ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพิมพ์ออฟเซตบนกล่องบรรจุภัณฑ์ โดยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: โรงงานผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษ

โดย นางสาวเสาวภา แซ่ชั่น

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

_____ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงษ์)

26 มีนาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร)

_____ กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์)

_____ กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชัยพร วงศ์พิศาล)

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพิมพ์ออฟเซตบนกล่องบรรจุภัณฑ์ โดยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: โรงงานผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษ

นางสาวเสาวภา แซ่ชั่น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นางสาวเสาวภา แซ่ชั่น
ชื่อเรื่อง : การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพิมพ์ออฟเซตบนกล่องบรรจุภัณฑ์ โดยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: โรงงานผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษ
สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รองศาสตราจารย์สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร
ปีการศึกษา : 2549

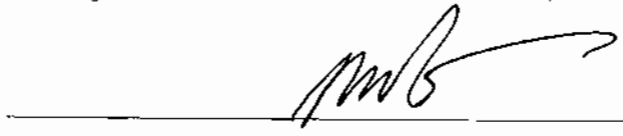
บทคัดย่อ

จากการศึกษาปัญหาของเสียในโรงงานกรณีศึกษา พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการพิมพ์มีมาก แต่ที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือ การเกิดสกัม อันเนื่องมาจากการปรับตั้งองค์ประกอบการพิมพ์ซึ่งมีหลายสาเหตุ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment) เพื่อศึกษาสภาวะของพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ระบบออฟเซต ที่จะทำให้เกิดปัญหาสกัมน้อยที่สุด โดยการใช้ Fractional Factorial Design (2^{6-1}) จากปัจจัยที่นำมาศึกษาทั้ง 6 ปัจจัย ได้ค่าที่เหมาะสมในการตั้งเครื่องพิมพ์ คือ ความเร็วในการพิมพ์ที่ 6,300 – 6,500 แผ่นต่อชั่วโมง ค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่ 5% - 15% ระยะเส้นเบียดลูกน้ำที่ 4 - 6 เซนติเมตร ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทนที่ pH 4.5 – 5.5 อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทนที่ 10 - 16 องศาเซลเซียส และระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ที่ 4 - 6 มิลลิเมตร จากนั้นได้ทำการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาสกัมที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบเหลือเพียง 2 ปัจจัย คือ ความเร็วในการพิมพ์ และอุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน ดังนั้น จึงได้ทำการทดลองในปัจจัยละ 3 ระดับ เป็นแบบการทดลอง 3^2 Factorial Design และพบว่าการตั้งค่าความเร็วในการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ที่ทำให้เกิดของเสียจากปัญหาสกัมน้อยที่สุดอยู่ที่ 6,300 แผ่นต่อชั่วโมง และอุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทนที่ 15.6 องศาเซลเซียส

เมื่อนำผลที่ได้จากการวิจัยมาใช้ในกระบวนการทำงานจริงพบว่า จำนวนของเสียลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมเฉลี่ย 21,209 แผ่น เหลือเพียง 468 แผ่น ซึ่งการผลิตเฉลี่ย 900,000 แผ่น/เดือน คิดเป็นของเสียที่ลดลงได้ 76.49 % และสามารถลดค่าใช้จ่ายจากเดิม 293,603.16 บาท/ปี เหลือเพียง 69,020.64 บาท/ปี คิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 224,582.52 บาท/ปี

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 139 หน้า)

คำสำคัญ : การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง, กระบวนการพิมพ์, การพิมพ์ระบบออฟเซต



อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Miss Saowapa Sae-Chan

Thesis Title : The Study of Suitable Factors in Printing Process by Design of Experiment A Case Study: Paper Packaging Factory

Major Field : Industrial Engineering

King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok

Thesis Advisor : Associate Professor Somkiat Jongprasithporn

Academic Year : 2006

Abstract

According to paper packaging factory, the researcher found that the most frequency problem is Scrumming; it is caused by unsuitable parameter setting. This study uses Design and Analysis of Experiment for finding optimum parameter for printing on package paper to reduce scrumming defect feature. Fractional Factorial Design (2^{6-1}) was using for screening factors. It was determined that there are 6 factors that may cause scrumming: the speed of printing 6,300-6,500 pages per hour, alcohol 5%-15%, line of roller 4-6 cm., value of fountain solution pH 4.5-5.5, temperature of fountain solution 10-16 degree Celsius and pressure between water roller and plate 4-6 mm. The results of this experiment show that the speed of printing and fountain solution temperature. The 2 significant factors are then investigated further using 3^2 Factorial Design and Response Surface Methodology in order to find the optimal factor values. The analytical results indicate that the factor values for minimizing the scrumming feature defects are found to be at speed of printing (A) = 6,300 pages per hour, and temperature of fountain solution (B) = 15.6 degree Celsius.

Using optimum parameters to the real process in a paper packaging factory shows that the scrumming feature defect were reduced by 76.49%. This resulted in a reduction costs from 293,603.16 baht per year down to 69,020.64 baht per year, for a net saving of 224,582.52 baht per year.

(Total 139 pages)

Keywords : Design and Analysis of Experiment, Printing Process, Offset Printing

Somkiat J. _____ Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร รองศาสตราจารย์ชัยพร วงศ์พิศาล และอาจารย์ ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาและกรรมการวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่า ช่วยเหลือให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลงได้ด้วยดี

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งมีคุณชะโลม จันทร์ทอง ผู้จัดการฝ่ายผลิต และคุณจำนงค์ โสโท ที่ได้ให้การสนับสนุนความรู้ด้านต่างๆ และช่วยเหลือในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณคุณปริญญา ศรีสัตย์กุล ซึ่งได้ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์การทดลองจนวิทยานิพนธ์เสร็จสิ้น และขอขอบคุณกำลังใจจากเพื่อนๆ ที่ให้การช่วยเหลือตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้กำลังใจและสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์แก่ข้าพเจ้าเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

เสาวภา แซ่ชั่น

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	4
1.6 ประโยชน์ของการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 เทคโนโลยีการพิมพ์	7
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการพิมพ์ออฟเซต	8
2.3 การควบคุมคุณภาพงานพิมพ์	14
2.4 ขั้นตอนการผลิตสิ่งพิมพ์ (Printing Process)	14
2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์	14
2.6 วัสดุการพิมพ์ที่สำคัญ	15
2.7 กระบวนการพิมพ์ระบบออฟเซตของโรงงาน	19
2.8 ลักษณะของเสียที่เกิดในงานพิมพ์	20
2.9 เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการวิจัย	21
2.10 ทฤษฎีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง	22
2.11 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)	25
2.12 มิติของการออกแบบ	36
2.13 การทดสอบสมมติฐาน	37
2.14 วิธีการพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.15 การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองกำลังสอง	42
2.16 การออกแบบการทดลองสำหรับฟิต (Fit) พื้นผิวผลตอบสนอง	45
2.17 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล	47
2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	49
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	53
3.1 การกำหนดปัจจัย ระดับปัจจัย ค่าตอบสนองที่ใช้ในการวิจัย และสมมติฐาน	53
3.2 การเลือกแบบการทดลอง	56
3.3 การดำเนินการทดลองโดยใช้ 2^{k-p} Factorial Design	57
3.4 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	60
3.5 วิธีการทดสอบการทดลอง	60
3.6 รูปแบบการทดลอง	61
3.7 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)	65
3.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน	71
3.9 อำนาจการทดสอบข้อมูล (Power of Test)	76
3.10 การทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	77
บทที่ 4 ผลการทดลอง	79
4.1 การดำเนินการทดลองโดยใช้เทคนิควิธีพื้นผิวตอบสนอง	79
4.2 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองขั้นต้น	82
4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง	84
4.4 การเปรียบเทียบผลวิจัย	90
4.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	94
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	95
5.1 สรุปผลการวิจัย	95
5.2 ข้อเสนอแนะ	98
บรรณานุกรม	99
ภาคผนวก ก	103
การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองจากปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาสกัม	104

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข 123

การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองสำหรับปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อปัญหาสกัม 124

ภาคผนวก ค 133

ตัวอย่างเอกสารในการตรวจสอบคุณภาพการพิมพ์ระบบออฟเซต 134

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1 แสดงสัดส่วนของเสียของแต่ละกระบวนการผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ในช่วงเดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม 2548	2
1-2 แสดงสัดส่วนของเสียในกระบวนการพิมพ์ระบบออฟเซตสำหรับสินค้าขนาดมาตรฐานในช่วงเดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม 2548	2
2-1 แสดงลักษณะของเสียที่เกิดในงานพิมพ์	20
2-2 แสดงรูปแบบและลักษณะการทดลอง	23
2-3 รูปแบบการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย	27
2-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร แบบ Fixed Effect Model	30
2-5 แสดงเครื่องหมายบวกและลบสำหรับการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^3	32
2-6 แสดงผลรวมเชิงเส้น 3 ปัจจัย	35
3-1 แสดงระดับของพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษา	54
3-2 แสดงความสัมพันธ์แฝดแฝงการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2^{k-p}	56
3-3 แสดงตัวอย่างการออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Factorial	61
3-4 แสดงการออกแบบการทดลองแบบ 2_{VI}^{6-1} Factorial	62
3-5 แสดงการจัดเรียงการทดลอง	63
3-6 การทดลองและการเก็บข้อมูลของค่าตอบสนอง	64
3-7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง	71
3-8 แสดงอำนาจการทดสอบข้อมูล	77
4-1 แสดงระดับของพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาพื้นผิวตอบสนอง	80
4-2 การออกแบบ 3^k Factorial Design ที่มี 2 ตัวแปร จากการลำดับการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab Version 13	80
4-3 แสดงการจัดเรียงลำดับการทดลอง	81
4-4 แสดงการเก็บข้อมูลการทดลอง	81
4-5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่มีรูปแบบสมการแบบฟูลควอทเดทริก (Full Quadratic)	83
4-6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-7 แสดง Out Put Optimization Point จากโปรแกรม	89
4-8 แสดงของเสีย (Defect) ที่เกิดขึ้น	90
5-1 แสดงค่าที่เหมาะสมและเป็นมาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องพิมพ์สำหรับปัจจัยที่ทำการทดลอง	97
ก-1 แสดงตัวอย่างการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกเทอเรียลแบบ 2^{k-p}	104
ก-2 ความสัมพันธ์แผดแผ่งการออกแบบเชิงแฟกเทอเรียล 2^{k-p} ($k < 15, n < 64$)	110
ก-3 แสดงการกระจายแบบ t	118
ก-4 แสดงการกระจายแบบ F	119
ก-5 แสดง Characteristic Curves	121

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	แสดงของเสียจากงานพิมพ์ที่เกิดขึ้น (ก) สกัม (ข) ขี้หมึก (ค) สีไม่เหมือน	3
1-2	แสดงแผนภูมิสัดส่วนของเสียจากงานพิมพ์ขนาดมาตรฐาน	3
2-1	แสดงหน่วยพิมพ์ของเครื่องป้อนม้วนที่พิมพ์ได้คราวละหน้าเดียวและสองหน้า	10
2-2	แสดงภาพโมแม่พิมพ์ โมยาง และโมกดพิมพ์	11
2-3	ระบบดรัม (Drum type)	11
2-4	หน่วยพิมพ์ของการพิมพ์ออฟเซต	13
2-5	กระบวนการผลิตสินค้าสำเร็จรูปในระบบออฟเซต	19
2-6	แสดงตัวอย่างแผนภูมิเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)	21
2-7	แสดง $\frac{1}{2}$ ของการออกแบบ 2^3 หรือ 2^{3-1}	33
2-8	การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการทดลอง 3^3 Factorial Design	36
2-9	แสดงภาพพื้นผิวผลตอบสนองในรูปแบบของกราฟ 3 มิติ	40
2-10	แสดงกราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวผลตอบสนอง	40
2-11	แสดงวิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง	42
2-12	รูปแบบบัญญัติของแบบจำลองกำลังสอง	44
2-13	แสดงการออกแบบส่วนประสมกลางสำหรับสำหรับ k=2 และ k=3	46
2-14	การออกแบบ แบบเฟซเซนเตอร์ (Face-Centered) ส่วนประสมกลางสำหรับ k=3	47
3-1	แสดงเตรียมความพร้อมของกระดาษ	57
3-2	แสดงการทำความสะอาดเครื่องพิมพ์	58
3-3	แสดงการตรวจสอบงานพิมพ์ระหว่างการพิมพ์	59
3-4	แสดงการตรวจสอบงานพิมพ์	60
3-5	แสดงการกระจายแบบปกติของค่า Residual	65
3-6	แสดงฮีสโทรแกรมการกระจายตัวแบบปกติของค่า Residual	66
3-7	แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Observation Order	66
3-8	แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Speed	67
3-9	แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Alcohol	67
3-10	แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Line	68
3-11	แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ pH Value	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-12	แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Temperature	69
3-13	แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Pressure	69
3-14	แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Fitted Value	70
3-15	แสดงแผนภูมิพาเรโต้ (Parcto) ของอิทธิพลในแต่ละปัจจัย	72
3-16	กราฟแสดง Normal Probability Plot of the Standardized Effect	72
3-17	แสดงกราฟของอิทธิพลหลัก 6 ปัจจัย	73
3-18	แสดงกราฟของอิทธิพลร่วม 2 ตัวแปร	73
4-1	แสดงการกระจายแบบปกติของค่า Residual	85
4-2	แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Speed	85
4-3	แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Temperature	86
4-4	แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Observation Order	86
4-5	แสดงกราฟของอิทธิพลร่วม 3 ระดับ	87
4-6	แสดงพื้นผิวตอบสนองของของอิทธิพลร่วมระหว่าง Speed กับ Temperature	88
4-7	กราฟแสดงจุดตัดที่ทำให้จำนวนของเสียต่ำสุด	88
4-8	กราฟแสดงจุดตัดที่เหมาะสมในการปรับค่าพารามิเตอร์	89
4-9	แสดงการเปรียบเทียบค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณ และค่า F จากการเปิดตาราง	92
4-10	แสดงการเปรียบเทียบค่า t_0 ที่ได้จากการคำนวณ และค่า t จากการเปิดตาราง	93
4-11	แสดงกราฟแท่งเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย	94
ข-1	แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Speed กับ Alcohol	124
ข-2	แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Speed กับ Line	124
ข-3	แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Speed กับ pH Value	125
ข-4	แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Speed กับ Temperature	125
ข-5	แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Speed กับ Pressure	126
ข-6	แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Alcohol กับ Line	126
ข-7	แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Alcohol กับ pH Value	127
ข-8	แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Alcohol กับ Temperature	127
ข-9	แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Alcohol กับ Pressure	128

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ข-10 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Line กับ pH Value	128
ข-11 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Line กับ Temperature	129
ข-12 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Line กับ Pressure	129
ข-13 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง pH Value กับ Temperature	130
ข-14 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง pH Value กับ Pressure	130
ข-15 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Temperature กับ Pressure	131

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันสภาวะการแข่งขันทางธุรกิจทวีความรุนแรงสูงขึ้น ธุรกิจทุกประเภทต้องปรับตัวเพื่อให้เกิดความได้เปรียบในเชิงธุรกิจ และสามารถอยู่รอดในตลาดการค้าได้ ไม่เว้นแม้แต่ธุรกิจการพิมพ์บรรจุภัณฑ์ เนื่องจากการออกแบบบรรจุภัณฑ์ (Packaging) ที่ดี สามารถดึงดูดความสนใจของผู้ซื้อ ดังนั้น ผู้บริหารจึงต้องหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับตนเอง เพื่อปรับกลยุทธ์ในการดำเนินธุรกิจ ทำให้บริษัทมีความสามารถในการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ต่ำกว่าคู่แข่ง

อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ในประเทศไทยสามารถจำแนกได้ 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ บรรจุภัณฑ์กระดาษ บรรจุภัณฑ์พลาสติก บรรจุภัณฑ์โลหะ และบรรจุภัณฑ์แก้ว โดยอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์กระดาษมีสัดส่วนการผลิตมากที่สุดถึง ร้อยละ 43 ซึ่งบรรจุภัณฑ์กระดาษได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ กล่องกระดาษ เช่น กล่องกระดาษลูกฟูกและถุงกระดาษ เช่น ถุงกระดาษชั้นเดียวและถุงกระดาษหลายชั้น

ในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกโดยทั่วไป จะมีกระบวนการอยู่หลายขั้นตอน ได้แก่ กระบวนการพิมพ์ กระบวนการเคลือบเงาและขัดเงา กระบวนการประกบลอน กระบวนการไดคัท และกระบวนการปะ ซึ่งโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ มีระบบการพิมพ์ออฟเซต และระบบการพิมพ์เฟลกโซ ซึ่งระบบการพิมพ์แต่ละระบบ จะขอกล่าวรายละเอียดในบทที่ 2

แต่กระบวนการที่สำคัญและเกิดปัญหาของเสียเป็นจำนวนมากก็คือ กระบวนการพิมพ์ระบบออฟเซต (Offset printing) ในกระบวนการนี้มีพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ที่ต้องทำการควบคุมอยู่หลายตัว และในการปรับตั้งระดับค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ นั้น จะมีอิทธิพลต่อคุณภาพงานพิมพ์ และถ้าหากงานพิมพ์ที่ไม่มีคุณภาพส่งผ่านไปยังกระบวนการถัดไป หรือพบในกระบวนการสุดท้าย ก็จะเป็นการเสียทรัพยากรไปโดยสูญเปล่า ซึ่งทางโรงงานต้องการให้ทำการวิเคราะห์ เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมและกำหนดมาตรฐานของการทำงานในส่วนของกระบวนการพิมพ์ระบบออฟเซต เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดมาตรฐาน ซึ่งเป็นสินค้าที่มีการผลิตเป็นจำนวนมากและถือเป็นรายได้หลักของโรงงาน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม 2548 พบว่า มีของเสียจำนวน 42,646 แผ่น จากจำนวนทั้งสิ้น 2,314,271 แผ่น ซึ่งเกิดจากปัญหาสกัมมากเป็นอันดับแรก จำนวน

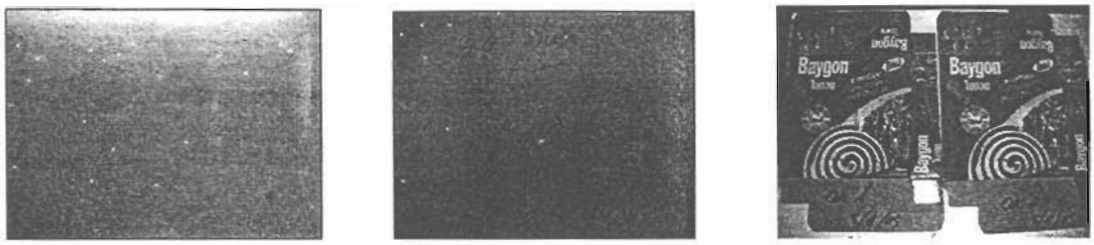
21,209 แผ่น คิดเป็น 49.73 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเกิดจากปัญหาขี้หมึกจำนวน 7,128 แผ่น คิดเป็น 16.71 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากปัญหาสีไม่เหมือนจำนวน 2,369 แผ่น คิดเป็น 5.56 เปอร์เซ็นต์ และอื่นๆ จำนวน 11,940 แผ่น คิดเป็น 28 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 12.29 บาทต่อแผ่น จากข้อมูลย้อนหลังพบว่าในช่วงเดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม 2548 จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนของปัญหาสกัมเฉลี่ยเดือนละ 43,443.10 บาท หรือเท่ากับ 521,317.20 บาทต่อปี ในตารางที่ 1-1 แสดงสัดส่วนของเสียของแต่ละกระบวนการผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ ในช่วงเดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม 2548 และในตารางที่ 1-2 แสดงสัดส่วนของเสียในกระบวนการพิมพ์ระบบออฟเซตในช่วงเดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม 2548 ดังนี้

ตารางที่ 1-1 แสดงสัดส่วนของเสียของแต่ละกระบวนการผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ ในช่วงเดือนกรกฎาคม - เดือนธันวาคม 2548

	พิมพ์	เคลือบเงา/ขัดเงา	ประกบลอน	ไดคัท	ปะมือ	ปะเครื่อง	เย็บลวด
ผลงาน (แผ่น)	2,737,588	1,112,367	581,774	2,260,850	1,431,000	2,984,830	133,499
ของเสีย (แผ่น)	88,698	222	5,236	42,278	6,869	259,680	67
% ของเสีย	3.24	0.02	0.90	1.87	0.48	0.87	0.05
% ของเสียรวม	52.38	0.13	3.09	24.97	4.06	15.33	0.04

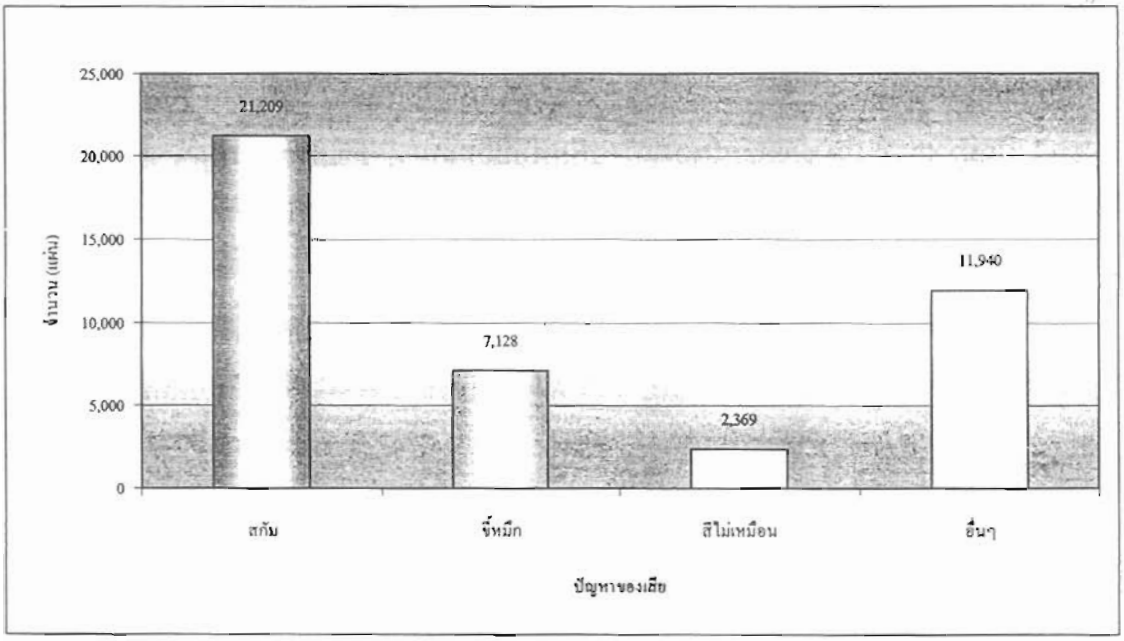
ตารางที่ 1-2 แสดงสัดส่วนของเสียในกระบวนการพิมพ์ระบบออฟเซตสำหรับสินค้าขนาดมาตรฐาน ในช่วงเดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม 2548 จากจำนวนทั้งสิ้น 42,646 แผ่น

ปัญหา	จำนวน (แผ่น)	คิดเป็น %	% รวม
สกัม	21,209	49.73	49.73
ขี้หมึก	7,128	16.71	66.44
สีไม่เหมือน	2,369	5.56	72.00
อื่นๆ	11,940	28.00	100.00



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 1-1 แสดงของเสียจากงานพิมพ์ที่เกิดขึ้น (ก) สกัม (ข) ขี้หมึก (ค) สีไม่เหมือน



ภาพที่ 1-2 แสดงแผนภูมิสัดส่วนของเสียจากงานพิมพ์ขนาดมาตรฐาน

จุดสำคัญของกระบวนการพิมพ์ระบบออฟเซตก็คือ การควบคุมระดับพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อยู่ในเครื่องจักร ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาในด้านคุณภาพของงานพิมพ์ ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวได้แก่ ความเร็วในการพิมพ์ ระยะเส้นเบียดลูกน้ำ อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน ระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์

ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้หลักของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment) ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพงานพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์ระบบออฟเซต เพื่อสนองตอบความต้องการของโรงงาน และทำการปรับปรุงกระบวนการพิมพ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อกำหนดระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการพิมพ์ระบบออฟเซต

1.2.2 เพื่อกำหนดมาตรฐานการทำงานและตอบสนองความต้องการของโรงงาน

1.3 สมมติฐาน

การปรับเปลี่ยนระดับพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ จะมีผลต่อคุณภาพงานพิมพ์มากน้อยแตกต่างกัน ซึ่งหากมีการศึกษาและควบคุมระดับของพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ให้ได้ในจุดที่เหมาะสม ก็จะทำให้เกิดของเสียน้อยลง และทำให้ลดต้นทุนการผลิตที่มาจากค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาวิเคราะห์พารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพงานพิมพ์ จากนั้นจึงหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ในแต่ละตัวที่จะทำให้การเกิดปัญหาน้อยที่สุด โดยใช้เทคนิคของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment)

1.4.2 ศึกษาปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นโดยใช้ชิ้นงานจริง และทำการวัดผลการทดลองจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปรับระดับค่าพารามิเตอร์ ส่วนพารามิเตอร์ที่เลือกนำมาศึกษา ได้แก่

1.4.2.1 ความเร็วในการพิมพ์

1.4.2.2 ค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์

1.4.2.3 ระยะเส้นเบียดลูกน้ำ

1.4.2.4 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน

1.4.2.5 อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน

1.4.2.6 ระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์

1.4.3 ทำการศึกษาและวิเคราะห์การทดลองโดยใช้ผลิตภัณฑ์ขนาดมาตรฐาน โดยทางโรงงานกำหนดให้ทำการทดลอง และยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้สามารถศึกษาและเก็บข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง

1.4.4 จำกัดลักษณะของเสียที่เป็นตัวแปรตอบสนอง โดยอ้างอิงมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพจากทางโรงงาน ซึ่งปัญหาที่ทำการวิจัยคือ ปัญหาสกัม ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุดเท่านั้น

1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

1.5.1 สำรวจงานวิจัยและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษากระบวนการผลิตจากโรงงานกรณีศึกษา

1.5.3 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และรวบรวมข้อมูล

1.5.4 นำข้อมูลด้านต่างๆ มาวิเคราะห์ เพื่อหาสาเหตุ และปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุด

1.5.5 ออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Factorial Design เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาสกัม และตัดตัวแปรที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองออก

1.5.6 ดำเนินการทดลองตามรูปแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ พร้อมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

1.5.7 วิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติวิศวกรรม

1.5.8 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินการวิจัย

1.5.9 นำเสนอและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ของการวิจัย

1.6.1 ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการปรับระดับพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต

1.6.2 สามารถลดปริมาณของเสียจากกระบวนการพิมพ์ที่มีสาเหตุมาจากสกัม

1.6.3 สร้างมาตรฐานในการทำงานที่แน่นอนในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต

1.6.4 เป็นแนวทางการวิเคราะห์ตัวแปรในการพิมพ์รูปแบบอื่น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมประเภทเดียวกันได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาปัญหาในแผนกพิมพ์ของโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษ ซึ่งเป็นโรงงานกรณีศึกษา ผู้วิจัยพบว่า มีของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการพิมพ์สีเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดต้นทุนและค่าใช้จ่าย สาเหตุหนึ่งมาจากการตั้งค่าเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสม ดังนั้น ในการกำหนดเงื่อนไขที่ถูกต้องในการพิมพ์ระบบออฟเซต จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะนำหลักวิชาการมาประกอบในการทำวิจัย ดังจะกล่าวต่อไปนี้

2.1 เทคโนโลยีการพิมพ์

การพิมพ์ คือ การกด (Press) น้ำหมึกจากแม่พิมพ์ลงบนกระดาษด้วยเครื่องพิมพ์ ระบบการพิมพ์มีหลายระบบ เรียงลำดับตามวิวัฒนาการแต่ละระบบมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ระบบเลตเตอร์เพรส (Letter press) เป็นการเรียงพิมพ์ข้อความด้วยตัวเรียงโลหะ ส่วนใดเป็นภาพจะใช้วิธีแกะบล็อกมาประกอบ เมื่อพิมพ์เสร็จแล้วสามารถนำตัวเรียงเหล่านี้มาใช้เรียงพิมพ์ใหม่ได้อีกจนกว่าตัวอักษรจะสึก การพิมพ์ระบบนี้ เหมาะสำหรับการพิมพ์จำนวนน้อยไม่ต้องการคุณภาพสูงนัก ปัจจุบันเสื่อมความนิยมลงมาก เพราะไม่สะดวก มีข้อผิดพลาด และเสียเวลาในการเรียงพิมพ์

2.1.2 ระบบแฟลกโซกราฟี (Flexography) เป็นระบบการป้อนกระดาษหรือวัสดุอื่นที่เป็นม้วนโดยใช้แม่พิมพ์ที่มีพื้นที่เป็นภาพนูนและทำด้วยวัสดุหยุ่นตัว ซึ่งนำไปเชื่อมติดกับลูกกลิ้งแม่พิมพ์ การพิมพ์จะเป็นการถ่ายเทสีจากลูกกลิ้งสี

2.1.3 ระบบออฟเซต (Off-set) ปัจจุบันได้รับความนิยมมาก ในประเทศไทยมีโรงพิมพ์ระบบนี้สูงถึงร้อยละ 51 และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต การพิมพ์ระบบนี้เหมาะสำหรับการพิมพ์จำนวนมากๆ ต้องใช้แม่พิมพ์ (Plate) ซึ่งมีคุณภาพสามารถใช้ได้นานและพิมพ์ได้จำนวนมาก กว่าจะหมดอายุการใช้งาน

2.1.4 ระบบกราวัวร์ (Gravure) เป็นระบบที่แม่พิมพ์ถูกกัดเป็นร่องเล็กๆ จำนวนมาก หมึกพิมพ์มีลักษณะเหลวและไหลได้ดี ใช้สำหรับงานพิมพ์ที่ต้องการพิมพ์เป็นจำนวนมาก เช่น บรรจุภัณฑ์ สามารถพิมพ์บนกระดาษ พลาสติก และแผ่นฟอล์ยได้ดี

2.1.5 ระบบซิลค์สกรีน เป็นระบบที่แม่พิมพ์ทำด้วยแผ่นตะแกรงละเอียด ส่วนที่ไม่ใช่ภาพจะปิดไว้ และจะเปิดเฉพาะส่วนที่ต้องการให้เป็นภาพ เพื่อให้หมึกลอดผ่านจนทำให้เกิดเป็นภาพบนวัสดุสิ่งพิมพ์ได้ ระบบการพิมพ์นี้สามารถใช้วัสดุได้ทุกชนิด เช่น แก้ว ไม้ โลหะ พลาสติก ผ้า เป็นต้น สิ่งสำคัญคือ ต้องเลือกหมึกพิมพ์ให้เหมาะกับวัสดุที่พิมพ์ด้วย การพิมพ์ประเภทนี้ใช้สำหรับการพิมพ์จำนวนไม่มากนัก เช่น โปสเตอร์ เสื้อ เป็นต้น

2.1.6 ระบบการพิมพ์ไร้แรงกด เป็นระบบการพิมพ์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยการพิมพ์ไม่เกิดจากการกดหมึกกับแม่พิมพ์ไปบนวัสดุ แต่เป็นการถ่ายทอดหมึกพิมพ์จากแม่พิมพ์ไปสู่ชิ้นงานโดยตรง ใช้ปฏิกิริยาระหว่างแสงกับน้ำยาเคมีบนแผ่นงาน เช่น การพิมพ์แบบอิงค์เจต เครื่องถ่ายเอกสาร การอัดขยายภาพ การถ่ายพิมพ์เขียว ฯลฯ การพิมพ์แบบนี้มีข้อดีคือ ในช่วงเตรียมการพิมพ์สามารถทำได้รวดเร็วโดยเชื่อมโยงจากคอมพิวเตอร์ แต่มีข้อเสียคือ ความเร็วในการพิมพ์ต่ำ

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการพิมพ์ออฟเซต

2.2.1 วิวัฒนาการของออฟเซต

การพิมพ์ออฟเซต (Offset lithography) เป็นการพัฒนาจากพิมพ์หิน ซึ่งพิมพ์โดยตรงเป็นการพิมพ์ทางอ้อม และเป็นการพิมพ์ที่ใช้วิธีแบ่งบริเวณภาพกับบริเวณว่างเปล่าให้แยกจากกันขณะพิมพ์ โดยทำให้บริเวณภาพรับหมึกผลักดันน้ำ บริเวณว่างเปล่ารับน้ำผลักดันหมึก ทั้งนี้แม่พิมพ์ (Plate) จะต้องได้รับน้ำหรือความชื้นก่อนที่จะผ่านไปรับหมึก และทำการพิมพ์

การพิมพ์ทางอ้อมของออฟเซต หมายถึง เมื่อแม่พิมพ์ผ่านการรับความชื้นและหมึกแล้ว จะพิมพ์ถ่ายทอดภาพ (Image) ลงบนผ้ายาง (Blanket) ก่อน และภาพนั้นจะพิมพ์ถ่ายทอดต่อไปลงบนวัสดุพิมพ์โดยแรงกดของโมกดพิมพ์

2.2.2 การทำงานของออฟเซต

นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 ที่มีการนำการพิมพ์ออฟเซตมาใช้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์จวบจนปัจจุบัน การพิมพ์ออฟเซตยังคงเป็นระบบการพิมพ์ที่ใช้กันโดยมากในอุตสาหกรรมการพิมพ์ หลักการพื้นฐานของการพิมพ์ออฟเซตมาจากหลักการของน้ำกับน้ำมันไม่รวมตัวกัน ซึ่งใช้ในการแบ่งบริเวณภาพ และบริเวณที่ไม่ใช่ภาพบนแม่พิมพ์นั่นเอง สิ่งพิมพ์ที่ผลิตจากระบบการพิมพ์ออฟเซตจะมีลักษณะคมชัด สมบูรณ์กว่าระบบการพิมพ์อื่นๆ เนื่องจาก การพิมพ์ออฟเซตเป็นการพิมพ์ที่ใช้ผ้ายางในการถ่ายทอดหมึกพิมพ์สู่วัสดุพิมพ์ ทำให้ตัวอักษรหรือเม็ดสกรีนที่ได้มีความคมชัดเหมาะสมกับการพิมพ์งานคุณภาพสูง โดยเครื่องพิมพ์สามารถแบ่งตามลักษณะการป้อนกระดาษได้ 2 แบบคือ เครื่องพิมพ์ออฟเซตแบบป้อนแผ่นและเครื่องพิมพ์ออฟเซตแบบป้อนม้วน ซึ่งแต่ละประเภทของเครื่องพิมพ์ ก็จะมีลักษณะความเหมาะสมในการผลิตงานพิมพ์ที่แตกต่างกันไป

การพิมพ์ออฟเซต เป็นระบบการพิมพ์ที่เหมาะสมกับการพิมพ์งานคุณภาพสูง เนื่องจากใช้ผ้ายางในการถ่ายทอดภาพพิมพ์ ทำให้ภาพพิมพ์ที่ได้มีความคมชัด สวยงาม มีรายละเอียดที่สมบูรณ์ ลักษณะเครื่องพิมพ์ สามารถผลิตงานได้รวดเร็ว มีความคล่องตัวในการเปลี่ยนงานพิมพ์ สามารถพิมพ์ลงสู่กระดาษได้หลายขนาดและหลายประเภท รวมทั้งการพิมพ์สีพิเศษการเคลือบอาบมัน และอบแห้งสิ่งพิมพ์ ทำให้ได้สิ่งพิมพ์ที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

2.2.3 เครื่องพิมพ์มาตรฐาน

เครื่องพิมพ์มาตรฐาน หมายถึง เครื่องพิมพ์ที่มีชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ในการพิมพ์ครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็นชนิดป้อนเป็นแผ่นหรือป้อนเป็นม้วนก็ตาม ดังนี้

2.2.3.1 มีตัวจับยึดแม่พิมพ์ ให้อยู่ในตำแหน่งคงที่

2.2.3.2 มีระบบจ่ายหมึก

2.2.3.3 มีระบบฉากบังดับกระดาษให้อยู่ในตำแหน่งพิมพ์เดิมคงที่เสมอ

2.2.3.4 มีระบบปรับตั้งแรงกดในการพิมพ์

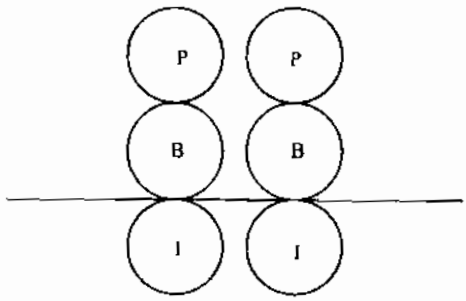
2.2.3.5 มีระบบป้อนกระดาษเข้าและนำกระดาษออกจากหน่วยพิมพ์

2.2.4 ชนิดและลักษณะของเครื่องพิมพ์ออฟเซต

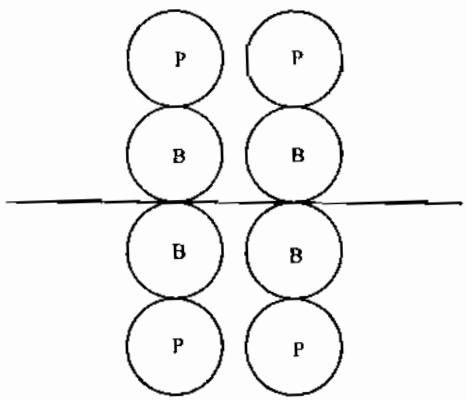
เครื่องพิมพ์ออฟเซตที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกเป็นสองชนิดตามลักษณะกระดาษที่ใช้พิมพ์ คือ ชนิดหนึ่งป้อนด้วยกระดาษแผ่น (Sheet-Fed) พิมพ์ครั้งละหนึ่งด้าน หรือบางโอกาสพิมพ์สองด้านในการป้อนกระดาษครั้งเดียว ใช้พิมพ์ได้ทั้งอักษร ข้อความและภาพ อีกชนิดหนึ่งป้อนด้วยกระดาษม้วน (Web-Fed) พิมพ์ครั้งละสองด้านต่อเนื่องกันตามความยาวของม้วนกระดาษ และตัดออกเป็นแผ่นในตัว หรือพับเป็นฉบับ (Copies) หรือพับเป็นกนก (Signatures) ตามแบบและขนาดที่กำหนด

2.2.4.1 เครื่องพิมพ์ออฟเซตชนิดป้อนแผ่น (Sheet-Fed) เป็นเครื่องพิมพ์ชนิดที่ป้อนกระดาษเข้าพิมพ์ครั้งละแผ่นอย่างสม่ำเสมอ เป็นเครื่องพิมพ์สีเดียว สองสี หรือมากกว่าในเครื่องพิมพ์เดียว

2.2.4.2 เครื่องพิมพ์ออฟเซตชนิดป้อนม้วน (Web-Fed) เครื่องพิมพ์ชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้สามารถพิมพ์ได้ด้วยความเร็วสูง และปริมาณการพิมพ์มากในเวลาจำกัด โดยอาจมีหน่วยพิมพ์ตั้งแต่ 1 ถึง 10 หน่วย หรือมากกว่าได้ รวมอยู่ในแถว (Line) เดียวกัน คำว่าหน่วยพิมพ์ในที่นี้หมายถึง หน่วยที่ทำให้เกิดภาพพิมพ์ลงบนกระดาษ ซึ่งโดยปกติจะประกอบด้วย โมแม่พิมพ์ โมยาง และโมกดพิมพ์ ระบบน้ำและระบบหมึก อาจเป็นหน่วยพิมพ์ที่พิมพ์ได้หน้าเดียว หรือคราวละ 2 หน้าก็ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบให้มีแม่พิมพ์หน่วยละกี่แผ่น แสดงดังภาพที่ 2-1



พิมพ์ได้คราวละ 1 หน้า 2 สี



พิมพ์ได้คราวละ 2 หน้าละ 2 สี

ภาพที่ 2-1 แสดงหน่วยพิมพ์ของเครื่องป้อนม้วนที่พิมพ์ได้คราวละหน้าเดียวและสองหน้า

เครื่องพิมพ์จะมีการออกแบบเป็นพิเศษต่างจากเครื่องพิมพ์แบบป้อนแผ่น เช่น เครื่องป้อนกระดาษและต่อกระดาษเมื่อกระดาษหมด ระบบน้ำ ระบบหมึก ระบบอบแห้ง การพับ การตัด และการม้วนเก็บ เป็นต้น

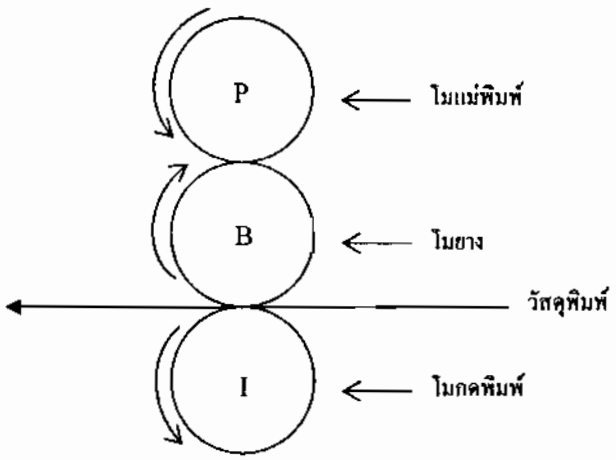
2.2.5 หน่วยพิมพ์หรือหน่วยโม

เครื่องพิมพ์ออฟเซตมีทั้งชนิดที่ป้อนแผ่นและป้อนม้วน ซึ่งมีหน่วยพิมพ์ (Printing Unit) แสดงดังภาพที่ 2-2 ซึ่งประกอบด้วย

2.2.5.1 โมแม่พิมพ์ (Plate Cylinder) เป็นโลหะทรงกระบอกที่รองรับแผ่นแม่พิมพ์ ซึ่งหุ้มและจับยึดอย่างมั่นคง มีตำแหน่งสัมผัสกับลูกกลิ้งน้ำและลูกกลิ้งหมึกสัมผัสแม่พิมพ์ชุดสุดท้าย และสัมผัสกับโมยางในขณะพิมพ์ ทำหน้าที่ถ่ายทอดภาพลงบนโมยาง

2.2.5.2 โมยาง (Blanket Cylinder) เป็นโลหะทรงกระบอกสำหรับรองรับแผ่นผ้ายางที่หุ้มและจับยึดอย่างมั่นคง มีตำแหน่งสัมผัสระหว่างโมแม่พิมพ์กับวัสดุพิมพ์ ทำหน้าที่รับภาพจากโมแม่พิมพ์ในลักษณะกลับซ้ายเป็นขวาเหมือนภาพในกระจก และถ่ายทอดภาพนั้นลงสู่วัสดุพิมพ์ในลักษณะที่เป็นภาพจริง

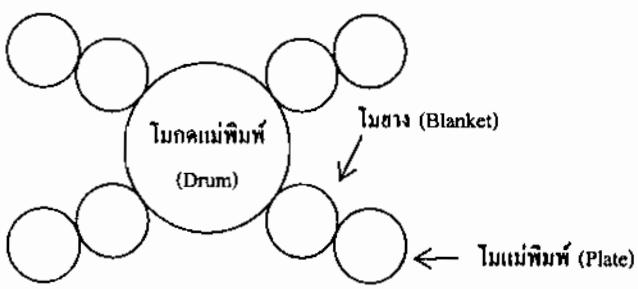
2.2.5.3 โมกดพิมพ์ (Impression Cylinder) เป็นโลหะทรงกระบอกสำหรับรองรับวัสดุพิมพ์ มีตำแหน่งชิดกับโมยาง ทำหน้าที่กดวัสดุพิมพ์ให้สัมผัสกับโมยาง โดยมีวัสดุพิมพ์แทรกอยู่ระหว่างกลาง



ภาพที่ 2-2 แสดงภาพโมแม่พิมพ์ โมยาง และโมกดพิมพ์

โมทั้งสามนี้ ในการพิมพ์พื้นราบถือว่าเป็นโมมาตรฐาน ที่เรียกว่า "ระบบสามโม" การวางตำแหน่งอาจไม่เหมือนดังที่แสดงไว้ข้างต้น จะมีเฉพาะในเครื่องป๊อนแผ่น เมื่อเป็นเครื่องพิมพ์ป๊อนม้วนหน่วยพิมพ์มาตรฐานอาจพิมพ์สองด้าน (Perfecting) พร้อมกัน โดยโมยางทั้งสองทำหน้าที่กดพิมพ์ซึ่งกันและกัน จึงไม่ต้องมีโมกดพิมพ์อีก

ถ้าต้องการพิมพ์หลายสีก็จะมีหน่วยพิมพ์เพิ่มขึ้นตามจำนวนสีที่ต้องการ แต่บางระบบจะใช้วิธีใช้โมกดพิมพ์ตัวเดียว แล้วมีโมยางและโมแม่พิมพ์มาจัดเรียงอยู่โดยรอบดังภาพที่ 2-3 เรียกว่าเป็นระบบดรัม (Drum Type)



ภาพที่ 2-3 ระบบดรัม (Drum Type)

2.2.5.4 ระบบน้ำ (Dampening System) ประกอบด้วยลูกกลิ้งผิวโลหะ และผิวผ้าขน (Molleton) หรือกระดาษหุ้มยาง มีหน้าที่จ่ายน้ำยาฟาวน์เทนให้กับแม่พิมพ์ ประกอบด้วย รางน้ำยาฟาวน์เทนและลูกกลิ้งน้ำชนิดต่างๆ ที่สำคัญ คือ

ก) ลูกกลิ้งส่งน้ำ ทำด้วยโลหะชุบโครเมียม มีขนาดใหญ่กว่าลูกกลิ้งน้ำชนิดอื่น ลูกกลิ้งส่งน้ำจะหมุนเป็นจังหวะอยู่ในรางน้ำยาฟาวน์เทน ทำหน้าที่จ่ายน้ำยาฟาวน์เทนให้กับลูกกลิ้งรับส่งน้ำ

ข) ลูกกลิ้งรับส่งน้ำ ทำด้วยยาง ทำหน้าที่รับน้ำยาฟาวน์เทนจากลูกกลิ้งจ่ายน้ำส่งต่อไปยังลูกกลิ้งเกลี่ยน้ำ

ค) ลูกกลิ้งเกลี่ยน้ำ ทำด้วยโลหะชุบโครเมียม ทำหน้าที่เกลี่ยน้ำยาฟาว์เทนให้สม่ำเสมอ แล้วส่งน้ำยาฟาวน์เทนต่อไปยังลูกกลิ้งน้ำคลึงแม่พิมพ์

ง) ลูกกลิ้งน้ำคลึงเพลทหรือลูกกลิ้งน้ำคลึงแม่พิมพ์ ทำด้วยยาง ทำหน้าที่ถ่ายโอนน้ำยาฟาวน์เทน เพื่อให้ความชื้นแก่แม่พิมพ์

ระบบน้ำ สามารถจำแนกได้ออกเป็น 3 ประเภทคือ

ก) แบบทั่วไป (Conventional Dampening Type or Ductor Type) เป็นระบบเดิม ซึ่งใช้ลูกกลิ้งรับส่งน้ำในการถ่ายโอนน้ำยาฟาวน์เทน

ข) แบบต่อเนื่อง (Continuous Dampening Type) ไม่มีลูกกลิ้งรับส่งน้ำ การรับส่งน้ำยาฟาวน์เทนในชุดลูกกลิ้งจะเป็นแบบต่อเนื่อง ซึ่งมีทั้งแบบส่งน้ำยาฟาวน์เทนกับหมึกพิมพ์แยกกัน และแบบที่ส่งน้ำยาฟาวน์เทนกับหมึกพิมพ์รวมกัน

ค) แบบอื่นๆ ไม่ใช้ลูกกลิ้งน้ำแบบธรรมดา เช่น แบบแปรง (Brush Dampening Type) แบบใบพัดส่งน้ำ (Flap Dampening Type) และแบบสเปรย์พ่นน้ำ (Spray Dampening Type) เป็นต้น ระบบน้ำแบบอื่นๆ นี้ มีข้อดีตรงที่น้ำยาฟาวน์เทนไม่เข้าไปปะปนในรางหมึก แต่มีข้อเสียตรงที่จ่ายน้ำยาฟาน์เทนได้ไม่สม่ำเสมอ

2.2.5.5 ระบบหมึก (Ink System) ประกอบด้วยลูกกลิ้งหมึกหลายขนาดทั้งชนิดผิวยาง และผิวโลหะ มีหน้าที่ลำเลียงหมึกจากราง (Ink Duct) ไปตามชุดลูกกลิ้งหมึก ถ่ายทอดปริมาณหมึก ทำให้หมึกมีการไหลลื่นดีจนถึงลูกกลิ้งชุดสุดท้ายที่สัมผัสแม่พิมพ์ ประกอบด้วย

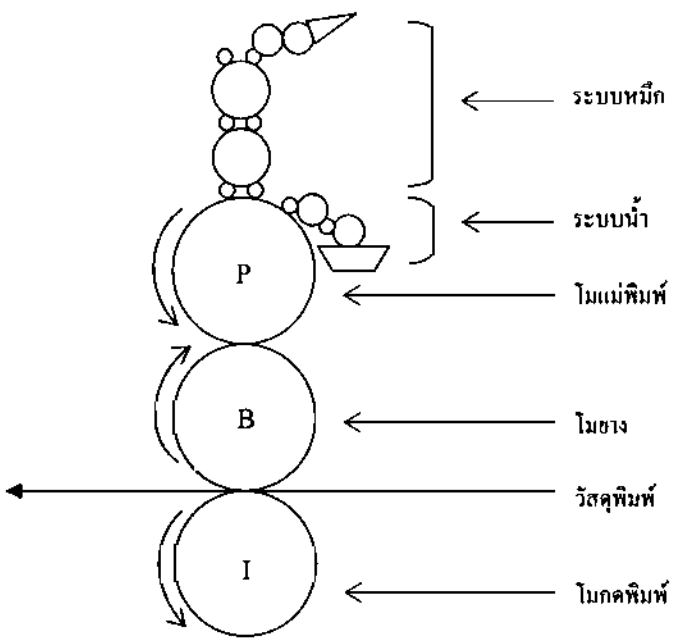
ก) ลูกกลิ้งส่งหมึก ทำด้วยโลหะหมุนสัมผัสกับรางหมึกมีขนาดใหญ่กว่าลูกกลิ้งหมึกอื่น ลูกกลิ้งส่งหมึกทำหน้าที่ส่งหมึกพิมพ์ให้กับลูกกลิ้งรับส่งหมึก

ข) ลูกกลิ้งรับส่งหมึก ทำด้วยยางที่มีแกนเป็นโลหะ ทำหน้าที่รับหมึกพิมพ์จากลูกกลิ้งส่งหมึก ส่งต่อไปยังลูกกลิ้งเกลี่ยหมึก

ค) ลูกกลิ้งเกลี่ยหมึก ทำด้วยโลหะชุบโครเมียม ทำหน้าที่เกลี่ยหมึกให้สม่ำเสมอทั่วลูกกลิ้ง และส่งหมึกต่อไปยังลูกกลิ้งจ่ายหมึก

ง) ลูกกลิ้งจ่ายหมึก ทำด้วยยางที่มีแกนเป็นโลหะ และมีหลายลูก ทำหน้าที่รับหมึกจากลูกกลิ้งเกลี่ยหมึก แล้วบดและจ่ายหมึก

จ) ลูกกลิ้งหมึกคลึงเพลท หรือลูกกลิ้งหมึกคลึงแม่พิมพ์ ทำด้วยยางที่มีแกนเป็นโลหะ มีจำนวนตั้งแต่ 1 ถึง 4 ลูก ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องพิมพ์ ทำหน้าที่รับหมึกจากลูกกลิ้งเกลี่ยหมึก เพื่อส่งให้แม่พิมพ์และทำหน้าที่คลึงหมึกบนแม่พิมพ์



ภาพที่ 2-4 หน่วยพิมพ์ของการพิมพ์ออฟเซต

2.2.6 ระบบการพิมพ์

เมื่อเครื่องพิมพ์เริ่มทำงาน โมทั้งสามจะหมุนในทิศทางแยกกัน พร้อมกับการหมุนของลูกกลิ้งทั้งสองระบบ คือ ระบบน้ำและระบบหมึก

โมแม่พิมพ์จะหมุนรับความชื้นก่อน ความเปียกชื้นของน้ำยาฟาวน์เทนบนผิวแม่พิมพ์ จะครอบคลุมบริเวณไม่ใช่ภาพ ไม่รุกล้ำเข้าไปในบริเวณภาพที่ทำขึ้นจากสารเคมีที่มีคุณสมบัติไม่รับน้ำแต่รับหมึก เมื่อโมแม่พิมพ์หมุนไปรับหมึก หมึกจึงติดเฉพาะบริเวณภาพเท่านั้น จากนั้น จึงถ่ายทอดภาพพิมพ์ลงบนโมยาง ด้วยการสัมผัสเพียงแผ่วเบาและหมุนต่อไป เพื่อนำภาพถ่ายทอดลงไปบนกระดาษ หรือวัสดุพิมพ์อย่างอื่นด้วยแรงกดของโมกดพิมพ์

ระบบการพิมพ์แต่ละชนิด ต้องการหมึกพิมพ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเฉพาะตัว การพิมพ์ออฟเซต ต้องการหมึกที่ข้นและเหนียวหนืด ในขณะที่การพิมพ์โฟโตกราวัวร์ และเฟลกโซกราฟี ต้องการหมึกพิมพ์ที่เหลวใส หมึกพิมพ์เหล่านี้จึงต้องมีส่วนประกอบของหมึกพิมพ์แตกต่างกัน

2.3 การควบคุมคุณภาพงานพิมพ์

เป็นรูปแบบและแนวทางการปฏิบัติที่เหมาะสมควบคู่ไปกับการผลิต ซึ่งนำไปสู่การมีคุณภาพของงานพิมพ์หรือตัวสินค้า โดยมีมาตรฐานที่จำเป็นกำหนดไว้เป็นเป้าหมายอย่างครบถ้วน ตรวจสอบได้โดยเครื่องมือที่มีความถูกต้อง

วิธีการควบคุมคุณภาพการพิมพ์

2.3.1 กำหนดมาตรฐานหรือเป้าหมายของสิ่งที่ต้องการควบคุม

2.3.2 กำหนดมาตรการหรือวิธีการทำงานที่สามารถควบคุมคุณภาพได้

2.3.3 ใช้เครื่องมือที่เชื่อถือได้ในการตรวจสอบและวัดค่า

2.3.4 ดำเนินการตามมาตรการเพื่อให้งานได้มาตรฐานตามที่ตั้งไว้

2.4 ขั้นตอนการผลิตสิ่งพิมพ์ (Printing Process)

2.4.1 ขั้นกำหนดรูปแบบสิ่งพิมพ์ (Pre-prepress) การออกแบบและเลือกใช้วัสดุ

2.4.2 ขั้นเตรียมการพิมพ์ (Prepress) การเตรียมต้นฉบับให้สำเร็จเป็นแม่พิมพ์

2.4.3 ขั้นการพิมพ์ (Press) การพิมพ์หมึกลงบนกระดาษโดยอาศัยเครื่องพิมพ์

2.4.4 ขั้นหลังการพิมพ์ (After press) การทำให้เป็นสิ่งพิมพ์สำเร็จรูป

2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์

2.5.1 ดวงตา ใช้ดูภาพ ดูความเหมือน ดูความถูกต้อง ดูความสะอาด ดูความเรียบร้อย

2.5.2 แว่นขยาย ใช้ดูความแม่นยำ ความเที่ยงตรง ดูความคมชัด ดูลักษณะของตำหนิ

2.5.3 แถบสีใส่ไว้บนแม่พิมพ์ด้านตรงข้ามฟันจับของกระดาษยาวตลอดความกว้างของกระดาษ เพื่อจำลองลักษณะการพิมพ์และปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น ให้สังเกตได้ชัดเจน

2.5.4 เครื่องวัดความดำ ใช้วัดค่าต่างๆ บนแถบสี ได้ค่าเป็นตัวเลขที่มีความเที่ยงตรงสำหรับใช้วิเคราะห์หรือดำเนินการแก้ไขได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

2.5.5 โต๊ะไฟดูภาพพิมพ์ ใช้ดูสีภาพพิมพ์เทียบกับภาพปรู๊ฟ มีลักษณะและขนาดเหมาะสม สำหรับการดูภาพพิมพ์ใช้ไฟมาตรฐานเดย์ไลท์ความสว่าง 5000 องศาเคลวิน

2.5.6 เครื่องมือวัด Micro Meter, Shore Hardness Meter, Packing Gauge

2.5.7 **เครื่องมือทางเคมี** pH Meter, Conductivity Meter, Thermometer, Viscometer, เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ

2.6 วัสดุการพิมพ์ที่สำคัญ

2.6.1 กระดาษ

2.6.1.1 กระดาษอาร์ต อาร์ตมัน, อาร์ตด้าน, อาร์ตเทียม

2.6.1.2 กระดาษปอนด์

2.6.1.3 กระดาษปรู๊ฟ ปรู๊ฟธรรมดา, ปรู๊ฟมัน

2.6.2 หมึกพิมพ์

2.6.2.1 หมึกชุด

2.6.2.2 หมึกสีตรง/สีผสม

ส่วนประกอบของหมึกพิมพ์

1. ตัวพา (Vehicles) มีลักษณะเป็นของเหลวที่เป็นตัวพาให้ผงเคลื่อนที่ไปได้ เมื่อทาบางๆ จะเกิดเป็นฟิล์มที่แห้งและแข็งแรง มีความทนทานต่อน้ำ เคมีภัณฑ์ และแสงแดด ในกรณีของหมึกพิมพ์ออฟเซต หรือหมึกพิมพ์ตัวหล่อ ตัวพามักเรียกกันว่า น้ำมันวานิช (Varnishes) เพราะจะทำจากน้ำมันบางชนิด ซึ่งเมื่อถูกกับออกซิเจนในอากาศแล้ว จะแห้งตัวเป็นฟิล์มที่แข็งแรง

2. ผงสี (Pigment) เป็นตัวให้สีแก่หมึกพิมพ์ และจะไม่ละลายในตัวพาและส่วนประกอบอื่นๆ ของหมึกพิมพ์ ตัวอย่างของผงสี เช่น ผงถ่านสีดำ (Carbon Black) สนิมเหล็กสีแดง ฯลฯ

3. ตัวช่วยให้หมึกไหล (Extenders) เป็นสารที่ช่วยทำให้หมึกไหลได้ดีขึ้น มักเป็นสารประเภทเกลือแร่ที่มีสีขาว เช่น แคลเซียม และเป็นตัวเพิ่มเนื้อหมึกให้มากขึ้น ทำให้ลดต้นทุนการผลิต เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (Carbonate) หรือ อะลูมินา (Alumina) เป็นต้น หมึกพิมพ์ทุกชนิดจะต้องมีตัวช่วยให้หมึกไหลเป็นองค์ประกอบ

4. ตัวทำละลาย (Solvent) ทำหน้าที่ละลายน้ำมันวานิช แวกซ์ และส่วนประกอบอื่นๆ ของหมึกพิมพ์ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ตัวทำละลายที่ใช้ในหมึกพิมพ์ มักได้มาจากน้ำมันปิโตรเลียม เช่น ปิโตรเลียมดิสทิลเลต (Petroleum Distillate) ที่มีจุดเดือดอยู่ระหว่าง 260-290 องศาเซลเซียส เป็นต้น

5. สารผสมอื่นๆ (Additives) เป็นสารที่ให้คุณสมบัติพิเศษอื่นๆ แก่หมึกพิมพ์ เช่น สารประกอบพวกแวกซ์ ที่จะช่วยให้หมึกพิมพ์ออฟเซต หรือตัวหล่อ ไหลในเครื่องพิมพ์ได้ดีขึ้น และช่วยเพิ่มความทนทานของหมึกที่แห้งแล้วต่อการขัดสีและช่วยป้องกันการซับหลัง

6. ตัวทำให้แห้ง (Driers) เป็นสารที่จัดอยู่ในประเภทตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปกติจะผสมมาเสร็จเรียบร้อยแล้วจากโรงงานผู้ผลิต สารนี้จะช่วยให้หมึกพิมพ์ออฟเซต และหมึกพิมพ์ตัวหล่อแห้งเร็วขึ้นเมื่อพิมพ์บนกระดาษแล้ว

2.6.3 น้ำยาฟาวน์เทน (Fountain Solution)

ความสำคัญของน้ำยาฟาวน์เทน คือ นอกจากทำให้เกิดความชื้นบนแม่พิมพ์ และทำให้แม่พิมพ์สะอาดแล้ว จำเป็นต้องกำหนดค่าของความเป็นกรดหรือด่างของน้ำยาฟาวน์เทน เพื่อผลงานที่ดีมีคุณภาพทางการพิมพ์

การกำหนดค่าความเป็นกรดหรือด่าง ที่เรียก "ค่า-พีเอช" เริ่มที่เลข 7 ของสเกล แสดงค่าของความเป็นกลางระหว่างกรดและด่าง เมื่อตัวเลขลดหรือเพิ่มจำนวน 1 หน่วย หมายถึง การเพื่อความเป็นกรด หรือลดความเป็นด่างตามตัวคูณด้วย 10

ตัวเลขที่ลดจำนวนจาก 7 ไปเท่าไร ยิ่งแสดงค่าของความเป็นกรดสูงขึ้นเป็นลำดับ และหากตัวเลขสูงจาก 7 ไปเท่าไร ยิ่งแสดงค่าของความเป็นด่างสูงขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งแต่ละชนิดจะทำหน้าที่ต่างๆ กัน อาทิเช่น

1. ให้ความชื้น (Dampening) แก่บริเวณไร้ภาพบนแม่พิมพ์ ทำให้ไม่ดูดซับหมึกพิมพ์

2. ช่วยหล่อลื่น และทำความสะอาดแม่พิมพ์ และผ้ายาง (Blanket) ทำให้ลดการสึกหรอ และยืดอายุการใช้งาน

3. ช่วยควบคุมการรวมตัวของหมึกกับน้ำ (Emulsification) ให้เหมาะสมในระหว่างกระบวนการพิมพ์

4. ช่วยลดความร้อน และอุณหภูมิของแม่พิมพ์ไม่ให้สูงเกินไป

น้ำยาฟาวน์เทน โดยทั่วไปประกอบด้วย 6 ส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

2.6.3.1 น้ำ เป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำยาฟาวน์เทน ดังนั้น คุณภาพของน้ำจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างยิ่ง ไม่ว่าจะเป็นความกระด้าง หรือความเป็นกรดด่างน้ำกระด้างจะมีไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซียมปนอยู่ ซึ่งถ้าปนอยู่เป็นจำนวนมากจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นส่วนผสมของกระดาษ ทำให้เกิดคราบขาว (Milking or Whiting) บนแม่พิมพ์และผ้ายาง นอกจากนั้น ยังทำให้หมึกพิมพ์ไม่ถ่ายโอน (Stripping) และแขวนลอยในน้ำมากเกินไป (Tinting) และที่สำคัญคือ ไปรบกวนการทำงานของน้ำยาฟาวน์เทน ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดภาพลดลง เป็นผลให้หมึกพิมพ์ไปเกาะบริเวณไร้ภาพของแม่พิมพ์ (Scrumming) ดังนั้น ทางที่ดีควรทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์ระดับหนึ่งก่อนนำมาใช้งาน น้ำที่มีความกระด้างเกิน 29.2 เกรนต่อแกลลอน (grains/gallon) หรือ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 500 ppm ไม่เหมาะสำหรับการพิมพ์ออฟเซต นอกจากน้ำที่มีคุณภาพทางการพิมพ์ไม่ควรเป็นน้ำกระด้าง

แล้ว สิ่งที่ควรคำนึงถึงอีกอย่างหนึ่ง คือไม่ควรเป็นด่างอีกด้วย เนื่องจากในการผลิตน้ำยาฟาวน์เทนนั้น ต้องมีการเติมกรด เพื่อปรับระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้เหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งมีค่าประมาณ 4.5 –5.5 ถ้าน้ำมีความเป็นด่างก็จำเป็นที่จะต้องใส่กรดเป็นปริมาณมากขึ้น อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนแม่พิมพ์ได้ แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าใส่กรดน้อยเกินไปทำให้ pH ของน้ำยาฟาวน์เทนยังสูงเกินไป เช่น สูงกว่า 6.0 แม่พิมพ์อาจเกิดคราบหมึกตรงบริเวณไร้ภาพ

2.6.3.2 กัม (Gum) ทำหน้าที่ยึดเกาะตรงบริเวณไร้ภาพบนแม่พิมพ์ เพื่อป้องกันการเปื้อนติดของหมึกพิมพ์ (Desensitizing) นอกจากนี้ กัมยังช่วยป้องกันแม่พิมพ์จากความชื้น และสารเคมีในระหว่างที่ยังไม่ได้ทำการพิมพ์อีกด้วย กัมที่ใช้เป็นส่วนประกอบในน้ำยาฟาวน์เทน ได้แก่ กัมอะราบิก (Gum Arabic) และก้วกัม (Guargum) เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการทดลองใช้เกลือโซเดียมของคาร์บอกซิลเมธิลเซลลูโลส (Sodium Salt of Carboxylmethyl Cellulose) หรือ CMC แทนกัม แต่กัมอะราบิกยังคงเป็นที่นิยมที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงสุดในการรักษาบริเวณไร้ภาพบนแม่พิมพ์ให้สะอาดปราศจากหมึกพิมพ์

2.6.3.3 กรด ทำหน้าที่ลด pH และช่วยรักษาบริเวณภาพบนแม่พิมพ์ให้ว่องไวต่อปฏิกิริยากับหมึกพิมพ์ ขณะเดียวกันก็ช่วยรักษาบริเวณไร้ภาพให้รับน้ำ กรดที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดฟอสฟอริก นอกจากนี้ ยังมีการใช้กรดอื่นๆ เช่น กรดซิตริก และกรดแลกติก กรดเหล่านี้จะไปทำปฏิกิริยากับกัม เช่น กัมอะราบิก จะได้เป็นโมเลกุลของกรดอะราบิก (Arabic acid Molecule) ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาต่อกับออกไซด์ของโลหะบนแม่พิมพ์ ทำให้เกิดพื้นผิวส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ของบริเวณไร้ภาพ โดยที่ pH ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.5 - 5.5 ซึ่งจะทำให้กัมอะราบิกสามารถเกิดพันธะกับบริเวณไร้ภาพได้ดี

2.6.3.4 บัฟเฟอร์ (buffer) ระดับ pH อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้จากสิ่งเจือปน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตในกระดาษ การรักษาระดับ pH ให้คงที่ ทำได้โดยเติมบัฟเฟอร์ ซึ่งเป็นเกลือของกรด ได้แก่ สารพวกฟอสเฟตและซิเตรต เป็นต้น การรักษาระดับ pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจะช่วยให้กัมทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ บัฟเฟอร์ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับกระดาษหมึกพิมพ์ อากาศ และความชื้น ถ้าไม่เช่นนั้นแล้วอาจทำให้เกิดปัญหาในการพิมพ์ได้

2.6.3.5 สารลดแรงตึงผิวของน้ำ (Wetting Agent or Surfactant) จะรักษาสมบัติการทำให้เปียก (Wetting) ตรงบริเวณไร้ภาพ โดยไปลดแรงตึงผิวของน้ำยาฟาวน์เทน ส่งผลให้น้ำยาฟาวน์เทนไปเคลือบบริเวณไร้ภาพได้ดีขึ้น สารลดแรงตึงผิวที่นิยมเติมมากที่สุด คือ ไอโซโพรพานอล (Isopropanol) แม้ว่าการใช้ไอโซโพรพานอล จะส่งผลดีต่อคุณภาพการพิมพ์ แต่ขณะเดียวกันก็เป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ (Volatile Organic Compound) ซึ่งทำให้เกิดมลภาวะในโรงพิมพ์และ

บรรยากาศ จึงมีการแนะนำให้ใช้สารอื่นทดแทนแอลกอฮอล์ เช่น Glycerin และ Glycol ชนิดต่างๆ เนื่องจากไอระเหยน้อยกว่า และใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าแอลกอฮอล์

2.6.3.6 สารปรับสภาพแม่พิมพ์และสารเติมแต่ง (Plate Conditioners or Additives) มีหลากหลายชนิด ส่งผลให้น้ำยาฟาวน์เทนมีคุณสมบัติในด้านต่างๆ อาทิ เช่น

ก) สารยับยั้งการกัดกร่อนโลหะ (Corrosion Inhibitor) จะช่วยป้องกันชิ้นส่วนโลหะที่เป็นส่วนประกอบในการพิมพ์ เช่น แม่พิมพ์ และโม เป็นต้น

ข) สารป้องกันการตกตะกอน (Sequestrant) จะช่วยป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำ โดยไปรวมตัวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายในน้ำได้

ค) สารป้องกันจุลินทรีย์ (Biocide) ใส่ลงไป เพื่อควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ เนื่องจากกัมเป็นอาหารที่ดีของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้น้ำยาฟาวน์เทนเสื่อมสภาพ เป็นกรดมากขึ้น ซึ่งจะไปกัดกร่อนแม่พิมพ์ และทำให้สูญเสียสมดุลของหมึกพิมพ์และน้ำ นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดตะกอนในรางน้ำ และส่งกลิ่นเหม็น ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำในระบบการพิมพ์บ่อยครั้งขึ้น เป็นการสิ้นเปลือง

ง) สารหล่อลื่น (Release agent) เช่น ซิลิโคน (Silicone) จะช่วยลดการสึกหรอและยืดอายุแม่พิมพ์ โดยไปป้องกันหมึกพิมพ์ และแม่พิมพ์ ไม่ให้เกิดความร้อนสูงเกินไป

จ) สารสร้างฟิล์ม (Film Former) ทำหน้าที่สร้างฟิล์มบางอย่างต่อเนื่อง ฟิล์มนี้สามารถเกิดพันธะยึดเหนี่ยวได้ดีกับโลหะออกไซด์บนผิวของแม่พิมพ์ ช่วยให้น้ำยาฟาวน์เทนทำหน้าที่ได้ดีขึ้น

ฉ) นอกจากนี้ยังอาจใส่สารทำให้หนืด (Viscosity Builder), สารลดฟอง (Defoamer), สีย้อม (Dye) และสารเติมแต่งอื่นๆ ลงไป เพื่อให้น้ำยาฟาวน์เทนมีสมบัติและลักษณะที่น่าใช้งานมากยิ่งขึ้น

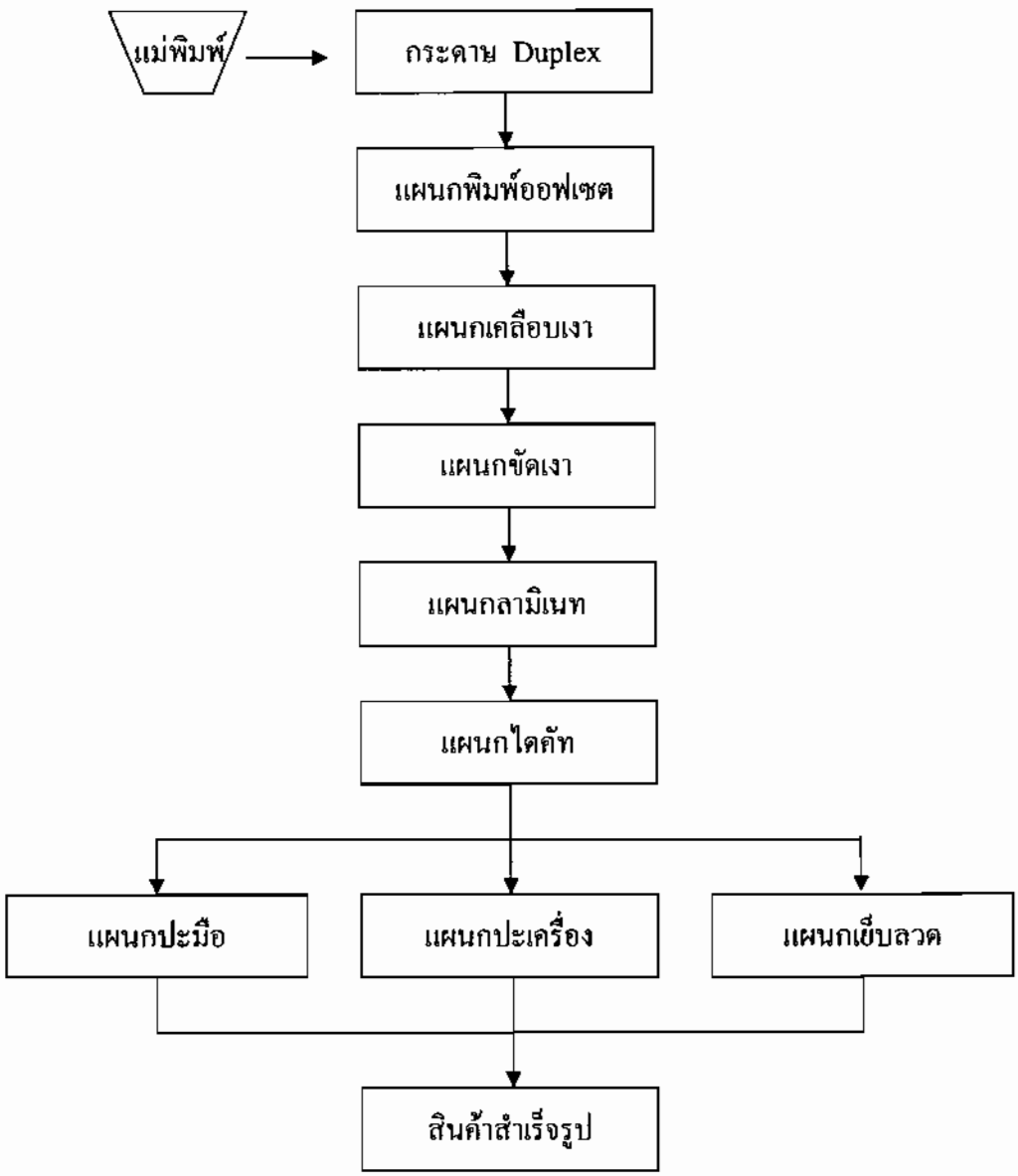
2.6.4 ผ้ายางแบลงเก็ต

ผ้ายางเป็นส่วนประกอบหนึ่งของการพิมพ์ออฟเซต ทำหน้าที่เป็นตัวกลางรับหมึกพิมพ์จากแม่พิมพ์ในส่วนที่เป็นบริเวณภาพ แล้วถ่ายทอดไปยังกระดาษพิมพ์ และยังช่วยดูดซับแรงสั่นสะเทือน (Shock Wave) จากเครื่องพิมพ์ได้อีกด้วย เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพงานพิมพ์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ได้แก่ การผลิตน้ำหนักสีของภาพ ความคมชัด การพิมพ์พื้นทึบ และพิมพ์พร่า (Slur) เป็นต้น นอกจากนี้ ผ้ายางยังมีผลต่อความคล่องตัวในการปฏิบัติงานของช่างพิมพ์อีกด้วย เช่น ความยากง่ายในการทำความสะอาดผ้ายาง (Wash Ability) ความสามารถในการปล่อยกระดาษของโมผ้ายาง (Paper Reliability) ปัญหาการพิมพ์จากการลื่นไถล การยุบตัวของผ้ายาง และถอนผิวหน้ากระดาษ

2.6.5 เคมีทางการพิมพ์ต่างๆ เช่น กัมอารบิค แอลกอฮอล์ น้ำยาล้างแม่พิมพ์ น้ำมันล้างลูกหมึก

2.7 กระบวนการพิมพ์ระบบออฟเซตของโรงงาน

ในระบบการพิมพ์ออฟเซต ก่อนจะได้มาซึ่งสินค้าสำเร็จรูปนั้น จะต้องผ่านกระบวนการผลิตโดยผ่านไปยังแผนกต่างๆ หลายแผนก แสดงดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2- 5 กระบวนการผลิตสินค้าสำเร็จรูปในระบบออฟเซต

2.8 ลักษณะของเสียที่เกิดในงานพิมพ์

ตารางที่ 2-1 แสดงลักษณะของเสียที่เกิดในงานพิมพ์

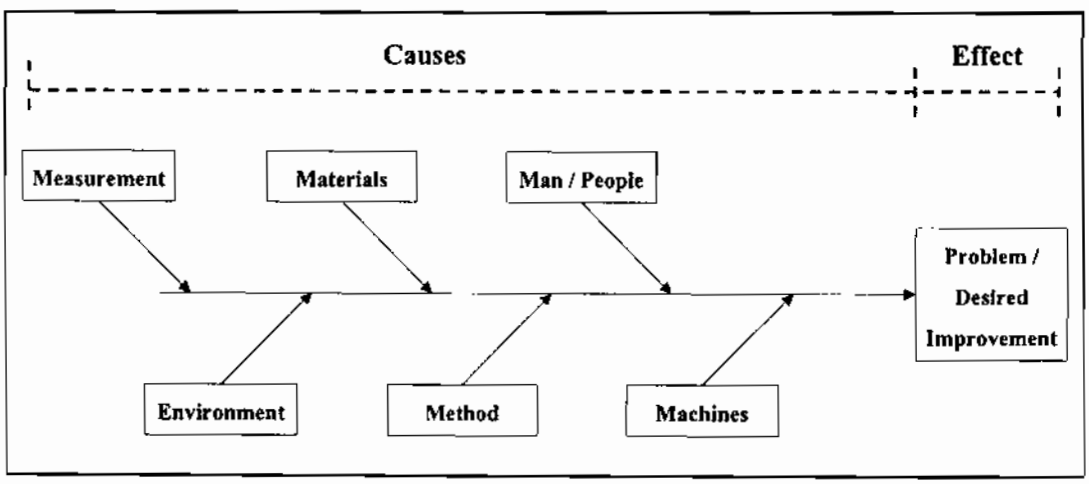
ปัญหา	ลักษณะของเสีย	สาเหตุ
สกัม (Scrum)	มีคราบหมึกปรากฏอยู่บนบริเวณภาพและบริเวณไร้ภาพ	1. หมึกพิมพ์มีความเหนียวน้อยเกินไป 2. อนุภาคของผงสีมีขนาดใหญ่ หรือเกิดจาก การบดหมึกพิมพ์ไม่ละเอียด หรือการกระจายตัวของผงสีไม่ดี 3. หมึกพิมพ์รวมตัวกับน้ำมากเกินไป 4. ผิวแม่พิมพ์แห้งเมื่อลงโมทำการพิมพ์ 5. น้ำยาฟาวน์เทนมีความเป็นกรดหรือเป็นด่างสูงกว่ากำหนด 6. กระดาษที่งอพับหรือวัตถุแปลกปลอมมอย่างอื่นหลุดลงไปบนพื้นผิวผ้ายาง
ซับหลัง (Set Off)	ภาพจะมีรอยจางๆ สีขาวติดอยู่	1. ปล่อยหมึกพิมพ์มากเกินไป หรือชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์หนาเกินไป 2. หมึกพิมพ์หมาดตัวช้าเกินไป 3. กองกระดาษที่พิมพ์แล้วสูงเกินไป 4. หมึกพิมพ์รวมตัวกับน้ำมากเกินไป
การถอนผิวกระดาษ (Picking)	เส้นใยของกระดาษถูกดึงขึ้นจากผิวกระดาษ	1. หมึกพิมพ์มีค่าความหนืดสูงเกินไป 2. ความเร็วรอบพิมพ์สูงเกินไป 3. อุณหภูมิของเครื่องพิมพ์และห้องพิมพ์ต่ำเกินไป 4. หมึกพิมพ์แห้งตัวเร็วเกินไปขณะทำการพิมพ์ 5. น้ำหนักการกดของผ้ายางมาก ทำให้เกิดแรงดึงผิวสูงและทำให้เม็ดสกรีนบวม
ฮิกกี้ (Hickies)	มีรูปร่างคล้ายขนมกงหรือขนมโดนัท เป็นวงขาวโดยรอบและมีจุดดำเป็นไส้ใน	1. เกิดจากสะเก็ดหมึกล่วงหล่นบนแม่พิมพ์ หรือเกาะบนลูกกลิ้งหมึกคลึงแม่พิมพ์ สะเก็ดนั้นจะค้ำการสัมผัสของลูกกลิ้งไว้ 2. อาจมีวัตถุแปลกปลอมจากภายนอกห้องพิมพ์ เช่น ฝุ่นละออง ทราย หรือผง

2.9 เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการวิจัย

ทั้งการควบคุมคุณภาพและการพัฒนาคุณภาพ จำเป็นต้องเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตมาทำการวิเคราะห์และแปรความหมาย เพื่อให้รู้ถึงสภาพการผลิตและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ แต่ก่อนการเก็บข้อมูล จะต้องกำหนดวัตถุประสงค์ให้แน่ชัดว่าต้องการเก็บข้อมูลเพื่ออะไร เพราะการทราบวัตถุประสงค์ของการเก็บข้อมูล จะทำให้เลือกเครื่องมือทางสถิติที่จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลได้ง่ายและถูกต้อง โดยเครื่องมือทางสถิติที่สำคัญที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้ มีดังนี้

2.9.1 ผังแสดงเหตุและผล

การที่คุณลักษณะสินค้ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เป็นปัญหาพื้นฐานของการควบคุมคุณภาพ การกำหนดคุณลักษณะ (Specification) ของผลิตภัณฑ์ จะกำหนดค่าเผื่อไว้ช่วงหนึ่งที่ยอมให้เปลี่ยนแปลงได้ การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะที่อยู่ในช่วงที่กำหนดก็ไม่มีปัญหา แต่หากเปลี่ยนแปลงมากกว่านี้ ปัญหาที่ต้องวิเคราะห์ก็คือ สาเหตุอะไรที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า ถ้าสามารถขจัดสาเหตุนั้นๆ ได้ ก็จะลดการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวลง เป็นการปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น โดยทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพนั้น ส่วนใหญ่มักเกิดเนื่องจาก วัตถุดิบ เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ และวิธีการทำงาน อิชิกาวาไดอะแกรมหรือแผนภูมิเหตุและผลจะแสดงถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุ (Cause) ที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนแปลงเกิดที่ผล (Effect) ที่แสดงถึงคุณภาพผลิตภัณฑ์ ดังเช่นการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพ ซึ่งประกอบด้วย 4 หลักคือ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และวิธีการ ซึ่งจากปัจจัยแต่ชนิดสามารถวิเคราะห์สาเหตุละเอียดลงไปได้อีก ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 แสดงตัวอย่างแผนภูมิเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)

2.10 ทฤษฎีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment :DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติชั้นสูงที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการ ซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลองคือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นแบบ ลองผิดลองถูก หรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One-Factor-at-a-Time) เช่น ถ้าเราสงสัยว่า เราควรที่จะต้องปรับตั้งค่าของอุณหภูมิในการอบชิ้นงาน เวลาที่ใช้ในการอบ และส่วนผสมของชิ้นงานเท่าไรดี จึงจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพสูงสุดไม่เป็นของเสีย ดังนั้น แนวทางที่เรามักใช้กันโดยทั่วๆ ไปก็คือ เรามักจะไปลองปรับตั้งในส่วนของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบก่อน (ในขณะที่คงค่าของเวลาที่ใช้ในการอบกับอัตราส่วนผสมไว้) เมื่อทดลองจนได้ค่าของอุณหภูมิที่เราต้องการแล้ว จึงค่อยไปปรับตั้งเรื่องของเวลา (ในขณะที่คงที่ค่าของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกับอัตราส่วนผสมไว้) จากนั้นจึงไปทำการปรับตั้งเรื่องของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม (โดยการคงที่ค่าของอุณหภูมิกับเวลาไว้) และเราอาจทำซ้ำวงจรนี้ไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะหาจุดที่ดีที่สุดของกระบวนการ ซึ่งลักษณะนี้เรียกว่า การทดลองแบบ One Factor at a Time นั่นเอง โดยทั่วไปแล้วการทดลองแบบ One Factor at a Time จะให้ผลตอบสนองเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่เราต้องการได้ช้ามาก และสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์ รวมถึงต้องเก็บข้อมูลมาก และยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่มีผลของความสัมพันธ์ร่วม (Interaction Effect) ระว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง

ข้อดีของการออกแบบการทดลองคือ ให้ผลของความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างสูง โดยสามารถระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการ นอกจากนี้ ยังมีความรวดเร็วในการดำเนินการตรวจสอบสาเหตุของปัญหา โดยทั่วไปแล้ว ถ้าหากเรามีปัจจัยในการทดสอบอยู่ประมาณ 10 ปัจจัย ซึ่งในการดำเนินการทดสอบดูว่าปัจจัยใดบ้าง ที่ส่งผลจริงต่อกระบวนการด้วยวิธีแบบ One Factor at a Time จะใช้เวลานานถึง 1 ปี ในการตรวจสอบได้ครบทุกปัจจัย แต่ด้วยวิธีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองจะใช้เวลาเพียงแค่ 1-3 อาทิตย์เท่านั้นในการตรวจสอบปัจจัยดังกล่าว

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องจะต้องมีความเข้าใจล่วงหน้าว่าเรากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินงานอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้

2.10.1 ทำความเข้าใจถึงปัญหา

บางคนอาจคิดว่าขั้นตอนนี้ง่ายและตรงไปตรงมา แต่ในความเป็นจริงแล้ว ขั้นตอนนี้ไม่ได้ง่ายอย่างที่คิด ในขั้นตอนนี้ เราอาจจะต้องพยายามพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และ

บ่อยครั้งที่เราจะต้องหาข้อมูลสำหรับป้อนเข้าจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่นแผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต แผนกการตลาด ผู้บริหาร ลูกค้าและแผนกบุคคล ถ้อยแถลงของปัญหาที่มีความชัดเจน จะมีผลอย่างมากต่อความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการ และคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้นๆ ด้วยเหตุนี้เอง การออกแบบการทดลองทุกครั้งควรจะมีการทำงานเป็นทีม ซึ่งจะเห็นได้ว่า "ประสบการณ์ขององค์กร (Wisdom of Organization)" นั้น เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการออกแบบการทดลอง เพราะเป็นจุดเริ่มต้นของการดำเนินงานคือ การใช้ประสบการณ์คาดคะเนว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อปัญหาที่เราสนใจ ซึ่งถ้าหากเราไม่มีในส่วนของประสบการณ์องค์กรเข้ามาเกี่ยวข้องเลย (เช่น ทีมงานเป็นพนักงานใหม่ทั้งหมด) การออกแบบการทดลองก็ยังคงดำเนินต่อไป แต่จะใช้เวลาที่นานขึ้น เพราะต้องเสียเวลาในการตรวจสอบทุกๆ ปัจจัยที่มีอยู่ทั้งหมด

ตารางที่ 2-2 แสดงรูปแบบและลักษณะการทดลอง

รูปแบบการทดลอง	ลักษณะการทดลอง	เวลาในการวิเคราะห์	ความถูกต้อง	งบประมาณ
Single Factor	การทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัย โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่คาดว่ามีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	ใช้เวลานาน	มากที่สุด	มาก
2^k Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบแต่กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ที่ปัจจัยละ 2 ระดับเท่านั้น	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{k-p} Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยแต่ไม่ทำการทดลองแบบเต็มรูปแบบทั้งหมด (ลดรูป)	รวดเร็ว	น้อย	น้อย

2.10.2 เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ในการทดลองที่เหมาะสม

ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดได้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้น ใน

กรณีเช่นนี้ ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก ซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจากประสบการณ์และความรู้จากทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่เราจะต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมานี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือ การกรองปัจจัย (Factor Screening) เราควรจะกำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเราควรเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ หมายถึงว่าขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้างๆ และเมื่อเราได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและที่ระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตให้แคบลงได้

2.10.3 เลือกตัวแปรตอบสนอง

ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่า ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นตัวแปรตอบสนอง เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจมีตัวแปรตอบสนองหลายตัว และมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรตอบสนอง และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

2.10.4 เลือกรูปแบบของการทดลองที่เหมาะสม

ถ้ากิจกรรมการวางแผนก่อนการทดลองทำได้อย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ง่ายมาก การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (Replicate) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่า ควรจะใช้วิธีการจัดกลุ่ม (Block) หรือการจัดแบบสุ่ม (Randomizations) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบเราจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองทางวิศวกรรมส่วนมาก เราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อค่าตอบสนองที่เกิดขึ้น ดังนั้น เราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

2.10.5 ทำการทดลอง

เมื่อทำการทดลอง เราจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้น การวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

2.10.6 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

เราควรจะเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าเราทำการ

ทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้น จะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติคือ ทำให้ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ และถ้าเรานำเอาวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และสามัญสำนึก จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

2.10.7 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้ เราจะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเราต้องการนำเสนอผลงานให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

2.11 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) (วิจิตรา, 2544)

การออกแบบการทดลอง (Experiment) คือการจำลองสภาพความเป็นจริงให้มาอยู่ในสภาพที่เราสามารถควบคุมได้ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริงอันเป็นผลจากการปฏิบัติในการศึกษาทดลอง

การทดลองแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. การทดลองเบื้องต้น เป็นการทดลองเพื่อให้ทราบผลอย่างกว้างๆ ผลที่ได้จากการทดลองมักจะมีการนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

2. การทดลองขั้นตัดสินใจ เป็นขั้นตอนการนำสิ่งที่คัดเลือกได้จากการทดลองเบื้องต้นมาทำการทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบหรือแสวงหาสิ่งที่ดีที่สุดในกลุ่ม ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้แผนการทดลองแบบต่างๆ

ส่วนประกอบของการทดลอง

ทรีทเมนต์ (Treatment) หมายถึง ปริมาณสิ่งของ วัสดุ หรือวิธีการต่างๆ ที่ต้องการทดสอบในการทดลอง

หน่วยทดลอง (Experimental unit) หมายถึง หน่วยของสิ่งทดลองที่จะได้รับทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองนี้เป็นมาตราซึ่งใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ หน่วยทดลอง อาจจะเป็นใบไม้ 1 ใบ ต้นไม้ทั้งต้น กระถาง 1 ใบ สัตว์ 1 ตัว หนึ่งหน่วยทดลองจะหมายถึง หน่วยที่เล็กที่สุดที่จะทำการวัดผล หน่วยทดลองมีขนาดได้ไม่จำกัด ขนาดของหน่วยทดลองจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ลักษณะของการทดลอง วิธีปฏิบัติทดลอง ขนาดของการทดลอง จำนวนทรีทเมนต์ งบประมาณ ความแปรปรวนภายในหน่วยทดลองเดียวกัน และความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลอง

หน่วยตัวอย่าง (Sampling Unit) หมายถึง ส่วนหนึ่งของหน่วยทดลอง หรืออาจจะเป็นทั้งหน่วยทดลอง

ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (Experimental Error) หมายถึง ความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองที่ได้รับทรีทเมนต์เดียวกัน ความคลาดเคลื่อนของการทดลองนี้ ก็คือ ความแปรปรวนภายในของแต่ละทรีทเมนต์ ถ้าค่าที่วัดได้จากหน่วยทดลองที่ได้รับทรีทเมนต์เดียวกันแตกต่างกันมาก ความคลาดเคลื่อนของการทดลองจะสูง แสดงว่าน่าจะมีอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกอื่นที่ส่งผลกระทบต่อการทดลอง นอกเหนือไปจากทรีทเมนต์ในการทำการทดลอง ควรพยายามควบคุมให้มีความคลาดเคลื่อนของการทดลองน้อยที่สุด ความคลาดเคลื่อนของการทดลองเกิดขึ้นจาก 2 สาเหตุใหญ่ คือ

1. ความคลาดเคลื่อนที่มีมาก่อนการทดลอง (Inherent Variability) มักเกิดจากวัตถุหรือสิ่งที่นำมาทดลองมีความแตกต่างอยู่ในตัวเอง ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ตรวจสอบและควบคุมได้ยาก

2. ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง (Extraneous Variability) เกิดจากการปฏิบัติระหว่างการทดลองไม่สม่ำเสมอ หรืออาจเกิดจากการบันทึกผลระหว่างการทดลองผิดพลาด ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้

การทำซ้ำ (Replication) หมายถึง การที่หน่วยทดลองมากกว่าหนึ่งหน่วยได้รับทรีทเมนต์เดียวกัน หรือเป็นการที่ทรีทเมนต์ใดทรีทเมนต์หนึ่งปรากฏในหน่วยทดลองมากกว่าหนึ่งหน่วย สาเหตุที่ต้องมีรการทำซ้ำในการทดลองก็เพื่อ

1. ประมาณความคลาดเคลื่อนของการทดลอง เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลองเป็นความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองที่ได้รับทรีทเมนต์เดียวกัน ดังนั้นการทดลองที่ไม่มีซ้ำ จะไม่สามารถประมาณความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้

2. ความเที่ยงตรงของการประมาณค่า

3. เพิ่มความแม่นยำ คือค่าที่ประมาณได้จะใกล้เคียงค่าความเป็นจริง

2.11.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

การทดลองที่สนใจศึกษาผลของหลายปัจจัย (Multiple Factor) นั้น การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะการทดลองตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป นอกจากจะมีอิทธิพลจากปัจจัยหลัก (Main Effect) แล้ว ยังเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ได้ด้วย โดยผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนอง (Respond) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) ซึ่งกรณีที่มี 2 ปัจจัยหลักที่สนใจจะแสดงอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 ซ้ำ (Replicate) จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล เราจะกล่าวว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

ตัวอย่างกรณีการออกแบบการทดลอง 2 ปัจจัยกำหนดให้ y_{ijk} คือผลตอบสนองที่สังเกตได้เมื่อปัจจัย B อยู่ที่ระดับ i (i = 1, 2, …, a) j (j = 1, 2, …,b) สำหรับเรพลิเคตที่ k (k = 1, 2, …,n) รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 รูปแบบการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย

ปัจจัย A	ปัจจัย B			รวม	เฉลี่ย
	1	2	b		
1	y_{111} ..... y_{11n}	y_{121} ..... y_{12n}	y_{1b1} y_{1bn}	X_1	y_1
2	y_{211} ..... y_{21n}	y_{221} ..... y_{22n}	y_{2b1} y_{2bn}	X_2	y_2
. .	....				
a	y_{a11} ..... y_{a1n}	y_{a21} ..... y_{a2n}	y_{ab1} y_{abn}	X_a	y_a
รวม	$y_{.1.}$	$y_{.2.}$	$y_{b.}$	X...	
ค่าเฉลี่ย	$y_{.1.}$	$y_{.2.}$	y_{b}		y

จากข้อมูลการทดลองแบบ อาจเขียนในรูปแบบจำลองเชิงเส้น (Liner Statistical Model) คือ

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\beta\tau)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \begin{cases} i = 1,2,...a \\ j = 1,2...b \\ k = 1,2...c \end{cases} \qquad (2\text{-}1)$$

โดย μ หมายถึง ผลเฉลี่ยทั้งหมด; τ_i หมายถึง ผลที่เกิดจากระดับที่ i ของปัจจัย A ; β_j หมายถึง ผลที่เกิดจากระดับที่ j ของปัจจัย B ; $(\tau\beta)_{ij}$ หมายถึง ผลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง τ_i และ β_j และ ε_{ijk} หมายถึง องค์ประกอบของความผิดพลาดแบบสุ่มสมมติว่าปัจจัยทั้งคู่มีค่าตายตัว (Fixed) และผลการทดลอง (Treatment Effect) หมายถึง ส่วนที่เบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยทั้งหมด ดังนั้น $\sum_{i=1}^{a} \tau_i = 0$ และ $\sum_{j=1}^{b} \beta_j = 0$ และทำนองเดียวกัน สมมติว่าผลที่เกิดจากอันตรกิริยาที่มีค่าตายตัวและกำหนดค่า $\sum_{i=1}^{a}(\tau\beta)_{ij} = \sum_{j=1}^{b}(\tau\beta)_{ij} = 0$ จากการทดลอง n ครั้ง ดังนั้น จำนวนการทดลองจากการสังเกตทั้งหมดเท่ากับ abn

ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย ทั้งปัจจัยที่เกิดจาก A และ B มีความสำคัญเท่ากัน ดังนั้น เราต้องการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเท่ากันของผลที่เกิดจากปัจจัย A หรือกล่าวได้ว่า

$$H_0 : \tau_i = \tau_2 = ... = \tau_a = 0$$

$$H_i : \text{at least } \tau_i \neq 0$$

และความเท่ากันของผลที่เกิดจากปัจจัย B

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = ... = \beta_b = 0$$

$$H_i : \text{at least one } \beta_j \neq 0$$

นอกจากนั้นแล้ว เรายังสนใจผลที่จะทราบว่า อันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A และ B มีนัยสำคัญหรือไม่ หรือกล่าวได้ว่า

$$H_i : (\tau\beta)_{ij} = 0 \qquad \text{for all i, j}$$

$$H_i : \text{at least one } (\tau\beta) \neq 0$$

การวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับ Fixed Effect Model

กำหนดให้ y_i เป็นผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดภายใต้ระดับที่ i ของปัจจัย A; y_i เป็นผลรวมของ ข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดภายใต้ระดับ j ของระดับปัจจัย B; y_{ij} เป็นค่าผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมด ภายใต้ตำแหน่งที่ ij ; และ $y_{...}$ เป็นผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดที่ได้กำหนดให้ $\bar{y}_{i..}, \bar{y}_{.j.}, \bar{y}_{ij.}$ และ $\bar{y}_{...}$ เป็นค่าของแถว คอลัมน์ เซลล์ และผลรวมทั้งหมดสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$y_{i..} = \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \qquad \bar{y}_{i..} = \frac{y_{i..}}{bn} \qquad i = 1,2,...,a \qquad (2\text{-}2)$$

$$y_{.j.} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \qquad \bar{y}_{.j.} = \frac{y_{.j.}}{bn} \qquad j = 1,2,...,b \qquad (2\text{-}3)$$

$$y_{ij.} = \sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \qquad \bar{y}_{ij.} = \frac{y_{ij}}{n} \qquad i = 1,2,...,a \ ; \ j = 1,2,...,b \qquad (2\text{-}4)$$

$$y_{...} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \qquad \bar{y}_{...} = \frac{y_{...}}{abn}$$

ค่าของผลรวมแก้ไขแล้วทั้งหมดของกำลังสองสามารถเขียนได้เป็น

$$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(y_{ijk} - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}[(\bar{y}_{.i} - \bar{y}...) + (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{..})$$

$$+ (\bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}_{...}) + (\bar{y}_{ijk} - \hat{y}_{ij.})]^2 \qquad (2\text{-}5)$$

$$= bn\sum_{i=1}^{a}(\bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i..}0)^2 + an\sum_{j=1}^{b}(\bar{y}_{.j.} - y_{...})^2$$

$$+n\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}...)^2 + \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2 \qquad (2\text{-}6)$$

สังเกตได้ว่า ค่าผลรวมทั้งหมดของกำลังสองจะถูกแบ่งออกเป็นผลรวมของกำลังสองที่เกิดขึ้น จากอัตรกิริยาระหว่าง A และ B (SS_{AB}); และผลรวมของกำลังสองที่เกิดความผิดพลาด (SS_E) และจากพจน์สุดท้ายของสมการ 6 จะเห็นว่า จะต้องมีอย่างน้อย 2 เรพลิเคต เพื่อที่จะให้เราสามารถคำนวณหาค่าของผลรวมกำลังสองที่เกิดค่าผลรวมแก้ไขแล้วทั้งหมดของกำลังสองสามารถเขียนได้เป็น

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_E \qquad (2\text{-}7)$$

จำนวนของระดับชั้นเสรีสำหรับผลรวมของกำลังสองแต่ละค่าคือ

Effect	**Degrees of Freedom**
A	a-1
B	b-1
AB interaction	(a-1(b-1)
Error	ab(n-1)
Total	abn-1

ถ้าสมมติว่าแบบจำลองตามสมการ (1) เป็นแบบจำลองที่เหมาะสม และพจน์ของความผิดพลาด ε_{ijk} มีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระ โดยมีค่าความแปรปรวนคงตัวเท่ากับ σ^2

ดังนั้น อัตราส่วนของค่ากำลังสองเฉลี่ยที่เกิดจาก MS_A/MS_E, MS_B/MS_E, และ MS_{AB}/MS_E จะมีการกระจายแบบ F ซึ่งมีระดับขั้นเสรีเป็น a-1, b-1 และ (a-1)(b-1) และมีระดับขั้นเสรีของตัวหารคือ ab(n-1) ค่าบริเวณวิกฤติ (Critical Region) คือปลายหางด้านบนของการกระจายแบบ F วิธีการทำได้โดยอาศัยตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนทดสอบความแปรปรวนดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร แบบ Fixed Effect Model

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F_0
A Treatments	SS_A	a-1	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B Treatments	SS_B	b-1	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interaction	SS_{AB}	(a-1((b-1)	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS_E	Ab(n-1)	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Total	SS_T	abn-1		

สามารถคำนวณหาค่าของ SS_T, SS_A, SS_B และSS_E ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2\text{-}8)$$

$$SS_A = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2\text{-}9)$$

$$SS_B = \frac{1}{bn}\sum_{j=1}^{b} y_{.j.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2\text{-}10)$$

$$SS_{Subtotals} = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1=}^{b} y_{ij.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2\text{-}11)$$

$$SS_{AB} = SS_{Subtotal} - SS_A - SS_B \quad (2\text{-}12)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B \quad (2\text{-}13)$$

หรือ $SS_E = SS_T - SS_{Subtotal}$

2.11.2 การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลสองระดับ (2^{k-p})

โดยมากแล้ว เมื่อจำนวนปัจจัยในการออกแบบ 2^k เพิ่มขึ้น จะทำให้จำนวนการทดลองสำหรับเรพลิเคตที่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นมากเกินกว่าทรัพยากรที่มีอยู่จะรองรับได้ (เช่น เวลา ค่าใช้จ่าย เป็นต้น) ตัวอย่างเช่น ใน 1 เรพลิเคตสมบูรณ์ของการออกแบบ 2^6 จะต้องมีการทดลองทั้งหมด 64 ครั้ง ในการออกแบบนี้แค่ 6 ตัว จากระดับขั้นความเสรี 63 ตัวเท่านั้นที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลัก ระดับขั้นความเสรี 15 ตัว จะเกี่ยวข้องกับปัจจัยร่วมแบบสองปัจจัย และระดับขั้นความเสรีที่เหลืออีก 42 ตัว จะเกี่ยวข้องกับปัจจัยร่วมแบบสามปัจจัยและมากกว่า

ถ้าผู้ทดลองสามารถตั้งสมมติฐานอย่างมีเหตุผลได้ว่า ปัจจัยร่วมขั้นสูงบางตัวสามารถละเลยได้ ในกรณีนี้ปัจจัยหลักและกิริยาร่วมขั้นต่ำอาจหาได้โดยการทดลองเพียงแค่เศษส่วนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลอย่างสมบูรณ์เท่านั้น การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design) จัดได้ว่าเป็นการออกแบบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ นอกจากนั้นแล้ว ยังใช้ช่วยในการหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการอีกด้วย

การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลถูกนำมาใช้มากในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผล กล่าวคือ ในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่กำลังอยู่ในความสนใจ เราจะใช้การออกแบบเช่นนี้เพื่อค้นหาว่าปัจจัยตัวใดบ้างเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้ส่วนมากจะใช้ในตอนเริ่มต้นโครงการ เนื่องจากโดยมากแล้ว ในขณะนั้นจะมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลน้อยหรือไม่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่กำลังพิจารณาอยู่ หลังจากทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว ปัจจัยที่มีอิทธิพลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อๆ ไปที่จะตามมาในอนาคต

ความสำเร็จของการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลขึ้นอยู่กับแนวคิดที่สำคัญ 3 ประการคือ

1. หลักการที่ว่ามีปัจจัยจำนวนน้อยที่มีผลเมื่อมีตัวแปรหลายตัว การดำเนินการต่างๆ ของระบบหรือกระบวนการมีแนวโน้มที่จะถูกกำหนดโดยปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมขั้นต่ำเพียงบางตัวเท่านั้น

2. คุณสมบัติการฉายการออกแบบ การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลสามารถถูกฉายไปสู่การออกแบบที่ดีกว่า (ใหญ่กว่า) ในเซตย่อยของปัจจัยที่มีผล

3. การทดลองต่อเนื่อง เป็นไปได้ที่จะรวมการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2 การทดลองหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะทำให้เกิดการทดลองอย่างต่อเนื่องที่มีการออกแบบที่ใหญ่กว่า และสามารถประมาณผลของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่อยู่ในความสนใจได้ดียิ่งขึ้น

$\frac{1}{2}$ ของการออกแบบ 2^k (หรือ 2^{k-1})

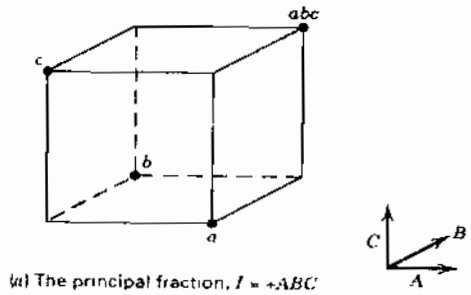
สมมติว่าเรากำลังสนใจที่จะทดสอบผลของ 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ แต่ปรากฏว่าเราไม่สามารถทำการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด $2^3 = 8$ การทดลองได้ เนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่ยอมให้เราทดลองได้เพียง 4 การทดลองเท่านั้น ดังนั้นการออกแบบจึงต้องประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยเป็นจำนวน $2^{3-1} = 4$ การทดลอง ซึ่งก็คือ $\frac{1}{2}$ ของการออกแบบ 2^3 หรือเราอาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นการออกแบบ 2^{3-1}

เครื่องหมายบวกและเครื่องหมายลบสำหรับการออกแบบ 2^3 แสดงได้ดังตารางที่ 2-5 สมมติว่าเราเลือกการทดลองร่วมปัจจัย a, b, c และ abc เป็นเศษส่วนครึ่งหนึ่ง ซึ่งการทดลองเหล่านี้แสดงอยู่ในครึ่งบนของตารางที่ 2-5 และ ภาพที่ 2-7 (a)

ตารางที่ 2-5 แสดงเครื่องหมายบวกและลบสำหรับการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^3

Treatment	Factorial Effect							
Combination	I	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
A	+	+	-	-	-	-	+	+
B	+	-	+	-	-	+	-	+
C	+	-	-	+	+	-	-	+
abc	+	+	+	+	+	+	+	+
ab	+	+	+	-	+	-	-	-
ac	+	+	-	+	-	+	-	-
bc	+	-	+	+	-	-	+	-
(1)	+	-	-	-	+	+	+	-

สังเกตว่าการออกแบบ 2^{3-1} ถูกสร้างขึ้นมา โดยเลือกจากการทดลองร่วมปัจจัยที่มีค่าในคอลัมน์ ABC เป็นบวก ดังนั้น เราเรียก ABC ว่า "ตัวก่อกำเนิด (Generator)" ของเศษส่วนนี้ บางครั้งเราอาจจะเรียกตัวก่อกำเนิดเช่นนี้ว่า "เวิร์ด (Word)" ยิ่งกว่านั้น คอลัมน์เอกลักษณ์ I จะมีค่าเป็นบวกเสมอ ดังนั้นเราจะเรียก I =ABC ว่าเป็น "ตัวกำหนดความสัมพันธ์ (Defining Relation)" ของการออกแบบ โดยปกติแล้วตัวกำหนดความสัมพันธ์สำหรับการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลจะหมายถึง เซตของคอลัมน์ทั้งหมดที่เท่ากับคอลัมน์เอกลักษณ์ I



ภาพที่ 2-7 แสดง $\frac{1}{2}$ ของการออกแบบ 2^3 หรือ 2^{3-1}

การทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 2^{3-1} จะมีระดับขั้นความเสรีที่เราสามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าของผลหลักได้เท่ากับ 3 เมื่อย้อนไปดูตารางที่ 2-5 อีกครั้งจะพบว่า ผลรวมเชิงเส้นของข้อมูลที่จะนำมาประมาณค่าของผลหลัก A, B และ C คือ

$$I_A = \frac{1}{2}(a - b - c + abc)$$
$$I_B = \frac{1}{2}(-a + b - c + abc)$$
$$I_C = \frac{1}{2}(-a - b + c + abc)$$

นอกจากนั้นแล้วผลรวมเชิงเส้นที่ใช้สำหรับประมาณปัจจัยร่วมแบบสองปัจจัยหาได้จาก

$$I_{BC} = \frac{1}{2}(a - b - c + abc)$$
$$I_{AC} = \frac{1}{2}(a - b - c + abc)$$
$$I_{AB} = \frac{1}{2}(a - b - c + abc)$$

ดังนั้นเราจะพบว่า $I_A = I_{BC}$, $I_B = I_{AC}$, $I_C = I_{AB}$ ซึ่งหมายความว่า เราไม่สามารถที่จะแยกความแตกต่างระหว่าง A กับ BC, B กับ AC และ C กับ AB ได้ ในความเป็นจริงแล้วเมื่อเราประมาณค่าของ A, B และ C เราจะประมาณค่าของ A + BC , B + AC , และ C + AB ด้วย เรานิยามผลของสองปัจจัยหรือมากกว่าที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ว่า "คู่แฝดแฝง (Alias)" ในตัวอย่างนี้ A กับ BC เป็นคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกัน , B กับ AC เป็นคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกัน และ C กับ AB เป็นคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกัน เราจะบ่งชี้ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้แทนด้วยสัญลักษณ์ $I_A \rightarrow A + BC$, $I_B \rightarrow B + AC$ และ $I_C \rightarrow C + AB$

โครงสร้างของคู่แฝดแฝงสำหรับการออกแบบนี้สามารถหาได้ โดยใช้ตัวกำหนดความสัมพันธ์ $I = ABC$ โดยคูณคอลัมน์ใดๆ ด้วยตัวกำหนดความสัมพันธ์จะได้คู่แฝดแฝงสำหรับผลของตัวนั้น ตัวอย่างเช่นเราต้องการหาคู่แฝดแฝงของ A ทำได้โดย

$$A \times I = A \times ABC = A^2 \times BC$$

หรือเนื่องจากว่ากำลังสองของคอลัมน์ใดๆ จะมีค่าเท่ากับ I ดังนั้น

$$A = B \times C$$

ในทำนองเดียวกัน เราจะหาคู่แฝดแฝงของ B และ C ได้จาก

$$B \times I = B \times ABC$$

$$B = A \times B^2 \times C = A \times C$$

$$C \times I = C \times ABC$$

$$C = ABC^2 = AB$$

เราเรียกเศษส่วน $\frac{1}{2}$ ที่มี $I = ABC$ นี้ว่า "เศษส่วนหลัก (Principal Fraction)"

ตอนนี้สมมติว่าเราเลือกเศษส่วนอีกครึ่งหนึ่งแทน (เรียกว่า Alternate หรือ Complementary $\frac{1}{2}$ Fraction) นั่นคือเราเลือกการทดลองร่วมปัจจัยในตารางที่ 2-5 ที่มีเครื่องหมายของคอลัมน์ ABC เป็นลบ เศษส่วนอีกครึ่งหนึ่งนี้ (ประกอบไปด้วย (1), ab, ac และ bc) แสดงดังภาพที่ 2-7(b) ตัวกำหนดความสัมพันธ์ของการออกแบบนี้คือ

$$I = -ABC$$

ผลรวมเชิงเส้นสำหรับข้อมูลจากเศษส่วนอีกครึ่งหนึ่งจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$I'_A \rightarrow A - BC$$
$$I'_B \rightarrow B - AC$$
$$I'_C \rightarrow C - AB$$

ดังนั้น เมื่อเราประมาณค่า A, B และ C โดยใช้เศษส่วนชุดนี้ เราจะประมาณค่าของ A – BC, B – AC, และ C – AB นั่นเอง

ในทางปฏิบัติเราสามารถใช้ได้ทั้งเศษส่วนชุดที่อยู่ในครึ่งแรกหรือครึ่งหลังก็ได้ ทั้งนี้เพราะเศษส่วนทั้งสองจะอยู่ในแฟมมิลี่ (Family) เดียวกัน นั่นคือเศษส่วนทั้งสองครึ่งนี้จะทำให้เกิดเป็นการออกแบบ 2^3 แบบสมบูรณ์ ซึ่งสามารถดูได้จากภาพที่ 2-7(a) และ 2-7(b)

สมมติว่าหลังจากที่ทดลองกับครึ่งแรกของการออกแบบ 2^3 เรียบร้อยแล้ว เราตัดสินใจที่จะทดลองกับอีกครึ่งหนึ่งด้วย ดังนั้นในที่นี้การทดลองร่วมปัจจัยทั้ง 8 ของการออกแบบ 2^3 แบบสมบูรณ์ได้ถูกดำเนินการขึ้น ตอนนี้เราได้ประมาณ De-Aliased ของผลทั้งหมดโดยการวิเคราะห์การทดลองร่วมปัจจัยทั้ง 8 เหมือนกับการออกแบบ 2^3 แบบสมบูรณ์ที่ประกอบด้วย 2 บล็อก และมี 4 การทดลองในแต่ละบล็อก ซึ่งสามารถทำได้โดยการบวกและลบผลรวมเชิงเส้นของปัจจัยที่เกิดจากเศษส่วนทั้งสอง เช่น $I_A \rightarrow A + BC$ และ $I'_A \rightarrow A - BC$ ซึ่งหมายความว่า

$$\frac{1}{2}(I_A - I'_A) = \frac{1}{2}(A + BC - A + BC) \rightarrow A$$

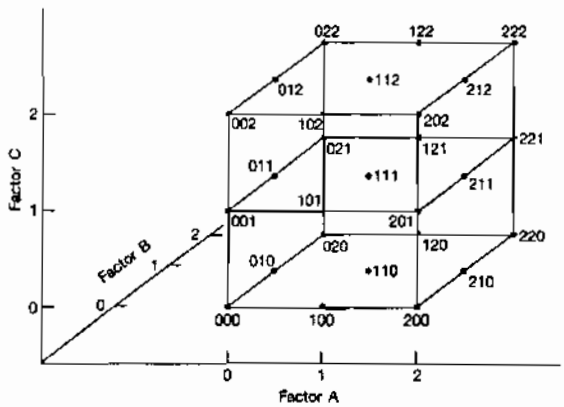
และ
$$\frac{1}{2}(I_A - I'_A) = \frac{1}{2}(A + BC - A + BC) \rightarrow BC$$

ดังนั้น สำหรับผลรวมเชิงเส้นทั้ง 3 คู่ เราจะได้ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 แสดงผลรวมเชิงเส้น 3 ปัจจัย

i	From $\frac{1}{2}(I_i + I'_i)$	from $\frac{1}{2}(I_i - I'_i)$
A	A	BC
B	B	AC
C	C	AB

2.11.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสามระดับ (3^k Factorial Design) การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 3^k หมายถึง การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ กำหนดสัญลักษณ์ของปัจจัยและอิทธิพลร่วมของปัจจัยด้วยอักษรตัวใหญ่ และระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีค่าเป็น ต่ำ ปานกลาง สูง โครงสร้างทางเรขาคณิตของการออกแบบ 3^3 แสดงดังภาพที่ 2-8 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3^k เมื่อปัจจัยเป็น เชิงปริมาณ จะแทนระดับต่ำ ปานกลาง สูง ด้วย -1, 0 และ -1 ตามลำดับ ซึ่งการใช้สัญลักษณ์เช่นนี้ จะทำให้ง่ายในการสร้างแบบจำลองการถดถอยของผลตอบสนองที่เกิดจากแต่ละระดับปัจจัย



ภาพที่ 2-8 การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการทดลอง 3^3 Factorial Design

2.12 มิติของการออกแบบ

เราเรียกการออกแบบ 2^{3-1} ดังกล่าวว่า การออกแบบมิติ III (Resolution III Design) ในการออกแบบเช่นนี้ ผลของปัจจัยหลักจะเป็นคู่แฝงกับปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย การออกแบบจะมีมิติ R ก็ต่อเมื่อ ไม่มีผลของ p ปัจจัยใดๆ ที่แฝงอยู่กับผลอื่นๆ ที่น้อยกว่า R - p ปัจจัย เราจะใช้ตัวห้อยเป็นเลขโรมันแทนมิติของการออกแบบ ดังนั้น เศษส่วนของการออกแบบ 2^3 ที่มีตัวกำหนดความสัมพันธ์ I = ABC (หรือ I = -ABC) คือ การออกแบบ 2^{3-1}_{III}

เนื่องจากการออกแบบที่มิติ III, IV และ V มีความสำคัญ เราจะให้นิยามและยกตัวอย่างสำหรับการออกแบบเหล่านี้ได้ดังต่อไปนี้

2.12.1 การออกแบบมิติ III การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีปัจจัยหลักใดๆ ที่จะแฝงอยู่กับปัจจัยหลักตัวอื่นๆ แต่ปัจจัยหลักจะถูกแฝงอยู่กับปัจจัยร่วมสองปัจจัย และอาจจะมีปัจจัยร่วมสองปัจจัยที่แฝงอยู่ด้วยกัน ตัวอย่างเช่น การออกแบบ 2^{3-1} ที่แสดงในตารางที่ 2-6 เป็นการออกแบบที่มีมิติ III $\left(2^{3-1}_{III}\right)$

2.12.2 การออกแบบมิติ IV การออกแบบเหล่านี้ จะไม่มีปัจจัยหลักใดๆ ที่จะแฝงอยู่กับปัจจัยหลักตัวอื่นๆ หรือปัจจัยร่วมสองปัจจัย แต่จะมีปัจจัยร่วมสองปัจจัยที่แฝงอยู่ด้วยกัน ตัวอย่างเช่น การออกแบบ 2^{4-1} ที่มี I = ABCD เป็นการออกแบบที่มีมิติ IV $\left(2_{IV}^{4-1}\right)$

2.12.3 การออกแบบมิติ V การออกแบบเหล่านี้ จะไม่มีปัจจัยหลักหรือปัจจัยร่วมสองปัจจัยใดๆ ที่จะแฝงอยู่กับปัจจัยหลักหรือปัจจัยร่วมสองปัจจัยตัวอื่นๆ แต่ปัจจัยร่วมสองปัจจัยจะแฝงอยู่กับปัจจัยร่วมสามปัจจัย ตัวอย่างเช่น การออกแบบ 2^{5-1} ที่มี I = ABCDE เป็นการออกแบบที่มีมิติ V $\left(2_{V}^{5-1}\right)$

ตามปกติแล้ว การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ จะเป็นจำนวนตัวอักษรที่น้อยที่สุดในเวิร์ดของตัวกำหนดความสัมพันธ์ สิ่งที่ตามมาก็คือ เราสามารถเรียกการออกแบบต่อจากนี้ว่า การออกแบบชนิดสามตัวอักษร สี่ตัวอักษร และห้าตัวอักษร ตามลำดับ โดยมากแล้วเรามักจะกำหนดให้มิติสูงสุดที่เป็นไปได้ของการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล ที่มีค่าตรงกันกับระดับของเศษส่วนที่ต้องการ ซึ่งจะเห็นได้ว่า การออกแบบยิ่งมีมิติสูง ก็ยิ่งมีข้อจำกัดน้อยลงในเรื่องสมมติฐานเกี่ยวกับว่า ปัจจัยร่วมตัวใดจะถูกละเลยได้ เพื่อที่จะได้มาซึ่งการตีความหมายข้อมูลอย่างถูกต้อง

2.13 การทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานทางสถิติ คือ ประโยคหรือข้อความที่กล่าวเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของการแจกแจงความน่าจะเป็น ซึ่งอาจจะเป็นจริงหรือเท็จก็ได้ ข้อความหรือประโยคดังกล่าวนี้ ต้องระบุกลุ่มของประชากรที่เกี่ยวข้องมาด้วยหนึ่งกลุ่มหรือมากกว่าหนึ่งกลุ่มก็ได้

สมมติฐานทางสถิติที่เขียนไว้ในเชิงปริมาณการเท่ากันของค่าสถิติเราเรียกว่า สมมติฐานที่ไม่มีความแตกต่างกัน ภาษานักวิจัยเรียกกันว่าโนล ไฮโพธีสิส (Null Hypothesis) หรือสมมติฐานหลัก แทนด้วยสัญลักษณ์ H_0 ส่วนสมมติฐานที่มีความแตกต่างกันเรียกว่าอัลเธอเนธีฟ ไฮโพธีสิส (Alternative Hypothesis) หรือสมมติฐานรอง แทนด้วยสัญลักษณ์ H_1

การทดสอบสมมติฐานแบบทางเดียว

เป็นการตั้ง H_0 โดยกำหนด $H_0 : \mu = \mu_0$

และกำหนด H_1 ดังนี้คือ

$H_1 : \mu < \mu_0$ หรือ $H_1 : \mu > \mu_0$

โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดที่สนใจ

μ_0 คือค่าเฉลี่ยอ้างอิง

การทดสอบสมมติฐานแบบสองทาง

เป็นการตั้ง H_0 โดยกำหนด $H_0 : \mu = \mu_0$

และกำหนด H_1 ดังนี้คือ

— $H_1 : \mu \neq \mu_0$

โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดที่สนใจ

μ_0 คือค่าเฉลี่ยอ้างอิง

หรือ

เป็นการตั้ง H_0 โดยกำหนด $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \ldots = \mu_a$

และกำหนด H_1 ดังนี้คือ

$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่ (i, j)

โดยที่ μ คือค่าพารามิเตอร์ หรือค่าเฉลี่ยของประชากรที่สนใจ

i, j คือ $1, 2, \ldots, a$

ในการทดสอบสมมติฐานจะเกิดลักษณะของความผิดพลาดในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน ซึ่งความผิดพลาดทั้ง 2 ประเภทนี้สามารถเกิดขึ้นได้ขณะทดสอบสมมติฐาน ถ้าหากค่า H_0 ถูกปฏิเสธ ทั้งๆ ที่ H_0 ถูกต้อง จะเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 ขึ้น แต่ถ้า H_0 ไม่ถูกปฏิเสธ ทั้งๆ ที่ H_0 นั้นไม่ถูกต้อง ความผิดพลาดประเภทที่ 2 ก็จะเกิดขึ้น ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดทั้ง 2 ประเภทก่อให้เกิดสัญลักษณ์พิเศษคือ α และ β

$$\alpha = P(\text{type I error}) = P(\text{reject } H_0 / H_0 \text{ is true})$$

$$\beta = P(\text{type II error}) = P(\text{fail to reject } H_0 / H_0 \text{ is false})$$

โดยที่

α หมายถึง ความเสี่ยงในการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริง

β หมายถึง ความเสี่ยงในการยอมรับสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักไม่เป็นจริง

และจากความเสี่ยงของทั้งสองแบบนี้เอง จึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำของการทดลองไว้เพื่อให้มีความเชื่อมั่นหรือมีความเสี่ยงในการยอมรับข้อมูลตามที่กำหนดไว้ และในการวิเคราะห์ก็มักจะกำหนดให้ค่าของ α มีค่าคงที่และค่าของ β ให้มีค่าน้อยที่สุด

2.14 วิธีการพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์ และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบสนองที่สนใจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ตัว และต้องการที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลการตอบสนองเหล่านี้ ตัวอย่างเช่น สมมติว่ามีวิศวกรเคมีคนหนึ่ง มีความต้องการที่จะหาระดับของอุณหภูมิ (x_1) และความดัน (x_2) ที่จะส่งผลให้ผลผลิตของกระบวนการมีค่ามากที่สุด ซึ่งผลผลิตของกระบวนการนี้เป็นฟังก์ชันของระดับของอุณหภูมิและความดัน กล่าวคือ

$$y = \int(x_1, x_2) + \varepsilon \tag{2-1}$$

โดยที่ ε คือ ค่าความผิดพลาดของผลตอบสนอง y ที่เป็นผลมาจากการทดลอง ถ้ากำหนดให้ $E(y) = f(x_1, x_2) = \eta$ ดังนั้น สามารถเขียนสมการของพื้นผิวได้ดังนี้

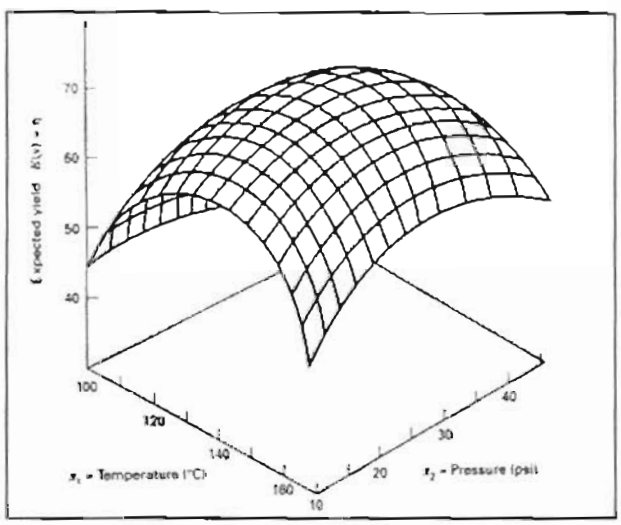
$$\eta = f(x_1, x_2) \tag{2-2}$$

ซึ่งเรียกว่า พื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) โดยมากแล้ว จะทำการแสดงพื้นผิวผลตอบสนองในรูปแบบของกราฟ (ภาพที่ 2-9) โดยที่ η จะถูก Plot กับระดับของ x_1 และ x_2 เพื่อที่จะช่วยให้เรามองรูปร่างของพื้นผิวผลตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น ส่วนใหญ่แล้ว จะทำการพล็อท (Plot) เป็นเส้นโครงร่าง (Contour Plot) ของพื้นผิวผลตอบสนอง (ภาพที่ 2-10) ในการสร้างเส้นโครงร่างนี้ เส้นที่มีค่าของผลตอบสนองคงที่จะถูกวาดอยู่บนระนาบ x_1 และ x_2 ซึ่งเส้นโครงร่างแต่ละเส้นจะมีความสูงของพื้นผิวผลตอบสนองที่เท่ากันอยู่ค่าหนึ่ง ในปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบสนอง ส่วนมากจะไม่ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองและตัวแปรอิสระ ดังนั้นขั้นตอนแรกก็คือ จะต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และของตัวแปรอิสระ ซึ่งตามปกติแล้ว จะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่กำลังต่ำๆ ที่อยู่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ถ้าแบบจำลองของผลตอบสนองมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่จะใช้ในการประมาณความสัมพันธ์นี้ คือ แบบจำลองกำลังหนึ่ง

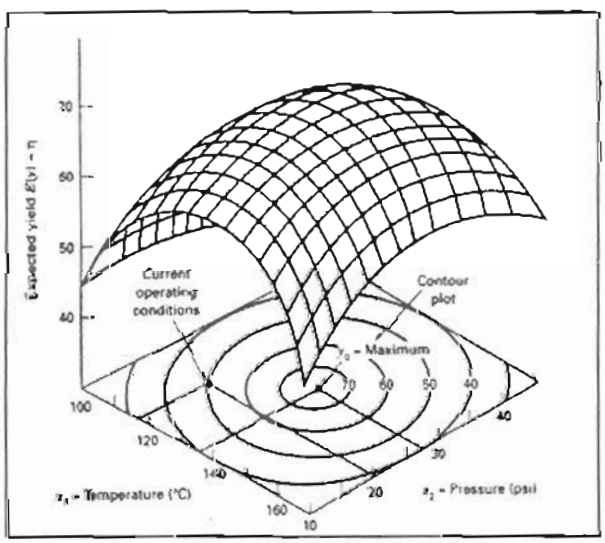
$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_k x_k + \varepsilon \tag{2-3}$$

แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องในระบบ จะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสอง

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_j x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \qquad (2\text{-}4)$$



ภาพที่ 2-9 แสดงภาพพื้นผิวผลตอบสนองในรูปแบบของกราฟ 3 มิติ

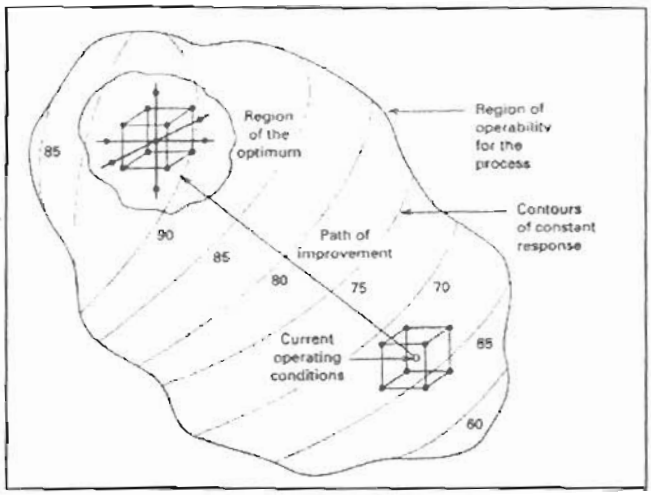


ภาพที่ 2-10 แสดงกราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวผลตอบสนอง

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบสนอง ส่วนใหญ่จะใช้แบบจำลอง 1 ใน 2 แบบที่กล่าวมาข้างต้น แน่นอนว่าแบบจำลองพหุนามดังกล่าวเหล่านี้ จะไม่สามารถใช้ประมาณค่าความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระ แต่ถ้าพื้นผิวที่สนใจอยู่นั้นมีขนาดค่อนข้างเล็กแล้ว แบบจำลองเหล่านี้จะใช้งานได้ดีพอสมควร

วิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method) ดังกล่าวไว้ในทฤษฎีของการสร้างแบบจำลองการถดถอย (Fitting Regression Models) แล้ว จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองพหุนาม การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองจะเกิดขึ้นกับพื้นผิวที่สร้างขึ้นนี้ ถ้าพื้นผิวที่สร้างขึ้นสามารถใช้ประมาณฟังก์ชันผลตอบสนองได้เป็นอย่างดีเพียงพอ ดังนั้น การวิเคราะห์พื้นผิวที่สร้างขึ้นมานี้ จะสามารถประมาณค่าได้เหมือนกับการวิเคราะห์ระบบจริง พารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองสามารถที่จะถูกประมาณค่าได้เป็นอย่างดี ถ้าเราทำการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะเก็บค่าได้อย่างเหมาะสม การออกแบบชนิดนี้เรียกว่า การออกแบบโดยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Design)

การวิเคราะห์พื้นผิวเป็นวิธีการแบบมีลำดับขั้นตอน บ่อยครั้งที่เราอยู่ที่จุดบนพื้นผิวผลตอบสนองที่ห่างไกลออกไปจากจุดที่ดีที่สุด ตัวอย่างเช่น ณ เงื่อนไขการทำงานปัจจุบัน (ภาพที่ 2-11) ซึ่งจะพบว่าผลตอบสนองของระบบนี้ไม่ค่อยเป็นส่วนโค้ง และแบบจำลองกำลังหนึ่งก็พอเพียงในการสร้างแบบจำลองแล้ว วัตถุประสงค์ คือ การนำการทดลองไปใช้เป็นแนวทางที่มีการปรับปรุงมากที่สุด และอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อที่จะเป็นการค้นพบกับจุดที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วที่สุด และเมื่อค้นพบอาณาเขตของค่าที่ดีที่สุดแล้ว จะนำเอาแบบจำลองที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น แบบจำลองกำลังสอง เป็นต้น เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ และการทดลองเช่นนี้ จะทำเพื่อที่จะให้สามารถหาจุดที่ดีที่สุดได้ จากภาพที่ 2-11 จะพบว่าการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองเปรียบเสมือนการปีนภูเขา ซึ่งยอดเขามักจะเป็นจุดที่มีผลตอบสนองสูงสุด หรือกรณีถ้าค่าที่ดีที่สุดคือ ค่าต่ำที่สุด ในที่นี้ จะคิดเสมือนการเคลื่อนที่ลงสู่หุบเขา วัตถุประสงค์สุดท้ายของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง คือ การหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดสำหรับระบบ หรือเพื่อที่จะหาอาณาเขตของปัจจัยที่จะก่อให้เกิดการทำงานที่น่าพอใจที่สุด



ภาพที่ 2-11 แสดงวิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง

2.15 การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองกำลังสอง

เมื่อผู้ทำการทดลองอยู่ใกล้เคียงกับจุดที่ดีที่สุดแล้ว แบบจำลองที่สามารถแสดงส่วนโค้งจะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าของผลตอบสนอง ส่วนใหญ่แบบจำลองกำลังสองจะมีรูปแบบ ดังนี้

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_j x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \qquad (2\text{-}5)$$

ซึ่งแบบจำลองนี้จะมีความพอเพียง ในส่วนต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นถึงการสร้างแบบจำลองกำลังสอง เพื่อที่จะนำไปสู่การหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดต่อไป

กราฟโครงร่าง (Contour Plot) มีความสำคัญอย่างมากในการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง การใช้ Software สำหรับสร้างกราฟโครงร่างของพื้นผิวตอบสนองขึ้นมา จะทำให้ทราบถึงรูปร่างของพื้นผิว และตำแหน่งของจุดที่ดีที่สุดได้ค่อนข้างแม่นยำ

บางครั้งอาจจะสามารถหาคำตอบทั่วไปทางคณิตศาสตร์สำหรับตำแหน่งของจุดหยุดนิ่ง (Stationary Point) ได้ โดยการเขียนแบบจำลองกำลังสองในรูปแบบแมททริก (Matrix) ได้ คือ

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + x'b + x'Bx \qquad (2\text{-}6)$$

โดยที่

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_k \end{bmatrix} \qquad b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \qquad \text{และ} \qquad B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12}/2, & \ldots, & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ & \hat{\beta}_{22} & \ldots, & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ & \cdot & & \cdot \\ & \cdot & & \cdot \\ & \cdot & & \cdot \\ sym. & & & \hat{\beta}_{kk} \end{bmatrix}$$

ซึ่ง b คือเวกเตอร์ขนาด $(k \times 1)$ ของสัมประสิทธิ์การถดถอยกำลังหนึ่ง และ B คือ Matrix แบบสมมาตรขนาด $(k \times k)$ ซึ่งมีส่วนประกอบในแนวเส้นทแยงมุมหลักเป็นสัมประสิทธิ์ของกำลังสองบริสุทธิ์ $(\hat{\beta}_{ii})$ และส่วนประกอบที่ไม่ได้อยู่ในแนวเส้นทแยงมุมเป็นครึ่งหนึ่งของสัมประสิทธิ์กำลังสองผสม $(\hat{\beta}_{ij}, i \neq j)$ ค่าอนุพันธ์ของ $\hat{y}$ เทียบกับส่วนประกอบของเวกเตอร์ x มีค่าเท่ากับศูนย์ คือ

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x} = b + 2Bx = 0 \tag{2-7}$$

จุดหยุดนิ่ง คือ คำตอบของสมการที่ 2-7 คือ

$$x_s = -\frac{1}{2} B^{-1} b \tag{2-8}$$

และเมื่อแทนค่าสมการที่ 2-8 ในสมการที่ 2-6 จะพบค่าผลตอบสนองที่คาดหมาย ณ จุดหยุดนิ่ง

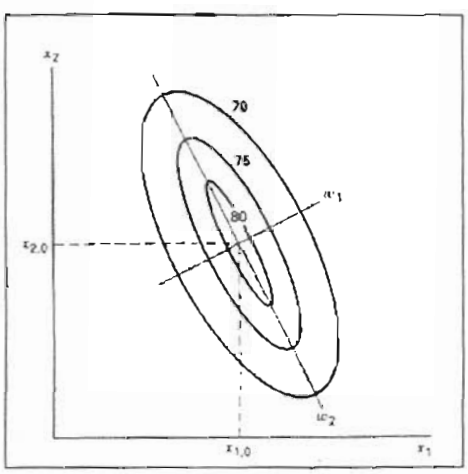
$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \frac{1}{2} x_s' b \tag{2-9}$$

2.15.1 ลักษณะคุณสมบัติของพื้นผิวผลตอบสนอง

เมื่อค้นพบจุดหยุดนิ่งแล้ว มีความจำเป็นที่จะต้องหาลักษณะคุณสมบัติของพื้นผิวตอบสนองในบริเวณใกล้เคียงกับจุดนี้ นั่นคือ จะต้องหาว่าจุดหยุดนิ่งนี้เป็นจุดสูงสุด, เป็นจุดต่ำสุด หรือเป็นจุดอานม้า นอกจากนั้น ยังต้องศึกษาถึงความไวของผลตอบสนองกับตัวแปร $x_1, x_2, \ldots, x_k$

เหมือนดังกล่าวมาก่อนหน้านี้ว่า วิธีการแบบตรงไปตรงมาที่จะหาจุดเหล่านี้ คือ การดูกราฟจากโครงร่างของแบบจำลอง ถ้าในการทดลองนั้นมีตัวแปรของกระบวนการเพียง 2 หรือ 3 ตัว การสร้างและการตีความหมายของกราฟโครงร่างนี้จะค่อนข้างง่าย อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าจะมีตัวแปรเพียงแค่ 2 หรือ 3 ตัวก็ตาม การวิเคราะห์อย่างเป็นทางการที่เรียกว่า การวิเคราะห์แบบบัญญัติ (Canonical Analysis) ก็สามารถนำมาใช้ได้เช่นกัน

จะเป็นการช่วยในการวิเคราะห์เป็นอย่างมาก ถ้ามีการแปลงรูปของแบบจำลองไปสู่ระบบพิกัดที่มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่จุดหยุดนิ่ง x_s และหลังจากนั้นก็หมุนแกนของระบบนี้จนกระทั่งมันขนานกับแกนหลัก (Principal Axis) ของพื้นผิวตอบสนองที่สร้างขึ้นมา การแปลงรูปอย่างนี้ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 รูปแบบบัญญัติของแบบจำลองกำลังสอง

ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ผลของการแปลงรูปแบบนี้ จะสามารถทำให้ได้แบบจำลองขึ้นมา นั่นคือ

$$\hat{y} = \hat{y}_s + \lambda_1 w_1^2 + \lambda_2 w_2^2 + \ldots + \lambda_k w_k^2 \qquad (2\text{-}10)$$

โดยที่ $\{w_i\}$ คือตัวแปรอิสระที่ถูกแปลงรูป และ $\{\lambda_i\}$ คือค่าคงตัว สมการที่ 2-10 เรียกว่ารูปแบบบัญญัติของแบบจำลอง นอกจากนั้น $\{\lambda_i\}$ จะหมายถึงค่าเฉพาะ หรือรากลักษณะ (Characteristic Roots) ของ Matrix B

ธรรมชาติของพื้นผิวตอบสนอง สามารถที่จะหาได้จากหยุดนิ่ง และเครื่องหมาย และขนาดของ $\{\lambda_i\}$ อันดับแรก สมมติว่าจุดหยุดนิ่งอยู่ภายใต้บริเวณของการสำรวจ เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองกำลังสอง ถ้า $\{\lambda_i\}$ ทั้งหมดมีค่าเป็นบวก ดังนั้น x_s จะเป็นจุดที่มีผลตอบสนองมากที่สุด แต่ถ้า $\{\lambda_i\}$ ทั้งหมดมีค่าเป็นลบ ดังนั้น x_s จะเป็นจุดที่มีผลตอบสนองน้อยที่สุด และถ้า $\{\lambda_i\}$ ทั้งหมดมีเครื่องหมายแตกต่างกัน ดังนั้น x_s จะเป็นจุดอานม้า นอกจากนี้ พื้นผิวจะมีความชันสูงสุดในทิศทางของ w_i ซึ่งทำให้ $|\lambda_i|$ มีค่าสูงสุด ตัวอย่างเช่น ในภาพที่ 2-28 ซึ่งแสดงระบบที่มี x_s อยู่ที่จุดสูงสุด (λ_1 และ λ_2 มีค่าเป็นลบ) ที่มี $|\lambda_1| > |\lambda_2|$

2.15.2 ผลตอบสนองหลายตัว

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวตอบสนองจำนวนมากเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลตอบสนองหลายตัว การพิจารณาผลอบสนองหลายตัวพร้อมๆ กันทำได้โดยการสร้างแบบจำลองของพื้นผิวตอบสนองที่เหมาะสมสำหรับผลตอบแต่ละตัว และหลังจากนั้นจะทำการกำหนดของเงื่อนไขการทำงานที่จะทำให้ผลตอบสนองทั้งหมดมีค่าดีที่สุด หรืออย่างน้อยสุดให้ผลตอบสนองทั้งหมดอยู่ภายใต้ขอบเขตที่ยอมรับได้

2.16 การออกแบบการทดลองสำหรับฟิต (Fit) พื้นผิวผลตอบสนอง

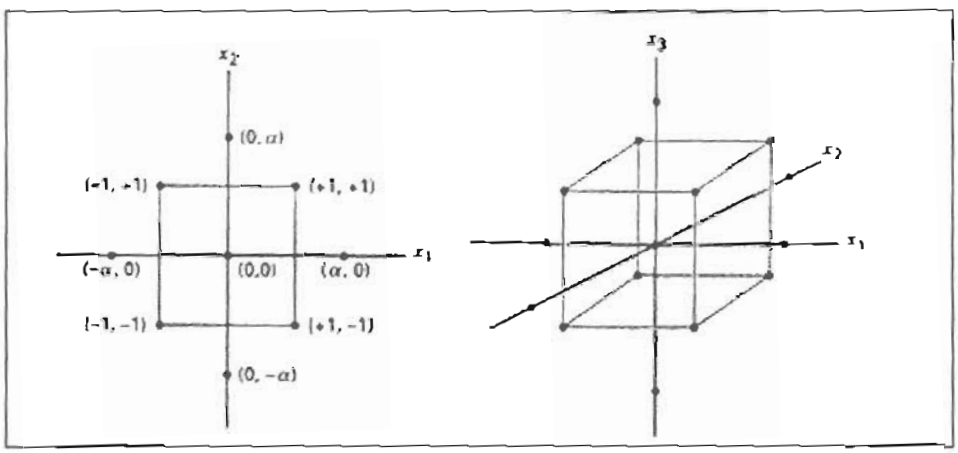
การฟิตและการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองจะทำได้ง่ายขึ้น โดยถ้าหากทำการเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมในส่วนนี้ จะขออธิบายเกี่ยวกับแนวทางในการเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมสำหรับการฟิตพื้นผิวผลตอบสนอง โดยเมื่อจะทำการเลือกการออกแบบพื้นผิวผลตอบสนองแล้ว ลักษณะของการออกแบบที่ต้องการบางประการที่ควรพิจารณา มีดังนี้

1. ทำให้เกิดการกระจายที่เหมาะสมของจุดของข้อมูลตลอดบริเวณที่อยู่ในความสนใจ
2. ทำให้สามารถตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง และแลคออฟฟิต (Lack of Fit) ได้
3. ทำให้การทดลองสามารถเกิดขึ้นได้ในบล็อก (Block)
4. ทำให้การออกแบบที่มีอันดับ (Order) สูงขึ้นสามารถสร้างขึ้นได้ตามลำดับ
5. ให้ค่าประมาณภายในของความผิดพลาด
6. ไม่ต้องการทดลองเป็นจำนวนมาก
7. ไม่ต้องมีหลายระดับของตัวแปรอิสระ
8. คำนวณพารามิเตอร์ในแบบจำลองได้ง่าย

ลักษณะคุณสมบัติที่ต้องการเหล่านี้ ซึ่งในบางครั้งอาจจะมีความขัดแย้งกันได้ ดังนั้น จึงจะต้องมีการไตร่ตรองอย่างดีก่อนที่จะทำการเลือกการออกแบบที่จะนำมาใช้งาน

2.16.1 การออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอันดับสอง

การออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD ซึ่งใช้ในการฟิตแบบจำลองอันดับที่สอง การออกแบบนี้เป็นประเภทหนึ่งของการออกแบบที่นิยมกันมาก สำหรับการฟิตแบบจำลองลักษณะเช่นนี้ โดยทั่วไป CCD จะประกอบด้วย 2^k แฟกทอเรียลที่มี n_f การทดลอง, การทดลอง 2^k ในแนวแกนหรือแนวรูปดาว (Star) และ n_c การทดลองที่จุดศูนย์กลางดังภาพที่ 2-13 จะเป็นการแสดง CCD สำหรับ k = 2 และ k = 3 ปัจจัย



ภาพที่ 2-13 แสดงการออกแบบส่วนประสมกลางสำหรับสำหรับ k=2 และ k=3

2.16.2 CCD รูปทรงกลม

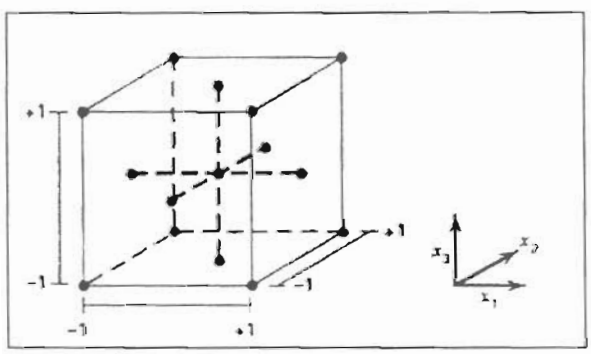
ความสามารถในการหมุนเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของรูปทรงกลม (Spherical) นั่นคือ จะเป็นการดีมาก ถ้าจะใช้เกณฑ์ในการออกแบบเช่นนี้ เมื่อบริเวณที่สนใจอยู่มีรูปทรงกลม อย่างไรก็ตาม การออกแบบที่ดีไม่จำเป็นว่าจะต้องทำให้เกิดความสามารถในการหมุนได้อย่างถูกต้อง 100% ในความเป็นจริงแล้ว สำหรับบริเวณของทรงกลมที่สนใจอยู่นั้น ทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับ α หาได้จากการพยากรณ์ความแปรปรวนสำหรับ CCD ซึ่งกำหนดให้ $\alpha = \sqrt{k}$ การออกแบบเช่นนี้เรียกว่า CCD รูปทรงกลม (Spherical CCD) ซึ่งจะกำหนดให้ทุกจุดที่อยู่ในการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลและการออกแบบในแนวแกนให้อยู่บนพื้นผิวของรูปทรงกลมซึ่งมีรัศมีเท่ากับ $\sqrt{k}$

2.16.3 จุดศูนย์กลางของการทดลองใน CCD

การเลือก α ใน CCD จะถูกกำหนดโดยบริเวณที่สนใจอยู่ เมื่อบริเวณนี้เป็นรูปทรงกลม การออกแบบจะต้องรวมเอาจุดศูนย์กลางของการทดลองเข้าไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อว่าจะทำให้ค่าความแปรปรวนของผลตอบสนองที่พยากรณ์ได้ มีเสถียรภาพอย่างเป็นที่ยอมรับได้ ตามปกติแล้วขอแนะนำให้ใช้ 3-5 รัน (Run)

2.16.4 บริเวณที่สนใจแบบคิวบอยดัล (Cuboidal)

มีเหตุการณ์มากมายที่บริเวณที่อยู่ในความสนใจเป็นแบบคิวบอยดัล (Cuboidal) แทนที่จะเป็นรูปทรงกลม ในกรณีเช่นนี้การออกแบบที่เรียกว่า เฟซ-เซ็นเตอร์เซ็นทรัลคอมโพสิท (Face-Centered Central Composite) หรือเฟซ-เซนเตอร์คิว (Face-Central Cube) ที่มี $\alpha = 1$ ซึ่งมีพัฒนามาจากส่วนประสมกลาง จะเป็นการออกแบบที่มีประโยชน์อย่างมาก การออกแบบนี้วางจุดดาว (Star) หรือจุดในแนวแกน (Axial) อยู่บนจุดศูนย์กลางของหน้าของรูปทรงลูกบาศก์ ดังแสดงในภาพที่ 2-14 สำหรับ k = 3 การออกแบบนี้ได้ถูกนำมาใช้เนื่องจากการออกแบบนี้ต้องการเพียง 3 ระดับของแต่ละปัจจัยเท่านั้น และการเปลี่ยนระดับปัจจัยทำได้ยากในทางปฏิบัติอีกด้วย



ภาพที่ 2-14 การออกแบบ แบบเฟซเซนเตอร์ (Face-Centered) ส่วนประสมกลางสำหรับ k=3

การออกแบบ แบบ Face-Central Cube ไม่ต้องการใช้จุดศูนย์กลางเป็นจำนวนมากเหมือนกันกับ CCD รูปทรงกลม ในทางปฏิบัติ $n_c = 2$ จะพอเพียงที่จะทำให้ความแปรปรวนของการพยากรณ์อยู่ในระดับที่ดีตลอดบริเวณของการออกแบบ ในบางครั้งทำการทดลองที่จุดศูนย์กลางเป็นจำนวนมากขึ้น เนื่องจากต้องการให้ค่าประมาณความผิดพลาดของการทดลองเป็นที่ยอมรับได้

2.17 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.17.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square)

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองนั้นมีความเหมาะสมเพียงไร ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Variable) หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด นั่นคือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) ควรมาค่าเข้าใกล้ 1 ให้ได้มากที่สุด

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \times 100\% \quad (2\text{-}40)$$

หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) ต่ำ อาจแก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนซ้ำของการทดลอง ตรวจหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการทดลองใหม่ หรือหากพบว่าปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมาก อาจต้องบล็อกเพื่อลดปัจจัยรบกวน

2.17.2 การตรวจสอบความถูกต้องของของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบในการทดลอง จะทดสอบถึงการกระจายของข้อมูลว่ามีการแจงแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ตามสมมติฐานหรือไม่ ทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน

2.17.2.1 การตรวจสอบการกระจายว่ามีการแจกแจงแบบแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยอาจใช้การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (χ^2 - Goodness of Fit Test) การทดสอบแบบโคโกโมรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolgomorvov-Smirnov Test) หรือการตรวจสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ

การกระจายของข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหมายความว่า ข้อมูลแต่ละตัวที่เป็นตัวแปรสุ่มจะต้องมีแนวโน้มที่ค่าจะเข้าหาค่าหนึ่งคงที่ แล้วมีการกระจายรอบค่าดังกล่าวในลักษณะสมมาตร หากข้อมูลไม่ได้มีการแจงแจงแบบปกติแล้วทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ จึงต้องค้นหาสาเหตุก่อนการวิเคราะห์

2.17.2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) จะตรวจสอบโดยใช้แผนภูมิการกระจายแล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่ ข้อมูลมีความอิสระ หมายความว่า ข้อมูลแต่ละตัวที่ใช้ในการสร้างแบบการถดถอยจะต้องเป็นอิสระต่อกันอันเนื่องจากการสุ่ม ทั้งนี้ถ้าหากข้อมูลไม่มีการสุ่มแล้ว จะทำให้วิเคราะห์ข้อมูลไม่ได้ ค่าเฉลี่ยหรือค่าคาดหมายก็ไม่ได้เป็นตัวแทนของข้อมูล แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความเอนเอียง (Bias) จำเป็นต้องค้นหาสาเหตุก่อนการวิเคราะห์

2.17.2.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) จะตรวจสอบโดยใช้แผนภูมิการกระจาย ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual Plot) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้าลักษณะการกระจายของข้อมูลไม่เป็นลักษณะที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) การที่ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) หมายความว่า ข้อมูลที่เก็บมานั้น ได้จากกระบวนการที่เป็นมาตรฐานแล้ว ความแตกต่างของข้อมูลที่เกิดขึ้นมาจากสาเหตุ

ที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Chance Cause) จากระบบการเก็บรวบรวมข้อมูลเท่านั้น หากข้อมูลไม่มีความเสถียรของความแปรปรวน แสดงว่าเกิดจากสาเหตุที่สามารถควบคุมได้ แต่ไม่มีการควบคุม ต้องมีการค้นหาสาเหตุเพื่อแก้ไขก่อนการวิเคราะห์

2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุรพล (2538) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมตะกั่ว-ดีบุกบนแผ่นลายวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง เพื่อลดจุดบกพร่องของรอยเชื่อม โดยใช้หลักการของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองมาใช้ เพื่อศึกษาปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย คือ ความเร็วของสายพาน อุณหภูมิในส่วนของการอบความร้อน ค่าความถ่วงจำเพาะของฟลักซ์ และลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์ โดยมุ่งเน้นตรวจสอบลักษณะจุดบกพร่องของรอยเชื่อม ประเภท Excessive Solder, Insufficient Solder และ Bridging (or shorting) เท่านั้น ผลการวิจัยพบว่า ณ ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อจำนวนจุดบกพร่องคือ ลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์ และความเร็วของสายพาน ส่วนปัจจัยทางด้านอุณหภูมิในการอบความร้อน และค่าความถ่วงจำเพาะของฟลักซ์มีอิทธิพลค่อนข้างน้อยต่อการเกิดจุดบกพร่องของรอยเชื่อม เมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น

วิชัย (2540) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อแรงดึงเทป และหาค่าของปัจจัยเหล่านั้นที่จะต้องให้ได้ค่าแรงดึงเทปใกล้เคียง 70 gramf. ซึ่งเป็นความต้องการของลูกค้า การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ทฤษฎีการทดลองแบบแฟคทอเรียล และการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุคูณสำหรับสร้างแบบจำลอง พร้อมทั้งทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งหลาย ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ความหนาใบมีด ความดันหรือแรงกดใบมีด และอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์กับแรงดึงเทปอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05 จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ สามารถที่จะสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของแรงดึงเทปในรูปฟังก์ชั่นของความหนาใบมีด ความดันหรือแรงกดใบมีด และอุณหภูมิ พร้อมทั้งสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้อีกด้วย จากการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมบนเครื่องปิดผนึกเทป จะพบว่าได้ค่าแรงดึงเทปที่ 71.2 gramf.

ทรงพล (2541) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงดึงระหว่าง Slider และ Flexure ของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และเสนอเงื่อนไขที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มคุณภาพของแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลภายใต้เงื่อนไขที่เป็นจริง โดยที่ปัจจัยเหล่านี้ประกอบด้วย อัตราส่วนผสมของสารยึดเหนี่ยว อุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบ และชนิดของน้ำหนักกด การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลได้ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงดึง และปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างกัน จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยเพียง 3 ชนิด

เท่านั้นที่มีผลต่อแรงดึง กล่าวคือ อัตราส่วนผสมของสารยึดเหนี่ยว อุณหภูมิในการอบ และเวลาในการอบ การทดลองแบบแฟกทอเรียลถูกนำมาใช้อีกครั้งหนึ่ง โดยที่มีจำนวนของการทำซ้ำ (Replication) ของแต่ละปัจจัยเพิ่มขึ้น เพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ค่าแรงดึงสูงสุดโดยไม่ขัดกับเงื่อนไขทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

วิชาญ บุตรถิรชัย และ สุรชัย ศักดิ์วิเศษชัยกุล (2541) ได้ทำการศึกษาน้ำยาฟาวน์เทนที่มีความเป็นกรดมากกว่ามาตรฐานมีผลทำให้ภาพบนแม่พิมพ์หลุดลอกและเพื่อศึกษาน้ำยาฟาวน์เทนที่มีความเป็นด่าง มีผลทำให้เกิดสกัม โดยทดลองใช้เครื่องพิมพ์ออฟเซตป้อนแผ่นสีเดียวขนาดตัด 11 ซึ่งใช้ระบบน้ำแบบธรรมดา และปรับตั้งหน่วยต่างๆ ของเครื่องพิมพ์ให้อยู่ในมาตรฐานและคงที่ และใช้กระดาษปอนด์ 70 แกรม ขนาด A4 เป็นเครื่องมือในการทดลองโดยมีตัวแปรที่กำหนดในการทดลองเป็นค่า pH ของน้ำยาฟาวน์เทน ซึ่งเปลี่ยนค่าตัวแปรเป็น 5 ค่า คือ pH 3, 4 และ 5 เพื่อใช้ทดลองการหลุดลอกของแม่พิมพ์ และ pH 5, 9 และ 11 เพื่อใช้ทดลองการเกิดสกัมบนแม่พิมพ์ ผลการทดลอง ที่ pH 3 จะเกิดการหลุดลอกของแม่พิมพ์เร็วที่สุด คือที่ 10,000 เที่ยวพิมพ์ และ pH 5 จะเกิดการหลุดลอกของแม่พิมพ์ช้าที่สุด คือที่ 23,000 เที่ยวพิมพ์ เมื่อทดลองใช้ค่า pH 11 จะเกิดสกัมเร็วที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 271 เที่ยวพิมพ์ และที่ pH 5 จะเกิดสกัมช้าที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 754 เที่ยวพิมพ์ ดังนั้น สรุปได้ว่าน้ำยาฟาวน์เทนที่มี pH = 5 มีความเหมาะสมที่สุดในการพิมพ์ ซึ่งจะทำให้ได้งานพิมพ์ที่มีคุณภาพดีและเกิดปัญหาในการพิมพ์น้อยที่สุด

กฤษฎา (2542) การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวในกระบวนการตัดขั้นตอนสุดท้ายของการตัดหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสและหาเงื่อนไขหรือวิธีการปรับปรุงที่เหมาะสม โดยเลือกปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบในการตัด ความลึกของใบมีด อัตราการป้อนตัด จำนวนครั้งในการเดินลับมีด และทิศทางการตัด ปัจจัยเหล่านี้ถูกนำไปใช้ทดลองเบื้องต้นโดยใช้แผนการทดลองแบบแฟรกชั่นนอลแฟคทอเรียล ที่ทุกปัจจัยมี 2 ระดับ จากการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวคือ ความเร็วรอบในการตัด และทิศทางในการตัด และทำการวิเคราะห์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตัดคือ ใช้ความเร็วรอบ 8,500 รอบ/นาที และทิศทางในการตัดจากด้านโพลสู่ด้านเทเปอร์ หลังจากการนั้นได้ทำการทดลอง เพื่อยืนยันผลว่ารอยบิ่นและรอยร้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญแต่สัดส่วนของเสียที่ลดลงไม่ได้ตามที่ต้องการ จึงได้เลือกทำการทดลองอีกครั้งโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยเดียว โดยเลือกตัวแปรคือ ความถี่ในการลับคมตัดซึ่งมี 3 ระดับ พบว่าใช้ความถี่ในการลับคมตัดทุกๆ การตัด 1 ครั้ง จะทำให้เกิดรอยบิ่นและรอยร้าวน้อยที่สุด

สงวนศักดิ์ (2542) ได้ศึกษาถึงจุดที่เหมาะสมของกระบวนการในการผลิตอลูมิเนียมที่ผลิตจากกรรมวิธีการผลิตแบบลูกรีดขับคู่ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ 2 วิธีคือ การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ และการทดลองแบบแฟคทอเรียล เพื่อเปรียบเทียบผลในการปรับปรุงคุณภาพขนาดความโตโครงสร้างเม็ดเกรน ที่ขนาดความโตไม่เกิน 0.03 มิลิเมตร ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบสมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุมีตัวแปรอิสระ 2 ตัว ที่มีผลต่อขนาดความโตโครงสร้างเม็ดเกรนคือ เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของธาตุเหล็ก และอุณหภูมิน้ำโลหะที่กล่องหัวกะโหลก นอกจากนี้ยังพบว่า ตัวแบบจากการวิเคราะห์การถดถอยมีความเหมาะสมกว่าแบบสมการที่ได้จากการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 3^2 เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยขนาดความโตเท่ากับ 0.0291 มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่ารูปแบบสมการที่ได้จากการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 3^2 มีค่าเฉลี่ยขนาดความโตเท่ากับ 0.0294 มิลลิเมตร และมีรูปแบบสมการที่ง่ายต่อการนำไปใช้ในการทำนายหรือคาดคะเนขนาดความโตโครงสร้างเม็ดเกรนอลูมิเนียม

พรเทพ (2544) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสมดุลของเพลากลางรถยนต์ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิต เพื่อลดของเสียที่เกิดจากการทดสอบค่าความสมดุลจากข้อกำหนด ซึ่งได้กำหนดปัจจัยหลักในเบื้องต้นไว้ 4 ปัจจัย และมีค่าตอบสนองที่ต้องการ 2 ค่า จากการใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design ทำให้พบว่ามีเพียง 3 ปัจจัยหลักเท่านั้นที่มีนัยสำคัญ จึงได้นำไปทำการทดลองแบบ Full Factorial Design เพื่อหาจุดสมดุลของเพลากลาง จากการทดสอบเพื่อยืนยันผลพบว่า เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามผลวิจัย จะทำให้ของเสียลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

เยาวภา (2544) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาผิวอลูมิเนียมออกไซด์ในกระบวนการทำอโนไดซ์ (Anodized) เพื่อหาความเหมาะสมของกระบวนการรวมถึงการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อความไม่สม่ำเสมอของผิวอลูมิเนียมออกไซด์ โดยขั้นตอนการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาปัจจัยภายนอก ได้แก่ ความแตกต่างของวัสดุ และลักษณะรูปร่างชิ้นงาน รวมถึงการศึกษาความไม่สม่ำเสมอของผิวอลูมิเนียมออกไซด์ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาปัจจัยที่จำเป็นต้องควบคุมในกระบวนการทำอโนไดซ์ ซึ่งได้แก่ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการชุบ ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก และอุณหภูมิในการชุบ ซึ่งได้ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง จากผลการทดลองพบว่า วัสดุและลักษณะรูปร่างชิ้นงานไม่ส่งผลต่อความหนาผิวอลูมิเนียมออกไซด์ สำหรับการศึกษาปัจจัยภายในพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความหนาผิวอลูมิเนียมออกไซด์ มากที่สุดคือ ระยะเวลาในการชุบ รองลงมาคือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิในการชุบ

สมพร (2544) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวเชื่อมเพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่มีคุณภาพดี นำมาเป็นมาตรฐานอ้างอิงการทำงานและทำการซ่อมบำรุงรถขุดแร่ โดยใช้การออกแบบการทดลองของนายทากูชิ ซึ่งปัจจัยที่นำมาศึกษาคือ

1) ชนิดกระแสไฟ

2) ปริมาณกระแสไฟอบลวดเชื่อม

3) ปริมาณกระแสไฟอบชิ้นงาน

จากการศึกษา ได้นำมาทำการทดสอบหาคุณภาพทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยา มีการทดสอบ ค่าต้านแรงดึง ค่าความต้านทานการกระแทก ค่าความแข็ง และดูโครงสร้างทางโลหะวิทยา จากผลการทดลองค่าอัตราซิกแนลทูนอยซ์หรือค่าเฉลี่ยแต่ละระดับของนายทากูชิ จึงได้เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ อุ่นชิ้นงานที่ 1250 ^{0}C ปริมาณกระแสไฟที่ 150 แอมป์ ชนิดกระแสไฟสลับและอบลวดเชื่อมที่ 3000 $^{\circ}$C

ปนัยกรณ์ (2545) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยการทนแรงดึงในแนวตะเข็บและความเบี่ยงเบนมาตรฐานในกระบวนการผลิตถุงหิ้วรูปตัวยู โดยพิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลการทนแรงดึงในแนวตะเข็บ โดยใช้แผนภูมิเหตุและผล สามารถเลือกปัจจัยได้ 4 ปัจจัยคือ ความเร็วป้อนฟิล์ม อุณหภูมิบาร์กดบน อุณหภูมิบาร์กดล่าง และการปรับระยะกด โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^{k} Factorial Design พบว่า อุณหภูมิบาร์กดล่าง และการปรับระยะกด มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยการทนแรงดึงในแนวตะเข็บ และความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อนำไปทำการทดลองต่อโดยใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธี 3^{k} Factorial Design เพื่อหาจุดที่เหมาะสม จากผลการวิจัยพบว่าค่าของการทนแรงดึงเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น 50.7 % ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง 52.12 ดัชนีความสามารถในการผลิตเพิ่มขึ้น 101.14 % สามารถลดสัดส่วนของเสียได้ 7.68 % คิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้ประมาณ 1,880,064 บาท / ปี

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

สำหรับวัตถุประสงค์ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ จะเป็นการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการพิมพ์ในระบบออฟเซต โดยวิธีการออกแบบการทดลอง เพื่อทำการลดจำนวนของเสียให้เหลือน้อยที่สุด หรือไม่เกิดขึ้นเลย ซึ่งในการออกแบบการทดลองของกระบวนการพิมพ์ออฟเซตนี้ จำเป็นต้องแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนแรกเป็นการสำรวจสภาพทั่วไปของการพิมพ์ในระบบออฟเซต หลังจากนั้นจึงมาค้นหาปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลนัยสำคัญต่อกระบวนการพิมพ์ โดยอาศัยการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพงานพิมพ์ แล้วจึงทำการกรองปัจจัย (Screening Factor) โดยอาศัยการออกแบบการทดลองแบบ Fractional Factorial Design (2^{k-p}) เพื่อนำปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญไปศึกษา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ทำการศึกษาสภาพปัญหาจากทีมงานที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการพิมพ์ออฟเซต รวมถึงรายละเอียดต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติงานของกระบวนการพิมพ์ เพื่อนำมาใช้ในการวางแผนการทดลอง จากนั้นจะทำการออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial Design เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อไป

3.1 การกำหนดการออกแบบการทดลอง

พารามิเตอร์และระดับของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะนำมาพิจารณาในการออกแบบการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลมาจากหนังสือคู่มือในการใช้เครื่องพิมพ์ และจากการสอบถามรายละเอียดจากผู้เชี่ยวชาญทางการพิมพ์ รวมทั้งบุคลากรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการพิมพ์ระบบออฟเซต ซึ่งมีดังนี้

3.1.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญ

3.1.1.1 ความเร็วในการพิมพ์ ในกระบวนการพิมพ์ จะต้องมีการปรับตั้งระดับความเร็วของเครื่องพิมพ์ให้เกิดความเหมาะสม ความเร็วที่ตั้งขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องพิมพ์และงานพิมพ์ในแต่ละงาน การตั้งความเร็วที่เหมาะสมจะได้คุณภาพงานที่ดี

3.1.1.2 ค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ ควรควบคุมโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดความถ่วงจำเพาะ จุดประสงค์ของการใช้แอลกอฮอล์ คือ เพื่อคลายแรงตึงผิวของน้ำ

3.1.1.3 ระยะเส้นเบียดลูกน้ำ เพื่อให้สีลงในโมผ้ายางมีน้ำหนักสม่ำเสมอ จะช่วยให้เกิดคุณภาพในงานพิมพ์

3.1.1.4 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน ความสำคัญของน้ำยาฟาวน์เทน คือ นอกจากทำให้เกิดความชื้นบนแม่พิมพ์ และทำให้แม่พิมพ์สะอาดแล้ว จำเป็นต้องกำหนดค่าของความเป็นกรดหรือด่างของน้ำยาฟาวน์เทน เพื่อผลงานที่ดีมีคุณภาพทางการพิมพ์

3.1.1.5 อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน นอกจากทำให้เกิดความชื้นบนแม่พิมพ์ และทำให้แม่พิมพ์สะอาดแล้ว จำเป็นต้องกำหนดค่าของความเป็นกรดหรือด่างของน้ำยาฟาวน์เทน เพื่อผลงานที่ดีมีคุณภาพทางการพิมพ์

3.1.1.6 ระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ มีหน้าที่รับน้ำที่เป็นเยื่อในระดับหนึ่งจากลูกกลิ้งเกลี่ยน้ำ แล้วถ่ายโอนไปยังแม่พิมพ์เป็นเพียงความชื้นเท่านั้น

3.1.2 ระดับของพารามิเตอร์

จากสมมติฐานในการออกแบบการทดลอง และข้อมูลจากการผลิต ซึ่งสภาวะการดำเนินการผลิต จะกำหนดระดับของพารามิเตอร์ตามมาตรฐานการผลิตของโรงงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อใช้ในการทดลองได้ ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 แสดงระดับของพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษา

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1. ความเร็วในการพิมพ์ (A)	6300	6500	แผ่น/ชั่วโมง
2. ค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (B)	5	15	เปอร์เซ็นต์
3. ระยะเส้นเบียดลูกน้ำ (C)	4	6	cm.
4. ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน (D)	4.5	5.5	pH
5. อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน (E)	10	16	°C
6. ระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ (F)	4	6	mm.

3.1.3 ค่าตอบสนอง

เนื่องจากข้อมูลของเสียเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative) ซึ่งจะบอกได้ว่างานพิมพ์นั้น ดีหรือเสีย จะใช้มาตรฐานการตรวจสอบจากฝ่ายตรวจสอบคุณภาพของโรงงาน และงานพิมพ์ที่เลือก

มาทำการวิจัยนี้ เป็นหนึ่งในงานพิมพ์ที่ต้องผ่านการตรวจสอบ 100% ดังนั้น ค่าตอบสนองที่เลือกใช้จึงมีหน่วยในการนับคือ จำนวนแผ่น

3.1.4 การกำหนดสมมติฐานการวิจัย

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$$
$$H_1 : \beta_1 \text{ or } \beta_2 \neq 0 \text{ for at least one}$$

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$$
$$H_1 : \tau_1 \text{ or } \tau_2 \neq 0 \text{ for at least one}$$

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = 0$$
$$H_1 : \gamma_1 \text{ or } \gamma_2 \neq 0 \text{ for at least one}$$

$$H_0 : \delta_1 = \delta_2 = 0$$
$$H_1 : \delta_1 \text{ or } \delta_2 \neq 0 \text{ for at least one}$$

$$H_0 : \psi_1 = \psi_2 = 0$$
$$H_1 : \psi_1 \text{ or } \psi_2 \neq 0 \text{ for at least one}$$

$$H_0 : \lambda_1 = \lambda_2 = 0$$
$$H_1 : \lambda_1 \text{ or } \lambda_2 \neq 0 \text{ for at least one}$$

เมื่อ

β คือ อิทธิพลที่เกิดจาก ความเร็วในการพิมพ์

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจาก ค่าของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์

γ คือ อิทธิพลที่เกิดจาก ระยะเส้นเบียดลูกน้ำ

δ คือ อิทธิพลที่เกิดจาก ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน

ψ คือ อิทธิพลที่เกิดจาก อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน

λ คือ อิทธิพลที่เกิดจาก ระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์

3.2 การเลือกวิธีการออกแบบการทดลอง

เนื่องจากพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการศึกษาเบื้องต้นมีถึง 6 ตัว จึงต้องทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัย (Screening Factor) ที่สำคัญ แล้วจึงนำปัจจัยสำคัญ (Vital Few) ที่ได้ ไปใช้ในการศึกษาขั้นละเอียดต่อไป หากเราทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^6 Factorial Design เพื่อกรองปัจจัยดังกล่าว ก็จะทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรและเวลาในการทำการทดลอง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบ เศษส่วนของแฟคทอเรียล (Factional Factorial Design : 2^{k-p}) เมื่อมีพารามิเตอร์ทั้งสิ้น 6 พารามิเตอร์ และแต่ละพารามิเตอร์ มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^{6-1} Factorial Design เป็นการออกแบบมิติ VI (Resolution VI Design) รูปแบบของ $\left(2^{6-1}_{VI}\right)$ จะได้ Design Generators คือ F = ± ABCDE มีจำนวนครั้งของการทดลอง (Runs) เท่ากับ 32 ครั้ง จากตารางที่ 3-2 ได้แสดงคุณสมบัติของ Factional Factorial Design ที่มีคู่แฝดแฝง (Alias) ของแต่ละปัจจัย ที่จะต้องพิจารณาควบคู่กัน

ตารางที่ 3-2 แสดงความสัมพันธ์แฝดแฝงการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2^{k-p} ($k \leq 15, n \leq 64$)

2^{6-1}, 1/2 fraction of 6 factors in 32 runs	**Resolution VI**
Design Generators	
F = ABCDE	
Defining relation:	I = ABCEF
Aliases	
Each main effect is aliased with a single 5-factor interaction.	
Each 2-factor interaction is aliased with a single 4-factor interaction.	
ABC = DEF	ACE = BDF
ABD = CEF	ACF = BDE
ABE = CDF	ADE =BCF
ABF = CDE	ADF = BCE
ACD = BEF	AEF = BCD
2 blocks of 16: ABF = CDE	4 blocks of 8: BC
	ABF = CDE
	ACF = BDE

ซึ่งผลที่ออกมาพอจะบอกได้ว่า แต่ละปัจจัยหลักจะแฝงอยู่กับ 5 ปัจจัยร่วมทุกๆ ปัจจัย , แต่ละ 2 ปัจจัยร่วม จะแฝงอยู่กับ 4 ปัจจัยร่วม ทุกๆ ปัจจัย และแต่ละ 3 ปัจจัยร่วมจะแฝงอยู่กับ 3 ปัจจัยร่วมที่เหลือทุกๆ ปัจจัย

แต่ละครั้งของการทดลอง (Run) ผู้วิจัยกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 5 ซ้ำ และมีการใช้ตัวอย่างซ้ำละ 1,000 แผ่น ดังนั้น จึงต้องใช้งานพิมพ์ทั้งสิ้น 160,000 ชิ้น จะเห็นได้ว่าการออกแบบการทดลองแบบ Factional Factorial Design จะช่วยให้เราประหยัดเวลาและชิ้นงานทดลองได้ถึงครึ่งหนึ่ง ซึ่งจากเงื่อนไขดังกล่าว หากเราทำการทดลองแบบ Full Factorial Design จะต้องมีจำนวนครั้งของการทดลอง (Runs) เท่ากับ 64 ครั้ง และต้องใช้ชิ้นงานทดลองเป็นจำนวนถึง 320,000 แผ่น สำหรับการทดลอง 5 ซ้ำ ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก

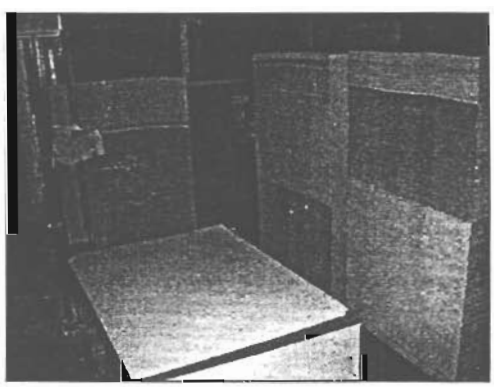
3.3 การดำเนินการทดลองโดยใช้ 2^{k-p} Factorial Design

หลังจากเลือกแบบการทดลองในส่วนแรกได้แล้ว จึงได้กำหนดวิธีการทดลองและขั้นตอนการทดลอง แสดงดังภาพที่ 3-1 ถึง 3-4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนการเตรียมงาน

3.3.1 เตรียมความพร้อมของวัสดุและวัตถุดิบที่ใช้ในการทำงานตามแผนการพิมพ์

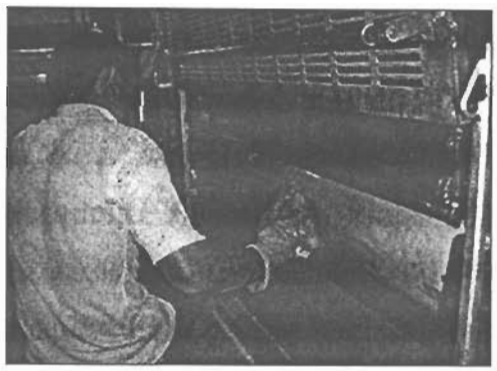
3.3.1.1 ตรวจรับกระดาษตามใบตรวจสอบก่อนพิมพ์



ภาพที่ 3-1 แสดงเตรียมความพร้อมของกระดาษ

3.3.1.2 ตรวจสอบความสมบูรณ์ของแม่พิมพ์

3.3.1.3 ล้างฟอกลูกหมึกตามความจำเป็น



ภาพที่ 3-2 แสดงการทำความสะอาดเครื่องพิมพ์

3.3.1.4 จัดเตรียมตัวอย่าง รวมทั้งแบบสี ตัวอย่างสี หรือเกณฑ์ต่างๆ ที่ต้องใช้

3.3.2 ป้อนกระดาษเข้าเครื่อง

3.3.3 เตรียมน้ำและตรวจสอบค่าน้ำ เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ ที่ 5-15% และค่าน้ำยาฟาวน์เทนที่ pH 4.5-5.5

3.3.4 ตรวจดูการไหลเวียนของน้ำในรางน้ำให้สมดุล

3.3.5 จัดลำดับสีในการพิมพ์ตามลักษณะของงานใส่หมึกในรางหมึก

3.3.6 ตรวจสอบการทำงานระบบพิมพ์เมื่อเริ่มงาน

3.3.7 เตรียมกระดาษเสียและพาเลท

3.3.8 ตรวจสอบคุณภาพกระดาษสามารถดำเนินการผลิตได้หรือไม่

ขั้นตอนการตั้งเครื่อง

3.3.9 ใส่แม่พิมพ์ตามสีที่จัดลำดับไว้

3.3.10 ตั้งขนาดกระดาษที่ส่วนรับกระดาษ

3.3.11 ตั้งขนาดกระดาษที่ Feeder

3.3.12 ตั้งหัวดูดกระดาษให้เหมาะสม

3.3.13 ตั้งสายพานและล้อกด

3.3.14 ตั้งอุปกรณ์กันซ้อน ฉากข้าง และตาไฟฉากหน้า ระยะการชัก

3.3.15 ตรวจสอบแรงกดพิมพ์และตั้งตามความเหมาะสม

3.3.16 ตั้งฉาก (Register Mark)

3.3.17 ตั้งค่าสี โดยใช้ค่าที่ดีดไว้สำหรับงานเก่า

3.3.18 ตั้งค่าน้ำที่เหมาะสม

3.3.19 ปล่อยงานมาดู กระดาษเสีย 20 แผ่น กระดาษดี 5 แผ่น

3.3.20 ตรวจสอบขนาดงานพิมพ์กับตัวอย่างงานหรือแบบไดคัท

3.3.21 ซ้อมสีให้สีคงที่

3.3.22 ตรวจสอบงานก่อนพิมพ์ตามใบตรวจสอบก่อนพิมพ์

3.3.23 ตรวจเซ็นอนุมัติสีพิมพ์

3.3.24 เตรียมผ้ายางวอเตอร์เบส

3.3.25 ปรับตั้งความหนาของวอเตอร์เบส

3.3.26 ตรวจสอบความพร้อมของเครื่องอีกครั้ง

3.3.27 น้ำ, ความเย็นของน้ำยาฟาวน์เทน, ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทนที่ pH 4.5-5.5, แอลกอฮอล์ 5-15%

3.3.28 หมึก

3.3.29 สี สีหน้าต่อ ตัวอย่างสี

3.3.30 ฉาก ความตรง

3.3.31 ความสะอาด ความเรียบร้อยของแม่พิมพ์

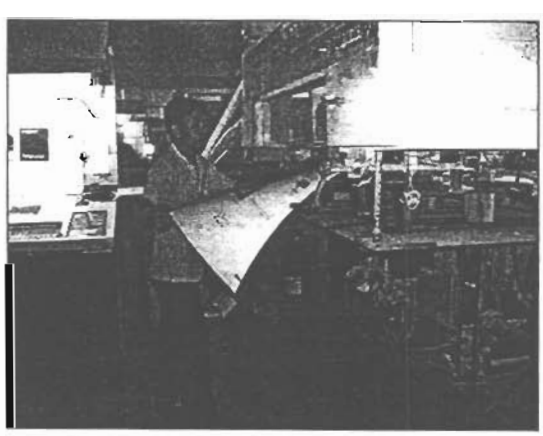
3.3.32 แป้งพ่นทำงานปกติ

3.3.33 การทำงานของ Heater หรือ IR

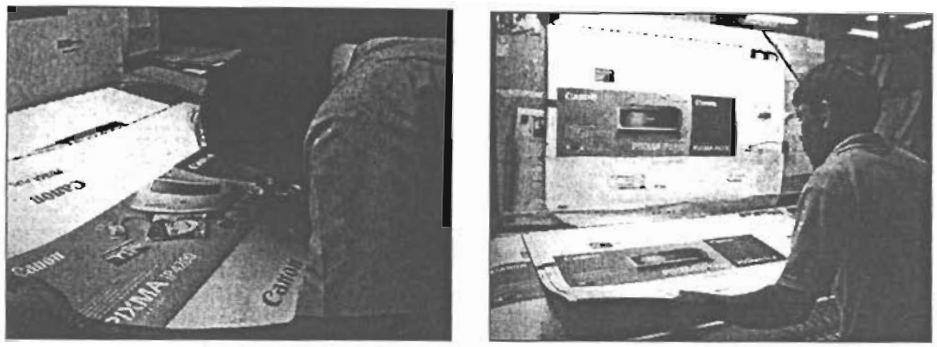
ขั้นตอนการพิมพ์

3.3.34 ดำเนินการพิมพ์งานโดยเพิ่มความเร็วขึ้นจนได้ความเร็วที่เหมาะสม และในระหว่างนี้ต้องตรวจสอบคุณภาพสีว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และปรับความสมดุลของน้ำให้เหมาะสม

3.3.35 ตรวจสอบระหว่างการพิมพ์ตามใบตรวจสอบทุกๆ 6 นาที ใบที่ดึงออกต้องแยกกองไว้ต่างหาก



ภาพที่ 3-3 แสดงการตรวจสอบงานระหว่างการพิมพ์



ภาพที่ 3-4 แสดงการตรวจสอบงานพิมพ์

3.3.36 ตรวจซ้ำโดยการสุ่มหรือดึงดูทุกๆ 1 ชั่วโมง

3.3.37 ป้อนกระดาษเข้าเครื่องอย่างต่อเนื่อง ไม่ให้การพิมพ์ขาดตอน

3.3.38 ตรวจสอบการทำงานของฉากเป็นระยะๆ

3.3.39 ดูแลเติมหมึกให้เพียงพออยู่เสมอ

3.4 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 จำนวนแผ่นงานพิมพ์ที่ผ่านการพิมพ์เรียบร้อยแล้ว โดยกำหนดให้ใช้งานพิมพ์ที่มีขนาดมาตรฐาน จำนวน 160,000 แผ่น

3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์

3.4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน

3.4.4 ช่างพิมพ์ จำนวน 6 คน

3.4.5 พนักงานตรวจสอบคุณภาพ จำนวน 2 คน

3.4.6 พนักงานบันทึกผลจำนวน 1 คน

3.5 วิธีการทดสอบการทดลอง

การวิเคราะห์ผลทางด้านคุณภาพงานพิมพ์สามารถตรวจสอบโดยการสังเกตด้วยสายตา ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการตรวจสอบ โดยเปรียบเทียบลักษณะของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยมีเอกสารการคัดเลือกใบพิมพ์ที่ใช้ควบคู่ในการตรวจสอบตามที่ลูกค้ากำหนด

ซึ่งลักษณะของเสียดังกล่าว เกิดขึ้นเนื่องจากการปรับระดับของพารามิเตอร์ของเครื่องจักรโดยตรง และลักษณะของเสียต่างๆ ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

3.6 รูปแบบการทดลอง

การจัดลำดับการทดลอง (Run) ครั้งนี้ มิได้จัดลำดับการทดลองแบบสุ่ม (Random) ทั้งนี้ เนื่องจากในการปรับระดับบางพารามิเตอร์ต้องใช้เวลานาน เพื่อให้เป็นการประหยัดเวลาในการทดลอง ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองที่ระดับเดียวกันให้เสร็จก่อน และเลือกพารามิเตอร์ที่มีความใกล้เคียงกับการทดลองมาทำการทดลองก่อน ซึ่งได้แสดงการออกแบบการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3-5 แต่ในการทดลองจะทำการเก็บผลทุกๆ 1,000 แผ่น จำนวน 5 ซ้ำ เพื่อบันทึกจำนวนของเสีย

ตารางที่ 3-3 แสดงตัวอย่างการออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Factorial ที่มี Design Generators F = ABCDE โดยกำหนดให้

A	คือ	ความเร็วในการพิมพ์
B	คือ	ค่าของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์
C	คือ	ระยะเส้นเบียดลูกน้ำ
D	คือ	ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน
E	คือ	อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน
F	คือ	ระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์

ตารางที่ 3-3 แสดงตัวอย่างการออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Factorial

Number of Factors, k	Function	Number of Runs	Design Generators
5	2_V^{5-1}	16	E = ± ABCD
	2_{III}^{5-2}	8	D = ± AB
			E = ± AC
6	2_{VI}^{6-1}	32	F = ± ABCDE
	2_{IV}^{6-2}	16	E = ± ABC
			F = ± BCD
	2_{III}^{6-3}	8	D = ± AB
			E = ± AC

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่3-3 มาออกแบบการทดลองแบบ 2^{6-1} Factorial, Resolution VI (2_{VI}^{6-1}) ซึ่งมี 32 Number of Run และ Design Generators $F = \pm ABCDE$ จะได้ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 แสดงการออกแบบการทดลองแบบ 2_{VI}^{6-1} Factorial

Run	Basic Design					
	A	B	C	D	E	F = +ABCDE
1	+	+	+	+	+	+
2	-	+	+	+	+	-
3	+	-	+	+	+	-
4	-	-	+	+	+	+
5	+	+	-	+	+	-
6	-	+	-	+	+	+
7	+	-	-	+	+	+
8	-	-	-	+	+	-
9	+	+	+	-	+	-
10	-	+	+	-	+	+
11	+	-	+	-	+	+
12	-	-	+	-	+	-
13	+	+	-	-	+	+
14	-	+	-	-	+	-
15	+	-	-	-	+	-
16	-	-	-	-	+	+
17	+	+	+	+	-	-
18	-	+	+	+	-	+
19	+	-	+	+	-	+
20	-	-	+	+	-	-
21	+	+	-	+	-	+
22	-	+	-	+	-	-
23	+	-	-	+	-	-
24	-	-	-	+	-	+
25	+	+	+	-	-	+
26	-	+	+	-	-	-
27	+	-	+	-	-	-
28	-	-	+	-	-	+
29	+	+	-	-	-	-
30	-	+	-	-	-	+
31	+	-	-	-	-	+
32	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 3-5 แสดงการจัดเรียงการทดลอง

Run	Speed	Alcohol	Line	pH Value	Temp	Pressure	Defect
1	-	-	-	-	-	-	
2	+	-	-	-	-	+	
3	-	+	-	-	-	+	
4	+	+	-	-	-	-	
5	-	-	+	-	-	+	
6	+	-	+	-	-	-	
7	-	+	+	-	-	-	
8	+	+	+	-	-	+	
9	-	-	-	+	-	+	
10	+	-	-	+	-	-	
11	-	+	-	+	-	-	
12	+	+	-	+	-	+	
13	-	-	+	+	-	-	
14	+	-	+	+	-	+	
15	-	+	+	+	-	+	
16	+	+	+	+	-	-	
17	-	-	-	-	+	+	
18	+	-	-	-	+	-	
19	-	+	-	-	+	-	
20	+	+	-	-	+	+	
21	-	-	+	-	+	-	
22	+	-	+	-	+	+	
23	-	+	+	-	+	+	
24	+	+	+	-	+	-	
25	-	-	-	+	+	-	
26	+	-	-	+	+	+	
27	-	+	-	+	+	+	
28	+	+	-	+	+	-	
29	-	-	+	+	+	+	
30	+	-	+	+	+	-	
31	-	+	+	+	+	-	
32	+	+	+	+	+	+	

ตารางที่ 3-6 การทดลองและการเก็บข้อมูลของค่าตอบสนอง

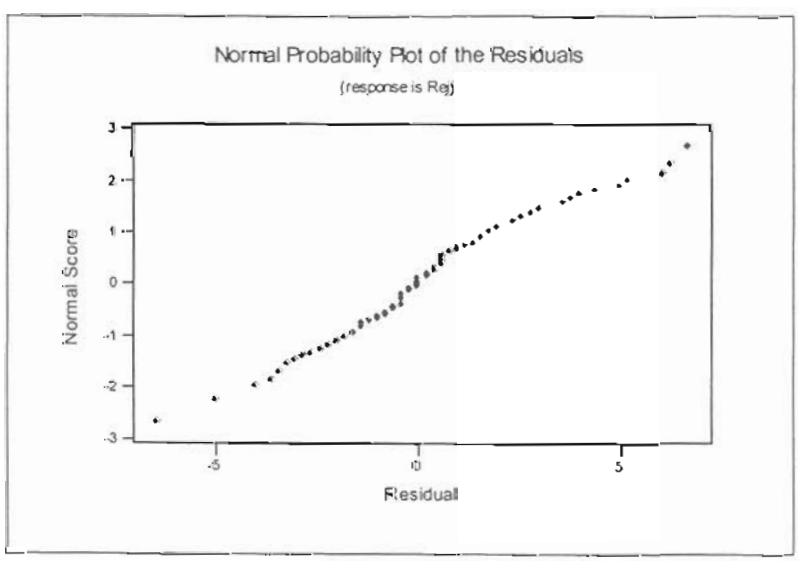
Speed	Alcohol	Line	pH Value	Temp	Pressure	Def 1	Def 2	Def 3	Def 4	Def 5	Aver. Def
6300	5	4	4.5	10	4	3	2	1	0	1	1.4
6500	5	4	4.5	10	6	15	9	10	7	8	9.8
6300	15	4	4.5	10	6	1	2	3	0	1	1.4
6500	15	4	4.5	10	4	9	17	9	10	9	10.8
6300	5	6	4.5	10	6	1	0	0	1	0	0.4
6500	5	6	4.5	10	4	6	15	12	10	7	10.0
6300	15	6	4.5	10	4	1	2	1	0	0	0.8
6500	15	6	4.5	10	6	15	10	8	13	11	11.4
6300	5	4	5.5	10	6	2	0	0	1	0	0.6
6500	5	4	5.5	10	4	16	14	10	9	9	11.6
6300	15	4	5.5	10	4	1	2	0	0	4	1.4
6500	15	4	5.5	10	6	14	17	8	15	11	13.0
6300	5	6	5.5	10	4	1	1	0	3	0	1.0
6500	5	6	5.5	10	6	9	11	13	7	12	10.4
6300	15	6	5.5	10	6	0	0	2	4	2	1.6
6500	15	6	5.5	10	4	13	10	7	12	18	12.0
6300	5	4	4.5	16	6	7	9	3	5	2	5.2
6500	5	4	4.5	16	4	8	9	10	5	10	8.4
6300	15	4	4.5	16	4	0	0	1	0	0	0.2
6500	15	4	4.5	16	6	10	13	8	11	9	10.2
6300	5	6	4.5	16	4	1	2	0	0	1	0.8
6500	5	6	4.5	16	6	3	2	7	8	6	5.2
6300	15	6	4.5	16	6	0	0	0	0	0	0.0
6500	15	6	4.5	16	4	12	8	5	11	9	9.0
6300	5	4	5.5	16	4	2	0	1	2	2	1.4
6500	5	4	5.5	16	6	6	5	2	7	8	5.6
6300	15	4	5.5	16	6	1	0	0	1	0	0.4
6500	15	4	5.5	16	4	7	11	5	8	9	8.0
6300	5	6	5.5	16	6	1	1	0	2	1	1.0
6500	5	6	5.5	16	4	11	8	4	17	12	10.4
6300	15	6	5.5	16	4	0	1	0	1	1	0.6
6500	15	6	5.5	16	6	5	7	6	4	10	6.4

3.7 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

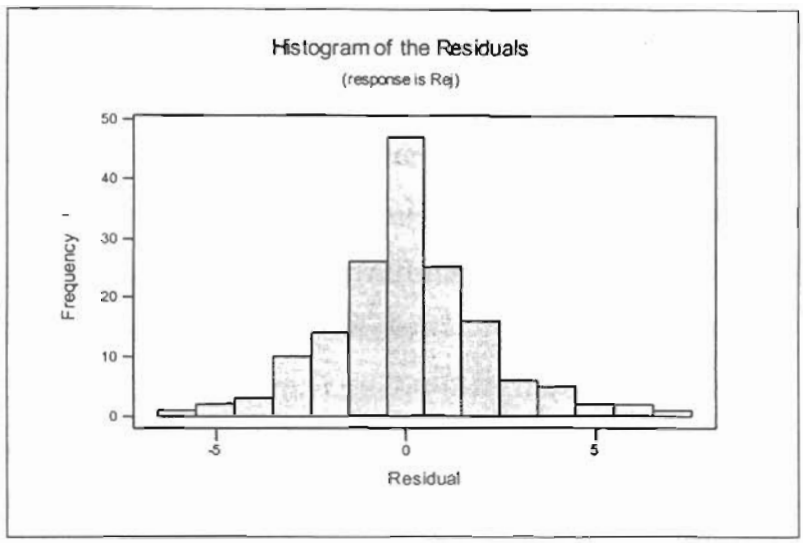
การวิเคราะห์ทางสถิติเชิงวิศวกรรม เพื่อให้ได้ผลการทดลอง และข้อสรุปจากการทดลองทำได้โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน และจากผลการดำเนินการทดลองแบบ 2^{6-1} Factorial ได้อาศัยโปรแกรม Minitab Version 13 มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

3.7.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้ทำการทดลอง ซึ่งมีสมมติฐานว่ารูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลอง ต้องเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ คือ Residuals มีการแจกแจงแบบปกติ และเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ยใกล้เคียง 0 และ σ^2 มีค่าคงตัว (Stability) จึงจะทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ การตรวจสอบ ε_{ij} มี 4 ขั้นตอน ผลการตรวจสอบความเป็นไปได้ตามข้อสมมติฐานแสดงได้ดังต่อไปนี้

3.7.1.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของ Residuals จากการพิจารณาการกระจายของค่า Residual ซึ่งใช้การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (NOPP) ในภาพที่ 3-5 พบว่าค่า Residual มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และจากภาพที่ 3-6 พบว่า ฮีสโทรแกรม (Histogram) ของค่า Residual มีการกระจายตัวเป็นรูปทรงแบบปกติ ทำให้ประมาณได้ว่า Residuals มีการแจกแจงแบบปกติ

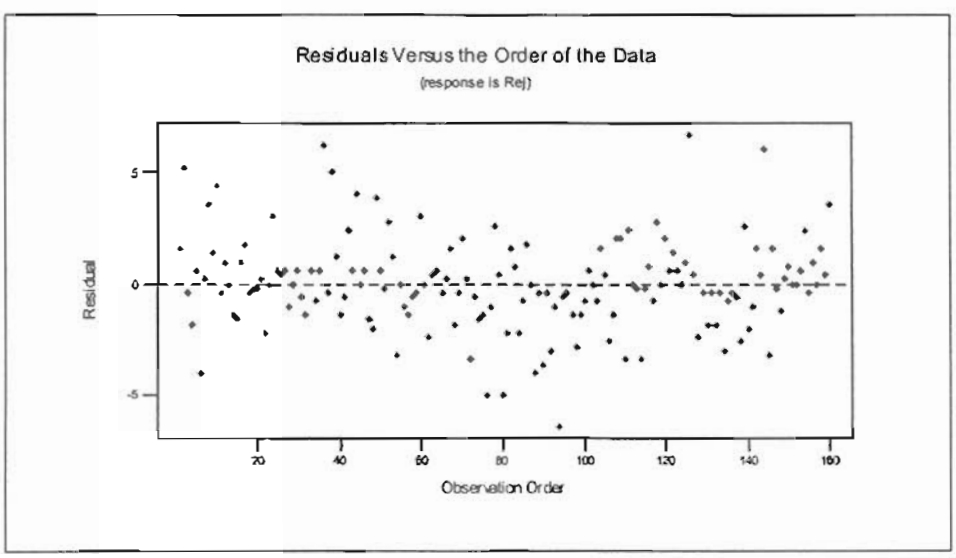


ภาพที่ 3-5 แสดงการกระจายแบบปกติของค่า Residual



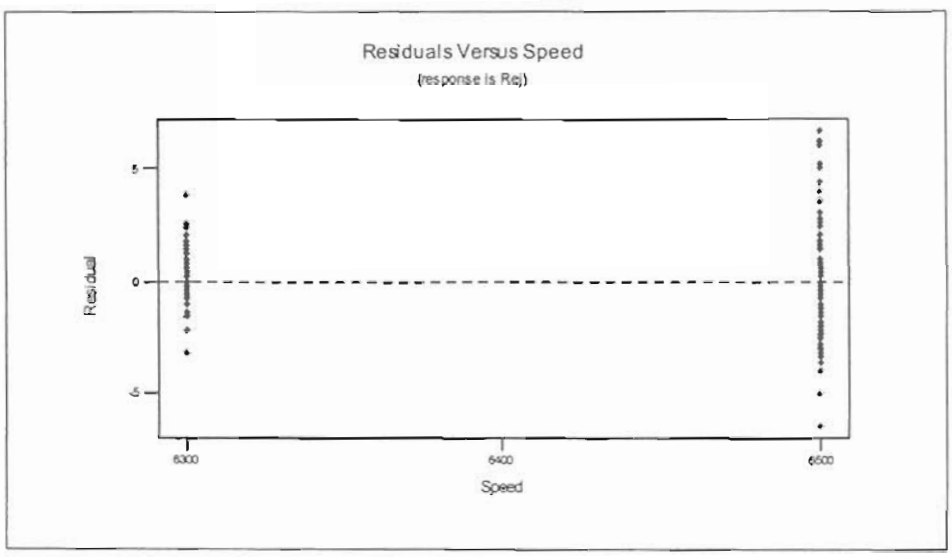
ภาพที่ 3-6 แสดงฮีสโทรแกรมการกระจายตัวแบบปกติของค่า Residual

3.7.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่า Residual โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจาย จากภาพที่ 3-7 เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่าการกระจายตัวของ Residual มีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงให้เห็นว่าค่า Residual มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent)

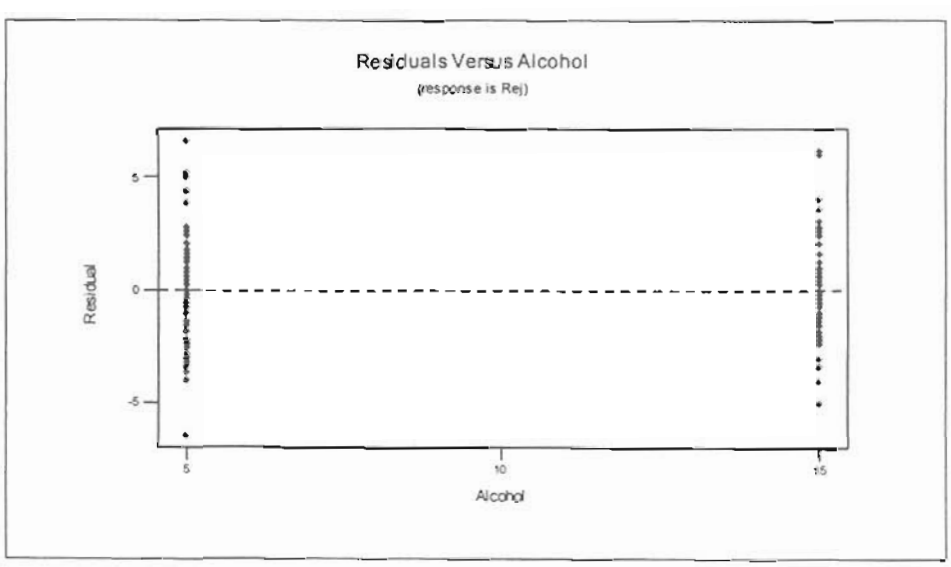


ภาพที่ 3-7 แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Observation Order

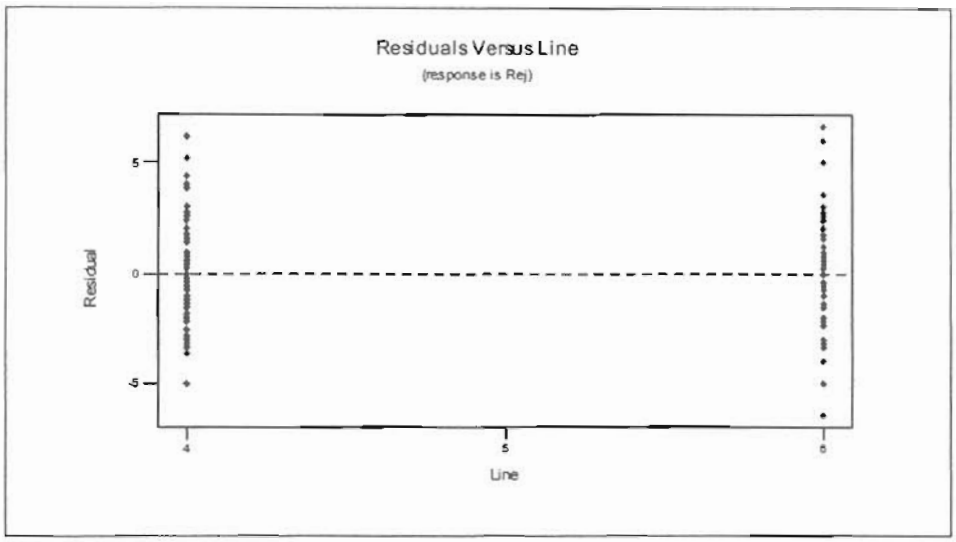
3.7.1.3 การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของ Residuals โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายจากภาพที่ 3-8 ถึงภาพที่ 3-13 ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายของค่า Residual เทียบกับระดับพารามิเตอร์ทุกตัว พบว่า Residual ในแต่ละระดับของแต่ละพารามิเตอร์ที่กระจายในด้านบวกและด้านลบที่มีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของ Residuals มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 0



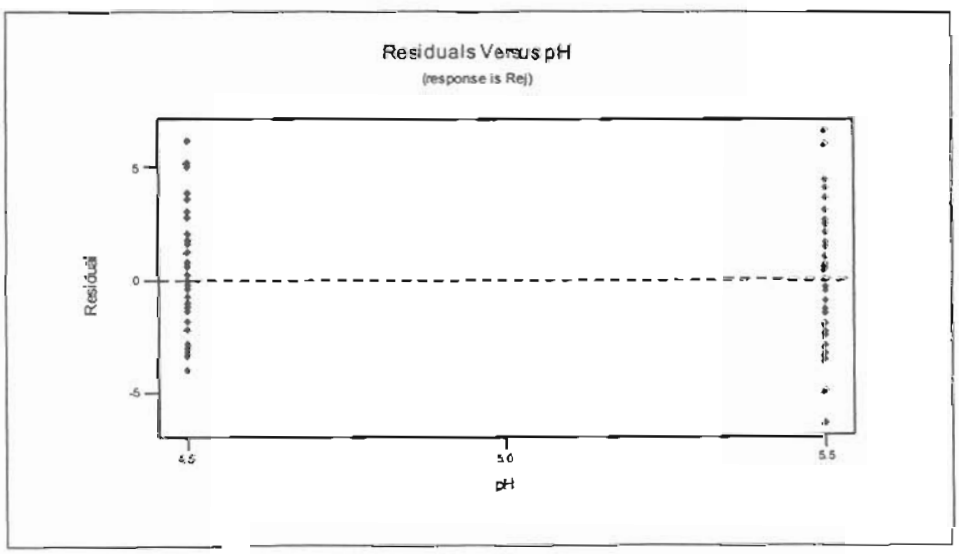
ภาพที่ 3-8 แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Speed



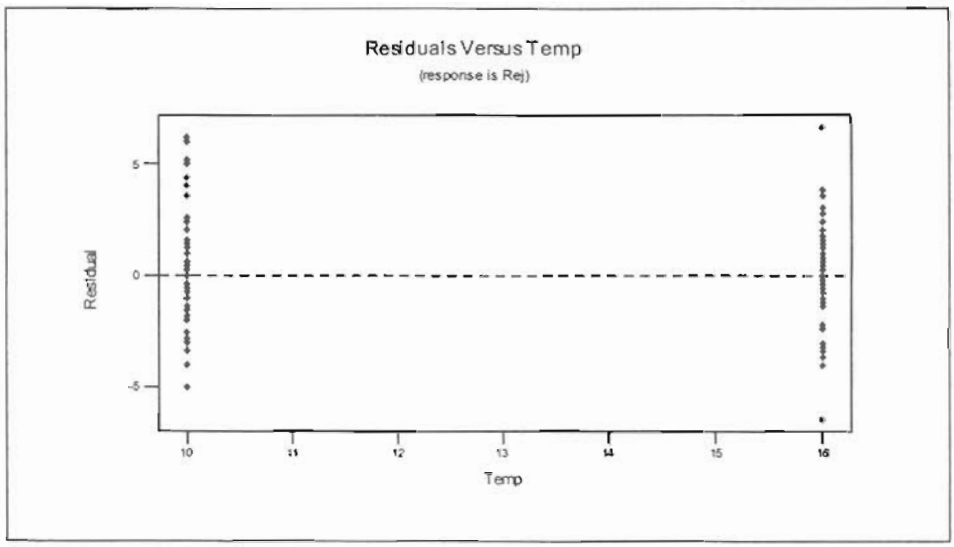
ภาพที่ 3-9 แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Alcohol



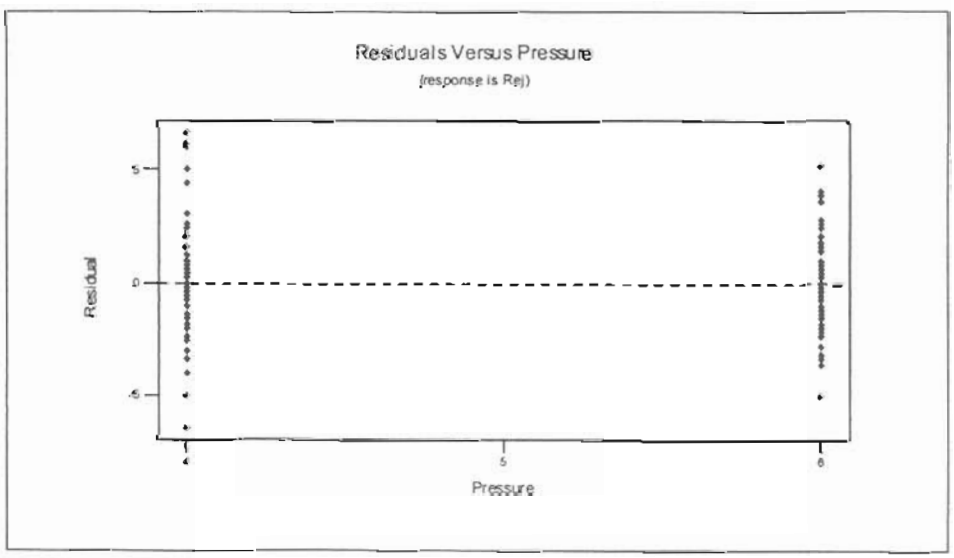
ภาพที่ 3-10 แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Line



ภาพที่ 3-11 แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ pH Value

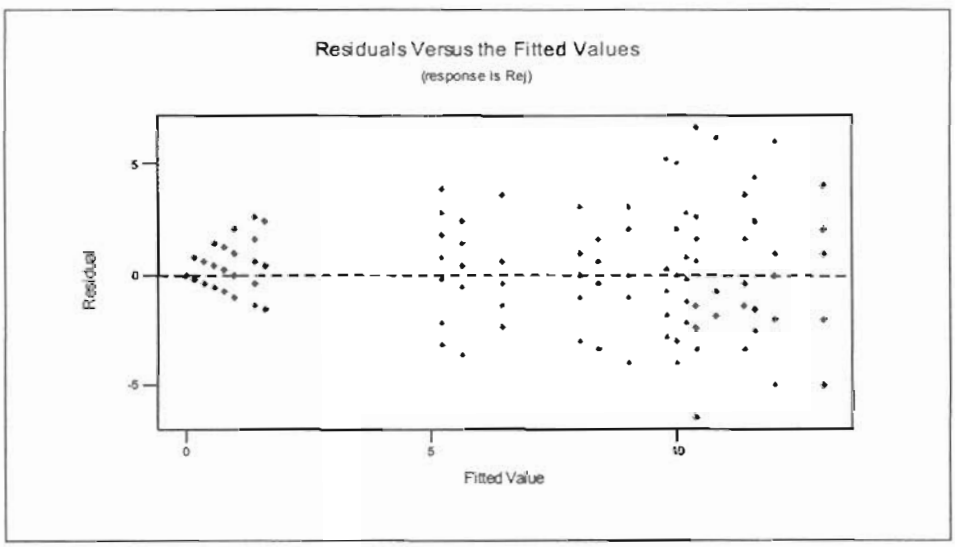


ภาพที่ 3-12 แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Temperature



ภาพที่ 3-13 แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Pressure

3.7.1.4 การตรวจสอบความเสถียรของ σ^2 (Variance Stability) โดยพิจารณาแผนภูมิการกระจาย จากภาพที่ 3-14 ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายของค่า Residual เทียบกับ Fitted Value พบว่า σ^2 ของค่า Residual มีความเสถียรอยู่ในระดับที่น่าพอใจ และไม่พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของ Residuals เข้าข่ายลักษณะแบบกรวยปลายเปิด หรือรูปแบบลำโพง (outward-opening funnel or megaphone) แต่อย่างใด



ภาพที่ 3-14 แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Fitted Value

จากภาพที่ 3-5 ถึงภาพที่ 3-14 พบว่ารูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลอง เป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$ ทุกประการ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าข้อมูลจากการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือได้

3.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ 3-7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง

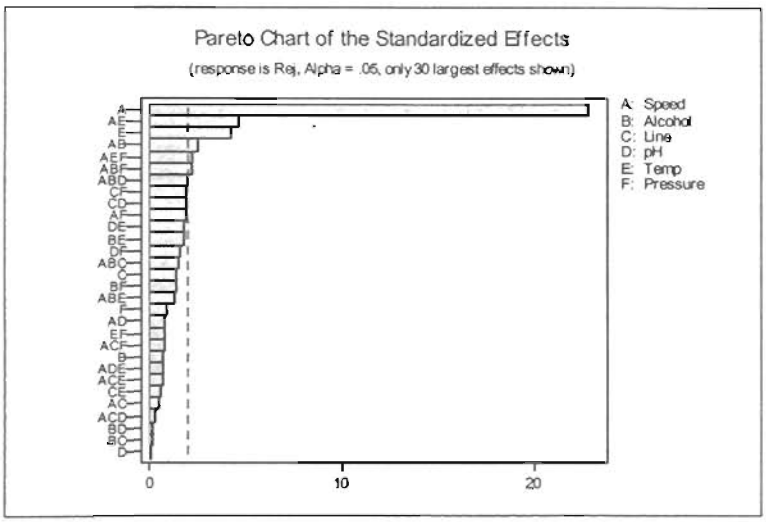
Fractional Factorial Fit: Def versus Speed, Alcohol, ...

Estimated Effects and Coefficients for Def (coded units)

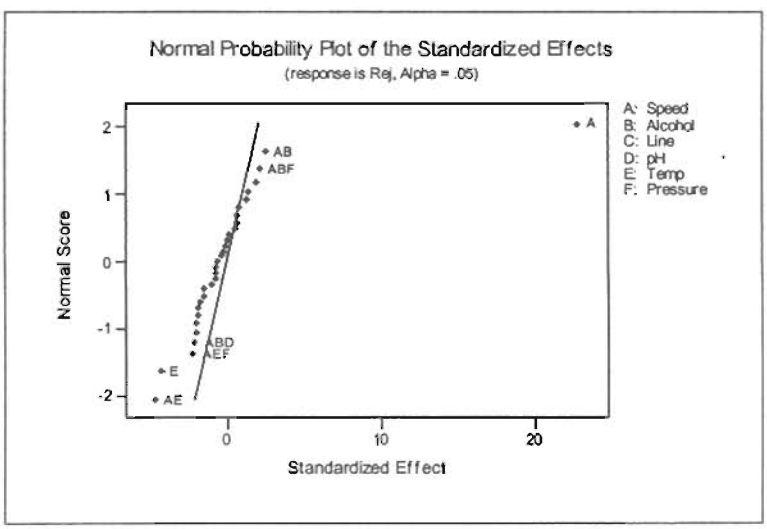
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		5.3250	0.1830	29.10	0.000
Speed	8.3750	4.1875	0.1830	22.89	0.000
Alcohol	0.2500	0.1250	0.1830	0.68	0.496
Line	-0.5250	-0.2625	0.1830	-1.43	0.154
pH	0.0250	0.0125	0.1830	0.07	0.946
Temp	-1.5500	-0.7750	0.1830	-4.24	0.000
Pressure	-0.3250	-0.1625	0.1830	-0.89	0.376
Speed*Alcohol	0.9250	0.4625	0.1830	2.53	0.013
Speed*Line	0.2000	0.1000	0.1830	0.55	0.586
Speed*pH	0.3000	0.1500	0.1830	0.82	0.414
Speed*Temp	-1.6750	-0.8375	0.1830	-4.58	0.000
Speed*Pressure	-0.7000	-0.3500	0.1830	-1.91	0.058
Alcohol*Line	0.0750	0.0375	0.1830	0.20	0.838
Alcohol*pH	-0.0750	-0.0375	0.1830	-0.20	0.838
Alcohol*Temp	-0.6500	-0.3250	0.1830	-1.78	0.078
Alcohol*Pressure	0.5250	0.2625	0.1830	1.43	0.154
Line*pH	0.7000	0.3500	0.1830	1.91	0.058
Line*Temp	-0.2250	-0.1125	0.1830	-0.61	0.540
Line*Pressure	-0.7000	-0.3500	0.1830	-1.91	0.058
pH*Temp	-0.6750	-0.3375	0.1830	-1.84	0.067
pH*Pressure	-0.6000	-0.3000	0.1830	-1.64	0.104
Temp*Pressure	-0.2750	-0.1375	0.1830	-0.75	0.454
Speed*Alcohol*Line	-0.5500	-0.2750	0.1830	-1.50	0.135
Speed*Alcohol*pH	-0.7500	-0.3750	0.1830	-2.05	0.042
Speed*Alcohol*Temp	0.4750	0.2375	0.1830	1.30	0.197
Speed*Alcohol*Pressure	0.8000	0.4000	0.1830	2.19	0.031
Speed*Line*pH	-0.1250	-0.0625	0.1830	-0.34	0.733
Speed*Line*Temp	0.2500	0.1250	0.1830	0.68	0.496
Speed*Line*Pressure	-0.2750	-0.1375	0.1830	-0.75	0.454
Speed*pH*Temp	-0.2500	-0.1250	0.1830	-0.68	0.496
Speed*pH*Pressure	-0.0250	-0.0125	0.1830	-0.07	0.946
Speed*Temp*Pressure	-0.8000	-0.4000	0.1830	-2.19	0.031

Analysis of Variance for Def (coded units)

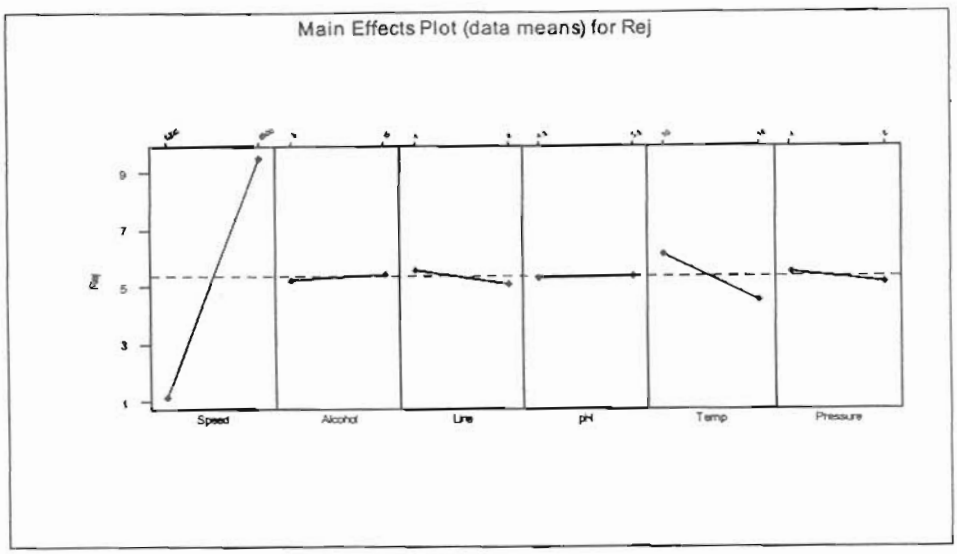
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	6	2919.5	2919.5	486.583	90.84	0.000
2-Way Interactions	15	276.5	276.5	18.433	3.44	0.000
3-Way Interactions	10	103.5	103.5	10.350	1.93	0.046
Residual Error	128	685.6	685.6	5.356		
Pure Error	128	685.6	685.6	5.356		
Total	159	3985.1				



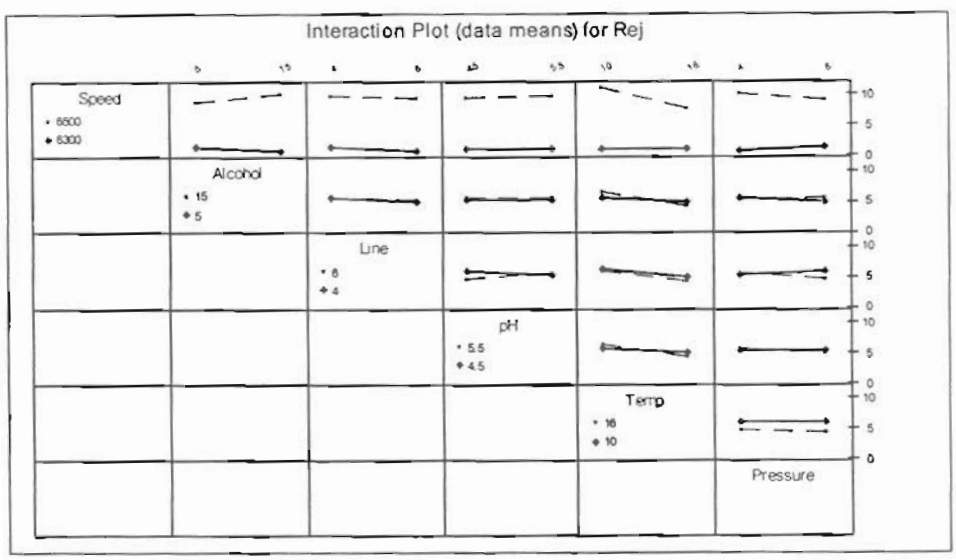
ภาพที่ 3-15 แสดงแผนภูมิพาเรโต้ (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละปัจจัย



ภาพที่ 3-16 กราฟแสดง Normal Probability Plot of the Standardized Effect



ภาพที่ 3-17 แสดงกราฟของอิทธิพลหลัก 6 ปัจจัย



ภาพที่ 3-18 แสดงกราฟของอิทธิพลร่วม 2 ระดับ

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองด้วยหลักการทางสถิติวิศวกรรม ดังแสดงในตารางที่ 3-7 แผนภูมิพาเรโต้ (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละปัจจัย จากภาพที่ 3-15 กราฟแสดง Normal Probability Plot of the Standardized Effect จากภาพที่ 3-16 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก 6 ปัจจัย จากภาพที่ 3-17 และกราฟแสดงอิทธิพลร่วม 2 ระดับ จากภาพที่ 3-18 พบว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) คือ ความเร็วในการพิมพ์ (Speed) และอุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน (Temperature) มีอิทธิพลทำให้การเกิดปัญหาสกัมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05 ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์แฮลกอฮอล์ (Percent

Alcohol), ระยะเส้นเบียดลูกน้ำ (Line of Roller), ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟ่าวน์เทน (pH Value) และระยะห่างของลูกน้ำกับแม่พิมพ์ (Pressure) ไม่มีอิทธิพลทำให้การเกิดปัญหาสกัมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$ และทุกๆ ปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญ จะมีอิทธิพลของปัจจัยร่วม 5 ระดับแฝงอยู่ ซึ่งมาจากโครงสร้างแฝดแฝง (Alias Structure) ดังนี้

Alias Structure

Speed + Alcohol*Line*pH*Temp*Pressure

Alcohol + Speed*Line*pH*Temp*Pressure

Line + Speed*Alcohol*pH*Temp*Pressure

pH + Speed*Alcohol*Line*Temp*Pressure

Temp + Speed*Alcohol*Line*pH*Pressure

Pressure + Speed*Alcohol*Line*pH*Temp

แต่เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ได้ตั้งสมมติฐานว่า ผลการทดลองสามารถที่จะละเลยอิทธิพลของปัจจัยร่วมระดับสูงได้ ดังนั้น เราจึงตัดอิทธิพลที่มาจากปัจจัยร่วม 5 ระดับออกได้

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วม 2 ระดับ (Two-Way Interaction) พบว่าปัจจัยร่วมของ (Speed*Alcohol) และ (Speed*Temp) มีอิทธิพลทำให้เกิดปัญหาสกัมแตกต่างกัน (P-Value < 0.05) และทุกๆ ปัจจัยร่วม 2 ระดับ จะถูกแฝงอยู่กับทุกปัจจัยร่วม 4 ระดับ ซึ่งมาจากโครงสร้างแฝดแฝง Alias Structure ดังนี้

Alias Structure

Speed*Alcohol + Line*pH*Temp*Pressure

Speed*Line + Alcohol*pH*Temp*Pressure

Speed*pH + Alcohol*Line*Temp*Pressure

Speed*Temp + Alcohol*Line*pH*Pressure

Speed*Pressure + Alcohol*Line*pH*Temp

Alcohol*Line + Speed*pH*Temp*Pressure

Alcohol*pH + Speed*Line*Temp*Pressure

Alcohol*Temp + Speed*Line*pH*Pressure

Alcohol*Pressure + Speed*Line*pH*Temp

Line*pH + Speed*Alcohol*Temp*Pressure

Line*Temp + Speed*Alcohol*pH*Pressure

Line*Pressure + Speed*Alcohol*pH*Temp

pH*Temp + Speed*Alcohol*Line*Pressure

pH*Pressure + Speed*Alcohol*Line*Temp

Temp*Pressure + Speed*Alcohol*Line*pH

แต่เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มีสมมติฐานว่า ผลการทดลองสามารถที่จะละเลยอิทธิพลของปัจจัยร่วมระดับสูงได้ ดังนั้น เราจึงตัดอิทธิพลที่มาจากปัจจัยร่วม 4 ระดับออกได้

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วม 3 ระดับ (Three-Way Interaction) พบว่าปัจจัยร่วมของ (Speed*Alcohol*pH), (Speed*Alcohol*Pressure) และ (Speed*Temp*Pressure) มีนัยสำคัญ หรือมีอิทธิพลทำให้เกิดปัญหาสกัมแตกต่างกัน (P-Value < 0.05) ซึ่งมาจากโครงสร้างแฝดแฝง Alias Structure ดังนี้

Alias Structure

Speed*Alcohol*Line + pH*Temp*Pressure

Speed*Alcohol*pH + Line*Temp*Pressure

Speed*Alcohol*Temp + Line*pH*Pressure

Speed*Alcohol*Pressure + Line*pH*Temp

Speed*Line*pH + Alcohol*Temp*Pressure

Speed*Line*Temp + Alcohol*pH*Pressure

Speed*Line*Pressure + Alcohol*pH*Temp

Speed*pH*Temp + Alcohol*Line*Pressure

Speed*pH*Pressure + Alcohol*Line*Temp

Speed*Temp*Pressure + Alcohol*Line*pH

เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักควบคู่กับปัจจัยร่วม 5 ระดับ พบว่าปัจจัยหลักคือ ค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (Percent Alcohol), ระยะเส้นเบียดลูกน้ำ (Line of Roller), ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน (pH Value), อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน (Temperature) และระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ (Pressure) ไม่มีนัยสำคัญต่อการเกิดปัญหาสกัม ดังนั้น เราจึงละเลยปัจจัยร่วมของ (Alcohol* Line* pH Value*Temp* Pressure) ได้ และเมื่อเราสรุปว่าความเร็วในการพิมพ์ (Speed) มีอิทธิพลทำให้การเกิดปัญหาสกัมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05 ดังนั้น เราจึงยอมรับว่า ปัจจัยหลัก (Speed) มีอิทธิพลทำให้การเกิดปัญหาสกัมแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05

3.9 อำนาจการทดสอบข้อมูล (Power of Test)

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 3-6 มาทดสอบความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างการทดลองหลังจากการปฏิเสธสมมติฐานหลักด้วยความน่าจะเป็นอย่างน้อย 0.95 ผู้วิจัยจึงได้กำหนดค่า α ไว้ที่ระดับ 0.05 จะได้ดังนี้

โดย

$$\phi^2 = \frac{n\sum_{i=1}^{a}\tau_i^2}{a\sigma^2} \qquad (3\text{-}1)$$

เมื่อ

$\bar{x}_1 = 1.4$

$\bar{x}_2 = 9.8$

$\bar{x}_3 = 1.4$

.

.

.

$\bar{x}_{32} = 6.4$

ค่าเฉลี่ยของ $\bar{x}$ ทั้งหมด $(\bar{\bar{x}}) = 5.33$

σ (Estimate) = 5.01

โดย

$\tau_1 = \bar{x}_1 - \bar{\bar{x}} = 1.4 - 5.33 = -3.93$

$\tau_2 = \bar{x}_2 - \bar{\bar{x}} = 9.8 - 5.33 = 4.47$

$\tau_3 = \bar{x}_3 - \bar{\bar{x}} = 1.4 - 5.33 = -3.93$

. .

. .

. .

$\tau_{32} = \bar{x}_{32} - \bar{\bar{x}} = 6.4 - 5.33 = 1.07$

$$\phi^2 = \frac{n\sum_{i=1}^{a}\tau_i^2}{a\sigma^2}$$

$$\phi^2 = \frac{n(659.50)}{32(5.01^2)}$$

$$\phi^2 = n(0.82)$$

ตารางที่ 3-8 แสดงอำนาจการทดสอบข้อมูล

n	ϕ^2	ϕ	$a(n-1)$	β	$Power\ (1-\beta)$
2	1.64	1.28	32	0.27	0.73
3	2.46	1.57	64	0.09	0.91
4	3.28	1.81	96	0.17	0.98
5	4.10	2.02	128	< 0.01	> 0.99

จากตารางที่ 3-8 แสดงว่าในการทดลองด้วยจำนวนตัวอย่าง 5 ซ้ำ มีอำนาจในการทดสอบข้อมูลมากกว่า 0.99 ซึ่งมากกว่าค่าที่ต้องการคือ 0.95 จึงสรุปได้ว่าจำนวนตัวอย่างที่เก็บมาทำการทดลองนั้นมีความเพียงพอแล้ว

3.10 การทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

$$R^2 = \frac{SS_{model}}{SS_{total}} \times 100\% \qquad (3\text{-}2)$$

$$= \frac{3299.5}{3985.1} \times 100\%$$

$$= 82.80\ \%$$

$$R^2_{adj} = 1 - \left[\frac{SS_{error} / df_{error}}{SS_{total} / df_{erreo}} \right] \times 100\ \% \qquad (3\text{-}3)$$

$$R^2_{adj} = 1 - \left[\frac{685.6/128}{3985.1/159} \right] \times 100\ \%$$

$$R^2_{adj} = 78.63\ \%$$

เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 แสดงให้เห็นถึงระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ซึ่งมีความสัมพันธ์กันที่ระดับ 82.80 % และเมื่อพิจารณาที่ค่า R^2_{adj} จะแสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ซึ่งมีความสัมพันธ์กันที่ระดับ 78.63 %

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการทดลอง 2^{6-1} หรือ 2^5 Factorial Design เป็นเพียงการทดลองขั้นต้นเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลไปทำการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อไป จากการพิจารณาอิทธิพลจากปัจจัยหลักและอิทธิพลจากปัจจัยร่วมต่อการเกิดปัญหาสกัม สามารถตัดปัจจัยค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ ปัจจัยระยะเส้นเบียดลูกน้ำ ปัจจัยค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน และปัจจัยระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ออกไป ดังนั้น ยังคงเหลืออีก 2 ปัจจัยที่จะทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธี 3^k Factorial Design ต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากผลการทดลองเบื้องต้นในบทที่ 3 ทำให้เราทราบว่า มีพารามิเตอร์หลักเพียง 2 ตัวเท่านั้นที่มีนัยสำคัญ หรือมีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาสกัม ซึ่งก็คือ ความเร็วในการพิมพ์ (Speed) และอุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน (Temperature) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงจะได้นำพารามิเตอร์หลักทั้ง 2 พารามิเตอร์ไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อไป ส่วนพารามิเตอร์ที่เหลือคือ ค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (Alcohol) ระยะเส้นเบียดลูกน้ำ (Line of Roller) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน (pH Value) และ ระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ (Pressure) ซึ่งไม่มีนัยสำคัญ หรือไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาสกัม สามารถละเลยได้ ตารางที่ 4-1 แสดงระดับของพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาพื้นผิวตอบสนอง

4.1 การดำเนินการทดลองโดยใช้เทคนิควิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology)

หลังจากขั้นตอนของการสกรีนนิ่งแฟคเตอร์ (Screening Factor) เพื่อกรองปัจจัยและเลือกปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพล (Vital Few) ต่อค่าตอบสนองได้แล้ว ผู้วิจัยจึงได้นำพารามิเตอร์สำคัญทั้ง 2 มาออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial Design เพื่อวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองระหว่างตัวแปรกับค่าตอบสนอง และหาระดับที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย ซึ่งจะทำให้มีจำนวนครั้งของการทดลอง (Runs) ทั้งหมดเท่ากับ 9 ครั้ง โดยมีจำนวนการทดลอง 5 ซ้ำ และมีการใช้ตัวอย่างซ้ำละ 1,000 แผ่น ดังนั้น จึงต้องใช้งานพิมพ์ทั้งสิ้น 45,000 ชิ้น ในการทดลองครั้งนี้ จะนำระดับของพารามิเตอร์ที่เคยทำการทดลองในบทที่ 3 มาทำการทดลองซ้ำอีกครั้งโดยการเพิ่มจุดกลาง (Medium) ให้กับพารามิเตอร์แต่ละตัว ดังแสดงในตารางที่ 4-1 รายละเอียดของการออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial Design ดังแสดงในตารางที่ 4-2 และ ตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-1 แสดงระดับของพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาพื้นผิวตอบสนอง

พารามิเตอร์เครื่องจักร	ระดับ			หน่วย
	Low (-1)	Medium (0)	High (1)	
1. ความเร็วในการพิมพ์ (A)	6300	6400	6500	แผ่น/ชั่วโมง
2. อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน (B)	10	13	16	°C

ในส่วนของขั้นตอนการดำเนินการทดลอง , วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและพนักงานที่ทำงาน และวิธีการทดสอบผลการทดลอง จะมีวิธีการและขั้นตอนการทดลองเหมือนกับการทดลองเชิง Factional Factorial ซึ่งแสดงรายละเอียดในบทที่ 3 หัวข้อ 3.3.1 ถึง 3.4.6 และจะใช้ชิ้นงานทดลองทั้งสิ้น 45,000 ชิ้น ซึ่งการออกแบบการทดลองได้แสดงดังในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 การออกแบบ 3^k Factorial Design ที่มี 2 ตัวแปร จากการลำดับการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab Version13

Run	A	B
1	-1	1
2	0	-1
3	-1	0
4	-1	-1
5	1	1
6	0	1
7	1	0
8	0	0
9	1	-1

โดยที่

A = ความเร็วในการพิมพ์

B = อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน

ตารางที่ 4-3 แสดงการจัดเรียงลำดับการทดลอง

Run	A	B	Defect
1	6300	16	
2	6400	10	
3	6300	13	
4	6300	10	
5	6500	16	
6	6400	16	
7	6500	13	
8	6400	13	
9	6500	10	

ตารางที่ 4-4 แสดงการเก็บข้อมูลการทดลอง

Run	A (Speed)	B (Temp)	Def 1	Def 2	Def 3	Def 4	Def 5	Average Def
1	6300	16	0	0	1	0	0	0.2
2	6400	10	2	2	2	0	2	1.6
3	6300	13	3	3	0	4	1	2.2
4	6300	10	4	2	4	4	4	3.6
5	6500	16	11	11	12	9	10	10.6
6	6400	16	2	4	0	4	1	2.2
7	6500	13	2	3	1	4	3	2.6
8	6400	13	2	0	1	3	0	1.2
9	6500	10	1	0	1	2	2	1.2

4.2 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองขั้นต้น

4.2.1 การพิจารณาในการเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้หาจุดเหมาะสมของค่าตอบสนองซึ่งในการวิเคราะห์ทางสถิติเชิงวิศวกรรมเพื่อให้ได้ผลการทดลอง และข้อสรุปจากการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ในส่วนการดำเนินการทดลองแบบ 3^k Factorial Design ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยอาศัยโปรแกรม Minitab Version 13 ซึ่งการเลือกรูปแบบสมการจากผลการวิเคราะห์ จะพิจารณาจาก

4.2.1.1 ค่าความมีนัยสำคัญของการถดถอยของสมการ (Regression) คือ การทดสอบเพื่อที่จะตรวจสอบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลตอบ (ในที่นี้คือค่า Defect) กับเซตย่อยของตัวแปรถดถอย A และ B หรือไม่

สมมติฐานที่เหมาะสมคือ

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$
$$H_1 : \beta_i \neq 0 \quad \textit{for at least one } i$$

$$H_0 : \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0$$
$$H_1 : \lambda_i \neq 0 \quad \textit{for at least one } i$$

กำหนด $\alpha = 0.05$

4.2.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เป็นตัววัดของจำนวนที่ลดลงในความผันแปรของค่าตอบสนอง (Defect) เมื่อใช้ตัวถดถอย A และ B ในสมการ อย่างไรก็ตามการที่ค่า R^2 มีค่ามากไม่ได้แปลว่าแบบจำลองการถดถอยที่สร้างขึ้นมานี้ดี เนื่องจากว่าการเติมตัวแปรเข้าไปในสมการจะทำให้ R^2 เพิ่มขึ้น ไม่ว่าตัวแปรนั้นจะมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ดังนั้น อาจเป็นไปได้ว่าสมการที่มีค่า R^2 มาก อาจจะเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ดีในการพยากรณ์ค่าตอบสนองก็ได้

4.2.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้ว (R^2_{Adj}) ตามปกติแล้ว มักจะไม่เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนของตัวแปรเพิ่มขึ้นในแบบจำลอง แต่ในความเป็นจริง ถ้าเราเพิ่มตัวแปรที่ไม่จำเป็นลงไปในสมการ ค่าของ R^2_{Adj} จะมีค่าลดลงเสมอ

4.2.1.4 ค่า Lack-of-Fit เป็นตัวบอกความเพียงพอของตัวแปรในสมการ ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเราจะสรุปว่า ฟังก์ชั่นการถดถอยไม่เป็นเชิงเส้นถ้า ค่า P-Value < α

4.2.2 รูปแบบสมการฟูลควอทเดทริก (Full Quadratic) โดยที่มีเทอมของ A, B, AB, A^2 และ B^2 ดังแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่มีรูปแบบสมการแบบฟูลควอทเดทริก (Full Quadratic)

Response Surface Regression: Def versus Speed, Temperature

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Def

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7916.84	1896.34	4.175	0.000
Speed	-2.34	0.59	-3.957	0.000
Temperat	-71.46	7.10	-10.059	0.000
Speed*Speed	0.00	0.00	3.748	0.001
Temperat*Temperat	0.14	0.05	2.667	0.011
Speed*Temperat	0.01	0.00	9.785	0.000

S = 1.463 R-Sq = 80.5% R-Sq(adj) = 78.0%

Analysis of Variance for Def

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	345.16	345.16	69.031	32.27	0.000
Linear	2	95.10	246.08	123.041	57.52	0.000
Square	2	45.26	45.26	22.628	10.58	0.000
Interaction	1	204.80	204.80	204.800	95.74	0.000
Residual Error	39	83.42	83.42	2.139		
Lack-of-Fit	3	32.62	32.62	10.874	7.71	0.000
Pure Error	36	50.80	50.80	1.411		
Total	44	428.58				

จากข้อมูลที่วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 13 ดังในตารางที่ 4-5 พบว่า สมการในเทอม Full Quadratic ให้ค่า R^2 = 80.5% และค่า R^2_{Adj} = 78.0% จึงเป็นค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่น่าพอใจ

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ในเทอมของ Full Quadratic มาใช้ในการพยากรณ์หาจุดต่ำสุดของค่า Def ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ในตารางที่ 4-5 ได้นำมาแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

Term	Coefficient
Constant	7916.84
Speed	-2.34
Temperature	-71.46
Speed*Speed	0.00
Temperature*Temperature	0.14
Speed*Temperature	0.01

โดยมีโมเดลของสมการทางคณิตศาสตร์คือ

$$Y = 7916.84 - 2.34A - 71.46B + 0.14B^2 + 0.01AB \qquad (4\text{-}1)$$

เมื่อ

Y = จำนวนของเสียที่เกิดจากปัญหาสกัม (Defect)

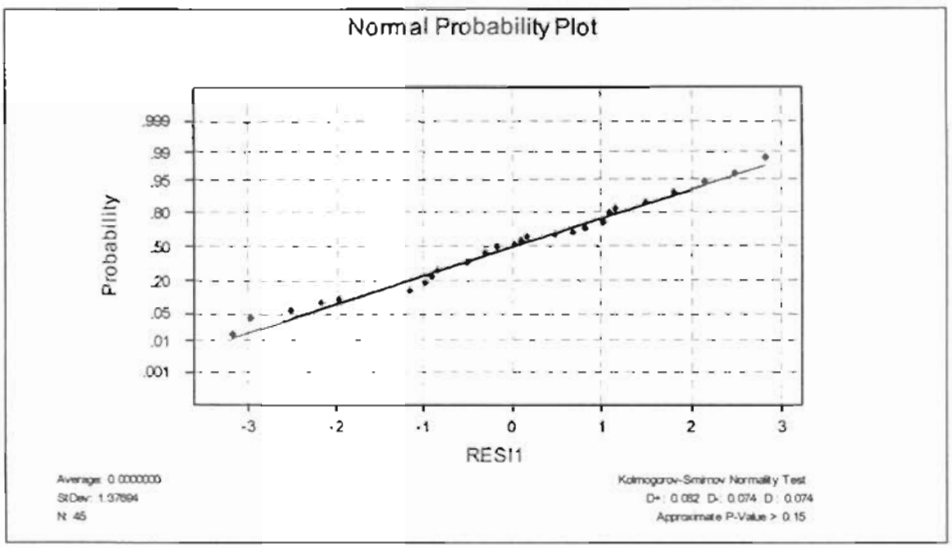
A = ความเร็วในการพิมพ์ (Speed)

B = อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน (Temperature)

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

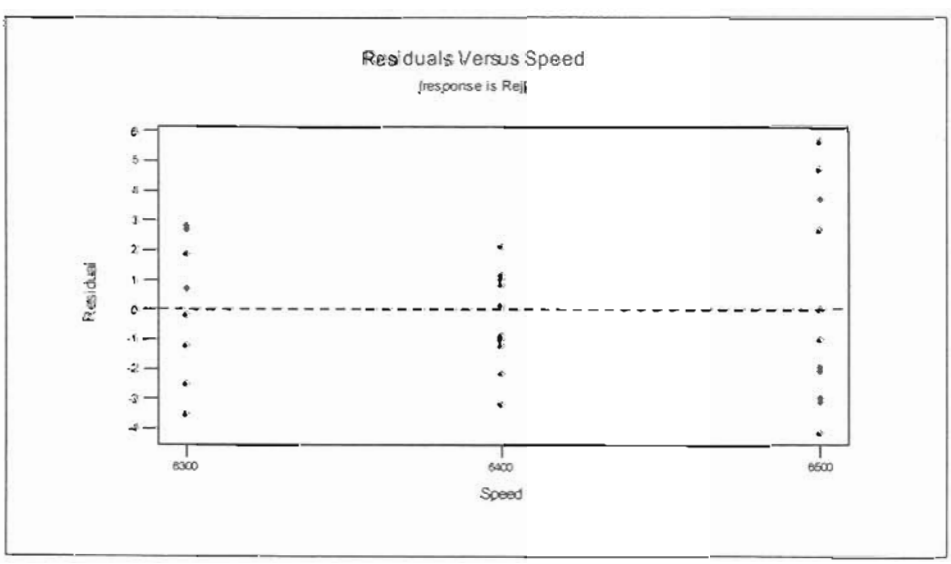
การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งมีสมมติฐานว่ารูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลอง ต้องเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$ คือ Residuals มีการแจกแจงแบบปกติ และเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ยใกล้เคียง 0 และ σ^2 มีค่าคงตัว (Stability) จึงจะทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ ผลการตรวจสอบความเป็นไปได้ตามข้อสมมติฐานแสดงได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 การตรวจสอบการกระจายว่า Residuals มีการแจกแจงเป็นแบบปกติ (Normal Distribution) โดยการพิจารณาการกระจายของค่า Residual จากภาพที่ 4-1 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และจากการทดสอบด้วยวิธีของโคโมโกรอฟ-สเมียน็อฟ นอร์มอลลิตี้เทส (Kolmogorov-Smirnov Normality Test) ซึ่งมีค่า P-Value > 0.15 ทำให้เชื่อมั่นได้ว่า Residuals มีการแจกแจงแบบปกติ

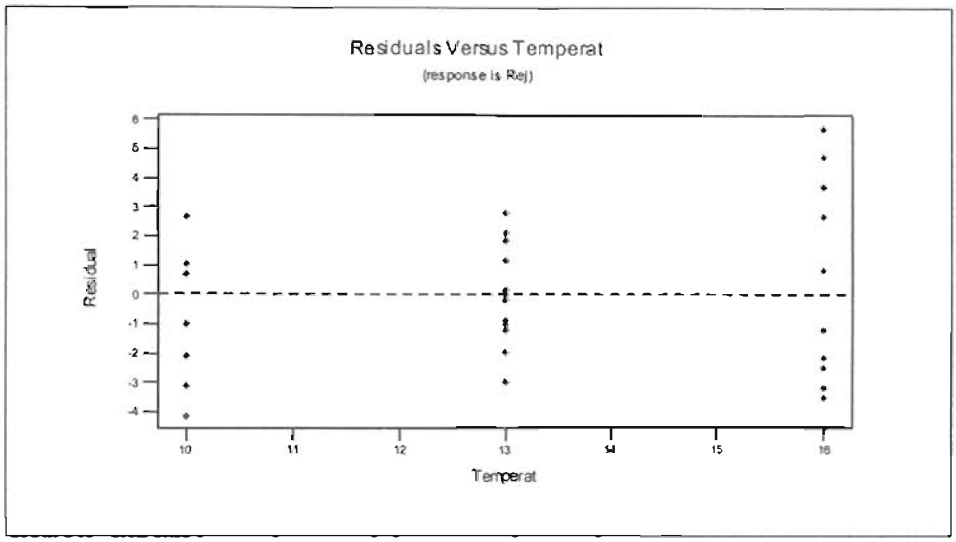


ภาพที่ 4-1 แสดงการกระจายแบบปกติของค่า Residual

4.3.2 การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของ Residuals โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายจากภาพที่ 4-2 ถึงภาพที่ 4-4 ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายของค่า Residual เทียบกับระดับพารามิเตอร์ทุกตัว ซึ่งพบว่า Residual ในแต่ละระดับของแต่ละพารามิเตอร์ที่กระจายทางด้านบวกและด้านลบ มีความ สมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของ Residuals มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 0

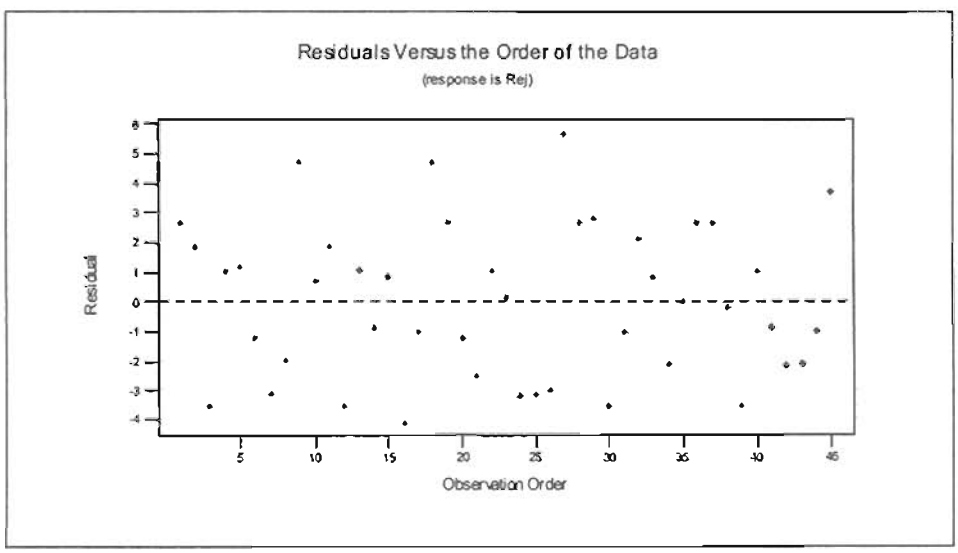


ภาพที่ 4-2 แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Speed



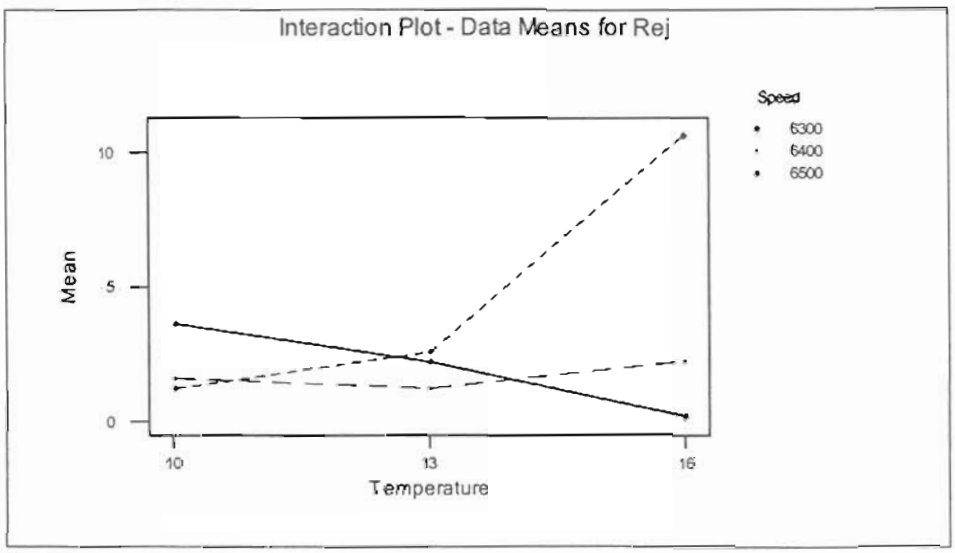
ภาพที่ 4-3 แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Temperature

4.3.3 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจาย จากภาพที่ 4-4 เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่าการกระจายตัวของ Residual มีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงให้เห็นว่าค่า Residual มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent)



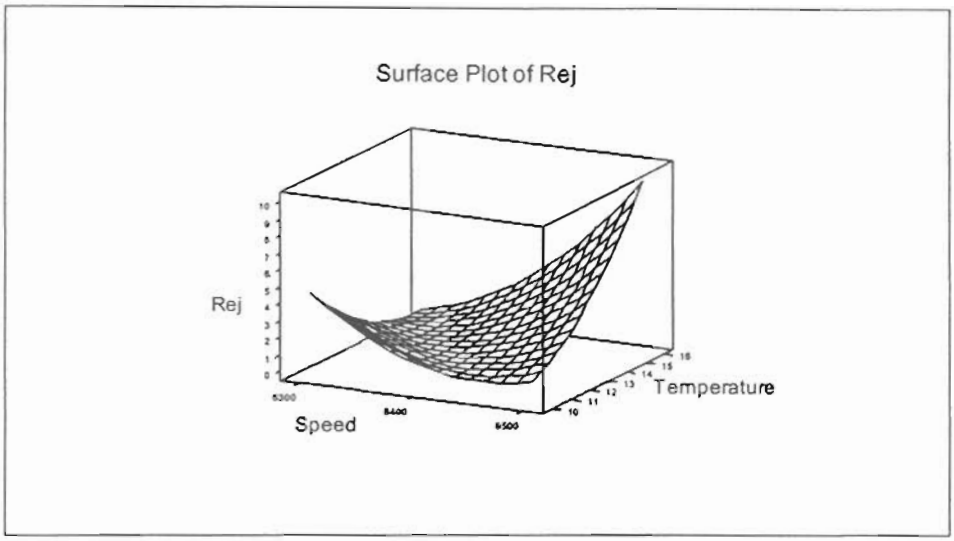
ภาพที่ 4-4 แสดงการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Observation Order

จากภาพที่ 4-1 ถึงภาพที่ 4-4 พบว่ารูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลอง เป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$ ทุกประการ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าข้อมูลการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือได้



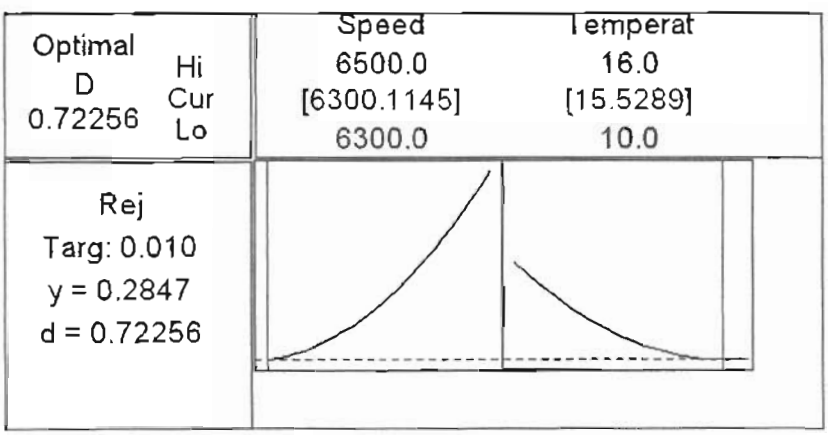
ภาพที่ 4-5 แสดงกราฟของอิทธิพลร่วม 3 ระดับ

เมื่อทำการวิเคราะห์กราฟของอิทธิพลร่วมจากภาพที่ 4-5 จะพบว่า เมื่อปรับ Speed และ Temperature ให้อยู่ที่ระดับสูง จะทำให้เกิดจำนวนของเสียมากที่สุด แต่เมื่อทำการปรับระดับ Speed จากระดับสูงให้ลงไปที่ระดับกลางจะทำให้จำนวนของเสียจากการเกิดสกัมลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าหากปรับ Speed ให้อยู่ที่ระดับต่ำ คือ 6,300 แผ่น/ชั่วโมง ร่วมกับ Temperature ที่ระดับสูงคือ 16 องศาเซลเซียส จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นก็จะน้อยที่สุด



ภาพที่ 4-6 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Speed กับ Temperature

จากการใช้โปรแกรม Minitab Version 13 ในการวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของพารามิเตอร์หลักทั้ง 3 ชนิดที่จะทำให้เกิดจำนวนของเสียที่น้อยที่สุด ทำให้เราได้กราฟของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อจำนวนของเสียจากปัญหาสกัม โดยการใช้สมการ $Y = 7916.84 - 2.34A - 71.46B + 0.14B^{2} + 0.01AB$ ดังแสดงในภาพที่ 4-7 และตารางที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 กราฟแสดงจุดตัดที่ทำให้จำนวนของเสียต่ำสุด

ตารางที่ 4-7 แสดง Out Put Optimization Point จากโปรแกรม

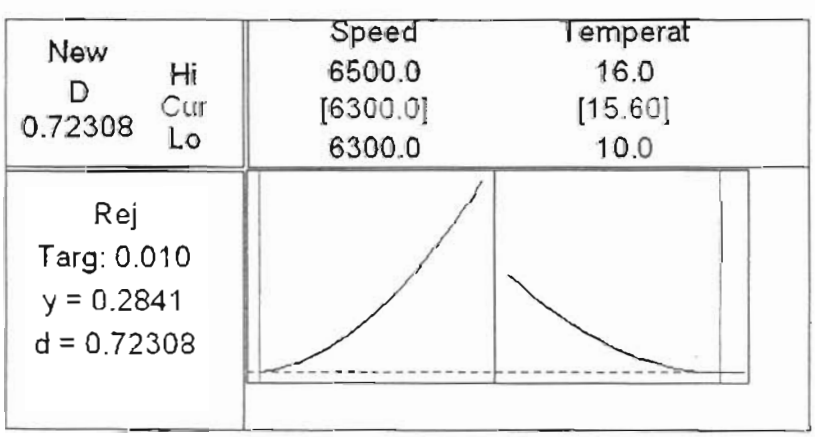
Response Optimization

```
Parameters

                    Goal       Lower      Target       Upper      Weight
Import
Rej              Target           0        0.01           1           1
1

Global Solution

Speed          =  6300.11
Temperature    =    15.53

Predicted Responses

Def            =  0.28467, desirability =  0.72256

Composite Desirability =  0.72256
```

จุดเหมาะสมของการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ตามตารางที่ 4-7 คือ

1. ปรับความเร็วในการพิมพ์ (Speed) ที่ 6300.1145 แผ่นต่อชั่วโมง
2. ปรับอุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน (Temperature) ที่ 15.5289°C

แต่เนื่องจากในสภาพการทำงานจริง เครื่องจักรไม่สามารถปรับพารามิเตอร์ให้ละเอียดได้ตามผลสรุปจากโปรแกรม ดังนั้น จึงต้องทำการปรับหาจุดที่เหมาะสมใหม่ เพื่อให้สามารถปรับที่พารามิเตอร์ของเครื่องจักรได้จริง แล้วเกิดจำนวนของเสียบนชิ้นงานน้อยที่สุด และมีค่าความน่าปรารถนา (Desirability: D) ที่มากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4-8 กราฟแสดงจุดตัดที่เหมาะสมในการปรับค่าพารามิเตอร์

ดังนั้นจุดที่เหมาะสมที่สุดของการปรับระดับปัจจัยทั้งสองคือ

1. ปรับความเร็วในการพิมพ์ (Speed) ที่ 6,300 แผ่นต่อชั่วโมง
2. ปรับอุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน (Temperature) ที่ 15.6°C

จะทำให้เกิดจำนวนของเสียเฉลี่ยประมาณ 0.2841 แผ่น/1,000 แผ่น

4.4 การเปรียบเทียบผลวิจัย

เพื่อที่จะยืนยันผลว่า จุดเหมาะสมที่ได้จากผลการวิจัยเป็นสภาวะการทำงานใหม่ที่ดีกว่าเดิม จึงต้องทำทดสอบข้อมูลทางสถิติ โดยการนำข้อมูลจำนวนของเสียก่อนการทำวิจัยมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของเสียหลังการทำวิจัย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบจำนวนของเสียของการทำงานในสภาวะเดิม กับจำนวนของเสียของการทำงานในสภาวะใหม่สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 แสดงของเสียที่เกิดขึ้น (Defect) จากการพิมพ์ชิ้นงานเฉลี่ย 5,000 แผ่น/ครั้ง

สภาวะการทำงานเดิม		สภาวะการทำงานใหม่	
ครั้งที่	จำนวนของเสียสกัมเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนของเสียสกัมเฉลี่ย
1	18	1	3
2	20	2	4
3	6	3	6
4	11	4	7
5	7	5	5
6	23	6	0
7	12	7	8
8	1	8	7
9	27	9	0
10	11	10	3
11	1	11	5
12	12	12	4
13	0	13	6
14	8	14	3

ตารางที่ 4-8 แสดงของเสียที่เกิดขึ้น (Defect) จากการพิมพ์ชิ้นงานเฉลี่ย 5,000 แผ่น/ครั้ง (ต่อ)

สภาวะการทำงานเดิม		สภาวะการทำงานใหม่	
ครั้งที่	จำนวนของเสียสกัมเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนของเสียสกัมเฉลี่ย
15	5	15	0
16	15	16	2
$\overline{X}$	11.06	$\overline{X}$	2.60
S	7.98	S	2.57
N	16	N	16

4.4.1 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวนของจำนวนของเสียจากปัญหาสกัมในสภาวะการทำงานเดิมกับสภาวะการทำงานใหม่

สมมติฐาน

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

เมื่อ σ_1^2 คือ ค่าความแปรปรวนของจำนวนของเสียจากปัญหาสกัมในสภาวะการทำงานเดิม

σ_2^2 คือ ค่าความแปรปรวนของจำนวนของเสียจากปัญหาสกัมในสภาวะการทำงานใหม่

$$F_0 \quad \frac{S_1^2}{S_2^2} \qquad (4\text{-}1)$$

เมื่อ

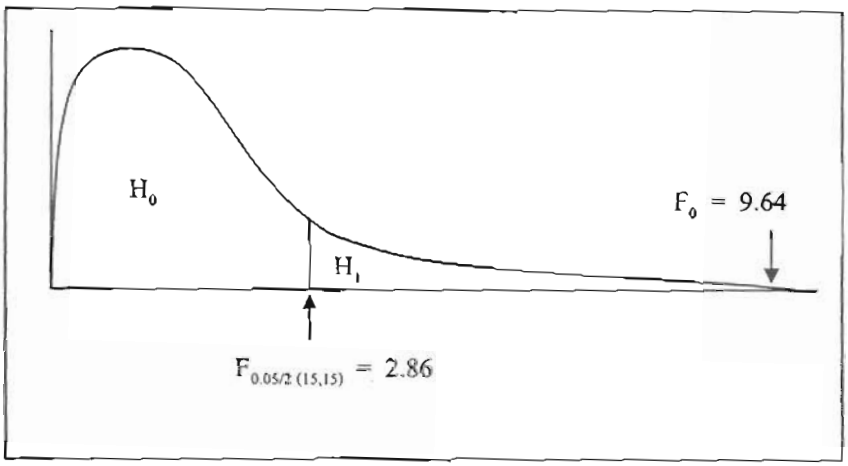
$S_1 = 7.98$

$S_2 = 2.57$

$$F_0 = \frac{7.98^2}{2.57^2}$$

$$F_0 = 9.64$$

จากการเปิดตารางการแจกแจงแบบ F ในภาคผนวก ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ และ $V_1 = 16\text{-}1 = 15$, $V_2 = 16\text{-}1 = 15$ จะได้ $F_{0.05/2\,(15,15)} = 2.86$



ภาพที่ 4-9 แสดงการเปรียบเทียบค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณ และค่า F จากการเปิดตาราง

ค่า F_0 ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า F จากตาราง จึงยอมรับ H_1 หรือปฏิเสธ H_0 นั่นเอง เราจึงสรุปได้ว่าการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในสภาวะการทำงานใหม่ดีกว่าการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในสภาวะการทำงานแบบเดิม จากปัญหาสกัมที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ดังแสดงในภาพที่ 4-9

4.4.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างจำนวนของเสียเฉลี่ยจากปัญหาสกัมของการทำงานในสภาวะเดิม กับจำนวนของเสียเฉลี่ยจากปัญหาสกัมของการทำงานในสภาวะใหม่

สมมติฐาน

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

เมื่อ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของเสียจากปัญหาสกัมในสภาวะการทำงานเดิม

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของเสียจากปัญหาสกัมในสภาวะการทำงานใหม่

เนื่องจากเราทราบว่าความแปรปรวนของปัญหาสกัมมีค่าแตกต่างกันเราจึงได้สมการของ t_0 ดังนี้

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \qquad (4\text{-}2)$$

$$t_0 = \frac{11.06 - 2.60}{\sqrt{\frac{7.98^2}{16} + \frac{2.57^2}{16}}}$$

$$t_0 = 4.04$$

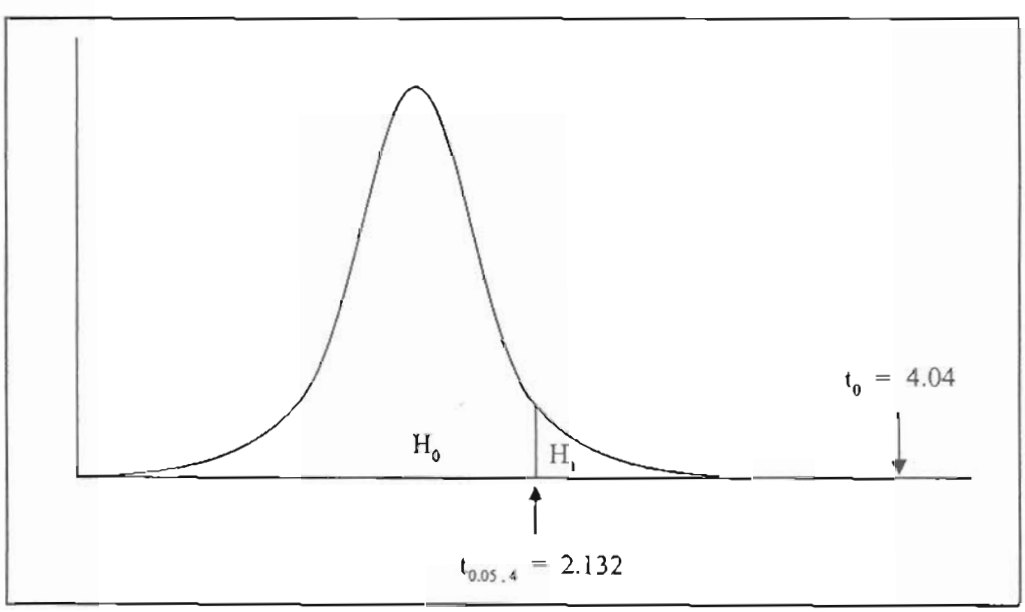
โดย

$$\nu = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(s_1^2/n_1\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(s_2^2/n_2\right)^2}{n_2 - 1}}$$

$$\nu = \frac{\left(\frac{7.98^2}{16} + \frac{2.57^2}{16}\right)^2}{\frac{\left(7.98^2/16\right)^2}{15} + \frac{\left(2.57^2/16\right)^2}{15}}$$

$$\nu = 3.88 \approx 4$$

จากการเปิดตารางการแจกแจงแบบ t ในภาคผนวก ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ และ $\nu = 4$ จะได้ $t_{0.05,4} = 2.132$



ภาพที่ 4-10 แสดงการเปรียบเทียบค่า t_0 ที่ได้จากการคำนวณ และค่า t จากการเปิดตาราง

ค่า t_0 ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า t จากตาราง จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 นั่นหมายความว่าค่าเฉลี่ยของเสียจากปัญหาสกัมในสภาวะการทำงานใหม่ที่ได้จากผลการวิจัย มีจำนวนน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของเสียจากปัญหาสกัมในสภาวะการทำงานเดิม ดังนั้น เราสรุปได้ว่าจำนวนของเสียจากปัญหาสกัมในสภาวะหลังการวิจัยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในภาพที่ 4-10

4.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากข้อมูลในตารางที่ 4-8 ในสภาวะการทำงานใหม่ จำนวนงานพิมพ์เฉลี่ย 5,000 แผ่น จะมีจำนวนสกัมเฉลี่ย 2.60 แผ่น และในแต่ละเดือนจะมีงานพิมพ์เฉลี่ย 900,000 แผ่น

ดังนั้น แต่ละเดือนจะมีปัญหาสกัมที่เกิดขึ้น $\frac{2.60}{5000} \times 900000 = 468$ แผ่น

ค่าใช้จ่ายที่มีสาเหตุมาจากปัญหาสกัมเท่ากับ 12.29 บาท/แผ่น

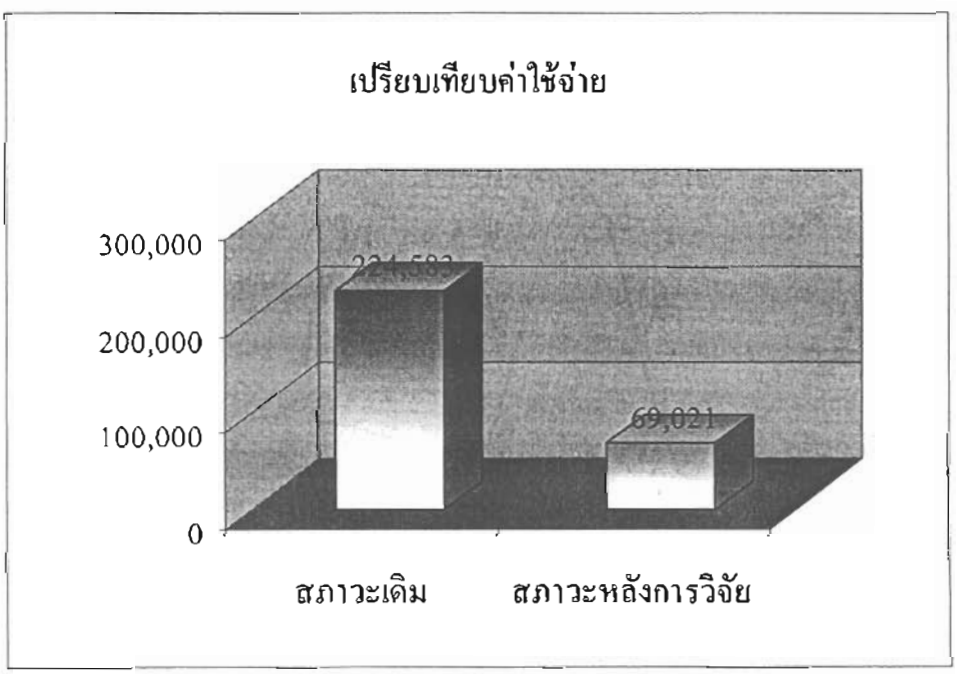
ดังนั้น แต่ละเดือนจะเสียค่าใช้จ่าย $468 \times 12.29 = 5{,}751.72$ บาท

คิดเป็นค่าใช้จ่าย/ปีของสภาวะการทำงานใหม่ $5751.72 \times 12 = 69{,}020.64$ บาท

ค่าใช้จ่าย/ปี จากปัญหาสกัมในสภาวะการทำงานเดิมเท่ากับ 293,603.16 บาท

ดังนั้นจึงทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ $293{,}603.16 - 69{,}020.64 = 224{,}582.52$ บาท / ปี

คิดเป็นจำนวนของเสียที่ลดลง $\frac{11.06 - 2.60}{11.06} \times 100\ \% = 76.49\ \%$



ภาพที่ 4-11 แสดงกราฟแท่งเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพิมพ์ออฟเซตบนกล่องบรรจุภัณฑ์ โดยการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ภายในเครื่องพิมพ์ที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาสกัม และหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด เพื่อลดจำนวนของเสียและนำไปใช้เป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงาน โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง จากการออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลองพร้อมวิเคราะห์ผลการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

5.1.1 ในการทดลองเบื้องต้นซึ่งเป็นการกรองปัจจัย (Screening Factor) โดยศึกษาอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาสกัม โดยใช้เทคนิค 2^{k-p} Factorial Design (2^{6-1} Factorial Design) จากจำนวนปัจจัยที่นำมาศึกษาทั้ง 6 ปัจจัย ได้ค่าที่เหมาะสมในการตั้งเครื่องพิมพ์ คือ ความเร็วในการพิมพ์ที่ 6,300 – 6,500 แผ่นต่อชั่วโมง ค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่ 5 - 15% ระยะเส้นเบียดลูกน้ำที่ 4 - 6 เซนติเมตร ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทนที่ pH 4.5 – 5.5 อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทนที่ 10 - 16 องศาเซลเซียส และระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ที่ 4 - 6 มิลลิเมตร จากนั้น ได้ทำการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาสกัมที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ โดยการออกแบบการทดลอง 3^2 Factorial Design และพบว่าการตั้งค่าเครื่องพิมพ์ที่ทำให้เกิดของเสียจากปัญหาสกัมน้อยที่สุดอยู่ที่ 6,300 แผ่นต่อชั่วโมง และอุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทนที่ 15.6 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปัจจัยที่เหลือคือ ค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ ระยะเส้นเบียดลูกน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทนและระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาสกัม ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในการตั้งค่าเครื่องพิมพ์ได้

5.1.2 ในกระบวนการพิมพ์จะมีหลายขั้นตอน ซึ่งเป็นระบบการทำงานที่มีความซับซ้อน อีกทั้งของเสียที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย หากไม่มีการสร้างมาตรฐานในการทำงานให้กับช่างพิมพ์ อาจจะส่งผลกระทบต่อการทำงานได้ ดังนั้น ระบบการทำงานที่มีมาตรฐานจะช่วยลดความผิดพลาด และไม่ทำให้เกิดของเสียในขั้นตอนกระบวนการพิมพ์ได้ สำหรับการควบคุมคุณภาพในการทำงานที่จะเป็นมาตรฐานให้กับช่างพิมพ์สามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วนโดยมีวิธีการ ดังนี้คือ

1. วัสดุพิมพ์ (กระดาษ) ที่จะนำไปทำการพิมพ์จะต้องนำไปตัดให้ได้ขนาดพอดีเท่ากันทั้งหมด โดยจะต้องควบคุมการตัดให้ได้มุมและฉากเท่ากัน มีดที่ใช้ในการตัดจะต้องให้คมอยู่เสมอ เพื่อรอยตัดจะได้มีความเรียบและจะไม่ทำให้วัสดุพิมพ์ติดกัน ช่างที่ควบคุมการตัดจะต้องมีความเชี่ยวชาญในงานและจะต้องเข้าใจในการเรียงซ้อนให้ดีเหมาะต่อการเคลื่อนย้ายนำไปพิมพ์ นอกจากนี้จำเป็นต้องมีการตรวจจำนวนให้ถูกต้องอีกด้วย

2. แม่พิมพ์ ก่อนจะทำการพิมพ์ทุกครั้ง จะต้องเตรียมแม่พิมพ์ให้พร้อม และต้องมีการตรวจสอบความเรียบร้อยก่อน จะต้องมิให้มีรอยถลอกชำรุด และจะต้องเป็นชุดแม่พิมพ์ที่เมื่อนำไปพิมพ์แล้วจะได้คุณภาพของการพิมพ์ตามที่ได้กำหนด

3. เครื่องพิมพ์ การพิมพ์งานเพื่อให้ได้คุณภาพจะต้องใช้เครื่องพิมพ์ที่ดี ที่อยู่ในสภาพพร้อมใช้ ดังนั้น จะต้องมีการดูแลบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ และทุกส่วนของเครื่องพิมพ์ต้องสะอาด สถานที่ตั้งของเครื่องพิมพ์ต้องไม่เกิดปัญหาฝุ่นละออง อากาศถ่ายเทได้ดี

4. ช่างพิมพ์ ช่างควบคุมเครื่องต้องมีความเข้าใจในทุกส่วนของเครื่องพิมพ์และต้องมีความคุ้นเคยและเจนงาน มีสายตาที่ดีไม่บอดสี และจะต้องทำงานร่วมกันได้ดีกับช่างผู้ช่วยคนอื่น ซึ่งเป็นผลให้การทำงานได้รวดเร็วอย่างมีประสิทธิภาพ มิฉะนั้นแล้ว จะเกิดความล่าช้า และทำให้งานพิมพ์ไม่ได้คุณภาพเท่าที่ควร

5. การพิมพ์ การพิมพ์งานทุกครั้ง มักจะมีรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดเล็กใหญ่ ความหนา บางของวัสดุพิมพ์ ชนิดและสีพิมพ์ เพราะฉะนั้น จะต้องมีการปรับเครื่องพิมพ์ และส่วนต่างๆ ของเครื่องให้ทำงานได้ตรงตามลักษณะชนิดของงานพิมพ์นั้นๆ เช่น การทำงานของหน่วยป้อนกระดาษ ซึ่งจะต้องปรับเครื่องให้สามารถพากระดาษเข้าสู่หน่วยพิมพ์ได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง ได้จังหวะเดียวกันทุกใบ ส่วนของการรับส่งกระดาษจะต้องพอดีไม่จับจนแน่นหรือหลวมเกินไป เพราะจะมีผลต่อการพิมพ์ แรงกดพิมพ์ต้องตั้งให้พอดี ไม่เบา หรือหนักเกินไป และต้องมีการปรับระบบการจ่ายหมึกให้พอดี เพื่อมิให้เกิดสีพิมพ์หนาหรือบางเกินไป เพราะจะมีผลทำให้คุณภาพของการพิมพ์ผิดไป หลังการพิมพ์ สีพิมพ์จะยังไม่แห้งสนิท ดังนั้น จึงไม่ควรที่จะซ้อนกันสูงเกินไป เพราะจะทำให้เกิดรอยสีถลอกหรือติดกัน บางครั้งจำเป็นต้องใช้ผงแป้งเดมีพ่นเป็นละอองหลังการพิมพ์ เพื่อช่วยป้องกันซับหลังด้วยอุปกรณ์การทำงานที่ประกอบอยู่กับเครื่องพิมพ์ และจะต้องควบคุมจำนวนพิมพ์ให้ได้ครบถ้วน ดังนั้น จะเห็นได้ว่าการควบคุมเครื่องพิมพ์เพื่อพิมพ์งานให้ได้คุณภาพ ช่างพิมพ์ที่ดีจะเป็นส่วนที่สำคัญมากที่สุด

สำหรับค่าที่ได้จากการทดลอง และเป็นมาตรฐานให้กับโรงงาน ตามปัจจัยที่ได้ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี Design of Experiment ค่าที่ได้จากการทำลอง แสดงดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 แสดงค่าที่เหมาะสมและเป็นมาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องพิมพ์สำหรับปัจจัยที่ทำการทดลอง

ปัจจัย	ค่าที่เหมาะสม	หน่วย
ความเร็วในการพิมพ์ (A)	6,300	แผ่น/ชั่วโมง
ค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (B)	5	เปอร์เซ็นต์
ระยะเส้นเบียดลูกน้ำ (C)	6	เซนติเมตร
ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน (D)	4.5	pH
อุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน (E)	15.6	องศาเซลเซียส
ระยะห่างของลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ (F)	6	มิลลิเมตร

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงหลังจากการปรับปรุง

เมื่อนำผลจากการวิจัยมาใช้ในกระบวนการทำงานพบว่า จำนวนของเสียจากปัญหาสกัมที่เกิดขึ้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมเฉลี่ย 1,990.80 แผ่น เหลือเพียง 468 แผ่น ในจำนวนการผลิตเฉลี่ย 900,000 แผ่น/เดือน คิดเป็นของเสียที่ลดลงได้ 76.49 % และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขปัญหาสกัมจากเดิม 293,603.16 บาท/ปี เหลือเพียง 69,020.64 บาท/ปี ซึ่งคิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 224,582.52 บาท/ปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทำวิจัยครั้งนี้ได้ตั้งสมมติฐานไว้ในตอนแรกว่า ปัจจัยหลักทั้ง 6 ที่เลือกมาพิจารณาในการออกแบบการทดลองขั้นต้นที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียจากปัญหาสกัม เนื่องจากปัจจัยที่เลือกมาพิจารณานั้น เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ซึ่งเราพยายามที่จะจำกัดและลดอิทธิพลของปัจจัยแทรกซ้อนตัวอื่นๆ ให้เกิดน้อยที่สุด แต่ในหลักความเป็นจริงของกระบวนการผลิต ยังอาจจะมีปัจจัยแทรกซ้อนที่สามารถส่งผลกระทบถึงค่าผลลัพธ์ที่เราสนใจ ซึ่งควรนำไปศึกษาเพิ่มเติม เช่น

5.2.1 การศึกษาในเรื่องมาตรฐานด้านคุณภาพของวัตถุดิบ เช่น กระดาษ หมึก แม่พิมพ์ เป็นต้น

5.2.2 การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องพิมพ์ให้มีระดับที่เหมาะสมและคงที่

นอกจากนี้ยังมีของเสียประเภทอื่นอีกที่ไม่ได้เกิดจากการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์เพียงอย่างเดียว เช่น มาตรฐานในการตรวจสอบสินค้าจากฝ่ายควบคุมคุณภาพ การจัดเก็บวัสดุในขั้นตอนก่อนงานพิมพ์และหลังงานพิมพ์ ทักษะการทำงานของพนักงาน เช่น การปรับตั้งค่าต่างๆ รวมไปถึงการดูแลบำรุงรักษาเครื่องพิมพ์ และการเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบคุณภาพระหว่างงาน

พิมพ์ จากทุกๆ 6 นาที อาจเพิ่มความถี่เป็นทุก 3 นาที ในการตรวจเช็ค เป็นต้น ซึ่งถ้าหากเราสามารถควบคุมปัจจัยอื่นที่กล่าวมานี้ได้แล้ว ก็จะทำให้กระบวนการพิมพ์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กฤษฎา อัศวรุ่งแสงกุล. **"การปรับปรุงคุณภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ทรงพล พิเชษฐ์วัฒนา. **"การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึงหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ปณัยกรณ์ อังกุราภินันท์. **"การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทนแรงดึงในแนวตะเข็บในกระบวนการผลิตถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545.

ปารเมศ ชุติมา. **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่** 1. กรุงเทพฯ . จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

พรเทพ ลาภธุวะศิริ. **"การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสีย กรณีศึกษากระบวนการผลิตเพลากลาง."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

เยาวภา เลาหทวีโชค. **"การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการชุบอลูมิเนียม."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544.

วิชัย รวิพัน. **"การออกแบบแผนการทดลอง และการควบคุมการผลิตในแผนกบรรจุภัณฑ์ : กรณีศึกษา บริษัท ฟิลิปส์ เซมิคอนดักเตอร์ (ประเทศไทย)จำกัด."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

สงวนศักดิ์ แสวงหา. **"การใช้ตัวแปรผิวสะท้อนควบคุมโครงสร้างเม็ดเกรนอะลูมิเนียม."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542.

สมพร พรหมดวง. **"การศึกษาปัจจัยและเงื่อนไขที่เหมาะสมของงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนทนแรงดึงสูงชนิด DIN St 52-3."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544.

สุรพล สุรบรรเจิดพร. **"การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมตะกั่ว-ดีบุกบนแผ่นลายวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติโดยวิธีการออกแบบการทดลอง."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

อรัญ หาญสืบสาร. **"ระบบพิมพ์ต่างๆ และการนำไปใช้งาน."** ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

เอกรัฐ เมนะจินดา. **" การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองแบบแฟคทอเรียล."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติประยุกต์ ภาควิชาสถิติประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2542.

เอนกพงศ์ สุขมี. **"การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบัดกรีแผ่นวงจรอิเล็คทรอนิคส์ด้วยกระบวนการใช้คลื่นน้ำโลหะเหลวโดยวิธีการออกแบบการทดลอง."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.

ภาษาอังกฤษ

Douglass C. Montgomery. Chapter 8. Supplemental Text Material. Available online at [สืบค้นวันที่ 19 กันยายน2549] http://www.wiley.com/college/engin/montgomery316490/wave_s.html.

_____. Design and Analysis of Experiment. 5th ed. New York : John Wiley & Sons, Inc., 2001.

_____. Optimization of a Tungsten CVD Process. Available online at [สืบค้นวันที่ 19 กันยายน 2549] http://www.wiley.com/college/engin/montgomery316490/wave_s.html.

Javed Bari. Specimen Geometry and Aggregate Size Study for Permanent Deformation in Asphalt Concrete Pavements. Available online at [สืบค้นวันที่ 4 มีนาคม 2549]

http://www.wiley.com/college/engin/montgomery316490/wave_s.html.

Johannes Ledolter. A Case Study in Design of Experiments: Improving the Manufacture of Viscose Fiber. Quality Engineering. 15, 2 (2002-03) : 311-322.

Naser Alkhodour, Timothy Ehiabor and Stephen Noronha. Surface Finish Quality. Available online at . [สืบค้นวันที่ 24 มีนาคม 2549] http://www.wiley.com/college/ montgomery316490/wave_s.html.

Raymond H. Myers and Douglas C. Montgomery Response Surface Methodology. 2rd ed. United States of America . John Wiley & Sons, c2002.

ภาคผนวก ก

ตารางประกอบการคำนวณ

ตารางที่ ก-1 แสดงตัวอย่างการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกเทอเรียลแบบ 2^{k-p}

Number of Factors, k	Function	Number of Runs	Design Generators
3	2_{III}^{3-1}	4	C = ± AB
4	2_{IV}^{4-1}	8	D = ± ABC
5	2_{V}^{5-1}	16	E = ± ABCD
	2_{III}^{5-2}	8	D = ± AB
			E = ± AC
6	2_{VI}^{6-1}	32	F = ± ABCDE
	2_{IV}^{6-2}	16	E = ± ABC
			F = ± BCD
	2_{III}^{6-3}	8	D = ± AB
			E = ± AC
			F = ± BC
7	2_{VII}^{7-1}	64	G = ± ABCDEF
	2_{IV}^{7-2}	32	F = ± ABCD
			G = ± ABDE
	2_{IV}^{7-3}	16	E = ± ABC
			F = ± BCD
			G = ± ACD

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Number of Factors, k	Function	Number of Runs	Design Generators
8	2_V^{8-2}	64	G = ± ABCD
			H = ± ABEF
	2_{IV}^{8-3}	32	F = ± ABC
			G = ± ABD
	2_{IV}^{8-4}	16	E = ± BCD
			F = ± ACD
			G = ± ABC
			H = ± ABD
9	2_{VI}^{9-2}	128	H = ± ACDFG
			J = ± BCEFG
	2_{IV}^{9-3}	64	G = ± ABCD
			H = ± ACEF
			J = ± CDEF
	2_{IV}^{9-4}	32	F = ± BCDE
			G = ± ACDE
			H = ± ABDE
			J = ± ABCE
	2_{III}^{9-5}	16	E = ± ABC
			F = ± BCD
			G = ± ACD
			H = ± ABD
			J = ± ABCD

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Number of Factors, k	Function	Number of Runs	Design Generators
10	2_V^{10-3}	128	H = ± ABCG
			J = ± ACDE
	2_{IV}^{10-4}	64	G = ± BCDF
			H = ± ACDF
			J = ± ABDE
			K = ± ABCE
	2_{IV}^{10-5}	32	F = ± ABCD
			G = ± ABCE
			H = ± ABDE
			J = ± ACDE
			K = ± BCDE
	2_{III}^{10-6}	16	E = ± ABC
			F = ± BCD
			G = ± ACD
			H = ± ABD
			J = ± ABCD
			K = ± AB

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Number of Factors, k	Function	Number of Runs	Design Generators
11	2_{IV}^{11-5}	64	G = ± CDE
			H = ± ABCD
			J = ± ABF
			K = ± BDEF
			L = ± ADEF
	2_{IV}^{11-6}	32	F = ± ABC
			G = ± BCD
			H = ± CDE
			J = ± ACD
			K = ± ADE
			L = ± BDE
	2_{III}^{11-7}	16	E = ± ABC
			F = ± BCD
			G = ± ACD
			H = ± ABD
			J = ± ABCD
			K = ± AB
			L = ± AC
12	2_{III}^{12-8}	16	E = ± ABC
			F = ± ABD
			G = ± ACD
			H = ± BCD
			J = ± ABCD
			K = ± AB
			L = ± AC
			M = ± AD

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Number of Factors, k	Function	Number of Runs	Design Generators
13	2_{III}^{13-9}	16	E = ± ABC
			F = ± ABD
			G = ± ACD
			H = ± BCD
			J = ± ABCD
			K = ± AB
			L = ± AC
			M = ± AD
			N = ± BC
14	2_{III}^{14-10}	16	E = ± ABC
			F = ± ABD
			G = ± ACD
			H = ± BCD
			J = ± ABCD
			K = ± AB
			L = ± AC
			M = ± AD
			N = ± BC
			O = ± BD

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Number of Factors, k	Function	Number of Runs	Design Generators
15	2^{15-11}_{III}	16	E = ± ABC
			F = ± ABD
			G = ± ACD
			H = ± BCD
			J = ± ABCD
			K = ± AB
			L = ± AC
			M = ± AD
			N = ± BC
			O = ± BD
			P = ± CD

ตารางที่ ก-2 ความสัมพันธ์แฝดแฝงการออกแบบเชิงแฟกเทอเรียล 2^{k-p} ($k \leq 15,\ n \leq 64$)

Designs with 3 Factors

(a) 2^{3-1}, 1/2 fraction of 3 factors in 8 runs **Resolution III**

Design Generators

C = AB

Defining relation : I = ABC

Aliases

A = BC

B = AC

C = AB

Designs with 4 Factors

(b) 2^{4-1}, 1/2 fraction of 4 factors in 8 runs **Resolution IV**

Design Generators

D = ABC

Defining relation : I = ABCD

Aliases

A = BCD

B = ACD

C = ABD

D = ABC

AB = CD

AC = BD

AD = BC

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

Designs with 5 Factors

(c) 2^{5-2}, 1/4 fraction of 5 factors in 8 runs **Resolution III**

Design Generators

D = AB E = AC

Defining relation : I = ABCD = ACE = BCDE

Aliases

A = BD = CE

B = AD = CDE

C = AE = BDE

D = AB = BCE

E = AC = BCD

BC = DE = ACD = ABE

CD = BE = ABC = ADE

(d) 2^{5-1}, 1/2 fraction of 5 factors in 16 runs **Resolution V**

Design Generators

E = ABCD

Defining relation : I = ABCDE

Aliases

Each main effect is aliased with a single 4-factor interaction.

AB = CDE	BD = ACE
AC = BDE	BE = ACD
AD = BCE	CD = ABE
AE = BCD	CE = ABD
BC = ADE	DE = ABC

2 blocks of 8 : AB = CDE

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

Designs with 6 Factors

(e) 2^{6-3}, 1/8 fraction of 6 factors in 8 runs **Resolution III**

Design Generators

D = AB E = AC F = BC

Defining relation : I = ABD = ACE = BCDE = BCF = ACDF = ABEF = DEF

Aliases

A = BD = CE = CDF = BEF E = AC = DF = BCD = ABF

B = AD = CF = CDE = AEF F = BC = DE = ACD = ABE

C = AE = BF = BDE = ADF CD = BE = AF = ABC = ADE = BDF = CEF

D = AB = EF = BCE = ACF

(f) 2^{6-2}, 1/4 fraction of 6 factors in 16 runs **Resolution IV**

Design Generators

E = ABC F = BCD

Defining relation : I = ABCE = BCDF = ADEF

Aliases

A = BCE = DEF AB = CE

B = ACE = CEF AC = BE

C = ABE = BDF AD = EF

D = BCF = AEF AE = BC = DF

E = ABC = ADF AF = DE

F = BCD = ADE BD = CF

ABD = CDE = ACF = BEF BF = CD

ACD = BDE = ABF = CEF

2 blocks of 8 : ABD = CDE = ACF = BEF

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

(g) 2^{6-1}, 1/2 fraction of 6 factors in 32 runs **Resolution VI**

Design Generators

F = ABCDE

Defining relation : I = ABCEF

Aliases

Each main effect is aliased with a single 5-factor interaction.

Each 2-factor interaction is aliased with a single 4-factor interaction.

ABC = DEF	ACE = BDF
ABD = CEF	ACF = BDE
ABE = CDF	ADE =BCF
ABF = CDE	ADF = BCE
ACD = BEF	AEF = BCD

2 blocks of 16 : ABF = CDE 4 blocks of 8 : BC

ABF = CDE

ACF = BDE

Designs with 7 Factors

(h) 2^{7-4}, 1/16 fraction of 7 factors in 8 runs **Resolution III**

Design Generators

D = AB E = AC F = BC G = ABC

Defining relation : I = ABD = ACE = BCDE = BCF = ACDF = ABEF = DEF = ABCG

= CDG = BEG = ADEG = AFG = BDFG = CEFG = ABCDEFG

Aliases

A = BD = CE = FG	E = AC = DF = BG
B = AD = CF = RG	F = BC = DE = AG
C = AE = BF = DG	G = CD = BE = AF
D = AB = EF = CG	

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

(i) 2^{7-3}, 1/8 fraction of 7 factors in 16 runs **Resolution IV**

Design Generators

E = ABC F = BCD G = ACD

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

Aliases

A=BCE=DEF=CDG=BFG	AB=CE=FG	E =ABC=ADF=BDG=CFG	AF=DE=BG
B=ACE=CDF=DEG=AFG	AC=BE=DG	F=BCD=ADE=ABG=CEG	AG=CD=BF
C=ABE=BDF=ADG=EFG	AD=EF=CG	G=ACD=BDE=ABF=CEF	BD=CF=EG
D=BCF=AEF=ACG==BEG	AC=BC=DF		
ABD=CDE=ACF=BEF=BCG=AEG=DFG			

2 blocks of 8 : ABD = CDE = ACF = BEF = BCG = AEG = DFG

(j) 2^{7-2}, 1/4 fraction of 7 factors in 32 runs **Resolution IV**

Design Generators

F = ABCD G = ABDE

Defining relation : I = ABCDF = ABDEG = CEFG

Aliases

A=	AB=CDF=DEG	BC=ADF	CE=FG	ACE=AFG
B=	AC=BDF	BD=ACF=AEG	CF=ABD=EG	ACG=AEF
C=EFG	AD=BCF=BEG	BE=ADG	CG=EF	BCE=BFG
D=	AE=BDG	BF=ACD	DE=ABG	BCG=BEF
E=CFG	AF=BCD	BG=ADE	DF=ABC	CDE=DFG
F=CEG	AG=BDE	CD=ABF	DG=ABE	CDG=DEF
G=CEF				

2 blocks of 8 : ACE = AFG

BCE = BFG

AB = CDF = DEG

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

(k) 2^{7-1}, 1/2 fraction of 7 factors in 64 runs **Resolution VII**

Design Generators

G = ABCDEF

Defining relation : I = ABCEFG

Aliases

Each main effect is aliased with a single 6-factor interaction.

Each 2-factor interaction is aliased with a single 5-factor interaction.

Each 3-factor interaction is aliased with a single 4-factor interaction.

2 blocks of 32 : ABF = CDE 4 blocks of 16 : ABC

CEF

CDG

Designs with 8 Factors

(l) 2^{8-4}, 1/2 fraction of 8 factors in 16 runs **Resolution IV**

Design Generators

E = BCD F = ACD G = ABC H = ABD

Defining relation : I = BCDE = ACDF = ABEF = ABCG = ADEG = BDFG = CEFG = ABDH

= ACEH = BCFG = DEFH = CDGH = BEGH = AFGH = ABCDEFGH

Aliases

A = CDF = BEF = BCG = DEG = BDH = CEH = FGH	AB = EF = CG = DH
B = CDE = AEF = ACG = DFG = ADH = CFH = EGH	AC = DF = BG = EH
C = BDE = ADF = ABG = EFG = AEH = BFH = DGH	AD = CF = EG = BH
D = BCE = ACF = AEG = BFH = ABH = EFH = CGH	AE = BF = DG = CH
E = BCD = ABF = ADG = CGG = ACH = DFH = BGH	AF = CD = BE = GH
F = ACD = ABE = BDG = CEG = BCH = DEH = AGH	AG = BC = DE = FH
G = ABC = ADE = BDF = CEF = CDH = BEH = AFH	AH = BD = CE = FG
H = ABD = ACE = BCF = DEF = CDG = BEG = AFG	

2 blocks of 16 : AB = EF = CG = DH

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

(m) 2^{8-3}, 1/8 fraction of 8 factors in 32 runs **Resolution IV**

Design Generators

F = ABC G = ABD H = BCDE

Defining relation : I = ABCF = ABDG = CDFG = BCDEH = ADEFH = ACEGH = BEFGH

Aliases

A = BCF = BDG	AC = DFH = CGH	DE = BCH = AFH
B = ACF = ADG	AF = BC = DEH	DH = BCE = AEF
C = ABF = DFG	AG = BD = CEH	EF = ADH = BGH
D = ABG = CFG	AH = DEF = CEG	EG = ACH = BFG
E =	BE = CDH = FGH	EH = BCD = ADF = ACG = BFG
F = ABC = CDG	BH = CDE = EFG	FH = ADE = BEG
G = ABD = CDF	CD = FG = BEH	GH = ACE = BEF
H =	CE = BDH = AGH	ABE = CEF = DEG
AB = CF = DG	CG = DF = AEH	ABH = CFH = DGH
AC = BF = EGH	CH = BDE = AEG	ACD = BDF = BCG = AFG
AD = BG = EFH		

2 blocks of 16 : ABE = CEF = DEG

4 blocks of 8 : ABE = CEF = DEG

ABH = CFH = DGH

EH = BCD = ADF = ACG = BFG

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

(n) 2^{8-2}, 1/4 fraction of 8 factors in 64 runs **Resolution V**

Design Generators

G = ABCD H = ABEF

Defining relation : I = ABCDG = ABEFH = CDEFGH

Aliases

AB = CDG = EFH	BG = ACD	EF = ABH	ADH =	BFG =
AC = BDG	BH = AEF	EG =	AEG =	BGH =
AD = BCG	CD = ABG	EH = ABF	AFG =	CDE = FGH
AE = BFH	CE =	FG =	AGH =	CDF = EGH
AF = BEH	CF =	FH = ABE	BCE =	CDH = EFG
AG = BCD	CG = ABD	GH =	BCF =	CEF = DGH
AH = BEF	CH =	ACE =	BCH =	CEG = DFH
BC = ADG	DE =	ACF =	BDE =	CEH = DFG
BD = ACG	DF =	ACH =	BDF =	CFG = DEH
BE = AFH	DG = ABC	ADE =	BDH =	CFH = DEG
BF = AEH	DH =	ADF =	BEG =	CGH = DEF

2 blocks of 32 : CDE = FGH 4 blocks of 16 : CDE = FGH

ACF

BDH

ตารางที่ ก-3 แสดงการกระจายแบบ t

II. Percentage Points of the t Distribution*

ν \ α	.40	.25	.10	.05	.025	.01	.005	.0025	.001	.0005
1	.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.32	318.31	636.62
2	.289	.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	23.326	31.598
3	.277	.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.213	12.924
4	.271	.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	.267	.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	.265	.727	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	.263	.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.019	4.785	5.408
8	.262	.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	.261	.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	.260	.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	.260	.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	.259	.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	.259	.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	.258	.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	.258	.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	.258	.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	.257	.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	.257	.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	.257	.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	.257	.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	.257	.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	.256	.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	.256	.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.767
24	.256	.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	.256	.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	.256	.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	.256	.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	.256	.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	.256	.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	.256	.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	.255	.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	.254	.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	.254	.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
∞	.253	.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

ν = degrees of freedom.

* Adapted with permission from *Biometrika Tables for Statisticians*, Vol. 1, 3rd edition, by E. S. Pearson and H. O. Hartley, Cambridge University Press, Cambridge, 1966.

ตารางที่ ก-4 แสดงการกระจายแบบ F

IV. Percentage Points of the F Distribution (*continued*)

$F_{0.05;\nu_1,\nu_2}$

ν_2 \ ν_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3	
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71	
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40	
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73	
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71	
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67	
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65	
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39	
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25	
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00	

Degrees of Freedom for the Denominator (ν_2)

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

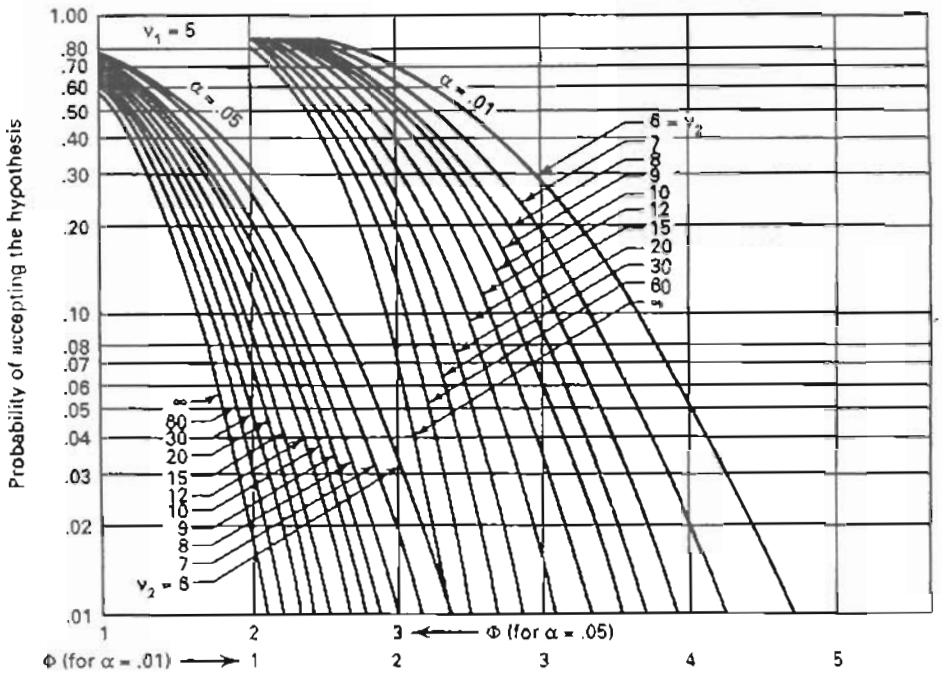
$F_{0.025,\nu_1,\nu_2}$

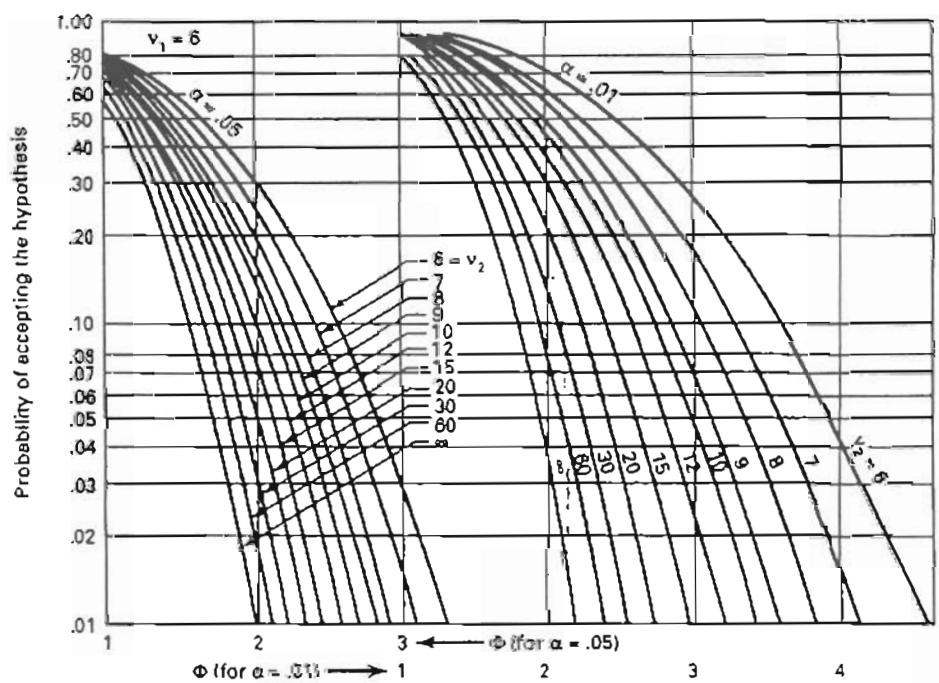
ν_2 \ ν_1	Degrees of Freedom for the Numerator (ν_1)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	647.8	799.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.7	963.3	968.6	976.7	984.9	993.1	997.2	1001	1006	1010	1014	1018
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.43	39.45	39.46	39.46	39.47	39.48	39.49	39.50
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.34	14.25	14.17	14.12	14.08	14.04	13.99	13.95	13.90
4	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.75	8.66	8.56	8.51	8.46	8.41	8.36	8.31	8.26
5	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.52	6.43	6.33	6.28	6.23	6.18	6.12	6.07	6.02
6	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	5.37	5.27	5.17	5.12	5.07	5.01	4.96	4.90	4.85
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.67	4.57	4.47	4.42	4.36	4.31	4.25	4.20	4.14
8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.20	4.10	4.00	3.95	3.89	3.84	3.78	3.73	3.67
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.87	3.77	3.67	3.61	3.56	3.51	3.45	3.39	3.33
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.62	3.52	3.42	3.37	3.31	3.26	3.20	3.14	3.08
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.43	3.33	3.23	3.17	3.12	3.06	3.00	2.94	2.88
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.28	3.18	3.07	3.02	2.96	2.91	2.85	2.79	2.72
13	6.41	4.97	4.35	4.00	3.77	3.60	3.48	3.39	3.31	3.25	3.15	3.05	2.95	2.89	2.84	2.78	2.72	2.66	2.60
14	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21	3.15	3.05	2.95	2.84	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49
15	6.20	4.77	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12	3.06	2.96	2.86	2.76	2.70	2.64	2.59	2.52	2.46	2.40
16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.89	2.79	2.68	2.63	2.57	2.51	2.45	2.38	2.32
17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98	2.92	2.82	2.72	2.62	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.25
18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93	2.87	2.77	2.67	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.26	2.19
19	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.72	2.62	2.51	2.45	2.39	2.33	2.27	2.20	2.13
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.68	2.57	2.46	2.41	2.35	2.29	2.22	2.16	2.09
21	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80	2.73	2.64	2.53	2.42	2.37	2.31	2.25	2.18	2.11	2.04
22	5.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.70	2.60	2.50	2.39	2.33	2.27	2.21	2.14	2.08	2.00
23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73	2.67	2.57	2.47	2.36	2.30	2.24	2.18	2.11	2.04	1.97
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.64	2.54	2.44	2.33	2.27	2.21	2.15	2.08	2.01	1.94
25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.51	2.41	2.30	2.24	2.18	2.12	2.05	1.98	1.91
26	5.66	4.27	3.67	3.33	3.10	2.94	2.82	2.73	2.65	2.59	2.49	2.39	2.28	2.22	2.16	2.09	2.03	1.95	1.88
27	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.80	2.71	2.63	2.57	2.47	2.36	2.25	2.19	2.13	2.07	2.00	1.93	1.85
28	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.90	2.78	2.69	2.61	2.55	2.45	2.34	2.23	2.17	2.11	2.05	1.98	1.91	1.83
29	5.59	4.20	1.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59	2.53	2.43	2.32	2.21	2.15	2.09	2.03	1.96	1.89	1.81
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.41	2.31	2.20	2.14	2.07	2.01	1.94	1.87	1.79
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.29	2.18	2.07	2.01	1.94	1.88	1.80	1.72	1.64
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.17	2.06	1.94	1.88	1.82	1.74	1.67	1.58	1.48
120	5.15	3.80	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.30	2.22	2.16	2.05	1.94	1.82	1.76	1.69	1.61	1.53	1.43	1.31
∞	5.02	3.69	3.12	2.79	2.57	2.41	2.29	2.19	2.11	2.05	1.94	1.83	1.71	1.64	1.57	1.48	1.39	1.27	1.00

Degrees of Freedom for the Denominator (ν_2)

ตารางที่ ก-5 แสดง Characteristic Curves

V. Operating Characteristic Curves for the Fixed Effects Model Analysis of Variance (*continued*)

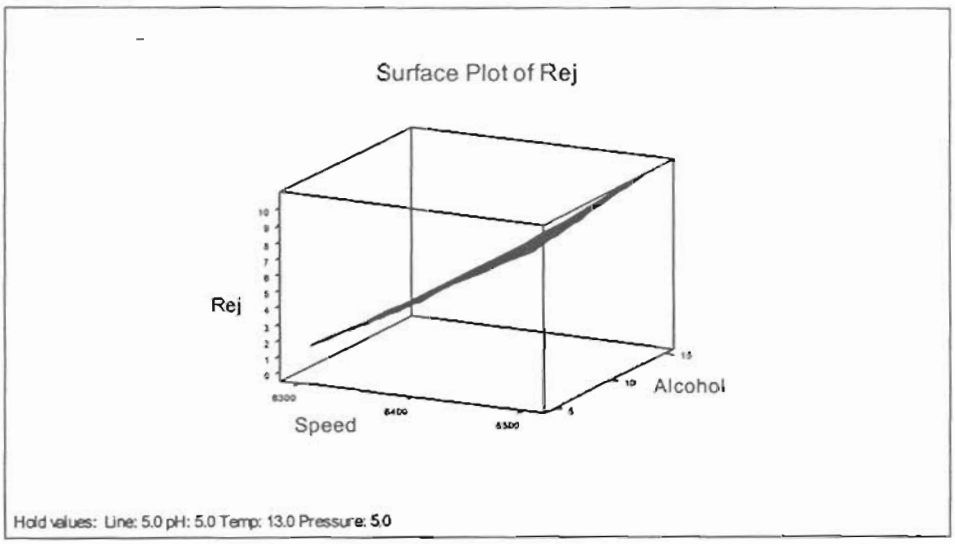




ภาคผนวก ข

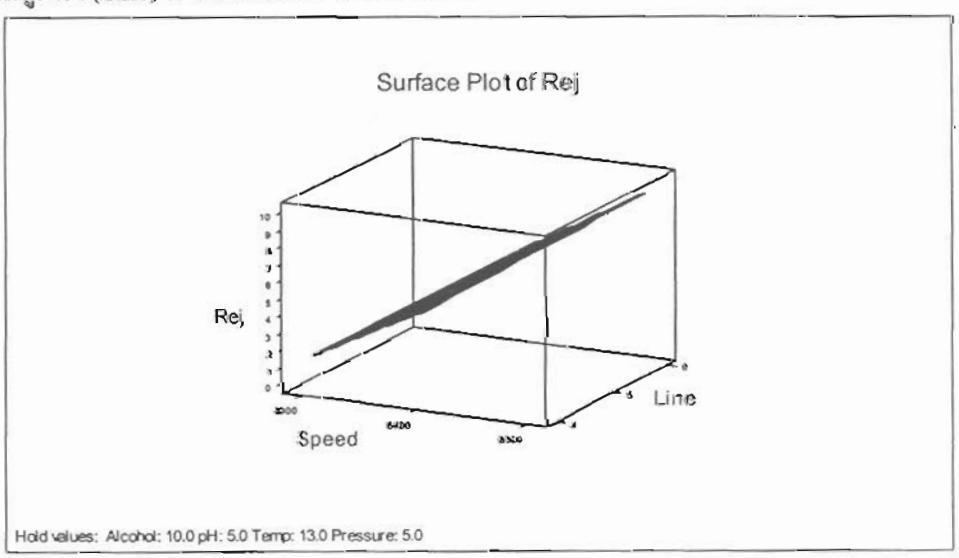
การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองจากปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาสกัม

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Speed กับ Alcohol ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ด้วยค่าความเร็วในการพิมพ์ (Speed) ที่ 6,300 แผ่นต่อชั่วโมง และปริมาณเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (Alcohol) ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ ข-1



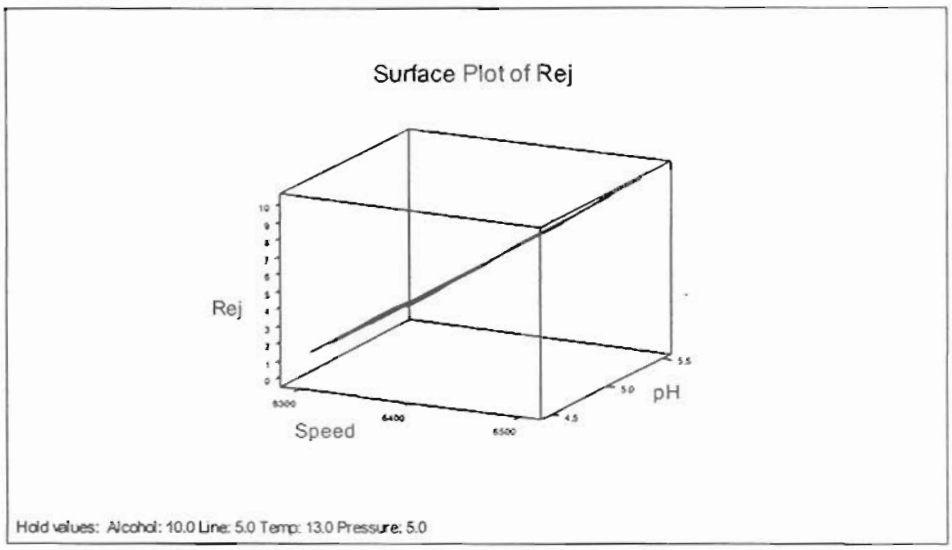
ภาพที่ ข-1 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Speed กับ Alcohol

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Speed กับ Line ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ด้วยค่าความเร็วในการพิมพ์ (Speed) ที่ 6,300 แผ่นต่อชั่วโมง และระยะเส้นเบียดลูกน้ำ (Line) ที่ 4 เซนติเมตร ดังภาพที่ ข-2



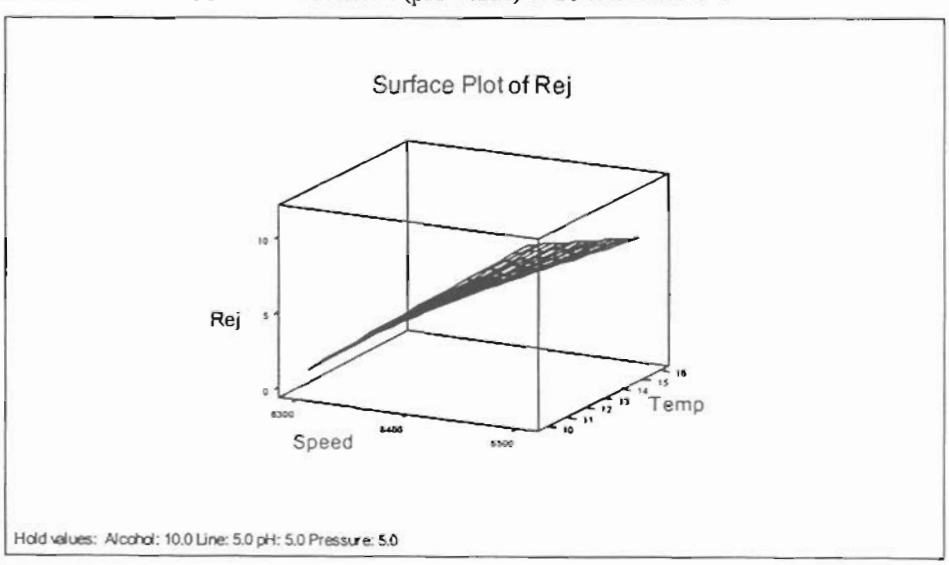
ภาพที่ ข-2 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Speed กับ Line

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Speed กับ pH Value ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ด้วยค่าความเร็วในการพิมพ์ (Speed) ที่ 6,300 แผ่นต่อชั่วโมง และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน (pH Value) ที่ 4.5 ดังภาพที่ ข-3



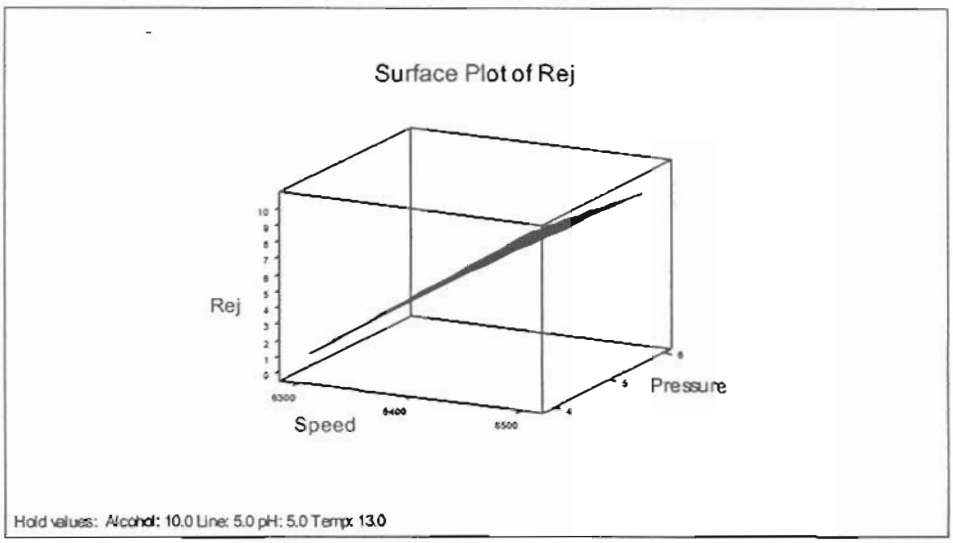
ภาพที่ ข-3 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Speed กับ pH Value

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Speed กับ Temperature ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คือความเร็วในการพิมพ์ (Speed) ที่ 6,300 แผ่นต่อชั่วโมง และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน (pH Value) ที่ 10 ดังภาพที่ ข-4



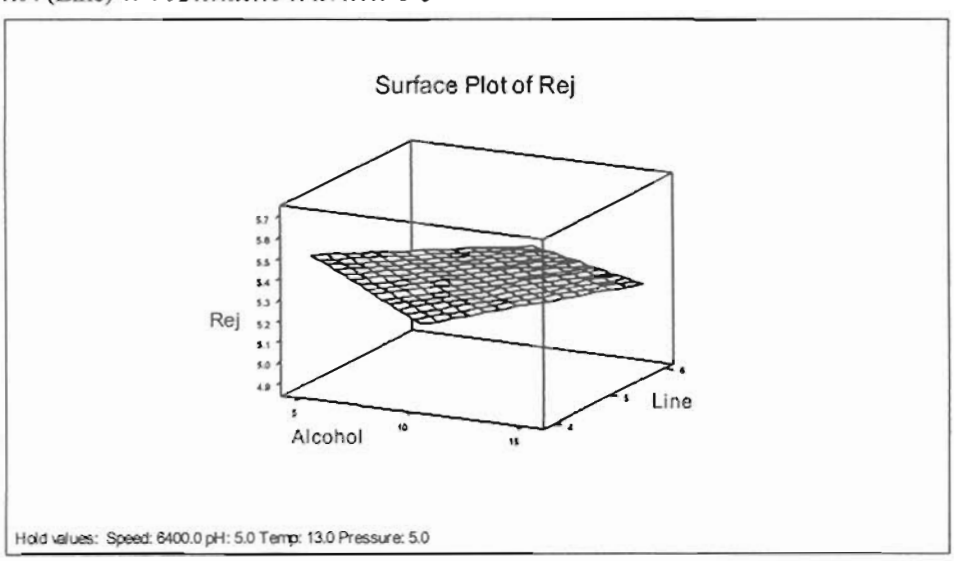
ภาพที่ ข-4 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Speed กับ Temperature

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Speed กับ Pressure ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คือความเร็วในการพิมพ์ (Speed) ที่ 6,300 แผ่นต่อชั่วโมง และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ (Pressure) ที่ 4 มิลลิเมตร ดังภาพที่ ข-5



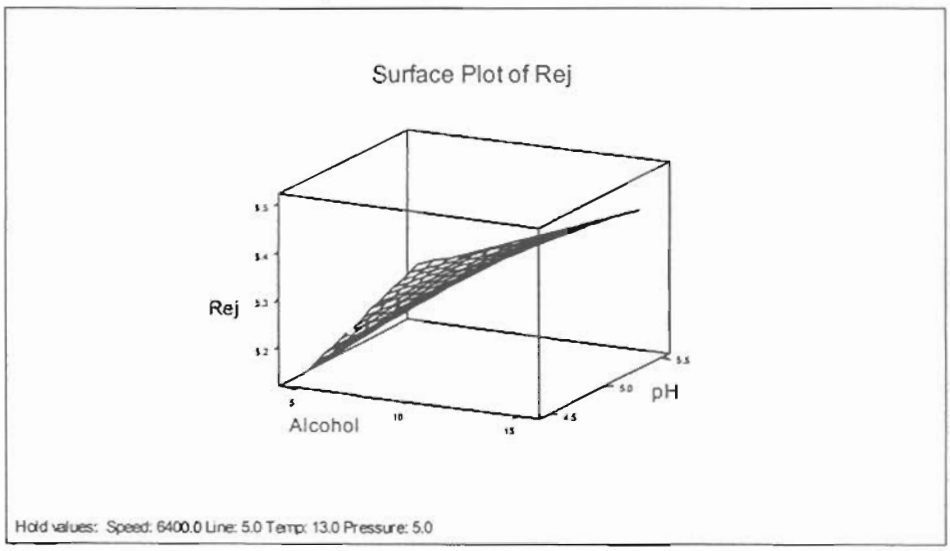
ภาพที่ ข-5 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Speed กับ Pressure

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Alcohol กับ Line ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คือปริมาณเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (Alcohol) ที่ 10 และระยะเส้นเบียดลูกน้ำ (Line) ที่ 4 เซนติเมตร ดังภาพที่ ข-6



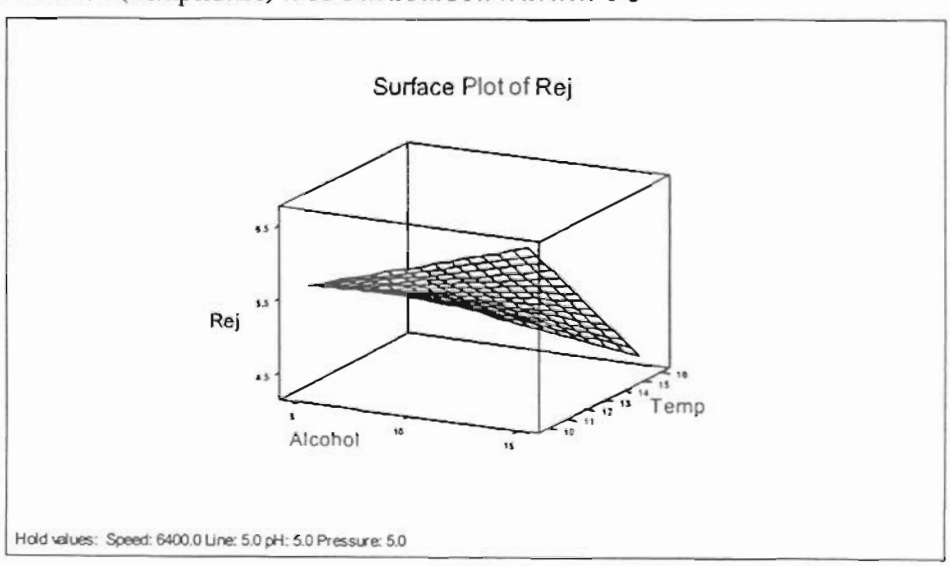
ภาพที่ ข-6 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Alcohol กับ Line

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Alcohol กับ pH Value ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คือปริมาณเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (Alcohol) ที่ 5 และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน (pH Value) ที่ 4.5 ดังภาพที่ ข-7



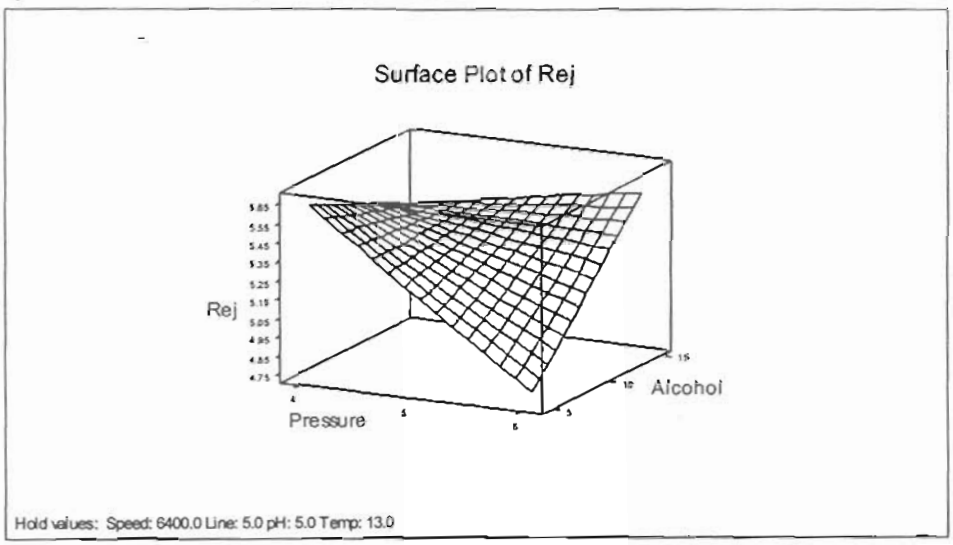
ภาพที่ ข-7 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Alcohol กับ pH Value

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Alcohol กับ Temperature ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คือปริมาณเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (Alcohol) ที่ 15 และอุณหภูมิของน้ำยาฟาวเทน (Temperature) ที่ 16 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ ข-8



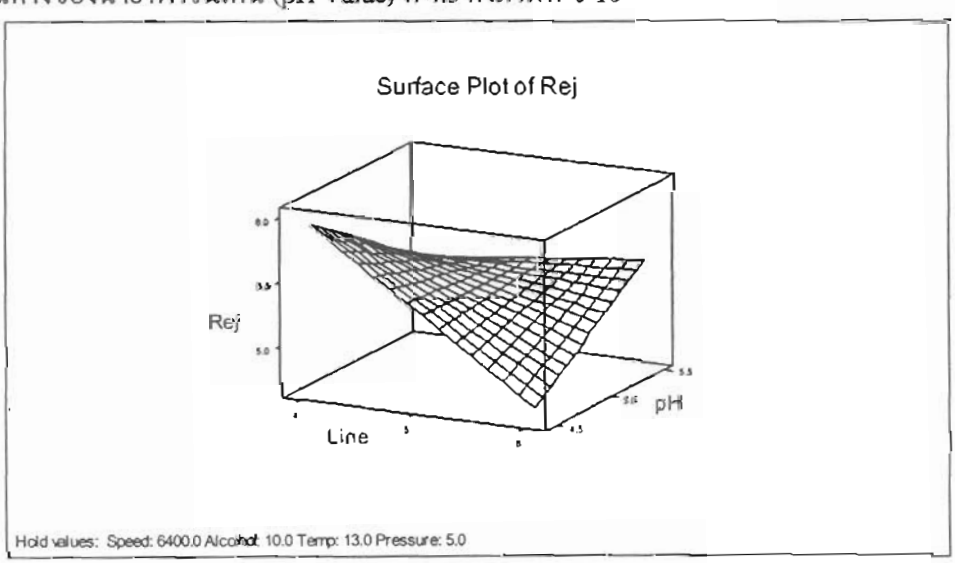
ภาพที่ ข-8 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Alcohol กับ Temperature

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Alcohol กับ Pressure ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คือปริมาณเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (Alcohol) ที่ 5 และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ (Pressure) ที่ 6 มิลลิเมตร ดังภาพที่ ข-9



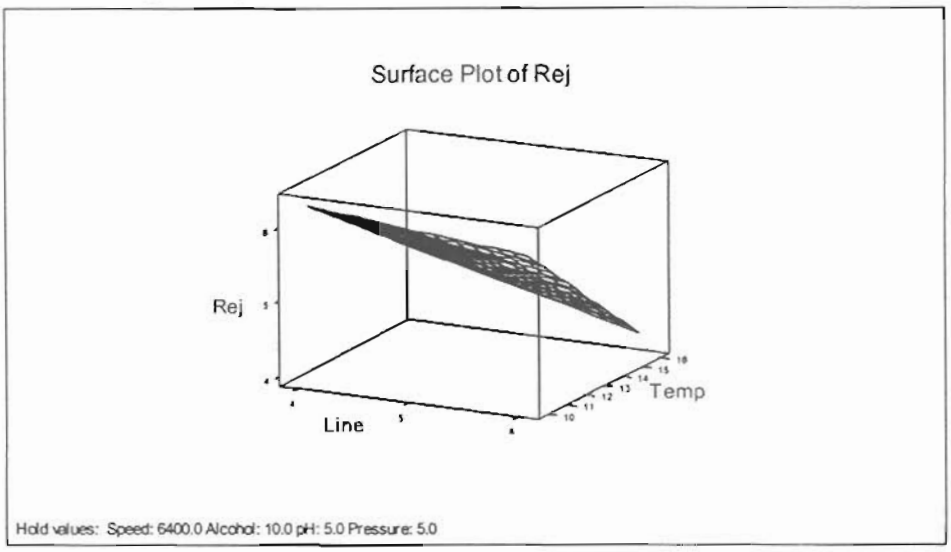
ภาพที่ ข-9 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Alcohol กับ Pressure

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Line กับ pH Value ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คือระยะเส้นเบียดลูกน้ำ (Line) ที่ 6 เซนติเมตร และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน (pH Value) ที่ 4.5 ดังภาพที่ ข-10



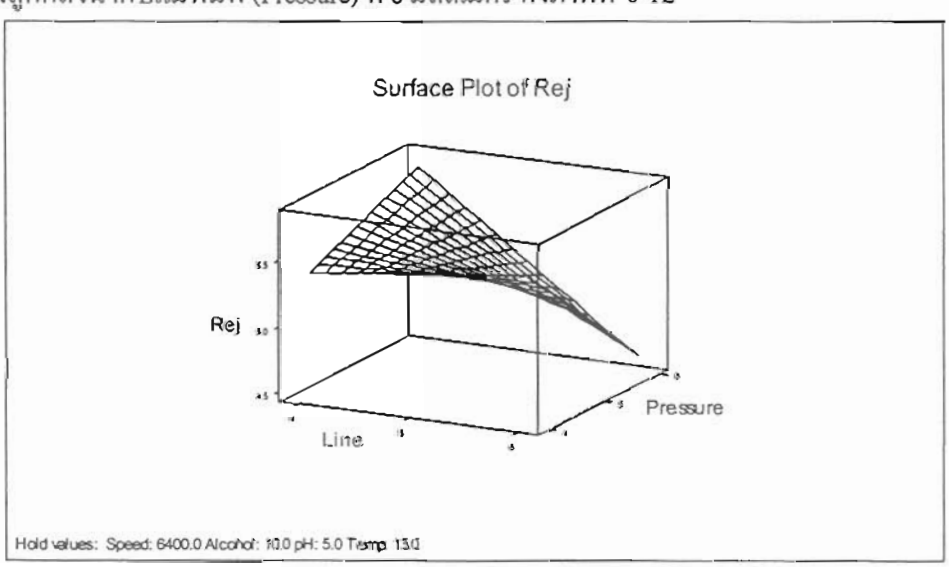
ภาพที่ ข-10 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Line กับ pH Value

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Line กับ Temperature ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คือระยะเส้นเบียดลูกน้ำ (Line) ที่ 6 เซนติเมตร และอุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน (Temperature) ที่ 16 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ ข-11



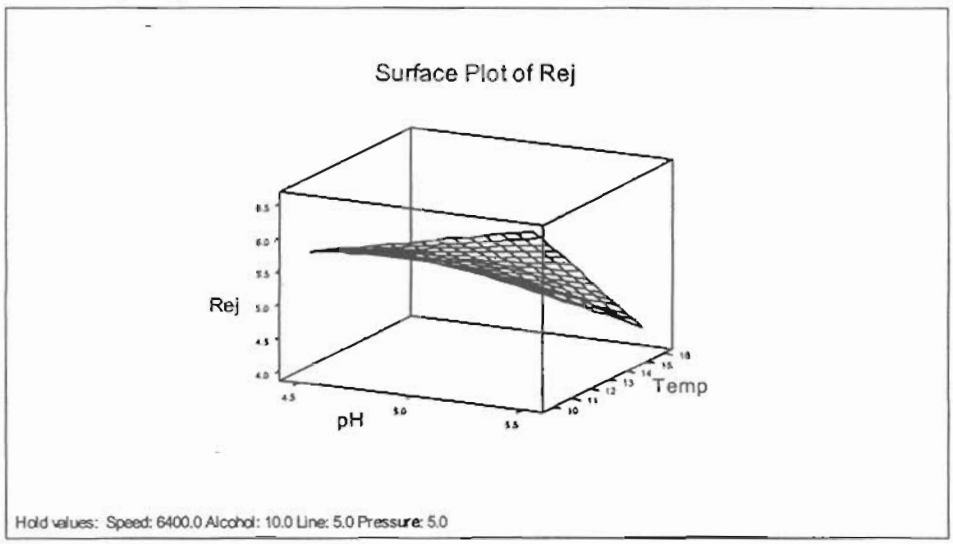
ภาพที่ ข-11 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Line กับ Temperature

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Line กับ Pressure ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คือระยะเส้นเบียดลูกน้ำ (Line) ที่ 6 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ (Pressure) ที่ 6 มิลลิเมตร ดังภาพที่ ข-12



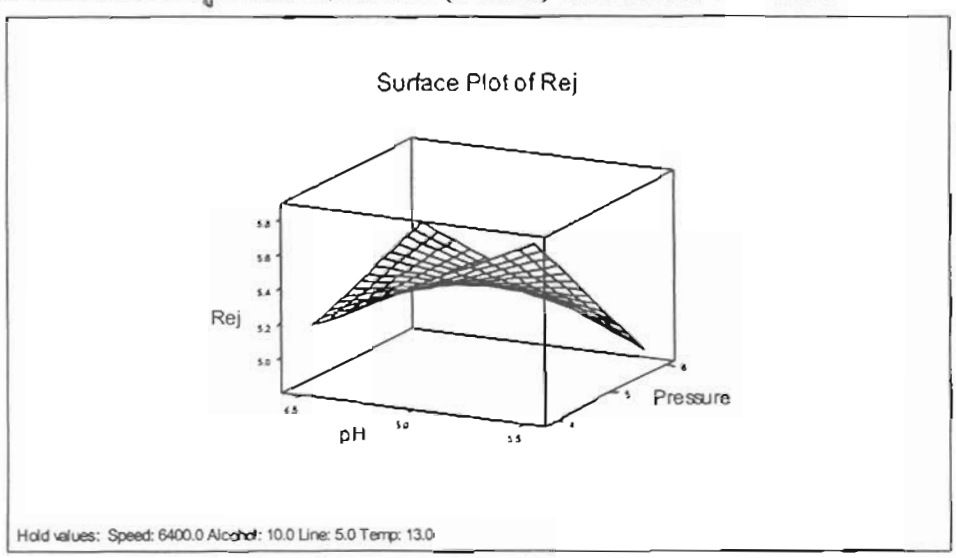
ภาพที่ ข-12 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Line กับ Pressure

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย pH Value กับ Temperature ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คือค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน (pH Value) ที่ 5.5 และอุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน (Temperature) ที่ 16 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ ข-13



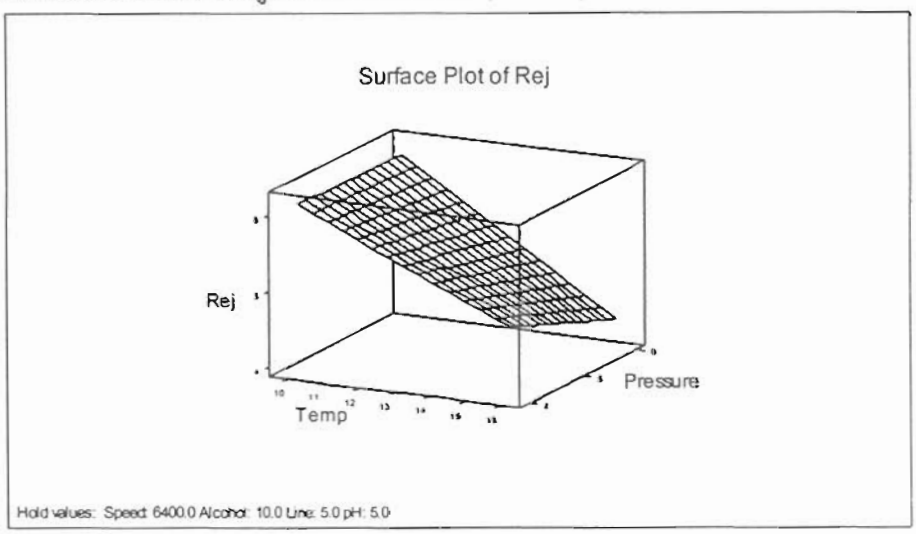
ภาพที่ ข-13 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง pH Value กับ Temperature

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย pH Value กับ Pressure ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คือค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน (pH Value) ที่ 5.5 และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ (Pressure) ที่ 6 มิลลิเมตร ดังภาพที่ ข-14



ภาพที่ ข-14 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง pH Value กับ Pressure

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างปัจจัย Temperature กับ Pressure ได้ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คืออุณหภูมิของน้ำยาฟาวน์เทน (Temperature) ที่ 16 องศาเซลเซียส และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ (Pressure) ที่ 6 มิลลิเมตร ดังภาพที่ ข-15



ภาพที่ ข-15 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง Temperature กับ Pressure

จากภาพที่ ข-1 ถึง ภาพที่ ข-15 สามารถสรุปได้ว่า ค่าความเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด สำหรับปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อปัญหาสกัม มีดังนี้ ค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (Alcohol) ที่ 5 เปอร์เซ็นต์, ระยะเส้นเบียดลูกน้ำ (Line) ที่ 6 เซนติเมตร, ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาฟาวน์เทน (pH Value) ที่ pH 4.5 และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งน้ำกับแม่พิมพ์ (Pressure) ที่ 6 มิลลิเมตร

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างเอกสารในการตรวจสอบคุณภาพการพิมพ์ระบบออฟเซต

ใบตรวจสอบงานก่อนพิมพ์

วันที่.....เลขที่งาน.....ชื่องาน.....ชนิดกระดาษ.....

จำนวนสั่ง.....การพิมพ์.....สี เคลือบ.....อื่นๆ.....

ทำเครื่องหมาย / ลงในช่อง พบ หรือ ไม่พบ และเขียนชี้แจงในช่องหมายเหตุ

การตรวจสอบ	เกณฑ์การตรวจสอบ	พบ	ไม่พบ	ค่าที่วัดได้	หมายเหตุ
กระดาษ - ขนาดไซด์	ตัวอย่างกล่องและคลับเมตรวัด				
- แกรม	ใบสั่งผลิตและใบกำกับพาเลท				
- เกรน	ใบสั่งผลิตและยกดู				
- สีผิว	ตัวอย่างเก่าและสายตา				
- ครบจำนวน	ใบกำกับพาเลทและคลับเมตรวัด				
แม่พิมพ์ - เก่า	ใบสั่งผลิต				
- ใหม่	ใบสั่งผลิต				
- วางขนาดกิ๊ปเปอร์	ตรวจอิ้งและตัวอย่างกล่อง				
- สกปรก	สายตา				
- สกรีนบวม	สายตา				
- สกรีนจาง	สายตา				
- ตัวหนังสือครบถ้วน	ตัวอย่างกล่องและสายตา				
พิมพ์ - ตัวอย่างกล่อง	ตัวอย่างกล่องที่ถูกต้อง				
- ตัวอย่างสี	ตัวอย่างสีที่มีการ OK.				
- ตั้งฉากเท่าของเก่า	ตัวอย่างกล่องวัดเปรียบเทียบ				
- สีเหมือนตัวอย่าง	ตัวอย่างสีที่มีการ OK.				
ถ้าปรับแล้วสีแตกต่างจากตัวอย่าง ≥ ให้หัวหน้าแผนก + QA + เซลล์เข้าของงานอนุมัติ					
- ความคมชัด สกรีนและตัวหนังสือ	สายตาและตัวอย่างกล่อง				
- ปรับสีเหมือนตัวอย่างก่อนพิมพ์จริง	สายตาและตัวอย่างกล่อง				
- วัดค่าความเข้มของสี	เครื่องวัดสี				
- ความหนาบางของน้ำยาเคลือบ	เครื่องวัดและสายตา				
- การปล่อยแป้ง	การสัมผัสด้วยมือ				
- การตรวจสอบการขับหลัง	สุ่มดูเมื่อพิมพ์ได้ 500 แผ่นแรก				
- เขียนใบกำกับพาเลทชัดเจน	กรอกรายละเอียดให้ครบถ้วน				
- ชี้แจงปัญหาเมื่อเกิดขึ้น ชัดเจน	เขียนปัญหาที่เกิดขึ้นจริงติดไปกับพาเลทนั้นๆ				
- งานเคลือบ W/B สำหรับขัดเงาคุมสีให้มิด	สายตา				

ใบตรวจสอบคุณภาพงานระหว่างพิมพ์ ด้วยสายตา

ให้ทำเครื่องหมาย / ขีดนับแต้มเมื่อพบปัญหานั้นๆ บนแผ่นพิมพ์ทุกครั้งที่ดึงออกมาตรวจสอบ โดย 6 นาที / ครั้ง

ลำดับที่	ปัญหาที่พบ	เกณฑ์การตรวจ		คะแนน	วัตถุดิบที่ใช้	จำนวน	หมายเหตุ
		A	B				
1	กระดาษเป็นจุด				ดำ		
2	กระดาษยับ				ฟ้า		
3	กระดาษเสีย				แดง		
4	สีจาง				เหลือง		
5	สีเข้ม				พิเศษ 1		
6	ขี้หมึกจุดขาว				พิเศษ 2		
7	ขี้หมึกจุดดำ				พิเศษ 3		
8	รอยขูดขี้หมึก				พิเศษ 4		
9	รอยขีดข่วน				วอเตอร์เบส		
10	ตัวเบลอ				วานิชมัน		
11	น้ำหยด				วานิชด้าน		
12	เป็นเส้นแถบแนวนอน						
13	เป็นเส้นแถบแนวตั้ง						
14	รอยแมลง						
15	รอยน้ำมันหยด						
16	สกัม						
17	น้ำท่วม						
18	วอเตอร์เบสย้อนข้างและท้าย						
19	แม่พิมพ์สกรีนจาง						
20	รอยแป้งหล่น						
21	ดั้งสีตั้งฉากเสีย						
22	เสียระหว่างพิมพ์						
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							

LIMIT DEFECT		
ปัญหา	MA.	MI.
ไดคัทเบี้ยว	ค่า ± ไม่เกิน 6 mm.	ค่า ± ไม่ถึง 5 mm. ไม่เห็นพื้นขาว
แตก, ฉีกขาดด้านใน	ยาวไม่เกิน 3 mm. (ฝาด้านบนและฝาด้านล่าง) ตัวกล่อง	ยาวไม่เกิน 1 cm. (ฝาด้านบนและฝาด้านล่าง)
เลอะกาวเปื้อ	ตัวเครื่อง, ตัวหนังสือ, LOGO เห็นชัด, ตัวกล่อง, ฝาบน	ฝาล่าง
ลูกฟูกสั้น	ด้านตรงข้ามลิ้นไม่เกิน 5 mm. ฝาบน, ฝาด้านล่าง ด้านนอกไม่เกิน 5 mm.	ด้านลิ้นไม่เกิน 1 ใน 3 ของลิ้น ฝาด้านใน, ด้านล่าง, ด้านบน ไม่เกิน 5 mm.
ลูกฟูกร่อน	วัดเข้ามาด้านในเกิน 1 mm. เห็นชัด ไม่ต้องแกะ	ร่อนปลายไม่เกิน 1 cm. วัดเข้ามาและต้องฉีกจึงขาด
สกัม, เลอะสี	ตัวเครื่อง, LOGO, ตัวหนังสือเห็นชัดเจน	ฝาล่างด้านนอก, ด้านใน, ฝาบนด้านใน ต้องสังเกต
น้ำหยด	เส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 5 mm., ตัวกล่อง, ฝาด้านบน มีผลต่อรูปภาพ, LOGO, ตัวหนังสือ	เส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 3 mm., ก้นกล่อง, ฝาในด้านบน, ฝาในด้านล่าง
ตัวหนังสือหาย	อ่านไม่ออกไม่ชัดเจน	อ่านได้ยังเป็นตัวอักษร แต่ไม่คมชัด
ภาพเหลื่อม	เกิน 2 mm. ที่รูปภาพ	ไม่เกิน 2 mm. ที่รูปภาพ
ขี้หมึก	รูปภาพ, ตัวหนังสือ, LOGO	สีพื้นทั่วไป เส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 5 mm.
เลอะกาว	กล่องติดกันเมื่อวางซ้อนกัน	กล่องไม่ติดแต่มองเห็น
ซับหลัง	ฝาบนด้านนอก, ตัวกล่อง	ฝาล่างด้านนอก, ด้านใน, ฝาบนด้านใน
รอยแป้ง	ฝาบนด้านนอก, ตัวกล่องเห็นชัดเจน	ฝาล่างด้านนอก, ด้านใน, ฝาบนด้านใน ต้องสังเกต
รอยกระแทก	ฝาบนด้านนอกไม่เกิน 9 mm. ฝาล่างด้านนอกเกิน 1.5 mm. ตัวกล่อง	ฝาบนด้านนอกไม่เกิน 5 mm. ฝาล่างด้านนอกเกิน 1 mm. ฝาในด้านบน, ด้านล่าง ไม่เกิน 2 cm.
ปะเกย, ห่าง	ค่า ± เกิน 2 mm. จากแนวไดคัท จากปลายลิ้นตั้งแต่ 5 mm. ขึ้นไป ทั้งด้านบน, ด้านล่าง, ด้านข้าง	ค่า ± ไม่เกิน 2 mm. จากแนวไดคัท จากปลายลิ้นตั้งแต่ 5 mm. ขึ้นไป ทั้งด้านบน, ด้านล่าง, ด้านข้าง

ผู้ทบทวน.....วันที่..... ผู้อนุมัติ.....วันที่.....

การคัดเลือกใบพิมพ์

1. วัตถุประสงค์
   - เพื่อป้องกันการคืนสินค้า เนื่องจากมีข้อบกพร่อง
   - เพื่อประกันสินค้าที่ส่งนั้นๆ มีข้อบกพร่องน้อยที่สุดหรือในระดับที่ยอมรับได้
   - เพื่อรักษาระดับคุณภาพให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน
   - เพื่อนำปัญหาที่พบมาแจ้งผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อวิเคราะห์สาเหตุ และหาทางป้องกัน

2. ขอบเขต
   - ใช้ในการตรวจสอบงานหลังพิมพ์ เฉพาะงานที่มีการคัดเลือก 100% เท่านั้น

3. ผู้รับผิดชอบ
   - หัวหน้าแผนกควบคุม และประกันคุณภาพ
   - หัวหน้ากลุ่มตรวจสอบคุณภาพ
   - พนักงานตรวจสอบคุณภาพ

4. คำจำกัดความ
   - LIMIT DEFECT ระดับข้อบกพร่องที่ยอมรับได้
   - LIMIT COLOUR ระดับสีที่ยอมรับได้
   - SAMPLE COLOUR ตัวอย่างสีที่ลูกค้า "OK" มี 1 สีเท่านั้น

รายละเอียดการปฏิบัติ

1. รับโอนใบพิมพ์ที่จะนำมาตรวจเลือก และรับใบสั่งผลิตจากผู้ที่เกี่ยวข้องตรวจเช็คสถานที่ที่จะนำงานมาจัดเรียงว่ามีที่ว่างเพียงพอหรือไม่
   - ถ้าพอ ให้โอนมาให้ครบตามจำนวนที่พิมพ์ทั้งหมด
   - กรณีไม่พอ ให้โอนมาทีละพาเลทเฉพาะในส่วนที่ต้องเลือก ส่งลูกค้าจนกว่าจะครบ เมื่อเหลือให้เก็บไว้ที่แผนก
   - ตรวจเช็คใบกำกับพาเลทว่ามีหรือไม่ รายละเอียดต่างๆ ครบถ้วนหรือไม่
   - ถ้าไม่มีหรือรายละเอียดไม่ครบถ้วน ให้แจ้งไปยังหัวหน้าเครื่องที่รับผิดชอบหรือผู้รับผิดชอบในการโอนงาน เพื่อดำเนินการแก้ไขก่อนทำการโอน
   - กรณีมีปัญหา ให้แจ้งไปยังหัวหน้าแผนกนั้นๆ พร้อมกับแจ้งผู้บังคับบัญชาตรวจวัดความสูงของทุกๆ พาเลท พร้อมบันทึกลงในใบกำกับพาเลทนั้นๆ
2. วางแผนการเลือกงานในแต่ละวัน โดยยึดจาก DUE (กำหนดส่ง) เป็นอันดับแรก และแผนกเคลือบขัดเงา แผนกเปี่ย ตามลำดับ

- กรณีเลือกไม่ทัน ให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้วางแผน โดยขึ้นอยู่กับระยะเวลาการผลิต การส่งของ ความเร่งด่วน สำเนา PLAN แจ้งแผนกเคลือบและประกบลอนรับทราบ
- กรณีมีปัญหาเรื่องผู้ปฏิบัติงาน, เวลา, ปัญหาจากงานที่ไม่สามารถตัดสินใจได้ ให้แจ้งผู้บังคับบัญชาทันที

3. นำงานมาตรวจเลือก โดยปฏิบัติดังนี้
   3.1 ตรวจสอบเรื่องฉาก โดยสังเกตจากมาร์คด้านขวาและด้านซ้ายช่วงก้นกล่อง หรือระยะสีของงานพิมพ์ เมื่อพบว่ามีฉากเคลื่อนเกิน 2 mm. ให้แยกออกต่างหาก เมื่อพบปริมาณมากให้ติดป้ายแยกผลิต ถ้าไม่มากให้ถือเป็น NG.
   3.2 ตรวจสอบเรื่องสีเทียบกับตัวอย่างสีที่ APPROVED ไว้ โดยที่งานทุกงานที่ต้องนำมาคัดเลือกจะต้องมีตัวอย่างทุกครั้ง เมื่อพบว่ามีสีที่ผิดปกติจากตัวอย่าง ให้ทำการคัดแยกไว้ก่อน พร้อมแจ้งผู้บังคับบัญชา เพื่อหาข้อสรุป
   3.3 ตรวจสอบปัญหาทั่วไป โดยเทียบกับตัวอย่างปัญหาที่เคย APPROVED ไว้ (LIMIT) เมื่อพบเกินระดับที่ยอมรับได้ให้แยกออกทันที
   3.4 จุดตรวจสอบที่ต้องเน้นคือ LOGO, รูปเครื่อง, ตัวหนังสือ, สีภาพต่อ, สีพื้น
   3.5 ตำแหน่งที่มีความสำคัญเช่น ตัวกล่องด้านหน้า, ตัวกล่องด้านข้าง, ฝาบนด้านนอก, ฝาล่างฝาบนด้านใน ตามลำดับ ซึ่งปัญหาที่พบจะไม่ซ้ำในแต่ละวัน ผู้เลือกต้องใช้ดุลยพินิจ โดยเทียบกับตัวอย่างที่ APPROVED ไว้ รวมถึงจุดตรวจสอบและตำแหน่งที่มีปัญหา ลักษณะของปัญหาอาการ ทั้งนี้ ถ้าไม่แน่ในให้แยกไว้ก่อนพร้อมกับแจ้งผู้บังคับบัญชาทันที
4. การโอนงานให้แผนกต่อไป เมื่อได้รับแจ้งจากแผนกที่ต้องการเบิกใบพิมพ์ ให้จัดของตามจำนวนที่แผนกนั้นๆ ต้องการ
5. การจัดเก็บ
   ให้จัดเก็บสถานที่ปฏิบัติงานให้เรียบร้อยอยู่เสมอ ตั้งตัวอย่างต่างๆ ใบพิมพ์ที่อยู่ในการควบคุม ซึ่งใบพิมพ์ที่อยู่ในการควบคุมดูแล คอยตรวจสอบไม่ให้ผู้อื่นนำไป โดยไม่ได้แจ้ง
6. บันทึกผลการปฏิบัติงานและรายละเอียดต่างๆ ในแต่ละวันลงในเอกสารที่เกี่ยวข้องส่งผู้บังคับบัญชาและผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น PC แผนกพิมพ์ แผนกเคลือบ แผนกประกบลอน
7. งานที่ได้รับมาอบหมายอื่นๆ
   ในบางครั้งอาจมีงานนอกเหนือจากงานปกติ ซึ่งจะมี MEMO จากผู้บังคับบัญชา เพื่อรับทราบและปฏิบัติ เช่น การจัดเก็บตัวอย่างสีให้ลูกค้า APPROVED การจัดเก็บตัวอย่างงานใหม่ไปไดคัทการจัดเก็บตัวอย่างเพื่อทำ LIMIT COLOUR ตัวอย่างสีต้องเก็บไว้ในตู้สำหรับเก็บตัวอย่างทุกครั้งหลังใช้งาน การตรวจ SPEC ลูกฟูก DRAWING กับงานที่พิมพ์และอื่นๆ ทั้งนี้เมื่อได้รับ บันทึก ผู้ปฏิบัติต้องทำความเข้าใจก่อนปฏิบัติงานทุกครั้ง จนกว่าจะครบทุกงานที่ต้องตรวจหรือมีคำสั่งเพิ่มเติมใดๆ
8. การแจ้งปัญหาไปยังผู้บังคับบัญชา
   กรณีมีปัญหาใดๆ ให้ใช้ดุลยพินิจในการแก้ปัญหาของตัวเองก่อน เมื่อไม่สามารถแก้ไขได้ให้แจ้งไปยังผู้บังคับบัญชาเพื่อรับทราบและหาข้อสรุป

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นางสาวเสาวภา แซ่ชั่น

วิทยานิพนธ์เรื่อง: การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพิมพ์ออฟเซตบนกล่องบรรจุภัณฑ์โดยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: โรงงานผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษ

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประวัติ

นางสาวเสาวภา แซ่ชั่น เกิดเมื่อวันที่ 5 มิถุนายน 2525 ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาการตลาด คณะบริหารธุรกิจ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตจักรพงษภูวนารถ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในปีการศึกษา 2546 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ปีการศึกษา 2547 หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