การลดระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

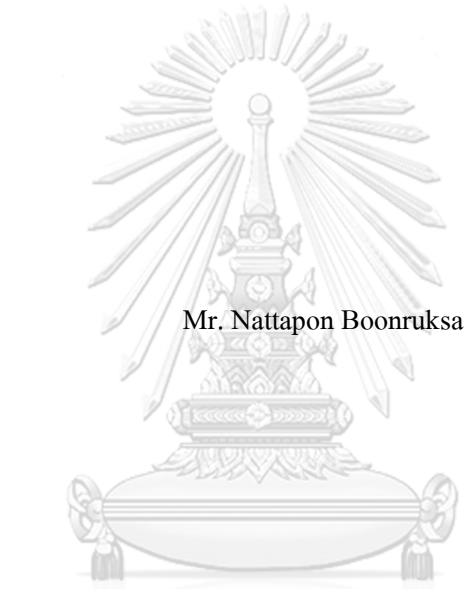
นายณัฐพล บุญรักษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Reducing drying time for label printing

Mr. Nattapon Boonruksa



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก
โดย	นายณัฐพล บุญรักษา
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ณัฐพล บุญรักษา : การลดระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก . (Reducing drying time for label printing) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

โรงพิมพ์กรณีศึกษาจำเป็นต้องลดระยะเวลาการผลิตงานพิมพ์ฉลากเพื่อให้ทันตามความต้องการของลูกค้า งานวิจัยนี้ พบขั้นตอนการรอให้งานพิมพ์ฉลากแห้งตัวใช้เวลามากที่สุดในการผลิต มีวัตถุประสงค์ต้องการลดระยะเวลาแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก ผู้ศึกษาวิจัยพบว่าการรอแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก ใช้เวลามากถึง 72 ชั่วโมง จากเวลาการผลิต 159.5 ชั่วโมงหรือคิดเป็น 45 % จึงตั้งคณะทำงานจำนวน 6 คนเพื่อระดมสมอง (Brainstorming) และหาปัจจัยที่จะส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากโดยใช้แผนภาพก้างปลา (Fish bone) ในด้านต่างๆคือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) กระบวนการทำงาน (Method) วัตถุ (Material) และสิ่งแวดล้อม (Environment) พบปัจจัยทั้งหมด 15 ปัจจัยที่คาดว่าส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก นำปัจจัยให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างเหตุผล (Cause & Effect Matrix) และใช้กฎพาเรโต (Pareto) กฎ 80/20 ในการเรียงลำดับคะแนนความสำคัญ ซึ่งได้ 6 ปัจจัยคือ 1.ปริมาณของเม็ดสีในหมึกพิมพ์ 2.ปริมาณการปล่อยสารเคลือบ 3.ปริมาณการปล่อยหมึกพิมพ์ 4. อุณหภูมิห้องปิด 5. ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึก 6. ปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบและออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาการแห้งตัวโดยเลือกการทดลองแบบฮาฟแฟคทอเรียล (Half-Factorial Design) หลังการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากคือ 1)ปริมาณสารเคลือบ2)ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกและ3)ปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ นำสามปัจจัยดังกล่าวมาออกแบบการทดลองหาระดับที่เหมาะสมเพื่อให้ฉลากแห้งเร็วที่สุดแต่ต้องไม่มีปัญหาด้านคุณภาพ ผลลัพธ์คือระดับปริมาณสารเคลือบ20% สารเร่งแห้งในหมึก3% และปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ3% และทดสอบกับตัวอย่าง5 ชุดการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองโดยอ้างอิงระดับปัจจัยการจากทดลองพบว่าระยะเวลาแห้งตัวเฉลี่ยอยู่ที่ 31 ชั่วโมง จากเดิม 72 ชั่วโมง เวลาในการแห้งตัวลดลง 41 ชั่วโมง คิดเป็น 56 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2564 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6270087521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: factor time reduction Half-Factorial Design

Nattapon Boonruksa : Reducing drying time for label printing . Advisor: Prof. Somkiat Tangjitsitcharoen, Ph.D.

Factory to reduce the production time of label printing in order to respond the needs of customers. This research collecting data for the duration of work at every step. The most time consuming process in production is waiting for label printing to dry, which took 72 hrs. out of the total production time of 159.5 hrs., or 45% of the production time. A team of 6 people was set up to brainstorm and determine the factors. Factors: Man, Machine, Method, Material, and Environment. Team gets 15 factors by Fish bone diagrams.15 Factors were evaluated on the Cause & Effect Matrix .Used the Pareto diagram to find 6 factors: 1.Pigment volume in the ink.2.Coating volume 3.Ink Volume 4. Room temperature 5. Drying additive volume for ink 6. Drying additive volume for coating. The Design of experiment (DOE) was carried out to determine the factors affecting the drying time by choosing a half-factorial experiment. The number of experiment was $2^{6-1} = 32$ experiments. Found that the factors affecting to the drying of the labels were 1) Coating volume 2) Drying additive volume for ink 3) Drying additive volume for coating. Three factors above were taken into the experimental design again to determine the optimal level of factors that make label dry quickly without quality problems. The result of optimization is Coating volume of 20 %, Drying additive volume for ink is 3 %, and Drying additive volume for coating is 3 %. Additionally, ensure the result of optimal factor level by testing with 5 sample.The average drying time was 31 hrs. from 72 hrs. drying time, decrease of 41 hrs. or 56%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Industrial Engineering	Student's Signature .....
Academic Year:	2021	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายฝ่าย ซึ่งประกอบไปด้วยผู้จัดการและเจ้าหน้าที่โรงพิมพ์ที่ศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ประธานสอบวิทยานิพนธ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอก เพื่อเป็นการขอบพระคุณต่อผู้ที่มีเมตตากรุณาความเอื้ออาทร ความเอาใจใส่ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

จึงขอประกาศนามของท่านไว้ดังนี้

1.ผู้จัดการและเจ้าหน้าที่โรงพิมพ์ที่ศึกษา ที่ให้โอกาสผู้ศึกษาวิจัยทำการศึกษาวิจัยและให้ความร่วมมือในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

2.อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ ให้คำแนะนำและติดตามการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดียิ่ง แก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่างๆให้ลุล่วงไปด้วยดี

3.ประธานสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ กรุณาให้คำแนะนำและตรวจข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

4.กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ กรุณาให้คำแนะนำและตรวจข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

5.กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตรกรุณาให้คำแนะนำและตรวจข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดาและมารดาที่เป็นกำลังใจ สนับสนุนความช่วยเหลือต่างๆอยู่เบื้องหลังความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสิ้นไปด้วยดี

ณัฐพล บุญรักษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 16

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 16

1.4 ตัวชี้วัดความสำเร็จ 16

1.5 แนวทางแก้ไขและการดำเนินงานวิจัย 16

1.6 ระยะเวลาและแผนงานในการศึกษาวิจัย 17

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป 18

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20

2.1 หลักสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ 20

2.2 โครงสร้างของระบบการพิมพ์ออฟเซ็ต 30

2.3 งานวิจัยและบทความที่เกี่ยวข้อง 40

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 47

3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน 47

3.2 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิตฉลาก 48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3 การเก็บข้อมูล 51
3.4 วิเคราะห์ข้อบกพร่อง 54
3.5 การระดมสมอง (Brain storming) 55
3.6 วิเคราะห์ความเที่ยงและความแม่นยำของการวัด (Attribute Agreement Analysis) 72
3.7 ออกแบบการทดลอง (Design of experiment) 73
3.8 จัดทำมาตรฐานการควบคุม (Control plan) 77
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล 79
4.1 วิเคราะห์ความเที่ยงและความแม่นยำของการวัด 79
4.2 ออกแบบการทดลอง (Design of experiment) 83
4.3 ขั้นตอนการทดลอง 89
4.4 ผลการทดลอง 93
4.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง 95
4.6 การทดสอบเพื่อยืนยันผล 103
4.7 การควบคุม 106
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 111
5.1 บทสรุปการหาสาเหตุและวิเคราะห์ปัญหา 111
5.2 บทสรุปผลการทดลองและการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 112
5.3 บทสรุปการควบคุมและติดตามผล 112
5.4 ข้อเสนอแนะ 113
รายการอ้างอิง 114
บรรณานุกรม 118
ประวัติผู้เขียน 120

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 แสดงสถิติการเสียโอกาสการรับงานพิมพ์จากฝ่ายขาย 2

1.2 ขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินงานศึกษาวิจัย....18

2.1 ขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ....25

2.2 เกณฑ์การตัดสินใจค่าดัชนี (AIAG,2019)....26

3.1 สถิติแสดงกำไรที่โรงพิมพ์ที่ศึกษาสูญเสีย 52

3.2 เกณฑ์การให้น้ำหนักปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก 60

3.3 ผลการให้คะแนนถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก....61

3.4 เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล 66

3.5 แสดงการลงคะแนนเพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผล 67

3.6 ผลสรุปการเลือกปัจจัยและข้อมูลสนับสนุนการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก....69

3.7 ขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบหน่วยนับ 72

3.8 ตัวอย่างของระดับปัจจัยในการทดลอง....74

3.9 ตัวอย่างตารางการ 75

4.1ผลการตรวจสอบการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากของพนักงาน....79

4.2 ผลการประเมินดัชนีชี้วัดของพนักงาน 82

4.3 ระดับของปัจจัยในการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญ 85

4.4 แสดงการสุ่มชุดการทดลอง (Randomization)....89

4.5 แสดงผลการทดลองระยะเวลาการแห้งตัวของแต่ละชุดการ 94

4.6 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก....102

4.7 ผลการทดลองเพื่อยืนยันระดับปัจจัย 104

4.8 แบบฟอร์มการตรวจสอบ 107

4.9 คู่มือการทำงานสำหรับการตั้งค่าของเครื่องพิมพ์....108

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.10 ข้อมูลเวลาการแห้งตัวเฉลี่ย.....108

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 Pareto แสดงระยะเวลาของกระบวนต่างๆที่ใช้ในการผลิตฉลาก 3

1.2 แสดงระยะเวลาเฉลี่ยใช้ในการผลิตของกระบวนการพิมพ์แต่ละขั้นตอน.....4

1.3 การจัดทำต้นฉบับ (Artwork Design).....7

1.4 การทำแม่พิมพ์ (Plate Making) โดยเครื่อง Computer to plate.....7

1.5 ตัวอย่าง หมึกพิมพ์ (Ink) 8

1.6 ตัวอย่าง สารเคลือบ (Varnish) 8

1.7 ตัวอย่าง กระดาษ (Paper).....9

1.8 ตัวอย่าง แป้งพ่น (Spray powder) 9

1.9 ตัวอย่าง กระบวนการพิมพ์ (Printing process).....10

1.10 เครื่อง AMT03 11

1.11 ตัวอย่าง หน่วยพิมพ์ 1 หน่วย (1 Printing Unit) 12

1.12 ตัวอย่าง หน่วยการพิมพ์ของแต่ละสี (Printing Unit) 13

1.13 ตัวอย่าง การซ้อนทับสี.....13

1.14 ตัวอย่าง แผ่นพิมพ์ (Printing sheet).....14

1.15 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) 14

1.16 เครื่อง Ink Rub Resistance Test Machine รุ่น HD-A508 15

1.17 ตัวอย่าง ฉลาก (Label) 15

1.18 ตัวอย่าง งานเสียซับหลัง (Set off).....16

2.1 แผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect Diagram) 22

2.2 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect matrix).....23

2.3 ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect matrix) 24

2.4 ผลหลัก (Main Effect) 28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.5 ปัจจัยที่ไม่มีอันตรกิริยากัน (No Interaction).....28
2.6 ปัจจัยที่มีอันตรกิริยากัน (Interaction).....29
2.7 เครื่องพิมพ์ผ่านระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์.....31
2.8 หน่วยป้อนกระดาษ.....31
2.9 หน่วยป้อนกระดาษแบบแผ่น.....31
2.10 การเรียงตัวของโมแบบ 5 นาฬิกา (ซ้าย) และ 7 นาฬิกา (ขวา).....32
2.11 กระบวนการยิงเลเซอร์ด้วยความร้อน.....34
3.1 แผนภาพการผลิตงานพิมพ์ฉลาก.....49
3.2 สถิติแสดงระยะเวลาเฉลี่ยใช้ในการผลิตของกระบวนการพิมพ์แต่ละขั้นตอน.....53
3.3 แสดงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการพิมพ์.....54
3.4 แสดงปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่อปัญหา.....56
3.5 ค่าความหนาแน่นมาตรฐานในระบบการพิมพ์ออฟเซต.....59
3.6 การเรียงลำดับคะแนนความสำคัญของปัจจัย.....68
3.7 ตัวอย่างผลลัพธ์สำหรับงานพิมพ์ที่ยังไม่แห้งตัว (NG).....72
3.8 ตัวอย่างผลลัพธ์สำหรับงานพิมพ์ที่แห้งตัว (G).....73
3.9 ความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ (Resolution).....74
3.10 ตัวอย่าง Design matrix.....75
3.11 ตัวอย่างกราฟ Normal Probability Plot.....76
3.12 ตัวอย่างกราฟ Versus Fits.....77
3.13 ตัวอย่างกราฟ Versus Order.....77
3.14 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม (Control chart).....78
3.15 ตัวอย่างเอกสารปฏิบัติงาน (Work instruction).....78
4.1 ความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ (Resolution).....84
4.2 รายละเอียดออกแบบของโปรแกรม Minitab.....87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3 การออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง 88
4.4 หมึกประเภท A และหมึกประเภท B 90
4.5 การปรับปริมาณสารเคลือบที่เครื่องพิมพ์ 90
4.6 การวัดความหนาแน่นของหมึกตามปริมาณหมึกพิมพ์ 91
4.7 การควบคุมอุณหภูมิห้อง.....91
4.8 การปรับปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบและหมึกพิมพ์ 92
4.9 ชุดการทดลองพร้อมป้ายบ่งชี้ 93
4.10 แสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลของระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก 93
4.11 ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ 95
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) 96
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต(Fitted value).....97
4.14 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab.....98
4.15 Main Effects Plot 99
4.16 Surface plot of drying time 100
4.17 Optimization plot 101
4.18 ผลของประสิทธิภาพสมการพยากรณ์ (Regression Equation).....101
4.19 ผลลัพธ์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของแก้ไขกระบวนการ 105
4.20 การใช้แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ – R charts 109

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ธุรกิจการพิมพ์คือ การทำธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์งานลงบนกระดาษ ซึ่งแบ่งเป็น 5 ธุรกิจการพิมพ์ดังนี้

ก. การจัดทำวัตถุดิบสนับสนุนการพิมพ์ คือธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการเป็นผู้หาวัตถุดิบสนับสนุนให้กับโรงพิมพ์ ได้แก่ เกษตรกรผู้ปลูกป่า ผู้ผลิตเยื่อกระดาษ ผู้ผลิตกระดาษ ผู้ผลิตหมึกพิมพ์ ฯลฯ

ข. ธุรกิจจำหน่ายเครื่องจักรและอุปกรณ์การพิมพ์ ได้แก่ผู้จำหน่าย เครื่องพิมพ์ เครื่องเย็บกระดาษ เครื่องทากาว Computer and Software ต่างๆ รวมถึงผู้จัดจำหน่ายอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในงานพิมพ์

ค. ธุรกิจออกแบบจัดทำต้นฉบับงานพิมพ์ ได้แก่ บริษัท ห้างหุ้นส่วน สำนักงานที่รับงานออกแบบเกี่ยวกับงานพิมพ์ ฯลฯ

ง. ธุรกิจผลิตสิ่งพิมพ์ ผู้ผลิตสิ่งพิมพ์ทั้งหมด การทำฟิล์ม/แม่พิมพ์ การตรวจปรู๊ฟงานการพิมพ์ งานหลังการพิมพ์ เช่นการเคลือบผิว การขึ้นรูป การเย็บเล่ม การเข้าเล่ม การตัดรูปเล่ม เป็นต้น

จ. ธุรกิจกระจายสื่อสิ่งพิมพ์ คือผู้จำหน่ายสิ่งพิมพ์ไปยังผู้บริโภครายย่อย รวมถึงงานที่เกี่ยวกับการโฆษณาและประชาสัมพันธ์

สำหรับงานธุรกิจผลิตสิ่งพิมพ์ ในปัจจุบันมีการแข่งขันกันสูงมากในประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นผู้ประกอบการขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก ทั้งในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวมไปถึงต่างจังหวัดในทุกๆจังหวัด ตลาดของธุรกิจด้านการผลิตสิ่งพิมพ์มีทั้งภายในประเทศและภายนอกประเทศ มีทั้งในเขตภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และนอกเขตภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

จากสภาวะเศรษฐกิจถดถอยของประเทศและของทั่วโลกที่อยู่ในปัจจุบัน ความอยู่รอดธุรกิจสิ่งพิมพ์ จำเป็นที่ผู้ประกอบการจะต้องให้ความใส่ใจอย่างยิ่งยวด ที่จะอุดรอยรั่วต่างๆของปัญหาธุรกิจสิ่งพิมพ์ไม่ให้เกิดขึ้น เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อธุรกิจมากที่สุด โดยเฉพาะการลดต้นทุนผลผลิตและการทำกำไรให้กับผู้ประกอบการให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ ทั้งนี้เพื่อความอยู่รอดขององค์กร

สำหรับยุคสมัยที่มีการแข่งขันสูงมาก การตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้รวดเร็วจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ต่อความอยู่รอดของธุรกิจ องค์กรจึงมองหาวิธีการลดระยะเวลาการผลิตเพื่อให้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รับงานได้มากขึ้น ตอบสนองความต้องการลูกค้าได้ทันเวลาในทุกกรณีเพื่อเพิ่มกำไรให้กับองค์กรอย่างยั่งยืน

ตารางที่ 1.1 แสดงสถิติการเสียโอกาสการรับงานพิมพ์จากฝ่ายขาย

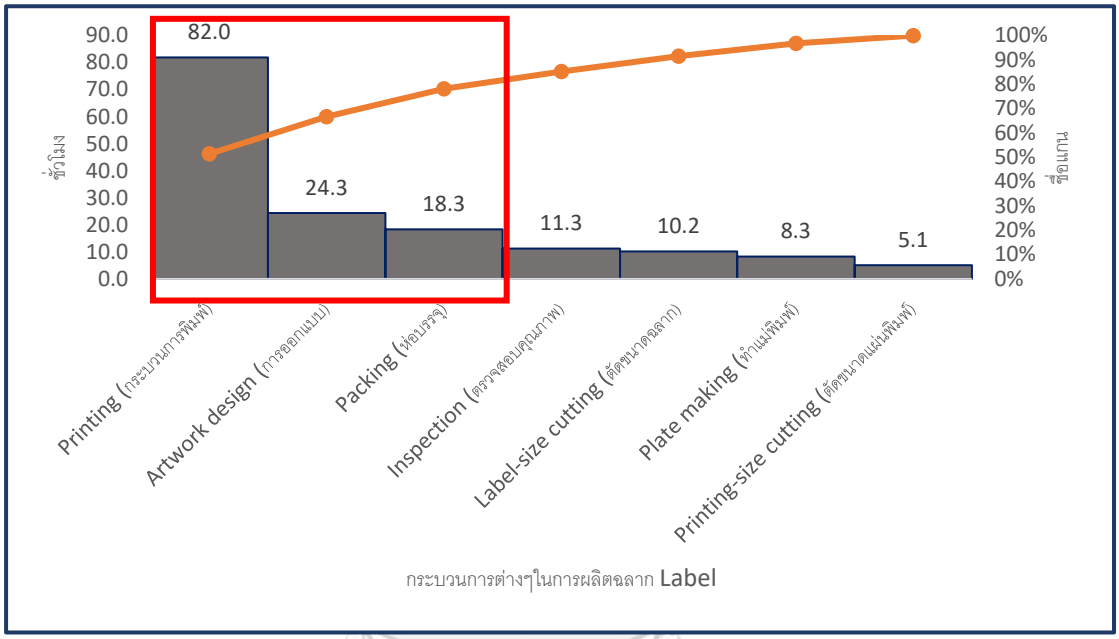
ปี พ.ศ.	เดือน	Unit	จำนวนชิ้น	จำนวนเงิน (บาท)
2563	ม.ค.	ชิ้น	3,400,000	136,000
	ก.พ.	ชิ้น	13,500,000	540,000
	มี.ค.	ชิ้น	3,500,000	140,000
	เม.ย.	ชิ้น	3,170,000	126,800
	พ.ค.	ชิ้น	3,190,000	127,600
	มิ.ย.	ชิ้น	2,800,000	112,000
	ก.ค.	ชิ้น	2,800,000	112,000
	ส.ค.	ชิ้น	2,000,000	80,000
	ก.ย.	ชิ้น	1,950,000	78,000
	ต.ค.	ชิ้น	2,050,000	82,000
	พ.ย.	ชิ้น	2,150,000	86,000
	ธ.ค.	ชิ้น	1,970,000	78,800
2564	ม.ค.	ชิ้น	3,470,000	138,800
	ก.พ.	ชิ้น	3,560,000	142,400
	มี.ค.	ชิ้น	4,240,000	169,600
			จำนวนชิ้นรวม 53,750,000	
จำนวนเงินทั้งหมด				2,150,000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากสถิติตามตารางที่ 1.1 เป็นข้อมูลอ้างอิงจากฝ่ายขายที่มีการบันทึกจำนวนงานที่ต้องปฏิเสธลูกค้าเนื่องจากความล่าช้าฝ่ายผลิต ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสียหายของผู้ประกอบการในการเสียโอกาสการรับงานพิมพ์ฉลาก ตั้งแต่ มกราคม 2563 - มีนาคม 2564 ของลูกค้า เป็นจำนวน 53.75 ล้านชิ้น (ราคาขาย 0.1 บาท/ชิ้น ต้นทุน 0.06บาท/ชิ้น กำไร 0.04 บาท/ชิ้น) คิดเป็น จำนวนเงินกำไร 2.15 ล้านบาท ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียจำนวนเงินที่ผู้ประกอบการควรจะได้รับเป็นจำนวนมาก

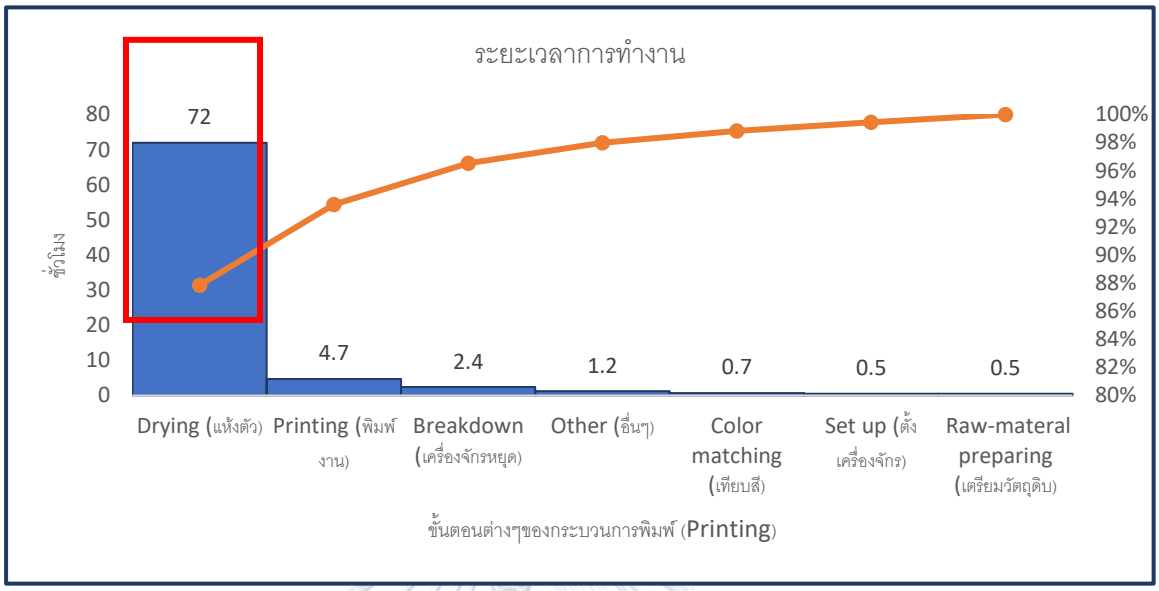
เมื่อปัญหาที่เกิดขึ้นคือความล่าช้าของฝ่ายผลิต ผู้ศึกษาวิจัยทำการเก็บข้อมูลยอดการผลิตงานพิมพ์ฉลากปิดข้างขวดเฉลี่ยต่อ 1 งานพบว่ามียอดงานเฉลี่ยจำนวน 1,153,846 ชิ้นต่อ / งาน (มกราคม 2563 – มีนาคม 2564) และได้เก็บข้อมูลระยะเวลาของแต่ละกระบวนการของการผลิตงานพิมพ์ฉลากปิดข้างขวดที่ฝ่ายผลิตใช้ในการผลิตต่อยอดงาน 1,153,846 ชิ้น ดังภาพที่ 1.1

ภาพที่ 1.1 Pareto แสดงระยะเวลาของกระบวนต่างๆที่ใช้ในการผลิตฉลาก



จากภาพที่ 1.1 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการที่ใช้ระยะเวลานานที่สุดสำหรับผลิตงานฉลากต่อ 1 งาน 3 อันดับ โดยใช้กฎ 80 / 20 คือ กระบวนการพิมพ์ (Printing) 82 ชั่วโมง กระบวนการออกแบบ (Artwork Design) 24.3 ชั่วโมงและกระบวนการห่อบรรจุ (Packing) 18.3 ชั่วโมง จากเวลาในการผลิตทั้งหมด 159.5 ชั่วโมง จากข้อมูลระยะเวลาที่ใช้แต่ละกระบวนการผลิตงานพิมพ์ฉลาก ผู้ศึกษาวิจัยเลือกที่จะศึกษากระบวนการพิมพ์อย่างละเอียด เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้เวลามากที่สุดในการผลิตเพื่อหาปัญหาที่เกิดขึ้น

ภาพที่ 1.2 แสดงระยะเวลาเฉลี่ยใช้ในการผลิตของกระบวนการพิมพ์แต่ละขั้นตอน



จากภาพที่ 1.2 แสดงระยะเวลาเฉลี่ยใช้ในการผลิตของกระบวนการพิมพ์แต่ละขั้นตอน (Printing) ห้วงระยะเวลา มกราคม 2563 – มีนาคม 2564 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนปรับตั้งเครื่อง (Setup) ใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง การพิมพ์งาน (Printing) ใช้เวลา 4.7 ชั่วโมง และเวลาในการแห้งตัวของงานพิมพ์ (Drying time) ใช้เวลา 72 ชั่วโมง เครื่องจักรหยุด (Breakdown) 2.4 ชั่วโมง เทียบสี (Color matching) และการเตรียมวัตุดิบ (RM-Preparing) 0.5 ชั่วโมง ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าวจะสรุปได้ว่าขั้นตอนที่ฝ่ายผลิตใช้ระยะเวลานานมากที่สุด คือ การรองานพิมพ์แห้งตัวของงานพิมพ์ซึ่งใช้เวลา 72 ชั่วโมง อีกทั้งเมื่อใช้เวลาแห้งตัวนานทำให้ไม่มีที่วางงานเพียงพอ ทำให้ขั้นตอนการรอแห้งตัวเป็นขั้นตอนคอขวด (Bottle Neck) เครื่องพิมพ์จึงไม่สามารถผลิตงานต่อได้

เพื่อให้การทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นคือการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มกำไรจากโอกาสที่จะรับงานพิมพ์ฉลากได้มากขึ้น ดังนั้นจากข้อมูลและสถิติต่างๆข้างต้นทำให้ผู้ศึกษาวิจัยได้พบปัญหาที่สำคัญที่สุดคือ **การเสียระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากมากโดยใช้ระยะนานถึง 72 ชั่วโมง**

ข้อมูลทั่วไปของโรงพิมพ์ที่ศึกษา

1.1.1 ผลิตภัณฑ์ต่างๆในโรงพิมพ์กรณีศึกษา เป็นโรงพิมพ์ขนาดใหญ่ให้บริการลูกค้าทั้งในประเทศและต่างประเทศโดยผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ประเภทที่ 1 บริการพิมพ์ระบบดิจิตอล ให้บริการงานพิมพ์ในระบบ Digital ขาว-ดำ และ Full Color 4 สี สามารถรองรับงานได้ทั้งแบบแผ่นและ

แบบต่อเนื่องด้วยความคมชัดขนาด 600 dpi (Dots per inch : dpi หมายถึง จำนวนความละเอียดของจุดต่อนิ้วในการพิมพ์แบบดิจิตอล) สามารถผนึกซองในตัวด้วยระบบกาว และ Toner การ Hi-Light ด้วยสีพิเศษ และที่สำคัญ โรงพิมพ์ที่ศึกษา เป็น Digital Print & Mail Outsourcing เพียงแห่งเดียวในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่มีเครื่อง Inkjet Full Color แบบต่อเนื่อง ความเร็วสูงถึง 650 Impression/minute สามารถพิมพ์ข้อความและรูปภาพสีสวยงาม แปรเปลี่ยนทุกหน้าตามต้องการด้วยความคมชัดขนาด 600 dpi จึงสามารถใช้สื่อสารกับลูกค้าเชิงการตลาดแบบเฉพาะเจาะจงเป็นรายบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประเภทที่ 2 บริการพิมพ์ระบบ Cheque on demand เป็นการพัฒนาระบบการพิมพ์เช็คที่รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยการสั่งซื้อแบบ Online เชื่อมต่อทุกสาขา ทุกจุดบริการ เช่น Call Center โทรศัพท์ อินเทอร์เน็ตฯ เมื่อโรงพิมพ์ที่ศึกษา ได้รับคำสั่งซื้อจะดำเนินการสั่งพิมพ์ Encode รหัส ชื่อสาขา ที่อยู่ และชื่อลูกค้าอย่างครบถ้วน ประเภทที่ 3 การบริหารคลังแบบฟอร์ม โรงพิมพ์ที่ศึกษา รับภาระการบริหารจัดการเอกสารแบบฟอร์มแทนลูกค้าด้วยระบบที่ทันสมัยเป็นรายแรก มีประสบการณ์ในการบริหารคลังแบบฟอร์มให้กับธนาคารขนาดใหญ่มากกว่า 10 ปี เป็นการบริหารตามมาตรฐาน ISO 9001:2000 ตั้งแต่การรับภาระสำรองคลังแบบพิมพ์แทนลูกค้าทั้งหมด ทั้งสถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือ และจัดหาแบบพิมพ์ตามมาตรฐานของลูกค้า สำรองเก็บไว้ล่วงหน้าพร้อมให้สาขาและหน่วยงานต่างๆ ของลูกค้าสามารถเบิกผ่านระบบ Online โดยตรง และแบบพิมพ์จะถูกส่งให้ถึงมือผู้เบิกอย่างรวดเร็วภายใน 1 - 4 วัน ประเภทที่ 4 แบบพิมพ์ธุรกิจแบบพิเศษ โรงพิมพ์ที่ศึกษาเป็นโรงพิมพ์ที่พิมพ์งานเอกสารปลอดการทำเทียม Security Forms เพื่อให้ลูกค้า มั่นใจได้ว่างานพิมพ์จะไม่ถูกการลอกเลียนแบบและถูกทำเทียมขึ้น การป้องกันจะเป็นการป้องกันทั้งในด้านวัตถุดิบที่ใช้ การออกแบบลวดลายที่ยากต่อการนำไปทำซ้ำ เทคนิคในการสอดแทรกด้วยระบบการพิมพ์ที่ทันสมัยที่ยากต่อการลอกเลียนแบบได้ หรือแม้กระทั่งการควบคุมความปลอดภัยในการผลิต ด้วยระบบกล้องวงจรปิดที่ติดตั้งอยู่ทั่วไป ทั้งภายในโรงพิมพ์ที่ศึกษา รวมถึงการใช้ระบบคีย์การ์ด เซ็นเซอร์ต่างๆ ในการผ่านเข้าออกตลอดเวลาภายใต้คู่มือปฏิบัติงานที่มีการตรวจสอบ และการกระทบยอด ควบคุมอย่างเข้มงวด ได้มาตรฐาน ISO 9001 : 2000 แบบพิมพ์ธุรกิจปลอดการทำเทียม ประกอบด้วย การพิมพ์เช็ค สมุดเงินฝาก การพิมพ์ข้อสอบ เอกสารปลอดการทำเทียมจากการทำสำเนา คูปอง บัตรกำนัล เป็นต้น ประเภทที่ 5 แบบพิมพ์ธุรกิจ โรงพิมพ์ที่ศึกษารับพิมพ์งานที่เป็นแบบฟอร์มที่ใช้ทั่วไปในธุรกิจ เช่น ใบเสร็จ ใบกำกับ ใบฝาก-ถอนธนาคาร สลิปเอทีเอ็ม โปสเตอร์แผ่นพับสื่อโฆษณา ปฏิทิน รายงานประจำปี งานพิมพ์ต่างๆ เหล่านี้ โรงพิมพ์ศึกษาสามารถรองรับงานพิมพ์ได้ทั้ง

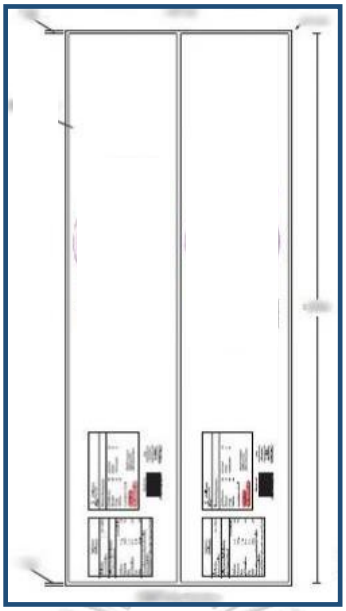
แบบต่อเนื่องและแบบแผ่น ประเภทที่ 6 กระดาษสำนักงาน โรงพิมพ์ที่ศึกษา ให้บริการกระดาษพิมพ์ต่อเนื่องแบบไม่มีลวดลายที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ต่อเนื่อง (Stock Forms) รวมทั้งกระดาษเพื่อการใช้งานในสำนักงาน เช่น กระดาษถ่ายเอกสาร กระดาษความร้อนสำหรับเครื่องโทรสาร กระดาษพิเศษสำหรับเครื่องพิมพ์ระบบเลเซอร์และอิงค์เจ็ท เป็นต้น เพื่อตอบสนองความต้องการด้านงานพิมพ์ของลูกค้า ประเภทที่ 7 บรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว โรงพิมพ์ที่ศึกษาให้บริการบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว (Flexible Packaging) การผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับบรรจุสินค้าอุปโภคและบริโภค โดยมีรูปแบบหลากหลายขึ้นอยู่กับความต้องการหรือสายการผลิตของลูกค้า โดยงานบรรจุภัณฑ์ชนิดนี้ เป็นงานที่ละเอียดประณีต ต้องอาศัยความร่วมมือและประสบการณ์ของทีมงาน โดยในอนาคต โรงพิมพ์ที่ศึกษา จะขยายความสามารถในการผลิตไปสู่ตลาด Food Packaging ต่อไป

1.1.2 การศึกษากระบวนผลิตฉลากโดยละเอียด

เป็นการศึกษาขั้นตอนการผลิตฉลากปิดข้างขวด ที่พิมพ์ด้วยระบบออฟเซ็ต 5 สี เฉพาะกระบวนการพิมพ์มี

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการก่อนพิมพ์ (Pre-press) โดยจัดทำต้นฉบับ (Artwork Design) นำไฟล์ภาพหรือแบบตัวอย่างฉลากจากลูกค้า เพื่อมาทำการปรับแบบหรือขนาดตามมาตรฐานการผลิต เช่น ขนาดของกระดาษที่ใช้สำหรับเครื่องพิมพ์ของโรงพิมพ์ที่ศึกษา เพื่อให้การผลิตจริงไม่เกิดปัญหา เมื่อได้ต้นฉบับที่ถูกต้อง จะส่งให้ลูกค้าเพื่ออนุมัติหรือปรับปรุงต้นฉบับต่อไป เมื่อมีการอนุมัติไฟล์ภาพต้นฉบับจากลูกค้าแล้ว จะทำการพิมพ์ Digital proof โดยเครื่องพิมพ์ดิจิตัลประเภท Ink jet และนำงานพิมพ์ดิจิตัลต้นฉบับไปเปรียบเทียบในการผลิต Mass production ต่อไป

CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ **1.3** การจัดทำต้นฉบับ (Artwork Design)

หลังจากนั้นจะทำแม่พิมพ์ (Plate Making) ขนาดของแม่พิมพ์คือ 740 x 650 มิลลิเมตร หนา 0.3 มิลลิเมตร จะใช้เทคโนโลยี CTP หรือเรียกว่า Computer To Plate สำหรับแม่พิมพ์ออฟเซ็ตขึ้นมา โดยใช้เทคนิคการยิงเลเซอร์ความร้อนลงบนแม่พิมพ์ แม่พิมพ์จะใช้รูปแบบไฟล์ต้นฉบับที่ได้รับการอนุมัติจากลูกค้าแล้ว โดยแม่พิมพ์จะทำหน้าที่รับหมึกให้ตรงตามภาพต้นฉบับเพื่อถ่ายโอนหมึกลงบนกระดาษต่อไป

ภาพที่ 1.4 การทำแม่พิมพ์ (Plate Making) โดยเครื่อง Computer to plate

การเตรียมพิมพ์ (Preparation printing) เป็นการเตรียมเครื่อง และการตั้งค่าสีให้ถูกต้องตามมาตรฐานการพิมพ์ ซึ่งสีจะต้องถูกต้องตรงตามแบบที่ต้องการหรือไม่ ขึ้นอยู่กับการตั้งเครื่องด้วย

ส่วนที่ 1 เตรียมวัตถุดิบ (Raw Material) ให้พร้อมสำหรับผลิตฉลาก ซึ่งประกอบด้วยหมึกสำหรับการพิมพ์ (Ink) ทำหน้าที่ให้สีแก่ภาพพิมพ์ซึ่งหมึกพิมพ์มีองค์ประกอบ Pigment เป็นสารให้สี ทำให้หมึกเกิดเป็นสีสันต่างๆ , Vehicle สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมให้สีที่ใช้ในหมึกสามารถยึดติดกับวัสดุต่างๆ , Solvent คือสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย Vehicle และ ปรับความข้นเหนียว (Viscosity) ของหมึกให้ได้ตามต้องการ และจะระเหยไปเมื่อหมึกนั้นสามารถยึดติดกับวัสดุแล้ว , Additive คือสารที่เติมลงในหมึกเพียงเล็กน้อยเพื่อให้หมึกมีคุณสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการ เช่น สารที่ทำให้แห้งเร็ว (Drier) สารลดฟอง (Defoaming agent)

ภาพที่ 1.5 ตัวอย่าง หมึกพิมพ์ (Ink)

