง | ความผิดพลาดแบบที่ 2 |
| ปฏิเสธ | ความผิดพลาดแบบที่ 1 | การตัดสินใจที่ถูกต้อง |

โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สมารถแสดงได้ดังนี้

$\alpha$ = P (ความผิดพลาดแบบที่ 1)
= P (ความปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

$\beta$ = P (ความผิดพลาดแบบที่ 2)
= P (การยอมรับสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดไม่ถูกต้อง)

โดย $1-\beta$ = อำนาจของการทดสอบ
= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด:สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.12.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

ภายหลังจากที่ได้ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองแล้ว งานขั้นต่อไปก็คือ การนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติหรือหาแนวโน้มต่อไป โดยใช้หลักการของ ANOVA หรือ การถดถอย

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิต โดยการแยกผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Square: $SS_T$) ออกเป็นส่วนต่าง ๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุ โดยที่จะทำการวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลองโดยพิจารณาความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวน แล้วแตกออกมาเป็นแตกต่างย่อย แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น

หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่า แสดงปัจจัยนั้นทำให้เกิดความแตกต่าง โดยมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square; MS) ซึ่งเป็นตัวที่ประมาณค่าความแปรปรวนที่ดีที่สุด ซึ่ง

$$MS = \frac{ss}{df}$$

เมื่อ SS คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

df คือ ขั้นตอนของความอิสระ(Degree of Freedom)

สามารถอธิบายการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละแบบการทดสอบได้ดังนี้

1.การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized อิทธิพล Design : CRD) สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

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

; j = 1 , 2 ,...,n

$y_{ij}$ คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

$\mu$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

$\tau_i$ คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

$\varepsilon_{ij}$ คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรให้ทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares) $SS_T$ โดยที่

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

$$SS_{Tr} = \left( \sum_{i=1}^{a} y^2{}_{i.} / n \right) - \left( y_{..}^2 / N \right)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr}$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \le F_{\alpha,v1,v2}$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesisได้

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ One-Way- ANOVA

| 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) สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วน คือ ความแปรปรวน เนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน ความแปรปรวนเนื่องจากการบล็อก และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลองตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model) ตัวแบบ : $y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$ ; i = 1 , 2 ,....a

; j = 1 , 2 ,...,n

$y_{ij}$ คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

$\mu$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

$\tau_i$ คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

$\beta_j$ คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่ j

$\varepsilon_{ij}$ คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังทั้งหมด (Total Sum of Squares) $SS_T$ โดยที่

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

$$SS_{Tr} = \left( \sum_{i=1}^{a} y^2{}_{i.} / n \right) - \left( y_{..}^2 / N \right)$$

$$SS_B = \left( \sum_{j=1}^{b} y^2{}_{.j} / a \right) - \left( y_{..}^2 / N \right)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} - SS_B$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha,v1,v2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ($H_0$) ได้

ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก

| 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.การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment Design) สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัย ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ตัวอย่าง การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีตัวแปร 2 ตัว ของตัวแปรแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Mode)

ตัวแบบ $Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$

โดย $i = 1, 2, \ldots, a$

$j = 1, 2, \ldots, b$

$k = 1, 2, \ldots, n$

เมื่อ $Y_{ij}$ คือ ค่าสังเกตที่ j ในทรีทเมนต์ที่ i

$\mu$ คือ พารามิเตอร์ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

$\tau_i$ คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ i

$\beta_j$ คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัยA ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i และปัจจัย B ที่เกิดจากกทรีทเมนต์ที่ j

$\varepsilon_{ijk}$ คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

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

$$SS_A = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_{i..}^2 - \frac{y^2}{abn}$$

$$SS_B = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b} y_{.j.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

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

$$SS_{AB} = SS_{Subtotals} - SS_A - SS_B$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.6 โดยที่ถ้าหาก $F_0 \le F_{\alpha,v1,v2}$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesisได้

ตารางที่ 2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two-Fixed Effect Model

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

## 2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**กิตติศักดิ์ อนุรักษ์สกุล** (2544)

ทำการศึกษาเพื่อ วิเคราะห์และลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงร่างรถยนต์โดยใช้เทคนิค FMEA ทำการศึกษาระบบการผลิตตลอดจนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการโดยการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าหลังจากทำการวิเคราะห์และลดของเสียโดยใช้เทคนิค FMEA แล้วสามารถมองของเสียได้หลายมิติ เช่น ระดับความรุนแรงของของเสีย ,ผลกระทบที่เกิดขึ้น, ความถี่หรือโอกาสในการเกิดความสามารถในการตรวจจับพบว่า

1.กระบวนการ Draw มีของเสียก่อนปรับปรุง 2.02% และหลังจากการปรับปรุงเป็น 0.79%, 0.22% ตามลำดับ

2.กระบวนการ Trim-Pierce มีของเสียก่อนการปรับปรุง 2.20% และหลังการปรับปรุงเป็น 0.70%, 0.25% , 0.22% ตามลำดับ

3.กระบวนการ Separate มีของเสียก่อนการปรับปรุง 2.25 % และหลังการปรับปรุงเป็น 1.06% , 0.20% , 0.18% ตามลำดับ

**ราเมศ สโมสร** (2545)

ได้นำหลักการออกแบบการทดลองมาทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านความแกร่งคือ ปริมาณแป้ง CATO ปริมาณหินปูน J/W ratio แรงกดของเครื่องกด แรงกดของเครื่องขัดกระดาษ อุณหภูมิของเครื่องขัดกระดาษ ปริมาณความชื้นของกระดาษ รวมทั้งชนิด สัดส่วน และน้ำหนักของเยื่อกระดาษในแต่ละชั้น โดยมีดัชนีความแกร่งของกระดาษดูเพล็กซ์บอร์ด เป็นตัวแปรตอบสนอง จากการวิเคราะห์พบว่า ชนิด สัดส่วนและน้ำหนักของเยื่อกระดาษในแต่ละชั้น เป็นสาเหตุหรือปัจจัยแห่งความผันแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติด้านความแกร่งของกระดาษดูเพล็กซ์

**อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว** (2545)

ทำการศึกษาการลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยการประยุกต์วิธีการซิกซ์ซิกม่าโดยการวิจัย ฉบับนี้ เป็นแนวทางในการเสนอแนวทางในการควบคุมคุณภาพ โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องอันเนื่องจากข้อบกพร่องต่าง ๆ ของระบบการดำเนินการคุณภาพ โดยการดำเนินการคุณภาพตามแนวทางซิกซ์ซิกม่า ในระยะเวลา 4 เดือน พบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องลดลงจาก 4,400 DPPM เป็น 2,849 DPPM หรือเมื่อเทียบกับในระดับซิกซ์ซิกม่า สามารถปรับปรุงจากระดับ 2.85 เป็น 2,986

**ชนัตถ์ โรจนะบุรานนท์** (2546)

นำหลักการของการออกแบบการทดลองมาทำการวิเคราะห์เพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต 4 สี โดยการปรับค่าความเปรียบต่างสี เนื่องจากค่า Print contrast ที่มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพ และการเกิดปัญหาต่าง ๆ ของงานพิมพ์ โดยมีปัจจัยที่มีความสำคัญ ดังนี้ คือ ปริมาณหมึกของ Ink key รอบการจ่ายหมึกและรอบการจ่ายน้ำ รวมทั้งมีอิทธิพลร่วมของของ ปริมาณหมึกของ Ink key และรอบการจ่ายหมึก ปริมาณหมึกของ Ink key และรอบการจ่ายน้ำ รอบการจ่ายหมึกและรอบการจ่ายน้ำ

ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถปรับปรุงความเปรียบต่างสีให้สูงขึ้นทำให้ความสูญเปล่าลดลงตามวัตถุประสงค์ ก่อนปรับปรุงมีค่าความสามารถของกระบวนการ Cpk ของสีดำ (Black) อยู่ที่ 0.22 สีฟ้า (Cyan) อยู่ที่0.74 สีแดง (Magenta) อยู่ที่ 0.43 สีเหลือง (Yellow) 0.51 และหลังปรับปรุงมีค่าความสามารถของกระบวนการ Cpk ของ สีดำ (Black) อยู่ที่ 1.44 สีฟ้า (Cyan) อยู่ที่ 1.24 สีแดง (Magenta) อยู่ที่ 1.41 สีเหลือง (Yellow) 1.13

**ศิริวดี เอื้ออรัญโชติ** (2546)

ทำการศึกษา การลดการปนเปื้อนจากระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์โดยการประยุกต์วิธีการซิกซ์ซิกม่า โดยงานวิจัยนี้เป็นการทำการศึกษาเพื่อลดการปนเปื้อนของกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนรุ่น Maverick โดยพบว่ามีจำนวนชิ้นงานที่มีการ Contamination ก่อนการทำการศึกษาเกิดขึ้น 245,153 ชิ้นในหนึ่งล้านชิ้น (DPPM) ซึ่งหลักจากทำการศึกษาและทดลองตามแนวทางซิกซ์ซิกม่าแล้วสามารถที่จะลดปริมาณของเสียเนื่องจากคราบสกปรกของชิ้นงานลงให้เหลือประมาณ 79,083 DPPM และสามารถประมาณค่าความสูญเสียที่ลดลงได้เท่ากับ 8,091 เหรียญ

**วรพงศ์ นาวาวรกุล** (2546)

ได้เสนอการลดความแปรปรวนของน้ำหนักกระดาษเกรด 75 $g/m^2$ โดยก่อนการปรับปรับปรุงของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษคือ 1.98 $g/m^2$ และดัชนีสมรรถนะรวมของกระบวนการคือ 0.71 ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัย 2 ปัจจัย ( Two Factor Analysis of Variance ) พบว่าความแตกต่างของน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามยาวเครื่องและในแนวตามขวางเครื่องอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าปัจจัยทางด้านแนวตามขวางเครื่องมีผลกระทบต่อน้ำหนักมาตรฐานมากกว่า และผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยในแนวตามยาวและแนวตามขวางไม่มีผลต่อน้ำหนักมาตรฐาน

**ธนิยา ลิ่มชูเชื้อ** (2545)

การลดของเสียจากระบวนการผลิตครีบระบายความร้อน โดยการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกม่า การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตครีบระบายความร้อน โดยนำวิธีการตามแนวทางซิกซ์ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน (Dt) ซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้า โดยก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสีย 48,332 DPPM หลังจากปรับปรุงสามารถที่จะลดความสูญเสียได้เป็นจำนวนเงิน 1108,250 บาท โดยพิจารณาจากระยะเวลาระหว่างการดำเนินงานวิจัยซึ่งคิดเป็น 56% ของจำนวนของเสียที่ลดได้จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสีย 19,255 DPPM

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 3

# สภาพปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง

## 3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานตัวอย่าง

โรงงานตัวอย่างนี้ ได้ก่อตั้งเมื่อปี พ.ศ. 2526 ด้วยทุนจดทะเบียน 375 ล้านบาท มีพื้นที่สำหรับการผลิตประมาณ 8,160 ตรม. บนพื้นที่ขนาด 31.5 ไร่ มีพนักงาน 256 คน มีกำลังการผลิต 9,600 ตันต่อปี โดยมีผู้ถือหุ้นทั้งหมดเป็นคนไทย ซึ่งได้เล็งเห็นถึงความสำคัญ ของอุตสาหกรรมด้านทางบรรจุภัณฑ์ที่มีต่ออุตสาหกรรมโดยทั่วไป โดยเฉพาะสินค้าของเด็กเล่น และสินค้าอื่น ๆ ที่ผลิตเพื่อการส่งออก โดยเห็นว่าบรรจุภัณฑ์มีส่วนสำคัญในการส่งเสริมการขาย บริษัท ฯ ประกอบกิจการหลักผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องกระดาษ เพื่อจำหน่ายโดยตรงแก่ผู้ผลิตสินค้าของเด็กเล่น สินค้าอุปโภคบริโภค และเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

### 3.1.1 โครงสร้างองค์กร

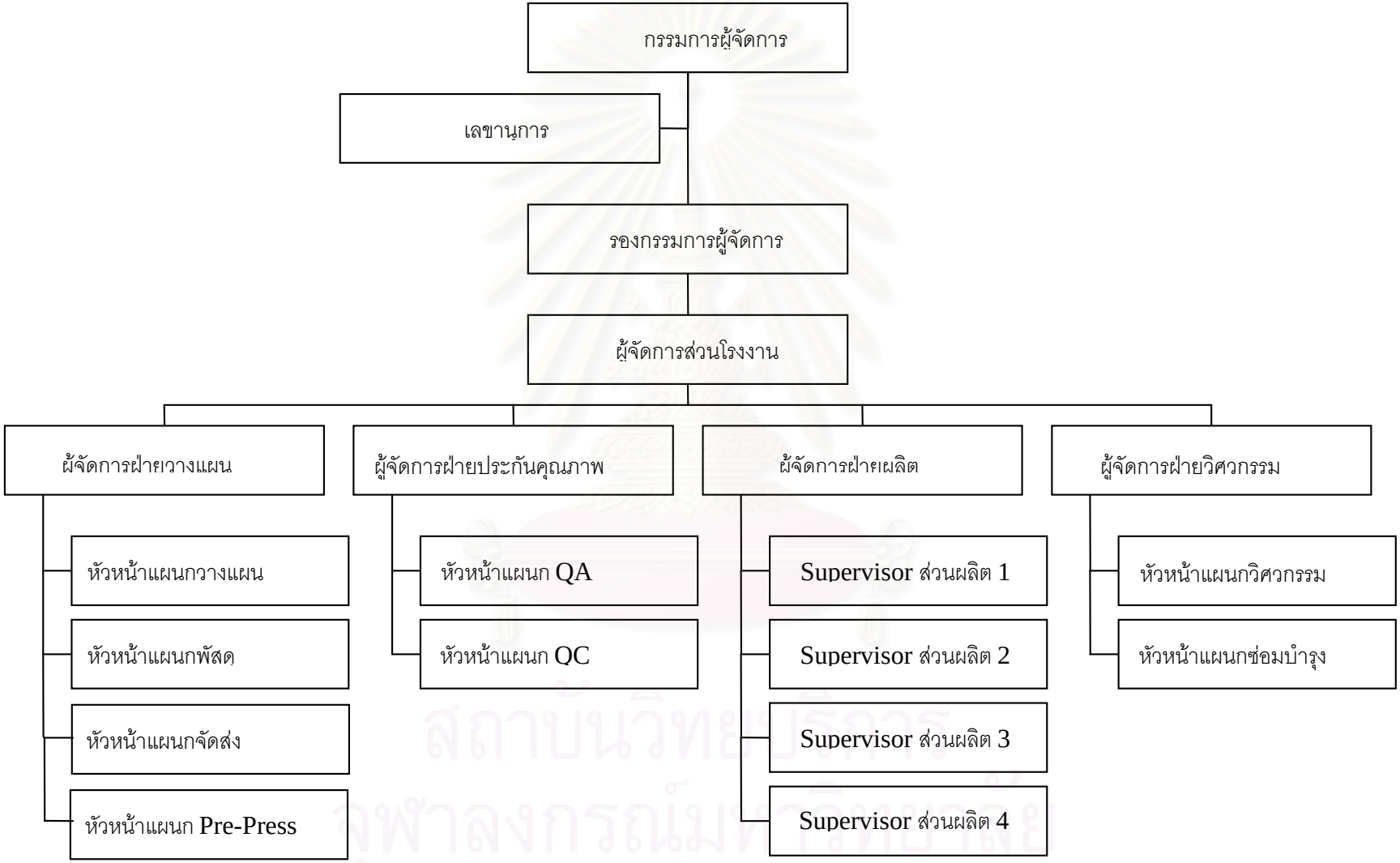
บริษัทฯ ได้จัดแบ่งความรับผิดชอบการบริหารงานของหน่วยงานต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมี กรรมการผู้จัดการเป็นผู้รับผิดชอบในการบริหารงาน และมีผู้จัดการโรงงานเป็นผู้รับผิดชอบการดำเนินงานในส่วนการผลิต โดยเฉพาะในส่วนโรงงานสามารถแบ่งงานออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ ฝ่ายวางแผนการผลิต ฝ่ายผลิต ฝ่ายประกันคุณภาพ และ ฝ่ายวิศวกรรม-ซ่อมบำรุง ซึ่งในแต่ละฝ่ายจะมีผู้จัดการฝ่ายเป็นผู้รับผิดชอบ และมีการแยกหน่วยงานย่อยในระดับแผนกลงไป โดยสามารถสรุปหน้าที่ความรับผิดชอบของแต่ละฝ่ายได้ดังต่อไปนี้

1.ฝ่ายวางแผนการผลิต ทำหน้าที่วางแผนจัดเตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์ การวางแผนกำลังการผลิตและตารางผลิตและการจัดทำตัวอย่างชิ้นงาน

2.ฝ่ายผลิต ทำหน้าที่ ในการผลิตและควบคุมกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามแผนการผลิตตลอดจนให้ได้คุณภาพตามข้อกำหนดลูกค้า

3.ฝ่ายประกันคุณภาพ ทำหน้าที่ในการตรวจสอบและทดสอบวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการผลิต (Work in Process) และชิ้นงานสำเร็จรูป

4.ฝ่ายวิศวกรรม-ซ่อมบำรุง ทำหน้าที่ในการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) การซ่อมบำรุงเครื่องจักร ระบบสนับสนุน (Utility) และควบคุมการผลิตไอน้ำ




รูปที่ 3.1 แผนผังโครงสร้างการบริหารงานของโรงงานตัวอย่าง (ส่วนโรงงาน)

3.1.2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์

โรงงานตัวอย่าง ประกอบกิจการหลักผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องกระดาษด้วยระบบการพิมพ์ออฟเซต ใน 4 กลุ่มผลิตภัณฑ์หลัก ดังรูปที่ 3.2 ได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์อาหาร กลุ่มผลิตภัณฑ์ของเด็กเล่น กลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและกลุ่มสินค้าอุปโภคบริโภค เป็นต้น โดยวัตถุดิบที่ใช้ 90 เปอร์เซ็นต์จะเป็นกระดาษและมีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น หมึกพิมพ์ น้ำยาเคลือบ และกาวอีกรวมประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะการผลิตจะเป็นการผลิตตามแบบหรือตัวอย่างที่ลูกค้าให้มา โดยแบ่งได้เป็น 2 ชนิดดังนี้

1.กล่องกระดาษประกบฟูก (Paperboard With Corrugated Fiberboard)

กล่องกระดาษประกบฟูก จะใช้กระดาษลูกฟูกแผ่นชนิด Single Faced Corrugated ซึ่งประกอบด้วยกระดาษลอนลูกฟูกหนึ่งชั้นปะติดกับกระดาษแผ่นเรียบหนึ่งชั้น โดยมากกล่องลูกฟูกลอนB มีลอนใหญ่ใช้บรรจุสินค้าที่มีขนาดใหญ่และต้องการความแข็งแรง ส่วนกล่องลูกฟูกลอน E จะเป็นกล่องลูกฟูกลอนเล็กที่สุด ใช้กับสินค้าที่ต้องการความแข็งแรง สวยงามและพิถีพิถัน

2.กล่องกระดาษแข็งไม่ประกบฟูก (Paperboard Boxes)

มีกรรมวิธีการผลิต เช่นเดียวกันกับกล่องกระดาษลูกฟูก แต่ไม่ต้องผ่านขั้นตอนการประกบกระดาษลูกฟูกเท่านั้น ส่วนใหญ่ใช้บรรจุสินค้าที่สัมผัสกับกล่องสินค้าโดยตรง ส่วนใหญ่เป็นสินค้าอุปโภคบริโภคทั่วไป อาทิ ผงซักฟอก กล่องผลิตภัณฑ์ภายในครัวเรือน หลอดไอศกรีม เป็นต้น

รูปที่ 3.2 ผลิตภัณฑ์หลักของโรงงานตัวอย่าง

3.1.3 กระบวนการและเส้นทางการผลิต

เมื่อลูกค้ามีการแจ้งสั่งซื้อสินค้า ฝ่ายขายจะเป็นผู้รับใบสั่งซื้อ และออกใบขอผลิตให้กับฝ่ายวางแผนการผลิต เพื่อดำเนินการผลิตตามคำสั่งซื้อ โดยทั่วไปจะกำหนด Due Date กับทางลูกค้า โดยพิจารณาจากระยะเวลาในการผลิต ลำดับงาน และปริมาณงานเป็นสำคัญ แบ่งออกเป็น งานเก่าที่เคยมี Order แล้ว งานแก้ไข และงานใหม่ที่รอการ Approved โดยมีรายละเอียดงานแต่ละประเภทดังนี้

<u>กรณีงานเก่า</u> : ฝ่ายขายเมื่อได้รับคำสั่งซื้อจากลูกค้าจะตรวจสอบปริมาณสินค้าคงเหลือจากแผนกคลังสินค้า หากมีปริมาณสินค้าสำเร็จรูปคงเหลือเพียงพอ ก็สามารถดำเนินการส่งสินค้าทันที แต่หากสินค้าสำเร็จรูปไม่พอก็จะออกใบสั่งผลิตวางมายังฝ่ายวางแผนการผลิตเพื่อวางแผนเตรียมการการผลิตต่อไป

<u>กรณีงานแก้ไข</u> : ฝ่ายขายจะดำเนินการออกใบสั่งแก้ไขชิ้นงานไปยังแผนกเตรียมการผลิตในฝ่ายวางแผนการผลิต ซึ่งมีหน้าที่ออกแบบ ควบคุมดูแลแบบและอุปกรณ์จำพวกฟิล์ม เพลท แบบปั๊มคัทและงานทำชิ้นงานตัวอย่าง เพื่อแก้ไขตามรายละเอียดพร้อมทั้งทำชิ้นงานตัวอย่างที่แก้ไขเสร็จ ส่งให้ฝ่ายขายนำเสนอลูกค้าพิจารณาอนุมัติและรอยืนยันคำสั่งซื้อจากลูกค้าต่อไป

<u>กรณีงานใหม่</u> : ฝ่ายขายจะออกใบสั่งทำชิ้นงานตัวอย่างและส่งรายละเอียดให้กับแผนกเตรียมการผลิต ฝ่ายวางแผนการผลิต เพื่อทำชิ้นงานตัวอย่าง ส่งให้ลูกค้าพิจารณาอนุมัติ หากผ่านการพิจารณาอนุมัติ และได้รับคำสั่งซื้อ ก็จะออกใบสั่งผลิตมาแผนกวางแผนเพื่อดำเนินการผลิตต่อไปแต่ถ้าหากชิ้นงานไม่ผ่าน Approved ก็จะส่งแบบและชิ้นงานกลับมาให้แก้ไขใหม่อีกครั้ง

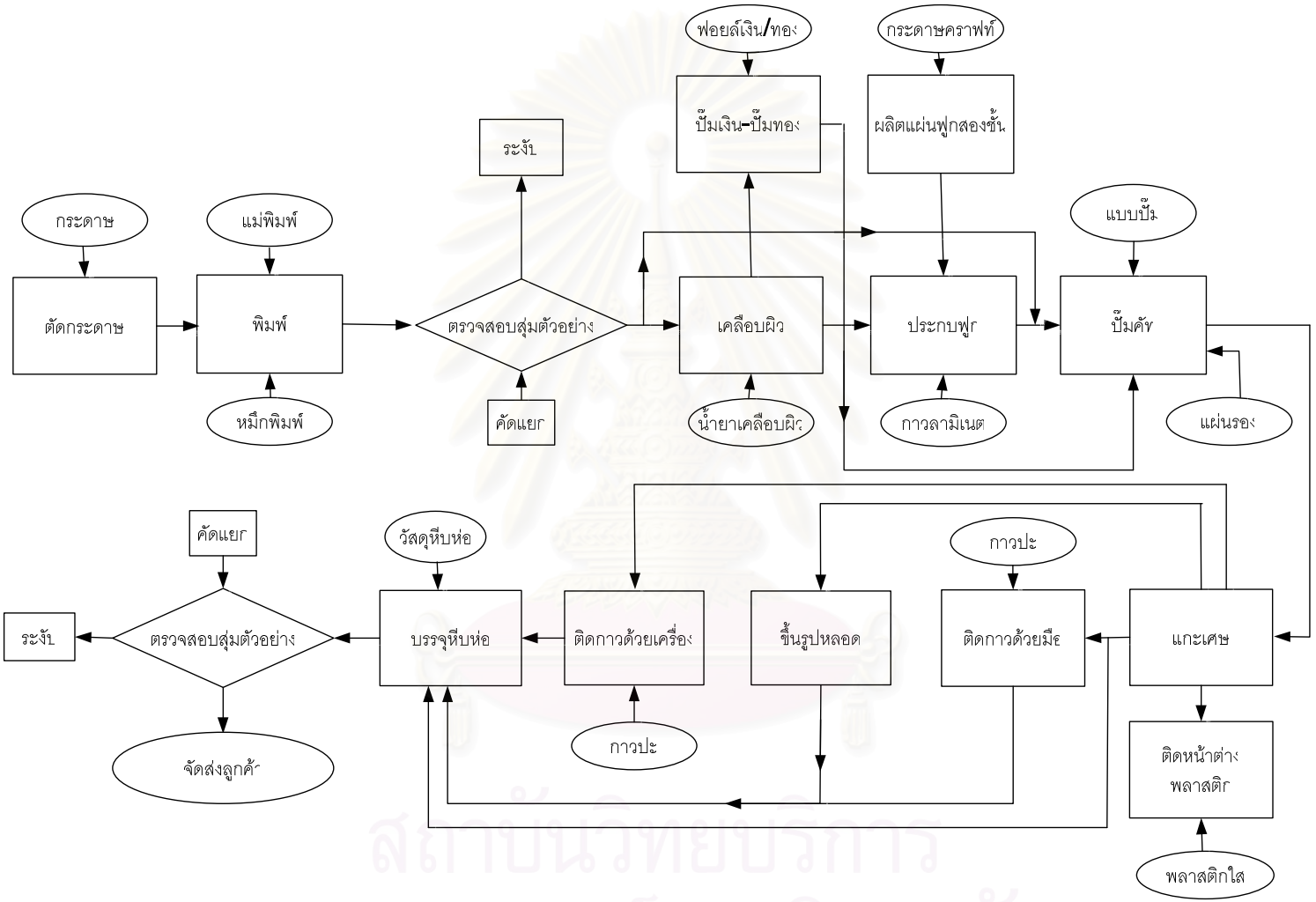
เนื่องจากทางโรงงานตัวอย่าง มีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย การผลิตจะเป็นไปในลักษณะแบบ Job Shop หรือ การผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ซึ่งการผลิตนั้นเป็นไปในลักษณะที่ไม่ต่อเนื่องขึ้นอยู่กับคำสั่งซื้อจากลูกค้าเป็นหลัก และยอดการผลิตเป็นไปในลักษณะ ขึ้นลงตามช่วงเวลาที่แตกต่างกันออกไป อีกทั้งรูปแบบของสายการผลิตก็มีหลายรูปแบบตามลักษณะของตัวผลิตภัณฑ์ โดยมีรายละเอียดยอดการขายของรูปแบบกล่องแต่ละชนิด ตามตารางที่ 3.1 ส่วนแผนภาพกระบวนการผลิตในรูปที่ 3.3 เป็นไปในลักษณะที่สามารถเข้าออกได้ในหลายเส้นทางขึ้นอยู่กับลักษณะรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ รายละเอียดและขั้นตอนของสายการผลิตทั้ง 6 แสดงดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.1 แสดงสัดส่วนในแต่ละกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษเทียบกับยอดขาย

(ข้อมูลเดือนเมษายน-กันยายน 2549)

| ประเภทงาน (Job type) | สายการผลิต (Route) | จำนวนผลิต (กล่อง) | ยอดขาย (Sale) บาท (Baht) | % ชนิดงาน/ยอดขาย | กระบวนการผลิต (Process) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ตัด | พิมพ์ | เคลือบผิว | ลามิเนต | ปั๊ม | ปะกาว |
| 1.กล่องกระดาษชนิดประกบฟูก | | | | | | | | | | |
| - กล่องสีไม่เคลือบผิว | 4 | 288,310 | 3,558,095.00 | 15.85 | √ | √ | - | √ | √ | - |
| - กล่องสีเคลือบผิว | 1 | 254,500 | 3,805,435.00 | 16.95 | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| - กล่องสีไม่เคลือบผิวขึ้นรูปในตัว | 5 | 39,400 | 1,107,660.00 | 4.93 | √ | √ | - | √ | √ | - |
| - กล่องสีขึ้นรูปในตัว | 2 | 206,100 | 5,218,985.00 | 23.25 | √ | √ | √ | √ | √ | - |
| 2.กล่องกระดาษแข็งไม่ประกบฟูก | | | | | | | | | | |
| - กล่องสีไม่เคลือบผิวขึ้นรูปในตัว | 3 | 1,942,000 | 2,758,032.00 | 12.29 | √ | √ | √ | - | √ | √ |
| - กล่องสีขึ้นรูปในตัว | 6 | 829,700 | 5,998,932.00 | 26.72 | √ | √ | - | - | √ | - |
| คิดเป็นจำนวนงานในแต่ละกระบวนการ | - | 3,560,010 | - | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 67.49 | 22.14 | 100.00 | 61.70 |
| คิดเป็นมูลค่างานในแต่ละกระบวนการ | - | 3,560,010 | 22,447,139.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 52.49 | 60.99 | 100.00 | 29.24 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 3.3 แผนภาพกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ (Manufacturing of Corrugated Paper Box Bord Mapping)

ตารางที่ 3.2 กระบวนการผลิต : กล่องกระดาษแข็งชนิดประกบฟูก

(Paper Board with Fiberboard Boxes)

| สายการผลิต | กระบวนการผลิต (Process) |
|---|---|
| 1 | ตัด → พิมพ์ → เคลือบผิว → ลามิเนต → ปั๊ม → ปะกาว |
| 2 | ตัด → พิมพ์ → เคลือบผิว → ลามิเนต → ปั๊ม |
| 4 | ตัด → พิมพ์ → ลามิเนต → ปั๊ม → ปะกาว |
| 5 | ตัด → พิมพ์ → ลามิเนต → ปั๊ม |

ตารางที่ 3.3 กระบวนการผลิต : กล่องกระดาษแข็งชนิดไม่ประกบฟูก

(Paperboard Boxes)

| สายการผลิต | กระบวนการผลิต (Process) |
|---|---|
| 3 | ตัด → พิมพ์ → เคลือบผิว → ปั๊ม → ปะกาว |
| 6 | ตัด → พิมพ์ → ปั๊ม |

ลักษณะของกระบวนการผลิตจะมีการเข้าออกได้หลายเส้นทางหรืออาจมีการเข้าซ้ำไปซ้ำมาตามแต่ลักษณะของผลิตภัณฑ์และข้อจำกัดในการทำงาน ซึ่งสามารถอธิบายลักษณะและหน้าที่ของแต่ละกระบวนการในหัวข้อที่ 3.2

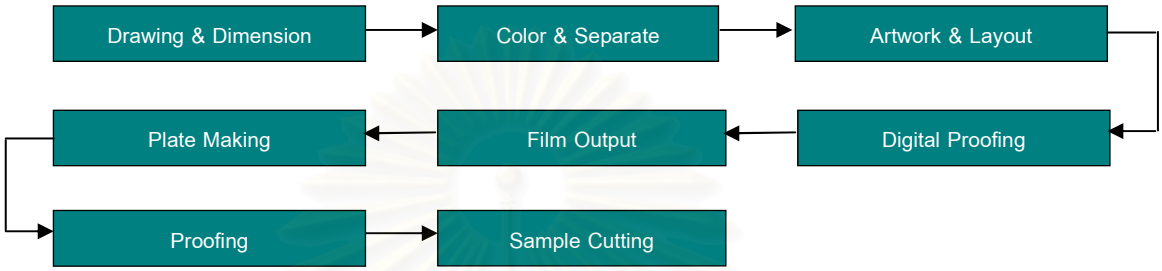
## 3.2 รายละเอียดขั้นตอนการเตรียมการผลิต

การผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษจำเป็นต้องมีการวางแผนในเรื่องของอุปกรณ์ที่เข้ามาเกี่ยวข้องสำหรับการผลิต ได้แก่ รูปแบบอาร์ตเวิร์ค ฟิล์มเพลท แบบปั๊มคัท ที่จะต้องมีความสัมพันธ์กันกับความสามารถและข้อจำกัดของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต ทั้งนี้เพื่อลดข้อบกพร่องและโอกาสที่ส่งผลให้เกิดของเสีย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังแผนภาพในรูปที่ 3.4

3.2.1 การเตรียมอุปกรณ์และแบบตัวอย่าง (Pre-Production)

การเตรียมจัดทำต้นฉบับ อาร์ตเวิร์ค การทำฟิล์ม เพลทพิมพ์ หรือ แม่พิมพ์ออฟเซต ที่ใช้ในกระบวนการผลิต การจัดทำแบบปั๊มคัทหรือ รวมทั้งการจัดทำต้นแบบชิ้นงาน เพื่อเสนอต่อลูกค้า เนื่องจากงานที่ผลิตนั้นเป็นลักษณะของงานจ้างผลิต ดังนั้น รูปแบบของงานส่วนใหญ่ลูกค้าจะเป็นผู้กำหนดมาให้ โดยข้อมูลที่ได้รับมานั้นมีลักษณะเป็นไฟล์งานหรือฟิล์มต้นฉบับ

หลังจากได้รับข้อมูล แผนกเตรียมการผลิตจะทำการวัดและกำหนดขนาดชิ้นงาน โดยนำข้อมูลขนาดดังกล่าวมาจัดทำเป็นต้นแบบ ในการวางแผนจัดวางชิ้นงานลงในแผ่นพิมพ์ ซึ่งจำนวนการวางกล่อง จะขึ้นอยู่กับขนาดของตัวชิ้นงาน ขนาดกระดาษที่ฝ่ายวางแผน ฝ่ายผลิต และฝ่ายขายได้มีข้อสรุปร่วมกัน ส่วนการร่างแบบเบื้องต้นจะใช้เครื่องพล็อตแบบ (Ploter) ร่างแบบชิ้นงานต้นแบบ 1 กล่องขึ้นมาเพื่อทดสอบการบรรจุ




รูปที่ 3.4 ขั้นตอนในส่วนเตรียมการผลิต

หลังจากที่ในส่วนของตัว Size และ Dimension ได้ถูกกำหนดขึ้นตามการออกแบบหรือตาม ข้อกำหนดลูกค้า ของลูกค้าแล้วทางเจ้าหน้าที่จะนำแผ่นกระดาษหรือแผ่นกระดาษประกบฟูกมาทำการร่างแนวเส้น แล้วตัดขึ้นรูปกล่องตัวอย่างเพื่อเป็นต้นแบบเสนอลูกค้า ด้วยเครื่องตัดกล่องแนวราบ (Flatbed Diecutting) ตามรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 รูปแบบเครื่องตัดกล่องแนวราบ (Flated Bed Diecutting Machine)

จากนั้น จึงนำแบบชิ้นงานที่ผ่านการตัดและเซาะร่อง มาทำการขึ้นรูปเพื่อทดสอบการบรรจุกับชิ้นงานว่าสามารถชิ้นงานได้หรือไม่ ทั้งนี้ขนาดของบรรจุภัณฑ์ จะต้องมีความพอดีในการรองรับผลิตภัณฑ์ได้ เมื่อได้ขนาดของบรรจุภัณฑ์ตามที่ต้องการแล้ว ก็จะมีการกำหนดรูปแบบการวางเลย์ (Layout) เพื่อกำหนดจำนวนชิ้นงานที่วางและขนาดกระดาษที่ใช้ในการผลิตเพื่อร่างแบบไมราต่อไป

เมื่อได้ แบบไมรา (Mira) แล้วจะดำเนินการในส่วนของของไฟล์งาน จากการทำ Artwork โดยนำไฟล์งานที่ได้มาทำการแยกสี (Color Separation) ลักษณะดังกล่าวเป็นการนำไฟล์งานภาพที่เป็นลักษณะของแม่สีทางแสงที่ได้จากการถ่ายภาพ การสแกน หรือจาก Digital Camera ซึ่งจะประกอบไปด้วย แสงสีแดง (Red) แสงสีเขียว (Green) แสงสีน้ำเงิน (Blue) หรือ (RGB Mode) มาทำการแยกสีให้อยู่ในรูปแบบของแม่สีทางการพิมพ์ ซึ่งประกอบไปด้วยสีม่วงแดง (Magenta) สีฟ้า (Cyan) สีเหลือง (Yellow) และสีดำ (Black) หรือ (CMYK Mode) เมื่อผ่านการแยกสีแล้วก็จะนำข้อมูลไฟล์งานดังกล่าวไปทำการปรับแต่ง Artwork ที่อาจมีทั้งส่วนที่เป็นข้อความและรูปภาพโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กราฟิก

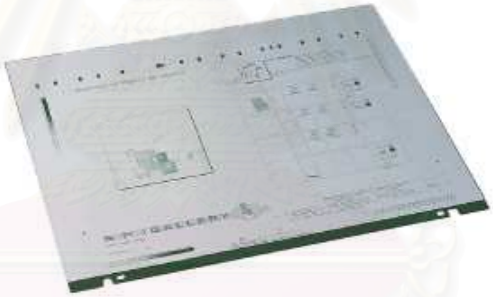
เมื่อผ่านขั้นตอนการปรับแต่งและได้กำหนดรูปแบบของผลิตภัณฑ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จากนั้น นำไฟล์งานดังกล่าวจัดวางซ้อนบนไฟล์งานของแบบไมร่า เพื่อให้ได้ตรงตามตำแหน่งตามที่ต้องการโดยสามารถดูจากลักษณะ การจัดวางรูปแบบ เมื่อมีการจัดไฟล์งานตามตำแหน่งบนแบบไมร่าแล้วก็จะมีการทำการ Digital Proof ผ่านเครื่อง Digital Proofing ตรวจดูรูปแบบและความถูกต้องของงานก่อนทำการยิงฟิล์ม โดยภาพที่ได้ออกมานั้น จะมีความละเอียดคมชัดเหมือนต้นฉบับทุกประการ เนื่องจากเกิดจากกระบวนการในการทำ ระบบจัดการสีหรือ CMS Profile ซึ่งจะไม่นำมากล่าวในที่นี้ เมื่อได้รูปแบบตามที่ต้องการแล้วก็จะเข้าสู่ขั้นตอนของการยิงเพลทผ่านเครื่อง Computer To Plate (CTP) โดยแสดง ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งเพลทพิมพ์ที่ได้จะมีลักษณะในส่วนที่เป็นภาพจะเป็นพื้นสีเขียวและในส่วนที่ไม่ใช่ภาพจะเป็นลักษณะพื้นสีเทา

รูปที่ 3.6 เครื่องยิงเพลท (Computer To Plate : CTP)

หลังจากที่ได้ผ่าน ขั้นตอนการล้างเพลท ด้วยเครื่องล้างเพลท ก็จะต้องมีการลงน้ำยาเคลือบผิวหน้าเพลท ทั้งนี้ก็เพื่อเพิ่มความทนทานที่ผิวหน้าเพลทและเคลือบกาวกัมเพลทเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยาจากอากาศ (Oxidation) กับที่ผิวหน้าด้านเพลท ลักษณะของเพลทพิมพ์ที่ได้จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.8

โดยทั่วไป แม่พิมพ์ออฟเซต (Offset Plate) ที่ยังไม่ผ่านการฉายแสงและล้างสร้างภาพจะมีผิวหน้าราบเรียบเสมอเสมอมีการเคลือบด้วยสารไวแสงดังรูปที่ 3.7 เมื่อทำการฉายแสงและล้างสร้างภาพแล้วบริเวณภาพจะเป็นส่วนรับหมึกพิมพ์และในบริเวณไร้ภาพจะรับน้ำไม่รับหมึกพิมพ์มีลักษณะดังรูปที่ 3.8 ในบริเวณภาพบนแม่พิมพ์มีสมบัติเป็นไขมันทำให้หมึกพิมพ์ซึ่งมีฐานเป็นน้ำมัน จับติดอยู่บนแม่พิมพ์ถ่ายทอดลงสู่โมผ้ายาง ซึ่งในบริเวณไร้ภาพจะมีคุณสมบัติรับน้ำ หมึกพิมพ์ไม่สามารถเข้าไปจับติดในบริเวณดังกล่าวได้

รูปที่ 3.7 แผ่นแม่พิมพ์ออฟเซตสำเร็จรูปก่อนผ่านการล้างสร้างภาพ



รูปที่ 3.8 แผ่นแม่พิมพ์ออฟเซตหลังผ่านขั้นตอนการล้างสร้างภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 กำลังการผลิต (Capacity) ของเครื่องจักรในโรงงานตัวอย่าง

รายละเอียดกำลังการผลิตของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 3.4 นี้ โดยแบ่งแยกตามกระบวนการผลิต

ตารางที่ 3.4 แสดงกำลังการผลิตของเครื่องจักรต่อเดือน

| แผนก | กระบวนการ | รหัสเครื่องจักร | ประเภทงานพิมพ์ | กำลังการผลิต / ชั่วโมง | หน่วย |
|---|---|---|---|---|---|
| แท่นตัด | ตัด (Cutting) | ITOH-001 | ทุกประเภท | 4,000 | แผ่น |
| | | ITOH-002 | ทุกประเภท | 4,000 | แผ่น |
| | | KATSUDA-003 | ทุกประเภท | 4,000 | แผ่น |
| งานพิมพ์ | พิมพ์ (Printing) | H 140 1C | งาน 1 สี | 2,500 | แผ่น |
| | | R 600 2C | งาน 2 สี | 7,000 | แผ่น |
| | | R 600 4C | งาน 4 สี | 10,500 | แผ่น |
| | | R 700 4C | งาน 4 สี | 10,500 | แผ่น |
| | | L 640 4C | งาน 4 สี | 10.500 | แผ่น |
| | | L 540 5C | งาน 5 สี | 12,000 | แผ่น |
| เคลือบผิว | เคลือบผิว (Coating) | CO-001 | เคลือบ Varnish | 7,500 | แผ่น |
| | | CL-001 | ขัดเงา | 5,500 | แผ่น |
| | | CL-002 | ขัดเงา | 4,500 | แผ่น |
| ลามิเนต | ประกบฟูก (Laminating) | ALM-001 | แผ่นฟูกลอน E | 4,800 | แผ่น |
| | | ALM-002 | แผ่นฟูกลอน B | 5,000 | แผ่น |
| | | ALM-003 | กระดาษแข็ง | 5,000 | แผ่น |
| | | SLM-004 | งานตัวอย่าง | 1,200 | แผ่น |
| ปั๊มขึ้นรูป | ปั๊มคัท (Diecutting) | NIKKO-001 | ประกบฟูก | 5,500 | แผ่น |
| | | NIKKO-002 | งานตัวอย่าง | 5,500 | แผ่น |
| | | BOBST-1740 | กระดาษแข็ง | 7,000 | แผ่น |
| | | BOBST-1270 | กระดาษแข็ง | 7,000 | แผ่น |
| ปะกาว | ปะกาวขึ้นรูป (Gluing) | AMG-001 | ประกบฟูก | 10,000 | ชิ้น |
| | | AMG-002 | กระดาษแข็ง | 10,000 | ชิ้น |
| | | SMG-003 | กระดาษแข็ง | 7,500 | ชิ้น |

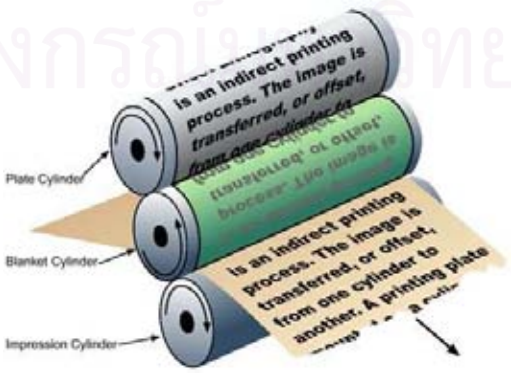
**3.3 รายละเอียดขั้นตอนการผลิต**

3.3.1 การตัดกระดาษ (Cutting) กระบวนการผลิต เริ่มจากกระบวนการตัดกระดาษ โดยจะมีการกำหนดกระดาษที่ใช้ให้เหมาะสมกับจำนวนชิ้นงานที่จัดวางลงไป ว่าลงได้จำนวนเท่าใดต่อแผ่น ทั้งนี้ ก็เพื่อให้สามารถประหยัดต้นทุนได้มากที่สุดกระดาษชนิดต่าง ๆ จะถูกนำมาตัดแบ่งโดยเครื่องตัดกระดาษ ในการตัดแบ่งกระดาษออกเป็นขนาดต่าง ๆ จะให้มีเศษกระดาษเหลือน้อยที่สุด และจะถูกตัดเจียนให้รอบ ๆ ผิวกระดาษเรียบที่สุด ทั้งนี้อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเช่น ใบมีดตัดกระดาษจะต้องมีการลับอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้การตัดกระดาษทำได้เรียบ ไม่เกิด เศษขุย หรือเศษกระดาษเกาะติดอยู่กับกองกระดาษจะได้ไม่ก่อให้เกิดปัญหาเครื่องพิมพ์ไม่ได้ฉาก ซึ่งจะมีผลทำให้ภาพพิมพ์เกิดการเบี้ยวหรือเกิดการเหลื่อมสี

<u>มีขั้นตอนและกระบวนการดังนี้</u>

- ช่างรับใบสั่งผลิตจากหัวหน้าแผนก
- ช่างนำใบเบิก Picking list ที่ออกโดยฝ่ายวางแผนไปเบิกที่คลังวัตถุดิบ
- ตรวจสอบกระดาษว่าตรงกับใบสั่งหรือไม่
- ทำการตัดแบ่งกระดาษให้ได้ขนาดตามที่ระบุในใบสั่งผลิต
- นำกระดาษที่ตัดแล้วพันฟิล์มป้องกันความชื้นส่งเข้าไปยังพื้นที่เตรียมพิมพ์
- ลงบันทึกส่งมอบงานให้หน่วยงานถัดไปและบันทึกรายงานการผลิต

3.3.2 กระบวนการพิมพ์ (Printing) เป็นการพิมพ์ในระบบออฟเซต (Offset Printing ) มีต้นกำเนิดจากการพิมพ์หิน (Lithography) ซึ่งใช้หินเป็นแม่พิมพ์ ต่อมามีการทำให้มีผิวเรียบ และใช้ดินสอเทียนทำพิเศษ เรียกว่า ดินสอเกรยอง เขียนลงบนแผ่นหิน บริเวณภาพที่ต้องการพิมพ์ แต่เป็นภาพกลับ ก่อนพิมพ์ต้องใช้น้ำทำให้เปียกแล้วคลึงด้วยหมึก โดยใช้แรงงานคน




รูปที่ 3.9 ลักษณะของการพิมพ์ในระบบออฟเซต (Offset Printing System)

ต่อมาจึงวิวัฒนาการเป็นเครื่องจักรไอน้ำที่มีโมกดพิมพ์ (Impression) และรางหมึกพร้อมลูกกลิ้งน้ำและลูกกลิ้งหมึก แต่เป็นการพิมพ์วิธีตรง (Direct Printing) คือ ภาพกลับ ดังรูปที่ 3.9 จนกระทั่งพัฒนามาเป็นวิธีการพิมพ์ทางอ้อม เครื่องพิมพ์ออฟเซตชนิดป้อนแผ่นในปัจจุบันมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.10 ประกอบไปด้วย โมเพลท (Plate Cylinder) โมผ้ายาง (Blanket Cylinder) และโมกดพิมพ์ (Impression Cylinder) เรียงลงมาจากบนลงล่างการพิมพ์ระบบออฟเซต เป็นการพิมพ์แบบอ้อม ที่แม่พิมพ์ไม่สัมผัสวัสดุพิมพ์โดยตรง แต่การถ่ายทอดบริเวณภาพ จากแม่พิมพ์ไปสู่วัสดุพิมพ์ จะต้องอาศัยตัวกลาง อันได้แก่ ผ้ายางและ ใช้ แรงกดพิมพ์น้อยที่สุดเท่าที่จะทำให้เกิดภาพขึ้นได้

หลักการสามโมในระบบการพิมพ์ออฟเซต การพิมพ์ออฟเซตเป็นการพิมพ์แบบอ้อม จึงมีโมเป็นมาตรฐานการพิมพ์ เป็นหลักการพื้นฐาน 3 โม ประกอบด้วย

1. โมแม่พิมพ์ (Plate Cylinder) เป็นโลหะทรงกระบอกสำหรับรับแผ่นแม่พิมพ์ ซึ่งโอบโมไว้และจับยึดไว้อย่างมั่นคง มีตำแหน่งสัมผัสกับลูกกลิ้งน้ำและลูกกลิ้งหมึก โมแม่พิมพ์ทำหน้าที่รับน้ำ (น้ำยาทำชื้น) จากลูกกลิ้งน้ำแตะแม่พิมพ์ และรับหมึกจากลูกกลิ้งหมึกแตะแม่พิมพ์ แล้วถ่ายทอดหมึกสู่โมยาง ลักษณะของแม่พิมพ์จะเป็นตัวตรง (Positive) อ่านได้

2. โมผ้ายาง (Blanket Cylinder) เป็นโลหะทรงกระบอกสำหรับรองรับแผ่นผ้ายางที่โอบโมไว้และจับยึดอย่างมั่นคง มีตำแหน่งสัมผัสระหว่างโมแม่พิมพ์กับวัสดุพิมพ์ ทำหน้าที่รับหมึกพิมพ์จากบริเวณภาพของแม่พิมพ์ ในลักษณะกลับกัน (Negative) แล้วถ่ายทอดหมึกพิมพ์ที่อยู่บนโมผ้ายางไปสู่วัสดุพิมพ์ โดยมีแรงกดมาจากโมกดพิมพ์

3. โมกดพิมพ์ (Impression Cylinder) เป็นโลหะทรงกระบอกสำหรับรองรับวัสดุพิมพ์ มีตำแหน่งสัมผัสประชิดกับโมผ้ายาง ทำหน้าที่กดวัสดุพิมพ์ให้สัมผัสกับโมยาง โดยมีวัสดุพิมพ์วิ่งผ่านระหว่างกลาง ทำให้เกิดภาพพิมพ์เหมือนแม่พิมพ์ขึ้นบนวัสดุพิมพ์

รูปที่ 3.10 เครื่องพิมพ์ระบบออฟเซตป้อนแผ่น (Sheet Fed Offset Printing Machine)

มีขั้นตอนและกระบวนการดังนี้

- ช่างตรวจรับใบสั่งผลิตและงานต่อจากหน่วยงานแท่นตัด
- ช่างจัดเตรียมเบิกอุปกรณ์เพลท หมึกพิมพ์ น้ำยาเคมี ให้พร้อม
- จัดเตรียมกระดาษเข้าส่วนป้อนกระดาษและส่วนรับกระดาษขาออก
- ใส่เพลทเข้าในแต่ละหน่วยพิมพ์ ,ตรวจสอบและปรับตั้งการรองหนุน
- ตักหมึกพิมพ์ใส่ลงในรางหมึก และเปิดระบบจ่ายน้ำยาทำชื้นเข้าหน่วยพิมพ์
- ปรับตั้งสีพิมพ์และทดลองวิ่งงานด้วยกระดาษทดสอบก่อนวิ่งงานจริง

มีการตรวจสอบดังนี้

- ตรวจสอบการจังหวะและตำแหน่งเข้าฉากของกระดาษ
- ตรวจสอบค่าแรงกดระหว่างโมกดพิมพ์และโมผ้ายางตามความหนากระดาษ
- ตรวจสอบคุณภาพสีพิมพ์ รูปแบบความถูกต้อง และคราบสกปรก
- ตรวจสอบงานคุณภาพงานพิมพ์ตลอดการพิมพ์

3.3.3 กระบวนการเคลือบผิว (Coating) เป็นขั้นตอนหลังการพิมพ์ กระทำเพื่อเพิ่มความมันเงา ความสวยงามแก่งานพิมพ์ หรืออาจเป็นการเคลือบเพื่อป้องกันการขูดขีด เคลือบกันน้ำและความชื้นให้ชิ้นงานมีความทนทานในสภาวะต่าง ๆ ตามการใช้งาน ปัจจุบันการเคลือบผิวบางประเภทสามารถทำได้ทั้งในไลน์ที่มีการผลิตต่อเนื่องหลังจากผ่านขั้นตอนกระบวนการพิมพ์ โดยมักอยู่ในหน่วยสุดท้ายของเครื่องพิมพ์ ส่วนการเคลือบผิวชนิดอื่น ๆ นั้นยังมีการทำแยกไลน์อยู่ ตัวอย่างเช่น การเคลือบผิวขัดเงา (Calendering Coating) การเคลือบผิวยูวี (UV Coating) การเคลือบพลาสติก (OPP Coating) เป็นต้น สามารถสรุปคุณลักษณะได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ชนิดและรูปแบบการเคลือบผิวที่ใช้ในกระบวนการเคลือบผิว

| ชนิดการเคลือบผิว | In - Line | Off - Line | คุณลักษณะ |
|---|---|---|---|
| การเคลือบ OPV (Varnishing) | √ | √ | ออกมันเงา , ผิวหน้าลื่น |
| การเคลือบเงา (Waterbase) | √ | √ | มันเงาเล็กน้อยกว่า OPV |
| การขัดเงาผิว (Calendering) | - | √ | มันเงาสดใส , แผ่นพิมพ์แข็ง |
| การเคลือบและฉายแสงยูวี (UV) | - | √ | มันเงาสดใส , ผิวลื่นเป็นมัน |
| การเคลือบพลาสติก (OPP Coating) | - | √ | กรณีต้องการโชว์ผลิตภัณฑ์ |

1.การเคลือบวาร์นิช (Varnishing) เครื่องเคลือบน้ำยาวาร์นิช จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.11 การเคลือบผิวรูปแบบนี้จะเริ่มจากการปรับตั้งชุดป้อนแผ่นพิมพ์ และอุปกรณ์รับกระดาษขาออกมีการปรับ แผ่นพิมพ์จะถูกป้อนด้วยลูกกลิ้งผ่านเข้าไปยังหน่วยเคลือบน้ำยาที่มีน้ำยาวิ่งผ่านบนลูกกลิ้งจากนั้นจะผ่านหน่วยทำแห้ง ก่อนออกจาก

รูปที่ 3.11 เครื่องเคลือบผิวน้ำยาวาร์นิช (Coating Machine)

2. การเคลือบผิวยูวี (UV Coating) โดยทั่วไปสามารถทำได้ทั้งแบบเคลือบทั้งแผ่นหรือแบบเคลือบเฉพาะจุด หรือ เรียกว่า Spot UV ผิวที่ได้จะมีลักษณะมันเงา เครื่องเคลือบผิวดังกล่าวจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 กระบวนการเริ่มจากการปรับตั้งหน่วยป้อนแผ่นพิมพ์และอุปกรณ์รับกระดาษขาออก ปรับตั้งหน่วยเคลือบน้ำยา แผ่นพิมพ์ที่ผ่านหน่วยเคลือบน้ำยาแล้วจะถูกส่งผ่านไปยังหน่วยฉายแสง ให้น้ำยาที่เคลือบทำปฏิกิริยาเป็นชั้นฟิล์มเคลือบผิวก่อนผ่านหน่วยทำแห้งเป็นหน่วยสุดท้าย

รูปที่ 3.12 เครื่องเคลือบผิวแบบอาบน้ำยาฉายแสงยูวี (UV Coating Machine)

3.การเคลือบฟิล์มพลาสติก (Plastic Coating) เป็นการเคลือบผิวในลักษณะที่ต้องการแสดงตัวสินค้าที่บรรจุอยู่ภายในตัวบรรจุภัณฑ์ ขั้นตอนในการเคลือบนี้จะต้องผ่านการเจาะหน้าต่างเป็นกรอบโดยการปั๊มคัท จากนั้นจึงนำแผ่นพิมพ์ที่ได้มาทำการเคลือบด้วยแผ่นพลาสติกให้ติดกับแผ่นพิมพ์ด้วยระบบสุญญากาศ พลาสติกที่ใช้ทั่ว ๆ ไปคือชนิด OPP ใส

4. การขัดเงา (Calendering Coating) เป็นการเคลือบผิวอีกชนิดหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุพิมพ์ อีกทั้งยังทำให้ผิวมีความสดใสเงางาม โดยทั่วไปจะเริ่มจากการที่ นำแผ่นพิมพ์ไปวิ่งผ่านน้ำยาเคลือบผิว (Overprint Varnishing : OPV) เมื่อเย็นตัวลงจึงนำแผ่นพิมพ์ที่ได้ดังกล่าวมาทำการรีดผิวหน้าด้วยความร้อนจากลูกกลิ้งสแตนเลส ความร้อนจากลูกกลิ้งดังกล่าวนี้จะทำให้น้ำยาที่เคลือบอยู่เดิมมีการเปลี่ยนสภาพทำให้แผ่นพิมพ์มีความเงางามคล้ายชั้นฟิล์มแข็งเคลือบแผ่นพิมพ์

5. การเคลือบวอเตอร์เบส (Waterbase Coating) เป็นรูปแบบการเคลือบผิวเช่นเดียวกับแบบวาร์นิช แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่ OPV นั้นใช้น้ำยาเคลือบแบบฐานน้ำมัน (Solvent Base) น้ำยาเคลือบผิวที่ใช้ดังกล่าวจะเป็นในลักษณะที่เป็นน้ำยาเคลือบฐานน้ำที่นิยมเคลือบต่อเนื่องจากหน่วยพิมพ์สุดท้ายของเครื่องพิมพ์

<u>มีขั้นตอนและกระบวนการดังนี้</u>

- ช่างตรวจรับใบสั่งและงานจากแผนกพิมพ์
- จัดเตรียมวัตถุดิบและส่วนผสมน้ำยาเคลือบผิว
- จัดเตรียมเครื่องปรับตั้งหน่วยป้อนและหน่วยรับชิ้นงานขาออก
- ปรับตั้งความหนาน้ำยาวาร์นิชให้พอดีกับชิ้นงาน
- ทดสอบเดินเครื่องและตรวจเช็คความมันเงาที่ได้
- ลงบันทึกส่งมอบงานให้หน่วยงานถัดไปและบันทึกรายงานการผลิต

<u>มีการตรวจสอบดังนี้</u>

- ตรวจสอบความหนาน้ำยาวาร์นิชและการกระจายตัวของน้ำยา
- ตรวจสอบความมันเงาวัดจากค่าความมันเงา (Gloss) >=30
- ตรวจสอบรอยเลอะคราบสกปรกต่าง ๆ
- ลงบันทึกส่งมอบงานให้หน่วยงานถัดไปและบันทึกรายงานการผลิต

3.3.4 กระบวนการลามิเนต (Laminating) กรณีที่ต้องมีการเพิ่มความแข็งแรงของตัวบรรจุภัณฑ์ โดยการนำแผ่นพิมพ์ไปผ่านกระบวนการประกบกับแผ่นฟูก ด้วยเครื่องลามิเนต ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.13 โดย สามารถประกบแผ่นฟูกได้หลากหลายประเภท เช่น แผ่นฟูกลอน E ลอน B ทั้งแบบ 2 ชั้น 3 ชั้น หรือ 5 ชั้น โดยใช้เครื่องประกบลอนฟูก แผ่นพิมพ์และแผ่นฟูกจะประกบติดกันได้ด้วยกาวลามิเนต ซึ่งเป็นกาวเหลวชนิดหนึ่งมีทั้งแบบชนิดผสมน้ำและไม่ผสมน้ำ

กระบวนการเริ่มจากการปรับตั้งชุดป้อนชิ้นงานทั้งในส่วนของชุดป้อนแผ่นพิมพ์ และชุดป้อนแผ่นฟูก จากนั้นปรับตั้งความหนา-บางของกาว ในส่วนของชุดลูกกลิ้งประกบแผ่นฟูก และปรับตั้งแรงกดให้พอดีกับขนาดความหนาของแผ่นฟูกกับแผ่นพิมพ์ เพราะถ้าหากแรงกดไม่พอดี จะทำให้การประกบไม่ติดหรือเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพิมพ์ได้ง่าย

รูปที่ 3.13 เครื่องประกบแผ่นฟูกหรือเครื่องลามิเนต (Laminating Machine)

การทำงานจะเริ่มจากที่จังหวะการป้อนแผ่นฟูกจากตำแหน่งป้อนจะต้องปรับให้มีความสัมพันธ์กับการป้อนแผ่นพิมพ์ที่วิ่งลงมาจากส่วนป้อนด้านบน แผ่นพิมพ์จะวิ่งลงมาประกบกับแผ่นฟูกที่บริเวณส่วนทากาว เมื่อประกบกันดีแล้วจะถูกลูกกลิ้งกดรีดเพื่อส่งต่อไปยัง ชุดผ้าใบกดรีดด้านหน้าเครื่อง เพื่อกดทับให้แผ่นพิมพ์และแผ่นฟูกมีการประกบกันแน่นมากขึ้น ป้องกันไม่ให้ชิ้นงานหลุดล่อน

ในขั้นตอนนี้พนักงานจะต้องทำการสุ่มตรวจอยู่เสมอทั้งเรื่องของระยะการประกบติด โดยทั่วไป กำหนดขนาดของแผ่นลูกฟูกให้มีขนาดเล็กว่าแผ่นพิมพ์ประมาณ 0.25 นิ้ว ทั้งนี้เพื่อให้การเข้าตำแหน่งและระยะการประกบสามารถทำได้ง่าย นอกจากนี้ชิ้นงานที่ออกจากเครื่องจะต้องมีการจัดวางในลักษณะสลับแนวกันไปรวมทั้งใช้อุปกรณ์กดทับเพื่อป้องกันการโก่งหรืองอตัวของชิ้นงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>มีขั้นตอนและกระบวนการดังนี้</u>

- ช่างรับใบสั่งผลิตจากหัวหน้าแผนก
- จัดเตรียมกาวลามิเนตและจากการวัดค่าความหนืดด้วยถ้วย Zanh Cup
- ปรับตั้งส่วนป้อนชิ้นงานในหน่วยป้อนชิ้นงานและหน่วยป้อนแผ่นฟูก
- ทดลองเดินเครื่องประกบชิ้นงานตรวจสอบระยะและการเข้าฉาก
- ปรับตั้งน้ำหนักกดรีดสายพานกดรีดชิ้นงาน

มีการตรวจสอบดังนี้

- ตรวจสอบความหนากาวและการประกบติดของชิ้นงาน
- ตรวจสอบน้ำหนักกดรีดของสายพานกดชิ้นงานโดยดูจากสภาพลอนฟูก

3.3.5. กระบวนการปั๊ม (Diecuting) ชิ้นงานที่ผ่านการพิมพ์ เคลือบผิว หรือ ลามิเนตแล้ว จะนำไปปั๊มขึ้นรูปเป็นตัวบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องปั๊มคัท ดังรูปที่ 3.14 การปั๊มคัทมีส่วนสำคัญ 2 ประการคือ แรงกดที่ใช้ในการปั๊ม และ แบบปั๊มคัท ดังรูปที่ 3.15 ถ้าหากน้ำหนักกดมากกินไปจะส่งผลให้เกิดการแตกร้าวกระดาษฉีกขาด หากน้อยเกินไปการปั๊มจะไม่ขาดหรือการขึ้นรูปทำได้ไม่ดี และทำให้ชิ้นงานที่ผ่านการปะกาวด้วยเครื่องเสียรูป หรือขึ้นรูปได้ไม่ดี เนื่องจากแนวเส้นพับกล่องที่แข็งเกินไป

รูปที่ 3.14 เครื่องปั๊มคัทหรือไดคัท (Diecut Machine)

การตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการปั๊มคัท นั้นจะพิจารณาในเรื่องของขนาดชิ้นงานที่ได้ว่าตรงตาม ข้อกำหนดลูกค้า หรือไม่ ตรวจสอบการแตกร้าว น้ำหนักการขึ้นรูปของแนวเส้นพับที่ต้องพอดี รวมทั้ง แนวเส้นปั๊มขาดจะต้องขาดสนิท และไม่ทำให้ติ่งยึดชิ้นงานขาดไปด้วย จากนั้นจึงนำแผ่นพิมพ์ดังกล่าวที่ได้ไปสู่ขั้นตอนการแกะกล่องเพื่อดึงชิ้นงานแต่ละชิ้นเตรียมเข้าสู่กระบวนการปะขึ้นรูป

รูปที่ 3.15 แบบปั๊มคัท (Platen Diebord)

มีขั้นตอนและกระบวนการดังนี้

- ช่างตรวจรับใบสั่งผลิตและงานจากหัวหน้าแผนก
- เบิกอุปกรณ์เส้นปะสำเร็จ ยางปะและตรวจสอบความถูกต้องของแบบปั๊มคัท
- จัดเตรียมชิ้นงานเข้าส่วนป้อน รับส่งชิ้นงาน ปรับตั้งจังหวะการเข้าฉาก
- นำแบบปั๊มเข้าเครื่อง ปรับแต่งและติดยางปะรอบแนวมีดปั๊ม
- ปรับตั้งน้ำหนักแรงกดและทดสอบวิ่งงานจริง
- ลงบันทึกส่งมอบงานให้หน่วยงานถัดไปและบันทึกรายงานการผลิต

มีการตรวจสอบดังนี้

- ตรวจสอบตำแหน่งและจังหวะการเข้าฉากของชิ้นงาน
- ตรวจสอบตำแหน่งมาร์คแนวเส้นพับ แนวเส้นปั๊มขาด
- ตรวจสอบรอยขาดและการน้ำหนักกดแนวเส้นพับกล่อง
- ตรวจสอบติ่งยึดระหว่างชิ้นงานเพื่อไม่ให้ชิ้นงานหลุดติดในเครื่อง
- ตรวจสอบรอยขีดข่วนและความสะอาด

3.3.6 กระบวนการปะกาว (Gluing) กระบวนการปะกาวขึ้นรูปสามารถทำได้ 2 ประเภท คือ แบบแรก ด้วยเครื่องปะกาวแบบอัตโนมัติซึ่งมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.16 หลักการทำงานของเครื่องปะกาว เริ่มจากการปรับตั้งหน่วยป้อนชิ้นงาน และปรับตั้งสายพานขึ้นรูปชิ้นงานในแต่ละช่วงให้สอดคล้องกับแนวเส้นพับในแต่ละจุด จากนั้นจึงทดสอบเดินเครื่องปรับปริมาณกาวให้พอดีกับลิ้นปะกาว และปรับการขึ้นรูปจนกระทั่งได้ลักษณะชิ้นงานตรงตามข้อกำหนดลูกค้า

รูปที่ 3.16 เครื่องปะกาวแบบอัตโนมัติ (Automatic Gluing Machine)

แบบที่สอง การปะกาวด้วยแรงงานคน โดยมากชิ้นงานที่นำมาผ่านกระบวนการดังกล่าวจะเป็นชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่หรือมีการตกแต่งประดับที่ละเอียดเกินกว่าที่เครื่องปะกาวจะสามารถทำได้ หรือ มีรูปแบบที่มีความซับซ้อนจนเครื่องจักรไม่สามารถเดินงานดังกล่าวได้ การประกาวในลักษณะนี้จะมีความถูกต้องสูงเนื่องจากระหว่างการปฏิบัติงานจะมีการตรวจสอบ 100%

<u>มีขั้นตอนและกระบวนการดังนี้</u>

- ช่างรับใบสั่งผลิตและตรวจรับงานจากหัวหน้าแผนก
- กรณีกาวเม็ดให้เปิด Heater เพื่อหลอมกาวให้ละลายตัว
- นำกาวปะใส่ลงในหม้อกาว
- นำชิ้นงานเข้าส่วนป้อนและปรับตั้งสายพานป้อนชิ้นงาน
- ปรับตั้งสายพานขึ้นรูปชิ้นงานในแต่ละจุด
- ปรับตั้งความหนากาวตามขนาดลิ้นปะกาว
- ปรับตั้งสายพานกดรีดกระดาษให้พอดี

<u>มีการตรวจสอบดังนี้</u>

- ตรวจสอบความหนา-บางของกาวปะ
- ตรวจสอบระยะและตำแหน่งประกบตรงจุดไม่ให้ชิ้นงานเบี้ยว
- ตรวจสอบรอยขูดขีดและคราบสกปรก

3.3.7. การบรรจุหีบห่อ (Packing) หลังจากที่ได้ชิ้นงานแล้วไม่ว่ากระบวนการหรือเส้นทางการผลิตสุดท้ายจะอยู่ที่หน่วยงานใด ชิ้นงานที่ได้จะถูกนำไปบรรจุด้วยรูปแบบวิธีการห่อหรือ วิธีการต่าง ๆ ตามที่ลูกค้ากำหนดโดยเฉพาะ ซึ่งสามารถแบ่งรูปแบบการบรรจุหีบห่อสินค้าออกได้เป็น 3 แบบหลัก ๆ ดังนี้ คือ

1 ทำโดยการห่อตามจำนวนที่ลูกค้ากำหนดแล้วหุ้มด้วยกระดาษแข็งสีน้ำตาลแล้วรัดด้วยเชือกพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง

2 โดยวิธีเรียงซ้อนเป็นพาเลทขาไม้ตามความสูงและจำนวนที่กำหนดแล้วหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกก่อนปิดป้ายระบุการชี้บ่ง

3 แบบสุดท้ายโดยการใส่ภาชนะพลาสติกที่ลูกค้ากำหนดให้โดยเฉพาะ โดยมากจะเป็นบรรจุภัณฑ์จำพวกสินค้ากลุ่มอิเล็กทรอนิกส์

### 3.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

จากข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างเดือน เมษายน – กันยายน 2549 ของสายการผลิตที่ 1 ถึง 6 จากตารางที่ 3.7-3.12 พบว่าในแต่ละสายการผลิตมีจำนวนของเสียเกิดขึ้นโดยเฉลี่ย 14.18% ซึ่งคิดเป็นมูลค่าถึง 5,652,508.71 บาท หรือคิดเป็นมูลค่าความเสียหายถึง 1 ใน 4 ของต้นทุนมูลค่าผลิตภัณฑ์ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.6 จากนั้นผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลของเสียออกมา

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละสายการผลิต

| สายการผลิต (Route) | จำนวนผลผลิต (Pcs.) | จำนวนของเสีย (Pcs.) | มูลค่าความสูญเสีย (Baht) | % มูลค่าความสูญเสีย |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 602,200 | 95,697 | 1,332,129.60 | 5.93 |
| 2 | 487,120 | 112,693 | 1,878,394.59 | 8.37 |
| 3 | 2661,100 | 247,051 | 542,202.10 | 2.42 |
| 4 | 409,220 | 42,527 | 538,912.80 | 2.40 |
| 5 | 56,300 | 9,402 | 240,391.00 | 1.07 |
| 6 | 2,323,600 | 145,000 | 1,120,478.62 | 4.99 |
| รวม | 6,539,540 | 652,370 | 5,652,508.71 | 25.18 |

ในการคำนวณมูลค่าความสูญเสียจะคิดจากต้นทุนขายผลิตภัณฑ์ต่อกล่อง ซึ่งเป็นการประมาณการมูลค่าของเสียเบื้องต้น เพื่อให้เห็นถึงจำนวนมูลค่าความเสียหายในรูปตัวเงิน ดังนี้

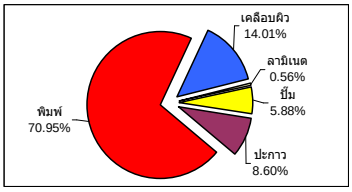
ต้นทุน (ราคาขายต่อกล่อง) X จำนวนชิ้นงานที่เป็นของเสียทั้งหมด

ต้นทุนราคาต่อกล่องในที่นี้ จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดและรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณการสั่งซื้อ จำนวนสีและพื้นที่สีพิมพ์ เป็นต้น โดยจะประมาณการมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจากมูลค่าต้นทุนขายของชิ้นงานสำเร็จในแต่ละ Item นอกจากของเสียที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนและมูลค่าที่สูงแล้ว ยังส่งผลให้เกิดปัญหาจำนวนชิ้นงานไม่เพียงพอต่อ Work Order ทำให้ต้องออกใบสั่งผลิตเพื่อผลิตซ่อมงานใหม่ ก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งในด้านเวลา วัตถุดิบ แรงงาน และต้นทุนที่สูงขึ้น

ตารางที่ 3.7 รายละเอียดข้อมูลการผลิตใน สายการผลิตที่ 1

| รายละเอียดการผลิต | จำนวนของเสีย (Defect) :กล่อง | | | | | | ยอดรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ตัด | พิมพ์ | เคลือบผิว | ลามิเนต | ปั๊ม | ปะกาว | |
| ขึ้นงานป้อนเข้า | 602,200 | 602,200 | 534,306 | 520,903 | 520,363 | 514,733 | -- |
| จำนวนของดี | 602,200 | 534,306 | 520,903 | 520,363 | 514,733 | 506,503 | -- |
| จำนวนของเสีย | 0.00 | 67,894 | 13,403 | 540 | 5,630 | 8,230 | 95,697 |
| % ของเสีย | 0.00 | 11.27 | 2.51 | 0.10 | 1.08 | 1.60 | 16.57 |
| สัดส่วน % Defect | 0.00 | 70.95 | 14.01 | 0.56 | 5.88 | 8.60 | 100.00 |

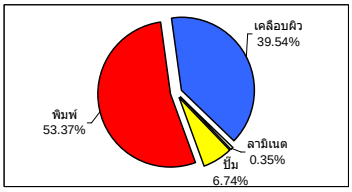
รูปที่ 3.17 สัดส่วนของเสียสายการผลิตที่ 1




ตารางที่ 3.8 รายละเอียดข้อมูลการผลิตใน สายการผลิตที่ 2

| รายละเอียดการผลิต | จำนวนของเสีย (Defect) :กล่อง | | | | | | ยอดรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ตัด | พิมพ์ | เคลือบผิว | ลามิเนต | ปั๊ม | ปะกาว | |
| ขึ้นงานป้อนเข้า | 487,120 | 487,120 | 426,981 | 382,426 | 382,027 | -- | -- |
| จำนวนของดี | 487,120 | 426,981 | 382,426 | 382,027 | 374,427 | -- | -- |
| จำนวนของเสีย | 0.00 | 60,139 | 44,555 | 399 | 7,600 | -- | 112,693 |
| % ของเสีย | 0.00 | 12.35 | 10.43 | 0.10 | 1.99 | -- | 24.87 |
| สัดส่วน % Defect | 0.00 | 53.37 | 39.54 | 0.35 | 6.74 | -- | 100.00 |

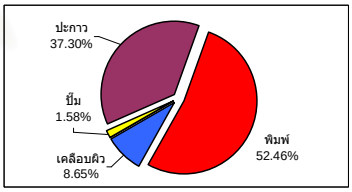
รูปที่ 3.18 สัดส่วนของเสียสายการผลิตที่ 2




ตารางที่ 3.9 รายละเอียดข้อมูลการผลิตใน สายการผลิตที่ 3

| รายละเอียดการผลิต | จำนวนของเสีย (Defect) :กล่อง | | | | | | ยอดรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ตัด | พิมพ์ | เคลือบผิว | ลามิเนต | ปั๊ม | ปะกาว | |
| ขึ้นงานป้อนเข้า | 2,661,100 | 2,661,100 | 2,531,490 | -- | 2,510,109 | 2,506,208 | -- |
| จำนวนของดี | 2,661,100 | 2,531,490 | 2,510,109 | -- | 2,506,208 | 2,414,049 | -- |
| จำนวนของเสีย | 0.00 | 129,610 | 21,381 | -- | 3,901 | 92,159 | 247,051 |
| % ของเสีย | 0.00 | 4.87 | 0.84 | -- | 0.16 | 3.68 | 9.55 |
| สัดส่วน % Defect | 0.00 | 52.46 | 8.65 | -- | 1.58 | 37.30 | 100.00 |

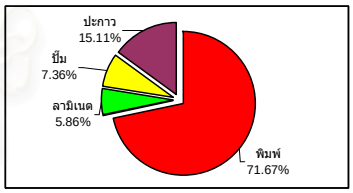
รูปที่ 3.19 สัดส่วนของเสียสายการผลิตที่ 3




ตารางที่ 3.10 รายละเอียดข้อมูลการผลิตใน สายการผลิตที่ 4

| รายละเอียดการผลิต | จำนวนของเสีย (Defect) :กล่อง | | | | | | ยอดรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ตัด | พิมพ์ | เคลือบผิว | ลามิเนต | ปั๊ม | ปะกาว | |
| ขึ้นงานป้อนเข้า | 409,220 | 409,220 | -- | 378,743 | 376,249 | 373,118 | -- |
| จำนวนของดี | 409,220 | 378,743 | -- | 376,249 | 373,118 | 366,693 | -- |
| จำนวนของเสีย | 0.00 | 30,477 | -- | 2,494 | 3,131 | 6,425 | 42,527 |
| % ของเสีย | 0.00 | 7.45 | -- | 0.66 | 0.83 | 1.72 | 10.66 |
| สัดส่วน % Defect | 0.00 | 71.67 | -- | 5.86 | 7.36 | 15.11 | 100.00 |

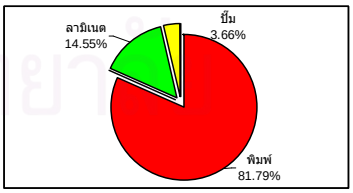
รูปที่ 3.20 สัดส่วนของเสียสายการผลิตที่ 4




ตารางที่ 3.11 รายละเอียดข้อมูลการผลิตใน สายการผลิตที่ 5

| รายละเอียดการผลิต | จำนวนของเสีย (Defect) :กล่อง | | | | | | ยอดรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ตัด | พิมพ์ | เคลือบผิว | ลามิเนต | ปั๊ม | ปะกาว | |
| ขึ้นงานป้อนเข้า | 56,300 | 56,300 | -- | 48,610 | 47,242 | -- | -- |
| จำนวนของดี | 56,300 | 48,610 | -- | 47,242 | 46,898 | -- | -- |
| จำนวนของเสีย | 0.00 | 7,690 | -- | 1,368 | 344 | -- | 9,402 |
| % ของเสีย | 0.00 | 13.66 | -- | 2.81 | 0.73 | -- | 17.20 |
| สัดส่วน % Defect | 0.00 | 81.79 | -- | 14.55 | 3.66 | -- | 100.00 |

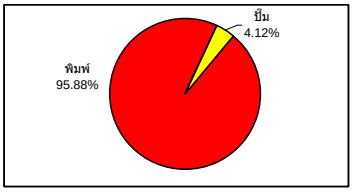
รูปที่ 3.21 สัดส่วนของเสียสายการผลิตที่ 5




ตารางที่ 3.12 รายละเอียดข้อมูลการผลิตใน สายการผลิตที่ 6

| รายละเอียดการผลิต | จำนวนของเสีย (Defect) :กล่อง | | | | | | ยอดรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ตัด | พิมพ์ | เคลือบผิว | ลามิเนต | ปั๊ม | ปะกาว | |
| ขึ้นงานป้อนเข้า | 2,323,600 | 2,323,600 | -- | -- | 2,184,573 | -- | -- |
| จำนวนของดี | 2,323,600 | 2,184,573 | -- | -- | 2,178,600 | -- | -- |
| จำนวนของเสีย | 0.00 | 139,027 | -- | -- | 5,973 | -- | 145,000 |
| % ของเสีย | 0.00 | 5.98 | -- | -- | 0.27 | -- | 6.26 |
| สัดส่วน % Defect | 0.00 | 95.88 | -- | -- | 4.12 | -- | 100.00 |

รูปที่ 3.22 สัดส่วนของเสียสายการผลิตที่ 6



# ตารางที่ 3.13 ข้อมูลของเสียแยกตามประเภทและกระบวนการผลิต

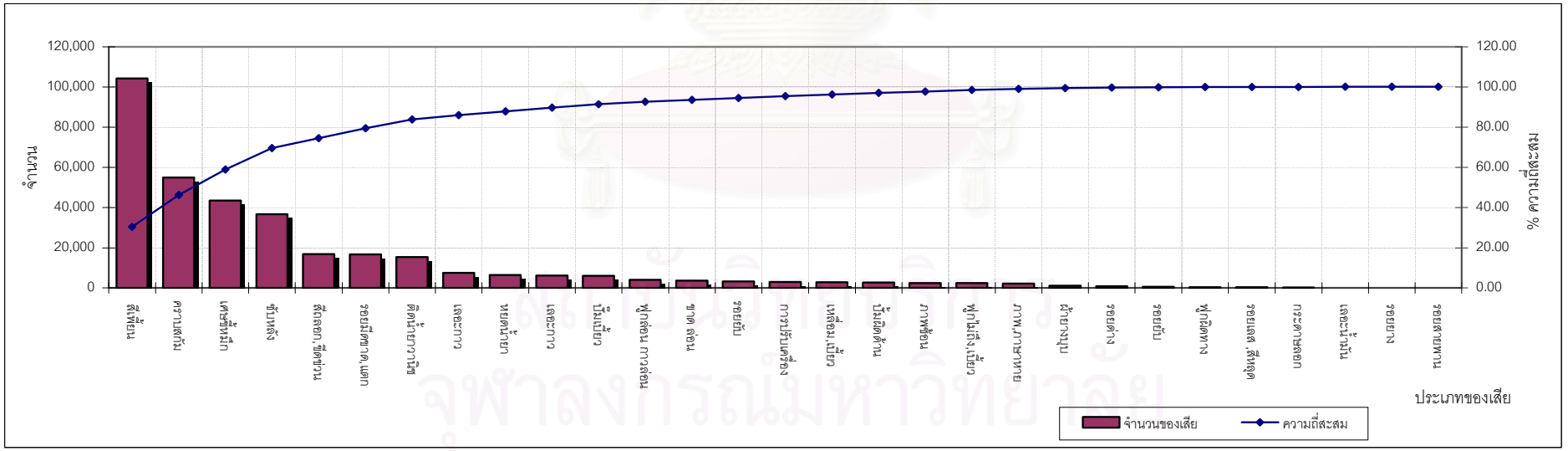
| ช่วงเวลา (Period) | จำนวนสินค้าเสีย (แยกรายละเอียดตามกระบวนการผลิต) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | กระบวนการ | ตัด : Cutting | | | พิมพ์ : Printing | | | | | | | | | | เคลือบผิว : Coating | | | | | ลามิเนต : Laminating | | | | | ปั๊ม : Diecutting | | | | | ปะกาว : Gluing | | | | | อื่นๆ | รวม |
| | ปัญหา/ของเสีย | ตัดเบี้ยว | ขอบกระดาษเป็นขุย | ตัดผิด Size | สีเลอะ,รีดร่วน | สีเพี้ยน | เลอะสี,สกปรก | ซีทหัก,ฟิล์มกระดาษ | ภาพซ้อน | ภาพ,ภาษาหาย | ฟิล์มหลัง | ผ้าอะไหล่ | ติดน้ำยาเกินพิมพ์ | | รอยยับ | รอยย่าง | หยดน้ำเคลือบ | กระดาษลอยออก | รอยเลส,สีหลุด | | ยับ | ฟุ้งไม่สม่ำเสมอ | ฟุ้งไม่เต็ม,เบี้ยว | ฟุ้งเกินพาง | เลอะกาว | | เบี้ยว | เลอะน้ำมัน | รอยไม่ตัด,ขาด,แตก | รอยยาง | ปั๊มผิดด้าน | | เหลื่อม,เบี้ยว | เลอะกาว | ขาด ล่อน | รอยสายพาน | เสียรอยบนกระดาษรับแคร่ร่อง | | |
| เม.ย 2549 | จำนวน | 0 | 0 | 0 | 8,105 | 43,645 | 25,359 | 17,270 | 1,812 | 0 | 6,750 | 0 | 875 | | 432 | 765 | 1,244 | 180 | 79 | | 230 | 175 | 75 | 0 | 350 | | 5,264 | 442 | 2,764 | 774 | 0 | | 1,390 | 572 | 2,240 | 1,540 | 2,230 | 2,840 | |
| | Defect ratio | | | | 7.81 | 42.04 | 24.43 | 16.64 | 1.75 | 0.00 | 6.50 | 0.00 | 0.84 | | 16.00 | 28.33 | 46.07 | 6.67 | 2.93 | | 27.71 | 21.08 | 9.04 | 0.00 | 42.17 | | 56.95 | 4.78 | 29.90 | 8.37 | 0.00 | | 17.44 | 7.18 | 28.10 | 19.32 | 27.97 | | |
| | ยอดรวม | | | | | | | | 103,816 | | | | | | | | 2,700 | | | | | | 830 | | | | | | 9,244 | | | | | | 7,972 | | | | 127,402 |
| พ.ค. 2549 | จำนวน | 0 | 0 | 0 | 5,750 | 38,646 | 35,363 | 14,280 | 1,004 | 0 | 7,740 | 0 | 120 | | 985 | 86 | 294 | 250 | 220 | | 340 | 543 | 1,054 | 0 | 902 | | 7,652 | 210 | 3,820 | 329 | 87 | | 977 | 832 | 1,820 | 2,420 | 2,043 | 3,758 | |
| | Defect ratio | | | | 5.59 | 37.56 | 34.37 | 13.88 | 0.98 | 0.00 | 7.52 | 0.00 | 0.12 | | 53.68 | 4.69 | 16.02 | 13.62 | 11.99 | | 11.98 | 19.13 | 37.13 | 0.00 | 31.77 | | 63.25 | 1.74 | 31.58 | 2.72 | 0.72 | | 12.074 | 10.282 | 22.491 | 29.906 | 25.247 | | |
| | ยอดรวม | | | | | | | | 102,903 | | | | | | | | 1,835 | | | | | | 2,839 | | | | | | 12,098 | | | | | | 8,092 | | | | 131,525 |
| มิ.ย. 2549 | จำนวน | 0 | 0 | 0 | 10,124 | 40,057 | 27,359 | 15,243 | 2,802 | 0 | 4,098 | 206 | 442 | | 1,093 | 672 | 1,043 | 344 | 322 | | 658 | 402 | 665 | 0 | 790 | | 3,277 | 540 | 1,866 | 882 | 0 | | 2,310 | 991 | 654 | 767 | 1,033 | 765 | |
| | Defect ratio | | | | 10.09 | 39.92 | 27.27 | 15.19 | 2.79 | 0.00 | 4.08 | 0.21 | 0.44 | | 31.46 | 19.34 | 30.02 | 9.90 | 9.27 | | 26.16 | 15.98 | 26.44 | 0.00 | 31.41 | | 49.92 | 8.23 | 28.42 | 13.43 | 0.00 | | 40.14 | 17.22 | 11.36 | 13.33 | 17.95 | | |
| | ยอดรวม | | | | | | | | 100,331 | | | | | | | | 3474 | | | | | | 2,515 | | | | | | 6,565 | | | | | | 5,755 | | | | 119,405 |
| ก.ค. 2549 | จำนวน | 0 | 0 | 0 | 9,102 | 29,877 | 27,320 | 9,084 | 1,504 | 0 | 8,021 | 0 | 620 | | 441 | 1,023 | 982 | 765 | 133 | | 554 | 1,093 | 200 | 0 | 663 | | 7,350 | 743 | 1,856 | 1,098 | 0 | | 883 | 1,130 | 975 | 1,128 | 1,675 | 5,940 | |
| | Defect ratio | | | | 10.64 | 34.93 | 31.94 | 10.62 | 1.76 | 0.00 | 9.38 | 0.00 | 0.72 | | 13.19 | 30.59 | 29.37 | 22.88 | 3.98 | | 22.07 | 43.55 | 7.97 | 0.00 | 26.41 | | 66.53 | 6.73 | 16.80 | 9.94 | 0.00 | | 15.25 | 19.51 | 16.84 | 19.48 | 28.92 | | |
| | ยอดรวม | | | | | | | | 85,528 | | | | | | | | 3,344 | | | | | | 2,510 | | | | | | 11,047 | | | | | | 5,791 | | | | 114,160 |
| ส.ค. 2549 | จำนวน | 0 | 0 | 0 | 7,510 | 41,546 | 30,592 | 12,770 | 663 | 0 | 10,094 | 0 | 875 | | 432 | 765 | 1,244 | 180 | 79 | | 230 | 175 | 75 | 0 | 350 | | 5,264 | 442 | 2,764 | 774 | 0 | | 1,150 | 994 | 1,548 | 990 | 2,548 | 3,329 | |
| | Defect ratio | | | | 7.22 | 39.93 | 29.40 | 12.27 | 0.64 | 0.00 | 9.70 | 0.00 | 0.84 | | 16.00 | 28.33 | 46.07 | 6.67 | 2.93 | | 27.71 | 21.08 | 9.04 | 0.00 | 42.17 | | 56.95 | 4.78 | 29.90 | 8.37 | 0.00 | | 15.91 | 13.75 | 21.41 | 13.69 | 35.24 | | |
| | ยอดรวม | | | | | | | | 104,050 | | | | | | | | 2,700 | | | | | | 830 | | | | | | 9,244 | | | | | | 7,230 | | | | 127,383 |
| ก.ย. 2549 | จำนวน | 0 | 0 | 0 | 5,810 | 37,466 | 31,887 | 9,996 | 2,008 | 0 | 8,943 | 0 | 1,021 | | 854 | 1,092 | 742 | 335 | 240 | | 458 | 984 | 232 | 345 | 1,012 | | 5,755 | 560 | 3,230 | 883 | 120 | | 1,209 | 752 | 2,012 | 2,298 | 2,082 | 2130 | |
| | Defect ratio | | | | 5.98 | 38.57 | 32.83 | 10.29 | 2.07 | 0.00 | 9.21 | 0.00 | 1.05 | | 26.17 | 33.47 | 22.74 | 10.27 | 7.36 | | 15.11 | 32.46 | 7.65 | 11.38 | 33.39 | | 54.56 | 5.31 | 30.62 | 8.37 | 1.14 | | 14.47 | 9.00 | 24.09 | 27.51 | 24.93 | | |
| | ยอดรวม | | | | | | | | 97,131 | | | | | | | | 3,263 | | | | | | 3,031 | | | | | | 10,548 | | | | | | 8,353 | | | | 124,456 |
| สรุปยอดรวม | จำนวน | 0 | 0 | 0 | 46,401 | 231,237 | 177,880 | 78,643 | 9,793 | 0 | 45,646 | 206 | 3,953 | | 4,237 | 4,403 | 5,549 | 2,054 | 1,073 | | 2,470 | 3,372 | 2,301 | 345 | 4,067 | | 34,562 | 2,937 | 16,300 | 4,740 | 207 | | 7,919 | 5,271 | 9,249 | 9,143 | 11,611 | 18,762 | |
| | Defect ratio | | | | 7.81 | 38.94 | 29.96 | 13.24 | 1.65 | 0.00 | 7.69 | 0.03 | 0.67 | | 24.47 | 25.43 | 32.05 | 11.86 | 6.20 | | 19.67 | 26.86 | 18.33 | 2.75 | 32.39 | | 58.83 | 5.00 | 27.75 | 8.07 | 0.35 | | 18.33 | 12.20 | 21.41 | 21.17 | 26.88 | | |
| | ยอดรวม | | | | | | | | 593,759 | | | | | | | | 17,316 | | | | | | 12,555 | | | | | | 58,746 | | | | | | 43,193 | | | | 744,331 |

ตารางที่ 3.14 ข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตามลำดับปริมาณ

(ข้อมูลเดือนเมษายน-กันยายน 2549)

| ประเภทของเสีย | สีไม่เข้ม | ความยาวสั้น | เศษชิ้นหมึก | ตำหนิ | สีถลอก,สีตก | รอยมีดขาด,แตก | ติดน้ำยาบางจุด | เฉือนบาง | หยดน้ำยา | เฉือนบาง | ไม่เป็นไปตาม | หลุดจากแม่พิมพ์ | หลุด ตก ขาด | รอยย้อย | รอยยู่ | ความโค้งเคลื่อน | เกิดจุดด่าง | ไม่ผลิตด้วยมาตรฐาน | ภาพพิมพ์ | ฟองไม่เป็นไปตามมาตรฐาน | ด้ายงานปม | รอยต่อง่าง | รอยยู่ | พิมพ์ทาง | รอยแตก,สีหลุด | ปลายด้ายขาด | เฉือนไม่เรียบ | รอยยาง | รอยสายพาน |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ลำดับ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| จำนวน (กล่อง) | 104,163 | 54,941 | 43,486 | 36,749 | 16,788 | 16,601 | 15,323 | 7,485 | 6,400 | 6,117 | 6,038 | 3,999 | 3,653 | 3,164 | 2,963 | 2,815 | 2,660 | 2,503 | 2,455 | 2,141 | 1,147 | 880 | 484 | 300 | 220 | 140 | 30 | 0 | 0 |
| %ของเสีย | 30.31 | 15.99 | 12.65 | 10.69 | 4.89 | 4.83 | 4.46 | 2.18 | 1.86 | 1.78 | 1.76 | 1.16 | 1.06 | 0.92 | 0.86 | 0.82 | 0.77 | 0.73 | 0.71 | 0.62 | 0.33 | 0.26 | 0.14 | 0.09 | 0.06 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| %ของเสียสะสม | 30.31 | 46.30 | 58.95 | 69.65 | 74.53 | 79.36 | 83.82 | 86.00 | 87.86 | 89.64 | 91.40 | 92.56 | 93.63 | 94.55 | 95.41 | 96.23 | 97.00 | 97.73 | 98.45 | 99.07 | 99.40 | 99.66 | 99.80 | 99.89 | 99.95 | 99.99 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

รูปที่ 3.23 กราฟพาเรโตแสดงจำนวนและประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต



**3.5 ขอบเขตของปัญหา**

จากข้อมูลในตารางที่ 3.7-3.12 เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟ Pie-Chart ดังรูปที่ 3.17-3.22 พบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการพิมพ์ของ ทั้ง 6 สายการผลิต อยู่ที่ 70.95% 53.37% 52.46% 71.67% 81.79% และ 95.88% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงพิจารณาทำการปรับปรุงเฉพาะกระบวนการพิมพ์เท่านั้นเนื่องจาก

1.กระบวนการดังกล่าวที่มีสัดส่วนปัญหาของเสียมากที่สุด
2.ของเสียที่เกิดขึ้นไม่สามารถนำมาทำการแก้ไขซ่อมแซมได้
3.มีปัญหาที่ได้รับข้อร้องเรียนในเรื่องคุณภาพมากที่สุด

จากข้อมูลประเภทและปริมาณของเสีย ระหว่างเดือน เมษายน–กันยายน 2549 ตามตารางที่ 3.13 สามารถ สรุปยอดรวมของเสียได้ดังตารางที่ 3.14 แล้วนำมาพล็อตกราฟพาเรโต ดังรูปที่ 3.23 ผู้ศึกษาและทีมงานได้นำข้อมูลสัดส่วนของเสียดังกล่าว เสนอต่อผู้บริหารโรงงานตัวอย่างเพื่อพิจารณา ได้ข้อสรุปว่ามีของเสียอยู่ 5 ประเภทที่มีสัดส่วนสูงเกือบ 70% ของของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด ประกอบด้วย 2 กลุ่มปัญหาและแบ่งย่อยได้ 5 ประเภท ดังตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 สรุปข้อมูลประเภทของเสียหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

| กลุ่มปัญหา (Group) | การจัดประเภท | ลักษณะของเสีย (Defect) | เปอร์เซ็นต์ของเสีย (%)) |
|---|---|---|---|
| 1 | คุณภาพสีพิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน-ไม่สม่ำเสมอ | 30.31 % |
| 2 | คราบสกปรก | ขี้หมึก/ขี้กระดาษ (Hicky) | 15.99 % |
| | | รอยคราบสกัม (Scumming) | 12.65 % |
| | | คราบซับหลัง (Set-Off) | 10.69 % |
| สรุปผลรวม % ของเสีย (Total) | | | 69.65 % |

จากข้อมูลลักษณะของเสียทั้ง 5 ประเภทซึ่งคิดเป็นสัดส่วน 69.65% ของของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดและจากการประชุมร่วมของทีมงานได้เน้นที่จะทำการปรับปรุงในกระบวนการพิมพ์เป็นหลัก

เนื่องจากของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด ไม่สามารถที่จะนำกลับไปซ่อมแซมหรือทำการผลิตใหม่ได้ต้องคัดแยกหรือขายเป็นเศษกระดาษเท่านั้น นอกจากนี้การดำเนินการปรับปรุงในทุกแผนกหรือทุกกระบวนการพร้อมกันจะต้องมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นและอาจยังผลให้การปรับปรุงในส่วนที่ก่อให้เกิดปัญหาหลักเป็นไปด้วยความล่าช้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะวิเคราะห์และหาแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากสีเพี้ยน พร้อมกับปัญหาที่เหลือ 3 ประเภท

### 3.6 การพิจารณาเลือกเครื่องจักรเพื่อทำการปรับปรุง

เครื่องจักรที่เลือกนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาจากเครื่องจักรกลุ่ม 4 สี เป็นหลัก ซึ่งมีปริมาณงานในกลุ่มเครื่องจักรดังกล่าวมี %สัดส่วนการผลิต และ %มูลค่าต่อยอดขายที่สูง 49.32 % และ 40.13 % ตามลำดับ นอกจากหลักเกณฑ์ในเรื่องปริมาณและยอดการผลิตแล้วยังใช้เกณฑ์การพิจารณาเลือกปรับปรุงเครื่องจักรตามระบบ TPM ดังตารางที่ 3.16 มาร่วมพิจารณา ซึ่งช่วยให้สามารถพิจารณาเลือกเครื่องจักรได้ตรงตามวัตถุประสงค์

ตารางที่ 3.16 เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกปรับปรุงเครื่องจักรตามหลักของระบบ TPM

| เกณฑ์พิจารณา | ระดับความสำคัญ (Criteria) | | |
|---|---|---|---|
| | ระดับ A | ระดับ B | ระดับ C |
| ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม (S) | มีผลต่อความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมอย่างร้ายแรง | มีผลต่อความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมเป็นบางส่วน | ไม่มีผลต่อความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมเลย |
| ด้านคุณภาพ (Q) | มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และทำให้ได้ผลผลิตต่ำมาก | มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และทำให้ได้ผลผลิตต่ำลงบางส่วน | ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพและผลผลิต |
| สภาพการใช้งาน (W) | เดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมง | เดินเครื่องตลอด 7-14 ชั่วโมงต่อวัน | เดินเครื่องเป็นครั้งคราว |
| ผลข้างเคียง (D) | ถ้าขัดข้องทำให้เครื่องจักรอื่นต้องหยุดทั้งหมด | ถ้าขัดข้องทำให้เครื่องจักรอื่นต้องหยุดเป็นบางส่วน | มีเครื่องสำรองใช้ในกรณีเกิดการขัดข้องขึ้น |
| ความถี่ของการขัดข้อง (P) | 6 เดือนต่อครั้ง | 1 ปีต่อครั้ง | เกินกว่า 1 ปี |
| การซ่อมบำรุง (M) | การซ่อมนานกว่า 4 ชั่วโมงหรือใช้ค่าใช้จ่ายมากกว่า 1,600 เหรียญ | การซ่อมใช้เวลา 1-4 ชั่วโมงหรือค่าใช้จ่ายที่ 400-1,600 เหรียญ | การซ่อมใช้เวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมงหรือใช้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่า 400 เหรียญ |

นอกจากนี้ได้นำข้อมูลจากรายงานการผลิตมาทำการพิจารณาร่วมกับเกณฑ์ในตารางที่ 3.17 ตามรายละเอียดหัวข้อดังต่อไปนี้

1.ปริมาณการผลิต (จำนวนแผ่นพิมพ์) สำหรับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มตัวอย่าง
2.จำนวนกระดาษที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่อง (Color Set up) ในแต่ละครั้ง / Job
3.รูปแบบและชนิดของเครื่องพิมพ์ที่ต้องมีลักษณะฟังค์ชั่นการทำงานที่เหมือนกัน
4.ความยาก-ง่ายในการปรับตั้งและควบคุมค่า parameter ของเครื่องจักร

ตารางที่ 3.17 ข้อมูลการผลิตของเครื่องจักรในแผนกพิมพ์

| กลุ่ม เครื่องจักร | จำนวน (เครื่อง) | สัดส่วนยอดผลิต (%) | จำนวนกระดาษ ตั้งเครื่องต่อ Job | % สัดส่วน ของเสีย (Defect) |
|---|---|---|---|---|
| 1 สี | 1 | 12.44 | 30 - 50 | 1.84 |
| 2 สี | 1 | 14.76 | 150 - 200 | 5.43 |
| 4 สี | 3 | 49.32 | 300 – 400 | 13.47 |
| 5 สี | 1 | 23.48 | 200 ขึ้นไป | 3.39 |

จากข้อมูลในตารางที่ 3.16 จะพบว่าเครื่องจักรกลุ่มงาน 5 สี มีสัดส่วนของเสียอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามากเมื่อเทียบกับเครื่องพิมพ์ในกลุ่ม 4 สี ทั้งนี้ เนื่องจากว่าเป็นเครื่องจักรใหม่ ดังนั้นจึงได้ข้อสรุปว่าจะที่จะเลือกทำการทดลองปรับปรุงในเครื่องพิมพ์ในกลุ่ม 4 สี ประกอบไปด้วยเครื่องพิมพ์รุ่น R 600 4C R 700 4C และ L 640 4C

ตารางที่ 3.18 ข้อมูลสัดส่วนปริมาณการผลิตจำแนกตามกลุ่มผลิตภัณฑ์

| กลุ่มผลิตภัณฑ์ (Group) | จำนวนแผ่นพิมพ์ (Sheets) | สัดส่วนการผลิต (%) | % มูลค่าต่อยอดขาย (% Sale Volume) |
|---|---|---|---|
| Food & Beverage | 9,670,027 | 49.32 | 49.32 |
| Cosmetics | 1,611,671 | 8.22 | 8.22 |
| Toy | 1,439,132 | 7.34 | 7.34 |
| Electronic | 4,636,986 | 23.65 | 23.65 |
| Other | 2,248,889 | 11.47 | 11.47 |

จากสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การผลิตในตารางที่ 3.18 จะเห็นว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์จำพวก Food and Beverage มีสัดส่วนการผลิตเกือบครึ่งหนึ่งของการผลิตทั้งหมด จากนั้นจึงพิจารณาผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของดังกล่าวมาทำการศึกษาโดยมีหลักการและเหตุผลในการเลือกผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาดังนี้

1.ความต้องการของตลาด พิจารณาจาก วัฏจักร (Cycle) ผลิตภัณฑ์ ที่ประกอบด้วย 4 ช่วง คือ Introduction, Growth, Maturity และ Decline โดยเฉพาะในช่วงของ Growth นั้น ถือว่าเป็นช่วงที่มีความสำคัญต่อยอดการขายอย่างมาก

2.สัดส่วนข้อมูลของเสียในระหว่างการผลิต (Work in Process) จะพิจารณาจากประเภทของของเสียที่เกิดขึ้นมากและบ่อยครั้งที่สุดมาแก้ไขปรับปรุงเป็นลำดับแรก

3.ที่ผ่านผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มการเติบโตของยอดขายสม่ำเสมอและอยู่กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนยอดการผลิตมากที่สุดถึง 49.32%

4.เนื่องจากเป็นงานที่มียอดการสั่งผลิตที่สูง และต่อเนื่องตลอดทั้งปี อีกทั้งแนวโน้มด้านการแข่งขันการเสนอราคาก็มีแนวโน้มที่สูงขึ้น

5.มีแนวโน้มข้อร้องเรียนและสินค้าคืนจากลูกค้าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากปริมาณการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นอีกทั้งการควบคุมคุณภาพยังไม่ดีพอ

6.ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมียอดการผลิตในลักษณะที่เป็น Long Run คือ เป็นการวิ่งงานระยะยาวมีความคุ้มค่าต่อการดำเนินการออกแบบการทดลองปรับปรุงคุณภาพ

ตารางที่ 3.19 ข้อมูลสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต % ของเสีย (Defect)
( ระหว่างเดือน เมษายน – กันยายน 2549)

| ผลิตภัณฑ์ (Product) | Market Demand | Margin (%) | % ของเสีย (Defect) |
|---|---|---|---|
| A | Maturity | 16.82 | 8.24 |
| B | Growth | 48.33 | 10.76 |
| C | Maturity | 10.43 | 5.64 |
| D | Decline | 0.21 | 9.29 |
| E | Growth | 24.21 | 11.21 |

จากตารางที่ 3.19 พบว่ามีผลิตภัณฑ์ B มีสัดส่วนยอดการผลิตอยู่ในระดับสูงที่สุดอีกทั้งยังมีสัดส่วนของเปอร์เซ็นต์ของเสียอยู่ในระดับที่สูงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอื่น ๆ ดังนั้นจึงได้เลือกผลิตภัณฑ์ B มาทำการแก้ไขปรับปรุง และจาก ตาราง ที่ 3.14 แสดงรายละเอียดข้อมูลของเสียแยกตามกระบวนการผลิต พบว่าปัญหาสีเพี้ยนเป็นปัญหาที่ต้องทำการแก้ไขเป็นลำดับแรก พร้อม ๆ กับปัญหาของเสียประเภทที่เหลืออีก 4 ประเภท

## 3.7 **สรุปการศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง**

จากการศึกษารายละเอียดการดำเนินงานของโรงงานตัวอย่าง ผู้วิจัยได้ร่วมกับทีมงานเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลที่ได้ พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นกว่าร้อยละ 69.65% เกิดจากของเสียทั้งสิ้น 4 ประเภท และพบว่ากว่าร้อยละ 30.31% หรือเกือบ 1 ใน 3 เป็นปัญหาที่เกิดจากสีพิมพ์เพี้ยนไม่เป็นไปตาม ข้อกำหนดของลูกค้า ซึ่งต้องทำการปรับปรุงแก้ไขอย่างเร่งด่วน และจากการเปรียบเทียบข้อมูลของเสีย สัดส่วนปริมาณการผลิต กลุ่มเครื่องจักรที่ใช้เป็นกำลังหลักในการผลิตและแนวโน้มการเติบโตของผลิตภัณฑ์ จึงได้เลือกทำการศึกษาเครื่องพิมพ์ในกลุ่ม 4 สี ทั้ง 3 เครื่อง และนำผลิตภัณฑ์ชนิด B ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภท Food and Beverage มาเป็นต้นแบบในการพัฒนาปรับปรุง ส่วนปัญหาของเสียในกลุ่มสีพิมพ์สกปรกทั้ง 3 ประเภท จะแยกดำเนินการออกไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 4

# การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

## 4.1 บทนำ

ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้ จะเป็นขั้นตอนเพื่อศึกษาถึงแหล่งที่มาของสาเหตุของปัญหาโดยการใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆช่วยในการศึกษา โดยเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของกระบวนการผลิตในทุกๆขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษา และทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อที่จะประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัด ก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหา

จากนั้นจะทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อที่จะลดขอบเขตของแหล่งที่มาของปัญหาที่ทำการพิจารณา และนำผลจากการทดลองดังกล่าวมาศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยการระดมความคิดเห็นจากกลุ่มสมาชิกที่ได้คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ความชำนาญ และปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตที่พิจารณา และทำการคัดเลือกปัจจัยต่างๆที่คาดว่าจะมีผลกระทบในลำดับต้นๆ ต่อกระบวนการผลิตดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

## 4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)

ในการวิเคราะห์สาเหตุข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต ระบบการวัดเป็นเสมือนกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์ และกระบวนการเพื่อเป็นการรับประกันคุณภาพสู่ลูกค้า กระบวนการวัดมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัดซึ่งมีสาเหตุจากทักษะ ความชำนาญ และระดับการฝึกฝน วิธีการวัด ชิ้นงานที่วัด สิ่งแวดล้อมในการวัดที่มีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้น และธรรมชาติ เนื่องจากแต่ละองค์ประกอบมีความไม่เท่ากันจึงเกิดความผันแปรในระบบการวัด

4.2.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด : ข้อมูลที่นับค่าได้ (Attribute data)

สำหรับโรงงานตัวอย่าง ส่วนหนึ่งเป็นการประเมินความสามารถของกระบวนการวัดเมื่อข้อมูลได้จากการนับ เนื่องจากคุณลักษณะที่ศึกษาเป็นลักษณะข้อมูลที่นับค่าได้ (Attribute Data) เช่น ข้อบกพร่องต่าง ๆ จากกระบวนการได้แก่ รอยตำหนิ ต่าง ๆ , ข้อบกพร่องของชิ้นงานที่ไม่ตรงกับชิ้นงานตัวอย่าง รวมทั้งการแยกแยะความแตกต่างของสีระหว่างชิ้นงานที่ผลิตและชิ้นงานมาตรฐานแม้ว่าจะมีการใช้เครื่องมือวัดแต่ก็เฉพาะในงานพิมพ์ Job ยาวหรืองานที่เน้นคุณภาพสูงเท่านั้น โดยมีผลลัพธ์ที่แสดงออกมาเป็นผ่านและไม่ผ่าน หรือ ของดีและของเสีย

ในที่นี้จะทำการศึกษาความสามารถของระบบการวัดแบบอาศัยข้อมูลในระยะสั้น โดยมีแนวทางในการศึกษาโดยเริ่มจากการกำหนดชิ้นงานที่มีลักษณะทั้งดีและไม่ดี แล้วเลือกพนักงานที่ได้รับการฝึกอบรมมาอย่างดีทำหน้าที่ตรวจวัด เพื่อจำแนกผลของการตรวจสอบเป็นผ่านและไม่ผ่าน หลังจากนั้นทำการพิจารณาผลการตรวจสอบซ้ำว่ามีคุณภาพตรงกับคุณภาพที่แท้จริงของสิ่งตัวอย่างงานหรือไม่ ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นความถูกต้อง โดยจะมีลักษณะของความถูกต้องอยู่ 2 ประการ คือ ความลำเอียงของลูกค้า หรืออีกนัยหนึ่งคือ เมื่อพนักงานตรวจสอบว่างานไม่ผ่านสำหรับงานที่ดี และความลำเอียงของผู้ผลิต หรือ อีกนัยหนึ่งคือ พนักงานตรวจสอบว่างานผ่าน

สำหรับงานที่มีคุณภาพไม่ดีหรือไม่ผ่านข้อกำหนด และการศึกษาจะสนใจในการวัดซ้ำของพนักงานวัด ซึ่งทั่วไปจะเข้าใจในส่วนของประสิทธิภาพในการตรวจสอบ วิธีการทำการทดลองของข้อมูลที่เป็น Attribute GR&R หรือความสามารถของการวัดแบบข้อมูลนับ มีวิธีการดังนี้

1.เลือกสิ่งตัวอย่างในกระบวนการผลิตจำนวน 20 ชิ้น ซึ่งสิ่งตัวอย่างเหล่านั้นจะต้องประกอบไปด้วย สิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดีและไม่ดีในสัดส่วนใกล้เคียงกัน

2.เลือกพนักงานวัดที่มีทักษะและผ่านการฝึกอบรมมาเป็นอย่างดี จำนวนทั้งสิ้น 3 คน

3.เลือกชิ้นงานในกระบวนการผลิตแบบสุ่มทั้งสิ้น 30 ตัวอย่าง โดยที่ชิ้นงานเหล่านั้นต้องผ่านการตรวจวัดและได้ผลลัพธ์แล้ว

4.ศึกษาพนักงานทีละคน โดยให้ตรวจวัดชิ้นงานที่ได้เตรียมไว้และที่สำคัญการวัดสิ่งตัวอย่างต้องเป็นแบบสุ่ม ให้พนักงานประเมินผลตัวอย่างนั้นว่าผ่านหรือไม่ผ่าน แล้วบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจวัดลงในแบบฟอร์ม ในการตรวจวัดของพนักงานแต่ละคนจะต้องทำซ้ำ 2 ครั้ง พร้อมทั้งบันทึกผลลัพธ์ลงในแบบฟอร์ม ทำเช่นเดียวกันนี้กับพนักงานวัดทุกคน

5.บันทึกค่าลงในแบบฟอร์มเพื่อทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด ซึ่งการวิเคราะห์จะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

$$\%\text{ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\%\text{ความไม่ลำเอียงของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบได้เหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

%ประสิทธิภาพความสามารถในการทำซ้ำของการตรวจสอบ

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานตรวจสอบได้เหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

%ประสิทธิผลด้านความลำเอียงของการตรวจสอบ

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจได้ถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

การตัดสินว่าประสิทธิภาพของแต่ละดัชนีสามารถยอมรับได้หรือไม่ จะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยปกติค่าที่วัดได้จะต้องมีค่า 100% ไม่ว่าจะเป็น เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานตรวจสอบ (%Appraisal Score) ,เปอร์เซ็นต์ความไม่ลำเอียงของพนักงานตรวจสอบ (%Attribute Score) , เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานตรวจสอบ (%Screen Effective Score) และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความลำเอียงของการตรวจสอบ (%Attribute Screen Score) ซึ่งผลลัพธ์จากการประเมินผลกระบวนการวัดในระยะสั้น แสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการตรวจสอบคุณภาพงานในระยะสั้น

| ชิ้นงานที่ | คุณภาพงานแท้จริง | พนักงานวัดคนที่ 1 | | พนักงานวัดคนที่ 2 | | พนักงานวัดคนที่ 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 |
| 1 | G | G | G | G | G | G | G |
| 2 | G | G | G | G | G | G | G |
| 3 | NG | NG | NG | NG | NG | NG | NG |
| 4 | G | G | G | G | G | G | G |
| 5 | G | G | G | G | G | G | G |
| 6 | NG | NG | NG | NG | NG | NG | NG |
| 7 | NG | NG | NG | NG | NG | NG | NG |
| 8 | G | G | G | G | G | G | G |
| 9 | G | G | G | G | G | G | G |
| 10 | G | G | G | G | G | G | G |

จากตารางที่ 4.1 สามารถสรุปผลเป็นดัชนีได้ดังต่อไปนี้

ดัชนี % ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงาน

%ความสามารถการทำซ้ำของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 = (20/20) X100 = 100%

%ความสามารถการทำซ้ำของพนักงานตรวจสอบคนที่ 2 = (20/20) X100 = 100%

%ความสามารถการทำซ้ำของพนักงานตรวจสอบคนที่ 3 = (20/20) X100 = 100%

ดัชนี %ความไม่ลำเอียงของพนักงานตรวจสอบ

%ความไม่ลำเอียงของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 = (20/20) X100 = 100%

%ความไม่ลำเอียงของพนักงานตรวจสอบคนที่ 2 = (20/20) X100 = 100%

%ความไม่ลำเอียงของพนักงานตรวจสอบคนที่ 3 = (20/20) X100 = 100%

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการประเมินประสิทธิผล

| ชิ้นงาน ที่ | คุณภาพงาน แท้จริง | พนักงานตรวจวัดได้ เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน | พนักงานตรวจได้ เหมือนกันอย่างถูกต้องทุกคน |
|---|---|---|---|
| 1 | G | Y | Y |
| 2 | G | Y | Y |
| 3 | NG | Y | Y |
| 4 | G | Y | Y |
| 5 | G | Y | Y |
| 6 | NG | Y | Y |
| 7 | NG | Y | Y |
| 8 | G | Y | Y |
| 9 | G | Y | Y |
| 10 | G | Y | Y |

จากตารางที่ 4.2 สามารถสรุปผลเป็นดัชนีได้ดังต่อไปนี้

% ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำการตรวจสอบ = (20/20) X100 = 100%

% ประสิทธิผลด้านความลำเอียงของการตรวจสอบ = (20/20) X100 = 100%

ผลจากการวิเคราะห์ระบบการวัดของโรงงานตัวอย่าง สามารถสรุปได้ว่าพนักงานทุกคนมีความสามารถในการตรวจสอบและอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

4.2.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด : ข้อมูลที่วัดค่าได้ (Variable data)

สำหรับโรงงานตัวอย่าง การวิเคราะห์ระบบการวัดอีกส่วนหนึ่งเป็นการประเมินความสามารถของกระบวนการวัด เมื่อข้อมูลได้จากการใช้ เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ซึ่งในที่นี้คือเครื่องมือในการวัดค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ซึ่งค่ายิ่งมากเท่าใดคุณภาพงานพิมพ์ก็จะมีความใกล้เคียงกับมาตรฐานหรือต้นฉบับมากเท่านั้น ในการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดเพื่อทำการแยกแหล่งความแปรผันออกเป็นชิ้นงาน (Part–Part Variation) พนักงาน (Appraiser Variation) และความผันแปรร่วม (Interaction Variation)

การวัดค่าคุณภาพสีพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่า คือเครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer) โดยดัชนีที่ทำการวัดนี้คือ ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบนี้จะใช้ตัวอย่างทำได้ดังนี้

1.ใช้ตัวอย่างงานพิมพ์ โดยใช้แถบควบคุม (Control Bar) ของสีฟ้า (Cyan) จากแถบควบคุมคุณภาพท้ายกระดาษของงานพิมพ์จำนวน 10 งานเป็นตัวแทนในการวัดค่าความเปรียบต่างสี

2.คัดเลือกพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมการใช้งานตรวจวัดด้วยเครื่องวัดค่าสี (Spectophotometer) มาเป็นอย่างดีจำนวนทั้งสิ้น 3 คน

3.วัดค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในแต่ละตัวอย่าง ๆ ละ 3 ครั้งแบบสุ่ม จากนั้นบันทึกค่าวัดที่ได้

4.ผลลัพธ์ของการตรวจวัดค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.3 จากนั้นนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรม MINITAB : --> Stat > Quality Tool > Gage R&R Study (Cross)

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ของการตรวจวัดค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

| ชิ้นงานที่ | พนักงานวัดคนที่ 1 | | | พนักงานวัดคนที่ 2 | | | พนักงานวัดคนที่ 3 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 |
| 1 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 |
| 2 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 3 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 45 | 46 | 46 | 46 |
| 4 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| 5 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 |
| 6 | 46 | 46 | 47 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 |
| 7 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| 8 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 |
| 9 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 51 |
| 10 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |

ตาราง 4.4 เกณฑ์การวิเคราะห์ค่า % GR&R ที่ยอมรับได้ของข้อมูลประเภทวัดค่าได้ (Variable Data)

| Criteria | % Gage R&R |
|---|---|
| BAD | >7.7% |
| ACCEPTABLE | 2-7.7% |
| GOOD | 0-2% |

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab

**Gage R&R for Measurement**

Gage name: Spectrophotometer
Reported by: Kraikul

**Two-Way ANOVA Table With Interaction**

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Part | 9 | 279.122 | 31.0136 | 966.192 | 0.000 |
| Operator | 2 | 0.089 | 0.0444 | 1.385 | 0.276 |
| Part * Operator | 18 | 0.578 | 0.0321 | 0.963 | 0.512 |
| Repeatability | 60 | 2.000 | 0.0333 | | |
| Total | 89 | 281.789 | | | |

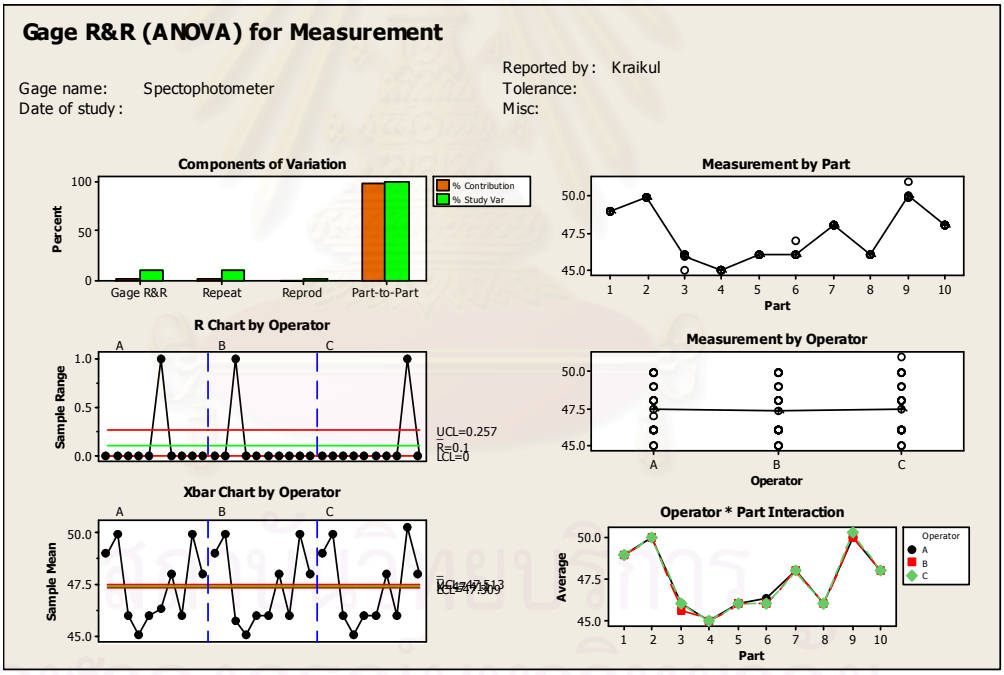
ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab (ต่อ)

**Gage R&R**

| Source | VarComp | %Contribution (of VarComp) |
|---|---|---|
| Total Gage R&R | 0.03343 | 0.96 |
| Repeatability | 0.03305 | 0.95 |
| Reproducibility | 0.00038 | 0.01 |
| Operator | 0.00038 | 0.01 |
| Part-To-Part | 3.44228 | 99.04 |
| Total Variation | 3.47571 | 100.00 |

| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 * SD) | %Study Var (%SV) |
|---|---|---|---|
| Total Gage R&R | 0.18283 | 1.0970 | 9.81 |
| Repeatability | 0.18179 | 1.0908 | 9.75 |
| Reproducibility | 0.01949 | 0.1169 | 1.05 |
| Operator | 0.01949 | 0.1169 | 1.05 |
| Part-To-Part | 1.85534 | 11.1320 | 99.52 |
| Total Variation | 1.86433 | 11.1860 | 100.00 |

Number of Distinct Categories = 14




รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis : MSA)

| | | |
|---|---|---|
| ค่าระบบการวัด (Total Gage R&R) | 0.96 | เปอร์เซ็นต์ |
| ค่าความผันแปรมาจากเครื่องมือวัด (Repeatability) | 0.95 | เปอร์เซ็นต์ |
| ค่าความผันแปรมาจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility) | 0.01 | เปอร์เซ็นต์ |
| ค่าความแปรผันจากชิ้นงาน (Part-To-Part) | 99.52 | เปอร์เซ็นต์ |

สามารถสรุปได้ว่า ค่าความแปรปรวนที่เกิดจากระบบการวัดทั้งสิ้น (Total Gage R&R) เพียง 0.96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 ตามเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ระบบการวัดนี้ยังมีความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูล (Number of Distinct Categories) ได้เท่ากับ 14 โดยเกณฑ์มาตรฐานของความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูลจะมีค่าเท่ากับ 5 สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ค่อนข้างละเอียด แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดค่าความเปรียบต่างสี มีความถูกต้องและแม่นยำน่าเชื่อถือ เหมาะสมสำหรับการทดสอบค่าความเปรียบต่างต่างสี ของงานวิจัย ดังนั้นสรุปว่าความสามารถของกระบวนการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดีสามารถยอมรับได้ (Criteria : 0-2%)

### 4.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยผังแสดงเหตุและผล

ผังแสดงเหตุและผลเป็นผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่าง ๆ ในการระบุสาเหตุของปัญหาต้องกระทำโดยวิธีการระดมสมองจากกลุ่มคนซึ่งมีความเชี่ยวชาญหรือคุ้นเคยในกระบวนการผลิตนั้น ๆ เพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างอาจจะทำให้เกิดการแก้ไขปัญหาผิดจุดได้ สาเหตุที่ระบุได้จากผังแสดงเหตุและผลจะเป็นการกำหนดปัจจัยเพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติต่อไป

เนื่องจากโครงสร้างของผังนี้ มีลักษณะคล้ายคลึงกับปลา โดยมีหัวปลาแสดงถึงผลหรือปรากฏการณ์ของปัญหา ส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลาจะรวบรวมปัจจัยอันเป็นสาเหตุหลักและสาเหตุรองของปัญหาจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ผังก้างปลา (Fishbone Diagram)” โดยจะทำการพิจารณาจากสาเหตุในด้านต่าง ๆ ต่อไปนี้

1.ด้านการวัด (Measurement)
2.ด้านวัตถุดิบ (Material)
3.ด้านคน (Man)
4.ด้านสิ่งแวดล้อม (Environment)
5.ด้านวิธีการทำงาน (Method)
6.ด้านเครื่องจักร (Machine)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้วิจัยได้จัดให้มีการประชุมทีมงานเพื่อระดมสมอง (Brainstorming) ระหว่างผู้ที่มีความรู้ทางการผลิต , ผู้มีประสบการณ์ในการเดินเครื่องจักร และผู้มีความรู้ในด้านการควบคุมกระบวนการผลิต โดยได้จัดทำเป็นแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) จากแหล่งสาเหตุของการผันแปรทั้ง 6 ประเภทดังรูปที่ 4.2 โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. ชี้ลักษณะคุณภาพ (Quality Characteristic) ที่เป็นปัญหาออกมาให้ชัดเจน

2. ทางด้านขวาสุดเขียนปัญหาหรือความผิดพลาด โดยลากเส้นจากซ้ายไปขวามาที่กรอบหรือตัวปัญหา (Effect)

3. เขียนสาเหตุหลักของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยใช้องค์ประกอบ 5M และ1 E ซึ่งประกอบไปด้วย Man, Machine, Material, Method, Measurement, Environment

4. เขียนสาเหตุรองและสาเหตุย่อย ๆ ลงไป ที่ส่งผลต่อ ๆ กันไป ให้ได้มากที่สุด ซึ่งจะทำให้โอกาสในการพบสาเหตุที่รากเหง้า (Root Cause Effect) ได้มากขึ้น

5. สำรวจดูว่ามีสาเหตุอื่นใดอีกหรือไม่

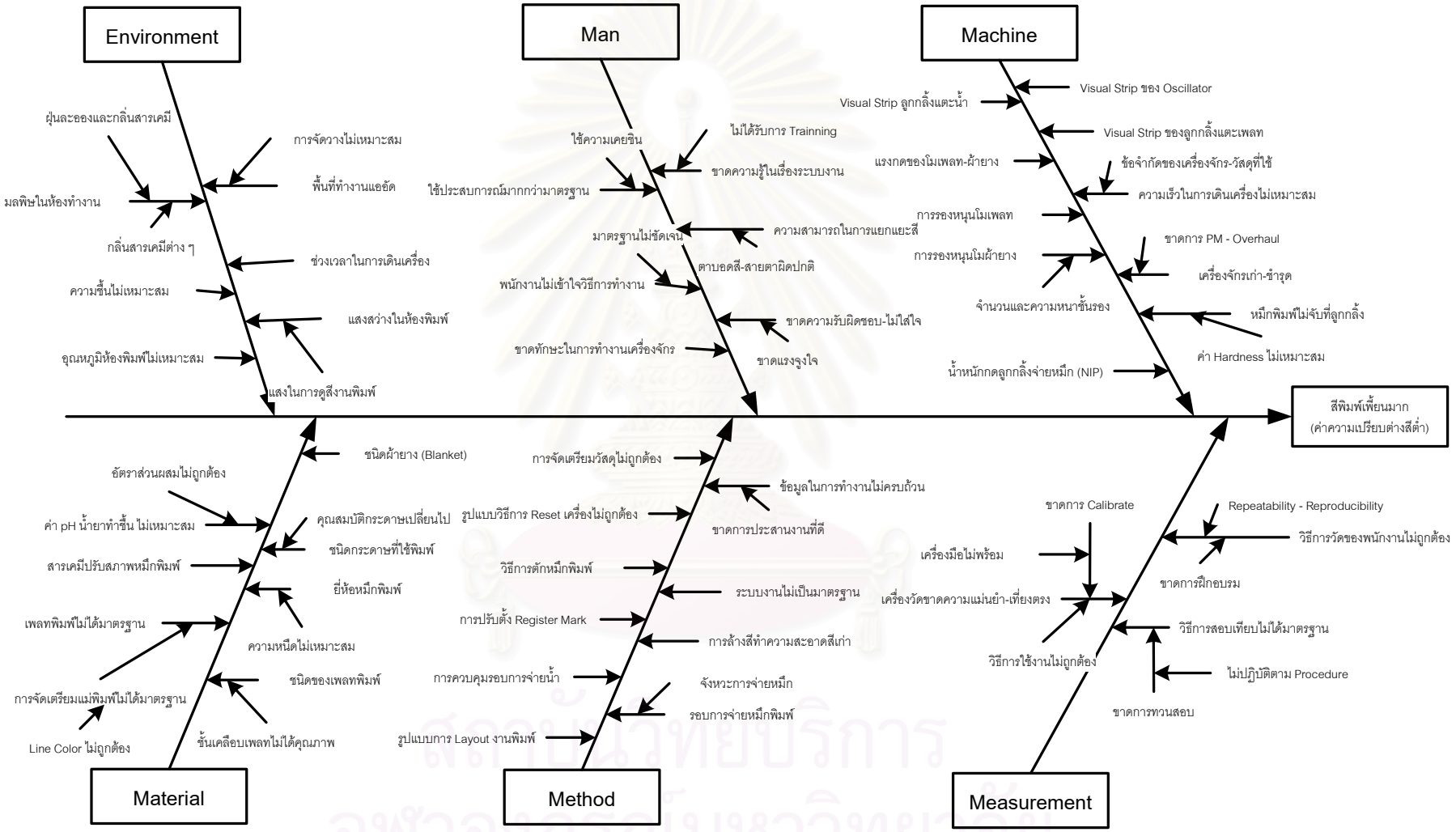
6. ในการจัดลำดับความสำคัญนี้จะทำโดยการวิเคราะห์ด้วยตาราง Cause and Effect Matrix (C&E Matrix)

7. เติมหัวข้อที่เกี่ยวข้องลงไป เช่น ชื่อผลิตภัณฑ์ (Product) ขั้นตอนการผลิต (Process) วัน เดือน ปี ชื่อผู้ที่ทำการระดมสมอง

8.นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาใส่ในตาราง Cause & Effect Matrix ในที่นี้กำหนดให้อัตราความสำคัญอยู่ระหว่าง 0 - 10 (จากน้อยไปมากที่สุด)

9.ให้กลุ่มทีมงานทำการลงคะแนนความสำคัญให้กับปัจจัยที่ได้ ซึ่งจะให้คะแนนในช่วงระหว่าง 0-10 คะแนน โดยแต่ละคนจะให้คะแนนตนเองจนครบ 26 ปัจจัย

จากเกณฑ์การให้คะแนนที่ได้กำหนดไว้ ได้ให้ทีมงานให้คะแนนปัจจัยที่มีผลกับตัวแปรตอบสนอง โดยให้ทีมงานแต่ละคนให้คะแนนในแบบสอบถาม ดังแบบฟอร์มในภาคผนวก ก. แล้วนำคะแนนแต่ละคนมาวิเคราะห์ต่อสามารถสรุปผลความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลในตารางที่ 4.6




รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงเหตุและผลกรณีวิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่ามีผลกระทบต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix : Six Area Causes)

| ลำดับ | จำแนกตามสาเหตุ | ปัจจัยที่มีผล | อัตราความสำคัญต่อผลกระทบต่อ ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ผู้ช่วยฝ่ายผลิต | จนท.QA | หน.แผนกพรีเพรส | วิศวกรเครื่องพิมพ์ | จนท.QC งานพิมพ์ | หน.แผนกแพ็คกิ้ง | หน.แผนกพิมพ์ | ช่างพิมพ์ 4 สี | รวม |
| 1 | Man | ขาดความรู้และความเข้าใจ | 8 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 8 | 5 | 55 |
| 2 | | ใช้ประสบการณ์มากกว่ามาตรฐานวิธีการทำงาน | 7 | 6 | 7 | 6 | 5 | 8 | 7 | 8 | 54 |
| 3 | Machine | รอบการจ่ายน้ำของลูกกลิ้งในราง | 7 | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 61 |
| 4 | | Visual Strip ของลูกกลิ้งหมึกแตะเพลท | 7 | 8 | 7 | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 | 61 |
| 5 | | การรองหนุนโมผ้ายาง (Blanket Packing) | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 55 |
| 6 | | แรงกดระหว่างโมเพลท – โมผ้ายาง | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 55 |
| 7 | | การรองหนุนโมเพลท (Plate Packing) | 6 | 7 | 6 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 51 |
| 8 | | ความเร็วในการเดินเครื่องจักร (Speed) | 6 | 4 | 6 | 4 | 6 | 4 | 5 | 4 | 39 |
| 9 | | Visual Strip ของลูกกลิ้งน้ำแตะเพลท | 7 | 7 | 6 | 5 | 6 | 7 | 7 | 8 | 53 |
| 10 | | การทำ Preventive Maintenance/Overhaul | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 5 | 3 | 2 | 26 |
| 11 | | รอบการจ่ายหมึกของลูกกลิ้งในราง | 6 | 10 | 8 | 6 | 8 | 8 | 6 | 8 | 60 |
| 12 | Measurement | Repeatability และ Reproducibility ของพนักงาน | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 24 |
| 13 | | ระบบการ Calibrate เครื่องมือวัด | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 25 |

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix : Six Area Causes)

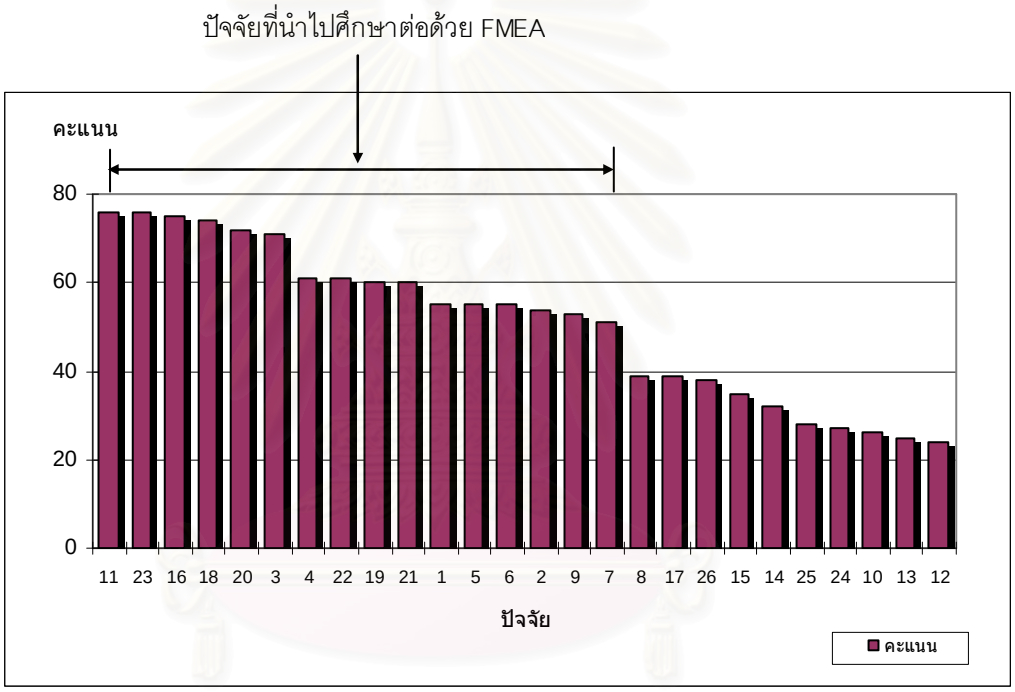
| ลำดับ | จำแนกตามสาเหตุ | ปัจจัยที่มีผล | อัตราความสำคัญต่อผลกระทบต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ผู้ช่วยฝ่ายผลิต | จนท.QA | หน.แผนกพรีเพรส | วิศวกรเครื่องพิมพ์ | จนท.QC งานพิมพ์ | หน.แผนกเพลท | หน.แผนกพิมพ์ | ช่างพิมพ์ 4 สี | รวม |
| 14 | Method | มาตรฐานวิธีการทำแม่พิมพ์ | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 5 | 32 |
| 15 | | การล้างทำความสะอาดสีพิมพ์เก่า | 6 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 4 | 4 | 35 |
| 16 | Material | อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น | 10 | 9 | 9 | 9 | 10 | 9 | 10 | 9 | 75 |
| 17 | | ชนิดผ้ายาง (Blanket type) | 4 | 4 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 39 |
| 18 | | อัตราส่วนผสมของแอลกอฮอล์ (%IPA) ในน้ำยาทำชื้น | 9 | 10 | 9 | 10 | 8 | 9 | 10 | 9 | 74 |
| 19 | | ความหนืด (Viscosity) ของหมึกพิมพ์ | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 | 60 |
| 20 | | ค่า pH น้ำยาทำชื้น ไม่เหมาะสม | 10 | 8 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 8 | 72 |
| 21 | | ชนิดของหมึกพิมพ์ | 10 | 9 | 10 | 9 | 10 | 9 | 10 | 9 | 76 |
| 22 | | ชนิดกระดาษ | 9 | 9 | 10 | 9 | 8 | 9 | 9 | 8 | 71 |
| 23 | | สารเคมีปรับสภาพหมึกพิมพ์ (Additive) | 10 | 9 | 10 | 9 | 10 | 9 | 10 | 9 | 76 |
| 24 | Environment | ฝุ่นละอองและสารเคมี | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 2 | 5 | 27 |
| 25 | | แสงสว่างในการตรวจสอบงานพิมพ์ | 5 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 28 |
| 26 | | อุณหภูมิและความชื้นในห้องพิมพ์ | 5 | 6 | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 38 |

จากการวิเคราะห์ด้วยแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และให้ทีมงานลงคะแนนอัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในตารางที่ 4.6 Cause and Effect Matrix สามารถสรุปปัจจัยที่นำไปศึกษาต่อด้วย FMEA ได้ดังตารางที่ 4.7 เมื่อนำคะแนนที่ได้จากการสรุปในที่ประชุมมาพล็อตเป็นแผนภูมิพาเรโต จะทำให้สามารถคัดเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองในที่นี้คือ ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ได้ดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.7 คะแนนของปัจจัยทั้ง 16 อันดับที่นำไปศึกษาต่อด้วย FMEA

| No. | Area cause | ปัจจัย | คะแนน |
|---|---|---|---|
| 11 | Machine | รอบการจ่ายหมึกของลูกกลิ้งในราง | 76 |
| 23 | Material | สารเคมีปรับสภาพหมึกพิมพ์ (Additive) | 76 |
| 16 | Material | อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น | 75 |
| 18 | Material | อัตราส่วนผสมของ IPA ในน้ำยาทำชื้น | 74 |
| 20 | Material | ค่า pH น้ำยาทำชื้น ไม่เหมาะสม | 72 |
| 3 | Machine | รอบการจ่ายน้ำของลูกกลิ้งในราง | 71 |
| 4 | Machine | Visual Strip ของลูกกลิ้งหมึกแตะเพลท | 61 |
| 22 | Material | ชนิดกระดาษ | 61 |
| 19 | Material | ความหนืด (Viscosity) ของหมึกพิมพ์ | 60 |
| 21 | Material | ชนิดของหมึกพิมพ์ | 60 |
| 1 | Man | ขาดความรู้และความเข้าใจ | 55 |
| 5 | Machine | การรองหนุนโมผ้ายาง (Blanket Packing) | 55 |
| 6 | Machine | แรงกดระหว่างโมเพลท – โมผ้ายาง | 55 |
| 2 | Man | ใช้ประสบการณ์มากกว่ามาตรฐานวิธีการทำงาน | 54 |
| 9 | Machine | Visual Strip ของลูกกลิ้งน้ำแตะเพลท | 53 |
| 7 | Machine | การรองหนุนโมเพลท (Plate Packing) | 51 |
| คะแนนรวม (Total) | | | 1009 |

จากผลการให้คะแนนอัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) โดยมุ่งประเด็นไปที่ปัญหาของการพิมพ์ที่ไม่สม่ำเสมอเป็นประเด็นหลักในการปรับปรุงคุณภาพงานพิมพ์จากผลการให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) โดยสมาชิกกลุ่มพบว่าคะแนนร่วมทั้งหมดของปัจจัยมีค่าเท่ากับ 1,322 คะแนน และทำการเลือกปัจจัยตามลำดับคะแนนที่ได้จัดเรียงไว้ในแผนภูมิพาเรโต เพื่อนำไปศึกษาต่อด้วย FMEA ต่อไปโดยปัจจัยที่ได้เลือกไว้รวมทั้งสิ้น 16 ปัจจัย ดังแสดงในตาราง 4.8 ผลรวมคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่เลือกไว้นี้มีค่าเท่ากับ 1,009 คะแนน ซึ่งเป็นสัดส่วน 76.32%

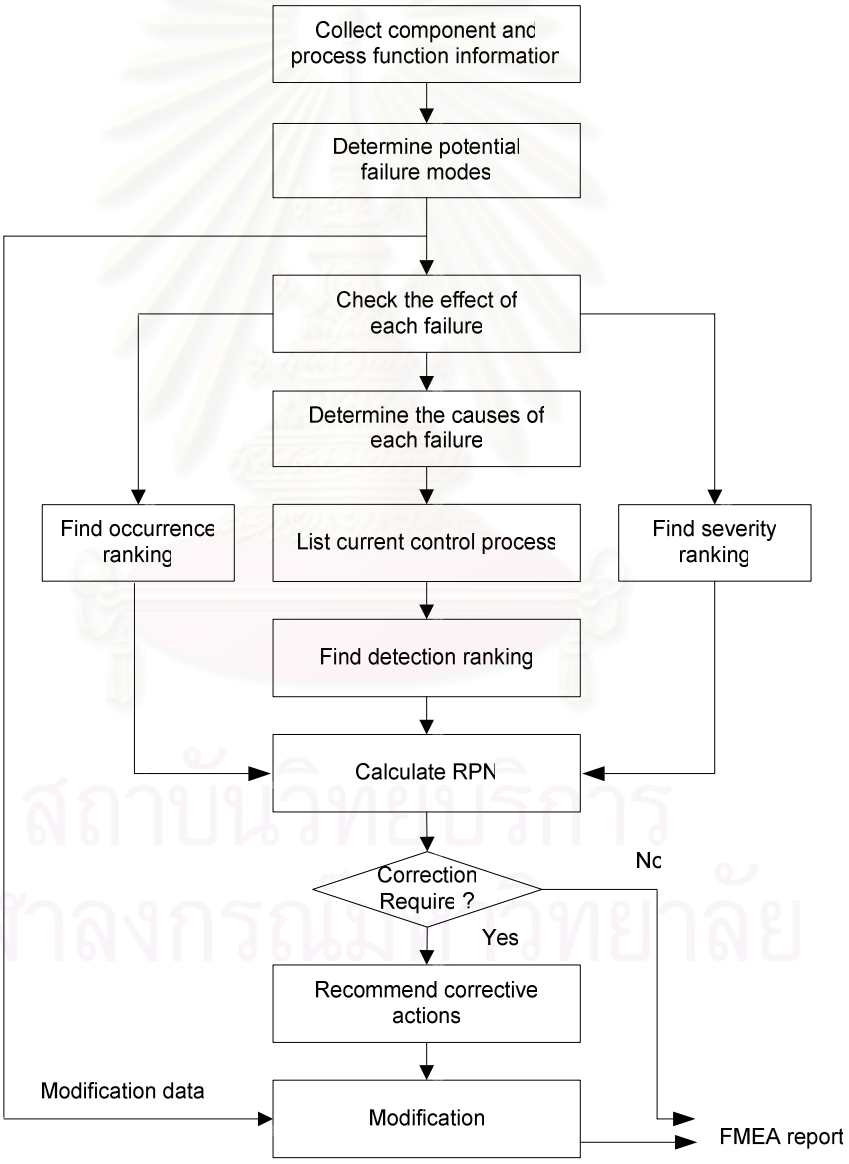



รูปที่ 4.3 กราฟพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.4 การระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ FMEA

หลังจากที่ได้พิจารณาเลือกปัจจัยที่สำคัญจากการพิจารณาด้วย Cause and Effect Diagram แล้วจึงมาทำการกรองปัจจัยโดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) เพื่อศึกษาถึงอาการขัดข้องและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการผลิต ในการวิเคราะห์เป็นการใช้ FMEA สำหรับกระบวนการผลิต โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการดังรูปที่ 4.4




รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของ FMEA

เป้าหมายหลักของ FMEA คือ การสร้างระบบการป้องกันหรือลดโอกาสการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง กำจัดสาเหตุของข้อบกพร่อง รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องให้พบก่อนถูกส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป ซึ่งยังผลให้การร้องเรียนของลูกค้าต่อสินค้า หรือบริการที่ส่งมอบลดลง ความพึงพอใจของลูกค้าอยู่ในระดับสูงขึ้นทำให้องค์กรมีศักยภาพการแข่งขันในระดับสากลทั้งในด้านคุณภาพ ราคา การส่งมอบ การบริการ รวมถึงการสร้างขวัญ กำลังใจและสภาพแวดล้อมในการทำงานอย่างมีคุณภาพ โดยมีรายละเอียดในการจัดทำระบบ FMEA ดังนี้

4.4.1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)

ในการดำเนินงานวิเคราะห์อาการบกพร่องและผลกระทบสำหรับกระบวนการ (PFMEA) มีลำดับขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. จัดตั้งทีมงาน FMEA ในที่นี้สมาชิกควรจะมาจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่หลากหลาย

2. วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ตามขั้นตอนดังนี้

- ระดมสมองเพื่อหาลักษณะข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้น

- ประเมินผลกระทบต่อระบบและหาสาเหตุของข้อบกพร่องแต่ละรายการพร้อมทั้งวิธีตรวจจับข้อบกพร่อง

- ประเมินตัวเลขความเสี่ยงชี้นำ (Risk Priority Number : RPN) โดย RPN = ผลคูณของระดับความรุนแรงของผลกระทบ (S : Severity) ระดับความสามารถในการตรวจจับ (Detection) และโอกาสหรือความถี่ของสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง (O : Occurence) จากตารางที่ 4.8 , 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ โดยในแต่ละค่ามีเกณฑ์ตั้งแต่ 1 -10

โดย RPN (Risk Priority Number) = S X O X D

ค่ามากที่สุดคือ 1,000 (10 x 10 x 10) หมายถึง ความรุนแรงของปัญหารุนแรงที่สุด มีโอกาสเกิดบ่อยครั้งและความสามารถในการตรวจจับได้ต่ำมาก

ค่าน้อยที่สุดคือ 1 (1 x 1 x 1) หมายถึง ความรุนแรงของปัญหาน้อยมาก โอกาสเกิดปัญหาแทบไม่มีเลยและความสามารถในการตรวจจับได้อยู่ในระดับสูง

- วางมาตรการปรับปรุงโดยจัดลำดับความสำคัญตามค่า RPN จากค่ามากไปค่าน้อย (ตัวเลขยิ่งน้อยยิ่งดี ถ้ายิ่งมากต้องรีบหามาตรการดำเนินการแก้ไข / ป้องกัน)

3. ทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยมีการติดตามผลและทบทวนค่า RPN ใหม่โดยการพิจารณา RPN ที่อยู่ในลำดับสูงถัดไปมาดำเนินการแก้ไข ซึ่งต้องมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่องเพื่อลดความรุนแรงของปัญหา ลดโอกาสในการเกิดปัญหาและเพิ่มความสามารถในการตรวจสอบให้ได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.8 กฎเกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (Severity)

| บรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน | ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้บรรจุภัณฑ์ | ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน | คะแนน |
|---|---|---|---|
| เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน | มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ หรือ ขัดต่อ กฎหมายโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า | มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า | 10 |
| เกิดอันตรายโดยมีการเตือน | กระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ หรือขัดต่อ กม.มีการเตือนล่วงหน้า | ลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือนล่วงหน้า | 9 |
| ผลกระทบสูงมาก | ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากสูญเสียความสามารถในการทำหน้าที่หลักของบรรจุภัณฑ์ | บรรจุภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลาย หรือส่งเข้าซ่อมแซมแก้ไขโดยใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง | 8 |
| ผลกระทบสูง | บรรจุภัณฑ์นำไปใช้งานได้ แต่ระดับสมรรถนะลดลงจนทำให้ลูกค้าไม่พอใจมาก | อาจจะมีการตรวจสอบบรรจุภัณฑ์แบบคัดเลือก และบางส่วน (น้อยกว่า100%) ที่อาจถูกทำลายหรือส่งซ่อมแซมแก้ไขระหว่าง 1/2-1 ชม. | 7 |
| ผลกระทบปานกลาง | บรรจุภัณฑ์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้ แต่ขาดความสะดวกสบายทำให้ลูกค้าไม่พอใจ | บรรจุภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า100%) อาจถูกทำลาย และไม่ต้องตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) หรือส่งเข้าซ่อมแซมแก้ไขใช้เวลาต่ำกว่าครึ่งชม. | 6 |
| ผลกระทบต่ำ | บรรจุภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้ด้วยความสะดวกสบาย แต่ระดับสมรรถนะลดลง | บรรจุภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์คหรือได้รับการซ่อมแซมนอกสายการผลิตที่ฝ่ายผลิต | 5 |
| ผลกระทบต่ำมาก | ความเรียบร้อยของบรรจุภัณฑ์ไม่ดีนักอาจตำหนิบ้างลูกค้าส่วนใหญ่ (>75%) สามารถสังเกตเห็นจุดข้อบกพร่องได้ | บรรจุภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) โดยไม่มีส่วนที่ต้องถูกทำลายแต่บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจได้รับการรีเวิร์ค | 4 |
| ผลกระทบเล็กน้อย | ความเรียบร้อยของบรรจุภัณฑ์ไม่ดีนักอาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้าประมาณครึ่งสามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้ | บรรจุภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์คในสายการผลิตแต่นอกจุดปฏิบัติงานที่ต้องถูกทำลาย | 3 |
| เกือบไม่มีผลกระทบ | ความเรียบร้อยของบรรจุภัณฑ์ไม่ดีนักอาจมีตำหนิบ้างโดยที่ลูกค้าส่วนใหญ่ (<25%) สังเกตเห็นข้อบกพร่องได้ | บรรจุภัณฑ์บางส่วน (<100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์คในสายการผลิตแต่นอกจุดที่จุดปฏิบัติงานไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ถูกทำลาย | 2 |
| ไม่มีผลกระทบ | ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้ | อาจมีความไม่สะดวกสบายเล็กน้อยต่อการใช้งานหรือตัวพนักงานหรือไม่มีผลกระทบใด ๆ | 1 |

ตารางที่ 4.9 กฎเกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม (Detection)

| การตรวจจับ | กฎเกณฑ์ | ประเภทตรวจสอบ | | | ขอบเขตวิธีการตรวจจับ | คะแนน |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | | |
| เกือบเป็นไปไม่ได้ | ไม่มีระบบการตรวจจับใด ๆ | | | X | ไม่สามารถตรวจจับหรือตรวจสอบได้ | 10 |
| ห่างไกลมาก | มีระบบควบคุม , ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้ | | | X | การควบคุมกระทำได้โดยทางอ้อมหรือเป็นการสุ่มตรวจ | 9 |
| ห่างไกล | มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่อง | | | X | การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า visual inspection เท่านั้น | 8 |
| ต่ำมาก | มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับได้ | | | X | การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบตาเปล่า 2 ครั้ง เท่านั้น | 7 |
| ต่ำ | มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้ | | X | X | การควบคุมกระทำได้ด้วยแผนภูมิ SPC | 6 |
| ปานกลาง | มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้ | | X | | มีการควบคุมโดยใช้เครื่องมือวัดวัดชิ้นงานก่อนออกจากจุดปฏิบัติงาน หรือใช่เกจ แบบ Go/NoGo ก่อนจากจุดปฏิบัติ | 5 |
| ค่อนข้างสูง | มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อผิดพลาดได้ | X | X | | มีการตรวจจับบกพร่องในกระบวนการถัดไปหรือมีการใช้เครื่องมือวัดวัดงานชิ้นแรกในขั้นตอนการปรับตั้ง (set-up) | 4 |
| สูง | มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้ | X | X | | มีการตรวจจับสีเพี้ยนที่จุดปฏิบัติงาน หรือมีการตรวจจับในกระบวนการถัดไปโดยตรวจสอบเพื่อการยอมรับ | 3 |
| สูงมาก | มีระบบควบคุมและเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้ | X | X | | มีการตรวจจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานด้วยเครื่องมือตรวจจับอัตโนมัติ ชิ้นงานบกพร่องไม่สามารถผ่านไปได้ | 2 |
| สูงมาก | มีระบบควบคุมและมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้ | X | | | ไม่มีโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเพราะใช้ Poka-Yoke ในขั้นตอนการออกแบบ Product | 1 |

หมายเหตุ : A = การป้องกันความผิดพลาด

B = การใช้อุปกรณ์วัด (Gaging)

C = ตรวจสอบโดยอาศัยบุคคล (Manual inspection

ตารางที่ 4.10 กฎเกณฑ์การประเมินผลโอกาสของผลกระทบที่เกิดขึ้น (Occurrence)

| โอกาสในเกิดขึ้นของสาเหตุหนึ่ง ๆ | อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ (PPM) | Ppk | คะแนน |
|---|---|---|---|
| สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ | ≥ 100,000 (หรือ 10%) | <.055 | 10 |
| | 50,000 (หรือ 5%) | ≥ 0.55 | 9 |
| สูง : เกิดข้อบกพร่องบ่อย | 20,000 (หรือ 2%) | ≥ 0.78 | 8 |
| | 10,000 (หรือ 1%) | ≥ 0.86 | 7 |
| ปานกลาง : เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว | 5,000 (หรือ 0.5%) | ≥ 0.94 | 6 |
| | 2,000 (หรือ 0.2%) | ≥ 1.00 | 5 |
| | 1,000 (หรือ 0.1%) | ≥ 1.10 | 4 |
| ต่ำ : เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย | 500 | ≥ 1.20 | 3 |
| | 100 | ≥ 1.30 | 2 |
| ห่างไกล : เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย | ≤ 10 | ≥ 1.67 | 1 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ

POTENTIAL

FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

(Process FMEA : PFMEA)

| | |
|---|---|
| Process Name : | กระบวนการพิมพ์ (Printing Process) |
| Product Name : | P.BOX Ovaltine Chocolate 200 gram. |
| Responsible : | Printing Engineer , QA , Supervisor ,QC |

| | |
|---|---|
| FMEA No : 001-2006 | Page : 1 of 4 |
| FMEA Date : 12-Dec -2006 | Revision : 00/2006 |
| Prepare By : QA , Engineer ,Production , Planning | |

| No. | Process Step/Part Number | Potential Failure Mode | Potential Failure Effect | SEV | Potential Cause | OCC | Current Controls | DET | RPN | Actions Recommended |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 7 | รอบการจ่ายน้ำยาทำชื้นมากหรือน้อยเกินไป | 2 | ปรับแต่งจากเครื่องอ่านค่าพื้นที่หมึกพิมพ์ (เครื่องPSS) | 3 | 42 | เพิ่มการควบคุมสภาวะการพิมพ์ให้อยู่ในช่วงที่กำหนด |
| 2 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 7 | ตั้งแรงค่ากดระหว่างชุดลูกกลิ้งหมึกมากเกินไป | 3 | ปรับตั้งตามมาตรฐานคู่มือเครื่องจักรและชนิดวัสดุ | 4 | 84 | ตรวจสอบและปรับตั้งค่าตามน้ำหนักแรงกดตามประเภทงานและบันทึกข้อมูลเชิงสถิติ |
| 3 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 6 | การรองหนุนของโมผ้ายางไม่ถูกต้องตามมาตรฐาน | 3 | ปรับตั้งตามมาตรฐานคู่มือเครื่องจักรและชนิดวัสดุ | 3 | 54 | -- |
| 4 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 6 | แรงกดระหว่างโมเพลทและโมผ้ายางไม่ถูกต้อง | 3 | ปรับตั้งตามมาตรฐานคู่มือเครื่องจักรและชนิดวัสดุ | 3 | 54 | บันทึกค่าที่เหมาะสมสำหรับเป็นมาตรฐานในการผลิตครั้งต่อไป |

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ

POTENTIAL

FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

(Process FMEA : PFMEA)

| | |
|---|---|
| Process Name : | กระบวนการพิมพ์ (Printing Process) |
| Product Name : | P.BOX Ovaltine Chocolate 200 gram. |
| Responsible : | Printing Engineer , QA , Supervisor ,QC |

| | |
|---|---|
| FMEA No : 001-2006 | Page : 2 of 4 |
| FMEA Date : 12-Dec -2006 | Revision : 00/2006 |
| Prepare By : QA , Engineer ,Production , Planning | |

| No. | Process Step/Part Number | Potential Failure Mode | Potential Failure Effect | SEV | Potential Cause | OCC | Current Controls | DET | RPN | Actions Recommended |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 6 | การรองหนุนของโมเพลทและโมผ้ายางไม่ถูกต้อง | 3 | ปรับตั้งตามมาตรฐานคู่มือเครื่องจักรและชนิดวัสดุ | 3 | 54 | -- |
| 6 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 7 | ไม่มีการกำหนดความเร็วมาตรฐานในการเดินเครื่อง | 3 | ปรับตั้งที่ความเร็วปกติ 7,500-10,000 แผ่น/ชั่วโมง | 4 | 84 | ตรวจวัดค่าสีมาตรฐานและกำหนดความเร็วมาตรฐานในแต่ละประเภทงาน |
| 7 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 7 | ตั้งค่าแรงกดระหว่างชุดลูกกลิ้งน้ำมากเกินไป | 3 | ปรับตั้งตามมาตรฐานคู่มือเครื่องจักรและชนิดวัสดุ | 4 | 84 | ตรวจสอบและปรับตั้งค่าตามน้ำหนักแรงกดตามประเภทงานและบันทึกข้อมูลเชิงสถิติ |
| 8 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 7 | รอบการจ่ายหมึกพิมพ์มากหรือน้อยไป | 2 | ปรับแต่งจากเครื่องอ่านค่าพื้นที่หมึกพิมพ์ (เครื่องPSS) | 3 | 42 | เพิ่มการควบคุมสภาวะการพิมพ์ให้อยู่ในช่วงที่กำหนด |

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ

POTENTIAL

FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

(Process FMEA : PFMEA)

| | |
|---|---|
| Process Name : | กระบวนการพิมพ์ (Printing Process) |
| Product Name : | P.BOX Ovaltine Chocolate 200 gram. |
| Responsible : | Printing Engineer , QA , Supervisor ,QC |

| | |
|---|---|
| FMEA No : 001-2006 | Page : 3 of 4 |
| FMEA Date : 12-Dec -2006 | Revision : 00/2006 |
| Prepare By : QA , Engineer ,Production , Planning | |

| No. | Process Step/Part Number | Potential Failure Mode | Potential Failure Effect | SEV | Potential Cause | OCC | Current Controls | DET | RPN | Actions Recommended |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 7 | มาตรฐานวิธีการทำแม่พิมพ์ (เพลท) ไม่เหมาะสม | 2 | Step การฉายแสงระดับ 6 ความละเอียดภาพ 150 LPI อุณหภูมิห้อง 25 องศา | 2 | 28 | เพิ่มการตรวจสอบปัจจัยสภาพแวดล้อมในการผลิตแม่พิมพ์ให้ได้มาตรฐาน |
| 10 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 7 | การล้างทำความสะอาดสีพิมพ์เก่า/การ Reset สีใหม่ | 2 | เพิ่มเวลาล้างทำความสะอาดตรวจสอบสภาพยางปาด | 2 | 28 | -- |
| 11 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 9 | อัตราส่วนผสมของ %IPA (แอลกอฮอล์) เปลี่ยนแปลง | 8 | ปรับเพิ่มปริมาณ %IPA โดยดูจากลักษณะชิ้นงาน | 7 | 504 | ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสม |
| 12 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 7 | ความเหนียวของหมึกพิมพ์ไม่ได้ตามค่ามาตรฐาน | 3 | ตรวจสอบจากใบรับรอง COA ของโรงงานผู้ขาย | 3 | 63 | -- |

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ

POTENTIAL

FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

(Process FMEA : PFMEA)

| | |
|---|---|
| Process Name : | กระบวนการพิมพ์ (Printing Process) |
| Product Name : | P.BOX Ovaltine Chocolate 200 gram. |
| Responsible : | Printing Engineer , QA , Supervisor ,QC |

| | |
|---|---|
| FMEA No : 001-2006 | Page : 4 of 4 |
| FMEA Date : 12-Dec -2006 | Revision : 00/2006 |
| Prepare By : QA , Engineer ,Production , Planning | |

| No. | Process Step/Part Number | Potential Failure Mode | Potential Failure Effect | SEV | Potential Cause | OCC | Current Controls | DET | RPN | Actions Recommended |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 7 | ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำยาทำชื้นไม่เหมาะสม | 7 | ตรวจวัดด้วย pH Meter กำหนดช่วง 4 - 6 | 8 | 392 | ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสม |
| 14 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 7 | การผสมสารเคมีปรับแต่งในหมึกพิมพ์ (Additive) | 8 | -- | 8 | 448 | ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสม |
| 15 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 4 | อุปกรณ์ทำความเย็นทำงานผิดปกติ | 3 | ตรวจเช็คด้วยเทอร์โมมิเตอร์และแจ้งหน่วยงานซ่อมบำรุง | 3 | 36 | ดำเนินการตามระบบ PM Overhaul ตามเวลาที่กำหนด |
| 16 | พิมพ์ | สีพิมพ์เพี้ยน (ค่าความเปรียบต่างสีต่ำ) | ของเสีย | 7 | อุณหภูมิของน้ำยาทำชื้นไม่เหมาะสม | 7 | ตรวจสอบทุก 1 ชั่วโมง | 8 | 392 | ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสม |

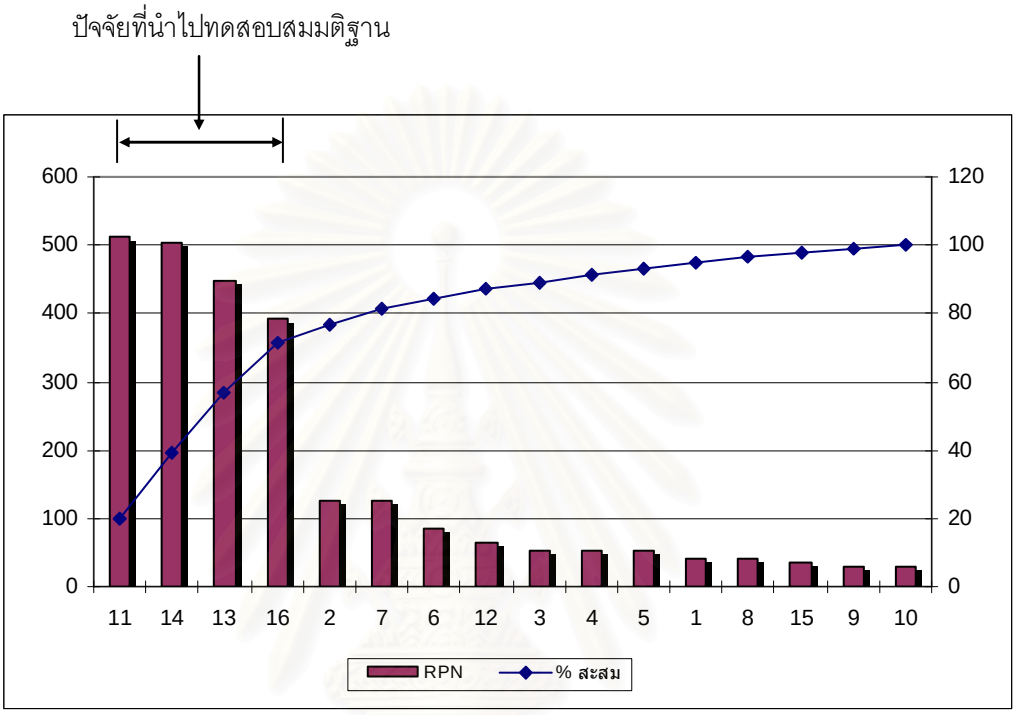
จากการวิเคราะห์หาความรุนแรงของสาเหตุของปัญหาจาก FMEA ในตารางที่ 4.11 จะได้ผลสรุปค่า RPN ซึ่งสามารถสรุปดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงค่า RPN ที่วิเคราะห์ได้จากตาราง FMEA

| No. | Cause of Failure Mode | RPN |
|---|---|---|
| 11 | อัตราส่วนผสมของ IPA แปรเปลี่ยนไม่คงที่ | 504 |
| 14 | การผสมสารเคมีปรับแต่งในหมึกพิมพ์ (Additive) | 448 |
| 13 | ค่าความเป็นกรด – ด่างน้ำยาทำชื้น (pH) ไม่เหมาะสม | 392 |
| 16 | อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นไม่เหมาะสม | 392 |
| 2 | ตั้งค่าแรงกดระหว่างชุดลูกกลิ้งหมึกมากไปเกินไป | 84 |
| 7 | ตั้งค่าแรงกดระหว่างชุดลูกกลิ้งน้ำมากไปเกินไป | 84 |
| 6 | ไม่มีการกำหนดความเร็วมาตรฐานในการเดินเครื่อง | 84 |
| 13 | ความเหนียวของหมึกพิมพ์ไม่ได้ตามค่ามาตรฐาน | 63 |
| 4 | แรงกดระหว่างโมเพลทและโมผ้ายางไม่ถูกต้อง | 54 |
| 5 | การรองหนุนของโมเพลทและโมผ้ายางไม่ถูกต้อง | 54 |
| 3 | การรองหนุนของโมผ้ายางไม่ถูกต้องตามค่ามาตรฐาน | 54 |
| 8 | รอบการจ่ายหมึกพิมพ์มากไปหรือน้อยเกินไป | 42 |
| 1 | รอบการจ่ายน้ำยาทำชื้นมากไปหรือน้อยเกินไป | 42 |
| 15 | อุปกรณ์ทำความเย็นทำงานผิดปกติ | 36 |
| 10 | การล้างทำความสะอาดสีพิมพ์เก่า/การ Reset สีใหม่ | 28 |
| 9 | มาตรฐานวิธีทำแม่พิมพ์ไม่มีความเหมาะสม | 28 |
| ผลรวม (Total) | | 2,389 |

จากการวิเคราะห์ร่วมกันของทีมงานมีความเห็นว่าปัญหาของสีพิมพ์ที่เพี้ยนไปจากมาตรฐานนั้นเกิดขึ้นหลังจากวิ่งงานไประยะหนึ่งแล้วเกิดปัญหาหมึกพิมพ์และน้ำไม่มีความสมดุลกันโดยที่ตัวแปรที่ทีมงานลงความเห็นร่วมกันคือ ระบบน้ำยาทำชื้นไม่มีประสิทธิภาพดีพอและส่วนหนึ่งจากการที่หมึกพิมพ์สูญเสียคุณสมบัติในส่วนของค่าความเหนียวหนืด (Tack) ทำให้หมึกพิมพ์ไหลเร็ว และค่าความหนืดที่ลดลง เมื่อสมดุลระหว่างน้ำยาทำชื้นและหมึกพิมพ์ที่ผิวหน้าแม่พิมพ์เปลี่ยนไปย่อมทำให้คุณสมบัติการถ่ายทอดหมึกลงสู่แม่พิมพ์เปลี่ยนไป

ทำให้การควบคุมคุณภาพระหว่างการพิมพ์ทำได้ยากขึ้น ส่งผลต่อความสม่ำเสมอของคุณภาพของสีพิมพ์ที่แปรเปลี่ยนไม่คงที่ตลอดระยะเวลาในการพิมพ์ จากข้อมูลในตารางที่ 4.12 เมื่อสรุปผลค่า RPN เป็นแผนภูมิพาเรโต เพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหา พบว่าสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาสีพิมพ์เพี้ยนในกระบวนการผลิตมากที่สุดมาจากปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย




รูปที่ 4.5 กราฟพาเรโตแสดงสาเหตุปัญหาที่ทำให้เกิดของเสีย

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) ได้นำผลคะแนน RPN ที่ได้มาจัดเรียงจากมากไปน้อย และพล็อตแผนภูมิพาเรโต เพื่อพิจารณาลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ดังรูป 4.5 และจากการพิจารณา แผนภูมิพาเรโตพบว่าสาเหตุที่สำคัญที่จะถูกเลือกเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อมีดังนี้

- อัตราส่วนผสมของ IPA ในน้ำยาทำชื้น
- การผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ (Additive)
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำยาทำชื้น
- อุณหภูมิของน้ำยาทำชื้น (Temperature)

## 4.5 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา

ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้คือ ผลของการวิเคราะห์ความเม่นยำของระบบการวัด ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุ และผล (Cause and Effect Diagram) และผลจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) โดยนำผลลัพธ์ที่ได้เหล่านี้ไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

4.5.1 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดพบว่าระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจสอบทั้ง 2 ประเภท ซึ่งประกอบไปด้วย

- การวิเคราะห์ระบบการวัดในลักษณะข้อมูลที่นับค่าได้ (Attribute data)
- การวิเคราะห์ระบบการวัดในลักษณะข้อมูลที่วัดค่าได้ (Variable data)

4.5.2 ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix)

จากปัจจัยนำเข้าที่นำมาพิจารณาทั้งสิ้น 26 ปัจจัย มาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการ และปัจจัยนำเข้า ด้วยตารางสาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix) แล้วจัดเรียงลำดับคะแนนตามความสำคัญด้วยผังพาเรโตจึงเหลือปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองเพียง 16 ปัจจัย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) ต่อไป

4.5.3 จากการจัดลำดับความสำคัญด้วยผังพาเรโต ในขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) พบว่าสาเหตุหลักที่สำคัญที่มีแนวโน้มกับผลให้เกิดปัญหาสีพิมพ์เพี้ยน 71.63 % มาจาก 4 สาเหตุหลัก ได้แก่

- อัตราส่วนผสมของแอลกอฮอล์ (%IPA) ในน้ำยาทำชื้น
- การผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ (Additive)
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำยาทำชื้น
- อุณหภูมิของน้ำยาทำชื้น (Temperature)

ซึ่งสาเหตุหลัก ทั้งหมดนี้ จะนำไปวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญในขั้นตอนการวิเคราะห์และปรับปรุงต่อไป

# บทที่ 5

# การดำเนินการวิเคราะห์และปรับปรุง

## 5.1 บทนำ

การวิเคราะห์ปัญหาโดยการตัดสินใจซึ่งปราศจากข้อมูลทางสถิติอ้างอิงจะทำให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ดังนั้น ในขั้นตอนการวิเคราะห์นี้จึงมีความสำคัญอย่างมากที่ต้องอาศัยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ คือ การตั้งสมมติฐานและการทดสอบสมมติฐาน การวิเคราะห์เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา โดยนำหลักการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) มาใช้โดยเลือกสาเหตุจากการเรียงลำดับจากเหตุที่มีความเป็นไปได้สูงกว่าหรือมีความร้ายแรงมากกว่า ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาก่อนหลังตามลำดับ แต่ทั้งนี้เหตุที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดอาจจะไม่จำเป็นต้องเป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาก็ได้

โดยทั่วไป การวิเคราะห์โดยอาศัยสารสนเทศที่ได้จากการทดลองจะลดโอกาสผิดพลาดได้ การตัดสินใจที่อาศัยหลักการของสถิติวิศวกรรมหรือหลักอนุมานทางสถิติ โดยการดำเนินการทดลองเพื่อหาข้อมูลสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าสาเหตุที่สงสัยนั้นคือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือความบกพร่องด้านคุณภาพ การแก้ปัญหาโดยการลองผิดลองถูก โดยไม่ได้ทำการทดลองหรือทดสอบด้วยวิธีการเก็บข้อมูลและพิสูจน์ข้อมูลอย่างถูกต้องเป็นวิธีการที่ไม่ได้ทำการแก้ปัญหาอย่างแท้จริง ปัญหาเหล่านี้อาจจะดีขึ้นชั่วขณะแต่ก็กลับเกิดขึ้นอีกในภายหลัง การกำจัดสาเหตุของปัญหานั้น จะทำโดยการยึดหลักกำจัดสาเหตุหลัก ๆ ให้หมดก่อนแล้วติดตามผลของปัญหาต่อไป ดังนั้น ในการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาจึงต้องทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและปัจจัยแวดล้อมของปัญหาให้ได้มากที่สุด เพื่อสามารถยืนยันได้อย่างแน่ชัดว่าสาเหตุเหล่านั้นเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาคุณภาพหรือไม่

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาในบทที่ 4 ผู้วิจัยและทีมงานมีความเห็นว่าการปรับปรุงในส่วนดังกล่าวมีความคุ้มค่าทั้งในแง่ของเวลาและกรรมวิธีในการออกแบบการทดลอง ดังนั้นแนวทางในการแก้ไขจึงมุ่งเน้นไปที่ การวิเคราะห์และปรับปรุงปัจจัยที่ส่งผลต่อสมดุลระหว่างปริมาณน้ำยาทำชื้นและหมึกพิมพ์เป็นสำคัญเนื่องจากสามารถนำผลที่ได้ไปใช้ได้กับการผลิตงานพิมพ์ทุกผลิตภัณฑ์

## 5.2 **การทดสอบสมมติฐาน** (Hypothesis test)

ในการทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐานของทั้ง 4 ปัจจัย จะทำการทดสอบสมมติฐานระดับของแต่ละปัจจัยใน 2 ระดับที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลอง และสามารถทำงานทดลองได้ง่าย ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการทดสอบสมมุติฐานดังนี้

1.อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น (Temperature) หน่วยองศาเซลเซียส
2.การผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ (Additive)
3.ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) น้ำยาทำชื้น
4.ส่วนผสมของแอลกอฮอล์ ในน้ำยาทำชื้น (Isopropyl Alcohol : %IPA)

### 5.2.1 **การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่าง** (Sample Size)

การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐานนี้ ใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการคำนวณซึ่งวิเคราะห์จากฟังก์ชัน Power and Sample Size โดยกำหนดค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

- ระดับนัยสำคัญ ($\alpha$) เท่ากับ 0.05
- ความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน ($\beta$) เท่ากับ 0.05
- ความแตกต่าง หรือ (Difference) เท่ากับ 1
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : $\sigma$) เท่ากับ 1

**Power and Sample Size**

2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 1

| Sample Difference | Target Size | Power | Actual Power |
|---|---|---|---|
| 1 | 27 | 0.95 | 0.950077 |

The sample size is for each group.

ดังนั้นจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมติฐานปัจจัยแต่ละประเภท คือ 27 ตัวอย่าง

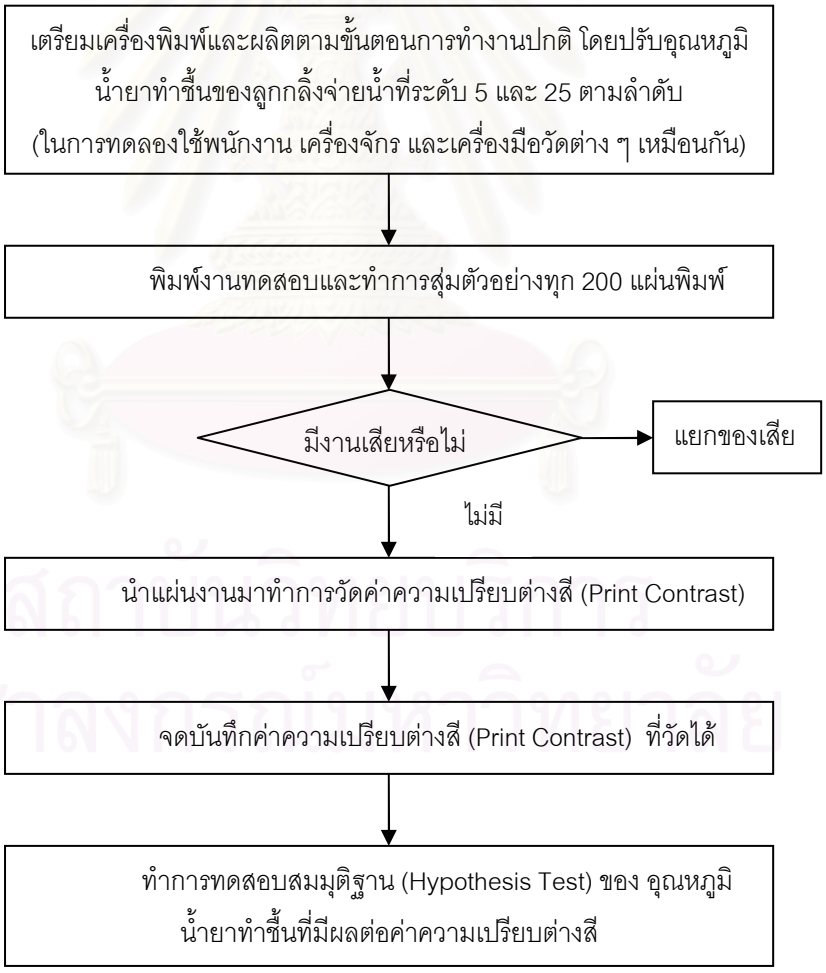
### 5.2.2 **อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น** (Temperature of Dampening Solution)

อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น เป็น การปรับตั้งค่าอุณหภูมิเพื่อส่งต่อความเย็นไปยังผิวหน้าเพลท เพื่อทำให้ผิวหน้าเพลทมีความเย็นพอที่จะสามารถรักษาคุณสมบัติความเหนียวของหมึกพิมพ์ได้ โดยไม่ทำให้คุณสมบัติของหมึกพิมพ์เปลี่ยนไป ซึ่งอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นที่แตกต่างกันน่าจะส่งผลต่อความเปรียบต่างสี (Print Contrast) จึงส่งผลให้ได้คุณภาพงานพิมพ์โดยเฉพาะค่าความแตกต่างสีที่แตกต่างกัน

สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

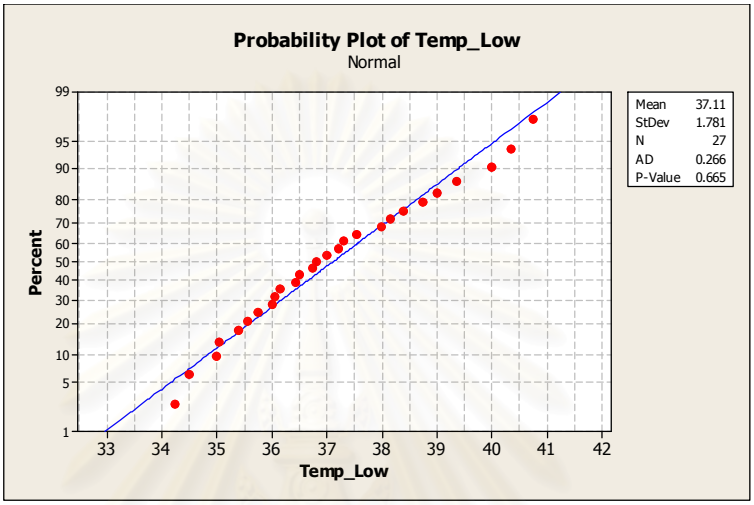
$H_0$ = อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นไม่มีผลต่อความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี

$H_1$ = อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นมีผลต่อความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี

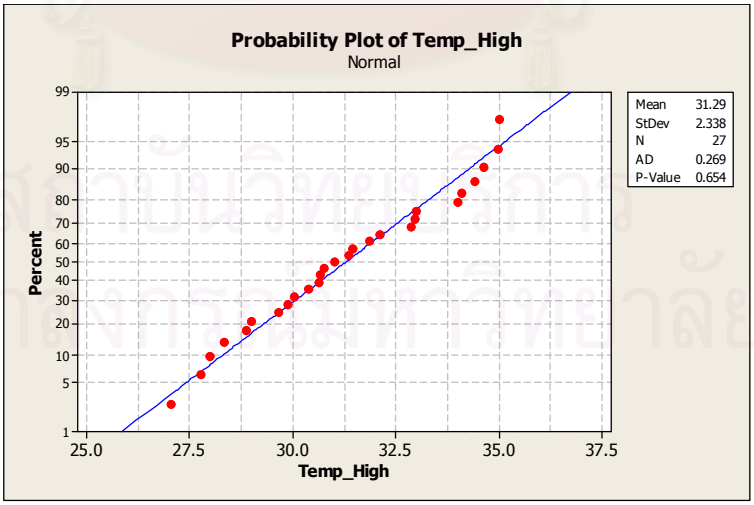



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานสำหรับอุณหภูมิน้ำยาทำชื้น ที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

ผลการตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) ของอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นที่ระดับต่ำ (5 องศาเซลเซียส) และระดับสูง (25 องศาเซลเซียส) ผลที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 5.2 และ 5.3




รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อปรับตั้งอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นที่ระดับต่ำ (5 องศาเซลเซียส)




รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อปรับตั้งอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นที่ระดับสูง (25 องศาเซลเซียส)

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) มีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบ คือ

$$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$$
$$H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$$

โดยกำหนดให้ $\sigma^2_1$ และ $\sigma^2_2$ แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ที่มีการปรับตั้งอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นที่ระดับ 5 และ 25 องศาเซลเซียส การประมวลด้วยโปรแกรม MINITAB สรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.4

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี ในกระบวนการพิมพ์ที่อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง

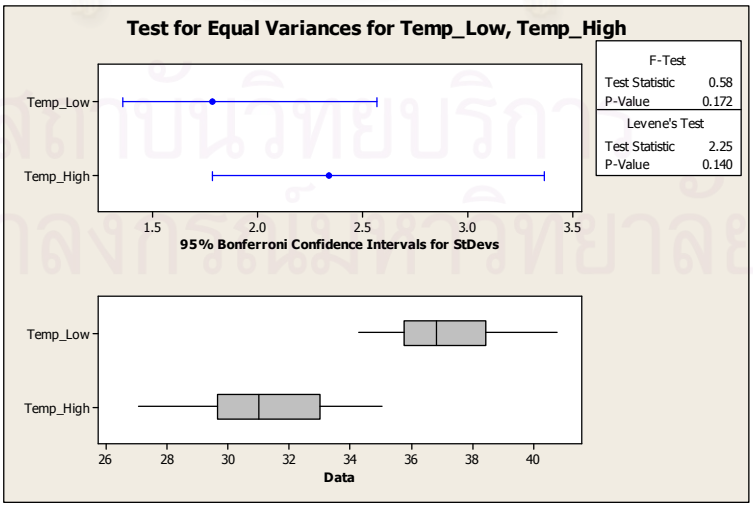
**Test for Equal Variances: Temp_Low, Temp_High**

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

| | N | Lower | StDev | Upper |
|---|---|---|---|---|
| Temp_Low | 27 | 1.35772 | 1.78146 | 2.56244 |
| Temp_High | 27 | 1.78178 | 2.33787 | 3.36277 |

F-Test (normal distribution)
Test statistic = 0.58, p-value = 0.172

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 2.25, p-value = 0.140




รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี กระบวนการพิมพ์ที่อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง เท่ากับ 5 และ 25 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่การปรับตั้งอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นระดับต่ำและระดับสูง เท่ากับ 5 และ 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าค่า P-Value ที่ได้มีค่ามากกว่านัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าความแตกต่างสี ในกระบวนการพิมพ์ทั้ง 2 ระดับมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% จากนั้นจึงดำเนินการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของค่าความเปรียบต่างสี ที่เกิดในการพิมพ์ที่อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น ค่าเท่ากับ 5 และ 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับโดยมีสมมติฐานในการตรวจสอบดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ $\mu_1$ และ $\mu_2$ แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ที่อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นเท่ากับ 5 และ 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากการประมวลด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.5

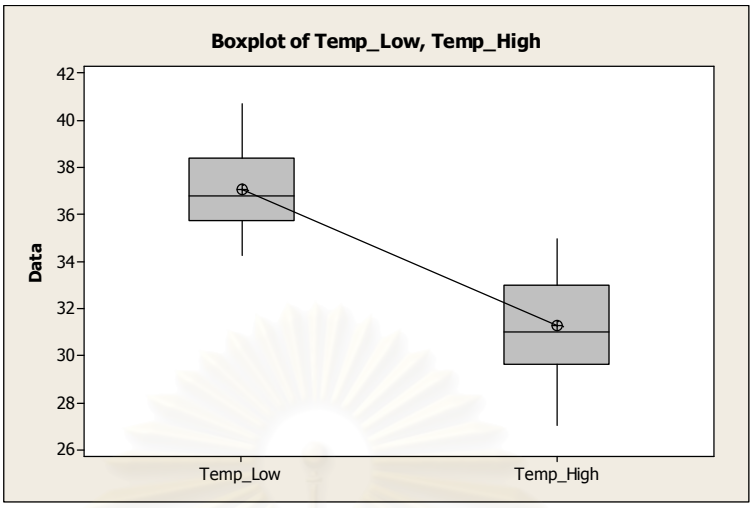
ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น ที่มีค่าเท่ากับ 5 และ 25 องศาเซลเซียส

**Two-Sample T-Test and CI: Temp_Low, Temp_High**

Two-sample T for Temp_Low vs Temp_High

| | N | Mean | StDev | SE Mean |
|---|---|---|---|---|
| Temp_Low | 27 | 37.11 | 1.78 | 0.34 |
| Temp_High | 27 | 31.29 | 2.34 | 0.45 |

Difference = mu (Temp_Low) - mu (Temp_High)
Estimate for difference: 5.82074
95% CI for difference: (4.68340, 6.95808)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 10.29 P-Value = 0.000 DF = 48




รูปที่ 5.5 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นระดับต่ำและระดับสูง เท่ากับ 5 และ 25 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างสีในกระบวนการพิมพ์ที่อุณหภูมิเท่ากับ 5 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าค่า P-Value ที่ได้มีค่าน้อยกว่านัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ทั้ง 2 ระดับมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

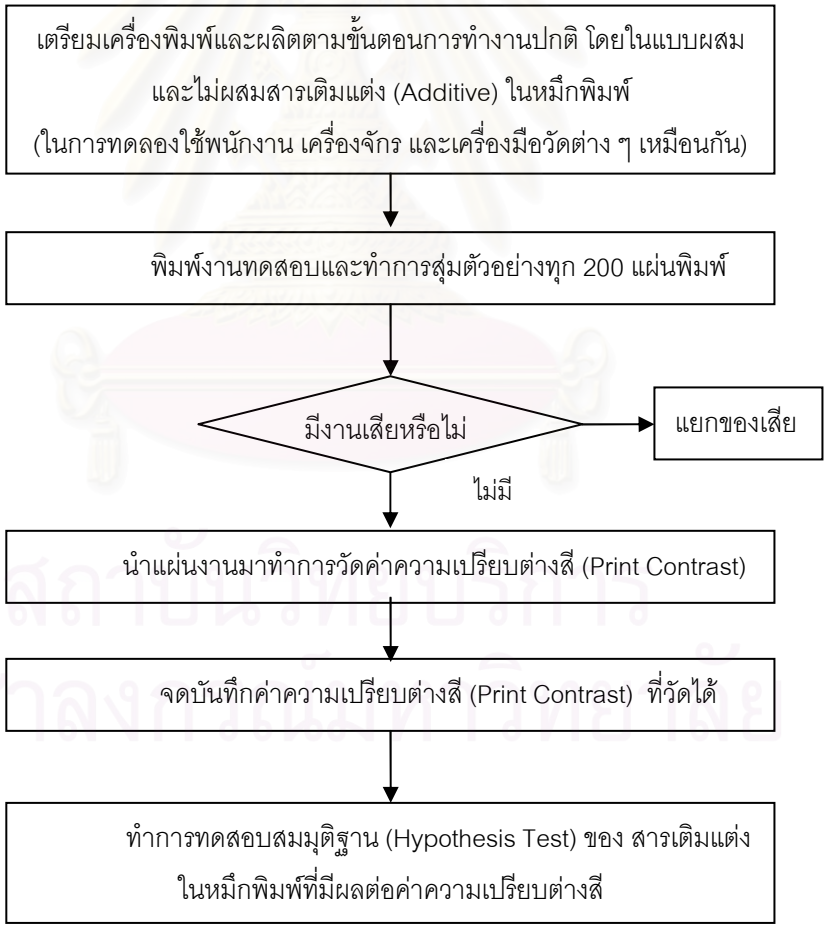
### 5.2.3 **สารเติมแต่งในหมึกพิมพ์** (Additive)

การผสมสารเติมแต่ง (Additive) ในหมึกช่างพิมพ์เชื่อว่า การผสมสารเติมแต่งดังกล่าวเติมเพื่อปรับสภาพของหมึกพิมพ์มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นช่วยปรับปรุงคุณภาพสีพิมพ์ ทีมงานต้องการทดสอบว่าการผสมหรือไม่ผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ที่สภาวะการพิมพ์แบบเดียวกันน่าจะส่งผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) แตกต่างกัน

สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

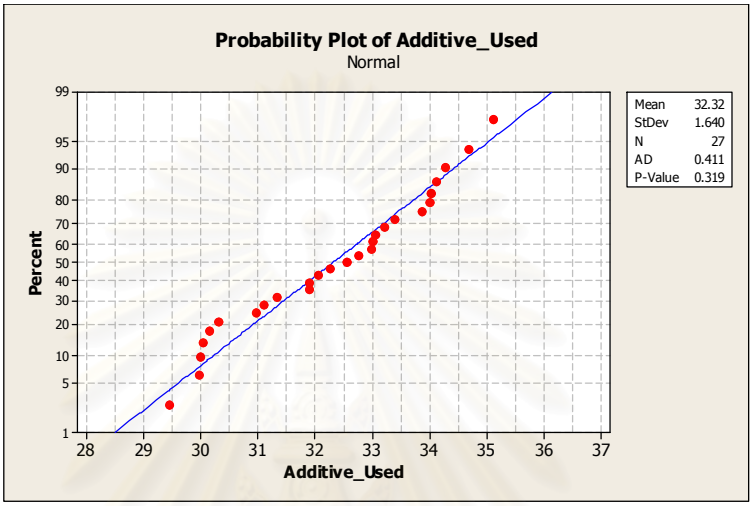
$H_0$ = สารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ไม่มีผลต่อความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

$H_1$ = สารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ไม่มีผลต่อความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

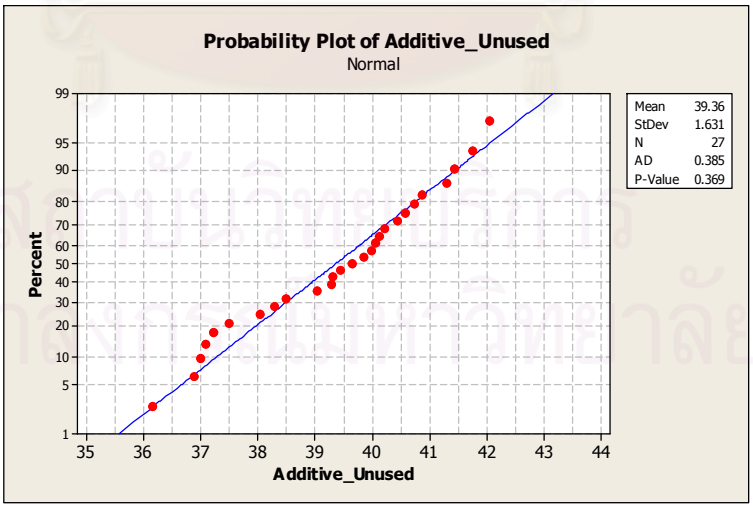



รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานสำหรับการผสมและไม่ผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

ผลการตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) ของการผสมและไม่ผสมสารเติมแต่ง (Additive) ในหมึกพิมพ์ ผลที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 5.7 และ 5.8




รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อไม่ผสมสารเติมแต่ง (Additive) ในหมึกพิมพ์




รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อผสมสารเติมแต่ง (Additive) ในหมึกพิมพ์

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) มีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบ คือ

$$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$$
$$H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$$

โดยกำหนดให้ $\sigma^2_1$ และ $\sigma^2_2$ แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ที่มีการผสมและไม่ผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ (Additive) การประมวลด้วยโปรแกรม MINITAB สรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.9

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี ในกระบวนการพิมพ์ที่ผสมและไม่ผสมสารเติมแต่ง (Additive) ในหมึกพิมพ์

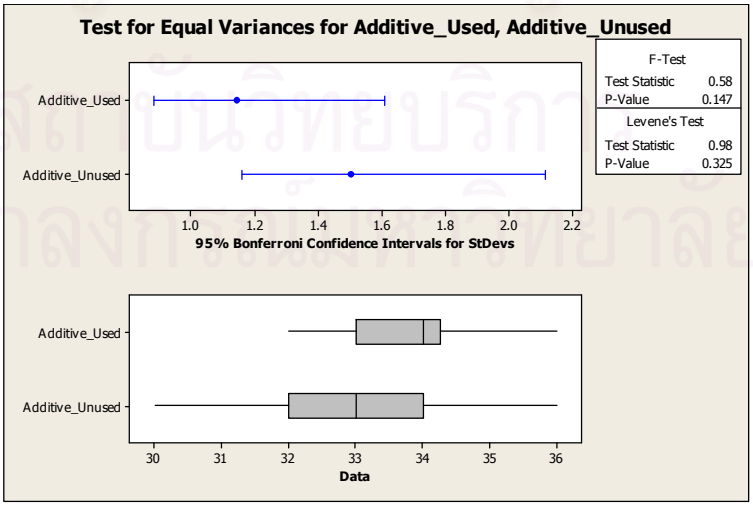
**Test for Equal Variances: Additive_Used, Additive_Unused**

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

| | N | Lower | StDev | Upper |
|---|---|---|---|---|
| Additive_Used | 27 | 0.88203 | 1.14269 | 1.60726 |
| Additive_Unused | 27 | 1.15886 | 1.50134 | 2.11171 |

F-Test (normal distribution)
Test statistic = 0.58, p-value = 0.147

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 0.98, p-value = 0.325




รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี ในกระบวนการพิมพ์ที่ผสมและไม่ผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่การผสมและไม่ผสมสารเติมแต่ง (Additive) ในหมึกพิมพ์ตามลำดับ พบว่าค่า P-Value ที่ได้มีค่ามากกว่านัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าความแตกต่างสี ในกระบวนการพิมพ์ทั้ง 2 ระดับมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% จากนั้นจึงดำเนินการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของค่าความเปรียบต่างสี ที่เกิดในการผสมและไม่ผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ โดยมีสมมติฐานในการตรวจสอบดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ $\mu_1$ และ $\mu_2$ แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ที่ผสมและไม่ผสมสารเติมแต่ง (Additive) ในหมึกพิมพ์ และจากการประมวลด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.10

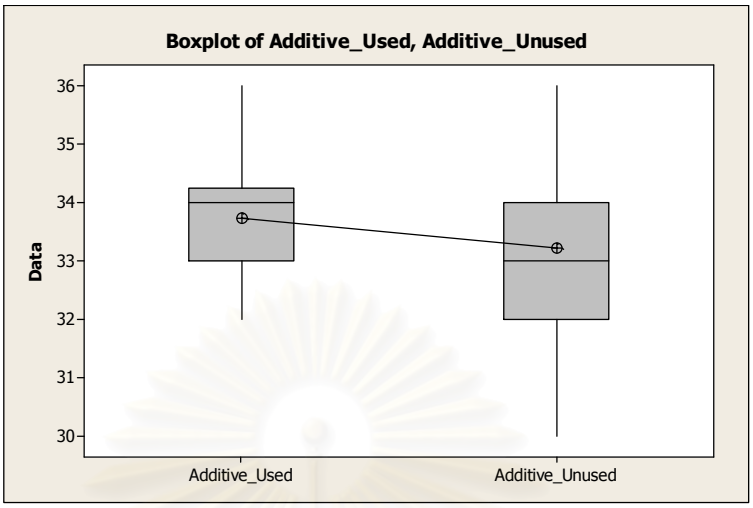
ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่ผสมและไม่ผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์

**Two-Sample T-Test and CI: Additive_Used, Additive_Unused**

Two-sample T for Additive_Used vs Additive_Unused

| | N | Mean | StDev | SE Mean |
|---|---|---|---|---|
| Additive_Used | 27 | 33.73 | 1.14 | 0.21 |
| Additive_Unused | 27 | 33.23 | 1.50 | 0.27 |

Difference = mu (Additive_Used) - mu (Additive_Unused)
Estimate for difference: 0.500000
95% CI for difference: (-0.190619, 1.190619)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.45 P-Value = 0.032 DF = 54




รูปที่ 5.10 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่ผสมและไม่ผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างสีในกระบวนการพิมพ์ที่ผสมและไม่ผสมสารเติมแต่ง (Additive) ในหมึกพิมพ์ พบว่าค่า P-Value ที่ได้มีค่าน้อยกว่านัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ทั้งแบบผสมและไม่ผสมสารเติมแต่ง (Additive) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

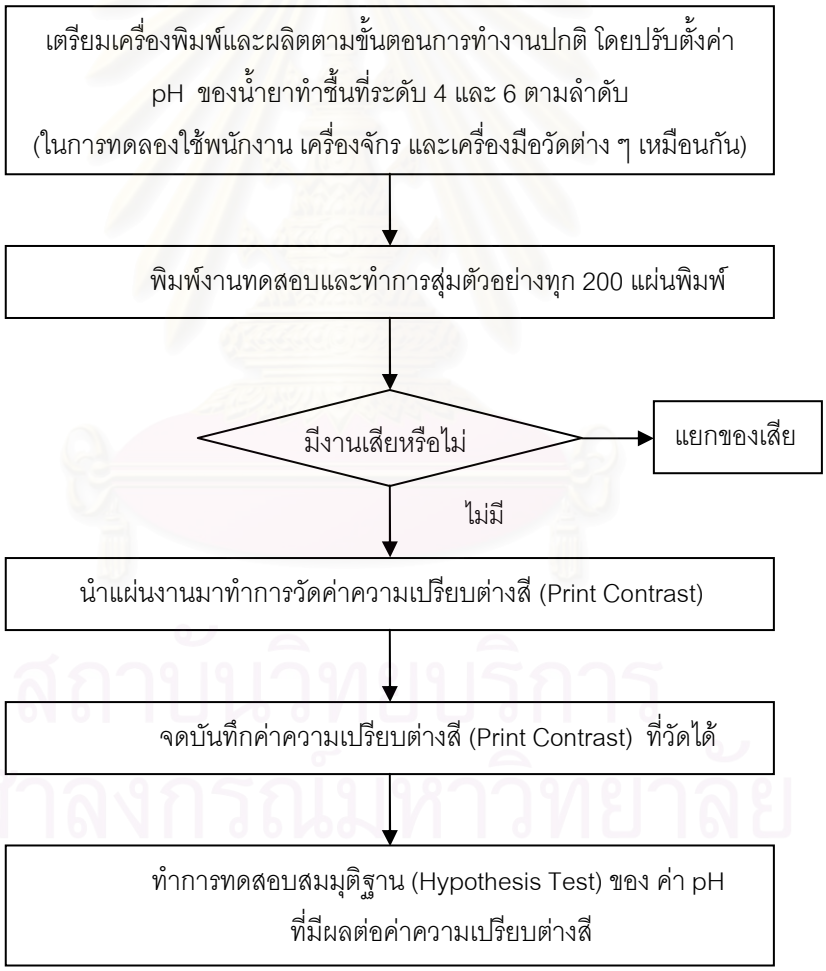
### 5.2.4 (ความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำยาทำชื้น : pH)

ค่า pH หรือค่าแสดงสภาวะความเป็นกรด-ด่างของน้ำยาทำชื้น ซึ่งค่า pH ที่แตกต่างกันน่าจะส่งผลต่อความเปรียบต่างสี (Print Contrast) จึงส่งผลให้ได้คุณภาพงานพิมพ์โดยเฉพาะค่าความเปรียบต่างสีที่แตกต่างกัน

สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

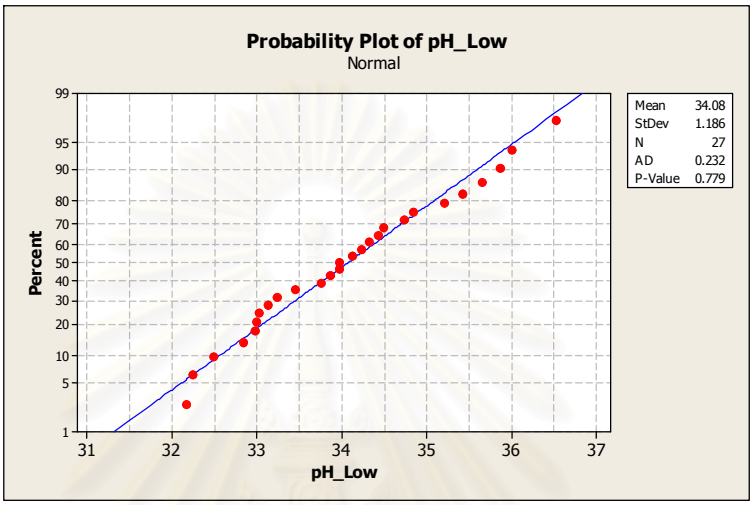
$H_0$ = ค่า pH ไม่มีผลต่อความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

$H_1$ = ค่า pH มีผลต่อความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

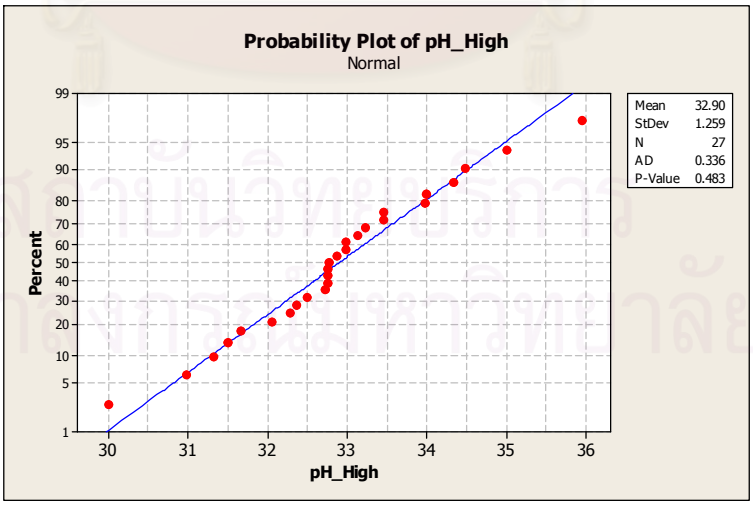



รูปที่ 5.11 ขั้นตอนการทดลองสมมติฐานสำหรับค่า pH ในน้ำยาทำชื้น
ที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

ผลการตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) ของชนิดค่า pH ที่ระดับต่ำ (4) และรอบการจ่ายที่ระดับสูง (6) ผลที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 5.12 และ 5.13




รูปที่ 5.12 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อปรับตั้งค่า pH น้ำยาทำชื้นที่ระดับต่ำ (4)




รูปที่ 5.13 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อปรับตั้งค่า pH น้ำยาทำชื้นที่ระดับสูง (6)

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) มีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบ คือ

$$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$$
$$H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$$

โดยกำหนดให้ $\sigma^2_1$ และ $\sigma^2_2$ แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ที่มีการปรับตั้งค่า pH น้ำยาทำชื้น ระดับ 4 และ 6 การประมวลด้วยโปรแกรม MINITAB สรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.14

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่ค่า pH น้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง

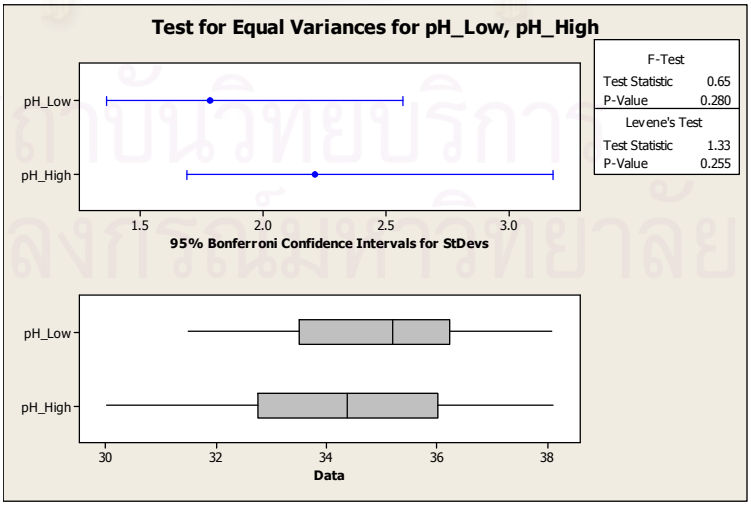
**Test for Equal Variances: pH_Low, pH_High**

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

| | N | Lower | StDev | Upper |
|---|---|---|---|---|
| pH_Low | 27 | 0.903626 | 1.18565 | 1.70542 |
| pH_High | 27 | 0.959347 | 1.25876 | 1.81058 |

F-Test (normal distribution)
Test statistic = 0.89, p-value = 0.763

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 0.06, p-value = 0.803




รูปที่ 5.14 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสีในกระบวนการพิมพ์ที่ค่า pH น้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง เท่ากับ 4 และ 6

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่การปรับตั้งชนิดค่า pH ระดับต่ำและระดับสูง เท่ากับ 4 และ 6 ตามลำดับ พบว่าค่า P-Value ที่ได้มีค่ามากกว่านัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี ในกระบวนการพิมพ์ทั้ง 2 ระดับมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% จากนั้นจึงดำเนินการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของค่าความเปรียบต่างสี ที่เกิดในการพิมพ์ที่น้ำยาทำชื้นมีค่า pH เท่ากับ 4 และ 6 ตามลำดับโดยมีสมมติฐานในการตรวจสอบดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ $\mu_1$ และ $\mu_2$ แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ที่ค่า pH เท่ากับ 4 และ 6 ตามลำดับ จากการประมวลด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.15

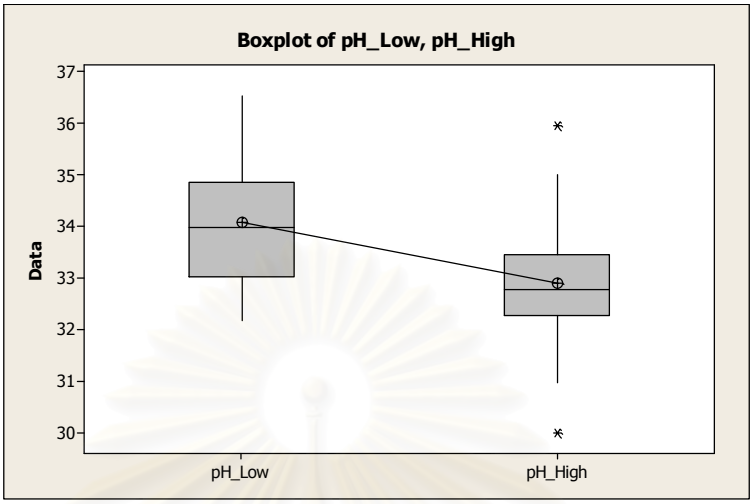
ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่น้ำยาทำชื้นมีค่า pH เท่ากับ 4 และ 6

**Two-Sample T-Test and CI: pH_Low, pH_High**

Two-sample T for pH_Low vs pH_High

| | N | Mean | StDev | SE Mean |
|---|---|---|---|---|
| pH_Low | 27 | 34.08 | 1.19 | 0.23 |
| pH_High | 27 | 32.90 | 1.26 | 0.24 |

Difference = mu (pH_Low) - mu (pH_High)
Estimate for difference: 1.17481
95% CI for difference: (0.50671, 1.84292)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 3.53 P-Value = 0.041 DF = 51




รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่ค่า pH ระดับต่ำและสูง เท่ากับ 4 และ 6

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างสีในกระบวนการพิมพ์ที่ค่า pH น้ำยาทำชื้น เท่ากับ 4 และ 6 พบว่าค่า P-Value ที่ได้มีค่าน้อยกว่านัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print contrast) ในกระบวนการพิมพ์ ทั้ง 2 ระดับมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

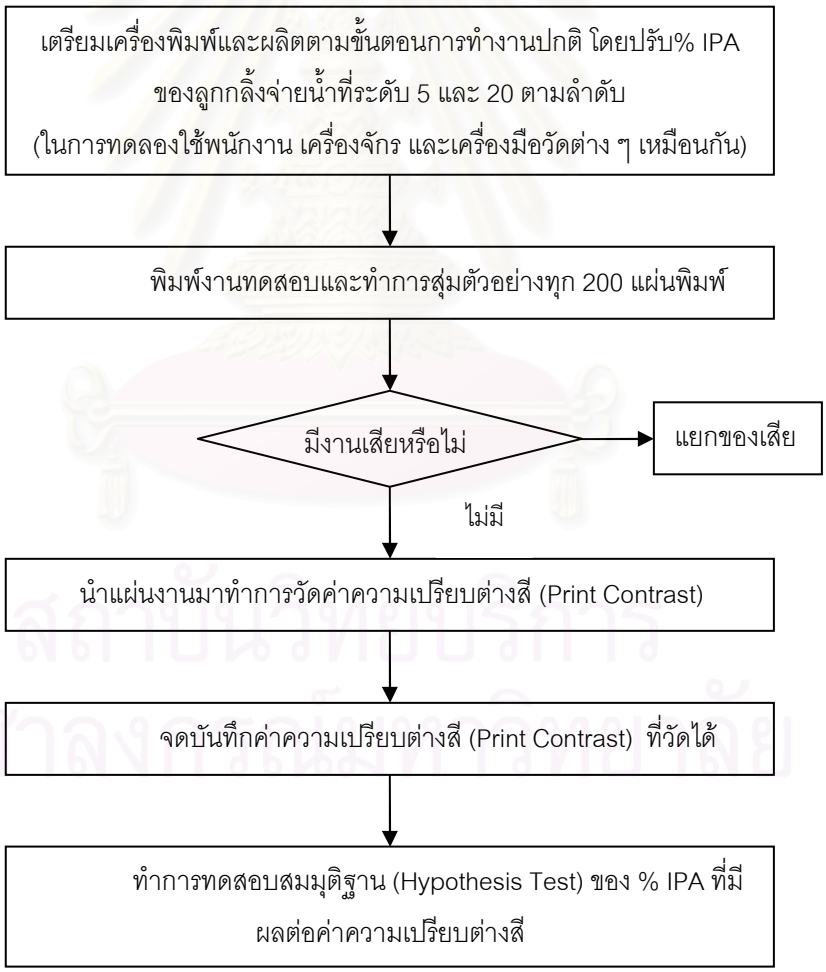
### 5.2.5 **อัตราส่วนแอลกอฮอล์ที่ผสมในน้ำยาทำชื้น** (Isopropyl Alcohol : %IPA)

การเติมแอลกอฮอล์ชนิด IPA นี้ในน้ำยาทำชื้นเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเปียกผิวและกระจายความเย็นไปยังผิวหน้าเพลทเพื่อทำให้พื้นผิวแม่พิมพ์มีความชุ่มชื้นเพียงพอและช่วยในการลดแรงตึงผิวเป็นการเพิ่มพื้นที่เปียกผิว ซึ่งจะสามารถป้องกันไม่ให้หมึกพิมพ์เข้ามาในส่วนที่ไม่ใช่ภาพ (Non Image Area) ซึ่งเปอร์เซ็นต์ IPA ที่แตกต่างกันน่าจะส่งผลต่อความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ส่งผลให้ได้คุณภาพงานพิมพ์โดยเฉพาะค่าความแตกต่างสีที่แตกต่างกัน

สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

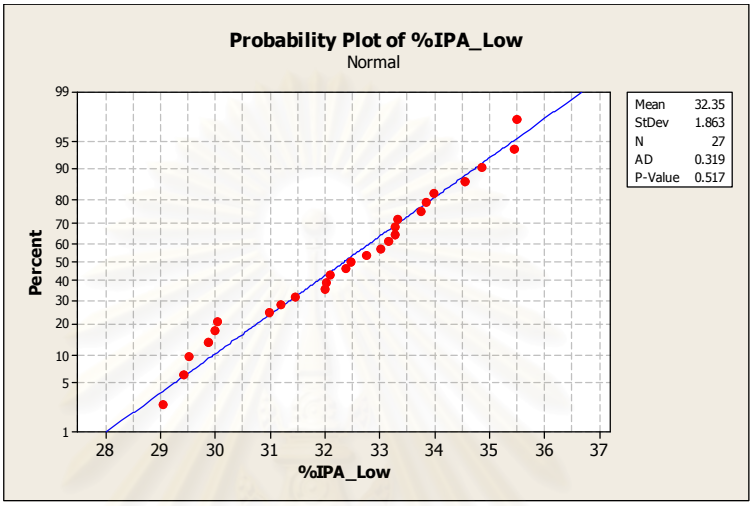
$H_0$ = % IPA ไม่มีผลต่อความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

$H_1$ = % IPA มีผลต่อความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

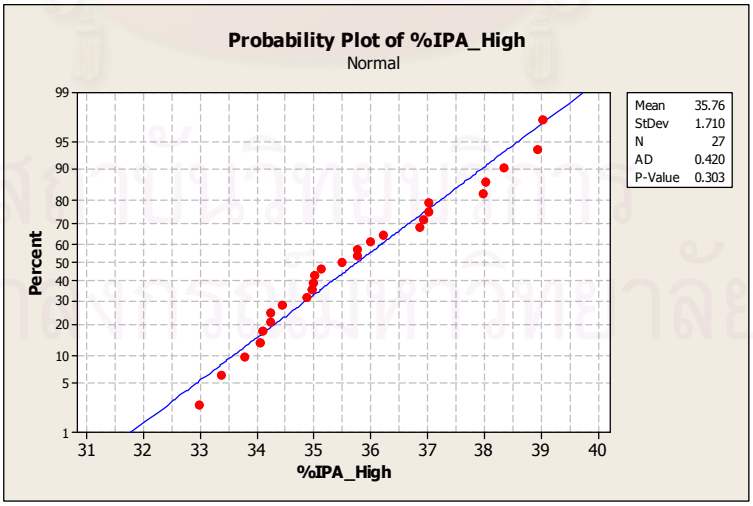



รูปที่ 5.16 ขั้นตอนการทดลองสมมติฐานสำหรับอัตราส่วนแอลกอฮอล์ : %IPA ในน้ำยาทำชื้นที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

ผลการตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) ของ %IPA ที่ระดับต่ำ(5%) และที่ระดับสูง (20%) ผลที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ดังรูปที่ 5.17 และ 5.18




รูปที่ 5.17 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อปรับตั้งเปอร์เซ็นต์ IPA ที่ระดับต่ำ (5%)




รูปที่ 5.18 ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าความเปรียบต่างสีเมื่อปรับตั้งเปอร์เซ็นต์ IPA ที่ระดับสูง (20%)

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) มีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบ คือ

$$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$$
$$H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$$

โดยกำหนดให้ $\sigma^2_1$ และ $\sigma^2_2$ แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของค่าความเปรียบต่างสี (Print contrast) ที่มีการปรับตั้งเปอร์เซ็นต์ IPA ที่ระดับต่ำและสูงที่ 5% และ 30% การประมวลด้วยโปรแกรม MINITAB สรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.19

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสีในกระบวนการพิมพ์ที่ %IPA ในน้ำยาทำชื้นระดับต่ำและสูง

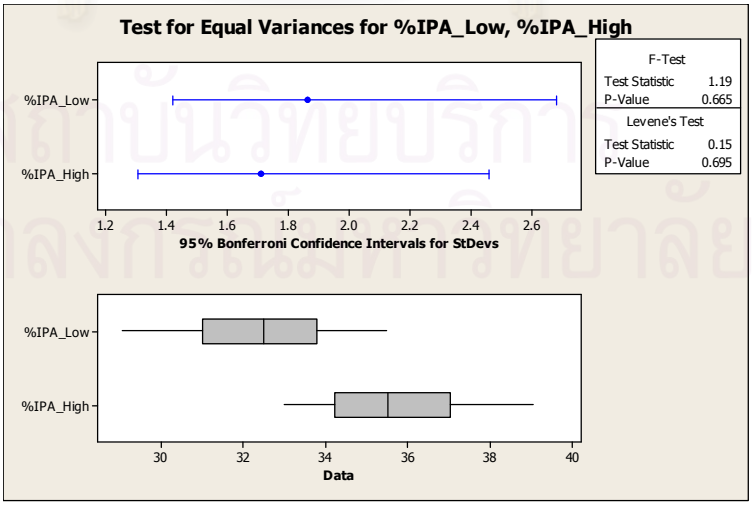
**Test for Equal Variances: %IPA_Low, %IPA_High**

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

| | N | Lower | StDev | Upper |
|---|---|---|---|---|
| %IPA_Low | 27 | 1.41963 | 1.86270 | 2.67929 |
| %IPA_High | 27 | 1.30294 | 1.70958 | 2.45905 |

F-Test (normal distribution)
Test statistic = 1.19, p-value = 0.665

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 0.15, p-value = 0.695




รูปที่ 5.19 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสีในกระบวนการพิมพ์ที่% IPA ระดับต่ำและระดับสูง (5% และ 20%)

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่การปรับตั้งเปอร์เซ็นต์ IPA ระดับต่ำและสูง เท่ากับ 5% และ 30% พบว่าค่า P-Value ที่ได้มีค่ามากกว่านัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าความแตกต่างสี ในกระบวนการพิมพ์ทั้ง 2 ระดับมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% จากนั้นจึงดำเนินการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของค่าความเปรียบต่างสี ที่เกิดในการพิมพ์ที่% IPA ค่าเท่ากับ 5% และ 20% โดยมีสมมติฐานในการตรวจสอบดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ $\mu_1$ และ $\mu_2$ แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ที่% IPA เท่ากับ 5% และ 20% จากการประมวลด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.20

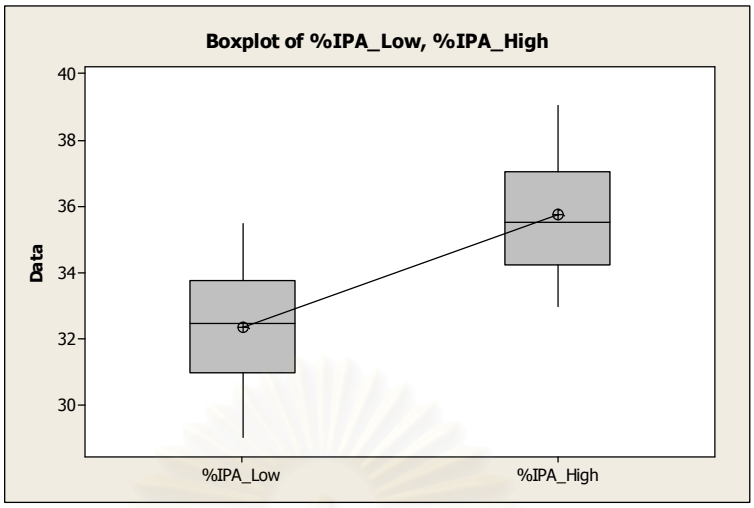
ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่ %IPA ที่มีค่าเท่ากับ 5% และ 20%

**Two-Sample T-Test and CI: %IPA_Low, %IPA_High**

Two-sample T for %IPA_Low vs %IPA_High

| | N | Mean | StDev | SE Mean |
|---|---|---|---|---|
| %IPA_Low | 27 | 32.35 | 1.86 | 0.36 |
| %IPA_High | 27 | 35.76 | 1.71 | 0.33 |

Difference = mu (%IPA_Low) - mu (%IPA_High)
Estimate for difference: -3.41667
95% CI for difference: (-4.39350, -2.43983)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -7.02 P-Value = 0.000 DF = 51




รูปที่ 5.20 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ที่% IPA ระดับต่ำและระดับสูง เท่ากับ 5% และ 20%

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างสีในกระบวนการพิมพ์ที่รอบการจ่ายน้ำ ที่มีค่าเท่ากับ 5% และ 20% พบว่าค่า P-Value ที่ได้มีค่าน้อยกว่านัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ในกระบวนการพิมพ์ทั้ง 2 ระดับมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

5.2.5 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากการทดสอบสมมติฐานทั้ง 4 ปัจจัยสรุปได้ว่า ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนำมาศึกษาเพื่อให้ค่าความเปรียบต่างสีที่ดีที่สุดมี 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น อัตราส่วนผสมของแอลกอฮอล์ (%IPA) และค่าความเป็นกรดด่างของน้ำยาทำชื้น (pH) โดยแต่ละปัจจัยมีการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ในระดับต่ำ (-1) และในระดับสูง (1) รายละเอียดของปัจจัยแสดงดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 แสดงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปทำการทดลอง

| ลำดับ | ปัจจัย | ระดับ | | หน่วย |
|---|---|---|---|---|
| | | -1 | 1 | |
| 1 | อุณหภูมิของน้ำยาทำชื้น | 5 | 25 | °C |
| 2 | อัตราส่วนผสมของแอลกอฮอล์ (%IPA) | 5 | 20 | %(v/v) |
| 3 | ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) | 4 | 6 | - |
| 4 | สารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ | -1 | 1 | - |

## 5.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^K$ ($2^K$ Factorial Design)

หลังจากทำการทดสอบสมมติฐาน โดยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลและทดสอบสมมุติฐานเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความเปรียบต่างสี เมื่อได้รับปัจจัยที่มีผลแล้วนำปัจจัยดังกล่าวไปทำการทดลอง โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

5.3.1 ตัวแปรตอบสนอง

ในการพิจารณาดัชนีชี้วัดคุณภาพทางการพิมพ์ว่ามีความสม่ำเสมอใกล้เคียงมาตรฐานของลูกค้ามากเท่าใดนั้น จะใช้ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ค่าที่ได้ยิ่งมีค่ามากเท่าใดสีพิมพ์ที่ได้ยิ่งมีความใกล้เคียงกับต้นฉบับมากเท่านั้น โดยมีหลักการคำนวณดังนี้

$$\text{ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)} = \frac{Ds - Dt}{Ds} \times 100$$

โดยที่ Ds = Density of Solid (ค่าความดำบริเวณสีพื้นตาย)

Dt = Density of Tint (ค่าความดำบริเวณ Tree Quarter Tone)

5.3.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองนี้จะใช้ แบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล $2^K$ โดยที่ k คือ จำนวนของปัจจัยที่นำมาทดลอง และ 2 คือ จำนวนระดับของแต่ละปัจจัย และกำหนดให้ที่แต่ละระดับของแต่ละปัจจัยเป็นค่าต่ำ (-) กับค่าสูง (+) เนื่องจากการออกแบบการทดลองนี้เป็นการออกแบบการทดลองที่มีประโยชน์และนิยมใช้กันอย่างมากในอุตสาหกรรม เพราะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลอง รวมทั้งกลั่นกรองปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญได้โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และสอดคล้องกับการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไปเพื่อตรวจสอบว่ารูปแบบของการทดลองนั้นเป็นเส้นตรง (Linear) หรือไม่

5.3.3 การทดลองซ้ำ (Replication)

การทำซ้ำหมายถึงการที่ Treatment combination หนึ่งถูกทำการทดลองมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งการทำซ้ำนี้จะช่วยให้สามารถประมาณค่าความคาดเคลื่อนจากการทดลองได้ โดยการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยการทำซ้ำในแต่ละ Treatment 2 ครั้ง เนื่องจากประหยัดเวลาวัตถุดิบในการทดลองและในการวิเคราะห์จำนวนการทำซ้ำจะใช้ effect เท่ากับ 0.2 เนื่องจากเหมาะสมและนิยมในทางปฏิบัติเพื่อให้สามารถจำแนกความแตกต่างของค่าเฉลี่ยได้และกำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.95 ($\beta$) = 0.05 โดยสามารถคำนวณหาจำนวนการทดลองซ้ำได้ดังนี้

**Power and Sample Size**

2-Level Factorial Design

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.1

Factors: 4 Base Design: 4, 16
Blocks: none

Including a term for center points in model.

| Center Points | Effect | Reps | Total Runs | Target Power | Actual Power |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 0.1 | 3 | 51 | 0.90 | 0.91995 |
| 3 | 0.1 | 4 | 67 | 0.95 | 0.97512 |
| 3 | 0.1 | 5 | 83 | 0.99 | 0.99278 |
| 3 | 0.2 | 2 | 35 | 0.90 | 0.99963 |
| 3 | 0.2 | 2 | 35 | 0.95 | 0.99963 |
| 3 | 0.2 | 2 | 35 | 0.99 | 0.99963 |
| 3 | 0.3 | 2 | 35 | 0.90 | 1.00000 |
| 3 | 0.3 | 2 | 35 | 0.95 | 1.00000 |
| 3 | 0.3 | 2 | 35 | 0.99 | 1.00000 |

5.3.4 การสุ่ม (Randomization)

การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชัน จะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การที่เราแรนดอมไมซ์ การทดลองทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้ การสุ่มลำดับการทดลองในการทดลองนี้จะกระทำโดยโปรแกรม MINITAB ซึ่งกำหนดพร้อมกับการสร้าง Matrix การออกแบบ โดยสังเกตลำดับการทดลองได้จากช่อง Run Order ของตาราง

จากผลการคำนวณพบว่าที่การทดลองซ้ำ 2 ครั้ง จะมีค่ากำลังการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.99963 ซึ่งมากกว่าค่ากำลังการทดสอบที่กำหนดไว้ที่ 0.95 ดังนั้น การทดลองนี้จึงใช้การออกแบบการทดลองที่มีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Point) เข้าไป 3-5 จุดเนื่องจากตามทฤษฎีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง ควรเพิ่ม 3-5 จุด เป็นการประหยัดจำนวนครั้งของการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ จากการออกแบบการทดลองจะได้ลำดับของการทดลองเป็นการสุ่มรวมทั้งสิ้น 35 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.10 โดยกำหนดให้

A แทนปัจจัยอุณหภูมิน้ำยาทำชื้น (Temperature)

B แทนปัจจัยสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ (Additive)

C แทนปัจจัยส่วนผสมของแอลกอฮอล์ (%IPA) ในน้ำยาทำชื้น

D แทนปัจจัยค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำยาทำชื้น

ตารางที่ 5.10 Matrix ของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

Full Factorial Design

Factors: 4 Base Design: 4, 16
Runs: 35 Replicates: 2
Blocks: 1 Center pts (total): 3

All terms are free from aliasing.

Design Table (randomized)

| Run | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| 1 | + | + | - | - |
| 2 | + | - | + | + |
| 3 | - | + | + | - |
| 4 | - | - | + | - |
| 5 | + | - | - | - |
| 6 | + | + | + | + |
| 7 | + | - | - | + |
| 8 | + | - | + | + |
| 9 | + | + | - | + |
| 10 | - | + | + | + |
| 11 | + | - | - | + |
| 12 | + | + | - | - |
| 13 | - | + | - | + |
| 14 | - | - | - | + |
| 15 | - | + | + | + |
| 16 | + | + | - | + |
| 17 | - | - | - | + |
| 18 | - | - | - | - |
| 19 | - | - | + | + |
| 20 | - | - | + | + |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | + | - | - | - |
| 23 | - | + | - | - |
| 24 | - | + | - | - |
| 25 | + | + | + | + |
| 26 | + | - | + | - |
| 27 | - | + | - | + |
| 28 | + | - | + | - |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | + | + | + | - |
| 31 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | - | + | + | - |
| 33 | + | + | + | - |
| 34 | - | - | - | - |
| 35 | - | - | + | - |

จากการทดลองนี้ได้พิจารณาเลือกสีพิมพ์ Cyan (สีฟ้า) มาใช้เป็นตัวแบบเพื่อแสดงถึงรูปแบบและวิธีการในการวิเคราะห์และปรับปรุงปัจจัย ในการปรับปรุงให้ได้ค่าผลตอบสนอง ตามที่ต้องการเนื่องจากเป็นสีพิมพ์ที่มีพื้นที่ทางการพิมพ์โดดเด่นหรือมีพื้นที่สีพิมพ์มากที่สุดซึ่งมีความโดดเด่นในการมองเห็นความแตกต่างสี สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 5.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.11 ผลการออกแบบการทดลอง

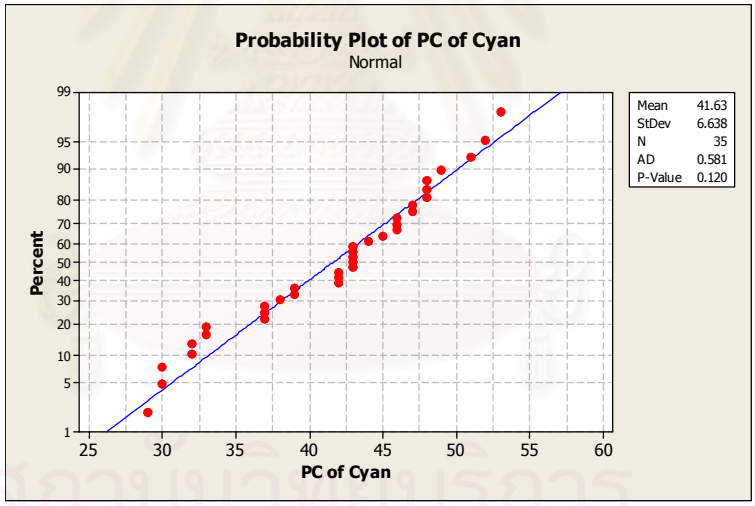
| StdOrder | RunOrder | CenterPt | Blocks | Temp | Additive | %IPA | pH | PC of Cyan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 1 | 1 | 1 | 25 | 1 | 5 | 4 | 36 |
| 30 | 2 | 1 | 1 | 25 | -1 | 20 | 6 | 44 |
| 7 | 3 | 1 | 1 | 5 | 1 | 20 | 4 | 40 |
| 5 | 4 | 1 | 1 | 5 | -1 | 20 | 4 | 41 |
| 2 | 5 | 1 | 1 | 25 | -1 | 5 | 4 | 42 |
| 32 | 6 | 1 | 1 | 25 | 1 | 20 | 6 | 37 |
| 26 | 7 | 1 | 1 | 25 | -1 | 5 | 6 | 32 |
| 14 | 8 | 1 | 1 | 25 | -1 | 20 | 6 | 46 |
| 12 | 9 | 1 | 1 | 25 | 1 | 5 | 6 | 38 |
| 15 | 10 | 1 | 1 | 5 | 1 | 20 | 6 | 45 |
| 10 | 11 | 1 | 1 | 25 | -1 | 5 | 6 | 39 |
| 20 | 12 | 1 | 1 | 25 | 1 | 5 | 4 | 42 |
| 27 | 13 | 1 | 1 | 5 | 1 | 5 | 6 | 41 |
| 25 | 14 | 1 | 1 | 5 | -1 | 5 | 6 | 34 |
| 31 | 15 | 1 | 1 | 5 | 1 | 20 | 6 | 33 |
| 28 | 16 | 1 | 1 | 25 | 1 | 5 | 6 | 38 |
| 9 | 17 | 1 | 1 | 5 | -1 | 5 | 6 | 40 |
| 17 | 18 | 1 | 1 | 5 | -1 | 5 | 4 | 41 |
| 13 | 19 | 1 | 1 | 5 | -1 | 20 | 6 | 37 |
| 29 | 20 | 1 | 1 | 5 | -1 | 20 | 6 | 43 |
| 35 | 21 | 0 | 1 | 15 | 0 | 12.5 | 5 | 39 |
| 18 | 22 | 1 | 1 | 25 | -1 | 5 | 4 | 36 |
| 19 | 23 | 1 | 1 | 5 | 1 | 5 | 4 | 49 |
| 3 | 24 | 1 | 1 | 5 | 1 | 5 | 4 | 35 |
| 16 | 25 | 1 | 1 | 25 | 1 | 20 | 6 | 43 |
| 22 | 26 | 1 | 1 | 25 | -1 | 20 | 4 | 42 |
| 11 | 27 | 1 | 1 | 5 | 1 | 5 | 6 | 40 |
| 6 | 28 | 1 | 1 | 25 | -1 | 20 | 4 | 43 |
| 34 | 29 | 0 | 1 | 15 | 0 | 12.5 | 5 | 40 |
| 8 | 30 | 1 | 1 | 25 | 1 | 20 | 4 | 42 |
| 33 | 31 | 0 | 1 | 15 | 0 | 12.5 | 5 | 38 |
| 23 | 32 | 1 | 1 | 5 | 1 | 20 | 4 | 46 |
| 24 | 33 | 1 | 1 | 25 | 1 | 20 | 4 | 43 |
| 1 | 34 | 1 | 1 | 5 | -1 | 5 | 4 | 41 |
| 21 | 35 | 1 | 1 | 5 | -1 | 20 | 4 | 39 |

5.3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ในการออกแบบการทดลองนั้น จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID $(0,\sigma^2)$ จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) จะเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID $(0,\sigma^2)$ หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองประกอบไปด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

การทดลองสมมติฐานของความเป็นปกติ

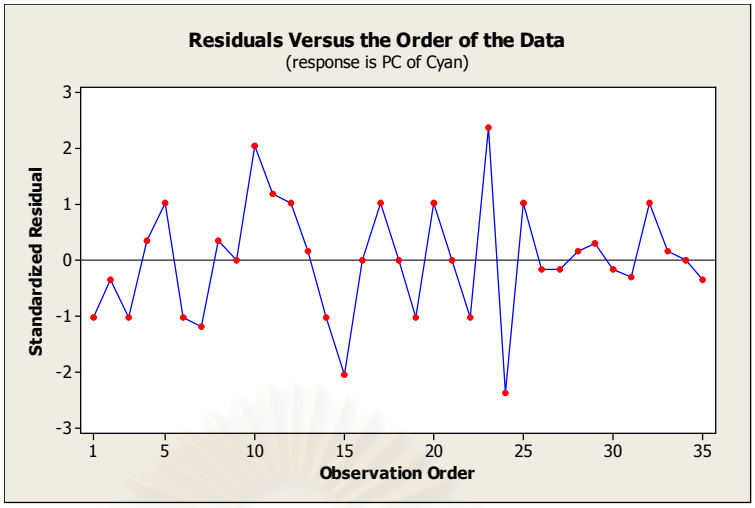
การทดลองสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) ตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่างสี) ที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ดังรูปที่ 5.21




รูปที่ 5.21 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Cyan color)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการวางแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล แสดงดังรูป 5.22 โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบ ควรจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

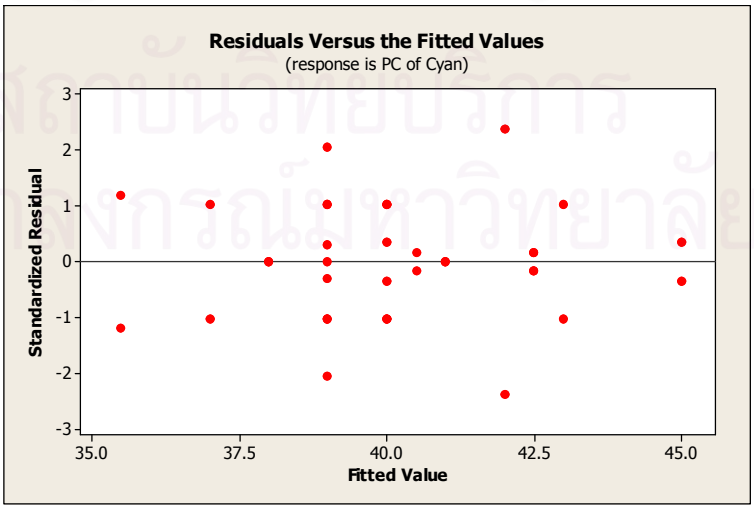



รูปที่ 5.22 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแปรถดถอย ดังได้แสดงในรูปที่ 5.23 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน




รูปที่ 5.23 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูก Fit

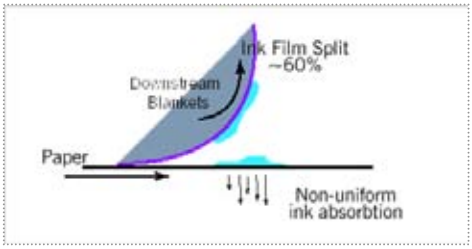
จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน รูปผลจากการทดลองความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่างสี) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ การกระจายเป็นแบบปกติ มีความอิสระต่อกัน และมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของกสนออกแบบการทดลอง NID ($0,\sigma^2$)

5.3.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลัก และอันตรกริยาที่นัยสำคัญออกมาในรูปของกราฟ Normal Probability Plot และแผนภูมิพาเรโต แสดงได้ดังรูปที่ 5.25 และ 5.26 ตามลำดับ

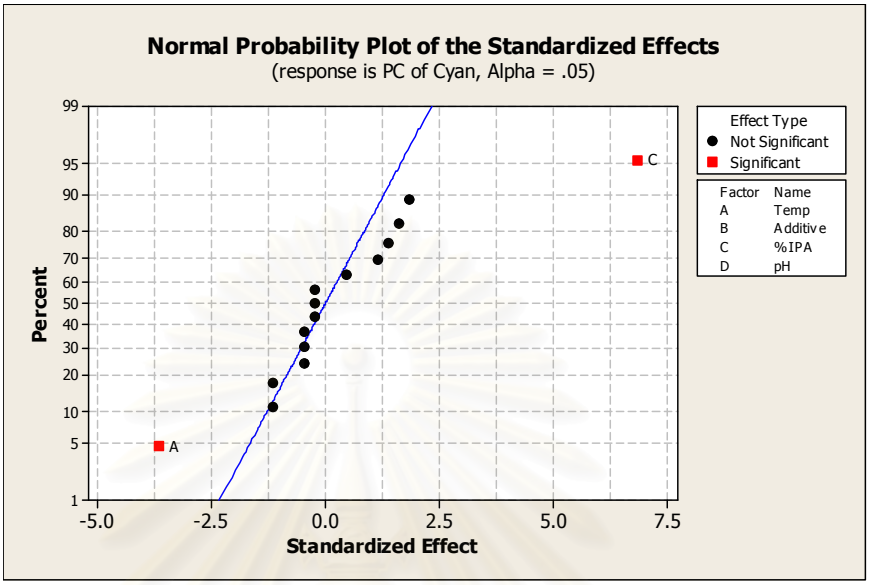
จากผลการวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองพบว่าอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและเปอร์เซ็นต์ IPA ที่ผสมลงไปน้ำยาทำชื้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากปัจจัยหลักตัวแรก คือ IPA เป็นสารลดความตึงผิวของน้ำยาทำชื้นที่เกาะอยู่ที่ผิวหน้าของแม่พิมพ์ ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการเปียกผิวส่วนปัจจัยหลักตัวที่สอง คือ อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติในด้านความเหนียวหนืด (Tack) ของหมึกพิมพ์เนื่องจากความเย็นจากน้ำยาทำชื้นจะช่วยกระจายความเย็นไปที่ผิวหน้าแม่พิมพ์ช่วยลดการเหลวตัวหมึกพิมพ์ที่เกาะอยู่ที่ผิวแม่พิมพ์

เมื่อเครื่องพิมพ์เดินเครื่องไปนาน ๆ ความร้อนที่มาจากแรงเสียดสีระหว่างชุดลูกกลิ้งหมึกส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความเหนียวหนืดของหมึกพิมพ์ เมื่อหมึกพิมพ์เหลวตัวไปพร้อม ๆ กับอัตราการไหลที่มากขึ้นดังรูปที่ 5.24 และจะค่อย ๆ กระจายตัวซึมเข้าสู่บริเวณไม่ใช่ภาพ (Non Image Area) เนื่องจากสมดุลระหว่างปริมาณน้ำและปริมาณหมึกเปลี่ยนไปนี้ ผลที่ตามมาคือทำให้หมึกพิมพ์ที่ยึดเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวที่เป็นโทนต่อเนื่องหรือ Continuous Tone เกิดเม็ดสกรีนบวมโต ซึ่งมาจากการที่หมึกพิมพ์เหลวตัว เป็นสาเหตุของปัญหาสีพิมพ์เพี้ยน- คุณภาพสีพิมพ์ไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งรอยคราบสกปรกต่าง ๆ หรือปัญหาคราบสกปรกสีพิมพ์ Scumming

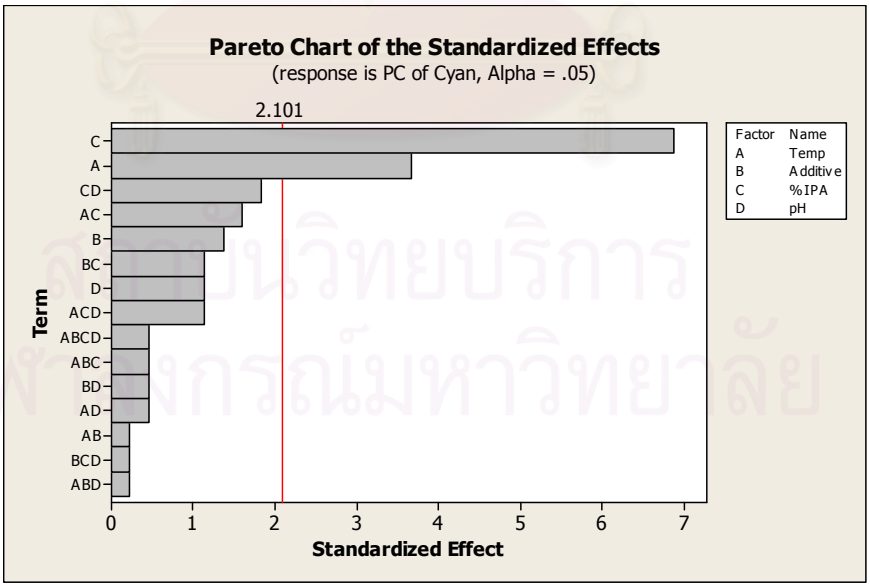



รูปที่ 5.24 สภาพหมึกพิมพ์เหลวตัวส่งผลกระทบต่อสมดุลทางการพิมพ์

ส่วนผลสรุปของปัจจัย pH และสารเติมแต่งที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองเนื่องจากปัจจัยนี้มีนัยสำคัญไม่สูงนักในขั้นตอนทดสอบสมมติฐาน (P-Value เท่ากับ 0.041 และ 0.032 ตามลำดับ)




รูปที่ 5.25 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่างสี Cyan)




รูปที่ 5.26 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่างสี Cyan)

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองได้ดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Cyan Color) Code Unit

Factorial Fit: PC of Cyan versus Temp, Additive, %IPA, pH

Estimated Effects and Coefficients for PC of Cyan (coded units)

| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Constant | | 41.563 | 0.2732 | 152.12 | 0.000 |
| Temp | -2.000 | -1.000 | 0.2732 | -3.66 | 0.002 |
| Additive | 0.750 | 0.375 | 0.2732 | 1.37 | 0.187 |
| %IPA | 3.750 | 1.875 | 0.2732 | 6.86 | 0.000 |
| pH | -0.625 | -0.313 | 0.2732 | -1.14 | 0.268 |
| Temp*Additive | -0.125 | -0.063 | 0.2732 | -0.23 | 0.822 |
| Temp*%IPA | 0.875 | 0.437 | 0.2732 | 1.60 | 0.127 |
| Temp*pH | -0.250 | -0.125 | 0.2732 | -0.46 | 0.653 |
| Additive*%IPA | -0.625 | -0.313 | 0.2732 | -1.14 | 0.268 |
| Additive*pH | 0.250 | 0.125 | 0.2732 | 0.46 | 0.653 |
| %IPA*pH | 1.000 | 0.500 | 0.2732 | 1.83 | 0.084 |
| Temp*Additive*%IPA | -0.250 | -0.125 | 0.2732 | -0.46 | 0.653 |
| Temp*Additive*pH | -0.125 | -0.062 | 0.2732 | -0.23 | 0.822 |
| Temp*%IPA*pH | 0.625 | 0.312 | 0.2732 | 1.14 | 0.268 |
| Additive*%IPA*pH | -0.125 | -0.063 | 0.2732 | -0.23 | 0.822 |
| Temp*Additive*%IPA*pH | -0.250 | -0.125 | 0.2732 | -0.46 | 0.653 |
| Ct Pt | | 2.438 | 0.9332 | 2.61 | 0.018 |

S = 1.54560 R-Sq = 81.64% R-Sq(adj) = 65.32%

Analysis of Variance for PC of Cyan (coded units)

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Main Effects | 4 | 152.125 | 152.125 | 38.0312 | 15.92 | 0.000 |
| 2-Way Interactions | 6 | 18.375 | 18.375 | 3.0625 | 1.28 | 0.314 |
| 3-Way Interactions | 4 | 3.875 | 3.875 | 0.9688 | 0.41 | 0.802 |
| 4-Way Interactions | 1 | 0.500 | 0.500 | 0.5000 | 0.21 | 0.653 |
| Curvature | 1 | 16.296 | 16.296 | 16.2964 | 6.82 | 0.018 |
| Residual Error | 18 | 43.000 | 43.000 | 2.3889 | | |
| Pure Error | 18 | 43.000 | 43.000 | 2.3889 | | |
| Total | 34 | 234.171 | | | | |

Unusual Observations for PC of Cyan

| Obs | StdOrder | PC of Cyan | Fit | SE Fit | Residual | St Resid |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4 | 37.0000 | 40.0000 | 1.0929 | -3.0000 | -2.74R |
| 5 | 2 | 42.0000 | 39.0000 | 1.0929 | 3.0000 | 2.74R |
| 12 | 20 | 43.0000 | 40.0000 | 1.0929 | 3.0000 | 2.74R |
| 22 | 18 | 36.0000 | 39.0000 | 1.0929 | -3.0000 | -2.74R |

R denotes an observation with a large standardized residual.

ตารางที่ 5.12 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Cyan Color) Uncode Unit

Estimated Coefficients for PC of Cyan using data in uncoded units

| Term | Coef |
|---|---|
| Constant | 41.9167 |
| Temp | 0.150000 |
| Additive | 0.62500 |
| %IPA | 0.141667 |
| pH | -0.177083 |
| Temp*Additive | -0.058333 |
| Temp*%IPA | -0.0150000 |
| Temp*pH | -0.0645833 |
| Additive*%IPA | -0.100000 |
| Additive*pH | 0.010417 |
| %IPA*pH | 0.0041667 |
| Temp*Additive*%IPA | 0.0066667 |
| Temp*Additive*pH | 0.0145833 |
| Temp*%IPA*pH | 0.00416667 |
| Additive*%IPA*pH | 0.0166667 |
| Temp*Additive*%IPA*pH | -0.00166667 |
| Ct Pt | 2.43750 |

เนื่องจากการทดลองนี้มีลักษณะของส่วนโค้ง โดยพิจารณาจากค่า P-Value ของ Curvature ที่มีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น จึงต้องนำปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง 2 ปัจจัย คือ ค่าอุณหภูมิ และระดับของ % IPA ในน้ำยาทำชื้น มาทำการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองที่มีส่วนโค้งใหม่ โดยใช้วิธีการของพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

## 5.4 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง

การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 3 จุด เนื่องจากสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ $2^4$ Full Factorial Design ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 3 จุด ข้างต้นนั้นไม่สามารถวิเคราะห์ผลที่ถูกต้องของรูปแบบการทดลองนี้ได้ เพราะมีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) เกิดขึ้น จึงทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 6 จุด ซึ่งสามารถวิเคราะห์รูปแบบการทดลองที่มีลักษณะกำลังสอง (Second Order) ได้ โดยจะทำการทดลองแบบสุ่ม ดังตารางที่ 5.13 และได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.14 โดยกำหนดให้

A แทนปัจจัยอุณหภูมิน้ำยาทำชื้น (Temperature)

B แทนอัตราส่วนผสมของแอลกอฮอล์ (%IPA) ในน้ำยาทำชื้น

ตารางที่ 5.13 Matrix ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

Factors: 2 Replicates: 1
Base runs: 13 Total runs: 13
Base blocks: 1 Total blocks: 1

Two-level factorial: Full factorial
Cube points: 4
Center points in cube: 5
Axial points: 4
Center points in axial: 0

Alpha: 1.41421
Design Table (randomized)

| Run | Blk | A | B |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0.00000 | 1.41421 |
| 2 | 1 | -1.41421 | 0.00000 |
| 3 | 1 | -1.00000 | -1.00000 |
| 4 | 1 | 1.00000 | 1.00000 |
| 5 | 1 | -1.00000 | 1.00000 |
| 6 | 1 | 1.00000 | -1.00000 |
| 7 | 1 | 0.00000 | 0.00000 |
| 8 | 1 | 0.00000 | 0.00000 |
| 9 | 1 | 0.00000 | 0.00000 |
| 10 | 1 | 0.00000 | 0.00000 |
| 11 | 1 | 0.00000 | 0.00000 |
| 12 | 1 | 0.00000 | -1.41421 |
| 13 | 1 | 1.41421 | 0.00000 |

ตารางที่ 5.14 ผลการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

(Central Composite Design : CCD)

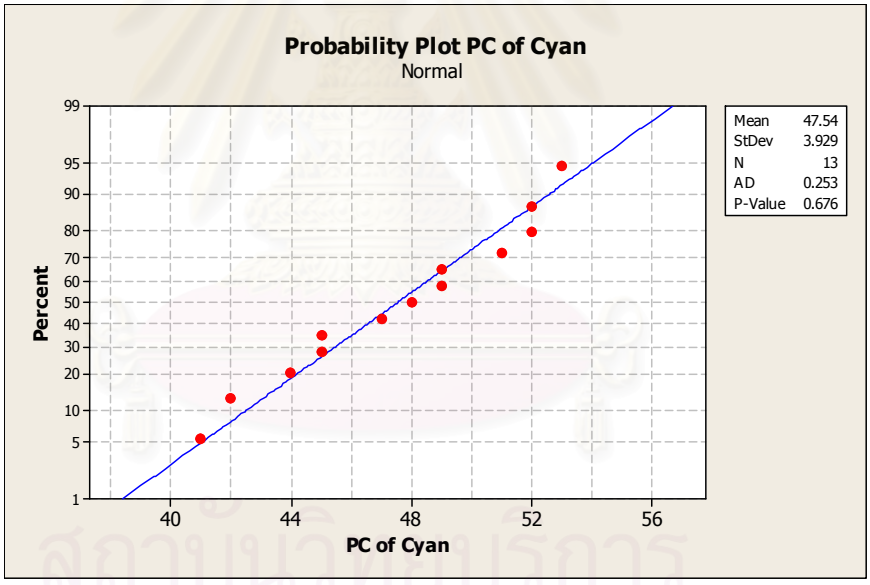
| StdOrder | RunOrder | PtType | Blocks | Temp | %IPA | PC of Cyan |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 1 | 0 | 1 | 15 | 12.5 | 52 |
| 3 | 2 | 1 | 1 | 5 | 20 | 51 |
| 2 | 3 | 1 | 1 | 25 | 5 | 45 |
| 1 | 4 | 1 | 1 | 5 | 5 | 49 |
| 13 | 5 | 0 | 1 | 15 | 12.5 | 53 |
| 10 | 6 | 0 | 1 | 15 | 12.5 | 52 |
| 6 | 7 | -1 | 1 | 29.1421 | 12.5 | 49 |
| 5 | 8 | -1 | 1 | 0.8579 | 12.5 | 44 |
| 7 | 9 | -1 | 1 | 15 | 1.8934 | 42 |
| 4 | 10 | 1 | 1 | 25 | 20 | 41 |
| 8 | 11 | -1 | 1 | 15 | 23.1066 | 48 |
| 11 | 12 | 0 | 1 | 15 | 12.5 | 47 |
| 9 | 13 | 0 | 1 | 15 | 12.5 | 45 |

5.4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายใต้เงื่อนไข 3 ประการคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ,ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ,และมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ใช้หลักการของการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis)

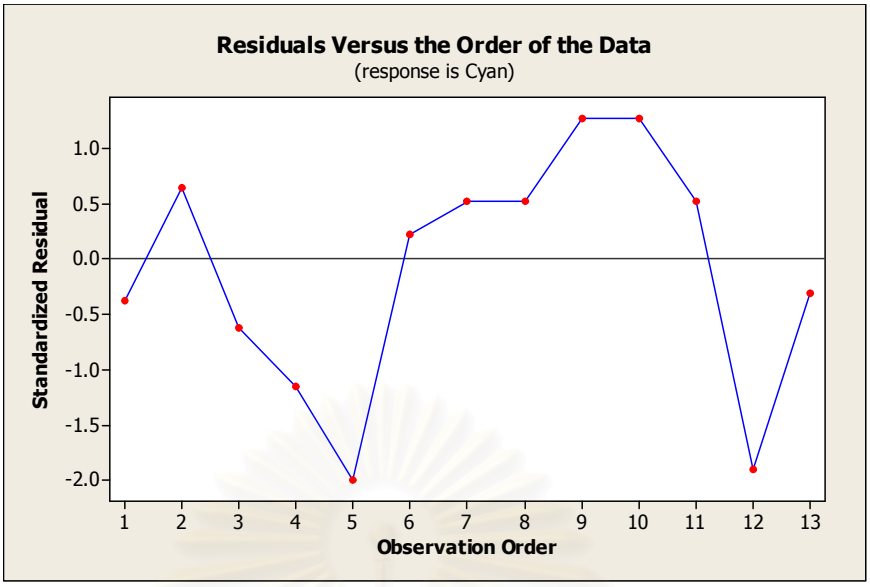
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

การทดลองสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่างสี) ที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ดังรูปที่ 5.27




รูปที่ 5.27 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (PC of Cyan)

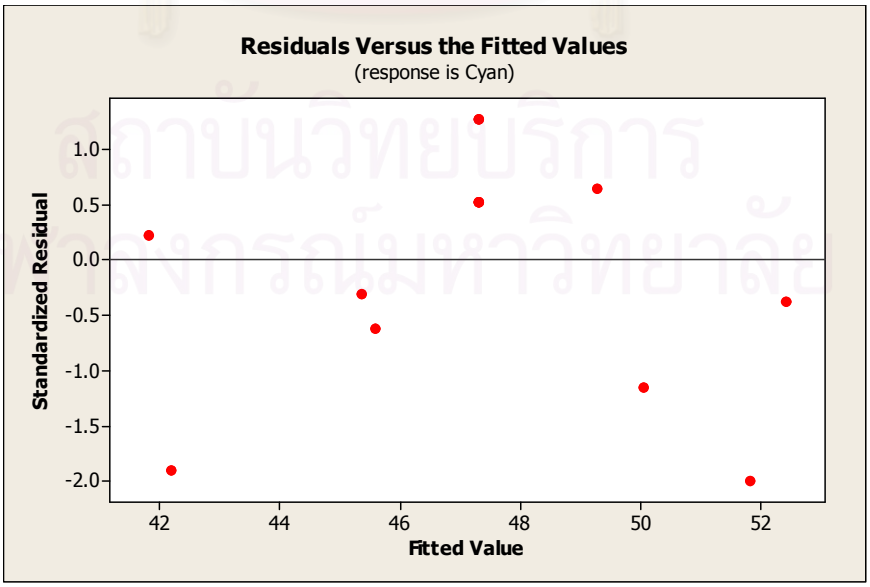
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการวางแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล แสดงดังรูป 5.28 โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบ ควรจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน




รูปที่ 5.28 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแปรถดถอย ดังได้แสดงในรูปที่ 5.29 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน




รูปที่ 5.29 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูก Fit

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดลองความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่างสี) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ การกระจายเป็นแบบปกติ มีความอิสระต่อกัน และมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของกสนออกแบบการทดลอง NID $(0,\sigma^2)$

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลการออกแบบการทดลอง Code Unit และ Uncode Unit ได้ดังตารางที่ 5.15 และ 5.16 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.15 แสดงผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Code Units) ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

Response Surface Regression: PC of Cyan versus Temp, %IPA

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for PC of Cyan

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| Constant | 48.4000 | 0.3997 | 121.084 | 0.000 |
| Temp | -1.3839 | 0.3160 | -4.379 | 0.003 |
| %IPA | 3.6213 | 0.3160 | 11.460 | 0.000 |
| Temp*Temp | -0.5125 | 0.3389 | -1.512 | 0.174 |
| %IPA*%IPA | -1.2625 | 0.3389 | -3.725 | 0.007 |
| Temp*%IPA | 0.5000 | 0.4469 | 1.119 | 0.300 |

S = 0.8938 R-Sq = 96.0% R-Sq(adj) = 93.1%

Analysis of Variance for PC of Cyan

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Regression | 5 | 133.177 | 133.177 | 26.6354 | 33.34 | 0.000 |
| Linear | 2 | 120.233 | 120.233 | 60.1164 | 75.25 | 0.000 |
| Square | 2 | 11.944 | 11.944 | 5.9721 | 7.48 | 0.018 |
| Interaction | 1 | 1.000 | 1.000 | 1.0000 | 1.25 | 0.300 |
| Residual Error | 7 | 5.592 | 5.592 | 0.7989 | | |
| Lack-of-Fit | 3 | 4.392 | 4.392 | 1.4641 | 4.88 | 0.080 |
| Pure Error | 4 | 1.200 | 1.200 | 0.3000 | | |
| Total | 12 | 138.769 | | | | |

Unusual Observations for PC of Cyan

| Obs | StdOrder | PC of Cyan | Fit | SE Fit | Residual | St Resid |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 50.000 | 51.130 | 0.707 | -1.130 | -2.06 R |

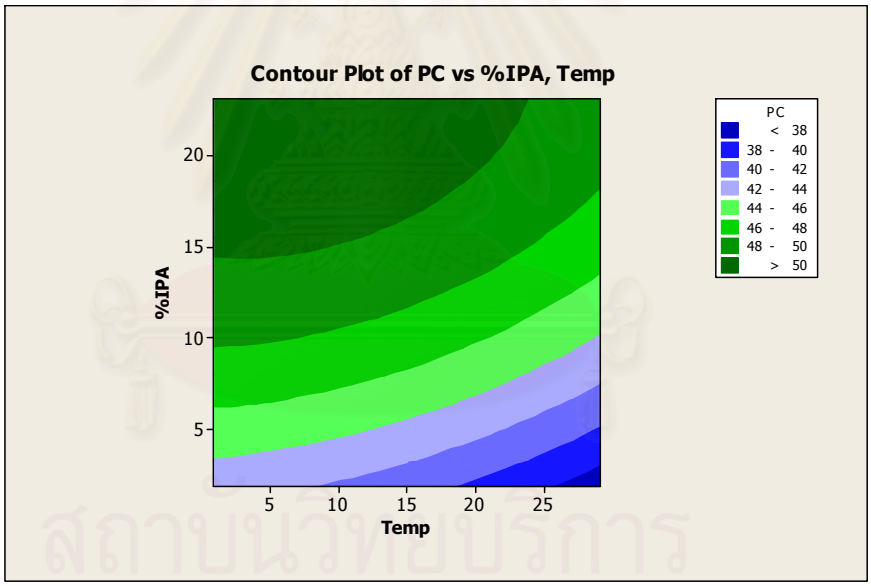
R denotes an observation with a large standardized residual.

ตารางที่ 5.16 แสดงผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Uncode Units) ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

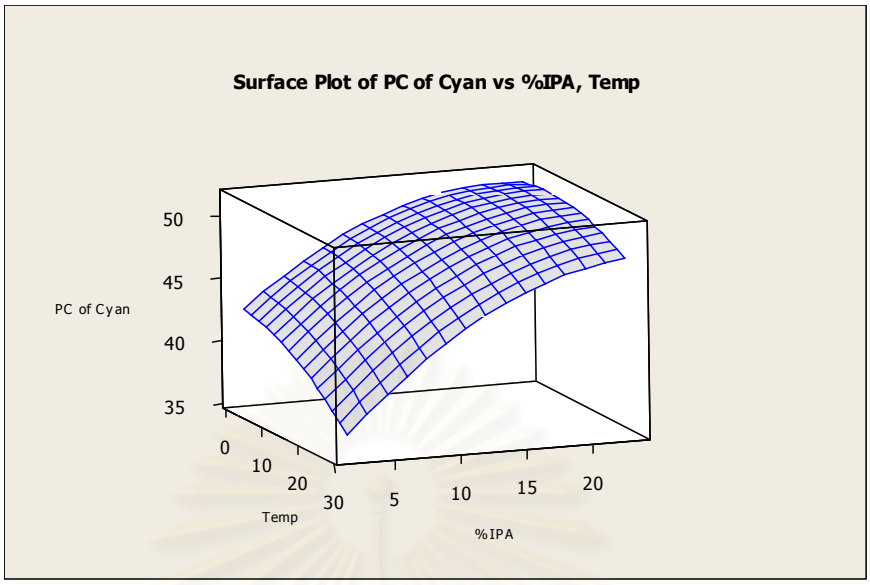
Estimated Regression Coefficients for PC of Cyan using data in uncoded units

| Term | Coef |
|---|---|
| Constant | 41.0302 |
| Temp | -0.0679717 |
| %IPA | 0.943954 |
| Temp*Temp | -0.00512500 |
| %IPA*%IPA | -0.0224444 |
| Temp*%IPA | 0.00666667 |

เมื่อใช้การประมวลผลในลักษณะของวิธีการปีนขึ้นด้วยทางที่ชันที่สุด (Steepest Ascent) จะแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นลักษณะของกราฟโครงร่าง (Contour Plot) และพื้นผิวผลตอบ (Response Surface) ดังรูปที่ 5.30 และ 5.31

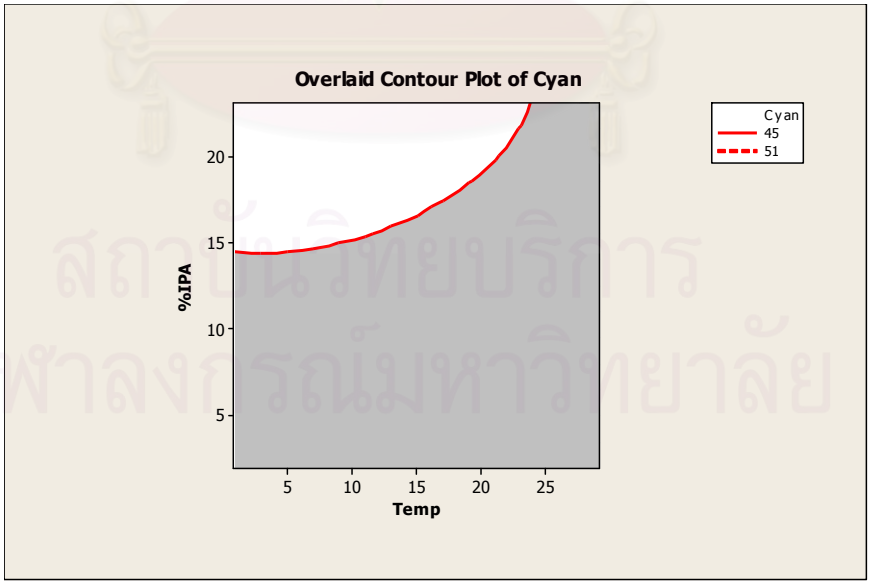



รูปที่ 5.30 กราฟโครงร่าง (Contour Plot) ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA)




รูปที่ 5.31 กราฟพื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA)

นอกจากนี้ ยังสามารถแสดงกราฟโครงร่าง Overlaid ที่แสดงพื้นที่ซึ่งทำให้ผลตอบแทนดีที่สุดของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 5.32




รูปที่ 5.32 กราฟโครงร่าง Overlaid ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA)

5.4.2 ตัวแบบถดถอย

จากข้อมูลที่ได้ และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบลดรูปของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง นำเทอมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ คือ อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA) มาหาความสัมพันธ์เพื่อหาตัวแบบถดถอย ผลจากตารางที่ 5.15 พบว่า รูปแบบของการทดลองนี้มีลักษณะของพจน์ที่เป็นสมการกำลังสอง (Second Order) หรือ ควอดราติก (Quadratic) แสดงว่ารูปแบบของการทดลองนี้เป็นลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) สามารถหาสมการถดถอยที่เป็นตัวแทนของตัวแบบของความเปรียบต่างสีได้ดังนี้

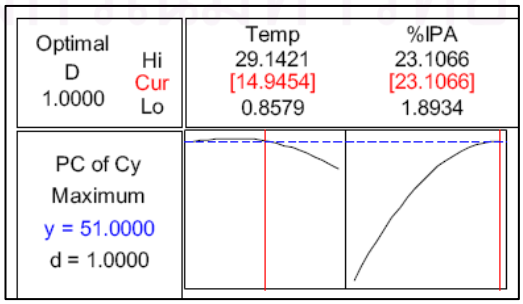
| Y (Print Contrast of Cyan) = 48.4000 – 1.3839Temp + 3.6213%IPA + 1.2625%IPA*%IPA |
|---|

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรแบบถดถอย พบว่าค่า P-Value ของตัวแบบถดถอยมีค่าน้อยกว่า 0.05 ทำให้สรุปได้ว่าตัวแบบถดถอยมีความสามารถในการอธิบายความผันแปรที่เกิดขึ้นในตัวแปรตอบสนองได้

และจากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจหรือ $R^2$ (adj) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 93.1 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ ความผันแปรจำนวน 93.1 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ ส่วนปริมาณความผันแปรที่เหลืออีก 6.9% ไม่สามารถอธิบายได้เนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนโดยสาเหตุธรรมชาติ นั่นคือตัวแบบถดถอยนี้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่าง ๆ ตามต้องการ

5.4.3 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

จากการทดลองใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodoly : RSM) ในโปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าถ้าต้องการให้ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) อยู่ในช่วงที่ต้องการต้องเลือกปรับตั้งค่าอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นที่ประมาณ 14.94 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนแอลกอฮอล์ (%IPA) ในน้ำยาทำชื้น 23.10 % สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 5.33




รูปที่ 5.33 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากรูปที่ 5.33 สามารถสรุประดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้ดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 แสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ

| ปัจจัย | ค่าที่เหมาะสมของระดับ | ค่าที่นำไปใช้จริง |
|---|---|---|
| อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น | 14.9454 องศา | 15.00 องศา |
| อัตราส่วน %IPA ในน้ำยาทำชื้น | 23.1066 % V/V | 23.00 % V/V |

**5.5 การทดสอบยืนยันผล**

หลังจากที่ได้ค่าที่เหมาะสมของระดับทั้ง 2 ปัจจัยแล้ว ในขั้นตอนถัดไปจะเป็นการทดสอบยืนยันผล ซึ่งมีวัตถุประสงค์ เพื่อที่จะศึกษาค่าเฉลี่ยของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) หลังจากการปรับค่าปัจจัยทั้ง 2 คือ อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น และ อัตราส่วนการใช้ % IPA ตามบทสรุปในหัวข้อที่ 5.4.2 หลังจากที่ได้ทำทดสอบเพื่อหาระดับที่เหมาะสมโดยใช้สี Cyan เป็นตัวแบบ

จากนั้นจะนำค่าที่เหมาะสมของระดับของปัจจัยทั้ง 2 ตัว ดังกล่าวมาทำการทดสอบในกระบวนการพิมพ์จริงและวัดค่าความเปรียบต่างของสีพิมพ์ที่เหลือทั้ง 3 สี โดยตรวจวัดด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ และพิจารณาจากค่าความเปรียบต่างสี ในแต่ละสีที่วัดได้เทียบกับข้อกำหนดค่ามาตรฐาน (ค่า Mean) ที่ได้ในช่วงต่ำสุดและสูงสุดซึ่งวัดได้จากแผ่นพิมพ์ที่ลูกค้าได้มีการ Approved

5.5.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ

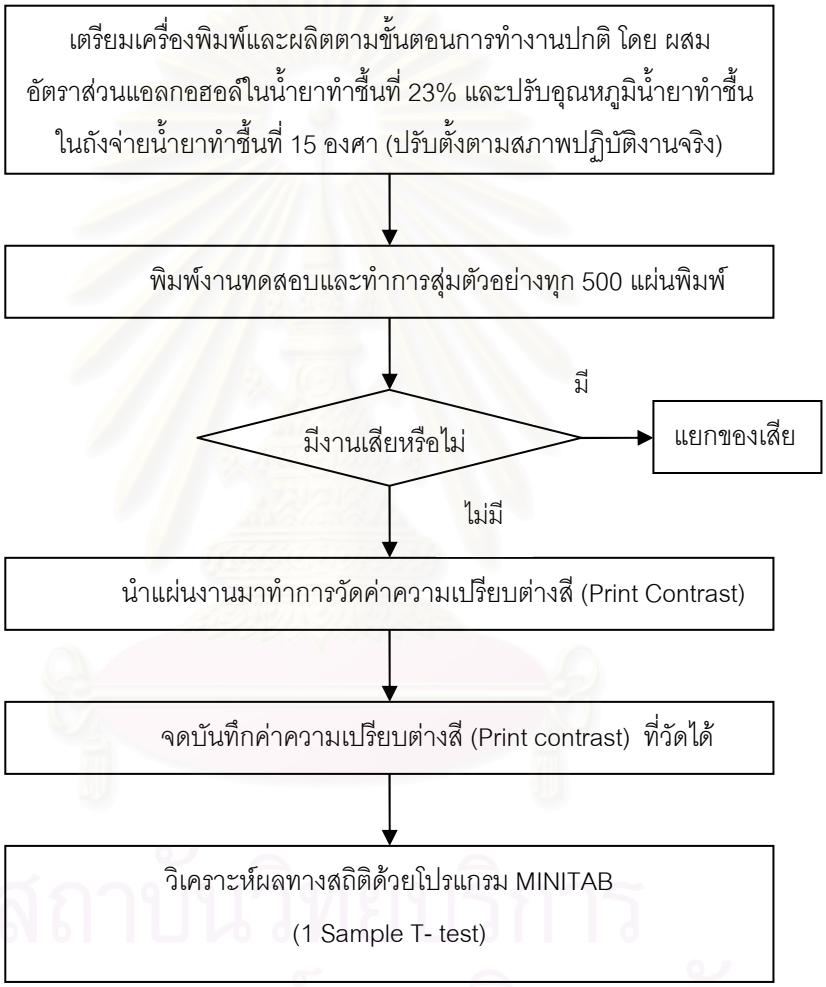
เพื่อที่จะศึกษาค่าความเปรียบต่างสี หลังจากการปรับค่าปัจจัยทั้ง 2 คือ อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA) ตามที่สรุปในตารางที่ 5.17

5.5.2 การเตรียมการทดลอง

จำนวนแผ่นพิมพ์เพื่อพิมพ์ทดสอบจำนวน 10,000 แผ่น โดยเลือกจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ B ซึ่งในที่นี้จะเลือกจาก Lot size ทีมีปริมาณแผ่นพิมพ์เพียงพอต่อการทดสอบจากนั้นดำเนินการทดลองที่สภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิต

5.5.3 ขั้นตอนในการทดลอง

พิมพ์งานของลูกค้าที่ได้เลือกจากขั้นตอนการนิยามปัญหา ตามสภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิต และเก็บข้อมูลของค่าความเปรียบต่างสี จากแผ่นพิมพ์โดยการสุ่มทุก 500 แผ่นของสี Process ทุกสีคือ สีดำ (Black), สีฟ้า (Cyan), สีแดง (Magenta), และสีเหลือง (Yellow) จากกระบวนการผลิตที่ได้จากการปรับค่าปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยตามระดับที่กำหนดไว้ และนำข้อมูลใส่ในโปรแกรม MINITAB เพื่อการวิเคราะห์ผล โดยมีขั้นตอนในการดังรูปที่ 5.34




รูปที่ 5.34 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผลการทดลอง

5.5.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้ทำการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) ของ ค่าความเปรียบต่างสีกับค่า Mean ของสีดำ (Black) = 54, สีฟ้า (Cyan) = 48, สีแดง (Magenta) = 45 และสีเหลือง (Yellow) = 44

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$H_0$ = ค่าความเปรียบต่างสีของสีดำ (Black) ไม่มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

$H_1$ = ค่าความเปรียบต่างสีของสีดำ (Black) มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

ตารางที่ 5.18 การวิเคราะห์ผลต่างค่าความเปรียบต่างของสีดำ (Black) กับค่า Mean

**One-Sample T: Values**

Test of mu = 54 vs not = 54

| Variable | N | Mean | StDev | SE Mean | 95% CI | T | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Black | 20 | 53.900 | 0.9679 | 0.2164 | (53.4470, 54.3530) | -0.46 | 0.649 |

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$H_0$ = ค่าความเปรียบต่างสีของสีฟ้า (Cyan) ไม่มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

$H_1$ = ค่าความเปรียบต่างสีของสีฟ้า (Cyan) มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

ตารางที่ 5.19 การวิเคราะห์ผลต่างค่าความเปรียบต่างของสีฟ้า (Cyan) กับค่า Mean

**One-Sample T: Values**

Test of mu = 48 vs not = 48

| Variable | N | Mean | StDev | SE Mean | 95% CI | T | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cyan | 20 | 47.900 | 0.6407 | 0.1433 | (47.6001, 48.1999) | -0.70 | 0.494 |

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$H_0$ = ค่าความเปรียบต่างสีของสีแดง (Magenta) ไม่มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

$H_1$ = ค่าความเปรียบต่างสีของสีแดง (Magenta) มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

ตารางที่ 5.20 การวิเคราะห์ผลต่างค่าความเปรียบต่างของสีแดง (Magenta) กับค่า Mean

**One-Sample T: Values**

Test of mu = 45 vs not = 45

| Variable | N | Mean | StDev | SE Mean | 95% CI | T | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Magenta | 20 | 44.950 | 0.8256 | 0.1846 | (44.5636, 45.3364) | 0.27 | 0.789 |

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$H_0$ = ค่าความเปรียบต่างสีของสีเหลือง (Yellow) ไม่มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

$H_1$ = ค่าความเปรียบต่างสีของสีเหลือง (Yellow) มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

ตารางที่ 5.21 การวิเคราะห์ผลต่างค่าความเปรียบต่างของสีเหลือง (Yellow) กับค่า Mean

**One-Sample T: Values**

Test of mu = 44 vs not = 44

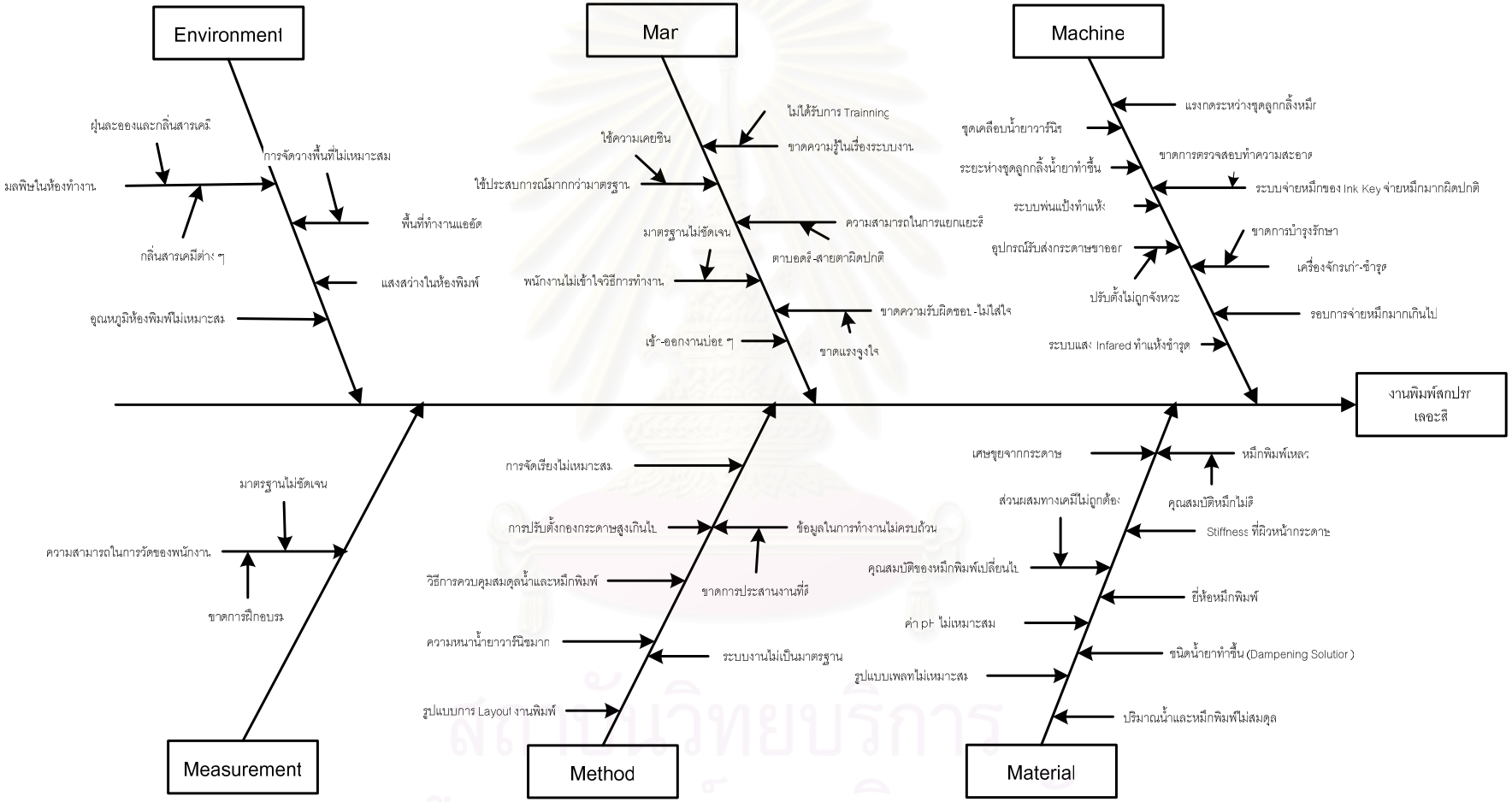
| Variable | N | Mean | StDev | SE Mean | 95% CI | T | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Yellow | 20 | 44.050 | 0.8870 | 0.1983 | (43.6349, 44.4651) | 0.25 | 0.804 |

จากผลการทดสอบค่าความเปรียบต่างสีที่ได้จากการผลิตจริงพบว่า มีค่า Mean เท่ากับ สีดำ 53.90 สีฟ้า 47.90 สีแดง 44.95 และสีเหลือง 44.05 เพราะฉะนั้นที่สภาวะของปัจจัยทั้ง 2 ประการ คือ อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น 15 องศาเซลเซียสและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA) 23% มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติจริงในกระบวนการผลิต

จากนั้นทีมงานได้นำข้อมูลดังกล่าวเสนอต่อผู้จัดการฝ่ายผลิตให้กำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมดังกล่าวใช้เป็นมาตรฐานได้สำหรับงานพิมพ์ทุกประเภทเนื่องจากระดับปัจจัยทั้ง 2 นั้นเป็นองค์ประกอบที่ช่วยให้เกิดความสมดุลระหว่างหมึกพิมพ์และน้ำได้ตลอดระยะเวลาการพิมพ์ ซึ่งจากวิเคราะห์ร่วมกัน พบว่ามีบางประเด็นที่ต้องปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมสำหรับงานพิมพ์บรรจุภัณฑ์ตัวอื่น ๆ คือ รอบการจ่ายน้ำยาทำชื้น การปรับตั้งความหนาบางของน้ำยาทำชื้น

## 5.6 ปัญหาสีพิมพ์สกปรก

ในการวิเคราะห์ปัญหาของเสียที่เหลืออีก 4 ประเภท ซึ่งประกอบไปด้วย ปัญหาเศษขี้หมึก (12.65%) รอยคราบสกัม (15.99%) คราบซับหลัง (10.69%) และรอบขูดขีด (4.89%) ทั้งหมดคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 39.34% ของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งเป็นปัญหาของเสียที่เกิดจากสีพิมพ์สกปรก ทีมงานได้ร่วมกันระดมสมองเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยต่าง ๆ ที่คาดว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ได้ผลสรุปดังแผนภูมิแสดงเหตุและผลในรูปที่ 5.35 หลังจากทำการวิเคราะห์ได้กำหนดแนวทางในการแก้ปัญหาของเสียประเภทสีพิมพ์สกปรกทั้ง 3 ประเภทดังนี้




รูปที่ 5.35 แผนภาพแสดงเหตุและผลกรณีวิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่าเป็นสาเหตุของงานพิมพ์สกปรก

5.6.1 ปัญหาคราบขี้หมึก/ขี้กระดาษ (Hicky)

ปรากฏการณ์ที่บริเวณหน้าพิมพ์ มีจุดขาวเกิดเป็นแห่ง ๆ สาเหตุเกิดจากหมึกที่แห้งตัวหลุดไปเกาะติดบนแบบพิมพ์ หรือ แป้งของกระดาษ จับตัวเป็นก้อนไปเกาะติดบนแบบพิมพ์ จุดขาวที่เกิดขึ้นมักพบเห็นในบริเวณพื้นตาย ถ้าเกิดขึ้นมากก็จะรู้ได้ทันที แต่ถ้าเกิดขึ้นมักถูกมองข้ามไป ดังนั้น ในการตักตักหมึกพิมพ์จากกระป๋อง ต้องระวังอย่าให้ผิวหมึกที่แห้งผสมรวมเข้าไปในหมึก และนอกจากนี้ กระดาษอาร์ตจะมีผงตัดกระดาษ (Cutter Dust) เกาะติดผิวง่าย หรือ กระดาษที่มีผิวอ่อน แป้งของกระดาษจะหลุดออกมาง่าย ดังนั้นแนวทางในการแก้ปัญหาส่วนหนึ่งคือการกำหนดมาตรฐานเวลาในการเปลี่ยนใบมีดตัดกระดาษ โดยกำหนดเปลี่ยนทุก 2 สัปดาห์หรือพิจารณาจากความเรียบบริเวณขอบกระดาษทั้ง 4 มุม

5.6.2 ปัญหารอยคราบสกัม (Scumming)

การป้องกันคราบสกัมต้องระวังมิให้เกิดการรวมตัวของน้ำกับหมึก โดยการเพิ่มปริมาณน้ำยาจะต้องปรับในอัตราส่วนที่พอดี สารบางชนิดที่เกาะติดอยู่บนกระดาษ อาจช่วยให้เกิดคราบสกปรกแบบละอองได้ง่าย การเกิดคราบหมึกพิมพ์ที่ลอยตัวในน้ำบ่อยครั้งจะนำไปสู่การเกิดคราบสกปรกเป็นสกัมได้ ดังนั้นจึงเป็นข้อสังเกตุที่ช่างพิมพ์ต้องสังเกตุปัญหาดังกล่าวในระหว่างการผลิต

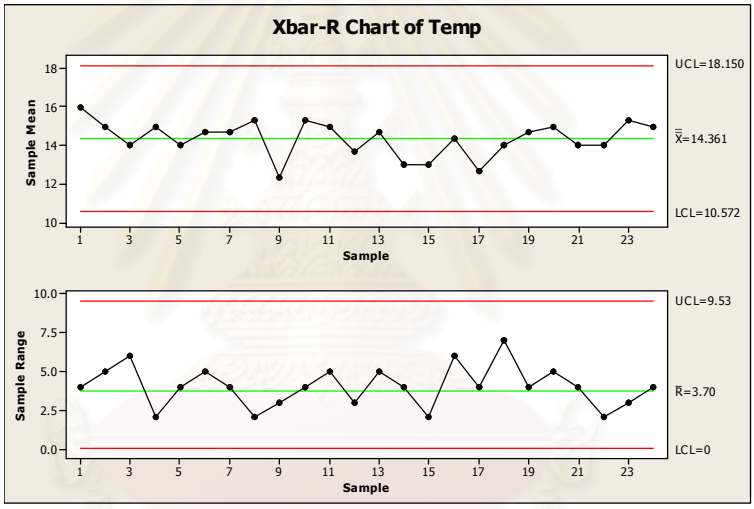
นอกจากนี้ยังมีการปรากฏการณ์ที่มีลักษณะคล้ายกับคราบสกปรกเป็นละออง เรียกว่า Bleeding สาเหตุเกิดจากอนุภาคเล็ก ๆ ในผงสี (pigments) หลุดลอยอยู่ในน้ำแก้ไขโดยการเปลี่ยนหมึกใหม่ สาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาคราบสกัมมาจากปัญหาการเสียสมดุลระหว่างหมึกพิมพ์และน้ำยาทำชื้น แนวทางหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาดังกล่าว โดยการปรับตั้งอุณหภูมิและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้นตามค่าที่ได้จากการทดลอง

5.6.3 ปัญหารอยคราบซับหลัง (Set Off)

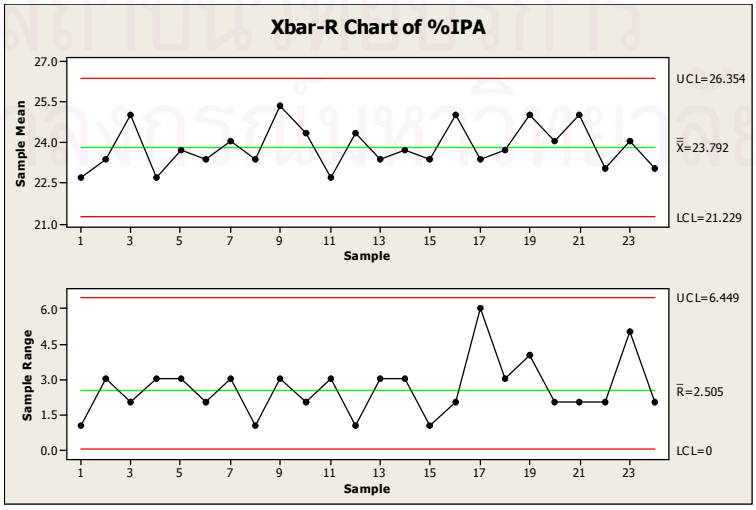
ในขั้นตอนที่หมึกกำลังแห้ง (หรือในระหว่างเซตตัว) การเรียงซ้อนกระดาษหรือการขนถ่ายอย่างรุนแรงจะทำให้เกิดแรงกดที่ไม่เสมอเรียบ เกิดแรงกดเฉพาะที่มาก หมึกพิมพ์ของกระดาษพิมพ์ที่สัมผัสกันอยู่ก็จะลอกเปื้อนเป็นรอยสกปรก จึงต้องเน้นความระมัดระวังในเรื่องดังกล่าว นอกจากนี้หมึกพิมพ์ที่ใช้ควรพิจารณาใช้สีเข้มและในขณะพิมพ์ต้องปล่อยหมึกพิมพ์ให้จางที่สุด โดยเลือกชนิดของหมึกพิมพ์ กระดาษ การใช้สเปรย์เพาเดอร์ การผสมแป้งข้าวโพดให้ถูกต้องตามข้อกำหนดผู้ผลิต ทางทีมงานในมีข้อสรุปให้ใช้หมึกพิมพ์โปร่งแสง 4 สี โปรเซส Toyo Ink Carton King Series เนื่องผลการวิเคราะห์ข้อมูลงานพิมพ์พบว่าปริมาณการใช้หมึกพิมพ์อยู่ในอัตราส่วนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับหมึกพิมพ์ยี่ห้ออื่นที่ใช้งานในปริมาณงานที่เท่ากัน

## 5.7 การควบคุมกระบวนการผลิต

หลังจาก ในขั้นตอนนี้จะเป็นการควบคุมกระบวนการผลิตโดยเฉพาะปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA) ให้สามารถผลิตงานพิมพ์ที่มีค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ให้อยู่ในระดับที่กำหนดและช่วยให้สีพิมพ์ที่ได้มีความสม่ำเสมอตั้งแต่ต้นจนสิ้นสุดกระบวนการพิมพ์ เนื่องจากแอลกอฮอล์ (Isopropyl Alcohol) ที่ใช้ผสมในน้ำยาทำชื้นเป็นสารเคมีที่ระเหยเมื่ออยู่ในอากาศดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจึงต้องคอยติดตามควบคุมการเปลี่ยนแปลงของระดับแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้นตลอดกระบนการพิมพ์รวมทั้งอุณหภูมิของน้ำยาทำชื้นจะต้องอยู่ในระดับที่กำหนด และจากข้อมูลบันทึกการเปลี่ยนแปลงของทั้ง 2 ปัจจัยดังกล่าวตลอด 24 ชั่วโมงสามารถสรุปข้อมูลได้ดังรูปที่ 5.36 และ 5.37




รูปที่ 5.36 กราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำยาทำชื้นระหว่างการผลิต




รูปที่ 5.37 กราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงระดับแอลกอฮอล์ (%IPA) ในน้ำยาทำชื้น

เนื่องจากปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 อาจเกิดความผันแปรไปจากค่าที่กำหนดไว้ จึงได้มีการนำเทคนิคของการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (Statistical Process Control) มาใช้ในการควบคุมจากแผนภูมิควบคุม และจากบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทั้ง 2 ในภาคผนวก ง. สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB ได้รูปที่ 5.36 และ 5.37 พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นอยู่ที่ประมาณ 23.792 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 23.00 องศาเซลเซียส และจากการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของระดับ % แอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้นตลอดช่วงเวลาเดินเครื่องโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 15.348% มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 15.00 % โดยพิจารณาจากค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ที่วัดค่าได้ในแต่ละช่วงของการบันทึกค่าปัจจัยทั้ง 2 อยู่ในTolerance ที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งมีค่าดัชนีอยู่ในระดับที่พอใช้ถึงดี

7.1 ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตงานพิมพ์

ในการควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้ค่าความเปรียบต่างสีเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดจำเป็นต้องมีการควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเพื่อป้องกันความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความหลากหลายของวัตถุดิบที่ใช้ เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) โดยแสดงรายละเอียดการควบคุมดังตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.22 การควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต

| วัตถุดิบ (Material) | ชนิด/การควบคุม |
|---|---|
| หมึกพิมพ์โปร่งแสงชุด 4 สี Process | Toyo Ink Carton King Series |
| ชนิดเพลท (Positive Presensitised) | Fuji Conventional Plate / CTP Plate |
| น้ำยาฟาวน์เทน (Fountain Solution) | EC Fountain (น้ำยาทำชื้น:น้ำ = 1:8) |
| น้ำที่ใช้ในการผสมกับน้ำยาฟาวน์เทน | น้ำกลั่น pH = 7.00 |
| ชนิดของผ้ายาง (Blanket) | Kinyo Series S7000 |
| ชนิดลูกกลิ้งหมึก (Roller) | ยี่ห้อ Boscher รุ่น FC-4321A |
| ชนิดกระดาษกล่องเคลือบแป้ง | Coated Duplex Board 310 Gram |

5.7.2 การควบคุมสภาวะแวดล้อมและวิธีการทำงาน

การปรับตั้งเครื่องจักรจะต้องมีการควบคุมให้อยู่ในสภาวะปกติ สภาวะแวดล้อมมีผลต่อกระบวนการผลิตเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพได้ง่ายเช่น ความโค้ง

งอของกระดาษ หรือการสูญเสียความชื้นของแม่พิมพ์ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 25 $\pm$ 1 $^{0}$C และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 50-60% รายละเอียดการควบคุมดังตารางที่ 5.23

ตารางที่ 5.23 แผนการการควบคุมสภาวะแวดล้อม

| รายละเอียด | ค่ามาตรฐาน/วิธีการควบคุม |
|---|---|
| อุณหภูมิภายในห้องพิมพ์ | 25 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส |
| ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) | 55 - 65% |
| การปรับตั้งส่วนป้อนกระดาษ (Feeder Unit) | ตามคู่มือวิธีการปฏิบัติงานเครื่องจักร |
| การปรับตั้งส่วนรับกระดาษ (Delivery Unit) | ตามคู่มือวิธีการปฏิบัติงานเครื่องจักร |
| การปรับตั้งหน่วยทำแห้ง (IR Dryer Unit) | ตามคู่มือวิธีการปฏิบัติงานเครื่องจักร |

นอกจากนี้การที่จะสามารถควบคุมคุณภาพงานพิมพ์ได้มาตรฐาน จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยได้กำหนดมาตรฐานในการปรับตั้งอุปกรณ์ในส่วนที่ส่งผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ ตามมาตรฐานคู่มือเครื่องจักร ซึ่งมีรายละเอียดการควบคุม ดังตารางที่ 5.24

ตารางที่ 5.24 แผนการการควบคุมสภาวะการปรับตั้งเครื่องจักร

| ปัจจัยควบคุม | เครื่องมือวัด | ช่วงการวัด | ความถี่ |
|---|---|---|---|
| การรองหนุนโมเพลท | Bench Micrometer | 0.0015 $\pm$ 0.001 mm. | ทุกสัปดาห์ |
| การรองหนุนโมผ้ายาง | Bench Micrometer | 0.0012 $\pm$ 0.001 mm. | ทุกสัปดาห์ |
| ความแข็งชุดลูกกลิ้งหมึก | Durometer | 20-35 Shore A | ทุก 2 สัปดาห์ |
| ความแข็งชุดลูกกลิ้งน้ำ | Durometer | 25-35 Shore A | ทุก 2 สัปดาห์ |
| แรงกดระหว่างลูกกลิ้งหมึก | แถบ Visual Stripes | ความหนา 3/8 นิ้ว | เมื่อเปลี่ยนงาน |
| แรงกดระหว่างลูกกลิ้งน้ำ | แถบ Visual Stripes | ความหนา 1/2 นิ้ว | เมื่อเปลี่ยนงาน |
| pH น้ำยาทำชื้น | pH Meter | 4 - 6 | ทุก 1 ชั่วโมง |

5.7.3 การควบคุมมาตรฐานและวิธีการปฏิบัติงาน

นอกเหนือไปจากการควบคุมสภาวะแวดล้อม การปรับตั้งเครื่อง ตลอดจนปัจจัยต่าง ๆ ทั้งในด้านวัตถุดิบให้เป็นไปตามมาตรฐานแล้วที่กำหนดแล้ว ทีมงานได้กำหนดให้มีการจัดทำคู่มือปฏิบัติงานเพื่อควบคุมวิธีการปฏิบัติงานของพนักงานให้เป็นมาตรฐานเดียวกันดังภาคผนวก จ.

## 5.8 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

5.8.1 ความสามารถของกระบวนการ

เมื่อทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงแก้ไขด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพโดยการออกแบบการทดลอง พบว่าความสามารถของกระบวนการอยู่ในระดับที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนทำการปรับปรุง โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.25

ตารางที่ 5.25 Process Capabilityค่าความเปรียบต่างสี ก่อนและหลังการปรับปรุง

| สีพิมพ์ | Tolerance ที่กำหนด | $C_{PK}$ ก่อนการปรับปรุง | $C_{PK}$ หลังการปรับปรุง |
|---|---|---|---|
| สีดำ : Black | 1.27-1.45 | 0.36 | 1.43 |
| สีฟ้า : Cyan | 1.02-1.13 | 0.11 | 1.06 |
| สีม่วงแดง : Magenta | 1.08-1.32 | 0.38 | 1.48 |
| สีเหลือง : Yellow | 0.98-1.06 | 0.41 | 1.35 |

จากข้อมูลทางสถิติพบว่าความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสี คือ สีดำ (Black), สีฟ้า (Cyan), สีแดง (Magenta), และสีเหลือง (Yellow) มีค่า $C_{pk}$ สูงขึ้นอยู่ในระดับ พอใช้ ถึงดี จากเดิมไม่ดี ถึงไม่ดีมาก จากผลการดำเนินงานดังกล่าวสามารถปรับปรุงค่าความเปรียบต่างสีให้สูงขึ้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตทำให้ลดปริมาณของเสียที่เกิดจากปัญหาสีเพี้ยนลงได้ โดยสามารถเปรียบเทียบกราฟความสามารถของกระบวนการ ดังรูปที่ จ-1 ถึง จ-8 ในภาคผนวก จ.

5.8.2 ปริมาณของเสียหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

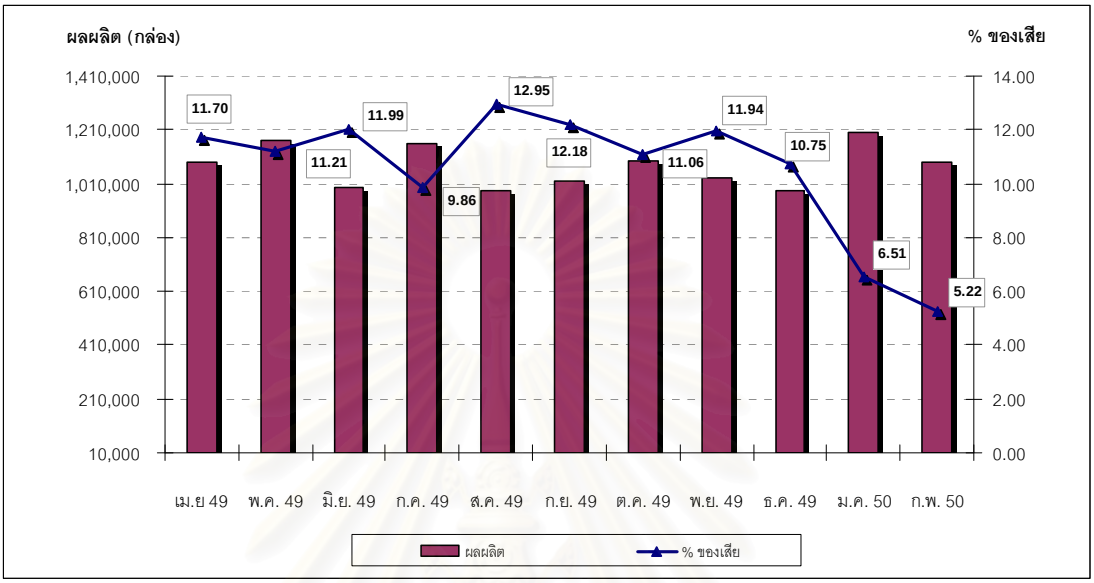
เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการดำเนินการปรับปรุงพบว่าจำนวนของเสียลดลงเมื่อเทียบกับก่อนและระหว่างดำเนินการ โดยสามารถลดจำนวนของเสียจากเดิมเฉลี่ย 11.41% ในช่วงก่อนและระหว่างการปรับปรุง ลดลงเหลือ 5.90% เทียบกับปริมาณการผลิต โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 5.26

# ตารางที่ 5.26 ข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณของเสียก่อนและหลังดำเนินการวิจัย

| ประเภทและจำนวนของเสีย (แยกรายละเอียดตามกระบวนการผลิต) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ช่วงเวลา (Period) | เดือน / ปี ที่ทำการผลิต | ยอดการผลิต (กล่อง) | กระบวนการ | พิมพ์ : Printing | | | | | | | | | | เคลือบผิว : Coating | | | | | ลามิเนต : Laminating | | | | | ปั๊ม : Diecutting | | | | | ปะกาว : Gluing | | | | | อื่นๆ | รวม |
| | | | ประเภทของเสีย | สีตลอบสีต่อกัน | สีเลื่อน | เลอะสี,สกปรก | ขึ้นสี,ขึ้นฝุ่น,สีกระดาษ | ภาพ,ภาพหาย | ภาพซ้อน | ขึ้นหลัง | ย้อยงุ่ย | ติดหน้ายางเปื้อน | รอยยับ | รอยข่วน | หมดน้ำยา | กระดาษลอก | รอยแตก,สีหลุด | ยับ | ฟูกล่องบวมก่อน | ฟูกล่องบวมหลัง | ฟูกลีบตาง | เลอะกาว | เบี้ยว | เลอะน้ำมัน | รอยไม่ขาด,ขาด,แตก | รอยยาง | ขึ้นผิดด้าน | เหลื่อม,เบี้ยว | เลอะกาว | ขาด ล่อน | รอยสะสมผาน | เสียจากกระบวนการก่อน | | |
| ก่อนการ | เม.ย 2549 | 1,089,085 | จำนวน | 8,105 | 43,645 | 25,359 | 17,270 | 1,812 | 0 | 6,750 | 0 | 875 | 432 | 765 | 1,244 | 180 | 79 | 230 | 175 | 75 | 0 | 350 | 5,264 | 442 | 2,764 | 774 | 0 | 1,390 | 572 | 2,240 | 1,540 | 2,230 | 2,840 | 127,402 |
| ดำเนิน | | | % | 0.74 | 4.01 | 2.33 | 1.59 | 0.17 | 0.00 | 0.62 | 0.00 | 0.08 | 0.04 | 0.07 | 0.11 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.48 | 0.04 | 0.25 | 0.07 | 0.00 | 0.13 | 0.05 | 0.21 | 0.14 | 0.20 | 0.26 | 11.70 |
| การวิจัย | พ.ค. 2549 | 1,273,659 | จำนวน | 5,750 | 38,646 | 35,363 | 14,280 | 1,004 | 0 | 7,740 | 0 | 120 | 985 | 86 | 294 | 250 | 220 | 340 | 543 | 1,054 | 0 | 902 | 7,652 | 210 | 3,820 | 329 | 87 | 977 | 832 | 1,820 | 2,420 | 2,043 | 3,758 | 131,525 |
| | | | % | 0.45 | 3.03 | 2.78 | 1.12 | 0.08 | 0.00 | 0.61 | 0.00 | 0.01 | 0.08 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.08 | 0.00 | 0.07 | 0.60 | 0.02 | 0.30 | 0.03 | 0.01 | 0.07671 | 0.06532 | 0.1429 | 0.19 | 0.1604 | 0.30 | 10.33 |
| | มิ.ย. 2549 | 995,908 | จำนวน | 10,124 | 40,057 | 27,359 | 15,243 | 2,802 | 0 | 4,098 | 206 | 442 | 1,093 | 672 | 1,043 | 344 | 322 | 658 | 402 | 665 | 0 | 790 | 3,277 | 540 | 1,866 | 882 | 0 | 2,310 | 991 | 654 | 767 | 1,033 | 765 | 119,405 |
| | | | % | 1.02 | 4.02 | 2.75 | 1.53 | 0.28 | 0.00 | 0.41 | 0.02 | 0.04 | 0.11 | 0.07 | 0.10 | 0.03 | 0.03 | 0.07 | 0.04 | 0.07 | 0.00 | 0.08 | 0.33 | 0.05 | 0.19 | 0.09 | 0.00 | 0.23 | 0.10 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.08 | 11.99 |
| | ก.ค. 2549 | 1,158,310 | จำนวน | 9,102 | 29,877 | 27,320 | 9,084 | 1,504 | 0 | 8,021 | 0 | 620 | 441 | 1,023 | 982 | 765 | 133 | 554 | 1,093 | 200 | 0 | 663 | 7,350 | 743 | 1,856 | 1,098 | 0 | 883 | 1,130 | 975 | 1,128 | 1,675 | 5,940 | 114,160 |
| | | | % | 0.79 | 2.58 | 2.36 | 0.78 | 0.13 | 0.00 | 0.69 | 0.00 | 0.05 | 0.04 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.01 | 0.05 | 0.09 | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 0.63 | 0.06 | 0.16 | 0.09 | 0.00 | 0.08 | 0.10 | 0.08 | 0.10 | 0.14 | 0.51 | 9.86 |
| | ส.ค. 2549 | 983,654 | จำนวน | 7,510 | 41,546 | 30,592 | 12,770 | 663 | 0 | 10,094 | 0 | 875 | 432 | 765 | 1,244 | 180 | 79 | 230 | 175 | 75 | 0 | 350 | 5,264 | 442 | 2,764 | 774 | 0 | 1,150 | 994 | 1,548 | 990 | 2,548 | 3,329 | 127,383 |
| | | | % | 0.76 | 4.22 | 3.11 | 1.30 | 0.07 | 0.00 | 1.03 | 0.00 | 0.09 | 0.04 | 0.08 | 0.13 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.04 | 0.54 | 0.04 | 0.28 | 0.08 | 0.00 | 0.12 | 0.10 | 0.16 | 0.10 | 0.26 | 0.34 | 12.95 |
| | ก.ย. 2549 | 1,021,760 | จำนวน | 5,810 | 37,466 | 31,887 | 9,996 | 2,008 | 0 | 8,943 | 0 | 1,021 | 854 | 1,092 | 742 | 335 | 240 | 458 | 984 | 232 | 345 | 1,012 | 5,755 | 560 | 3,230 | 883 | 120 | 1,209 | 752 | 2,012 | 2,298 | 2,082 | 2,130 | 124,456 |
| | | | % | 0.57 | 3.67 | 3.12 | 0.98 | 0.20 | 0.00 | 0.88 | 0.00 | 0.10 | 0.08 | 0.11 | 0.07 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.10 | 0.02 | 0.03 | 0.10 | 0.56 | 0.05 | 0.32 | 0.09 | 0.01 | 0.12 | 0.07 | 0.20 | 0.22 | 0.20 | 0.21 | 12.18 |
| ระหว่าง | ต.ค. 2549 | 1,092,575 | จำนวน | 6,764 | 40,121 | 29,874 | 6,462 | 990 | 0 | 5,892 | 0 | 554 | 764 | 1,002 | 984 | 892 | 120 | 312 | 286 | 433 | 0 | 720 | 7,256 | 882 | 2,467 | 892 | 0 | 2,080 | 840 | 3,125 | 1,183 | 2,081 | 3,894 | 120,870 |
| ดำเนิน | | | % | 0.62 | 3.67 | 2.73 | 0.59 | 0.09 | 0.00 | 0.54 | 0.00 | 0.05 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.00 | 0.07 | 0.66 | 0.08 | 0.23 | 0.08 | 0.00 | 0.19 | 0.08 | 0.29 | 0.11 | 0.19 | 0.36 | 11.06 |
| การวิจัย | พ.ย. 2549 | 1,028,518 | จำนวน | 4,453 | 40,988 | 32,653 | 5,986 | 2,093 | 0 | 7,764 | 0 | 598 | 896 | 1,091 | 980 | 759 | 40 | 498 | 200 | 320 | 0 | 650 | 8,982 | 893 | 2,675 | 982 | 0 | 1,290 | 820 | 2,144 | 1,872 | 2,077 | 1,090 | 122,794 |
| | | | % | 0.43 | 3.99 | 3.17 | 0.58 | 0.20 | 0.00 | 0.75 | 0.00 | 0.06 | 0.09 | 0.11 | 0.10 | 0.07 | 0.00 | 0.05 | 0.02 | 0.03 | 0.00 | 0.06 | 0.87 | 0.09 | 0.26 | 0.10 | 0.00 | 0.13 | 0.08 | 0.21 | 0.18 | 0.20 | 0.11 | 11.94 |
| | ธ.ค. 2549 | 984,480 | จำนวน | 2,398 | 39,985 | 30,874 | 2,034 | 1,675 | 0 | 4,552 | 0 | 1,008 | 874 | 1,392 | 1,330 | 222 | 34 | 593 | 204 | 90 | 0 | 661 | 4,452 | 872 | 2,247 | 902 | 0 | 1,004 | 643 | 3,651 | 1,024 | 1,984 | 1,112 | 105,817 |
| | | | % | 0.24 | 4.06 | 3.14 | 0.21 | 0.17 | 0.00 | 0.46 | 0.00 | 0.10 | 0.09 | 0.14 | 0.14 | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.07 | 0.45 | 0.09 | 0.23 | 0.09 | 0.00 | 0.10 | 0.07 | 0.37 | 0.10 | 0.20 | 0.11 | 10.75 |
| หลังการ | ม.ค. 2550 | 1,201,550 | จำนวน | 1,020 | 25,864 | 23,287 | 1,092 | 1,122 | 0 | 6,750 | 243 | 345 | 213 | 329 | 894 | 445 | 102 | 444 | 210 | 80 | 0 | 443 | 3,898 | 553 | 2,298 | 650 | 0 | 1,209 | 572 | 1,926 | 1,230 | 980 | 2,024 | 78,223 |
| ดำเนิน | | | % | 0.08 | 2.15 | 1.94 | 0.09 | 0.09 | 0.00 | 0.56 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.07 | 0.04 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.04 | 0.32 | 0.05 | 0.19 | 0.05 | 0.00 | 0.10 | 0.05 | 0.16 | 0.10 | 0.08 | 0.17 | 6.51 |
| การวิจัย | ก.พ. 2550 | 1,090,802 | จำนวน | 987 | 12,542 | 18,095 | 984 | 342 | 0 | 2,431 | 0 | 659 | 345 | 889 | 1,093 | 200 | 15 | 576 | 202 | 94 | 0 | 350 | 5,264 | 442 | 2,764 | 774 | 0 | 984 | 873 | 1,651 | 983 | 1,783 | 1,652 | 56,974 |
| | | | % | 0.09 | 1.15 | 1.66 | 0.09 | 0.03 | 0.00 | 0.22 | 0.00 | 0.06 | 0.03 | 0.08 | 0.10 | 0.02 | 0.00 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.48 | 0.04 | 0.25 | 0.07 | 0.00 | 0.09 | 0.08 | 0.15 | 0.09 | 0.16 | 0.15 | 5.22 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากข้อมูลในตารางที่ 5.26 สรุปแนวโน้มปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงก่อนดำเนินการวิจัยถึงหลังดำเนินการวิจัยได้ผลสรุปดังรูปที่ 5.38




รูปที่ 5.38 เปรียบเทียบปริมาณของเสียก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

จากข้อมูลปริมาณของเสียในตารางที่ 5.26 และรายละเอียดมูลค่าของบรรจุภัณฑ์กล่องแต่ละ Item สามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังตารางที่ 5.27

ตารางที่ 5.27 เปรียบเทียบปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต
(ก่อนและหลังการดำเนินการ)

| ช่วงเวลา | ผลการดำเนินงาน | | | |
|---|---|---|---|---|
| | จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ | ปริมาณของเสีย (กล่อง) | สัดส่วนของเสีย (%เฉลี่ย) | มูลค่าความสูญเสียเฉลี่ย (บาท) |
| ก่อนดำเนินการ | 6,522,376 | 744,331 | 11.41% | 3,652,508.71 |
| ระหว่างดำเนินการ | 3,105,573 | 349,481 | 11.25% | 3,571,595.50 |
| หลังดำเนินการ | 2,292,352 | 135,197 | 5.90% | 1,231,876.54 |

หลังจากทำการปรับปรุงด้วยมาตรการต่าง ๆ ทำให้สามารถลดปริมาณของเสียที่ลงได้ 48.29% โดยเทียบจากสัดส่วนจำนวนกล่องที่ทำการผลิต

## 5.9 สรุปขั้นตอนการดำเนินการวิเคราะห์และปรับปรุง

จากผลการทดสอบยืนยันผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าสามารถกำหนดค่าของปัจจัยที่ได้จากการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม และทำการควบคุมปัจจัยโดยการออกแบบการทดลองโดยกำหนดระดับที่เหมาะสมได้ดังตารางที่ 5.17 สำหรับปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่ถูกนำมาทำการออกแบบการทดลอง ทางผู้วิจัยทำการควบคุมและกำหนดมาตรฐานเพื่อให้ไม่มีผลกระทบต่อปัจจัยหลัก อันจะทำให้ผลการทดลองที่นำมาใช้ในการควบคุมค่าความเปรียบต่างสีของ Process Color เป็นไปได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และจากผลการดำเนินงานวิจัยดังกล่าวสามารถปรับปรุงค่าความเปรียบต่างสีให้สูงขึ้น ทำให้จำนวนของเสียลดลงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เมื่อเปรียบเทียบเวลาก่อนและหลังปรับปรุงพบว่าจำนวนของเสียลดลง 5.90% จากเดิม 11.41% คิดเป็นสัดส่วนที่ลดลง 48.29%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 6

# บทสรุป และข้อเสนอแนะ

## 6.1 บทนำ

จากงานการวิจัยดังกล่าว ได้นำเสนอความคิดและการปรับปรุงเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้น ในกระบวนการผลิต โดยหยิบยกปัญหาข้อบกพร่องในเรื่องของสีพิมพ์เพี้ยนและปัญหาในด้านคุณภาพที่เกิดขึ้นจากกระบวนการพิมพ์ มาดำเนินการปรับปรุงเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับของเสีย ที่มีคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ตรงกับข้อกำหนด สาเหตุหลักในการเกิดความสูญเสียทางการผลิต ของบริษัทฯ มาจากกระบวนการพิมพ์เป็นสำคัญทั้งนี้ เนื่องจากการวิเคราะห์พบว่าเป็นกระบวนการที่เป็นสาเหตุให้เกิดของเสียมากที่สุด และจากการวิเคราะห์ลงไปถึงสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาของเสียพบว่าปัญหาสีเพี้ยนหรือปัญหาสีพิมพ์ไม่สม่ำเสมอเป็นสาเหตุถึง 30.31% หรือกว่า 1 ใน 3 ของจำนวนของเสียทั้งหมด โดยมีปัญหาคราบสีพิมพ์สกปรกเป็นปัญหาลำดับรองลงไปอีกกว่า 39.34%

เมื่อทีมงานได้ร่วมกันวิเคราะห์ศึกษา พบว่าปัญหาทั้ง 4 ประการนั้นมีความเกี่ยวเนื่องกัน เนื่องกันจากส่วนหนึ่งมาจากสภาวะและเงื่อนไขในกระบวนการพิมพ์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในช่วงที่มีการพิมพ์งานระยะยาวทำให้สภาวะควบคุมต่าง ๆ ที่ได้ปรับตั้งในช่วงแรกของการพิมพ์เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบทำชื้นหรือ (Dampening System) ที่มีน้ำยาทำชื้นเป็นสาเหตุหลัก ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถปรับปรุงค่าความเปรียบต่างสีให้สูงขึ้นทำให้สามารถลดจำนวนของเสียอันเนื่องจากสีพิมพ์เพี้ยนหรือไม่สม่ำเสมอรวมทั้งปัญหาที่เกี่ยวเนื่องอีก 3 ทั้งประเภท

ตารางที่ 6.1 ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)
ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ก่อนและหลังการปรับปรุง

| สีพิมพ์ | Tolerance ที่กำหนด | $C_{PK}$ ก่อนการปรับปรุง | $C_{PK}$ หลังการปรับปรุง |
|---|---|---|---|
| สีดำ : Black | 1.27-1.45 | 0.36 | 1.43 |
| สีฟ้า : Cyan | 1.02-1.13 | 0.11 | 1.06 |
| สีม่วงแดง : Magenta | 1.08-1.32 | 0.38 | 1.48 |
| สีเหลือง : Yellow | 0.98-1.06 | 0.41 | 1.35 |

ซึ่งมีรายละเอียดดังสรุปผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

## 6.2 บทสรุปขั้นตอนการศึกษาภาพปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง

ในขั้นตอนนี้ได้มีการศึกษารายละเอียดการดำเนินงานของโรงงานตัวอย่าง ผู้วิจัยได้ร่วมกับทีมงานเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลที่ได้ พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นกว่าร้อยละ 69.64% เกิดจากของเสียทั้งสิ้น 4 ประเภท และพบว่ากว่าร้อยละ 30.31% หรือเกือบ 1 ใน 3 เป็นปัญหาที่เกิดจากสีพิมพ์เพี้ยนไม่เป็นไปตาม ข้อกำหนดของลูกค้า ซึ่งต้องทำการปรับปรุงแก้ไขอย่างเร่งด่วน และจากการเปรียบเทียบข้อมูลของเสีย สัดส่วนปริมาณการผลิต กลุ่มเครื่องจักรที่ใช้เป็นกำลังหลักในการผลิตและแนวโน้มการเติบโตของผลิตภัณฑ์ จึงได้เลือกทำการศึกษาเครื่องพิมพ์ในกลุ่ม 4 สีทั้ง 3 เครื่อง โดยนำผลิตภัณฑ์ชนิด B ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภท Food and Beverage มาเป็นต้นแบบในการพัฒนาปรับปรุง ส่วนปัญหาของเสียที่เหลืออีก 3 ประเภทนั้น จะดำเนินการวิเคราะห์และแก้ไขไปในคราวเดียวกัน

## 6.3 บทสรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา

ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้คือ ผลของการวิเคราะห์ความเม่นยำของระบบการวัด ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุ และผล (Cause and effect diagram) และผลจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) โดยนำผลลัพธ์ที่ได้เหล่านี้ไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

### 6.3.1 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความเม่นยำของระบบการวัด

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบการวัดพบว่าระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจสอบทั้ง 2 ประเภท ซึ่งประกอบไปด้วย

- การวิเคราะห์ระบบการวัดในลักษณะข้อมูลแบบนับค่าได้ (Attribute data)
- การวิเคราะห์ระบบการวัดในลักษณะข้อมูลแบบวัดค่าได้ (Variable data)

### 6.3.2 ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix)

จากปัจจัยนำเข้าที่นำมาพิจารณาทั้งสิ้น 26 ปัจจัย มาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการ และปัจจัยนำเข้า ด้วยตารางสาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix) แล้วจัดเรียงลำดับคะแนนตามความสำคัญด้วยผังพาเรโตจึงเหลือปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองเพียง 16 ปัจจัย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) ต่อไป

6.3.3 จากการจัดลำดับความสำคัญด้วยผังพาเรโต ในขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) พบว่าสาเหตุหลักที่สำคัญที่มีแนวโน้มกับผลให้เกิดปัญหาสีพิมพ์เพี้ยน 71.63 % มาจาก 4 สาเหตุหลัก ได้แก่

- อัตราส่วนผสมของแอลกอฮอล์ (%IPA) ในน้ำยาทำชื้น
- การผสมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์ (Additive)
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำยาทำชื้น
- อุณหภูมิของน้ำยาทำชื้น (Temperature)

ซึ่งสาเหตุหลัก ทั้งหมดนี้ จะนำไปวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญในขั้นตอนการวิเคราะห์และปรับปรุงต่อไป

## 6.4 บทสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์และปรับปรุง

ในขั้นตอนนี้จะประกอบไปด้วยการวิเคราะห์สาเหตุจากปัจจัยนำเข้าทั้ง 4 ประการที่ได้คัดเลือกมาจากขั้นตอนที่ 6.3 มาทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาว่าปัจจัยเหล่านั้นเป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือไม่คือทดสอบความมีนัยสำคัญของ 2 – Sample T และจากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญพบว่ามีเพียง 3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความเปรียบต่างสีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA) และค่า pH ของน้ำยาทำชื้น

ถัดมาจึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^K$ ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง 3 จุดโดยศึกษาพฤติกรรมของค่าความเปรียบต่างสีในสภาวะต่าง ๆ ของปัจจัยนำเข้าทั้ง 4 ปัจจัยและพิจารณาสภาวะของปัจจัยทั้ง 4 คือ ที่ทำให้ค่าความเปรียบต่างสีดีที่สุด พบว่าเหลือเพียง 2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี นั่นคือ อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA) แต่ผลที่ได้จากการทดลองมีลักษณะเป็นส่วนโค้งหรือ Curvature จากนั้นจึงดำเนินการออกแบบการทดลองต่อด้วยหลักการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface) ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 6 จุด

ผลที่ได้จากการทดลองเพื่อปรับปรุงแก้ไขกระบวนการของปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าความเปรียบต่างสี โดยระดับที่เหมาะสมในการใช้งานของปัจจัยนำเข้า สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 แสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของแต่ละระดับ

| ปัจจัย | ค่าที่เหมาะสมของระดับ | ค่าที่นำไปใช้จริง |
|---|---|---|
| อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น | 14.94 องศา | 15.00 องศา |
| อัตราส่วน %IPA ในน้ำยาทำชื้น | 23.10 % V/V | 23.00 % V/V |

หลังจาก ในขั้นตอนนี้จะเป็นการควบคุมกระบวนการผลิตโดยเฉพาะปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%IPA) ให้สามารถผลิตงานพิมพ์ที่มีค่าความเปรียบต่างสีให้อยู่ในระดับที่กำหนดและช่วยให้สีพิมพ์ที่ได้มีความสม่ำเสมอตั้งแต่ต้นจนสิ้นสุดกระบวนการพิมพ์

6.4.1 ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตงานพิมพ์

ในการควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้ค่าความเปรียบต่างสีเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด จำเป็นต้องมีการควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเพื่อป้องกันความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความหลากหลายของวัตถุดิบที่ใช้ เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) โดยแสดงรายละเอียดการควบคุมดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 การควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต

| วัตถุดิบ (Material) | ชนิด/การควบคุม |
|---|---|
| หมึกพิมพ์โปร่งแสงชุด 4 สี Process | Toyo Ink Carton King Series |
| ชนิดเพลท (Positive Presensitised) | Fuji Conventional Plate / CTP Plate |
| น้ำยาฟาวน์เทน (Fountain Solution) | EC Fountain อัตราส่วน 1:8 |
| น้ำที่ใช้ในการผสมกับน้ำยาฟาวน์เทน | น้ำกลั่น pH = 7.00 |
| ชนิดของผ้ายาง (Blanket) | Kinyo Series S7000 |
| ชนิดลูกกลิ้งหมึก (Roller) | Boscher FC-4321A |
| ชนิดกระดาษกล่องเคลือบแป้ง | Coated Duplex Board 310 Gram |

6.4.2 การควบคุมสภาวะแวดล้อม

การปรับตั้งเครื่องจักรจะต้องมีการควบคุมให้อยู่ในสภาวะปกติ สภาวะแวดล้อมมีผลต่อกระบวนการผลิตเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพได้ง่ายเช่น ความโค้งงอของกระดาษ หรือการสูญเสียความชื้นของแม่พิมพ์ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 25 $\pm$ 1 $^{0}$C และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 50-60% รายละเอียดการควบคุมดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 แผนการการควบคุมสภาวะแวดล้อมและวิธีการทำงาน

| รายละเอียด | ค่ามาตรฐาน/วิธีการควบคุม |
|---|---|
| อุณหภูมิภายในห้องพิมพ์ (Press Room) | 25 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส |
| ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) | 55 – 65 % |
| การปรับตั้งส่วนป้อนกระดาษ (Feeder Unit) | ตามคู่มือ WI-PDD-001 |
| การปรับตั้งส่วนรับกระดาษ (Delivery Unit) | ตามคู่มือ WI-PDD-001 |

นอกจากนี้ได้มีการนำความรู้ และเครื่องมือเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการมาประยุกต์ใช้ ซึ่งมือรายละเอียดดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 แผนการการควบคุมสภาวะการปรับตั้งเครื่องจักร

| ปัจจัย | เครื่องมือวัด | ช่วงการวัด | ความถี่ |
|---|---|---|---|
| การรองหนุนโมเพลท | Bench Micrometer | 0.0015 $\pm$ 0.001 mm. | ทุกสัปดาห์ |
| การรองหนุนโมผ้ายาง | Bench Micrometer | 0.0012 $\pm$ 0.001 mm. | ทุกสัปดาห์ |
| pH น้ำยาทำชื้น | pH Meter | 4 - 6 | ทุก 1 ชั่วโมง |
| ความแข็งชุดลูกกลิ้งหมึก | Durometer | 20-35 องศา Shore A | ทุก 2 สัปดาห์ |
| ความแข็งชุดลูกกลิ้งน้ำ | Durometer | 25-35 องศา Shore A | ทุก 2 สัปดาห์ |
| แรงกดของลูกกลิ้งหมึก | Visual Stripes | 3/8 นิ้ว | เมื่อเปลี่ยนงาน |
| แรงกดของลูกกลิ้งน้ำ | Visual Stripes | 1/2 นิ้ว | เมื่อเปลี่ยนงาน |

6.4.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

1. ความสามารถของกระบวนการ เมื่อทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงแก้ไขด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพโดยการออกแบบการทดลองแบบ DOE

พบว่าความสามารถของกระบวนการอยู่ในระดับที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนทำการปรับปรุง โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ความสามารถของกระบวนการ ค่าความเปรียบต่างสีก่อนและหลังการปรับปรุง

| สีพิมพ์ | Tolerance ที่กำหนด | $C_{PK}$ ก่อนการปรับปรุง | $C_{PK}$ หลังการปรับปรุง |
|---|---|---|---|
| สีดำ : Black | 1.27-1.45 | 0.36 | 1.43 |
| สีฟ้า : Cyan | 1.02-1.13 | 0.11 | 1.06 |
| สีม่วงแดง : Magenta | 1.08-1.32 | 0.38 | 1.48 |
| สีเหลือง : Yellow | 0.98-1.06 | 0.41 | 1.35 |

จากข้อมูลทางสถิติพบว่าความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสี คือ สีดำ (Black), สีฟ้า (Cyan), สีแดง (Magenta), และสีเหลือง (Yellow) มีค่า $C_{pk}$ สูงขึ้นอยู่ในระดับ พอใช้ ถึงดี จากเดิมไม่ดี ถึงไม่ดีมาก จากผลการดำเนินงานวิจัยดังกล่าวสามารถปรับปรุงค่าความเปรียบต่างสีให้สูงขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตทำให้ปริมาณของเสียที่เกิดจากปัญหาสีเพี้ยนลดลง

2. ปริมาณของเสียหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการดำเนินการปรับปรุงพบว่าจำนวนของเสียลดลงเมื่อเทียบกับก่อนและระหว่างดำเนินการ พบว่าสามารถลดจำนวนของเสียจากเดิม 14.58% ในช่วงก่อนการปรับปรุงลงมาอยู่ที่ 5.46% หลังจากทำการปรับปรุงแล้วเทียบกับปริมาณการผลิต โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 เปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

| ช่วงเวลา | ผลการดำเนินงาน | | | |
|---|---|---|---|---|
| | จำนวนชิ้นงาน | ปริมาณของเสีย | สัดส่วนของเสีย | มูลค่าความสูญเสีย |
| ก่อนดำเนินการ | 6,522,376 | 744,331 | 11.41 | 3,652,508.71 |
| ระหว่างดำเนินการ | 3,105,573 | 349,481 | 11.25 | 3,571,595.50 |
| หลังดำเนินการ | 2,292,352 | 135,197 | 5.90 | 1,231,876.54 |

## 6.5 ข้อจำกัดในการดำเนินงานวิจัย

ความไม่เข้าใจและความร่วมมือของพนักงานประจำเครื่องบางรายในช่วงแรก ๆ ของการทดลอง ที่ไม่ทราบวัตถุประสงค์ของการทดลอง ทำให้ในบางครั้งละเลยที่จะให้ความร่วมมือในการทดลอง ทำให้ต้องดำเนินการทดลองหลายครั้งและ ใช้ระยะเวลานาน รวมทั้งความรู้และทัศนคติความเชื่อที่ผิด ๆ ที่มีมายาวนาน ทำให้ทีมงานต้องใช้เวลาในการทำความเข้าใจและปรับทัศนคติให้เข้าใจวัตถุประสงค์เสียก่อน นอกจากนี้ ข้อจำกัดในการทำการทดลองอีกอย่างหนึ่งคือเวลาที่ใช้ในการทดลองค่อนข้างที่จะจำกัดเนื่องจาก Lead Time ในการผลิตที่สั้นและเป็นไปอย่างรีบเร่ง เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถปัจจัยได้อย่างละเอียดทุกตัวได้

## 6.6 ข้อเสนอแนะ

6.6.1 จากการดำเนินงานวิเคราะห์และปรับปรุงเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ โดยมุ่งเน้นแก้ไขปัญหาของเสียที่เป็นปัญหาหลัก ซึ่งประกอบไปด้วยปัญหาสีเพี้ยน คราบสกัม ขี้หมึก/ขี้กระดาษ และปัญหาซับหลัง จากการดำเนินการแก้ปัญหาหลักทั้ง 4 หัวข้อสามารถลดสัดส่วนของเสียลงได้เฉลี่ย ถึง 48.29% หรือลดความสูญเสียคิดเป็นจำนวนเงินได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,231,876.54 บาท ทีมงานผู้ศึกษาได้เสนอให้ติดตามผลการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งวิเคราะห์และศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียในประเภทหรือกระบวนการอื่นที่เหลือ เพื่อลดความสูญเสียดังกล่าวลงให้น้อยที่สุด

6.6.2 การดำเนินงานนี้คาดว่าจะสามารถนำแนวทางดังกล่าวไปใช้ในการลดของเสียที่มีลำดับความสำคัญรองลงไป อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาในกระบวนการอื่น ๆ ภายในโรงงานเช่น กระบวนการปั๊มคัท กระบวนการเคลือบผิว กระบวนการลามิเนต และกระบวนการปะกาวขึ้นรูป เป็นต้น เนื่องจากรูปแบบและวิธีในการศึกษา วิเคราะห์กระบวนการ สามารถใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์กับกระบวนการผลิตได้

# รายการอ้างอิง

## ภาษาไทย


กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2547. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : เทคนิคอลเทรนนิ่งแอนด์แอพโพรช.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2544. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2544. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กิตติศักดิ์ อนุรักษ์สกุล. 2545. การวิเคราะห์และลดของเสียในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงร่างรถยนต์ โดยช้เทคนิค FMEA. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชนัตถ์ โรจนะบุรานนท์. 2546. การลดความสูญเปล่าในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต 4 สี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปารเมศ ชุติมา. 2547. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปุ่น และ สมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. บรรจุภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพมหานคร : แพคเมทส์.

มหิศรา อรุณสวัสดิ์. 2545. การใช้สีบนบรรจุภัณฑ์เพื่อสื่อรสชาติอาหารขบเคี้ยววัยรุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานฤมิตศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชัย พยัคฆโส. เทคโนโลยีการพิมพ์ออฟเซต 2. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมวิชาการพิมพ์.

วันชัย ริจิรวนิช. 2539. การเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรม : หลักการและกรณีศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว. 2545. การลดการสูญเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

# รายการอ้างอิง (ต่อ)

**ภาษาอังกฤษ**

A.Dembski. and Houston Mayer. Welcome to the FMEA Worksheet USA: [Online] Available from : http://users.compaqnet.be/cn099845/fmeaIII.xls

Daniel G. Wilson Michael Signor and Klaus Schmidt. Color Quality Assurance for Package Printing : [Online] Available from : http://www.nait.org/Journal of industrial Technology

MINITAB User 's Guide2 : Data Analysis and Quality Tools. 2000. Release 13 for Windows. (n.p.).

Montgomery, D.C. 2005. Design and Analysis of Experiments. 6 th ed. United State of America : John Wiley and Sons.

Montgomery, D.C., and Runger, G.C. 1994. Applied Statistical and Probability for Engineer. 6 th ed. United State of America : John Wiley and Sons

Sheng-Hsien (Gary) Teng and Shin-Yann (Michael) Ho. Failure Mode and Effects Analysis : An integrated approach for product design and process control USA: [Online] Available from : http://www.dur.ac.uk/j.e.m.smith/FMEA/p8.pdf#search='PROCESS%20FMEA

Woraphoom Jatuworaphat. Improvement of Hard Drive Component Packaging by Using Six-Sigma Methodology . Master 's Thesis, The Region Centre for Manufacturing System Engineering, Chulalongkorn University, 2005

Yung-Cheng Hsieh. A Case Study of Printing Process Diagnosis Using SPC Tools : [Online] Available from : http://www.nait.org/2000Visual Communication Journal

# ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ภาคผนวก ก.**

**แบบฟอร์มการให้คะแนนอัตราความสำคัญต่อค่าความเปรียบต่าง**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสอบถามการให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast)

0 = ไม่มีความสำคัญต่อลูกค้า / ไม่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี

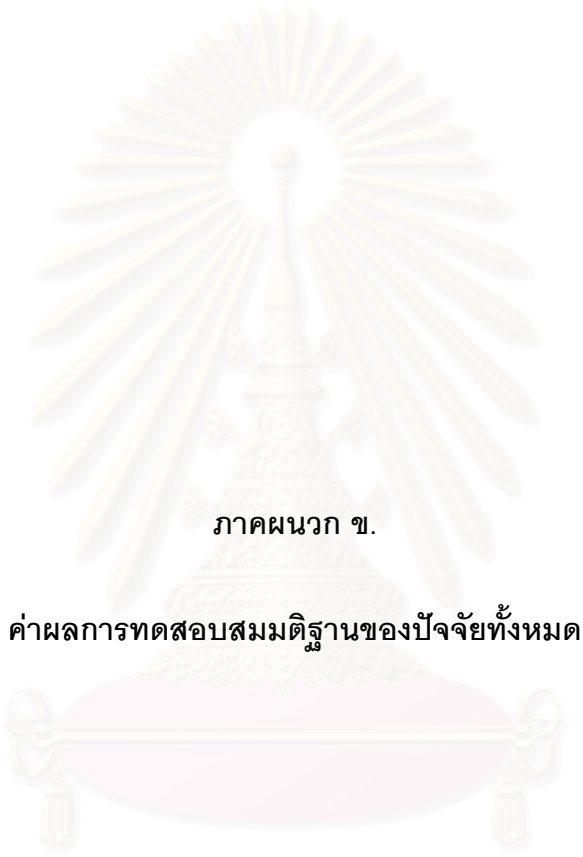
10 = มีความสำคัญต่อลูกค้าอย่างยิ่ง / มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี

ผู้ประเมิน _____

วันที่ _____

| ลำดับ | จำแนกตามสาเหตุ | ปัจจัยที่มีผล | อัตราความสำคัญต่อผลกระทบต่อค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Man | ขาดความรู้และความเข้าใจ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 2 | | ใช้ประสบการณ์มากกว่ามาตรฐานวิธีการทำงาน | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 3 | Machine | รอบการจ่ายน้ำของลูกกลิ้งในราง | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 4 | | Visual Strip ของลูกกลิ้งหมึกแตะเพลท | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 5 | | การรองหนุนโมผ้ายาง (Blanket Packing) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 6 | | แรงกดระหว่างโมเพลท – โมผ้ายาง | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 7 | | การรองหนุนโมเพลท (Plate Packing) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 8 | | ความเร็วในการเดินเครื่องจักร (Speed) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 9 | | Visual Strip ของลูกกลิ้งน้ำแตะเพลท | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 10 | | การทำ Preventive Maintenance/Overhaul | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 11 | | รอบการจ่ายหมึกของลูกกลิ้งในราง | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 12 | Measurement | Repeatability และ Reproducibility พนักงาน | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 13 | | ระบบการ Calibrate เครื่องมือวัด | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 14 | Method | มาตรฐานวิธีการทำแม่พิมพ์ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 15 | | การล้างทำความสะอาดสีพิมพ์เก่า | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 16 | Material | อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 17 | | ชนิดผ้ายาง (Blanket type) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 18 | | อัตราส่วนผสมของ IPA ในน้ำยาทำชื้น | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 19 | | ความหนืด (Viscosity) ของหมึกพิมพ์ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 20 | | ค่า pH น้ำยาทำชื้น ไม่เหมาะสม | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 21 | | ชนิดของหมึกพิมพ์ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 22 | | ชนิดกระดาษ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 23 | | สารเคมีปรับสภาพหมึกพิมพ์ (Additive) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 24 | Environment | ฝุ่นละอองและสารเคมี | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 25 | | แสงสว่างในการตรวจสอบงานพิมพ์ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 26 | | อุณหภูมิและความชื้น | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**ภาคผนวก ข.**

**ค่าผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้งหมด**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบสมมติฐานของแต่ละปัจจัย

| ตัวอย่าง | Temp (°C) | | %IPA | | Conductivity | | pH | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 25 | 5 | 20 | 2000 | 2200 | 4 | 6 |
| 1 | 46 | 39 | 38 | 43 | 37 | 45 | 38 | 38 |
| 2 | 44 | 38 | 38 | 42 | 39 | 44 | 42 | 39 |
| 3 | 40 | 38 | 40 | 41 | 39 | 41 | 39 | 37 |
| 4 | 43 | 35 | 37 | 43 | 38 | 42 | 37 | 36 |
| 5 | 42 | 40 | 38 | 40 | 35 | 44 | 38 | 37 |
| 6 | 41 | 36 | 36 | 44 | 40 | 43 | 40 | 41 |
| 7 | 43 | 40 | 40 | 41 | 38 | 45 | 40 | 38 |
| 8 | 45 | 39 | 37 | 42 | 35 | 42 | 38 | 38 |
| 9 | 44 | 37 | 40 | 39 | 40 | 45 | 39 | 39 |
| 10 | 42 | 36 | 40 | 43 | 38 | 46 | 40 | 39 |
| 11 | 42 | 35 | 39 | 41 | 34 | 47 | 39 | 38 |
| 12 | 39 | 40 | 36 | 42 | 35 | 46 | 38 | 40 |
| 13 | 40 | 33 | 38 | 41 | 38 | 45 | 38 | 38 |
| 14 | 40 | 38 | 37 | 44 | 36 | 42 | 39 | 37 |
| 15 | 42 | 36 | 36 | 38 | 38 | 47 | 41 | 38 |
| 16 | 42 | 33 | 35 | 40 | 39 | 46 | 39 | 38 |
| 17 | 41 | 33 | 34 | 39 | 39 | 44 | 39 | 38 |
| 18 | 43 | 39 | 37 | 40 | 35 | 42 | 37 | 38 |
| 19 | 40 | 35 | 39 | 39 | 36 | 45 | 40 | 38 |
| 20 | 43 | 36 | 35 | 42 | 38 | 44 | 39 | 37 |
| 21 | 45 | 34 | 38 | 41 | 35 | 45 | 41 | 37 |
| 22 | 41 | 35 | 35 | 40 | 37 | 44 | 40 | 35 |
| 23 | 42 | 32 | 35 | 39 | 37 | 45 | 38 | 39 |
| 24 | 41 | 36 | 37 | 40 | 39 | 43 | 41 | 36 |
| 25 | 41 | 37 | 38 | 38 | 38 | 42 | 38 | 38 |
| 26 | 44 | 36 | 39 | 39 | 37 | 46 | 38 | 38 |
| 27 | 41 | 34 | 34 | 39 | 36 | 46 | 39 | 38 |

**ภาคผนวก ค.**

**ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดสอบ**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดสอบ

| รอบพิมพ์ที่ | ชิ้นงานที่ | สีพิมพ์ | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Black | Cyan | Magenta | Yellow |
| 500 | 1 | 53 | 48 | 47 | 44 |
| 1,000 | 2 | 54 | 48 | 45 | 42 |
| 1,500 | 3 | 54 | 48 | 45 | 44 |
| 2,000 | 4 | 53 | 48 | 45 | 44 |
| 2,500 | 5 | 56 | 48 | 46 | 43 |
| 3,000 | 6 | 54 | 48 | 45 | 44 |
| 3,500 | 7 | 55 | 49 | 45 | 45 |
| 4,000 | 8 | 53 | 48 | 44 | 44 |
| 4,500 | 9 | 54 | 47 | 45 | 45 |
| 5,000 | 10 | 52 | 48 | 45 | 44 |
| 5,500 | 11 | 54 | 48 | 43 | 44 |
| 6,000 | 12 | 55 | 48 | 45 | 44 |
| 6,500 | 13 | 54 | 48 | 45 | 45 |
| 7,000 | 14 | 54 | 46 | 44 | 44 |
| 7,500 | 15 | 52 | 48 | 45 | 44 |
| 8,000 | 16 | 55 | 48 | 45 | 46 |
| 8,500 | 17 | 54 | 48 | 46 | 44 |
| 9,000 | 18 | 54 | 49 | 45 | 44 |
| 9,500 | 19 | 54 | 47 | 45 | 42 |
| 10,000 | 20 | 54 | 48 | 44 | 44 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก ง.

## บันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอุณหภูมิ และอัตราส่วนแอลกอออล์ (%IPA) ในน้ำยาทำชื้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอุณหภูมิน้ำยาทำชื้นและอัตราส่วนแอลกอฮอล์ (%IPA) ในน้ำยาทำชื้นในระหว่างการผลิต

อุณหภูมิน้ำยาทำชื้น (เซลเซียส)

| ลำดับ | เครื่องจักร | | |
|---|---|---|---|
| ตัวอย่าง | L-640C | R-600 4C | R-700 4C |
| 1 | 23 | 22 | 23 |
| 2 | 25 | 23 | 22 |
| 3 | 26 | 24 | 25 |
| 4 | 24 | 23 | 21 |
| 5 | 22 | 24 | 25 |
| 6 | 24 | 22 | 24 |
| 7 | 25 | 22 | 25 |
| 8 | 23 | 24 | 23 |
| 9 | 24 | 25 | 27 |
| 10 | 25 | 23 | 25 |
| 11 | 24 | 21 | 23 |
| 12 | 24 | 25 | 24 |
| 13 | 23 | 22 | 25 |
| 14 | 24 | 22 | 25 |
| 15 | 23 | 24 | 23 |
| 16 | 24 | 25 | 26 |
| 17 | 20 | 24 | 26 |
| 18 | 25 | 22 | 24 |
| 19 | 27 | 23 | 25 |
| 20 | 24 | 25 | 23 |
| 21 | 26 | 24 | 25 |
| 22 | 23 | 24 | 22 |
| 23 | 25 | 21 | 26 |
| 24 | 23 | 22 | 24 |

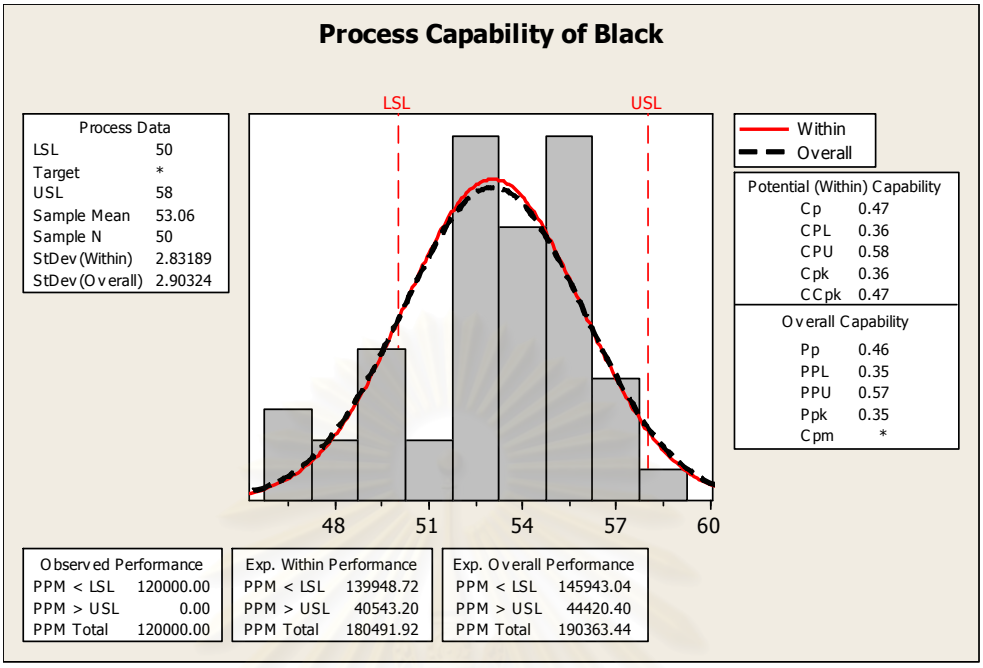
อัตราส่วนผสมแอลกอฮอล์ในน้ำยาทำชื้น (%)

| ลำดับ | เครื่องจักร | | |
|---|---|---|---|
| ตัวอย่าง | L-640C | R-600 4C | R-700 4C |
| 1 | 18 | 16 | 14 |
| 2 | 12 | 17 | 16 |
| 3 | 14 | 17 | 11 |
| 4 | 14 | 16 | 15 |
| 5 | 12 | 16 | 14 |
| 6 | 17 | 15 | 12 |
| 7 | 14 | 17 | 13 |
| 8 | 16 | 14 | 16 |
| 9 | 11 | 12 | 14 |
| 10 | 13 | 17 | 16 |
| 11 | 13 | 14 | 18 |
| 12 | 15 | 14 | 12 |
| 13 | 17 | 15 | 12 |
| 14 | 13 | 15 | 11 |
| 15 | 14 | 13 | 12 |
| 16 | 15 | 11 | 17 |
| 17 | 12 | 15 | 11 |
| 18 | 18 | 13 | 11 |
| 19 | 13 | 14 | 17 |
| 20 | 13 | 14 | 18 |
| 21 | 14 | 16 | 12 |
| 22 | 14 | 13 | 15 |
| 23 | 17 | 14 | 15 |
| 24 | 17 | 15 | 13 |

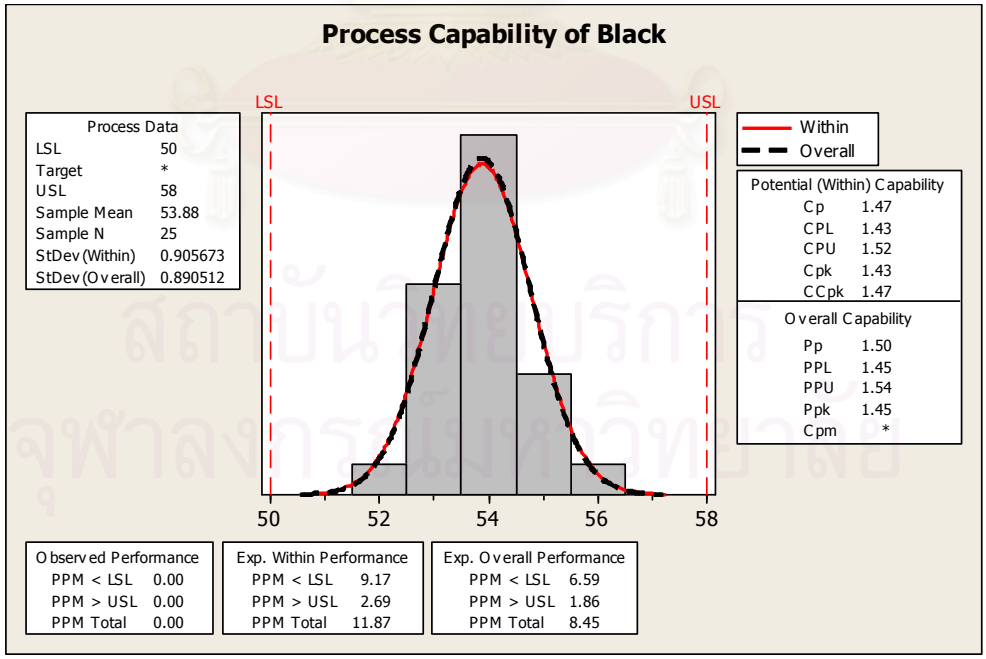
# ภาคผนวก จ.

## ค่าความสามารถของกระบวนการของค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ทั้ง 4 สี

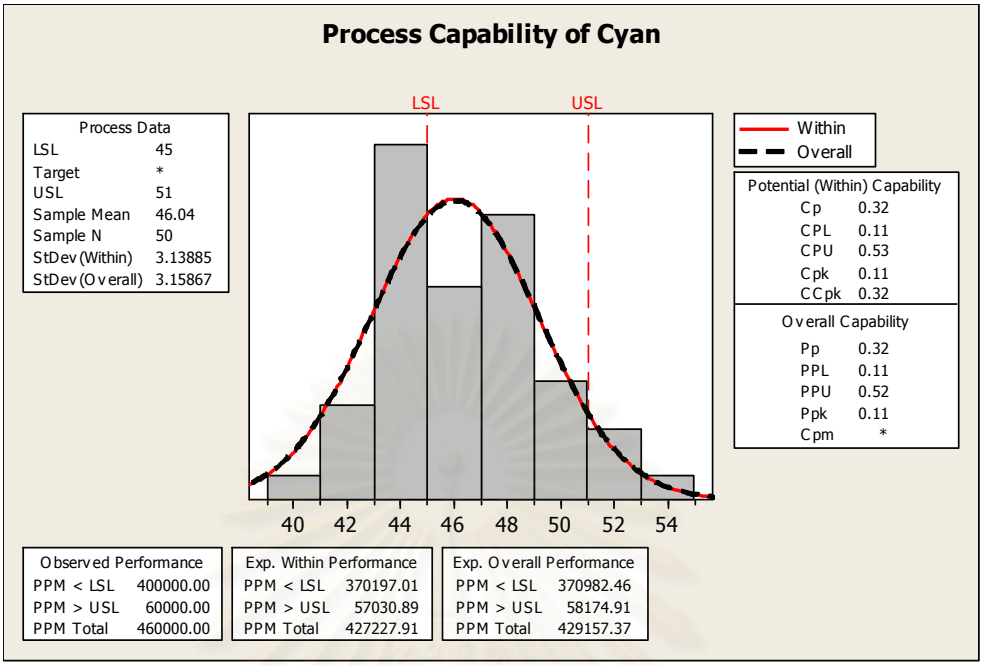
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



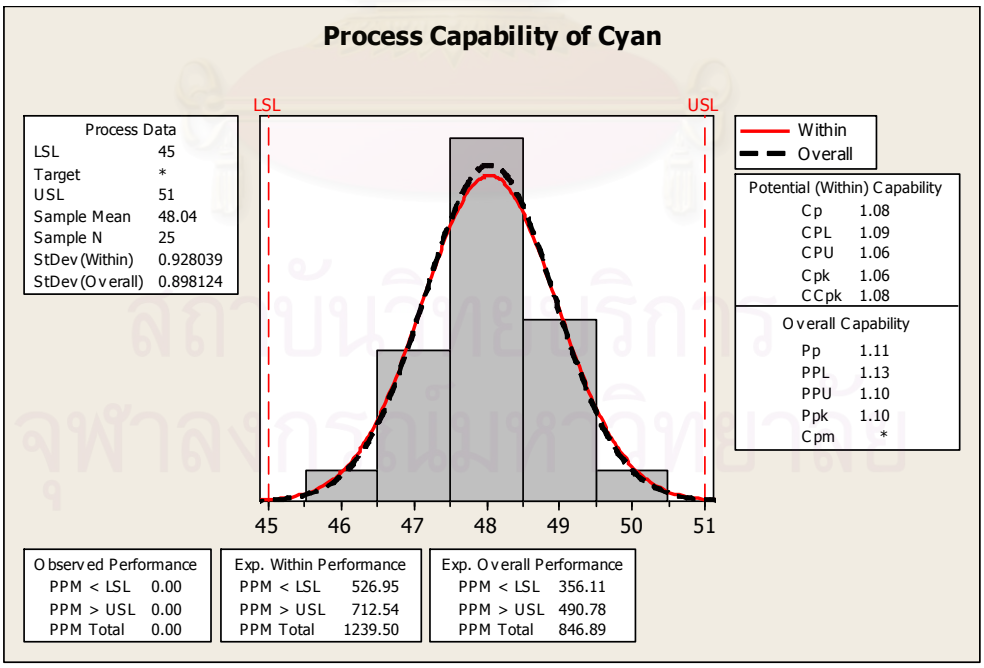

รูปที่ จ-1 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีดำ (Black) ก่อนการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น



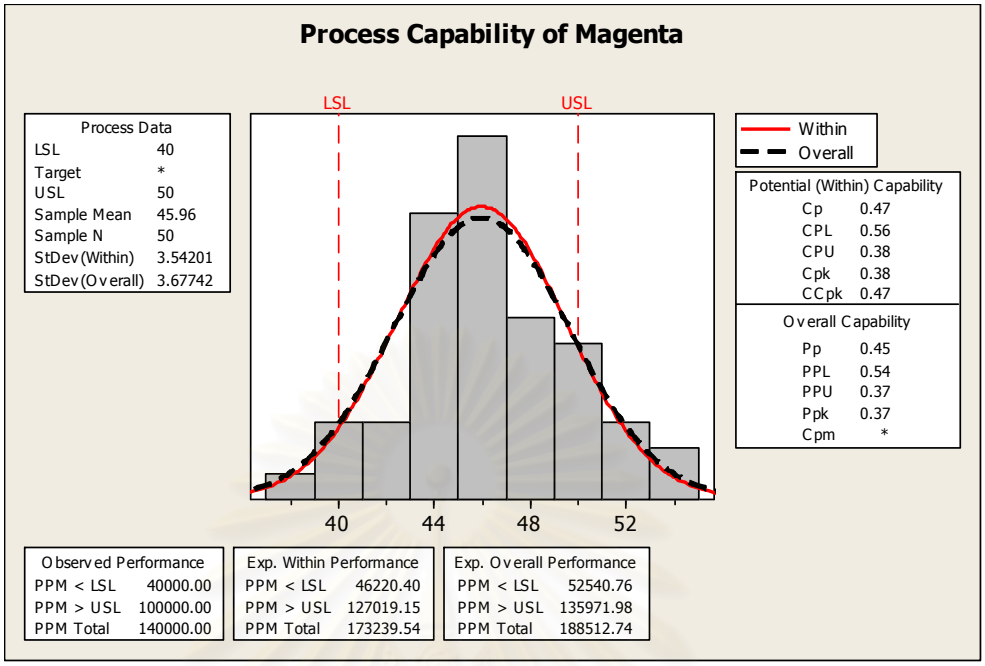

รูปที่ จ-2 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีดำ (Black) หลังการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น



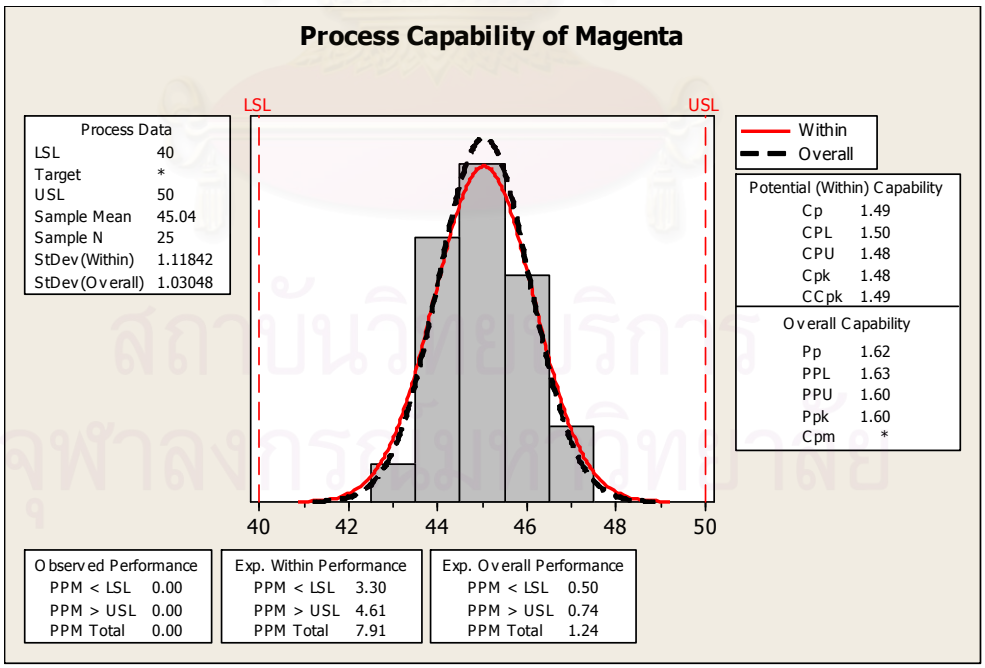

รูปที่ จ-3 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีฟ้า (Cyan) ก่อนการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น



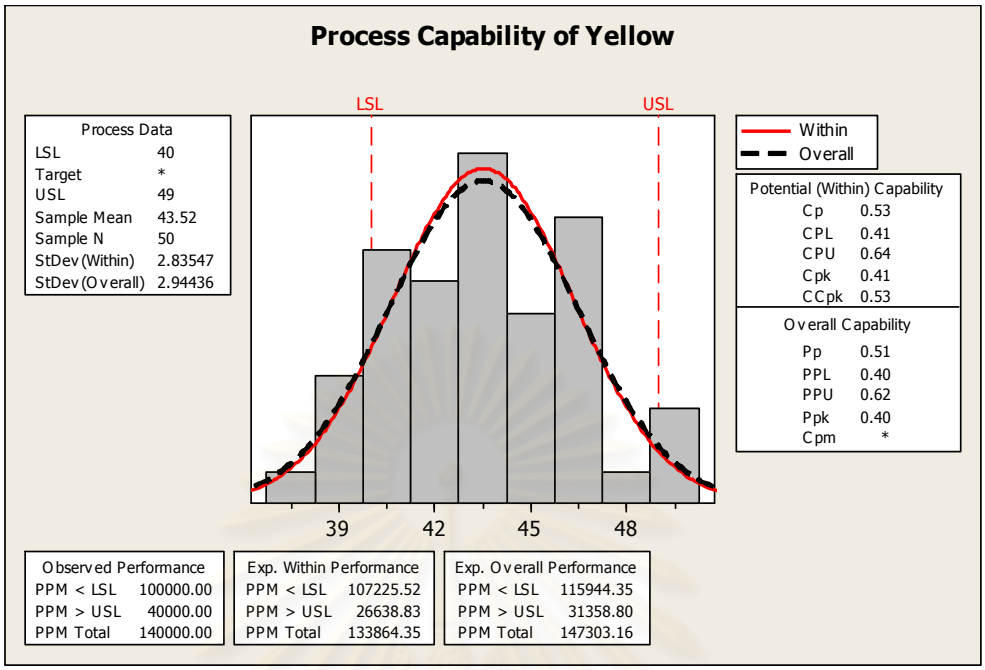

รูปที่ จ-4 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีฟ้า (Cyan) หลังการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น



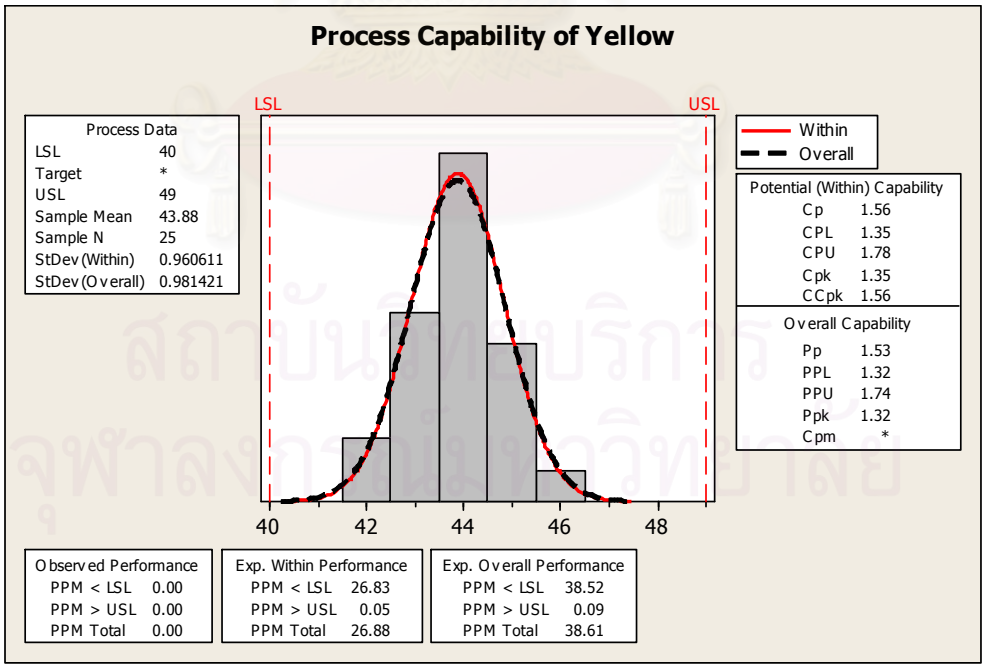

รูปที่ จ-5 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีแดง (Magenta) ก่อนการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น




รูปที่ จ-6 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีแดง (Magenta) หลังการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น




รูปที่ จ-7 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีเหลือง (Yellow) ก่อนการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น




รูปที่ จ-8 Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของสีเหลือง (Yellow) หลังการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ %IPA ในน้ำยาทำชื้น

**ภาคผนวก ฉ.**

**เอกสารวิธีการปฏิบัติงานการตั้งเครื่องพิมพ์** (WI-PDD-001)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | |
|---|---|---|
| | เอกสารวิธีปฏิบัติงาน | รหัสเอกสาร |
| | เรื่อง การตั้งฉากและการตั้งสีเครื่องพิมพ์ 4 สี | WI-PDD-001 |

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อให้ตำแหน่งพิมพ์ของภาพในแต่ละสีพิมพ์อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง และให้แผ่นพิมพ์ที่ได้มีสีเหลืองเหมือนหรือใกล้เคียงกับตัวอย่างสีในมาสเตอร์ไฟล์ ( Master File )

<u>หน่วยงานผู้ใช้</u> หน่วยงานพิมพ์

<u>ผู้ปฏิบัติ</u> ช่างพิมพ์

<u>จุดปฏิบัติงาน</u> ห้องพิมพ์

<u>วิธีปฏิบัติงาน</u>

1) กดปุ่ม Speed Preset ที่บริเวณแผงควบคุมที่ดิลิเวอรี (Delivery ) เพื่อให้ความเร็วในการพิมพ์เท่ากับความเร็วที่ตั้งไว้ในหน่วยความจำ ซึ่งปรกติจะเท่ากับ 8000 แผ่นต่อชั่วโมง
2) กดปุ่ม Ready และกดปุ่ม Slower
3) กดปุ่ม Ready และกดปุ่ม Slower และกดปุ่ม Dampening All On
4) กดปุ่ม Fast เพื่อเดินเครื่องตามความเร็วที่ตั้งไว้
5) ปล่อยน้ำหมึกเข้าสู่ลูกกลิ้งสำหรับป้อมพิมพ์ที่ใช้มี 2 วิธีดังต่อไปนี้

5.1 ) ใช้พายป้ายหมึกจากรางหมึกแล้วแปะบนลูกกลิ้งหมึกลูกบนสุด

5.2 ) ปล่อยหมึกเข้าสู่ลูกกลิ้งหมึกโดยให้รับหมึกจากรางหมึก ทำตามขั้นตอนดังนี้

5.2.1 ) กดปุ่ม Ink Duct Roller ไปที่ตำแหน่ง On ( อยู่บน Unit ) และกด ปุ่ม Ink Duct Roller เพื่อเลือก Unit ที่ต้องการปล่อยหมึกเข้าสู่ลูกกลิ้งทีPQC

5.2.2 ) ปล่อยให้ลูกดักเตอร์ (Ink Duct Roller ) รับหมึกจากลูกหมึกในรางหมึก (Ink Fountain Roller ) เพื่อส่งต่อไปยังลูกกลิ้งหมึกอื่นๆ ในป้อมพิมพ์ รอสัก ระยะจนเห็นว่าปริมาณหมึกในลูกกลิ้งหมึกเพียงพอแล้วจึงกดปุ่ม Ink Duct Roller

6) กดปุ่ม Ink Form Roller ไปที่ On เพื่อให้ลูกกลิ้งหมึกเตะเพลท ( Form Roller ) เลื่อนลงไปแตะกับผิวหน้าเพลทเพื่อจ่ายหมึกลงเพลท ปฏิบัติกับทุกป้อมพิมพ์ที่มีการพิมพ์สีในงานนั้น

7) ปล่อยไว้สักระยะโดยสังเกตให้มีหมึกบนผิวหน้าแม่พิมพ์ จากนั้นบิดปุ่ม Ink Form Roller ไปที่ Auto
8) กดปุ่ม Slow
9) บอกให้พนักงานฟีดเดอร์เริ่มปล่อยกระดาษเข้าเครื่องเพื่อทำการตั้งฉาก ( ใช้ใบซับ 10 – 20 แผ่น ใช้กระดาษขาว 2 – 5 แผ่น )

| | | |
|---|---|---|
| | เอกสารวิธีปฏิบัติงาน | รหัสเอกสาร |
| | เรื่อง การตั้งฉากและการตั้งสีเครื่องพิมพ์ 4 สี | WI-PDD-001 |

10) ดึงกระดาษที่ผ่านการพิมพ์เรียบร้อยแล้วออกมาจากหน่วยรับกระดาษ ( Delivery )

11) เริ่มทำการปรับตั้งฉาก โดยปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

11.1) ตั้งระยะกริปเปอร์ ( Gripper ) ให้ตรงตามที่ระบุไว้ในมาสเตอร์ไฟล์ ( Master File ) ซึ่งปกติจะเท่ากับ 13 มม.

11.2) บอกให้พนักงานฟีดเดอร์ตั้งฉากข้าง โดยให้ขอบกระดาษอยู่ตรงกับมาร์คเซ็คฉากข้าง

11.3) ดูมาร์คฉากของภาพพิมพ์ในแต่ละสีว่าทับกันสนิทหรือไม่ ถ้ามาร์คพิมพ์พับกันไม่สนิท ก็ให้ปรับตั้งให้มาร์คฉากพิมพ์ ทับกันให้สนิท โดยปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

11.3.1) กดปุ่มเลือกป้อมพิมพ์ที่ต้องการจะปรับตั้ง

11.3.2) ปรับมาร์คพิมพ์ให้ทับกันสนิทโดยยึดสีใดสีหนึ่งเป็นหลักโดยปฏิบัติดังนี้

- ถ้าต้องการให้มาร์คพิมพ์ขึ้น – ลง ให้กดปุ่ม CIRCUM โดยการปรับมากที่สุดคือ ปรับขึ้น 1 มม. และปรับลง 1 มม.

- ถ้าต้องการให้มาร์คพิมพ์เลื่อนไปทางซ้าย – ขวา ก็ให้กดปุ่ม LATERAL โดยปรับมากที่สุดคือปรับไปทางซ้าย 3 มม.และขวา 3 มม.

- ถ้าต้องการให้มาร์คพิมพ์เลื่อน เอียง ( ตะแคง ) ให้กดปุ่ม Cocking โดย ปรับมากที่สุดขึ้น 0.15 และลง 0.15

12) ปฏิบัติตามข้อ 8 ถึงข้อ 10 จนกระทั้งมาร์คทุกสีทับกันสนิทดี หรือภาพพิมพ์ที่ได้ไม่เลื่อมขาว

13) ในระหว่างการปรับตั้งฉากนั้นต้องปรับตั้งสีไปพร้อมๆกัน โดยมีขั้นตอนในการปรับตั้งดังต่อไปนี้

13.1) ดูเปรียบเทียบสีระหว่างแผ่นพิมพ์กับตัวอย่างสีในมาสเตอร์ไฟล์ ( Master File )

13.2) เริ่มทำการปรับตั้งสีที่ PQC โดยกดปุ่มเลือกหน่วยพิมพ์ที่ต้องการปรับตั้งสี

13.3) ปรับค่า Ink Volume และ Ink Feed เพื่อเพิ่มหรือลดหมึก โดนการกดปุ่ม Full Set เพื่อปล่อยหมึกขึ้นไปทั้งหมดก่อนและปรับรอบการจ่ายน้ำ โดยดูได้จากแผ่นพิมพ์ Approved เทียบกับค่า Print Contrast ที่บันทึกไว้

13.4) กดปุ่ม Stop เมื่อหาปริมาณหมึกถึงระดับที่ต้องการ

13.5) กดปุ่ม [ + ] หรือ [ - ] ของปุ่ม Ink Feed : Set เพื่อตั้งรอบการหมุนของลูกหมึกในรางหมึกซึ่งถ้าหมุนเร็วหมึกจะถูกจ่ายมากสีจะเข้ม โดยกำหนดมาตรฐานให้มีการปรับค่าตามตารางที่ 1

| | | |
|---|---|---|
| | เอกสารวิธีปฏิบัติงาน | รหัสเอกสาร |
| | เรื่อง การตั้งฉากและการตั้งสีเครื่องพิมพ์ 4 สี | WI-PDD-001 |

13.6) ทำการปรับแผงควบคุมการปล่อยหมึกเฉพาะที่ โดยดูจากภาพว่าส่วนไหนควรปล่อยหมึกมากหรือน้อยเพียงใดโดยแผงควบคุมจะมีเลขกำกับอยู่ตั้งแต่เลข 1 – 23 ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งต่อขึ้นไปยังรางหมึกต่อไป

ในการเพิ่มปริมาณหมึกให้ทำการกดปุ่ม ในการลดหมึกให้กดปุ่ม

13.7) กดปุ่ม [ + ] หรือ [ - ] ของปุ่ม Water Feed : Set เพื่อตั้งรอบการหมุนของลูกน้ำในรางน้ำ ซึ่งถ้าหมุนเร็วน้ำจะถูกจ่ายมาก จะทำให้สีอ่อนลง ในการปล่อยน้ำต้องจ่ายให้น้อยที่สุดจนเกิดสกัมแล้วค่อยเพิ่มน้ำ

14) การเพิ่มหมึกหรือลดหมึกในลูกกลิ้งหมึก

14.1) การเพิ่มหมึกเข้าสู่ลูกกลิ้งหมึกให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 4 แต่ต้องทำไปพร้อมกับการปรับการจ่ายน้ำและหมึกที่ PQC ด้วย

14.2) การลดหมึกในลูกกลิ้งหมึกทำได้โดย

14.2.1) เลือกป้อมพิมพ์ที่ต้องการจะลด แล้วกดปุ่ม Ink Duck Roller ให้ไฟแสดงผลการทำงานดับ

14.2.2) ปล่อยกระดาษเข้าพิมพ์เพื่อทำการตั้งสีประมาณ 20 – 30 แผ่น

15) เพิ่มหรือลดหมึกและปรับแต่งสี จนกว่าแผ่นพิมพ์ที่ได้จะมีสีใกล้เคียงหรือเหมือนกับตัวอย่างสีในมาสเตอร์ไฟล์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายไกรกุล ลิกขะไชย เกิดเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ.2519 ที่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษา ปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2541 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย