การลดความสูญเปล่าในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต 4 สี

นายชนัตถ์ โรจนะบุรานนท์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-17-5105-2
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LOSS REDUCTION IN THE 4 COLOR OFFSET PRINTING PROCESS

Mr.Chanat Rojanaburanon

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2003

ISBN **974-17-5105-2**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดความสูญเปล่าในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต 4 สี
โดย	นายชนัตถ์ โรจนะบุรานนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนัตถ์ โรจนะบุรานนท์ : การลดความสูญเปล่าในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต 4 สี (LOSS REDUCTION IN THE 4 COLOR OFFSET PRINTING PROCESS)
อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา : 140 หน้า ISBN 974-17-5105-2

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการลดความสูญเปล่าในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต 4 สี โดยการดำเนินการทดลองนี้จะแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนคือ 1) ขั้นตอนการกำหนดปัญหา: จัดตั้งทีมทำการระดมสมองสำรวจปัญหา กำหนดเป้าหมายและขอบเขต พบว่ากลุ่มเครื่องพิมพ์ 2 ที่ใช้ในการผลิตมีสัดส่วน และเวลาสูญเสียสูงที่สุด ซึ่งเป็นผลจากการปรับแต่งค่าความเปรียบต่างสีให้ได้ตามมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าความสามารถของกระบวนการอยู่ในเกณฑ์ไม่ดี คือ สีดำ 0.22 สีฟ้า 0.74 สีแดง 0.43 และสีเหลือง 0.51ควรนำมาปรับปรุง 2) ขั้นตอนการวัด: คัดเลือกตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าโดยใช้ แผนผังก้างปลา ตารางสาเหตุและผล เชื่อมโยงเพื่อหาความรุนแรงของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA ตลอดจนทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบเครื่องมือวัด คือ เครื่อง Spectrophotometer สามารถแยกความแตกต่างของข้อมูล (Number of Distinct Categories) ได้เท่ากับ 27 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ 3) ขั้นตอนการวิเคราะห์: ทำการทดสอบสมมติฐานของตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าที่ผ่านการคัดเลือก จำนวน 4 ปัจจัย 4) ขั้นตอนการปรับปรุง: ทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดยเพิ่มจุดศูนย์กลาง 3 จุด ทดลองซ้ำ 3 Replicate เพื่อหาอิทธิพลของตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้า คือ การควบคุมรอบการจ่ายน้ำ , การควบคุมรอบการจ่ายหมึก และการควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key ที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี ของสีดำ สีฟ้า สีแดง และสีเหลือง โดยรูปแบบของการทดลองนี้เป็นลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) และหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย จากนั้นเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองจึงใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรมพบว่า มีค่า Mean เท่ากับ สีดำ 50.1 สีฟ้า 43.3 สีแดง 46.3 และสีเหลือง 31.9 สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงได้ 5) ขั้นตอนการควบคุม และป้องกันปัญหา : ควบคุม และปฏิบัติตามเอกสารวิธีการปฏิบัติการ ตามลำดับ

จากข้อมูลหลังการปรับปรุงพบว่า ความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ของค่าความเปรียบต่างสีคือ สีดำ 1.44 สีฟ้า 1.21 สีแดง 1.41 และสีเหลือง 1.13 สูงขึ้นอยู่ในเกณฑ์ดี และจากการปฏิบัติตามเอกสารวิธีการปฏิบัติงานทำให้เวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรลดลงจากเดิมเฉลี่ย 0.27 Hours/Color ลดลงเหลือเฉลี่ย 0.21 Hours/Color เทียบเป็นเปอร์เซนต์ลดลง 20.92% เป็นผลทำให้เวลาลดลงต่ำกว่าเป้าหมายที่บริษัทตั้งเอาไว้คือ 0.25 Hours/Color

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2546 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4571411521: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: SIX SIGMA/ PRINT CONTRAST/PROCESS CAPABILITY /DEFINE PHASE /MEASURE PHASE /ANALYSIS PHASE /IMPROVE PHASE /CONTROL PHASE

CHANAT ROJANABURANON : LOSS REDUCTION IN THE 4 COLOR OFFSET PRINTING PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D. 140 pp. ISBN 974-17-5105-2.

The objective of this thesis is to reduce loss reduction in the 4 color offset printing process. Six Sigma Method is used as a process tools in this research. It consists 5 phases which 1) Define phase : to define problem, objective and scope. Loss time in printing machine group 2 causes a problem. After analysis statistic data, process capability of Black is 0.22, Cyan is 0.74, Magenta is 0.43, and Yellow is 0.51 which is bad criteria. 2) Measuring phase: to define key process input variable (KPIV) are list by cause and effect diagram, cause and effect matrix and FMEA and analyze the precision of measurement system is Spectrophotometer which number of distinct categories is 27. 3) Analyzing phase: to do Hypothesis test for screening significant KPIV (4 factor). 4) Improving phase : to use Design of experiment (DOE) 2^k 3 center point with 3 replicate to analyze interested KPIV. The interested KPIV is Print contrast of Black Cyan Magenta and Yellow made to 3 factor are Water volume Ink volume and Percentage of Ink key. The experiment results are curvature and improve all the key process input to increase process capability of Print contrast. The confirm experiment is run mean are Black is 50.1, Cyan is 43.3, Magenta is 46.3, and Yellow is 31.9.The result can use key process input to production run. 5) Controlling phase : control the acceptance level with work instruction.

The data of Process capability after improving the process show Black is 1.44, Cyan is 1.21, Magenta is 1.41, and Yellow is 1.13 which is good criteria. Finally,Printing machine set up time after improve average are 0.21 Hours/Color which is equal to 20.92% better than company target is 0.25 Hours/Color.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Industrial Engineering Student's signature……

Field of study Industrial Engineering Advisor's signature……..……..

Academic year 2003 Co-advisor's signature ……..

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ และดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ กรรมการ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัย

นอกจากนี้ยังขอขอบพระคุณพนักงานแผนกผลิตงานพิมพ์ ของบริษัทที่ช่วยทำการทดลอง ตรวจสอบงานพิมพ์ ตลอดจนเก็บข้อมูลและบันทึกผลจนลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้องและเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจและคอยสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ชนัตถ์ โรจนะบุรานนท์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่ หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่ 1บทนำ

1.1ความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ประวัติความเป็นมา และรายละเอียดโรงงานกรณีศึกษา 4

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 4

1.4 ขอบเขตของการศึกษา 5

1.5 แนวทางของการดำเนินการวิจัย 5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 การสำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการพิมพ์ออฟเซต 7

2.2 การสำรวจงานวิจัย 10

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 12

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 บทนำ 28

3.2 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน 28

3.3 การศึกษากระบวนการผลิต 29

3.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน 33

บทที่ 4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

4.1 บทนำ 41

4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R) 41

4.3 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุ และผล (Cause&Effect Diagram) 46

4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) 51

4.5 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา 60

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

บทที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา
5.1 บทนำ 62
5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทำการทดสอบสมมติฐาน 63
5.3 การทดสอบสมมติฐาน 63

บทที่ 6 การปรับปรุง
6.1 บทนำ 76
6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 76
6.3 ตัวแปรตอบสนอง 77
6.4 การออกแบบการทดลอง 77
6.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 80
6.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 82
6.7 การออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอันดับที่ 2 86
6.8 การวิเคราะห์ผลการทดลองการออกแบบส่วนประสมกลาง 87
6.9 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองลดรูป 90
6.10 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 92
6.11 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 94

บทที่ 7 การทดสอบยืนยันผล
7.1 บทนำ 95
7.2 ขั้นตอนการทดสอบยืนยัน 95
7.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 95
7.4 สรุปผลขั้นตอนการทดสอบยืนยัน 97

บทที่ 8 การควบคุมกระบวนการผลิต
8.1 บทนำ 98
8.2 แผนการควบคุม 98
8.3 สรุปการควบคุมกระบวนการผลิต 102

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

บทที่ 9 บทสรุป และข้อเสนอแนะ
9.1 บทนำ 103
9.2 บทสรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา 104
9.3 บทสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 105
9.4 บทสรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 105
9.5 บทสรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต 106
9.6 ข้อจำกัดในการดำเนินงานวิจัย 108
9.7 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย 108

รายการอ้างอิง 109

ภาคผนวก
ภาคผนวก ก 112
ภาคผนวก ข 117
ภาคผนวก ค 134

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 140

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 การวิเคราะห์ปัจจัยทางธุรกิจของโรงงานตัวอย่าง 1
1.2 นโยบายการเพิ่มผลผลิต 2
2.1 สาเหตุแห่งความผิดพลาดในการวัดด้วยเครื่องมือเชิงกล 18
2.2 ประเภทความผันแปรในระบบการวัด 19
3.1 แสดงพื้นที่การผลิต และกระบวนการผลิตหลักของผลิตภัณฑ์กล่อง หรือบรรจุภัณฑ์กระดาษด้วยระบบการพิมพ์ในระบบออฟเซต 29
3.2 รายละเอียดของเวลาสูญเสีย 36
3.3 กลุ่มของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต 37
3.4 ข้อมูลปริมาณการผลิตแยกกลุ่มผลิตภัณฑ์ 38
3.5 ข้อมูลของผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษออฟเซต 39
3.6 ความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสี 39
3.7 ลำดับความสามารถของกระบวนการ 40
4.1 ค่า % GR&R ที่ยอมรับได้ของข้อมูล Variable 42
4.2 ผลลัพธ์ของการตรวจวัด 43
4.3 Cause and Effect Matrix 48
4.4 แสดงลำดับของ KPIV ทั้ง 13 อันดับ 51
4.5 แสดงระดับความรุนแรง 53
4.6 แสดงระดับการตรวจจับ (Defection) 54
4.7 การวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่อง 56
4.8 แสดงสาเหตุของปัญหา และค่า RPN 59
5.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่าความเปรียบต่างสีเมื่อรอบการจ่ายน้ำที่ต่างกัน 64
5.2 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างสีทีรอบการจ่ายน้ำต่างกัน 66
5.3 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่าความเปรียบต่างสีเมื่อรอบการจ่ายหมึกที่ต่างกัน 67
5.4 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างสีทีรอบการจ่ายหมึกต่างกัน 69
5.5 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่าความเปรียบต่างสีเมื่อเปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ที่ต่างกัน 70
5.6 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างสีที่เปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ที่ต่างกัน 72
5.7 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่าความเปรียบต่างสีเมื่อการรองหนุนโม Blanket ที่ต่างกัน 73
5.8 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างสีที่การรองหนุนโม Blanket ต่างกัน 75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.9 สรุปการเลือกปัจจัย และผลกระทบจากปัจจัย 75

6.1 แสดงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จำนำไปทำการทดลอง 76

6.2 แสดงผลการทดลอง 79

6.3 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Cyan color) 85

6.4 ตาราง Design Matrix ของการออกแบบ CCD (ส่วนที่ทดลองเพิ่มจากการออกแบบ 2^k 87

6.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code units) ของการออกแบบการทดลอง แบบส่วนประสมกลาง 87

6.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code units) ของตัวแบบลดรูปของการ ออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง 88

6.7 แสดงปัจจัย และการกำหนดค่าที่เหมาะสมของแต่ละระดับ 94

6.8 แสดงปัจจัย และการกำหนดค่าที่เหมาะสมของแต่ละระดับที่ใช้งานจริง 94

7.1 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างของสีดำ (Black) กับค่า Mean 96

7.2 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างของสีฟ้า (Cyan) กับค่า Mean 96

7.3 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างของสีแดง (Magenta) กับค่า Mean 96

7.4 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างของสีเหลือง (Yellow) กับค่า Mean 97

8.1 การควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต 99

8.2 แผนการควบคุม และตรวจสอบเครื่องจักร 99

8.3 ความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสี ก่อน และหลังการปรับปรุง 100

9.1 ความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสี ก่อน และหลังการปรับปรุง 103

9.2 แสดงปัจจัย และการกำหนดค่าที่เหมาะสมของแต่ละระดับ 105

9.3 การควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต 106

9.4 แผนการควบคุม และตรวจสอบเครื่องจักร 106

9.5 ความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสี ก่อน และหลังการปรับปรุง 107

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ประสิทธิภาพเครื่องพิมพ์รวมปี 2546 3
2.1 โครงสร้างชุดลูกกลิ้งหมึก และน้ำ 8
2.2 ส่วนประกอบของเครื่องพิมพ์ออฟเซตระบบป้อนแผ่น 8
2.3 กราฟการหาค่าความเปรียบต่างสีมาตรฐาน 9
2.4 กระบวนการวัดที่เสถียร 16
2.5 กระบวนการวัดที่ไม่เสถียร 16
2.6 สาเหตุแห่งความผันแปรของระบบการวัด 17
2.7 แผนภูมิในการเลือกวิธีการในการทดสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด 22
2.8 ความเที่ยงตรงและความแม่นยำของระบบการวัด 23
2.9 ความแปรปรวนจาก ความสามารถในการทำซ้ำและความสามารถในการทำเหมือน 25
2.10 ขั้นตอนการดำเนินการสำหรับพัฒนาแผนภูมิ FMEA 26
3.1 แผนภาพกระบวนการผลิต File ต้นฉบับ (Prepress) 30
3.2 แผนภาพกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ (Plate Making) 31
3.3 แผนภาพกระบวนการพิมพ์ 32
3.4 เวลาสูญเสียของเครื่องพิมพ์ 34
3.5 Loss time หลักของเครื่องพิมพ์ (รวม) 35
3.6 รายละเอียดของเวลาสูญเสีย (Loss time) จากการตั้งเครื่อง (Set up) 35
3.7 รายละเอียดเวลาสูญเสียแยกเครื่องจักร (นาที/จำนวนสี/งาน) 36
3.8 รายละเอียดเวลาสูญเสียแยกกลุ่มเครื่องจักร (นาที/จำนวนสี/งาน) 37
3.9 สัดส่วนปริมาณการผลิตแยกตามกลุ่มของเครื่องจักร 38
4.1 ผังก้างปลา 47
4.2 แสดงแผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆจากการวิเคราะห์ ด้วย Cause and Effect Matrix 50
4.3 ผังพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN 59
5.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของรอบการจ่ายน้ำระดับต่ำ 65
5.2 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของรอบการจ่ายน้ำระดับสูง 65
5.3 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของรอบการจ่ายหมึกระดับต่ำ 68
5.4 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของรอบการจ่ายหมึกระดับสูง 68
5.5 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของเปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึก ด้วย Ink key ระดับต่ำ 71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.6 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของเปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ระดับสูง 71

5.7 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของการรองหนุนโม Blanket ที่ความหนาน้อยที่สุด 74

5.8 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของการรองหนุนโม Blanket ที่ความหนามากที่สุด 74

6.1 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Cyan color) 80

6.2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และลำดับของข้อมูล 81

6.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูก Fit 82

6.4 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกริยาที่มีนัยสำคัญ 83

6.5 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกริยาที่มีนัยสำคัญ 83

6.6 ภาพผลผลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Print contrast of Cyan color) 84

6.7 ภาพอันตรกริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Print contrast of Cyan color) 84

6.8 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Cyan color) 90

6.9 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และลำดับของข้อมูล 91

6.10 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูก Fit 92

6.11 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 93

8.1 เปรียบเทียบค่าความสามารถของกระบวนการสีดำ (Black) 101

8.2 เปรียบเทียบค่าความสามารถของกระบวนการสีฟ้า (Cyan) 101

8.3 เปรียบเทียบค่าความสามารถของกระบวนการสีแดง (Magenta) 101

8.4 เปรียบเทียบค่าความสามารถของกระบวนการสีเหลือง (Yellow) 101

8.5 เปรียบเทียบเวลาก่อน และหลังการปรับปรุงกระบวนการ (หน่วย:Hours/Color) 102

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันจากภาวะการแข่งขันทางธุรกิจที่ทวีความรุนแรงสูงขึ้นตลอดเวลา ธุรกิจทุกประเภทต้องมีการแข่งขันในตลาดการค้า ซึ่งหนึ่งในธุรกิจเหล่านั้นคือธุรกิจการพิมพ์บรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษแข็ง ด้วยเหตุนี้โรงพิมพ์แต่ละโรงจึงต้องแข่งขันกันผลิตสินค้าให้ได้คุณภาพ และรวดเร็ว เพื่อให้สามารถแข่งขันกับตลาดที่มีการแข่งขันสูงได้ทางบริษัทจึงใช้การบริหารงาน Total Productive Management (TPM) มาใช้ โดยการสร้างระบบและสร้างทัศนะคติในเรื่องการบำรุงรักษาด้วยตนเองและการค้นหาและลดความสูญเสียทุกชนิดในองค์กรโดยมุ่งเน้นการขจัดความสูญเสียทุกชนิด ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพขององค์กร

ในการวางแผนเชิงกลยุทธ์ในการเพิ่มผลผลิต ได้ดำเนินการวิเคราะห์ปัจจัยภายใน และภายนอกบริษัท รวมทั้งความต้องการของลูกค้า (ตารางที่1) และนำแผนยุทธศาสตร์ของบริษัทมาพิจารณาเพื่อจัดทำนโยบายการเพิ่มผลผลิตขององค์กร พันธกิจในการเพิ่มผลิต (ตารางที่2) ยุทธศาสตร์ในการดำเนินงานเพิ่มผลผลิต รวมถึงจุดควบคุมและเป้าหมายต่างๆ เพื่อใช้ชี้วัดผลสำเร็จของการดำเนินงานเพิ่มผลผลิต และนำเสนอต่อฝ่ายจัดการของบริษัทเพื่อขอความเห็นและประกาศใช้เป็นแนวทางในการดำเนินกิจกรรมเพิ่มผลผลิต

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปัจจัยทางธุรกิจของโรงงานตัวอย่าง

ปัจจัยภายใน	**ปัจจัยภายนอก**	**ความต้องการของลูกค้า**
• ต้นทุนคงที่สูง • เวลาสูญเสียของเครื่องจักรสูง • อัตราของเสียสูง • ความชำนาญงานพิมพ์ต่ำกว่าคู่แข่ง • เทคโนโลยีการผลิตอยู่ในระดับปานกลาง • มีเทคโนโลยีในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ • มีกระบวนการผลิตครบในโรงงาน • ระบบคุณภาพดี	• การแข่งขันสูงทั้งด้านราคาคุณภาพและการส่งมอบ • คู่แข่งมีความสามารถในการผลิตทั้งบรรจุภัณฑ์กระดาษและพลาสติก • ลูกค้าส่วนใหญ่เป็นผู้ส่งออก • ราคากระดาษในประเทศมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรุนแรง	• ระบบการส่งมอบแบบทันเวลาพอดี (just-in-time) • จำนวนการผลิตต่อครั้งลดลง • การทำสต็อคเผื่อเรียก (safety stock) • การลดราคา (cost down) • การสนับสนุนด้านเทคนิค • ระบบจัดการสิ่งแวดล้อม • ระบบคุณภาพ เช่น GMP, HACCP

ตารางที่ 2 นโยบายการเพิ่มผลผลิต

ระดับหน่วยงาน **ขจัดอุปสรรคขององค์กร**	ระดับบริษัท **สร้างคุณค่าของบริษัท**	ระดับองค์กร **เป็นบริษัทบรรจุภัณฑ์กระดาษอันดับ 1 ของประเทศภายในปี 2547 ในด้าน**
• เปลี่ยนทัศนคติของคนให้มีความตระหนักในเรื่องความสูญเสียและการขจัดความสูญเสียให้เป็นศูนย์ • เปลี่ยนสภาพเครื่องจักรให้กลับสู่สภาพเหมือนเครื่องจักรใหม่โดยการบำรุงรักษาด้วยตนเองของผู้ใช้เครื่องจักร • เปลี่ยนองค์กรให้เป็นองค์กรที่มีความยืดหยุ่น	• สร้างสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ดีและปลอดภัย • สร้างความร่วมมือระหว่างหน่วยงานที่ดี • สร้างวิธีการสื่อสารที่ดี • ภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร	• ความพึงพอใจของลูกค้า • ความสามารถในการทำกำไร

ยุทธศาสตร์ในการดำเนินงานเพิ่มผลผลิต

เป้าหมาย: 1) เพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) ขึ้น 20% เทียบกับปีพ.ศ. 2546 ภายในปี 2547

2) เพิ่มยอดขายต่อผู้แทนขายขึ้น 50% เทียบกับปีพ.ศ. 2546 ภายในปี 2547

3) เพิ่มกำไรก่อนหักดอกเบี้ยขึ้น 50% เทียบกับปีพ.ศ. 2546 ภายในปี 2547

กลยุทธ์: ดำเนินกิจกรรม TPM ตรวจติดตามผล และปรับปรุงเป้าหมายให้ท้าทาย

1) เครื่องจักรเสียเป็นศูนย์
2) เวลาปรับตั้งและเวลาสูญเสียของเครื่องจักรเป็นเลขหลักเดียว
3) บรรลุความเร็วเครื่องจักรตามแคตตาลอคเครื่องจักร
4) นำระบบการปรับปรุงคุณภาพใหม่ๆมาใช้
5) สร้างความตระหนักด้านความสูญเสียและการขจัดความสูญเสียให้เป็นศูนย์แก่พนักงานทุกคน
6) สร้างระบบการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องผ่านกิจกรรมการปรับปรุงงาน (Kaizen) และกิจกรรมการปรับปรุงงานโดยกลุ่มย่อย (Overlapped small group)
7) เน้นการขายผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง

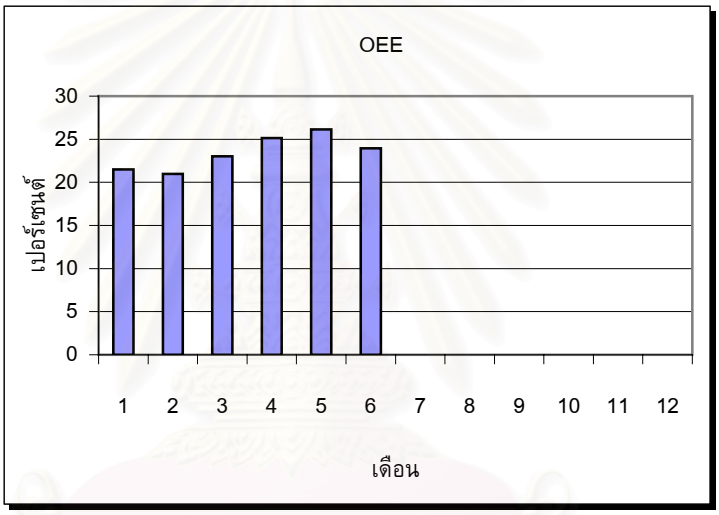
จากเป้าหมายและกลยุทธ์ของบริษัทนั้นฝ่ายโรงงานมีหน้าที่ในการตอบสนองนโยบายบริษัทเพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายการเพิ่มประสิทธิภาพขององค์กร โดยการกระจายนโยบายไปสู่แผนกต่างๆทางแผนกผลิตงานพิมพ์ ฝ่ายโรงงานได้นำนโยบายดังกล่าวมากำหนดเป้าหมายได้ดังนี้

ด้านคุณภาพ (Quality) เป้าหมายเพื่อให้มีของเสียจากกระบวนการผลิต < 5%

ด้านการส่งมอบสินค้า (Delivery) โดยการมองถึงลูกค้าภายใน หรือหมายถึงหน่วยงานถัดไปจากแผนกผลิตงานพิมพ์ เป้าหมายกำลังการผลิต > 2,600 แผ่น/ชั่วโมง

ด้านต้นทุน (Cost) เป้าหมายลดต้นทุน 5 % จากปี 2545

จากการศึกษาสภาพปัจจุบัน ข้อมูลการผลิตของแผนกผลิตงานพิมพ์ของปี 2546 นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ประสิทธิภาพเครื่องพิมพ์รวมปี 2546

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตระหว่างวันที่ 1 ถึง 30 มิถุนายน 2546 พบว่า มีความสูญเปล่าจากการใช้เวลาในการตั้งเครื่อง 34.58 % ซึ่งถือเป็นความสูญเปล่าที่สำคัญอย่างมากจึงควรมีการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความสูญเปล่าดังกล่าวให้ลดลง หรือแทบไม่เกิดขึ้นเลย

1.2 ประวัติความเป็นมา และรายละเอียดโรงงานกรณีศึกษา

1.2.1 ประวัติองค์กร

โรงงานตัวอย่าง ได้เริ่มก่อตั้งในปี พ.ศ. 2533 สถานที่ตั้ง 543 หมู่ 4 ถนนสุขุมวิท ตำบล แพรกษา อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10280 อยู่ในนิคมอุตสาหกรรมบางปู บนพื้นที่ 21 ไร่และในส่วนอาคารโรงงานและสำนักงานมีพื้นที่ 18,000 ตารางเมตร ทุนจดทะเบียน 500 ล้านบาท ดำเนินการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษพิมพ์ระบบออฟเซท โดยมีบริษัทร่วมทุนจาก ประเทศญี่ปุ่นเป็นบริษัทที่ปรึกษา

ผลิตภัณฑ์ของโรงงานตัวอย่าง จะผลิตในด้านกล่องหรือบรรจุภัณฑ์กระดาษด้วยระบบ การพิมพ์ในระบบออฟเซท โดยตัวอย่างสินค้าที่พบเห็นอยู่ในท้องตลาด อาทิ กล่องบรรจุผงซัก ฟอกหรือกล่องบรรจุสินค้าอุปโภคบริโภค กล่องบรรจุเครื่องใช้ไฟฟ้าและกล่องบรรจุสินค้า อาหาร เป็นต้น โดยวัตถุดิบที่ใช้ 90 เปอร์เซ็นต์จะเป็นกระดาษและมีส่วนประกอบอื่นเช่น หมึก น้ำยาเคลือบ และกาวอีกรวมประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

โดยบริษัทฯ จะมุ่งเน้นในการให้บริการและคุณภาพผลิตภัณฑ์อย่างมีประสิทธิภาพและ ครบวงจร โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการออกแบบโครงสร้างของกล่องโดยใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (CAD CAM) มาช่วย ในการออกแบบและทำตัวอย่างกล่องให้กับลูกค้าและบริษัทฯยังสามารถ ผลิตกล่องทั้งกล่องที่เป็นกระดาษขาวเคลือบแป้งธรรมดาและกล่องลูกฟูกทั้งลอนใหญ่ (A, B Flute) และลอนเล็ก (E Flute) อีกด้วยในอนาคตอันใกล้บริษัทฯคาดว่าจะเป็นผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ กระดาษพิมพ์ระบบออฟเซทที่ใหญ่ที่สุดในประเทศ

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อหาวิธีการลดความสูญเปล่าจากการปรับแต่งของกระบวนการพิมพ์ออฟเซต จาก การปรับตั้งค่าความเปรียบต่างสี โดยใช้แนวทางของซิกซ์ซิกม่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 การวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาเฉพาะเครื่องพิมพ์ KOMORI รุ่น Lithrone เท่านั้น

1.4.2 โดยครอบคลุมเฉพาะการศึกษาเพื่อลดความสูญเปล่าจากการปรับตั้งค่าความเปรียบต่างสี ของกระบวนการพิมพ์ ในแผนกผลิตงานพิมพ์โดยการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบ และปรับปรุงการผลิต

1.4.3 ศึกษาเวลาปรับตั้งเครื่องจักรหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต

1.4.4 ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองต่างๆ ด้วยเทคนิคทางสถิติโดยใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการคำนวณ

1.5 แนวทางของการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอนหลักโดยใช้แนวทางซึ่งประกอบด้วย 5 เฟสของ ซิกซ์ซิกม่า

1. สำรวจงานวิจัย และศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. กำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น (Define phase)
   2.1 เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิต
   2.2 กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
   2.3 ระดมความคิดเพื่อแจกแจงสาเหตุ และผลกระทบของกระบวนการที่เลือก
3. การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure phase)
   3.1 วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R)
   3.2 ระดมความคิดเพื่อแจกแจงสาเหตุ และผลกระทบของกระบวนการที่เลือกโดยผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram) และตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)
   3.3 ระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis : FMEA)
   3.4 สรุปผล และวางแผนขั้นต่อไป
4. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze phase)
   4.1 จากปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (KPIV) ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ด้วย FMEA นำมาทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าด้วยเครื่องมือทางสถิติ เช่นการทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Testing)
   4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่จะนำไปทำการทดลองในขั้นตอนถัดไป

4.3 สรุปผล และวางแผนขั้นต่อไป

5. การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve phase)
   5.1 ออกแบบการทดลอง (DOE)
   5.2 กำหนดตัวแปร และข้อจำกัดต่างๆที่อาจส่งผลกระทบต่อการทดลอง
   5.3 กำหนดขั้นตอนการทดลอง และวิธีการเก็บข้อมูล
   5.4 ทำการทดลองตามแผนการที่วางไว้
   5.5 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

6. การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control phase)
   6.1 พิจารณาลักษณะ และข้อจำกัดของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะทำการควบคุม
   6.2 พิจารณาเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับตัวแปรนั้นๆ
   6.3 กำหนดวิธีการวัด ขนาดกลุ่มตัวอย่าง และความถี่ในการวัด
   6.4 เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง
   6.5 สรุปผลการปรับปรุงที่ได้

7. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เป็นแนวทางในการศึกษาการลดความสูญเปล่าจากการปรับแต่งของกระบวนการพิมพ์ออฟเซต

1.6.2 สามารถกำหนดขั้นตอน และวิธีปฏิบัติเพื่อลดความสูญเปล่าจากการปรับแต่งของกระบวนการพิมพ์ออฟเซต

1.6.3 เป็นแนวทางในการขยายผลเพื่อใช้ในสายการผลิตอื่นๆในอนาคตต่อไป

1.6.4 เป็นแนวทางในงานวิจัยเพื่อลดความสูญเปล่าจากการปรับแต่งสำหรับอุตสาหกรรมอื่น

บทที่ 2

การสำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

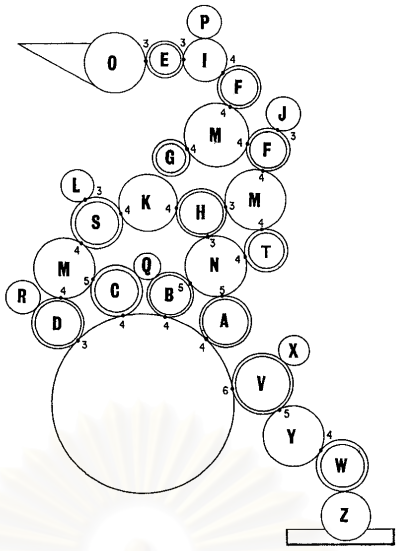
2.1 ระบบการพิมพ์ออฟเซต

การพิมพ์ออฟเซตมีต้กำเนิดจากการพิมพ์หิน (Lithography) ซึ่งใช้หินเป็นแม่พิมพ์ต่อมามีการทำให้มีผิวเรียบ และใช้ดินสอเทียนทำพิเศษ เรียกว่า ดินสอ แกรยอง เขียนลงบนแผ่นหิน บริเวณภาพที่ต้องการพิมพ์ แต่เป็นภาพกลับก่อนพิมพ์ต้องใช้น้ำทำให้เปียกแล้วคลึงด้วยหมึก โดยใช้แรงงานคน ต่อมาจึงวิวัฒนาการเป็นเครื่องจักรไอน้ำที่มีโมกดพิมพ์ (Impression) และ รางหมึกพร้อมลูกกลิ้งน้ำและลูกกลิ้งหมึก แต่เป็นการพิมพ์ วิธีตรง คือภาพกลับ ต่อมาพัฒนาเป็นวิธีการพิมพ์ ทางอ้อม (Indirect printing)

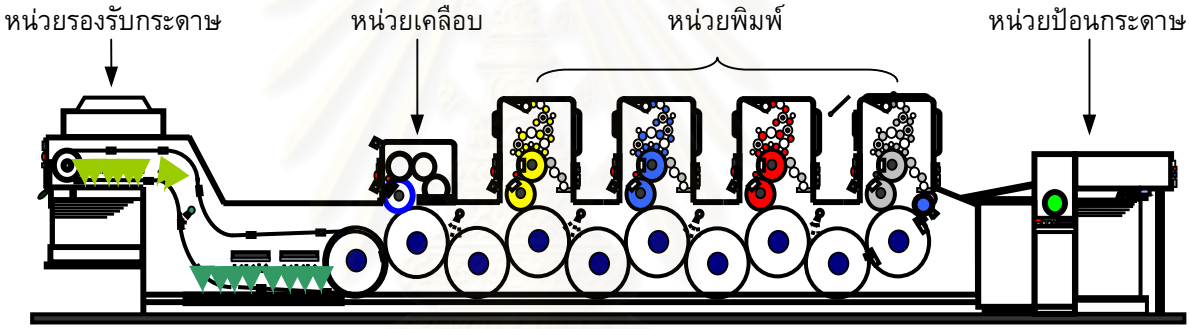
2.1.1 หลักการของการพิมพ์ระบบออฟเซต

1) เป็นการพิมพ์ ทางอ้อม
2) เป็นการพิมพ์พื้นราบ คือ บริเวณภาพและไร้ภาพจะอยู่ในระนาบเดียวกันบนแม่พิมพ์แต่มีคุณสมบัติต่างกันทางเคมี
3) ลูกกลิ้งน้ำคลึงแม่พิมพ์ จะให้ความชื้นของน้ำบนแม่พิมพ์น้ำจะเกาะบริเวณที่ใช้ภาพ
4) ลูกกลิ้งหมึกคลึงแม่พิมพ์ ประกอบไปด้วยชุดลูกกลิ้งหมึกจำนวนหลายลูกเพื่อทำหน้าที่คลึงและบดหมึกให้มีความบางมากที่สุดเพื่อที่จะจ่ายหมึกที่ผิวหน้าแม่พิมพ์

หมึกจะเกาะบริเวณภาพบริเวณไม่ใช้ภาพหมึกจะถูกผลักดันไม่ให้เกาะติดได้โดยอาศัยคุณสมบัติของน้ำ และน้ำมัน ทิศทางการหมุนของโมเพลทจะต้องหมุนไปรับน้ำเพื่อให้ความชื้นแก่เพลทก่อนแล้วจึงรับหมึกเสมอจากภาพหมึกจะถูกถ่ายทอดจากลูกบนโดยมีการบด เกลี่ยให้บาง และเรียบลงสู่ลูกแตะเพลทเพื่อถ่ายทอดสู่ผ้ายาง (Blanket) และถ่ายทอดสู่กระดาษต่อไป โดยความหนาของหมึกบนกระดาษเท่ากับ 2-2.5 ไมครอน ซึ่งโครงสร้างการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โมผ้ายางจะถ่ายทอดภาพลงบนวัสดุพิมพ์ โดยรับแรงกดจากโมกดพิมพ์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างชุดลูกกลิ้งหมึก และน้ำ



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของเครื่องพิมพ์ออฟเซตระบบป้อนแผ่น

2.1.2 Print contrast คือคุณสมบัติของค่าความเปรียบต่างของสีระหว่าง Three – quarter tone กับ ค่าความดำ 100% (Solid ink density) ค่าที่มากกว่าจะดีกว่าเสมอ เนื่องจากสามารถทำให้การพิมพ์มีรายละเอียดใกล้เคียงต้นฉบับ โดยเฉพาะในส่วนของ Shadow tone โดยค่าความเปรียบต่างสีจะสามารถวัดได้โดยเครื่องมือที่เรียกว่า Densitometer ซึ่งจะทำการคำนวณให้แบบอัตโนมัติ

ในระหว่างการผลิตงานพิมพ์สามารถใช้ค่าความเปรียบต่างสีในการควบคุมคุณภาพโดยการสุ่มเลือกแผ่นพิมพ์และวัดเพื่อเปรียบเทียบกับ Target ของบริษัทได้ทำการทดลองหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเอาไว้ ซึ่งวิธีการหาค่าความเปรียบต่างสีมาตรฐานจะทำการพิมพ์งานทดลองพิมพ์สี Process คือ สีดำ,ฟ้า,แดง และเหลือง แล้วทำการเพิ่มค่าความเข้มสีขึ้นขั้นละ 0.05 หลังจากนั้นทำการพลอตกราฟ เพื่อหาจุดที่สูงที่สุดที่สามารถทำการผลิตได้ ดังรูปที่ 2.3

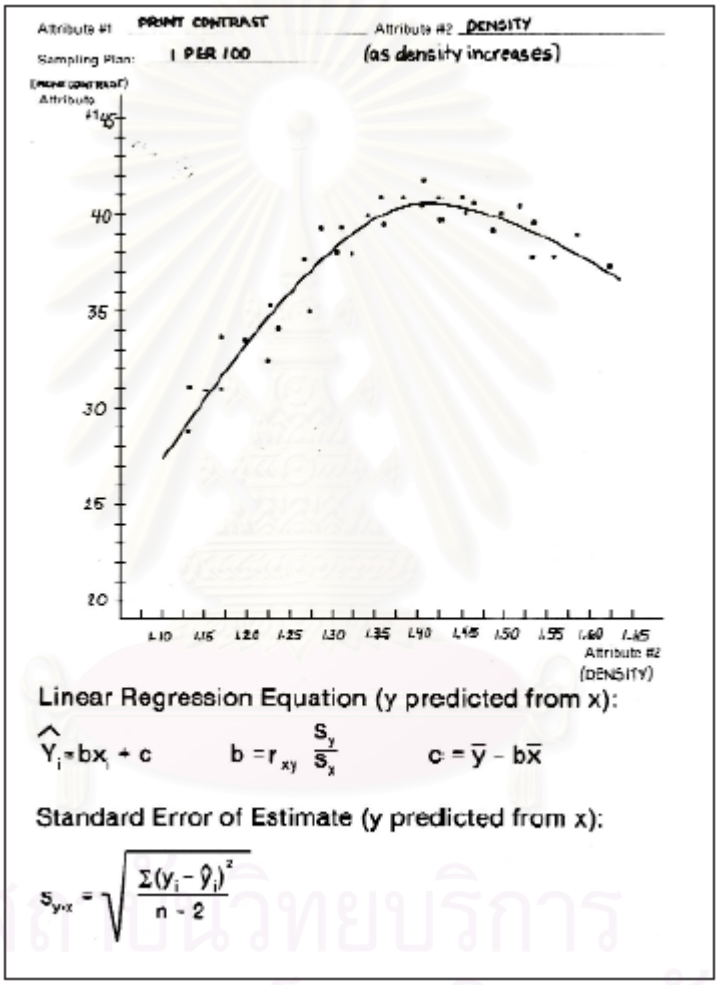
การคำนวณจะใช้ความสัมพันธ์เบื้องต้นของค่าความดำเม็ดสกรีน 75% กับ ค่าความดำที่ 100% (Solid density) การคำนวณทำได้ดังนี้

$$PC = \frac{D_s - D_{75}}{D_s} \times 100$$

PC = Print contrast (%)

D_S = Density of solid

D_{75} = Density of 75% tint



รูปที่ 2.3 กราฟการหาค่าความเปรียบต่างสีมาตรฐาน

คำจำกัดความ

การพิมพ์ระบบออฟเซตป้อนแผ่น หมายถึง การพิมพ์พื้นราบเป็นการพิมพ์จากบริเวณภาพ และบริเวณไร้ภาพบนพื้นราบระนาบเดียวกัน ใช้หลักการน้ำกับหมึกไม่รวมตัวกัน ซึ่งจะป้อนวัสดุพิมพ์เป็นแผ่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การสำรวจงานวิจัย

ลัดดา เรียงเลิศ (2538)

ทำการศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการพิมพ์สี ในโรงงานผลิตพื้นยางนีโอไลท์ อุปกรณ์สำคัญที่ต้องใช้ในการวิจัยคือ เครื่องพิมพ์ระบบกราเวียร์ และเครื่องวัดการสะท้อนแสงของสี (Chroma meter) วิธีการที่นำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัยคือ 1. การจัดทำค่าอ้างอิงของสี 2. การจัดทำระบบการทดสอบหมึกพิมพ์ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต 3. การปรับตั้งค่าของเครื่องพิมพ์ให้เป็นแบบคงที่ โดยการทดสอบปัจจัยที่สำคัญของเครื่องพิมพ์ที่คาดว่าจะมีผลต่อการปรับตั้งเครื่อง 4. การปรับเปลี่ยนขั้นตอนของการทำงานใหม่ ผลการวิจัยที่ได้พบว่าหลังจากการปรับปรุงกระบวนการพิมพ์แล้ว ทำให้เวลาที่ใช้ในการปรับแต่งกระบวนการ (Set up Time) ลดลงจากเดิม 74.70% ซึ่งหมายถึงว่า เวลาที่ใช้ในการผลิต (Production Time) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยวัดผลจากปริมาณของผลผลิตที่ได้ ทำการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ รวมถึงการเปรียบเทียบเกรดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการด้วย ซึ่งถือเป็นการเปรียบเทียบทางด้านคุณภาพ จากผลสรุปที่ได้ของการวิจัยในครั้งนี้ เราพบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเมื่อวัดจากปริมาณผลผลิตที่ได้หลังการปรับปรุงมีค่าเพิ่มขึ้น 74.08% และเกรด A ของผลิตภัณพ์มีค่าเพิ่มขึ้น 13.6%

อัจฉรียา รักมิตร (2542)

ทำการศึกษา กระบวนการในการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด ถูกพัฒนาโดยใช้ข้อมูลการวัดจากการผลิต เพื่อที่จะแทนที่กระบวนการปัจจุบัน ซึ่งเป็นการใช้ชิ้นส่วนมาตรฐาน 3 ชิ้น วัดบนเครื่องมือวัดที่ต้องการจะตรวจสอบ การดำเนินการได้ใช้แนวทางของซิกซ์ซิกม่า ซึ่งมีเทคนิคและเครื่องมือ ที่ช่วยให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงอย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการปัจจุบันที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด มีประสิทธิผลในการตรวจจับต่ำ ซึ่งเห็นได้จากการที่เครื่องมือวัดต้องถูกปิด เพื่อรับการแก้ไขโดยไม่จำเป็น เมื่อมีการแสดงว่า SPC นั้นอยู่นอกการควบคุม ซึ่งสาเหตุของการอยู่นอกการควบคุมนั้น ส่วนใหญ่มาจากชิ้นส่วนมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบ จึงเห็นประสิทธิผลแค่ 30% ซึ่งได้มาจากระบบการวัด จึงได้นำข้อมูลการวัดจากการผลิตมาใช้ เพื่อที่จะแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว กระบวนการในการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด ถูกเปลี่ยนไปใช้ระบบใหม่ โดยใช้ซิกซ์ซิกมาเป็นแนวทางเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ในการใช้ซิกซ์ซิกมานั้น ในช่วงของการวัด ปัญหาและสาเหตุถูกบ่งชี้อย่างละเอียด โดยใช้แผนภูมิก้างปลา แผนภูมิพาเรโต้ และ FMEA ซึ่งปัญหาถูกพบมาจากการเสื่อมถอย ของชิ้นส่วนมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ เป็นผลให้ชิ้นส่วนนั้นให้ค่าที่ซ้ำน้อย นอกจากนี้ข้อด้อยอื่นของการใช้กระบวนการปัจจุบันยังถูกบ่งชี้ด้วย ตัวอย่างเช่น การขึ้นอยู่การชิ้นงานที่น้อยเกินไป และการขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ ขั้นตอนการปฏิบัติงานและการวิเคราะห์ สำหรับช่วงการวิเคราะห์นั้น ข้อมูลการวัดจากการผลิตถูกวิเคราะห์ เพื่อดู