การเตรียมสารเคลือบ (Vanish) มีลักษณะเป็น Oil base ทำหน้าที่ป้องกันรอยขีดข่วนให้กับฉลากมีส่วนผสมของเรซินตัวทำละลายและน้ำมัน

จุฬ
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 1.6 ตัวอย่าง สารเคลือบ (Varnish)

การเตรียมกระดาษ (Paper) กระดาษที่ใช้สำหรับงานพิมพ์ฉลากคือกระดาษอาร์ตมัน 90 แกรม โดยกระดาษจะมีรูพรุนเป็นจำนวนมากอยู่บนพื้นผิว เมื่อมีการถ่ายโอนของหมึกลงบนผิว รูพรุนของกระดาษจะช่วยยึดเกาะหมึก ทำให้เกิดสีบนกระดาษ

ภาพที่ 1.7 ตัวอย่าง กระดาษ (Paper)

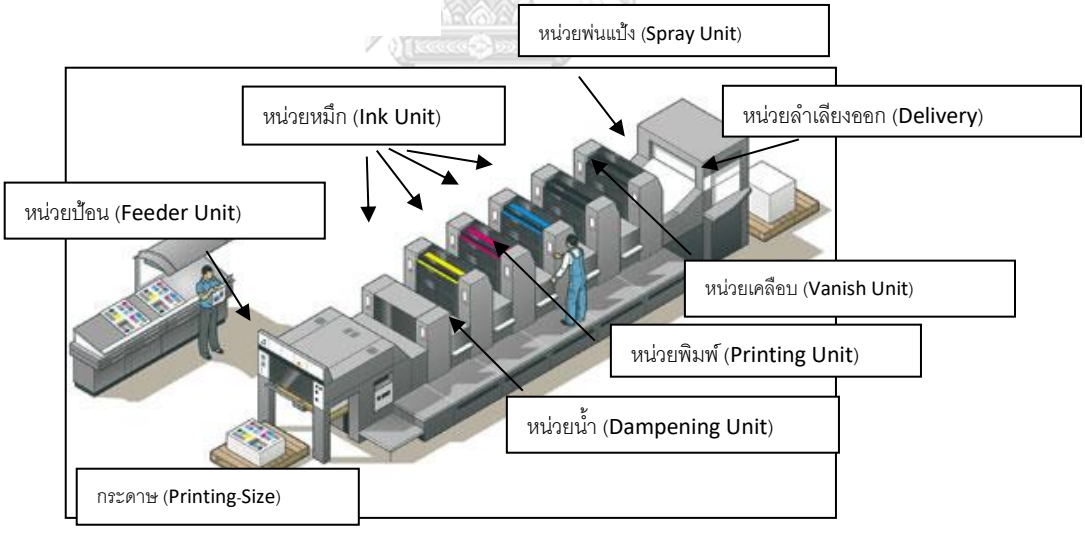
การเตรียมแป้งพ่น (Powder) โดยแป้งพ่นเป็นอนุภาคที่มีขนาด 25 ไมครอน จะถูกเคลือบลงบนกระดาษหลังจากที่กระดาษถูกพิมพ์ด้วยหมึกและเคลือบด้วย Vanish เสร็จสิ้นแล้ว ช่วยลดการเลอะของหมึกได้

ภาพที่ 1.8 ตัวอย่าง แป้งพ่น (Spray powder)

การเตรียมแอลกอฮอล์ (IPA) ในระบบน้ำ (Dampening unit) จะมีส่วนผสมของแอลกอฮอล์จำนวน 8 % ทำหน้าที่ช่วยหล่อความเย็นในระบบของเครื่องพิมพ์ การเตรียมน้ำยาฟาวน์เท่น (Fountain) โดยน้ำยาฟาวน์เท่น จะประกอบด้วยน้ำ และสารตัวถูกละลายหลายชนิด ใช้เพื่อเป็นสาร

ให้ความชื้นแก่บริเวณไม่มีภาพหรือบริเวณงานพิมพ์ที่ไม่มีภาพ โดยทำหน้าที่เคลือบเฉพาะบริเวณไม่มีภาพเพื่อไม่ให้หมึกพิมพ์ติดหรือแพร่สู่บริเวณเหล่านี้ การเตรียมแม่พิมพ์ (Plate) เพื่อทำหน้าที่รับหมึกและถ่ายโอนหมึกลงบนกระดาษทำให้เกิดเป็นภาพพิมพ์ การเตรียมการตัดกระดาษก่อนพิมพ์ (Printing-Size Cutting) กระบวนการนี้จะนำกระดาษ (Raw material) มาตัดขนาดตามขนาดที่ต้องการพิมพ์ โดยอ้างอิงขนาดจาก Layout จาก Art work design ที่ผ่านการอนุมัติจากลูกค้าโดยผ่านกระบวนการตัดที่เครื่องตัด (Guillotine) โดยขั้นตอนแรกกระดาษที่ถูกกดทับจาก Clamp ของเครื่องตัดด้วยน้ำหนัก เพื่อให้กระดาษไม่เกิดการขยับ หลังจากนั้นจะทำการตัดขอบซ้าย ขวา บน และล่าง เพื่อให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการพิมพ์ (Press) เครื่องพิมพ์ออฟเซ็ต (offset printing) โดยหลักการสำคัญคือ น้ำและน้ำมันจะไม่ผสมเข้าด้วยกัน โดยน้ำจะมาจากหน่วยน้ำ (Dampening unit) จะเข้าไปเกาะกับส่วนที่ไม่ใช่ภาพของแม่พิมพ์ และน้ำมันมาจากหมึก (Ink Unit) จะเข้าไปเกาะในส่วนที่เป็นภาพของแม่พิมพ์ หลังจากนั้นหมึกที่เกาะบนแม่พิมพ์จะถ่ายโอนลงสู่กระดาษทำให้เกิดเป็นภาพพิมพ์ขึ้นมา โดยประกอบด้วยหน่วยต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 1.9 ตัวอย่าง กระบวนการพิมพ์ (Printing process)

หน่วยป้อน (Feeder Unit) จะมีหน้าที่ลำเลียงกระดาษเข้าสู่หน่วยถัดไป จะป้อนกระดาษทีละแผ่นโดยตัวจับ (Gripper)

หน่วยพิมพ์ (Printing unit) จะประกอบด้วยส่วนแรกคือหน่วยหมึก (Ink unit) 4 หน่วย (Cyan Yellow Magenta Black) มีหน้าที่ส่งหมึกสีต่างๆ ลงบนแม่พิมพ์ส่วนบริเวณภาพ เพื่อให้เกิด

ภาพต่อไป

หน่วยน้ำ (Dampening unit) จะประกอบไปด้วย น้ำ น้ำยาฟาวน์เท่น(Fountain) และแอลกอฮอล์ (IPA) มีหน้าที่ถ่ายทอดน้ำไปสู่แม่พิมพ์ในส่วนบริเวณที่ไม่ใช่ภาพ เพื่อไม่ให้หมึกมาติดในส่วนบริเวณไม่ใช่ภาพและช่วยหล่อเย็นให้แก่ระบบ

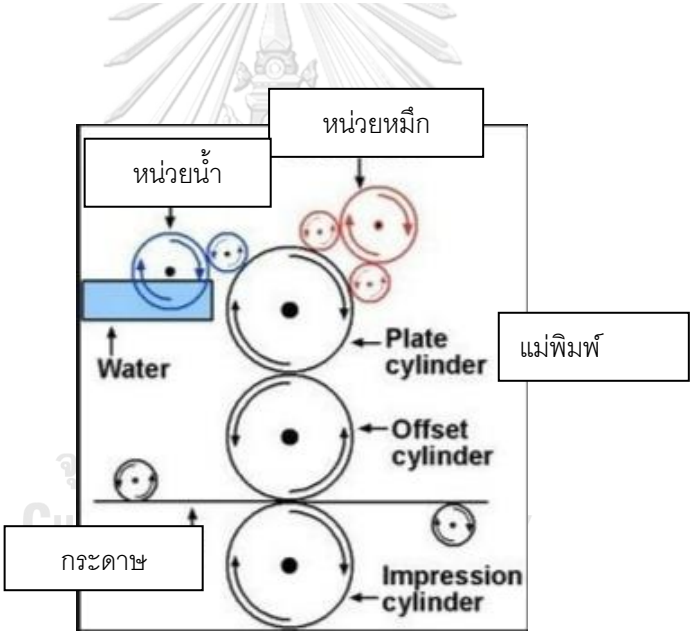
หน่วยเคลือบ (Varnish unit) จะมีหน้าที่ถ่ายทอดสารเคลือบ (Vanish) ลงบนกระดาษที่ถูกพิมพ์เป็นภาพแล้ว เพื่อปกป้องรอยขีดข่วน (Scratch) โดยมีมาตรฐานการทดสอบ Rub test

หน่วยลำเลียงออก (Delivery unit) เมื่อกระดาษผ่านการพิมพ์และเคลือบสารเคลือบเสร็จจะถูกลำเลียงออกจากเครื่องพิมพ์โดยตัวจับ (Gripper)

ขั้นตอนการพิมพ์งานฉลากที่เครื่องพิมพ์รายละเอียดมีขั้นที่1 คือการนำวัตถุที่เตรียมไว้ใส่ที่เครื่องพิมพ์ นำหมึก (Ink) ใส่ไปในรางหมึกของหน่วยหมึก (Ink Unit) แต่ละหน่วยโดยจะใช้หมึก 4 สี คือ cyan , magenta , yellow และ black นำกระดาษ (Printing-Size paper) จะนำไปวางไว้ในส่วนของหน่วยป้อน (Feed unit) เพื่อรอลำเลียงเข้าสู่เครื่องพิมพ์ นำแม่พิมพ์ (Plate) จะนำเข้าไปรัดไว้ที่โมแม่พิมพ์ (Plate Cylinder) ส่วนของหน่วยพิมพ์ (Printing unit) สำหรับหน่วยน้ำ (Dampening unit) จะผสมแอลกอฮอล์ (IPA) ปริมาณ 8 % น้ำยาฟาวน์เท่นปริมาณ 3 % ส่วนที่เหลือเป็นน้ำอาร์โอ (Reverse osmosis water) นำแป้งพ่น (Powder) ขนาด 25 ไมครอน จะถูกนำไปใส่ไว้ในหน่วยพ่น (Spray unit) ขั้นที่ 2 การเตรียมเครื่องพิมพ์ โดยค่า PH และ ค่า Conductivity ในหน่วยน้ำ (Dampening Unit) จะวัดโดยเครื่อง AMT03 ตามภาพที่ 1.10 ซึ่งมาตรฐานของโรงพิมพ์กรณีศึกษามีค่า PH ต้องอยู่ระหว่าง 4.5 – 5.5 และค่า Standard Conductivity อยู่ที่ 1300 – 1800 ไมโครซีเมน

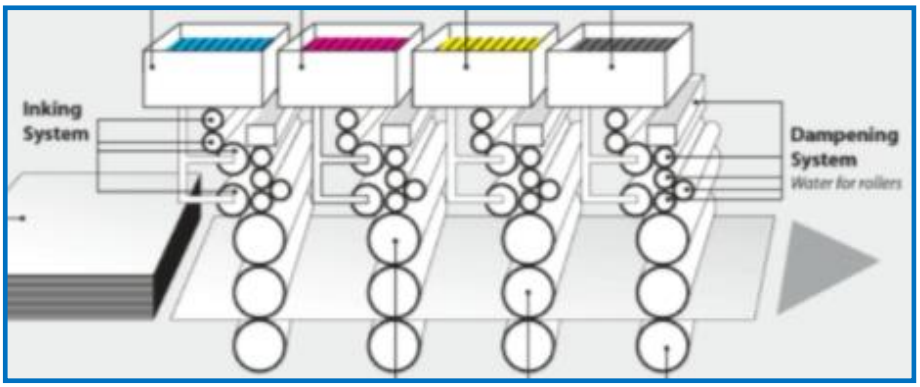
ภาพที่ 1.10 เครื่อง AMT03

ในขั้นที่ 3 คือการเตรียมสภาพแวดล้อมภายในห้องปิดกระบวนการพิมพ์ กระบวนการพิมพ์ฉลากจะอยู่ในลักษณะห้องปิด เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในห้อง โดยมาตรฐานของโรงพิมพ์กรณีศึกษาจะควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 20 – 26 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่น้อยกว่า 60 % ในการพิมพ์งานฉลาก ขั้นที่ 4 ขั้นตอนการพิมพ์ กระดาษ (Raw Material) ที่ถูกตัดเป็น ขนาดพิมพ์ (Printing-Size) จะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องพิมพ์โดยหน่วยป้อน (Feeder Unit) กระดาษจะเข้าสู่หน่วยพิมพ์ทีละแผ่น หมึกจากหน่วยหมึก (Ink unit) จะถูกถ่ายทอดลงบนแม่พิมพ์ (Plate Cylinder) ในส่วนที่เป็นภาพ ส่วนน้ำ จากหน่วยน้ำ (Dampening unit) จะถูกถ่ายลงบนแม่พิมพ์ในส่วนที่ไม่เป็นภาพ น้ำและหมึกที่ลงมาสู่แม่พิมพ์โดยไม่เกิดการรวมตัวกัน หมึกที่เกาะอยู่บนแม่พิมพ์ (Plate Cylinder) จะถูกถ่ายโอนไปยัง โมผ้ายาง (Offset Cylinder) และหมึกที่เกาะอยู่บนโมผ้ายางก็จะถูกถ่ายทอดลงบนกระดาษโดยมีโมกดทับ (Impression cylinder) ช่วยรีดประคองกระดาษ โดยความเร็วของการพิมพ์จะอยู่ที่ 5,000 - 8,000 แผ่นพิมพ์ต่อหนึ่งชั่วโมง



ภาพที่ 1.11 ตัวอย่าง หน่วยพิมพ์ 1 หน่วย (1 Printing Unit)

สำหรับกระดาษที่ถูกลำเลียงเข้ามานั้น จะเคลื่อนผ่านหน่วยการพิมพ์ทั้งหมด 4 หน่วยพิมพ์ นั่นคือ หน่วยสี Cyan , หน่วยสี Magenta , หน่วยสี Black , หน่วยสี Yellow และหน่วยเคลือบ (Vanish Unit) โดยทุกหน่วยนั้นจะมีลักษณะกระบวนการเหมือนกันทุกหน่วย ตามวิธีการที่กล่าวไว้ข้างต้น

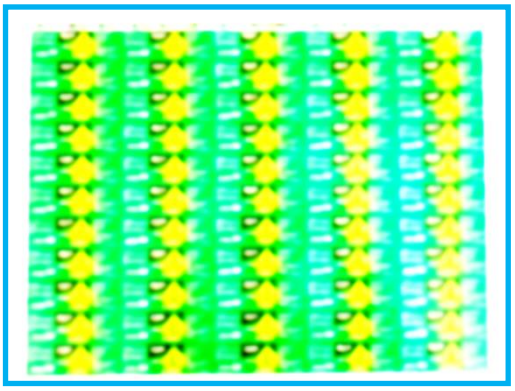


ภาพที่ 1.12 ตัวอย่าง หน่วยการพิมพ์ของแต่ละสี (Printing Unit)

หลังจากที่กระดาษที่ผ่านหน่วยพิมพ์ทุกๆสี สีที่ถูกถ่ายทอดลงบนกระดาษจะเกิดการซ้อนทับกันกลายเป็นสีต่างๆ

ภาพที่ 1.13 ตัวอย่าง การซ้อนทับสี

เมื่อได้ภาพพิมพ์ลงบนกระดาษตามภาพที่ 1.14 กระดาษจะเคลื่อนที่ไปสู่หน่วยพ่น (Spray Unit) กระดาษ ที่ถูกพิมพ์ทุกแผ่นจะถูกพ่นแป้งลงไปอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ก่อนจะถูกลำเลียงออกสู่หน่วยปั๊มออก (Delivery Unit) โดยจะลงมากองที่พาเลท โดยมีจำนวนพาเลทละ 2,000 – 2,500 แผ่น จนกว่าจะครบจำนวนตามที่ต้องการ หลังจากนั้นจะตั้งไว้เป็นเวลา 72 ชั่วโมงเพื่อให้งานพิมพ์แห้งสนิทก่อนนำสู่ขั้นตอนการตัดขนาดฉลากต่อไป



ภาพที่ 1.14 ตัวอย่าง แผ่นพิมพ์ (Printing sheet)

ภาพที่ 1.15 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer)

แผ่นพิมพ์จะมีการควบคุมมาตรฐานโดยการใช้เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) ดังภาพที่ 1.15 เพื่อวัดความหนาแน่นของหมึก (Ink density) ซึ่งจะแปรผันตรงกับปริมาณการปล่อยหมึก โดยโรงพิมพ์กรณีศึกษามีมาตรฐานดังนี้

หมึก Cyan มีความหนาแน่นในช่วง 1.4±0.10

หมึก Magenta มีความหนาแน่นในช่วง 1.55±0.10

หมึก Yellow มีความหนาแน่นในช่วง 1.30 ±0.10

หมึก Black มีความหนาแน่นในช่วง 1.75 ±0.10

สำหรับความหนาแน่นของงานพิมพ์ฉลากของโรงพิมพ์กรณีศึกษามีความหนาแน่นดังนี้

หมึก Cyan มีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1.4

หมึก Magenta มีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1.53

หมึก Yellow มีความหนาแน่นในเฉลี่ยเท่ากับ 1.37

หมึก Black มีความหนาแน่นในเฉลี่ยเท่ากับ 1.80

การเคลือบของสารเคลือบบนแผ่นพิมพ์ควบคุมปริมาณการปล่อยที่ 30 % และมีมาตรฐานจากการทดสอบการทดแรงขูดขีด (Rub test) โดยเครื่อง Ink Rub Resistance Test Machine รุ่น HD-A508 ดังภาพภาพที่ 1.16 โดยมีการถ่วงน้ำหนักที่ 2 ปอนด์ จำนวนรอบ 200 รอบในการถู และผลลัพธ์ต้องไม่เกิดการหลุดลอกของสีบนฉลาก โดยระดับการปล่อยสารเคลือบของโรงพิมพ์กรณีศึกษาอยู่ที่ 30 % ซึ่งสามารถปรับระดับได้ที่คอมพิวเตอร์ของเครื่องพิมพ์

ภาพที่ 1.16 เครื่อง Ink Rub Resistance Test Machine รุ่น HD-A508

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการหลังพิมพ์ (Post-press) ซึ่งมีขั้นตอนการตัดขนาดฉลาก (Label-size cutting) โดยนำงานพิมพ์ที่แห้งสนิทขึ้นบนเครื่องตัด (Guillotine) โดยจะใช้แคลมป์ในการรีดกระดาษทั้งหมดเพื่อให้กระดาษเรียบก่อนจะทำการลงมีดตัดให้ได้ขนาดฉลาก

ภาพที่ 1.17 ตัวอย่าง ฉลาก (Label)

ขั้นตอนการตรวจ (Human-inspection) พนักงานจะนำฉลากมาตรวจหาความผิดปกติเพื่อไม่ให้ของเสีย (Defect) ส่งไปถึงลูกค้า โดยของตัวอย่างของเสียที่พบในกระบวนการตรวจ เช่น การเกิดซับหลังหรือ Set off เกิดจากแผ่นพิมพ์ไม่แห้งตัว เมื่อการกดทับทำให้งานพิมพ์หมึกแผ่นล่างไปเลอะในส่วนของด้านหลังแผ่นข้างบน จุดสีขี้หมึก (Iggy) เกิดจากแม่พิมพ์ (Plate) หรือโมผ้ายาง (Blanket Cylinder) มีสิ่งสกปรกปะปนเข้าไป ทำให้บนแผ่นพิมพ์มีจุดสกปรก เป็นต้น

ภาพที่ 1.18 ตัวอย่าง งานเสียซับหลัง (Set off)

ขั้นตอนสุดท้ายการบรรจุหีบห่อ (Packing) โดยนำฉลากที่ดีผ่านการตรวจมาทำการบรรจุภัณฑ์เพื่อส่งลูกค้าต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดระยะเวลาการรองานพิมพ์ให้แห้งสนิทของฉลากปิดข้างขวดให้ลดลง 40% ของระยะเวลาการแห้งตัวเดิม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ใช้ศึกษาวิจัยเฉพาะงานพิมพ์ฉลากปิดข้างขวดที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ระบบออฟเซ็ต รุ่น Heidelberg XL

1.3.2 กระดาษสำหรับพิมพ์ฉลากเป็นกระดาษชนิดอาร์ตมัน 90 แกรม

1.3.3 ศึกษาหมึกประเภทที่แห้งด้วยอากาศเท่านั้น (Conventional ink)

1.3.4 กระบวนการผลิตฉลาก ต้องอยู่ในลักษณะห้องปิด

1.4 ตัวชี้วัดความสำเร็จ

ระยะเวลารอแห้งของฉลากปิดข้างขวด

1.5 แนวทางแก้ไขและการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 จัดตั้งคณะทำงานเพื่อเข้าร่วมโครงการวิจัย โดยพิจารณาผู้เข้าร่วมจากผู้ที่มีความรู้และมีความเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตงานพิมพ์ฉลาก

1.5.3 ศึกษากระบวนการผลิตฉลากของโรงพิมพ์ที่ศึกษา รวบรวมและเก็บข้อมูลสถิติของปัญหาของกระบวนการผลิตงานพิมพ์ฉลาก ระหว่าง มกราคม 2563 จนถึง มีนาคม 2564

1.5.4 วิเคราะห์ข้อมูลโดยกราฟแท่งและแผนภาพพาเรโต (Pareto diagram) เพื่อกำหนดวัตถุประสงค์ ตัวชี้วัด และระยะเวลาของโครงการ

1.5.5 ระดมความคิด (Brain storming) วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เพื่อหาปัจจัยที่จะนำมาแก้ไขโดยใช้แผนภาพก้างปลา (Cause and effect diagram)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5.6 ลงคะแนนปัจจัยโดยทีมคณะทำงานโดยใช้ Cause and effect matrix เพื่อเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยและตัดสินเลือกปัจจัยสาเหตุที่ส่งผลต่อปัญหาที่เกิดขึ้น

1.5.7 นำปัจจัยที่สำคัญมาทำการออกแบบการทดลอง (Design of experiment) เพื่อทดสอบหาปัจจัย ที่มีนัยสำคัญต่อปัญหาและสภาวะที่เหมาะสม

1.5.8 วิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ (Attribute Agreement Analysis) เพื่อพิจารณาความสามารถในการตรวจของพนักงาน

1.5.9 ดำเนินการทดลองโดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment)

1.5.10 ปรับปรุงกระบวนการตามแนวทางและวิธีการที่กำหนดขึ้น

1.5.11 ติดตามผลตัวชี้วัดความสำเร็จหลังจากการทดลอง เพื่อยืนยันผลการทดลอง (Confirmation)

1.5.12 จัดทำแผนควบคุม (Control plan) และกำหนดเป็นมาตรฐาน

1.5.13 เปรียบเทียบผลตัวชี้วัดความสำเร็จระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

1.6 ระยะเวลาและแผนงานในการศึกษาวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้การศึกษาวิจัย ตั้งแต่ 1 พฤษภาคม 2563 – 30 เมษายน 2564

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 1.2 ขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินงานศึกษาวิจัย

ลำดับ	รายละเอียดขั้นตอน	ระยะเวลาในการดำเนินการศึกษาวิจัย									
		พ.ค. 63	**มิ.ย. 63**	**ก.ค. 63**	**ส.ค. 63**	**ก.ย. 63**	**ต.ค. 63**	**พ.ย. 63**	**ธ.ค. 63**	**ม.ค. 64**	**ก.พ.-เม.ย. 64**
1.	นิยามปัญหา	↔	↔	↔							
2.	ศึกษากระบวนการผลิต ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง			↔	↔	↔					
3.	วิเคราะห์หาสาเหตุ					↔					
4.	กำหนดปัจจัยต่างๆ และวางแผนออกแบบการทดลอง						↔	↔			
5.	ทดลองและเก็บข้อมูล								↔		
6.	วิเคราะห์และสรุปผล									↔	
7.	นำไปใช้กับผลิตจริงและติดตามตัวชี้วัดผลสำเร็จ										↔

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

1.7.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ลดระยะเวลาการรอพักงานพิมพ์ให้แห้งสนิทของฉลากปิดข้างขวดให้น้อยลง เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เร็วขึ้น เพิ่มกำไรให้แก่องค์กร

1.7.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไปโดยการนำองค์ความรู้ไปปรับใช้กับสายการผลิตการพิมพ์ประเภทอื่นในโรงพิมพ์ที่ศึกษาหรือโรงพิมพ์อื่นๆ อาจจะมีความแปรผันในเรื่องของพื้นที่

ใช้สอยในการตาก รอแห้งและการพัฒนาองค์ความรู้ของพนักงานเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตให้มีความรู้เท่าเทียมกัน เป็นสิ่งที่พึงประสงค์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Principle)

แผนภูมินี้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมากและได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถจัดทำได้โดยการให้ทีมงานต่างๆที่มีประสบการณ์จัดเก็บข้อมูลและมาดำเนินการด้วยวิธีเก็บสถิติข้อมูลปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิต นำสถิติจำนวนสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียแล้วนำมาจัดเรียงประเภทของเสียจากจำนวนมากไปหาจำนวนน้อยและจัดทำอัตราของเสียสะสมและคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเสียสะสม จัดทำกราฟแท่งของเสียแต่ละประเภทและจัดทำกราฟเส้นแสดงปริมาณของเสียสะสมที่เป็นเปอร์เซ็นต์แล้ว ผลการทำกราฟ จะเห็นว่าปริมาณของเสียประมาณ 80 % จะมีสาเหตุจำนวนไม่มากเมื่อ เปรียบเทียบแล้วได้ค่าประมาณ 80/20 ซึ่งคาดว่าสิ่งสำคัญที่เป็นต้นเหตุประมาณ 20 % เป็นสาเหตุทำให้เกิดผลเสียประมาณ 80 % และสุดท้ายนำสาเหตุที่เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดปริมาณของเสียมากนั้น ไปดำเนินการแก้ไขปัญหาของเสียนั้นต่อไป

วิธีการที่กล่าวมาในข้างต้นเรียกว่า กฎพาเรโต (Pareto Principle) ซึ่งเป็นกฎที่สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยวิเคราะห์สาเหตุได้กับทุกแผนกฝ่าย จะเป็นการหาสาเหตุที่สำคัญและเมื่อไปปฏิบัติแล้ว ผลคือปฏิบัติน้อยแต่ได้ผลลัพธ์มากและสามารถกำหนดลำดับความสำคัญว่าอะไรควรปฏิบัติก่อนอะไรควรปฏิบัติหลัง (priority) สำหรับกฎพาเรโตนี้ (Pareto Principle) ผู้ที่สร้างกฎนี้ เป็นนักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาเลี่ยน ชื่อว่า วิลเฟรโด พาเรโต โดยได้ค้นพบเมื่อ ปี พ.ศ.2438 หรือปี ค.ศ.1895 ซึ่งก็ประมาณ 125 ปีมาแล้ว แต่กฎนี้ก็ยังมีประโยชน์จนถึงปัจจุบัน กฎนี้สามารถอธิบายและสรุปสั้นๆก็คือ อัตราสิ่งที่มีประโยชน์หรือที่สำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งไม่มีประโยชน์หรือสิ่งที่ไม่สำคัญ เป็นอัตราจำนวน 20 / 80 ส่วน ซึ่งเราเรียกว่ากฎพาเรโต 80/20 นั่นเอง

มหาวิทยาลัย HUACHIEW CHALERMPRAKIET UNIVERSITY

จุฑามาศ รัตนกุล (2554:22) ประโยชน์ของแผนภูมิพาเรโต (Pareto Principle) เป็นแผนภูมิที่ใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจแก้ปัญหาเร่งด่วน ปัญหารอง ตามลำดับ ช่วยเข้าใจถึงลำดับความสำคัญของปัญหานั้นได้ทันที และใช้ตรวจสอบผลที่ทำให้เกิดการแก้ไขปรับปรุงโดยไม่ต้องทำการคำนวณที่ยุ่งยากก็สามารถจัดทำได้

สุจินดา ศรัณย์ประชา (2555:23) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Principle) เป็นแผนภูมิที่ใช้เป็นเครื่องมือเพื่อการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของปัญหาแล้วทำการแก้ไขปัญหาไปได้มาก

สลักจิตต์ พุทธจักร (2556:18) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Principle) เป็นเครื่องมือที่สำคัญ จะใช้เมื่อต้องการกำหนดสาเหตุที่สำคัญของปัญหา ต้องการยืนยันผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังจากแก้ปัญหาโดยการเปรียบเทียบก่อนและหลังทำและเมื่อต้องการค้นหาปัญหาและคำตอบของกิจกรรม

2.1.2 การระดมความคิด (Brainstorming)

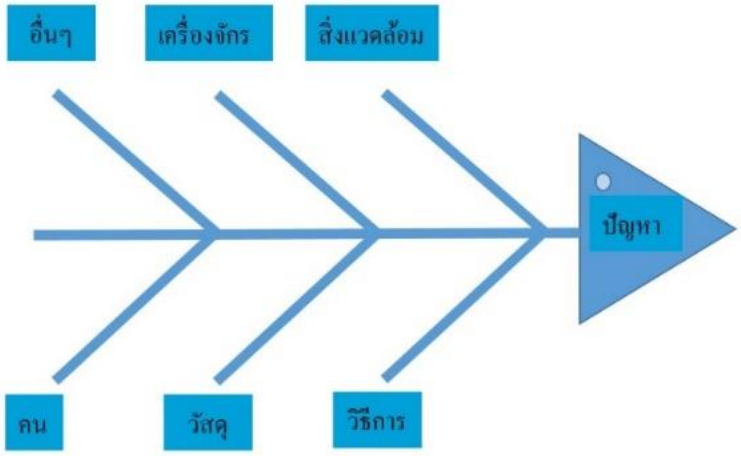
เมื่อประมาณปี พ.ศ.2473 หรือ ปี ค.ศ.1930 ประมาณเกือบ 100 ปีที่ผ่านมา Mr.Alex Osborn ซึ่งเป็นผู้บริหารของบริษัทโฆษณาได้มีความเชื่อว่าจินตนาการเป็นหน้าที่พื้นฐานของมนุษย์ ความคิดใหม่ๆดีๆมาจากการความคิดของคนหลายๆคนที่ช่วยกันคิด โดยการคิดนั้นต้องไม่มีกรอบ ในการคิดนั้นเขาจึงให้มีการเสนอใช้แนวทางการระดมความคิด (Brain storming) ของทุกคนได้ออกมาอย่างเต็มที่

วิธีการในการการระดมความคิด (Brainstorming) จะเป็นการระดมความคิดแบบใช้เวลาไม่มากในการดำเนินการ และควรจัดเป็นกลุ่มๆละไม่เกิน 10 คน โดยจัดให้มีผู้บริหารกลุ่ม 1 คน เป็นผู้ที่แจ้งปัญหาให้กับสมาชิกช่วยกันระดมความคิดเห็น ให้มีผู้จดบันทึก 1 คน โดยผู้บริหารกลุ่มให้แจ้งให้สมาชิกทราบว่าการเสนอแนวความคิดให้เสนอแบบสั้นกะทัดรัด ได้ใจความ ได้ทั้งการเสนอด้วยการเขียน การพูด ผู้บริหารกลุ่มต้องกระตุ้นให้สมาชิกกลุ่มแสดงความคิดเห็นให้มากที่สุด โดยสมาชิกในกลุ่มก็ต้องหาความคิดใหม่ๆมาเสนอกลุ่ม เคารพในความคิดของผู้อื่นและสุดท้ายก็ให้มีการอภิปรายของข้อมูลและหาสมาชิกกลุ่มหาข้อสรุปแนวความคิดที่ดีที่สุดของการประชุม

ธีระพงษ์ สำราญ (2558:45) ได้กล่าวไว้ว่า การระดมความคิด (Brainstorming) โดยทั่วไปแล้ว การระดมสมองหมายถึงการแสวงหาความคิดต่อเรื่องใดเรื่องหนึ่งให้ได้มากที่สุดภายในเวลาที่กำหนด ดังนั้น การให้คิดโดยไม่กำหนดเวลาที่จำกัดแน่นอนก็ไม่เรียกว่าการระดมสมอง

ธิดารัตน์ ธัญญรักษ์ (2558:20) ได้กล่าวไว้ว่า การระดมความคิด (Brainstorming) เป็นกระบวนการที่มีแบบแผนที่ใช้เพื่อรวบรวมความคิดเห็น ปัญหา หรือข้อเสนอแนะการระดมความคิดเป็นวิธีการประชุมชนิดหนึ่งที่ให้ประสิทธิภาพมาก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2.1 แผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect Diagram)

2.1.3 แผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect Diagram) เป็นแผนผังที่สร้างขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ทราบสาเหตุของปัญหาโดยการเขียนปัญหาที่จะค้นหาสาเหตุจะเขียนไว้บริเวณหัวของปลา โดยให้หันหัวของปลาไปทางขวามือ เขียนเส้นตรง กลางตัวปลาจากปัญหา (ปากปลา) ไปทางซ้ายมือ เขียนก้างปลาก้างหลักแยกไปทางด้านบนและด้านล่างให้มีลักษณะเอียงไปทางซ้ายมือ ดังภาพที่ 2.1 เขียนสาเหตุหลักที่สำคัญไว้ที่ปลายก้างปลาและส่วนของก้างย่อยที่แยกไปจากก้างหลักเป็นจะสาเหตุของสาเหตุหลัก

แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้น ส่วนใหญ่จะนิยมวิเคราะห์อยู่ในหลักการ 4 M + 1 E ซึ่งเป็นดังนี้

M	=	Man	คน
M	=	Material	วัสดุ
M	=	Method	วิธีการ
M	=	Machine	เครื่องจักร
E	=	Environment	สิ่งแวดล้อม

แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) จะมีข้อเด่นคือเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลที่ทำให้เห็นภาพง่ายๆของความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุทุกสาเหตุในภาพเดียว เห็นสาเหตุที่เกี่ยวพันและต่อเนื่องกันทั้งหมด ทำให้เกิดการตื่นตัวของทีมงานในระหว่างประชุมที่จะร่วมมือร่วมใจกันในการระดมความคิดเพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหามากขึ้น ลดความสับสนในการหาสาเหตุซึ่งมุ่งมั่นเฉพาะสาเหตุหลักที่อยู่บริเวณหัวปลา แต่ก็มีข้อด้อยบางประการคือการที่จะใช้เครื่องมือนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้เข้าร่วมระดมความคิดนั้นต้องเป็นผู้มีประสบการณ์ในเรื่องนั้นๆยิ่งมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสบการณ์มากก็จะเป็นผลดีมาก มีประสบการณ์น้อยก็ให้ผลดีลดน้อยลงตามลำดับ และตัวผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ทำให้เห็นแค่ภาพรวมของปัญหาและสาเหตุของปัญหานั้นๆ ไม่ใช่เป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหา

สำหรับแผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) ซึ่งบางครั้งก็เรียกว่าแผนภูมิอิชิกาวะ หรือบางครั้งก็เรียกว่า Cause and Effect diagram กล่าวกันว่ามี การใช้กันมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2463 ซึ่งประมาณ 100 ปี มาแล้ว แต่ในช่วงปี พ.ศ.2503 – พ.ศ.2511 นายคาโอรุ อิชิกาวะ (Kaoru Ishikawa) ชาวญี่ปุ่น เป็นผู้นำมาใช้ในธุรกิจอู่ต่อเรือคาวาซากิ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและนำสาเหตุที่สำคัญไปแก้ปัญหานั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในปัจจุบันก็ยังนำเครื่องมือแผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพก่อให้เกิดประสิทธิผลอย่างต่อเนื่องโดยตลอด

ธีระพงษ์ สำราญ (2558:41) ได้กล่าวไว้ว่า แผนภูมิก้างปลาจะช่วยให้สามารถค้นหาและเรียงลำดับสาเหตุต่างๆและแสดงถึงความเกี่ยวข้องของสาเหตุต่างๆ

จุฑามาศ รัตนกุล (2554:25-26)ได้กล่าวไว้ว่า แผนภูมิก้างปลาเป็นเครื่องมือในการระดมความคิดจากสมองของสมาชิกทุกคนในกลุ่มอย่างเป็นหมวดหมู่และแผนภูมิก้างปลานี้สามารถนำไปวิเคราะห์ปัญหาต่างๆได้มากมาย ทั้งในหน้าที่การงาน สังคม แม้แต่ในชีวิตประจำวัน

2.1.4 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

เป็นเครื่องมือที่ดีมากในการวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ กับผลที่ตอบสนอง ซึ่งเป็นการกระทำของทีมงานที่มีประสบการณ์ช่วยกันระดมความคิด (Brain storming) และนำผลดังกล่าวที่ได้ใช้แผนภูมิพาเรโต (Pareto Principle) ช่วยในการกำหนดสาเหตุที่สำคัญของปัญหา

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		voice of customer						
2	Cut put Variable	variable 1	variable 2	variable3	variable4	variable5		
3	priority						total value	total value %
4	in put variable 1							
5	in put variable 2							
6	in put variable 3							
7	in put variable 4							
8	in put variable 5							
9	in put variable 6							
10	in put variable 7							
11	in put variable 8							
12								

ภาพที่ 2.2 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect matrix)

ที่มา https://sixsigmastudyguide.com/cause-and-effect-matrix/

Hessing (2021) กล่าวไว้ว่าการสร้างตารางผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect matrix) เมื่อสร้างตารางดังภาพที่ 2.2 ดำเนินการ โดยนำความต้องการของลูกค้าใส่ในช่อง Output variable ด้านบนตารางในช่อง B1 เช่น รสชาติ ราคา เวลาที่ใช้เสิร์ฟ กลิ่นหอม บรรยากาศ ฯ ให้กำหนดความสำคัญของความต้องการลูกค้าในช่อง A3 ตั้งแต่ช่อง B3 – F3 โดยให้ความสำคัญของความต้องการลูกค้ามากสุดเท่ากับ 10 คะแนน และให้คะแนนความสำคัญลดหลั่นลงมาตั้งแต่ 9 8 7 6 5 4 3 2 1 จนถึง 0 ถือว่าไม่มีความสำคัญ ให้ทีมงานที่มีประสบการณ์หาปัจจัยที่เป็นไปได้ ที่จะนำไปปรับปรุงใส่ในช่อง In put variable 1-8 เช่น ชื่อเสียงยี่ห้อกาแฟ , ปริมาณกาแฟ , เวลาที่ใช้ในการเตรียมกาแฟ , ครีมที่ใช้,ความร้อนของกาแฟ , ตัวกรองกาแฟ , ความสด ฯลฯ ประเมินความสัมพันธ์ของปัจจัย In put variable กับตัวแปร Output variable โดยให้คะแนนแบบความก้าวหน้าคือ สำคัญมากให้ 9 คะแนน รองลงมาให้ 3 และ 1 และ 0 ไม่มีความสำคัญ ใส่ในช่อง B4 : F11 ในขั้นต่อไปให้รวมคะแนนในช่อง G12 โดยรวมคะแนนจาก G4 : G11 ในขั้นต่อไปให้คิดคะแนนในช่อง H4 : H11 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยใช้คะแนนในช่อง H4 : H11 คูณ 100 หารด้วยผลรวมในช่อ G12 ในขั้นต่อไปให้นำเปอร์เซ็นต์ของตัวแปรมาเรียงจำนวนจากมากไปหาน้อย ซึ่งตัวแปรที่มีเปอร์เซ็นต์มากที่สุดก็คือตัวแปรที่สำคัญที่สุดที่ควรนำไปแก้ปัญหา

	ความต้องการลูกค้า						
ตัวแปรภายนอก	รสชาติ	ราคา	เวลาที่เสิร์ฟ	กลิ่นหอม	บรรยากาศ		
กำหนดความสำคัญ	9	6	3	3	4	ผลรวม	ผลรวม %
ตัวแปรภายใน							
ชื่อเสียงยี่ห้อกาแฟ	9	3	3	9	1	139	25.14
ปริมาณกาแฟ	1	3	3	3	1	49	8.86
เวลาที่ใช้ในการเตรียมกาแฟ	3	0	9	1	1	61	11.03
ครีมที่ใช้	9	3	0	9	0	126	22.78
ความร้อนของกาแฟ	1	1	9	1	0	45	8.14
ตัวกรองกาแฟ	1	0	0	1	0	12	2.17
ความสด	9	1	1	9	1	121	21.88
						553	

ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect matrix)

ซึ่งผลจากตัวอย่างดังภาพที่ 2.3 จะเห็นว่าชื่อเสียงยี่ห้อกาแฟ , ครีมที่ใช้ และความสด เป็นปัจจัย ที่ได้คะแนนมากที่สุด 25.14 , 22.78 และ 21.88 ตามลำดับ ซึ่งเป็นปัจจัยที่จะต้องนำไปแก้ไขเพื่อให้ตรงกับความต้องการของลูกค้ามากที่สุด

อาภาพร จันทะมาศ (2559:16) ได้กล่าวไว้ว่าหลังจากคัดกรองปัญหาแล้วนำข้อมูลมาเรียงลำดับความสำคัญและกรองปัจจัยเหล่านั้นด้วย Cause and Effect matrix เพื่อให้ทุกคนแสดงความคิดเห็นและลงคะแนนตามเกณฑ์ที่ในทีมได้ตกลงไว้และนำคะแนนที่ได้มาเรียงความสำคัญจากมากไปน้อยและตัดปัจจัยที่คาดว่าจะไม่มีผลกระทบหรือมีผลกระทบน้อยออกไป

ธิดารัตน์ ธัญญรักษ์ (2558:22) ได้กล่าวไว้ว่าตารางเหตุและผลเป็นการจัดลำดับปัจจัยตัวแปรนำเข้าทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ผังแสดงเหตุและผลมาทำการวิเคราะห์เพื่อ แสดงเหตุและผลโดยใช้ความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ชำนาญการและผู้ปฏิบัติการ

2.1.5 วิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ (Attribute Agreement Analysis)

ระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับเป็นการตรวจสอบและพิจารณาเพื่อแยกแยะข้อมูลหรือชิ้นงาน เช่น ของดีและของเสีย โดยประเมินพนักงานวัดทั้งรายบุคคลและภาพรวมของทั้งระบบ ระบบการวัดที่ดีนั้นต้องมีทั้งความเที่ยง (Precision) โดยพิจารณาจากการตรวจสอบชิ้นงานเดิมซ้ำๆ แล้วให้ผลเหมือนกัน และความถูกต้อง (Accuracy) จะพิจารณาจากการบอกประเภทของชิ้นงานได้อย่างถูกต้อง ซึ่งการประเมินระบบตรวจสอบจะทำโดย กำหนดจำนวนพนักงานที่จะทำการตรวจสอบ กำหนดจำนวนชิ้นงานตัวอย่างในการตรวจสอบ กำหนดจำนวนชิ้นงานและจำนวนการทำซ้ำที่จะให้พนักงานตรวจสอบ โดยอ้างอิงจาก AIAG

ตารางที่ 2.1 ขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานอย่างต่ำที่สุด	จำนวนการทดลองซ้ำที่ต่ำที่สุด
1	24	5
2	18	4
มากกว่า 3	12	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หลังจากจากนั้นจะมีการออกแบบตารางการเก็บข้อมูลโดยการเก็บข้อมูลการตรวจสอบของพนักงานต้องเป็นการตรวจสอบแบบสุ่ม(Random) เพื่อลดความลำเอียงของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน ซึ่งการเก็บข้อมูลและคำนวนดัชนีเพื่อประเมินผลระบบการวัดต้องมีการเก็บข้อมูลทั้งหมด 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 พนักงานเป็นรายบุคคล (within appraiser) เพื่อวิเคราะห์ความเที่ยงหรือการวัดซ้ำของพนักงานเป็นรายบุคคล % repeatabilityของพนักงานเป็นรายบุคคล (% Appraiser score) โดยใช้สูตร

$$= \frac{\text{จำนวนงานที่ตรวจสอบซ้ำแล้วได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

ทำการวิเคราะห์ความถูกต้องของการวัดของพนักงานเป็นรายบุคคลโดยคิด % คะแนนของค่า Attribute (% Attribute score) โดยใช้สูตร

$$= \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

ทำการวัดดัชนีประสิทธิผลของพนักงาน (Operator effective index: O_E) โดยใช้สูตร

$$= \frac{\text{การตัดสินใจถูกต้อง(จำนวนครั้ง)}}{\text{จำนวนโอกาสการตัดสินใจทั้งหมด}}$$

ทำการวัดดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False alarm index : I_{FA}) โดยใช้สูตร

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลตรวจบอกว่าไม่ผ่าน}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่มีคุณภาพผ่าน} * \text{จำนวนครั้งการตรวจสอบซ้ำ}}$$

ทำการวัดดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (Index of a miss : I_{MISS}) โดยใช้สูตร

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลตรวจสอบบอกว่าผ่าน}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่มีคุณภาพไม่ผ่าน} * \text{จำนวนครั้งการตรวจซ้ำ}}$$

สำหรับการวิเคราะห์ความถูกต้องของพนักงานวัดแต่ละคน จะต้องมีการตัดสินใจว่าความถูกต้องของพนักงานแต่ละคนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยจะอ้างอิงจาก AIAG

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การตัดสินใจค่าดัชนี (AIAG,2019)

ผลการตัดสินใจ	O_E	I_{FA}	I_{MISS}
ยอมรับพนักงานทดสอบได้	$\geq$90%	$\leq$5%	$\leq$2%
ยอมรับแบบก้ำกึ่ง (อาจต้องปรับปรุง)	80%$\leq O_E$<90%	5%< $I_{FA}\leq$10%	2%< $I_{MISS}\leq$5%
ไม่สามารถยอมรับได้(ต้องปรับปรุง)	<80%	>10%	>5%

ส่วนที่ 2 ทำการการวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน (Between appraiser) โดยการวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน % ประสิทธิผลด้าน repeatability (% Screen effective score) โดยใช้สูตร

$$= \frac{\text{จำนวนชิ้นที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้เหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

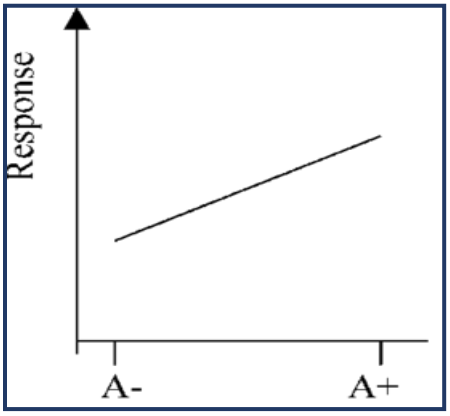
2) การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน % คะแนนของประสิทธิผลของค่า Attribute (% Attribute screen effective score)

$$= \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ผลเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

ซึ่งในขั้นตอนต่อไปของวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ (Attribute Agreement Analysis) คือ การวิเคราะห์ผลดัชนีและประเมินผล ซึ่งเมื่อคำนวนค่าดัชนีต่างๆจากสูตร ทำการวิเคราะห์ค่าผลดัชนีทั้งของพนักงานวัดแต่ละคนและระหว่างพนักงานวัด เพื่อทำการปรับปรุงระบบการวัด

2.1.6 หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment: DOE)

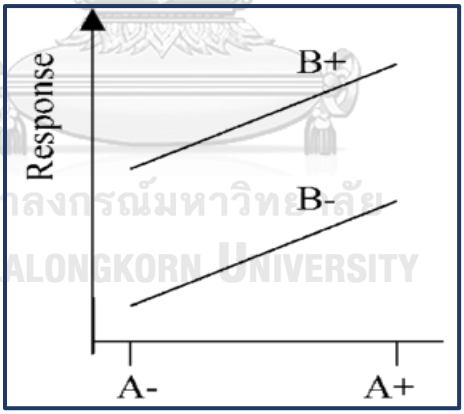
การออกแบบการทดลอง (Design of experiment) คือการนำปัจจัยนำเข้า (Input Variable) ต่างๆ มาทำการทดลองเข้าสู่กระบวนการ เช่น คน วัตถุดิบ เครื่องจักร และกระบวนการ แล้วนำสิ่งที่ออกจากกระบวนการ (Output Response) มาวิเคราะห์ด้วยหลักการของสถิติและหาข้อสรุปว่าปัจจัยนำเข้าใดที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนอง เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดของปัจจัยสำหรับปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพ โดยขั้นตอนการทดลองมีการนิยามปัญหา (Recognition and Statement of Problem) เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและเก็บข้อมูลของปัญหาที่เกิดขึ้น ทำการระบุปัญหาเพื่อเชื่อมโยงไปยังการตั้งจุดประสงค์ของการทดลอง การเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย (Choice of Factors Levels and Ranges) โดยหาข้อมูลจากงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการกำหนดช่วงค่าของตัวแปรในการทดลอง รวมถึงกำหนดจำนวนระดับในการทดลอง ตัวแปรมี 3 ลักษณะคือ ลักษณะที่ 1 แบบกำหนด (Fixed effect) ระดับของปัจจัยควบคุมได้ ลักษณะที่ 2 แบบสุ่ม (Random effect) ระดับของปัจจัยไม่สามารถควบคุมได้ และลักษณะที่ 3 แบบผสม (Mixed effect) การผสมกันระหว่างแบบสุ่มและแบบกำหนด กำหนดตัวแปรผลลัพธ์ (Selection of Response Variable) เลือกตัวแปรที่มีประโยชน์กับการศึกษาวิจัยและปัญหาที่เกิดขึ้นของงานศึกษาวิจัย การเลือกแบบการทดลอง (Choice of Experiment Design) ต้องพิจารณาถึงจำนวนการทดลอง รายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบ (Resolution) โดยเชื่อมโยงถึงต้นทุนในการทดลองเพื่อที่จะเลือกแบบการทดลองที่เหมาะสม ซึ่งการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) หมายถึง การทดลองที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่กำหนดขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรผลลัพธ์ (Response Variable) ที่เกิดจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งนั้นเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect)



ภาพที่ 2.4 ผลหลัก (Main Effect)

ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/Main-and-interaction effects_fig1_222350473

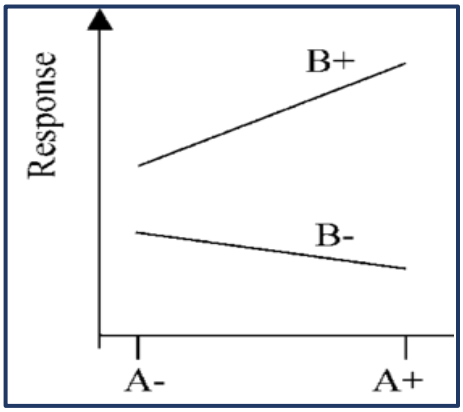
แต่ถ้าตัวแปรผลลัพธ์ของปัจจัยหนึ่งขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่นๆ ด้วย เรียกว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกัน ปัจจัยนำเข้ามีความสัมพันธ์กัน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 2.5 ปัจจัยที่ไม่มีอันตรกิริยากัน (No Interaction)

ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/Main-and-interaction-effects_fig1_222350473



ภาพที่ 2.6 ปัจจัยที่มีอันตรกิริยากัน (Interaction)

ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/Main-and-interaction-effects_fig1_222350473

สำหรับการดำเนินการทดลอง (Performing of Experiment) ดำเนินการทดลองตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ให้ถูกต้อง เช่น ระดับของปัจจัย จำนวนการทดลอง การทำซ้ำ ความถูกต้องในการวัดตัวแปรผลลัพธ์ เพื่อให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลในระดับต่ำ วิเคราะห์ข้อมูล (Statistic Analysis of Data) โดยใช้ความรู้ทางสถิติเข้ามาวิเคราะห์ผลการทดลอง ตรวจสอบความถูกต้องของชุดข้อมูล สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

Tavares (2011:54) กล่าวว่าการออกแบบการทดลอง (Design of experiment) พบได้ในหลายสาขาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการพัฒนาและการปรับกระบวนการผลิตให้เหมาะสม เช่นการผลิตในอุตสาหกรรมรถยนต์ การผลิตในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

จุฑามาศ รัตนกุล (2554:31) ได้กล่าวไว้ว่าการออกแบบทดลองเป็นเครื่องมือสำคัญมากในงานด้านวิศวกรรมสำหรับการเพิ่มความสามารถของกระบวนการผลิตและยังมีการนำไปประยุกต์เพื่อการใช้งานสำหรับการพัฒนากระบวนการใหม่ๆ

สรารัตน์ ชาลีกัน (2558:31-32) ได้กล่าวไว้ว่าการออกแบบทดลองหมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้

L (2021) กล่าวไว้ว่าวิธีการทางสถิติในการระบุว่าปัจจัยใดที่อาจมีอิทธิพลต่อตัวแปรเฉพาะของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่อยู่ระหว่างการพัฒนาหรือในการผลิตในรูปแบบที่ง่ายที่สุด การทดลองมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำนายผลลัพธ์โดยการแนะนำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเบื้องต้น

Khan (2018:189) กล่าวไว้ว่า กระบวนการวิธี DOE-simplex ที่ประสบความสำเร็จและวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับกระบวนการทางชีวภาพขั้นปลาย สิ่งนี้สามารถลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการพัฒนาในระยะแรกได้อย่างมาก

2.1.7 วิเคราะห์หาประโยชน์-ต้นทุน (Cost-benefit analysis)

ระยะเวลาคืนทุน (Payback period) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการหาระยะเวลาที่จะสามารถได้จำนวนเงินทั้งหมดที่ลงทุนกลับมา โดยคำนวนได้จาก = $\frac{\text{เงินทุนที่ลงทุนไปทั้งหมด}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิที่จะได้รับในแต่ละเดือน}}$

Benefit to Cost Ratio (B/C ratio) คือการหาสัดส่วนระหว่างประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ (Benefit) และค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการ (Cost) เพื่อดูความเหมาะสมแก่การลงทุนหรือไม่

สูตรการคำนวน B/C Ratio $= \frac{B}{C} = \frac{B}{\frac{I}{N}+E}$

จากสูตรคำนวน B (Benefit) คือประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

I (Capital investment) คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนโครงการ

N (Project life) คืออายุของโครงการ

E (Operating Expense) คือค่าใช้จ่ายทั่วไป

ค่า B/C Ratio ถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการนี้เหมาะสมแก่การลงทุนแต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 โครงการไม่เหมาะแก่การลงทุน

2.2 โครงสร้างของระบบการพิมพ์ออฟเซ็ต

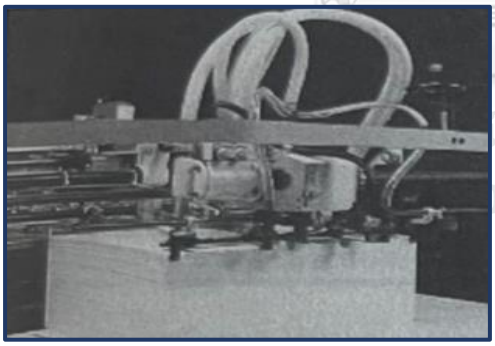
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงสร้างเครื่องพิมพ์ระบบออฟเซ็ต ประกอบด้วย หน่วยป้อนกระดาษ (feeding unit) หน่วยถ่ายโอนกระดาษพิมพ์ (transfer unit) หน่วยพิมพ์ (printing unit) หน่วยทำขั้นสำเร็จ (finishing unit) และ หน่วยส่งกระดาษ (delivery unit) และมีการควบคุมการทำงานผ่านระบบควบคุมสั่งการด้วยคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 2.7 ทั้งนี้สำหรับการออกแบบโครงสร้างของเครื่องพิมพ์ออฟเซ็ตมีทั้งเป็นแบบหน่วยพิมพ์เรียงแถว (in-line) แบบโมกดพิมพ์ร่วม (satellite) และแบบหน่วยพิมพ์ตั้งซ้อน (Stack type)

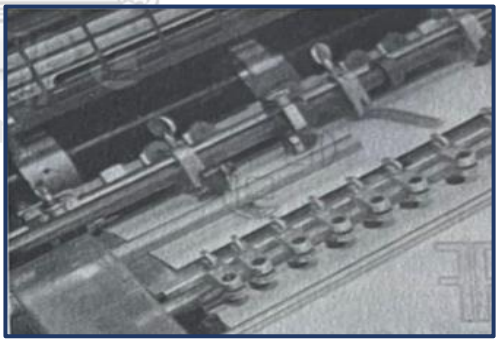
ภาพที่ 2.7 เครื่องพิมพ์ผ่านระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

2.2.1 หน่วยป้อน

หน่วยป้อนของเครื่องพิมพ์ออฟเซ็ตป้อนแผ่น ทำหน้าที่แยกแผ่นกระดาษส่วนบนออกจากท้ายกองกระดาษด้วยหัวลมเป่า ดังภาพที่ 2.8 จากนั้นจะดูดแผ่นกระดาษบนสุดด้วยหัวลมดูด ยกขึ้นและส่งกระดาษให้เคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้งเข้าแผ่นกระดานป้อน (feed board) ไปยังฉากหน้าและฉากข้าง ก่อนเข้าสู่หน่วยพิมพ์ ลักษณะการป้อนเป็นลักษณะป้อนทีละแผ่น (single sheet feeding) จะมีราวโลหะติดหัวลมดูดอยู่ที่ด้านบนของกองกระดาษส่วนหน้า ดูดกระดาษแผ่นบนทีละแผ่นของกองกระดาษ แล้วยกให้แผ่นกระดาษนั้นเคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้งเข้าแผ่นกระดานป้อนไปยังฉากหน้าและฉากข้าง ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.8 หน่วยป้อนกระดาษ

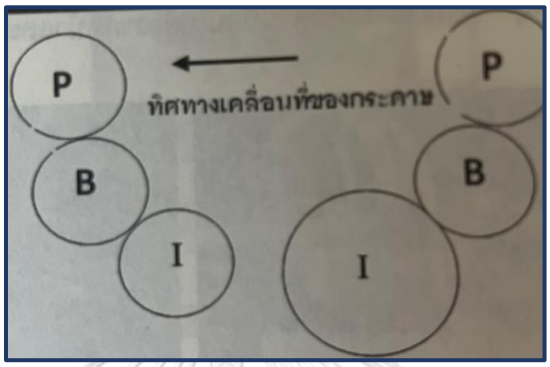


ภาพที่ 2.9 หน่วยป้อนกระดาษแบบแผ่น

หน่วยป้อนกระดาษที่ดีจะช่วยให้ระบบรีจีสเตอร์ของเครื่องพิมพ์แม่นยำตามไปด้วยและไม่เกิดปัญหา กระดาษซ้อน เครื่องพิมพ์รุ่นใหม่ ๆ สำหรับการป้อนแบบต่อเนื่อง แผ่นกระดานป้อนส่วนใหญ่จะออกแบบให้ใช้ระบบลมดูดบนสายพานควบคุมการเคลื่อนที่ของแผ่นกระดาษ แทนระบบเดิมที่ใช้ลูกกลิ้ง

2.2.2 หน่วยพิมพ์

โครงสร้างหน่วยพิมพ์ออฟเซ็ต ที่น่าสนใจได้แก่ การเรียงตัวของโมหลักทั้งสามแบบ 7 นาฬิกาและ 5 นาฬิกา ประเภทของหน่วยทำชื้น จำนวนลูกกลิ้งของหน่วยจ่ายหมึก ชนิดและคุณสมบัติของแม่พิมพ์ น้ำยาฟาวน์เทนและผ้ายางที่ใช้ การตั้งแรงกดพิมพ์ เป็นต้น เพราะจะมีผลต่อความเร็วและคุณภาพงานพิมพ์ที่ได้อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้



ภาพที่ 2.10 การเรียงตัวของโมแบบ 5 นาฬิกา (ซ้าย) และ 7 นาฬิกา (ขวา)

ลักษณะของการเรียงตัวของโมหลักในหน่วยพิมพ์ ตามภาพที่ 2.10 จะเห็นว่าเรียงโมแบบ 7 นาฬิกา จะช่วยสามารถขยายขนาดโมกดพิมพ์ให้เป็น 2-3 เท่า ของโมขนาดปกติ ทำให้เครื่องพิมพ์สามารถเพิ่มความเร็วในการพิมพ์ได้ อีกทั้งยังสามารถทำให้ระยะส่งกระดาษไปยังหน่วยพิมพ์ข้างหน้าไม่มากเกินไป ส่งผลให้ระบบรีจีสเตอร์ในการพิมพ์หลายสีทำงานได้ดี

2.2.3 หน่วยจ่ายหมึก

หน่วยจ่ายหมึก มีหน้าที่ถ่ายโอนหมึกจากรางหมึกไปยังโมแม่พิมพ์ผ่านลูกกลิ้ง ลูกกลิ้งจะช่วยคุมความหนาของชั้นหมึกเพื่อให้ได้ตามที่ช่างพิมพ์ต้องการ และเกลี่ยหมึกเพื่อให้หมึกพิมพ์มีความสม่ำเสมอ ความหนาชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่อยู่บนลูกกลิ้งควรอยู่ที่ประมาณ 1 ไมครอน เช่นเดียวกับความหนาของชั้นหมึกพิมพ์บนโมผ้ายาง เพราะชั้นหมึกพิมพ์ควรจะถูกถ่ายโอนจากผ้ายางไปยังผิวกระดาษทั้งหมด เพราะฉะนั้น ฟิล์มชั้นหมึกบนผ้ายางควรมีหนาประมาณ 2 ไมครอน เนื่องจากหมึกมีการถ่ายโอนจากลูกกลิ้งหนึ่งไปยังลูกกลิ้งหนึ่งสาเหตุที่ต้องการชั้นหมึกบาง เพราะความบางจะช่วยให้ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์มีความโปร่งใสมาก เมื่อซ้อนทับกัน (พิมพ์ 4 สี) จะสามารถผสมกันให้เฉดสีที่ถูกต้อง โดยไม่สูญเสียรายละเอียด

2.2.4 หน่วยทำชื้น

หน่วยทำชื้น ทำหน้าที่จ่ายน้ำยาฟาวน์เทนไปยังผิวแม่พิมพ์โดยน้ำยาจะไปเกาะเป็นฟิล์มในส่วนผิวแม่พิมพ์ที่ไม่ใช่ตัวอักษรหรือไม่ใช่ภาพจะเกิดปฏิกิริยาพันธะเคมีป้องกันไม่ให้ส่วนนั้น

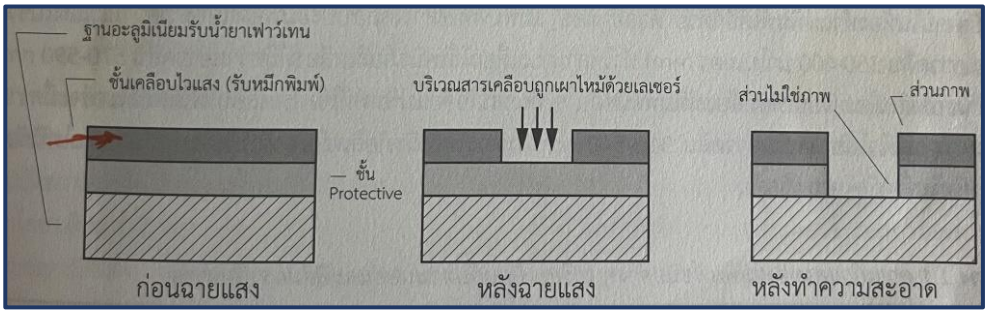
รับหมึกและไม่เกิดปัญหาการเกิดภาพเปื้อนรอยคราบหมึก (Scum) แต่ส่วนที่เป็นตัวอักษรหรือภาพจะไม่มีพันธะเคมีเกิดขึ้น เพราะสารเคลือบผิวบริเวณภาพบนแม่พิมพ์ไม่มีสมบัติดังกล่าว ทำให้น้ำยาฟาวน์เทน ต้องกระจายตัวขนาดเล็กแขวนลอยในเนื้อหมึกพิมพ์แทน เรียกว่าเกิดอิมัลชัน (emulsion) ซึ่งอัตราส่วนการรวมตัวระหว่างน้ำยาฟาวน์เทนกับหมึกพิมพ์นี้ (emulsification ratio) มีความสำคัญมาก เพราะจะมีผลต่อระยะเวลาในการเกิดจุดสมดุลของอิมัลชันในระหว่างการพิมพ์ และอัตราการระเหยออกของน้ำยาฟาวน์เทนออกจากชั้นหมึกพิมพ์หลังจากที่มีการถ่ายโอนหมึกไปยังโมผ้ายางและกระดาษพิมพ์ต่อไป โดยปรกติหมึกพิมพ์ออฟเซ็ตจะกำหนดค่าอัตราส่วนดังกล่าวอยู่ที่ระหว่าง 20-40 % หมายความว่าจะให้ปริมาณน้ำยาฟาวน์เทนรวมตัวได้ที่ร้อยละ 20-40 ของปริมาณหมึกทั้งหมด พบว่าถ้าจ่ายน้ำยาฟาวน์เทนมากเกินไป ส่วนเกินนี้จะมีผลต่อปัญหาคุณภาพงานพิมพ์ได้

2.2.5 แม่พิมพ์

เลเซอร์ช่วงคลื่นความร้อน (thermal lasers) ได้แก่ เลเซอร์ไดโอด IR (-830 nm) และเลเซอร์ YAG (-1050nm) แม่พิมพ์จะออกแบบมาให้สารเคลือบมีสมบัติความไวต่อช่วงคลื่นดังกล่าว เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้ เรียกแม่พิมพ์ประเภทนี้ว่า แม่พิมพ์เทอร์มัลหรือแม่พิมพ์ความร้อนก็ได้ มีให้เลือก 2 แบบคือ แบบเนกาทีฟ และพอสทิฟ ตามลำดับ การใช้งานของแม่พิมพ์ประเภทนี้จะสามารถทำได้ในห้องสว่าง และเนื่องจากสารเคลือบมีความไวคลื่นความร้อนต่ำ จึงต้องการเลเซอร์กำลังสูง ๆ

แม่พิมพ์ความร้อนแบบเนกาทีฟ มีหลักคล้ายระบบแม่พิมพ์โฟโตพอลิเมอร์ที่ต้องการการพรีฮีท หรือให้ความร้อนก่อนที่อุณหภูมิ 150 - 180°C ก่อนทำการสร้างภาพในเครื่องโพรเซสเซอร์ คลื่นความร้อนจะทำให้แม่พิมพ์ปล่อยสารกรดอิสระ (free acid) ออกมา และเมื่อนำไปพรีฮีทจะกระตุ้นให้กรดทำปฏิกิริยากับสารเคลือบ เปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลให้แข็งตัวไม่ละลายในน้ำยาสร้างภาพ แม่พิมพ์ชนิดนี้ใช้งานได้ถึง 1,000,000 กดพิมพ์

แม่พิมพ์ความร้อนแบบพอสทิฟ แม่พิมพ์ประเภทนี้หลังจากขั้นตอนฉายแสง (ให้คลื่นความร้อน) สามารถนำไปผ่านโพรเซสเซอร์ได้ทันที ไม่ต้องผ่านขั้นตอนพรีฮีท เพราะส่วนสารเคลือบที่ทำปฏิกิริยากับคลื่นความร้อนนี้ (ส่วนไม่ใช่ภาพ) จะถูกชะล้างออกไปในระหว่างขั้นตอนสร้างภาพ แม่พิมพ์ใช้งานได้ประมาณ 200,000 กดพิมพ์เท่านั้น ไม่สามารถนำไปอบเพิ่มความแข็งแรงได้



ภาพที่ 2.11 กระบวนการยิงเลเซอร์ด้วยความร้อน

ปัจจุบันแม่พิมพ์ความร้อนแบบพอสทิฟได้รับการพัฒนาให้ไม่จำเป็นต้องผ่านน้ำยาสร้างภาพหรือผ่านโพรเซลเซอร์ เรียกว่าแม่พิมพ์ความร้อนไร้โพรเซส (thermal processless plate) สารเคลือบจะถูกออกแบบมาเป็นพิเศษให้คลื่นความร้อนสามารถทำปฏิกิริยากำจัดชั้นสารเคลือบบริเวณนั้นออกได้ทันที ด้วยวิธีการเผาไหม้ (ablation) ดังภาพที่ 2.11 หลังจากนั้นจะมีลมดูด (Sucker) ช่วยดูดฝุ่นออกทีหลังก่อนนำไปใช้งาน หรืออีกระบบหนึ่งที่เรียกว่า การเปลี่ยนสภาวะเฟส (Phase change) โดยคลื่นความร้อนจะทำปฏิกิริยากับสารเคลือบบริเวณดังกล่าวให้อ่อนตัว เพื่อให้สามารถกำจัดออกได้ด้วยน้ำยาฟาวน์เทน หรือหมึกพิมพ์บนเครื่องพิมพ์ ให้เศษสารเคลือบที่ไม่ต้องการถ่ายโอนไปติดที่กระดาษพิมพ์ออกไป แม่พิมพ์ชนิดนี้เหมาะสำหรับพิมพ์งานจำนวนน้อยๆ ไม่เกิน 30,000 กดพิมพ์

2.2.6 น้ำยาฟาวน์เทน

น้ำยาฟาวน์เทนทำหน้าที่แยกส่วนบริเวณภาพกับส่วนบริเวณที่ไม่ใช่ภาพบนแม่พิมพ์ออฟเซ็ตออกจากกันกันยาฟาวน์เทนเป็นตัวช่วยทำให้หมึกพิมพ์ไม่ติดแม่พิมพ์ตรงบริเวณไร้ภาพ ซึ่งก็คือเป็นบริเวณที่ไม่มีตัวอักษรหรือภาพ ซึ่งน้ำยาฟาวน์เทนจะไปเคลือบบริเวณดังกล่าวอย่างทั่วถึงเพื่อป้องกันไม่ให้หมึกพิมพ์ให้มาเปรอะเปื้อน และขณะเดียวกันน้ำยาฟาวน์เทนก็ต้องไม่เข้าไปเกาะในบริเวณภาพหรือตัวอักษรด้วย น้ำยาฟาวน์เท่นจะรวมตัวกับหมึกพิมพ์(emulsification) เพื่อช่วยลดความเหนียว(tack) หมึกพิมพ์และช่วยให้ง่ายต่อการแยกชั้นในการถ่ายโอนระหว่างลูกกลิ้งในปริมาณที่ถูกต้อง ช่วยให้ปรับสภาพผิวของแม่พิมพ์ได้รับน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นระหว่างผ้ายางกับเพลต ช่วยให้ภาพไม่เสียหาย ช่วยให้อายุการใช้งานของเครื่องพิมพ์เพิ่มขึ้นจากการช่วยให้ความเย็นกับเครื่องพิมพ์ ช่วยให้หมึกพิมพ์มีคุณสมบัติคงที่ และยังช่วยแก้ปัญหาบริเวณโมผ้ายางเกี่ยวกับการกอง (piling)ของขุยกระดาษ นอกจากนี้ ยังป้องกันการเกิดปัญหาของแม่พิมพ์ในด้านการเกิดสกัม อีกด้วย น้ำยาฟาวน์เทนมีส่วนประกอบหลัก ๆ คือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1) กรด ส่วนใหญ่ใช้กรดฟอสเฟอริก (phosphoric acid) หรือกรดซิตริก (citric acid) ซึ่งประกอบด้วย กัมอารบิก (gum arabic) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ชั้นแอโนไดซ์บนผิวแม่พิมพ์ทำปฏิกิริยากับอากาศ สูญเสียคุณสมบัติรับน้ำ โดยเฉพาะในส่วนบริเวณที่ไม่ใช่ภาพ กลไกนี้เรียกว่า desensitization 2)สารหน่วงการกัดกร่อน (Corrosion inhibitor) ไม่ให้ผิวแม่พิมพ์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศหรือสารเคมีอื่น ๆ ที่ทำให้แม่พิมพ์เสียหายได้ เช่น แมกนีเซียมไนเตรต3) สารช่วยเปียก (wetting agent) ช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำยา ให้สามารถแพร่กระจายไปบนผิวแม่พิมพ์ได้รวดเร็วและสม่ำเสมอ ส่วนใหญ่ใช้แอลกอฮอล์ เช่น Isopropanol หรือสารทดแทนแอลกอฮอล์ (alcohol Sub- statute) ที่เรียกว่า surfactant ตัวอย่างเช่น น้ำให้ค่าแรงตึงผิวที่ 72 dyne/cm แต่เมื่อผสมกับ Isopropanol แล้ว ค่าแรงตึงผิวจะลดลงเหลือ 35-45 dyne/cm ช่วยให้งานพิมพ์คุณภาพดีขึ้นและรวดเร็ว ข้อดีของการใช้แอลกอฮอล์คือ ระเหยเร็ว ทำให้ชั้นหมึกบนโมผ้ายางไม่มีน้ำยาเหลืออยู่เลย เมื่อถ่ายโอนไปบนผิวกระดาษจะไม่เกิดปัญหาการพิมพ์ 3)สารกันฟอง (antifoaming agent) เพื่อควบคุมน้ำยาไม่ให้เกิดฟองขึ้นในระหว่างเดินเครื่องพิมพ์ ตัวอย่างสารประเภทนี้คือ สารประกอบซิลิโคน (Silicone compounds) 4)ตัวกระตุ้นการแห้งตัว (drying stimulator) ผสมในน้ำยาฟาวน์เทนเพื่อช่วยเร่งให้หมึกพิมพ์แห้งตัวเร็วขึ้น ป้องกันปัญหารอยเปื้อนหมึก (Smudging) ของแผ่นพิมพ์ล่างไปติดที่ด้านหลังของแผ่นพิมพ์บน (Set off) สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) นั้น น้ำยาฟาวน์เทนทั่วไป จะกำหนดไว้ที่ค่าระหว่าง 4.5 - 5.5 ถ้านำไปใช้กับหมึกโลหะ (metallic ink) หรือกระดาษอัลคาไลน์ (alkaline paper) น้ำยาฟาวน์เทนควรปรับค่า pH ให้สูงขึ้น น้ำที่นำมาผสมมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ต้องปราศจากสารที่ไม่ต้องการเช่น ไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซีย เพราะมีผลต่อสภาพความกระด้าง (hardness) ของน้ำ และการนำไฟฟ้า (electrical Conductivity)

2.2.7 สารละลาย IPA

IPA หรือ Iso propyl alcohol เป็นแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในโรงพิมพ์ ผลกระทบของ IPA ที่เห็นได้ชัดคือ ก่อให้เกิดสารไอระเหยที่กระจายไปทั่วโรงพิมพ์ และสุขภาพของช่างพิมพ์ที่สูดดมเข้าไป รวมถึงติดไฟ แนะนำให้ใช้ปริมาณ IPA ไม่ให้เกิน 8-10 % อย่างไรก็ตาม การใช้ IPA ยังมีประโยชน์หลายประการต่อคุณภาพงานพิมพ์ ตัวอย่างเช่น ช่วยให้การถ่ายโอนของน้ำยาฟาวน์เทนไปยังลูกกลิ้งหมึกและแม่พิมพ์ได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น เนื่องจาก IPA จะทำให้ความหนืด (viscosity) ของน้ำยาเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดชั้นฟิล์มของน้ำยาบนลูกกลิ้งและเพลตได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังช่วยลดสมบัติแรงตึงผิวของน้ำยาฟาวน์เทนลง ทำให้ความหนาชั้นฟิล์มของน้ำบนแม่พิมพ์ลดลง และความหนาของหมึกก็ลดตามลงมาด้วย ช่วยให้ภาพมีความคมชัด และ

ลดปริมาณการเกิดเม็ดสกรีนบวม เพิ่มสภาพการเปียกผิว (wetting) ของแม่พิมพ์ให้รวดเร็วและสม่ำเสมอมากขึ้น ไม่ทำให้ลูกกลิ้งสะสมความร้อนมากเกินไป ช่วยรักษาสภาพความสะอาดของระบบทำชื้นให้นานขึ้น และช่วยลดการนำไฟฟ้า และการเกิดฟองในน้ำยาได้ สำหรับข้อจำกัดของ IPA อาจทำให้ความมันวาวของชั้นหมึกพิมพ์ลดลงได้ ถ้าใช้ปริมาณมากเกินไป ดังนั้นในการปฏิบัติงานควบคุมหน่วยทำชื้นของช่างพิมพ์ ควรมีการวัดปริมาณ IPA ที่แม่นยำ ปรับลูกกลิ้งในหน่วยลงหมึกและหน่วยทำชื้นที่ถูกต้อง ตามข้อกำหนดของผู้ผลิต

2.2.8 หมึกพิมพ์

ปฏิพากย์ ปุ่นอุดม และไพบูลย์ กลมกล่อม (2559) กล่าวไว้ว่า ลักษณะประเภทหมึกมีลักษณะเหนียวข้น และหนืดเหนียว มีฐานเป็นน้ำมันเพื่อไม่ให้น้ำเข้ามาปะปนกับหมึก และมีความอิ่มตัวของผงสีโดยแบ่งเป็นแบบที่ 1 หมึกพิมพ์เหลว มีลักษณะการไหลเหมาะสมใช้ในการพิมพ์แบบพื้นนูน (การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี) และระบบการพิมพ์แบบพื้นลึก (การพิมพ์แบบกราวัวร์) แบบที่ 2 หมึกพิมพ์ข้นเหนียว หมึกพิมพ์เลตเตอร์เพรส (Letterpress) เป็นหมึกคล้ายหมึกออฟเซ็ตมีลักษณะเหนียวข้น บางทีก็ใช้แทนกันได้ และหมึกพิมพ์ออฟเซ็ตลิธอกราฟี (Offset Lithography) จะบางกว่าและมีความเข้มข้นมากกว่าหมึกเลตเตอร์เพรส (Letterpress) ซึ่งก็มีชนิดหมึกพิมพ์ออฟเซ็ตแบบป้อนแผ่นและแบบป้อนม้วน และแบบที่ 3 หมึกพิมพ์สกรีน (Screen) หมึกพิมพ์สกรีนก็แบ่งเป็น 2 แบบ คือแบบสกรีนธรรมดา และแบบสกรีนยูวี สำหรับองค์ประกอบหมึกพิมพ์ออฟเซ็ต Conventional Ink หรือหมึกที่แห้งตัวด้วยอากาศ หมึกพิมพ์สีโพรเซส (Cyan Magenta Yellow Black) สำหรับงานพิมพ์ออฟเซ็ตทั่วไปและงานบรรจุภัณฑ์ ที่ใช้วัสดุที่เป็นกระดาษและแห้งตัวด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation process) โดยมีองค์ประกอบของหมึกพิมพ์ออฟเซ็ตคือ ส่วนที่ 1 สารให้สี (colorant) มีหน้าที่ให้สีในหมึกพิมพ์ ทำให้เมื่อหมึกพิมพ์แห้งตัวบนวัสดุใช้พิมพ์แล้ว ทำให้เกิดภาพปรากฏขึ้นมาได้ โดยทั่วไปได้แก่ ผงสี และสีย้อม ผงสีมีทั้งผงสีอินทรีย์ ได้แก่ ผงสีกลุ่มสีเหลืองไดอะริไลด์ ฮันซา ผงสีกลุ่มสีแดง ได้แก่ สีแดงพารา โทลูอิดีนลิทอล โรดามีน เลค เรต ผงสีกลุ่มสีน้ำเงิน ได้แก่ สีน้ำเงินพทาโลไซ ยานิน อัลคาไลน์ ส่วนผงสีอนินทรีย์ ได้แก่ ผงสีขาว ไทเทเนียมไดออกไซด์ ซิ้งก์ซัลไฟต์ แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น ผงสีดำส่วนใหญ่จะเป็นคาร์บอนแบล็ค ผงสีตะกั่ว ผงสีแคดเมียม ผงสีอัลตรามารีนบลู เป็นต้น ผงแวว โลหะ เช่น สีเงินก็มีสารโลหะอลูมิเนียม สีทองก็ใช้สารผสมระหว่าง ทองเหลือง ทองแดงและโลหะอื่น ๆ อีกเล็กน้อยเพื่อปรับเฉดสีให้สดใส ส่วนสีย้อมเป็นสารให้สีอีกประเภทหนึ่ง ที่ให้ค่าความเข้มของสีสูง ความโปร่งสูงมาก แต่ในปัจจุบันได้รับความนิยมใช้ลดลงเนื่องจากสีย้อมละลายได้ในตัวทำละลาย ทำให้กำจัด

ทิ้งยากและก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมมากมายตามมา ส่วนที่ 2 ตัวพา (vehicle) เป็นของผสมระหว่าง สารยึดติด ตัวทำละลาย หรือน้ำมัน ตัวพานี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของหมึกพิมพ์ซึ่งจะมีผลต่อการแห้งตัวของหมึกพิมพ์และสภาพการไหล รวมทั้งความเหนียวหนืด ตัวพามีหลายประเภท ได้แก่ น้ำมันไม่ชักแห้ง (non-drying oil) เหมาะสำหรับใช้พิมพ์บนวัสดุที่ดูดซึมดี เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์หรือกระดาษบรูฟ ตัวอย่างเช่น ปิโตรเลียม ออยล์ และ โรซิน ออยล์ น้ำมันชักแห้ง (drying oil) ใช้ในหมึกพิมพ์ที่แห้งตัวด้วยวิธีออกซิเดชัน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้น้ำมันลินซีด เนื่องจากมีความหนืดที่สามารถกำหนดค่าได้ มีสมบัติการเปียกผิวผงสีได้ดี ช่วยให้การถ่ายโอนและการกระจายตัวของผงสีเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและสามารถยึดแน่นกับผิวกระดาษได้ดีอีกด้วย นอกจากนี้ ได้แก่ น้ำมันเมล็ดฝ้ายน้ำมันละหุ่ง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปลาในบางครั้งการใช้น้ำมันชักแห้งอาจต้องมีสารยึดติดสังเคราะห์ผสมอยู่ด้วย เพื่อช่วยปรับปรุงสภาพผิวหน้าของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ เช่น ความแข็งแรง ความมันวาว ความเรียบ เป็นต้น ซึ่งน้ำมันชักแห้งที่ผสมกับสารเหล่านี้ เรียกรวมกันว่า วาร์นิช (varnish) สารยึดติดฐานตัวทำละลาย (solvent resin) ใช้ในหมึกเหลวที่แห้งตัวด้วยการระเหย สำหรับหมึกกราเวียร์ ตัวทำละลายที่ใช้มักจะเป็นสารละลายไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดต่ำผสมรวมกับ กัมและสารยึดติด หมึกพิมพ์ เฟล็กโซกราฟีจะใช้ตัวทำละลายได้ทั้งแอลกอฮอล์ น้ำ และสารไอระเหยต่างๆ ผสมสารยึดติดที่เหมาะสม ส่วนหมึกพิมพ์ออฟเซ็ตมีส่วนผสมของสารยึดติดนี้รวมอยู่ด้วยกับสารตัวทำละลายอื่นๆ เพื่อควบคุมอัตราการระเหยให้เหมาะสม ไกลคอล (Glycol) ใช้ในหมึกพิมพ์ที่แห้งตัวโดยออกซิเดชันหรือการตกตะกอน ผสมรวมกับสารยึดติดที่ไม่ละลายน้ำ ในขณะที่ไกลคอลสามารถละลายรวมกับน้ำได้ การแห้งตัวจะใช้ไอน้ำหรือละอองน้ำเป่าไปที่ผิวหน้าสิ่งพิมพ์ น้ำจะละลายไกลคอล ทำให้สารยึดติดแยกออกมาพร้อมกับผงสีไปตกตะกอนติดที่สิ่งพิมพ์ได้ ไคลเอนท์ (Diluent) ใช้ในหมึกพิมพ์ยูวี ซึ่งตัวพาจะประกอบไปด้วยสารโมโนเมอร์และสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง กัมที่ละลายน้ำ (Water-soluble gum) เป็นตัวพาที่ออกแบบมาเฉพาะกับหมึกพิมพ์สีน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย กัม เช่น กัมอารบิค ละลายรวมตัวกับน้ำและกลีเซอรีน หมึกพิมพ์ชนิดนี้ใช้พิมพ์งานสิ่งพิมพ์ประเภทกระดาษปิดฝาผนัง บัตรอวยพรต่างๆ น้ำ (Water) เป็นตัวทำละลายที่สำคัญในหมึกพิมพ์ฐานน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่น้ำที่ใช้เป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง ส่วนที่ 3 สารเติมแต่ง (Additive) เป็นสารที่เพิ่มเข้าไปในหมึกเพื่อทำให้คุณสมบัติบางอย่างดีขึ้น หรือเพื่อปรับหมึกพิมพ์ให้มีคุณสมบัติดีขึ้นเมื่อนำไปใช้พิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์และเมื่อนำสิ่งพิมพ์ไปใช้งาน ซึ่งมีสารทำแห้ง (dryer) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวพา สารที่ใช้เป็นประเภทแวกซ์ ได้แก่ พาราฟินแวกซ์ ไขผึ้ง คาร์นูบาแวกซ์ พีอีแวกซ์ ทำหน้าที่ป้องกันซับหลังและไม่ให้

แผ่นกระดาษซ้อนติดกันในกองกระดาษ ทั้งยังช่วยต้านการเกิดรอยขีดข่วนได้ด้วย มีสารป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Anti-oxidant) ใช้ผสมเมื่อหมึกพิมพ์มีการแห้งตัวเร็วเกินไป มีสารป้องกันรังสียูวี (UV stabilizer) ใช้ผสมเมื่อต้องการเพิ่มคุณภาพของหมึกพิมพ์ให้สามารถใช้งานภายนอกได้ยาวนานยิ่งขึ้น มีสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติการเปียกผิวของหมึกพิมพ์และการกระจายตัวของผงสีให้ดียิ่งขึ้น มีสารกำจัดฟอง (Decloumer) เป็นสารที่ใช้เพื่อกำจัดฟองที่เกิดขึ้นทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตหมึกพิมพ์และงานพิมพ์

กฤตพงศ์ สูงตรง (2554:10) กล่าวไว้ว่า หน่วยจ่ายหมึกในการพิมพ์ออฟเซ็ต การควบคุมความหนาของของชั้นหมึกที่มีความเหมาะสมคือเกลี่ยหมึกหนาและมีความสม่ำเสมอโดยมีความหนาที่ 1 ไมครอนและโดยปกติหมึกพิมพ์ออฟเซ็ตจะกำหนดค่าอัตราส่วนน้ำยาฟาวน์เทน กับหมึกพิมพ์อยู่ที่ 20-40 %หมายความว่าจะให้ปริมาณน้ำยาฟาวน์เทน รวมตัวได้ที่ร้อยละ 20-40 ของปริมาณหมึกทั้งหมด

วัฒน์ พลอยศรี (2558:8-11) ได้กล่าวไว้ว่า ISO ได้กำหนดมาตรฐานหมึกพิมพ์ออฟเซ็ต ด้วยค่าสีของหมึกพิมพ์โพเซส 4 สีตามมาตรฐาน ISO 2846 ด้วยวิธีการที่ระบุใน ISO 2846-1 โดยปริมาณหมึกพิมพ์ที่ถ่ายทอดจากแม่พิมพ์/ผ้ายางไปสู่กระดาษจะเท่ากันแต่การซึมซับหมึกของกระดาษจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความหยาบพรุนของผิว กำหนดการจ่ายหมึกได้มาจากการทดสอบพิมพ์จ่ายหมึกจากน้อยไปหามากบนกระดาษอ้างอิงที่กำหนดโดย ISO2846-1 (L*= 95 , a* = 0 , b*= 5 , ค่าความมันวาว = 70-80% ค่าความสว่าง = 80 % และน้ำหนัก150 กรัม/ตรม. ซึ่งมีข้อสังเกตค่าเปรียบต่างภาพพิมพ์ จะพิจารณาที่ตำแหน่งน้ำหนักสี ¾ ซึ่งหมึกมาตรฐานบนกระดาษอ้างอิง ควรจะให้ค่า C = 45 % , Y = 37 % , K = 55 % กำหนดค่าช่วงยอมรับ ± 3 % และค่าการจับหมึกหรือแทร็ปปิ้งของสีแดง (M+Y) เขียว (C+Y) และน้ำเงิน (C+M) ได้ค่า 80 % + 5 % และ ISO ระบุช่วงการผลิตน้ำหนักสีที่ได้จากงานพิมพ์เพื่อเป็นหลักประกันคุณภาพงานพิมพ์

2.2.9 ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เป็นปฏิกิริยาที่เกิดอนุมูลจากการสูญเสียอิเล็กตรอนในอะตอมหรือโมเลกุลของ สารใดๆให้แก่สารอื่นหรือสิ่งแวดล้อมโดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่น สามารถเกิดได้ทุกแห่ง เช่น น้ำ น้ำมัน อาหาร ดิน อากาศและในสิ่งมีชีวิต ออกซิเจนเป็นสารธรรมชาติที่สามารถดึงอิเล็กตรอนมาจาก สารอื่นไว้ในตัวเองได้มากที่สุด จึงเกิดการทำลายวัตถุโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นโดยสารอนุมูลอิสระดังกล่าวซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นคือ ปัจจัยที่ 1 ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากโมเลกุลของไขมันในโมเลกุลของไขมันและน้ำมัน

มีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชั่น โดยอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดเร็วมากขึ้นเมื่อมีพันธะคู่มาก ทำให้ไขมันไม่อิ่มตัวเท่านั้นที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและกรดไขมันที่อยู่ในรูปซิสไอโซเมอร์จะเกิดการออกซิไดส์ได้เร็วกว่าทรานส์ไอโซเมอร์และตำแหน่งที่เป็นพันธะคู่แบบคอนจูเกตจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าพันธะคู่ที่ไม่เป็นคอนจูเกต ปัจจัยที่ 2 กรดไขมันอิสระที่อยู่ในรูปอิสระจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าที่อยู่ในรูปเอสเทอร์กับกลีเซอรอล ปัจจัยที่ 3 ความเข้มข้นของออกซิเจน ในสภาวะที่มีออกซิเจนมาก อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน แต่ในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อย อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน ปัจจัยที่ 4 อุณหภูมิ โดยอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิยังมีอิทธิพลต่อความดันย่อยอีกด้วย ปัจจัยที่ 5 พื้นที่ผิวต่อปริมาตร ซึ่งอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงของพื้นที่ผิวของไขมันที่สัมผัสกับอากาศ ดังนั้น หากอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจะเร็วขึ้น ปัจจัยที่ 6 พลังงานจากแสงและรังสีต่างๆ มีผลเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ดีขึ้น

2.10 ปัญหางานพิมพ์

ปัญหางานพิมพ์ที่พบบ่อย ปัญหาที่ 1 การเกิดสกัม (scumming) เกิดจากสาเหตุส่วนผสมของน้ำยาฟาวน์เทนไม่ถูกต้อง , ความเข้มข้นของน้ำยาไม่มากพอ , จ่ายหมึกหนาเกินไป , ลูกกลิ้งในระบบทำชื้นสกปรก ปัญหาที่ 2 เกิดรอยแถบลูกกลิ้ง (roller stripping) เนื่องจากลูกกลิ้งรับหมึกไม่สมบูรณ์ เนื่องจากลูกกลิ้งยางผิวเลี่ยน (glazed rollers) , มีคราบแคลเซียมเกาะที่ผิวลูกกลิ้ง , ลูกกลิ้งโลหะในหน่วยจ่ายหมึกรับน้ำแทนหมึก ปัญหาที่ 3 ภาพพิมพ์ขึ้นพื้น (tinting) เนื่องจากสารสีในหมึกกระจายตัว และละลายได้ดีในน้ำถ่ายโอนไปที่เพลต สู่ผ้ายางและกระดาษพิมพ์ตามลำดับสาเหตุ น้ำยาฟาวน์เทนเข้มข้นมากเกินไป / ค่าการนำไฟฟ้าสูง , ตัวกระจายเนื้อเดียวกัน (emulsifier) จากกระดาษ ปนเปื้อนในน้ำยาฟาวน์เทน ปัญหาที่ 4 หมึกไหลไปหน่วยทำชื้น ทำให้มีหมึกไปอยู่ในรางน้ำ , ความเข้มข้นของน้ำยาอ่อนเกินไป , น้ำยามีความเป็นด่าง pH > 7 , หมึกรวมตัวกับน้ำมากเกินไป (emulsification) , ลูกกลิ้งหน่วยทำชื้นถูกปนเปื้อนด้วยไขมัน / น้ำยาล้างหมึก , ขุยกระดาษไปเกาะหน่วยทำชื้น ทำให้รับหมึก ปัญหาที่ 5 หมึกมีน้ำรวมตัวมากเกินไป มองดูแฉะและเหนอะหนะในหน่วยจ่ายหมึก สาเหตุ จ่ายหมึกมากเกินไป , ความเข้มข้นของน้ำยาอ่อนเกินไป , หมึกกับน้ำยาฟาวน์เทนเข้ากันไม่ได้ , จ่ายน้ำยาฟาวน์เทนมากเกินไปที่แม่พิมพ์ , น้ำยาฟาวน์เทนถูกปนเปื้อนด้วยน้ำยาล้างหมึก ปัญหาที่ 6 ภาพพิมพ์กระดำกระด่าง (mottle print) สาเหตุ จ่ายน้ำยามาก

เกินไปในหน่วยพิมพ์แรก , ส่วนผสมน้ำยาไม่ถูกต้อง (เข้มข้นมากเกินไป) , แรงกดพิมพ์มากเกินไป ระหว่างแม่พิมพ์กับผ้ายาง , ผิวผ้ายางแข็งและมีคราบสกปรกเกาะเป็นมันวาว ปัญหาที่ 7 หมึกแห้งตัวช้า สาเหตุ ชั้นหมึกพิมพ์หนา , ค่า pH ของน้ำยาฟาวน์เทนต่ำกว่ามาตรฐาน , การรวมตัวของน้ำยาในหมึกพิมพ์สูง (emulsification) , อัตราการจ่ายน้ำยามากเกินไป ปัญหาที่ 8 สีแปรเปลี่ยนระหว่างพิมพ์สาเหตุ ค่าแรงตึงผิวของน้ำยาฟาวน์เทนต่ำเกินไป , หมึกพิมพ์กับน้ำยาฟาวน์เทนเข้ากันไม่ได้ , ระบบผสมน้ำยาฟาวน์เทนไม่คงที่ , มีคราบแคลเซียมเกาะที่ลูกกลิ้งในหน่วยลงหมึก ปัญหาที่ 9 หมึกพอกที่ผิวผ้ายาง สาเหตุ pH ของน้ำยาฟาวน์เทนค่อนข้างเป็นกรด < 3 ปัญหาที่ 10 แม่พิมพ์สึก สาเหตุ น้ำยาฟาวน์เทนมีความเป็นกรดสูง , น้ำยาฟาวน์เทนมีกลิ่น , ความเข้มข้นของน้ำยาต่ำ / มีรา และแบคทีเรียผสมอยู่ ปัญหาที่ 11 เกิดฟอง (foaming) สาเหตุ น้ำยาเก่าปนเปื้อนในระบบไหลเวียนของน้ำยา และปั๊มที่ใช้ในการดูดน้ำยา มีอาการติดขัด

2.3 งานวิจัยและบทความที่เกี่ยวข้อง

ปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์ (2554) การลดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนในกระบวนการผลิตกระจกวัตถุดิบ ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ดำเนินการวิจัยโดยใช้วงจรเดมมิ่ง โดยมีขั้นตอนการศึกษาหาข้อมูลปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตงานวิจัย ใช้แผนภูมิพาเรโต (Pareto) หาสาเหตุของปัญหาของเสีย ใช้เครื่อง Scanning electron microscope and energy dispersive X-ray spectroscopy วิเคราะห์ฝุ่นจากของเสียพบว่าฝุ่นนั้นเป็นเศษกระจกที่แตกออกมา ใช้ผังก้างปลา (Fishbone Diagram) วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีโอกาสเกิดปัญหาและใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment : DOE) เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัย โดยใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนอง เพื่อแก้ไขปัญหาโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการปฏิบัติงานที่เหมาะสม ออกแบบการทดลองแบบ 2-Level full factorial design พบปัจจัยที่มีผลกระทบมากกับของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบรวมแล้ว 9 ปัจจัย (ในเครื่องตัด 3 ปัจจัย, ในเครื่องแยกชิ้นกระจก 2 ปัจจัย และในระบบทำความสะอาดและกำจัดฝุ่น 4 ปัจจัย) หลังจากทำการทดลองแล้วได้ติดตั้งพารามิเตอร์ที่ใช้งานได้ ทำให้อัตราของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนลดลงเหลือ 10.95 % ของอัตราผลผลิต หรือลดลง 51.75 % ของอัตรา ก่อนปรับปรุง

จุฑามาศ รัตนกุล (2554) การลดข้อบกพร่องของกระบวนการบรรจุกุ้งแปรรูปซิชิแช่แข็ง ใช้แผนภูมิพาเรโต (Pareto) หาสาเหตุของปัญหาซึ่งพบจำนวน 6 ข้อที่สำคัญ ใช้แผนภูมิแสดงเหตุและผลด้วยการระดมสมอง (Brain storming) ใช้ตารางวิเคราะห์เหตุและผล (Cause and Effect Matrix)ประเมินความสัมพันธ์ของเหตุและผล ใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment : DOE) เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัย โดยใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบหาปัจจัย

นำเข้าที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนอง เพื่อแก้ไขปัญหาโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการปฏิบัติงานที่เหมาะสมและปรับปรุงกระบวนงานของพนักงานซึ่งมีปัจจัยที่ค้นพบจำนวน 5 ปัจจัย และเมื่อทดลองแล้วจึงใช้ค่าพารามิเตอร์เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงาน ซึ่งผลการไขปัญหาข้อบกพร่องของกระบวนการบรรจุกุ้งแปรรูปชิชิแช่แข็งด้วยการปฏิบัติต่อไปเป็นระยะเวลา 4 เดือน ข้อบกพร่องที่เกิดกับถุงลามิเนทลดลง 3.19 % และข้อบกพร่องทั้งหมดเหลือเพียง 0.01 %

จามร หรูจิตตวิวัฒน์ (2554) การศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตที่มีต่อต้นทุนรวมและคุณภาพของสบู่ก้อน ผู้ศึกษาวิจัยใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment : DOE) เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัย โดยใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนองโดยมีปัจจัยที่สำคัญจำนวน 3 ปัจจัย คือ อัตราไหลของไอน้ำ, % วาล์วถังลดแรงดันเฉียบพลันและ % กลีเซอรีนในสบู่เม็ด ทั้งนี้เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตสบู่ ซึ่งมีการเก็บข้อมูลความชื้นของกระบวนการผลิตสบู่เม็ดและเก็บค่าความแข็ง ปริมาณ น้ำหนักที่สูญเสียจากการระเหยของความชื้นในกระบวนการของสบู่ก้อน ผลการดำเนินการสามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ 13.3 ล้านบาท/ปี โดยจะต้องเปลี่ยนแปลงมาตรฐานช่วงความชื้นเป็น 12.2 + 0.8 % โดยไม่กระทบต่อคุณภาพค่าความแข็งของสบู่ก้อนและไม่กระทบด้านน้ำหนักของก้อนสบู่ที่สูญเสียจากการระเหยของความชื้น และเป็นไปตามกฎหมายที่กระทรวงพาณิชย์กำหนด

AI-Ghamdi (2011) การปรับปรุงการปฏิบัติของการออกแบบการทดลองในวิศวกรรมการผลิต ดำเนินการโดยใช้ (Design of experiment: DOE) เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัย ใช้การทดลองแบบแฟกทอเรียล 3 ระดับ โดยมีปัจจัยนำเข้า 4 ตัว ได้แก่ ความเร็วในการตัด, อัตราการป้อน, ความลึกของการตัดตามแนวรัศมีและค่าเผื่อ ซึ่งผลการทดลองถือได้ว่ามีความน่าเชื่อถือในระดับที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สลักจิตต์ พุทธจักร (2556) การลดรอบระยะเวลาในการผลิตของกระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม ดำเนินการโดยใช้แนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า มี 5 ขั้นตอนคือ นิยามปัญหา (Define) , การวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา(Measure) , การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze) , การแก้ไขกระบวนการและการควบคุมกระบวนการ มีการกำหนดเป้าหมายและการตรวจสภาพของปัญหาเบื้องต้น วิเคราะห์สาเหตุปัญหาด้วย ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) แล้วใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment : DOE) เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัย โดยใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนอง ดำเนินการตรวจสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับตั้งเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งมีปัจจัยที่นำมาทดลองจำนวน 6 ปัจจัย โดยใช้หลักการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

(One half –fraction factorial design) ซึ่งผลการทดลองสามารถลดรอบเวลาผลิตโดยเฉลี่ย 2.98 วินาที/ชิ้น เหลือ 2.75 วินาที/ชิ้น คิดเป็น 7.71 %

ยศวิน ศรีศักดิ์สรชาติ (2557) การลดของเสียประเภทจุดสีในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก ผู้ศึกษาวิจัยได้ใช้แนวทาง ซิกซ์ ซิกมา เพื่อศึกษา 1)สภาพปัญหา 2)กำหนดวัตถุประสงค์ 3)ขอบเขตในการปรับปรุง 4)กำหนดสาเหตุของปัญหา 5)วิเคราะห์ความถูกต้องของกระบวนการวัด ใช้การระดมสมอง (Brain storming) เพื่อหาสาเหตุของปัญหาในภาพรวม ใช้ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ประเมินความสัมพันธ์ของเหตุและผล วิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบเพื่อหาปัจจัยที่สำคัญ ใช้เครื่องมือระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ (Attribute Agreement Analysis) และใช้การออกแบบทดลอง ((Design of experiment : DOE) เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัย ในการตรวจสอบหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนอง ซึ่งมีปัจจัยนำเข้าจำนวน 4 ปัจจัย ใช้การทดลองแบบเชิงแฟกทอเรียล 2^k ซึ่งผลการแก้ปัญหาได้ปัจจัยที่เหมาะสมคืออัตราการป้อนวัตถุดิบที่10 เฮิรตซ์ ความเร็วในการนวดที่ 400 รอบ/นาที อุณหภูมิที่ใช้นวด 78 องศาเซลเซียส โดยหลังการปรับปรุงกระบวนการแล้วผลเสียลดลงเหลือเพียง 0.50% ซึ่งก่อนปรับปรุงผลเสียทั้งหมด 4.47 %

ขวัญชัย ห้วยลึก (2557) การลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโก่งของแขนจับหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ดำเนินการโดยใช้เครื่องมือทางสถิติและกราฟช่วยในการวิเคราะห์ โดยใช้แผนผังในการทำงาน (Process Mapping) และวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการ (FMEA) ใช้แผนภูมิพาเรโต (Pareto chart) พบปัจจัยที่อาจมีผลกระทบ 23 ปัจจัยจาก 6 กระบวนการ และประเมินความถูกต้องด้วยเครื่องมือ Attribute agreement analysis หลังจากนั้นนำข้อมูลมาทดสอบทางสถิติด้วย Hypothesis testing ซึ่งพบว่ามีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องและได้ปรับปรุงกระบวนการให้อย่างเหมาะสมด้วยวิธี Do Don't ซึ่งผลการปรับปรุงพบว่าของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโก่งลดลงจาก 15,649 PPM เป็น 9,263 PPM คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงเท่ากับ 5,360,254 บาท

ธีระพงษ์ สำราญ (2558) การลดของเสียของเหล็กหล่อเหนียวประเภทขนาดผิดรูปและทรายตก ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ใช้เครื่องมือ กราฟ , แผนภูมิพาเรโต (Pareto) ,การระดมสมอง (Brain storming) แผนผังก้างปลา (Cause and effect diagram) และแก้ไขปัญหาที่มีความขัดแย้งทางเทคนิคด้วยข้อเสนอจาก TRIZ ตารางถ่วงน้ำหนักการออกแบบการทดลองไชนินและการเปรียบเทียบ (Pre-control – chart) เป็นเครื่องในการวิจัยโดยการวิจัยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน 1) กำหนดปัญหาทำการวิเคราะห์ความผันแปรของปัญหา 2)หาสาเหตุหลักของปัญหาด้วยการระดมสมอง 3)ใช้การแก้ปัญหาด้วยวิธีการทดลองแบบไชนิน โดยสลับที่ของปัจจัยที่แย่ที่สุดกับปัจจัยที่ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่สุดและเมื่อเกิดความขัดแย้งของปัญหาทางเทคนิค ใช้เครื่องมือแก้ปัญหาในเชิงประดิษฐ์ช่วยแก้ปัญหา (TRIZ) และใช้ตารางถ่วงน้ำหนัก (Weight sum method) ช่วยคัดกรองแนวคิดด้วย หลังจากนำไปออกแบบทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ดีที่สุด 4)นำข้อแก้ไขปัญหาไปปฏิบัติ 5)ติดตามและประเมินผล ซึ่งผลการแก้ไขพบว่าปัญหาขนาดผิดรูปก่อนทำปริมาณ 9.11 % หลังปรับปรุง 1.58 % มีสัดส่วนลดลง 7.53 % และปัญหาตกทรายปริมาณข้อบกพร่องก่อนปรับปรุง 4.95 % หลังจากปรับปรุง 0.60 % สัดส่วนลดลง 4.35 %

สรารัตน์ ชาลีกัน (2558) การปรับปรุงค่าความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการอบแห้ง ดำเนินการโดยใช้แนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า มี 5 ขั้นตอนคือ นิยามปัญหา (Define) , การวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure) , การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze) , การแก้ไขกระบวนการและการควบคุมกระบวนการ และใช้เครื่องมือ Cause and Effect diagram ค้นหาสาเหตุของปัญหา ใช้ Cause and Effect Matrix เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ใช้เครื่องมือแนวทาง FMEA วิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่างๆ และใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment : DOE) เป็นเครื่องมือในการทดลองโดยใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนอง ซึ่งพบว่ามีปัจจัยที่นำเข้าจำนวน 4 ปัจจัยคือ(ชนิดเชื้อเพลิง, อัตราการป้อนเชื้อเพลิง,ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง,ปริมาณลมร้อนขาเข้าขาออก) ซึ่งการศึกษาวิจัยนำไอน้ำเหลือใช้จากโรงไฟฟ้ามาใช้ในกระบวนการอบ โดยเชื้อเพลิงที่อบคือไฟเบอร์ผสม(ทะลายปาล์ม เปลือกมะพร้าว และเปลือกไม้) และไม้ชิพ ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่า % ความชื้นลดลงจากเดิมก่อนปรับปรุงความชื้นลดลง 10 % หลังปรับปรุงความชื้นลดลง เป็น 23.74 % ทำให้ค่าความร้อนเชื้อเพลงเพิ่มขึ้น 4,028 เมกกะจูลต่อตันต่อเดือน ต้นทุนในกระบวนการอบแห้งเฉลี่ยลดลงจาก 0.417 บาทต่อเมกกะจูลเป็น 0.122 บาทต่อเมกกะจูล คิดเป็นมูลค่าต้นทุนที่ประหยัดได้ 4,583,028 บาท/ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ธิดารัตน์ ธัญญรักษ์ (2558) การลดเวลาการหมุนเวียนน้ำชะล้างเรซินในการผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุ ดำเนินการโดยใช้แนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า มี 5 ขั้นตอนคือ นิยามปัญหา (Define) , การวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure) , การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze) , การแก้ไขกระบวนการและการควบคุมกระบวนการ มีการใช้แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect diagram) ค้นหาสาเหตุของปัญหา ใช้ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ และใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment : DOE) เป็นเครื่องมือในการทดลองในการตรวจสอบหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนอง โดยพบปัจจัยนำเข้าจำนวน 5 ปัจจัย (ความเสื่อมสภาพของเรซินประจุลบ,อัตราเร็วที่ล้างอย่างช้าที่ถัง Anion, ปริมาณน้ำล้างอย่างช้าที่ถัง Anion, อัตราเร็วของการ

ล้างอย่างช้าถัง Cation, ปริมาณน้ำของการล้างอย่างช้าถัง Cation) โดยศึกษาปัจจัยสำคัญนำเข้าที่มีผลต่อการหาระยะเวลาการหมุนเวียนน้ำเพื่อชะล้างเรซิน ซึ่งผลการปรับปรุง ระยะเวลาหมุนเวียนน้ำชะล้างเรซินมีระยะเวลาลดลง 85 % จาก 150 นาที เหลือ 23 นาที สามารถผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุได้เพิ่มขึ้น 10,780 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน

อาภาพร จันทะมาศ (2559) การเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตสีย้อมผ้า ดำเนินการโดยใช้แนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า มี 5 ขั้นตอนคือ นิยามปัญหา (Define) , การวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure) , การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze) , การแก้ไขกระบวนการและการควบคุมกระบวนการค้นหาสาเหตุของปัญหา มีการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ใช้ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ และใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment : DOE) เป็นเครื่องมือในการทดลองโดยใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนอง โดยปัจจัยที่พบมี 5 ปัจจัยคือจำนวนหัวฉีด , ขนาดหัวฉีด, ปริมาณน้ำล้างเมมเบรน,ปริมาณน้ำล้างระบบและอุณหภูมิอากาศร้อน ซึ่งผลการศึกษาวิจัย พบว่าผลิตภาพของสีประเภทดีดายเพิ่มขึ้นจาก 19.97 % เป็น 31.69 % ซึ่งผลิตภาพมีค่าเพิ่มขึ้น 58.66 %

ณัฐกานต์ ชูวงษ์วัฒนะ (2561) การบริหารจัดการและควบคุมความเสี่ยงเชิงคุณภาพสำหรับบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกที่มีการลดน้ำหนัก ใช้เครื่องมือการบริหารความเสี่ยง (Rick management) ซึ่งเป็นกระบวนการคิดวิเคราะห์ การคาดคะเนเหตุการณ์หรือความเสี่ยงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น กำหนดแนวทางในการบริหารความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมหรือยอมรับได้และใช้วิธีระดมสมอง (Brain storming) ประเมินความเสี่ยงจากผลิตภัณฑ์และบริการใช้เครื่องมือ Rick cause and effect analysis เพื่อใช้ระบุสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา ใช้แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect diagram) ระดมสมองสร้างภาพความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล ใช้หลัก FMEA ในการปรับปรุงคุณภาพและใช้เครื่องมือ หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment : DOE) เป็นเครื่องมือในการทดลองโดยใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนอง ซึ่งมีปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัยคือแรงที่ใช้ในการปิดฝา กับความเร็วในการหมุนปิดฝาโดยใช้การทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) ซึ่งผลการทดลองและพบว่าก่อนปรับปรุงมีสัดส่วนของเสียฉลากเป็นฟองอากาศ 15 % หลังการทดลองพบสัดส่วนของเสียฉลากเป็นฟองอากาศ จำนวน 1 % ลดจำนวนของเสียในกระบวนการได้ถึง 93.3 %

อนุธิดา ทองอร่าม (2561) การลดต้นทุนโดยการปรับส่วนผสมแก้วและปัจจัยในกระบวนการหลอม ใช้แผนผังกระบวนการผลิต (Process Mapping) เพื่อให้เห็นภาพรวมของขบวนการผลิต ใช้การใช้วิธีระดมสมอง (Brain storming) เพื่อให้ได้ความคิดใหม่ๆในการแก้ไข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัญหา ใช้แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect diagram) เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุทั้งหมด ใช้ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรที่มีผลตอบสนอง และใช้เครื่องมือ หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment : DOE) เป็นเครื่องมือในการทดลองโดยใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนอง โดยพบตัวแปรนำเข้า 3 ตัวแปร คือ อุณหภูมิเตาหลอม , ปริมาณความชื้นส่วนผสมและสัดส่วนปริมาณเศษแก้วต่อปริมาณวัตถุดิบหลัก และวิธีทดลองแบบใช้แบบบ็อกซ์- เบห์นเคน ผลการศึกษาทดลองต้นทุนการผลิตลดลง 5,220,648 บาทต่อปี ฟองอากาศลดลงได้6.83 %

วิทยา เจนจิวัฒนกุล (2554) การลดของเสียในกระบวนการพิมพ์พลาสติกโดยแนวทางซิกซ์ซิกม่า ดำเนินการโดยใช้แนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า มี 5 ขั้นตอนคือ นิยามปัญหา (Define) , การวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure) , การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze) , การแก้ไขกระบวนการ และ การควบคุมกระบวนการ ซึ่งค้นหาสาเหตุของปัญหา วิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect diagram) ได้ปัจจัยจำนวน 20 ปัจจัย และใช้ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) และหลังจากนั้นใช้เครื่องมือ FMEA (Failure Mode and effect analysis) คัดกรองปัจจัยทำให้เหลือปัจจัย 3 ปัจจัย หลังจากนั้นใช้เครื่องมือหลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment : DOE) เป็นเครื่องมือในการทดลองโดยใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนอง พบปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัย คือค่าความหนืดของสี, มุมของการปาดหมึกและรูปแบบขั้นตอนวิธีการล้างบล๊อค ด้วยวิธีทดลองแบบแฟกทอเรียล และเมื่อได้ปัจจัยที่เหมาะสมแล้วนำไปใช้สร้างแนวทางในการควบคุม ซึ่งผลการศึกษาวิจัยภายหลังการปรับปรุงพบว่าของเสียลดลงเหลือ 1.53 % ซึ่งเท่ากับว่าสามารถลดปริมาณของเสียได้ถึง 86.90 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการที่ได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้ข้อสังเกตว่า ผู้ศึกษาวิจัยได้มีการค้นหาปัญหาหลังจากนั้นจะวางแผนใช้แนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า มี 5 ขั้นตอนคือ นิยามปัญหา (Define) , การวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure) , การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze) , การแก้ไขกระบวนการและการควบคุมกระบวนการ ซึ่งผู้ที่ศึกษาวิจัยที่ใช้แนวทางนี้ เช่น (วิทยา เจนจิวัฒนกุล, 2554) (สลักจิตต์ พุทธจักร, 2556) (ยศวิน ศรีศักดิ์สรชาติ, 2557) (สรารัตน์ ชาลีกัน, 2558) (ธิดารัตน์ ธัญญรักษ์, 2558) (อาภาพร จันทะมาศ, 2559) หลังจากนั้นจะใช้เครื่องมือในการคัดกรองปัญหาที่สำคัญ เช่นใช้แผนภูมิพาเรโต (Pareto) เพื่อให้ปัจจัยที่สำคัญที่ก่อผลกระทบ ตามกฎพาเรโต 80/20 ซึ่งผู้ที่ศึกษาวิจัยที่ใช้แนวทางนี้เช่น (ปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์, 2554) (จุฑามาศ รัตนกุล, 2554) (ขวัญชัย ห้วยลึก, 2557) (ธีระพงษ์ สำราญ, 2558) หลังจากนั้นผู้ศึกษาวิจัยใช้วิธีระดมสมอง (Brain storming) หารากของปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา (Cause

and effect diagram) เพื่อหาสาเหตุและจะใช้ 4 M+1E (Man = คน , Material = วัสดุ , Method = วิธีการ , Machine = เครื่องจักร และ Environment=สิ่งแวดล้อม) แยกเป็นประเภทต่างๆของปัญหา ซึ่งผู้ที่ศึกษาวิจัยที่ใช้แนวทางนี้เช่น (ปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์, 2554) (จุฑามาศ รัตนกุล, 2554) (ธีระพงษ์ สำราญ, 2558) (สรารัตน์ ชาลีกัน, 2558) ฯ หลังจากนั้นผู้ศึกษาวิจัยจะใช้ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ให้น้ำหนักปัจจัยที่สำคัญ ซึ่งมีผู้ศึกษาวิจัยที่ได้ใช้เครื่องมือนี้ เช่น (วิทยา เจนจิวัฒนกุล, 2554) (สรารัตน์ ชาลีกัน, 2558) (ธิดารัตน์ ธัญญรักษ์, 2558 (อาภาพร จันทะมาศ, 2559) และหลังจากนั้นใช้เครื่องมือ FMEA (Failure Mode and effect analysis) เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงคัดกรองปัจจัย ผู้ศึกษาวิจัยที่ได้ใช้เครื่องมือนี้ เช่น (วิทยา เจนจิวัฒนกุล, 2554) (ขวัญชัย ห้วยลึก, 2557) (สรารัตน์ ชาลีกัน, 2558) (ณัฐกานต์ ชูวงษ์วัฒนะ, 2561) ทำให้เหลือปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมกับการศึกษาวิจัย หลังจากนั้นผู้ศึกษาวิจัยจะใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment : DOE) ออกแบบการทดลองโดยคำนึงถึงจำนวนปัจจัยที่สำคัญโดยแต่ละผู้ศึกษาวิจัยใช้วิธีออกแบบทดลองที่เหมาะสมของแต่ละบุคคล ทำการศึกษาวิจัยซึ่งผู้ศึกษาวิจัยที่เคยใช้วิธีนี้เช่น (ปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์, 2554) (วิทยา เจนจิวัฒนกุล, 2554) (จามร หรูจิตตวิวัฒน์, 2554) (สลักจิตต์ พุทธจักร,2556) (ยศวิน ศรีศักดิ์สรชาติ, 2557) (สรารัตน์ ชาลีกัน, 2558) (ธิดารัตน์ ธัญญรักษ์, 2558) (อาภาพร จันทะมาศ, 2559) (อนุธิดา ทองอร่าม, 2561) (ณัฐกานต์ ชูวงษ์วัฒนะ,2561) หลังจากนั้นผู้ศึกษาวิจัยบางท่านได้นำเครื่องมือวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ (Attribute Agreement Analysis) เข้ามาใช้ (ขวัญชัย ห้วยลึก, 2557) (ยศวิน ศรีศักดิ์สรชาติ, 2557) แต่บางท่านก็ใช้วิธีการอื่นๆเช่นวิธี Do Don't และวิธีไชนิน เพื่อค้นหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง และหลังจากนั้นก็จะนำผลการทดลองที่ได้ไปทดลองใช้และสามารถแก้ไขปัญหาต่างๆได้ไปในแนวทางเดียวกันคือ ทำให้มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึง ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย โดยมีการจัดตั้งคณะทำงาน การอธิบายของกระบวนการผลิตฉลาก เก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อบกพร่องของปัญหา ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของปัญหาและหาปัจจัยที่จะส่งผลต่อสาเหตุของปัญหา คัดเลือกปัจจัย สรุปปัจจัยพร้อมกับเหตุผลการสนับสนุนการคัดเลือกปัจจัย การอธิบายถึงวิธีการวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัดและการออกแบบการทดลอง

3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน

ในการทำงานศึกษาวิจัยเรื่องการลดระยะการแห้งตัวของงานพิมพ์ได้มีการจัดตั้งคณะทำงานเพื่อให้การศึกษาวิจัยประสบความสำเร็จมากที่สุด การจัดตั้งคณะทำงานจะประกอบด้วยบุคลากรและผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับปัญหาระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก เพื่อช่วยให้ข้อมูลหรือคำปรึกษาในด้านต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่องานศึกษาวิจัย รวมถึงร่วมกันทำงานเป็นทีมเพื่อให้งานศึกษาวิจัยบรรลุเป้าหมายไปได้อย่างราบรื่นและมีระบบแบบแผน โดยคณะทำงานจะประกอบไปด้วย

3.1.1 ผู้อำนวยการผลิต

3.1.2 ผู้จัดการฝ่ายผลิตงานพิมพ์ Offset

3.1.3 ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ

3.1.4 วิศวกรการผลิต

3.1.5 หัวหน้างานประจำเครื่องพิมพ์

3.1.6 หัวหน้างานประจำเครื่องตัด

3.1.7 พนักงาน Inspection

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิตฉลาก

จากโรงพิมพ์ที่ศึกษาจะมีผลิตภัณฑ์หลายประเภทแต่เนื่องจากผู้ศึกษาวิจัยมีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงในสายการผลิตฉลาก จึงมุ่งเน้นศึกษาวิจัยและปรับปรุงในส่วนของสายการผลิตฉลาก โดยแบ่งรายละเอียดกระบวนการผลิตฉลากดังนี้

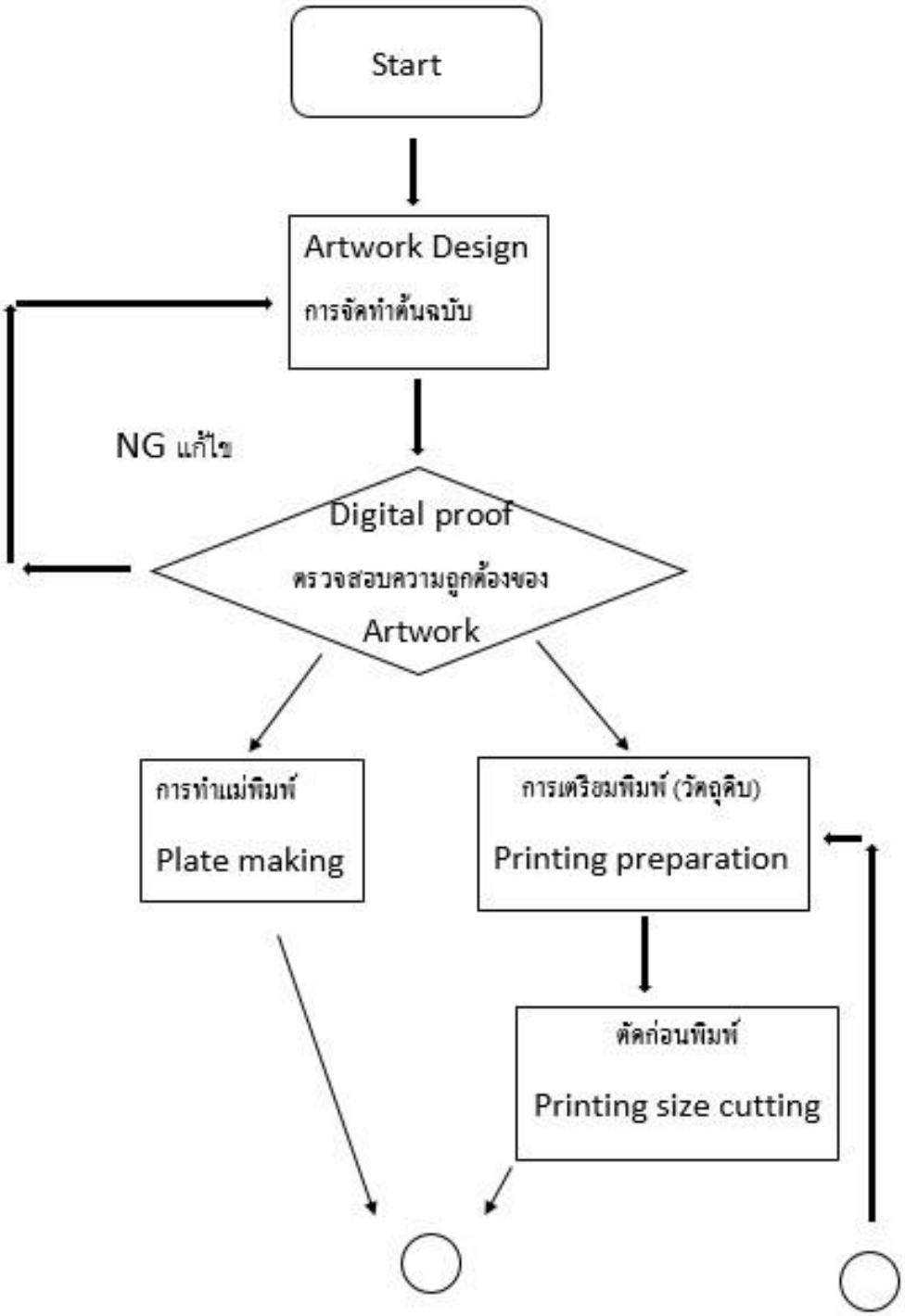
3.2.1 ขั้นตอนก่อนพิมพ์ (Pre-press) คือ ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบให้พร้อมสำหรับกระบวนการพิมพ์ โดยจัดทำต้นฉบับ (Artwork Design) คือขั้นตอนการจัดทำ Artwork ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า โดยมีการตรวจเช็คความถูกต้องของ Artwork จากการทำ Digital proof เพื่อให้ลูกค้าตรวจสอบโดยอาจมีปัญหาแก้ไขเมื่อยังไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้าหรือเมื่อตรงตามความต้องการของลูกค้า ลูกค้าจะทำการอนุมัติ Digital proof เพื่อทำการผลิตต่อไป การทำแม่พิมพ์ (Plate making) คือการนำไฟล์ Art work ที่ได้รับอนุมัติจากลูกค้า มาทำการแยกสีเพื่อทำเป็นแม่พิมพ์โดยระบบ Computer to plate การเตรียมพิมพ์ (Preparation printing) คือการเตรียมวัตถุดิบให้พร้อมสำหรับกระบวนการพิมพ์ ตัวอย่างเช่น หมึก กระดาษ สารเคลือบ และแป้งพ่น เป็นต้น และตรวจสอบความถูกต้องของวัตถุดิบให้ตรงกับใบสั่งผลิต การตัดกระดาษก่อนพิมพ์ (Printing size cutting) คือการนำกระดาษมาตัดตามขนาดตามใบสั่งผลิตโดยเครื่องตัด (Guillotine) เพื่อนำเข้าเครื่องพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์ต่อไป

3.2.2 กระบวนการพิมพ์ (Press) คือ เป็นกระบวนการที่พิมพ์หมึกลงบนกระดาษเพื่อให้เกิดเป็นภาพ โดยระบบเครื่องพิมพ์ offset จะใช้เทคนิคหมึกถ่ายทอดลงบนแม่พิมพ์ แม่พิมพ์จะถ่ายโอนหมึกไปบนผ้ายาง และสุดท้ายผ้ายางจะถ่ายโอนหมึกลงบนกระดาษ หลังจากที่กระดาษผ่านกระบวนการพิมพ์เสร็จสิ้นแล้ว จะทำการพักกระดาษเป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อให้หมึกยึดเกาะกับกระดาษอย่างแห้งสนิท จึงจะนำไปสู่กระบวนการต่อไป

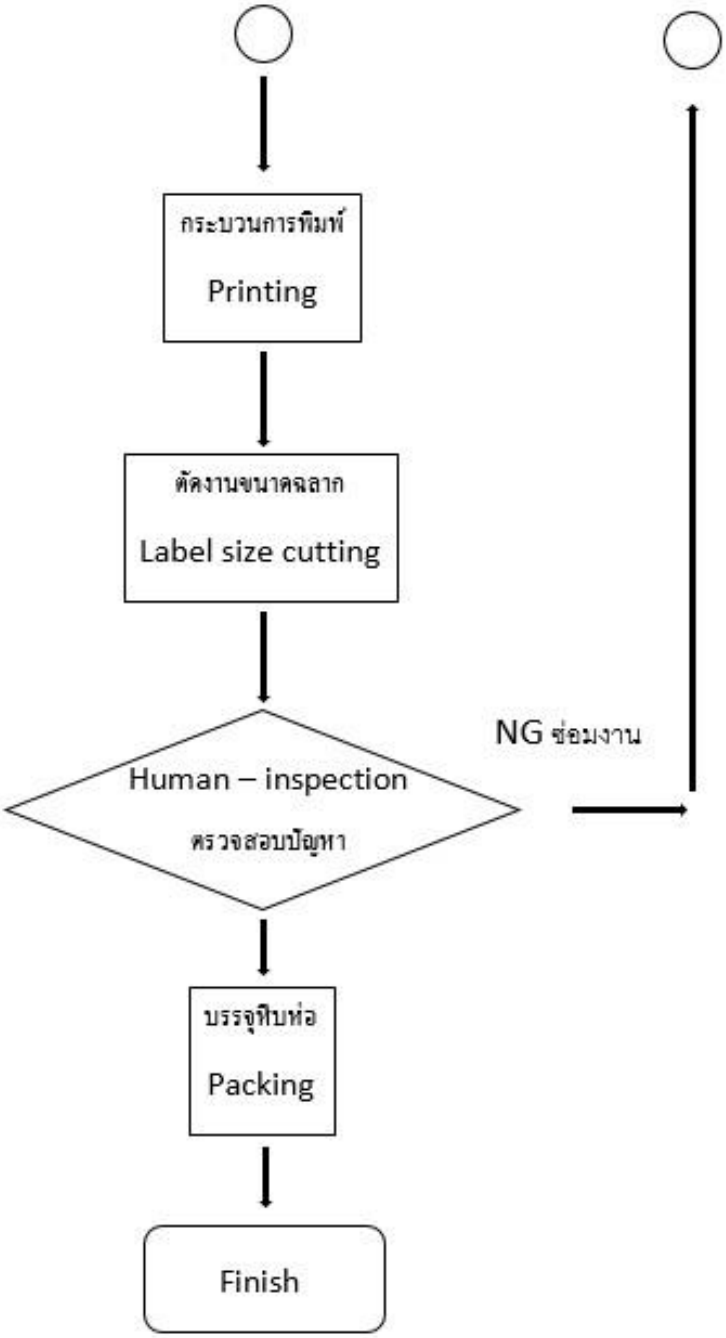
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.3 กระบวนการหลังการพิมพ์ (Post-press) มีงานการตัดงานขนาดฉลาก (Label size cutting) คือการนำกระดาษที่ผ่านกระบวนการพิมพ์และถูกทิ้งไว้ 72 ชั่วโมง มาทำการตัดโดยเครื่องตัด (Guillotine) ให้ได้ขนาดของฉลากตามมาตรฐาน การตรวจสอบ (Human – inspection) คือขั้นตอนการตรวจสอบฉลากเพื่อหาความผิดปกติหรือของเสีย เพื่อไม่ให้ฉลากที่ไม่ถูกต้องตามมาตรฐานส่งถึงลูกค้า การบรรจุหีบห่อ (Packing) คือการนำงานฉลากที่ถูกต้องตามมาตรฐาน (Finish good) บรรจุลงกล่องเพื่อส่งให้กับลูกค้า

ภาพที่ 3.1 แผนภาพการผลิตงานพิมพ์ฉลาก



ภาพที่ 3.1 (ต่อ) แผนภาพการผลิตงานพิมพ์ฉลาก



3.3 การเก็บข้อมูล

3.3.1 ข้อบกพร่อง

เนื่องจากธุรกิจการพิมพ์ปัจจุบันมีการแข่งขันที่สูงมากขึ้น ทำให้การตอบสนองความต้องการของลูกค้าเป็นเรื่องที่สำคัญ กระบวนการพิมพ์ฉลากเป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการผลิตฉลาก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความเชี่ยวชาญและต้องใช้ต้นทุนสูงในการลงทุนทั้งด้านเครื่องจักรด้านวัตถุดิบ ดังนั้นผู้ศึกษาวิจัยจึงหาข้อบกพร่องที่ส่งผลกระทบกับโรงพิมพ์ที่ศึกษา โดยเป็นข้อบกพร่องที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทั้งหมด เนื่องจากหลังจากกระบวนการพิมพ์สำหรับงานฉลาก จะต้องทำการวางแผ่นฉลากเพื่อให้งานแห้งสนิทใช้เวลา 72 ชั่วโมงหรือ 3 วัน จึงจะสามารถนำไปสู่กระบวนการต่อไปได้ ทำให้เกิดช่องว่างในกระบวนการผลิตถึง 3 วัน ส่งผลทำให้ฝ่ายขายไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทั้งหมด

3.3.2 การตรวจสอบและเก็บข้อมูลข้อบกพร่อง

ในการตรวจสอบเพื่อเก็บข้อมูลของข้อบกพร่องทุกประเภทที่เกิดขึ้นกับโรงพิมพ์ที่ศึกษาและสายการผลิตมีการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์คือ กำไรที่โรงพิมพ์ที่ศึกษาเสียไปเนื่องจากฝ่ายผลิตไม่สามารถตอบสนองลูกค้าได้ ผู้ศึกษาวิจัยจึงเก็บข้อมูลจำนวนงานฉลากที่ฝ่ายผลิตไม่สามารถตอบสนอง ความต้องการกับฝ่ายขายและลูกค้าได้เนื่องจากเวลาการผลิตไม่เพียงพอ ตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2563 – มีนาคม พ.ศ. 2564 เพื่อให้เห็นถึงกำไรที่โรงพิมพ์ที่ศึกษาเสียไปในระยะเวลาที่ผ่านมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.1 สถิติแสดงกำไรที่โรงพิมพ์ที่ศึกษาสูญเสีย

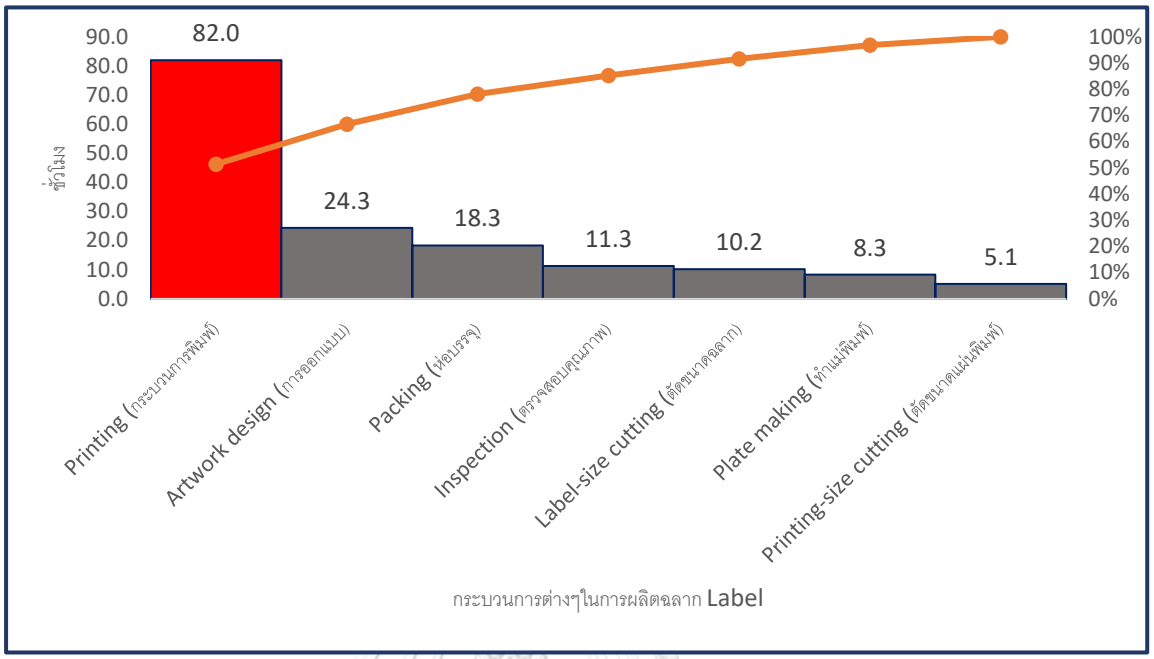
ปี พ.ศ.	เดือน	Unit	จำนวนชิ้น	จำนวนเงิน (บาท)
2563	ม.ค.	ชิ้น	3,400,000	136,000
	ก.พ.	ชิ้น	13,500,000	540,000
	มี.ค.	ชิ้น	3,500,000	140,000
	เม.ย.	ชิ้น	3,170,000	126,800
	พ.ค.	ชิ้น	3,190,000	127,600
	มิ.ย.	ชิ้น	2,800,000	112,000
	ก.ค.	ชิ้น	2,800,000	112,000
	ส.ค.	ชิ้น	2,000,000	80,000
	ก.ย.	ชิ้น	1,950,000	78,000
	ต.ค.	ชิ้น	2,050,000	82,000
	พ.ย.	ชิ้น	2,150,000	86,000
	ธ.ค.	ชิ้น	1,970,000	78,800
2564	ม.ค.	ชิ้น	3,470,000	138,800
	ก.พ.	ชิ้น	3,560,000	142,400
	มี.ค.	ชิ้น	4,240,000	169,600
			จำนวนชิ้นรวม 53,750,000	
จำนวนเงินทั้งหมด				2,150,000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กำไรงานฉลากหน่วยละ 0.04 บาท

จากตารางที่ 3.1 สถิติแสดงกำไรที่โรงพิมพ์ที่ศึกษาเสียไปเนื่องจากเวลาในการผลิตไม่เพียงพอช่วงเดือนมกราคม 2563 – มีนาคม 2564 จะเห็นได้ว่าเนื่องจากทางฝ่ายผลิตไม่สามารถผลิตงานฉลากได้ทันตามความต้องการของฝ่ายขายและลูกค้า ทำให้ทางบริษัทสูญเสียกำไรรวมเป็นจำนวนเงิน 2,150,000 บาท ผู้ศึกษาวิจัยจึงได้หาข้อมูลเวลาที่ใช้แต่ละกระบวนการในการผลิตฉลากเพื่อวิเคราะห์หากระบวนการผลิตที่ใช้เวลามากที่สุด

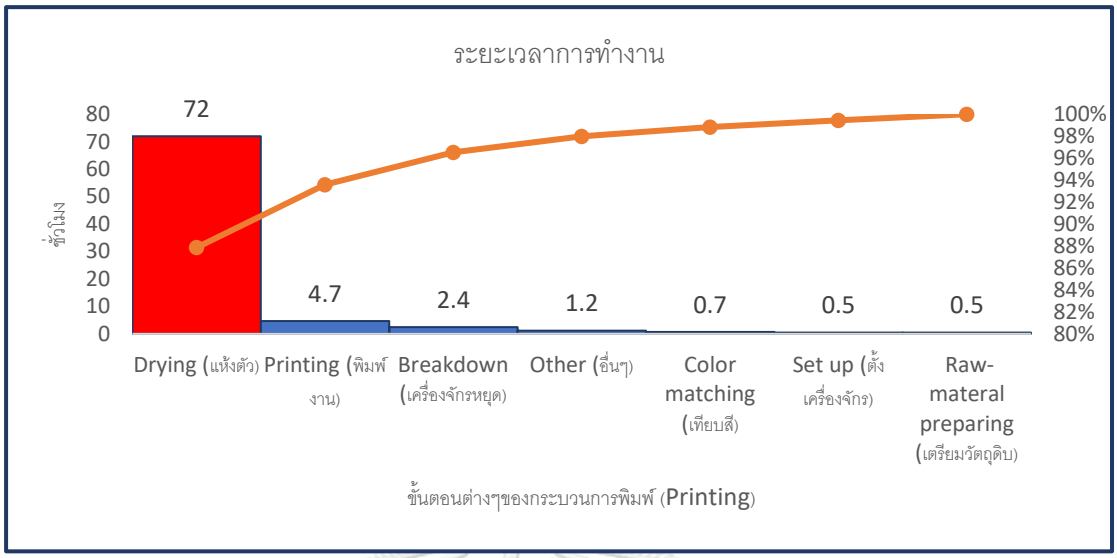
ภาพที่ 3.2 สถิติแสดงระยะเวลาเฉลี่ยใช้ในการผลิตของกระบวนการพิมพ์แต่ละขั้นตอน



จากภาพที่ 3.2 จะแสดงระยะเวลาเฉลี่ยใช้ในการผลิตของกระบวนการพิมพ์แต่ละขั้นตอน (Printing) ห้วง มกราคม 2563 – มีนาคม 2564 ซึ่งพบว่าว่ากระบวนการพิมพ์ (Printing) ใช้เวลาการผลิตมากที่สุดเท่ากับ 82 ชั่วโมง

หลังจากนั้นผู้ศึกษาวิจัยได้เก็บข้อมูลขั้นตอนต่างๆของกระบวนการพิมพ์ เพื่อหาขั้นตอนที่ทำให้กระบวนการพิมพ์ใช้เวลามากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 3.3 แสดงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการพิมพ์

จากภาพที่ 3.3 พบว่าขั้นตอนการแห้งตัวของงานหลังจากผ่านเครื่องพิมพ์เป็นขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลามากที่สุดถึง 72 ชั่วโมง

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระยะการแห้งตัว (Drying) ของฉลากที่เกิดขึ้นที่กระบวนการพิมพ์ส่งผลต่อระยะเวลาในการผลิตมากที่สุดเท่ากับ 72 ชั่วโมงจากระยะเวลาการผลิตทั้งหมด 159.5 ชั่วโมง ซึ่งส่งผลทำให้บริษัทเสียกำไรและไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันเวลา

3.4 วิเคราะห์ข้อบกพร่อง

คณะทำงานที่มีความเชี่ยวชาญและเกี่ยวข้องกับหัวข้อศึกษาวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการผลิตฉลากอย่างละเอียดรวมถึงมีการเก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

3.4.1 ข้อมูลกำไรที่โรงพิมพ์ที่ศึกษาเสียไปเนื่องจากฝ่ายผลิตฉลากไม่สามารถผลิตได้ทันความต้องการของลูกค้า คิดเป็นจำนวนเงิน 2,150,000 บาท ในช่วง มกราคม 2563 ถึง มีนาคม 2564

3.4.2 ระยะเวลาสำหรับกระบวนการผลิตงานฉลาก จากข้อมูล (มกราคม 2563 – มีนาคม 2564) พบว่าขั้นตอนการรอแห้งฉลากแห้งตัวของกระบวนการพิมพ์ ใช้ระยะเวลามากที่สุดในการผลิต คือ 72 ชั่วโมง ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ไม่เกิดคุณค่า (Non-value added)

จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าวคณะทำงานจึงได้มีการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและกำหนดเป้าหมายของการศึกษาวิจัยคือ การลดระยะการแห้งตัวของฉลากจาก 72 ชั่วโมงให้ลดลง 40% ของระยะเวลาการแห้งตัวเดิม เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ไม่เกิดคุณค่า (Non-value added)

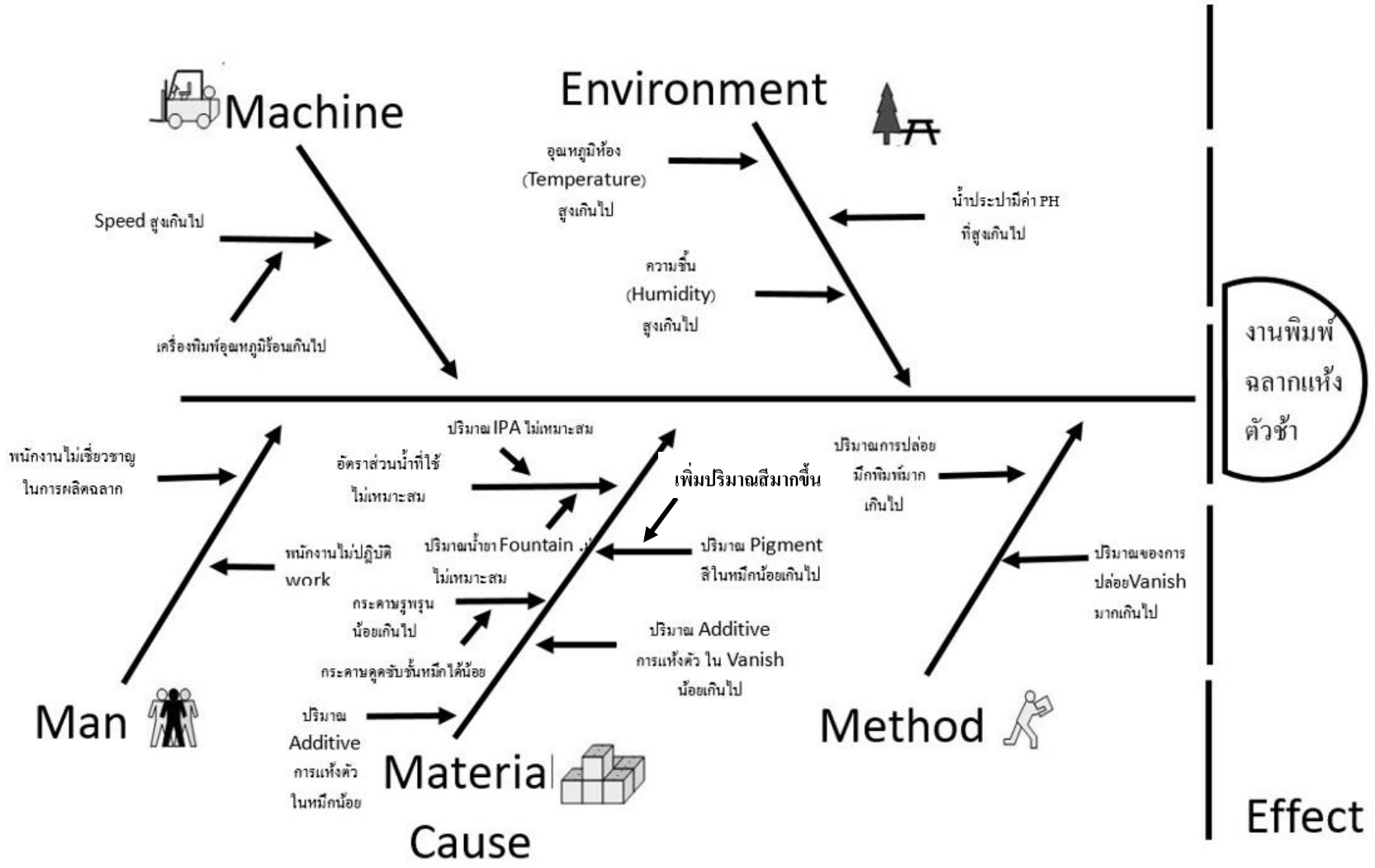
3.5 การระดมสมอง (Brain storming)

การระดมสมองเพื่อนำปัจจัยเข้าในส่วนนี้จะมีการระดมสมอง (Brain storming) กับคณะทำงานเพื่อหาปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่อปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อทำการออกแบบการทดลอง โดยใช้เครื่องมือต่างๆ ดังนี้

3.5.1 แผนภาพก้างปลา (Cause & Effect Diagram)

ระดมความคิดกับทีมคณะจัดทำเพื่อหาปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่อปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยทำแผนภาพก้างปลา (Cause & Effect Diagram) ซึ่งคณะทำงานจะได้ปัจจัยดังกล่าวทั้งหมด 5 ด้าน (4M1E) คือ สาเหตุจากคน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) กระบวนการ (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 3.4 แสดงปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่อปัญหาโดยใช้แผนภาพก้างปลา (Cause & Effect Diagram)

3.5.2 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยตารางความสัมพันธ์และเหตุผล (Cause & Effect Matrix)

จากการระดมสมองของคณะทำงานเพื่อหาปัจจัยที่น่าจะเป็นไปได้ที่ส่งผลต่อระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากโดยใช้แผนภาพก้างปลาภาพที่ 3.4 ซึ่งสรุปได้ปัจจัยดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ปัจจัยจากคน (Man) 1) พนักงานไม่มีความเชี่ยวชาญในการผลิตงานพิมพ์ฉลาก พบว่าสาเหตุของการที่พนักงานขาดความเชี่ยวชาญในกระบวนการพิมพ์ฉลาก เนื่องจากความรู้ความสามารถในการควบคุมเครื่องจักรไม่อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด 2) พนักงานไม่ปฏิบัติตามเอกสารปฏิบัติงาน (Work instruction) ตามมาตรฐานที่โรงพิมพ์ที่ศึกษากำหนดสำหรับการตั้งค่ามาตรฐานของเครื่องจักร ทำให้มาตรฐานบางอย่างอาจไม่ตรงตามมาตรฐานที่ตั้งไว้ เช่น ปริมาณความหนาแน่นของหมึก ซึ่งมีโอกาสส่งผลต่อการแห้งตัวของหมึก

ปัจจัยที่ 2 ปัจจัยจากวัตถุดิบ (Material) 1) ปริมาณน้ำยาฟาวน์เทน (Fountain) ไม่เหมาะสม ซึ่งน้ำยาฟาวน์เทนประกอบด้วยน้ำ และสารตัวถูกละลายหลายชนิด ใช้เพื่อเป็นสารให้ความชื้นแก่บริเวณไม่มีภาพ ในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศในทวีปยุโรปจะใช้น้ำยาฟาวน์เทน ปริมาณ 5 % - 8 % และน้ำยาฟาวน์เทน จะประกอบด้วยตัวกระตุ้นการแห้งตัว (Drying stimulator) จะช่วยเร่งให้หมึกพิมพ์แห้งตัวเร็วขึ้นและลดของเสียประเภท Set off (อรัญ หาญสืบสาย, 2557) น้ำยาฟาวน์เทนจะให้ความชื้นแก่แผ่นพิมพ์ในส่วนที่ไม่ใช่ภาพของแม่พิมพ์ ปริมาณน้ำยาฟาวน์เทนจึงส่งผลต่อการแห้งตัว (ปฏิพากย์ ปุ่นอุดมและไพบูลย์ กลมกล่อม, 2559) 2) ปริมาณแอลกอฮอล์ (IPA) ไม่เหมาะสม การใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ (IPA) มากเกินไป จะส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของหมึกกับวัสดุลดน้อยลง เนื่องจากแอลกอฮอล์จะละลายสารเคลือบบนพื้นผิวออกไปและยังส่งผลเสียต่อสุขภาพอีกด้วย ซึ่งมาตรฐานแอลกอฮอล์ควรอยู่ในช่วง 8-10 % (อรัญ หาญสืบสาย, 2557) จากการที่หมึกไม่สามารถยึดเกาะกับพื้นผิวกระดาษได้ดีจึงส่งผลให้การแห้งตัวช้าลง แต่ถ้าปริมาณของแอลกอฮอล์ที่น้อยเกินไปจะส่งผลทำให้เกิดของเสียที่เรียกว่า Scum คือหมึกไปติดในบริเวณส่วนที่ไม่เป็นภาพ 3)ปริมาณสารเร่งแห้ง (Additive) ในสารเคลือบน้อยเกินไป สำหรับการแห้งตัวของสารเคลือบ (Vanish) หรือสารเร่งแห้งน้อยเกินไป ปริมาณ Additive หรือสารเติมแต่งการแห้งตัวในสารเคลือบที่น้อยเกินไป มีผลทำให้การแห้งตัวของ Vanish ที่ถูกเคลือบอยู่บนงานพิมพ์แห้งตัวได้ช้า แต่ถ้ามากเกินไปอาจส่งผลให้สารเคลือบแห้งตัวก่อนที่จะถูกเคลือบทำให้เสียเวลาทำความสะอาดเครื่องจักร จากข้อมูลบริษัทที่ผลิตสารเคลือบ (Vanish) ที่ใช้ในโรงพิมพ์กรณีศึกษาให้คำแนะนำไว้ว่าสามารถใส่ปริมาณสารเร่งแห้งในปริมาณ 1-3 % ของปริมาณสารเคลือบทั้งหมด 4)ปริมาณสารเร่งแห้ง (Additive) ในหมึกน้อยเกินไป สำหรับการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ (Ink) น้อยเกินไป ปริมาณ Additive หรือสารเติมแต่งการแห้งตัวในหมึกพิมพ์ที่น้อยเกินไป มีผลทำให้การแห้งตัวของหมึกช้าลง แต่ถ้าปริมาณมากเกินไปอาจส่งผลให้หมึกแห้งตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก่อนที่จะถูกพิมพ์ลงบนงานพิมพ์ ทำให้เสียเวลาในการทำความสะอาดเครื่องจักรและเกิดของเสีย อ้างอิงจากข้อมูลบริษัทที่ผลิตหมึกพิมพ์ที่ใช้ในโรงพิมพ์กรณีศึกษาให้คำแนะนำไว้ว่าสามารถใส่สารเร่งแห้งได้ในปริมาณ 1 – 3 % ของปริมาณหมึก 5) ปริมาณเม็ดสีที่น้อยเกินไป ปริมาณเม็ดสีส่งผลโดยตรงกับความเข้มสี โดยปริมาณเม็ดสีในหมึกที่น้อยเกินไปในส่งผลให้ต้องเพิ่มปริมาณของหมึกลงบนฉลากเพื่อให้สีของภาพได้มาตรฐาน เมื่อความหนาแน่นของหมึกมากขึ้นอาจส่งผลต่อระยะเวลาการแห้งตัวของหมึก แต่ปริมาณเม็ดสีในหมึกที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อราคาของหมึกที่สูงขึ้นด้วย อรัญ หาญสืบสาย (2547) ได้กล่าวถึงความเข้มของสี เป็นค่าที่ขึ้นกับปริมาณสารสีในหมึกพิมพ์ การพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่มีความเข้มสีสูง สามารถพิมพ์ให้ได้ความเข้มที่ต้องการโดยใช้ปริมาณหมึกน้อยจะเป็นการช่วยลดต้นทุน แต่ถ้ามีความเข้มสีสูงไปอาจทำให้การไหลไม่ดี ส่วนหมึกพิมพ์ที่มีความเข้มสีต่ำ เวลาพิมพ์ต้องปล่อยหมึกหนาเพื่อให้ได้ความเข้มที่ต้องการ ส่งผลให้เกิดเม็ดสกรีนบวม และการแห้งตัวช้า 6) กระดาษมีรูพรุนที่น้อยเกินไป กระดาษมีรูพรุนน้อยทำให้ไม่สามารถดูดซึมหมึกได้เพียงพอ ทำให้หมึกส่วนที่เหลือกองอยู่บริเวณผิวหน้ากระดาษปริมาณมากเกินไป ซึ่งอาจส่งผลทำให้งานแห้งตัวช้า แต่ถ้าทำการเพิ่มรูพรุนของกระดาษ จะต้องเปลี่ยนยี่ห้อกระดาษด้วย ส่งผลต่อสีของกระดาษที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อลูกค้า เนื่องจากสีอาจผิดเพี้ยนไปจากมาตรฐานเดิม

ปัจจัยที่ 3 ปัจจัยจากกระบวนการ (Method) 1) ปริมาณการปล่อยสารเคลือบที่มากเกินไป

อรัญ หาญสืบสาย (2557) กล่าวไว้ว่าการปล่อยสารเคลือบที่มากเกินความจำเป็นจะส่งผลให้สารเคลือบมีชั้นการเคลือบที่หนา ส่งผลให้การพิมพ์ฉลากมีการแห้งตัวช้า แต่ถ้าปริมาณน้อยเกินไปจะส่งผลให้สารเคลือบไม่สามารถป้องกันงานฉลากได้ โดยทดสอบการทนแรงขูดขีด (Rub test) ที่น้ำหนักถ่วง 2 ปอนด์ จำนวน 200 รอบ (Cycle) 2) ปริมาณการปล่อยหมึกพิมพ์ที่มากเกินไป

อรัญ หาญสืบสาย (2557) กล่าวไว้ว่า เมื่อมีการปล่อยปริมาณหมึกที่มากเกินไป จะทำให้ความหนาแน่นของหมึกมากขึ้นส่งผลให้กระดาษไม่สามารถดูดซับหมึกได้ ทำให้หมึกส่วนเกินกองอยู่บนกระดาษชั้นหมึกที่หนาจะส่งผลทำให้แห้งตัวช้าได้

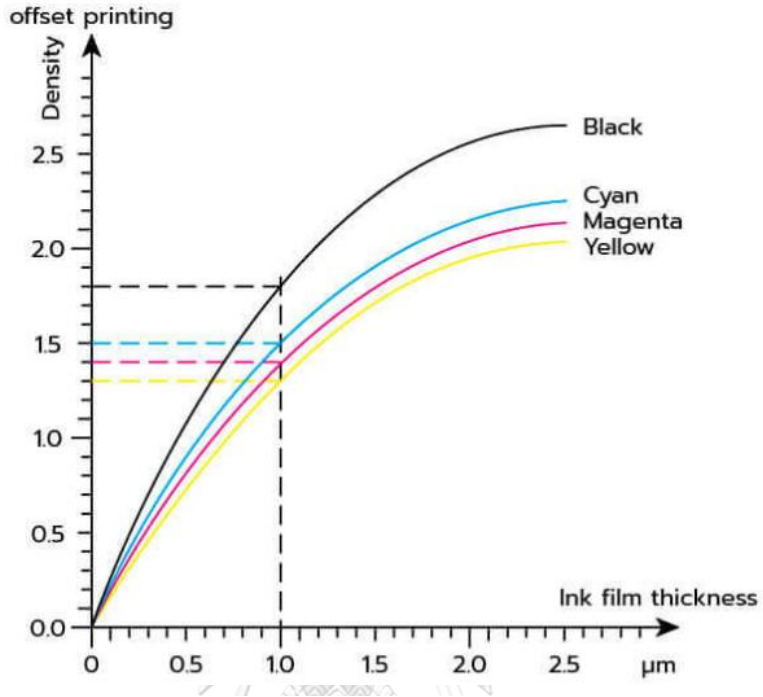
Kipphan (2001) กล่าวไว้ว่า ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมในการพิมพ์งานด้วยระบบการพิมพ์ออฟเซ็ต จะอยู่ที่ความหนาประมาณ 1 ไมครอน จากความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ดังกล่าว ค่าความหนาแน่นของหมึกพิมพ์แต่ละสี (C M Y และ K) จะมีค่าความหนาแน่นมาตรฐานที่แตกต่างกัน การพิมพ์งานด้วยหมึกพิมพ์ C M Y และ K ลงบนกระดาษเคลือบผิว ทำให้ได้ค่าความดำมาตรฐานดังนี้

Cyan มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.5

Magenta มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.4

Yellow มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.3

Black มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.8



ภาพที่ 3.5 ค่าความหนาแน่นมาตรฐานในระบบการพิมพ์ออฟเซต

ปัจจัยที่ 4 ปัจจัยจากเครื่องจักร (Machine) เครื่องพิมพ์มีความเร็วที่มากเกินไปโดยความเร็วของเครื่องจักร XL – Heidelberg มีความเร็ว 5,000 – 8,000 แผ่นพิมพ์ต่อชั่วโมง ถ้าเกิดความเร็วของเครื่องจักรเร็วเกินไป อาจทำให้โมพิมพ์ (Blanket cylinder) ของเครื่องพิมพ์เกิดความร้อนและส่งผลให้หมึกที่ถูกถ่ายโอนลงสู่งานพิมพ์เสียสมดุลและแตกตัวเหลวกว่าปกติ อาจส่งผลการแห้งตัวของพิมพ์ฉลาก (บุญชัย วลีธรชีพสวัสดิ์, 2557) ซึ่งอุณหภูมิที่โมแม่พิมพ์ ควรอยู่ที่ 18-20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเครื่องพิมพ์สูงเกินไป โดยอุณหภูมิเครื่องพิมพ์ที่สูงขึ้นจากการทำงานของเครื่องจักรที่เร็วขึ้น (ภาคภูมิ ชื่นสุวรรณ, 2555) เมื่อเปิดเครื่องพิมพ์ให้ทำงาน ลูกหมึกจะบดขยี้หมึกทำให้เกิดความร้อนบนลูกหมึกมากขึ้น ทำให้ความเหนียวของหมึกลดลง เพราะของเหลวเมื่อความร้อนสูงขึ้นจะเปลี่ยนแปลงความเหนียวได้อย่างมาก อาจส่งผลต่อการแห้งตัวของงานฉลาก

ปัจจัยที่ 5 ปัจจัยจากสิ่งแวดล้อม (Environment) อุณหภูมิห้องปิด (Temperature room) ไม่เหมาะสมโดยที่อุณหภูมิของห้อง (High Temperature room) อาจจะส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก เนื่องจากงานพิมพ์ฉลากแห้งตัวด้วยอากาศและระเหยตัวทำละลายออกจากงานพิมพ์ฉลาก

บุญชัย วลีธรชีพสวัสดิ์ (2557) ได้กล่าวว่า ในห้องพิมพ์ควรมีอุณหภูมิประมาณ 20 -27 องศาเซลเซียส จึงจะเหมาะสมกับกระบวนการพิมพ์

น้ำประปามีค่า PH ที่ไม่เหมาะสม โดยน้ำประปาที่มีระดับค่า PH วัดได้ที่ระบบน้ำทั้งระบบของเครื่องพิมพ์ ซึ่งอาจส่งผลต่อการแห้งตัวของฉลาก

อรัญ หาญสืบสาย (2557) ได้กล่าวว่า ค่า PH ที่ต่ำกว่ามาตรฐานจะส่งผลทำให้หมึกแห้งตัวช้า

ความชื้น (Humidity) ที่ไม่เหมาะสม โดยทั่วไปคงความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่าที่ 55±5 % RH และบริษัทที่ผลิตหมึกใช้ในโรงพิมพ์ที่ศึกษาแนะนำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 60 % เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการพิมพ์ ค่า % ความชื้น (Humidity) ในห้องสูง ทำให้องค์ประกอบของน้ำในงานพิมพ์ฉลากไม่สามารถระเหยออกได้เร็วเท่าที่ควร

จากการใช้แผนภาพก้างปลา ภาพที่ 3.4 คณะทำงานจึงสรุปได้ว่ามีทั้งหมด 15 ปัจจัยที่ประมาณการว่าน่าจะเป็นปัจจัยที่เป็นไปได้ที่จะส่งผลต่อปัญหางานพิมพ์ฉลากแห้งตัวช้า โดยมีการอ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและข้อมูลจากโรงพิมพ์กรณีศึกษาในการสนับสนุนความเป็นไปได้ของปัจจัยนั้นๆ

คณะทำงานจะทำการลงคะแนนความสำคัญให้แก่ 15 ปัจจัยข้างต้นเพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสาเหตุและผลปัญหาที่เกิดขึ้น โดยแต่ละปัจจัยจะมีการลงคะแนนถ่วงน้ำหนักที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์การให้น้ำหนักปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระดับของการส่งผลต่อการแห้งตัว	น้ำหนักคะแนน
	ระดับการส่งผลต่อการแห้งตัว
1.ระดับต่ำ คือ ส่งผลต่อการแห้งตัวทางอ้อม	1
2.ระดับปานกลาง คือ มีโอกาสส่งผลต่อการแห้งตัวทั้งทางตรงหรือทางอ้อม	3
3.ระดับสูง คือ ส่งผลต่อการแห้งตัวโดยตรง	9

ตารางที่ 3.3 ผลการให้คะแนนถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

ลำดับ	ประเภท	สาเหตุ	น้ำหนักคะแนน ระดับการส่งผลต่อการแห้งตัว	เหตุผล
1	Man	พนักงานไม่มีความเชี่ยวชาญในการผลิตงานพิมพ์ฉลาก	1	ความไม่เชี่ยวชาญของพนักงานมีโอกาสเกิดได้น้อยเนื่องพนักงานที่ควบคุมการผลิตมีอายุงานมากกว่า 20 ปีและไม่ส่งผลโดยอ้อม เนื่องจากปัจจัยต่างๆถูกกำหนดโดยเครื่องจักรมากกว่าพนักงาน อีกทั้งไม่มีข้อมูลวิจัยสนับสนุน
2		พนักงานไม่ปฏิบัติตาม WI (Work instruction)	1	พนักงานไม่ปฏิบัติตามเอกสารปฏิบัติงาน มีโอกาสเกิดได้น้อยมากและไม่ส่งผลโดยตรงต่อการแห้งตัว เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ถูกกำหนดโดยเครื่องพิมพ์มากกว่าพนักงานและไม่มีข้อมูลวิจัยสนับสนุน
3	Material	ปริมาณน้ำยาฟาวน์เทน (Fountain) ไม่เหมาะสม	3	น้ำยาฟาวน์เทนมีส่วนประกอบหลักเป็นน้ำ มีโอกาสได้น้อยที่จะเข้าไปรวมกับหมึกที่มีฐานน้ำมันขณะพิมพ์ ซึ่งอาจจะส่งผลกับการแห้งตัวได้ น้ำยาฟาวน์เทนมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำ ซึ่งน้ำน่าจะระเหยได้อย่างรวดเร็ว ผู้ศึกษาวิจัยจึงคาดว่าอาจมีผลโดยตรงหรือทางอ้อมกับการแห้งตัวของงานพิมพ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) ผลการให้คะแนนถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

ลำดับ	ประเภท	สาเหตุ	น้ำหนักคะแนน ระดับการส่งผลต่อการแห้งตัว	เหตุผล
4	Material	ปริมาณแอลกอฮอล์ (IPA) ไม่เหมาะสม	3	แอลกอฮอล์มีหน้าที่ให้ความชื้นแก่งานพิมพ์และช่วยรักษาอุณหภูมิระบบไม่ให้ร้อนเกินไป แต่แอลกอฮอล์มีการระเหยที่รวดเร็ว ทำให้ผู้ศึกษาวิจัยคาดว่าอาจส่งผลโดยตรงหรือทางอ้อมต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์
5		ปริมาณสารเร่งแห้ง (Additive) ของสารเคลือบ (Vanish) น้อยเกินไป	9	สารเคลือบ (Vanish) มีส่วนประกอบของไขมันไม่อิ่มตัว มีผลโดยตรงกับปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของการแห้ง การให้สารเร่งแห้งจึงส่งผลโดยตรงกับการแห้งตัวของงานพิมพ์
6		ปริมาณสารเร่งแห้ง (Additive) ของหมึกพิมพ์(Ink) น้อยเกินไป	9	หมึกพิมพ์ (Printing Ink) มีส่วนประกอบของไขมันไม่อิ่มตัว มีผลโดยตรงกับปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของการแห้งตัว การให้สารเร่งแห้งจึงส่งผลโดยตรงกับการแห้งตัวของงานพิมพ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) ผลการให้คะแนนถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

ลำดับ	ประเภท	สาเหตุ	น้ำหนักคะแนน ระดับการส่งผลต่อการแห้งตัว	เหตุผล
7	Material	ปริมาณเม็ดสี (Pigment) ในหมึกน้อยเกินไป	3	ปริมาณเม็ดสีมากหรือน้อย มีผลต่อความหนาของหมึกที่ถูกพิมพ์ลงไปเพื่อให้ได้สีที่ถูกต้อง แต่สีที่ถูกต้องอาจไม่ได้เกิดจากความหนาของหมึกที่เปลี่ยนไปเพียงอย่างเดียว แต่โอกาสเกิดจากลักษณะของ เม็ดสีที่ผู้ผลิตใส่ลงไปในหมึก ผู้ศึกษาวิจัยจึงคาดว่าอาจส่งผลทางตรงหรือทางอ้อมก็ได้
8		กระดาษมีรูพรุนที่น้อยเกินไป	1	รูพรุนของกระดาษมีหน้าที่ช่วยรับหมึกและซึมเข้ายึดเกาะในกระดาษ ผู้ศึกษาวิจัยคาดว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลทางอ้อม เนื่องจากกระดาษที่ใช้สำหรับพิมพ์ฉลากมีการเคลือบบนผิวกระดาษ ดังนั้นการเพิ่มรูพรุนอาจส่งผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
9	Method	ปริมาณการปล่อยสารเคลือบที่มากเกินไป	9	สารเคลือบเป็นฐานน้ำมัน ซึ่งผลโดยตรงกับการปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของการแห้งตัวงานพิมพ์ ผู้ศึกษาวิจัยจึงคาดว่าเป็นผลโดยตรงต่อการแห้งตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) ผลการให้คะแนนถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

ลำดับ	ประเภท	สาเหตุ	น้ำหนักคะแนน ระดับการส่งผลต่อการแห้งตัว	เหตุผล
10	Method	ปริมาณการปล่อยหมึกพิมพ์ที่มากเกินไป	9	หมึกพิมพ์เป็นหมึกที่แห้งด้วยอากาศและเป็นฐานน้ำมัน มีการซ้อนทับกันของแต่ละสี ปริมาณหมึกที่พิมพ์แปรผันตรงกับความหนาแน่นและความหนาของชั้นหมึก ซึ่งผลโดยตรงกับการปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของการแห้งตัวงานพิมพ์ ผู้ศึกษาวิจัยจึงคาดว่าเป็นผลโดยตรงต่อการแห้งตัวและมีข้อมูลวิจัยสนับสนุน
11	Machine	เครื่องพิมพ์มีความเร็วที่มากเกินไป	1	ความเร็วของเครื่องพิมพ์ ส่งผลให้เกิดความร้อนแก่โมพิมพ์ ความร้อนถูกส่งต่อไปยังหมึกพิมพ์ ดังนั้น ผู้ศึกษาวิจัยคาดว่าเป็นผลทางอ้อมต่อการแห้ง
12		อุณหภูมิเครื่องพิมพ์สูงเกินไป	3	อุณหภูมิของเครื่องพิมพ์ที่สูงขึ้น อาจเกิดได้หลายปัจจัย เช่น อุณหูมิภายนอกความผิดปกติของหน่วยทำชื้น เมื่ออุณหูมิสูงขึ้นในการขณะพิมพ์ หมึกมีการเสียสมดุลและมีโอกาสไม่ยึดเกาะกับพื้นผิวกระดาษ ซึ่งมีโอกาสทำให้แห้งตัวช้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) ผลการให้คะแนนถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

ลำดับ	ประเภท	สาเหตุ	น้ำหนักคะแนน ระดับการส่งผลต่อการแห้งตัว	เหตุผล
13	Environment	อุณหภูมิห้องปิด (Temperature room) สูงเกินไป	3	อุณหภูมิเป็นปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นแต่เป็นปัจจัยภายนอก ผู้ศึกษาวิจัยจึงคาดว่าอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลทางตรงหรือทางอ้อม
14		น้ำประปามีค่าpH สูงเกินไปสำหรับงานพิมพ์	3	ค่า PH น้ำประปามีหลักฐานสนับสนุนว่าส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ แต่โรงพิมพ์กรณีศึกษาควบคุมค่า PH อยู่ช่วงมาตรฐานและเป็นปัจจัยภายนอก
15		ความชื้น (Humidity) ที่ไม่เหมาะสมสำหรับงานพิมพ์	3	ความชื้นส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ในทางการระเหย แต่เป็นปัจจัยภายนอก ผู้ศึกษาวิจัยจึงคาดว่าอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลทางตรงหรือทางอ้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล

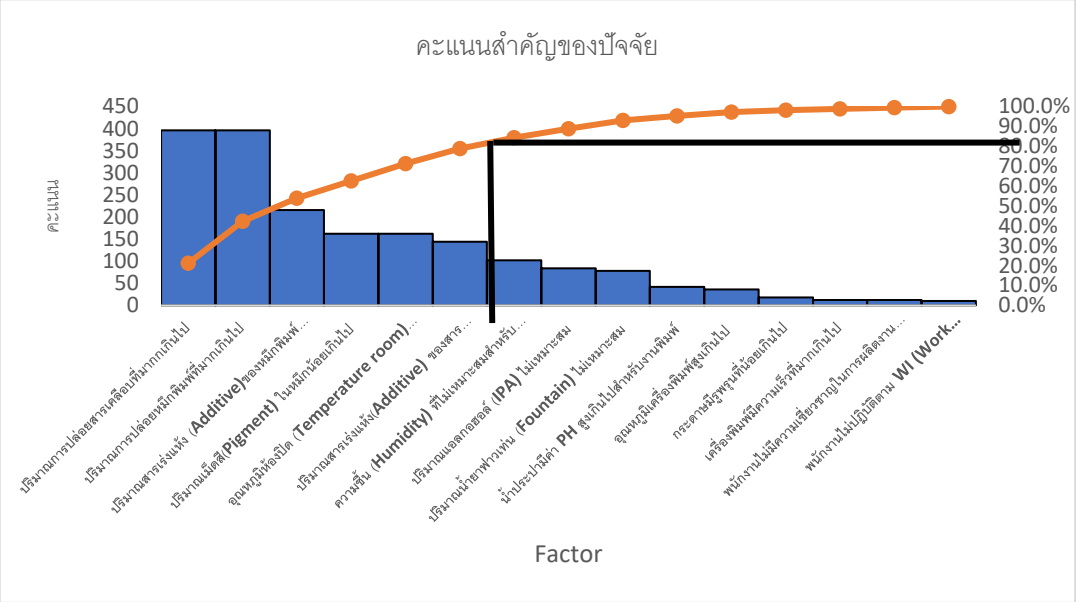
ระดับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล	คะแนน
1. ระดับสูง คือ ปัจจัยสาเหตุมีความสัมพันธ์ส่งผลให้การแห้งตัวของฉลากมาก	9
2. ระดับกลาง คือ ปัจจัยสาเหตุมีความสัมพันธ์ส่งผลให้การแห้งตัวของฉลากมากปานกลาง	3
3. ระดับต่ำ คือ ปัจจัยสาเหตุมีความสัมพันธ์ส่งผลให้การแห้งตัวของ ฉลากน้อยมาก	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.5 แสดงการลงคะแนนเพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผล
โดยมีถ่วงน้ำหนักแต่ละปัจจัย

ลำดับ	ประเภท	สาเหตุ	คะแนน								คะแนน	น้ำหนัก	คะแนนรวม
			ทรงศักดิ์	มานะ	กันตภา	ณัฐพล	ดำรงเกียรติ	ศักดิ์สิทธิ์	เสาวลักษณ์	คำภี			
1	Man	พนักงานไม่มีความเชี่ยวชาญในการผลิตงานพิมพ์ฉลาก	1	1	3	3	1	1	1	1	12	1	12
2		พนักงานไม่ปฏิบัติตาม WI (Work instruction)	1	1	1	1	3	1	1	1	10	1	10
3	Material	ปริมาณน้ำยาฟาวน์เทน (Fountain) ไม่เหมาะสม	3	1	3	9	1	3	3	3	26	3	78
4		ปริมาณแอลกอฮอล์ (IPA) ไม่เหมาะสม	3	3	1	3	3	9	3	3	28	3	84
5		ปริมาณสารเร่งแห้ง(Additive) ของสารเคลือบ (Vanish) น้อยเกินไป	3	1	1	3	3	3	1	1	16	9	144
6		ปริมาณสารเร่งแห้ง (Additive)ของหมึกพิมพ์(Ink) น้อยเกินไป	3	3	3	3	3	3	3	3	24	9	216
7		ปริมาณเม็ดสี (Pigment) ในหมึกน้อยเกินไป	3	3	9	9	9	9	9	3	54	3	162
8		กระดาษมีรูพรุนที่น้อยเกินไป	1	3	1	1	3	3	3	3	18	1	18
9	Method	ปริมาณการปล่อยสารเคลือบที่มากเกินไป	1	9	1	9	3	9	3	9	44	9	396
10		ปริมาณการปล่อยหมึกพิมพ์ที่มากเกินไป	1	9	1	3	3	9	9	9	44	9	396
11	Machine	เครื่องพิมพ์มีความเร็วที่มากเกินไป	1	1	3	1	1	1	1	3	12	1	12
12		อุณหภูมิเครื่องพิมพ์สูงเกินไป	1	1	3	1	1	1	1	3	12	3	36
13	Environment	อุณหภูมิห้องปิด (Temperature room) สูงเกินไป	3	3	9	9	3	9	9	9	54	3	162
14		น้ำประปามีค่า PH สูงเกินไปสำหรับงานพิมพ์	1	1	3	3	1	3	1	1	14	3	42
15		ความชื้น (Humidity) ที่ไม่เหมาะสมสำหรับงานพิมพ์	3	3	1	3	9	9	3	3	34	3	102

จากตารางที่ 3.5 จากการลงคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก และนำคะแนนความสำคัญมาเรียงจากคะแนนมากไปหาคะแนนน้อยโดยใช้กราฟพาเรโต(Pareto) เพื่อคัดเลือกปัจจัยและทำการออกแบบการทดลองต่อไป



ภาพที่ 3.6 การเรียงลำดับคะแนนความสำคัญของปัจจัย

จากภาพที่ 3.6 จะเห็นการเรียงความสำคัญของปัจจัยจากคะแนนสูงที่สุดไปถึงคะแนนต่ำที่สุด โดยจะใช้กฎ 80/20 ในการเลือกปัจจัยมาใช้ในการออกแบบการทดลอง โดยมีปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัย ดังนี้

1.ปริมาณเม็ดสี (Pigment) ในหมึกน้อยเกินไป

2.ปริมาณการปล่อยสารเคลือบที่มากเกินไป

3.ปริมาณการปล่อยหมึกพิมพ์ที่มากเกินไป

4. อุณหภูมิห้องปิด (Temperature room)

5. ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกมีปริมาณที่น้อยเกินไป

6. ปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบมีปริมาณที่น้อยเกินไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.6 ผลสรุปการเลือกปัจจัยและข้อมูลสนับสนุนการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

ลำดับ	รายการ	ระดับปัจจัยของโรงพิมพ์กรณีศึกษา	ระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวเร็วขึ้น	ข้อมูลสนับสนุนการแห้งตัว	ผลกระทบเมื่อระดับปัจจัยเปลี่ยน
1.	ปริมาณเม็ดสี (Pigment) ในหมึกน้อยเกินไป	หมึกประเภท A	หมึกประเภท B	ผู้ผลิตหมึกเสนอหมึกประเภท B ที่มีปริมาณเม็ดสีที่มากกว่าหมึกประเภท Aและ หมึกประเภท B ทำให้ปริมาณการปล่อยหมึกน้อยลงและทำให้งานพิมพ์แห้งตัวเร็วขึ้น	ราคาหมึกที่สูงขึ้นเนื่องจากปริมาณเม็ดสีมากขึ้น
2.	ปริมาณการปล่อยสารเคลือบที่มากเกินไป	30%	<30 %	ปริมาณการปล่อยสารเคลือบจะแปรผันตรงความหนา ถ้าลดปริมาณการปล่อยลง จะทำให้แห้งตัวเร็วขึ้น	ถ้าลดปริมาณสารเคลือบมากไปจะส่งผลต่อมาตรฐานแรงทนถู (Rub test) ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) ผลสรุปการเลือกปัจจัยและข้อมูลสนับสนุนการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

ลำดับ	รายการ	ระดับปัจจัยของโรงพิมพ์กรณีศึกษา	ระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวเร็วขึ้น	ข้อมูลสนับสนุนการแห้งตัว	ผลกระทบเมื่อระดับปัจจัยเปลี่ยน
3.	ปริมาณการปล่อยหมึกพิมพ์ที่มากเกินไป			มาตรฐานความหนาแน่นของหมึกพิมพ์สามารถเพิ่มหรือลดปริมาณการใช้หมึกลงได้ในช่วงต่างๆดังนี้	ถ้าลดปริมาณการปล่อยหมึกมากเกินไปจะส่งผลให้ภาพมีสีที่จางกว่าปกติ
	หมึก Cyan มีความหนาแน่น	1.40	ช่วง 1.3 - 1.4	ช่วง 1.3 - 1.5	
	หมึก Magenta มีความหนาแน่น	1.53	ช่วง 1.45 - 1.53	ช่วง 1.45 - 1.65	
	หมึก Yellow มีความหนาแน่น	1.37	ช่วง 1.20 - 1.37	ช่วง 1.20 - 1.4	
	หมึก Black มีความหนาแน่น	1.80	ช่วง 1.75 - 1.80	ช่วง 1.75 - 1.85	
				ความหนาแน่นหมึกที่น้อยลงส่งผลให้ชั้นหมึกมีความบางและแห้งตัวเร็ว	

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) ผลสรุปการเลือกปัจจัยและข้อมูลสนับสนุนการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

ลำดับ	รายการ	ระดับปัจจัยของโรงพิมพ์กรณีศึกษา	ระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวเร็วขึ้น	ข้อมูลสนับสนุนการแห้งตัว	ผลกระทบเมื่อระดับปัจจัยเปลี่ยน
4.	อุณหภูมิห้องปิด (Temperature room)	24^0 C	24^0 C – 26^0 C	มาตรฐานอุณหภูมิสำหรับการพิมพ์อยู่ที่ 20^0 C – 26^0 C ซึ่งอุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้มีการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นสำหรับการแห้งตัว	กระดาษอาจจะมีการงอตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้น
5.	ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกมีปริมาณที่น้อยเกินไป	0 %	1% - 3 % ของปริมาณหมึก	ข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิตหมึก ควรใช้สารเร่งแห้งให้ปริมาณ 1 - 3% เพื่อให้แห้งตัวได้เร็วขึ้น	ถ้าใส่ปริมาณที่มากเกินไป จะส่งผลให้หมึกแห้งก่อนถูกถ่ายทอดลงบนกระดาษ
6.	ปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบมีปริมาณที่น้อยเกินไป	0 %	1% - 3 % ของปริมาณสารเคลือบ	ข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิตสารเคลือบ ควรใช้สารเร่งแห้งในปริมาณ 1 - 3% เพื่อให้แห้งตัวได้เร็วขึ้น	ถ้าใส่ปริมาณที่มากเกินไป จะส่งผลให้สารเคลือบแห้งก่อนถูกเคลือบลงบนงานพิมพ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.6 วิเคราะห์ความเที่ยงและความแม่นยำของการวัด (Attribute Agreement Analysis)

ผู้ศึกษาวิจัยใช้หลักการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ (Attribute Agreement Analysis) ระบบวัดนี้นำมาตรวจสอบการแห้งตัวของฉลากพิมพ์ โดยพิจารณาในเรื่องความถูกต้อง (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) ของพนักงานวัดโดยมีขั้นตอนดังนี้

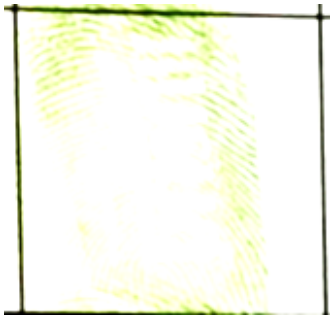
3.6.1 กำหนดจำนวนพนักงานและจำนวนการทดลองซ้ำตามมาตรฐานของ Fasser and Brettner (1992) จำนวนพนักงานในการทดลองมีจำนวน 2 คน คือ ช่วงเช้า 1 คน เวลา 06.00 น – 18.00 น และช่วงเย็น 1 คน เวลาทำงาน 18.00 น – 06.00 น โดยจะการทำทดลองคนละ 18 ชิ้นงานและทดลองซ้ำจำนวน 4 ครั้ง

ตารางที่ 3.7 ขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบหน่วยนับ

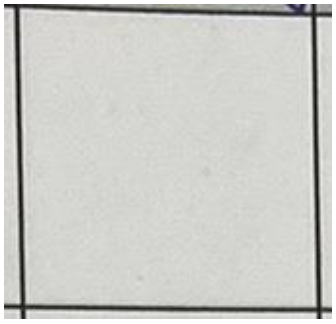
จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำที่สุด	จำนวนทดลองซ้ำที่ต่ำที่สุด
1	24	5
2	18	4
มากกว่าหรือเท่ากับ 3	12	3

3.6.2 เก็บข้อมูลผลการวัดของพนักงาน

การเก็บข้อมูลของการทดลองนี้ ตัวชี้วัดคือระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก จะวัดผลโดยการให้พนักงานทดลองใช้นิ้วกดลงบนงานพิมพ์ แล้วนำนิ้วมากดลงที่กระดาษขาวอีกครั้งเพื่อให้เห็นสีที่ยังไม่แห้งตัว ที่หลุดออกมาจากงานพิมพ์ฉลาก ความถี่ทดลองคือทุกๆหนึ่งชั่วโมง โดยจะแบ่งผลลัพธ์เป็นแห้งตัว (G) คือไม่มีสีติดอยู่บนกระดาษขาวเลย และไม่แห้งตัว (NG) ยังเห็นสีติดลงบนกระดาษขาวไม่ว่าจะมากหรือน้อย



ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างผลลัพธ์สำหรับงานพิมพ์ที่ยังไม่แห้งตัว (NG)



ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างผลลัพธ์สำหรับงานพิมพ์ที่แห้งตัว (G)

การวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดที่ใช้ในการประเมินความสามารถของระบบการวัดในการประเมินระบบการวัดจะพิจารณาทั้งในความแม่นหรือความถูกต้อง และความเที่ยงของระบบการตรวจสอบการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก โดยจะวิเคราะห์ดังนี้

ด้านที่ 1 วิเคราะห์พนักงานแต่ละคน (within appraiser) วิเคราะห์ความเที่ยงหรือความสามารถในการวัดซ้ำและวิเคราะห์ความถูกต้องในการวัด 1) โดยการวิเคราะห์ความเที่ยงหรือการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน (รีพีททะบิลิตีของพนักงานแต่ละคน (% Appraiser score)) 2) การวิเคราะห์ความถูกต้องของการวัดของพนักงานแต่ละคน (% คะแนนของค่าแอตทริบิวต์ (% Attribute score)) 3) การวัดดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน (Operator effective index) 4) ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False alarm index : I_{FA}) 5) ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (Index of a miss : I_{MISS})

ด้านที่ 2 วิเคราะห์ระหว่างพนักงาน (Between appraiser) โดยวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน รวมถึงวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน 1) การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน คือการวัดประสิทธิผลด้านรีพิททะบิลิตี้ (% Screen effective score) 2) การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน คือการวัดคะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์ (% Attribute screen effective score)

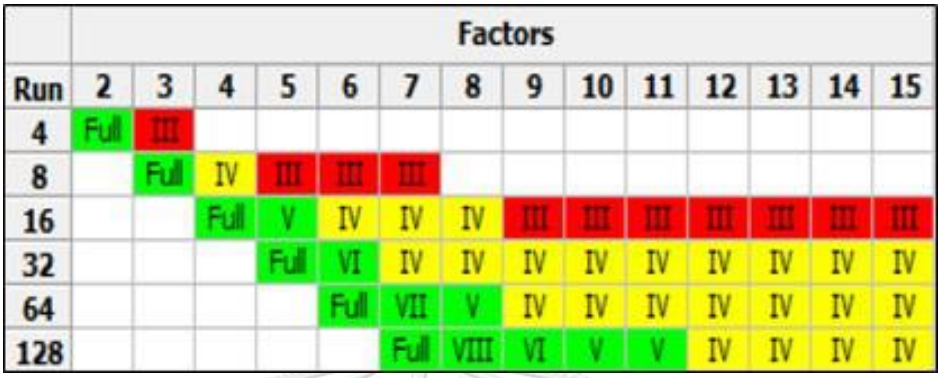
3.6.3 วิเคราะห์ข้อมูลดัชนีการวัดต่างๆและสรุปผลของระบบการวัด

3.6.4 ปรับปรุงและจัดทำเป็นมาตรฐาน

3.7 ออกแบบการทดลอง (Design of experiment)

ผู้ศึกษาวิจัยเลือกการออกแบบทดลองเพื่อสามารถวิเคราะห์ผลหลัก(Main effect) และอันตรกิริยา (Interaction) ของปัจจัยทั้งหมดและเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยโดยมีขั้นตอนดังนี้

3.7.1 เลือกรูปแบบการทดลอง เพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับชุดปัจจัย โดยมีการคำนึงถึงจำนวนชุดการทดลอง โดยการพิจารณาควบคู่กับระดับความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ (Resolution) ซึ่งทั้งหมดส่งผลกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการทดลอง



	Factors													
Run	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	Full	III												
8		Full	IV	III	III	III								
16			Full	V	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III	III
32				Full	VI	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
64					Full	VII	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
128						Full	VIII	VI	V	V	IV	IV	IV	IV

ภาพที่ 3.9 ความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ (Resolution)

3.7.2 กำหนดระดับปัจจัยนำเข้า เพื่อทำการออกแบบการทดลอง

กำหนดปัจจัยที่สำคัญให้เป็นปัจจัยนำเข้า เพื่อจะวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

ตารางที่ 3.8 ตัวอย่างของระดับปัจจัยในการทดลอง

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย	ประเภทของปัจจัย	ระดับของปัจจัย	
A	ปัจจัยที่นำมาเป็นปัจจัยเข้า	ปัจจัยแปรผันหรือปัจจัยเชิงคุณลักษณะ	ระดับต่ำ	ระดับสูง
B			ระดับต่ำ	ระดับสูง
C			ระดับต่ำ	ระดับสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.7.3 ออกแบบการทดลอง (Design matrix) โดยโปรแกรม Minitab จากจำนวนปัจจัย รูปแบบการทดลองและระดับปัจจัย

ตารางที่ 3.9 ตัวอย่างตารางการเก็บมูลระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

ชุดการทดลอง		Smearing test										
		Time										
		0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	เก็บข้อมูลทุกชั่วโมงจนกว่าจะแห้งตัวสนิท	เวลารอแห้งทั้งหมด
1												
2												
3												
4												
ชุดการที่ทดลองที่ n												

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Design Table (randomized)

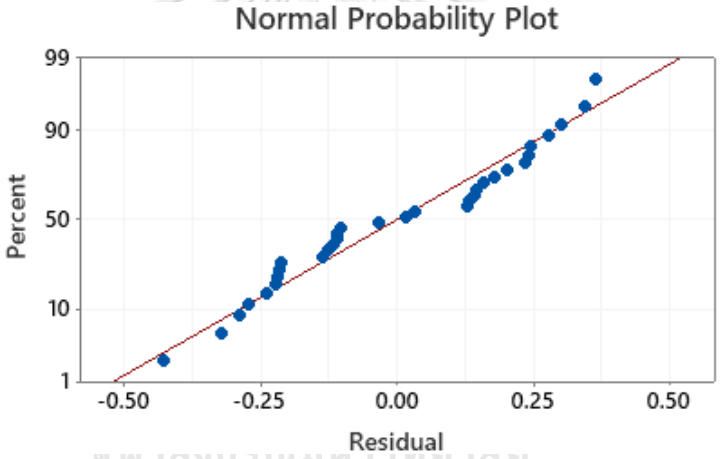
Run	A	B	C	D	E	F	G
1	-	-	+	+	+	-	-
2	+	+	-	-	-	+	+
3	-	-	-	+	-	+	+
4	+	+	+	+	+	+	+
5	-	-	-	-	-	-	-
6	-	+	+	-	-	-	+
7	+	+	-	+	-	-	-
8	+	-	+	-	-	+	-
9	+	+	+	-	+	-	-
10	-	+	+	+	-	+	-
11	-	+	-	-	+	+	-
12	-	-	+	-	+	+	+
13	+	-	-	+	+	+	-
14	-	+	-	+	+	-	+
15	+	-	+	+	-	-	+
16	+	-	-	-	+	-	+

ภาพที่ 3.10 ตัวอย่าง Design matrix

3.7.4 เก็บข้อมูลผลการทดลอง

แต่ละชุดการทดลอง จะมีการเก็บข้อมูลระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากตามแบบตารางที่ 3.9 จะวัดผลโดยการให้พนักงานทดลองใช้นิ้วกดลงบนงานพิมพ์ แล้วนำนิ้วมากดลงที่กระดาษขาวอีกครั้ง โดยจะแบ่งผลลัพธ์เป็นแห้งตัว (G) คือไม่มีสีติดอยู่บนกระดาษขาวเลย ตามภาพที่ 3.8 และไม่แห้งตัว (NG) ยังเห็นสีติดลงบนกระดาษขาว ตามภาพที่ 3.7 ทดลองวิธีแบบดังกล่าวทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกว่าการกดลงบนกระดาษขาวจะไม่มีสีติดอยู่เลย นั่นคืองานพิมพ์แห้งตัวสนิทแล้ว เพื่อบันทึกข้อมูลระยะเวลาแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากแต่ละชุดการทดลอง

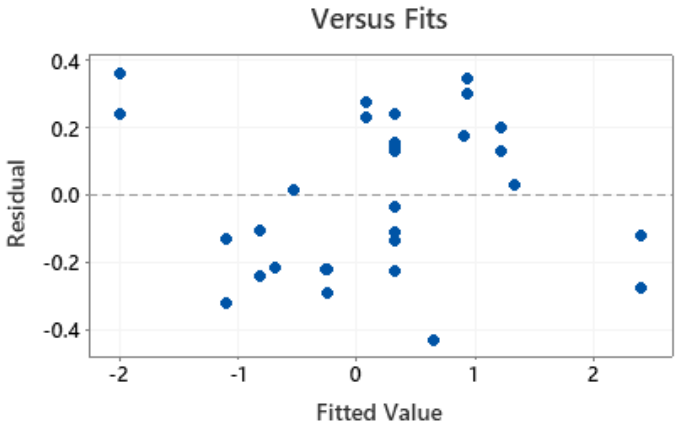
3.7.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพื่อทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก โดยการวิเคราะห์กราฟ Normal Probability plot ตามภาพที่ 3.11 เพื่อดูการกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบใด และดูค่า P-value ของการกระจายตัวของข้อมูล



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

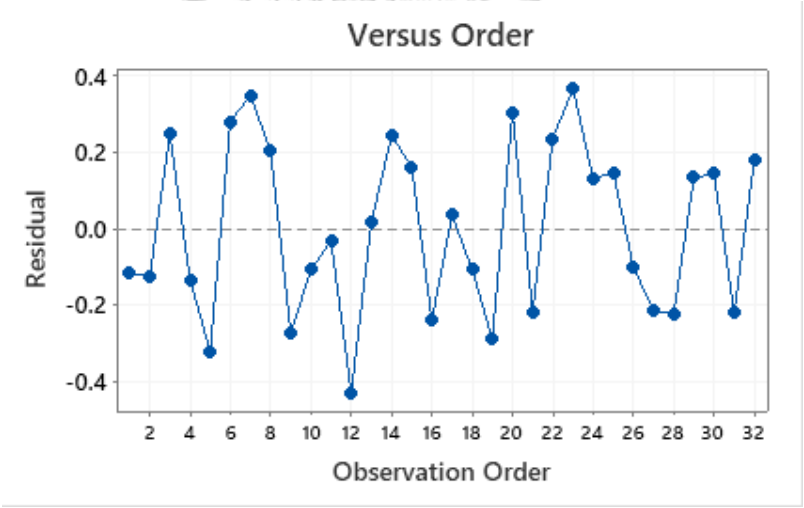
ภาพที่ 3.11 ตัวอย่างกราฟ Normal Probability Plot

วิเคราะห์กราฟ Versus fit เพื่อดูค่า Residual ว่าข้อมูลมีความแปรปรวน(Variance) คงที่หรือไม่ตามภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างกราฟ Versus Fits

วิเคราะห์กราฟ Versus order เพื่อดูการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบใด ตามภาพที่ 3.13

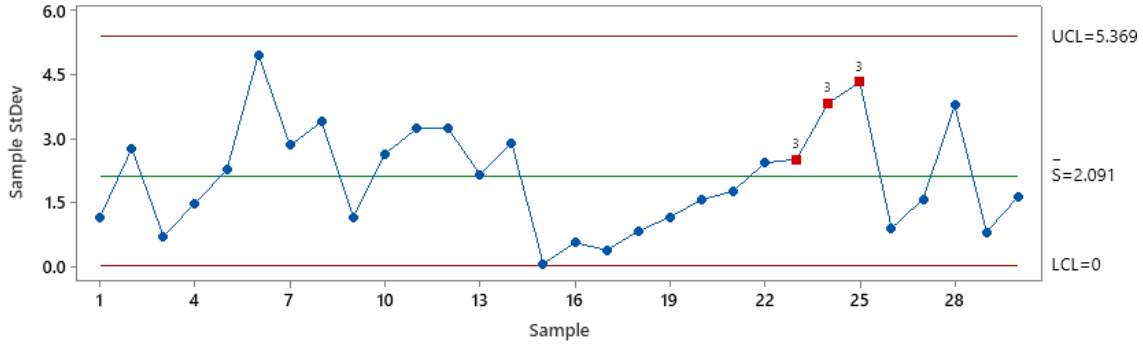


ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างกราฟ Versus Order

หลังจากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยหรือสภาวะของชุดการทดลองที่มีระยะเวลาแห้งตัวสั้นที่สุดไปทำการทดลองซ้ำ เพื่อความเชื่อมั่นของค่าสภาวะใหม่และทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามผลการทดลองและติดตามผลต่อไป

3.8 จัดทำมาตรฐานการควบคุม (Control plan)

ผู้ศึกษาวิจัยจะทำการจัดทำเช็คชีท (Check sheet) และเอกสารปฏิบัติงาน (Work instruction) เพื่อเป็นมาตรฐานในการผลิต อีกทั้งจะจัดทำแผนภูมิควบคุม (Control chart) เพื่อดูความแปรผันของระดับปัจจัยที่ต้องการควบคุม



ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม (Control chart)

WORK INSTRUCTION	Document No. W-Q-123	Date 11/05/2021
Subject Setting catapult machine	Revision no. 0	Minor Revision
Department		Page 1
User Quality Assurance Officer	Department Quality Assurance	

ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างเอกสารปฏิบัติงาน (Work instruction)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 วิเคราะห์ความเที่ยงและความแม่นยำของการวัด

ผู้ศึกษาวิจัยได้ใช้หลักการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ (Attribute Agreement Analysis) ในการตรวจสอบการแห้งตัวของฉลากพิมพ์ โดยพิจารณาในเรื่องความถูกต้อง (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) ของพนักงานวัด

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากของพนักงาน

ตัวอย่างที่	พนักงานคนที่ 1				พนักงานคนที่ 2				คุณภาพงานที่แท้จริง
	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
2	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
4	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
6	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
7	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
8	NG	G	NG	NG	G	NG	G	NG	NG
9	G	NG	G	G	NG	NG	G	NG	NG
10	G	G	G	G	G	G	G	G	G
11	G	G	G	G	G	G	G	G	G
12	G	G	G	G	G	G	G	G	G
13	G	G	G	G	G	G	G	G	G
14	G	G	G	G	G	G	G	G	G
15	G	G	G	G	G	G	G	G	G
16	G	G	G	G	G	G	G	G	G
17	G	G	G	G	G	G	G	G	G
18	G	G	G	G	G	G	G	G	G

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

G คือ งานพิมพ์ฉลากแห้งตัวสนิท NG คือ งานพิมพ์ฉลากที่ไม่แห้งตัว

การตรวจสอบการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก มีพนักงานในการตรวจสอบจำนวน 2 คน ตรวจสอบคนละ 18 ชิ้นงาน โดยทดลองทำซ้ำชิ้นงานละ 4 ครั้ง โดยมีผลการตรวจสอบการแห้งตัวของการพิมพ์ฉลากจะประเมินทั้งหมด 2 ส่วน คือ

4.1.1 การประเมินการตรวจสอบพนักงานแต่ละคน (within appraiser)

ขั้นที่ 1 การวิเคราะห์ความเที่ยงหรือการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน

การวิเคราะห์ความเที่ยงหรือการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน % รีพีททะบิลิตีของพนักงานแต่ละคน (% Appraiser score) โดยพนักงานคนที่ 1 ทำการตรวจสอบซ้ำแล้วได้ผลเหมือนกันจำนวน 16 ชิ้น ซึ่งชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบจำนวน 18 ชิ้น ดังนั้น % รีพีททะบิลิตีของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 88.8 % และพนักงานคนที่ 2 ทำการตรวจสอบซ้ำแล้วได้ผลเหมือนกันจำนวน 16 ชิ้น ซึ่งชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบจำนวน 18 ชิ้น ดังนั้น % รีพีททะบิลิตีของพนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 88.8 %

ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์ความถูกต้องของการวัดของพนักงานแต่ละคน

การวิเคราะห์ความถูกต้องของการวัดของพนักงานแต่ละคน % คะแนนของค่าแอตทริบิวต์ (% Attribute score) โดยพนักงานคนที่ 1 จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้องจำนวน 16 ชิ้น ซึ่งชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบจำนวน 18 ชิ้น ดังนั้น % คะแนนของค่าแอตทริบิวต์ของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 88.8 % และพนักงานคนที่ 2 จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้องจำนวน 16 ชิ้น ซึ่งชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบจำนวน 18 ชิ้น ดังนั้น % คะแนนของค่าแอตทริบิวต์ของพนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 88.8 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นที่ 3 ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน (Operator effective index: $O_{E)}$)

พนักงานคนที่ 1 จำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้อย่างถูกต้องจำนวน 68 ครั้งโอกาสทั้งหมดของการตัดสินใจจำนวน = 18x4 = 72 ชิ้น ดังนั้น ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 94.4 % และ พนักงานคนที่ 2 จำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้อย่างถูกต้องจำนวน 69 ครั้งโอกาสทั้งหมดของการตัดสินใจจำนวน = 18x4 = 72 ครั้ง ดังนั้น ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 95.8 %

ขั้นที่ 4 ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False alarm index : I_{FA})

พนักงานคนที่ 1 จำนวนครั้งที่ผลตรวจบอกว่าไม่ผ่านจำนวน 1 ครั้งจำนวนชิ้นงาน

ที่มีคุณภาพผ่าน x จำนวนครั้งการตรวจสอบ = 9x4 = 36 ครั้ง ดังนั้น ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาดของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 2.7 % และพนักงานคนที่ 2 จำนวนครั้งที่ผลตรวจไม่ผ่านจำนวน 3 ครั้ง จำนวนชิ้นงานที่มีคุณภาพผ่าน x จำนวนครั้งการตรวจสอบ = 9x4 = 36 ครั้ง ดังนั้น ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด ของพนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 8.3 %

ขั้นที่ 5 ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (Index of a miss : I_{MISS})

พนักงานคนที่ 1 จำนวนครั้งที่ผลตรวจสอบ ผ่าน 1 ครั้ง จำนวนชิ้นงานที่มีคุณภาพไม่ผ่าน x จำนวนครั้งการตรวจสอบ = 9x4 = 36 ครั้ง ดังนั้น ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาดของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 2.7 % และพนักงานคนที่ 2 จำนวนครั้งที่ผลตรวจสอบผ่าน 2 ครั้ง จำนวนชิ้นงานที่มีคุณภาพไม่ผ่าน x จำนวนครั้งการตรวจสอบ = 9x4 = 36 ครั้ง ดังนั้น ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด ของพนักงานคนที่ 2 คิดเป็น 5.5 %

4.1.2 การประเมิณการตรวจสอบระหว่างพนักงาน (Between appraiser)

ขั้นที่ 1 การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน

การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน % ประสิทธิผลด้านรีพิททะบิลิตี้ (% Screen effective score) พนักงานคนที่ 1 และพนักงานคนที่ 2 ตรวจสอบได้เหมือนกันจำนวน 16 ชิ้น โดยจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ 18 ชิ้น ดังนั้น % ประสิทธิผลด้านรีพิททะบิลิตี้ ของพนักงานคนที่ 1 และพนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 88.8 %

ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน

การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน % คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์ (% Attribute screen effective score) พนักงานคนที่ 1 และพนักงานคนที่ 2 ตรวจสอบได้เหมือนกันและถูกต้องจำนวน 16 ชิ้น โดยจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ 18 ชิ้น ดังนั้น % คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์ของพนักงานคนที่ 1 และพนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 88.8 %

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ของข้อมูล

ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินดัชนีชี้วัดของพนักงานคนที่ 1 และพนักงานคนที่ 2

ดัชนีชี้วัด	พนักงานตรวจสอบคนที่ 1	พนักงานตรวจสอบคนที่ 2
	วิเคราะห์พนักงานวัดแต่ละคน	
% รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานวัด	88.8%	88.8%
% คะแนนของค่าแอคทริบิวต์	88.8%	88.8%
ดัชนีประสิทธิภาพของพนักงาน	94.4%	95.8%
ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด	2.7%	8.3%
ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด	2.7%	5.5%
	วิเคราะห์ความพ้องกันของการวัดระหว่างพนักงาน	
ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้	88.8%	
% คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์	88.8%	

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลประเมินของค่าดัชนีวัดของพนักงานทั้งสองคน ซึ่งจะนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การตัดสินใจ AIAG ในการยอมรับของค่าดัชนี

ขั้นที่ 1 พนักงานตรวจสอบแต่ละคน

พนักงานตรวจสอบคนที่ 1 มีค่าดัชนีประสิทธิภาพของพนักงาน ระหว่าง 80 % ถึง 90 % แสดงว่า ความประสิทธิผลของพนักงานคนที่ 1 อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถให้การยอมรับได้ ส่วนค่าดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาดและค่าดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด < 5% ซึ่งสามารถยอมรับได้ทั้งสองค่าดัชนี เนื่องจากการปฏิเสธอย่างผิดพลาดและการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาดทั้งสองมีอัตราที่ต่ำกว่าเกณฑ์การพิจารณา โดยสรุปพนักงานคนที่ 1 ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงในส่วนของการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาดและการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด และมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบและพนักงานตรวจสอบคนที่ 2 มีค่าดัชนีประสิทธิภาพของพนักงาน อยู่ระหว่าง 80 % ถึง 90 % แสดงว่า ความมีประสิทธิผลของพนักงานคนที่ 2 อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถให้การยอมรับได้ ค่าดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่าง

ผิดพลาดอยู่ระหว่าง 5 % ถึง 10 % อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถให้การยอมรับได้ ค่าดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด > 5 % ไม่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาดทั้งสองมีอัตราที่สูงกว่าเกณฑ์พิจารณา โดยสรุป พนักงานคนที่ 2 จำเป็นต้องปรับปรุงในส่วนของการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์ของพนักงานตรวจสอบโดยระบบรวม

ในส่วนของการวิเคราะห์ระหว่างพนักงานโดยเป็นการมองทั้งระบบการวัด พบว่าค่า % ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้มีค่าเท่ากับ 88.8 % และ % คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์มีค่าเท่ากับ 88.8 % ถือว่าระบบการวัดโดยรวมมีความแม่นยำและเที่ยง ดีเพียงพอในการตรวจสอบ

4.1.4 การปรับปรุงและจัดทำมาตรฐาน

ทำการปรับปรุงโดยจัดทำมาตรฐานในการตรวจสอบการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากให้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยการทำ Work instruction สำหรับการตรวจสอบการแห้งตัวของฉลากเพื่อให้พนักงานตรวจสอบทุกคนมีมาตรฐานในการตรวจสอบและสามารถเข้าใจวิธีการตรวจสอบได้ง่าย อีกทั้งยังมีการฝึกอบรมวิธีการตรวจสอบงานโดยหัวหน้างานเพื่อให้พนักงานสามารถนำไปปฏิบัติและเข้าใจได้อย่างตรงกัน

4.2 ออกแบบการทดลอง (Design of experiment)

ขั้นตอนเบื้องต้น คณะผู้จัดทำได้มีการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้แผนภาพก้างปลาและประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผล ทำให้ได้ปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1. ปริมาณเม็ดสี

ปัจจัยที่ 2. ปริมาณการปล่อยสารเคลือบ

ปัจจัยที่ 3. ปริมาณการปล่อยหมึกพิมพ์

ปัจจัยที่ 4. อุณหภูมิห้องปิด

ปัจจัยที่ 5. ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึก

ปัจจัยที่ 6. ปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ

ผู้ศึกษาวิจัยได้นำปัจจัย 6 ปัจจัยข้างต้น เพื่อทำการออกแบบทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลหลัก (Main effect) และอันตรกิริยา (Interaction) ของปัจจัยทั้งหมดและสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัย

การออกแบบทดลอง

ผู้ศึกษาวิจัยเลือกการออกแบบทดลองเพื่อสามารถวิเคราะห์ผลหลัก (Main effect) และอันตรกิริยา (Interaction) ของปัจจัยทั้งหมดและเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัย ในการเลือกรูปแบบการทดลองส่งผลต่อขนาดตัวอย่างหรือจำนวนการทดลองโดยตรง ในยุคปัจจุบันที่มีการแข่งขันสูง ค่าใช้จ่ายในการผลิตเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงอย่างมาก ดังนั้นการทดลองในครั้งนี้จึงเลือกชนิดการทดลองที่มีจำนวนการทดลองที่น้อยที่สุดเพื่อลดค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง แต่ยังคงสามารถให้ข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผลอย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.1 การกำหนดตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้มีการศึกษาทั้งหมด 6 ปัจจัยดังที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยมีตัวแปรตอบสนอง (Y) คือ เวลาในการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก การออกแบบการทดลองจะคำนึงถึงจำนวนชุดการทดลอง โดยการพิจารณาควบคู่กับระดับความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ (Resolution) จากภาพที่ 4.1 สำหรับปัจจัยนำเข้า 6 ปัจจัย ผู้ศึกษาวิจัยจะเลือกพิจารณาจำนวนการทดลองที่ 32 runs หรือ 64 runs เนื่องจากค่าความละเอียด (Resolution) มีความละเอียดเพียงพอและความสามารถในการพยากรณ์เชื่อถือได้ ซึ่งทั้งหมดส่งผลกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการทดลองที่กล่าวไว้ข้างต้น

	Factors													
Run	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	Full	III												
8		Full	IV	III	III	III								
16			Full	V	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III	III
32				Full	VI	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
64					Full	VII	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
128						Full	VIII	VI	V	V	IV	IV	IV	IV

ภาพที่ 4.1 ความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ (Resolution)

การออกแบบการทดลองนี้มีปัจจัยที่นำเข้าทั้งหมด 6 ปัจจัย คือ 1) ปริมาณเม็ดสี 2) ปริมาณการปล่อยสารเคลือบ 3) ปริมาณการปล่อยหมึกพิมพ์ 4) อุณหภูมิห้องปิด 5) ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกและ 6) ปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ

สำหรับการเลือกรูปแบบการทดลองจะใช้รูปแบบทดลองแบบ 2^{k-1} (Half-Fractional

Factorial Design) ซึ่งมีจำนวน 32 runs โดยไม่เลือกการทดลองแบบ 2^k (Full-Factorial Design) จำนวน 64 runs เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทดลองสูงเกินไป โดยมีปัจจัยนำเข้า 6 ปัจจัย แบบไม่มีจุดศูนย์กลาง และได้มีการกำหนดระดับปัจจัยไว้ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) ซึ่งระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ระดับของปัจจัยในการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญ

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ชนิดของปัจจัย	ระดับของปัจจัย	
			ระดับต่ำที่สุด (-1)	ระดับสูงที่สุด (+1)
A	ปริมาณเม็ดสี	ปัจจัยคุณลักษณะ	หมึก A	หมึก B
B	ปริมาณการปล่อยสารเคลือบ	ปัจจัยแปรผัน	20%	30%
C	ปริมาณการปล่อยหมึกพิมพ์	ปัจจัยแปรผัน	Black = 1.75 (ใช้สีดำเนื่องจากใช้มากที่สุดและความหนาแน่นมากที่สุด)	Black = 1.80 (ใช้สีดำเนื่องจากใช้มากที่สุดและความหนาแน่นมากที่สุด)
D	อุณหภูมิห้องปิด	ปัจจัยแปรผัน	24 องศาเซลเซียส	26 องศาเซลเซียส
E	ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึก	ปัจจัยแปรผัน	1% ของปริมาณหมึก	3% ของปริมาณหมึก
F	ปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ	ปัจจัยแปรผัน	1% ของปริมาณสารเคลือบ	3% ของปริมาณสารเคลือบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.2 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน (2^{k-1} Fractional Factorial Design)

การทดลองนี้ทดลองแบบ 2^{k-1} (Half-Fractional Factorial Design) เนื่องจากเป็นการลดจำนวนการทดลองจากการทดลองแบบ (Full Factorial Design) ทำให้ไม่เสียต้นทุนในการทดลองมากเกินไป อีกทั้งความละเอียดในผลลัพธ์ (Resolution) อยู่ในระดับ VI ซึ่งสามารถเชื่อถือได้ และมีการพยากรณ์ที่แม่นยำ ตามภาพที่ 4.1

การออกแบบการทดลองจะใช้โปรแกรม Minitab ในการสร้างเมทริกซ์การออกแบบ (Design matrix) โดยลำดับการทดลองจะกำหนดให้มีการสุ่ม (Randomization) เพื่อให้ผลลัพธ์ของแต่ละชุดการทดลองมีอิสระต่อกัน สำหรับการทดลองนี้จะมีทั้งหมด 6 ปัจจัย โดยแบ่งเป็นปัจจัยแปรผัน 5 ปัจจัยและปัจจัยเชิงคุณลักษณะ 1 ปัจจัย จะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 32 ชุดการทดลอง (Runs) รายละเอียดของการออกแบบการทดลองและเมทริกซ์การออกแบบ (Design matrix) แสดงดังภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Fractional Factorial Design

Factors:	6	Base Design:	6, 32	Resolution:	VI
Runs:	32	Replicates:	1	Fraction:	1/2
Blocks:	1	Center pts (total):	0		

Design Generators: F = ABCDE

Defining Relation: I = ABCDEF

Alias Structure

I + ABCDEF

A + BCDEF
B + ACDEF
C + ABDEF
D + ABCEF
E + ABCDF
F + ABCDE
AB + CDEF
AC + BDEF
AD + BCEF
AE + BCDF
AF + BCDE
BC + ADEF
BD + ACEF
BE + ACDF
BF + ACDE
CD + ABEF
CE + ABDF
CF + ABDE
DE + ABCF
DF + ABCE
EF + ABCD
ABC + DEF
ABD + CEF
ABE + CDF
ABF + CDE
ACD + BEF
ACE + BDF
ACF + BDE
ADE + BCF

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.2 รายละเอียดออกแบบของโปรแกรม Minitab

Design Table (randomized)

Run	A	B	C	D	E	F
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	+	+	+	-	+	-

ภาพที่ 4.3 การออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

ตารางที่ 4.4 แสดงการสุ่มชุดการทดลอง (Randomization)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F
25	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
10	2	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1
21	3	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1
14	4	1	1	1	-1	1	1	-1	1
30	5	1	1	1	-1	1	1	1	-1
17	6	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
23	7	1	1	-1	1	1	-1	1	1
15	8	1	1	-1	1	1	1	-1	1
7	9	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1
13	10	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
22	11	1	1	1	-1	1	-1	1	1
27	12	1	1	-1	1	-1	1	1	1
32	13	1	1	1	1	1	1	1	1
4	14	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
8	15	1	1	1	1	1	-1	-1	1
28	16	1	1	1	1	-1	1	1	-1
31	17	1	1	-1	1	1	1	1	-1
19	18	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1
18	19	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
26	20	1	1	1	-1	-1	1	1	1
2	21	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
3	22	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
20	23	1	1	1	1	-1	-1	1	1
11	24	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
9	25	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
6	26	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
12	27	1	1	1	1	-1	1	-1	1
5	28	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1
29	29	1	1	-1	-1	1	1	1	1
16	30	1	1	1	1	1	1	-1	-1
1	31	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
24	32	1	1	1	1	1	-1	1	-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

ผู้ศึกษาวิจัยทำการทดลองตามลำดับชุดทดลองอ้างอิงจากโปรแกรม Minitab ตารางที่มีการสุ่มไว้ก่อนการทดลองซึ่งต้องมีการเตรียมแผนการทดลองเพื่ออธิบายให้กับทีมงาน เพื่อให้ทีมเข้าใจตรงกันและมีลำดับการทดสอบและระดับปัจจัยของแต่ละชุดการทดลองที่ถูกต้อง อีกทั้งรวมถึง

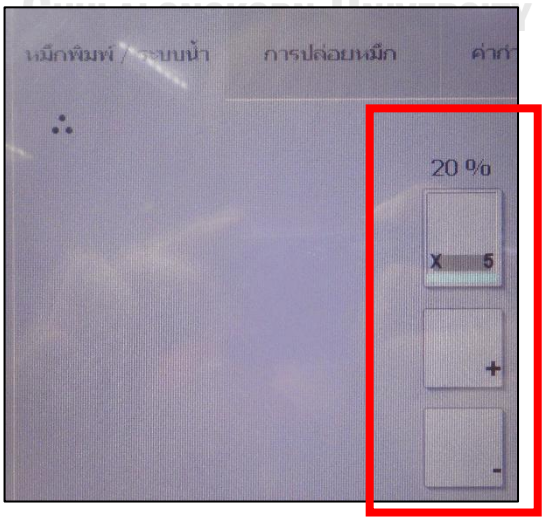
การจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆและเตรียมความพร้อมของเครื่องจักร

สำหรับการทดลองนี้ต้องมีการควบคุมโดยเฉพาะ มีป้ายติดบ่งชี้ชัดเจนในแต่ละชุดการทดลอง เพื่อไม่ให้เกิดการสับสนแก่ผู้ทดลองและเข้าปะปนกับงานที่ผลิตจริง โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.3.1 ทำการใช้หมึกพิมพ์ที่มีปริมาณเม็ดสีมากขึ้น โดยกำหนดค่าจากโปรแกรม Minitab โดยจะใช้หมึก 2 ประเภท คือหมึกประเภท A และหมึกประเภท B

ภาพที่ 4.4 หมึกประเภท A และหมึกประเภท B

4.3.2 ทำการปรับปริมาณสารเคลือบที่เครื่องพิมพ์ฉลากตามค่าที่กำหนดไว้จากโปรแกรม Minitab โดยระดับต่ำสุดคือ 20 % และระดับสูงสุด คือ 30 %



ภาพที่ 4.5 การปรับปริมาณสารเคลือบที่เครื่องพิมพ์

4.3.3 ทำการปรับปริมาณการปล่อยหมึกพิมพ์ที่เครื่องพิมพ์ตามค่าที่ได้กำหนดไว้จากโปรแกรม Minitab โดยระดับต่ำสุดคือ Cyan (C) = 1.3 , Magenta (M) = 1.45 , Yellow (Y) = 1.2 , Black (K) = 1.75 และระดับสูงสุด คือ Cyan (C) = 1.4 , Magenta (M) = 1.53 , Yellow (Y) = 1.37 , Black (K) = 1.80

ภาพที่ 4.6 การวัดความหนาแน่นของหมึกตามปริมาณหมึกพิมพ์ที่ปล่อย
โดยเครื่อง Spectrophotometer

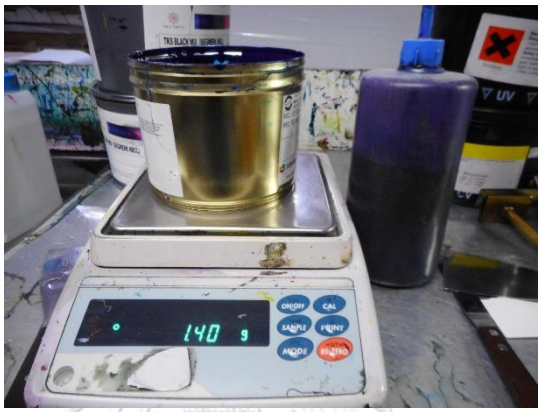
4.3.4 ทำการปรับอุณหภูมิห้องตามค่าที่ได้กำหนดไว้จากโปรแกรม Minitab โดยระดับต่ำสุด คือ 20 องศาเซลเซียส และระดับสูงสุด 26 องศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.7 การควบคุมอุณหภูมิห้อง

4.3.5 ทำการปรับปริมาณสารเร่งแห้งที่ใส่ในหมึกพิมพ์ตามค่าที่ได้กำหนดไว้จากโปรแกรม Minitab โดยระดับต่ำสุดคือ 1 % และระดับสูงสุด คือ 3 % ของปริมาณหมึกพิมพ์ที่ใช้

4.3.6 ทำการปรับปริมาณสารเร่งแห้งที่ใส่ในสารเคลือบตามค่าที่ได้กำหนดไว้จากโปรแกรม Minitab โดยใช้เครื่องชั่งดิจิทัลเพื่อวัดค่าน้ำหนักของสารเร่งแห้ง ในการทดลองกำหนดให้ระดับต่ำสุดคือ 1 % และระดับสูงสุดคือ 3 % ของปริมาณสารเคลือบที่ใช้

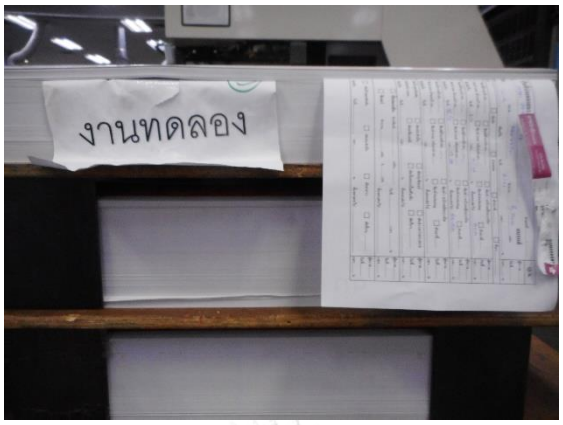


ภาพที่ 4.8 การปรับปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบและหมึกพิมพ์

4.3.7 ตรวจสอบลำดับการทดลองของแต่ละชุดการทดลองจากโปรแกรม Minitab

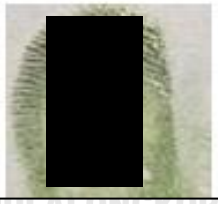
4.3.8 เมื่อเข้าสู่กระบวนการทดลองจริง จะทำการปรับระดับปัจจัยตามชุดการทดลองที่ได้กำหนดจากโปรแกรม Minitab โดยจะใช้ขนาดตัวอย่างต่อ 1 ชุดการทดลองเท่ากับ 500 แผ่นพิมพ์ เนื่องจากเป็นจำนวนงานจริงต่อ 1 ไม้พาเลทเมื่องานออกมาครบจำนวนแต่ละชุดการทดลอง ทำการติดป้ายบ่งชี้ เพื่อนำแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์การแห้งตัวและเก็บข้อมูลต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.9 ชุดการทดลองพร้อมป้ายบ่งชี้

4.3.9 ทุกๆ 1 ชั่วโมงจะทำการทดสอบการแห้งตัวของแต่ละชุดการทดลองและเก็บข้อมูลจนกว่าจะได้ระยะเวลาการแห้งตัวของแต่ละชุดการทดลอง

Position	0 min	1 hr	2 hr
	10:00	11:00	12:00
1			

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.10 แสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลของระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

4.4 ผลการทดลอง

แต่ละชุดการทดลอง จะมีการเก็บข้อมูลระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก จะวัดผลโดยการให้พนักงานทดลองใช้นิ้วกดลงบนงานพิมพ์ แล้วนำนิ้วมากดลงที่กระดาษขาวอีกครั้ง โดยจะแบ่งผลลัพธ์เป็นแห้งตัว (G) คือไม่มีสีติดอยู่บนกระดาษขาวเลย และไม่แห้งตัว (NG) ยังเห็นสีติดลงบนกระดาษขาว ทดลองวิธีแบบดังกล่าวทุกๆชั่วโมง จนกว่าการกดลงบนกระดาษขาวจะไม่มีสีติดอยู่เลย นั่นหมายความว่าคืองานพิมพ์แห้งตัวสนิทแล้ว เพื่อบันทึกข้อมูลระยะเวลาแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองระยะเวลาการแห้งตัวของแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	การแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก									
	Time									
	1-10 ชั่วโมง	11-20 ชั่วโมง	21-30 ชั่วโมง	31-40 ชั่วโมง	41-50 ชั่วโมง	51-60 ชั่วโมง	61-70 ชั่วโมง	71-80 ชั่วโมง	81-90 ชั่วโมง	ระยะเวลาการแห้งตัว (ชั่วโมง)
1	×	×	×	×	×	✓				60
2	×	×	×	×	✓					47
3	×	×	×	×	×	×	✓			61
4	×	×	×	×	×	×	✓			70
5	×	×	×	×	✓					50
6	×	×	×	×	×	×	✓			62
7	×	×	×	×	×	×	×	✓		72
8	×	×	×	×	×	✓				58
9	×	×	×	×	✓					48
10	×	×	×	×	×	✓				60
11	×	×	×	×	×	×	✓			68
12	×	×	×	×	×	×	✓			62
13	×	×	×	×	×	×	✓			61
14	×	×	×	×	✓					45
15	×	×	×	×	×	✓				57
16	×	×	×	×	×	×	×	✓		71
17	×	×	✓							30
18	×	×	×	×	✓					45
19	×	×	×	×	×	×	✓			62
20	×	×	×	×	✓					44
21	×	×	✓							30
22	×	×	✓							30
23	×	×	×	×	✓					48
24	×	×	×	×	×	✓				57
25	×	×	×	×	✓					44
26	×	×	×	×	×	×	✓			61
27	×	×	×	×	✓					48
28	×	×	×	×	×	✓				56
29	×	×	✓							30
30	×	×	×	✓						40
31	×	×	×	×	×	×	✓			61
32	×	×	×	×	✓					44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

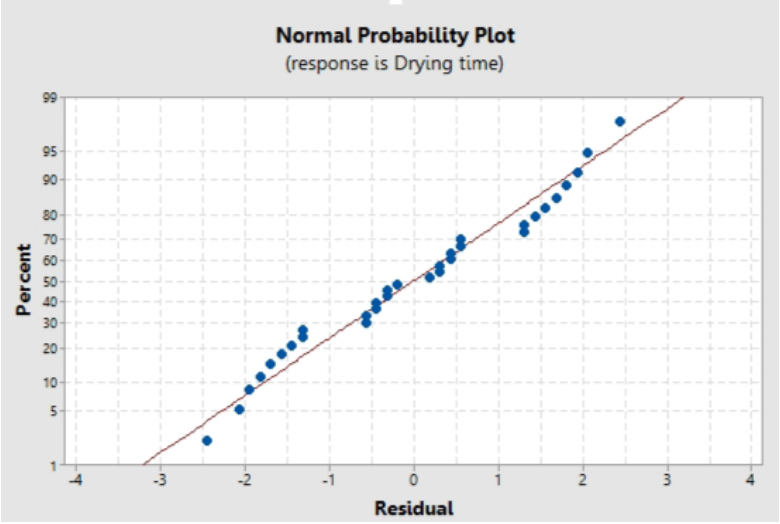
4.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ก่อนทำการวิเคราะห์ผลการทดลองจะต้องตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อของแบบจำลองก่อน (Model Adequacy Checking) โดยตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามสมมติฐาน 3 ข้อ คือ สมมติฐานของการแจกแจงปกติ สมมติฐานของความเป็นอิสระ และสมมติฐานของค่าความแปรปวน เมื่อมีความถูกต้องทั้งหมดแล้วจึงจะทำการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญและใช้เป็นระดับปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

4.5.1 การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ

การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) สามารถดูการกระจายตัวของข้อมูลโดยพิจารณาจาก Normal Probability Plot ซึ่งการกระจายตัวควรมีลักษณะเส้นตรง และสามารถพิจารณาควบคู่กับการทดสอบความเป็นปกติ (Normal Test) ซึ่งค่า P-value ต้องมากกว่า 0.05

จากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวมีลักษณะเป็นเส้นตรง และค่า P-value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

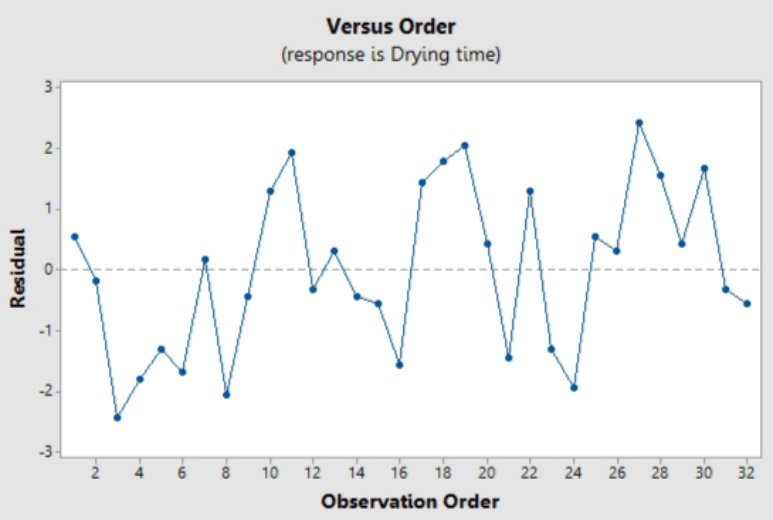


ภาพที่ 4.11 ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ

4.5.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระต่อกัน

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระต่อกัน (Independence of Residual) จะสามารถตรวจสอบได้จากแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนค้าง (Residual) และลำดับของการเก็บข้อมูล โดยการกระจายไม่ควรมีลักษณะมีแนวโน้ม หรือรูปแบบ ควรมีลักษณะไม่มีรูปแบบที่แน่นอนจึงจะถือว่าข้อมูลมีอิสระต่อกัน

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล พบว่าค่าส่วนตกค้างกับลำดับการเก็บข้อมูลมีการกระจายตัวในลักษณะที่ไม่มีรูปแบบ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

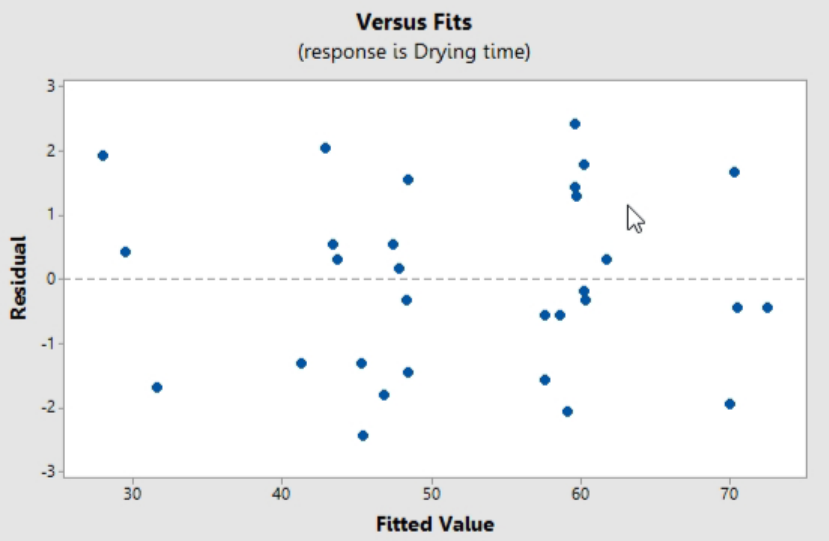


ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล

4.5.3 สมมติฐานของเสถียรภาพค่าความแปรปรวน

การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวน สามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต (Fitted value) ซึ่งข้อมูลควรมีลักษณะไม่มีรูปแบบและแนวโน้ม ควรมีการกระจายตัวที่เท่า ๆ กัน (Constant variance) ไม่ควรมีลักษณะกรวยปากเปิด

จากภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีกระจายตัวไม่มีรูปแบบและไม่มีลักษณะเป็นกรวยปากเปิด ทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต (Fitted value)

4.5.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองของโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากอย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจาณาค่า P-value $\leq$ 0.05

ปัจจัยที่ค่า P-value $\leq$ 0.05 จะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งของงานพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญ โดยวิเคราะห์ได้จากภาพที่ 4.14 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม Minitab

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

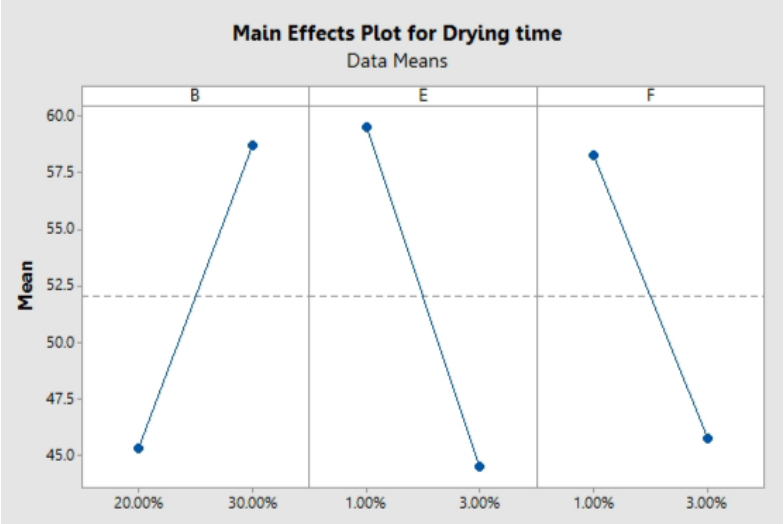
ภาพที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	21	4622.41	220.11	37.59	0.000
Linear	6	4541.94	756.99	129.26	0.000
B	1	1444.53	1444.53	246.66	0.000
C	1	0.78	0.78	0.13	0.723
D	1	5.28	5.28	0.90	0.365
E	1	1815.03	1815.03	309.93	0.000
F	1	1262.53	1262.53	215.59	0.000
A	1	13.78	13.78	2.35	0.156
2-Way Interaction	15	80.47	5.36	0.92	0.575
B*C	1	0.03	0.03	0.01	0.943
B*D	1	0.78	0.78	0.13	0.723
B*E	1	52.53	52.53	8.97	0.013
B*F	1	2.53	2.53	0.43	0.526
B*A	1	1.53	1.53	0.26	0.620
C*D	1	1.53	1.53	0.26	0.620
C*E	1	1.53	1.53	0.26	0.620
C*F	1	3.78	3.78	0.65	0.440
C*A	1	1.53	1.53	0.26	0.620
D*E	1	0.03	0.03	0.01	0.943
D*F	1	0.78	0.78	0.13	0.723
D*A	1	0.78	0.78	0.13	0.723
E*F	1	1.53	1.53	0.26	0.620
E*A	1	11.28	11.28	1.93	0.195
F*A	1	0.28	0.28	0.05	0.831
Error	10	58.56	5.86		
Total	31	4680.97			

จากภาพที่ 4.14 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากอย่างมีนัยสำคัญ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ปัจจัยที่ 1 ปัจจัยหลัก (Main effect)



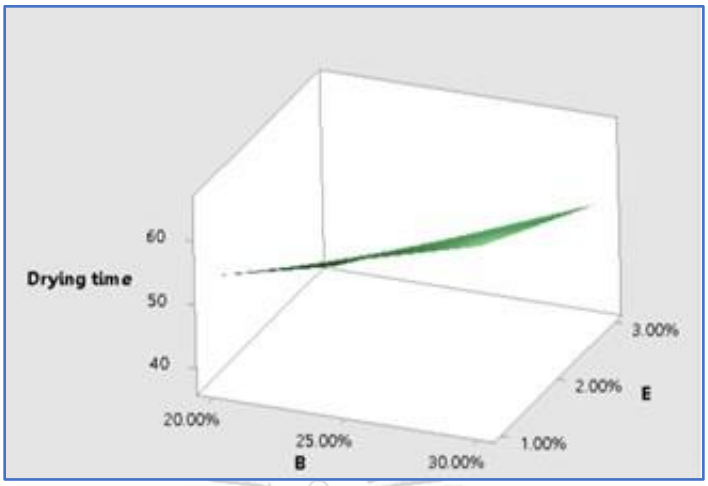
ภาพที่ 4.15 Main Effects Plot

จากภาพที่ 4.14 จะได้ว่าปัจจัย B , E และ F นั่นคือ ปริมาณสารเคลือบ ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกและปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ ซึ่งมีค่า P-Value $\leq$ 0.05 จากภาพที่ 4.15 Main Effects Plot จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณสารเคลือบ (B) เปลี่ยนจากระดับ 30% เป็น 20% ส่งผลทำให้ระยะเวลาการแห้งตัวลดลง เนื่องจากปริมาณสารเคลือบที่บางลง ส่งผลให้ระยะเวลาการแห้งตัวลดลงเมื่อปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ (F) เปลี่ยนจากระดับ 1% เป็น 3% ส่งผลทำให้ระยะเวลาการแห้งตัวลดลง เนื่องจากสารเร่งแห้งช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ทำให้เวลาในการแห้งตัวลดลง เมื่อปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกพิมพ์ (E) เปลี่ยนจากระดับ 1% เป็น 3% ส่งผลทำให้ระยะเวลาการแห้งตัวลดลง เนื่องจากสารเร่งแห้งช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ทำให้เวลาในการแห้งตัวลดลง

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าปัจจัยดัง B, E และ F ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากอย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัจจัยที่ 2 ปัจจัยอันตรกิริยา (Interaction effect)



ภาพที่ 4.16 Surface plot of drying time

จากภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ในส่วนของ 2-way interaction effect จะมีคู่ปัจจัย B และปัจจัย E ที่ค่า P-Value $\leq$ 0.05 ซึ่ง 2 ปัจจัยดังกล่าวมีปฏิกิริยาระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

จากภาพที่ 4.16 Surface plot of drying time แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณสารเคลือบ (B) ที่ระดับ 20% โดยให้ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกพิมพ์ (E) จากระดับ 1% เป็นระดับ 3% ส่งผลให้ระยะเวลาการแห้งตัวลดลงประมาณ 15 ชั่วโมง แต่ถ้าปริมาณสารเคลือบ(B) ที่ระดับ 30% โดยให้ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกพิมพ์ (E) จากระดับ 1% เป็นระดับ 3% ส่งผลให้ระยะเวลาการแห้งตัวลดลงประมาณ 10 ชั่วโมง

โดยพบว่าเมื่อทำการยึดตำแหน่งของปริมาณสารเคลือบ แล้วทำการเปลี่ยนระดับของปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกพิมพ์จะพบว่าระยะเวลาแห้งตัวลดลงไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยปริมาณสารเคลือบ (B) และปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกพิมพ์ (E) เกิดอันตรกิริยา (Interaction) เนื่องจากหมึกพิมพ์และสารเคลือบเป็นสารเคมีฐานน้ำมันเหมือนกัน เมื่อเวลาทำการผลิตจะเกิดการซ้อนทับกันบางส่วนระหว่างหมึกพิมพ์กับสารเคลือบ ทำให้สารเร่งแห้งในหมึกพิมพ์บางส่วนจะเข้าไปอยู่ในสารเคลือบด้วย ดังนั้น เมื่อปริมาณสารเคลือบลดลงเหลือ20% ทำให้อัตราส่วนระหว่างสารเร่งแห้งกับสารเคลือบเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปฏิกิริยาการแห้งตัวในสารเคลือบเพิ่มขึ้น ทำให้ระยะเวลาแห้งตัวน้อยลงกว่าปริมาณสารเคลือบที่ 30%

ในการหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม สามารถใช้หลักการ Optimization โดยฟังก์ชั่น Response Optimization ของโปรแกรม Minitab ซึ่งพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากน้อยที่สุดคือ ปริมาณสารเคลือบ (B) ที่ 20 % ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึก (E) อยู่ที่ 3% และปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ (F) อยู่ที่ 3 % ซึ่งดูได้จาก Optimization plot ดังภาพที่ 4.17

ภาพที่ 4.17 Optimization plot

ในส่วนประสิทธิภาพของสมการพยากรณ์ (R-square) จะได้สมการพยากรณ์ (Regression Equation) ระยะเวลาการแห้งตัวดังภาพที่ 4.18

Regression Equation

Drying time = 58.88 + 83.1 B - 628.1 F - 1394 E + 2562 B*E

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.41997	98.75%	96.12%	87.19%

ภาพที่ 4.18 ผลของประสิทธิภาพสมการพยากรณ์ (Regression Equation)

โดยประสิทธิภาพของสมการพยากรณ์ (R-square) เท่ากับ 96.12 % ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอและเชื่อถือการพยากรณ์ได้

4.5.5 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เลือกรูปแบบ 2^{k-1} Fractional Factorial Design เนื่องจากเป็นการเป็นลดจำนวนการทดลองเพื่อลดต้นทุนในสถานการณ์ที่มีการแข่งขันในตลาด โดยมีปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัย แบ่งเป็นระดับต่ำและระดับสูง โดยมีค่าความละเอียด (Resolution) เท่ากับ VI ซึ่งมีความน่าเชื่อถือ ชุดการทดลองมีทั้งหมด 32 ชุดการทดลอง สำหรับลำดับของชุดการทดลองอ้างอิงจากโปรแกรม Minitab

เมื่อเก็บข้อมูลระยะเวลาการแห้งตัวของแต่ละชุดการทดลองแล้ว ก่อนนำไปวิเคราะห์ผลการทดลอง ได้นำข้อมูลตรวจสอบความถูกต้องและน่าเชื่อถือของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เมื่อพบว่าข้อมูลมีความถูกต้องตามทั้ง 3 สมมติฐาน จึงนำมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวอย่างมีนัยสำคัญต่อไป

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก คือ ปริมาณสารเคลือบ ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกและปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ เนื่องจากมีค่า P-value ≤ 0.05

ตารางที่ 4.6 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสมของปัจจัย
B	ปริมาณสารเคลือบ	20 %
E	ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึก	3.0 %
F	ปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ	3.0 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้ศึกษาวิจัยจึงสรุปได้ว่าได้ทำการหาระดับของปัจจัยที่ส่งผลการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากในระดับเหมาะสม นั่นก็คือ ปริมาณสารเคลือบเท่ากับ 20 % ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกอยู่ที่ 3.0 %

และปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบอยู่ที่ 3.0 % ตามตารางที่ 4.6 จากระดับที่กล่าวมานี้ งานพิมพ์ฉลากจะใช้ระยะเวลาแห้งตัว 27.18 ≈ 28 ชั่วโมง

4.6 การทดสอบเพื่อยืนยันผล

เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งหมด หลังจากทำการปรับระดับปัจจัยนำเข้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยตัวแปรตอบสนองคือ เวลาในการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก โดยระดับของปัจจัยการผลิตจริงจะอ้างอิงตามตารางที่ 4.10

4.6.1 ขั้นตอนการทดลอง

ก่อนเริ่มทำการทดลองเพื่อยืนยันผล พนักงานประจำเครื่องต้องมีการปรับตั้งค่าเครื่องให้เรียบร้อยก่อนการทดลอง และกำหนดให้ตรวจสอบค่าปรับตั้งให้เป็นไปตามระดับปัจจัยที่กำหนด โดยปัจจัยการตั้งค่าเครื่องอื่นๆที่ไม่ใช่ปัจจัยที่ผู้ศึกษาวิจัยจะพิจารณาผลให้ตั้งค่าตามมาตรฐานเดิม สำหรับปัจจัยที่ทำการพิจารณายืนยันผลมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ขั้นที่ 1 ใส่สารเร่งแห้งในหมึกในปริมาณ 3 % ของปริมาณที่จะทำการใส่ไปในรางหมึก

ขั้นที่ 2 ใส่สารเร่งแห้งในสารเคลือบในปริมาณ 3.% ของปริมาณที่จะทำการใส่ไปในรางสารเคลือบ

ขั้นที่ 3 ทำการปรับปริมาณการปล่อยสารเคลือบให้อยู่ที่ 20 % ที่แผงควบคุมของเครื่องพิมพ์

ขั้นที่ 4 เมื่อปรับตั้งค่าของเครื่องพิมพ์เสร็จเรียบร้อย ให้พนักงานแจ้งหัวหน้างานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการตั้งค่าเครื่องจักร

ขั้นที่ 5 เข้าสู่กระบวนการทดลองโดยจะใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 500 แผ่นพิมพ์ต่อ 1 ชุดการทดลอง เพื่อให้มีลักษณะเหมือนการผลิตจริง

ขั้นที่ 6 ทำการทดสอบทั้งหมด 5 ชุดการทดลอง แล้วบันทึกการแห้งตัวทุกชั่วโมงของแต่ละชุดการทดลองและตรวจสอบงานพิมพ์ฉลากมีการแห้งตัวหรือไม่

ขั้นที่ 7 เก็บข้อมูลรายชั่วโมง และนำผลมาวิเคราะห์ต่อไป

4.6.2 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เมื่อเก็บข้อมูลระยะเวลาการแห้งตัวของแต่ละชุดการทดลอง จะทำให้สามารถยืนยันผลการทดลองของระดับปัจจัยที่สรุปไว้ข้างต้น

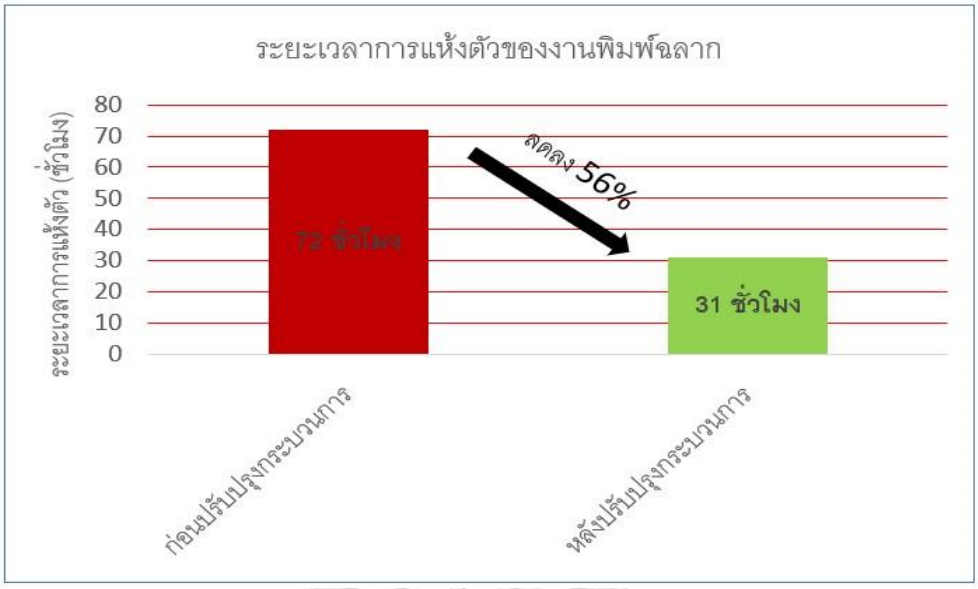
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเพื่อยืนยันระดับปัจจัย

กลุ่มตัวอย่าง	ขนาดตัวอย่าง (แผ่นพิมพ์)	ระยะเวลาในการแห้งตัว (ชั่วโมง)	ปัญหาทางด้านคุณภาพ	
			ผลการทดสอบแรงทนถู (Rub resistance)	หมึกและสารเคลือบไม่แห้งตัวก่อนถูกถ่ายทอด
1	500	29	✓	✓
2	500	30	✓	✓
3	500	33	✓	✓
4	500	31	✓	✓
5	500	30	✓	✓

จากตารางที่ 4.7 พบว่า จากกลุ่มตัวอย่าง 5 กลุ่มตัวอย่าง จะมีระยะเวลาแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากอยู่ 29 – 33 ชั่วโมง จึงสรุปการยืนยันผลการทดลองได้ว่าค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการแห้งตัวเท่ากับ 30.6 ≈ 31 ชั่วโมง

จากการทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลโดยกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากอ้างอิงจากตารางที่ 4.6 จึงสรุปยืนยันผลการทดลองได้ว่า ระยะเวลาแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากก่อนปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ นั่นก็คือ 72 ชั่วโมง เมื่อปรับปรุงกระบวนการแล้วลดลงเหลือ 31 ชั่วโมง คิดเป็น 56 % ที่ลดลง และระดับปัจจัยดังกล่าวไม่มีปัญหาทางด้านคุณภาพใดๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4.19 ผลลัพธ์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของแก้ไขกระบวนการ

4.6.3 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นและผลกำไรหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ในงานวิจัยนี้หลังจากการปรับปรุงกระบวนการ ทำให้ระยะเวลาในการผลิตลดลง ฝ่ายผลิตสามารถเพิ่มประสิทธิภาพต่อเดือนมากขึ้น โดยทั้งกระบวนการผลิตใช้เวลาการผลิตงานพิมพ์ฉลาก 159.5 ชั่วโมง หลังปรับปรุงกระบวนการลดลง 41 ชั่วโมง เหลือเวลาในการผลิต 118.5 ชั่วโมง ระยะเวลาที่ลดลงคิดเป็น 25.7 % ของระยะเวลาการผลิตงานพิมพ์ฉลากทั้งหมด

กำลังการผลิตงานพิมพ์ฉลากสำหรับโรงพิมพ์กรณีศึกษาเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 19.33 ล้านชิ้น / เดือน โดยหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตจะทำให้สามารถรับผลิตงานได้เพิ่มขึ้น 25.7% ของกำลังการผลิตเดิม คิดเป็นมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 4.96 ล้านชิ้นต่อเดือน กำไรต่อชิ้นเท่ากับ 0.04 บาท

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าผลกำไรที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุงกระบวนการอยู่ที่เท่ากับ 4,960,000 x 0.04 = 198,000 บาท/เดือน คิดเป็น 2,376,000 บาท/ปี

ในส่วนของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นสำหรับการปรับปรุงกระบวนการ จะแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบที่ต้องใส่คิดเป็น 30 g ต่อสารเคลือบ 1 Kg หรือ 1,000 g สำหรับโรงพิมพ์กรณีศึกษาใช้สารเคลือบสำหรับผลิตงานพิมพ์ฉลากเฉลี่ยอยู่ 342 Kg/ปี ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณสารเร่งแห้งอยู่ที่ = 0.030 x 342 = 10.26 ≈ 11 Kg / ปี คิดเป็น 22 กระป๋องต่อปี (กระป๋องละ 0.5 Kg) โดยสารเร่งแห้งสำหรับสารเคลือบราคา 415 บาทต่อกระป๋อง

สรุปค่าใช้จ่ายในการใช้สารเร่งแห้งในหมึกพิมพ์เท่ากับ 415 x 22 = 9,130 บาท / ปี

ส่วนที่ 2 ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกพิมพ์ที่ต้องใส่คิดเป็น 30 g ต่อหมึกพิมพ์ 1 Kg หรือ 1,000 g สำหรับโรงพิมพ์กรณีศึกษาใช้หมึกพิมพ์สำหรับผลิตงานพิมพ์ฉลากเฉลี่ยอยู่ 2,136 Kg/ปี ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณสารเร่งแห้งอยู่ที่ = 0.030 x 2,136 = 64.08 ≈ 65 Kg/ปี คิดเป็น 65 กระป๋อง ต่อปี (กระป๋องละ 1 Kg) โดยสารเร่งแห้งสำหรับหมึกพิมพ์ราคา 732 บาทต่อกระป๋อง

สรุปค่าใช้จ่ายในการใช้สารเร่งแห้งในหมึกพิมพ์เท่ากับ 732 x 65 = 47,580 บาท / ปี

ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายที่เพิ่มขึ้นสำหรับการปรับปรุงกระบวนการ = 9,130 + 47,580 = 56,710 บาท / ปี

สำหรับผลกำไรที่เพิ่มขึ้นหลังจากหักค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมแล้วอยู่ที่ = 2,376,000 – 56,710 = 2,319,290 บาท/ปี

4.7 การควบคุม

การตรวจติดตามควบคุมเป็นการปรับปรุงเพื่อให้กระบวนการมีการปรับค่าระดับของปัจจัยให้เป็นไปตามผลสรุปการทดลองที่กำหนดไว้ โดยมีการจัดทำแผนการควบคุมที่มีการกำหนดผู้ตรวจสอบ ระยะเวลาที่ต้องการทำตรวจสอบ รวมถึงจัดทำคู่มือการทำงาน (Work instruction) สำหรับการตั้งค่าของระดับปัจจัย เพื่อช่วยควบคุมให้กระบวนการผลิตงานพิมพ์ฉลากเป็นไปตามที่กำหนด

4.7.1 แผนการควบคุม

ประเภทที่ 1 แบบฟอร์มการตรวจสอบ (Inspection form)

จัดทำแผนการควบคุมปัจจัยปรับตั้งค่า จะทำควบคุมทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ ปริมาณสารเคลือบ ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกและปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ โดยกำหนดให้พนักงานประจำเครื่องทำการบันทึกตามแบบฟอร์มทุกๆงานก่อนเริ่มผลิตงานพิมพ์ฉลาก ซึ่งพนักงานต้องปรับตั้งให้ได้ตามค่าที่กำหนดเท่านั้นจึงจะเริ่มผลิตงานได้ ตามแบบฟอร์มในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แบบฟอร์มการตรวจสอบ

แบบฟอร์มการตรวจสอบปริมาณสารเคลือบและปริมาณสารเร่งแห้ง								
วันที่ : ___/_____/_____ ช่วงกลางวัน / ช่วงกลางคืน								
ลำดับ	ชื่องาน	เวลาตรวจสอบ	ปริมาณสารเคลือบ		น้ำหนักสารเร่งของหมึก		น้ำหนักสารเร่งของสารเคลือบ	
			ค่าที่กำหนด	ค่าที่ได้	ค่าที่กำหนด	ค่าที่ได้	ค่าที่กำหนด	ค่าที่ได้
1			20 %		30 g		30 g	
2			20 %		30 g		30 g	
3			20 %		30 g		30 g	
4			20 %		30 g		30 g	
ผู้ตรวจสอบ : _____								

วันที่ : ___/_____/_____ ช่วงกลางวัน / ช่วงกลางคืน								
ลำดับ	ชื่องาน	เวลาตรวจสอบ	ปริมาณสารเคลือบ		น้ำหนักสารเร่งของหมึก		น้ำหนักสารเร่งของสารเคลือบ	
			ค่าที่กำหนด	ค่าที่ได้	ค่าที่กำหนด	ค่าที่ได้	ค่าที่กำหนด	ค่าที่ได้
1			20 %		30 g		30 g	
2			20 %		30 g		30 g	
3			20 %		30 g		30 g	
4			20 %		30 g		30 g	
ผู้ตรวจสอบ : _____								

ประเภทที่ 2 คู่มือการทำงาน (Work instruction)

จัดทำคู่มือการทำงานสำหรับการปรับตั้งค่าเครื่องพิมพ์สำหรับการผลิตงานพิมพ์ฉลาก เพื่อให้พนักงานประจำเครื่องได้ตรวจสอบขั้นตอนการตั้งค่าเครื่องพิมพ์ก่อนเริ่มผลิตงานและป้องกันความผิดพลาดในการทำงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.9 คู่มือการทำงานสำหรับการตั้งค่าของเครื่องพิมพ์

WORK INSTRUCTION Subject : Parameter setting for Label Brand BEC	Document No. WQ-156 Revise no. 0	Date 15/11/2021 Minor Revision Page 1
User : Quality Assurance Officer Printing operator	Department : Quality Assurance Printing production	

ประเภทที่ 3 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

ผู้ศึกษาวิจัยทำการติดตามผลการทดลอง โดยการเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากของทุกสัปดาห์ ในการเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยจะใช้แผนภูมิ $\bar{X}$ – R charts ซึ่งจะคำนวนค่าต่างๆจากการเก็บข้อมูลของค่าเฉลี่ยแต่ละสัปดาห์เป็นเวลา 1 เดือน (4 สัปดาห์) ซึ่งแผนภูมิควบคุมจะทำให้สามารถรู้ถึงความผิดปกติของข้อมูลได้ เพื่อจะได้ทำการแก้ไข

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลเวลาการแห้งตัวเฉลี่ยของงานพิมพ์ฉลากในแต่ละสัปดาห์

สัปดาห์ที่	เวลาการแห้งตัวเฉลี่ย (ชั่วโมง)	เวลาเฉลี่ยของทั้งเดือน(ชั่วโมง)
1	30.60	30.83
2	31.25	
3	32	
4	29.50	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สูตรการคำนวณ UCL $= \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = \mu_{x\ bar} + 3\sigma_{x\ bar}$

Center Line = $\bar{\bar{X}} = \mu_{x\ bar}$

LCL $= \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = \mu_{x\ bar} - 3\sigma_{x\ bar}$

จากตารางที่ 4.10 จะได้ค่า $\mu_{x\ bar} = 30.83$

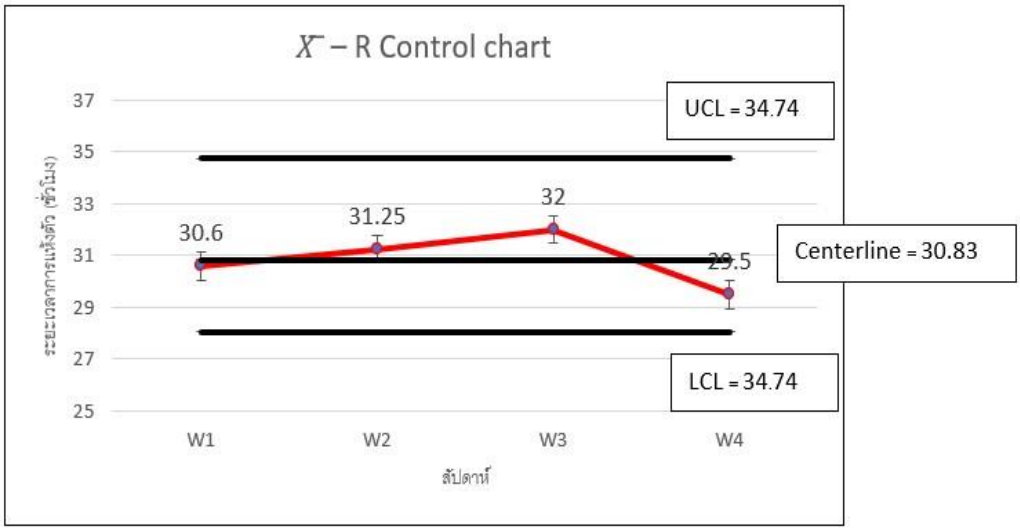
$\sigma_{x\ bar} = 0.917$

ดังนั้นจะได้ค่า UCL = 30.83+ 3(0.917) = 34.74

LCL = 30.83 - 3(0.917) = 28.07

Center Line = 30.83

ภาพที่ 4.20 การใช้แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ – R charts



4.7.2 สรุประยะการทดสอบยืนยันผลและการติดตามควบคุม

จากผลการทดสอบการแห้งตัวของงานพิมพ์ในระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าระยะเวลาการแห้งเฉลี่ยอยู่ที่ 30.86 ชั่วโมง ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ยืนยันผลการทดลองได้

ผู้ศึกษาวิจัยได้มีการจัดทำแบบฟอร์มตรวจสอบการตั้งระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งของงานพิมพ์ฉลากโดยตรง นั่นก็คือ ปริมาณสารเคลือบ ปริมาณสารเร่งในหมึกและปริมาณสารเร่งแห้ง

ในสารเคลือบ โดยก่อนเริ่มทุกๆงานจะต้องให้พนักงานประกันคุณภาพทำการกรอกข้อมูลในแบบฟอร์มทุกครั้ง และมีการทำคู่มือการทำงานสำหรับขั้นตอนการตั้งเครื่องพิมพ์สำหรับงานพิมพ์ฉลาก เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดของพนักงานประจำเครื่องพิมพ์

สุดท้ายผู้ศึกษาวิจัยได้ออกแบบแผนภูมิควบคุมเวลาเฉลี่ยการแห้งตัวของงานพิมพ์ในแต่ละสัปดาห์โดยใช้แผนภูมิประเภท $\bar{X}$ – R charts ในการกระจาย เพื่อควบคุมไม่ให้ข้อมูลค่าเวลาเฉลี่ยออกนอกขอบเขตควบคุมและยังช่วยให้ผู้ดูแลงานโดยตรงสามารถสังเกตเห็นความผิดปกติของข้อมูลจากแผนภูมินี้ ทำให้สามารถรีบดำเนินการแก้ไขต่อไป

หลังจากปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยหลังการทดลองไม่พบการแจ้งปัญหาจากลูกค้าที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยเป็นระยะเวลา 2 เดือนหลังจากการเริ่มปรับเปลี่ยน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เนื่องในยุคที่มีการแข่งขันสูง ทำให้โรงพิมพ์กรณีศึกษาต้องลดระยะเวลาการผลิตงานพิมพ์ฉลากเพื่อให้ทันตามความต้องการของลูกค้า งานวิจัยนี้จะเริ่มตั้งแต่การหาขั้นตอนที่ใช้เวลามากที่สุดในการผลิต นั่นคือ ขั้นตอนในการรอให้งานพิมพ์ฉลากแห้งตัว ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ไม่เกิดคุณค่า (Non-value added) ดังนั้นผู้ศึกษาวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะต้องการลดระยะเวลาแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก

5.1 บทสรุปการหาสาเหตุและวิเคราะห์ปัญหา

หลังจากที่ผู้ศึกษาวิจัยได้ศึกษากระบวนการผลิตงานพิมพ์ฉลากอย่างละเอียดในแต่ละขั้นตอน โดยการเก็บข้อมูลระยะเวลาการทำงานทุกขั้นตอน ทำให้ทราบถึงปัญหาของความล่าช้าของแต่ละขั้นตอนในการผลิต ขั้นตอนที่ใช้เวลามากที่สุดในการผลิต คือ การรอแห้งตัวของงานพิมพ์ โดยใช้เวลาไป 72 ชั่วโมง จากระยะเวลาการผลิตทั้งหมด 159.5 ชั่วโมง คิดเป็น 44 % ของเวลาทั้งหมด

เมื่อทราบถึงปัญหา ผู้ศึกษาวิจัยจึงได้จัดตั้งคณะจัดทำงานจำนวน 6 คน เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยเริ่มจากระดมสมอง (Brainstorming) เพื่อหาปัจจัยที่จะส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก โดยการใช้แผนภาพก้างปลา (Fish bone) ในการแบ่งปัจจัยเป็น ปัจจัยที่เกิดจากคน (Man) ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine) ปัจจัยที่เกิดจากกระบวนการทำงาน (Method) ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุ (Material) และสุดท้ายปัญหาที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม (Environment) โดยนำปัจจัยจากการระดมสมองที่ได้จาก 5 หัวข้อนี้ มีจำนวนทั้งหมด 15 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยทั้งหมดมาให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างเหตุผล (Cause & Effect Matrix) ทีมคณะจัดทำมีสมาชิก 6 คน แต่ละคนจะให้คะแนนแต่ละปัจจัย โดยการให้คะแนนเป็น 3 ระดับคือ 0 คะแนน (ปัจจัยไม่ส่งผลต่อการแห้งตัว) 3 คะแนน (ปัจจัยส่งผลต่อการแห้งตัวระดับปานกลาง) และ 9 คะแนน (ปัจจัยส่งผลต่อการแห้งตัวระดับสูง) การให้คะแนนของสมาชิกทุกคนจะมีการอ้างอิงจากการค้นคว้าวิจัยและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวกับการแห้งตัวของงานพิมพ์

หลังจากที่สมาชิกทีมคณะผู้จัดทำให้คะแนนครบทุกปัจจัยแล้ว ก็จะรวมขนาดของปัจจัยทุกๆ ปัจจัย เพื่อเลือกปัจจัยที่มีขนาดสูงไปทำการดำเนินขั้นตอนต่อไป โดยการคัดเลือกจากเรียงคะแนนโดยใช้แผนภาพพาเรโต (Pareto) ซึ่งจะได้ 6 ปัจจัยที่คะแนนมากที่สุดและเป็นปัจจัยที่ทีมคณะจัดทำคาดว่าน่าจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่องานพิมพ์ฉลาก นั่นก็คือ 1. ปริมาณของเม็ดสีในหมึกพิมพ์ 2.ปริมาณการปล่อยสารเคลือบ 3.ปริมาณการปล่อยหมึกพิมพ์ 4. อุณหภูมิห้องปิด 5. ปริมาณสาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เร่งแห้งในหมึก 6. ปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ โดยทั้ง 6 ปัจจัยนี้จะทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ต่อไป

5.2 บทสรุปผลการทดลองและการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ผู้ศึกษาวิจัยและคณะผู้จัดทำได้ 6 ปัจจัยที่คิดว่าส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลาก และนำไปออกแบบการทดลอง (Design of experiment) โดยเลือกการทดลองแบบฮาฟแฟคทอเรียล (Half-Factorial Design) เนื่องจากมี Resolution เท่ากับ VI ซึ่งมีความละเอียดมากพอและเชื่อถือได้ อีกทั้งยังลดจำนวนชุดการทดลองลดครึ่งหนึ่งจากการทดลองแบบฟูลแฟกทอเรียล (Full-Factorial Design)

จากการเลือกรูปแบบการทดลองเป็น Half-factorial Design จะได้จำนวนการลองเท่ากับ 2^{6-1} = 32 ชุดการทดลอง หลังจากการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากอย่างมีนัยสำคัญคือ ปริมาณสารเคลือบ ปริมาณสารเร่งให้ในหมึกและปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบ โดยปัจจัยดังกล่าวมีค่า P-value ≤ 0.05

หลังจากนั้นนำสามปัจจัยดังกล่าวมาทำการออกแบบการทดลอง หาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้งานพิมพ์ฉลากแห้งเร็ว ซึ่งผลลัพธ์ คือ ระดับปริมาณสารเคลือบอยู่ที่ 20% ปริมาณสารเร่งแห้งในหมึกอยู่ 3.0 % และปริมาณสารเร่งแห้งในสารเคลือบอยู่ที่ 3.0 %

เมื่อได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมจึงนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยทำการทดสอบกับตัวอย่าง 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 500 แผ่นพิมพ์พบว่ามีระยะเวลาแห้งตัวเฉลี่ยนอยู่ที่ 31 ชั่วโมง จากเดิมใช้เวลาแห้งตัว 72 ชั่วโมง ลดลง 41 ชั่วโมง คิดเป็น 56 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลสรุปของงานวิจัยคือ สามารถลดระยะเวลาการแห้งตัวได้ถึง 56 % ส่งผลทำให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้มากขึ้นและสามารเพิ่มกำไรให้แก่โรงงานกรณีศึกษา

5.3 บทสรุปการควบคุมและติดตามผล

สำหรับการควบคุมนั้นผู้ศึกษาวิจัยมีการจัดทำคู่มือการทำงานสำหรับวิธีการตั้งค่าเครื่องจักรพร้อมกับวิธีการใช้เครื่องวัดก่อนเริ่มผลิตงานพิมพ์ฉลาก และผู้ศึกษาวิจัยได้จัดทำแบบฟอร์มเพื่อตรวจเช็คค่าระดับปัจจัยที่อ้างอิงหลังจากปรับปรุงกระบวนการแล้ว ซึ่งมีการตรวจสอบโดยพนักงานประกันคุณภาพก่อนเริ่มงานทุกงาน ส่วนการติดตามผลมีการบันทึกค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์แต่ละสัปดาห์ โดยใช้แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ – R Chart เพื่อสังเกตความผิดปกติของข้อมูล

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ผลของการปรับปรุงกระบวนการผลิตงานพิมพ์ฉลากให้ระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากลดลง สามารถนำไปประยุกต์ในสายการผลิตการพิมพ์ออฟเซ็ตที่มีกระบวนการคล้ายกันได้ โดยต้องคำนึงถึงประเภทของเครื่องจักร และระดับปัจจัยที่ใกล้เคียงกันด้วย

5.4.2 การเปลี่ยนระดับของปัจจัย ควรใช้ของเสียในการวิ่งนำข้างต้นเพื่อให้เครื่องพิมพ์ได้เปลี่ยนระดับปัจจัย จะใช้จำนวนประมาน 100 -200 แผ่น เมื่อระดับปัจจัยคงที่แล้ว จึงค่อยพิมพ์งานลงบนกระดาษ เพราะถ้าไม่มีกระดาษของเสียนำ จะทำให้ช่วงๆแรกของผลลัพธ์ของการทดลองไม่ตรงได้

5.4.3 ต้องอบรมพนักงานประจำเครื่องให้มีความเข้าใจสำหรับการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยว่าส่งผลอย่างไรให้กับงานที่พิมพ์ฉลากที่ผลิตออกมา เพื่อให้ทราบถึงปัญหาเบื้องต้นที่เกิดขึ้น

5.4.4 จากระดับปัจจัยของสารเร่งแห้งในหมึกพิมพ์และสารเคลือบ โดยปริมาณสารเร่งแห้งที่มากขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้ระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากลดลง ซึ่งอาจมีการทดลองใส่เพิ่มขึ้นได้จากระดับที่สรุปในผลการทดลอง แต่ต้องคำนึงถึงปัญหาคุณภาพและต้นทุนที่เพิ่มขึ้น

5.4.5 สำหรับระดับของปัจจัยสารเคลือบ ระยะเวลาการแห้งตัวของงานพิมพ์ฉลากมีแนวโน้มที่จะลดลง เมื่อลดปริมาณสารเคลือบลงเนื่องจากชั้นเคลือบที่บาง ซึ่งสามารถมีการทดลองเพิ่มเติมได้โดยลดปริมาณสารเคลือบลง แต่ต้องคำนึงถึงการทนถูของฉลากด้วย เพราะจากสารเคลือบทำหน้าที่ปกป้องรอยขีดข่วนของฉลาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กฤตพงศ์ สูงตรง. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ในระบบออฟเซ็ตและค่าความแตกต่างสีบนสิ่งพิมพ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

ขวัญชัย ห้วยลึก. การลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโก่งของแขนจับหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.

จามร หรูจิตตวิวัฒน์. การศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตที่มีต่อต้นทุนรวมและคุณภาพของสบู่ก้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

จุฑามาศ รัตนกุล. การลดข้อบกพร่องของกระบวนการบรรจุกุ้งแปรรูปซิชิแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

ณัฐกานต์ ชูวงษ์วัฒนะ. การบริหารจัดการและควบคุมความเสี่ยงเชิงคุณภาพสำหรับบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกที่มีการลดน้ำหนัก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561.

ธิดารัตน์ ธัญญรักษ์. การลดเวลาการหมุนเวียนน้ำชะล้างเรซินในการผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ธีระพงษ์ สำราญ. การลดของเสียของเหล็กหล่อเหนียวประเภทขนาดผิดรูปและทรายตกในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558.

บุญชัย วลิธรชีพสวัสดิ์. เทคโนโลยีกระบวนการพิมพ์. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2557.

ปฏิพากย์ ปุ่นอุดมและไพบูลย์ กลมกล่อม. การจัดการของเสียจากการล้างหมึกพิมพ์ออฟเซตลิธอกราฟี. สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลโลยีราชมงคลกรุงเทพ, 2559.

ปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์. การลดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนในกระบวนการผลิตกระจกวัตถุดิบในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

ภาคภูมิ ชื่นสุวรรณ. การประกอบและติดตั้งเครื่องพิมพ์ออฟเซตป้อนแผ่นKBAรุ่น RAPIDA 75 (ส่วนการพิมพ์). ปริญญานิพนธ์, สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, 2555.

ยศวิน ศรีศักดิ์สรชาติ. การลดของเสียประเภทจุดสีในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.

วัฒน์ พลอยศรี. การศึกษาค่าสีทางการพิมพ์บนกระดาษจากการพิมพ์ระบบออฟเซต. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, 2555.

วิทยา เจนจิวัฒนกุล. การลดของเสียในกระบวนการพิมพ์พลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

สรารัตน์ ชาลีกัน. การปรับปรุงค่าความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการอบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558.

สลักจิตต์ พุทธจักร. การลดรอบระยะเวลาในการผลิตของกระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

สุจินดา ศรัณย์ประชา. การปรับปรุงกำลังการผลิตของสายการผลิตชิ้นส่วนเบาะที่นั่งรถยนต์ด้วยแนวคิดระบบการผลิตแบบโตโยต้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

อนุธิดา ทองอร่าม. การลดต้นทุนโดยการปรับส่วนผสมแก้วและปัจจัยในกระบวนการหลอม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561.

อรัญ หาญสืบสาย. มาตรฐานการพิมพ์ออฟเซต. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2547.

อรัญ หาญสืบสาย. เทคโนโลยีการพิมพ์... - ความก้าวหน้าและการนำไปใช้งาน. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.

อาภาพร จันทะมาศ. การเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตสีย้อมผ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาษาอังกฤษ

Al-Ghamdi, K. A. Improving the practice of experimental design in manufacturing Engineering**.** For the degree of Doctor of Philosophy, The University of Birmingham, 2011**.**

Hessing, T. Cause & Effect Matrix[Online]. 2020. Available from https://sixsigmastudyguide.com/cause-and-effect-matrix/[2020,Aug 18**]**

Khan, M. A. Increasing the efficiency of antibody purification process by high throughput Technology and intelligent design of experiment. For the degree of Doctor of Engineering, Department of Biochemical Engineering University College London UK, 2018.

Kipphan, H. Handbook of Print Media. Springer, 2001.

L, R. K. Design of Experiments[Online]. 2020. Available from https://www.projectmanagement.com/contentPages/wiki.cfm?ID=395392&thisPageURL=/wikis/395392/Design-of-Experiments#_=_[2020,Aug 9]

Tavares, R. M. The use of numerical optmisation techniques in computational Fire Engineering Models: A study through Evacuation modelling Analyses. Degree of Doctor Philosophy, University of Greenwich, 2011.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Nattapon Boonruksa
วัน เดือน ปี เกิด	26 Febuary 1990
สถานที่เกิด	Buriram
วุฒิการศึกษา	Chulalongkorn university
ที่อยู่ปัจจุบัน	474/186 Habitown nest Thakham Bangkhuntien Bangkok 10150

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University