ความสัมพันธ์ของ wafer quad ที่เหมือนกัน ซึ่งพบว่า ชิ้นส่วนที่สร้างจาก wafer quad เดียวกัน มีความสัมพันธ์ที่ขึ้นต่อกัน (correlation) ซึ่งให้ความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของประชากร อย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นในช่วงการปรับปรุงความสัมพันธ์ของ wafer quad เดียวกัน จึงถูกใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่อยู่นอกการควบคุมบน SPC ซึ่งเมื่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก่อให้เกิด การเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดตัวเดียวกัน ณ เวลาต่างกัน เครื่องมือวัดตัวอื่น ๆ ณ เวลาเดียวกัน หรือเครื่องมือวัดตัวอื่น ๆ ณ เวลาต่างกัน

ธนิยา ลิ่มชูเชื้อ (2544)

ทำการศึกษา การลดปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตครีบระบายความร้อน โดยนำวิธีการตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน (Dt) ซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าและหาเงื่อนไขที่เหมาะสม ของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลง โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยที่กำหนดคือ ปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นในหน่วย Defect Part Per Million (DPPM) ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสียเท่ากับ 48,332 DPPM ขั้นตอนการวิจัยจะดำเนินตามขั้นตอนตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่าทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการขั้นตอนนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัด เพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต ตามลำดับ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของกระบวนการ คือ สามารถกำหนดค่าของระดับของปัจจัยนำเข้า ที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน (Dt) ในกระบวนการ QA Thermal Checking มีค่าเฉลี่ยลดลงจากเดิมโดยการนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 4 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการของพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Method) ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ แล้วนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสม ของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เพื่อทำให้ได้ค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน ที่ต่ำที่สุดที่เหมาะสมของกระบวนการที่สามารถทำได้ คือ 19.07 องศาเซลเซียส โดยการกำหนดค่าระดับของขนาดช่องว่างของวัสดุพรุน (Mesh) ชั้นนอกมีขนาด 165 เวลาในกระบวนการไล่ก๊าซออกควรใช้เวลาอยู่ที่ 34.62 วินาที และอุณหภูมิของการอบไนโตรเจนเท่ากับ 510 องศาเซลเซียส แล้วทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต จากนั้นทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งสาม ด้วยกระบวนการเชิงสถิติในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการ พบว่า สามารถที่จะลดความสูญเสียได้เป็นจำนวนเงิน 1,108,250 บาท โดยพิจารณาจากระยะเวลาระหว่างการดำเนินการวิจัย ซึ่งคิดเป็น 56 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียที่ลดได้ จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสียเท่ากับ 19,255 DPPM

นวลพรรณ ใจงาม (2541)

ทำการศึกษา แนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของซิกซ์ซิกม่า เพื่อปรับปรุงข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge) ของกระบวนการประกอบหัวอ่านและบันทึก ระบบการดำเนินการคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ซิกม่า จะใช้หลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติเป็นสำคัญ ขั้นตอนจะประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนที่ใช้เป็นหลักในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา คือ การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve) การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control) ในแต่ละขั้นของการสำรวจผลวิจัยสามารถระบุสาเหตุของปัญหา และแก้ไขโดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งขั้นตอนเริ่มต้นของการศึกษาได้ศึกษาความแม่นยำและความถูกต้อง ของระบบการวัด การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาทำโดยแผนภาพแสดงเหตุและผล และเชื่อมโยงเพื่อหาความรุนแรงของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA หลังจากนั้นวิเคราะห์สาเหตุต่างๆ เหล่านั้นว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อ กระบวนการประกอบหัวอ่านและบันทึก เมื่อสามารถระบุถึงสาเหตุของปัญหาขั้นตอนต่อไปคือ การปรับปรุงเพื่อลดอัตราข้อบกพร่อง โดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรม เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองเช่นเดียวกัน สุดท้ายคือการจัดทำมาตรการควบคุมและป้องกันปัญหา จากการดำเนินการคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ซิกม่า พบว่าอัตราส่วนข้อบกพร่องจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิติ สามารถลดลงจาก 31,600 DPPM เป็น 7,890 DPPM หรือเมื่อเปรียบเทียบในระดับ **sigma** สามารถปรับปรุงจากระดับ 3.36 เป็นที่ระดับ 3.91 และสามารถลดค่าความเสียหายและได้รับผลประโยชน์ตอบแทน จากการปรับปรุงคุณภาพได้ถึง 163,999 ดอลล่าร์สหรัฐภายในระยะเวลาสองไตรมาส

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ความสูญเสียหลักจากเครื่องจักร ที่เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพไม่ได้ตามเป้าหมายมาจากสาเหตุหลัก 8 ประการคือ

1. ความสูญเสียจากเครื่องจักรการเสื่อม หรือเสียหายก่อนกำหนด (Equipment loss)
2. ความสูญเสียจากการเตรียมงาน และการปรับแต่ง (Set up & adjustment loss)
3. ความสูญเสียจากการเปลี่ยนเครื่องมือ (Part change loss)
4. ความสูญเสียในช่วงเริ่มต้นงาน (Start-up loss)
5. ความสูญเสียในการเดินเครื่อง เดินๆหยุดๆ (Minor stoppage)
6. ความสูญเสียจากการความเร็วต่ำกว่าความเร็วที่กำหนด (Speed loss)
7. ความสูญเสียจากการมีของเสีย และของที่จะต้องนำกลับไปทำใหม่ (Defect & Rework loss)
8. ความสูญเสียจากการหยุดเครื่องจักรประจำปี (Shutdown loss)

2.3.2 อิชิกาวาไดอะแกรม (Cause and Effect Diagram)

คือไดอะแกรมเหตุและผลหรือ เรียกว่าผังก้างปลา จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุ (Cause) ที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนแปลงกับผลที่เกิด (Effect) ซึ่งไดอะแกรมเหตุและผลจะช่วยให้เราสามารถค้นหาและเรียงลำดับสาเหตุต่าง ๆและแสดงถึงความเกี่ยวข้องของสาเหตุต่าง ๆที่เกิดขึ้นได้ โดยทั่ว ๆไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพนั้น 50 % เกิดเนื่องมาจาก

1. วัตถุดิบ
2. เครื่องจักรหรืออุปกรณ์
3. วิธีการทำงาน
4. คน

การจะใช้ไดอะแกรมเหตุและผลให้มีประสิทธิภาพดีต้องมาจากการระดมสมองจากหลาย ๆฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทั้งนี้เพื่อทำให้มองปัญหาได้หลาย ๆมุม

2.3.3 คำนิยามของระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA)

นิยามคำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

คำศัพท์	ความหมาย
Measurement System Analysis(MSA)	การวิเคราะห์ระบบการวัด ซึ่งสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นทางด้านความเที่ยงตรงและความแม่นยำ
Bias	“ความเอนเอียง” ผลต่างของค่าที่วัดได้จากค่าจริงของชิ้นงาน
Error	ค่าผิดพลาด
Tolerance	ค่าความคาดเคลื่อนอนุโลม
Accuracy	ความเที่ยงตรง
Precision	ความแม่นยำ
Gage Repeatability& Reproducibility หรือ เทคนิค GR&R	เทคนิคความสามารถในการทำซ้ำและทำเหมือนของเครื่องมือวัดโดยสามารถคำนวณค่าความสามารถในการทำเหมือนและ ทำซ้ำรวมกันเรียกว่าค่า %GR&R ซึ่งหมายถึง “ค่าความแปรปรวนของความแม่นยำของระบบการวัดโดยรวม”
Repeatability	“ความสามารถในการทำซ้ำ” ของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขการวัดเดียวกัน เช่น อุปกรณ์การวัดเดียวกัน พนักงานคนเดียวกัน ซึ่งสามารถวัดออกมาเป็น

	ค่าโดยเรียกว่า % Equipment Variation(% EV) ซึ่งหมายถึง ค่าความแปรปรวนของอุปกรณ์วัด
Reproducibility	“ความสามารถในการทำเหมือน” ของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขการวัดเดียวกัน ซึ่งสามารถวัดออกมาเป็นค่าโดยเรียกว่า % Appraiser Variation (% AV) ซึ่งหมายถึง ค่าความแปรปรวนระหว่างพนักงานวัด หรือระหว่างอุปกรณ์จับยึดชิ้น งานเพื่อการวัดที่ต่างกัน
Variable Characteristic	ลักษณะสมบัติปริมาณหรือเชิงตัวแปร ซึ่งหมายถึงจุดตรวจสอบที่สามารถแสดงออกมาเป็นค่าตัวเลขและสามารถบอกขนาดของความแตกต่างระหว่างระดับที่วัดได้เป็นตัวเลขได้ เช่น ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง
Attribute Characteristic	ลักษณะสมบัติเชิงคุณลักษณะ หรือเชิงคุณภาพ ซึ่งหมายถึงจุดตรวจสอบที่ระบุระดับของคุณภาพได้เพียงผ่าน หรือไม่ผ่าน เท่านั้น เช่น การประกอบ ซึ่งสามารถระบุระดับคุณภาพว่า ผ่าน หากสามารถประกอบกับชิ้นส่วนอื่นที่นำมาทดสอบได้และไม่ผ่านหากไม่สามารถประกอบได้
$\overline{R}_i$	ค่าเฉลี่ยของพิสัยของค่าวัดจากพนักงานคนที่ i หรือ อุปกรณ์จับยึดที่ i
$\overline{X_i}$	ค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากพนักงานคนที่ i หรืออุปกรณ์จับยึดที่ i

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.4 ความผันแปรในระบบการวัด

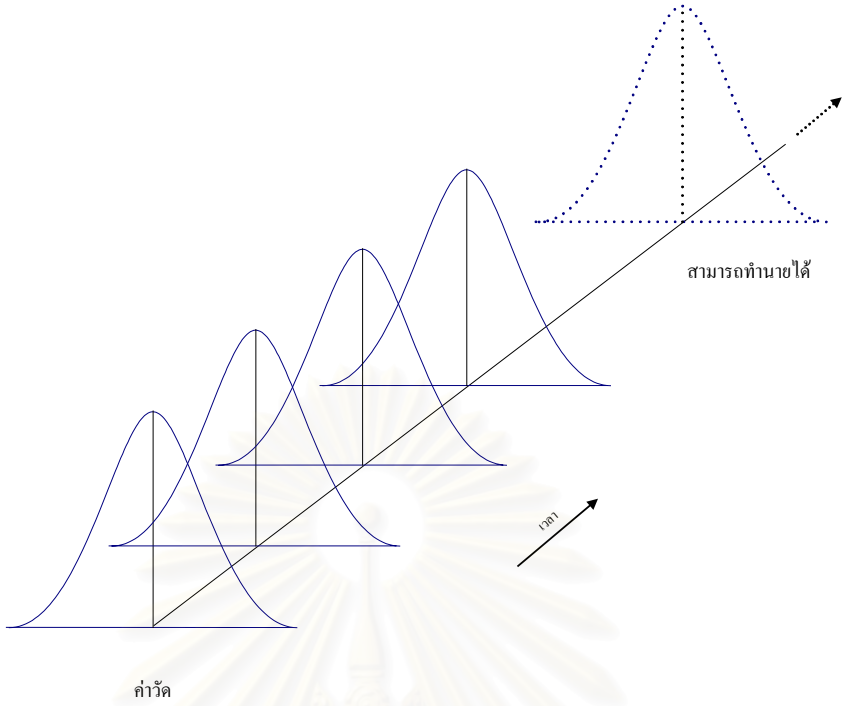
การวัด หรือ มาตรวิทยา (Eisenhart, 1963) หมายถึง การกำหนดค่าตัวเลขให้แก่วัตถุเพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เป็นของจริงของวัตถุดังกล่าวด้วยคุณสมบัติเฉพาะที่กำหนด (The assignment of numbers to material things to represent the relations existing among them with respect to particular properties)

หรือมาตรฐาน ISO 10012-1 ได้นิยามความหมายของการวัดว่า หมายถึง ชุดปฏิบัติการที่มีจุดประสงค์เพื่อพิจารณาค่าของปริมาณอันหนึ่ง (Set of operations having the object of determining a value of quantity) และจะเรียกปริมาณใดๆ ที่ได้รับการนำมาวัดนี้ว่า " สิ่งที่ได้รับการวัด (measured)"

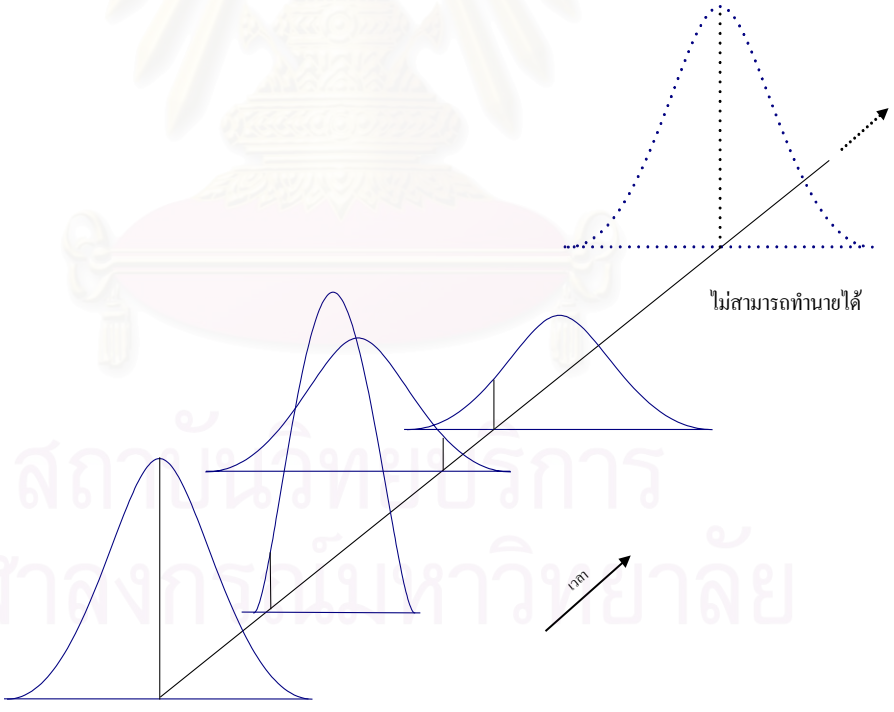
จะพบว่าคำสำคัญของการวัด คือ ค่าคงที่ของสิ่งที่ได้รับการวัด ซึ่งถือเป็นค่าคงที่ไม่ทราบค่าและมีจุดประสงค์ที่จะกำหนดค่าให้ ในทางปฏิบัติจะเรียกค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่านี้ว่า "ค่าจริง (true value)" โดยนักมาตรวิทยาอาจเรียกค่าดังกล่าวว่า ค่าที่เห็นพ้องกัน (consensus value) หรือค่าที่ได้รับการยอมรับกันโดยทั่วไป (generally accepted value) หรือค่ามาสเตอร์ (master value) นอกจากนี้ยังมีคำสำคัญอีกคำหนึ่ง คือ ชุดปฏิบัติการในการมอบหมายค่าตัวเลขซึ่งหมายถึง กระบวนการวัด หรือระบบการวัดโดยมีองค์ประกอบหลักๆคือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด สิ่งที่ได้รับการวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด และเนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้จะมีความไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้เกิดความผันแปรในระบบการวัดเสมอ

ความผันแปรในระบบการวัด ถ้าหากเป็นไปด้วยสาเหตุธรรมชาติ (chance cause or common cause of variation) แล้วค่าความผันแปรจะอยู่ในลักษณะเสถียรภาพที่สามารถทำนายได้ดังรูปที่ 2.4 แต่ถ้าหากความผันแปรเกิดจากสาเหตุความผิดพลาดอันเนื่องจากปัจจัยภายนอกและอาจจะเรียกสาเหตุดังกล่าวว่า สาเหตุแห่งความผิดพลาด (assignable cause or special cause of variation) โดยค่าความผันแปรนี้จะไม่เสถียรและไม่สามารถทำนายได้ดัง รูปที่ 2.5 ในการวัดเพื่อประกันคุณภาพจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจจับสาเหตุแห่งความผิดพลาดแล้วทำการกำจัดทิ้ง ควบคู่ไปกับความพยายามลดธรรมชาติแห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

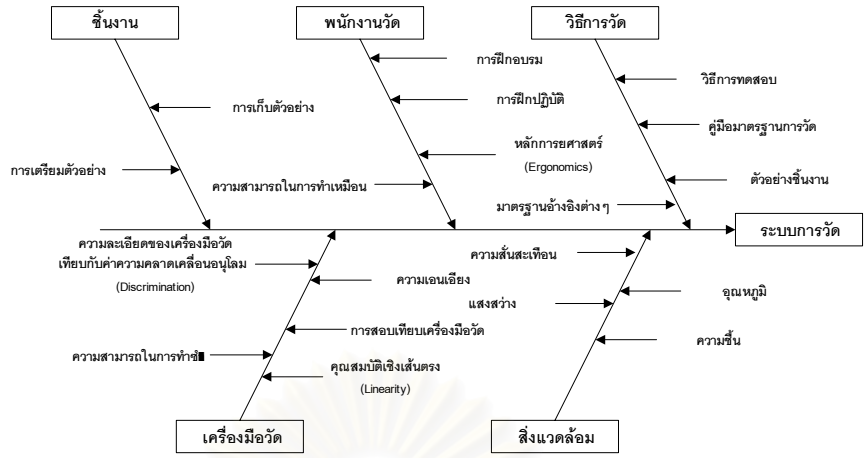


รูปที่ 2.4 กระบวนการวัดที่เสถียร



รูปที่ 2.5 กระบวนการวัดที่ไม่เสถียร

สาเหตุแห่งความคลาดเคลื่อนต่างๆสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สาเหตุแห่งความผันแปรของระบบการวัด(ดัดแปลงจาก www.qs9000.com)

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าได้ว่าสาเหตุแห่งความผันแปรของระบบการวัด สามารถจำแนกออกได้เป็นปัจจัยหลักๆ 5 ปัจจัยอันได้แก่

- ชิ้นงานที่ทำการวัด โดยความผันแปรเป็นผลมาจากวิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบ และ การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบ ซึ่งชิ้นงานที่เป็นตัวแทนที่ดี ควรได้มาจากการทำงานจริงในกระบวนการ และมีค่าครอบคลุมทั้งค่าคาดเคลื่อนอนุโลมและความผันแปรของกระบวนการผลิตชิ้นงานดังกล่าว เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเป็นตัวแทนที่ดีของระบบการวัดชิ้นงานดังกล่าว
- พนักงานวัด โดยผันแปรเป็นผลมาจากการฝึกอบรมพนักงาน และความชำนาญในการวัด ความสามารถในการทำเหมือนระหว่างพนักงานผู้ที่ทำการวัดชิ้นงานในจุดตรวจสอบเดียวกัน การเคลื่อนไหวของร่างกายเพื่อวัดชิ้นงาน
- วิธีการวัด โดยความผันแปรเป็นผลมาจากวิธีการทดสอบ คู่มือมาตรฐานในการวัดภายในโรงงาน ตัวอย่างแสดงวิธีการวัดหรือตัวอย่างชิ้นงานผ่านและไม่ผ่าน และมาตรฐานการวัดในระดับสากลต่างๆ
- เครื่องมือวัด โดยผันแปรเป็นผลมาจาก ความละเอียดของเครื่องมือวัดเมื่อเปรียบเทียบกับความผันแปรจากกระบวนการผลิตชิ้นงาน ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดให้อยู่ในระดับความละเอียดมากกว่า 10 เท่าของความผันแปรของกระบวนการผลิต ความเอนเอียงของเครื่องมือวัดในการอ่านค่าคาดเคลื่อนจากค่าที่ถูกต้อง การสอบเทียบชิ้นงาน ความสามารถในการทำซ้ำของเครื่องมือวัด และคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องมือวัด
- สภาพแวดล้อมในการวัด โดยความผันแปรเป็นผลจาก ความสั่นสะเทือน อุณหภูมิ ความชื้น และแสงสว่าง

จากสาเหตุทั้งหมดที่ได้กล่าวถึงเห็นได้ว่า หากไม่มีการควบคุมปัจจัยดังกล่าว ความผันแปรของระบบการวัดก็จะเกิดขึ้นอย่างไม่แน่นอน และมีความผันแปรในระดับสูง ซึ่งระบบการวัดก็จะมีค่าความผันแปรที่ไม่มีเสถียรภาพ ทำให้เกิดความไม่เชื่อมั่นในค่าวัดที่ได้ ซึ่งสาเหตุของความผันแปรดังกล่าวจะเรียกว่า สาเหตุพิเศษ ซึ่งสามารถชี้บ่งได้ และหากมีการควบคุมปัจจัยทั้งหมดดังกล่าวความแปรผันการวัดก็จะมีความผันแปรในระดับหนึ่ง ซึ่งคงที่และสามารถควบคุมได้ โดยความผันแปรดังกล่าวจะมาจากสาเหตุสามัญเท่านั้น ดังนั้นจึงนำมาซึ่งความน่าสนใจที่จะศึกษาถึงสาเหตุของความผันแปรต่างๆ และทำการควบคุมให้เกิดมาตรฐาน

เบงคิจิ โมริยามา(2536) ได้ให้ตัวอย่างสาเหตุแห่งความผิดพลาดจากค่าที่ได้จากการวัดไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สาเหตุแห่งความผิดพลาดในการวัดด้วยเครื่องมือเชิงกล

ประเภทของความผิดพลาด	สาเหตุ	ตัวอย่าง
1.ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด	โครงสร้างของเครื่องมือวัดหรือวิธีการใช้งาน	สเกลไม่เท่ากันมีความสึกหรอแรงกดที่ใช้ในการวัดเปลี่ยนแปลงไป ช่วงกว้างไม่เท่ากัน
2. ความคลาดเคลื่อนจากพนักงานวัด	นิสัยของผู้วัด ระดับการฝึกฝนและทักษะ รวมถึงการฝึกอบรม	อ่านสเกลผิดพลาด และวิธีใช้เครื่องมือมีความผิดพลาด
3.ความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยภายนอก	อุณหภูมิ แสงสว่าง ความชื้น	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้น วิธีการให้แสงสว่าง
4.ความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุสามัญต่างๆ	ปัจจัยต่างๆ ที่ไม่สามารถควบคุมและระบุได้	สภาวะแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย หรือสภาวะจิตใจของผู้วัด

จะพบถ้าหากมองระบบการวัดเป็นกระบวนการแล้ว ค่าจากการวัดจะมีความผันแปรจากสาเหตุต่างๆที่เป็น สามารถสรุปได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ สาเหตุโดยธรรมชาติ (common cause) และ สาเหตุจากความผิดพลาด (special cause)ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ประเภทความผันแปรในระบบการวัด

ประเภทความผันแปร	สาเหตุความผันแปร	ตัวแบบความผันแปรของค่าวัด	การแก้ไข
ความผันแปรภายใน -เกิดโดยธรรมชาติ -สามารถคาดการณ์ได้	สาเหตุโดยธรรมชาติ (common causes)	ค่าวัดกระจายสมมาตรรอบค่าที่ควรจะเป็น (รูปทรงปกติที่คงที่)	ลดความผันแปรด้วยการจัดการกับระบบ
ความผันแปรภายนอก -เกิดจากปัจจัยภายนอก -เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว ไม่สามารถคาดการณ์ได้	สาเหตุความผิดพลาด (special causes)	ค่าวัดจะกระจายในรูปทรงและตำแหน่งต่างๆ ที่ไม่สามารถคาดการณ์	แก้ปัญหาที่จุดตรวจวัด

2.3.5 ความผิดพลาดของค่าวัด

จากสาเหตุของความผันแปรของระบบการวัดที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่า ผลการวัดเกิดค่าความผิดพลาดของผลการวัด (Measurement error) ในการบริหารระบบการวัดเพื่อการประกันคุณภาพ จึงมีความจำเป็นต้องพยายามทำให้ความผิดพลาดของค่าวัดมีค่าต่ำที่สุด เพื่อจะให้ค่าวัดมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงหรือค่าอ้างอิงมากที่สุด
โดยทั่วไปแล้วอาจจำแนกประเภทของความผิดพลาดของค่าวัดออกได้เป็น 3 แบบคือ

1. ความผิดพลาดที่ชี้บ่งได้ เป็นความผิดพลาดเนื่องจากสาเหตุพิเศษ
2. ความผิดพลาดแบบสุ่ม เกิดจากสาเหตุสามัญของระบบการวัด ไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ แต่สามารถปรับให้ค่าลดลงได้ด้วยการดำเนินการแก้ไขระบบการวัด

2.3.6 แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความผิดพลาดในระบบการวัด โดยการจำแนกออกตามสาเหตุต่างๆและพยายามทำการปรับปรุงให้สาเหตุของความผิดพลาดลดน้อยลงโดยการแก้ปัญหาที่สาเหตุพิเศษ โดยความผิดพลาดของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน อันได้แก่ ความผิดพลาดจากสาเหตุที่ชี้บ่งได้ ด้วยการสร้างมาตรฐานของระบบการวัดให้เกิดขึ้นเช่นวิธีการวัดมาตรฐาน

จากนั้นให้ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อการกำจัดความผิดพลาดเชิงระบบ โดยในการสอบเทียบเพื่อการลดและกำจัดความผิดพลาดเชิงระบบนี้ จำเป็นต้องพิจารณาใน 3 ประเด็นหลักคือ

1. ขนาดของความไม่แน่นอนของค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว
2. ประเภทของข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความไม่แน่นอน
3. วิธีการประเมินค่าความไม่แน่นอนที่ได้

โดยปกติแล้ว ในการประเมินความไม่แน่นอนในการสอบเทียบนี้ จะแสดงในรูปของค่าความผิดพลาดสมบรูณ์ (Absolute error)และความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative error) โดยที่

ความผิดพลาดสมบรูณ์ = $X - \mu$

ความผิดพลาดสัมพัทธ์ = $X - \mu / \mu * 100\%$

หลังจากกำจัดความผิดพลาดเชิงระบบแล้ว จะมีการลดความผิดพลาดแบบสุ่มด้วยการประเมินถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่าวัด โดยมีองค์ประกอบดังนี้

ค่าวัด(X_{ij})= ค่าจริงของงาน (μ) + ค่าความเอนเอียง (b)
+ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านชิ้นงาน (α_i)
+ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านพนักงาน (β_i)
+ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุร่วมของชิ้นงานกับพนักงาน ($\alpha\beta_{ij}$)
+ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุแบบสุ่ม (ε_{ij})

จะได้ค่าความแปรปรวนของค่าวัด(Measurement variation) ว่า

$$\sigma_x^2 = \sigma_\alpha^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_{\alpha\beta}^2 + \sigma_\varepsilon^2$$

ดังนั้น การวิเคราะห์ระบบการวัด(MSA) จะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดจากค่าวัดที่ได้เพื่อแยกแหล่งความแปรปรวนออกเป็นชิ้นงาน (Part-to-part Variation ; PV) พนักงานวัด (Appraiser Variation ; AV) ความแปรปรวนร่วม (Interaction Variaiton ; IV) และแหล่งผันแปรอื่นๆที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติจะมีแแหล่งความแปรปรวนหลักๆมาจากอุปกรณ์วัด (Equipment Variation ; EV)

เมื่อวิเคราะห์ถึงความแปรปรวนจากระบบการวัด จะทำการเปรียบเทียบกับค่าคาดเคลื่อนอนุโลม (Tolerance) หรือความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต (Manufacturing process variation) ซึ่งโดยปกติแล้วต้องพยายามทำให้ความแปรปรวนจากระบบการวัดน้อยกว่าข้อกำหนดเฉพาะและความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต Wheeler and Lyday (1984) ได้เสนอว่าในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัดนี้จะมีประเด็นหลักที่ต้องพิจารณา 5 ประการ คือ

1) การพิจารณาว่าระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างที่เพียงพอหรือไม่
2) การพิจารณาว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติด้านความเที่ยงตรงหรือไม่มีความเอนเอียงตลอดเวลาหรือไม่ หรือมีความมีเสถียรภาพหรือไม่
3) การพิจารณาว่า คุณสมบัติเชิงสถิติมีความสม่ำเสมอตลอดเวลาหรือไม่
4) การพิจารณาว่า คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์การวัดหรือไม่
5) การพิจารณาว่า ระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความแปรปรวนของกระบวนการผลิตหรือไม่

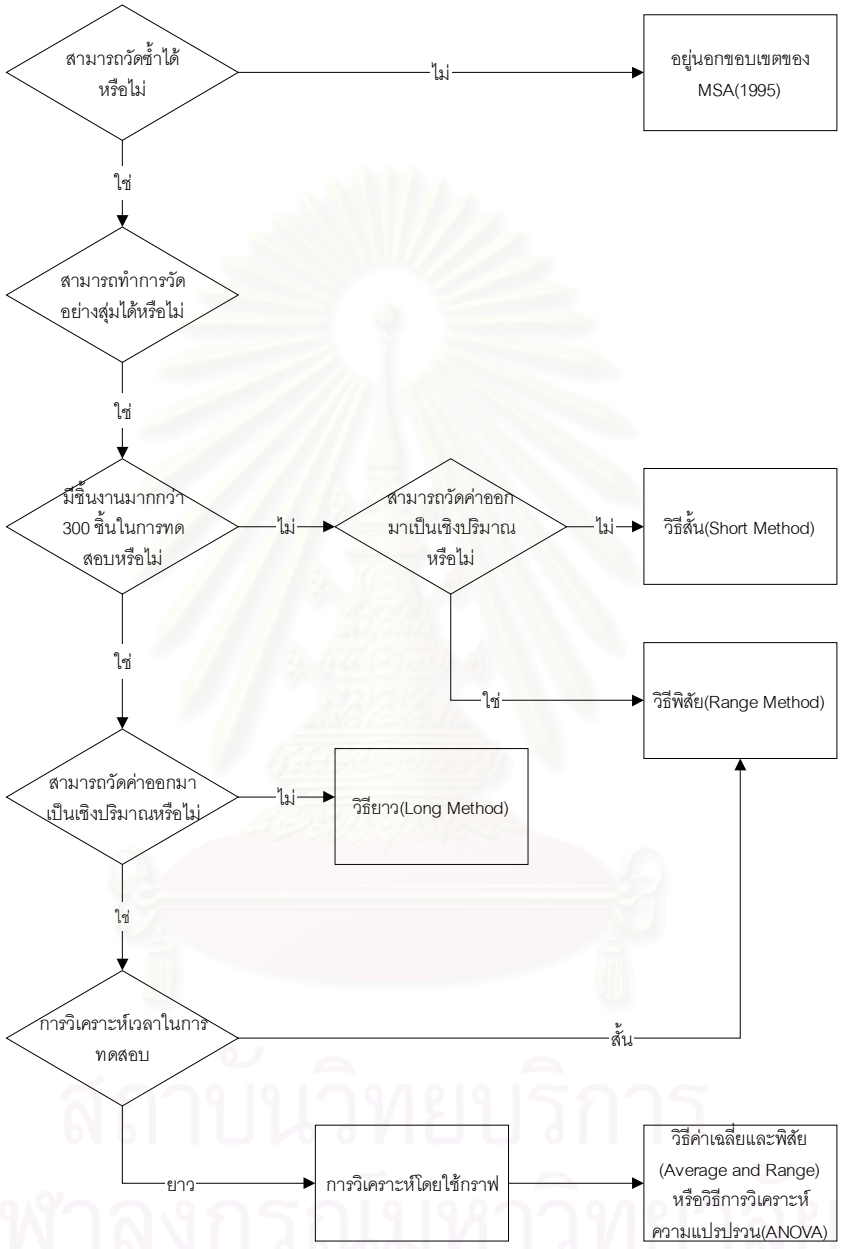
Mongomery และ Runner (1994) กล่าวถึงรายละเอียดในการทดสอบความแม่นยำโดยใช้เทคนิค GR&R ในประเด็นจำนวนชิ้นที่ใช้ในการทดสอบ และจำนวนครั้งในการวัดซ้ำในแต่ละชิ้นงาน ไว้ว่าควรจะทำการทดสอบชิ้นงานหลายๆชิ้น และวัดซ้ำด้วยจำนวนครั้งที่น้อย ซึ่งจะดีกว่าการวัดชิ้นงานน้อยชิ้นด้วยการวัดซ้ำมากๆด้วยเหตุผล 3 ประการดังนี้

1) ความแปรปรวนของค่าวัดของชิ้นงานที่มีค่าวัดอยู่ในช่วงค่ากลางอาจมีค่าไม่เท่ากับชิ้น งานที่มีค่าวัดอยู่ในช่วงขอบเขตค่าคาดเคลื่อนอนุโลมบนหรือล่าง ดังนั้นการวัดชิ้นงานหลายๆชิ้นจะมีโอกาสที่จะครอบคลุมความผันแปรเหล่านั้นได้มากกว่า
2) ค่าความแปรปรวนของค่าวัดอาจมีค่าไม่คงที่ โดยขึ้นอยู่กับระดับของค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้ ซึ่งอาจไม่สามารถตรวจจับได้หากทำการวัดชิ้นงานน้อยชิ้น ซึ่งสามารถทำการสังเกตได้จากการพล็อตค่าพิสัยบนกราฟ โดยเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยของค่าวัดชิ้นงาน
3) การวัดซ้ำๆบนชิ้นงานน้อยชิ้นงาน จะไม่สามารถทำให้การทดลองมีการเก็บข้อมูลที่สมบรูณ์ (Complete Replication of Measurement Process) ซึ่งทำให้ค่าความแปรปรวนที่น้อยกว่าความเป็นจริง

Kenneth (1997) ได้กล่าวถึงการเรียนรู้ของพนักงานจากความเชี่ยวชาญที่มากขึ้นกับการวิเคราะห์ระบบการวัดไว้ว่า ควรใช้พนักงานที่มีการฝึกอบรมอย่างเชี่ยวชาญเท่านั้นในการทดสอบ ไม่เช่นนั้นอาจต้องทำการทดสอบซ้ำหลายรอบจากความแปรปรวนที่มีค่ามาก ที่มีสาเหตุจากที่พนักงานขาดความชำนาญ

2.3.7 แผนภูมิในการเลือกเครื่องมือในการทดสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด

ในการพิจารณาเลือกเครื่องมือทดสอบในการวิเคราะห์ระบบการวัดจะใช้แผนภูมิดังรูปที่ 2.7

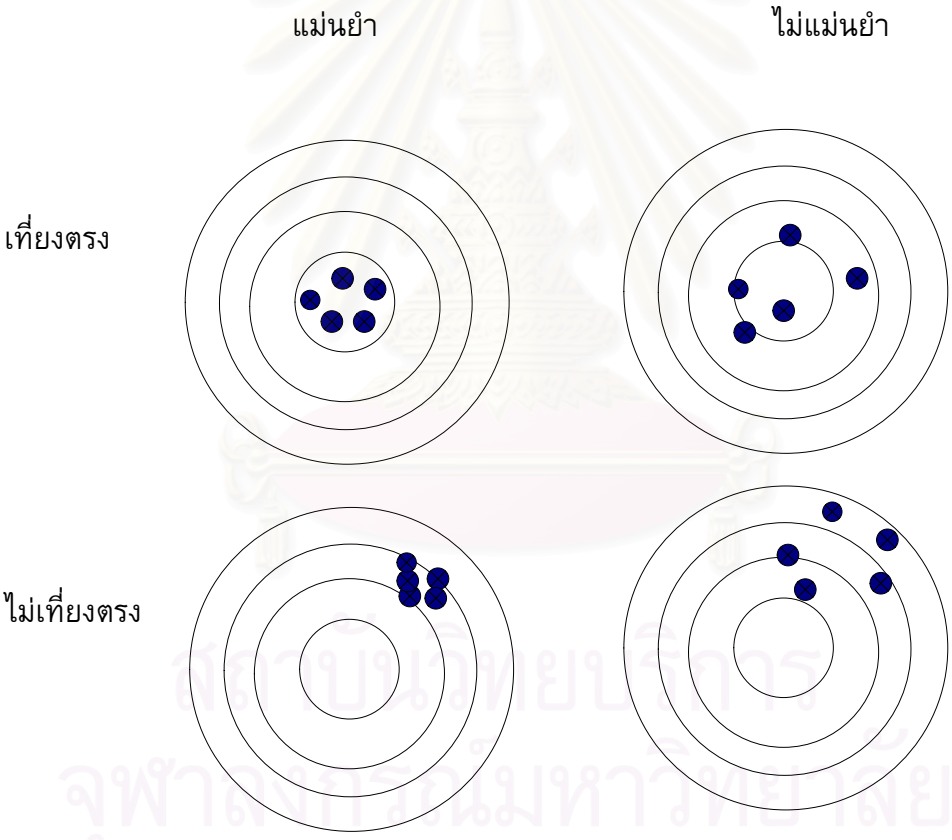


รูปที่ 2.7 แผนภูมิในการเลือกวิธีการในการทดสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด (ดัดแปลงจาก AIAG, 1995)

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ระบบการวัดภายใต้ขอบเขตของ MSA (1995) จะสามารถทดสอบได้ หากชิ้นงานสามารถที่จะทำการวัดซ้ำได้และสามารถเลือกชิ้นงานแบบสุ่มเท่านั้นซึ่งการเลือกเพื่อกำหนดวิธีในการทดสอบนั้นยังมีปัจจัยทางด้านปริมาณชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบประเภทของจุดตรวจสอบว่าเป็นลักษณะสมบัติเชิงปริมาณ หรือเชิงคุณลักษณะ และเวลาที่มีในการทดสอบ

2.3.8 การวิเคราะห์ระบบการวัดในลักษณะคุณสมบัติเชิงปริมาณ

สามารถแสดงผลออกมาเป็นความเที่ยงตรงและความแม่นยำของค่าวัดสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความเที่ยงตรงและความแม่นยำของระบบการวัด

จากรูปดังกล่าวเห็นได้ว่า ความถูกต้องจะหมายถึงการที่ได้ค่าวัดโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงในขณะที่ค่าความแม่นยำ จะหมายถึง การได้ค่าจากการวัดซ้ำหลายๆครั้งที่ใกล้เคียงกัน

2.3.8 การวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของระบบการวัด

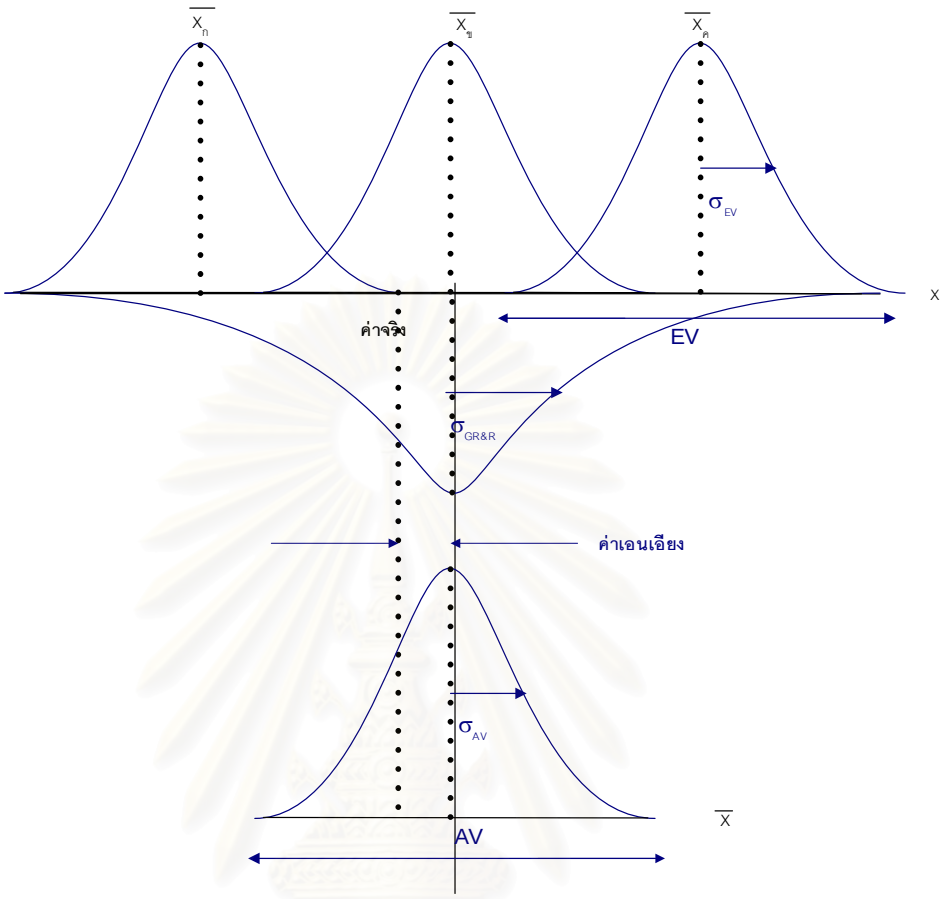
สามารถแบ่งออกได้เป็นคุณสมบัติ 3 ประการคือ ค่าเอนเอียง (Bias) ค่าเสถียรภาพของระบบการวัด (Stability) ค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity) สำหรับการตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงผันแปร ในงานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ไม่เน้นที่การศึกษาความเที่ยงตรงเนื่องจากทางโรงงานได้ปฏิบัติอยู่เป็นประจำตามแผนการสอบเทียบเครื่องมือวัดอยู่แล้ว

2.3.9 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

ความแม่นยำของระบบการวัดจะแสดงออกทางค่าความผิดพลาดนี้มีสาเหตุมาจาก 3 แหล่งด้วยกัน คือ สาเหตุจากชิ้นงาน สาเหตุจากพนักงานหรืออุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานเพื่อการวัด และสาเหตุแบบสุ่ม

คุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้ ถ้าหากมีการจำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นแล้ว สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ ความสามารถในการทำซ้ำ และความสามารถในการทำเหมือน โดยที่ ความสามารถในการทำซ้ำของระบบการวัดหมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับงานชิ้นเดียวกันเครื่องมือเดียวกัน และด้วยพนักงานคนเดียวกัน ซึ่งโดยปกติจะใช้ค่าความสามารถในการทำซ้ำ ในการประมาณค่าความแปรปรวนของระบบการวัดในระยะสั้น ส่วนความสามารถในการทำเหมือนของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของผลการวัดในงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือชิ้นเดียวกัน แต่ต่างพนักงานหรือต่างอุปกรณ์จับยึด และโดยปกติจะใช้ค่า ความสามารถในการทำเหมือน ในการประมาณค่าความแปรปรวนของระบบการวัดในระยะยาว อาจจะกล่าวอย่างสั้นๆได้ว่า ความสามารถในการทำซ้ำ คือความแปรปรวนในระหว่างเงื่อนไขของการวัด โดยเงื่อนไขที่กล่าวถึงนี้อาจจะหมายถึง พนักงานวัด กะงาน อุปกรณ์ยึดจับ และเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม

ในการประมาณค่าความสามารถในการทำซ้ำและความสามารถในการทำเหมือนของระบบการวัด จะใช้วิธีเทคนิคความสามารถในการทำซ้ำและความสามารถในการทำเหมือน (Gage Repeatability and Reproducibility หรือ เทคนิค GR&R) หมายถึง การประเมินผลค่าแปรปรวนอันเนื่องมาจากการวัดค่าของชิ้นงานภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน และมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขไปโดยสามารถแสดงรูปภาพของความแปรปรวนแต่ละประเภทดังในรูปที่ 2.7



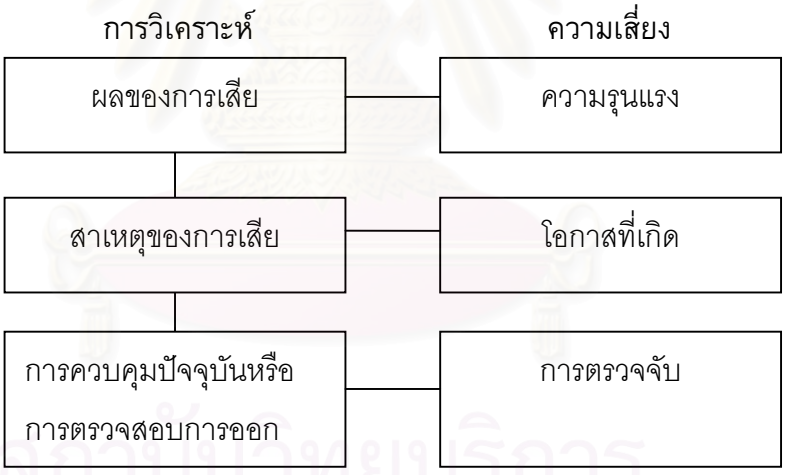
รูปที่ 2.9 ความแปรปรวนจาก ความสามารถในการทำซ้ำและความสามารถในการทำเหมือน (ดัดแปลงจากกิติศักดิ์, 2542)

จากรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงค่าความแม่นยำโดยรวมของระบบการวัดซึ่งแสดงโดยรูปโค้งปกติคว่ำ ซึ่งแสดงค่าโดยสัญลักษณ์ $\sigma_{GR\&G}$ ซึ่งมาจากระบบการวัดที่มีพนักงานวัด 3 คนคือ นาย ก นาย ข และนาย ค วัดชิ้นงานโดยใช้อุปกรณ์วัดชิ้นเดียวกัน จากความแปรปรวนรวมดังกล่าว หากแยกย่อยพิจารณาพบว่าสามารถแยกออกเป็นความแปรปรวนจากอุปกรณ์การวัด (Equipment Variation : EV) ซึ่งก็คือค่าความสามารถในการทำซ้ำของเครื่องมือวัดโดยใช้สัญลักษณ์ σ_{EV} และความแปรปรวนจากค่าวัดที่แตกต่างกันของพนักงานทั้ง 3 คน (Appraiser Variation) ซึ่งก็คือค่าความสามารถในการทำเหมือนของพนักงาน โดยใช้สัญลักษณ์ σ_{AV}

2.3.10 การวิเคราะห์รูปแบบของการเสียและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA)

การวิเคราะห์รูปแบบของการเสียและผลกระทบ (FMEA) เป็นเทคนิคการวิคราะห์อย่างเป็นระบบสำหรับประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการที่ผลิตภัณฑ์มีข้อบกพร่องถูกผลิตออกสู่ตลาด ในขณะที่ทำงานเกี่ยวกับ FMEA จะทำให้เราสามารถเรียนรู้โอกาสของการเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละประเภท และทราบว่าอะไรเป็นสาเหตุให้เกิดการเสียขึ้น การศึกษานี้ทำให้เราสามารถใช้ในการตัดสินใจว่า จะต้องทำอะไรเพื่อที่จะลดความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่พบว่าเป็นสิ่งบกพร่องร้ายแรง

FMEA จะถูกจัดทำขึ้นในรูปแบบของการเติม ความบกพร่องหลักของผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษาสาเหตุ และผลกระทบที่เกิดขึ้น ลงในแบบฟอร์มที่จัดทำขึ้น ผลลัพธ์ของ FMEA คือ กลุ่มของกิจกรรม หรือคำตอบซึ่งสามารถใช้ในการกำหนดแนวทางที่ดีในการใช้เครื่องมือหรือเทคนิคเพื่อป้องกันหรือลดผลกระทบของรูปแบบและสาเหตุของการเสียที่เกิดอาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต แสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการดำเนินการสำหรับพัฒนาแผนภูมิ FMEA

FMEA ใช้ความน่าจะเป็นในการเกิดและตรวจจับความบกพร่องที่เกิดขึ้นร่วมกับเกณฑ์ของความรุนแรงซึ่งจะทำให้เราได้ค่าของ ตัวเลขแสดงระดับของความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) เพื่อใช้สำหรับกำหนดความสำคัญของกิจกรรมที่จัดขึ้นเพื่อแก้ไขสิ่งบกพร่องที่เกิดขึ้น การทบทวนและการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์และกระบวนการอย่างเป็นระบบจะช่วยให้เราสามารถคาดเดาแก้ไข หรือติดตาม ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ หรือในที่การประกอบหรือการผลิตกำลังดำเนินอยู่ได้ การทำ FMEA ให้ได้ผลดีนั้นต้องเกิดจากการระดมสมองของหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

2.3.11 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

ถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด เราจะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลองคำว่า "การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment)" หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในทางสถิติเป็นสิ่งจำเป็น ถ้าเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายิ่งปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือการออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่า วิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ เรพลิเคชัน (Replication) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และ บล็อกกิง (Blocking) ในที่นี้เรากำหนดให้ว่า **เรพลิเคชัน** หมายถึงการทำซ้ำ เรพลิเคชันมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรก เรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้น เรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

แรนดอมไมเซชัน เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง แรมดอมไมเซชัน หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล(หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การที่เราแรนดอมไมซ์การทดลอง ทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

บล็อกกิง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิง

บทที่ 3

การนิยามปัญหา

3.1 บทนำ

ขั้นตอนการนิยามปัญหาที่จะกล่าวถึงในบทนี้ ถือว่าเป็นขั้นตอนแรกที่จะนำไปสู่การกำหนดจุดเริ่มต้น และทิศทางของการวิจัย (Define Phase) ตามวิธีการทางซิกซ์ซิกม่า ที่จะนำมาประยุกต์ในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความสูญเปล่าจากการปรับแต่งของกระบวนการพิมพ์ออฟเซต ที่ทำการศึกษานี้โดยมีรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.2 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน

ในการกำหนดทีมงานดำเนินงานที่คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ความชำนาญในส่วนของกระบวนการที่เลือกทำการปรับปรุงเพื่อช่วยในการสนับสนุนการทดลอง และระดมความคิดด้วยเครื่องมือ และเทคนิคต่างๆที่ใช้ในการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายซึ่งทีมงานดำเนินงานประกอบไปด้วยบุคคลที่มาจากส่วนต่างๆดังนี้

ทีมงานในการดำเนินงาน

- หัวหน้าส่วนผลิต (Production Manager)
- ผู้จัดการแผนกเตรียมการผลิต (Prepress Manager)
- ผู้จัดการแผนกผลิตงานพิมพ์ (Printing Manager)
- วิศวกรแผนกผลิตงานพิมพ์ (Printing Engineer)
- วิศวกรแผนกวิศวกรรม (Engineer)
- วิศวกรแผนกประกันคุณภาพ (QA Engineer)

ผู้วิจัยรับผิดชอบตำแหน่งวิศวกรแผนกผลิตงานพิมพ์ (Printing Engineer)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

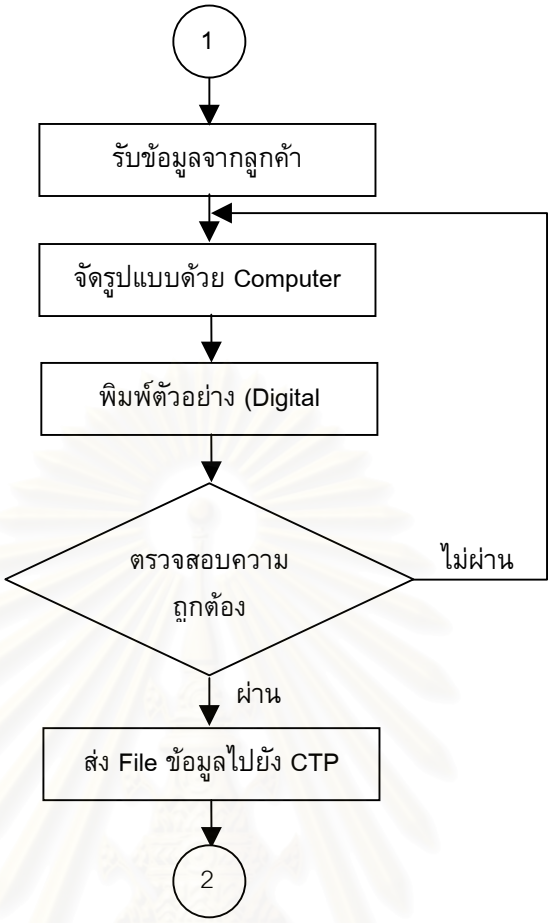
3.3 การศึกษากระบวนการผลิต

อธิบายกระบวนการผลิตโดยรวมสำหรับการผลิตกล่องหรือบรรจุภัณฑ์กระดาษด้วยระบบการพิมพ์ในระบบออฟเซท (Process Mapping) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงพื้นที่การผลิต และกระบวนการผลิตหลักของผลิตภัณฑ์กล่องหรือบรรจุภัณฑ์กระดาษด้วยระบบการพิมพ์ในระบบออฟเซท

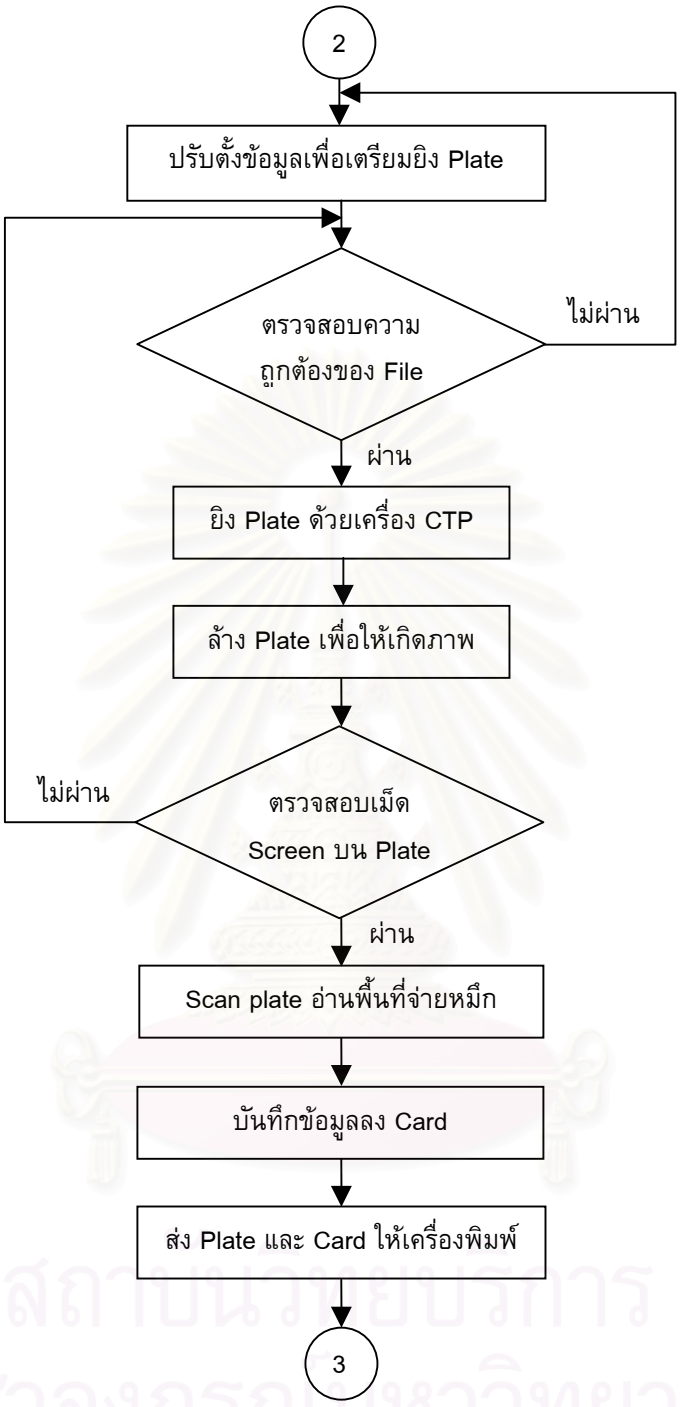
NO	Area	Process
1	Prepress	ทำ File ต้นฉบับ (Prepress)
		ผลิตตัวอย่าง และกล่องตัวอย่าง (Proof)
2	Printing	ตัดกระดาษ (Guillotine shear)
		การทำแม่พิมพ์ (Plate making)
		ผสมหมึก (Ink Mixing)
		พิมพ์ (Printing)
3	QA	คัดแยกงานพิมพ์ (Sorting)
4	Converting 1	ขัดเงา (Calender)
		ปั๊มทอง (Hot Stamp)
		ผลิตลูกฟูกลอน E (Colugater)
		ปะลอน (Laminater)
		ไดคัต (Diecut)
		แกะเศษ (Stripping)
5	QA	ตรวจสอบคุณภาพ (Sort Gluer)
6	Converting 2	ติดหน้าต่าง (Window)
		ติดกาว (Guler)

ในการทำการวิจัยครั้งนี้ผู้ดำเนินการวิจัยสนใจศึกษาการลดความสูญเปล่าจากการปรับแต่งของกระบวนการพิมพ์ออฟเซตในพื้นที่การผลิต Prepress และ Printing ซึ่งกระบวนการผลิตในแต่ละกระบวนการแสดงดังรูปที่ 3.1,3.2 และ 3.3



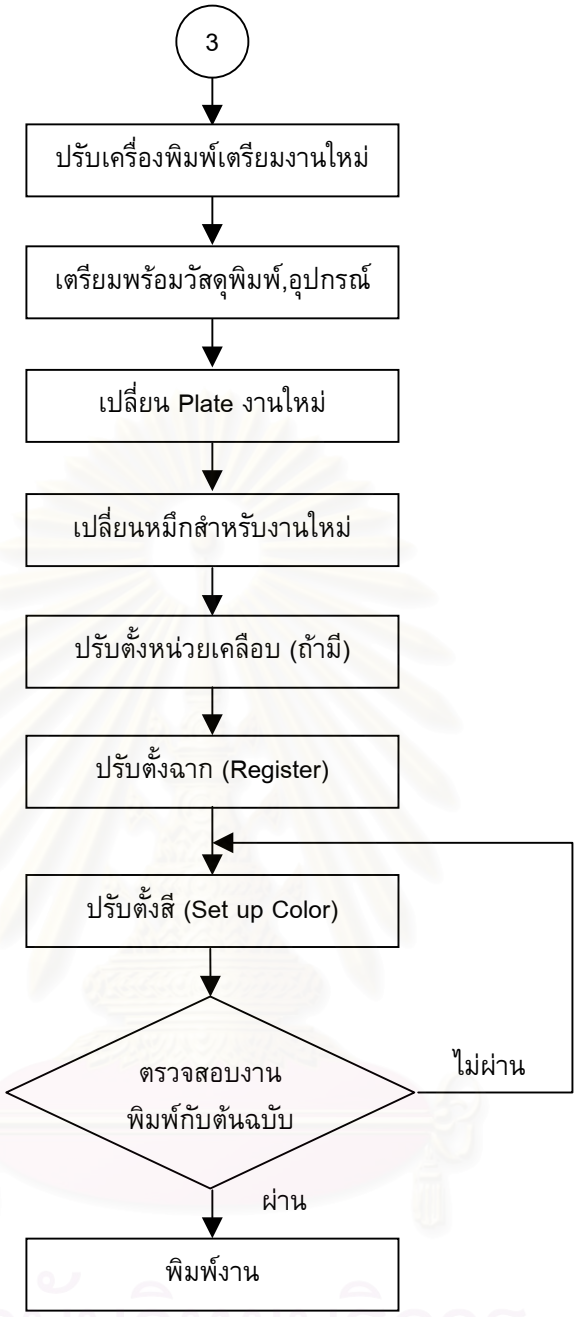
รูปที่ 3.1 แผนภาพกระบวนการผลิต File ต้นฉบับ (Prepress)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 แผนภาพกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ (Plate Making)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 แผนภาพกระบวนการพิมพ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

ในปัจจุบันจากภาวะการแข่งขันทางธุรกิจที่ทวีความรุนแรงสูงขึ้นตลอดเวลา ธุรกิจทุกประเภทต้องมีการแข่งขันในตลาดการค้า ซึ่งหนึ่งในธุรกิจเหล่านั้นคือธุรกิจการพิมพ์บรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษแข็ง ด้วยเหตุนี้โรงพิมพ์แต่ละโรงจึงต้องแข่งขันกันผลิตสินค้าให้ได้คุณภาพ และรวดเร็ว เพื่อให้สามารถแข่งขันกับตลาดที่มีการแข่งขันสูงได้จำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต คือการที่ทำให้ได้ผลผลิต (Output) มากที่สุดโดยการใส่ปริมาณการผลิตเข้าไปในการผลิต (Input-วัตถุดิบ บุคลากร เครื่องจักร พลังงานต่างๆ) ในปริมาณที่น้อยที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มมูลค่าการผลิต และการลดต้นทุนการผลิตให้น้อยลง

ประสิทธิภาพโดยรวม (OEE) หมายถึง ค่าที่ได้จากผลคูณระหว่างอัตราที่เครื่องจักรทำงาน (AR) อัตราสมรรถนะ (PR) และอัตราผลิตภัณฑ์ดี (QR) เป็นการสรุปรวมว่า มีการใช้เครื่องจักรอย่างไร และเดินเครื่องด้วยความเร็วเท่าใด และมีอัตราผลิตผลิตภัณฑ์ดีเท่าไร นอกจากนี้ยังเป็นดัชนีชี้วัดว่ามีส่วนร่วมในเวลาที่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มมากน้อยเท่าใด

ประสิทธิภาพโดยรวม : OEE = AR x PR x QR

1) EOR (คือการหักเวลาที่ไม่คิด Production speed ออกไป)
เรียกว่า “ความสูญเสียจากการหยุดเครื่องจักรประจำปี (Shutdown loss)”
หักเวลาต่อไปนี้ออก

2.1 Maintenance ประจำเดือน
2.2 เวลาทำ TPM และ ประชุม Morning talk
2.3 ไม่มีงาน
2.4 วิ่งน้ำ
2.5 วิ่งงาน Proof และทำตัวอย่าง
2.6 งานซ่อม เช่น วิ่งทับดำ,ซ่อม IR,สีอ่อน เป็นต้น

2) AR คือ อัตราที่เครื่องจักรทำงาน
การคำนวณคือนำเอา EOR หักลบค่าดังนี้
3.1 ความสูญเสียจากเครื่องจักรการเสื่อม หรือเสียหายก่อนกำหนด (Equipment loss)
Breakdown โดย Operator และ ช่างซ่อมบำรุง (รวมมากกว่า และน้อยกว่า 30 นาที)
3.2 ความสูญเสียจากการเตรียมงาน และการปรับแต่ง (Set up & adjustment loss)
Set up time เช่น ตั้งฉาก,ตั้งสี
*3.3 ความสูญเสียในช่วงเริ่มต้นงาน (Start-up loss) ไม่นำมาคิด
*3.4 ความสูญเสียจากการเปลี่ยนเครื่องมือ (Part change loss) ไม่นำมาคิด

3) PR คือ อัตราสมรรถนะ

การคำนวณคือ AR หักลบค่าดังนี้

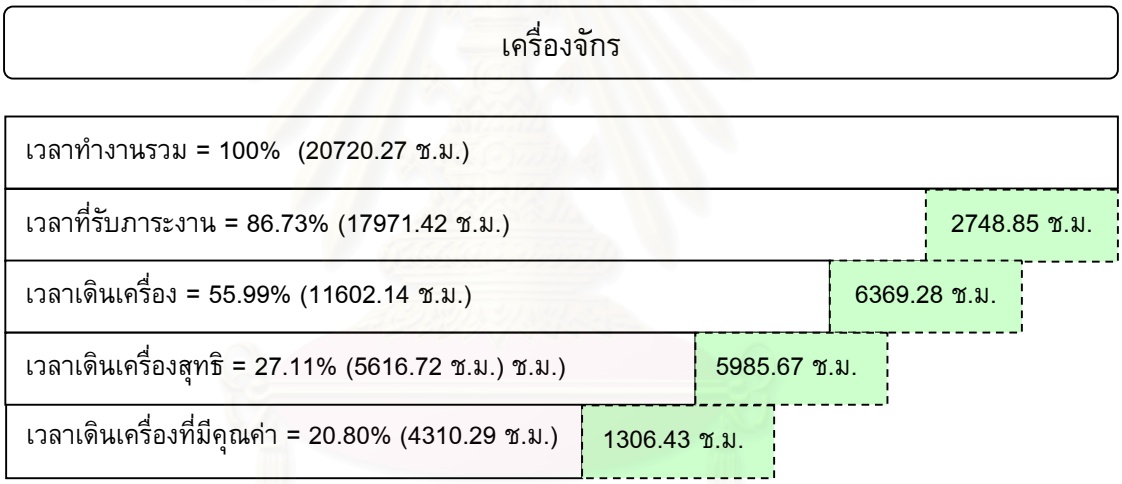
4.1 ความสูญเสียในการเดินเครื่อง เดินๆหยุดๆ (Down time หรือ Minor stoppage) อันเนื่องมาจากปัญหาชั่วขณะหนึ่ง

4.2 ความสูญเสียจากการความเร็วต่ำกว่าความเร็วที่กำหนด (Speed loss) กำหนดให้ทุกเครื่องจักรมีความเร็วอย่างน้อย 10,000 Sheet/Hr.

4) QR คือ อัตราของดี

ความสูญเสียจากการมีของเสีย และของที่จะต้องนำกลับไปทำใหม่ (Defect & Rework loss)

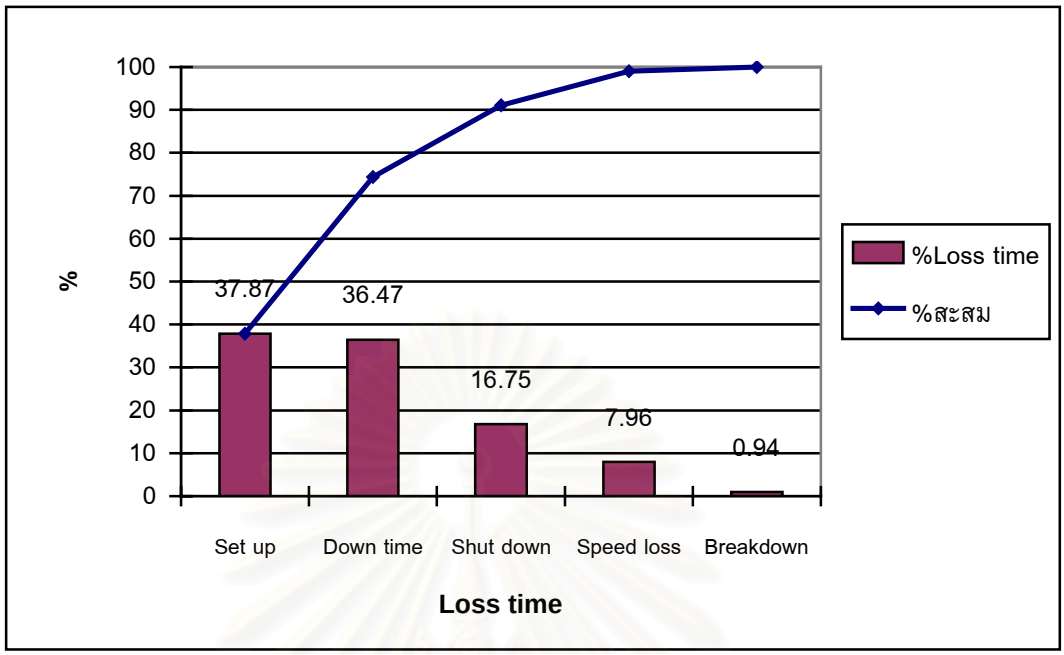
จำแนกพิจารณาเวลาทำงานรวมเพื่อให้เห็นถึงความสูญเสียได้ดังนี้ (ข้อมูลจากวันที่ 2 ม.ค. ถึง 30 มิ.ย. 2546)



รูปที่ 3.4 เวลาสูญเสียของเครื่องพิมพ์

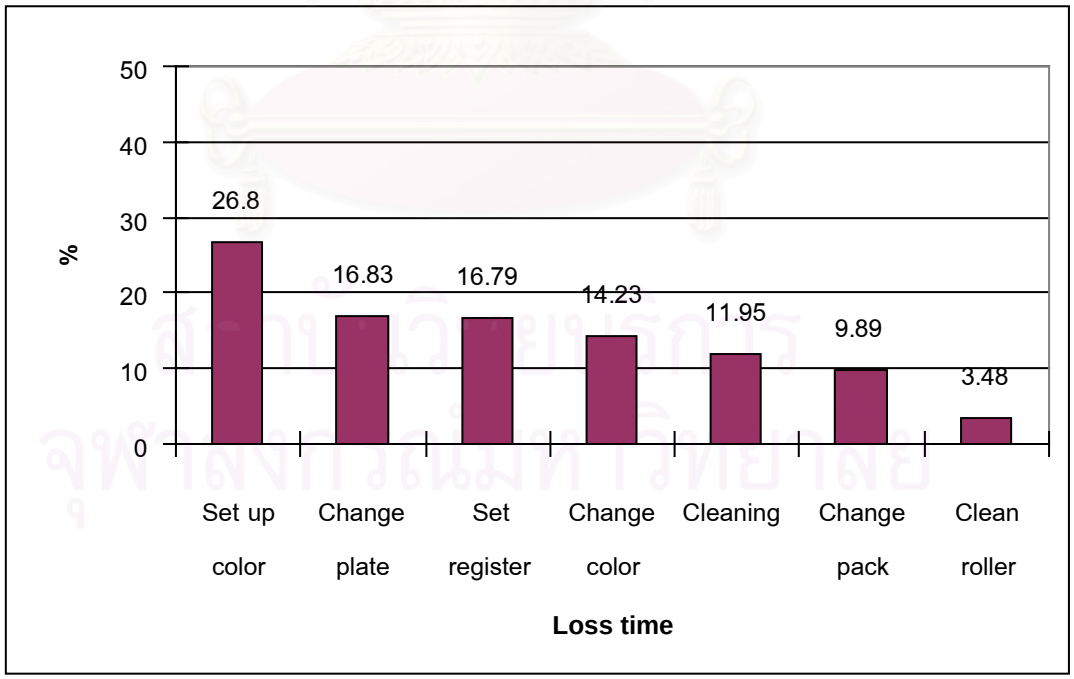
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เวลาสูญเสียแยกรายละเอียดได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 Loss time หลักของเครื่องพิมพ์ (รวม)

Set up time ใช้เป็นความสูญเปล่าที่มากที่สุดคือ 37.87% สามารถแยกรายละเอียดได้ดังรูปที่ 3.6



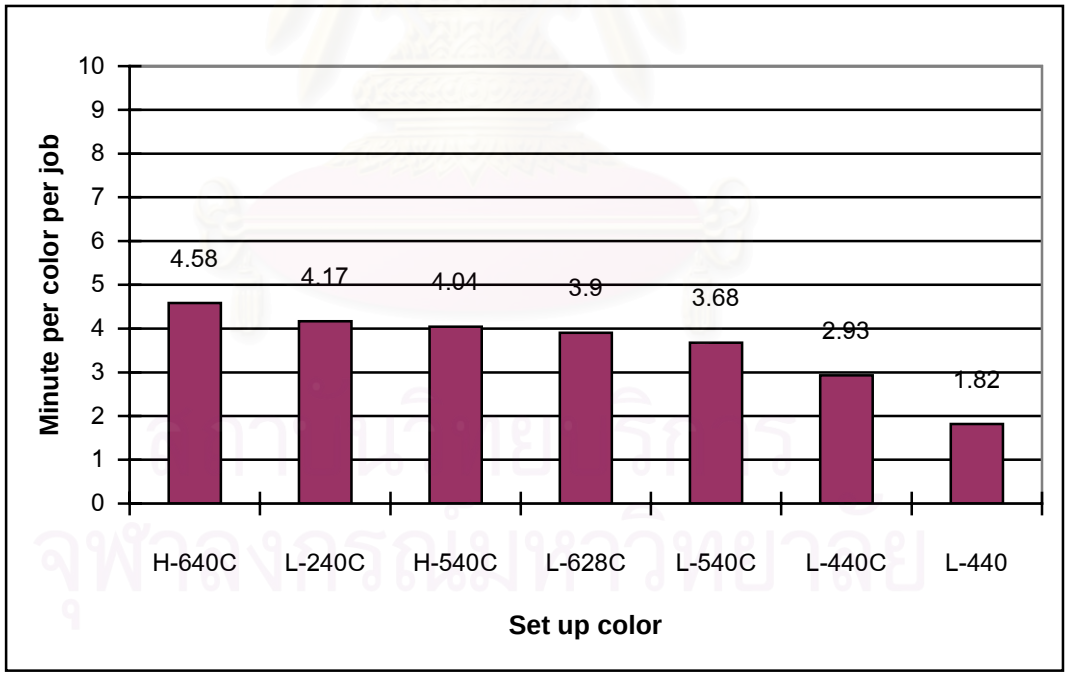
รูปที่ 3.6 รายละเอียดของเวลาสูญเสีย (Loss time) จากการตั้งเครื่อง (Set up)

การตั้งเครื่องพิมพ์เพื่อเปลี่ยนงานใหม่มีความสูญเปล่าจากการตั้งสี (Set up color) มากที่สุดคือ 26.80% ซึ่งการตั้งสีจะเป็นปัญหาสำคัญที่สุดโดยมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพงานพิมพ์ สามารถพิจารณาแยกรายละเอียดของเวลาสูญเสียตามเครื่องจักรเพื่อวิเคราะห์ปัญหาดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของเวลาสูญเสีย

เครื่องจักร	เวลาสูญเสีย (ช.ม.)	จำนวนงาน	จำนวนผลิต (แผ่น)
L-240C	130.88	940	4,750,213
L-440C	187.12	955	6,946,739
L-540C	289.50	942	5,508,405
L-440	73.83	607	3,522,956
H-640C	392.30	856	7,208,496
H-540C	247.08	733	8,014,453
L-628C	345.42	885	7,151,562

จำนวนสีของเครื่องพิมพ์จะแตกต่างกันไปเพื่อการคำนวณ และการวัดผลได้อย่างมีประสิทธิภาพหน่วยที่ใช้เป็นมาตรฐานเดียวกันคือ นาที/จำนวนสี/งาน ได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.7



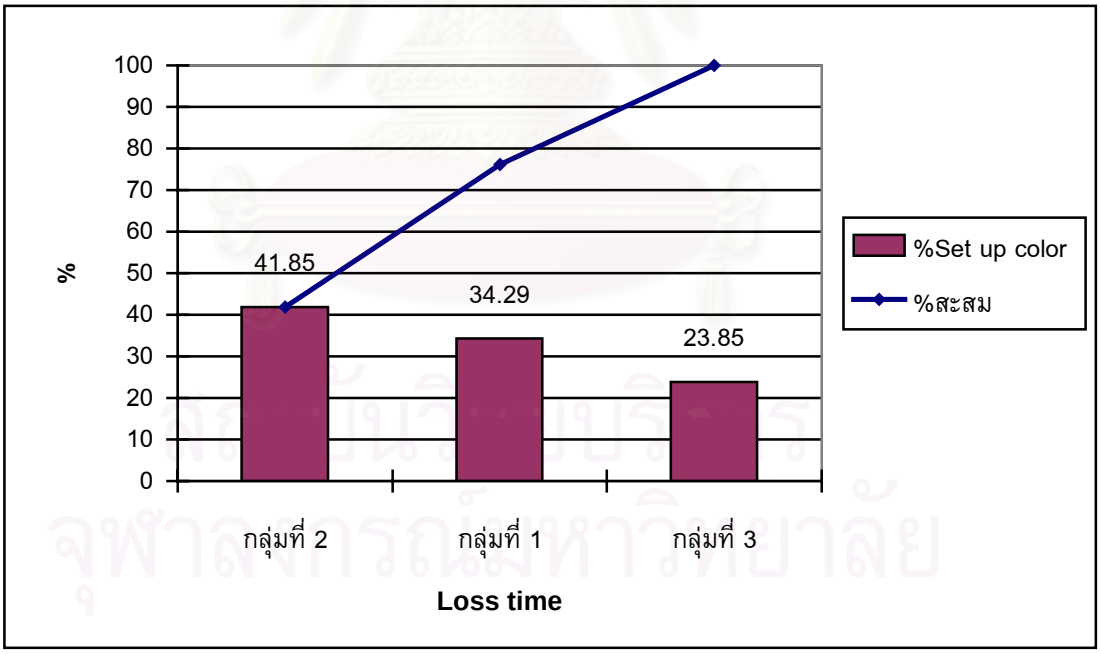
รูปที่ 3.7 รายละเอียดเวลาสูญเสียแยกเครื่องจักร (นาที/จำนวนสี/งาน)

ในสายการผลิตเครื่องพิมพ์จะสามารถแบ่งกลุ่มเพื่อผลิตงานพิมพ์คือ งานพิมพ์สอดสี (ใช้ 4 สี Process) และงานพิมพ์น้อยกว่า 4 สีซึ่งส่วนมากจะมีลักษณะเป็นพื้นสี 100% (Solid printing) ปัญหาของการตั้งสี (Set up color) จะแตกต่างกันไปเนื่องจากงานพิมพ์น้อยกว่า 4 สี

ปัญหาจะเป็นปัญหาของการผสมสี (Color matching) ไม่เหมือนต้นฉบับ ดังนั้นจึงต้องแยกการคำนวณออกจากกัน อีกส่วนหนึ่งของเครื่องพิมพ์ที่ต้องมีการแยกออกจากการคำนวณคือเครื่องพิมพ์ L-440 เนื่องจากหยุดการผลิต เครื่องจักรที่ใช้งานแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังตารางที่ 3.3 เนื่องจากลักษณะ และคุณสมบัติแตกต่างกันไปได้ดังนี้

ตารางที่ 3.3 กลุ่มของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต

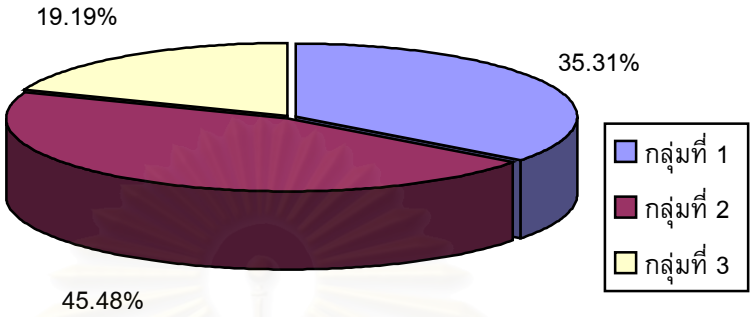
กลุ่ม	เครื่องจักร	ขนาดหน้ากว้าง	จำแนกประเภทตาม
กลุ่มที่ 1	H-640C	40 นิ้ว	ระบบการทำงาน
	H-540C	40 นิ้ว	
กลุ่มที่ 2	L-440C	40 นิ้ว	ระบบการทำงาน
	L-540C	40 นิ้ว	
	L-628C	28 นิ้ว	
กลุ่มที่ 3	L-240C	40 นิ้ว	ไม่มีการผลิตสี Process
	L-440	40 นิ้ว	เลิกผลิต



รูปที่ 3.8 รายละเอียดเวลาสูญเสียแยกกลุ่มเครื่องจักร (นาที/จำนวนสี/งาน)

ดังนั้นจากการพิจารณาสัดส่วนการผลิต กลุ่มของเครื่องเกิดเวลาสูญเสียแยกรายเครื่องจักรในช่วงเดือนมกราคมจนถึงเดือนมิถุนายน 2546 โดยแผนภาพพาเรโต้ดังรูปที่ 3.8 พบว่าเครื่องจักรที่เกิดเวลาสูญเสียจากการตั้งสี (Set up color) มากที่สุดคือกลุ่มที่ 2 เครื่องพิมพ์

L-440C ,L-540C และ L-628C (Komori machine) ซึ่งมีสัดส่วนปริมาณการผลิต 45.48% แสดงได้ดังรูปที่ 3.9 ,กลุ่มที่ 1 เครื่องพิมพ์ H-640C และ H-540C (Heidelberg machine) , และ กลุ่มที่ 3 เครื่องพิมพ์ L-240C และ L-440 เรียงตามลำดับ



รูปที่ 3.9 สัดส่วนปริมาณการผลิตแยกตามกลุ่มของเครื่องจักร

จากข้อมูลทางการผลิตพบว่าความสูญเปล่าจากการปรับแต่งสี (Set up color) นั้นเป็นความสูญเสียทางด้านเวลาเกิดจากการเตรียมการเมื่อสิ้นสุดการผลิตสินค้าปัจจุบัน ไปสู่การเริ่มผลิตสินค้าใหม่ ซึ่งมีความสูญเปล่าจากการใช้เวลาในการตั้งสีของเครื่องจักรกลุ่มที่ 2 เป็น 41.85 % ซึ่งถือเป็นความสูญเปล่าที่สำคัญอย่างมากจึงควรมีการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความสูญเปล่าดังกล่าวให้ลดลง หรือแทบไม่เกิดขึ้นเลย

การเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะมาศึกษา

จากการวิเคราะห์สัดส่วนการผลิตของผลิตภัณฑ์ของเครื่องจักรกลุ่มที่ 2 แสดงได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลปริมาณการผลิตแยกกลุ่มผลิตภัณฑ์

กลุ่มผลิตภัณฑ์	สัดส่วนปริมาณการผลิต (%)
Electronic	47.86
Rubber glove	13.58
Consumer	11.02
Food	8.36
Other	19.18

จากข้อมูลในตารางที่ 3.4 พบว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์ Electronic มีสัดส่วนปริมาณการผลิตมากถึง 47.86% ของปริมาณการผลิตทั้งหมด จากนั้นวิเคราะห์แยกรายลูกค้าเพื่อกำหนดรุ่นที่มีความนิยมมากในตลาด แสดงได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลของผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษออฟเซต

Customer	สัดส่วนปริมาณการผลิต (%)
CANON	57.08
Matsushita	21.73
PIONEER	15.90
Sony Mobile	4.55

จากข้อมูลในตารางที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มลูกค้า CANON นั้นมีสัดส่วนการผลิตมากเป็นอันดับหนึ่งเท่ากับ 57.08% ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ดังนั้นจึงได้เลือกพิจารณาหาทางแก้ไขปรับปรุงผลิตภัณฑ์ CANON เป็นอันดับแรก

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นของค่าความเปรียบต่างสี (Print contrast)

ค่า Print contrast มีความสำคัญมากต่อการควบคุมคุณภาพ และการเกิดปัญหาต่างๆ ของงานพิมพ์ เนื่องจากสามารถให้มีความรู้สึกแตกต่างของโทนภาพระหว่าง Three – quarter tone (ความละเอียดของเม็ดสกรีนที่ 75%) และ Solid ink density (การพิมพ์พื้นตาย 100%) เพื่อให้การพิมพ์มีคุณภาพของโทนสีใกล้เคียงต้นฉบับมากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณ Shadow tone

จากข้อมูล ค่าความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสีของสีดำ (Black),ฟ้า (Cyan),แดง (Magenta) และเหลือง (Yellow) นั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.6 (รายละเอียดดูได้จากภาคผนวก ก.)

ตารางที่ 3.6 ความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสี

Color	C_{pk}
Black	0.22
Cyan	0.74
Magenta	0.43
Yellow	0.51

ตารางที่ 3.7 ลำดับความสามารถของกระบวนการ

ค่าดัชนี C_{pk}	ลำดับความสามารถของกระบวนการ
2.00 <= C_{pk}	ดีเหลือเชื่อ
1.67<= C_{pk} < 2.00	ดีเลิศ
1.33<= C_{pk} < 1.67	ดี
1.00<= C_{pk} < 1.33	พอใช้
0.67<= C_{pk} < 1.00	ไม่ดี
C_{pk} < 0.67	ไม่ดีมาก

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและความสามารถของค่าความเปรียบต่างสี นั้น มีค่า Cpk ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ดีดังเทียบได้จากตารางที่ 3.7 บ่งชี้ให้ทราบถึงสถานการณ์ดำเนินการผลิตและความสามารถของกระบวนการปัจจุบันอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีควรปรับปรุง

3.5 สรุปการนิยามปัญหา

ผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนการนิยามปัญหาคือ ทีมงานระดมความคิด และดำเนินงานเพื่อให้สามารถลดความสูญเปล่าจากการปรับตั้งค่าความเปรียบต่างสี โดยเปรียบเทียบทั้งสัดส่วนความสูญเปล่าจากการผลิต สัดส่วนปริมาณการผลิต และข้อมูลปริมาณความต้องการของตลาด จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ทำการเลือกที่จะปรับปรุงเครื่องพิมพ์รุ่น Lithrone (เครื่องจักรกลุ่มที่ 2) และผลิตภัณฑ์ CANON เป็นอันดับแรก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

4.1 บทนำ

หลังจากขั้นตอนการนิยามปัญหาเพื่อกำหนดแนวทางต่างๆในการแก้ไขปัญหาแล้ว ในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้ จะเป็นขั้นตอนเพื่อศึกษาถึงแหล่งที่มาที่เป็นสาเหตุของปัญหาด้วยการใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆช่วยในการศึกษา โดยเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของกระบวนการผลิตในทุกๆขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษา และทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อที่จะประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัด ก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหา

จากนั้นจะทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อที่จะลดขอบเขตของแหล่งที่มาของปัญหาที่ทำการพิจารณา และนำผลจากการทดลองดังกล่าวมาศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยการระดมความคิดเห็นจากกลุ่มสมาชิกที่ได้คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ความชำนาญ และปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตที่พิจารณา และทำการคัดเลือกปัจจัยต่างๆที่คาดว่าจะมีผลกระทบในลำดับต้นๆ ต่อกระบวนการผลิตดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)

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

การวิเคราะห์ระบบความแม่นยำของเครื่องมือวัดมีความสำคัญมากเนื่องจากการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพ หรือป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้องมั่นใจในความเสถียรของเครื่องมือวัดซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของ

ระบบการวัดเพื่อทำการแยกแหล่งความแปรผันออกเป็นชิ้นงาน (Part – to Part Variation) พนักงาน (Appraiser Variation) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation)

วิธีการทำการทดลองของข้อมูลที่เป็น Variable GR&R

ในกระบวนการพิมพ์เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความเปรียบต่างของสี (Print contrast) คือ เครื่อง Spectrophotometer ซึ่งการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบทำได้ดังนี้

1) ใช้ตัวอย่างงานพิมพ์สี Magenta จากแถบควบคุมคุณภาพท้ายกระดาษของงานพิมพ์ จำนวน 10 งาน
2) พนักงานวัด 3 คน
3) วัดค่าความเปรียบต่างสี (Print contrast) ตัวอย่างละ 3 ครั้งแบบสุ่ม
   -Stat > Quality Tools >Gage R&R Study(cross)

ตารางที่ 4.1 ค่า %GR&R ที่ยอมรับได้ของข้อมูล Variable

CRITERIA	%GR&R
BAD	>7.7%
ACCEPTABLE	2-7.7%
GOOD	0-2%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลลัพธ์ของการตรวจวัด

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ของการตรวจวัด

Part	Operator 1			Operator 2			Operator 3		
	Trial 1	Trial 2	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	45	45	45	45	45	45	45	45	45
2	51	51	51	51	51	51	51	51	51
3	37	36	36	36	37	36	36	37	36
4	38	38	38	38	39	38	38	38	38
5	36	36	36	36	36	36	36	36	36
6	36	36	35	35	36	36	35	35	35
7	44	44	44	44	44	44	45	45	45
8	37	37	37	37	37	37	37	37	37
9	51	51	51	51	51	51	51	51	51
10	43	43	43	43	43	43	43	43	43

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม **MINITAB**

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Response

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	2950.94	327.883	1910.68	0.00000
Operator	2	0.02	0.011	0.06	0.93752
Operator*Part	18	3.09	0.172	2.57	0.00324
Repeatability	60	4.00	0.067		
Total	89	2958.06			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

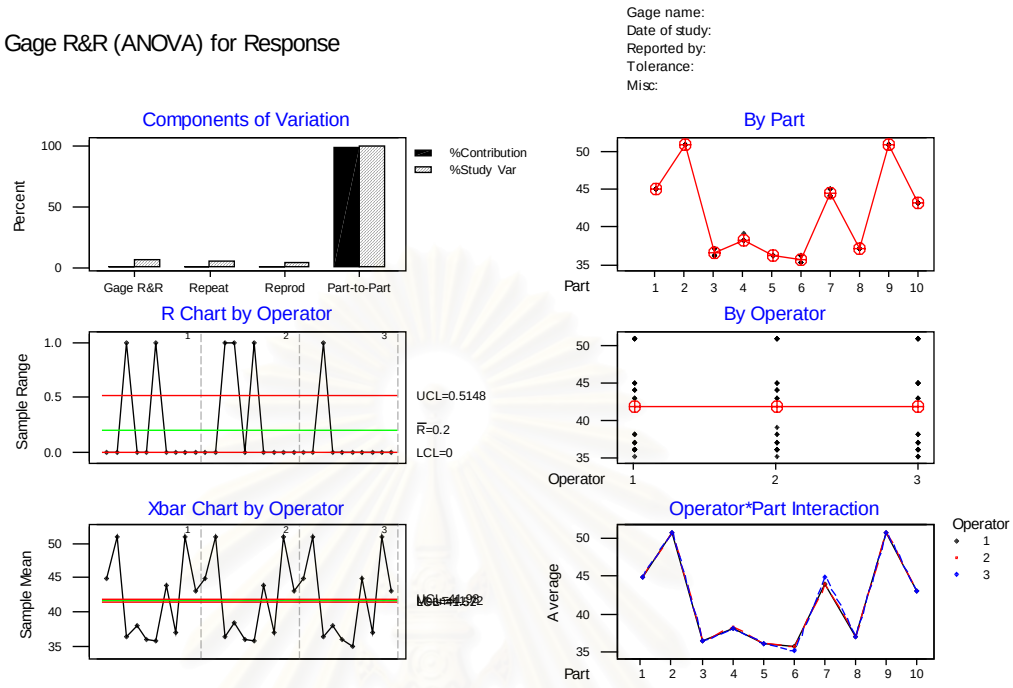
Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.102	0.28
Repeatability	0.067	0.18
Reproducibility	0.035	0.10
Operator	0.000	0.00
Operator*Part	0.035	0.10
Part-To-Part	36.412	99.72
Total Variation	36.514	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.31882	1.6419	5.28
Repeatability	0.25820	1.3297	4.27
Reproducibility	0.18703	0.9632	3.10
Operator	0.00000	0.0000	0.00
Operator*Part	0.18703	0.9632	3.10
Part-To-Part	6.03426	31.0765	99.86
Total Variation	6.04268	31.1198	100.00

Number of Distinct Categories = 27

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ค่าระบบการวัด (Total Gage R&R)	0.28	เปอร์เซ็นต์
ค่าแปรผันมาจากเครื่องมือวัด (Repeatability)	0.18	เปอร์เซ็นต์
ค่าแปรผันมาจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	0.10	เปอร์เซ็นต์
ค่าความแปรผันจากชิ้นงาน (Part-To-Part)	99.72	เปอร์เซ็นต์

สามารถสรุปผลได้ว่า ค่าความแปรปรวนที่เกิดจากระบบการวัดทั้งสิ้น (Total Gage R&R) เพียง 0.28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 ตามเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ระบบการวัดนี้ยังมีความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูล (Number of Distinct Categories) ได้เท่ากับ 27 โดยที่เกณฑ์มาตรฐานของความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูลจะที่มีค่าเท่ากับ 5 สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ค่อนข้างละเอียด แสดงให้เห็นว่า*ระบบการวัดค่าความเปรียบต่างสี มีความถูกต้องและแม่นยำน่าเชื่อถือ เหมาะสมสำหรับการทดสอบค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) ของงานวิจัย* ดังนั้นสรุปว่าความสามารถของกระบวนการวัดอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

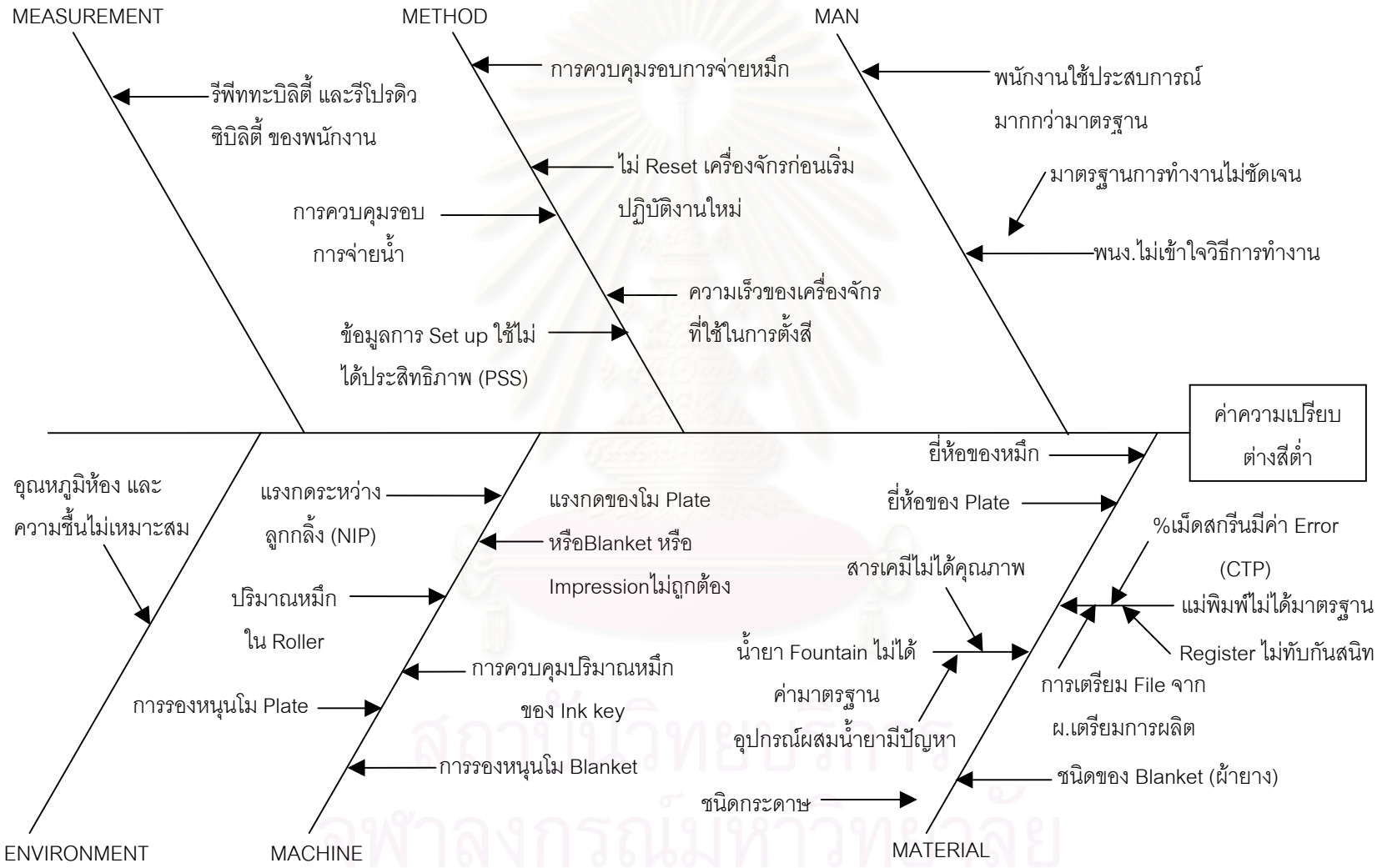
4.3 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุ และผล (Cause & Effect Diagram)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการระดมความคิดจากสมาชิกในทีม เพื่อค้นหาสาเหตุที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุด ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆดังนี้คือ

1. ทำการศึกษาขั้นตอนของกระบวนการตั้งเครื่องจักร ของกระบวนการผลิตงานพิมพ์ออฟเซต ของกลุ่มเครื่องพิมพ์ 2 (เครื่องพิมพ์ L-440C,L-540C และ L-628C) อย่างละเอียด
2. ระดมความคิดเพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อค่าความเปรียบต่างของสี (Print contrast) ซึ่งเครื่องมือที่จำนำมาประยุกต์ใช้ช่วยในการพิจารณาคือแผนภาพอิชิกาว่า ในการระดมความคิดนี้จะกระทำโดยสมาชิกในทีมทำการระดมความคิดโดยอิสระ เพราะในขั้นตอนนี้ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้คือจำนวนปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยผลของการระดมความคิดแยกตามแหล่งที่มาของสาเหตุทั้ง 6 ประเภท ดังแผนภาพอิชิกาว่าของค่าความเปรียบต่างสี ดังรูปที่ 4.1
3. นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาใส่ลงในตาราง Cause and Effect Matrix ในที่นี้กำหนดให้อัตราความสำคัญเท่ากับ 10 เนื่องจากเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการเพียงข้อเดียว
4. ให้กลุ่มสมาชิกทำการลงคะแนนความสำคัญให้กับปัจจัยที่ได้ ซึ่งจะให้คะแนนในช่วง 1 ถึง 10 คะแนน โดยแต่ละคนจะให้คะแนนของตนเองจนครบ 10 ปัจจัย

ผู้วิจัยรวบรวมคะแนน พร้อมทั้งทำการคูณค่าคะแนนแต่ละปัจจัยในแต่ละสมาชิกด้วยอัตราความสำคัญที่มีต่อลูกค้าเท่ากับ 10 จากนั้นทำการรวมคะแนนที่ได้ทั้งหมดในแต่ละปัจจัย และทำการสรุปผลคะแนนในตาราง Cause and Effect Matrix ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยโดยเรียงคะแนนจากมากไปน้อยด้วยแผนภูมิพาเรโต ดังแสดงในรูปที่ 4.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ผังก้างปลา

ตารางที่ 4.3 Cause and Effect Matrix

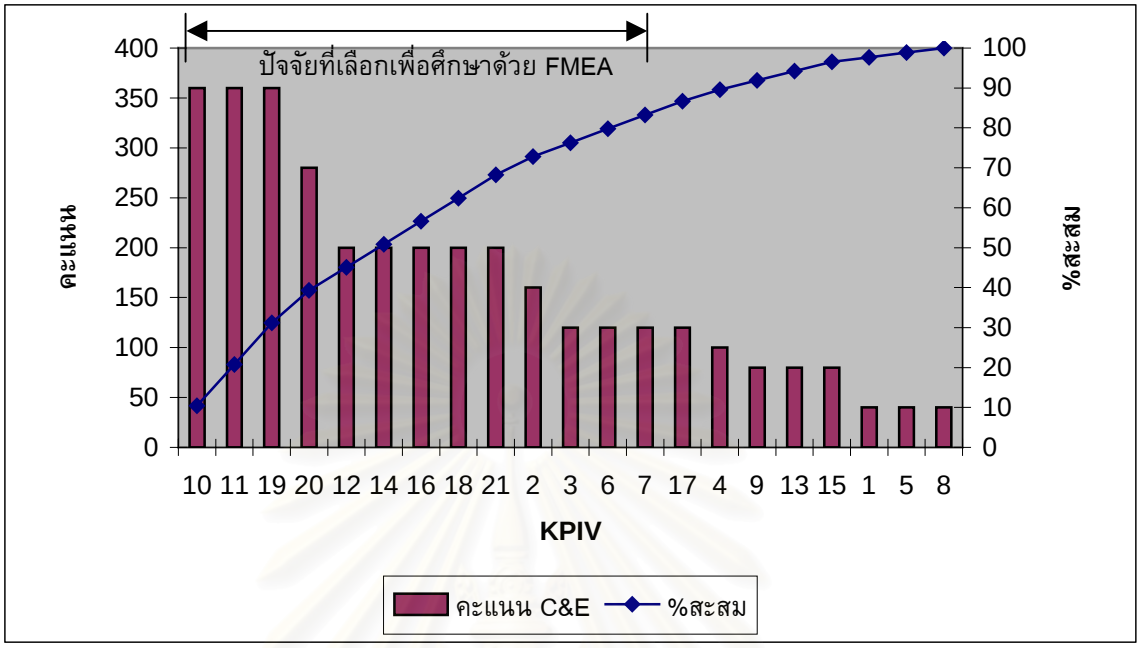
RATING OF IMPORTANCE TO CUSTOMER			Key Process Output Variables				Results
			BK (10)	C (10)	M (10)	Y (10)	
Item	Six Area Causes	Process Input Variable					
1	Measurement	รีพีททะบิลิตี้ และรีโปรดิวซิบิลิตี้ ของพนักงาน	1	1	1	1	40
2	Material	ยี่ห้อของหมึกพิมพ์ (Series)	3	5	5	3	160
3		ยี่ห้อของ Plate	3	3	3	3	120
4		น้ำยา Fountain ไม่ได้มาตรฐาน	3	3	3	1	100
5		ชนิดกระดาษ	1	1	1	1	40
6		แม่พิมพ์ (Plate) ไม่ได้มาตรฐาน (คุณภาพของ %เม็ดสกรีน)	3	3	3	3	120
7		ชนิดของผ้ายาง (Blanket)	3	3	3	3	120
8	Man	พนักงานไม่เข้าใจวิธีการทำงาน	1	1	1	1	40
9		พนักงานใช้ประสบการณ์มากกว่ามาตรฐาน	1	3	3	1	80
10	Method	การควบคุมรอบการจ่ายหมึก	9	9	9	9	360
11		การควบคุมรอบการจ่ายน้ำ	9	9	9	9	360
12		การใช้ข้อมูล Set up จากเครื่อง PSS	5	5	5	5	200
13		ไม่ Reset เครื่องจักรก่อนปฏิบัติงานใหม่	1	3	3	1	80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 Cause and Effect Matrix (ต่อ)

RATING OF IMPORTANCE TO CUSTOMER			Key Process Output Variables				Results
			BK (10)	C (10)	M (10)	Y (10)	
Item	Six Area Causes	Process Input Variable					
14	Method	ความเร็วของเครื่องจักรที่ใช้ในการตั้งสี	5	5	5	5	200
15	Machine	แรงกดระหว่างลูกกลิ้ง (NIP)	1	3	3	1	80
16		ปริมาณหมึกใน Roller	5	5	5	5	200
17		การรองหนุนโม Plate	3	3	3	3	120
18		แรงกดของโม Plate หรือBlanket หรือ Impressionไม่ถูกต้อง	5	5	5	5	200
19		การควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key	9	9	9	9	360
20		การรองหนุนโม Blanket	9	9	5	5	280
21	Environment	อุณหภูมิห้อง และความชื้นไม่เหมาะสม	5	5	5	5	200

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 แสดงแผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆจากการวิเคราะห์ด้วย Cause and Effect Matrix

จากผลการให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี โดยสมาชิกกลุ่ม พบว่าคะแนนรวมทั้งหมดของปัจจัยมีค่าเท่ากับ 3,460 คะแนน และทำการเลือกปัจจัยตามลำดับคะแนนที่ได้จัดเรียงไว้ในแผนภูมิพาเรโต เพื่อนำไปศึกษาต่อด้วย FMEA ต่อไปโดยปัจจัยที่ได้เลือกไว้รวมทั้งสิ้น 13 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ผลรวมคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่เลือกไว้นี้มีค่าเท่ากับ 2,880 คะแนน ซึ่งเป็นสัดส่วน 83.23%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.4 ตารางแสดงลำดับของ KPIV ทั้ง 13 อันดับ

Item	Six area cause	KPIV	Total
1	Method	การควบคุมรอบการจ่ายหมึก	360
2	Method	การควบคุมรอบการจ่ายน้ำ	360
3	Machine	การควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key	360
4	Machine	การรองหนุนโม Blanket	280
5	Method	การใช้ข้อมูล Set up จากเครื่อง PSS	200
6	Method	ความเร็วของเครื่องจักรที่ใช้ในการตั้งสี	200
7	Machine	ปริมาณหมึกใน Roller	200
8	Machine	แรงกดของโม Plate หรือBlanket หรือ Impression ไม่ถูกต้อง	200
9	Environment	อุณหภูมิห้อง และความชื้นไม่เหมาะสม	200
10	Material	ยี่ห้อของหมึกพิมพ์ (Series)	160
11	Material	ยี่ห้อของ Plate	120
12	Material	แม่พิมพ์ (Plate) ไม่ได้มาตรฐาน (คุณภาพของ % เม็ดสกรีน)	120
13	Material	ชนิดของผ้ายาง (Blanket)	120
Total			2,880

4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA)

หลังจากที่ได้พิจารณาเลือกปัจจัยที่สำคัญจากการพิจารณาด้วยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์สาเหตุ และผล (Cause & Effect Matrix) แล้วในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยเหล่านั้นมาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) เพื่อที่จะศึกษาถึงลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของปัจจัยต่างๆเหล่านี้พร้อมกับพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วยตารางที่ 4.5 โดยเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาจะคำนึงถึงการให้คะแนนของ Risk Priority Number (RPN) ให้กับแต่ละปัญหา

การคำนวณค่า RPN ได้มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวคือ O x S x D เมื่อ

O = Occurrence คือ โอกาสที่สาเหตุหรือกลไกที่ได้ทำรายการไว้แล้วในคอลัมน์ก่อนหน้านี้จะเกิดขึ้น ตัวเลขของการจัดระดับของโอกาสในการเกิดการเสียมีความหมายที่ลึกซึ้งกว่าการเป็นเพียงแค่ตัวเลขเท่านั้น แนวทางในการลดระดับของการเกิดการเสียลงสามารถทำได้โดยการขจัดหรือควบคุมสาเหตุหรือกลไกหนึ่งประเภทหรือมากกว่าของรูปแบบของการเสียโดยใช้การเปลี่ยนแปลงการออกแบบเท่านั้น การประมาณโอกาสของการเกิดการเสียจะอยู่บนสเกล 1 ถึง 10 ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะการควบคุมที่ตั้งใจที่จะใช้ในการป้องกันสาเหตุของการเสียจากการเกิดขึ้นเท่านั้น

เมื่อทำการประมาณโอกาสของการเสีย ให้พิจารณาถึงความน่าจะเป็นที่สาเหตุหลักของการเสียที่จะเกิดขึ้นแล้วทำให้เกิดรูปแบบของการเสีย สำหรับการประมาณเช่นนี้ ให้สมมุติว่าสาเหตุของการเสียและรูปแบบของการเสียจะไม่ถูกตรวจจับก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะไปถึงมือของลูกค้า

ระบบการจัดระดับของการเกิดการเสียต่อไปนี้อาจจะถูกนำมาใช้ในขณะพัฒนา FMEA ให้สังเกตว่าค่าตัวเลขสัมบูรณ์ค่าหนึ่งของการเกิดการเสียจะถูกกำหนดให้กับระดับของการเสียที่ระดับหนึ่ง ซึ่งค่านี้ขึ้นกับการตัดสินใจของวิศวกรที่เกี่ยวข้อง ขอแนะนำว่า วิศวกรควรจะขอคำแนะนำจากผู้รับผิดชอบในเรื่องกิจกรรมเกี่ยวกับระบบคุณภาพเพื่อที่จะได้มาซึ่งอัตราการเกิดการเสียที่เหมาะสม

S = Severity คือ ความรุนแรงเป็นปัจจัยซึ่งแสดงให้เห็นถึงความร้ายแรงของการเสียที่เกิดขึ้นกับระบบ ระบบย่อย ส่วนประกอบ หรือลูกค้า หลักจากที่มีการเสียเกิดขึ้น การประมาณความรุนแรงของผลกระทบเนื่องจากการเสียกับลูกค้า จะอยู่บนสเกล 1 ถึง 10 จำไว้ว่าความรุนแรงนี้จะประเมินจะใช้ในการประเมินผลของการเสียเท่านั้น

การจัดระดับความรุนแรงอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ก็ต่อเมื่อมีการดำเนินการบางอย่างในการออกแบบผลิตภัณฑ์เท่านั้น ไม่ได้มีผลมาจากการควบคุมการผลิตที่ดีขึ้นแต่ประการใด เนื่องจากว่าความรุนแรงขึ้นกับผลของการเสีย สาเหตุหลักทั้งหมดของการเสียสำหรับผลของการเสียควรได้รับการจัดระดับความรุนแรงให้อยู่ในระดับเดียวกัน

ความรุนแรงเป็นปัจจัยซึ่งแสดงให้เห็นถึงความร้ายแรงของการเสียที่เกิดขึ้นกับลูกค้า ความรุนแรงจะใช้กับผลกระทบเท่านั้น ถ้าลูกค้าที่ได้รับผลของการเสียคือ โรงงาน หรือผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ การประเมินความรุนแรงอาจจะเกินกว่าความรู้หรือประสบการณ์ของวิศวกรกระบวนการมีอยู่ก็ได้ ในกรณีเช่นนี้ ประสบการณ์ จากสมาชิกในทีมอื่น จะมีความสำคัญอย่างมาก

เกี่ยวกับเกณฑ์ในการประเมินที่แนะนำ ทีมงานควรจะทำความตกลงเกี่ยวกับเกณฑ์ในการประเมินและระบบในการจัดระดับ ซึ่งควรจะมีความอยู่กับร่องกับรอย

ตารางที่ 4.5 แสดงระดับความรุนแรง

ระดับ	เกณฑ์ประเมิน : ความรุนแรงของผลกระทบ	อัตรา
ไม่มีผลกระทบ	Unreasonable to expect that the minor nature of this failure would cause any noticeable effect on the vehicle or system performance. Customer will probably not be able to detect failure.	1
ต่ำ	Low severity rating due to minor nature of failure causing only slight customer annoyance. Customer will probably notice some subsystem or vehicle performance degradation	2 3
ปานกลาง	Moderate failure which causes some customer dissatisfaction; customer is made uncomfortable or is annoyed by the failure. For example, moderate failure ratings would be given to items such as low power, poor fuel consumption etc. Customer will notice some subsystem or vehicle performance degradation.	4 5 6
สูง	High degree of customer dissatisfaction due to nature of the failure, such as an inoperable vehicle(e.g. non-start etc.) 0r Failure which causes the vehicle to degrade in areas governed by legal requirements. Does not involve vehicle safety or non-compliance to legal requirements.	7 8
สูงมาก	Very high severity rating when a failure mode involves potential safety problems and/or conformance to legal requirements.	9 10

D = Detection คือ การประเมินความน่าจะเป็นของการตรวจจับของเสีย ที่เกิดขึ้นจากการเสียที่กำหนดก่อนที่ชิ้นงานหรือส่วนประกอบจะออกจากแหล่งประกอบ โดยใช้สเกล 1 ถึง 10 เราจะสมมติว่ามีการเสียเกิดขึ้น แล้วประเมินความสามารถของระบบควบคุมในปัจจุบันทั้งหมดที่จะป้องกันไม่ให้มีการส่งของเสียไปยังส่วนอื่นๆ แต่อย่าตั้งสมมติฐานว่า ระดับของการตรวจจับมีความต่ำ(โอกาสในการตรวจจับได้สูง) เพราะว่าการเสียนั้นมีโอกาสในการเกิดต่ำ

การตรวจสอบคุณภาพแบบสุ่มอาจจะไม่ได้ช่วยให้เกิดการตรวจจับการเสียแบบเดี่ยวขึ้นได้ ดังนั้นจะไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของการตรวจจับที่สังเกตได้ อย่างไรก็ตามการสุ่มที่กระทำบนพื้นฐานทางสถิติจะช่วยในการควบคุมการตรวจจับอย่างมาก

ทีมงานจะต้องทำการตกลงเกี่ยวกับเกณฑ์และระบบการให้ระดับคะแนนที่ใช้ในการประเมิน ซึ่งจะต้องมีความอยู่กับร่องกับรอย

ตารางที่ 4.6 แสดงระดับการตรวจจับ (Detection)

ระดับ	เกณฑ์ประเมิน : Likelihood of Detection	อัตรา	Probability Of Defect Being Shipped
สูงมาก	Very high probability that the defect would be detected. The defect is a functionally obvious characteristic readily detected by a subsequent operation(e.g. missing steering wheel) Detection reliability at least 99.99 %.	1 2	1/10000
สูง	High probability that the defect would be detected. The defect is an obvious characteristic(e.g. missing label). Automatic checking 100% of a simple characteristic (e.g. presence of a hole). Detection reliability at least 99.98%.	3 4	1/5000 1/2000 1/1000 1/500
ปานกลาง	Moderate probability that the defect would be detected. The defect is an easily identified characteristic(e.g. locking nuts functionally checked 100%). Automatic inspection 100% of a variable characteristic	5 6	1/200 1/100 1/50

ตารางที่ 4.6 แสดงระดับการตรวจจับ (Detection) ต่อ

ปานกลาง	(e.g. diameter). Detection reliability at least 98%.		
ต่ำ	Low probability of detecting the defect. The defect is an subtle characteristic(e.g. timing). Visual or manual inspection 100%. Detection reliability at least 90%.	7 8	1/100 1/50
ต่ำมาก	Very high likelihood that the product would be shipped containing the defect. Item is not checked or checkable. The defect is latent and would not appear at manufacturing or assembly location(e.g. defect affects durability of component). Detection reliability 90% or less	9 10	1/20 1/10+

Source : โรงงานตัวอย่าง Apply from FMEA Manual (Chrysler,Ford General Motors Supplier Quality Requirements Task Force)

ระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหาคือค่า RPN เท่ากับ 1 ซึ่งมาจาก 1 x 1 x 1 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหามีน้อยมาก และความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเหมือนกัน และสามารถจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์

ระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหาคือค่า RPN เท่ากับ 1,000 ซึ่งมาจาก 10 x 10 x 10 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มาก และความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีมากรวมถึงความสามารถในการตรวจจับปัญหามีค่าต่ำ

ในการให้คะแนนของทั้ง 3 พารามิเตอร์นั้นจะทำการวิเคราะห์ และให้คะแนนโดยการระดมความคิดของทีมงานซึ่งจะมีผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหลาย ๆฝ่ายเพื่อที่จะทำการกลั่นกรองให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหาจากนั้นทำการใช้ผังพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญดังแสดงในตารางที่ 4.7, 4.8 และรูปที่ 4.3 ก่อนจะนำไปทดสอบสมมุติฐานในขั้นตอนของการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาต่อไป

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่อง

Item	KPIV	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Cause	OCC	Control	DET	RPN
1	การควบคุมรอบการจ่ายหมึกมาก หรือน้อยเกินไป	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	8	พื้นที่การรับหมึกของภาพพิมพ์แตกต่างกัน	9	ใช้ข้อมูลการอ่านค่าพื้นที่ภาพพิมพ์จากเครื่อง PSS	8	576
2	การควบคุมรอบการจ่ายน้ำไม่สมดุลย์กับปริมาณหมึก	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	9	ปริมาณการจ่ายหมึกและรอบการจ่ายหมึกให้ภาพพิมพ์แตกต่างกัน	9	ใช้ข้อมูลการอ่านค่าพื้นที่ภาพพิมพ์จากเครื่อง PSS	8	648
3	การควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	8	พื้นที่การรับหมึกของภาพพิมพ์แตกต่างกัน	9	ใช้ข้อมูลการอ่านค่าพื้นที่ภาพพิมพ์จากเครื่อง PSS	8	576
4	การรองหนุนโม Blanket น้อย หรือมากเกินไป	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	8	%เม็ดสกรีนบนงานพิมพ์เล็ก หรือใหญ่กว่ามาตรฐาน	6	ตรวจสอบก่อนเริ่มงานจริงตามเอกสารวิธีการปฏิบัติงาน (WI)	6	288

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่อง (ต่อ)

Item	KPIV	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Cause	OCC	Control	DET	RPN
5	การใช้ข้อมูล Set up จากเครื่อง PSS	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	6	เครื่องอ่านค่าไม่ตรงกับพื้นที่ภาพพิมพ์จริง	6	กำหนดวาระการ Calibrate เครื่อง	5	180
6	ความเร็วของเครื่องจักรที่ใช้ในการตั้งสีไม่เหมาะสม	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	4	ไม่มีการกำหนดความเร็วมาตรฐาน	5	กำหนดความเร็วมาตรฐาน	5	100
7	ปริมาณหมึกใน Roller	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	5	ปริมาณหมึกที่ใช้ในแต่ละงานไม่เท่ากัน จึงมีหมึกค้างใน Roller ไม่เท่ากัน	5	ล้าง Roller ก่อนทำการเริ่มงานใหม่	4	100
8	แรงกดของโม Plate หรือ Blanket หรือ Impression ไม่ถูกต้อง	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	5	อุปกรณ์อ่านค่าได้ไม่ตรง	5	กำหนดวาระการตรวจสอบอุปกรณ์	3	75
				5	พนักงานตั้งค่าไม่ถูกต้อง	6	เอกสารวิธีการปฏิบัติงาน (WI)	3	90
9	อุณหภูมิห้อง และความชื้นไม่เหมาะสม	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	3	เครื่องทำความเย็นทำงานผิดปกติ	2	ตรวจสอบโดยช่างซ่อมบำรุง	3	18

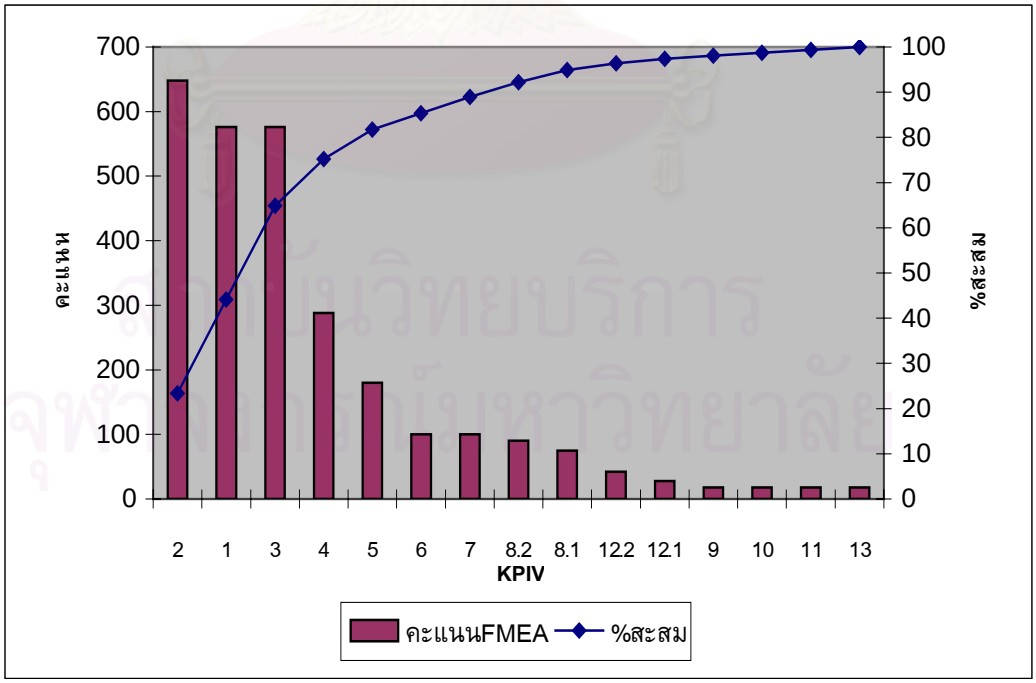
ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่อง (ต่อ)

Item	KPIV	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Cause	OCC	Control	DET	RPN
10	ยี่ห้อของหมึกพิมพ์ (Series)	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	3	มีการเปลี่ยนหมึกเนื่องจากมีหลายยี่ห้อ	3	ใช้หมึกยี่ห้อเดียวในการผลิต	2	18
11	ยี่ห้อของ Plate	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	3	มีการเปลี่ยน Plate เนื่องจากมีหลายยี่ห้อ	3	ใช้เพลทยี่ห้อเดียวในการผลิต	2	18
12	แม่พิมพ์ (Plate) ไม่ได้มาตรฐาน (คุณภาพของ % เม็ดสกรีน)	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	7 7	เครื่อง CTP สร้างเม็ดสกรีนผิดปกติ น้ำยาล้าง Plate เสื่อมสภาพ	2 3	ยิง Plate ตรวจสอบ และปรับตั้งก่อนผลิตจริง	2 2	28 42
13	ชนิดของผ้ายาง (Blanket)	ค่าความเปรียบต่างสี (PC) ต่ำ	รายละเอียดของภาพต่ำ	3	มีการเปลี่ยนผ้ายางเนื่องจากมีหลายยี่ห้อ	3	ใช้ผ้ายางยี่ห้อเดียวในการผลิต	2	18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงสาเหตุของปัญหา และค่า RPN

Item	KPIV	RPN
2	การควบคุมรอบการจ่ายน้ำไม่สมดุลย์กับปริมาณหมึก	648
1	การควบคุมรอบการจ่ายหมึกมาก หรือน้อยเกินไป	576
3	การควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key	576
4	การรองหนุนโม Blanket น้อย หรือมากเกินไป	288
5	การใช้ข้อมูล Set up จากเครื่อง PSS	180
6	ความเร็วของเครื่องจักรที่ใช้ในการตั้งสีไม่เหมาะสม	100
7	ปริมาณหมึกใน Roller	100
8.1	แรงกดของโม Plate หรือBlanket หรือ Impressionไม่ถูกต้อง	90
8	แรงกดของโม Plate หรือBlanket หรือ Impressionไม่ถูกต้อง	75
12.1	แม่พิมพ์ (Plate) ไม่ได้มาตรฐาน (คุณภาพของ %เม็ดสกรีน)	42
12	แม่พิมพ์ (Plate) ไม่ได้มาตรฐาน (คุณภาพของ %เม็ดสกรีน)	28
9	อุณหภูมิห้อง และความชื้นไม่เหมาะสม	18
10	ยี่ห้อของหมึกพิมพ์ (Series)	18
11	ยี่ห้อของ Plate	18
13	ชนิดของผ้ายาง (Blanket)	18



รูปที่ 4.3 ผังพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) ได้นำผลคะแนน RPN ที่ได้มาจัดเรียงจากมากไปน้อย และพล๊อตแผนภูมิพาเรโต เพื่อพิจารณาลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 4.3 และจากการพิจารณาแผนภูมิพาเรโตพบว่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะถูกเลือกเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อมีดังนี้

- การควบคุมรอบการจ่ายน้ำไม่สมดุลย์กับปริมาณหมึก
- การควบคุมรอบการจ่ายหมึกมาก หรือน้อยเกินไป
- การควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key
- การรองหนุนโม Blanket น้อย หรือมากเกินไป

ปัจจัยที่ได้เลือกไว้มีจำนวนทั้งหมด 4 ปัจจัย และมีคะแนน RPN รวมกันทั้งสิ้น 2,088 คะแนนซึ่งเป็นสัดส่วนเท่ากับ 75.24% ของคะแนน RPN ทั้งหมด โดยในขั้นตอนต่อไปจะทำการทดสอบสมมุติฐานของปัจจัยต่างๆเหล่านี้ เพื่อยืนยันความมีนัยสำคัญของผลกระทบต่อค่าความเปรียบต่างสี ต่อไป

4.5 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา

ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้คือ ผลของการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix) และผลจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) โดยนำผลลัพธ์ที่ได้เหล่านี้ไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

4.5.1 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด
พบว่าระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจสอบ

4.5.2 ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix)

จากปัจจัยนำเข้าที่นำมาพิจารณาทั้งสิ้น 21 ปัจจัย มาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการ (KPOV) และปัจจัยนำเข้า (KPIV) ด้วยตารางสาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix) แล้วจัดเรียงลำดับคะแนนตามความสำคัญด้วยผังพาเรโตจึงเหลือปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองเพียง 13 ปัจจัย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) ต่อไป

4.5.3 จากการจัดลำดับความสำคัญด้วยผังพาเรโต ในขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) พบว่าปัจจัยนำเข้าที่ทดสอบที่สำคัญที่มีแนวโน้มกับผลกระทบต่อค่าความเปรียบต่างสีนี้มีอยู่ทั้งสิ้น 4 ปัจจัย ได้แก่ การควบคุมรอบการจ่ายน้ำไม่สมดุลย์กับปริมาณหมึก,การควบคุมรอบการจ่ายหมึก ,การควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key,การรองหนุนโม Blanket ซึ่งปัจจัยทั้งหมดนี้ จะนำไปวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

5.1 บทนำ

การวิเคราะห์ปัญหาโดยการตัดสินใจซึ่งปราศจากข้อมูลทางสถิติอ้างอิงจะทำให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการแก้ไขปัญหาต่างๆ ดังนั้นในขั้นตอนการวิเคราะห์นี้จึงมีความสำคัญอย่างมากที่ต้องอาศัยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ คือ การตั้งสมมุติฐาน และการทดสอบสมมุติฐาน การวิเคราะห์เพื่อค้นให้พบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาโดยการนำผังแสดงเหตุ และผล การวิเคราะห์ของ FMEA โดยเลือกสาเหตุจากการเรียงลำดับจากเหตุที่เป็นไปได้สูงกว่า หรือมีความร้ายแรงมากกว่า เพื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาก่อนตามลำดับไป แต่ทั้งนี้การวิเคราะห์โดยอาศัยสารสนเทศที่ได้จากการทดลองจะลดโอกาสผิดพลาดได้ การตัดสินใจที่อาศัยหลักการของสถิติวิศวกรรม หรือหลักการอนุมานทางสิถิตินั้นคือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา หรือความบกพร่องด้านคุณภาพ นอกจากนี้เมื่อมีการยืนยันว่าสาเหตุเหล่านั้นมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ก็ยังสามารถสรุปได้ต่อไปว่าสาเหตุดังกล่าวมีผลกระทบมากน้อยเพียงใด

การแก้ไขด้วยการลองผิดลองถูกโดยไม่ได้ทำการทดลอง หรือทดสอบด้วยวิธีการเก็บข้อมูล และพิสูจน์ข้อมูลอย่างถูกต้องเป็นวิธีการที่ไม่ได้ทำการแก้ปัญหาอย่างแท้จริง ปัญหาเหล่านี้อาจเกิดขึ้นชั่วขณะแต่กลับเกิดขึ้นภายหลัง นั่นก็หมายความว่าปัญหาไม่ได้มีการแก้ไขอย่างจริงจัง

ในการกำจัดสาเหตุของปัญหานั้น ได้ทำการยึดหลักกำจัดสาเหตุหลักๆให้หมดก่อนแล้วทำการผลิตตามผลของปัญหาต่อไป ซึ่งเป็นไปได้ที่ข้อบกพร่องอาจจะหมดไป หรือดีขึ้นจนถึงระดับที่น่าพอใจ ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาจึงต้องทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและปัจจัยของปัญหาให้ได้มากที่สุดเพื่อสามารถยืนยันได้อย่างแน่ชัดว่าสาเหตุเหล่านั้นเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาคุณภาพหรือไม่

5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทำการทดสอบสมมุติฐาน

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาได้สรุปปัจจัยนำเข้าที่ทดสอบทั้งหมด 4 ปัจจัยได้แก่

- การควบคุมรอบการจ่ายน้ำ
- การควบคุมรอบการจ่ายหมึก
- การควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key
- การรองหนุนโม Blanket

ในการทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐานของทั้ง 4 ปัจจัย จะทำการทดสอบสมมติฐานระดับของแต่ละปัจจัยใน 2 ระดับที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลอง และสามารถทำการทดลองได้ง่าย ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการทดสอบสมมติฐานดังนี้

5.3 การทดสอบสมมติฐาน

5.3.1 การควบคุมรอบการจ่ายน้ำ

ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดเตรียมเครื่องพิมพ์สำหรับทำการทดลองโดยปรับตั้งค่าควบคุมให้อยู่ในมาตรฐาน
2. ปรับตั้งค่าการจ่ายน้ำทั้งหมด 2 ระดับคือน้อยที่สุด และมากที่สุด สำหรับเครื่องพิมพ์จะทำงานได้ คือน้อยที่สุดปรับรอบการจ่ายน้ำเท่ากับ 5 มากที่สุดเท่ากับ 24
3. หาจำนวนตัวอย่าง (Sample size) ของตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้า

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 Sigma = 5.88

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
8.82	11	0.9000	0.9169

จาก σ ของค่าความเปรียบต่างสีในปัจจุบันสำหรับสี Cyan ที่เลือกเป็นตัวแทนในการทดสอบสมมติฐานสำหรับการวิจัยนี้ เมื่อนำมาคำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมได้คือ 11 ตัวอย่าง

4. พิมพ์งานทดสอบ สุ่มตัวอย่างทุก 200 แผ่นพิมพ์ และบันทึกผลการทดลองดังตารางที่ 5.1
5. ทำการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) ของ รอบการจ่ายน้ำที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

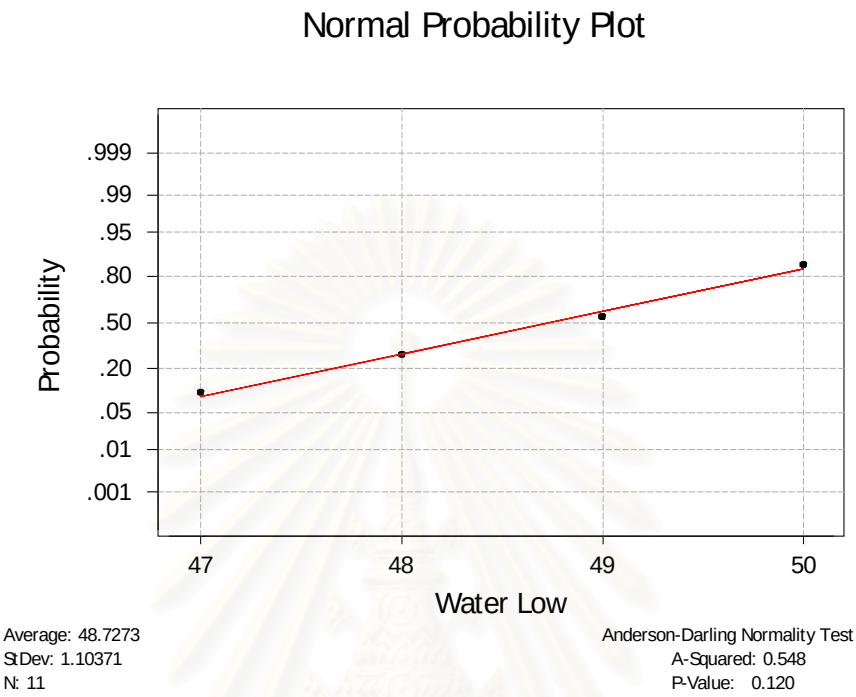
H_0 = รอบการจ่ายน้ำไม่มีความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี
H_1 = รอบการจ่ายน้ำมีความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่าความเปรียบต่างสีเมื่อรอบการจ่ายน้ำที่ต่างกัน

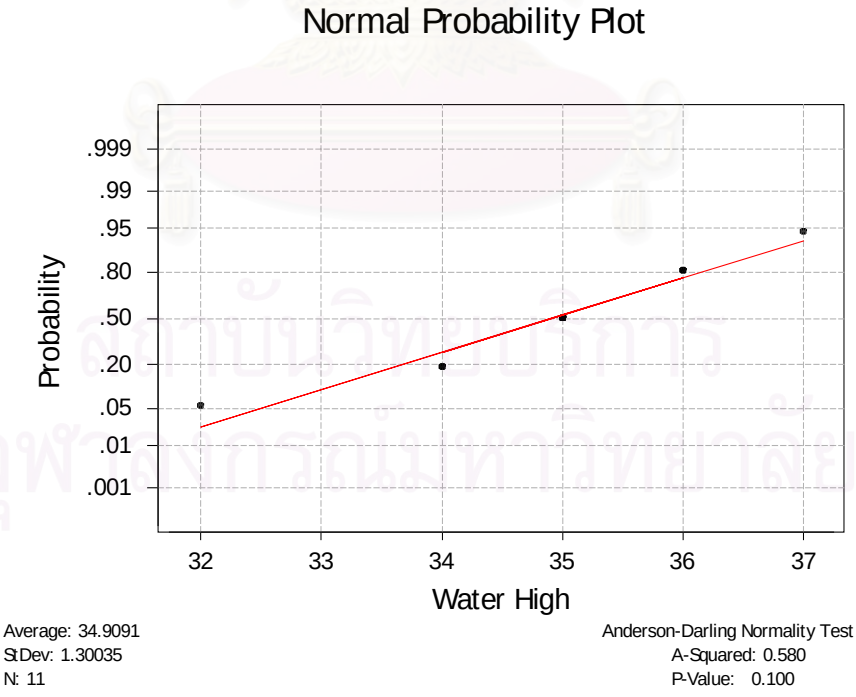
รอบการจ่ายน้ำ	ค่าความเปรียบต่างสี
5	48
5	49
5	50
5	49
5	50
5	47
5	49
5	50
5	49
5	48
5	47
24	34
24	36
24	32
24	35
24	35
24	35
24	36
24	34
24	35
24	35
24	37

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของรอบการจ่ายน้ำระดับต่ำ (5) และรอบการจ่ายน้ำระดับสูง (24) ผลที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 5.1 และ 5.2



รูปที่ 5.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของรอบการจ่ายน้ำระดับต่ำ



รูปที่ 5.2 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของรอบการจ่ายน้ำระดับสูง

จากการประมวลผลการทดสอบสมมติฐานโดย Minitab พบว่า P-Value $\leq$ 0.05 ด้วยข้อมูลที่มีอยู่ขณะนี้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นรอบการจ่ายน้ำมีผลต่อค่าความเปรียบต่างสีดังการประมวลผลโดยโปรแกรม Minitab ตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างของสีที่รอบการจ่ายน้ำต่างกัน

Two-Sample T-Test and CI: Water Low, Water High

```
Two-sample T for Water Low vs Water High

           N      Mean     StDev   SE Mean
Water Lo  11     48.73      1.10      0.33
Water Hi  11     34.91      1.30      0.39

Difference = mu Water Low - mu Water High
Estimate for difference:  13.818
95% CI for difference: (12.742, 14.895)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 26.87  P-Value = 0.000  DF =
19
```

5.3.2 การควบคุมรอบการหมึก

ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดเตรียมเครื่องพิมพ์สำหรับทำการทดลองโดยปรับตั้งค่าควบคุมให้อยู่ในมาตรฐาน
2. ปรับตั้งค่าการจ่ายหมึกทั้งหมด 2 ระดับคือน้อยที่สุด และมากที่สุด สำหรับเครื่องพิมพ์จะทำงานได้ คือน้อยที่สุดปรับรอบการจ่ายหมึกเท่ากับ 1 มากที่สุดเท่ากับ 15
3. พิมพ์งานทดสอบ สุ่มตัวอย่างทุก 200 แผ่นพิมพ์ และบันทึกผลการทดลองดังตารางที่ 5.3
4. ทำการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) ของ รอบการจ่ายหมึกที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0 = รอบการจ่ายหมึกไม่มีความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี

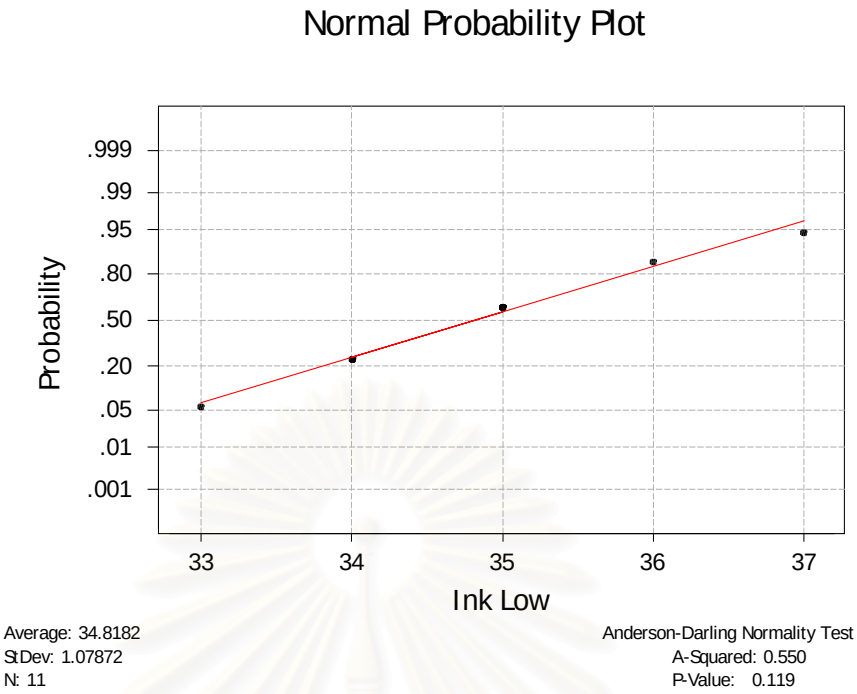
H_1 = รอบการจ่ายหมึกมีความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

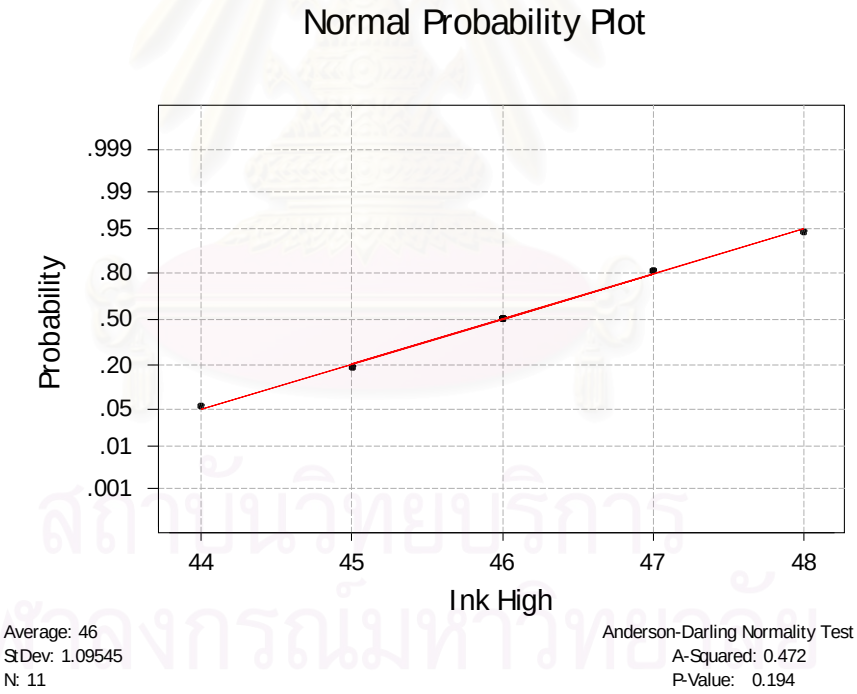
ตารางที่ 5.3 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่าความเปรียบต่างสีเมื่อรอบการจ่ายหมึกที่ต่างกัน

รอบการจ่ายหมึก	ค่าความเปรียบต่างสี
1	33
1	35
1	35
1	35
1	35
1	34
1	34
1	34
1	35
1	36
1	37
15	47
15	44
15	46
15	46
15	48
15	45
15	45
15	47
15	46
15	46
15	46

ตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของรอบการจ่ายหมึกระดับต่ำ (1) และรอบการจ่ายหมึกระดับสูง (15) ผลที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 5.3 และ 5.4



รูปที่ 5.3 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของรอบการจ่ายหมึกระดับต่ำ



รูปที่ 5.4 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของรอบการจ่ายหมึกระดับสูง

จากการประมวลผลการทดสอบสมมติฐานโดย Minitab พบว่า P-Value $\leq$ 0.05 ด้วยข้อมูลที่มีอยู่ขณะนี้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นรอบการจ่ายหมึกมีผลต่อค่าความเปรียบต่างสีดังการประมวลผลโดยโปรแกรม Minitab ตามตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างของสีที่รอบการจ่ายหมึกต่างกัน

Two-Sample T-Test and CI: Ink Low, Ink High

```
Two-sample T for Ink Low vs Ink High

           N      Mean     StDev   SE Mean
Ink Low   11     34.82      1.08      0.33
Ink High  11     46.00      1.10      0.33

Difference = mu Ink Low - mu Ink High
Estimate for difference:  -11.182
95% CI for difference: (-12.152, -10.212)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -24.12  P-Value = 0.000  DF =
19
```

5.3.3 การควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key

ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดเตรียมเครื่องพิมพ์สำหรับทำการทดลองโดยปรับตั้งค่าควบคุมให้อยู่ในมาตรฐาน
2. ปรับตั้งค่าเปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ทั้งหมด 2 ระดับคือน้อยที่สุด และมากที่สุด สำหรับเครื่องพิมพ์จะทำงานได้ คือน้อยที่สุดปรับเปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink keyเท่ากับ 1 มากที่สุดเท่ากับ 50
3. พิมพ์งานทดสอบ สุ่มตัวอย่างทุก 200 แผ่นพิมพ์ และบันทึกผลการทดลองดังตารางที่ 5.3
4. ทำการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) ของ เปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี

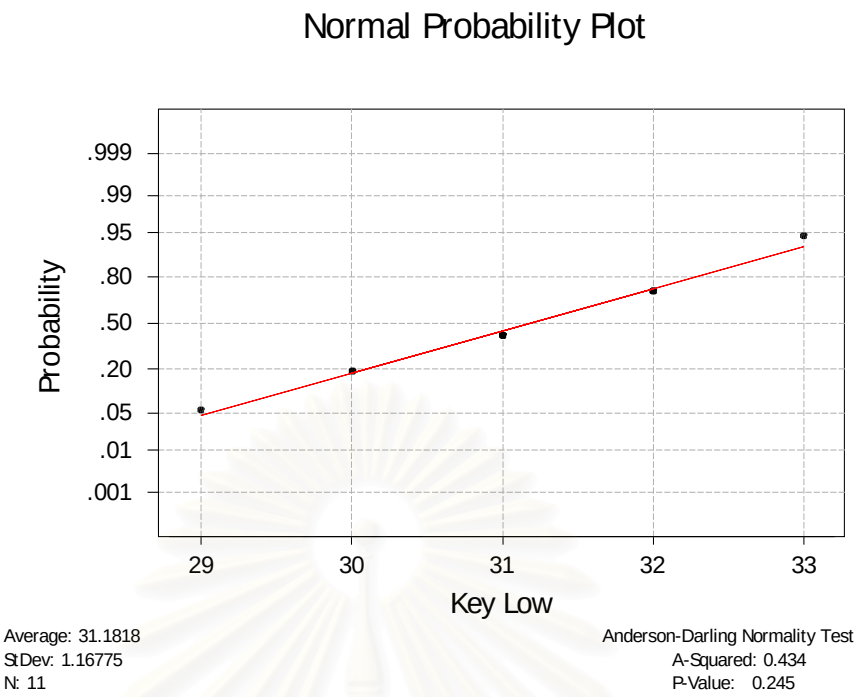
สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0 = เปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ไม่มีความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี
H_1 = เปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key มีความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี

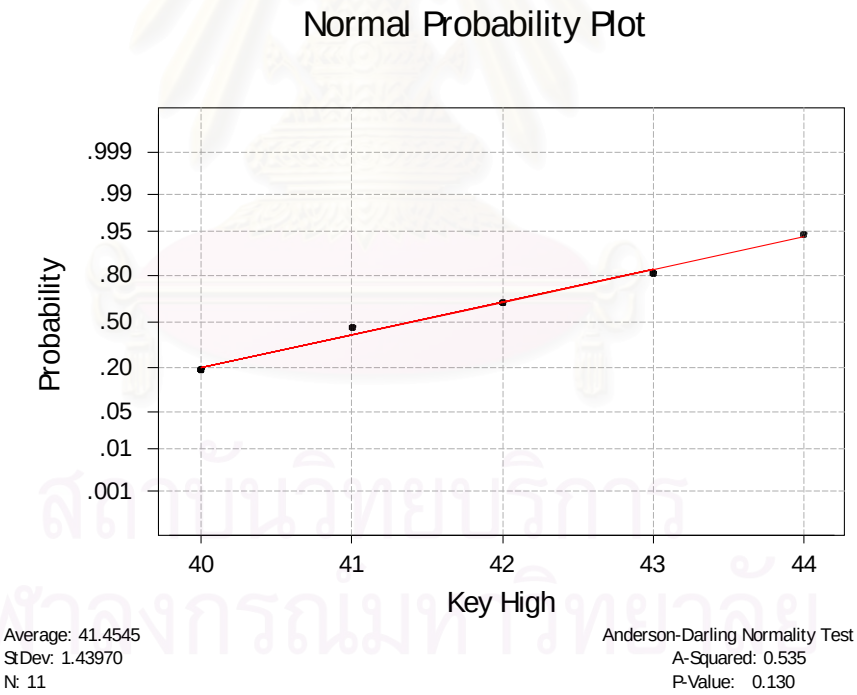
ตารางที่ 5.5 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่าความเปรียบต่างสีเมื่อเปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ที่ต่างกัน

รอบการจ่ายหมึก	ค่าความเปรียบต่างสี
1	32
1	32
1	31
1	31
1	32
1	30
1	31
1	29
1	32
1	32
1	30
50	44
50	42
50	42
50	40
50	43
50	40
50	41
50	41
50	40
50	43
50	40

ตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของเปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ระดับต่ำ (1) และเปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ระดับสูง (50) ผลที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 5.5 และ 5.6



รูปที่ 5.5 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของเปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ระดับต่ำ



รูปที่ 5.6 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของเปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ระดับสูง

จากการประมวลผลการทดสอบสมมติฐานโดย Minitab พบว่า P-Value $\leq$ 0.05 ด้วยข้อมูลที่มีอยู่ขณะนี้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นเปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ที่ต่างกันมีผลต่อค่าความเปรียบต่างสีดังการประมวลผลโดยโปรแกรม Minitab ตามตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างของสีที่เปอร์เซนต์ของการจ่ายหมึกด้วย Ink key ที่ต่างกัน

Two-Sample T-Test and CI: Key Low, Key High

```
Two-sample T for Key Low vs Key High

           N      Mean     StDev   SE Mean
Key Low   11     31.18      1.17       0.35
Key High  11     41.45      1.44       0.43

Difference = mu Key Low - mu Key High
Estimate for difference:  -10.273
95% CI for difference: (-11.443, -9.103)
T-Test of difference=0 (vs not =):T-Value = -18.38 P-Value = 0.000  DF = 19
```

5.3.4 การรองหนุนโม Blanket

ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดเตรียมเครื่องพิมพ์สำหรับทำการทดลองโดยปรับตั้งค่าควบคุมให้อยู่ในมาตรฐาน
2. จัดเตรียมกระดาษสำหรับรองหนุนผ้ายาง 2 ระดับ คือ น้อยที่สุด 0.90 มม. และหนาที่สุดที่ไม่เกิน Spec ของเครื่องจักร คือ 0.95 มม.
3. พิมพ์งานทดสอบ สุ่มตัวอย่างทุก 200 แผ่นพิมพ์ และบันทึกผลการทดลองดังตารางที่ 5.7
4. ทำการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) ของ เปอร์เซนต์ของการรองหนุนโม Blanket ที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

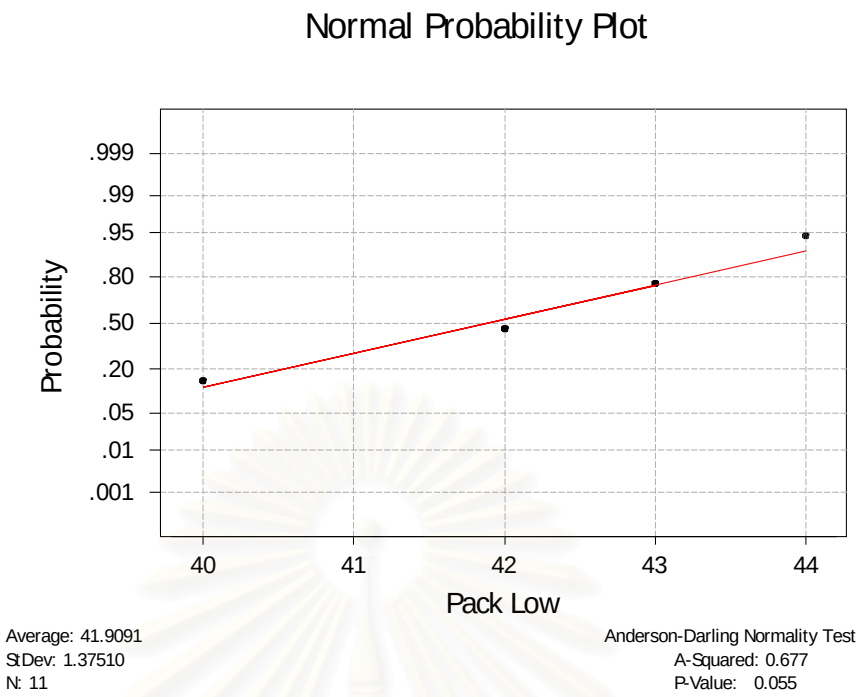
H_0 = การรองหนุนโม Blanket ไม่มีความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี

H_1 = การรองหนุนโม Blanket มีความแตกต่างกันของค่าความเปรียบต่างสี

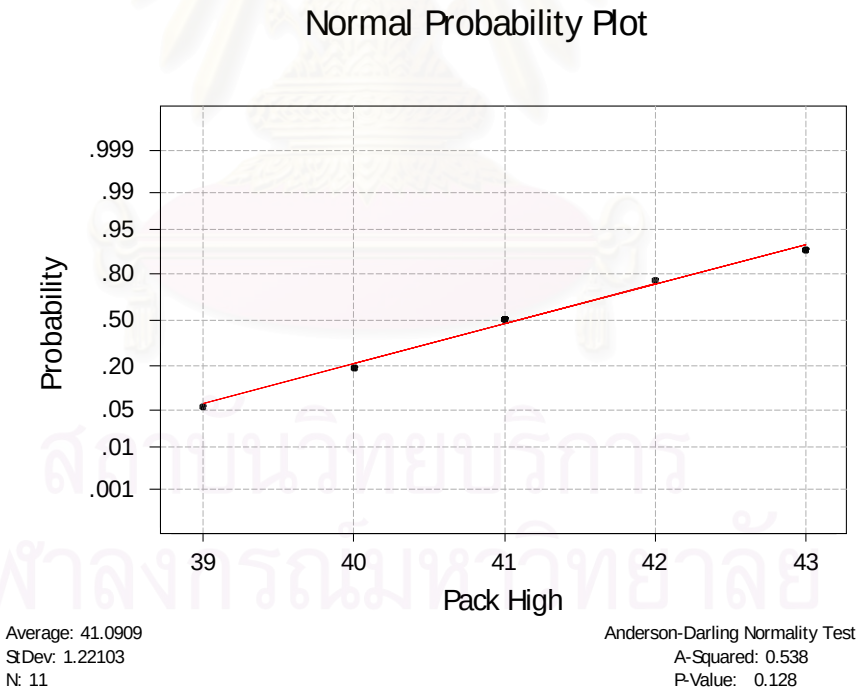
ตารางที่ 5.7 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่าความเปรียบต่างสีเมื่อการรองหนุนโม Blanket ที่ต่างกัน

ความหนาการรองหนุน (mm.)	ค่าความเปรียบต่างสี
0.90	43
0.90	42
0.90	40
0.90	40
0.90	43
0.90	40
0.90	42
0.90	43
0.90	42
0.90	42
0.90	43
0.95	40
0.95	40
0.95	41
0.95	43
0.95	41
0.95	40
0.95	40
0.95	41
0.95	43
0.95	41
0.95	43

ตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของการรองหนุนโม Blanket ที่ความหนาน้อยที่สุด (0.90 mm.) และการรองหนุนโม Blanket ที่ความหนามากที่สุด (0.95 mm.) ผลที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 5.7 และ 5.8



รูปที่ 5.7 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของการรองหนุนโม Blanket ที่ความหนาน้อยที่สุด



รูปที่ 5.8 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ของการรองหนุนโม Blanket ที่ความหนามากที่สุด

จากการประมวลผลการทดสอบสมมติฐานโดย Minitab พบว่า P-Value $\geq$ 0.05 ด้วยข้อมูลที่มีอยู่ขณะนี้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นการรองหนุนโม Blanket ที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี ก่อนเริ่มการผลิตมีจะมีการควบคุมค่าของความหนากระดาษรองหนุนให้อยู่ระหว่าง 0.90 – 0.95 มม. การประมวลผลโดยโปรแกรม Minitab ตามตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างของสีที่การรองหนุนโม Blanket ต่างกัน

Two-Sample T-Test and CI: Pack Low, Pack High

```
Two-sample T for Pack Low vs Pack High

           N      Mean     StDev   SE Mean
Pack Low  11     41.91      1.38      0.41
Pack Hig  11     41.09      1.22      0.37

Difference = mu Pack Low - mu Pack High
Estimate for difference:  0.818
95% CI for difference: (-0.342, 1.979)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.48  P-Value = 0.156  DF =
19
```

5.4 สรุปการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ผลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา คือ ข้อมูจากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix) และผลจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) นำมาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยวิธีการทางสถิติ คือการทดสอบสมมติฐาน ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความเปรียบต่างสีคือการควบคุมรอบการจ่ายน้ำ,การควบคุมรอบการจ่ายหมึก และการควบคุมปริมาณหมึกของ Ink Key แสดงได้ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 สรุปการเลือกปัจจัย และผลกระทบจากปัจจัย

ปัจจัย (KPIV)	เครื่องมือทางสถิติ	มี/ไม่มี ผลกระทบ
การควบคุมรอบการจ่ายน้ำ	2-Sample t	มีผล
การควบคุมรอบการจ่ายหมึก	2-Sample t	มีผล
การควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key	2-Sample t	มีผล
การรองหนุนโม Blanket	2-Sample t	ไม่มีผล

บทที่ 6

การปรับปรุง

6.1 บทนำ

หลังจากทำการทดสอบสมมติฐานในบทที่ผ่านมา โดยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี และเมื่อได้ปัจจัยที่มีผลแล้วนำปัจจัยดังกล่าวไปทำการทดลอง โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลอง ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง วิเคราะห์ผลของการทดลอง หาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยนั้นๆ โดยผลให้ได้ค่าความเปรียบต่างของสีที่ดีที่สุด

6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่นำมาศึกษาเพื่อให้ค่าความเปรียบต่างสีที่ดีที่สุดมี 3 ปัจจัย คือ การควบคุมรอบการจ่ายน้ำ , การควบคุมรอบการจ่ายหมึก และการควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key โดยแต่ละปัจจัยมีการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ที่ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (1) ดังนี้

การควบคุมรอบการจ่ายน้ำ
การควบคุมรอบการจ่ายหมึก
การควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key

แสดงค่าระดับของปัจจับในการทดลองดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปทำการทดลอง

ลำดับ	ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
		-1	1	
1	ปริมาณหมึกของ Ink key	-70	70	%
2	รอบการจ่ายหมึก	5	40	
3	รอบการจ่ายน้ำ	12	25	

6.3 ตัวแปรตอบสนอง

ในการทดลองนี้ ผู้ทำการศึกษามีความสนใจที่จะพิจารณาค่าความเปรียบต่างสีให้มีค่าดีที่สุด ดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่กำหนดในการทดลองคือ ค่าความเปรียบต่างสี ของ Black ,Cyan , Magenta และ Yellow Color

6.4 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้จะใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดยที่ k คือจำนวนของปัจจัยที่นำมาทดลอง และ 2 คือจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย และกำหนดให้ที่แต่ละระดับของแต่ละปัจจัยเป็นค่าต่ำ (-) กับค่าสูง (+) ตามหัวข้อที่ 6.2 ขั้นตอนการออกแบบการทดลองดังนี้

6.4.1 การทดลองซ้ำ (Replication)

หมายถึงการทำซ้ำ เรพลิเคชันมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้น เรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้ โดยการทดลองนี้จำทำการทดลองโดยการทำซ้ำในแต่ละ Treatment Combination เท่ากับ 3 ครั้ง (3 Replication) เนื่องจากทำให้ประหยัดเวลาในการทดลอง และเป็นการประหยัดวัตถุดิบ (กระดาษ Duplex) ด้วยเช่นกัน

6.4.2 การสุ่ม (Randomization)

การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การที่เราแรนดอมไมซ์การทดลองทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

การสุ่มลำดับการทดลองในการทดลองนี้จะกระทำโดยโปรแกรม MINITAB ซึ่งกำหนดพร้อมกับการสร้าง Matrix การออกแบบ โดยสังเกตุลำดับการทดลองได้จากช่อง Run Order ของตาราง

ผลการทดลอง

Power and Sample Size

```
2-Level Factorial Design

Sigma = 8.26  Alpha = 0.05

Factors:        3   Base Design:           3, 8
Blocks:      none

Including a term for center points in model.

Center
Points                        Target  Actual
Per Block    Effect    Reps    Power   Power
        1     12.39       3  0.9000  0.9314
```

Power and Sample Size

```
2-Level Factorial Design

Sigma = 6.06  Alpha = 0.05

Factors:        3   Base Design:           3, 8
Blocks:      none

Including a term for center points in model.

Center
Points                        Target  Actual
Per Block    Effect    Reps    Power   Power
        1      9.09       3  0.9000  0.9314
```

Power and Sample Size

```
2-Level Factorial Design

Sigma = 5.74  Alpha = 0.05

Factors:        3   Base Design:           3, 8
Blocks:      none

Including a term for center points in model.

Center
Points                        Target  Actual
Per Block    Effect    Reps    Power   Power
        1      8.61       3  0.9000  0.9314
```

Power and Sample Size

```
2-Level Factorial Design

Sigma = 2.67  Alpha = 0.05

Factors:        3   Base Design:           3, 8
Blocks:      none

Including a term for center points in model.
```

```
Center
Points                          Target  Actual
Per Block    Effect     Reps     Power   Power
        1         4        3    0.9000  0.9308
```

ตารางที่ 6.2 แสดงผลการทดลอง

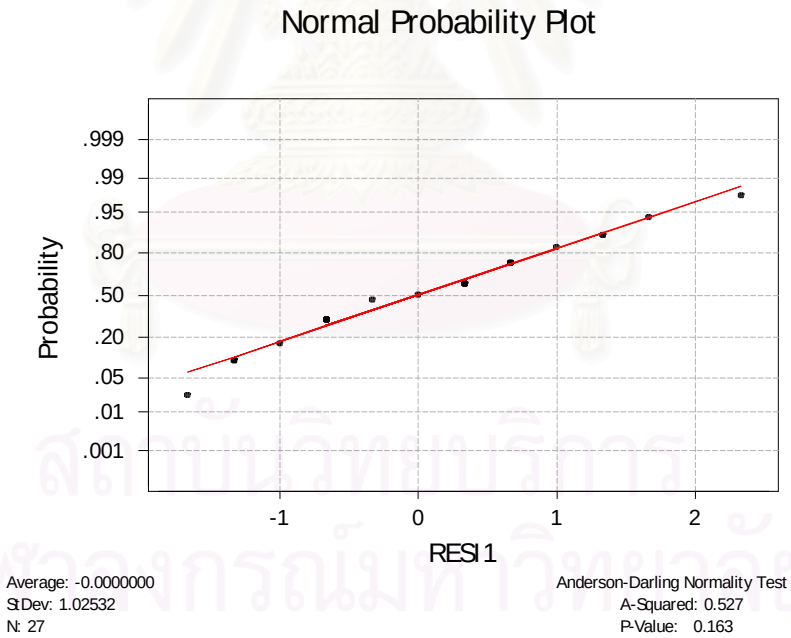
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	Black	Cyan	Magenta	Yellow
22	1	1	1	1	-1	1	48	42	44	27
2	2	1	1	1	-1	-1	53	50	52	35
10	3	1	1	1	-1	-1	56	50	48	35
13	4	1	1	-1	-1	1	39	33	29	18
16	5	1	1	1	1	1	48	42	44	27
6	6	1	1	1	-1	1	50	44	46	29
19	7	1	1	-1	1	-1	54	48	44	33
20	8	1	1	1	1	-1	40	34	40	17
23	9	1	1	-1	1	1	52	46	48	31
26	10	0	1	0	0	0	50	43	45	31
11	11	1	1	-1	1	-1	56	50	46	35
12	12	1	1	1	1	-1	38	32	40	17
3	13	1	1	-1	1	-1	53	47	44	32
25	14	0	1	0	0	0	50	43	45	32
17	15	1	1	-1	-1	-1	43	37	39	22
8	16	1	1	1	1	1	49	43	45	28
14	17	1	1	1	-1	1	50	44	46	29
15	18	1	1	-1	1	1	52	46	48	31
9	19	1	1	-1	-1	-1	43	37	39	22
4	20	1	1	1	1	-1	45	39	33	24
7	21	1	1	-1	1	1	54	48	50	33
1	22	1	1	-1	-1	-1	43	39	36	24
24	23	1	1	1	1	1	49	43	45	28
27	24	0	1	0	0	0	51	44	46	33
5	25	1	1	-1	-1	1	37	30	29	15
18	26	1	1	1	-1	-1	54	48	50	33
21	27	1	1	-1	-1	1	36	29	29	14

6.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

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

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

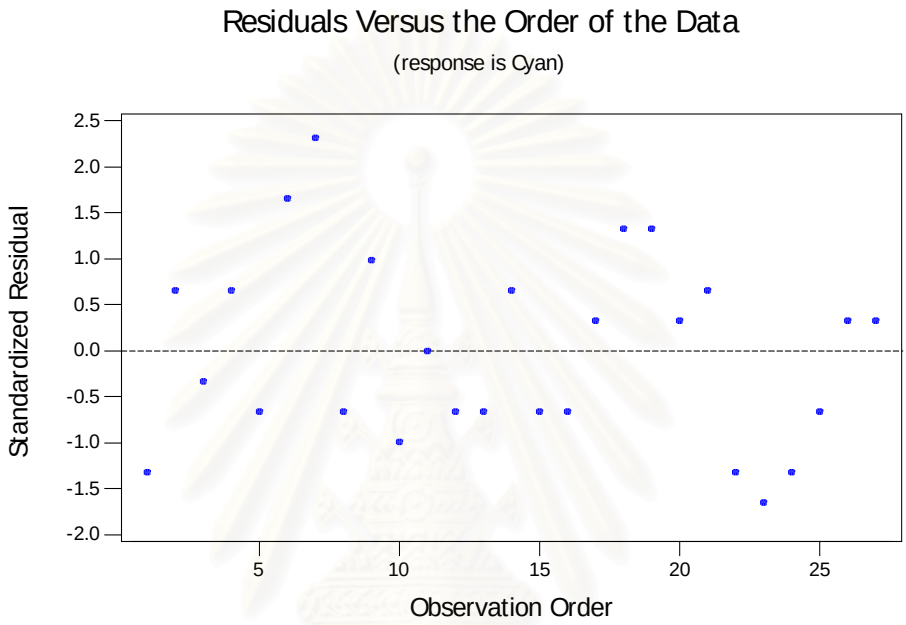
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่างสี) ที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Cyan color)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลแสดงดังรูป 6.2 โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบ ควรจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

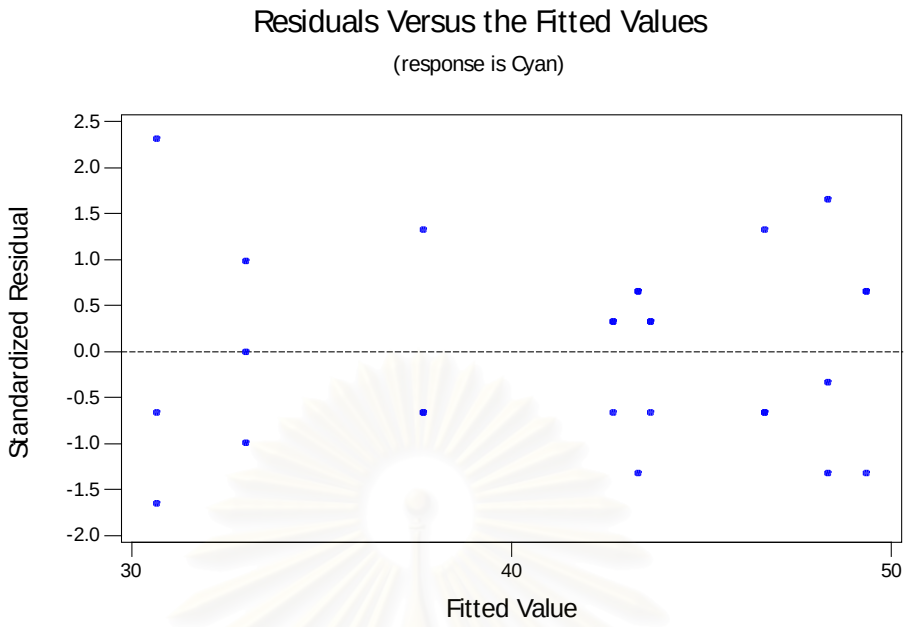


รูปที่ 6.2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงได้ในรูปที่ 6.3 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน



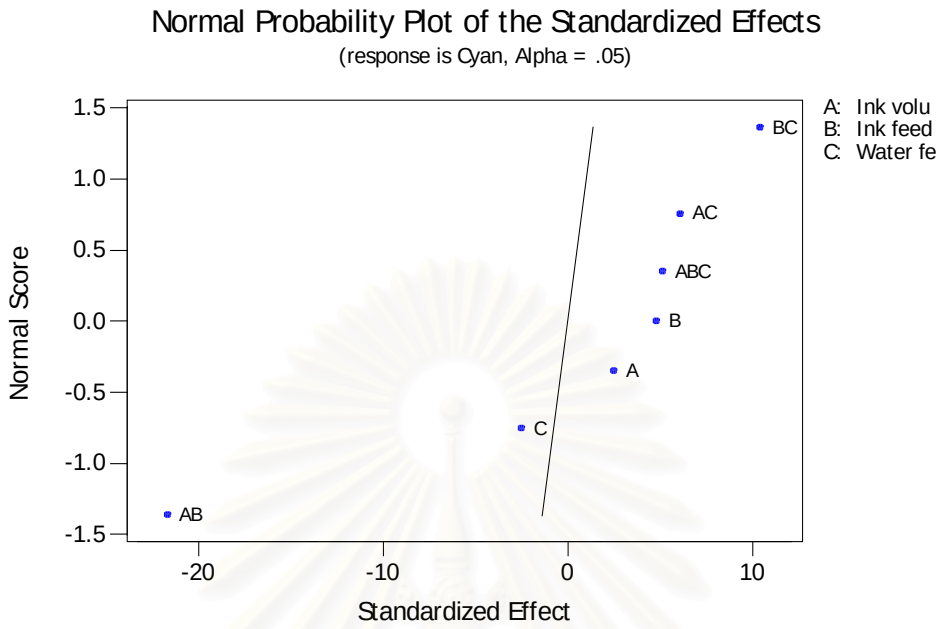
รูปที่ 6.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูก Fit

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

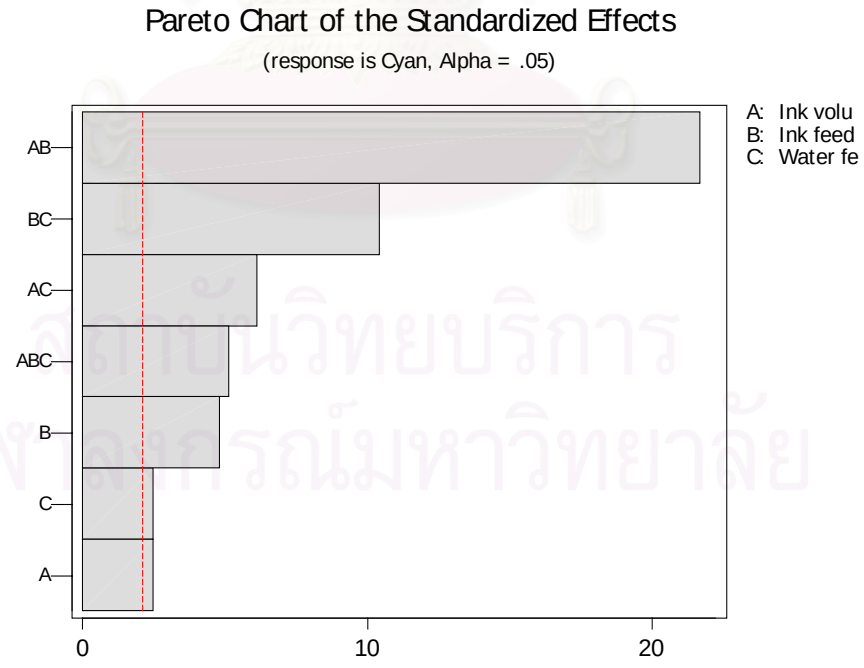
สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่างสี) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ การกระจายเป็นแบบปกติ มีความอิสระต่อกัน และมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID $(0,\sigma^2)$

6.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

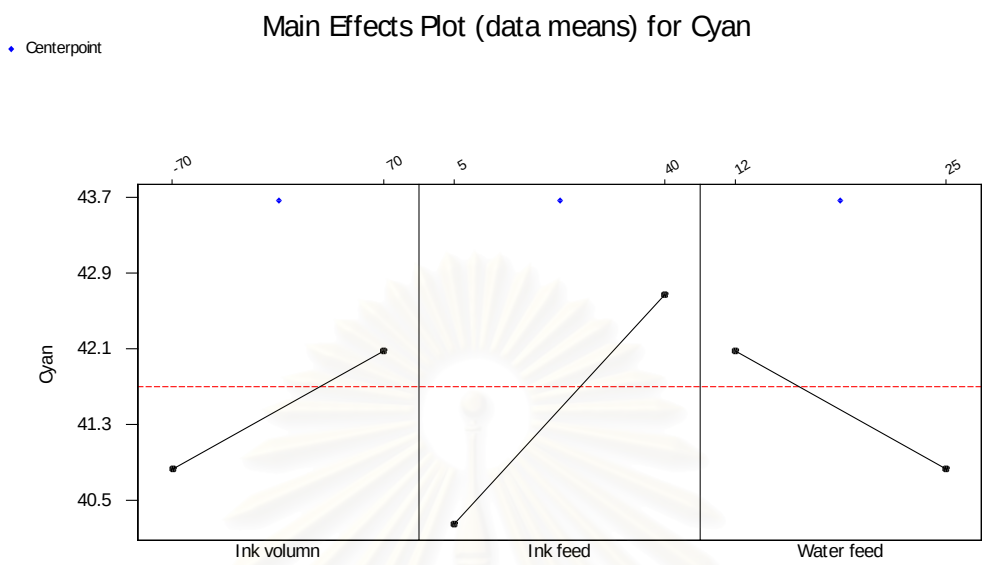
ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลัก และอันตรกริยาที่นัยสำคัญออกมาในรูปของกราฟ Normal Probability Plot และแผนภูมิพาเรโต แสดงได้ดังรูปที่ 6.4 และ 6.5 ตามลำดับ รวมถึงการแสดงผลของการออกแบบการทดลองแสดงผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังรูปที่ 6.6 กับผลของอันตรกริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองดังรูปที่ 6.7 และภาพแสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 6.8



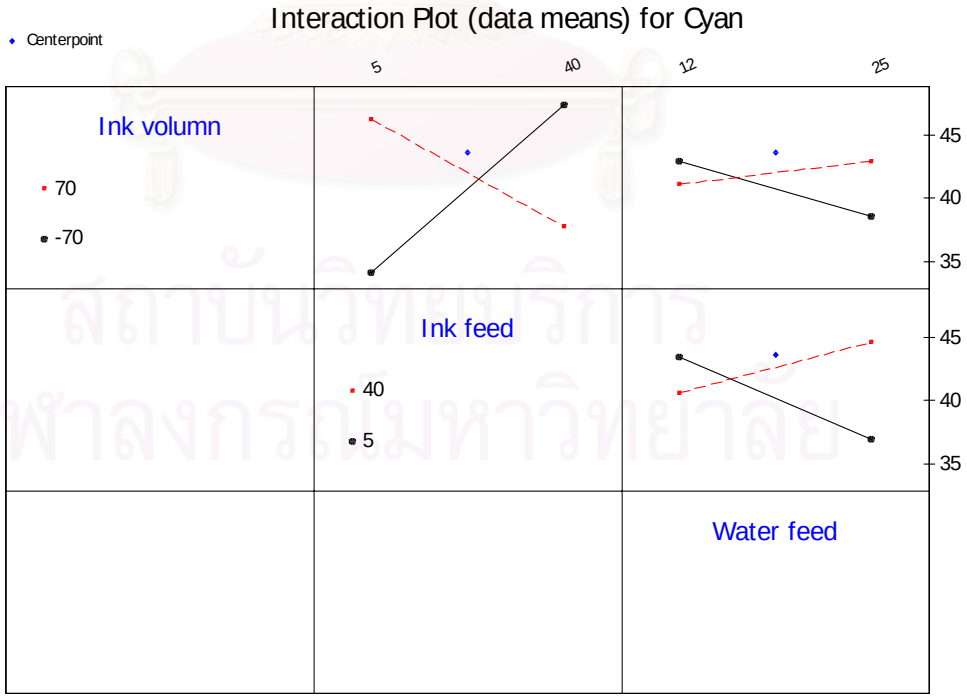
รูปที่ 6.4 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกริยาที่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 6.5 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกริยาที่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 6.6 ภาพผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Print contrast of Cyan color)



รูปที่ 6.7 ภาพอันตรกริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Print contrast of Cyan color)

จากผลการวิเคราะห์อันตรกริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองพบว่า อันตรกริยาของปัจจัยหลักมีผลอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากว่าค่าความเปรียบต่างสีนั้นมีความอ่อนไหว และได้รับผลกระทบได้โดยง่าย เพราะในระบบการพิมพ์ออฟเซตจะใช้น้ำ (Dampening Solution) ในการแยกส่วนที่เป็นภาพพิมพ์ (Image area) และส่วนที่ไม่ใช่ภาพพิมพ์ (Non Image area) ออกจากกัน ซึ่งในการวัดค่าความเปรียบต่างสีนั้นจะวัดที่เปอร์เซนต์ Screen ที่ 75% หรือเรียกว่า Tree quarter tone จะเป็นจุดที่การรวมตัวของน้ำ และหมึกสามารถแสดงให้เห็นถึงความผิดปกติได้มากที่สุด ดังนั้นถ้าปัจจัยหลักมีการเพิ่มปริมาณหมึกให้มากเกินกว่าพื้นที่รับหมึกจะรับได้จะทำให้ค่าความเปรียบต่างสีลดลง (อันตรกริยาของปัจจัยหลัก Ink Volume และ Ink Feed) หรือ ค่าความเปรียบต่างสีจะมากขึ้นเมื่อน้ำที่ใช้ในการพิมพ์ไม่เข้ามาเกินในส่วนที่เป็นภาพพิมพ์ (ปริมาณน้ำน้อย และปริมาณหมึกเหมาะสม) อันตรกริยาของปัจจัยหลัก Ink Volume และ Water Feed จะมีลักษณะตามรูปที่ 6.7

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองได้ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Cyan color)

Estimated Effects and Coefficients for Cyan (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		41.458	0.2515	164.82	0.000
Ink volu	1.250	0.625	0.2515	2.48	0.023
Ink feed	2.417	1.208	0.2515	4.80	0.000
Water fe	-1.250	-0.625	0.2515	-2.48	0.023
Ink volu*Ink feed	-10.917	-5.458	0.2515	-21.70	0.000
Ink volu*Water fe	3.083	1.542	0.2515	6.13	0.000
Ink feed*Water fe	5.250	2.625	0.2515	10.44	0.000
Ink volu*Ink feed*Water fe	2.583	1.292	0.2515	5.14	0.000
Ct Pt		2.208	0.7546	2.93	0.009

Analysis of Variance for Cyan (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	53.79	53.792	17.931	11.81	0.000
2-Way Interactions	3	937.46	937.458	312.486	205.78	0.000
3-Way Interactions	1	40.04	40.042	40.042	26.37	0.000
Curvature	1	13.00	13.005	13.005	8.56	0.009
Residual Error	18	27.33	27.333	1.519		
Pure Error	18	27.33	27.333	1.519		
Total	26	1071.63				

Unusual Observations for Cyan

Obs	Cyan	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
7	33.0000	30.6667	0.7115	2.3333	2.32R

R denotes an observation with a large standardized residual

Estimated Coefficients for Cyan using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	51.2894
Ink volu	0.114024
Ink feed	-0.357875

```
Water fe                       -0.615385
Ink volu*Ink feed           -0.00745683
Ink volu*Water fe          -0.000261643
Ink feed*Water fe             0.0230769
Ink volu*Ink feed*Water fe   0.000162219
Ct Pt                          2.20833

Alias Structure

I
Ink
Ink
Water
Ink*Ink
Ink*Water
Ink*Water
Ink*Ink*Water
```

ผลจากการออกแบบการทดลอง 2^3 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 3 ครั้ง และเพิ่ม Center point 3 จุด สามารถทำการวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยหลัก,อันตรกริยา 2 และ 3 ระดับ, Curvature มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่างสี) เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05

6.7 การออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอันดับที่ 2

จากผลการทดลอง Curvature มีนัยสำคัญทำให้เกิดความบิดเบี้ยวของระนาบ (Plane) ดังนั้นจะต้องสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมกว่าคือ แบบจำลองพื้นผิวของผลตอบขั้นที่สอง (Second – Order Response)

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

โดยที่ β_{ij} จะแสดงถึงผลขั้นที่สอง (Second – Order Effect) หรือผลแบบควอดราติก (Quadratic Effect)

การออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD จะใช้ในการฟิตแบบจำลองอันดับที่ 2 โดยจะประกอบไปด้วย 2^3 แฟกทอเรียล รันในแนวแกน หรือในแนวรูปดาว (Star) และสำหรับการออกแบบการทดลองของงานวิจัยนี้จะใช้ n = 3 รันที่จุดศูนย์กลาง โดยมีการกำหนดระยะทาง α (พารามิเตอร์) จากการใช้โปรแกรม MINITAB และทำการทดลองเพิ่มได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ตาราง Design Matrix ของการออกแบบ CCD (ส่วนที่ทดลองเพิ่มจากการออกแบบ 2^k)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	Respond
28	28		2	-2.21336	0.00000	0.00000	41
29	29		2	2.21336	0.00000	0.00000	45
30	30		2	0.00000	-2.21336	0.00000	40
31	31		2	0.00000	2.21336	0.00000	47
32	32		2	0.00000	0.00000	-2.21336	41
33	33		2	0.00000	0.00000	2.21336	38

6.8 การวิเคราะห์ผลการทดลองการออกแบบส่วนประสมกลาง

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Coded units) ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง แสดงดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code units) ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

Response Surface Regression: Cyan versus Ink Volumn, Ink Feed, ...

```
The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Cyan

Term                    Coef     SE Coef          T      P
Constant             45.7548     3.02172     15.142  0.000
Ink Volu              0.0558     0.01781      3.131  0.005
Ink Feed             -0.3102     0.08325     -3.726  0.001
Water Fe              0.0642     0.32046      0.200  0.843
Ink Volu*Ink Volu    -0.0000     0.00007     -0.111  0.912
Ink Feed*Ink Feed     0.0002     0.00115      0.180  0.859
Water Fe*Water Fe    -0.0178     0.00830     -2.148  0.043
Ink Volu*Ink Feed    -0.0043     0.00031    -13.514  0.000
Ink Volu*Water Fe     0.0028     0.00085      3.351  0.003
Ink Feed*Water Fe     0.0209     0.00339      6.162  0.000

S = 1.888       R-Sq = 92.2%     R-Sq(adj) = 89.2%

Analysis of Variance for Cyan

Source                DF     Seq SS      Adj SS      Adj MS      F      P
Regression             9     972.73      972.73     108.081  30.32  0.000
  Linear               3     124.41       97.53      32.511   9.12  0.000
  Square               3      21.86       21.86       7.288   2.04  0.136
  Interaction          3     826.46      826.46     275.486  77.28  0.000
Residual Error        23      81.99       81.99       3.565
  Lack-of-Fit          5      30.66       30.66       6.132   2.15  0.106
  Pure Error          18      51.33       51.33       2.852
Total                 32    1054.73
```

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า เทอมของปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความเปรียบต่างสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ เทอมที่มีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ซึ่งผลรวมกำลังสอง (Sum of Square) ของเทอมของปัจจัยเหล่านี้จะถูกนำไปรวมกับค่าความผิดพลาดจากการทดลองเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบลดรูปต่อไป

หลังจากได้พิจารณาอิทธิพลของเทอมของปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องแล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตัวแบบลดรูป โดยเลือกพิจารณาเฉพาะเทอมของปัจจัยที่มีอิทธิพล อย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเปรียบต่างสี ที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่แล้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปร ปรวนของตัวแบบลดรูปแสดงดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code units) ของตัวแบบลดรูปของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

Response Surface Regression: Cyan versus Ink Volumn, Ink Feed, ...

```
The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Cyan

Term                      Coef     SE Coef          T      P
Constant               45.6268     2.70031     16.897  0.000
Ink Volu                0.0558     0.01711      3.259  0.003
Ink Feed               -0.3009     0.06280     -4.791  0.000
Water Fe                0.0702     0.27415      0.256  0.800
Water Fe*Water Fe      -0.0180     0.00702     -2.563  0.017
Ink Volu*Ink Feed      -0.0043     0.00030    -14.067  0.000
Ink Volu*Water Fe       0.0028     0.00081      3.489  0.002
Ink Feed*Water Fe       0.0209     0.00325      6.415  0.000

S = 1.814       R-Sq = 92.2%     R-Sq(adj) = 90.0%

Analysis of Variance for Cyan

Source                DF     Seq SS      Adj SS      Adj MS      F      P
Regression             7     972.48      972.48     138.925  42.23  0.000
  Linear               3     124.41      118.22      39.407  11.98  0.000
  Square               1      21.61       21.61      21.609   6.57  0.017
  Interaction          3     826.46      826.46     275.486  83.73  0.000
Residual Error        25      82.25       82.25       3.290
  Lack-of-Fit          7      30.92       30.92       4.417   1.55  0.214
  Pure Error          18      51.33       51.33       2.852
Total                 32    1054.73
```

จากตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบลดรูปสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสีคือ ปัจจัยหลัก ปริมาณหมึกของ Ink key ,รอบการจ่ายหมึก และรอบการจ่ายน้ำ รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่าง ปริมาณหมึกของ Ink key และรอบการจ่ายหมึก , ปริมาณหมึกของ Ink key และรอบการน้ำ , รอบการจ่ายหมึก และรอบการจ่ายน้ำ เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05

สรุปเทอมของปัจจัยหลัก และอันตรกริยาที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี แสดงโดยค่าประมาณสัมประสิทธิ์ (Uncode units) ได้ดังนี้

Term	Coef
Constant	45.6268
Ink Volu	0.0558
Ink Feed	-0.3009
Water Fe	0.0702
Water Fe*Water Fe	-0.0180
Ink Volu*Ink Feed	-0.0043
Ink Volu*Water Fe	0.0028
Ink Feed*Water Fe	0.0209

รูปแบบของการทดลองนี้มีลักษณะของพจน์ที่เป็นสมการกำลังสอง (Second order) หรือ ควอดราติก (Quadratic) ร่วมด้วย แสดงว่ารูปแบบของการทดลองนี้เป็นลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature)

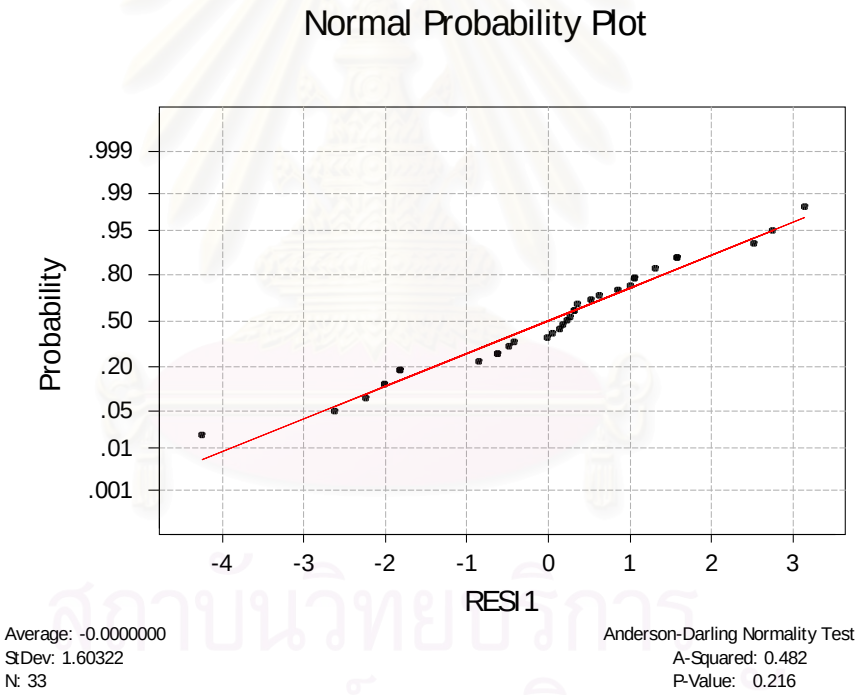
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.9 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองลดรูป

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ, ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งวิธีในการพิจารณาจะใช้การวิเคราะห์เศษเหลือ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

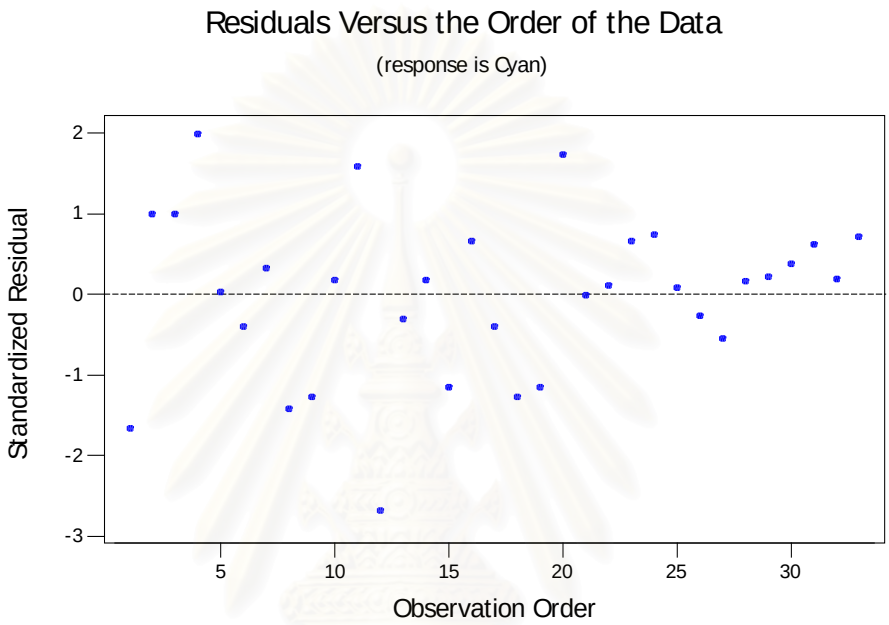
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่างสี) ที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Cyan color)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลแสดงดังรูป 6.9 โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบ ควรจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

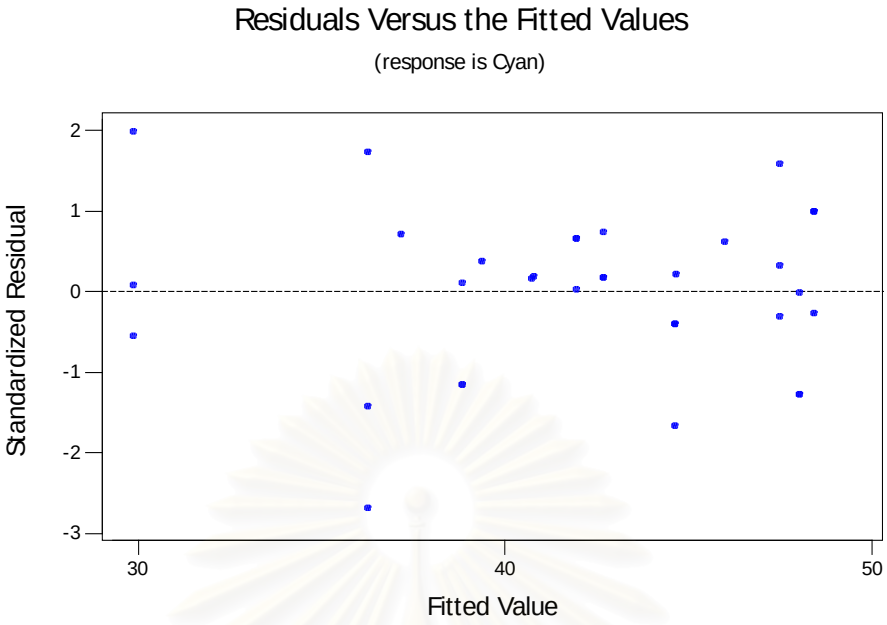


รูปที่ 6.9 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงได้ในรูปที่ 6.10 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน



รูปที่ 6.10 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูก Fit

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

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

6.10 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

เพื่อเป็นการวินิจฉัยความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ จะนำหลักการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Regression Analysis) มาช่วยในการวิเคราะห์ ดังนี้คือ

6.10.1 ตัวแบบถดถอย

จากข้อมูลที่ได้ และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบลดรูปของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง นำเทอมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญคือ ปัจจัยหลัก ปริมาณหมึกของ Ink key ,รอบการจ่ายหมึก และรอบการจ่ายน้ำ รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่าง ปริมาณหมึกของ Ink key และรอบการจ่ายหมึก , ปริมาณหมึกของ Ink key และรอบการน้ำ , รอบการจ่ายหมึก และรอบการจ่ายน้ำ มาหาความสัมพันธ์เพื่อหาตัวแบบถดถอย ผลจากตาราง

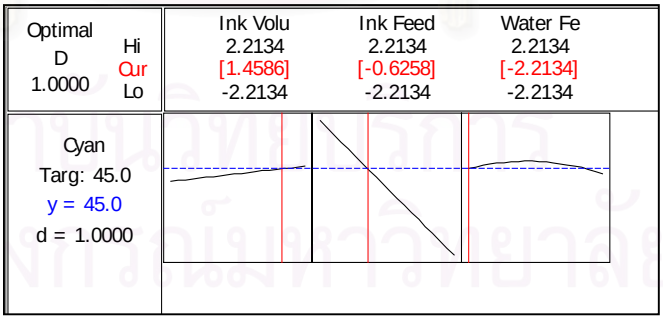
ที่ 6.6 พบว่า รูปแบบของการทดลองนี้มีลักษณะของพจน์ที่เป็นสมการกำลังสอง (Second order) หรือควอดราติก (Quadratic) ร่วมด้วย แสดงว่ารูปแบบของการทดลองนี้เป็นลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) ซึ่งสามารถหาสมการถดถอยที่เป็นตัวแทนของตัวแบบของความเปรียบต่างสี (Cyan) ได้ดังนี้

Y = 45.6268 + 0.0558 (Ink Volumn) – 0.3009 (Ink Feed) – 0.0180 (Water Feed*Water Feed) - 0.0043 (Ink Volumn*Ink Feed) + 0.0028 (Ink Volumn*Water Feed) + 0.0209 (Ink Feed*Water Feed)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบถดถอย พบว่าค่า P-Value ของตัวแบบถดถอยมีค่าน้อยกว่า 0.05 ทำให้สรุปได้ว่าตัวแบบถดถอยมีความสามารถในการอธิบายความผันแปรที่เกิดขึ้นในตัวแปรตอบสนองได้ และจากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจหรือ R^2 (adj) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 90.0 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือความผันแปรจำนวน 90 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ ส่วนปริมาณความผันแปรที่เหลืออีก 10% ไม่สามารถอธิบายได้เนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนโดยสาเหตุธรรมชาติ นั่นคือตัวแบบถดถอยนี้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่าง ๆตามต้องการ

6.10.2 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

จากตัวแบบถดถอยข้างต้น สามารถพยากรณ์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ความเปรียบต่างสีที่มากที่สุด ซึ่งผลจากการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากรูปที่ 6.11 สามารถสรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของสี Black,Cyan,Magenta และ Yellow (การคำนวณ และผลการทดลองของสี Black,Magenta และ Yellow แสดงในภาคผนวก ข และดังตารางที่ 6.7 แต่เนื่องจากเครื่องจักรไม่สามารถปรับค่าได้

เป็นจุดทศนิยมจึงทำการปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็มโดยยอมรับค่าผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น ดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.7 แสดงปัจจัย และการกำหนดค่าที่เหมาะสมของแต่ละระดับ

ปัจจัย	การกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ			
	Black	Cyan	Magenta	Yellow
ปริมาณหมึกของ Ink key	109.879	102.102	87.556	28.049
รอบการจ่ายหมึก	6.849	7.9897	10.617	42.564
รอบการจ่ายน้ำ	5.429	5.4215	5.4215	20.1125

ตารางที่ 6.8 แสดงปัจจัย และการกำหนดค่าที่เหมาะสมของแต่ละระดับที่ใช้งานจริง

ปัจจัย	การกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ			
	Black	Cyan	Magenta	Yellow
ปริมาณหมึกของ Ink key	110	102	88	28
รอบการจ่ายหมึก	7	8	11	43
รอบการจ่ายน้ำ	6	6	6	20

6.11 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้ เป็นการนำปัจจัยนำเข้าจากขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้ง 3 ปัจจัย มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสม โดยออกแบบการทดลองเป็น 2^3 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 3 ครั้ง จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสีคือ ปัจจัยหลัก ปริมาณหมึกของ Ink key ,รอบการจ่ายหมึก และรอบการจ่ายน้ำ รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่าง ปริมาณหมึกของ Ink key และรอบการจ่ายหมึก , ปริมาณหมึกของ Ink key และรอบการน้ำ , รอบการจ่ายหมึก และรอบการจ่ายน้ำ โดยรูปแบบของการทดลองนี้เป็นลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่ได้จากผลการทดลองคือ

ปัจจัย	การกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ			
	Black	Cyan	Magenta	Yellow
ปริมาณหมึกของ Ink key	110	102	88	28
รอบการจ่ายหมึก	7	8	11	43
รอบการจ่ายน้ำ	6	6	6	20

บทที่ 7

การทดสอบยืนยันผล

7.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญจากบทที่ 6 โดยจะทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่สำคัญที่ 3 ปัจจัยตามค่าที่ได้กำหนดไว้ เพื่อตรวจสอบว่าค่าความเปรียบต่างสี เป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่

7.2 ขั้นตอนการทดสอบยืนยัน

7.2.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ

เพื่อที่จะศึกษาค่าความเปรียบต่างสี (Print Contrast) หลังจากการปรับค่าปัจจัยทั้ง 3 คือ ปริมาณหมึกของ Ink key ,รอบการจ่ายหมึก และรอบการจ่ายน้ำ ตามบทสรุปในบทที่ 6

7.2.2 การเตรียมการทดลอง

- จำนวนแผ่นพิมพ์เพื่อพิมพ์ทดสอบจำนวน 2,000 แผ่น
- ทำการทดลองที่สภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิต

7.2.3 ขั้นตอนในการทดลอง

พิมพ์งานของลูกค้าที่ได้เลือกจากขั้นตอนการนิยามปัญหา ตามสภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิต และเก็บข้อมูลของค่าความเปรียบต่างสี จากแผ่นพิมพ์โดยการสุ่มทุก 200 แผ่น ของสี Process ทุกสีคือ สีดำ (Black),สีฟ้า(Cyan),สีแดง (Magenta) และสีเหลือง (Yellow) จากกระบวนการผลิตที่ได้จากการปรับค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยตามระดับที่กำหนดไว้ แล้วนำข้อมูลใส่ในโปรแกรม MINITAB เพื่อการวิเคราะห์ผล

7.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้ทำการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) ของ ค่าความเปรียบต่างสี กับค่า Mean ของสีดำ (Black) = 51 ,สีฟ้า(Cyan) = 45,สีแดง (Magenta) = 46 และสีเหลือง (Yellow) = 32

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0 = ค่าความเปรียบต่างสีของดำ (Black) ไม่มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

H_1 = ค่าความเปรียบต่างสีของดำ (Black) มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

ตารางที่ 7.1 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างของสีดำ (Black) กับค่า Mean

One-Sample T: Black

Test of mu = 51 vs mu not = 51

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean
Black	10	50.100	1.663	0.526

Variable	95.0% CI	T	P
Black	(48.910, 51.290)	-1.71	0.121

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0 = ค่าความเปรียบต่างสีของฟ้า (Cyan) ไม่มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

H_1 = ค่าความเปรียบต่างสีของฟ้า (Cyan) มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

ตารางที่ 7.2 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างของสีฟ้า (Cyan) กับค่า Mean

One-Sample T: PC Cyan

Test of mu = 43 vs mu not = 43

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean
PC Cyan	10	43.300	2.312	0.731

Variable	95.0% CI	T	P
PC Cyan	(41.646, 44.954)	0.41	0.691

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0 = ค่าความเปรียบต่างสีของแดง (Magenta) ไม่มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

H_1 = ค่าความเปรียบต่างสีของแดง (Magenta) มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

ตารางที่ 7.3 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างของสีแดง (Magenta) กับค่า Mean

One-Sample T: Magenta

Test of mu = 46 vs mu not = 46

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean
Magenta	10	46.300	1.567	0.496

Variable	95.0% CI	T	P
Magenta	(45.179, 47.421)	0.61	0.560

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0 = ค่าความเปรียบต่างสีของเหลือง (Yellow) ไม่มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

H_1 = ค่าความเปรียบต่างสีของเหลือง (Yellow) มีความแตกต่างกันกับค่า Mean

ตารางที่ 7.4 การวิเคราะห์ผลค่าความเปรียบต่างของสีเหลือง (Yellow) กับค่า Mean

One-Sample T: Yellow

Test of mu = 32 vs mu not = 32

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean
Yellow	10	31.900	0.738	0.233

Variable	95.0% CI	T	P
Yellow	(31.372, 32.428)	-0.43	0.678

จากการประมวลผลการทดสอบสมมติฐานโดย Minitab พบว่า P-Value $\geq$ 0.05 ด้วยข้อมูลที่มีอยู่ขณะนี้ยอมรับสมมติฐานหลัก ดังนั้นไม่มีความแตกต่างกันของความเปรียบต่างสี กับค่า Mean ดังแสดงได้ในตารางที่ 7.1 ถึง 7.4

7.4 สรุปผลขั้นตอนการทดสอบยืนยัน

จากผลการทดสอบค่าความเปรียบต่างสีที่ได้จากการผลิตจริงพบว่า มีค่า Mean เท่ากับ สีดำ 50.1 สีฟ้า 43.3 สีแดง 46.3 และสีเหลือง 31.9 เพราะฉะนั้นสภาวะของปัจจัยทั้ง 3 ประการ คือ ปริมาณหมึกของ Ink key ,รอบการจ่ายหมึก และรอบการจ่ายน้ำ ตามบทสรุปในบทที่ 6 มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติจริงในกระบวนการผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8

การควบคุมกระบวนการผลิต

8.1 บทนำ

การควบคุมกระบวนการผลิตที่จะกล่าวในบทนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายในวิธีการ ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อจุดประสงค์ในการตรวจสอบ และควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ผลและได้ทดสอบเพื่อยืนยันการสรุปเรียบร้อยแล้ว ได้แก่ ปัจจัยหลัก ปริมาณหมึกของ Ink key , รอบการจ่ายหมึก และรอบการจ่ายน้ำ รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่าง ปริมาณหมึกของ Ink key และรอบการจ่ายหมึก , ปริมาณหมึกของ Ink key และรอบการน้ำ , รอบการจ่ายหมึก และรอบการจ่ายน้ำ โดยนำความรู้ และเครื่องมือเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการมาประยุกต์ใช้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

8.2 แผนการควบคุม

ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่พิจารณาในการกำหนดแผนควบคุมได้แก่ ปริมาณหมึกของ Ink key ,รอบการจ่ายหมึก และรอบการจ่ายน้ำ ซึ่งในการควบคุมแต่ละปัจจัย และปัจจัยอื่นๆที่จำเป็นต้องควบคุม และทำให้ได้ตามมาตรฐานได้ดังนี้

8.2.1 ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตงานพิมพ์

จากขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่าจะต้องมีการควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อค่าความเปรียบต่างสีโดยมีรายละเอียดการควบคุมได้ดังตารางที่ 8.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.1 การควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต

Material	ยี่ห้อ
ยี่ห้อของหมึกพิมพ์ (Series)	Toyo Ink Carton King Series
ยี่ห้อของ Plate	Fuji CTP Plate
น้ำยา Fountain ไม่ได้มาตรฐาน	Combifix XL
ชนิดกระดาษ	Duplex 310 GSM.
ชนิดของผ้ายาง (Blanket)	Kinyo series S7000

8.2.2 การปรับตั้งเครื่องจักรให้อยู่ในสภาวะปกติ

การปรับตั้งเครื่องจักรจะต้องมีการควบคุมให้อยู่ในสภาวะปกติโดยมีรายละเอียดการควบคุมดังตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 แผนการควบคุม และตรวจสอบเครื่องจักร

แรงกดระหว่างลูกกลิ้ง (NIP)	ทำการปรับตั้งแรงกดระหว่างลูกกลิ้ง (Nip) โดยมีวาระการตรวจสอบทุก 6 เดือน ตามคู่มือการบำรุงรักษา F-PR-I-46
ปริมาณหมึกใน Roller	ปฏิบัติตามเอกสารวิธีการปฏิบัติงาน F-PR-I-41
การรองหนุนโม Plate	กำหนดมาตรฐานความหนา 0.20 mm.
แรงกดของโม Plate หรือBlanket หรือ Impressionไม่ถูกต้อง	ทำการตรวจสอบ และปรับตั้งแรงกดโดยมีวาระการตรวจสอบทุก 1 เดือน ตามคู่มือการบำรุงรักษา F-PR-I-46
การรองหนุนโม Blanket	กำหนดมาตรฐานความหนา 0.95 mm.

8.2.3 การควบคุมสภาวะแวดล้อม

การควบคุมสภาวะแวดล้อมมีผลต่อกระบวนการผลิตเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพได้ง่ายเช่น ความโค้งงอของกระดาษ หรือการสูญเสียความชื้นของแม่พิมพ์ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 23-25 ^{0}c และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 50-60 %

8.2.4 การควบคุมวิธีการทำงาน

จากขั้นตอนการปรับปรุงทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี ดังนั้นเพื่อที่จะควบคุมกระบวนการผลิตจึงมีการจัดทำเอกสารการปฏิบัติงาน (Work Instruction F-PR-I-41) โดยมีรายละเอียดการปฏิบัติงานดังภาคผนวก ค.

8.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

8.3.1 ความสามารถของกระบวนการ

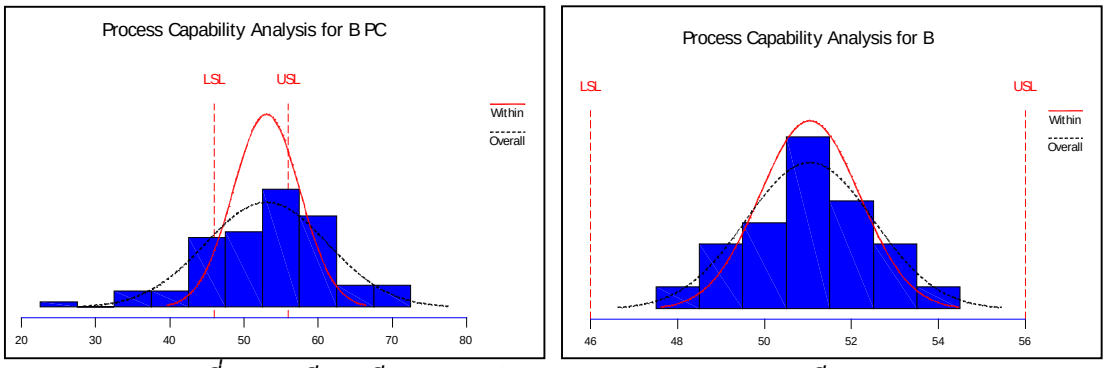
เมื่อทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการก่อน และหลังการปรับปรุงแก้ไขด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพแบบซิกซ์ซิกม่า พบว่าความสามารถของกระบวนการมีการลดลงเมื่อเทียบกับก่อนทำการปรับปรุง โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8.3 (รายละเอียดดูได้จากภาคผนวก ค. รูปที่ ค-1,ค-2,ค-3 และค-4)

ตารางที่ 8.3 ความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสีก่อนและหลังการปรับปรุง

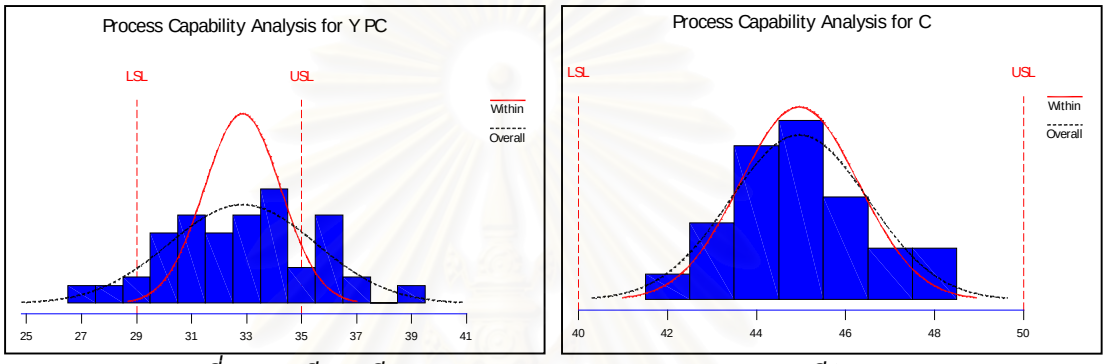
Color	C_{pk} ก่อนการปรับปรุง	C_{pk} หลังการปรับปรุง
Black	0.22	1.44
Cyan	0.74	1.24
Magenta	0.43	1.41
Yellow	0.51	1.13

จากข้อมูลทางสถิติพบว่าความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสี คือสีดำ (Black) สีฟ้า (Cyan) สีแดง (Magenta) และสีเหลือง (Yellow) มีค่า C_{pk} สูงขึ้นอยู่ในระดับ พอใช้ ถึงดี จากเดิมไม่ดี ถึงไม่ดีมาก สามารถเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างได้ดังรูปที่ 8.1,8.2,8.3 และ 8.4

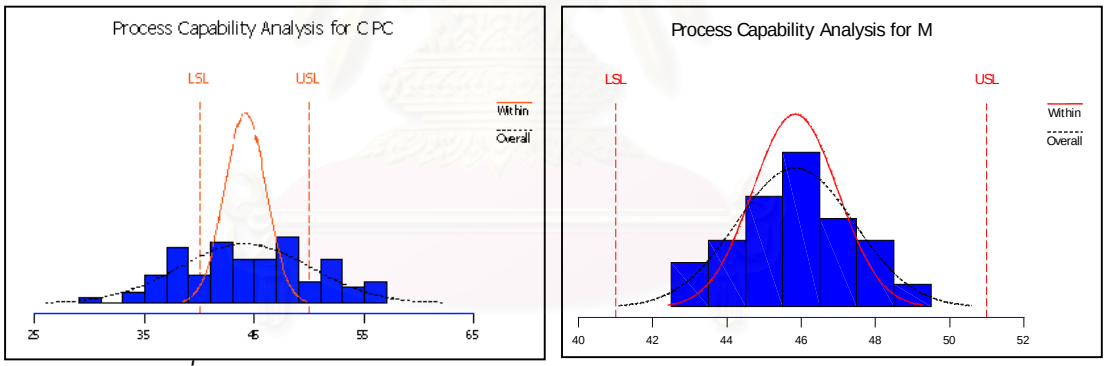
จากผลการดำเนินงานวิจัยดังกล่าวสามารถปรับปรุงค่าความเปรียบต่างสีให้สูงขึ้น ทำให้เกิดความสูญเปล่าลดลงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้



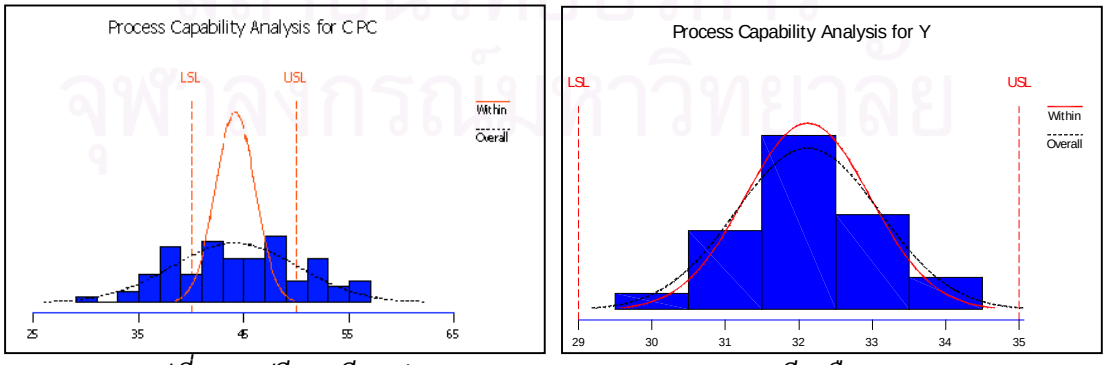
รูปที่ 8.1 เปรียบเทียบค่าความสามารถของกระบวนการสีดำ (Black)



รูปที่ 8.2 เปรียบเทียบค่าความสามารถของกระบวนการสีฟ้า (Cyan)



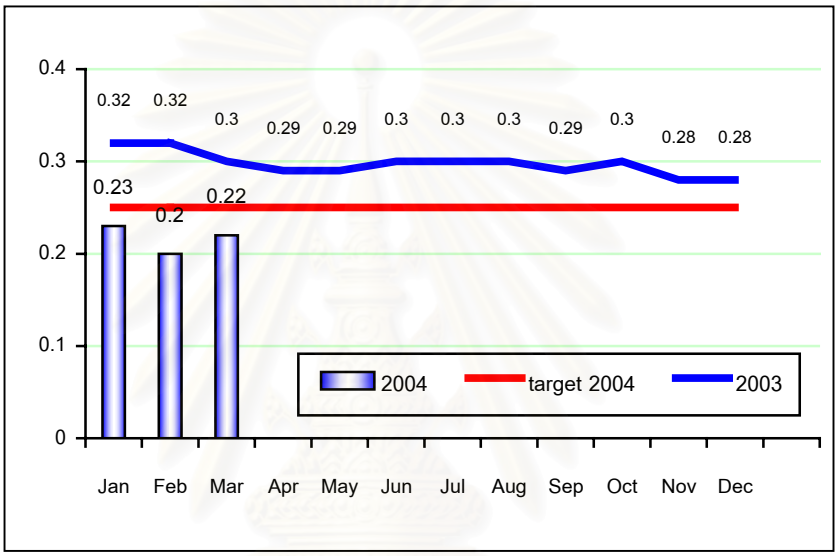
รูปที่ 8.3 เปรียบเทียบค่าความสามารถของกระบวนการสีแดง (Magenta)



รูปที่ 8.4 เปรียบเทียบค่าความสามารถของกระบวนการสีเหลือง (Yellow)

8.3.2 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต

เมื่อทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรก่อน และหลังการปรับปรุงแก้ไขด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพแบบซิกซ์ซิกม่า พบว่า ใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรลดลงเมื่อเทียบกับก่อนทำการปรับปรุง จากเดิมเฉลี่ย 0.27 Hours/Color ลดลงเหลือเฉลี่ย 0.21 Hours/Color เทียบเป็นเปอร์เซนต์ลดลง 20.92% เป็นผลทำให้เวลาลดลงต่ำกว่าเป้าหมายที่บริษัทตั้งเอาไว้ คือ 0.25 Hours/Color โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8.5



รูปที่ 8.5 เปรียบเทียบเวลาก่อน และหลังการปรับปรุงกระบวนการ (หน่วย:Hours/Color)

8.4 สรุปการควบคุมกระบวนการผลิต

จากผลการทดสอบยืนยันผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าสามารถกำหนดค่าของปัจจัยที่ได้จากการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม และทำการควบคุมปัจจัยโดยการออกแบบการทดลองโดยการออกเอกสารควบคุมการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ดังภาคผนวก ค. เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง สำหรับปัจจัยอื่นๆที่ไม่ถูกนำมาทำการออกแบบการทดลองทางผู้วิจัยทำการควบคุม และกำหนดมาตรฐานเพื่อให้ไม่มีผลกระทบต่อปัจจัยหลัก อันจะทำให้ผลการทดลองที่นำมาใช้ในการควบคุมค่าความเปรียบต่างสีของ Process Color เป็นไปได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

จากผลการดำเนินงานวิจัยดังกล่าวสามารถปรับปรุงค่าความเปรียบต่างสีให้สูงขึ้น ทำให้เกิดความสูญเปล่าลดลงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เมื่อเปรียบเทียบเวลาก่อน และหลังปรับปรุงพบว่าเวลาที่ใช้ในการตั้งเครื่องลดลง 20.92%

บทที่ 9

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

9.1 บทนำ

จากงานการวิจัยดังกล่าว ซึ่งได้เสนอแนะแนวทางในการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทางซิกซ์ซิกม่า ทั้ง 5 ขั้นตอนนั่นคือ ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define phase) ,ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measurement phase) ,ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analysis phase) ,ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement phase) และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control phase) เพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตเพื่อเพื่อหาวิธีการลดความสูญเปล่าจากการปรับแต่งของกระบวนการพิมพ์ออฟเซต จากการปรับตั้งค่าความเปรียบต่างสี เนื่องจากค่า Print contrast มีความสำคัญมากต่อการควบคุมคุณภาพ และการเกิดปัญหาต่างๆของงานพิมพ์ เนื่องจากสามารถให้มีความรู้สึกแตกต่างของโทนภาพระหว่าง Three – quarter tone (ความละเอียดของเม็ดสกรีนที่ 75%) และ Solid ink density (การพิมพ์พื้นตาย 100%) เพื่อให้การพิมพ์มีคุณภาพของโทนสีใกล้เคียงต้นฉบับมากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณ Shadow tone

ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถปรับปรุงค่าความเปรียบต่างสีให้สูงขึ้น ทำให้เกิดความสูญเปล่าลดลงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ จากข้อมูลทางสถิติพบว่าความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสี คือสีดำ (Black) ,สีฟ้า (Cyan) ,สีแดง (Magenta) และสีเหลือง (Yellow) มีค่า C_{pk} สูงขึ้นอยู่ในระดับ พอใช้ ถึงดี จากเดิมไม่ดี ถึงไม่ดีมากแสดงได้ดังตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.1 ความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสีก่อนและหลังการปรับปรุง

Color	C_{pk} ก่อนการปรับปรุง	C_{pk} หลังการปรับปรุง
Black	0.22	1.44
Cyan	0.74	1.24
Magenta	0.43	1.41
Yellow	0.51	1.13

ซึ่งมีรายละเอียดดังบทสรุปผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า ดังนี้คือ

9.2 บทสรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้ จะเป็นขั้นตอนแรกที่จะวิเคราะห์เพื่อกลั่นกรองถึงแหล่งที่มาของความผันแปรในกระบวนการผลิตกล่องหรือบรรจุภัณฑ์กระดาษด้วยระบบการพิมพ์ในระบบออฟเซท ที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี โดยเครื่องมือที่นำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ปัญหา และหลักการทางสถิติที่นำมาใช้มีดังนี้คือ

1. แผนภาพกระบวนการผลิต
2. การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด
3. การทดลองเพื่อจัดลำดับความผันแปรของกระบวนการ
4. ฮีสโตรแกรม
5. การวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause and Effect Matrix
6. การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA)
7. แผนภูมิพาเรโต

เมื่อได้ศึกษากระบวนการผลิตกล่องหรือบรรจุภัณฑ์กระดาษด้วยระบบการพิมพ์ในระบบออฟเซท เพื่อประกันว่าข้อมูลจากการทดลองที่นำมาวิเคราะห์มีความถูกต้อง จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาความแม่นยำของระบบการวัดที่เกี่ยวข้องในการวัดค่าความเปรียบต่างสี ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวัด คือ เครื่อง Spectrophotometer

หลังจากได้ศึกษาความแม่นยำของระบบการวัดพบว่า ความสามารถของกระบวนการวัดอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ จากนั้นได้ทำการระดมความคิดจากสมาชิกเพื่อแจกแจงปัจจัยที่สำคัญโดยใช้เครื่องมือระดมความคิดคือ แผนภาพอิชิกาวา ช่วยในการพิจารณาได้จำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 21 ปัจจัย เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการ (KPOV) และปัจจัยนำเข้า (KPIV) ด้วยตารางสาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix) แล้วจัดเรียงลำดับคะแนนตามความสำคัญด้วยผังพาเรโตจึงเหลือปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองเพียง 13 ปัจจัย และสุดท้ายวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) พบว่าปัจจัยนำเข้าที่ทดสอบที่สำคัญที่มีแนวโน้มกับผลกระทบต่อค่าความเปรียบต่างสีนี้มีอยู่ทั้งสิ้น 4 ปัจจัย ได้แก่ การควบคุมรอบการจ่ายน้ำไม่สมดุลย์กับปริมาณหมึก,การควบคุมรอบการจ่ายหมึก ,การควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key,การรองหนุนโม Blanket

9.3 บทสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหานี้จะวิเคราะห์นำเข้าที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัยที่ได้จากการคัดเลือกในขั้นตอนการวัด เพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ซึ่งหลักการทางสถิติที่นำมาใช้เพื่อทำการตัดสินว่าปัจจัยเหล่านี้เป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือไม่ คือ ทำการทดสอบความมีนัยสำคัญของ 2 - Sample T

จากผลการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัยพบว่ามีเพียง 3 ปัจจัยที่มีผลต่ออิทธิพลต่อค่าความเปรียบต่างสีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ การควบคุมรอบการจ่ายน้ำ , การควบคุมรอบการจ่ายหมึก และการควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key ส่วนการรองหนุนโม Blanket ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเปรียบต่างสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นขั้นตอนต่อไปคือการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ จึงพิจารณานำปัจจัยทั้ง 3 ดังกล่าวไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อความสัมพันธ์เชิงผันแปรระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ เพื่อให้ค่าความเปรียบต่างสีมีค่าที่เหมาะสมที่สุด

9.4 บทสรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของค่าความเปรียบต่างสี ในสภาวะค่าต่างๆของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 3 ปัจจัย และจะพิจารณาสภาวะของปัจจัยทั้ง 3 คือ การควบคุมรอบการจ่ายน้ำ , การควบคุมรอบการจ่ายหมึก และการควบคุมปริมาณหมึกของ Ink key ที่ทำให้ค่าความเปรียบต่างสี ของ Black ,Cyan , Magenta และ Yellow Color มีค่าสูงที่สุด ด้วยหลักการทางสถิติที่นำมาใช้คือการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยการออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียล โดยเพิ่มจุด Center point

ผลจากการทดลองเพื่อการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 3 ปัจจัย พบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเปรียบต่างสี โดยระดับที่เหมาะสมในการใช้งานของปัจจัยนำเข้า สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9.2 แสดงปัจจัย และการกำหนดค่าที่เหมาะสมของแต่ละระดับ

ปัจจัย	การกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ			
	Black	Cyan	Magenta	Yellow
ปริมาณหมึกของ Ink key	110	102	88	28
รอบการจ่ายหมึก	7	8	11	43
รอบการจ่ายน้ำ	6	6	6	20

9.5 บทสรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

การพิจารณาลักษณะของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 3 ปัจจัย เพื่อเลือกระบบการควบคุมที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบ และกำหนดแผนการแก้ไข และป้องกันเมื่อปัจจัยเหล่านี้เกิดสภาวะออกนอกการควบคุม ซึ่งแนวความคิดในการกำหนดระบบการควบคุมสำหรับปัจจัยเป็นดังนี้คือ

9.5.1 ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตงานพิมพ์

จากขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่าจะต้องมีการควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อค่าความเปรียบต่างสีโดยมีรายละเอียดการควบคุมได้ดังตารางที่ 9.3

ตารางที่ 9.3 การควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต

Material	*ยี่ห้อ*
ยี่ห้อของหมึกพิมพ์ (Series)	Toyo Ink Carton King Series
ยี่ห้อของ Plate	Fuji CTP Plate
น้ำยา Fountain ไม่ได้มาตรฐาน	Combifix XL
ชนิดกระดาษ	Duplex 310 GSM.
ชนิดของผ้ายาง (Blanket)	Kinyo series S7000

9.5.2 การปรับตั้งเครื่องจักรให้อยู่ในสภาวะปกติ

การปรับตั้งเครื่องจักรจะต้องมีการควบคุมให้อยู่ในสภาวะปกติโดยมีรายละเอียดการควบคุมดังตารางที่ 9.4

ตารางที่ 9.4 แผนการควบคุม และตรวจสอบเครื่องจักร

แรงกดระหว่างลูกกลิ้ง (NIP)	ทำการปรับตั้งแรงกดระหว่างลูกกลิ้ง (Nip) โดยมีวาระการตรวจสอบทุก 6 เดือน ตามคู่มือการบำรุงรักษา F-PR-I-46 มีรายละเอียดดังภาคผนวก ค.
ปริมาณหมึกใน Roller	ปฏิบัติตามเอกสารวิธีการปฏิบัติงาน F-PR-I-41
การรองหนุนโม Plate	กำหนดมาตรฐานความหนา 0.20 mm.
แรงกดของโม Plate หรือBlanket หรือ Impressionไม่ถูกต้อง	ทำการตรวจสอบ และปรับตั้งแรงกดโดยมีวาระการตรวจสอบทุก 1 เดือน ตามคู่มือการบำรุงรักษา F-PR-I-46 มีรายละเอียดดังภาคผนวก ค.
การรองหนุนโม Blanket	กำหนดมาตรฐานความหนา 0.95 mm.

9.5.3 การควบคุมสภาวะแวดล้อม

การควบคุมสภาวะแวดล้อมมีผลต่อกระบวนการผลิตเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพได้ง่ายเช่น ความโค้งงอของกระดาษ หรือการสูญเสียความชื้นของแม่พิมพ์ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 23-25 ^{0}c และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 50-60 %

9.5.4 การควบคุมวิธีการทำงาน

จากขั้นตอนการปรับปรุงทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี ดังนั้นเพื่อที่จะควบคุมกระบวนการผลิตจึงมีการจัดทำเอกสารการปฏิบัติงาน (Work Instruction F-PR-I-41) โดยมีรายละเอียดการปฏิบัติงานดังภาคผนวก ค.

9.5.5 ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง

เมื่อทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการก่อน และหลังการปรับปรุงแก้ไขด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพแบบซิกซ์ซิกม่า พบว่าความสามารถของกระบวนการมีการลดลงเมื่อเทียบกับก่อนทำการปรับปรุง โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 9.5 จากผลการดำเนินงานวิจัยดังกล่าวสามารถปรับปรุงค่าความเปรียบต่างสีให้สูงขึ้น ทำให้เกิดความสูญเปล่าลดลงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ตารางที่ 9.5 ความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ค่าความเปรียบต่างสีก่อนและหลังการปรับปรุง

Color	C_{pk} ก่อนการปรับปรุง	C_{pk} หลังการปรับปรุง
Black	0.22	1.44
Cyan	0.74	1.24
Magenta	0.43	1.41
Yellow	0.51	1.13

9.5.6 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต

เมื่อทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรก่อน และหลังการปรับปรุงแก้ไขด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพแบบซิกซ์ซิกม่า พบว่า ใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรลดลงเมื่อเทียบกับก่อนทำการปรับปรุง จากเดิมเฉลี่ย 0.27 Hours/Color ลดลงเหลือเฉลี่ย 0.21 Hours/Color เทียบเป็นเปอร์เซนต์ลดลง 20.92% เป็นผลทำให้เวลาลดลงต่ำกว่าเป้าหมายที่บริษัทตั้งเอาไว้ คือ 0.25 Hours/Color

9.6 ข้อจำกัดในการดำเนินงานวิจัย

ความไม่เข้าใจและความร่วมมือของพนักงานประจำเครื่องบางคนในช่วงแรกๆของการทดลอง ที่ไม่ทราบวัตถุประสงค์ของการทดลองจนทำให้ในบางครั้งละเลยที่จะให้ความร่วมมือในการทดลองจึงทำให้การทดลองใช้เวลานานในการทดลอง

9.7 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

9.7.1 ในการดำเนินการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่าจากการปรับแต่งของกระบวนการพิมพ์ออฟเซต จากการปรับตั้งค่าความเปรียบต่างสี นั้นสามารถพัฒนาสำหรับงานของกลุ่มลูกค้าอื่นๆ และงานที่หลากหลายมากขึ้นได้ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณ เนื่องจากปัจจัยนำเข้าที่ได้รับการกรองให้เหลือเพียง 3 ปัจจัยหลัก สามารถคำนวณได้ทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น และลดความสูญเปล่าลงได้อย่างต่อเนื่อง

9.7.2 การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้คาดว่าจะสามารถเป็นแนวทางให้วิศวกรในโรงงานสามารถนำเทคนิคของการออกแบบการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการอื่นๆ ภายในโรงงานได้ อาทิ งานไดคัท,ขัดเงา แผนกสำเร็จรูป เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. 2532. การควบคุมคุณภาพ. จำนวน 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ประกอบเมไตร.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2542. การวิเคราะห์ระบบการวัด(MSA). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ส.ส.ท.

ปารเมศ ชุติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปารเมศ ชุติมา. 2547 การออกแบบตามความต้องการของตลาด. วารสารวิศวกรรมสาร.

ดร.วิชัย พยัคฆโส.การพิมพ์ออฟเซต 2. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมวิชาการพิมพ์.

ผศ.ดร.สมชัย อัครทิวา. 2546. การดำเนินกิจกรรม TPM เพื่อการปฏิรูปการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ภาษาอังกฤษ

Backer. 1998. Milestone 3 for color/54 single component.

Backer, Gerwen and Meer. 2000. Benchmarking halo phosphate daylight for TLD.

Douglas C. Mongomery. 2001. Design and Analysis of Experiments. United State of America : Hamilton printing company.

Forest W. Breyfogle III. 1999. Implementing Six Sigma: Smart Solutions Using Statistical Method. United state of America.

Hermans. 1998. Powder weight-ranges with colour 54 single component.

Hermans. 1998. Maintenance of the powder weight ranges in TLD 36W for colour 54 single component.

MINITAB User's Guide 2: Data Analysis and Quality Tools. 2000. Release 13 for Windows.

Verriet. 2001. Quality improvement Halophosphates: Influence of impurities (Na, Mg and Fe) on the quality of Ca-halophosphate 54 (Single component daylight).

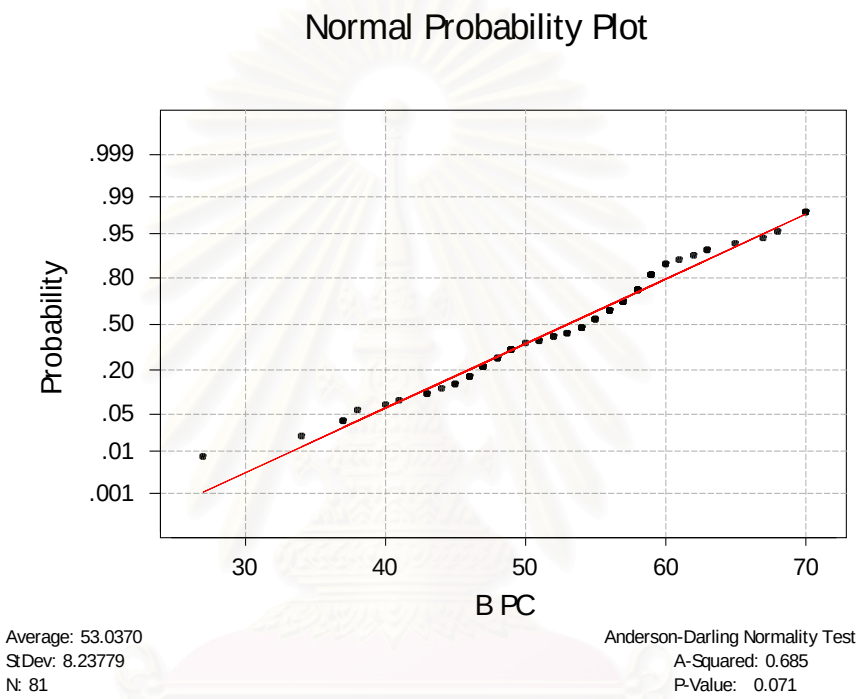
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

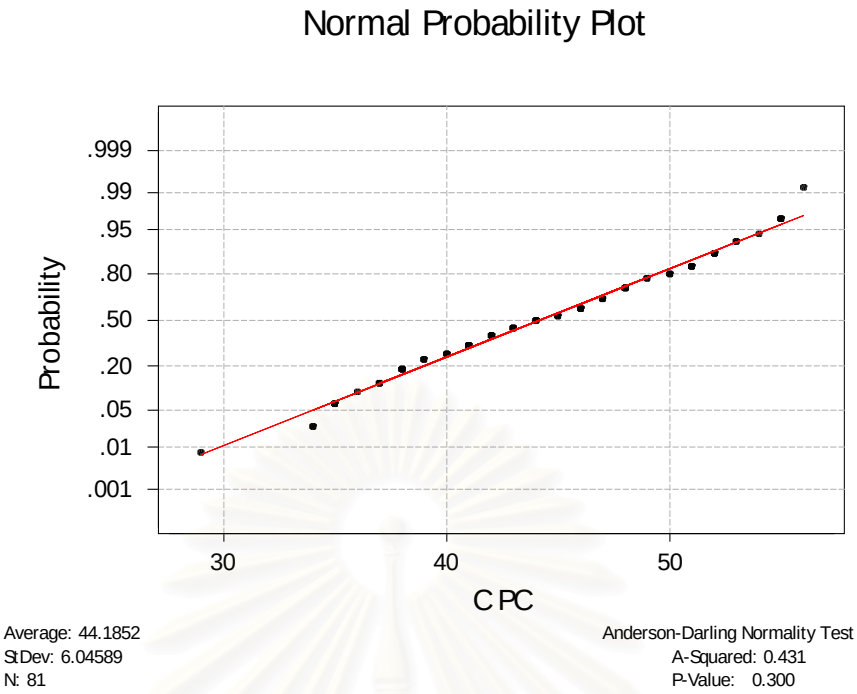
Define Phase

การทดสอบ Normality เพื่อทดสอบข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ σ ของกระบวนการปัจจุบัน (เดือนมิถุนายน 2546) สามารถดูได้จากภาคผนวก ก โดยใช้โปรแกรม Minitab ดังรูปที่ ก-1

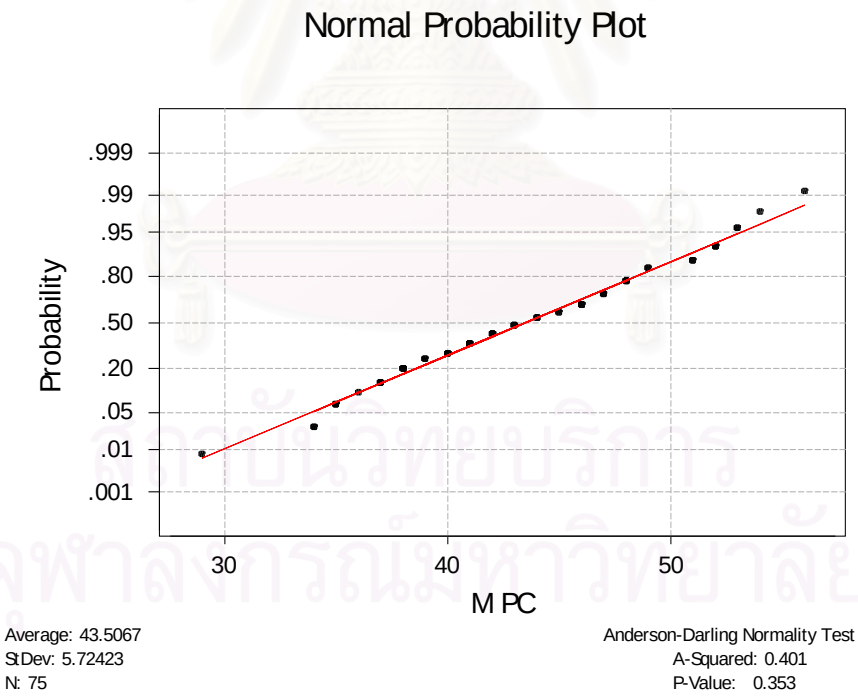


รูปที่ ก-1 Black color

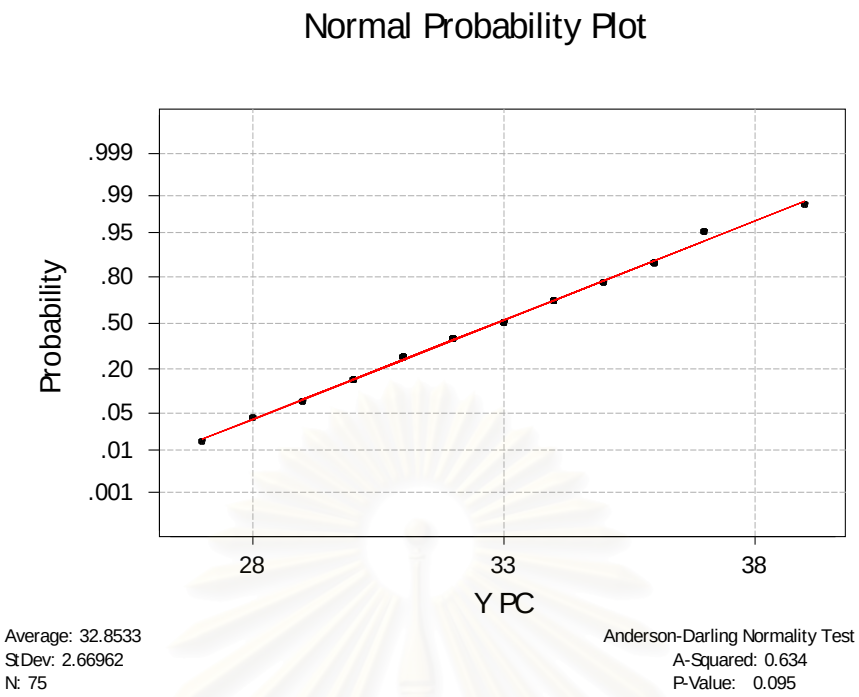
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-2 Cyan color

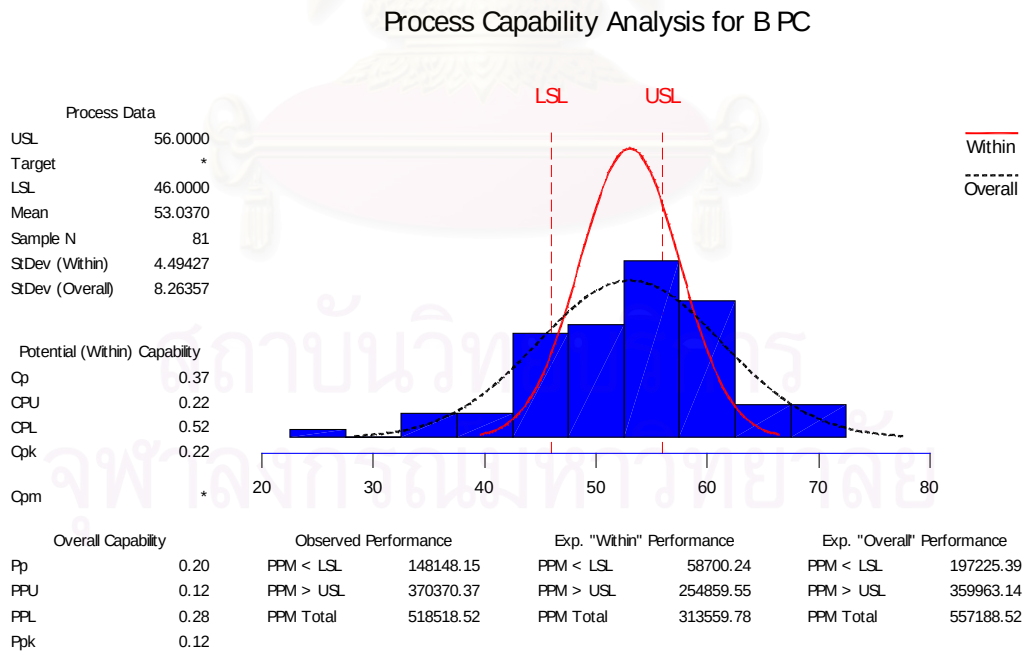


รูปที่ ก-3 Magenta color

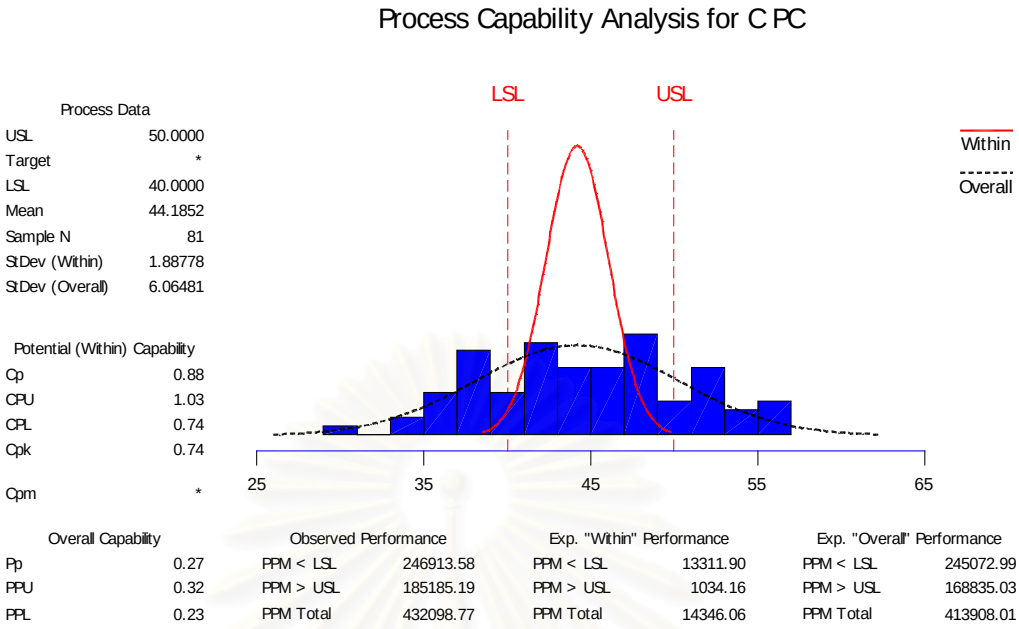


รูปที่ ก-4 Yellow color

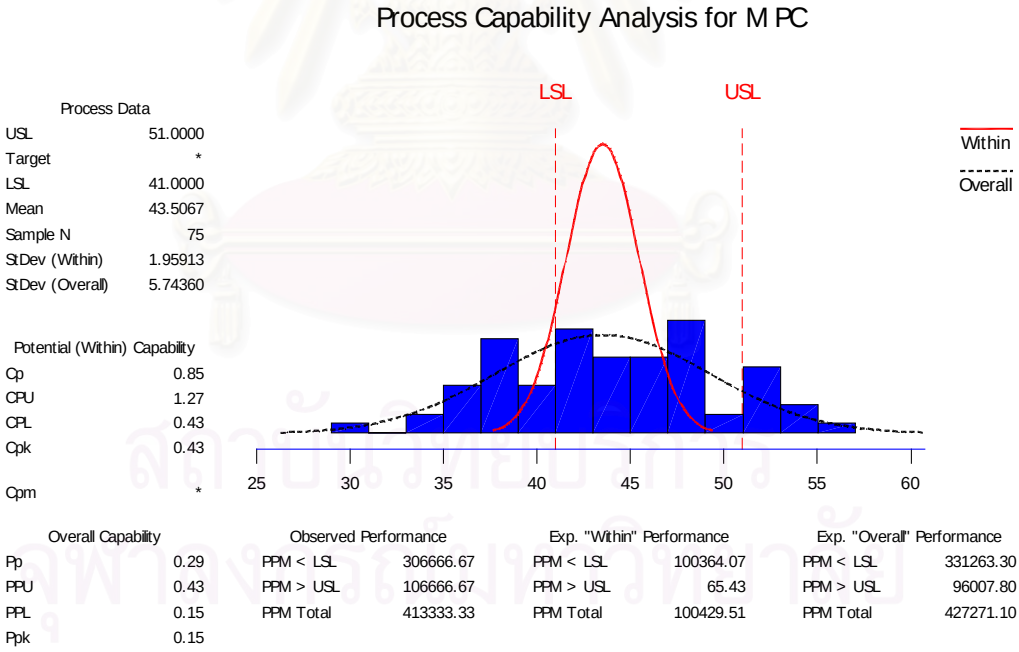
วิเคราะห์หา Process Capability ค่าความเปรียบต่างสี ของแต่ละสี คือ Black , Cyan , Magenta และ Yellow Color ของกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Minitab ในการคำนวณ



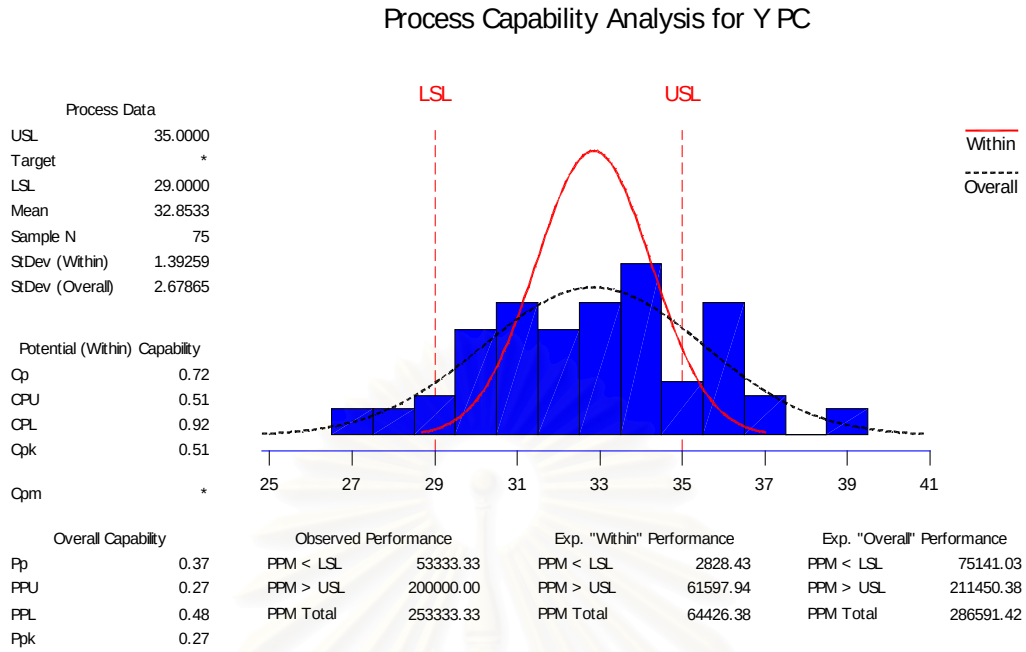
รูปที่ ก-5 Process capability ของสีดำ (Black color)



รูปที่ ก-6 Process capability ของสีฟ้า (Cyan color)



รูปที่ ก-7 Process capability ของสีแดง (Magenta color)



รูปที่ ก-8 Process capability ของสีเหลือง (Yellow color)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

Improvement Phase

1. การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง และการออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD จะใช้ในการฟิตแบบจำลองอันดับที่ 2 ของค่าความเปรียบต่างสีของสี Black ,Magenta และ Yellow ได้ดังตารางดังนี้

ตารางที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Black color)

Fractional Factorial Fit: Black versus Ink Volumn, Ink Feed, Water Feed

Estimated Effects and Coefficients for Black (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		47.583	0.3287	144.77	0.000
Ink Volu	1.500	0.750	0.3287	2.28	0.035
Ink Feed	3.167	1.583	0.3287	4.82	0.000
Water Fe	-1.167	-0.583	0.3287	-1.77	0.093
Ink Volu*Ink Feed	-10.167	-5.083	0.3287	-15.47	0.000
Ink Volu*Water Fe	2.500	1.250	0.3287	3.80	0.001
Ink Feed*Water Fe	4.167	2.083	0.3287	6.34	0.000
Ink Volu*Ink Feed*Water Fe	2.167	1.083	0.3287	3.30	0.004
Ct Pt		2.750	0.9860	2.79	0.012

Analysis of Variance for Black (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	81.833	81.833	27.278	10.52	0.000
2-Way Interactions	3	761.833	761.833	253.944	97.95	0.000
3-Way Interactions	1	28.167	28.167	28.167	10.86	0.004
Curvature	1	20.167	20.167	20.167	7.78	0.012
Residual Error	18	46.667	46.667	2.593		
Pure Error	18	46.667	46.667	2.593		
Total	26	938.667				

เนื่องจาก Curvature มีนัยสำคัญ จึงใช้การออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD จะใช้ในการฟิตแบบจำลองอันดับที่ 2 โดยจะประกอบไปด้วย 2^3 แฟกทอเรียล รันในแนวแกน หรือในแนวรูปดาว (Star) และสำหรับการออกแบบการทดลองของงานวิจัยนี้จะใช้ n = 3 รันที่จุดศูนย์กลาง โดยมีการกำหนดระยะทาง α (พารามิเตอร์) จากการใช้โปรแกรม MINITAB และทำการทดลองเพิ่มได้ดังตารางที่ ข-2

ตารางที่ ข-2 ตาราง Design Matrix ของการออกแบบ CCD (ส่วนที่ทดลองเพิ่มจากการออกแบบ 2^k) Black color

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	Respond
28	28	1	2	-2.21336	0.00000	0.00000	47
29	29	1	2	2.21336	0.00000	0.00000	51
30	30	1	2	0.00000	-2.21336	0.00000	46
31	31	1	2	0.00000	2.21336	0.00000	53
32	32	1	2	0.00000	0.00000	-2.21336	47
33	33	1	2	0.00000	0.00000	2.21336	44

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Coded units) ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง แสดงดังตารางที่ ข-3

ตารางที่ ข-3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code units) ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Black color)

Response Surface Regression: Black versus Ink Volumn, Ink Feed, ...

```
The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Black

Term                      Coef    SE Coef          T      P
Constant                 51.41     1.4859     34.599  0.000
Block                    -1.08     0.5923     -1.821  0.082
Ink Volu                  1.76     0.7032      2.501  0.020
Ink Feed                  3.50     0.7032      4.982  0.000
Water Fe                 -1.35     0.7032     -1.922  0.068
Ink Volu*Ink Volu        -3.49     2.1329     -1.637  0.116
Ink Feed*Ink Feed        -2.99     2.1329     -1.402  0.175
Water Fe*Water Fe        -6.99     2.1329     -3.278  0.003
Ink Volu*Ink Feed       -24.90     1.8471    -13.482  0.000
Ink Volu*Water Fe         6.12     1.8471      3.315  0.003
Ink Feed*Water Fe        10.21     1.8471      5.526  0.000

S = 1.847      R-Sq = 92.5%     R-Sq(adj) = 89.0%

Analysis of Variance for Black

Source          DF     Seq SS     Adj SS      Adj MS      F      P
Blocks           1      0.061      11.32      11.315   3.32  0.082
Regression       9    919.607     919.61     102.179  29.95  0.000
  Linear         3    118.607     118.61      39.536  11.59  0.000
  Square         3     39.167      39.17      13.056   3.83  0.024
  Interaction    3    761.833     761.83     253.944  74.43  0.000
Residual Error  22     75.059      75.06       3.412
  Lack-of-Fit    4     28.393      28.39       7.098   2.74  0.061
  Pure Error    18     46.667      46.67       2.593
Total           32    994.727
```

หลังจากได้พิจารณาอิทธิพลของเทอมของปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องแล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตัวแบบลดรูป โดยเลือกพิจารณาเฉพาะเทอมของปัจจัยที่มีอิทธิพล อย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเปรียบต่างสี ที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่แล้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปร ปรวนของตัวแบบลดรูปแสดงดังตารางที่ ข-4

ตารางที่ ข-4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code units) ของตัวแบบลดรูปของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง Black color

Response Surface Regression: Black versus Ink Volumn, Ink Feed, ...

```
The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Black

Term                    Coef     SE Coef          T      P
Constant               48.77      0.4529    107.678  0.000
Ink Volu                1.76      0.7138      2.464  0.021
Ink Feed                3.50      0.7138      4.908  0.000
Water Fe               -1.35      0.7138     -1.894  0.070
Water Fe*Water Fe      -4.12      1.5022     -2.741  0.011
Ink Volu*Ink Feed     -24.90      1.8748    -13.283  0.000
Ink Volu*Water Fe       6.12      1.8748      3.266  0.003
Ink Feed*Water Fe      10.21      1.8748      5.444  0.000

S = 1.875       R-Sq = 91.2%     R-Sq(adj) = 88.7%

Analysis of Variance for Black

Source                DF     Seq SS      Adj SS      Adj MS      F      P
Regression             7     906.85      906.85     129.550  36.86  0.000
  Linear               3     118.61      118.61      39.536  11.25  0.000
  Square               1      26.41       26.41      26.411   7.51  0.011
  Interaction          3     761.83      761.83     253.944  72.25  0.000
Residual Error        25      87.88       87.88       3.515
  Lack-of-Fit          7      41.21       41.21       5.887   2.27  0.076
  Pure Error          18      46.67       46.67       2.593
Total                 32     994.73
```

สรุปเทอมของปัจจัยหลัก และอันตรกริยาที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Black color) แสดงโดยค่าประมาณสัมประสิทธิ์ (Uncode units) ได้ดังนี้

```
Term                    Coef
Constant             48.7699
Ink Volu            0.794529
Ink Feed             1.58274
Water Fe            -0.610690
Water Fe*Water Fe   -0.840512
Ink Volu*Ink Feed    -5.08333
Ink Volu*Water Fe     1.25000
Ink Feed*Water Fe     2.08333
```

ตารางที่ ข-5 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Magenta color)

Fractional Factorial Fit: Magenta versus Ink Volumn, Ink Feed, ...

Estimated Effects and Coefficients for Magenta (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		42.250	0.3600	117.35	0.000
Ink Volu	4.333	2.167	0.3600	6.02	0.000
Ink Feed	3.333	1.667	0.3600	4.63	0.000
Water Fe	-0.667	-0.333	0.3600	-0.93	0.367
Ink Volu*Ink Feed	-9.833	-4.917	0.3600	-13.66	0.000
Ink Volu*Water Fe	1.833	0.917	0.3600	2.55	0.020
Ink Feed*Water Fe	6.167	3.083	0.3600	8.56	0.000
Ink Volu*Ink Feed*Water Fe	-0.333	-0.167	0.3600	-0.46	0.649
Ct Pt		3.083	1.0801	2.85	0.011

Analysis of Variance for Magenta (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	182.00	182.000	60.667	19.50	0.000
2-Way Interactions	3	828.50	828.500	276.167	88.77	0.000
3-Way Interactions	1	0.67	0.667	0.667	0.21	0.649
Curvature	1	25.35	25.352	25.352	8.15	0.011
Residual Error	18	56.00	56.000	3.111		
Pure Error	18	56.00	56.000	3.111		
Total	26	1092.52				

เนื่องจาก Curvature มีนัยสำคัญ จึงใช้การออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD จะใช้ในการฟิตแบบจำลองอันดับที่ 2 โดยจะประกอบไปด้วย 2^3 แฟกทอเรียล รันในแนวแกน หรือในแนวรูปดาว (Star) และสำหรับการออกแบบการทดลองของงานวิจัยนี้จะใช้ n = 3 รันที่จุดศูนย์กลาง โดยมีการกำหนดระยะทาง α (พารามิเตอร์) จากการใช้โปรแกรม MINITAB และทำการทดลองเพิ่มได้ดังตารางที่ ข-6

ตารางที่ ข-6 ตาราง Design Matrix ของการออกแบบ CCD (ส่วนที่ทดลองเพิ่มจากการออกแบบ 2^k) Magenta color

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	Respond
28	28	1	2	-2.21336	0.00000	0.00000	43
29	29	1	2	2.21336	0.00000	0.00000	47
30	30	1	2	0.00000	-2.21336	0.00000	42
31	31	1	2	0.00000	2.21336	0.00000	49
32	32	1	2	0.00000	0.00000	-2.21336	43
33	33	1	2	0.00000	0.00000	2.21336	40

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Coded units) ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง แสดงดังตารางที่ ข-7

ตารางที่ ข-7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code units) ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Magenta color)

Response Surface Regression: Magenta versus Ink Volumn, Ink Feed, ...

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Magenta

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	47.18	1.4210	33.205	0.000
Block	-1.85	0.5664	-3.268	0.004
Ink Volu	3.99	0.6725	5.926	0.000
Ink Feed	3.63	0.6725	5.404	0.000
Water Fe	-0.96	0.6725	-1.426	0.168
Ink Volu*Ink Volu	-4.04	2.0396	-1.978	0.061
Ink Feed*Ink Feed	-3.54	2.0396	-1.733	0.097
Water Fe*Water Fe	-7.54	2.0396	-3.694	0.001
Ink Volu*Ink Feed	-24.09	1.7664	-13.636	0.000
Ink Volu*Water Fe	4.49	1.7664	2.542	0.019
Ink Feed*Water Fe	15.11	1.7664	8.551	0.000

S = 1.766 R-Sq = 94.1% R-Sq(adj) = 91.4%

Analysis of Variance for Magenta

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	9.72	33.31	33.313	10.68	0.004
Regression	9	1079.88	1079.88	119.986	38.46	0.000
Linear	3	207.02	207.02	69.008	22.12	0.000
Square	3	44.35	44.35	14.784	4.74	0.011
Interaction	3	828.50	828.50	276.167	88.51	0.000
Residual Error	22	68.64	68.64	3.120		
Lack-of-Fit	4	12.64	12.64	3.161	1.02	0.425
Pure Error	18	56.00	56.00	3.111		
Total	32	1158.24				

หลังจากได้พิจารณาอิทธิพลของเทอมของปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องแล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตัวแบบลดรูป โดยเลือกพิจารณาเฉพาะเทอมของปัจจัยที่มีอิทธิพล อย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเปรียบต่างสี ที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่แล้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปร ปรวนของตัวแบบลดรูปแสดงดังตารางที่ ข-8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code units) ของตัวแบบลดรูปของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง Magenta color

Response Surface Regression: Magenta versus Ink Volumn, Ink Feed, ...

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Magenta

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	43.60	0.4889	89.193	0.000
Ink Volu	3.99	0.7704	5.173	0.000
Ink Feed	3.63	0.7704	4.717	0.000
Water Fe	-0.96	0.7704	-1.244	0.225
Water Fe*Water Fe	-3.61	1.6214	-2.229	0.035
Ink Volu*Ink Feed	-24.09	2.0236	-11.903	0.000
Ink Volu*Water Fe	4.49	2.0236	2.219	0.036
Ink Feed*Water Fe	15.11	2.0236	7.464	0.000

S = 2.024 R-Sq = 91.2% R-Sq(adj) = 88.7%

Analysis of Variance for Magenta

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	7	1055.87	1055.87	150.838	36.83	0.000
Linear	3	207.02	207.02	69.008	16.85	0.000
Square	1	20.34	20.34	20.341	4.97	0.035
Interaction	3	828.50	828.50	276.167	67.44	0.000
Residual Error	25	102.38	102.38	4.095		
Lack-of-Fit	7	46.38	46.38	6.625	2.13	0.093
Pure Error	18	56.00	56.00	3.111		
Total	32	1158.24				

สรุปเทอมของปัจจัยหลัก และอันตรกริยาที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Magenta color)แสดงโดยค่าประมาณสัมประสิทธิ์ (Uncode units) ได้ดังนี้

Term	Coef
Constant	43.6039
Ink Volu	1.80051
Ink Feed	1.64192
Water Fe	-0.433165
Water Fe*Water Fe	-0.737627
Ink Volu*Ink Feed	-4.91667
Ink Volu*Water Fe	0.916667
Ink Feed*Water Fe	3.08333

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-9 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Yellow color)

Fractional Factorial Fit: Yellow versus Ink Volumn, Ink Feed, Water Feed

Estimated Effects and Coefficients for Yellow (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		26.625	0.3706	71.84	0.000
Ink Volu	1.583	0.792	0.3706	2.14	0.047
Ink Feed	2.750	1.375	0.3706	3.71	0.002
Water Fe	-1.583	-0.792	0.3706	-2.14	0.047
Ink Volu*Ink Feed	-10.583	-5.292	0.3706	-14.28	0.000
Ink Volu*Water Fe	2.750	1.375	0.3706	3.71	0.002
Ink Feed*Water Fe	4.917	2.458	0.3706	6.63	0.000
Ink Volu*Ink Feed*Water Fe	2.250	1.125	0.3706	3.04	0.007
Ct Pt		5.375	1.1118	4.83	0.000

Analysis of Variance for Yellow (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	75.46	75.46	25.153	7.63	0.002
2-Way Interactions	3	862.46	862.46	287.486	87.21	0.000
3-Way Interactions	1	30.37	30.37	30.375	9.21	0.007
Curvature	1	77.04	77.04	77.042	23.37	0.000
Residual Error	18	59.33	59.33	3.296		
Pure Error	18	59.33	59.33	3.296		
Total	26	1104.67				

ผลจากการออกแบบการทดลอง 2^3 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 3 ครั้ง และเพิ่ม Center point 3 จุด สามารถทำการวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยหลัก,อันตรกริยา 2 และ 3 ระดับ, Curvature มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่างสี) เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05

เนื่องจาก Curvature มีนัยสำคัญ จึงใช้การออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD จะใช้ในการฟิตแบบจำลองอันดับที่ 2 โดยจะประกอบไปด้วย 2^3 แฟกทอเรียล รันในแนวแกน หรือในแนวรูปดาว (Star) และสำหรับการออกแบบการทดลองของงานวิจัยนี้จะใช้ n = 3 รันที่จุดศูนย์กลาง โดยมีการกำหนดระยะทาง α (พารามิเตอร์) จากการใช้โปรแกรม MINITAB และทำการทดลองเพิ่มได้ดังตารางที่ ข-10

ตารางที่ ข-10 ตาราง Design Matrix ของการออกแบบ CCD (ส่วนที่ทดลองเพิ่มจากการออกแบบ 2^k) Yellow color

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	Respond
28	28	1	2	-2.21336	0.00000	0.00000	26
29	29	1	2	2.21336	0.00000	0.00000	30
30	30	1	2	0.00000	-2.21336	0.00000	25
31	31	1	2	0.00000	2.21336	0.00000	32
32	32	1	2	0.00000	0.00000	-2.21336	26
33	33	1	2	0.00000	0.00000	2.21336	23

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Coded units) ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง แสดงดังตารางที่ ข-11

ตารางที่ ข-11 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code units) ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Yellow color)

Response Surface Regression: Yellow versus Ink Volumn, Ink Feed, ...

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Yellow

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.89	1.6288	20.806	0.000
Block	-1.89	0.6493	-2.909	0.008
Ink Volu	1.82	0.7708	2.366	0.027
Ink Feed	3.18	0.7708	4.120	0.000
Water Fe	-1.68	0.7708	-2.178	0.040
Ink Volu*Ink Volu	-7.78	2.3379	-3.327	0.003
Ink Feed*Ink Feed	-7.28	2.3379	-3.113	0.005
Water Fe*Water Fe	-11.28	2.3379	-4.824	0.000
Ink Volu*Ink Feed	-25.92	2.0246	-12.804	0.000
Ink Volu*Water Fe	6.74	2.0246	3.327	0.003
Ink Feed*Water Fe	12.04	2.0246	5.948	0.000

S = 2.025 R-Sq = 92.2% R-Sq(adj) = 88.7%

Analysis of Variance for Yellow

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.24	34.69	34.688	8.46	0.008
Regression	9	1070.48	1070.48	118.943	29.02	0.000
Linear	3	111.98	111.98	37.328	9.11	0.000
Square	3	96.04	96.04	32.014	7.81	0.001
Interaction	3	862.46	862.46	287.486	70.13	0.000
Residual Error	22	90.18	90.18	4.099		
Lack-of-Fit	4	30.85	30.85	7.712	2.34	0.094
Pure Error	18	59.33	59.33	3.296		
Total	32	1160.91				

สรุปเทอมของปัจจัยหลัก และอันตรกริยาที่มีผลต่อค่าความเปรียบต่างสี (Yellow color) แสดงโดยค่าประมาณสัมประสิทธิ์ (Uncode units) ได้ดังนี้

Term	Coef
Constant	33.8887
Block	-1.88867
Ink Volu	0.824116
Ink Feed	1.43481
Water Fe	-0.758628
Ink Volu*Ink Volu	-1.58754
Ink Feed*Ink Feed	-1.48548
Water Fe*Water Fe	-2.30198
Ink Volu*Ink Feed	-5.29167
Ink Volu*Water Fe	1.37500
Ink Feed*Water Fe	2.45833

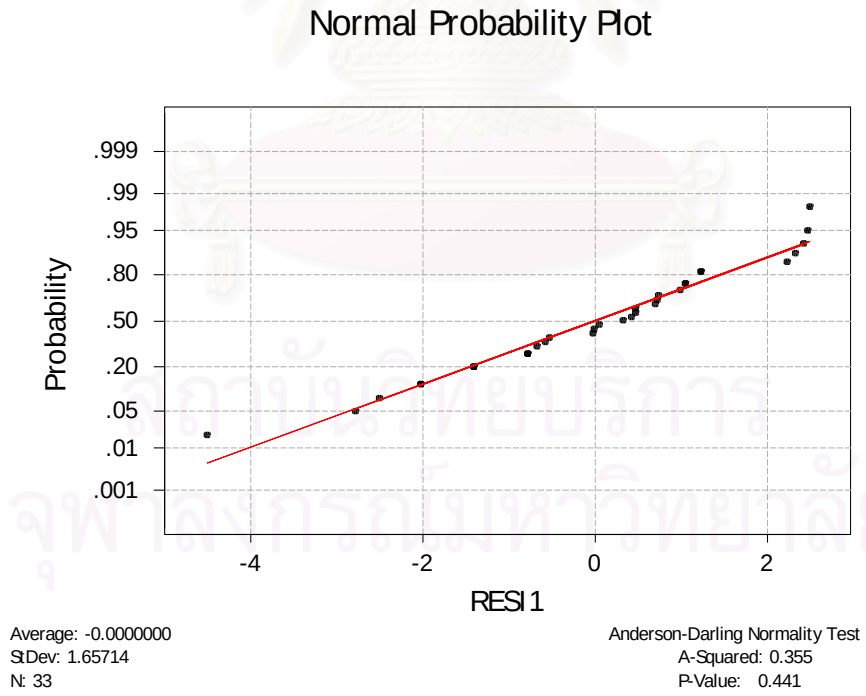
รูปแบบของการทดลองนี้มีลักษณะของพจน์ที่เป็นสมการกำลังสอง (Second order) หรือ ควอดราติก (Quadratic) ร่วมด้วย แสดงว่ารูปแบบของการทดลองนี้เป็นลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature)

2. การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ

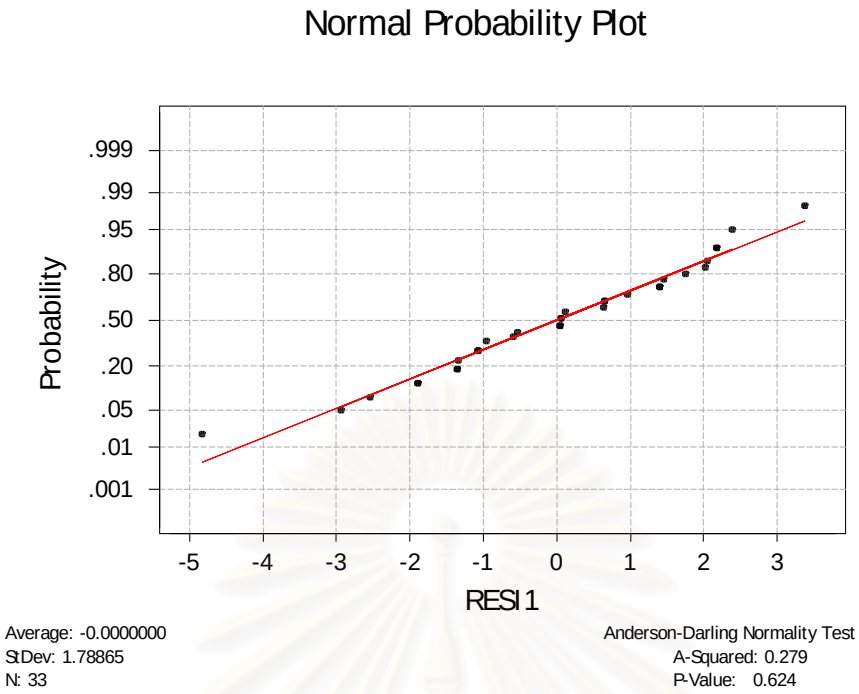
เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ, ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งวิธีในการพิจารณาจะใช้การวิเคราะห์เศษเหลือ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

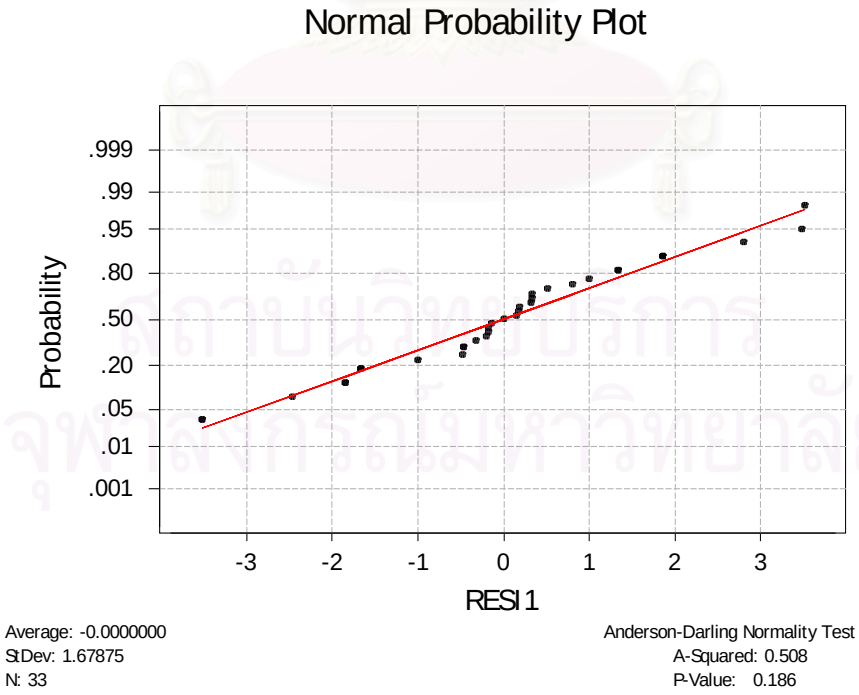
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของตัวแปรตอบสนอง (ค่าความเปรียบต่างสี) ที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ ข-1 ,ข-2 และ ข-3



รูปที่ ข-1 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Black color)



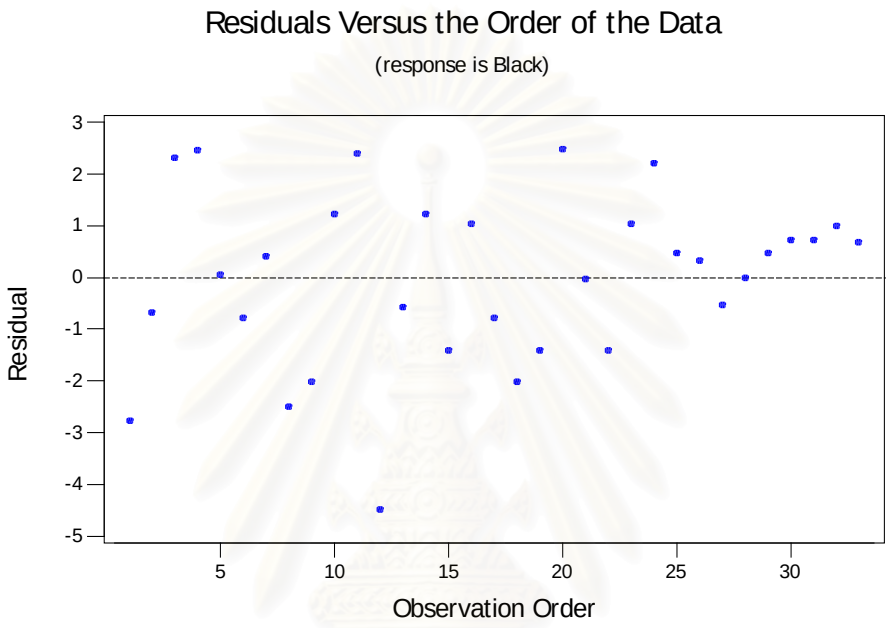
รูปที่ ข-2 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Magenta color)



รูปที่ ข-3 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Yellow color)

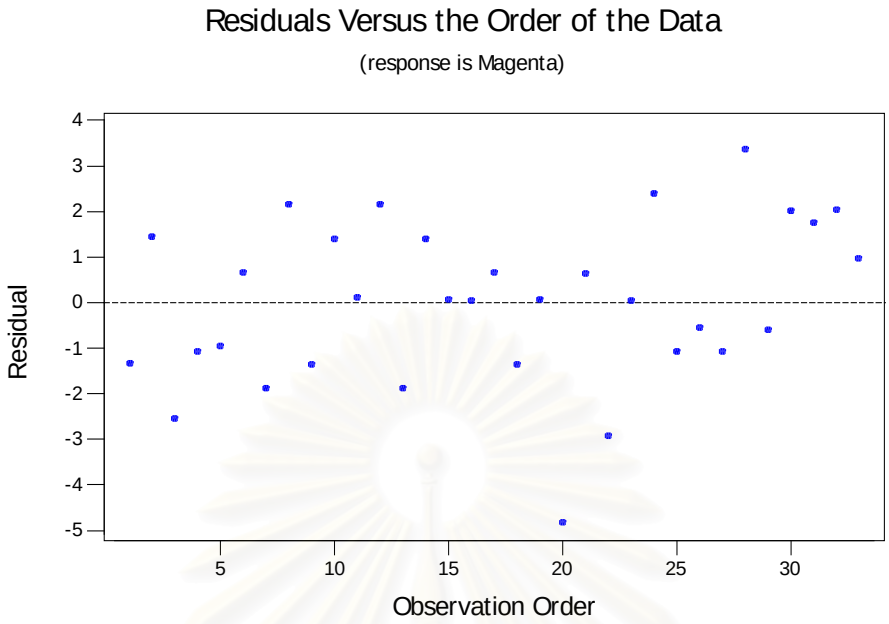
2.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ ข-4 ,ข-5 และ ข-6 โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบ ควรจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

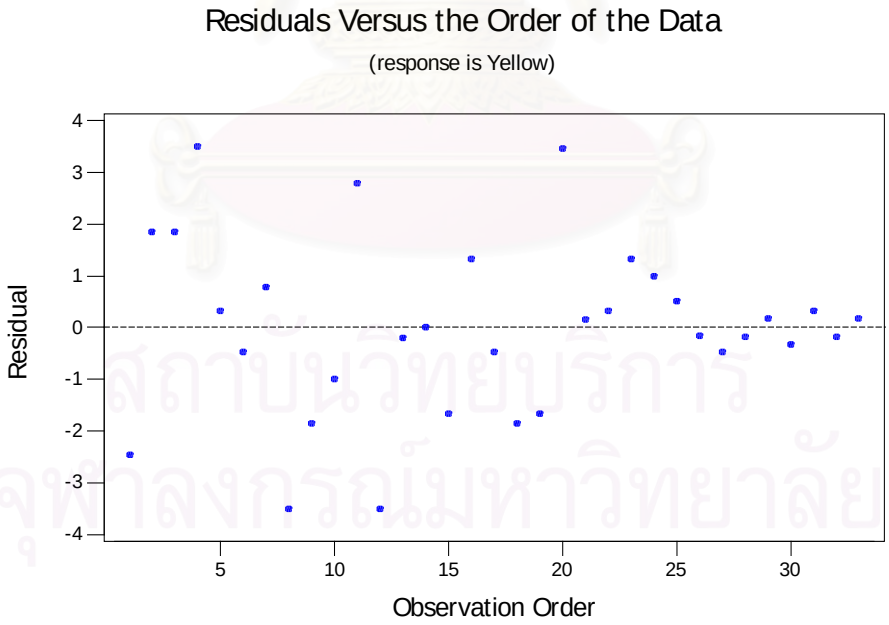


รูปที่ ข-4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และลำดับของข้อมูล (Black color)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข-5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และลำดับของข้อมูล (Magenta color)

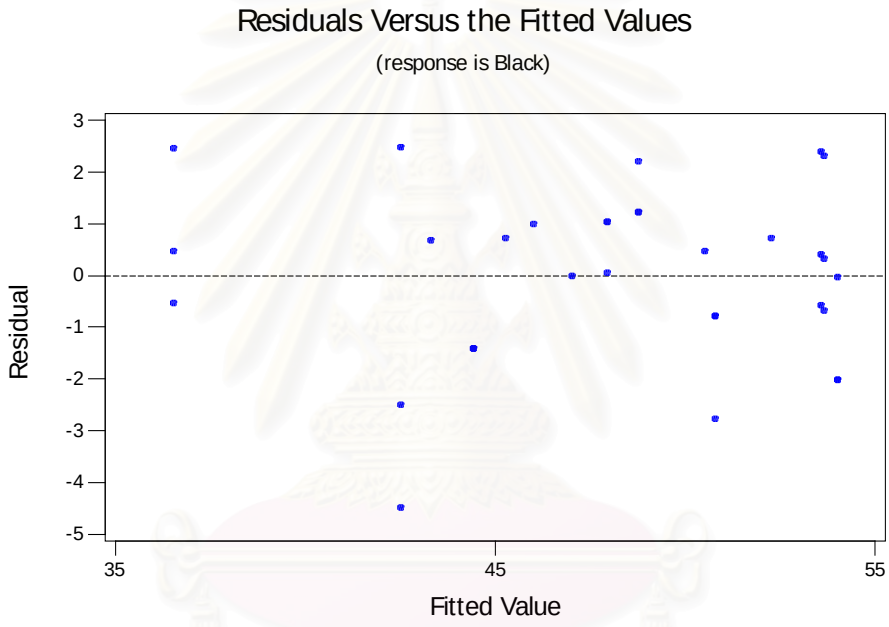


รูปที่ ข-6 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และลำดับของข้อมูล (Yellow color)

จากกราฟสังเกตได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

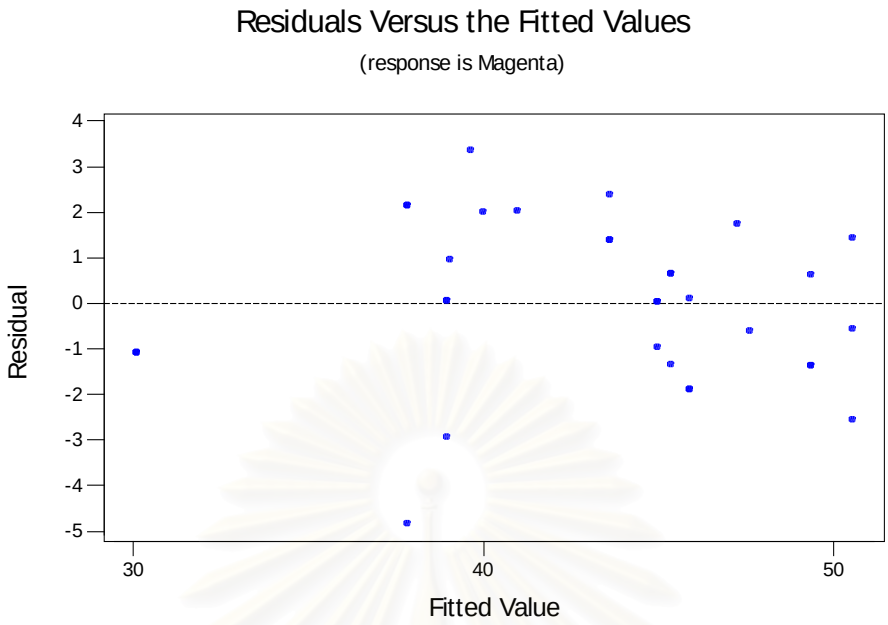
2.3 ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงได้ในรูปที่ ข-7,ข-8 และ ข-9 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน

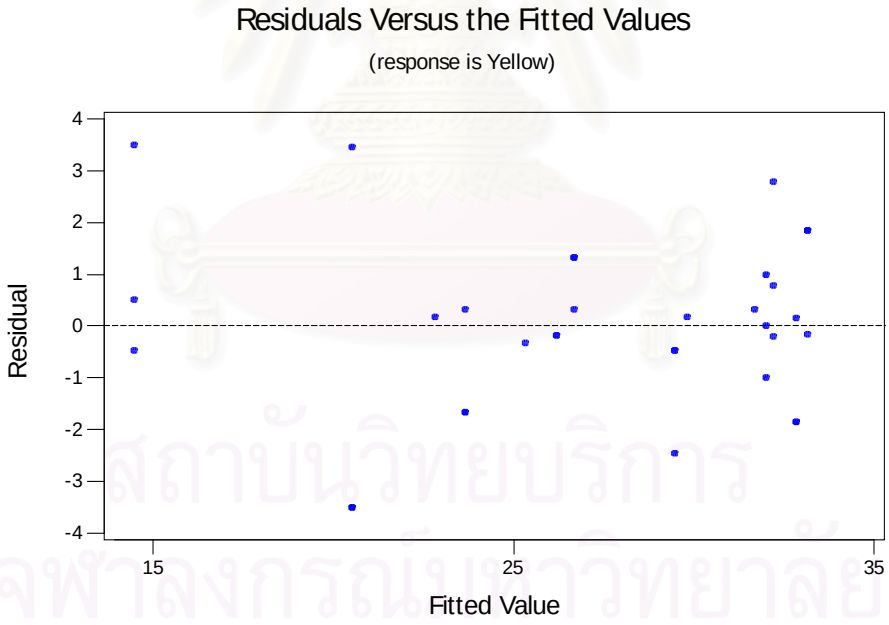


รูปที่ ข-7 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูก Fit (Black color)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข-8 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูก Fit (Magenta color)



รูปที่ ข-9 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูก Fit (Yellow color)

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

3. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

เพื่อเป็นการวินิจฉัยความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ จะนำหลักการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Regression Analysis) มาช่วยในการวิเคราะห์ ดังนี้คือ

3.1 ตัวแบบถดถอย

3.1.1 จากข้อมูลที่ได้ และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบลดรูปของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง นำเทอมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญคือ ปัจจัยหลัก ปริมาณหมึกของ Ink key ,รอบการจ่ายหมึก และรอบการจ่ายน้ำ รวมทั้งอิทธิพลร่วม มาหาความสัมพันธ์เพื่อหาตัวแบบถดถอย ผลจากตารางที่ 6.6 พบว่า รูปแบบของการทดลองนี้มีลักษณะของพจน์ที่เป็นสมการกำลังสอง (Second order) หรือควอดราติก (Quadratic) ร่วมด้วย แสดงว่ารูปแบบของการทดลองนี้เป็นลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) ซึ่งสามารถหาสมการถดถอยที่เป็นตัวแทนของตัวแบบของความเปรียบต่างสีได้ดังนี้

3.1.1.1 สมการถดถอยของค่าความเปรียบต่างสีของ Black color คือ

Y = 48.7699 + 0.794529 (Ink Volumn) + 1.58274 (Ink Feed) – 0.61069 (Water Feed) – 0.840512 (Water Feed *Water Feed) – 5.08333 (Ink Volumn*Ink Feed) + 1.25 (Ink Volumn*Water Feed) + 2.08333 (Ink Feed*Water Feed)

3.1.1.2 สมการถดถอยของค่าความเปรียบต่างสีของ Magenta color คือ

Y = 43.6039 + 1.80051 (Ink Volumn) + 1.64192 (Ink Feed) – 0.433165 (Water Feed) – 0.737627 (Water Feed *Water Feed) – 4.91667 (Ink Volumn*Ink Feed) + 0.916667 (Ink Volumn*Water Feed) + 3.08333 (Ink Feed*Water Feed)

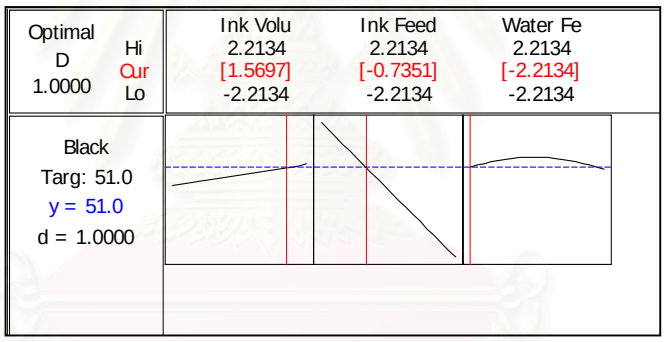
3.1.1.3 สมการถดถอยของค่าความเปรียบต่างสีของ Yellow color คือ

Y = 33.8887 + 0.824116 (Ink Volumn) + 1.43481 (Ink Feed) – 0.758628 (Water Feed) –1.58754 (Ink Volumn*Ink Volumn) – 1.48548(Ink Feed*Ink Feed) - 2.30198 (Water Feed *Water Feed) – 5.29167 (Ink Volumn*Ink Feed) + 1.37500 (Ink Volumn*Water Feed) + 2.45833 (Ink Feed*Water Feed)

3.1.2 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

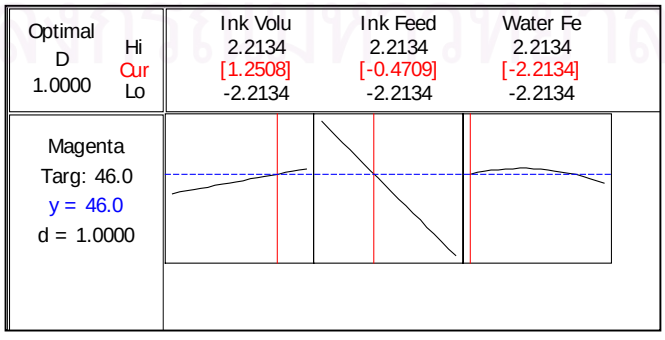
จากตัวแบบถดถอยข้างต้น สามารถพยากรณ์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ความเปรียบต่างสีที่มากที่สุด ซึ่งผลจากการวิเคราะห์แสดงได้ดังนี้

3.1.2.1 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลองของค่าความเปรียบต่างสีของ Black color



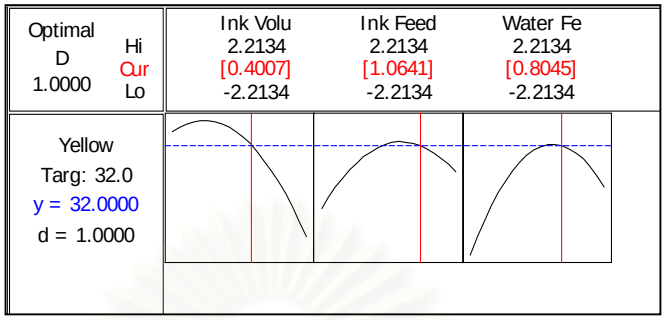
รูปที่ ข-10 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Black color)

3.1.2.2 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลองของค่าความเปรียบต่างสีของ Magenta color



รูปที่ ข-11 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Magenta color)

3.1.2.3 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลองของค่าความเปรียบต่างสีของ Yellow color



รูปที่ ข-12 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Yellow color)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

Control Phase

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	เอกสารวิธีปฏิบัติงาน	รหัสเอกสาร
	เรื่อง การตั้งฉากและการตั้งสีเครื่องพิมพ์ KOMORI	F-PR-I-41

วัตถุประสงค์ เพื่อให้ตำแหน่งพิมพ์ของภาพในแต่ละสีพิมพ์อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง และให้แผ่นพิมพ์ที่ได้มีสีเหมือนหรือใกล้เคียงกับตัวอย่างสีในมาสเตอร์ไฟล์ (Master File)

หน่วยงานผู้ใช้ หน่วยงานพิมพ์

ผู้ปฏิบัติ ช่างพิมพ์

จุดปฏิบัติงาน ห้องพิมพ์

วิธีปฏิบัติงาน

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.) ปล่อยหมึกเข้าสู่ลูกกลิ้งสำหรับป้อมพิมพ์ที่ใช้มี 2วิธีดังต่อไปนี้

5.1) ใช้พายป้ายหมึกจากรางหมึกแล้วแปะบนลูกกลิ้งหมึกลูกบนสุด

5.2) ปล่อยหมึกเข้าสู่ลูกกลิ้งหมึกโดยให้รับหมึกจากรางหมึก ทำตามขั้นตอนดังนี้

5.2.1) กดปุ่ม Ink Duct Roller ไปที่ตำแหน่ง On ดังรูปที่ 1 (อยู่บน Unit)และกดปุ่ม Ink Duct Roller เพื่อเลือก Unit ที่ต้องการปล่อยหมึกเข้าลูกกลิ้งที่ PQC ดังรูปที่ 2

5.1.2) ปล่อยให้ลูกดักเตอร์ (Ink Duct Roller) รับหมึกจากลูกหมึกในรางหมึก (Ink Fountain Roller) เพื่อส่งต่อไปยังลูกกลิ้งหมึกอื่น ๆ ในป้อมพิมพ์ รอสักระยะจนเห็นว่าปริมาณหมึกในลูกกลิ้งหมึกเพียงพอแล้วจึงกดปุ่ม Ink Duct Roller

6.) กดปุ่ม Ink Form Roller ไปที่ ON เพื่อให้ลูกกลิ้งหมึกเตะเพลท (Form Roller) เลื่อนลงไปแตะกับผิวหน้าเพลทเพื่อจ่ายหมึกลงบนเพลท ปฏิบัติกับทุกป้อมพิมพ์ที่มีการพิมพ์สีในงานนั้น

7.) ปล่อยไว้สักระยะโดยสังเกตุให้มีหมึกบนผิวหน้าแม่พิมพ์ จากนั้นบิดปุ่ม Ink Form Roller ไปที่ Auto

8.) กดปุ่ม Slow

9.) บอกให้พนักงานฟีดเดอร์เริ่มปล่อยกระดาษเข้าเครื่องเพื่อทำการตั้งฉาก (ใช้ใบซับ 10 –20 แผ่น ใช้กระดาษขาว 2-5 แผ่น)

ฉบับที่	แก้ไขครั้งที่	ผู้อนุมัติ	วันที่เริ่มใช้	ผู้ขออนุมัติ	หน้า
1	1				1/4

	เอกสารวิธีปฏิบัติงาน	รหัสเอกสาร
	เรื่อง การตั้งฉากและการตั้งสีเครื่องพิมพ์ KOMORI	F-PR-I-41

10.) ดึงกระดาษที่ผ่านการพิมพ์เรียบร้อยแล้วออกมาจากหน่วยรับกระดาษ(Delivery)

11.) เริ่มทำการปรับตั้งฉาก โดยปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

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

11.2) บอกให้พนักงานฟีดเดอร์ตั้งฉากข้าง โดยให้ขอบกระดาษอยู่ตรงกับมาร์คเช็คฉากข้าง

11.3) ดูมาร์คฉากของภาพพิมพ์ในแต่ละสีว่าทับกันสนิทหรือไม่ ถ้ามาร์คพิมพ์ทับกันไม่สนิทก็ให้ปรับตั้งให้มาร์คฉากพิมพ์ ทับกันให้สนิท โดยปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

11.3.1) กดปุ่มเลือกป้อมพิมพ์ที่ต้องการจะปรับตั้ง

11.3.2) ปรับมาร์คพิมพ์ให้ทับกันสนิทโดยยึดสีใดสีหนึ่งเป็นหลักโดยปฏิบัติดังนี้

- ถ้าต้องการให้มาร์คพิมพ์ขึ้น ลงให้กดปุ่ม CIRCUM โดยการปรับมากที่สุดคือปรับขึ้น 1มม. และปรับลง 1มม.
- ถ้าต้องการให้มาร์คพิมพ์เลื่อนไปทางซ้าย-ขวา ก็ให้กดปุ่ม LATERAL โดยปรับมากที่สุดคือปรับไปทางซ้าย 3 มม. และขวา 3 มม.
- ถ้าต้องการให้มาร์คพิมพ์เลื่อน เอียง (ตะแคง) ให้กดปุ่ม Cocking โดยปรับมากที่สุดขึ้น 0.15 และลง0.15

12) ปฏิบัติตามข้อ 8 ถึงข้อ 10 จนกระทั่งมาร์คทุกสีทับกันสนิทดี หรือภาพพิมพ์ที่ได้ไม่เหลื่อมขาว

13) ในระหว่างการปรับตั้งฉากนั้นต้องปรับตั้งสีไปพร้อม ๆ กันโดยมีขั้นตอนในการปรับตั้งดังต่อไปนี้

13.1) ดูเปรียบเทียบสีระหว่างแผ่นพิมพ์ กับ ตัวอย่างสีในมาสเตอร์ไฟล์ (Master File)

13.2) เริ่มทำการปรับตั้งสีที่ PQC โดยกดปุ่มเลือกหน่วยพิมพ์ที่ต้องการปรับตั้งสี

13.3) ปรับค่า Ink Volumn และ Ink Feed เพื่อเพิ่ม หรือลดหมึก โดยการกดปุ่ม Full Set เพื่อปล่อยหมึกขึ้นไปทั้งหมดก่อน และปรับรอบการจ่ายน้ำ โดยดูได้จากจอแสดงการปล่อยหมึกบนแท่น PQC ตามตารางที่ 1

	Black	Cyan	Magenta	Yellow
ปริมาณหมึกของ Ink key	110	102	88	28
รอบการจ่ายหมึก	7	8	11	43
รอบการจ่ายน้ำ	6	6	6	20

13.4) กดปุ่ม Stop เมื่อปริมาณหมึกถึงระดับที่ต้องการ

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

	เอกสารวิธีปฏิบัติงาน	รหัสเอกสาร
	เรื่อง การตั้งฉากและการตั้งสีเครื่องพิมพ์ KOMORI	F-PR-I-41

13.5) ทำการปรับแผงควบคุมการปล่อยหมึกเฉพาะที่ โดยดูจากภาพว่าส่วนไหนควรปล่อยหมึกมากหรือน้อยเพียงใดโดยแผงควบคุมจะมีเลขกำกับอยู่ตั้งแต่เลข 1-23 ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งต่อขึ้นไปยังรางหมึกต่อไป

ในการเพิ่มปริมาณ หมึกให้ทำการกดปุ่ม ในการลดหมึกให้กดปุ่ม

13.6) กดปุ่ม [+] หรือ [-] ของปุ่ม Water Feed : Set เพื่อตั้งรอบการหมุนของลูกน้ำในรางน้ำ ซึ่งถ้าหมุนเร็วน้ำจะถูกจ่ายมาก จะทำสีอ่อนลง ในการปล่อยน้ำต้องจ่ายให้น้อยที่สุดจนเกิดสกัมแล้วค่อยเพิ่มน้ำ

14.) การเพิ่มหมึกหรือลดหมึกในลูกกลิ้งหมึก

14.1) การเพิ่มหมึกเข้าสู่ลูกกลิ้งหมึกให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 4 แต่ต้องทำไปพร้อมกับการปรับการจ่ายน้ำและหมึกที่ PQC ด้วย

4.2) การลดหมึกในลูกกลิ้งหมึกทำได้โดย

4.2.1) เลือกป้อมพิมพ์ที่ต้องการจะลดหมึก แล้วกดปุ่ม Ink Duct Roller ให้ไฟแสดงผลการทำงานดับ

4.2.2) ปล่อยกระดาษเข้าพิมพ์เพื่อทำการตั้งสีประมาณ 20-30 แผ่น

15.) เพิ่มหรือลดหมึกและปรับแต่งสี จนกว่าแผ่นพิมพ์ที่ได้จะมีสีใกล้เคียงหรือเหมือนกับตัวอย่างสีในมาสเตอร์ไฟล์

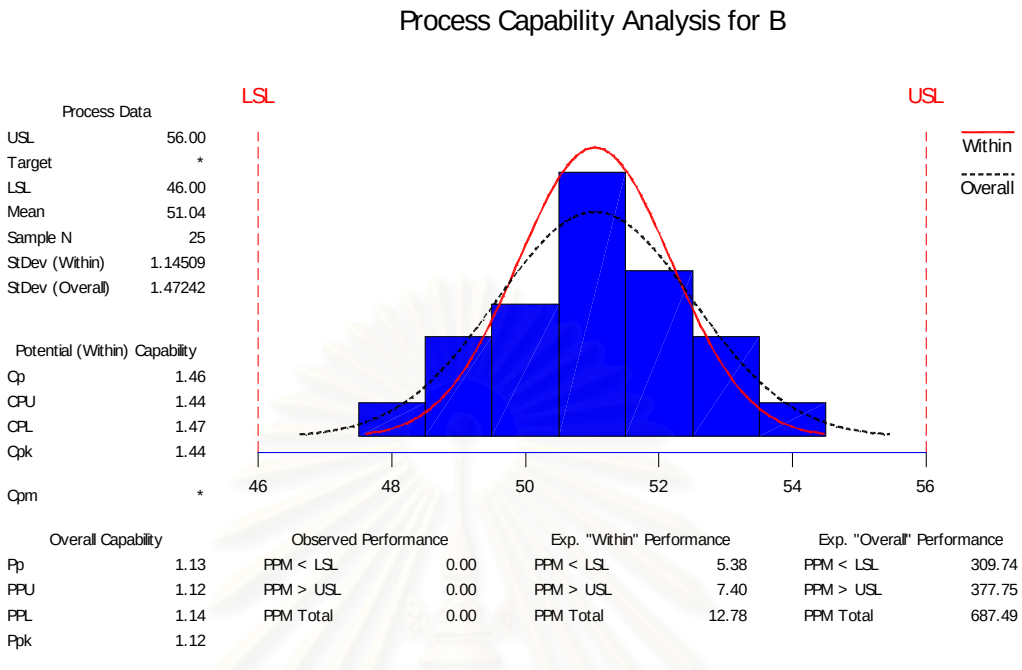
คำจำกัดความ

-

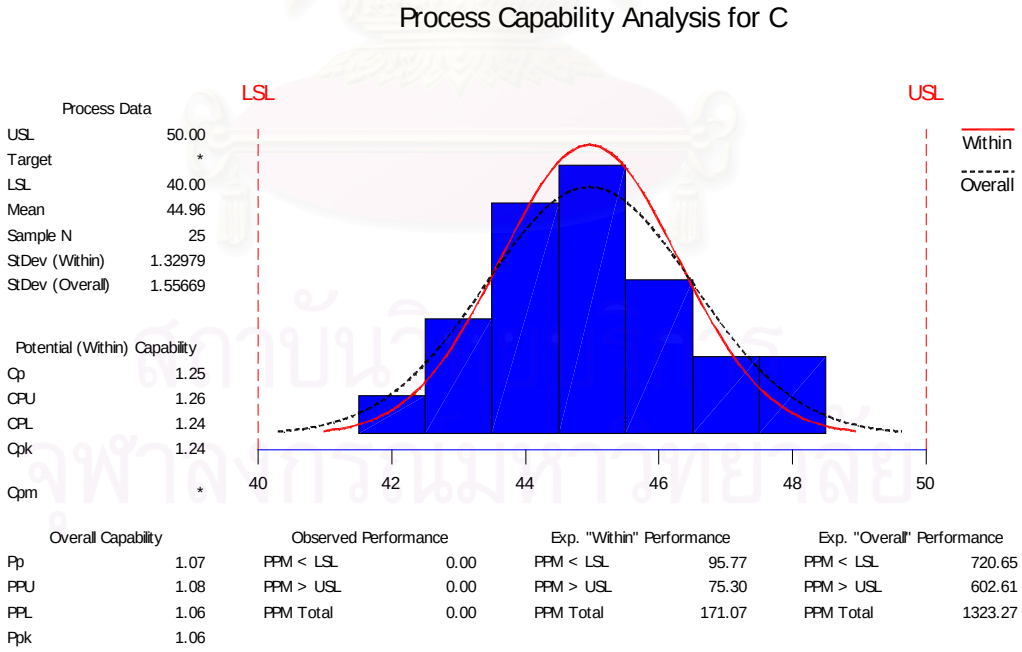
เอกสารอ้างอิง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

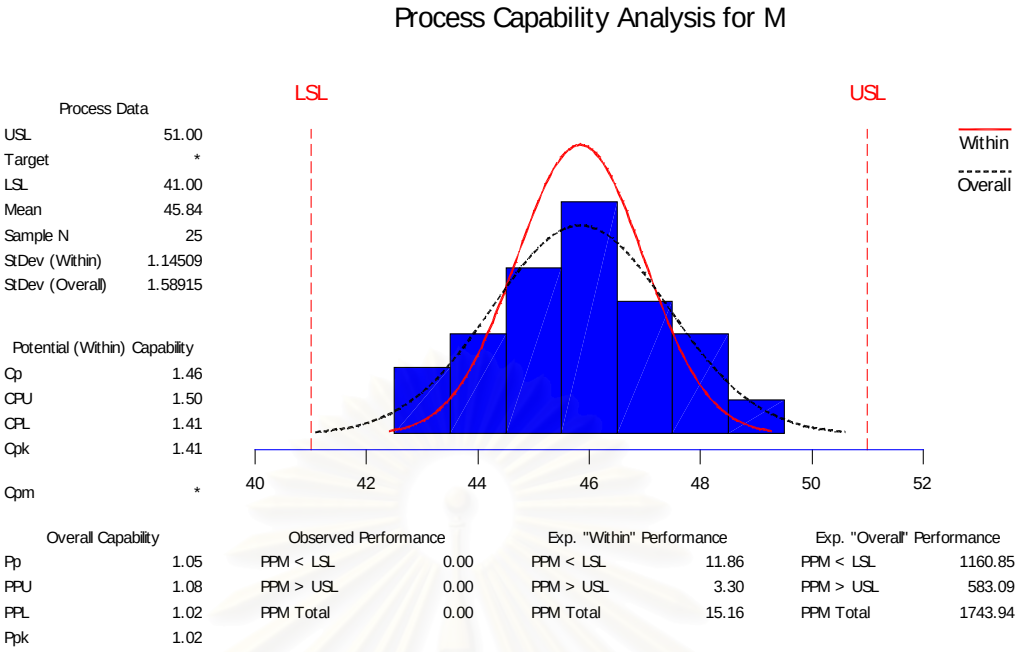
ฉบับที่	แก้ไขครั้งที่	ผู้อนุมัติ	วันที่เริ่มใช้	ผู้ขออนุมัติ	หน้า
1	1				3/4



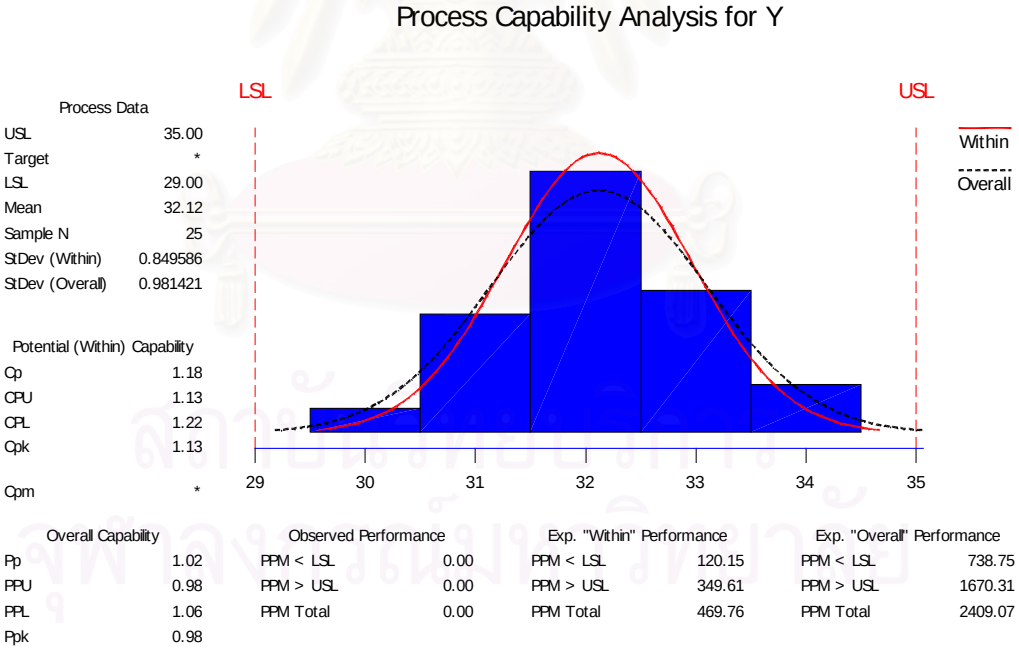
รูปที่ ค-1 Process capability ของสีดำ (Black color) หลังการปรับปรุง



รูปที่ ค-2 Process capability ของสีฟ้า (Cyan color) หลังการปรับปรุง



รูปที่ ค-3 Process capability ของสีแดง (Magenta color) หลังการปรับปรุง



รูปที่ ค-4 Process capability ของสีเหลือง (Yellow color) หลังการปรับปรุง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชนัตถ์ โรจนะบุรานนท์ เกิดวันที่ 14 มกราคม พ.ศ. 2520 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีพ.ศ.2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย