การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการติดฉลาก

นายภูธิป อินทรักษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REDUCING IDLE TIME IN A LABELLING PROCESS

Mr. Phuthip Intharak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการติดฉลาก
โดย	นายภูธิป อินทรักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย กานตานันทะ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภูธิป อินทรักษ์ : การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการติดฉลาก (REDUCING IDLE TIME IN A LABELLING PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ, 110 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการติดฉลากของโรงงานผลิตและบรรจุ ซึ่งพบปัญหาเวลาสูญเสียจากการหยุดการทำงานของเครื่องติดฉลาก ของเสีย 3 ประเภทจากเครื่องติดฉลากที่เป็นสาเหตุหลักของเวลาสูญเสียได้แก่ ฉลากพับ ฉลากเหลื่อม และโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน การวิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสียจากเครื่องติดฉลากด้วยผังแสดงเหตุและผล รวมกับ FMEA พบว่าสาเหตุมาจากการปรับพารามิเตอร์เครื่องจักรอย่างไม่เหมาะสม

งานวิจัยนี้นำการออกแบบการทดลองมาใช้เพื่อหารูปแบบการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุด โดยผลตอบสนองเกี่ยวข้องโดยตรงกับลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ประเภทที่เกิดขึ้น ได้แก่ Y_1: สัดส่วนของขวดที่ฉลากพับต่อจำนวนขวดในขนาดกลุ่มตัวอย่าง Y_2: ระยะเฉลี่ยของฉลากเหลื่อมภายในกลุ่มตัวอย่าง (mm.) Y_3: ระยะเฉลี่ยระหว่างเส้นศูนย์กลางแนวตั้งของฉลากหน้าและฉลากคอในกลุ่มตัวอย่าง (mm.) พารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยนำเข้ามีทั้งหมด 5 พารามิเตอร์ ได้แก่ A: ระยะห่างจากขวดในทิศทางเข้า-ออกจากขวดของ labeling station (mm.) B: ระยะห่างจากขวดในทิศทางซ้าย-ขวาจากขวดของ labeling station (mm.) C: ความหนาของกาวบน glue roller (μm.) D: อัตราการป้อนกาวจากเครื่องปั๊ม (stroke/min.) และ E: ความดันลมเป่าฉลาก (bar) นำทุกปัจจัยนำเข้ามาทำการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลางเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ และใช้ฟังชันความพึงพอใจในการหาผลลัพธ์ร่วมที่ดีที่สุดของผลตอบสนอง ผลลัพธ์ที่ได้ทำให้ได้ค่าระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดและนำไปเป็นมาตรฐานใหม่ของการปรับตั้งเครื่องติดฉลาก

ผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้มาตรฐานการปรับตั้งรูปแบบใหม่ของเครื่องติดฉลาก พบว่าสามารถลดค่าเฉลี่ยของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ฉลากพับ ฉลากเหลื่อม และโลโก้ไม่ตรงกันลงได้ 89.9 75.6 และ 75.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และลดเวลาสูญเสียและความถี่ในการหยุดเครื่องจักรลงได้ 40.28 และ 72.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเทียบกับเดือนก่อนหน้า

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5670336321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: DESIGN OF EXPERIMENT/RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

PHUTHIP INTHARAK: REDUCING IDLE TIME IN A LABELLING PROCESS. ADVISOR: ASSOC. PROF. WIPAWEE THARMMAPHORNPHILAS, Ph.D., 110 pp.

This research studies the labeling process of a beer manufacturing where a considerable number of ‘breakdown time’ problem is found. There are three types of defective products from a labeling machine that are the principal causes of breakdown time, i.e. flipped label, overlapped label and off-center label. Cause-and-Effect diagram with FMEA is used to analyze the root cause of the problem which comes from the inappropriate setting of parameters.

Design of Experiment is conducted to investigate this problem. The design responses are directly related to three types of defective products, i.e. a proportion of flipped label in sample size, a proportion of flipped label in sample size (mm), and an average distance of off-center label in sample size (mm). The design parameters includes a distance of labeling station in in-out direction (mm), a point of contact of label sponge on bottle in left-right direction (mm), a glue thickness on glue roller (μm), a glue feed rate (stroke/min) and an air support pressure (bar). All designed parameters are included in central composite design experiment. Then three mathematical models are constructed and employed a desirability function to carry out the optimal solution from multiple responses. The result of this experiment is the best setting of parameters of a labeling machine and it becomes a new standard of the setting of parameters.

The result of the new implemented setting of parameters showed that average values of flipped, overlapped and off-center label are reduced approximately 88.9, 75.6, and 75.1 percent, respectively. Breakdown time and frequency of breakdown are reduced 40.28 and 72.72 percent, respectively compared to the performance of the previous month.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Industrial Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความเมตตาและเสียสละจากรองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำอันมีค่า แนะแนวทางที่ถูกต้อง ติดตามการดำเนินงานวิจัย อีกทั้งยังคอยให้ข้อคิดเตือนใจ และเป็นแบบอย่างที่ดีในการทำงาน ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย อาจารย์กรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.นันทชัย กานตานันทะ อาจารย์กรรมการภายนอก ที่สละเวลาพิจารณาวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คุณปิติพงษ์ เสริมภัทรชัย หัวหน้าส่วนการผลิต คุณกรกฎ บุญธรรม ผู้ช่วยหัวหน้าส่วนการวางแผนการผลิต คุณบุญชู ผ่องลำเจียก หัวหน้าส่วนบรรจุ คุณวิเชียร ศิริพงศ์ ผู้ช่วยหัวหน้าส่วนบรรจุ และคุณจรูญ ส่งศรีอินทร์ เจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงอาวุโสแผนกบรรจุ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ติดต่อประสานงาน อำนวยความสะดวก สนับสนุนข้อมูลและการทำลอง

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาสำหรับความกรุณาให้ทำการศึกษาและโอกาสในการเข้าไปทำงานวิจัยรวมถึงความร่วมมือในการในการจัดคณะทำงาน ระดมสมองแสดงข้อคิดเห็นและร่วมทำการทดลองเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ครอบครัวและคนรอบข้างที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ขอบคุณเพื่อนพี่ๆน้องๆ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มิได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่คอยให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฏ
บทที่ 1 1
บทนำ 1
1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา 1
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 7
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 12
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 12
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 12
1.6 ผลที่ได้รับ 14
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ 14
บทที่ 2 15
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
2.1 เครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหา 15
2.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด 17
2.3 การออกแบบการทดลอง 19
2.4 ฟังก์ชั่นความพึงพอใจ 22
2.5 วิธีการพื้นผิวผลตอบ 24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25
บทที่ 3 31
การนิยามปัญหา 31
3.1 การจัดตั้งทีมคณะทำงาน 31
3.2 ศึกษากระบวนการติดฉลาก (labeling process) 32
3.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน 34
3.4 สรุประยะนิยามปัญหา 38
บทที่ 4 39
การวัดเพื่อหาสาเหตุปัญหา 39
4.1 การศึกษาและระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ 39
4.2 การตรวจวัดความแม่นยำและถูกต้องของระบบวัด 54
4.3 สรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา 58
บทที่ 5 60
การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและแนวทางแก้ไข 60
5.1 การออกแบบการทดลอง 60
5.2 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและแนวทางแก้ไข 66
บทที่ 6 67
การปรับปรุงแก้ไขประบวนการ 67
6.1 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง 67
6.2 การสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ 87
6.3 การหาค่าระดับที่ดีที่สุดของแต่ละพารามิเตอร์ด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ 89
6.1 สรุปผลการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 96
บทที่ 7 97

หน้า

การตรวจติดตามควบคุมการผลิต 97
7.1 การทดสอบยืนยันผล 97
7.2 การตรวจติดตามคุณภาพแผนการปรับปรุง 98
7.3 สรุประยะการติดตามควบคุมการผลิต 100
บทที่ 8 101
สรุปการดำเนินผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 101
8.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 101
8.2 ข้อเสนอแนะ 103
รายการอ้างอิง 105
ภาคผนวก 107
ภาคผนวก ก ตารางการทดลอง half CCD 108
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 110

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ประเภทเบียร์สูตร1 2
ตารางที่ 2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ประเภทเบียร์สูตร2 3
ตารางที่ 3 สัดส่วนของเวลาสูญเสียและเวลาทำงานที่เหลือ 8
ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนเวลาการหยุดของแต่ละเครื่องจักร 10
ตารางที่ 5 อธิบายประเภทของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์จากเครื่องติดฉลาก 35
ตารางที่ 6 สรุปข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ 38
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียจากฉลากพับ 42
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียจากฉลากเหลื่อม 43
ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียจากโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน 44
ตารางที่ 10 รูปแบบการแก้ไขปัญหาปัจจุบัน 46
ตารางที่ 11 อธิบายพารามิเตอร์เครื่องติดฉลาก 47
ตารางที่ 12 เกณฑ์ความรุนแรงของข้อขัดข้อง 51
ตารางที่ 13 เกณฑ์ความถี่ในการเกิด 51
ตารางที่ 14 เกณฑ์การตรวจพบ 52
ตารางที่ 15 ผลคำนวณค่าตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญก่อนหลังของแต่ละพารามิเตอร์ 52
ตารางที่ 16 การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ 55
ตารางที่ 17 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด 56
ตารางที่ 18 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบวัด 57
ตารางที่ 19 เกณฑ์การควบคุมพารามิเตอร์ที่ต้องควบคุมตามรูปแบบมาตรฐาน 59
ตารางที่ 20 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง 61
ตารางที่ 21 การกำหนดตัวแปรนำเข้า 61
ตารางที่ 22 ผลกระทบหลักของแต่ละปัจจัยนำเข้า 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 23 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง 68
ตารางที่ 24 การกำหนดค่าสำหรับฟังก์ชันความพึงพอใจ 90
ตารางที่ 25 การแปลงค่าผลตอบสนอง 95
ตารางที่ 26 ผลการทดสอบเพื่อยืนยันคำตอบ 97
ตารางที่ 27 ผลการปรับปรุงเครื่องติดฉลาก 100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ประเภทเบียร์สูตร1 2
รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์ประเภทเบียร์สูตร2 3
รูปที่ 3 แผนผังการการทำงานของแผนกบรรจุโรงงานกรณีศึกษา 4
รูปที่ 4 อธิบายนิยามของเวลาสูญเสียของโรงงานกรณีศึกษา 7
รูปที่ 5 สัดส่วนเวลาทำงานและเวลาสูญเสีย 9
รูปที่ 6 เวลาหยุดของแต่ละเครื่องจักร 9
รูปที่ 7 สัดส่วนเวลาการหยุดแต่ละเครื่องจักร 10
รูปที่ 8 แผนภูมิพาเรโตของเวลาการหยุดเครื่องแยกตามประเภทของเสียที่พบ 11
รูปที่ 9 แผนภูมิพาเรโต 15
รูปที่ 10 แผนผังแสดงเหตุและผล 16
รูปที่ 11 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 20
รูปที่ 12 การออกแบบการทดลองส่วนผสมกลางสำหรับ 2 และ 3 ปัจจัย 22
รูปที่ 13 มุมมองด้านบนของเครื่องติดฉลาก 32
รูปที่ 14 การปรับตั้งค่าของสถานีติดฉลาก 33
รูปที่ 15 ปัญหาฉลากคอเหลื่อม 35
รูปที่ 16 ปัญหาฉลากคอพับ 35
รูปที่ 17 ปัญหาฉลากคอไม่ติด 36
รูปที่ 18 ปัญหาฉลากคอขาด 36
รูปที่ 19 ปัญหาฉลากหน้าไม่ติด 36
รูปที่ 20 ปัญหาฉลากหน้าขาด 36
รูปที่ 21 ปัญหาฉลากหน้าเอียง 37
รูปที่ 22 ปัญหาฉลากคอและฉลากหน้าไม่ตรงกัน 37

รูปที่ 23 ผังแสดงเหตุและผลของปัญหาเวลาสูญเสียจากฉลากพับ 40
รูปที่ 24 ผังแสดงเหตุและผลของปัญหาเวลาสูญเสียจากฉลากเหลื่อม 40
รูปที่ 25 ผังแสดงเหตุและผลของปัญหาเวลาสูญเสียจากโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน 41
รูปที่ 26 การปรับระยะเข้า-ออกของสถานีติดฉลาก 63
รูปที่ 27 การปรับสถานีติดฉลากไปทางซ้าย 64
รูปที่ 28 การปรับสถานีติดฉลากไปทางขวา 64
รูปที่ 29 ความหนากาวบนลูกกลิ้งกาว 64
รูปที่ 30 การจ่ายกาวจากเครื่องปั๊มกาว 65
รูปที่ 31 ตำแหน่งและทิศทางที่ลมเป่าฉลาก 65
รูปที่ 32 ขั้นตอนการหารูปแบบปรับตั้งพารามิเตอร์ 67
รูปที่ 33 การกระจายส่วนตกค้างของผลตอบสนอง Y_1 70
รูปที่ 34 การกระจายปกติของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ Y_1 71
รูปที่ 35 แผนภูมิพาเรโตของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ Y_1 72
รูปที่ 36 ผลร่วมของผลตอบสนอง Y_1 73
รูปที่ 37 ผลกระทบหลักของผลตอบสนอง Y_1 74
รูปที่ 38 การกระจายส่วนตกค้างของผลตอบสนอง Y_2 76
รูปที่ 39 การกระจายปกติของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ Y_1 77
รูปที่ 40 แผนภูมิพาเรโตของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ Y_2 77
รูปที่ 41 ผลร่วมของผลตอบสนอง Y_2 78
รูปที่ 42 ผลกระทบหลักของผลตอบสนอง Y_2 79
รูปที่ 43 การกระจายส่วนตกค้างของผลตอบสนอง Y_3 81
รูปที่ 44 การกระจายปกติของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ Y_3 82
รูปที่ 45 แผนภูมิพาเรโตของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ Y3 83
รูปที่ 46 ผลร่วมของผลตอบสนอง Y_3 84

รูปที่ 47 ผลกระทบหลักของผลตอบสนอง Y_3 86
รูปที่ 48 กราฟพื้นผิวของค่าความพึงพอใจโดยรวม 92
รูปที่ 49 ผลค่าระดับที่ดีที่สุดของแต่ละพารามิเตอร์ 93
รูปที่ 50 แผนการปรับปรุงเครื่องติดฉลาก 99
รูปที่ 51 พฤติกรรมการยุบตัวของฟองน้ำติดฉลาก 104

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

อุตสาหกรรมเบียร์ในประเทศไทยส่วนใหญ่นำความรู้ ขั้นตอน และเครื่องมือเครื่องจักรในการผลิตจากประเทศเยอรมัน เบียร์ที่ผลิตเพื่อจำหน่ายภายในประเทศเป็นเบียร์ประเภทเดียวกับประเทศแหล่งกำเนิดเรียกว่า ลาเกอร์เบียร์ (lager beer) มีสีและรสชาติค่อนข้างอ่อนและมีระดับแอลกอฮอล์ต่ำประมาณ 3-5% ทำให้เป็นเบียร์ที่ดื่มง่ายและได้รับความนิยมโดยทั่วไป หลังจากในช่วงปี 2535 ที่ทางภาครัฐมีนโยบายเปิดเสรีทางการค้าทำให้อุตสาหกรรมเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตามการลงทุนในอุตสาหกรรมเบียร์จำเป็นต้องใช้เงินทุนรวมทั้งเครื่องจักรที่มีราคาสูง ส่งผลให้ในประเทศไทยมีผู้ประกอบการอยู่เพียงไม่กี่ราย

เพื่อทดแทนการบริโภคสุราที่มีราคาสูงขึ้นภายหลังจากการปรับอัตราภาษีสรรพสามิตตามปริมาณแอลกอฮอล์ในเครื่องดื่ม ทำให้ความต้องการบริโภคเบียร์ภายในประเทศสูงขึ้น อีกทั้งการรองรับการส่งออกส่งผลให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้นทุกปี ปัจจุบันประเทศไทยมีกำลังการผลิตเบียร์โดยรวมเฉลี่ยปีละมากกว่า 2,000 ล้านลิตร มีอัตราการใช้กำลังการผลิตร้อยละ 70 อัตราการผลิตดังกล่าวนี้คงที่ในช่วงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งปี 2557 เป็นต้นมาที่อัตราการผลิตค่อนข้างคงที่เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจที่ชะลอตัว (ที่มา: ธนาคารแห่งประเทศไทย, สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, ฝ่ายวิจัยและบริการข้อมูล สถาบันอาหาร)

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษา เป็นโรงงานผลิตและบรรจุเครื่องดื่ม สร้างขึ้นด้วยเงินลงทุนกว่า 2,500 ล้านบาท มีอาณาบริเวณทั้งสิ้น 330 ไร่ สร้างขึ้นด้วยความร่วมมือของบริษัท DANBREW., LTD A/S บริษัทก่อสร้างของประเทศเดนมาร์ก ที่มีประสบการณ์ก่อสร้างโรงงานเบียร์ชั้นนำหลายแห่งทั่วโลก ใช้เทคโนโลยีการผลิตสมัยใหม่ มีกำลังการผลิตสูง เริ่มผลิตเบียร์ครั้งแรก เมื่อวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2537 และวางจำหน่ายครั้งแรกเมื่อวันที่ 2 มีนาคม พ.ศ. 2538 กำลังการผลิตแยกตามประเภทผลิตภัณฑ์เป็นดังต่อไปนี้

- เบียร์ 700 ล้านลิตรต่อปี
- น้ำดื่ม 200 ล้านลิตรต่อปี
- น้ำโซดา 100 ล้านลิตรต่อปี

โรงงานเปิดทำการวันจันทร์ – เสาร์ เวลา 8:00-17:00 น. มีพนักงานในสายการผลิตประมาณ 300 คน วิศวกร 52 คน มีรอบเวลาในการสั่งผลิตและบรรจุตามแผนการสั่งผลิต และทำการ preventive maintenance (PM) ทุกๆวันจันทร์ ทางโรงงานมียอดการผลิตและจัดจำหน่ายสูงสุดอยู่ที่ผลิตภัณฑ์ประเภทเบียร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกพิจารณาแก้ไขปรับปรุงเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ประเภทเบียร์ซึ่งจะส่งผลหลักแก่โรงงาน

1.1.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์

โรงงานกรณีศึกษาผลิตเบียร์สองสูตรหลักที่มีขั้นตอนการผลิตแตกต่างกัน แต่มีขั้นตอนการบรรจุเหมือนกันรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ประเภทเบียร์สูตร1

ประเภทผลิตภัณฑ์	เบียร์ลาเกอร์สูตร1	รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ประเภทเบียร์สูตร1
วัตถุดิบหลัก	ส่วนผสมของมอลต์ ข้าวเจ้า และฮอปส์ ที่มีการเลือกคุณภาพอย่างดี, น้ำบริสุทธิ์จากแหล่งธรรมชาติ และหมักด้วยยีสต์ที่คัดสรรเฉพาะของเบียร์ช้าง	
ปริมาณแอลกอฮอล์	6.4% โดยปริมาตร	
สี	สีทองอำพัน	
ชนิด ขนาดบรรจุ	ปริมาตรบรรจุขวดใหญ่ 640 มล. ขวดเล็ก 330 มล. กระป๋อง 500 มล. และกระป๋อง 330 มล.	
ขนาดบรรจุลัง	ขวดใหญ่ (630 มล.) 12 ขวด ขวดเล็กและกระป๋อง (330 มล.) 24 ขวดหรือกระป๋อง	

ตารางที่ 2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ประเภทเบียร์สูตร2

ประเภทผลิตภัณฑ์	เบียร์ลาเกอร์สูตร2	รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์ประเภทเบียร์สูตร2
วัตถุดิบหลัก	ส่วนผสมของมอลต์ 100% น้ำบริสุทธิ์จากแหล่งธรรมชาติ และหมักด้วยยีสต์ที่คัดสรรเฉพาะของเบียร์ช้าง	
ปริมาณแอลกอฮอล์	5% โดยปริมาตร	
สี	สีทองอำพัน	
ชนิด ขนาดบรรจุ	ปริมาตรบรรจุขวดใหญ่ 640 มล. ขวดเล็ก 330 มล. กระป๋อง 500 มล. และกระป๋อง 330 มล.	
ขนาดบรรจุลัง	ขวดใหญ่ (630 มล.) 12 ขวด ขวดเล็กและกระป๋อง (330 มล.) 24 ขวดหรือกระป๋อง	

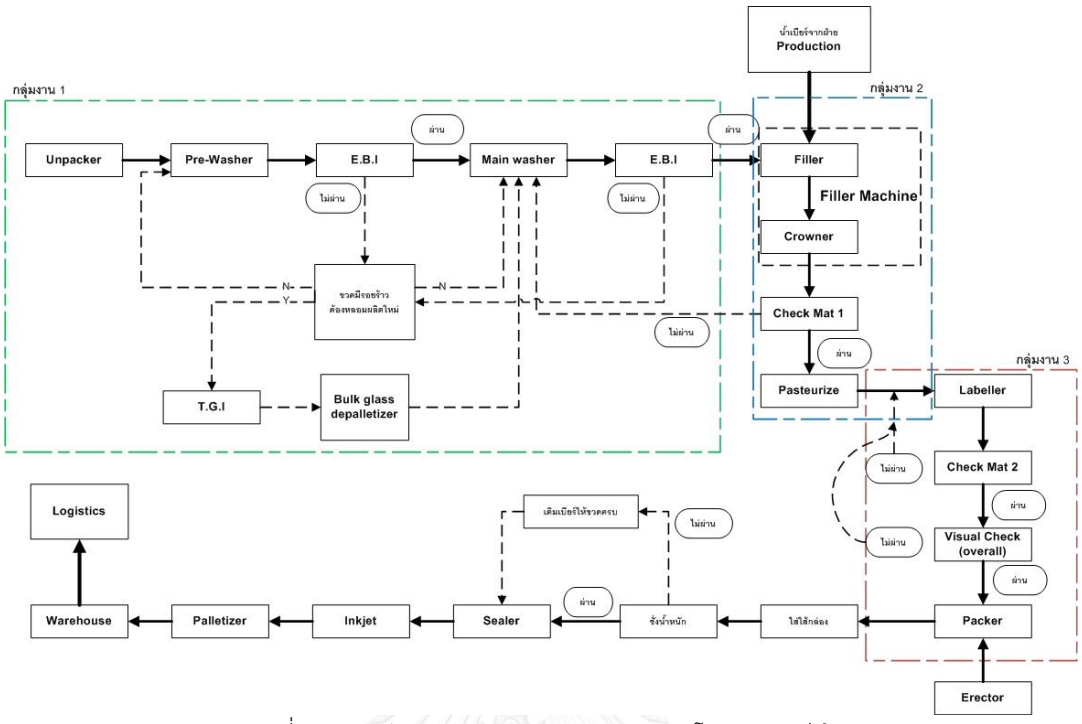
1.1.2 กระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาใช้เครื่องจักรเป็นอุปกรณ์หลักในการดำเนินกระบวนการผลิตโดยมีผู้ปฏิบัติงานคอยควบคุมการทำงานของเครื่องจักร จากการศึกษากระบวนการทำงานในส่วนแผนกการบรรจุเครื่องดื่มชนิดเบียร์ซึ่งประกอบด้วยสายการผลิตทั้งหมด 4 สายการผลิต สามารถแบ่งประเภทได้ตามชนิดของผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ 1.การบรรจุเครื่องดื่มชนิดกระป๋อง 1 สายการผลิต และ 2.การบรรจุเครื่องดื่มชนิดขวดแก้ว 3 สายการผลิต ซึ่งในโครงการนี้สนใจผลิตภัณฑ์ที่เป็นสินค้าหลักของบริษัทและมียอดการผลิตสูงที่สุด คือ การบรรจุเครื่องดื่มชนิดขวดแก้วขนาด 630 มิลลิลิตร ขั้นตอนการบรรจุเครื่องดื่มชนิดขวดแก้วภายในอาคารแผนกบรรจุสามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 3 กลุ่มงานหลักได้ดังรูปที่ 3

กลุ่มงาน 1 กระบวนการล้างขวดเพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการบรรจุ

กลุ่มงาน 2 กระบวนการบรรจุและพาสเจอร์ไรซ์

กลุ่มงาน 3 กระบวนการติดฉลากและบรรจุภัณฑ์



รูปที่ 3 แผนผังการการทำงานของแผนกบรรจุโรงงานกรณีศึกษา

กลุ่มงาน 1: กระบวนการล้างขวดเพื่อเตรียมเพื่อเตรียมเข้าสู่ประบวนการบรรจุ

เริ่มกระบวนการโดยนำขวดเข้าเครื่องแยกบรรจุภัณฑ์ (unpacker) เพื่อแยกขวดเปล่าให้ลงมาลำเลียงบนสายพาน จากนั้นขวดจะเข้าสู่ขั้นตอนการล้างขวดเปล่า

1) การล้างขวดเปล่า

การล้างขวดเปล่าจะเป็นการล้างด้วยเครื่องจักร เครื่องล้างขวดเปล่าขั้นต้น (pre-Washer) เป็นการล้างขวดกรณีเป็นขวดประเภทนำกลับมาใช้ใหม่ (re-use bottle) ส่วนเครื่องล้างขวดหลัก (main-Washer) เป็นการล้างขวดประเภทขวดใหม่ (new bottle) การทำงานคือจะนำขวดเปล่าเข้าสู่สายพานและถูกจับยึดให้ติดกับสายพานของเครื่องจักร ขวดจะถูกจุ่มแช่ลงในอ่างสารทำความสะอาดต่างๆที่มีคุณสมบัติในการล้างแตกต่างกันเพื่อล้างและเตรียมขวดให้พร้อมสู่ขั้นตอนการบรรจุเครื่องดื่ม ขวดที่ออกมาจากเครื่องล้างแต่ละเครื่องจะถูกตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบขวดเปล่า

2) การตรวจสอบขวดเปล่า

การตรวจสอบขวดเปล่าที่ผิดปกติจะใช้เครื่องตรวจสอบขวดเปล่า (E.B.I: empty bottle inspector) ที่ใช้ระบบถ่ายภาพในการตรวจจับขวดที่มีลักษณะผิดปกติ โดยสายพานจะลดขนาดลงเพื่อให้ขวดถูกเรียงเป็นแถวเดียวก่อนผ่านเข้าเครื่องตรวจสอบ ขวดที่ผิดปกติจะถูกเครื่องดีดออกจากสายพานหลักไปสู่สายพานกักขวดผิดปกติ ขวดที่ถูกแยกพบว่าล้างไม่สะอาดจะถูกนำกลับเข้าสู่กระบวนการล้างใหม่ ส่วนขวดที่ถูกแยกในประเภทชำรุดจะถูกนำส่งไปสู่ขั้นตอนการหลอมขวดใหม่

กลุ่มงาน 2: กระบวนการบรรจุและพาสเจอร์ไรซ์

กระบวนการนี้เป็นส่วนที่บรรจุเครื่องดื่มลงขวดแก้วและถนอมอาหารด้วยวิธีพาสเจอร์ไรซ์โดยทำงานด้วยเครื่องจักรทั้งสองขั้นตอน

1) การบรรจุเครื่องดื่ม

ในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มที่เครื่องบรรจุ (filler) เครื่องดื่มที่ถูกส่งมาจากฝ่ายผลิตตามท่อลำเลียงจะถูกทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงเพื่อทำให้ในการจ่ายจากหัวจ่ายแต่ละหัวลงขวดเกิดฟองน้อยที่สุด ที่หัวจ่ายจะมีอุปกรณ์ตรวจจับระดับเครื่องดื่มเมื่อเติมเครื่องดื่มจนถึงระดับที่ได้ปริมาตรที่กำหนด อุปกรณ์ตรวจจับจะระงับการจ่ายเครื่องดื่มและถูกปิดฝาทันที หลังจากนั้นสายพานจะลงขนาดลงจนขวดเรียงตัวเพียงขวดเดียวต่อกันเพื่อให้ขวดผ่านเข้าเครื่องตรวจสอบการเติมเครื่องดื่มหากพบขวดที่ไม่ผ่านการตรวจสอบขวดจะถูกแยกออกมาในสายพานแยกขวดที่ผิดปกติ ขวดที่ผ่านการตรวจสอบจะถูกส่งไปตามสายพานเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการพาสเจอร์ไรซ์ด้วยเครื่องพาสเจอร์ไรซ์

2) การพาสเจอร์ไรซ์

กระบวนการทำพาสเจอร์ไรซ์เป็นขั้นตอนเพื่อรักษาคุณภาพของอาหารและเครื่องดื่มโดยการนำไปฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยขั้นตอนเริ่มจากการที่สายพานลำเลียงขวดเข้าสู่เครื่องพาสเจอร์ไรซ์ซึ่งภายในเครื่องแบ่งได้สามส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายกัน คือ 1. ส่วนเริ่มทำความร้อน ที่ส่วนนี้เครื่องจะนำขวดผ่านน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 2. ส่วนพาสเจอร์ไรซ์ คือส่วนที่นำขวดเครื่องดื่มมาผ่านน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเพื่อฆ่าเชื้อโรค 3. ส่วนผ่อนความร้อน ที่ส่วนนี้ขวดจะผ่านน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำลงมาที่ 30 องศาเซลเซียส รวมเวลาในการผ่านทั้งสามส่วนประมาณ 40 นาที เหตุผลที่ต้องแบ่งเป็นสามส่วนเพื่อค่อยๆเพิ่มและค่อยลดความร้อนเนื่องจากหากขวดแก้วอาจจะแตกเสียหายได้เมื่อผ่านความร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

กลุ่มงาน 3: กระบวนการติดฉลากและบรรจุภัณฑ์

ขั้นตอนการติดฉลากเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ เป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปลักษณ์ที่น่าเชื่อถือ และเป็นสิ่งรับรู้อย่างแรกด้วยตาของลูกค้าในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ ดังนั้นกระบวนการติดฉลากและบรรจุภัณฑ์จึงถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญไม่แพ้ขั้นตอนอื่นๆ และมีความจำเป็นที่ต้องใส่ใจรายละเอียดของกระบวนการเพื่อรูปลักษณ์ของสินค้าที่มีคุณภาพและเป็นภาพลักษณ์ที่ดีต่อบริษัท โดยที่กระบวนการติดฉลากและบรรจุภัณฑ์เริ่มต้นหลังจากขวดที่มีเครื่องดื่มบรรจุและปิดฝาเรียบร้อยถูกลำเลียงออกมาเครื่องพาสเจอร์ไรส์มาสู่สายพานลำเลียง และมาติดฉลากซึ่งแบ่งขวดได้สองกรณีคือ

1.กรณีขวดขนาด 630 มล. จะติดฉลาก 2 ตำแหน่งคือบริเวณข้างขวด 1 ตำแหน่งใช้วัสดุประเภทกระดาษเป็นฉลาก และบริเวณคอขวดอีก 1 ตำแหน่งใช้วัสดุประเภทฟอยล์เป็นฉลาก

2.กรณีขวดขนาด 330 มล. จะติดฉลาก 3 ตำแหน่งคือบริเวณข้างขวด 2 ตำแหน่ง (ด้านหน้าและด้านหลัง) และบริเวณคอขวดอีก 1 ตำแหน่ง

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สนใจเฉพาะกรณีขวดขนาด 630 มล. เท่านั้นซึ่งมียอดจำหน่ายและยอดผลิตสูงกว่า อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับใช้กับกรณีขวดขนาดอื่นๆได้

1) การติดฉลาก

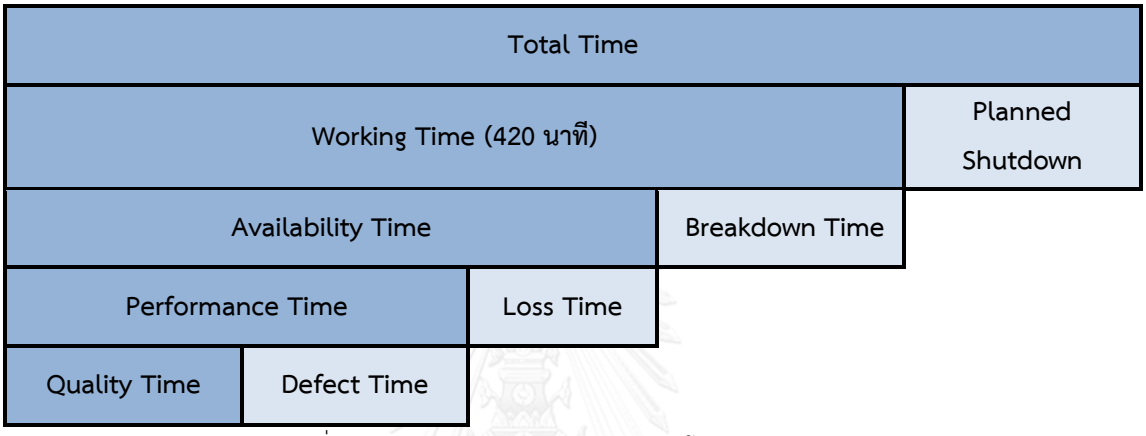
ขั้นตอนการติดฉลากเริ่มต้นจากการที่สายพานลำเลียงขวดที่ออกจากเครื่องพาสเจอร์ไรส์ขวดที่ออกมาจะเป็นขวดที่บรรจุน้ำเบียร์แล้วถูกปิดด้วยฝาที่มีสัญลักษณ์ทางการค้าเรียบร้อย จำเป็นต้องทำการติดฉลากเพื่อให้เป็นการบ่งชี้ลักษณะเฉพาะของสินค้าและเป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนก่อนเข้าสู่กระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงสู่บรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ เมื่อขวดเริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องติดฉลากสายพานจะลาดเอียงและแคบลงเพื่อบังคับให้ขวดเรียงกันเป็นแถวเดียวก่อนเข้าสู่เครื่องติดฉลาก ที่ทางเข้าจะมีเซนเซอร์จับสัญญาณและนับขวดที่เข้ามา หากเซนเซอร์ตรวจไม่พบว่ามีขวดเข้าสู่เครื่องติดฉลาก เครื่องจะไม่ป้อนฉลากเข้ามาระหว่างที่เครื่องยังทำงานอยู่ ขวดจากสายพานจะถูกเรียงเข้าสู่วงล้อ star wheel เพื่อเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของขวดให้ไปในทิศทางวงกลม ขวดที่อยู่บนวงล้อจะถูกติดฉลากที่ป้อนมาจากแท่นติดฉลาก โดยฉลากถูกป้อนเข้าสู่เครื่องโดยพนักงานปฏิบัติงานเป็นผู้คอยเติมโดยบรรจุฉลากผ่านทางแม็กกาซีน ฉลากจะยึดติดกับขวดด้วยกาวที่ถูกจ่ายผ่านทางเครื่องปั๊มกาว ขวดที่เข้าสู่ตำแหน่งการติดฉลากจะถูกติดฉลากจากตรงกลางแผ่นของฉลาก เมื่อเคลื่อนที่ผ่านไปฉลากจะถูกปาดซ้ายขวาให้แนบติดกับขวดด้วยแปรงที่ติดตั้งอยู่ระหว่างเส้นทางการเคลื่อนที่และการหมุนของขวด จากนั้นฉลากหน้าจะถูกพิมพ์รหัสวันที่ผลิตและผ่านเครื่องตรวจสอบการติดฉลากเบื้องต้น (ตรวจสอบว่าขวดที่ออกมาถูกติดฉลากหรือไม่) ก่อนจะถูกหมุนไปสู่สายพานลำเลียงขาออกรายละเอียดกลไกและการทำงานของเครื่องจักรจะอธิบายในส่วนต่อไป

2) การบรรจุภัณฑ์

ขั้นตอนการบรรจุภัณฑ์เป็นขั้นตอนสุดท้ายของโรงงานในแผนกโรงบรรจุก่อนที่สินค้าจะถูกขนส่งไปสู่ขั้นตอนต่อไป โดยกระบวนการบรรจุประกอบด้วยขั้นตอนการบรรจุขวดลงกล่องลังโดยแบ่งได้สองกรณีคือ 1.บรรจุขวดแต่ละขวดลงกล่องลังจะดำเนินงานโดยใช้เครื่องจักรในการบรรจุเลย 2. ส่วนบรรจุภัณฑ์ที่เป็น‘แพ็คขวดคู่’หรือ‘แพ็คสามขวด’จะดำเนินการโดยพนักงาน โดยในกรณีนี้ขวดที่ออกมาจากเครื่องติดฉลากจะเข้าสู่ขั้นตอนการบรรจุในกล่องแพ็คขวดคู่หรือแพ็คสามขวดก่อนโดยใช้เครื่องจักร หลังจากนั้นจึงถูกลำเลียงไปยังปลายสายพานเพื่อให้พนักงานบรรจุลงกล่องลังอีกครั้งหนึ่ง

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากการที่ศึกษาการทำงานและพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้นภายในอาคารแผนกบรรจุของโรงงานกรณีศึกษา พบว่าปัญหาที่พบคือการสูญเสียเวลาในการทำงาน โดยอาคารแผนกบรรจุได้ประเมินผลประสิทธิภาพการผลิตจากการติดตามค่าประสิทธิภาพโดยรวม (overall equipment effectiveness ; OEE) ซึ่งพบว่ายังไม่สามารถบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้ ซึ่งสาเหตุหลักที่ของการไม่บรรลุเป้าหมายคือการสูญเสียเวลาทำงานไปกับความสูญเสียที่ได้นิยามไว้ดังแสดงในรูปที่ 4 ดังนี้



รูปที่ 4 อธิบายนิยามของเวลาสูญเสียของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษากำหนดช่วงเวลาทำงาน ซึ่งพบว่าภายในช่วงเวลาทำงานที่กำหนดยังไม่สามารถใช้เวลาได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากสูญเสียเวลาทำงานไปกับความสูญเสีย 3 ประการดังนี้

breakdown Time คือ เวลาสูญเสียที่เครื่องจักรต้องหยุดเครื่องเกิน 10 นาที วัดโดยการจดบันทึกเมื่อมีการหยุดเครื่องจักรเพื่อซ่อมแซมหรือปรับแก้ไขข้อบกพร่องผลิตภัณฑ์

loss Time คือ เวลาสูญเสียจากที่ไม่สามารถดำเนินการผลิตได้เต็มอัตราการผลิต วัดโดยการเก็บบันทึกอัตราการเดินเครื่องจักร สามารถคำนวณ loss time ที่เกิดจากการลดอัตราการผลิตเครื่องจักรได้จากสมการ

$$\text{losstime (นาที)} = \frac{\text{อัตราการเดินเครื่องตามแผน} - \text{อัตราการเดินเครื่องจริง}}{\text{อัตราการเดินเครื่องตามแผน}} \text{ x } 420$$

defect Time คือ เวลาสูญเสียจากการผลิตของเสีย ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุหรือกระบวนการผลิต สามารถคำนวณ defect time ที่เกิดขึ้นได้จากสมการ

$$\text{defect time (นาที)} = \frac{\text{จำนวนสินค้าที่ผลิตตามแผน} - \text{จำนวนสินค้าดีที่ผลิต}}{\text{จำนวนสินค้าที่ผลิตตามแผน}} \text{ x } 420$$

ส่วน Planned Shutdown เป็นเวลาที่หยุดตามแผน เพื่อทำความสะอาด การทำ PM (Preventive Maintenance) และแผนการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามการคาดการณ์ไว้แล้วจึงไม่นับว่าเป็นสาเหตุของเวลาที่สูญเสียไป

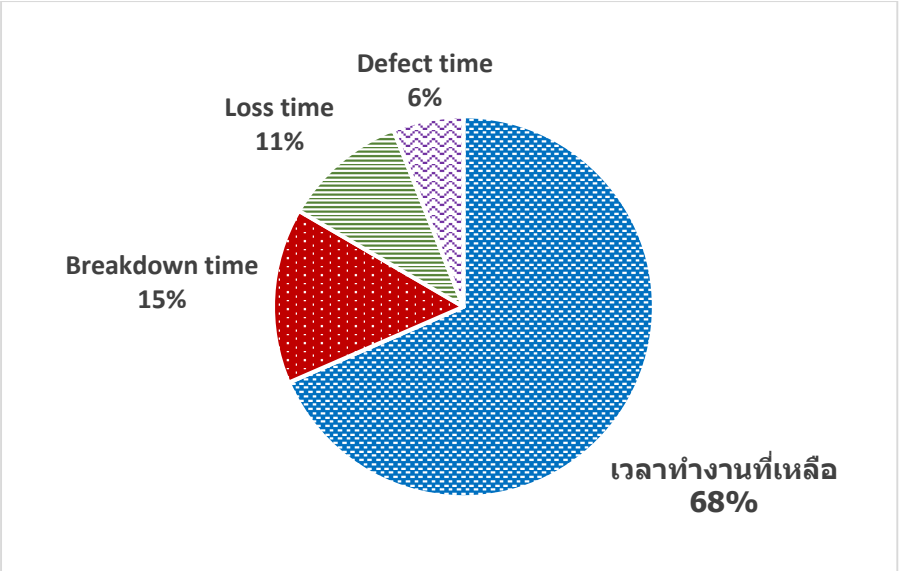
เวลาที่สูญเสียทั้ง 3 ประการส่งผลให้ เวลาทำงาน (working time) ลดลงซึ่งเป็นปัญหาต่อระบบการผลิต โดยจากการรวบรวมข้อมูลจากสายการผลิตที่พบปัญหามากที่สุดพบว่าเวลาทำงานโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 68.29% หรือประมาณ 4.8 ชั่วโมงต่อวันจากเวลาที่วางแผนสำหรับการทำงาน เวลาทำงานที่สูญเสียไปสามารถแบ่งได้ตามสาเหตุ 3 ประการเรียงตามสัดส่วนความสูญเสียจากมากไปน้อยได้ดังนี้

- Breakdown time ทำให้เวลาทำงานสูญเสียไป 14.92% หรือเฉลี่ยที่ 62.67 นาทีต่อวันด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 13.93 นาที
- Loss time ทำให้เวลาทำงานสูญเสียไป 10.60% หรือเฉลี่ยที่ 44.52 นาทีต่อวันด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 39.48 นาที
- Defect time ทำให้เวลาทำงานสูญเสียไป 6.19% หรือเฉลี่ยที่ 25.99 นาทีต่อวันด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.93 นาที

ค่าเวลาที่คำนวณมาจากเวลาทำงานปกติเฉลี่ยอยู่ที่ 420 นาทีต่อวัน (ปรับเครื่องจักรก่อนเริ่มผลิตประมาณ 1 ชั่วโมงต่อวัน) รายละเอียดของเวลาสูญเสียแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 5

ตารางที่ 3 สัดส่วนของเวลาสูญเสียและเวลาทำงานที่เหลือ

ประเภทของเวลาสูญเสีย	สัดส่วน	เวลาเฉลี่ยต่อวัน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	รวมเวลาสูญเสีย	เวลาทำงานที่เหลือ
Breakdown time	14.92%	62.67 นาที	13.93 นาที	31.71% (133.18 นาที)	68.29% (286.82 นาที ประมาณ 4.8 ช.ม.)
Loss time	10.60%	44.52 นาที	39.48 นาที		
Defect time	6.19%	25.99 นาที	5.93 นาที		

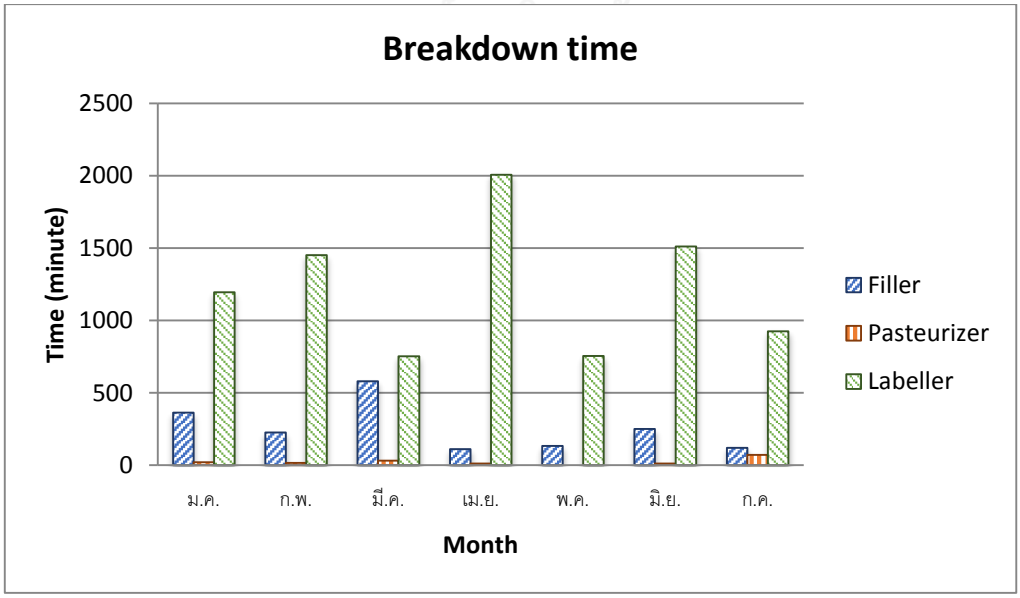


รูปที่ 5 สัดส่วนเวลาทำงานและเวลาสูญเสีย

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเวลาทำงานสูญเสียของอาคารแผนกบรรจุสูญเสียไปมากที่สุดจากสาเหตุความสูญเสีย breakdown time ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกพิจารณาสาเหตุความสูญเสียนี้เพื่อแก้ไขปัญหา

สาเหตุของ Breakdown time

จากข้อมูลเวลาสูญเสีย breakdown time ที่ได้ศึกษาโดยแบ่งตามชนิดของเครื่องจักรที่เป็นสาเหตุหลักของเวลาสูญเสีย breakdown time ภายในอาคารแผนกบรรจุตั้งแต่เดือนมกราคมจนถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2557 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6

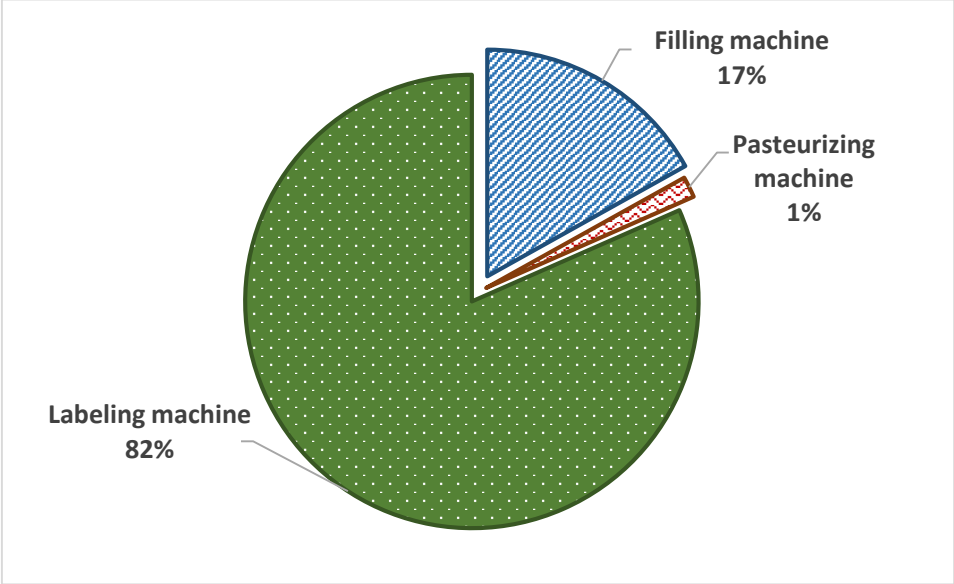


รูปที่ 6 เวลาหยุดของแต่ละเครื่องจักร

นำค่าเฉลี่ยของเวลา breakdown time ของแต่ละเครื่องจักรที่เป็นสาเหตุหลักมาเปรียบเทียบกันเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อหาสัดส่วนของเวลา breakdown time ได้ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 7

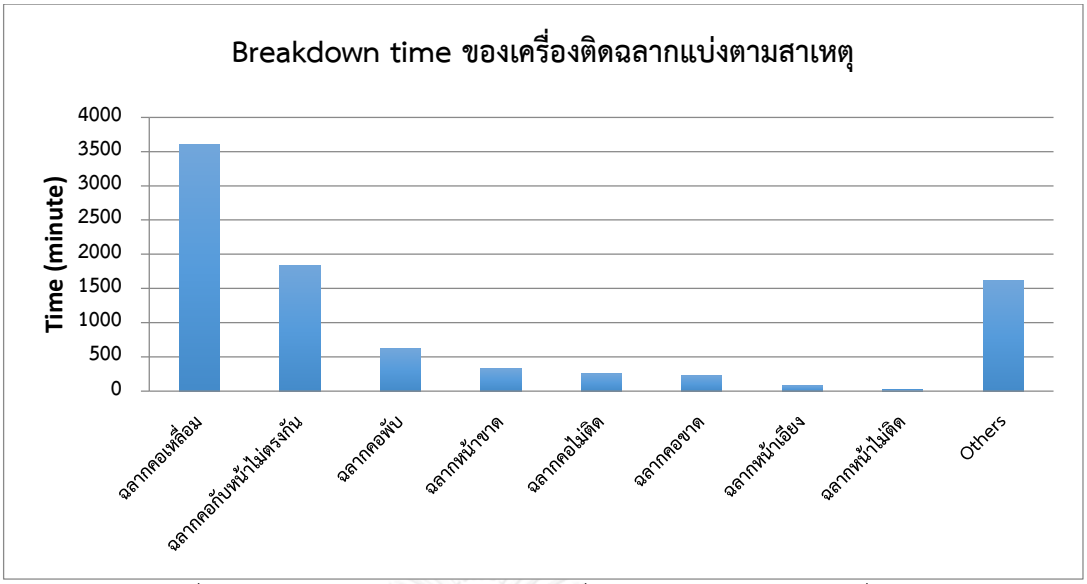
ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนเวลาการหยุดของแต่ละเครื่องจักร

เครื่องจักร	breakdown time	เวลาเฉลี่ยต่อวัน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สัดส่วน
Filler	1781 นาที	10.6 นาที	1.01 นาที	16.92%
Pasteurizer	157 นาที	0.93 นาที	0.14 นาที	1.49%
Labeller	8591 นาที	51.14 นาที	2.75 นาที	81.59%



รูปที่ 7 สัดส่วนเวลาการหยุดแต่ละเครื่องจักร

จากข้อมูลจะพบว่าในบรรดาเครื่องจักรที่เป็นสาเหตุหลักของเวลาสูญเสียภายในแผนกบรรจุทั้งสามเครื่อง เครื่องติดฉลากมีสัดส่วนของเวลา breakdown time มากที่สุดโดยคือเป็น 81.59% ของเวลา breakdown time ทั้งหมดดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจที่จะแก้ปัญหาเวลาทำงานที่สูญเสียประเภท breakdown time ที่เครื่องติดฉลากของโรงงานกรณีศึกษา ดังนั้นเมื่อเลือกศึกษาปัญหาเวลาสูญเสียที่มาจากเครื่องติดฉลากพบว่า breakdown time ที่มาจากเครื่องติดฉลากสามารถแบ่งได้ตามประเภทของสาเหตุที่ทำให้เครื่องติดฉลากต้องหยุดการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนภูมิพาเรโตของเวลาการหยุดเครื่องแยกตามประเภทของเสียที่พบ

จากแผนภูมิพาเรโตแสดงให้เห็นว่าการเกิด breakdown time ของเครื่องติดฉลากเกิดได้จากหลายสาเหตุ โดยส่วนใหญ่เป็นสาเหตุที่มาจากการผลิตข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์และส่วนอื่นๆคือสาเหตุจากชิ้นส่วนของเครื่องจักรเสียหาย เมื่อพิจารณาในกลุ่มสาเหตุที่เป็นข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์พบว่าแต่ละข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์มีความถี่ในการเกิดปัญหาและเวลาที่สูญเสียไปแตกต่างกัน โดยลักษณะข้อบกพร่องที่พบเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยได้แก่ ฉลากคอเหลื่อม ฉลากคอกับฉลากหน้าไม่ตรงกัน ฉลากคอพับ ฉลากหน้าขาด ฉลากคอไม่ติด ฉลากคอขาด ฉลากหน้าเอียง ฉลากหน้าไม่ติด และจากสาเหตุอื่นๆที่ไม่ได้มาจากลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์เช่นการเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักร เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกลักษณะข้อบกพร่องที่จะนำมาพิจารณาแก้ปัญหาจากข้อบกพร่องที่มี breakdown time มากที่สุด 3 อันดับได้แก่ ฉลากคอเหลื่อม ฉลากคอกับฉลากหน้าไม่ตรงกัน และฉลากคอพับ ซึ่งทั้งสามข้อบกพร่องคิดเวลาสูญเสียรวมกันเป็น 70% ของเวลาสูญเสีย breakdown time ของเครื่องติดฉลาก

จากลักษณะปัญหาการเกิดเวลาสูญเสียในการทำงานที่พบ สามารถระบุได้ว่าเครื่องติดฉลากเป็นสาเหตุหลักของเวลาสูญเสียประเภท breakdown time ซึ่งจำเป็นต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อแก้ไขปัญหาของเสียหรือข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์สามลักษณะที่พบว่าเป็นลักษณะข้อบกพร่องที่ทำให้โรงงานกรณีศึกษาสูญเสียเวลาทำงานไป และสืบเนื่องไปถึงการวัดค่าประสิทธิภาพโดยรวมของโรงงาน

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1) ลดค่าระดับเฉลี่ยของเสียจากข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากพับ ฉลากเหลื่อม และโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน
2) ลดจำนวนครั้งในการหยุดเครื่องเนื่องจากอาการขัดข้องที่มีสาเหตุมาจากค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม
3) ลดเวลาสูญเสียเครื่องจักรเมื่อมีความจำเป็นต้องหยุดทำงานเนื่องจากพบปัญหาของเสียของเครื่องติดฉลากขวดของสายการบรรจุเครื่องดื่ม

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1) การปรับปรุงเครื่องติดฉลากขวดของสายการบรรจุเครื่องดื่มโดยการหารูปแบบการปรับตั้งค่าระดับของพารามิเตอร์เพื่อลดค่าระดับของเสีย จำนวนครั้งการหยุดเครื่อง และเวลาสูญเสียของเครื่องติดฉลากเมื่อพบของเสีย
2) การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการติดฉลากของเครื่องติดฉลากจะพิจารณาเฉพาะปัจจัยที่สามารถควบคุมได้เท่านั้น เช่นไม่พิจารณาปัจจัยความชื้นในอากาศ อุณหภูมิภายในโรงงาน วัสดุของฉลาก เป็นต้น
3) งานวิจัยนี้อ้างอิงจากเฉพาะเครื่องติดฉลากที่พบปัญหาในสายการผลิตของโรงงานผลิตและบรรจุเครื่องดื่มกรณีศึกษาแห่งนี้เพียงที่เดียวเท่านั้น
4) รูปแบบการตั้งค่าระดับของพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากที่เหมาะสมสามารถใช้เป็นแนวทางประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้
5) ความสามารถในการทำงานที่เพิ่มขึ้นของเครื่องติดฉลากจะพิจารณาจาก ของเสียประเภทฉลากลดน้อยลง ความถี่ของการหยุดเครื่องจากปัญหาของเสียประเภทฉลากลดน้อยลง และเวลาสูญเสียจากการหยุดเครื่องติดฉลากเพื่อแก้ไขปัญหาประเภทฉลากลดน้อยลง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาการทำงานในโรงงานเครื่องดื่มในแผนกบรรจุ
เพื่อให้เข้าใจบริบทของการทำงาน สภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง และสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น โดยรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตการณ์ทำงานของสายการผลิต เอกสารและวิดีโอการใช้งานและปรับตั้งเครื่องติดฉลาก รวมทั้งศึกษาข้อมูลที่ทางโรงงานบันทึกค่าสถิติต่างๆไว้

2) ศึกษางานวิจัยและแนวทางเพื่อกำหนดหัวข้องานวิจัย
ศึกษาบทความทางวิชาการต่างๆที่สอดคล้องกับปัญหาเพื่อหาแนวทางที่ใช้ ระบุหัวข้องานวิจัย วัตถุประสงค์ ขอบเขตและสมมติฐานต่างๆ

3) รวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ปัญหา
เก็บรวบรวมข้อมูลที่บ่งชี้ปัญหา เพื่อระบุลักษณะของปัญหาที่เปิดขึ้น ขอบเขตของปัญหา วิเคราะห์หาสาเหตุ และหาแนวทางการแก้ไข

4) วิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้า
4.1) ระดมสมองเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการทำงานและหาปัจจัยที่มีผลต่อของเสียที่เกิดจากเครื่องติดฉลากตามหลักการ 5M1E โดยใช้แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (cause & effect diagram)
4.2) กรองปัจจัยโดยวิเคราะห์หน้าที่การทำงานเพื่อแบ่งประเภทปัจจัยนำเข้า และใช้การวิเคราะห์คุณลักษณะของความเสียหายและผลกระทบที่ตามมา (failure mode and effect analysis; FMEA) เพื่อกรองปัจจัยนำเข้าที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลอง (design of experiment; DOE)
4.3) กำหนดค่าระดับของปัจจัยนำเข้า (พารามิเตอร์เครื่องจักร) และการวัดผลตอบสำหรับการออกแบบการทดลอง รวมทั้งหาขนาดตัวอย่างในการทำการทดลอง
4.4) ทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้า ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญไปใช้ในขั้นตอนการหาค่าคำตอบของการปรับระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

5) วิเคราะห์ข้อมูลการออกแบบการทดลอง
5.1) นำปัจจัยมากำหนดระดับและเก็บบันทึกผลของการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (central composite design; CCD)
5.2) นำผลการทดลองมาวิเคราะห์โดยอาศัยโปรแกรม Minitab และ Design Expert เพื่อหาค่าคำตอบที่เหมาะสมของค่าระดับของพารามิเตอร์เครื่องจักรจากจุดบนกราฟพื้นผิว (response surface methodology; RSM) โดยใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจโดยรวม (desirability function) ที่ทำให้ผลลัพธ์รวมของผลตอบหลายผลตอบ (multiple response optimization) ดีที่สุด

6) ปรับปรุงการทำงานของเครื่องติดฉลาก
นำผลคำตอบที่ได้จากโปรแกรมมาประยุกต์ใช้กับการปรับตั้งค่าของพารามิเตอร์เครื่องจักร สังเกตและบันทึกผลการปรับปรุง

7) ติดตามและควบคุมการทำงานเครื่องติดฉลาก
   จัดทำรูปแบบการควบคุมการดำเนินงานของเครื่องติดฉลาก โดยติดตามการปรับค่าระดับของพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากเพื่อควบคุมให้เครื่องติดฉลากอยู่ในสภาวะการทำงานที่เหมาะสม
8) เสนอแนวทางการปรับปรุงการทำงาน
   ทำแผนการประยุกต์ใช้การทำงานรูปแบบใหม่
9) สรุปผลการทำงานวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ผลที่ได้รับ

รูปแบบของการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรรูปแบบใหม่ที่สามารถแก้ไขปัญหาได้

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) ลดค่าระดับเฉลี่ยของเสียจากขั้นตอนการติดฉลาก
2) ลดเวลาสูญเสียจากการหยุดเครื่องจักรจากสาเหตุพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม
3) ลดจำนวนครั้งในการหยุดเครื่องจักรจากสาเหตุพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม
4) พนักงานมีความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงานเครื่องติดฉลากขวดมากขึ้น
5) เป็นแนวทางในการปรับปรุงเครื่องจักรในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

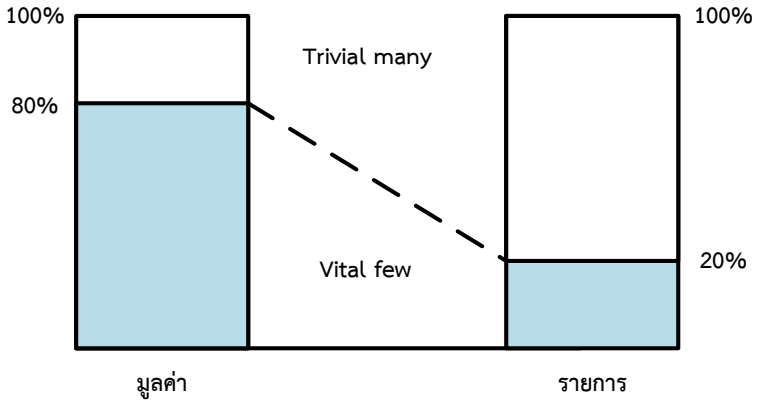
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินปรับปรุงเพื่อลดเวลาสูญเสียในกระบวนการติดฉลาก จำเป็นต้องอาศัยทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการแก้ปัญหาในแต่ละขั้น โดยได้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุของปัญหา ทฤษฎีในการแก้ไขปัญหาซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การออกแบบการทดลองเป็นเนื้อหาหลักในการดำเนินการปรับปรุง อีกทั้งยังมีวิธีการสำหรับหาผลลัพธ์คำตอบที่ดีที่สุด ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

2.1 เครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหา

2.1.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto diagram)

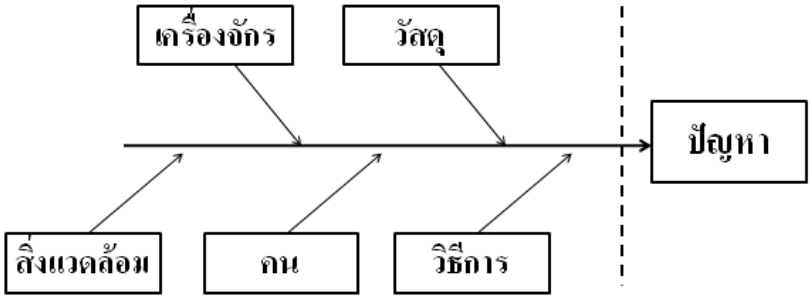
จากหนังสือของกิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ [1] ได้กล่าวว่าแผนภูมิพาราโตเป็นแผนภูมิที่ประกอบได้ด้วยกราฟแท่งและกราฟเส้นตรง ปริมาณของแต่ละข้อมูลจะถูกนำเสนอในรูปของกราฟแท่งเรียงลำดับจากปริมาณมากไปน้อย และผลรวมของแต่ละปริมาณของข้อมูลจะถูกนำเสนอในรูปของกราฟเชิงเส้น จุดประสงค์ของแผนภูมิพาเรโตเพื่อแสดงให้เห็นถึงส่วนที่มีความสำคัญที่สุดท่ามกลางข้อมูลทั้งหมด ในทางคุณภาพนิยมให้แผนภูมิพาเรโตในการแสดงแหล่งที่มาของของเสียในกระบวนการ หรือคำร้องเรียนจากลูกค้า แสดงให้เห็นถึงขนาดของปัญหาและเพื่อจัดความสำคัญ หลักการของพาเรโตนั้นใช้หลัก 80/20 คือส่วนน้อย 20% จะเป็นส่วนสำคัญ อีก 80% จะเป็นส่วนไม่ค่อยสำคัญ (20% vital few, 80% trivial many) ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนภูมิพาเรโต

2.1.2 แผนผังแสดงเหตุและผล (cause and effect diagram)

แผนผังแสดงเหตุและผลสามารถเรียกได้อีกชื่อว่า แผนผังก้างปลา (fish-bone diagram) เป็นผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง ใช้ในการวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุต่างๆว่ามีอะไรบ้างที่มาเกี่ยวข้องกัน สัมพันธ์ต่อเนื่องกันอย่างไรจึงให้ผลปรากฏตามมาในขั้นสุดท้าย โดยการระดมความคิดอย่างเป็นอิสระจากทุกคนที่เกี่ยวข้องในกลุ่มทีมงานด้านการควบคุมคุณภาพ ผังก้างปลาหรือผังแสดงเหตุและผลประกอยไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลา เป็นส่วนที่รวบรวมปัจจัยซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหา และส่วนหัวปลาเป็นข้อสรุปของสาเหตุที่กลายเป็นปัญหา ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แผนผังแสดงเหตุและผล

2.1.3 การวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบที่ตามมา (failure mode and effect analysis; FMEA)

การวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบที่ตามมาเป็นกระบวนการที่มีมุมมองจากล่างขึ้นบน (bottom up) โดยพิจารณาจากการขัดข้องของสิ้นส่วนย่อยที่อาจมีผลกระทบต่อระบบใหญ่ในลักษณะที่เป็นความสัมพันธ์กันแบบต่อเนื่อง มุ่งเน้นไปที่การชี้ให้เห็นถึงคุณลักษณะของความเสียหายหรือสาเหตุที่จะนำไปสู่ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น (potential failure mode) อันเนื่องมาจากการออกแบบ การผลิต หรือการบริการ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลกระทบความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (effect analysis) และสุดท้ายก็เพื่อนำไปสู่การหาวิธีป้องกันการเกิดความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (problems prevention)

FMEA สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1. Design FMEA (DFMEA) คือการปรับปรุงการออกแบบโดยใช้วิธีการ FMEA
2. Process FMEA (PFMEA) คือการปรับปรุงการผลิตโดยใช้วิธีการ FMEA
3. Service FMEA (SFMEA) คือการปรับปรุงการบริการโดยใช้วิธีการ FMEA

ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยหลักการ FMEA

1. กำหนดแผนผนังการดำเนินงาน (process flow) เช่นการออกแบบ การผลิต การบริการ
2. กำหนดหน้าที่หลักของผลิตภัณฑ์
3. วิเคราะห์คุณลักษณะความเสียหาย (failure mode) ที่อาจเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์
4. หาสาเหตุการเกิดคุณลักษณะความเสียหาย (cause of failure mode)
5. พิจารณาว่าลูกค้าจะรู้ได้อย่างไรถ้าเกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ (effect)
6. กำหนดระดับของความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้น (S = severity)
7. พิจารณาถึงความถี่ของสาเหตุของการเกิดคุณลักษณะความเสียหาย (O = occurrence of cause of failure mode)
8. พิจารณาวิธีการในปัจจุบันที่ทำการตรวจสอบคุณลักษณะความเสียหาย (D = detectability of cause of failure mode)
9. คำนวณค่าตัวเลขลำดับแสดงความสำคัญก่อนหลัง risk priority number (RPN) = S x O x D

2.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ [2] ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์ในการวิเคราะห์ถึงแหล่งที่มาในความคลาดเคลื่อนของการวัดเพื่อยืนยันความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลอง โดยทั่วไปจะทดสอบความแม่นยำของระบบวัดโดยวิธีการ gage repeatability and reproducibility หรือ GR&R โดยค่าความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด สามารถแบ่งเป็น 2 องค์ประกอบคือ

ความผันแปรภายใต้เงื่อนไขของระบบการวัด (repeatability) หมายถึงความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (expected value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยการใช้พนักงานวัดคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันซ้ำๆ โดยทั่วไปจะหมายถึงความผันแปรของอุปกรณ์ แต่ในบางครั้งอาจเกิดมาจากสาเหตุหลักๆเช่น ทักษะของพนักงาน ปัจจัยแวดล้อม

ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด (reproducibility) หมายถึงความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าการวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดตัวเดียวกัน ในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปมักจะหมายถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด จึงเรียกว่าความผันแปรระหว่างพนักงานวัด (appraiser variation; AV) แต่ในบางครั้งความผันแปรนี้อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยที่ไม่ใช่พนักงานวัด เช่น ความผันแปรระหว่างวิธีการวัด ความผันแปรระหว่างสิ่งแวดล้อม

ค่ารีพีททะบิลิตี้พิจารณาได้จากค่าความแตกต่างของเข้าวัดค่าอ้างอิงที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้วยอมรับ (P_a) 0.995 กับค่าวัดอ้างอิงที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้วยอมรับ (P_a) 0.005 หารด้วยตัวประกอบเพื่อการปรับค่า (adjustment factor)

การประเมินผลระบบการวัดในระยะสั้นนั้นมีวิธีในการประเมินดังนี้

1. เลือกผู้ชำนาญการซึ่งเป็นบุคคลที่มีความสามารถเป็นพิเศษ ในการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือเสีย ลูกค้าให้การยอมรับในผลตรวจสอบดังกล่าว
2. กำหนดล็อตมาตรฐาน (standard lot) สำหรับใช้ในการตรวจสอบ เพื่อประเมินความสามารถของระบบการวัด โดยล็อตดังกล่าวคนประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่มีคุณภาพดี ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่มีคุณภาพไม่ดี และผลิตภัณฑ์ตัวอย่างคุณภาพกำ่กึ่งอย่างละ 1 ใน 3 ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้งหมด โดยผลิตภัณฑ์ตัวอย่างกำ่กึ่งควรประกอบด้วย งานดีแบบกำ้กึ่ง และงานไม่ดีแบบกำ่กึ่งอย่างละครึ่ง
3. เลือกพนักงานวัด หรือพนักงานตรวจสอบ 2-4 คน โดยพนักงานที่เลือกมาต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพและได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดีและผ่านการทดสอบประเมินผลแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดสอบที่อาศัยความรู้สึก
4. กำหนดจำนวนชิ้นงานตัวอย่าง และจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำ โดยจำนวนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงานทดสอบ
5. สุ่มพนักงานตรวจสอบขึ้นมาคนหนึ่งแล้วตรวจสอบผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแบบสุ่มเพื่อประเมินคุณภาพของสิ่งตัวอย่างว่าผ่าน (good; G) หรือไม่ผ่าน (no good; NG) และทำเช่นนี้จนครบจำนวนพนักงานที่จำทำการตรวจสอบ
6. ประเมินด้วยค่าดัชนีต่างๆดังนี้

$$\%\text{รีพีททะบิลิตี้ของผู้วัด} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่การตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ}}$$

$$\%\text{ความไม่ไบอัสของผู้วัด} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่การตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ}}$$

$$\%\text{ประสิทธิผลรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกันละถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ}}$$

$$\%\text{ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผู้วัดทุกคนตรวจได้ถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ}}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7. หาค่า %รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วให้ทำการอบรมพนักงานใหม่รวมทั้งประเมินผลของพนักงานใหม่เพื่อปรับปรุงค่ารีพีททะบิลิตี้ให้ดีขึ้น แต่หาก %ความไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (% attribute score) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วจะต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือต้องกำหนดให้ชิ้นงานได้รับการตรวจสอบตัวผู้ชำนาญการเฉพาะเท่านั้น สำหรับ % ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลตี้ของการตรวจสอบ (% screen effective score) และ %ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ (% attribute effective score) ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดมีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุปรับปรุงค่าให้ดีขึ้น

2.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (design of experiment; DOE)

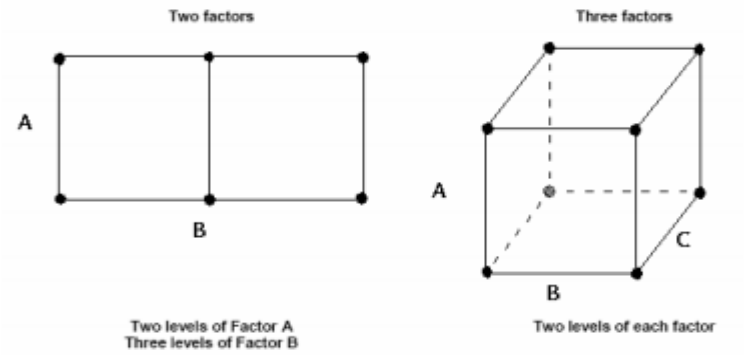
ปารเมศ ชุติมา [3] การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สามารถศึกษาผลของหลายๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกันด้วยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัย การออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของ input (factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ output (response) ที่เกิดขึ้นกระบวนการที่มีปัจจัย (factor) หรือ input (X1, X2, X3, X4) ต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (quality characteristic) ของกระบวนการ ในการออกแบบการทดลองเราต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X ต่างๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ได้จะทำให้เรามี ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ (process knowledge) เพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการต่อไป

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial design)

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลจะสามารถทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการและเกิดขึ้นพร้อมๆกันได้ เมื่อมีการทำการทดลอง ควรทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยไปพร้อมๆกันมากกว่าทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่งเพราะจะทำให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในเรื่องการประหยัดเวลาและต้นทุน และยังสามารถวิเคราะห์เรื่องอิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างปัจจัยได้ด้วย โดยอิทธิพลร่วม (interaction) คือผลของการที่ปัจจัยร่วมกันที่มีอยู่ในหลายๆกระบวนการ ถ้าไม่ได้ทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลอาจจะไม่เห็นผลของอิทธิพลร่วม (interaction) ได้ชัดเจนนัก

การออกแบบเพื่อการคัดเลือก (screening design)

ในงานพัฒนากระบวนการและงานการผลิตส่วนมาก มีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุงการคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลงโดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรนี้ทำให้สามารถจะพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นได้ หรือ พิจารณาตามหลักการความสำคัญจำนวนน้อย “vital Few” การคัดเลือกอาจจะสามารถทำได้ถึงการหาค่าที่เหมาะสม (optimal) ของตัวแปรนั้นๆรวมทั้งทำการทดลองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (optimization) เพื่อบอกว่าค่าตอบสนอง (response) มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง การออกแบบการทดลองแบบ full factorial ในการทดลองแบบ full factorial ค่าตอบสนอง (response) จะถูกวัดค่าที่ทุกๆเงื่อนไขของทุกค่าระดับปัจจัยที่มีในการทดลองโดยเงื่อนไขการทดลอง (combination of factor levels) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนองโดยที่เงื่อนไขการทดลองแต่ละอันจะเรียกว่ารัน (run) และมีการทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนองและชุดข้อมูลทั้งหมดในทุกรันจะเรียกว่า แบบการทดลอง (design) ในรูปภาพด้านล่างนี้เป็นรูปแสดงตัวแบบของการทดลองแบบ 2 และ 3 ปัจจัยโดยจุดจะเป็นแสดงถึงเงื่อนไขการทดลอง (combination) แต่ละอันของการทดลอง ตัวอย่างเช่น ในตัวแบบ 2 ปัจจัย (two-factor design) จุดที่มุมล่างด้านซ้ายและรันของการทดลองที่มีค่าระดับปัจจัย A เป็นค่าต่ำ (low) และ ค่าระดับปัจจัย B เป็นราคาต่ำเช่นกัน ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ (two-level factorial design)

ในตัวแบบของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ two-level factorial design ในทุกๆการทดลองทุกๆปัจจัยจะมีค่าระดับเพียงแค่ 2 ระดับเท่านั้น การทดลองแต่ละรันจะมีทุกๆค่าระดับของทุกๆปัจจัยถึงแม้ว่าตัวแบบ two-level factorial design จะไม่สามารถทำการทดลองที่ค่าปัจจัยย่าน (range) กว้างๆ มากได้แต่ก็สามารถให้สาระข้อมูลที่มีประโยชน์ได้โดยที่จำนวน

รันไม่มากนักต่อหนึ่งปัจจัยและเพราะว่า two-level factorial design สามารถที่จะแสดงค่าแนวโน้มได้จึงสามารถนำมาใช้เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการสร้างการทดลองต่อไป ตัวอย่างเช่น เมื่อต้องการที่จะทำการทดลองในย่านที่กว้างขึ้นซึ่งคุณมีสมมติฐานเบื้องต้นว่าจะมีค่าที่ดีที่สุดอยู่อาจใช้ตัวแบบแฟคทอเรียล (factorial) เพิ่มเติมจากจุดนี้โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ central composite design การออกแบบการทดลองแบบ general full factorial ในตัวแบบของ general full factorial การทดลองแต่ละครั้งในแต่ละปัจจัยจะมีค่าระดับหลายๆค่า ตัวอย่างเช่นปัจจัย A มี 2 ระดับ ปัจจัย B มี 3 ระดับ และ ปัจจัย C มี 5 ระดับ การทดลองในทุกรันจะทำครบทุกค่าระดับของทุกปัจจัย ตัวแบบ general full factorial อาจจะนำไปใช้ในการทดลองขนาดเล็กเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัย (screening) หรือเพื่อทำการหาค่าที่ดีที่สุด (optimization)

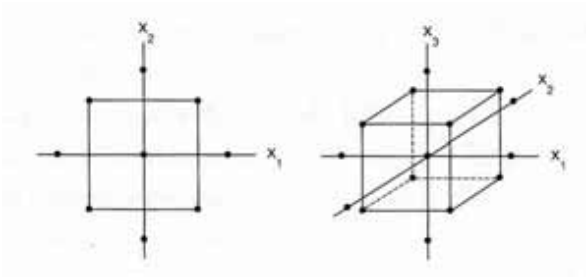
การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงสัดส่วน (fractional factorial design)

ในการทดลองแบบ full factorial design ค่าตอบสนองจะถูกวัดค่าในทุกๆเงื่อนไขการทดลองซึ่งจะเป็นทุกๆค่าระดับของทุกปัจจัยซึ่งอาจจะต้องมีการทำการทดลองจำนวนมากครั้ง ตัวอย่างเช่น การทดลองของ two-level full factorial design ของ 6 ปัจจัยอย่างน้อยต้องมีการทดลองจำนวน 64 รัน หรือกรณีที่มี 9 ปัจจัยจะมีการทดลองอย่างน้อย 512 รัน เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและต้นทุน อาจทำการออกแบบการทดลองให้มีการทำการทดลองเฉพาะบางเงื่อนไข ตัวแบบ factorial design ที่มีการทดลองไม่ครบทุกเงื่อนไขนี้เรียกว่า fractional factorial design โปรแกรม Minitab สามารถสร้างตัวแบบ fractional factorial design ได้จนถึงจำนวนปัจจัย 15 ตัวต่อหนึ่งการทดลอง

fraction factorial design มีความสำคัญอย่างมากในการทดลองเพื่อการคัดเลือกปัจจัย (screening) เพราะว่ามีการลดจำนวนรันลงจนเหลือขนาดการทดลองที่สามารถทำได้จริง รันที่ถูกเลือกมาทำการทดลองเป็นรันที่อยู่ในชุดการทดลองของตัวแบบ full factorial design ซึ่งในกรณีที่ไม่ได้ทำการทดลองครบทุกเงื่อนไขของทุกปัจจัยจะทำให้เกิดผลอย่างหนึ่งที่เรียกว่าคอนฟาวด์ (confounded) ซึ่งคอนฟาวด์นี้หมายถึงอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถทำการประเมินค่าแยกออกมาได้เดี่ยวๆและอาจเรียกว่าเป็น aliased โดย Minitab จะแสดงตารางของ alias ที่อยู่ในรูปแบบของการคอนฟาวด์เพราะว่าเรื่องของคอนฟาวด์ทำให้อิทธิพล (effects) บางตัวไม่สามารถหาค่าได้ทำให้การเลือกการทำ fractional factorial ต้องเลือกส่วนที่จะมาทำให้ถูกต้องเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใช้งานได้ การเลือกส่วนการทดลองที่ดีที่สุด (best fraction) บางครั้งอาจจะต้องใช้ความรู้เฉพาะเกี่ยวกับกระบวนการและผลิตภัณฑ์เพื่อมาตัดสินใจด้วย

การออกแบบการทดลองส่วนผสมกลาง (central composite design; CCD)

การออกแบบการทดลองส่วนผสมกลางเป็นหนึ่งในวิธีการทดลองเพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในการหาพื้นผิวผลตอบที่นิยมใช้เพื่อหากระบวนการที่เหมาะสม โดยทั่วไป จะประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่ 1) ส่วนแฟคทอเรียลจำนวน 2^k รัน 2) ส่วนระยะห่างจากจุดศูนย์กลางการทดลองในแนวแกนด้วยระยะ α จำนวน 2k รัน และ 3) ส่วนการทดลองที่จุดศูนย์กลางการทดลอง (center point of design; c) จำนวน nc รัน ดังนั้นจำนวนครั้งในการทดลองของการออกแบบการทดลองส่วนผสมกลางจึงเท่ากับ $2^k+2k+nc$ โดยที่ k คือจำนวนปัจจัยที่สนใจ รูปแบบการทดลองแบบส่วนผสทกลางแสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การออกแบบการทดลองส่วนผสมกลางสำหรับ 2 และ 3 ปัจจัย

2.4 ฟังก์ชั่นความพึงพอใจ

Derringer และ Suich [4] ได้อธิบายฟังก์ชั่นความพึงพอใจ (desirability function) เป็นวิธีการในการจัดการปัญหาการหาคำตอบที่ดีที่สุดในรูปแบบหลายผลตอบ วิธีการนี้อยู่บนหลักการที่ว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการสามารถมีได้หลายคุณลักษณะ หากค่าไม่อยู่ในค่าขอบเขตจะถือว่าเป็นสิ่งที่ไม่พึงต้องการ การคำนวณทำได้โดยการแปลงค่าผลตอบให้หลายเป็นค่าความพึงพอใจซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเลข 0 หมายถึงไม่เป็นที่พึงพอใจอย่างสมบูรณ์ จนถึงเลข 1 หมายถึงพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ การแปลงผลตอบเป็นค่าความพึงพอใจอาศัยสมการที่ขึ้นอยู่กับรูปแบบความต้องการของผลตอบนั้นๆ ว่าต้องการหาค่าที่มากที่สุด หาค่าที่น้อยที่สุด หรือพยายามให้อยู่ที่ค่าที่กำหนด

ถ้าต้องการให้ผลตอบอยู่ที่ค่าที่กำหนด (target is best) จะใช้สมการคำนวณดังนี้ [4]

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 0 & if \ \ \hat{Y}_i(x) < L_i \\ \left(\dfrac{\hat{Y}_i(x) - L_i}{T_i - L_i} \right)^s & if \ \ L_i \le \hat{Y}_i(x) \le T_i \\ \left(\dfrac{\hat{Y}_i(x) - U_i}{T_i - U_i} \right)^t & if \ \ T_i \le \hat{Y}_i(x) \le U_i \\ 0 & if \ \ \hat{Y}_i(x) > U_i \end{cases}$$

ถ้าต้องการให้ผลตอบมีค่ามากที่สุด (maximize) จะใช้สมการคำนวณดังนี้

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 0 & if \ \ \hat{Y}_i(x) < L_i \\ \left(\dfrac{\hat{Y}_i(x) - L_i}{T_i - L_i} \right)^s & if \ \ L_i \le \hat{Y}_i(x) \le T_i \\ 1.0 & if \ \ \hat{Y}_i(x) > T_i \end{cases}$$

ถ้าต้องการให้ผลตอบมีค่าน้อยที่สุด (minimize) จะใช้สมการคำนวณดังนี้

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 1.0 & if \ \ \hat{Y}_i(x) < T_i \\ \left(\dfrac{\hat{Y}_i(x) - U_i}{T_i - U_i} \right)^s & if \ \ T_i \le \hat{Y}_i(x) \le U_i \\ 0 & if \ \ \hat{Y}_i(x) > U_i \end{cases}$$

d_i คือ ค่าความพึงพอใจของตัวแปรตอบสนอง i

L_i คือ lower limits ของตัวแปรตอบสนอง i

U_i คือ upper limits ของตัวแปรตอบสนอง i

T_i คือ ค่าเป้าหมาย ของตัวแปรตอบสนอง i

s, t คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญ

หลังจากคำนวณค่าความพึงพอใจของแต่ละตัวแปรตอบสนอง จึงคำนวณค่าความพึงพอใจโดยรวม (overall desirability : D) ค่าความพึงพอใจโดยรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0 จนถึง 1 ยิ่งค่าเข้าใกล้เลข 1 หมายความว่าค่าระดับของตัวแปรตอบสนองทุกตัวแปรมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายของตัวแปรตอบสนองนั้นๆ สามารถคำนวณค่าความพึงพอใจโดยรวมได้จากสมการ

$$max\, D = (d_1(Y_1) d_2(Y_2) \ldots d_k(Y_k))^{1/k}$$

เมื่อ k คือจำนวนของตัวแปรตอบสนองที่ต้องการแก้ไข

การใช้งานฟังก์ชั่นความพึงพอใจประกอบด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน

1. ทำการทดลองและสร้างสมการความสัมพันธ์ของผลตอบทั้งหมด k ผลตอบ

2. กำหนดลักษณะความต้องการของแต่ละผลตอบ
3. หาค่าที่มากที่สุดของความพึงพอใจโดยรวม ภายใต้ค่าขอบเขตควบคุมของปัจจัยนำเข้า

2.5 วิธีการพื้นผิวผลตอบ

การออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

ปารเมศ ชุติมา [3] ได้กล่าวถึงวิธีการพื้นผิวผลตอบ (response surface methodology; RSM) ว่าเป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบ

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon$$

โดยกำหนดให้ปัจจัยนั้นแทนค่าด้วย x และ ε คือ ค่าความผิดพลาดของผลตอบ y ที่เป็นผลมาจากการทดลอง ถ้ากำหนดว่า E(y) = f(x1,x2) = η ดังนั้น สามารถเขียนสมการของพื้นผิวได้คือ

$$\eta = f(x_1, x2)$$

ซึ่งจะเรียกว่า “พื้นผิวผลตอบ (response surface)” โดยส่วนใหญ่จะแสดงพื้นผิวผลตอบในรูปของกราฟิก โดยที่ η จะถูกพล็อตกับระดับของ x1 และ x2 เพื่อที่จะช่วยให้มองรูปร่างของพื้นผิวผลตอบได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งอาจจะพล็อตเส้นโครงร่าง (contour plot) ของพื้นผิวผลตอบ โดยที่ปัญหาในส่วนใหญ่จะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระ โดยในขั้นแรก จะต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่ใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และเซตของตัวแปรอิสระ อาจจะเป็น แบบจำลองของผลตอบมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่ใช้เป็นแบบจำลองกำลังหนึ่งดังสมการ

$$y = \beta 0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบส่วนมากจะใช้แบบจำลองกำลังหนึ่งหรือแบบจำลองกำลังสองในการหาผลตอบ แต่แบบจำลองทั้งสองชนิดไม่สามารถใช้ประมาณความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระ ถ้าพื้นผิวที่เราสนใจอยู่มีขนาดใหญ่ การออกแบบพื้นผิวผลตอบมีวิธีการที่นำมาใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบอยู่หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ วิธีการกำลังสองน้อยสุด การปีนด้วยทางชัน การออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอับดับที่หนึ่ง และการออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอับดับที่สอง ซึ่งการออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอับดับที่สองนี้เป็นการเน้นไปที่การสร้างแบบจำลองพหุนามของผลตอบ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 ความเข้าใจพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

ในงานอุตสาหกรรม การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตเป็นสิ่งสำคัญในการทำให้การผลิตดำเนินไปอย่างเต็มประสิทธิภาพ หนึ่งในวิธีที่นิยมนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรคือ วิธีการออกแบบการทดลอง (design of experiment; DOE) จากหนังสือ Design and Analysis of Experiments ของ Montgomery [5] ได้กล่าวว่า “การทำความเข้าใจในระบบหรือกระบวนการจำเป็นต้องอาศัยการสังเกต แต่การสังเกตเพียงอย่างเดียวไม่ทำให้สามารถเข้ากระบวนการได้ทั้งหมด จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าของกระบวนการและสังเกตผล เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลลัพธ์ที่เกิด” วิธีนี้เป็นวิธีที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการทดลองทางเคมีและในอุตสาหกรรม เพราะสามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้นได้ Park และ Ahn [6] ได้กล่าวว่า DOE เป็นวิธีที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการออกแบบและวิเคราะห์ความซับซ้อนในงานเชิงอุตสาหกรรม มันสามารถช่วยให้เข้าใจลักษณะเฉพาะตัวของกระบวนการและตรวจสอบว่าปัจจัยส่งผลอย่างไรต่อผลลัพธ์บนพื้นฐานของสถิติ อีกทั้งยังใช้เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยจำนวนการทดลองที่น้อย

การออกแบบการทดลอง เป็นส่วนที่สำคัญในกิจกรรมการออกแบบทางวิศวกรรม เมื่อต้องการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่หรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์เดิม การนำการออกแบบการทดลองไปประยุกต์ใช้ตามแนวทางของ Montgomery [5] ประกอบด้วย

1.ประเมินและเปรียบเทียบโครงร่างการออกแบบ
2.ประเมินทางเลือกวัตถุดิบ
3.เลือกตัวแปรที่ทำให้ผลลัพธ์ออกมาดีภายใต้สภาวะการที่มีความแปรผันสูง
4.ตัดสินใจเลือกตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์
5.สร้างสูตรสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

2.5.2 การออกแบบการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ CCD และ RSM

บทความของ Sung-Il และคณะ [7] ได้กล่าวว่าการออกแบบการทดลองเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้กับงานออกแบบที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทางไฟฟ้า โดยในบทความได้ออกแบบการทดลองตัวต้นแบบของมอเตอร์ไฟฟ้าชนิด PMLSM เพื่อปรับปรุงให้ใช้งานได้ดีขึ้นก่อนนำผลจากการหาค่าที่ดีที่สุดไปทำการผลิตจริง ปัจจัยที่นำมาพิจารณาได้แก่ air-gap (mm), width of permanent (mm) และ height of permanent (mm) ผลลัพธ์ที่สนใจมีสองตัวแปร (multi

responses) คือ average thrust และ thrust ripple โดยใช้การออกแบบ full factorial design ทำการทดลองทั้งหมด 9 การทดลองและหาค่าของตัวแปรที่ดีที่สุดด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ (response surface methodology) พบว่ามอเตอร์ไฟฟ้าที่ปรับปรุงใหม่มีประสิทธิภาพดีขึ้น 37.4% เช่นเดียวกับบทความของ Park และ Ahn [6] ที่ใช้การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกขึ้นรูปโดยได้เริ่มจากการรวบรวมปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อกระบวนการ ซึ่งพบว่ามีทั้งหมด 8 ปัจจัยแล้วคัดกรองด้วยวิธีการคัดกรองปัจจัย (screening factor) จนเหลือ 5 ปัจจัยได้แก่ injection pressure (MPa), packing pressure (%), injection speed (%), injection time (s) และ packing time (s) ใช้การออกแบบ two-level full factorial design เพื่อหารูปแบบการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักร ผลจากการนำค่าพารามอเตอร์ในรูป optimal ไปใช้ทำให้ผลิตภาพเพิ่มขึ้น 38%

การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) เป็นวิธีการสร้างสมการเชิงเส้นเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (non-linear model optimization) ที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง บนพื้นฐานของการหาคำตอบของหลายตัวแปร (multi-variable) ที่ใช้กำหนดสมการถดถอยและสภาพการเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมจากการทดลองที่ถูกต้อง (Kalavathy et al. 2009; Arulkumar et al. 2011) และมีประโยชน์ในการศึกษาอันตรกิริยาของหลายๆปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ การใช้ CCD ในบทความของ Prakash และคณะ [8] ได้ใช้ในการทดลองทางเคมีในการสกัดกรด humic acid ด้วยปัจจัยคือคือปริมาณ lignite, potassium hydroxide และ sodium hydroxide ผลตอบสนองคือปริมาณของ humic acid โดยจุดประสงค์ต้องการหารูปแบบของปริมาณสารตั้งต้นที่ทำให้ได้ผลิตภาพสูงสุดโดยผ่านวิธีการทางเคมีชื่อว่า FESEM-EDAX ได้ทำการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง (แบ่งเป็นการทดลองที่จุดตามแฟคทอเรียล และที่จุดตามขอบ α รวม 14 การทดลองและจุดกึ่งกลางอีก 6 การทดลอง) สร้างสมการถดถอย ผลออกมาพบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ 5 g of KOH และ 1 g of NaOH เพื่อปรับปรุง humic acid จาก 5 g of Lignite ให้ดีขึ้น

ในการกำหนดรูปแบบการทดลองด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง สามารถกำหนดระดับของการรับปัจจัยนำเข้าได้ถึง 5 ระดับ ดังงานวิจัยของ Sung-Il และคณะ [7] ที่ได้กำหนดระดับของการปรับพารามิเตอร์ในการทดลองเพื่อปรับปรุงตัวต้นแบบของมอเตอร์ไฟฟ้าทั้งหมด 5 ระดับ ได้แก่ ระดับ +1 และ -1 ตามการออกแบบการทดลองแบบสองระดับ ระดับ 0 หรือที่จุดศูนย์กลางของการทดลอง และที่ระดับ α ของแกนปัจจัยนำเข้า Demirel และ Kayan [9] เป็นงานวิจัยที่ทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของการเสื่อมสลายของ azo dye solution of AR 274 ด้วย wet air oxidation conditions โดยใช้ CCD ในการทำการทดลอง มีตัวแปรตอบสนองคือ เปอร์เซ็นต์ TOC และมีปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัย คือ ความดันออกซิเจน (MPa) อุณหภูมิ (°C) และ เวลาการทำ

ปฏิกิริยา (นาที) ค่าระดับ α ในการทดลองเท่ากับ 1.68 จำนวนครั้งของการทดลองเท่ากับผลรวมของการทดองเชิงแฟคทอเรียลสองระดับ 8 ครั้ง การทดลองที่ค่า α เท่ากับ 6 ครั้ง และการทดลองที่จุดศูนย์กลางการทดลองที่ระดับ 0 อีก 6 ครั้ง รวมทั้งหมด 20 ครั้งการทดลอง ผลลัพธ์ของสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง CCD 5 ระดับได้ยืนยันด้วยค่า R^2 = 0.9981 และ Adj-R^2 = 0.9965 ตามลำดับ ผลลัพธ์ในการเลือกค่าระดับคือ ความดันออกซิเจน อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 3.3 MPa, 255°C และ 111 นาที ตามลำดับ โดยที่สามารถทำให้เปอร์เซ็นต์ TOC ลดลงได้ 67.02% ตัวอย่างของ Sugashini และ Begum [10] ก็เป็นการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการ CCD ที่ใช้ 5 ระดับการทดลอง ได้ศึกษาการดูดซับของเสียประเภทโลหะหนักจากการปล่อยควันเสียของการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม โดยได้นำการออกแบบการทดลองแบบ CCD เพื่อศึกษาปัจจัยที่จะช่วยในกี่ดูดซับ hexavalent chromium ions ซึ่งเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีปัจจัยคือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะ (mg/l) ปริมาณตัวดูดซับ(g) และค่า pH โดยการทดลองแบ่งให้แต่ละปัจจัยออกเป็น 5 ระดับเช่นเดียวกัน ตัวแปรตอบสนองได้แก่ เปอร์เซ็นต์การลดลงของโลหะ(%) และความสามารถในการดูดซับ(mg/g) ทำการทดลองทั้งหมด 20 ครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองเพื่อลดปริมาณโลหะหนักในไอเสียลงด้วยค่าปัจจัยนำเข้าปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 0.44 g ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะ 255 mg/l และค่า pH เท่ากับ 2 ผลคือสามารถลดปริมาณโลหะหนักลงได้ 87% และค่าความสามารถในการดูดซับ 55.4 mg/g

การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลางยังสามารถจัดการกับปัญหาการออกแบบการทดลองที่สนใจหลายผลลัพธ์ได้อย่างดีด้วยวิธีการพื้นฐานในการจัดการกับปัญหาหลายผลตอบ (multiple responses) ได้แก่ constrained optimization และ desirability function MONTGOMERY [5] บทความของ Poroch-Seritan และคณะ [11] เป็นตัวอย่างของการนำ desirability function มาใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาหลายผลตอบที่ออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงขั้นตอนการเคลือบโลหะ nickel ด้วยไฟฟ้าที่ได้อาศัยโมเดล CCD และ RSM มีปัจจัยที่สนใจ 3 ปัจจัย คือ current density (A/dm^2), temperature ($^{\circ}C$) และ pH มี 4 ผลตอบสนอง คือ cathode efficiency (%), coating thickness (μm), brightness (%) และ hardness (HV) ในขั้นตอนการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้มีการให้คะแนนลำดับความสำคัญของแต่ผลตอบสนอง (d_i) เพื่อให้น้ำหนักในแต่ละผลตอบแตกต่างกัน ซึ่งจะได้ผลคำตอบที่ดีที่สุดภายใต้สถานการณ์ ส่วนวิธี constrained optimization เป็นวิธีที่ Sung-Il และคณะ [7] ได้ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยให้เงื่อนไขกับการหาคำตอบที่ดีที่สุดดังนี้

$$125.4 \leq Y_{AT} \leq 127.4$$

$$0.15 \leq Y_{TR} \leq 0.25$$

กันตา สุวรรณฤทธิ์ [12] ศึกษากระบวนการเขียนสัญญาณบนฮาร์ดไดร์ฟเพื่อหาสาเหตุหลักของการเกิดของเสียในกระบวนการ โดยมุ่งเน้นที่ของเสียประเภท drive exceeded time limit ซึ่งเป็นของเสียที่พบมากที่สุด โดยใช้แนวทางการปรับปรุงด้วยแนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา ในการหาสาเหตุของปัญหาพบว่าสาเหตุหลักได้แก่ ค่าความเร็วรอบในการขันสกรูตำแหน่งต่างๆบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ แรงในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ การปรับตั้งค่าความดันในการเติมอัดก๊าซฮีเลียม ตัวแปรตอบสนองคือ ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เนื่องจากถ้ามีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่า 77% ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะเกิดการเสียประเภท drive exceeded time limit โดยในงานวิจัยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง two-level factorial design

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		หน่วย
	ต่ำ (-1)	สูง (+1)	
ค่าความเร็วรอบในการขันสกรู	1,200	1,600	rpm
แรงในการขันสกรู	2.0	4.0	In.lb
ค่าความดันในการเติมอัดก๊าซฮีเลียม	1.0	1.2	atm

ผลออกมาทำให้ทราบค่าของการปรับตั้งพารามิเตอร์ได้แก่ ค่าความเร็วรอบในการขันสกรู 1,200 rpm แรงในการขันสกรู 4 in.lb. และค่าความดันในการอัดก๊าซฮีเลียม 1.2 atm และใช้วิธี ECRS เพื่อลดขั้นตอนการทำงานลง สามารถลดของเสียประเภท drive exceeded time limit ลงได้ 45,420 DPPM จาก 85,125 DPPM

วิทยา เจนจิวัฒนกุล [13] ศึกษากระบวนการพิมพ์พลาสติกเพื่อหาแนวทางในการลดของเสียของโรงงานกรณีศึกษาพบว่ากระบวนการพิมพ์พลาสติกเป็นภาคส่วนที่มีปริมาณของเสียสูงที่สุดมีจำนวนเสียถึง 41,759 กิโลกรัม จากยอดการผลิต 357.486 กิโลกรัมหรือคิดเป็น 11.68% เริ่มการสำรวจหาปัจจัยและคัดกรองด้วย cause & effect matrix และ FMEA จนเหลือ 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าความหนืดสี, มุมของการปาดหมึก และขั้นตอนวิธีการล้างบล็อกซึ่งเป็นตัวแปรประเภทเชิงคุณภาพ

ปัจจัย	ระดับ				หน่วย
	1	2	3	4	
ค่าความหนืดสี	20	30	40	50	วินาที
มุมของการปาดหมึก	55	60	65		องศา
ขั้นตอนวิธรการล้างบล็อก	ง่าย	ขั้นตอนที่เหมาะสม			

จากนั้นปรับปรุงด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง full factorial design โดยทำการทดลอง 2 replicate ในแต่ละ combination หลังปรับปรุงมีระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ ค่าความหนืดสี 30 วินาที มุมของการปาดหมึก 60 องศาและรูปแบบวิธีการล้างบล็อกแบบวิธีที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าสามารถของเสียให้ลดลงจนอยู่ที่ 1.53%

ทิชา แสนสม [14] ได้ใช้การออกแบบการทดลองในการศึกษาการลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา โดยวัดของเสียที่เกิดจากเม็ดฝุ่นต่อปริมาตรการผลิตเท่ากับ 151,259 DPPM (defect part per million) ซึ่งในงานวิจัยเป็นการออกแบบการทดลองที่มี 2 ผลตอบสนอง คือ จำนวนของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสี และ ปริมาณเม็ดฝุ่นที่อยู่ในห้องพ่นสีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร (ปริมาณเฉลี่ยจากห้องพ่นสีพื้นและห้องพ่นสีเคลือบ) โดยที่ปัจจัยนำเข้าของการทดลองคือ

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	1	2	
ค่าความถี่ของมอเตอร์ระบบจ่ายอากาศ	47	44	เฮิรตซ์
ค่าความถี่ของมอเตอร์ระบบดูดอากาศ (ห้องพ่นสีพื้น)	42	40	เฮิรตซ์
ค่าความถี่ของมอเตอร์ระบบดูดอากาศ (ห้องพ่นสีเคลือบเงา)	44	42	เฮิรตซ์

ใช้การออกแบบการทดลองแบบ two-level factorial design ผลลัพธ์ที่ออกมาพบว่าระดับของปัจจัยที่ทำให้จำนวนของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นต่ำที่สุดคือ ความถี่ของมอเตอร์จ่ายอากาศ (air supply) เท่ากับ 47 เฮิรตซ์ ความถี่ของมอเตอร์ดูดอากาศ ณ ห้องพ่นสีพื้น (base exhaust fan) เท่ากับ 42

เฮิรตซ์ และความถี่ของมอเตอร์ดูดอากาศ ณ ห้องพ่นสีเคลือบเงา (clear exhaust fan) เท่ากับ 44 และระดับของปัจจัยที่ทำให้ปริมาณฝุ่นที่อยู่ในห้องพ่นสีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรต่ำที่สุดคือความถี่ของมอเตอร์จ่ายอากาศ (air supply) เท่ากับ 47 เฮิรตซ์ ความถี่ของมอเตอร์ดูดอากาศ ณ ห้องพ่นสีพื้น (base exhaust fan) เท่ากับ 42 เฮิรตซ์ และความถี่ของมอเตอร์ดูดอากาศ ณ ห้องพ่นสีเคลือบเงา (clear exhaust fan) เท่ากับ 44 โดยที่ผลจากการปรับปรุงทำให้ของเสียที่เกิดจากกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกเท่ากับ 46,892 DPPM ซึ่งสามารถลดของเสียได้ 69% ของของเสียก่อนการปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

การนิยามปัญหา

ระยะการนิยามปัญหาถือเป็นระยะเริ่มต้นสำหรับการทำงานการปรับปรุงการทำงานและแก้ไขปัญหา เป็นขั้นตอนสำคัญที่มีส่วนกำหนดทิศทางของการทำงานเพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายหลักขององค์กร โดยในบทนี้จะศึกษากระบวนการทำงานของขั้นตอนการติดฉลากของผลิตภัณฑ์ชนิดขวดแก้วภายในอาคารแผนกบรรจุของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งเริ่มต้นจากการจัดตั้งทีมงานสำหรับการปรับปรุงปัญหา ต่อมาเป็นการศึกษารายละเอียดของกระบวนการติดฉลากรวมทั้งปัญหาที่พบ และนำไปสู่การกำหนดแนวทางการปรับปรุงและแก้ไข

3.1 การจัดตั้งทีมคณะทำงาน

ในการปรับปรุงการทำงานและแก้ไขปัญหาของงานวิจัยนี้ ได้จัดตั้งทีมงานเฉพาะขึ้น โดยประกอบไปด้วยผู้ที่มีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบในส่วนการทำงาน ผู้ที่มีประสบการณ์ความรู้ความเข้าใจและผู้ปฏิบัติงานในขั้นตอนการติดฉลากเพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างราบรื่นและครอบคลุมรายละเอียด โดยทีมคณะทำงานประกอบไปด้วย

- ผู้จัดการฝ่ายบรรจุ
- วิศวกรฝ่ายวางแผนการผลิต
- วิศวกรฝ่ายควบคุมการทำงาน
- วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุงเครื่องจักร
- ช่างผู้ชำนาญการ
- พนักงานปฏิบัติการ
- ผู้วิจัย

โดยสมาชิกในทีมทุกคนมีส่วนร่วมในการตัดสินใจ แสดงความเห็นถึงประเด็นปัญหาและข้อมูลสภาพปัญหาของเครื่องจักรในปัจจุบัน การปรับเครื่องจักร ลักษณะการเกิดของเสีย รวมทั้งการประสานข้อมูลสำหรับนำไปประกอบการทำงานปรับปรุงและแก้ไข

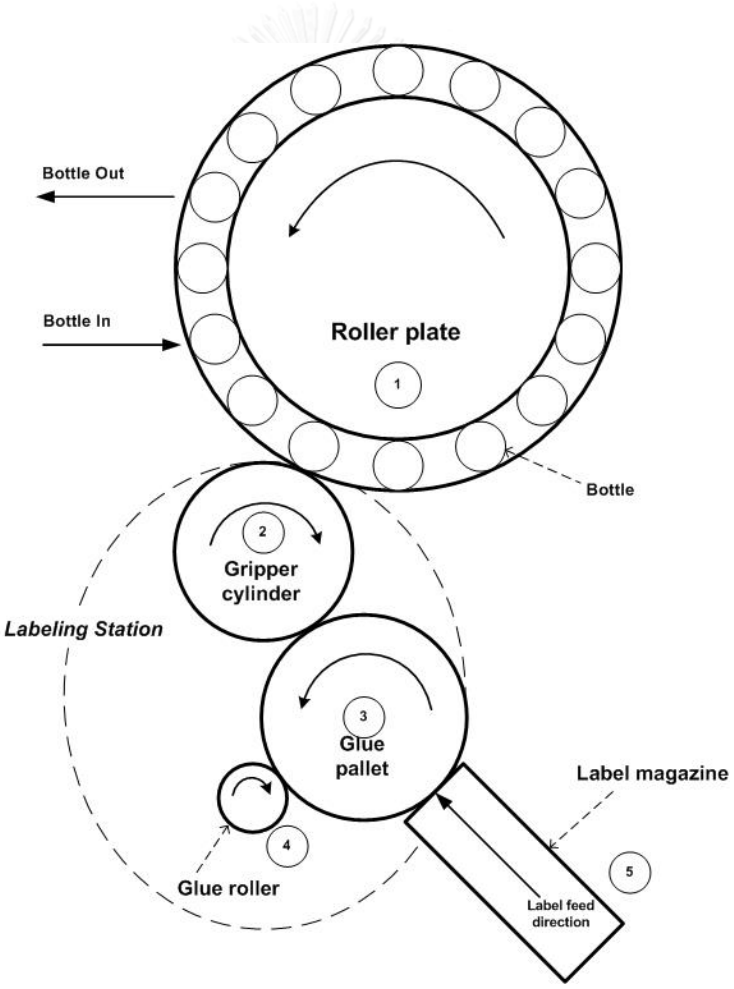
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 ศึกษากระบวนการติดฉลาก (labeling process)

เพื่อให้เข้าใจถึงปัญหาที่มาจากเครื่องติดฉลากได้อย่างชัดเจน และเพื่อให้การวิเคราะห์ปัญหาเป็นไปอย่างถูกต้อง ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการทำงานของเครื่องติดฉลากเพื่อเป็นความรู้พื้นฐานในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาในขั้นตอนต่อไป

การทำงานของเครื่องติดฉลาก

เครื่องติดฉลากที่ผู้วิจัยได้ศึกษามีกลไกการทำงานส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการหมุน แต่ละส่วนประกอบในการทำงานจะหมุนเพื่อดำเนินขั้นตอนการติดฉลาก เครื่องติดฉลากประเภทนี้เรียกว่า rotary type labeling machine สามารถอธิบายการทำงานและส่วนประกอบสำคัญได้ดังแสดงในรูปที่ 13

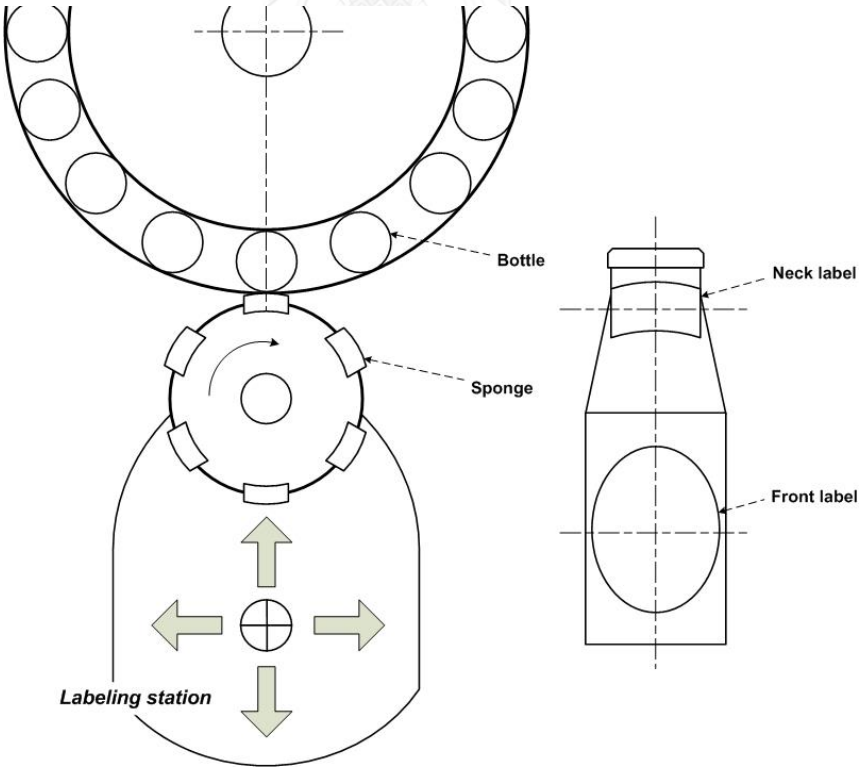


รูปที่ 13 มุมมองด้านบนของเครื่องติดฉลาก

เครื่องติดฉลากประกอบด้วยส่วนสำคัญในการทำงาน 5 ส่วนดังนี้

1. roller plate เป็นส่วนที่ลำเลียงขวดเข้ามาจากทางสายพานขาเข้าและหมุนนำขวดที่ผ่านการติดฉลากแล้วออกไปทางสายพานขาออก
2. gripper cylinder มีหน้าที่นำฉลากที่ผ่านการทากาวจาก glue pallet ไปติดลงบนขวดโดยอาศัยฟองน้ำติดฉลากเป็นสื่อในการสัมผัสติดฉลากลงบนขวด
3. glue pallet เป็นแป้นฉลากมีหน้าที่ในการทากาวลงบนแป้นจาก glue roller และรับฉลากจาก label magazine เพื่อทากาวลงบนฉลากส่งผ่านไปยัง gripper cylinder
4. glue roller เป็นแท่นทรงกระบอกมีหน้าที่รับกาวเหลวที่มาจาก glue pump ทาบน roller โดยส่วนนี้มีการควบคุมความหนาของกาวด้วยใบมีดปาดกาวที่ตั้งขนานกับ roller ก่อนหมุนไปสัมผัสกับแป้นกาว glue pallet ต่อไป
5. label Magazine เป็นแท่นบรรจุฉลากเพื่อใส่เข้าไปในกระบวนการติดฉลาก

ส่วนที่ 2, 3, 4 และ 5 จะเรียกรวมเข้าด้วยกันว่าสถานีติดฉลาก “labeling station” เป็นส่วนสำคัญที่สามารถปรับตำแหน่งให้ขยับ ซ้าย-ขวา หรือ เข้า-ออก ได้ดังรูปที่ 5 ซึ่งจะมีผลต่อตำแหน่งฉลากที่ติดบนขวดอีกทั้งยังเป็นส่วนที่ใช้ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรเพื่อกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ออกมาดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 การปรับตั้งค่าของสถานีติดฉลาก

3.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

3.3.1 ลักษณะของการเกิดปัญหา

ในการทำการบำรุงรักษาเครื่องจักร(preventive maintenance; PM) ประกอบด้วยขั้นตอนในการทำความสะอาด เปลี่ยนอะไหล่ และปรับตั้งพารามิเตอร์เครื่องจักรให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมในการทำงาน แต่เมื่อเริ่มการดำเนินกระบวนการติดฉลากมักจะเกิดของเสียอยู่เป็นระยะถึงแม้ว่าเครื่องจักรได้ผ่านการบำรุงรักษาแล้ว สาเหตุหนึ่งมาจากฟองน้ำติดฉลากที่ใช้ในปัจจุบันเป็นฟองน้ำที่สั่งผลิตขึ้นใช้เอง ไม่ได้สั่งซื้อมาจากผู้จัดจำหน่ายเดียวกับเครื่องจักรทำให้มีอายุการใช้งานสั้น เมื่อปัญหาของเสียเกิดขึ้นระหว่างดำเนินกระบวนการติดฉลาก ผู้ที่มีหน้าที่แก้ไขปัญหาเพื่อให้การดำเนินการผลิตเป็นไปอย่างราบรื่นคือผู้ปฏิบัติงานควบคุมเครื่องติดฉลาก โดยหลังจากตรวจสอบเบื้องต้นเมื่อพบว่าสาเหตุไม่ได้มาจากชิ้นส่วนเครื่องจักรเสียหาย จึงปรับพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากเพื่อแก้ไขปัญหาโดยพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้นและปรับพารามิเตอร์ชดเชยเพื่อลดปัญหานั้นๆ ซึ่งแนวทางการแก้ปัญหาด้วยการปรับพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากนั้นมีหลากหลายอีกทั้งทางโรงงานกรณีศึกษายังไม่มีรูปแบบมาตรฐานในการปรับพารามิเตอร์เพื่อแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า ซึ่งผู้ปฏิบัติงานควบคุมเครื่องติดฉลากยังมีความเข้าใจที่แตกต่างกันในการปรับพารามิเตอร์ ทำให้ทิศทางของการแก้ปัญหาของแต่ละผู้ปฏิบัติงานควบคุมจึงแตกต่างกันและอาจแก้ปัญหาไม่ตรงจุด เมื่อผู้ปฏิบัติงานควบคุมสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเฉพาะหน้าได้การผลิตก็จะดำเนินต่อไป แต่หากไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ผู้ปฏิบัติงานควบคุมเครื่องติดฉลากจำเป็นต้องเรียกให้ช่างผู้ชำนาญการประจำสายการผลิตมาดำเนินการแก้ไข นอกจากนี้การปรับพารามิเตอร์ของช่างผู้ชำนาญการในขั้นตอนการทำการบำรุงรักษาใช้วิธีการปรับด้วยวิธีการลองผิดลองถูก (trial & error) ซึ่งศึกษาผลกระทบที่เกิดกับขวดทีละปัจจัย รวมทั้งอายุการใช้งานอย่างยาวนานของเครื่องจักร ผ่านการเปลี่ยนอะไหล่มามากมาย (ทั้งอะไหล่แท้และอะไหล่ที่ทำขึ้นเอง) ทำให้โครงสร้างและการตั้งค่าศูนย์ของเครื่องจักรมีความคลาดเคลื่อนไปจากเดิม ซึ่งทำให้รูปแบบการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากที่ใช้งานอยู่ยังไม่เหมาะสมกับการทำงาน

3.3.2 การตรวจวัดปัญหา

เมื่อพิจารณาเฉพาะเครื่องติดฉลากในขั้นตอนการติดฉลาก เมื่อผ่านขั้นตอนดังที่ได้กล่าวไว้พบว่ามีของเสียเกิดขึ้นจะทำให้ต้องนำขวดไปล้างฉลากออกแล้วนำเข้าสู่กระบวนการติดฉลากอีกครั้ง (re-work) การตรวจพบของเสียของขั้นตอนการติดฉลากทำโดยสองขั้นตอน คือ

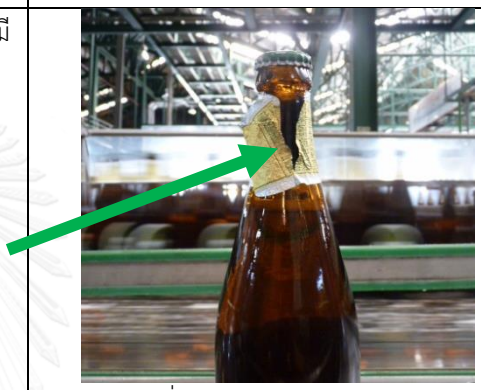
- ขั้นตอนที่ 1 ตรวจด้วยเครื่อง check mat จะตรวจสอบขวดที่ผ่านออกมาจากเครื่องติดฉลากทำงานโดยการใช้แสงถ่ายภาพตรวจสอบขวดที่ออกมาว่าได้ติดฉลากไว้เรียบร้อยหรือไม่ (ตรวจได้แค่ฉลากติดหรือไม่ติด)
- ขั้นตอนที่ 2 ตรวจโดยพนักงานตรวจสอบ ทำงานตรวจสอบของเสียด้วยสายตา อยู่ในตำแหน่งถัดมาจากเครื่องตรวจ check mat โดยจะตรวจสอบขวดที่ผิดปกติที่อยู่ในสายพานลำเลียงช่วงระหว่างออกจากเครื่องติดฉลากไปสู่เครื่องบรรจุลงกล่อง หากพบของเสียปะปนมาเล็กน้อย หรืออยู่ในระดับปกติที่สามารถแก้ไขได้ ผู้ตรวจสอบจะดึงขวดที่พบปัญหาออกมาแก้ไขด้วยมือแล้วใส่กลับคืนเข้าไปในสายพาน แต่หากผู้ตรวจสอบพบว่าของเสียเกิดขึ้นมากเกินระดับปกติผู้ตรวจสอบจะรายงานให้ผู้ปฏิบัติงานควบคุมเครื่องติดฉลากทราบเพื่อแก้ไขต่อไป ในงานวิจัยนี้สนใจข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่ถูกตรวจพบจากขั้นตอนนี้

คำอธิบายของประเภทปัญหา

จากการศึกษา breakdown time ของเครื่องติดฉลากพบว่าสาเหตุมาจากลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากขั้นตอนการติดฉลากขวดมีทั้งหมด 8 ประเภทดังที่แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อธิบายประเภทของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์จากเครื่องติดฉลาก

ข้อบกพร่อง	คำอธิบาย	ลักษณะตัวอย่าง
ฉลากคอเหลื่อม	ฉลากบนคอของขวดเมื่อทบปลายฉลากทั้งสองข้างมาทับกันไม่ตรงด้วยระยะห่างมากกว่า 2.0 mm วัดจากเส้นคาดสีเขียวบนฉลาก	รูปที่ 15 ปัญหาฉลากคอเหลื่อม
ฉลากคอพับ	ปลายด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านของฉลากเมื่อติดบนขวดแล้วไม่แนบสนิทไปกับขวด แต่พับทบมาให้เห็นด้านสีเงินที่ไม่ได้พิมพ์ลายไว้	รูปที่ 16 ปัญหาฉลากคอพับ

ข้อบกพร่อง	คำอธิบาย	ลักษณะตัวอย่าง
ฉลากคอไม่ติด	ขวดที่เมื่อผ่านขั้นตอนการติดฉลากออกมาแล้วไม่พบว่ามีฉลากคอติดอยู่	 รูปที่ 17 ปัญหาฉลากคอไม่ติด
ฉลากคอขาด	ฉลากคออยู่ในสภาพไม่สมบูรณ์เนื่องจากมีรอยฉีกขาดในบริเวณใดๆของฉลาก	 รูปที่ 18 ปัญหาฉลากคอขาด
ฉลากหน้าไม่ติด	ขวดที่เมื่อผ่านขั้นตอนการติดฉลากออกมาแล้วไม่พบว่ามีฉลากหน้าติดอยู่	 รูปที่ 19 ปัญหาฉลากหน้าไม่ติด
ฉลากหน้าขาด	ฉลากหน้าอยู่ในสภาพไม่สมบูรณ์เนื่องจากมีรอยฉีกขาดในบริเวณใดๆของฉลาก	 รูปที่ 20 ปัญหาฉลากหน้าขาด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อบกพร่อง	คำอธิบาย	ลักษณะตัวอย่าง
ฉลากหน้าเอียง	ฉลากหน้าที่ติดไปบนขวดไม่ขนานไปกับแกนตั้งของขวด	รูปที่ 21 ปัญหาฉลากหน้าเอียง
ฉลากคอและฉลากหน้าไม่ตรงกัน	ฉลากคอและฉลากหน้าไม่ได้ถูกติดในตำแหน่งตรงกันตามมาตรฐาน โดยมีระยะเคลื่อนไปมากกว่า 4.0 mm โดยวัดอ้างอิงจากกึ่งกลางฉลากหน้าถึงกึ่งกลางฉลากคอ	รูปที่ 22 ปัญหาฉลากคอและฉลากหน้าไม่ตรงกัน

4 mm

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4 สรุประยะนิยามปัญหา

จากข้อมูลลักษณะของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์จากเครื่องติดฉลากและสัดส่วนของเวลา breakdown time ของเครื่องติดฉลากจำแนกตามประเภทลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้เลือกพิจารณาสามลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์มาเป็นปัญหาสำคัญที่งานวิจัยนี้ต้องการแก้ไข เนื่องจากเป็นลักษณะที่พบว่าเป็นสาเหตุของการเกิด breakdown time มากถึง 70% ของเวลา breakdown time ทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สรุปข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ

ลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์	ข้อมูลจำเพาะของเกณฑ์การตัดสิน
ฉลากคอพับ หรือ ฉลากพับ	ต้องไม่เกิดขึ้น หากเกิดขึ้นจะถือว่าเป็นของเสีย
ฉลากคอเหลื่อม หรือ ฉลากเหลื่อม	ระยะห่างต้องอยู่ภายในช่วง -2 ถึง +2 มิลลิเมตร
โลโก้ฉลากไม่ตรงกัน หรือ ฉลากคอและฉลากหน้าไม่ตรงกัน	ระยะห่างต้องอยู่ภายในช่วง -4 ถึง +4 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

การวัดเพื่อหาสาเหตุปัญหา

จากปัญหาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทขวดแก้วจากเครื่องติดฉลากที่พบ ทางโรงงานกรณีศึกษามีเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อใช้นิยามปัญหาของเสียที่พบ และช่วยให้ความเข้าใจแก่ผู้ปฏิบัติการและผู้ตรวจสอบว่าผลิตภัณฑ์ใดเป็นผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์หรือผลิตภัณฑ์ใดควรเป็นของเสียในขั้นตอนการติดฉลาก อย่างไรก็ตามการวัดค่าของข้อบกพร่องปัญหาแต่ละชนิดโดยแบ่งเป็นระดับเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อใช้ในการประเมินความรุนแรงของข้อบกพร่องและเพื่อนำค่าตัวเลขระดับของความบกพร่องของผลิตภัณฑ์มาคำนวณโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติเพื่อแก้ไขปัญหา เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างตรงประเด็น งานวิจัยนี้มีวิธีการศึกษาเพื่อตรวจสอบหาสาเหตุที่เป็นสาเหตุต้นตอของปัญหาดังนี้

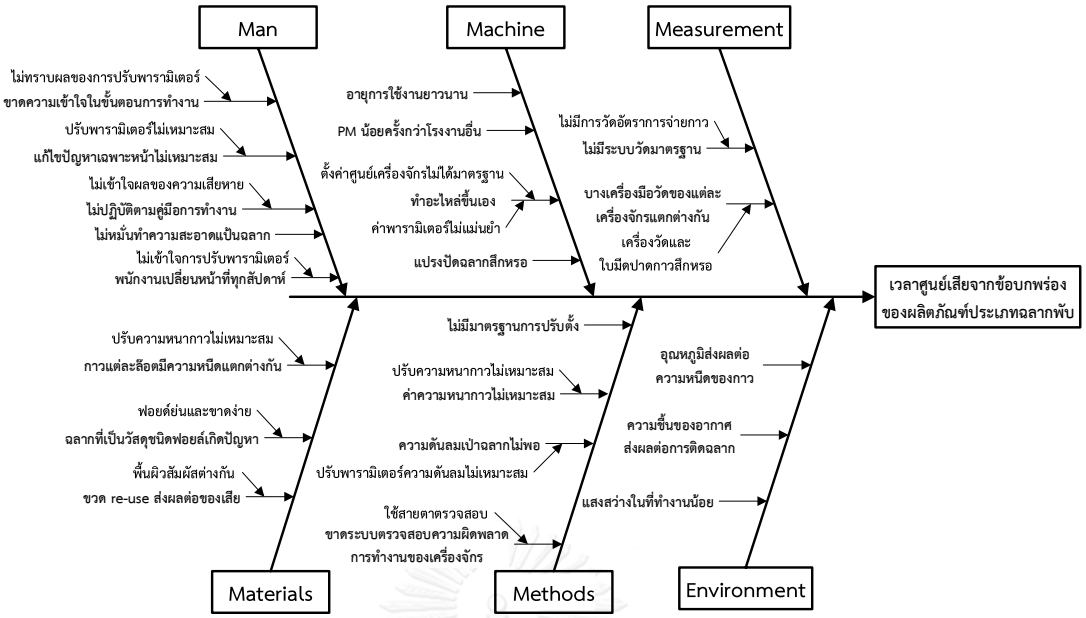
4.1 การศึกษาและระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์

การหาสาเหตุของปัญหาของเสียหรือข้อบกพร่องที่เกิดบนผลิตภัณฑ์จากเครื่องติดฉลากในขั้นตอนการติดฉลากเริ่มต้นจากการศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา จากนั้นทำการระดมสมองเพื่อรวบรวมสาเหตุที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาโดยมีขั้นตอนดังนี้

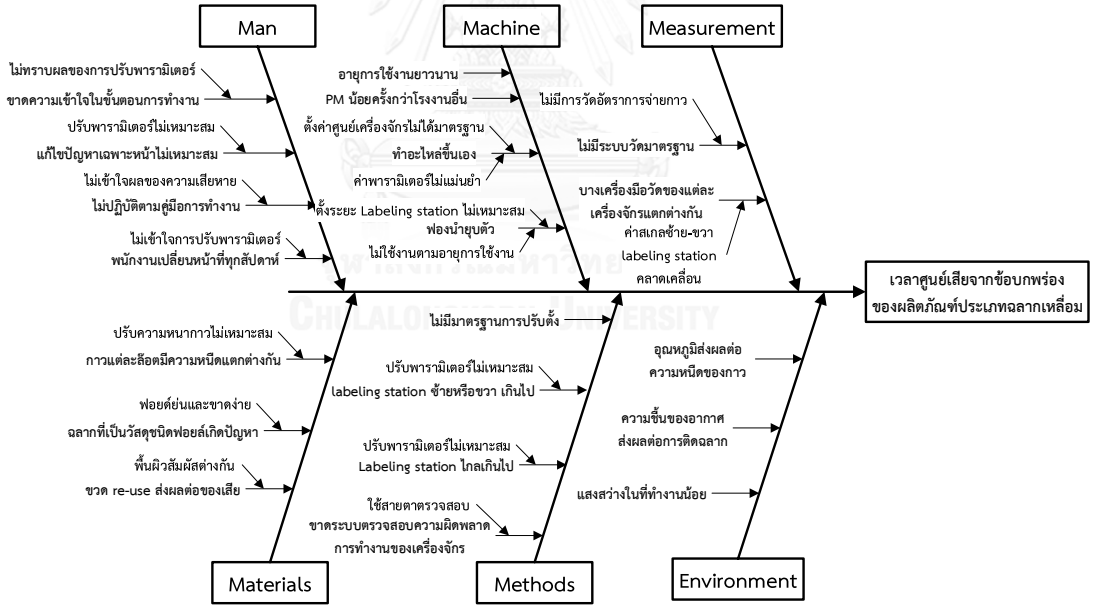
4.1.1 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล

จากสาเหตุของปัญหาที่พบว่ามาจากการปรับค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรยังไม่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานเครื่องจักรที่ผ่านการใช้งานมายาวนาน ซึ่งทางโรงงานกรณีศึกษามีวิธีแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

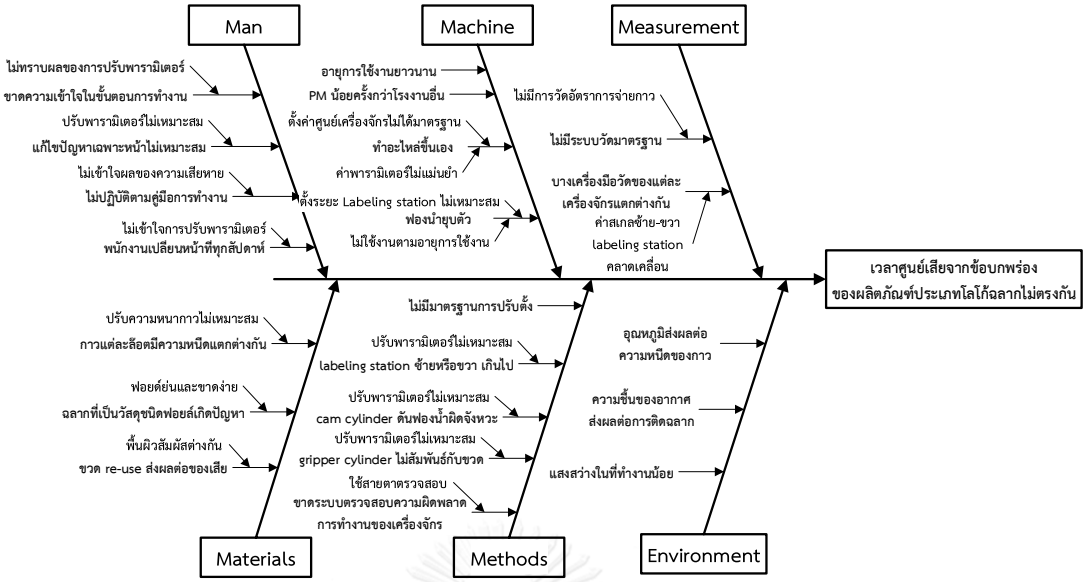
การระบุสาเหตุของปัญหาเริ่มจากการศึกษาขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร และสอบถามผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อรวบรวมปัจจัยที่เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาเครื่องติดฉลากแยกตามประเภทของสาเหตุ 6 ประเภทคือ คน (man) เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (machine or equipment) การวัดค่า (measurement) วัตถุดิบ (materials) วิธีปฏิบัติงาน (methods) และสิ่งแวดล้อม (Environment) สาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากพับ ฉลากเหลื่อม และโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน แสดงตามแผนภาพแสดงเหตุและผลในรูปที่ 23, 24และ 25 ตามลำดับ



รูปที่ 23 ผังแสดงเหตุและผลของปัญหาเวลาสูญเสียจากฉลากพับ



รูปที่ 24 ผังแสดงเหตุและผลของปัญหาเวลาสูญเสียจากฉลากเหลื่อม



รูปที่ 25 ผังแสดงเหตุและผลของปัญหาเวลาสูญเสียจากโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน

แผนผังแสดงเหตุและผลเป็นประโยชน์ในการรวบรวมสาเหตุที่ส่งผลต่อปัญหาของเสียจากเครื่องติดฉลากให้ครบในทุกประเภทของสาเหตุ และวิเคราะห์ไปจนถึงสาเหตุย่อย เพื่อเป็นขั้นตอนเริ่มต้นในการตรวจสอบหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น โดยงานวิจัยพิจารณาเฉพาะสาเหตุประเภทที่สามารถควบคุมและทำการปรับปรุงได้ ได้แก่ ประเภทสาเหตุจากคน เครื่องจักร และวิธีการทำงาน ส่วนประเภทสาเหตุการวัด วัสดุ และสิ่งแวดล้อม เป็นประเภทสาเหตุที่ควบคุมได้ยากและอยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัย จากทั้งสามแผนผังที่แสดงสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียจากลักษณะข้อบกพร่องต่างๆ สามารถสรุปสาเหตุและสาเหตุย่อยได้ดังตารางที่ 7, 8, และ 9 ดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียจากฉลากพับ

ปัญหา	สาเหตุปัญหา	สาเหตุย่อย
เวลาสูญเสียจากข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากพับ	Man ● ขาดความเข้าใจในขั้นตอนการทำงาน ● แก้ปัญหาเฉพาะหน้าไม่เหมาะสม ● ไม่ปฏิบัติตามคู่มือการทำงาน ● พนักงานเปลี่ยนหน้าที่ทุกสัปดาห์ ● ไม่หมั่นทำความสะอาดแป้นฉลาก	● ไม่ทราบผลของการปรับพารามิเตอร์ ● ปรับพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม ● ไม่เข้าใจผลของความเสียหาย
	Machine ● อายุการใช้งานยาวนาน ● ทำ PM น้อยครั้ง ● ทำอะไหล่ขึ้นใช้เอง ● แปรงปัดฉลากสึกหรอ	● ค่าตั้งศูนย์เครื่องไม่ได้มาตรฐาน ● ค่าพารามิเตอร์ไม่แม่นยำ
	Methods ● ไม่มีมาตรฐานการปรับตั้ง ● ความหนากาวไม่เหมาะสม ● ความดันลมเป่าฉลากไม่พอ ● ขาดระบบตรวจสอบความผิดพลาดการทำงานของเครื่องจักร	● ปรับพารามิเตอร์ความหนากาวไม่เหมาะสม ● ปรับพารามิเตอร์ความดันลมไม่เหมาะสม ● ใช้สายตาตรวจสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียจากฉลากเหลื่อม

ปัญหา	สาเหตุปัญหา	สาเหตุย่อย
เวลาสูญเสียจากข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากเหลื่อม	Man ● ขาดความเข้าใจในขั้นตอนการทำงาน ● แก้ปัญหาเฉพาะหน้าไม่เหมาะสม ● ไม่ปฏิบัติตามคู่มือการทำงาน ● พนักงานเปลี่ยนหน้าที่ทุกสัปดาห์ ● ไม่หมั่นทำความสะอาดแป้นฉลาก	● ไม่ทราบผลของการปรับพารามิเตอร์ ● ปรับพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม ● ไม่เข้าใจผลของความเสียหาย
	Machine ● อายุการใช้งานยาวนาน ● ทำ PM น้อยครั้ง ● ทำอะไหล่ขึ้นใช้เอง ● ฟองน้ำยุบตัว	● ค่าตั้งศูนย์เครื่องไม่ได้มาตรฐาน ● ค่าพารามิเตอร์ไม่แม่นยำ ● ตั้งระยะ labeling station ไม่เหมาะสม ● ไม่ใช้งานตามอายุการใช้งาน
	Methods ● ไม่มีมาตรฐานการปรับตั้ง ● labeling station ซ้ายหรือขวาเกินไป ● labeling station ไกลเกินไป ● ขาดระบบตรวจสอบความผิดพลาดการทำงานของเครื่องจักร	● ปรับพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม ● ปรับพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม ● ใช้สายตาตรวจสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียจากโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน

ปัญหา	สาเหตุปัญหา	สาเหตุย่อย
เวลาสูญเสียจากข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน	Man ● ขาดความเข้าใจในขั้นตอนการทำงาน ● แก้ปัญหาเฉพาะหน้าไม่เหมาะสม ● ไม่ปฏิบัติตามคู่มือการทำงาน ● พนักงานเปลี่ยนหน้าที่ทุกสัปดาห์ ● ไม่หมั่นทำความสะอาดแป้นฉลาก	● ไม่ทราบผลของการปรับพารามิเตอร์ ● ปรับพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม ● ไม่เข้าใจผลของความเสียหาย
	Machine ● อายุการใช้งานยาวนาน ● ทำ PM น้อยครั้ง ● ทำอะไหล่ขึ้นใช้เอง ● ฟองน้ำยุบตัว	● ค่าตั้งศูนย์เครื่องไม่ได้มาตรฐาน ● ค่าพารามิเตอร์ไม่แม่นยำ ● ตั้งระยะ labeling station ไม่เหมาะสม ● ไม่ใช้งานตามอายุการใช้งาน
	Methods ● ไม่มีมาตรฐานการปรับตั้ง ● labeling station ซ้ายหรือขวาเกินไป ● cam cylinder ดันฟองน้ำผิดจังหวะ ● gripper cylinder ไม่สัมพันธ์กับขวด ● ขาดระบบตรวจสอบความผิดพลาดการทำงานของเครื่องจักร	● ปรับพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม ● ปรับพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม ● ปรับพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม ● ใช้สายตาตรวจสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จะพบว่าแต่ละประเภทสาเหตุมีสาเหตุย่อยร่วมกันที่พบมากและเป็นสาเหตุหลักของปัญหาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ทั้งสามประเภทคือการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพิจารณาสาเหตุของปัญหาการปรับค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมซึ่งเป็นเหตุที่ทำให้เกิดของเสียและทำให้ต้องหยุดเครื่องจักรและกลายเป็นเวลาสูญเสียตามมา โดยพบว่าสาเหตุที่ทำให้การปรับค่าระดับของพารามิเตอร์ไม่มีความเหมาะสมเนื่องมาจากอายุการใช้งานของเครื่องจักรที่ยาวนาน อีกทั้งมีการเปลี่ยนอะไหล่ที่ไม่ได้เป็นอะไหล่ที่สั่งซื้อจากแหล่งผู้ผลิตเครื่องจักร แต่เป็นอะไหล่ที่ทำขึ้นจากอะไหล่ต้นแบบซึ่งมีต้นทุนถูกกว่า แต่ค่าความถูกต้องของขนาดและระยะอาจคลาดเคลื่อนไปจากอะไหล่ของจริงทำให้การปรับพารามิเตอร์ได้ค่าที่คลาดเคลื่อนและไม่เหมาะสมกับการใช้งานในการดำเนินการติดฉลาก งานวิจัยนี้จึงต้องการหาค่าระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดรูปแบบใหม่ ที่สามารถชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนจากอะไหล่ดังกล่าวได้

จากแนวทางการแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์จากเครื่องติดฉลากพบว่าหนึ่งในแนวทางการแก้ไขที่ครอบคลุมการแก้ไขปัญหาในหลายประเภทของสาเหตุคือการหามาตรฐานใหม่ของการปรับตั้งพารามิเตอร์เครื่องติดฉลาก เป็นส่วนสำคัญที่ทางโรงงานกรณีศึกษาต้องการในการแก้ปัญหาการปรับตั้งเครื่องติดฉลากเนื่องจากมาตรฐานเดิมที่ใช้ทำงานอยู่ไม่มีความเหมาะสมในการใช้งานเครื่องติดฉลากที่มีค่าตั้งศูนย์คลาดเคลื่อนไปเนื่องจากอายุการใช้งานที่ยาวนาน ทั้งการแก้ไขปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาในปัจจุบันก็เป็นการปรับพารามิเตอร์เพื่อแก้ไขปัญหาข้อบกพร่อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเกี่ยวข้องกับการหารูปแบบการปรับพารามิเตอร์เครื่องจักรเพื่อแก้ปัญหาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยได้ศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาปกติของโรงงานกรณีศึกษาด้วยการปรับตั้งแก้ไขพารามิเตอร์เครื่องติดฉลาก

รูปแบบการแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดเหตุการณ์ขัดข้องของเครื่องติดฉลากจากสาเหตุของเสียด้วยการปรับพารามิเตอร์

การแก้ไขปัญหาเมื่อพนักงานตรวจสอบความเรียบร้อยของขวดที่ออกมาหลังจากผ่านขั้นตอนการติดฉลากจากเครื่องติดฉลาก หากพนักงานตรวจสอบพบว่ามีของเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก พนักงานตรวจสอบขวดจะส่งสัญญาณให้พนักงานควบคุมประจำเครื่องเข้ามาแก้ไขโดยพนักงานคุมประจำเครื่องจะแก้ไขเบื้องต้นและพยายามให้เสร็จภายในเวลา 10 นาทีเพื่อไม่ให้เกิดเป็น Breakdown time แต่หากพนักงานตรวจสอบขวดพบว่าของเสียที่เกิดมีปริมาณมากจนให้ผ่านไปสู่ขั้นตอนถัดไปไม่ได้ พนักงานตรวจสอบขวดจะกดปุ่มหยุดการทำงานเครื่องติดฉลากพร้อมกดปุ่มส่งสัญญาณเรียกช่างประจำสายการผลิตมาทำการซ่อมแซมปรับปรุงเครื่อง โดยแต่ละสายการผลิตจะมีช่างประจำสายการผลิตประจำอยู่สายละ 1 คน ต่อ 1 กะการทำงานมีหน้าที่คอยดูแลซ่อมแซมเครื่องจักรภายในสายการผลิตที่ตนรับผิดชอบ ซึ่งช่างและพนักงานคุมประจำเครื่องแต่ละคนก็มีความ

แตกต่างกันทั้งประสบการณ์ และรูปแบบการแก้ไขปัญหา ผู้วิจัยได้รวมรวบรูปแบบการแก้ไขปัญหาที่พบเจอบ่อยครั้ง ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 รูปแบบการแก้ไขปัญหาปัจจุบัน

รูปแบบปัญหาของเสียที่พบ	รูปแบบการแก้ไขปัญหา
ฉลากคอเหลื่อม	- แก้ไขโดยการปรับระยะเข้า-ออก และซ้าย-ขวา ในส่วน stlabelling station ให้ตำแหน่งกึ่งกลางฉลากตรงกับตำแหน่งกึ่งกลางขวด - ตรวจสอบการตั้งของขวดในส่วนของฐานหมุนว่าได้ระดับที่ถูกต้อง ขวดต้องไม่เอียง
ฉลากคอพับ	- ตรวจสอบว่าแท่นป้อนฉลาก (glue pallet) มีฉลากติดค้างอยู่หรือไม่ ถ้ามีก็ทำความสะอาดเช็ดแท่นป้อนฉลากให้สะอาด - ปรับระยะซ้าย-ขวาของ labelling station - ปรับแรงดันของลมเป่าฉลาก
ฉลากคอและฉลากหน้าไม่ตรงกัน	- ปรับลดความหนากาวหรือลดอัตราปั๊มกาว - ปรับตำแหน่งฟองน้ำ - ปรับระยะซ้าย-ขวาของ Labelling station

จากรูปแบบการแก้ไขปัญหาของช่างผู้ประจำสายการผลิตพบว่าการแก้ไขปัญหาหลักๆจะเป็นการเข้ามาปรับตั้งเครื่องจักรด้วยตัวแปรพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่เฉพาะหน้า ณ ขณะนั้น ซึ่งพนักงานและช่างแต่ละคนก็มีความเข้าใจที่แตกต่างกันไปต่อตัวแปรของเครื่องจักร ตัวอย่างเช่น กรณีพบปัญหาฉลากคอและฉลากหน้าไม่ตรงกัน ช่างคนแรกแก้ปัญหาโดยการปรับตำแหน่งฟองน้ำฉลากคอและฟองน้ำฉลากหน้าไปในทิศทางตรงข้ามกับปัญหาที่พบเพื่อไขปัญหา แต่ช่างอีกคนแก้ไขปัญหาด้วยการปรับระยะของ Labelling station ในทิศทางตรงกันข้ามกับลักษณะข้อบกพร่องที่พบ จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้พบว่ายังมีความสับสนในการปรับตั้งพารามิเตอร์เครื่องติดฉลาก เพื่อให้เข้าใจหลักการของการปรับพารามิเตอร์ของเครื่องติดฉลากจึงได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์และผลของการปรับในส่วนถัดไป

4.1.2 การศึกษาพารามิเตอร์เครื่องติดฉลาก

จากแนวทางการแก้ปัญหาด้วยการหามาตรฐานหรือรูปแบบใหม่ในการปรับตั้งพารามิเตอร์เครื่องจักร เพื่อให้เข้าใจและสามารถดำเนินการทดลองได้อย่างถูกต้อง ผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวม

พารามิเตอร์ของเครื่องติดฉลากทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ พารามิเตอร์เครื่องติดฉลากทั้งหมดที่เป็นส่วนที่ต้องผ่านการตรวจบำรุงรักษาตามตารางการบำรุงรักษาได้ถูกรวบรวม พร้อมทั้งอธิบายหน้าที่ของแต่ละพารามิเตอร์ การปรับ และผลที่เกิดต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 อธิบายพารามิเตอร์เครื่องติดฉลาก

พารามิเตอร์	หน้าที่	การปรับ	ผลต่อของเสีย
1. แปรงปัดฉลาก	ปัดให้ปลายทั้งสองข้างของฉลากแนบติดไปกับขวด	แปรงปัดฉลากตำแหน่งแรกต้องทำมุม 90°, ขณะปัดฉลากแปรงต้องยุบตัวลงประมาณ 3-4 มิลลิเมตร,แปรงต้องสะอาดไม่มีกาวติดอยู่	แปรงที่ปัดผิดมุมหรือขนแปรงแข็งเกินไปทำให้โลโก้ฉลากบน-ล่างไม่ตรงกันและฉลากเหลื่อม
2. Bottle plate	เป็นฐานรองสำหรับวางขวดในขั้นตอนการติดฉลาก ฐานที่ดีต้องได้ระนาบ ตั้งขวดได้ตรงและฐานไม่ยุบหรือสึกหรอ	ปรับระดับฐานให้ได้ระดับบนแนวระนาบ	การตั้งขวดเอียงทำให้ฉลากเหลื่อมและอาจทำให้ขวดไปชนกันชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องจักรและแตกได้
3. ฟองน้ำติดฉลาก	เป็นตัวดันให้ฉลากไปสัมผัสติดกับขวด	ต้องอยู่ภายในช่วงอายุการใช้งานที่กำหนด, สะอาด ไม่มีกาวติดอยู่	ฉลากพับ ฉลากเหลื่อม
4. Cam cylinder	ลูกเบี้ยวดันให้ฟองน้ำฉลากคอยื่นไปสัมผัสขวด	ปรับให้ตำแหน่งดันฟองน้ำออกไปไกลที่สุดที่ตำแหน่งแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของcamและขวดตรงกัน	การตั้งให้ตำแหน่งที่ดันฟองน้ำออกไปผิดระยะทำให้ฟองน้ำไม่ได้ไปสัมผัสกึ่งกลางขวด ทำให้ฉลากเหลื่อม และโลโก้ฉลากบน-ล่างไม่ตรง

พารามิเตอร์	หน้าที่	การปรับ	ผลต่อของเสีย
5. Finger cylinder	จับฉลากให้ยึดอยู่กับฟองน้ำขณะก่อนจะหมุนไปประกบลงบนขวด	ตั้ง cam ดันฟองน้ำให้ได้ระยะที่ finger จะปล่อยพอดีพร้อมกับดันฟองน้ำไปติดขวด	การปรับให้ finger จับและปล่อยฉลากผิดจังหวะทำให้ฉลากขาด
6. ตำแหน่งท่อลมเป่าฉลาก	ลำเลียงลมเพื่อเป่าให้ฉลากหลุดจากฟองน้ำไปติดขวด	ท่อจะเปิดเมื่อตำแหน่งที่ฟองน้ำยื่นออกไปที่ตำแหน่งไกลที่สุด ปรับด้วย cam	ตำแหน่งท่อลมที่ไม่ตรงจังหวะการติดฉลากไปที่ขวดทำให้ประสิทธิภาพของลมเป่าน้อยลงส่งผลให้เกิดฉลากเหลื่อม
7. Glue pallet	ทำให้ตำแหน่งที่ฉลากปล่อยออกจาก magazine ตรงและให้ finger จับฉลาก	ปรับให้เขี้ยวจับฉลากและร่องตรงกันโดยปรับความสูงของอุปกรณ์บน shaft	การปรับแท่นรับฉลากเอียงทำให้ฉลากขาด
8. Shaft glue pallet	เป็นแท่นสำหรับให้ glue pallet ยึดและหมุนทำงานภายใน labeling station	ปรับตั้งให้ตรง แน่นไม่สั่นคลอน	หากแกนเอียงหรือสั่นจะทำให้ฉลากเคลื่อนที่ผิดตำแหน่ง ทำให้ฉลากขาดและฉลากเหลื่อม
9. ตำแหน่งของ label magazine	บรรจุฉลากและปล่อยฉลากเข้าสู่เครื่องติดฉลาก	ปรับให้ตำแหน่งของ label magazine อยู่ที่ระยะที่ถูกต้องบนแท่นรองรับที่ระยะ 6.5 มิลลิเมตร	หาก label magazine ตั้งผิดระยะหรือเอียงจะทำให้ฉลากไม่อยู่บน glue pallet ในตำแหน่งที่ถูกต้องและทำห้ฉลากขาด
10. ปลอกรอง label magazine	ปรับระดับความสูงของแมกกาซีนฉลากระหว่างฉลากคอและฉลากหน้าให้ห่างกันในระยะที่กำหนด	แมกกาซีนฉลากคอสูงจากแมกกาซีนฉลากหน้า 143.5 มิลลิเมตร	ทำให้ระยะที่ฉลากติดบนขวดไม่ถูกตำแหน่งและอาจทำให้ฉลากขาด

พารามิเตอร์	หน้าที่	การปรับ	ผลต่อของเสีย
11. ความหนากาวบน glue roller	ความหนากาวบน glue roller เป็นตัวกำหนดความหนาของกาวที่จะนำฉลากไปติดบนขวด	กาวบน glue roller ต้องมีความหนาอยู่ภายในช่วง 110-150 ไมโครเมตร	ความหนากาวที่น้อยไปจะทำให้ฉลากไม่ติดขวดและพับ ความหนากาวที่มากไปจะทำให้ฉลากเลื่อนเมื่อแปรงปัดและเกิดฉลากเหลื่อมและโลโก้ฉลากบน-ล่างไม่ตรงกัน
12. ตำแหน่งซ้าย-ขวาของ labeling station	ปรับตำแหน่งของ labeling station ในการติดฉลากลงบนขวด	ปรับตำแหน่งโดยดูเข็มบนสเกลให้ชี้ไปที่ตำแหน่ง 7.5 มิลลิเมตร	ฉลากเหลื่อม โลโก้ฉลากบน-ล่างไม่ตรงกัน
13. ตำแหน่งเข้า-ออก ของ labeling station	ปรับตำแหน่งของ labeling station ในการติดฉลากลงบนขวด	ใช้สกรูรองฐาน labeling station เป็นตัวปรับระยะเข้า-ออก โดยปรับที่ระยะ 16.0 มิลลิเมตร	ฉลากเหลื่อม ฉลากพับ
14. ความดันลม	เป็นลมเป่าให้ฉลากไปติดบนขวด และเป่าให้ฉลากไม่เผยออกจากฟองน้ำ	ปรับความดันที่เครื่องเป่าความดันลม	ความดันที่เป่าฉลากจากฟองน้ำไปสู่ขวดหากน้อยเกินไปอาจทำให้ฉลากตกและเกิดฉลากเหลื่อมและโลโก้ฉลากบน-ล่างไม่ตรงกัน
15. อัตราการปั๊มกาวของเครื่องปั๊ม	จ่ายกาวขึ้นมาที่ glue roller	ปรับโดยหมุนลูกบิดเพื่อควบคุมการทำงานของปั๊มโดยวัดที่รอบการทำงานต่อนาที	ไม่ส่งผลโดยตรงต่อของเสีย

พารามิเตอร์	หน้าที่	การปรับ	ผลต่อของเสีย
16. Star wheel	เป็นตัวลำเลียงและคั่นแบ่งระยะขวดจากสายพานเข้าสู่เครื่องติดฉลากเพื่อให้ขวดตั้งอยู่บนฐานขวดในตำแหน่งที่ถูกต้อง	ปรับให้ตำแหน่งที่ star wheel หมุนและวางขวดในตำแหน่งกึ่งกลางของฐานขวด	หากขวดไม่ได้วางลงตำแหน่งกึ่งกลางฐานขวดเอียงทำให้การติดฉลากผิดพลาด

จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากจะเห็นได้ว่ามีหลายพารามิเตอร์ที่ทำหน้าที่แตกต่างกันและส่งผลกระทบต่อลักษณะข้อบกพร่องที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามยังมีบางพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์เดียวกัน เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เป็นสาเหตุจริงๆของข้อบกพร่องนั้นได้นำการวิเคราะห์สาเหตุลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบมาใช้ เพื่อให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องร่วมกันวิเคราะห์หาสาเหตุต้นตอของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่แท้จริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.3 การวิเคราะห์สาเหตุลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

จากการรวบรวมปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ นำทั้งหมดมาวิเคราะห์สาเหตุลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของแต่ละปัจจัยโดยพิจารณาจากตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง (RPN: Risk Priority Number) โดยคัดเลือกปัจจัยที่มีค่าแสดงตัวเลขลำดับความเสี่ยงสูง เพื่อนำไปสู่ขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมต่อไป ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดเกณฑ์สำหรับการให้คะแนนค่าความรุนแรงของข้อขัดข้อง (Severity of Failures: S) ความถี่ของการเกิด (Occurrence: O) และความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (Detection: D) โดยทั้งสามเกณฑ์จะพิจารณาถึงผลกระทบต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์จากเครื่องติดฉลากดังตารางที่ 12, 13, และ 14 ตามลำดับ

ตารางที่ 12 เกณฑ์ความรุนแรงของข้อขัดข้อง

ความรุนแรงของข้อขัดข้อง (Severity of Failures : S)	
คะแนน = 1	ส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ สามารถยอมรับสภาวะผิดปกตินั้นๆและทำงานต่อได้
คะแนน = 2	ส่งผลกระทบต่อการข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ ทำให้การทำงานล่าช้า
คะแนน = 3	ส่งผลกระทบอย่างมากต่อการทำงานและก่อให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ขึ้นเป็นจำนวนมาก
คะแนน = 4	ส่งผลกระทบโดยตรงต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ จำเป็นต้องหยุดการทำงานเพื่อแก้ไข กระทบต่อระบบการทำงานอื่นๆ

ตารางที่ 13 เกณฑ์ความถี่ในการเกิด

ความถี่ในการเกิด (Occurrence : O)	
คะแนน = 1	มีโอกาสในการเกิดน้อย ไม่ค่อยพบเจอปัญหา
คะแนน = 2	มีโอกาสในการเกิดปานกลาง พบเจอปัญหาในระดับปานกลาง
คะแนน = 3	มีโอกาสในการเกิดสูง พบเจอปัญหาในบ่อย ต้องแก้ไขอยู่บ่อยครั้ง
คะแนน = 4	โอกาสเกิดสูงมาก พบเจอได้บ่อยมาก

ตารางที่ 14 เกณฑ์การตรวจพบ

การตรวจพบ (Detection : D)	
คะแนน = 1	มีระบบคอยตรวจสอบความผิดปกติ แทบไม่ต้องคอยตรวจสอบ
คะแนน = 2	พบเจอได้ง่าย สามารถตรวจสอบด้วยสายตา
คะแนน = 3	พบเจอได้ในระดับปานกลาง ต้องอ่านค่าบนเครื่องวัดเพื่อตรวจสอบ
คะแนน = 4	ตรวจพบได้ยาก ไม่มีเครื่องมือวัดความผิดปกติ ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในการตรวจพบ

หลังจากที่ได้ทำการประเมินสภาพการขัดข้องที่เป็นไปได้ (potential failure modes) และผลกระทบ (effect on outcomes) ของแต่ละพารามิเตอร์แล้ว ทำการประเมินให้คะแนนในแต่ละสาเหตุของปัญหาของเสียจากเครื่องติดฉลากโดยให้ทุกคนในทีมคณะทำงานเป็นผู้ลงคะแนน จากนั้นคำนวณค่า RPN จากสมการ

$$RPN = S \times O \times D$$

สาเหตุของปัญหาที่มีค่า RPN สูงหมายความว่าสาเหตุนั้นเป็นสาเหตุที่มีความเสี่ยงสูงและควรพิจารณาเพื่อแก้ไขปัญหาเป็นอันดับแรกๆ ผลการให้คะแนนเป็นไปตามตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลคำนวณค่าตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญก่อนหลังของแต่ละพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	**การขัดข้องที่เป็นไปได้**	**ผลกระทบ**	**S**	**O**	**D**	**RPN**
1. แปรงปัดฉลาก	ขนแปรงหัก, ขนแปรงบานและงอ	การปาดฉลากไม่ทั่วถึง	1	2	2	4
2. Bottle plate	Bottle plate เอียง	ตั้งขวดเอียง ทำให้การติดฉลากเอียง	4	1	2	8
3. ฟองน้ำติดฉลาก	ฟองน้ำยุบตัว, แข็งตัว	แรงกดฉลากลงบนขวดผิดปกติทำให้ฉลากพับย่น	3	4	4	48
4. Cam cylinder	อยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม	ฟองน้ำติดฉลากยื่นไปสัมผัสขวดผิดจังหวะทำให้ฉลากไม่ตรง	3	2	4	24

พารามิเตอร์	การขัดข้องที่เป็นไปได้	ผลกระทบ	S	O	D	RPN
5. Finger cylinder	หนีบจับฉลากผิดระยะ	ฉลากขาด	3	2	4	24
6. ตำแหน่งท่อลมเป่าฉลาก	ตั้งตำแหน่งเป่าลมไม่ตรง	ลมเป่าออกมาไม่เต็มที่ ฉลากไม่ติด, เหลื่อม	2	3	4	24
7. Glue pallet	ตั้ง glue pallet เอียง	ฉลากเอียง, เหลื่อม, ขาด	3	1	3	9
8. Shaft of glue pallet	ตั้ง shaft ไม่ตรง, สั่นสะเทือนเมื่อทำงาน	การติดฉลากเอียงและระยะสัมผัสไม่สอดคล้องกับชิ้นส่วนอื่นๆ	4	2	3	24
9. ตำแหน่งของ label magazine	ตั้งแม๊กกาซีนเอียง	ฉลากเอียงและขาด	3	3	3	27
10. ปลอกรอง label magazine	ตั้งระยะสูงหรือต่ำเกินไป	ความสูงของฉลากที่ป้อนเข้าสู่เครื่องติดฉลากผิดระยะ ทำให้ฉลากขาด, เอียง	2	2	3	18
11. ความหนากาวบน glue roller	กาวมีความหนามากเกินไปหรือน้อยเกินไป	โลโก้ฉลากไม่ตรงกัน, ฉลากเหลื่อม	3	3	3	27
12. ตำแหน่งซ้าย-ขวาของ labeling station	ตำแหน่งไม่เหมาะสม	ฉลากเหลื่อม, โลโก้ไม่ตรงกัน	4	4	3	48
13. ตำแหน่งเข้า-ออก ของ labeling station	ตำแหน่งไม่เหมาะสม	ฉลากเหลื่อม, พับ, โลโก้ไม่ตรงกัน	4	4	4	64
14. ความดันลม	ปรับค่าไม่เหมาะสม	ฉลากพับ,ไม่ติด	2	4	3	24
15. อัตราการจ่ายกาวของเครื่องปั๊มกาว	ปรับค่าไม่เหมาะสม	ควบคุมความหนากาวไม่ได้ ทำให้ฉลากพับ, เหลื่อม	2	4	4	32

พารามิเตอร์	การขัดข้องที่เป็นไปได้	ผลกระทบ	S	O	D	RPN
16. Star wheel	ปรับตำแหน่งในการวางขวดบน bottle plate ไม่ตรง	ตำแหน่งการติดฉลากผิดระยะ ทำให้ไม่สามารถควบคุมตำแหน่งการติดฉลาก	4	1	3	12

จากการประเมินคะแนน RPN พบว่าพารามิเตอร์ที่เป็นกลุ่มสาเหตุหลักต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์มีทั้งหมด 11 พารามิเตอร์โดยพิจารณาจากค่าคะแนน RPN ตั้งแต่ตัวเลข 24 ขึ้นไป พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์เรียงตามค่าคะแนน RPN ได้แก่

1) ตำแหน่งเข้า-ออก ของ labeling station
2) ฟองน้ำติดฉลาก
3) ตำแหน่งซ้าย-ขวาของ labeling station
4) อัตราการจ่ายกาวของเครื่องปั๊มกาว
5) ตำแหน่งของ label magazine
6) ความหนากาวบน glue roller
7) cam cylinder
8) finger cylinder
9) ตำแหน่งท่อลมเป่าฉลาก
10) shaft of glue pallet
11) ความดันลม

4.2 การตรวจวัดความแม่นยำและถูกต้องของระบบวัด

เมื่อทราบสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียในกระบวนการติดฉลากว่ามาจากพารามิเตอร์เครื่องจักรที่ไม่เหมาะสมทำให้ผลิตของเสียซึ่งเป็นสาเหตุที่ต้องหยุดการทำงานเครื่องจักรเพื่อแก้ไข ดังนั้นการวัดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการวัดหลายส่วนประกอบทั้งพารามิเตอร์เครื่องจักรและผลตอบสนองหรือผลลัพธ์ที่สนใจ ซึ่งใช้เครื่องมือและรูปแบบการวัดแตกต่างกันไป โดยการวัดค่าพารามิเตอร์ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการวัดตามเครื่องมือและรูปแบบของโรงงานกรณีศึกษา ส่วนผลตอบสนองนั้นผู้วิจัยได้นิยามขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาและผู้วิจัยเป็นกำหนดรูปแบบวิธีการวัดรวมทั้งวัดค่าเองทั้งหมด ดังนั้นการตรวจวัดความแม่นยำและถูกต้องของการวัดจึงสามารถแบ่งได้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.1 การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องติดฉลากเป็นส่วนที่โรงงานกรณีศึกษามีรูปแบบวิธีการในการวัดค่าต่างๆโดยอาศัยเครื่องมือวัดในการวัดค่า ซึ่งแต่ละเครื่องมือวัดได้มีการควบคุมคุณภาพในการใช้งานอย่างต่อเนื่อง รูปแบบการวัดพารามิเตอร์และการตรวจวัดค่าต่างๆเป็นไปดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	เครื่องมือวัดหรือวิธีวัด	การตรวจและควบคุมการวัด
1) ตำแหน่งซ้าย-ขวาของ labeling station	สเกลหน้าปัดบนเครื่องจักร	ควบคุมการปรับศูนย์เครื่องจักรให้ตรงจะได้ค่าที่ถูกต้อง
2) ตำแหน่งเข้า-ออกของ labeling station	เวอร์เนียคาลิปเปอร์	เทียบคุณภาพของเครื่องมือวัดด้วยการวัดชิ้นงานอ้างอิง
3) ฟองน้ำติดฉลาก		
4) ตำแหน่งของ label magazine		
5) อัตราการจ่ายกาวของเครื่องปั๊มกาว	ใช้นาฬิกาจับเวลา 1 นาทีแล้วนับรอบการทำงานของปั๊ม	อาศัยการวัดจากผู้มีประสบการณ์
6) cam cylinder	ใช้สายตาในการกำหนดตำแหน่ง	ทำจุดสัญลักษณ์เป็นเกณฑ์ในการวัด
7) finger cylinder		
8) ตำแหน่งท่อลมเป่าฉลาก		
9) ความหนากาวบน glue roller	ไมโครมิเตอร์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักร	เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน (IC gauge) ในการปรับ
10) ความดันลม	มาตรวัดความดันลม	ตรวจสอบการทำงานของมาตรวัดและทำความสะอาดท่อลม
11) shaft of glue pallet	เครื่องวัดความสั่นของเพลา	ปรับศูนย์เครื่องจักรและอะไหล่

4.2.2 การตรวจวัดค่าผลตอบสนอง

ในงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการบันทึกข้อมูลลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียในกระบวนการติดฉลาก โดยการวัดจะเป็นการสังเกตด้วยสายตา (ฉลากพับ) และการวัดค่าระยะด้วยเครื่องมือวัด (ฉลากเหลื่อม, โลโก้ฉลากไม่ตรง) โดยผู้วิจัยเป็นผู้ทำการวัดทั้งหมด โดยทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัด

การออกแบบการวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัด

1. เลือกทีมงานผู้ชำนาญการ ซึ่งเป็นบุคคลที่มีความเข้าใจและมีความสามารถในการคัดกรองของเสียจากกระบวนการติดฉลาก ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ถูกคัดเลือกมาเป็นตัวอย่าง
2. ทำการเลือกตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาทั้งหมด 20 ขวด โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์จะต้องประกอบไปด้วย ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีจำนวน 6 ขวด ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบลักษณะข้อบกพร่องแต่ยังไม่เป็นของเสีย 7 ขวด และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบลักษณ์ข้อบกพร่องและเป็นของเสีย 7 ขวด
3. ตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดระยะจากนั้นจึงดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดความถูกต้องและความแม่นยำของผู้ทำวิจัยโดยให้วัดค่าจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 2 ครั้งแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์
4. บันทึกผลการวัดและวิเคราะห์การวัดด้วยค่าดัชนีต่างๆ

$$\%\text{รีพีททะบิลิตี้ของผู้วัด} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่การตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ}}$$

$$\%\text{ประสิทธิผลรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกันละถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ}}$$

เนื่องจากในการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดเวลาสูญเสียของกระบวนการผู้ทำวิจัยเป็นผู้วัดเพียงผู้เดียว ดังนั้นการพิจารณาดัชนีการวัดจึงเฉพาะค่าดัชนีที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องและแม่นยำของผู้วัดคนเดียวเท่านั้น เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดในการตรวจสอบข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ใช้เกณฑ์การยอมรับด้วยทุกค่าดัชนีต้องมีความถูกต้องแม่นยำ ดังแสดงในตารางที่ 17 และผลการตรวจวัดแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 17 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด

ดัชนี	เกณฑ์การยอมรับ
%รีพีททะบิลิตี้ของผู้วัด	100%
%ประสิทธิผลรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ	100%

ตารางที่ 18 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบวัด

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	คุณภาพของชิ้นงาน	ผู้วัด		ตรวจสอบได้เหมือนกันทุกครั้ง	ตรวจสอบได้เหมือนกันอย่างถูกต้อง
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	G	G	G	Y	Y
2	G*	G*	G*	Y	Y
3	G	G	G	Y	Y
4	NG	NG	NG	Y	Y
5	G	G	G	Y	Y
6	G	G	G	Y	Y
7	NG	NG	NG	Y	Y
8	NG	NG	NG	Y	Y
9	G*	G*	G*	Y	Y
10	G	G	G	Y	Y
11	G*	G*	G*	Y	Y
12	NG	NG	NG	Y	Y
13	G*	G*	G*	Y	Y
14	G*	G*	G*	Y	Y
15	G	G	G	Y	Y
16	G*	G*	G*	Y	Y
17	NG	NG	NG	Y	Y
18	NG	NG	NG	Y	Y
19	G*	G*	G*	Y	Y
20	NG	NG	NG	Y	Y

G หมายถึง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี

G* หมายถึง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะข้อบกพร่องแต่ยังไม่เป็นของเสีย

NG หมายถึง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะข้อบกพร่องและเป็นของเสีย

Y หมายถึง การตรวจสอบที่ซ้ำ หรือถูกต้อง

N หมายถึง การตรวจสอบที่ไม่ซ้ำ หรือไม่ถูกต้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากสมการข้างต้นสามารถคำนวณค่าดัชนี %รีพีททะบิลิตี้ของผู้วัด และ %ประสิทธิผลรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ ได้ดังนี้

%รีพีททะบิลิตี้ของผู้วัด = 100%

%ประสิทธิผลรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ = 100%

ค่าทั้งสองหมายความว่าผู้วัดมีความสามารถในการตรวจวัดลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวัดนี้จึงถือเป็นที่สามารถเชื่อถือได้และสามารถนำไปใช้ในกระบวนการวัดผลจากกระบวนที่ทำการศึกษาและแก้ไขปัญหา เพื่อใช้วิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

4.3 สรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

พารามิเตอร์ที่เป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์สามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่ม ได้แก่

1. กลุ่มพารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าระดับในการปรับตั้งใหม่ เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับเพื่อแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องผลิตภัณฑ์ และยังไม่มีรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดที่จะสามารถลดปัญหาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ พารามิเตอร์ในกลุ่มนี้ได้แก่ ตำแหน่งเข้า-ออกของ labeling station, ตำแหน่งซ้าย-ขวาของ labeling station, ความหนากาวบน glue roller, อัตราการจ่ายกาวของเครื่องปั๊มกาว, และความดันลม การแก้ไขของพารามิเตอร์กลุ่มนี้จะใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละพารามิเตอร์
2. กลุ่มพารามิเตอร์ที่ต้องควบให้อยู่ในค่าศูนย์กลางตามรูปแบบมาตรฐาน ไม่ควรปรับเพื่อแก้ไขปัญหา พารามิเตอร์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ฟองน้ำติดฉลาก, ตำแหน่ง label magazine, Cam cylinder, Finger cylinder, ตำแหน่งท่อลมเป่าฉลาก, และ Shaft of glue pallet สาเหตุที่พารามิเตอร์กลุ่มนี้ไม่อยู่ในค่าคงที่มาตรฐานมาจากความเข้าใจผิดในการปรับพารามิเตอร์เพื่อแก้ไขปัญหาของผู้ปฏิบัติงานควบคุมเครื่องติดฉลาก การเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนจากความสั่นสะเทือนระหว่างที่เครื่องจักรทำงาน และจากการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักร การแก้ไขของพารามิเตอร์กลุ่มนี้จะเป็นการควบคุมการบำรุงรักษาเครื่องจักร ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องควบคุมจะต้องเป็นไปตามเกณฑ์การควบคุมซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ทางโรงงานกรณีศึกษากำหนดดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 เกณฑ์การควบคุมพารามิเตอร์ที่ต้องควบคุมตามรูปแบบมาตรฐาน

พารามิเตอร์	เกณฑ์ควบคุม
ฟองน้ำติดฉลาก	ต้องใช้งานภายในช่วงอายุการใช้งาน
ตำแหน่ง label magazine	ปรับให้ตำแหน่งของ label magazine อยู่ที่ระยะที่ถูกต้องบนแท่นรองรับที่ระยะ 6.5 มิลลิเมตร
Cam cylinder	ปรับให้ตำแหน่งดันฟองน้ำออกไปไกลที่สุดที่ตำแหน่งแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของcamและขวดตรงกัน
Finger cylinder	ตั้ง cam ดันฟองน้ำให้ได้ระยะที่ finger จะปล่อยพอดีพร้อมกับดันฟองน้ำไปติดขวด
ตำแหน่งท่อลมเป่าฉลาก	ปรับ cam cylinder ให้ท่อเปิดเมื่อตำแหน่งที่ฟองน้ำยื่นออกไปที่ตำแหน่งไกลที่สุด
Shaft of glue pallet	ปรับตั้งให้ตรง แน่นไม่สั่นคลอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการศึกษาเพื่อหาสาเหตุของปัญหาพบว่าสาเหตุของปัญหาหลักมาจากการปรับพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากในการดำเนินการผลิตยังไม่เหมาะสม และยังไม่มีมาตรฐานการปรับตั้งเครื่องติดฉลากใหม่ที่สามารถชดเชยความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรเก่า หรืออะไหล่ที่ไม่ได้มาจากผู้ผลิตเครื่องจักรโดยตรง จากการศึกษาปัญหาที่เกี่ยวข้องการปรับพารามิเตอร์เครื่องจักรพบว่า การออกแบบการทดลอง (design of experiment : DOE) เป็นหนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาการปรับพารามิเตอร์เครื่องจักรเพื่อหารูปแบบการปรับที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถให้ผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจโดยไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำวิธีการของ ‘การออกแบบการทดลอง’ มาใช้เพื่อหาค่าระดับการปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

5.1 การออกแบบการทดลอง

จากรูปแบบปัญหาที่พบและสาเหตุของการเกิดของเสียประเภทข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ พบว่าการแก้ปัญหาโดยใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหารูปแบบการปรับพารามิเตอร์ของเครื่องติดฉลากเป็นวิธีที่เหมาะสม

5.1.1 การกำหนดตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

เพื่อดำเนินการทดลองตามรูปแบบของวิธีการออกแบบการทดลองจำเป็นต้องกำหนดตัวแปรหรือลักษณะที่ใช้วัดเพื่อทดลองหาความสัมพันธ์ของสาเหตุ (ตัวแปรนำเข้า) และผลลัพธ์ (ตัวแปรตอบสนอง)

กำหนดตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองคือค่าผลที่ต้องการวัดหลังจากทำการทดลองตามการออกแบบการทดลอง เป็นผลลัพธ์ที่เป็นผลมาจากตัวแปรนำเข้า ในงานวิจัยนี้ตัวแปรตอบที่เลือกเข้าสู่การออกแบบการทดลองมี 3 ตัวแปรตอบสนอง ทั้ง 3 ตัวแปรตอบสนองเกี่ยวข้องโดยตรงกับข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ประเภท (ฉลากพับ, ฉลากเหลื่อม, โลโก้ฉลากไม่ตรงกัน) ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง

ชนิดข้อบกพร่อง	ตัวแปรตอบสนอง	สัญลักษณ์	หน่วย
ฉลากพับ	สัดส่วนของจำนวนขวดที่ฉลากพับต่อจำนวนขวดในขนาดของกลุ่มตัวอย่างทดลอง	Y_1	เปอร์เซ็นต์ (%)
ฉลากเหลื่อม	ระยะเฉลี่ยของฉลากเหลื่อมภายในกลุ่มตัวอย่างทดลอง	Y_2	มิลลิเมตร (mm.)
โลโก้ไม่ตรงกัน	ระยะเฉลี่ยระหว่างเส้นศูนย์กลางแนวตั้งของฉลากหน้าและฉลากคอในกลุ่มตัวอย่างทดลอง	Y_3	มิลลิเมตร (mm.)

กำหนดตัวแปรนำเข้า

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะของความเสียหายและผลกระทบที่ตามมา ได้แบ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่กลุ่มที่ต้องควบคุมให้อยู่ภายในค่าควบคุม และกลุ่มที่ต้องหาค่ามาตรฐานในการปรับตั้งค่าใหม่ซึ่งเป็นสิ่งที่งานวิจัยนี้ต้องการหาเพื่อให้เครื่องติดฉลากดำเนินการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นตัวแปรนำเข้าจึงเป็นกลุ่มพารามิเตอร์เครื่องจักรที่ต้องการหาค่ามาตรฐานในการปรับตั้งใหม่ เพื่อทดลองหาค่าระดับของแต่ละพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 การกำหนดตัวแปรนำเข้า

สัญลักษณ์	ตัวแปรนำเข้า	วิธีการวัดและปรับค่า	หน่วย
A	ระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง เข้า-ออก จากตำแหน่งขวด	วัดจากความสูงของ set screw ที่ฐานของ labeling station ที่เป็นตัวกำหนดระยะยุบตัวของฟองน้ำติดฉลากที่กดลงบนขวด	มิลลิเมตร (mm.)
B	ระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง ซ้าย-ขวา จากตำแหน่งขวด	วัดจากสเกลการปรับระยะซ้าย-ขวาของ labeling station ที่ติดมากับตัวเครื่อง	มิลลิเมตร (mm.)

สัญลักษณ์	ตัวแปรนำเข้า	วิธีการวัดและปรับค่า	หน่วย
C	ความหนากาวบน glue roller	วัดค่าโดยไมโครมิเตอร์ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องติดฉลาก สามารถปรับค่าโดยการบิดลูกบิดปรับความหนาและอ่านค่าได้จากหน้าปัด	ไมโครเมตร (μm.)
D	อัตราการจ่ายกาวจากปั๊มกาว	วัดค่าจากการจับเวลาและนับจำนวนครั้งที่เครื่องปั๊มชนิดลูกสูบทำงาน	Stroke/min
E	ความดันของลมเป่าฉลาก	วัดค่าจากการอ่านค่าบนหน้าปัดเครื่องมือวัดความดัน สามารถปรับความดันได้ที่เครื่องสร้างความดันที่ประกอบติดอยู่กับเครื่องติดฉลาก	บาร์ (bar)

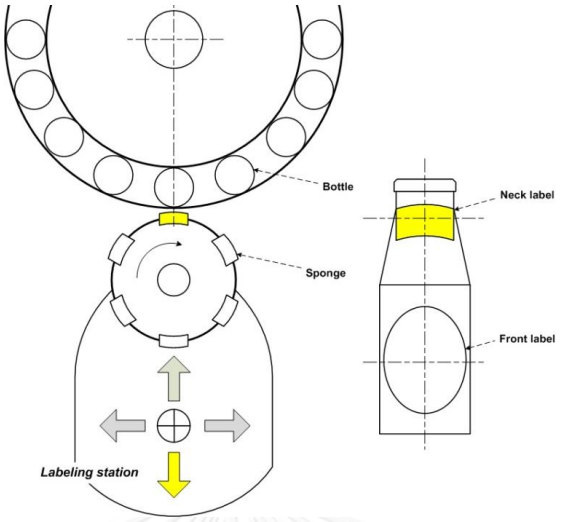
ทั้ง 5 ตัวแปรนำเข้าเป็นพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากที่ในทางปฏิบัติทางโรงงานใช้เป็นพารามิเตอร์ในการปรับเพื่อปรับปรุงการทำงานของเครื่องติดฉลาก หากแต่ปัจจุบันยังไม่มีค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้เป็นค่ามาตรฐานในการปรับเพื่อดำเนินการผลิต

ผลของการปรับแต่ละพารามิเตอร์ต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์

1) การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ A ระยะเข้า-ออกของ labelling station

ปรับโดยการคลายสกรูยึด labelling station ออกเพื่อให้สามารถเลื่อนออกมาจากระยะที่ตั้งไว้ได้อย่างอิสระ หากต้องการปรับระยะใหม่ทำได้โดยการวัดระยะของตัวสกรูปรับระยะ set crew ที่อยู่ใต้ฐานแล้วดัน labelling station กลับเข้าไปสัมผัสกับตัวสกรูเพื่อปรับระยะดังกล่าว สกรูปรับระยะนี้ทำหน้าที่กำหนดระยะห่างของ labelling station ถึงขวดที่อยู่บน roller plate ส่งผลให้มีผลกระทบต่อระยะที่ฟองน้ำจะกดไปบนขวด ระยะที่ใช้ในการทำงานในสภาวะปัจจุบันอยู่ที่ 18 มิลลิเมตร การปรับระดับของปัจจัยจะปรับเพื่อให้เห็นผลในการเกิดลักษณะของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์โดยการปรับเพิ่ม-ลดเพียง 1 มิลลิเมตรก็เห็นผลการเปลี่ยนแปลง หากปรับที่ระยะมากกว่านี้จะส่งผลเสียต่อการดำเนินงานเครื่องจักร การเพิ่มระยะสกรูปรับระยะจะเป็นการเพิ่มระยะฟองน้ำที่กดลงบนขวด หากระยะกดห่างเกินไปจะทำให้ฉลากตกลงก่อนสัมผัสกับขวดทำให้ตำแหน่งติดผิดไป

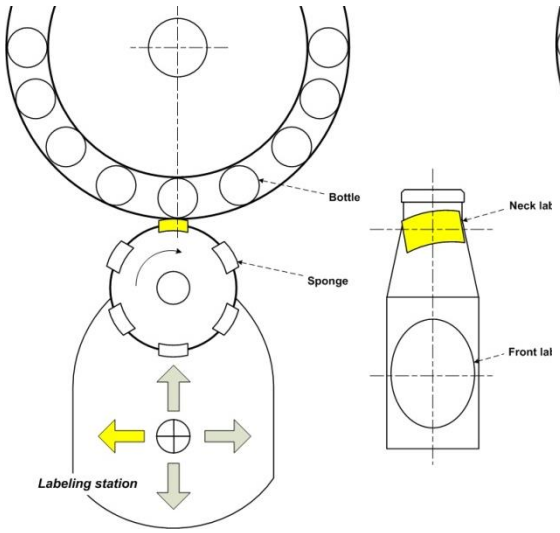
และอาจเกิดปัญหาฉลากคอพับและเหลื่อมตามมาได้ และหากระยะกดใกล้เกินไปจะทำให้ฟองน้ำไปดันขวดจนการตั้งของขวดเอียง ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 26



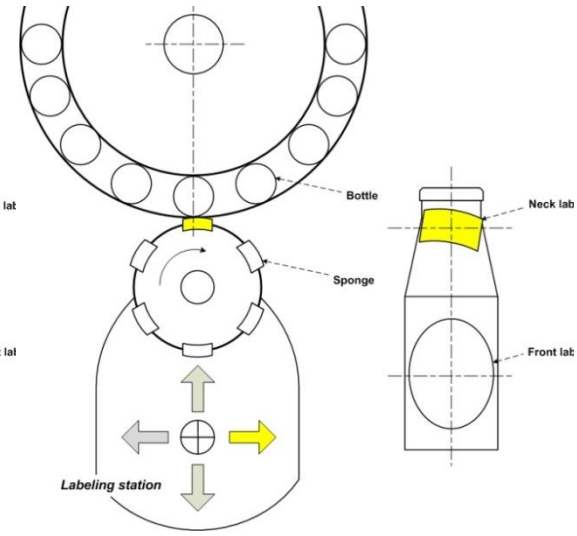
รูปที่ 26 การปรับระยะเข้า-ออกของสถานีติดฉลาก

2) การปรับพารามิเตอร์ B ระยะซ้ายขวาของ labelling station

ทำได้โดยการขันสกรูใต้ฐานเพื่อปรับระยะซ้ายขวาของ labelling station โดยมีสเกลของการปรับอยู่ที่ 0-15 mm การปรับไปที่สเกล 0 mm ตำแหน่งของ labelling station จะอยู่ที่ซ้ายสุด และหากปรับไปที่สเกล 15 mm labelling station จะอยู่ที่ตำแหน่งขวาสุดตามลำดับ การปรับระยะซ้าย-ขวาของ labelling station จะส่งผลต่อตำแหน่งซ้าย-ขวาที่ฟองน้ำนำฉลากไปสัมผัสบนขวด หากปรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ฉลากคอที่มีลักษณะพันรอบคอขวดมีปลายด้านใดด้านหนึ่งยาวกว่าเมื่อหมุนไปทบกันด้านหลังแล้วอาจเกิดปัญหาฉลากคอเหลื่อมและฉลากหน้าและคอไม่ตรงกันตามมา ค่าระยะที่ใช้ทำงานในปัจจุบันอยู่ที่ระยะ 7.5 มิลลิเมตร การปรับเพิ่ม-ลดระยะเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลองจะปรับที่ระยะ ±1.5 มิลลิเมตรซึ่งเพียงพอในการวัดผลในการปรับระดับของปัจจัย การปรับที่มากกว่าระยะ ±1.5 มิลลิเมตรจะทำให้ลักษณะการติดของฉลากบนขวดเบี่ยงเบนออกจากระยะติดฉลากมากจนเกิดลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่ผิดปกติ ตัวอย่างแสดงให้เห็นในรูปที่ 27 และ 28



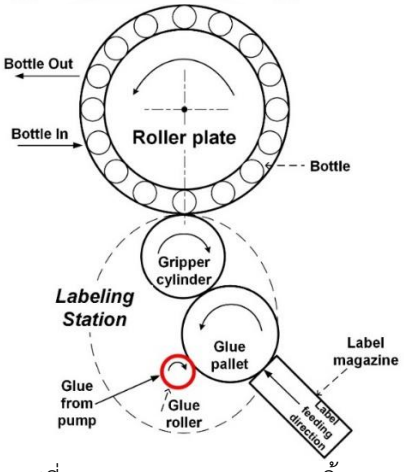
รูปที่ 27 การปรับสถานีติดฉลากไปทางซ้าย



รูปที่ 28 การปรับสถานีติดฉลากไปทางขวา

3) การปรับพารามิเตอร์ C ความหนาของกาวบน glue roller

ทำได้โดยการปรับหัวกดปรับระยะใบมีดปาดกาว ซึ่งจะส่งผลต่อความหนาของกาวที่อยู่ระหว่างขวดและฉลาก หากความหนาน้อยเกินไปจะทำให้ฉลากไม่ติด หรือพับได้ แต่หากความหนามากเกินไปจะทำให้ฉลากเลื่อนตำแหน่งไปเมื่อถูกแปรงปัดขณะเคลื่อนที่บน roller plate อาจทำให้เกิดปัญหาฉลากเหลือมและฉลากตอและหน้าไม่ตรงกัน ช่วงของค่าระยะความหนากาวที่ทางโรงงานกรณีศึกษาได้กำหนดมาอยู่ในช่วง110-150 ไมโครเมตร ซึ่งค่าที่ใช้ในการทำงานสภาวะปกติอยู่ที่ 130 ไมโครเมตร ตำแหน่งของความหนากาวบน glue roller แสดงได้ในรูปที่ 29

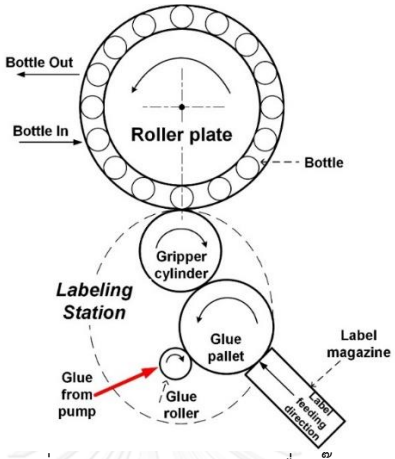


รูปที่ 29 ความหนากาวบนลูกกลิ้งกาว

4) การปรับพารามิเตอร์ D อัตราการปั้มกาว

สามารถปรับได้จากเครื่องปั้มกาวที่อยู่แยกส่วนจากเครื่องติดฉลาก ทำหน้าที่ปั้มกาวส่งขึ้นไปให้ glue roller ส่งผลต่อปริมาณกาวบน glue roller เครื่องปั๊มกาวมีความสามารถในการทำงานอยู่ที่

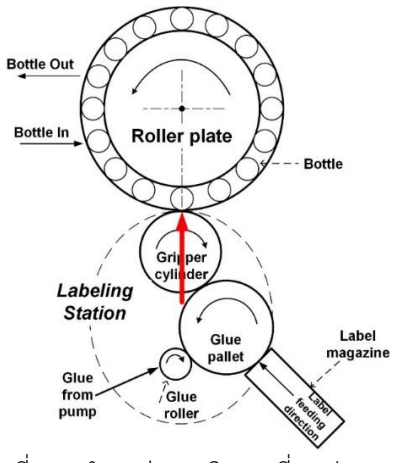
ช่วงประมาณ 20 – 70 stroke/minute การปรับค่าระดับของอัตราการปั๊มกาวในสภาวะปกติอยู่ที่ประมาณ 40 stroke/minute การปรับเพิ่ม-ลดในช่วง ±10 stroke/minute จะส่งผลต่อปริมาณกาวอย่างชัดเจนซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการควบคุมความหนากาว ตำแน่งที่กาวถูกจ่ายขึ้นมาจากปั๊มแสดงได้ในรูปที่ 30



รูปที่ 30 การจ่ายกาวจากเครื่องปั๊มกาว

5) การปรับพารามิเตอร์ E ความดันลมเป่าฉลาก

เป็นพารามิเตอร์ที่ทำงานสัมพันธ์กับฟองน้ำติดฉลากและชุด gripper cylinder โดยเมื่อฟองน้ำยื่นออกไปสัมผัสขวด กลไกของชุด gripper cylinder จะเปิดให้ช่องลมทำงานเพื่อปล่อยลมให้ดันฉลากออกไปหาขวดและเพื่อแยกฉลากออกจากฟองน้ำ ปรับได้โดยการปรับวาล์วความดันก่อนลมเข้าไปในชุด gripper cylinder หากความดันน้อยเกินไปอาจจะทำให้ฉลากไม่แยกตัวออกจากฟองน้ำทำให้ฉลากไม่ติด ค่าระยะการปรับค่าความดันลมทางโรงงานกรณีศึกษาได้กำหนดไว้ให้อยู่ในช่วง 0.5-1.5 bar โดยปกติจะตั้งค่าไว้อยู่ที่ 1.0 bar เป็นค่าการทำงานปกติ รูปที่ 31 แสดงตำแหน่งและทิศทางที่ลมเป่าฉลาก



รูปที่ 31 ตำแหน่งและทิศทางที่ลมเป่าฉลาก

สามารถสรุปผลหลักของแต่ละพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองจากกลไกการทำงานของเครื่องติดฉลาก ได้ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ผลกระทบหลักของแต่ละปัจจัยนำเข้า

พารามิเตอร์	ระดับ	ลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์		
		ฉลากพับ	ฉลากเหลื่อม	โลโก้ไม่ตรงกัน
A	+1	-	-	-
	-1	✓	✓	-
B	+1	-	✓(เหลื่อมในทิศ+)	✓(เลื่อนไปทาง+)
	-1	-	✓(เหลื่อมในทิศ-)	✓(เลื่อนไปทาง-)
C	+1	-	✓	✓
	-1	✓	-	-
D	+1	-	-	-
	-1	✓	-	-
E	+1	-	-	-
	-1	✓	✓	✓

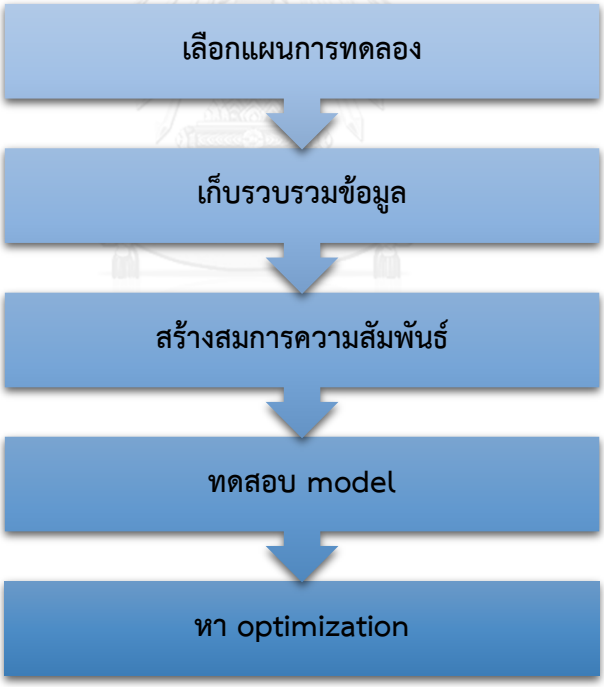
5.2 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและแนวทางแก้ไข

ผลตอบสนองที่นำมาเป็นตัวแปรตอบสนองและปัจจัยนำเข้าที่ได้กำหนดเพื่อเป็นตัวแปรในการออกแบบการทดลองเกี่ยวข้องโดยตรงกับลักษณะปัญหาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ และปัจจัยนำเข้าของการทดลองก็ได้มาจากการวิเคราะห์หน้าที่การทำงานของพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากที่จะส่งผลต่อลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น จากการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากต่อลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์สามารถสรุปรูปแบบการปรับพารามิเตอร์ที่จะส่งผลต่อความบกพร่องที่จะเกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์ได้ โดยที่แต่ละพารามิเตอร์จะส่งผลต่อลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันไป การแก้ปัญหาด้วยการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการทำงานของเครื่องติดฉลากจะใช้วิธีการออกแบบการทดลองซึ่งเป็นการทดลองโดยควบคุมรูปแบบของการปรับพารามิเตอร์อย่างเป็นระบบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์และสังเกตผลตอบสนองที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถที่จะศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกิดร่วมกันได้นอกจากเพียงศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ใดเพียงพารามิเตอร์เดียว และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปปรับปรุงการทำงานของเครื่องติดฉลาก

บทที่ 6

การปรับปรุงแก้ไขประบวนการ

เพื่อปรับปรุงแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ โดยการหารูปแบบการปรับค่าระดับของพารามิเตอร์ของเครื่องติดฉลาก ได้นำเอาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองมาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับของพารามิเตอร์และผลลัพธ์คือข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ด้วยการออกแบบการทดลองซึ่งเป็นการกำหนดการทดลองที่ควบคุมการปรับพารามิเตอร์อย่างเป็นระบบและสังเกตผลลัพธ์ตัวแปรตอบสนองที่เกิดขึ้นในแต่รูปแบบของการปรับค่าระดับพารามิเตอร์ สามารถทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์และผลกระทบ สามารถสร้างสมการความสัมพันธ์และหาการปรับตั้งค่าระดับผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยมีขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการเพื่อหารูปแบบการปรับค่าระดับพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากดังแสดงในรูปที่ 32



รูปที่ 32 ขั้นตอนการหารูปแบบปรับตั้งพารามิเตอร์

6.1 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง

การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (central composite design : CCD) เป็นการทดลองแบบแฟคทอเรียลโดยการปรับพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากแบ่งออกเป็นระดับคล้ายคลึงกับการ

ทดลองแฟคทอเรียลแบบสองระดับ แต่ใน CCD จะแบ่งระดับของพารามิเตอร์ออกเป็น 5 ระดับ [7, 9, 10] และสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

1) ส่วนระดับตำแหน่งการทดลองของ 2^k factorial design ที่แบ่งระดับของพารามิเตอร์ออกเป็นสองระดับ คือ ระดับสูง(+1) และระดับต่ำ(-1) จำนวนครั้งการทดลองเท่ากับ 2^k ครั้ง
2) ส่วนระดับตำแหน่งการทดลองตามแกนของพารามิเตอร์ที่ระยะห่างจากจุดตรงกลางของพื้นที่การทดลองห่างเป็นระยะเท่ากับค่า α จำนวนครั้งการทดลองเท่ากับ 2k ครั้ง
3) ส่วนตำแหน่งการทดลองที่จุดตรงกลางของพื้นที่การทดลอง (central design point) หรือที่ค่าระดับ 0 ของพารามิเตอร์ จำนวนครั้งการทดลองเท่ากับจำนวนการทดลองซ้ำที่จุดตรงกลางการทดลอง n ครั้ง

ระดับของพารามิเตอร์ที่กำหนดระดับ +1 และ -1 ได้มาจากขอบเขตที่ใช้ทำงานในปัจจุบัน ระดับ 0 คือจุดทำงานปกติของเครื่องติดฉลากปัจจุบัน และที่ระดับค่า α เป็นระดับที่เกินออกไปจากค่าขอบเขตที่โรงงานกำหนด โดยการทดลองที่ระดับ α มีประโยชน์ในการให้พื้นที่ของคำตอบที่กว้าง และช่วยปรับให้สมการความสัมพันธ์อยู่ในรูปของสมการพหุนามที่มีความแม่นยำมากขึ้น จำนวนครั้งทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 2^k+2k+n ครั้ง ซึ่งน้อยกว่าการทดลองแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) ที่จำนวนพารามิเตอร์เท่ากัน (จำนวนครั้งการทดลองแบบแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคนจะน้อยกว่าเมื่อจำนวนพารามิเตอร์มีมากกว่า ตั้งแต่ 6 พารามิเตอร์ขึ้นไป) ซึ่งทำส่งผลให้ประหยัดทรัพยากรที่ต้องใช้ในการทดลองมากกว่า การปรับค่าระดับของพารามิเตอร์ในการทดลองแบบ CCD จะเป็นไปตามตารางที่ 23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 23 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ค่ารหัสของระดับการเปลี่ยนแปลง					หน่วย
		-2	-1	0	+1	+2	
ระยะเข้า-ออก	A	19	17.5	16	14.5	13	mm
ระยะซ้าย-ขวา	B	4.5	6	7.5	9	10.5	mm
ความหนากาว	C	110	120	130	140	150	μm
อัตราปั๊มกาว	D	20	30	40	50	60	stroke/minute
ความดันลม	E	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6	bar

ในการทดลอง CCD ที่ 5 พารามิเตอร์โดยทำการทดลองเพียงครึ่งเดียว (half central composite design) ค่า α จะเท่ากับ 2 ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้งจำนวนครั้งการทดลองทั้งหมดเท่ากับ $(2)((2^{5-1})+(2)(5)+6) = 64$ ครั้ง ทำการทดลองโดยใช้ซอฟแวร์ Minitab และ Design Expert ร่วมกัน

ในการดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผล ซอฟแวร์จะกำหนดรูปแบบการทดลองแบบสุ่มเพื่อเป็นแบบสำหรับการดำเนินการทดลองกับเครื่องติดฉลาก เมื่อทำการทดลองตามรูปแบบและบันทึกผลการทดลองทั้งหมดจนเสร็จสิ้นจะสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์และสร้างสมการคณิตศาสตร์ได้

Central Composite Design

Factors:	5	Replicates:	2
Base runs:	32	Total runs:	64
Base blocks:	1	Total blocks:	1

Two-level factorial: Half fraction

Cube points:	32
Center points in cube:	12
Axial points:	20
Center points in axial:	0

Alpha: 2

6.1.1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าสำหรับตัวแปรตอบสนอง Y_1

Factorial Fit: Y1 versus A, B, C, D, E

Estimated Effects and Coefficients for Y1 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.3542	0.01647	21.50	0.000
A	-0.1458	-0.0729	0.01647	-4.43	0.000
B	-0.0833	-0.0417	0.01647	-2.53	0.022
C	-0.3542	-0.1771	0.01647	-10.75	0.000
D	-0.2083	-0.1042	0.01647	-6.32	0.000
E	-0.0833	-0.0417	0.01647	-2.53	0.022
A*B	0.0625	0.0313	0.01647	1.90	0.076
A*C	-0.0833	-0.0417	0.01647	-2.53	0.022
A*D	-0.0208	-0.0104	0.01647	-0.63	0.536
A*E	0.1042	0.0521	0.01647	3.16	0.006
B*C	-0.0625	-0.0312	0.01647	-1.90	0.076
B*D	0.0000	0.0000	0.01647	0.00	1.000
B*E	0.0417	0.0208	0.01647	1.26	0.224
C*D	0.1458	0.0729	0.01647	4.43	0.000
C*E	-0.0625	-0.0312	0.01647	-1.90	0.076
D*E	0.0417	0.0208	0.01647	1.26	0.224

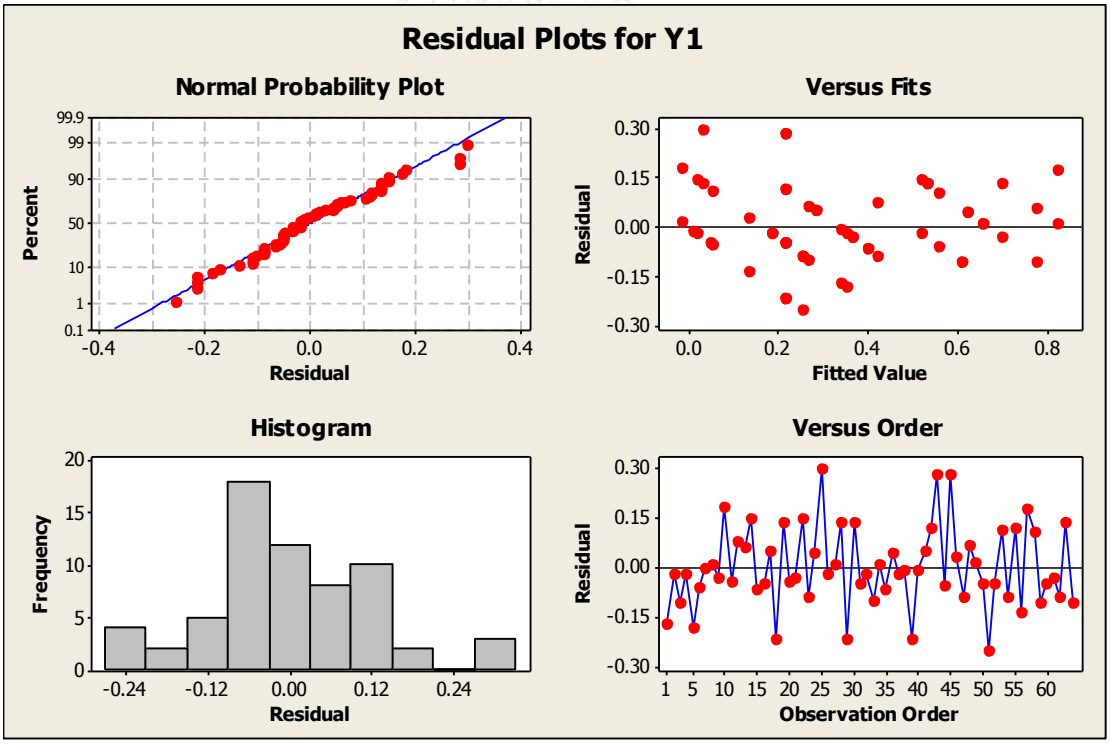
S = 0.0931695 PRESS = 0.555556
R-Sq = 93.71% R-Sq(pred) = 74.84% R-Sq(adj) = 87.81%

Analysis of Variance for Y1 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	1.63194	1.63194	0.32639	37.60	0.000
A	1	0.17014	0.17014	0.17014	19.60	0.000
B	1	0.05556	0.05556	0.05556	6.40	0.022
C	1	1.00347	1.00347	1.00347	115.60	0.000
D	1	0.34722	0.34722	0.34722	40.00	0.000
E	1	0.05556	0.05556	0.05556	6.40	0.022
2-Way Interactions	10	0.43750	0.43750	0.04375	5.04	0.002
A*B	1	0.03125	0.03125	0.03125	3.60	0.076

A*C	1	0.05556	0.05556	0.05556	6.40	0.022
A*D	1	0.00347	0.00347	0.00347	0.40	0.536
A*E	1	0.08681	0.08681	0.08681	10.00	0.006
B*C	1	0.03125	0.03125	0.03125	3.60	0.076
B*D	1	0.00000	0.00000	0.00000	*	*
B*E	1	0.01389	0.01389	0.01389	1.60	0.224
C*D	1	0.17014	0.17014	0.17014	19.60	0.000
C*E	1	0.03125	0.03125	0.03125	3.60	0.076
D*E	1	0.01389	0.01389	0.01389	1.60	0.224
Residual Error	16	0.13889	0.13889	0.00868		
Pure Error	16	0.13889	0.13889	0.00868		
Total	31	2.20833				

จากข้อมูลการวิเคราะห์สามารถสรุปผลได้ว่าปัจจัยนำเข้ามีความเพียงพอต่อตัวแปรตอบสนองจากค่า R-square ที่ 93.71% และสามารถพิจารณาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อผลตอบสนองได้จากค่า P-value หากพารามิเตอร์มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการประมาณสัมประสิทธิ์ของแต่ละพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 แสดงให้เห็นถึงพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองด้วยเกณฑ์การตัดสินใจที่ความเชื่อมั่น 95%



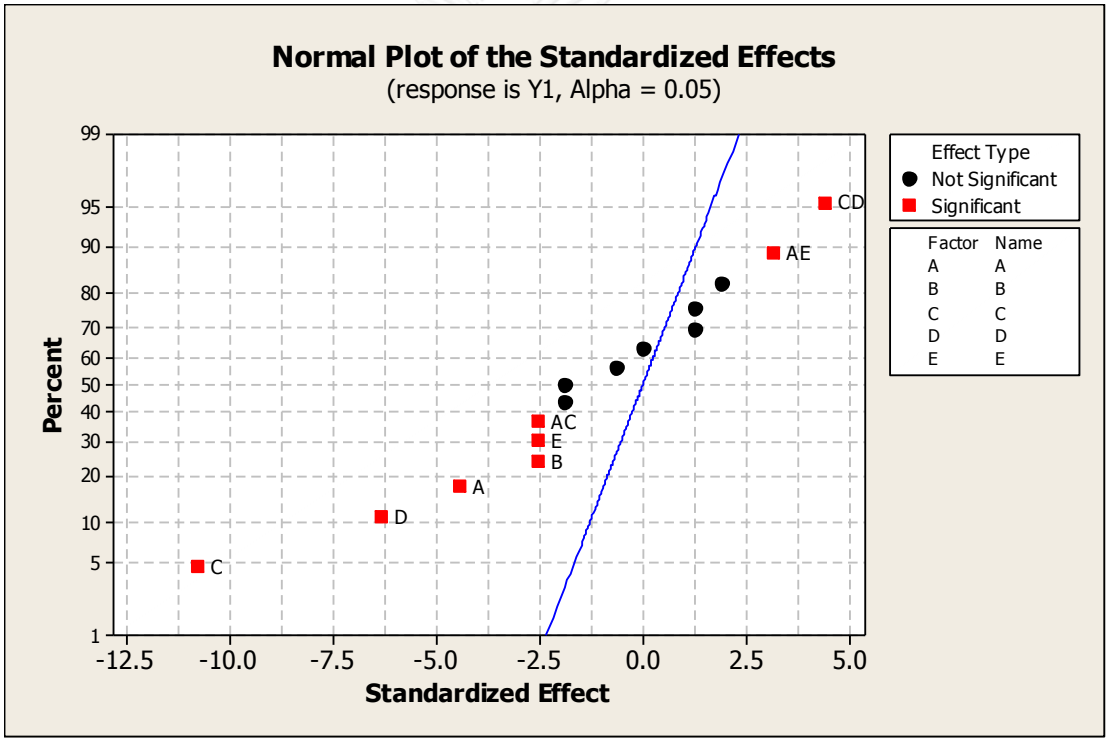
รูปที่ 33 การกระจายส่วนตกค้างของผลตอบสนอง Y_1

จากรูปที่ 33 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 ได้ดังนี้

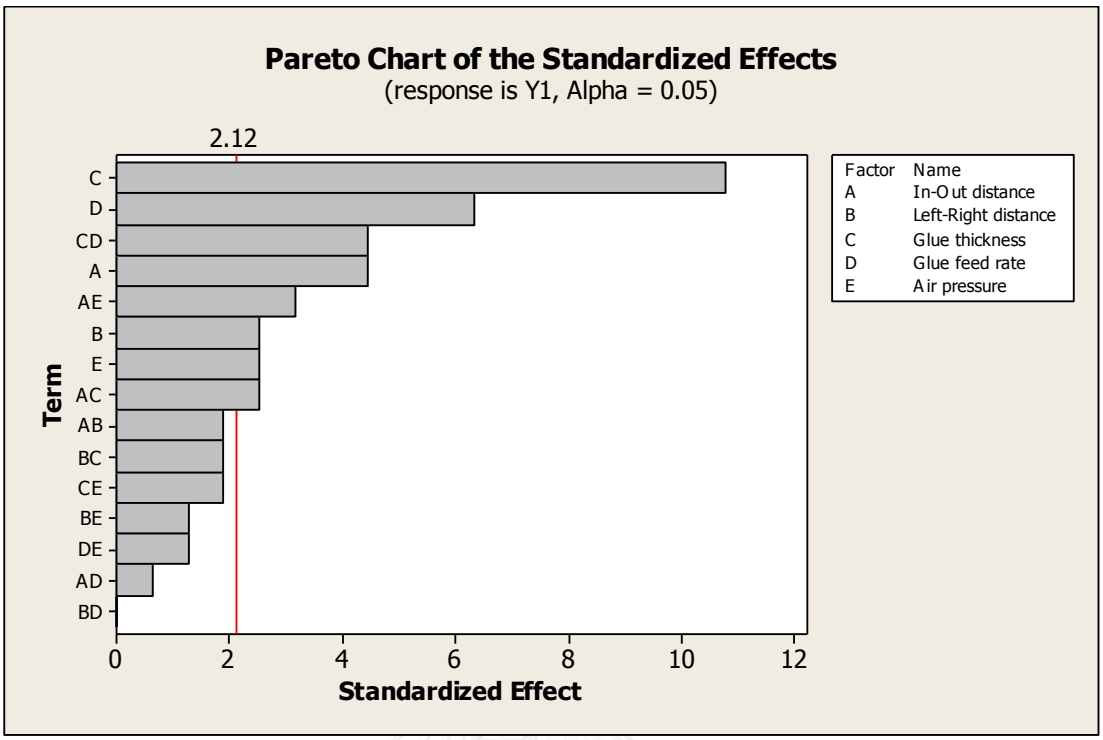
- กราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นการเรียงตัวของส่วนตกค้าง (residual) เรียงตัวใกล้เคียงกับเส้นตรงสอดคล้องกับการกระจายตัวแบบปกติ

- กราฟ Residual Versus Fitted value แสดงการเรียงตัวของส่วนตกค้างรอบแกนศูนย์ค่อนข้างไม่มีรูปแบบ อย่างไรก็ตามการเรียงตัวเป็นเส้นตรงสามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากตัวแปรตอบสนอง Y_1 เป็นการอ้างอิงถึงข้อบกพร่องผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากพับซึ่งมีวิธีการวัดเป็นการวัดจำนวนขวด ดังนั้นข้อมูลสัดส่วนข้อบกพร่องที่เก็บบันทึกได้จึงเป็นจำนวนเท่าที่ไม่ต่อเนื่อง
- กราฟ Histogram แสดงให้เห็นลักษณะการกระจายของส่วนตกค้างซึ่งมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำหมายถึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ
- กราฟ Residual Versus Order แสดงให้เห็นลำดับการเรียงตัวของส่วนตกค้างไม่มีรูปแบบการเรียงตัว แสดงว่าข้อมูลไม่มีรูปแบบ การเกิดส่วนตกค้างเป็นไปตามการสุ่มตามปกติ

พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อผลตอบสนอง Y_1 แสดงในรูปที่ 34 และ 35

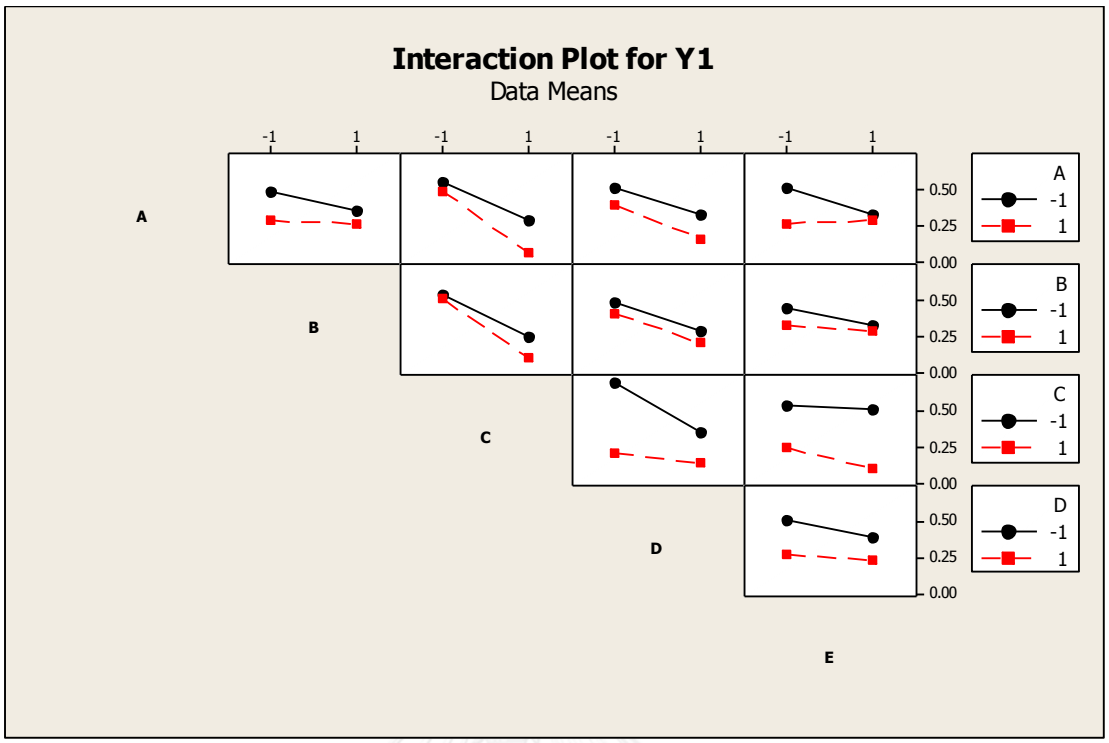


รูปที่ 34 การกระจายปกติของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ Y_1



รูปที่ 35 แผนภูมิพาเรโตของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ Y_1

จากการพิจารณา Pareto Chart of the Standardized Effects สำหรับผลตอบสนอง Y_1 (สัดส่วนของจำนวนขวดที่ฉลากพับต่อจำนวนขวดในขนาดของกลุ่มตัวอย่างทดลอง) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% Alpha = 0.05 เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นถึงผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 เรียงตามลำดับความมีนัยสำคัญของผลกระทบจากมากไปหาน้อย โดยกราฟแท่งของพารามิเตอร์ที่ยาวเกินเส้นขอบเขตจะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง พบว่าปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อผลตอบสนอง Y_1 ได้แก่ C, D, CD, A, AE, B, E, AC ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีทั้งผลกระทบจากปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยร่วมดังแสดงในรูปที่ 36

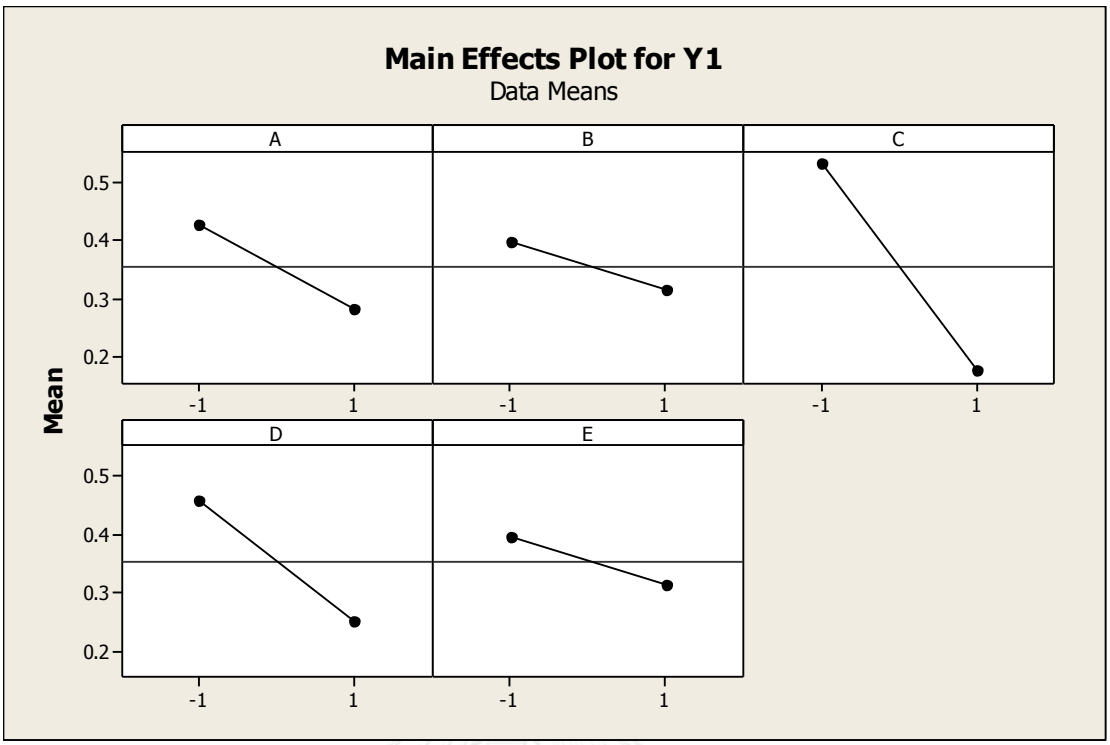


รูปที่ 36 ผลร่วมของผลตอบสนอง Y_1

จากรูปที่ 36 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากพับ ได้แก่ AC, AE, และ CD ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

- ปัจจัยร่วม AC คือ ระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง เข้า-ออก จากตำแหน่งขวดและความหนากาวบน glue roller หากปรับให้ labeling station ห่างจากขวดและความหนากาวน้อยจะทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทฉลากพับมากขึ้น
- ปัจจัยร่วม AE คือ ระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง เข้า-ออก จากตำแหน่งขวดและความดันของลมเป่าฉลาก หากปรับให้ labeling station ห่างจากขวดอีกทั้งลมเป่าฉลากยังเบาจนไม่สามารถส่งฉลากไปสัมผัสติดกับขวดได้ ทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทฉลากพับ
- ปัจจัยร่วม CD คือ ความหนากาวบน glue rollerและอัตราการจ่ายกาวจากปั๊มกาว หากปรับให้ปั๊มกาวจ่ายขึ้นมาที่เครื่องติดฉลากน้อยอีกทั้งยังปรับความหนากาวไว้ต่ำจะทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทฉลากพับ

นอกจากนี้การทดลอง central composite design ยังสามารถศึกษาผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักได้ สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 37 ดังนี้



รูปที่ 37 ผลกระทบหลักของผลตอบสนอง Y_1

จากรูปที่ 37 แสดงผลกระทบหลักต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากพับจากปัจจัยนำเข้าที่สอดคล้องกับกลไกการทำงานของเครื่องติดฉลาก ได้แก่

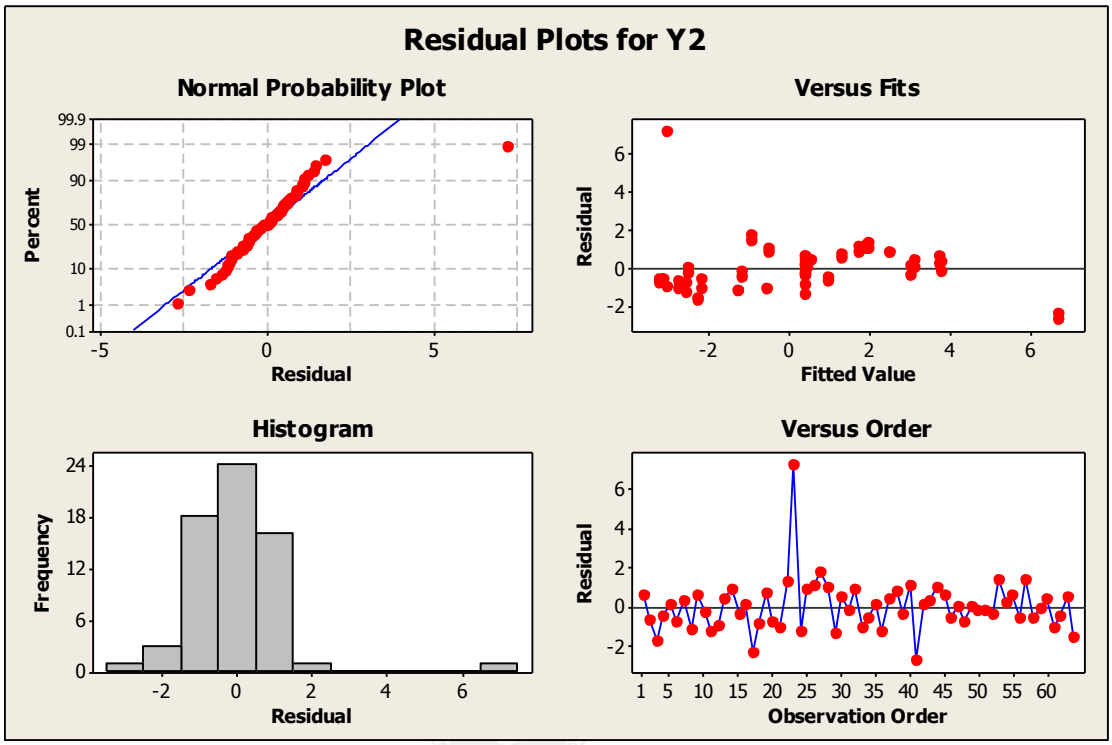
- ปัจจัยนำเข้า A : ระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง เข้า-ออก จากตำแหน่งขวด เมื่อปรับตั้งให้ labeling station ออกห่างจากขวด (ระดับ -1) จะทำให้ฟองน้ำติดฉลากไม่กดหรือกดฉลากลงบนขวดน้อยเกินไปส่งผลให้ฉลากหล่นตามแรงโน้มถ่วงก่อนยึดติดกับขวดและทำให้ฉลากพับได้
- ปัจจัยนำเข้า B : ระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง ซ้าย-ขวา จากตำแหน่งขวด เมื่อปรับตั้งให้ labeling station เคลื่อนที่ไปทางขวาส่งส่งผลให้ค่าสัดส่วนฉลากพับน้อยกว่า
- ปัจจัยนำเข้า C : ความหนากาวบน glue roller เมื่อปรับตั้งให้กาวมีความหนาน้อยเกินไปส่งผลให้กาวมีปริมาณไม่เพียงพอหรือทำให้ฉาบไปบนฉลากไม่ทั่วทั้งแผ่นส่งผลให้ฉลากพับได้
- ปัจจัยนำเข้า D : อัตราการจ่ายกาวจากปั๊มกาว เมื่อปรับตั้งให้เครื่องปั๊มกาวส่งกาวมาไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถควบคุมความหนาของกาวได้ซึ่งทำให้เกิดฉลากพับตามมา
- ปัจจัยนำเข้า E : ความดันของลมเป่าฉลาก เมื่อปรับให้ความดันลมสูงจะทำให้ลมเป่าฉลากไปติดสัมผัสขวดได้ดีขึ้นทำให้ฉลากพับน้อยลง

6.1.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าสำหรับตัวแปรตอบสนอง Y_2

```
Factorial Fit: Y2 versus A, B, C, D, E

Estimated Effects and Coefficients for Y2 (coded units)

Term       Effect     Coef  SE Coef       T      P
Constant             0.0208  0.03827    0.54  0.594
A         -0.0417  -0.0208  0.03827   -0.54  0.594
B          6.3126   3.1563  0.03827   82.46  0.000
C         -0.1875  -0.0937  0.03827   -2.45  0.026
D         -0.0000  -0.0000  0.03827   -0.00  1.000
E          0.0417   0.0208  0.03827    0.54  0.594
A*B       -0.7708  -0.3854  0.03827  -10.07  0.000
A*C       -0.0625  -0.0312  0.03827   -0.82  0.426
A*D        0.3333   0.1667  0.03827    4.35  0.000
A*E        0.0833   0.0417  0.03827    1.09  0.292
B*C        0.5000   0.2500  0.03827    6.53  0.000
B*D        0.1875   0.0937  0.03827    2.45  0.026
B*E       -0.9792  -0.4896  0.03827  -12.79  0.000
C*D       -0.1042  -0.0521  0.03827   -1.36  0.192
C*E       -0.0625  -0.0313  0.03827   -0.82  0.426
D*E        0.0417   0.0208  0.03827    0.54  0.594


S = 0.216516    PRESS = 3.00027
R-Sq = 99.78%   R-Sq(pred) = 99.11%   R-Sq(adj) = 99.57%


Analysis of Variance for Y2 (coded units)

Source              DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS        F      P
Main Effects         5  319.097  319.097   63.819  1361.36  0.000
  A                  1    0.014    0.014    0.014     0.30  0.594
  B                  1  318.788  318.788  318.788  6800.21  0.000
  C                  1    0.281    0.281    0.281     6.00  0.026
  D                  1    0.000    0.000    0.000     0.00  1.000
  E                  1    0.014    0.014    0.014     0.30  0.594
2-Way Interactions  10   15.813   15.813    1.581    33.73  0.000
  A*B                1    4.753    4.753    4.753   101.40  0.000
  A*C                1    0.031    0.031    0.031     0.67  0.426
  A*D                1    0.889    0.889    0.889    18.96  0.000
  A*E                1    0.056    0.056    0.056     1.19  0.292
  B*C                1    2.000    2.000    2.000    42.66  0.000
  B*D                1    0.281    0.281    0.281     6.00  0.026
  B*E                1    7.670    7.670    7.670   163.62  0.000
  C*D                1    0.087    0.087    0.087     1.85  0.192
  C*E                1    0.031    0.031    0.031     0.67  0.426
  D*E                1    0.014    0.014    0.014     0.30  0.594
Residual Error      16    0.750    0.750    0.047
  Pure Error        16    0.750    0.750    0.047
Total               31  335.660
```

จากการพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลสามารถสรุปผลได้ว่าปัจจัยนำเข้ามีความเพียงพอต่อตัวแปรตอบสนองจากค่า R-square ที่ 99.78% และสามารถพิจารณาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อผลตอบสนองได้จากค่า P-value หากพารามิเตอร์มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการประมาณสัมประสิทธิ์ของแต่ละพารามิเตอร์ที่

ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 แสดงให้เห็นถึงพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองด้วยเกณฑ์การตัดสินใจที่ความเชื่อมั่น 95%

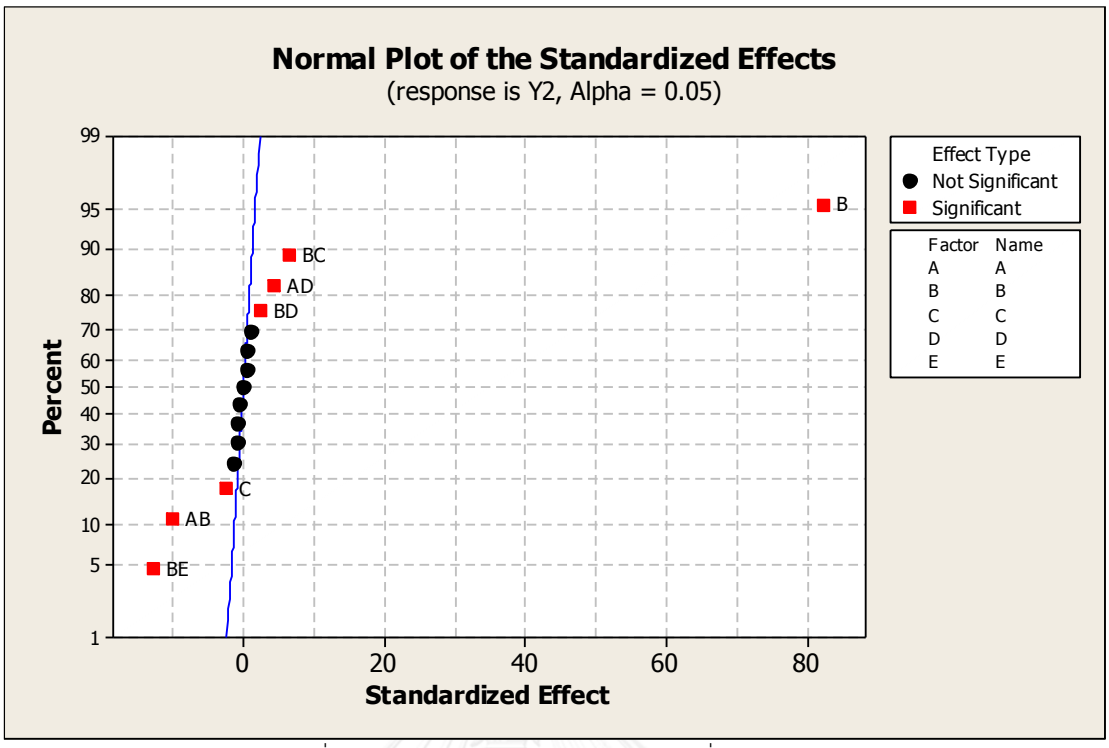


รูปที่ 38 การกระจายส่วนตกค้างของผลตอบสนอง Y_2

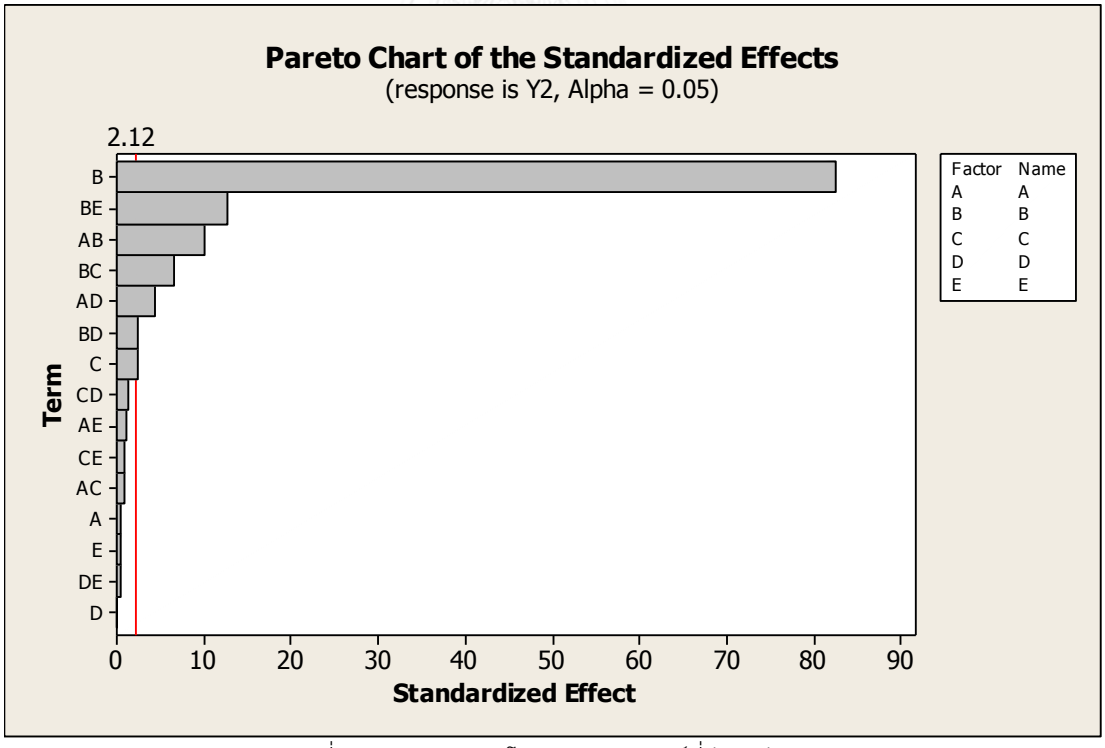
จากรูปที่ 38 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 ได้ดังนี้

- กราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นการเรียงตัวของส่วนตกค้าง (residual) เรียงตัวใกล้เคียงกับเส้นตรงสอดคล้องกับการกระจายตัวแบบปกติ
- กราฟ Residual Versus Fitted value แสดงการเรียงตัวของส่วนตกค้างรอบแกนศูนย์ที่ไม่มีรูปแบบ หมายถึงข้อมูลการกระจายตัวแบบอิสระ
- กราฟ Histogram แสดงให้เห็นลักษณะการกระจายของส่วนตกค้างซึ่งมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำหมายถึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ
- กราฟ Residual Versus Order แสดงให้เห็นลำดับการเรียงตัวของส่วนตกค้างไม่มีรูปแบบการเรียงตัว แสดงว่าข้อมูลไม่มีรูปแบบ การเกิดส่วนตกค้างเป็นไปตามการสุ่มตามปกติ

พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อผลตอบสนอง Y_2 แสดงในรูปที่ 39 และ 40



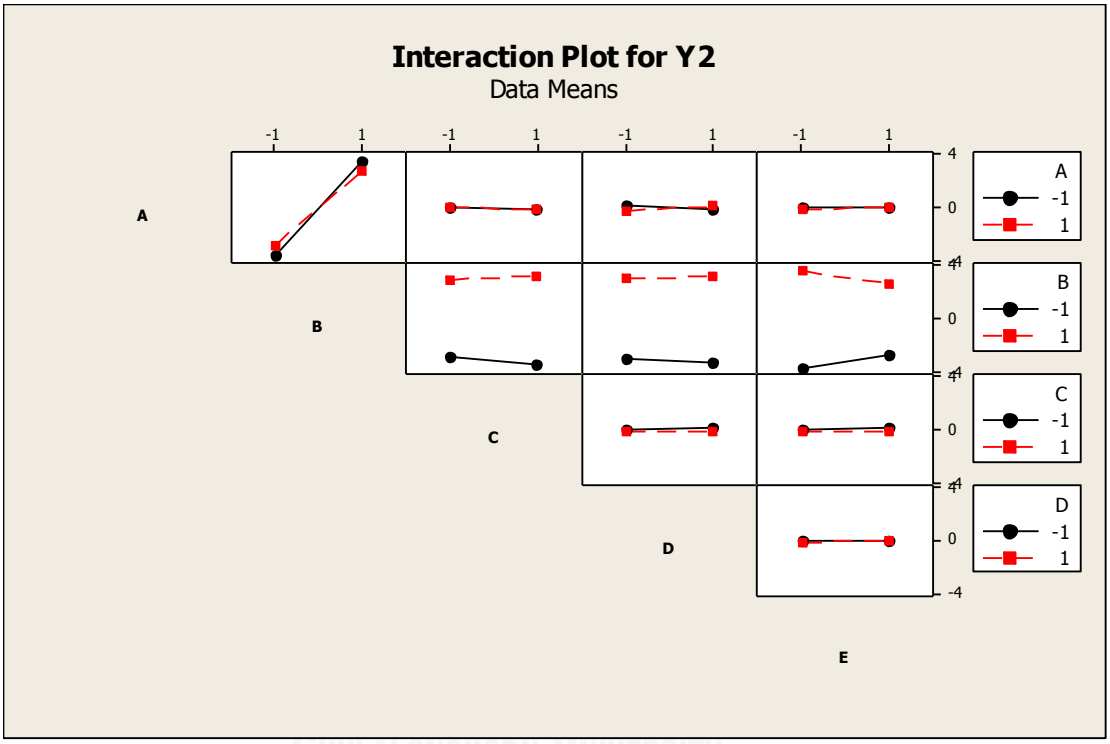
รูปที่ 39 การกระจายปกติของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ Y_1



รูปที่ 40 แผนภูมิพาเรโตของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ Y_2

จากการพิจารณา Pareto Chart of the Standardized Effects สำหรับผลตอบสนอง Y_2 (ระยะเฉลี่ยของฉลากเหลื่อมภายในกลุ่มตัวอย่างทดลอง) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% Alpha = 0.05

เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นถึงผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 เรียงตามลำดับความมีนัยสำคัญของผลกระทบจากมากไปหาน้อย โดยกราฟแท่งของพารามิเตอร์ที่ยาวเกินเส้นขอบเขตจะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง พบว่าปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อผลตอบสนอง Y_2 ได้แก่ B, BE, AB, BC, AD, BD, C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีทั้งผลกระทบจากปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยร่วมดังแสดงในรูปที่ 41



CHULALONGKORN UNIVERSITY

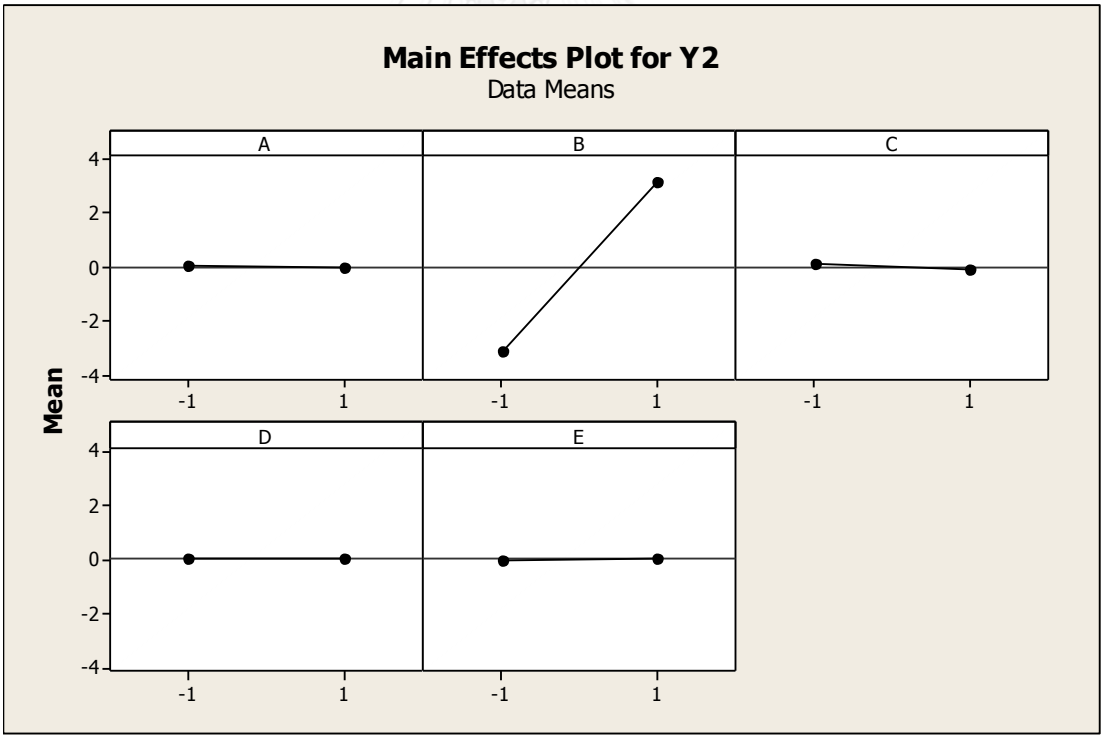
รูปที่ 41 ผลร่วมของผลตอบสนอง Y_2

จากรูปที่ 41 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากเหลื่อม ได้แก่ AB, AD, BC, BD, และ BE ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

- ปัจจัยร่วม AB คือระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง เข้า-ออก จากตำแหน่งขวดและระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง ซ้าย-ขวา จากตำแหน่งขวด หากปรับ labeling station ห่างจากขวดการปรับ labeling station ในทิศซ้าย-ขวาจะทำให้ลักษณะข้อบกพร่องประเภทฉลากเหลื่อมเกิดขึ้นอย่างชัดเจน
- ปัจจัยร่วม AD คือระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง เข้า-ออก จากตำแหน่งขวดและอัตราการจ่ายกาวจากปั๊มกาว หากปรับ labeling station ห่างจากขวดและอัตราการจ่ายกาวร่วมกันไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทฉลากเหลื่อม

- ปัจจัยร่วม BC คือระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง ซ้าย-ขวา จากตำแหน่งขวดและความหนากาวบน glue roller หากปรับให้กาวมีความหนามากเกินไปจะทำให้การปรับ labeling station ในทิศซ้าย-ขวาส่งผลต่อลักษณะข้อบกพร่องประเภทฉลากเหลื่อมอย่างชัดเจน
- ปัจจัยร่วม BD คือระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง ซ้าย-ขวา จากตำแหน่งขวดและอัตราการจ่ายกาวจากปั๊มกาว หากปรับทั้งสองพารามิเตอร์ร่วมกันไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทฉลากเหลื่อม
- ปัจจัยร่วม BE คือระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง ซ้าย-ขวา จากตำแหน่งขวดและความดันของลมเป่าฉลาก หากปรับความดันลมมากหรือน้อยเกินไปจะส่งผลร่วมกับการปรับ labeling station ในทิศทางซ้าย-ขวาที่จะทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทฉลากเหลื่อม

นอกจากนี้การทดลอง central composite design ยังสามารถศึกษาผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักได้ สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 42 ดังนี้



รูปที่ 42 ผลกระทบหลักของผลตอบสนอง Y_2

จากรูปที่ 42 แสดงผลกระทบหลักต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากเหลื่อมจากปัจจัยนำเข้าที่สอดคล้องกับกลไกการทำงานของเครื่องติดฉลาก ได้แก่

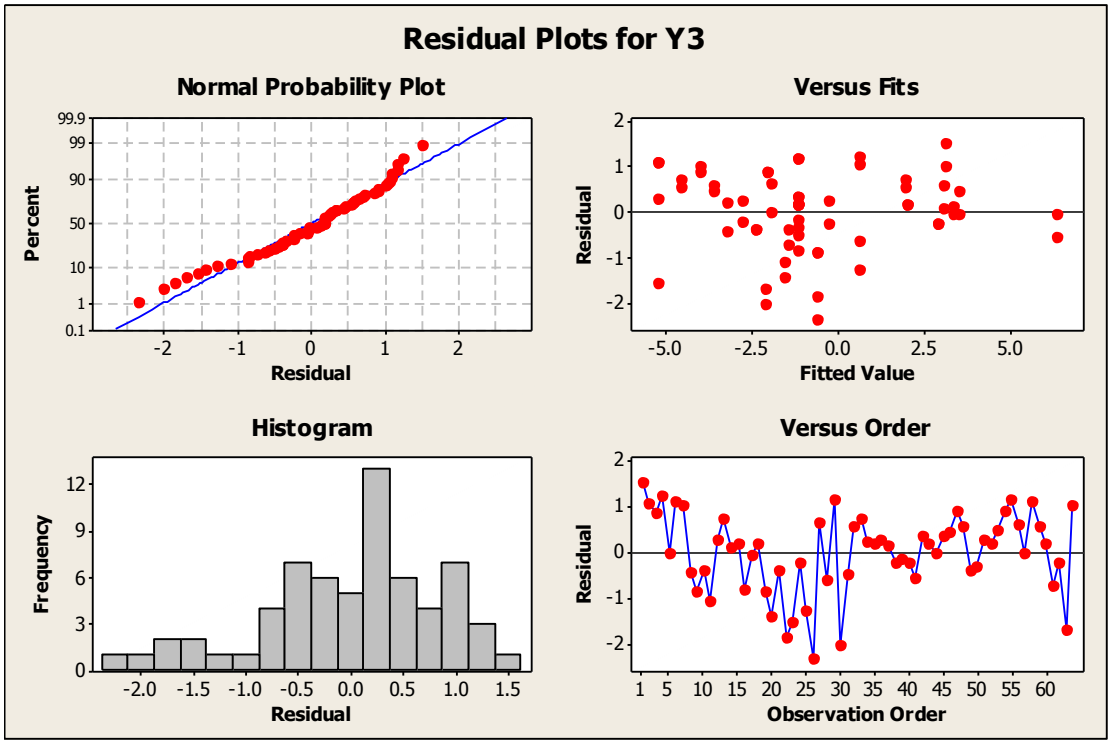
- ปัจจัยนำเข้า B : ระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง ซ้าย-ขวา จากตำแหน่งขวด : เมื่อตั้งให้ labeling station เคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวาจะส่งผลโดยตรงต่อตำแหน่งการติดของฉลากคอขวดซึ่งทำให้ปลายด้านใดด้านหนึ่งของฉลากยาวกว่าอีกด้านจนไม่สมดุลกัน ปลายด้านที่ยาวกว่าจะตกลงมาต่ำกว่าด้านที่สั้นกว่า ส่งผลให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทฉลากเหลื่อม
- ปัจจัยนำเข้า C : ความหนากาวบน glue roller เมื่อปรับให้ความหนากาวมากขึ้นจะส่งผลเล็กน้อยต่อฉ,กเหลื่อมเนื่องจากโดนผลของผลร่วม BC บดบัง

6.1.3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าสำหรับตัวแปรตอบสนอง Y_3

```
Factorial Fit: Y3 versus A, B, C, D, E

Estimated Effects and Coefficients for Y3 (coded units)

Term       Effect     Coef  SE Coef       T      P
Constant           -0.2656  0.04068   -6.53  0.000
A         -0.1979  -0.0990  0.04068   -2.43  0.027
B          5.7605   2.8802  0.04068   70.80  0.000
C          0.5937   0.2969  0.04068    7.30  0.000
D          0.6771   0.3385  0.04068    8.32  0.000
E         -0.6563  -0.3281  0.04068   -8.07  0.000
A*B       -0.8646  -0.4323  0.04068  -10.63  0.000
A*C        0.3854   0.1927  0.04068    4.74  0.000
A*D        0.5521   0.2760  0.04068    6.79  0.000
A*E       -0.4479  -0.2240  0.04068   -5.51  0.000
B*C        1.3021   0.6510  0.04068   16.00  0.000
B*D        0.4271   0.2135  0.04068    5.25  0.000
B*E       -1.1979  -0.5990  0.04068  -14.72  0.000
C*D       -0.6979  -0.3490  0.04068   -8.58  0.000
C*E        0.2604   0.1302  0.04068    3.20  0.006
D*E       -0.0313  -0.0156  0.04068   -0.38  0.706

S = 0.230112    PRESS = 3.38891
R-Sq = 99.73%   R-Sq(pred) = 98.94%   R-Sq(adj) = 99.48%

Analysis of Variance for Y3 (coded units)

Source              DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS        F      P
Main Effects         5  275.711  275.711   55.142  1041.37  0.000
  A                  1    0.313    0.313    0.313     5.92  0.027
  B                  1  265.464  265.464  265.464  5013.32  0.000
  C                  1    2.820    2.820    2.820    53.26  0.000
  D                  1    3.668    3.668    3.668    69.26  0.000
  E                  1    3.445    3.445    3.445    65.07  0.000
2-Way Interactions  10   42.162   42.162    4.216    79.62  0.000
  A*B                1    5.980    5.980    5.980   112.93  0.000
  A*C                1    1.188    1.188    1.188    22.44  0.000
  A*D                1    2.438    2.438    2.438    46.05  0.000
  A*E                1    1.605    1.605    1.605    30.31  0.000
  B*C                1   13.564   13.564   13.564   256.15  0.000
  B*D                1    1.459    1.459    1.459    27.56  0.000
  B*E                1   11.480   11.480   11.480   216.80  0.000
  C*D                1    3.897    3.897    3.897    73.59  0.000
  C*E                1    0.543    0.543    0.543    10.25  0.006
```

D*E	1	0.008	0.008	0.008	0.15	0.706
Residual Error	16	0.847	0.847	0.053		
Pure Error	16	0.847	0.847	0.053		
Total	31	318.720				

จากการพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลสามารถสรุปผลได้ว่าปัจจัยนำเข้ามีความเพียงพอต่อตัวแปรตอบสนองจากค่า R-square ที่ 99.73% และสามารถพิจารณาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อผลตอบสนองได้จากค่า P-value หากพารามิเตอร์มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการประมาณสัมประสิทธิ์ของแต่ละพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_3 แสดงให้เห็นถึงพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองด้วยเกณฑ์การตัดสินใจที่ความเชื่อมั่น 95%



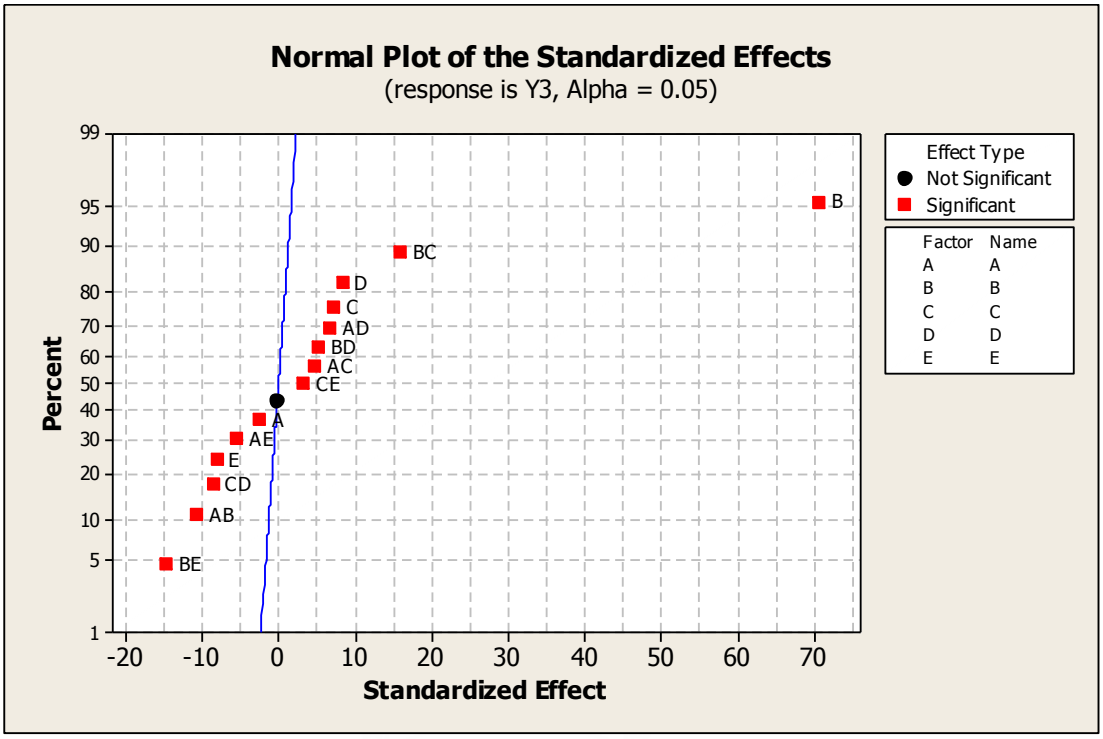
รูปที่ 43 การกระจายส่วนตกค้างของผลตอบสนอง Y_3

จากรูปที่ 43 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง Y_3 ได้ดังนี้

- กราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นการเรียงตัวของส่วนตกค้าง (residual) เรียงตัวใกล้เคียงกับเส้นตรงสอดคล้องกับการกระจายตัวแบบปกติ
- กราฟ Residual Versus Fitted value แสดงการเรียงตัวของส่วนตกค้างรอบแกนศูนย์ที่ไม่มีรูปแบบ หมายถึงข้อมูลการกระจายตัวแบบอิสระ

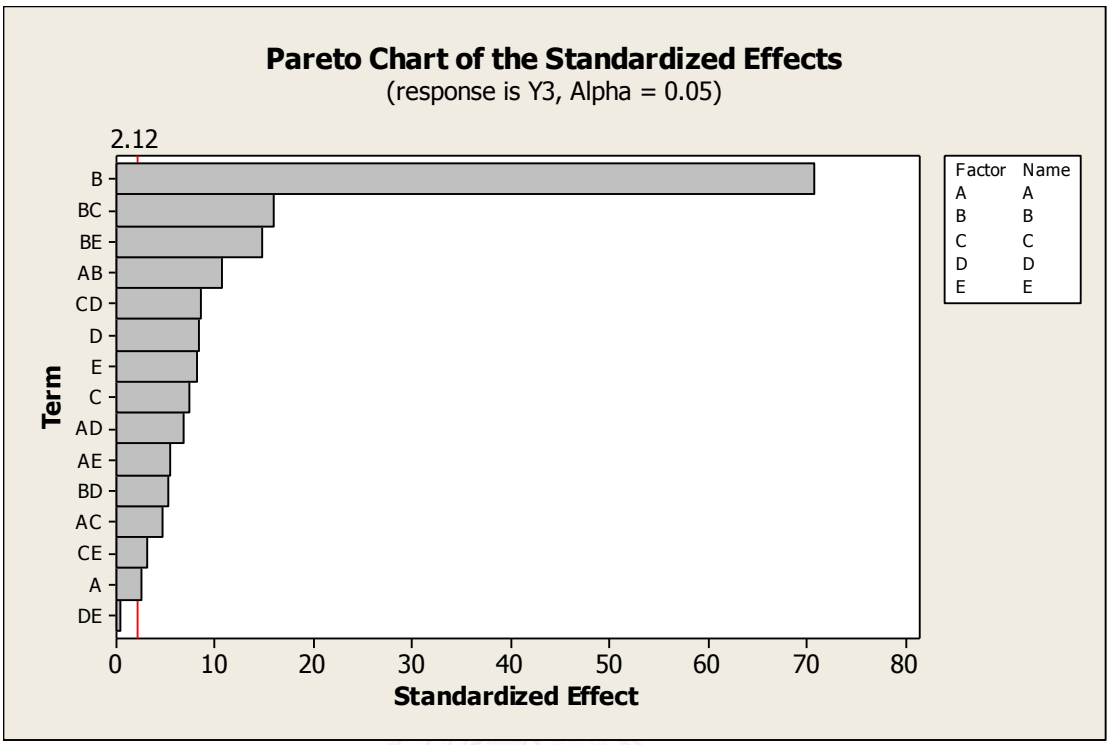
- กราฟ Histogram แสดงให้เห็นลักษณะการกระจายของส่วนตกค้างซึ่งมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำหมายถึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ
- กราฟ Residual Versus Order แสดงให้เห็นลำดับการเรียงตัวของส่วนตกค้างไม่มีรูปแบบการเรียงตัว แสดงว่าข้อมูลไม่มีรูปแบบ การเกิดส่วนตกค้างเป็นไปตามการสุ่มตามปกติ

พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อผลตอบสนอง Y_3 แสดงในรูปที่ 44 และ 45



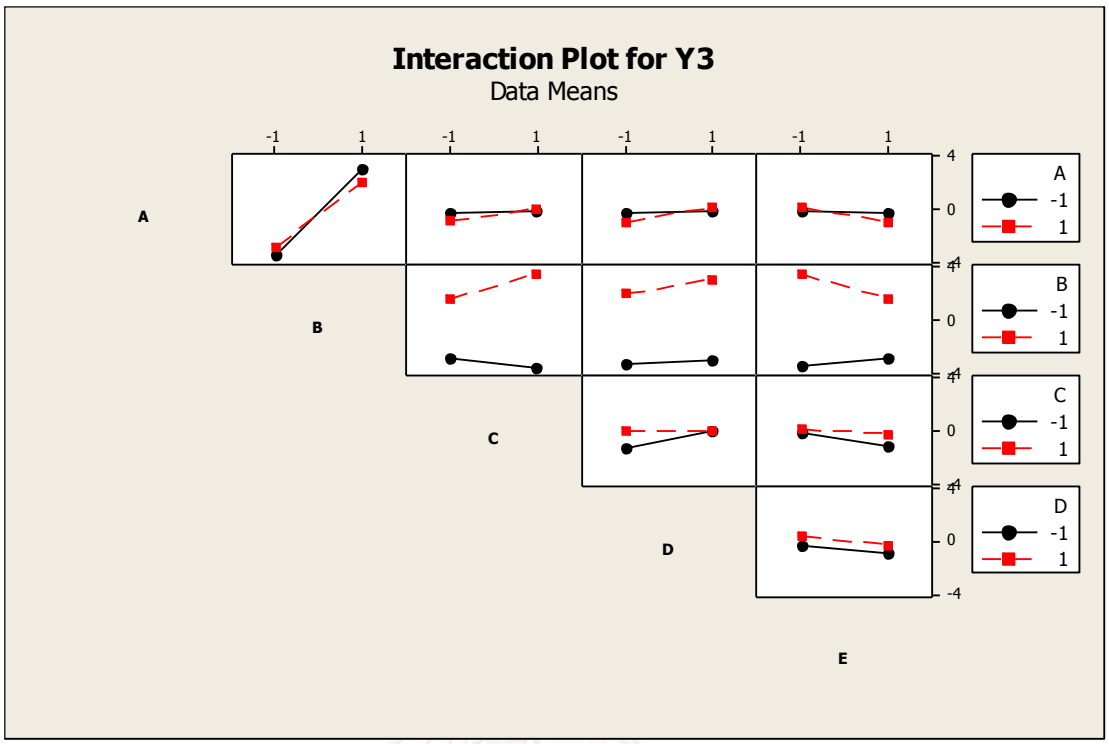
รูปที่ 44 การกระจายปกติของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ Y_3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 45 แผนภูมิพาเรโตของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ Y3

จากการพิจารณา Pareto Chart of the Standardized Effects สำหรับผลตอบสนอง Y_3 (ระยะเฉลี่ยระหว่างเส้นศูนย์กลางแนวตั้งของฉลากหน้าและฉลากคอในกลุ่มตัวอย่างทดลอง) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% Alpha = 0.05 เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นถึงผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_3 เรียงตามลำดับความมีนัยสำคัญของผลกระทบจากมากไปหาน้อย โดยกราฟแท่งของพารามิเตอร์ที่ยาวเกินเส้นขอบเขตจะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง พบว่าปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อผลตอบสนอง Y_3 ได้แก่ B, BC, BE, AB, CD, D, E, C, AD, AE, BD, AC, CE, A ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีทั้งผลกระทบจากปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยร่วมดังแสดงในรูปที่ 46



รูปที่ 46 ผลร่วมของผลตอบสนอง Y_3

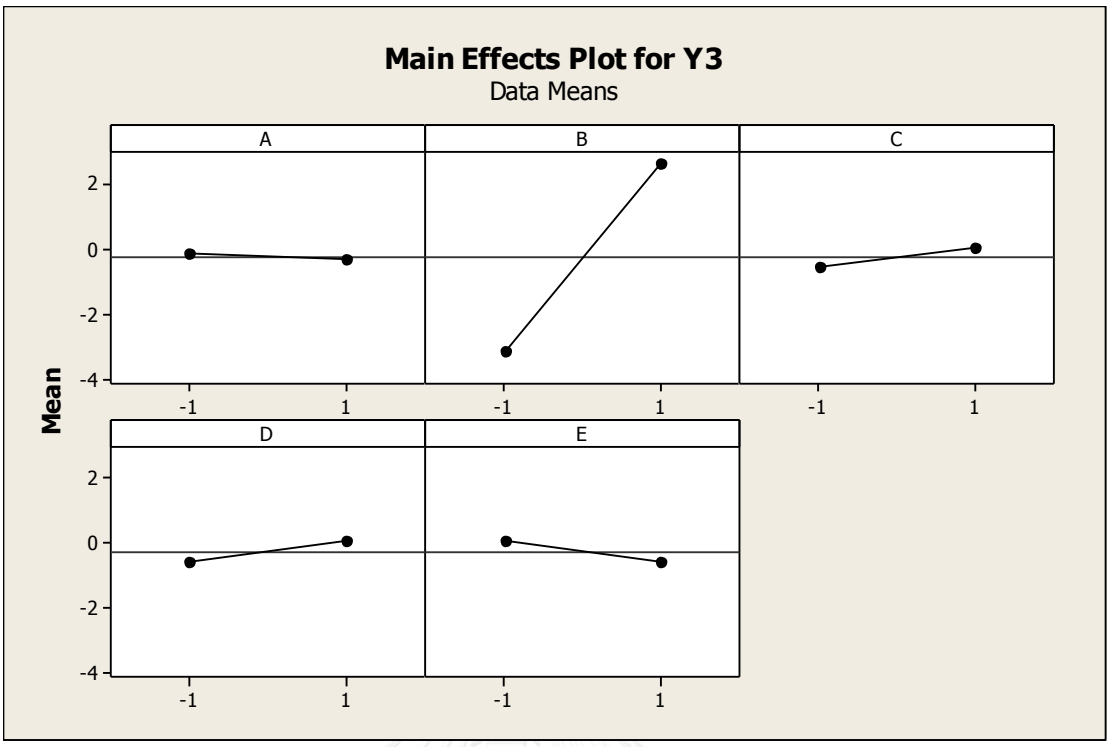
จากรูปที่ 46 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน ได้แก่ AB, AC, AD, AE, BC, BD, BE, CD, และ CE ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

- ปัจจัยร่วม AB คือระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง เข้า-ออก จากตำแหน่งขวด และระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง ซ้าย-ขวา จากตำแหน่งขวด หากปรับให้ labeling station ออกห่างจากขวดมากเกินไปจะทำให้การปรับระยะซ้าย-ขวาของ labeling station ส่งผลต่อลักษณะข้อบกพร่องประเภทโลโก้ไม่ตรงกันอย่างชัดเจน
- ปัจจัยร่วม AC คือระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง เข้า-ออก จากตำแหน่งขวด และความหนากาวบน glue roller หากปรับ labeling station ใกล้ขวดมากเกินไปและกาวมีความหนามากเกินไปจะทำให้ฟองน้ำกดฉลากและดันฉลากให้เลื่อนไถลจนเกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทโลโก้ไม่ตรงกัน
- ปัจจัยร่วม AD คือระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง เข้า-ออก จากตำแหน่งขวด และอัตราการจ่ายกาวจากปั๊มกาว หากปรับทั้งสองพารามิเตอร์ร่วมกันอย่างไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทโลโก้ไม่ตรงกัน
- ปัจจัยร่วม AE คือระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง เข้า-ออก จากตำแหน่งขวด และความดันของลมเป่าฉลาก หากปรับระยะ labeling station ห่างจากขวดและความดัน

ลมต่ำเกินไปจะทำให้ฉลากตกก่อนสัมผัสติดกับขวดและเกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทโลโก้ไม่ตรงกัน

- ปัจจัยร่วม BC คือระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง ซ้าย-ขวา จากตำแหน่งขวดและความหนากาวบน glue roller หากปรับความหนากาวสูงเกินไปจะทำให้ระยะซ้าย-ขวาของการติดฉลากลงบนขวดส่งผลให้ฉลากเลื่อนไถลไปในทิศทางนั้นๆมากขึ้นและทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทโลโก้ไม่ตรงกัน
- ปัจจัยร่วม BD คือระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง ซ้าย-ขวา จากตำแหน่งขวดและอัตราการจ่ายกาวจากปั๊มกาว หากปรับพารามิเตอร์ทั้งสองร่วมกันอย่างไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทโลโก้ไม่ตรงกัน
- ปัจจัยร่วม BE คือระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง ซ้าย-ขวา จากตำแหน่งขวดและความดันของลมเป่าฉลาก หากปรับพารามิเตอร์ทั้งสองร่วมกันอย่างไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทโลโก้ไม่ตรงกัน
- ปัจจัยร่วม CD คือความหนากาวบน glue rollerและอัตราการจ่ายกาวจากปั๊มกาว หากปรับความหนากาวและอัตราการจ่ายกาวมากเกินไปจะส่งผลต่อฉลากทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทโลโก้ไม่ตรงกัน
- ปัจจัยร่วม CE คือความหนากาวบน glue rollerและความดันของลมเป่าฉลาก หากปรับความหนากาวน้อยเกินไปและความดันลมมากเกินไปอาจทำให้ฉลากปลิวและจุดสัมผัสติดกับขวดคลาดเคลื่อนจนทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทโลโก้ไม่ตรงกัน

นอกจากนี้การทดลอง central composite design ยังสามารถศึกษาผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักได้ สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 47 ดังนี้



รูปที่ 47 ผลกระทบหลักของผลตอบสนอง Y_3

จากรูปที่ 47 แสดงผลกระทบหลักต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน จากปัจจัยนำเข้าที่สอดคล้องกับกลไกการทำงานของเครื่องติดฉลาก ได้แก่

- ปัจจัยนำเข้า A : ระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง เข้า-ออก จากตำแหน่งขวด เมื่อปรับให้ labeling station เข้า-ออก จะส่งผลต่อโลโก้ฉลาก แต่ผลถูกบดบังจากผลร่วมอื่นๆ
- ปัจจัยนำเข้า B : ระยะของการปรับ labeling station ในทิศทาง ซ้าย-ขวา จากตำแหน่งขวด เมื่อปรับตั้งให้ labeling station เคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวาจะส่งผลโดยตรงต่อตำแหน่งการติดของฉลากคอขวดซึ่งจะทำให้ไม่ตรงกันกับฉลากหน้าขวดซึ่งทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทโลโก้ไม่ตรงกันตามมา
- ปัจจัยนำเข้า C : ความหนากาวบน glue roller เมื่อปรับให้ความหนากาวมากเกินไปจะส่งผลให้ฉลากคอเลื่อนไถลไปรอบคอขวดและทำให้ตำแหน่งการติดฉลากคลาดเคลื่อนไป ส่งผลให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทโลโก้ไม่ตรงกันตามมา
- ปัจจัยนำเข้า D : อัตราการจ่ายกาว หากให้มากเกินไปจะส่งผลต่อการเลื่อนไถลของฉลาก แต่ผลถูกบดบังจากผลร่วมอื่นๆ

- ปัจจัยนำเข้า E : ความดันของลมเป่าฉลาก เมื่อปรับตั้งให้ความดันลมเป่าเพื่อช่วยดันฉลากไปสัมผัสติดกับขวดเบาเกินไป ทำให้ฉลากตกตามแรงโน้มถ่วงและอาจทำให้ระยะการติดคลาดเคลื่อนและเกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทโลโก้ไม่ตรงกันตามมา

6.2 การสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

จากการทดลอง CCD สามารถสร้างสมการคณิตศาสตร์เชิงพหุนาม (quadratic model) ได้จากวิธี stepwise regression โดยกำหนดค่า α ในการตัดสินใจเท่ากับ 0.1

6.2.1 การสร้างสมการความสัมพันธ์ของผลตอบสนอง Y_1

Response Y_1

Stepwise Regression with Alpha to Enter = 0.100, Alpha to Exit = 0.100

Forced Terms: Intercept

	Term	F Value	p-value Prob > F	R-Squared	MSE
Added	C-C	44.70729	7.48E-09	0.418971	0.040593
Added	A-A	9.312483	0.003368	0.495925	0.035794
Added	E-E	7.115328	0.009812	0.549365	0.032533
Added	CD	5.633647	0.020894	0.588644	0.0302
Added	D-D	5.259653	0.025468	0.622846	0.028167
Added	C^2	5.41699	0.023516	0.655578	0.026174
Added	E^2	4.024709	0.049677	0.678672	0.024855
Added	AE	3.658305	0.061003	0.698712	0.023728

จากการวิเคราะห์การสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการ stepwise regression พบว่าตัวแปร A, C , D, E, CD , C^2, E^2 เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง Y_1

6.2.2 การสร้างสมการความสัมพันธ์ของผลตอบสนอง Y_2

Response Y_2

Stepwise Regression with Alpha to Enter = 0.100, Alpha to Exit = 0.100

Forced Terms: Intercept

	Term	F Value	p-value Prob > F	R-Squared	MSE

Added	B-B	103.192	8.1E-15	0.624679	2.779485
Added	C^2	7.510356	0.008036	0.665823	2.515358
Added	C-C	3.445926	0.06832	0.683973	2.418387
Added	B^2	3.298535	0.074423	0.700706	2.32916
Added	BE	3.428663	0.069166	0.717411	2.237073
Added	D^2	3.025583	0.087359	0.731655	2.161583

Hierarchical terms added after Stepwise regression

D, E

จากการวิเคราะห์การสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการ stepwise regression พบว่าตัวแปร B, C , D, E, BE, C^2, D^2 เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง Y_2

6.2.3 การสร้างสมการความสัมพันธ์ของผลตอบสนอง Y_3

Response Y_3

Stepwise Regression with Alpha to Enter = 0.100, Alpha to Exit = 0.100

Forced

Terms Intercept

		F	p-value		
	Term	Value	Prob > F	R-Squared	MSE
Added	B-B	205.0223	2.51E-21	0.76781	1.996433
Added	BC	7.506932	0.008049	0.793253	1.806808
Added	BE	6.976117	0.010517	0.814787	1.645591
Added	B^2	6.933114	0.010786	0.834263	1.497509
Added	D^2	5.083398	0.027947	0.847619	1.400575
Added	AB	4.529503	0.037651	0.858836	1.320234
Added	A^2	4.784753	0.032904	0.869948	1.23803
Added	A-A	3.893906	0.053495	0.878547	1.177196
Added	CD	3.457984	0.068398	0.885856	1.126837

Hierarchical terms added after Stepwise regression

C, D, E

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการวิเคราะห์การสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการ stepwise regression พบว่าตัวแปร A, B, C , D, E, AB, BC, BE, CD, A^2, B^2, D^2 เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง Y_3

จากการวิเคราะห์การสร้างสมการความสัมพันธ์จะได้สมการของแต่ละผลตอบสนองดังนี้

$$Y_1 = 0.27 - 0.083A - 0.19C - 0.056D - 0.069E + 0.052AE + 0.073CD + 0.048C^2 + 0.037E^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 1.12 + 2.44B - 0.42C + 0.16D - 0.021E - 0.49BE - 0.65C^2 - 0.43D^2 \quad (2)$$

$$Y_3 = -1.61 + 0.31A + 2.92B + 0.10C + 0.22D + 0.017E - 0.43AB + 0.65BC - 0.60BE - 0.35CD + 0.34A^2 + 0.49B^2 + 0.39D^2 \quad (3)$$

สมการคณิตศาสตร์สามารถยืนยันความถูกต้องได้จากการพิจารณาค่า R-square adjust เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความครบถ้วนของการประมาณของสมการมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ยิ่งสมการมีความถูกต้องสมบูรณ์ค่าจะยิ่งเข้าใกล้เลข 1 ซึ่งค่า R-square adjust ของสมการ (1), (2), และ (3) มีค่า 0.71, 0.73, และ 0.87 ตามลำดับ

ปัจจัยนำเข้าผ่านการทดสอบด้วยวิธีการ stepwise regression ได้ถูกนำมารวมเข้าสมการคณิตศาสตร์ เลขสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรเป็นการบอกถึงระดับของผลกระทบของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง เครื่องหมายบวก (+) หน้าสัมประสิทธิ์หมายถึงทิศทางของเดียวกันของปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง เมื่อเพิ่มระดับของปัจจัยนำเข้าจะทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองจะเพิ่มขึ้นตามด้วย ในทางตรงกันข้ามเครื่องหมายลบ (-) หน้าสัมประสิทธิ์หมายถึงทิศทางแปรผันกันระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง การเพิ่มระดับของปัจจัยนำเข้าจะทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองลดลง

6.3 การหาค่าระดับที่ดีที่สุดของแต่ละพารามิเตอร์ด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ

การหาค่าระดับที่เหมาะสมที่สุดของการปรับพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากใช้วิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology : RSM) เป็นวิธีการที่ใช้ต่อเนื่องหลังจากที่สามารถสร้างสมการคณิตศาสตร์ได้จะนำสมการคณิตศาสตร์นั้นมาสร้างกราฟพื้นผิวเพื่อหาจุดที่สูงที่สุดหรือต่ำที่สุด (optimal solution) ที่เป็นคำตอบของการแก้ไขปัญหา

เนื่องจากการปรับปรุงเครื่องติดฉลากเกี่ยวข้องกับ 3 สมการคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงถึงลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่พบว่าเป็นปัญหามากที่สุด ซึ่งในการปรับปรุงต้องการหารูปแบบการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรเพียงรูปแบบเดียวที่จะสามารถลดลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ทั้งสามได้ การปรับที่ทำให้ลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ออกมาดีหรือเหมาะสมที่สุดอาจไม่เหมาะสมกับข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์อื่นๆที่เหลือ ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาที่มีหลายตัวแปร

ตอบสนอง (multiple responses) จึงได้นำเอาวิธีการฟังก์ชันความพึงพอใจ (desirability function) ใช้เพื่อหารูปแบบการปรับที่สามารถแก้ไขปัญหาลักษณะข้อบกพร่องทั้งสามได้อย่างลงตัวที่สุด

หลักการของฟังก์ชันความพึงพอใจเป็นการศึกษาและกำหนดค่าเป้าหมาย (target) และน้ำหนักความสำคัญ (weights) ของแต่ละตัวแปรตอบสนอง และแปลงค่าตัวแปรตอบสนองให้เป็นค่าความพึงพอใจที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 หากค่าของตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ค่าเป้าหมายของตัวแปรนั้นๆค่าความพึงพอใจจะมีค่าเข้าใกล้ 1 หากค่าของตัวแปรตอบสนองไม่อยู่ในค่าขอบเขตควบคุมค่าความพึงพอใจจะเป็น 0 ผู้วิจัยได้ศึกษาและสอบถามถึงค่าเป้าหมายและน้ำหนักความสำคัญของข้อบกพร่องผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากพับ, ฉลากเหลื่อม, โลโก้ฉลากไม่ตรงกัน สามารถสรุปได้ในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 การกำหนดค่าสำหรับฟังก์ชันความพึงพอใจ

ตัวแปรตอบสนอง	ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์	เป้าหมาย	ขอบเขตค่าควบคุม		ค่าน้ำหนักความสำคัญ
			lower limits	upper limits	
Y_1	ฉลากพับ	minimize	none	1	10
Y_2	ฉลากเหลื่อม	target=0	-2	+2	0.1
Y_3	โลโก้ไม่ตรงกัน	target=0	-4	+4	0.1

ตัวแปรตอบสนอง Y_1 เป็นตัวแปรที่เชื่อมโยงถึงลักษณะข้อบกพร่องประเภทฉลากพับ ในการนิยามนั้นหากพบว่าขวดใดมีฉลากพับขวดนั้นจะถือว่าเป็นของเสียของกระบวนการติดฉลาก แตกต่างจากลักษณะข้อบกพร่องประเภทฉลากเหลื่อมและโลโก้ฉลากไม่ตรงกันที่ค่าขอบเขตควบคุมของตัวแปรตอบสนอง Y_2 และ Y_3 เป็นค่าที่มาจากเกณฑ์ในการตัดสินในการนิยามลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ หากว่าค่าระยะของทั้งสองตัวแปรตอบสนองยังอยู่ในค่าขอบเขตควบคุมจะถือว่าเป็นลักษณะข้อบกพร่องแต่ยังไม่ระบุว่าเป็นของเสีย แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการติดฉลากก็ยังต้องการขวดที่ไม่พบลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว (ต้องการระยะของฉลากเหลื่อมและระยะของโลโก้ไม่ตรงกันต่างก็เท่ากับ 0) ดังนั้นปัญหาลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากพับจึงเป็นข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่สุดที่ต้องการลดให้เหลือน้อยที่สุดและปัญหาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากเหลื่อมและโลโก้ฉลากไม่ตรงกันมีความสำคัญรองลงมา จากการใช้ซอฟต์แวร์ Design Expert ค่าน้ำหนักความสำคัญสามารถกำหนดได้ในช่วง 0.1 ถึง 10 เรียงตามความสำคัญจากน้อยไปมากตามลำดับ

การแปลงค่าตัวแปรตอบสนองไปเป็นค่าความพึงพอใจสามารถทำได้โดยอาศัยสมการคำนวณต่อไปนี้

สำหรับ minimize Y_1 [4]

$$d_i(\hat{Y}_i)=\begin{cases}1.0 & if\ \ \hat{Y}_i(x)<T_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x)-U_i}{T_i-U_i}\right)^s & if\ \ T_i\le\hat{Y}_i(x)\le U_i \\ 0 & if\ \ \hat{Y}_i(x)>U_i\end{cases} \quad (4)$$

สำหรับทำให้ Y_2 และ Y_3 เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย [4]

$$d_i(\hat{Y}_i)=\begin{cases}0 & if\ \ \hat{Y}_i(x)<L_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x)-L_i}{T_i-L_i}\right)^s & if\ \ L_i\le\hat{Y}_i(x)\le T_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x)-U_i}{T_i-U_i}\right)^t & if\ \ T_i\le\hat{Y}_i(x)\le U_i \\ 0 & if\ \ \hat{Y}_i(x)>U_i\end{cases} \quad (5)$$

d_i คือ ค่าความพึงพอใจของตัวแปรตอบสนอง i

L_i คือ lower limits ของตัวแปรตอบสนอง i

U_i คือ upper limits ของตัวแปรตอบสนอง i

T_i คือ ค่าเป้าหมาย ของตัวแปรตอบสนอง i

$s,\ t$ คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญ

หลังจากคำนวณค่าความพึงพอใจของแต่ละตัวแปรตอบสนอง จึงคำนวณค่าความพึงพอใจโดยรวม (Overall desirability : D) ค่าความพึงพอใจโดยรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0 จนถึง 1 ยิ่งค่าเข้าใกล้เลข 1 หมายความว่าค่าระดับของตัวแปรตอบสนองทุกตัวแปรมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายของตัวแปรตอบสนองนั้นๆ สามารถคำนวณค่าความพึงพอใจโดยรวมได้จากสมการ [4]

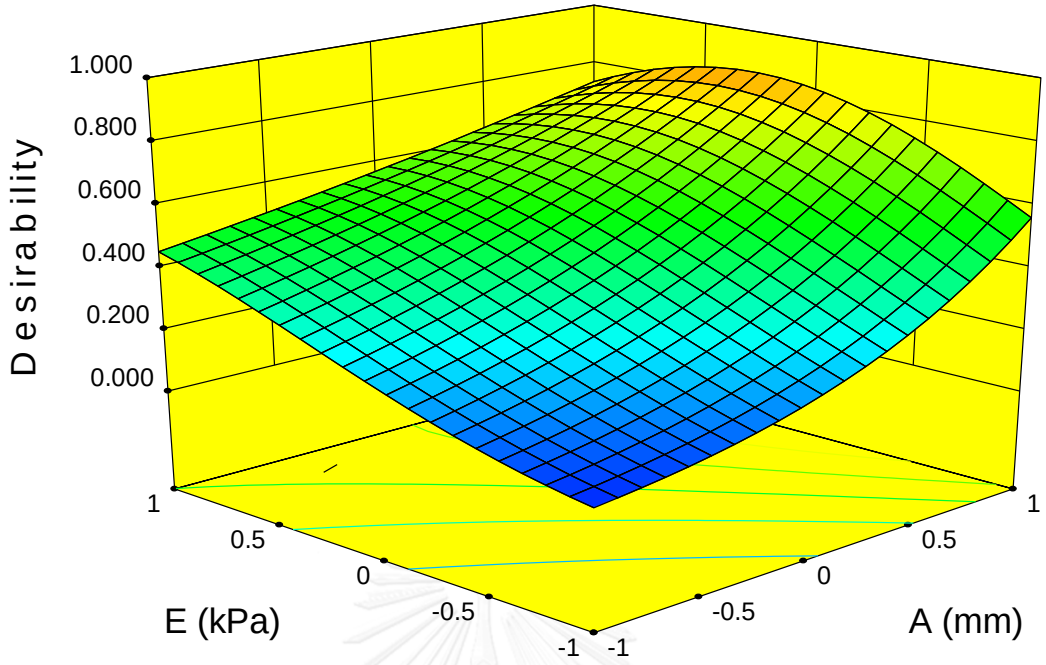
$$max\ D=(d_1(Y_1)d_2(Y_2)\ldots d_k(Y_k))^{1/k} \quad (6)$$

เมื่อ k คือจำนวนของตัวแปรตอบสนองที่ต้องการแก้ไข เราต้องการ maximize ความพึงพอใจโดยรวม ดังนั้น objective function ของการแก้ไขปัญหาลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์จากเครื่องติดฉลากคือ

$$max\ D=max\left(d_1(Y_1)\,x\,d_2(Y_2)\,x\,d_3(Y_3)\right)^{1/3} \quad (7)$$

เมื่อ $d_1(Y_1)$, $d_2(Y_2)$, และ $d_3(Y_3)$ คือค่าความพึงพอใจของตัวแปรตอบสนองลักษณะข้อบกพร่องฉลากพับ, ฉลากเหลื่อม, และโลโก้ฉลากไม่ตรงกันตามลำดับ

ผลลัพธ์จากการนำสมการ (7) มาสร้างกราฟพื้นผิวผลตอบสามารถหาคำตอบที่เป็นจุดที่มีค่าความพึงพอใจโดยรวมสูงที่สุดได้ ซึ่งจะเป็นคำตอบของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการติดฉลากด้วยการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องติดฉลาก ดังแสดงในรูปที่ 48

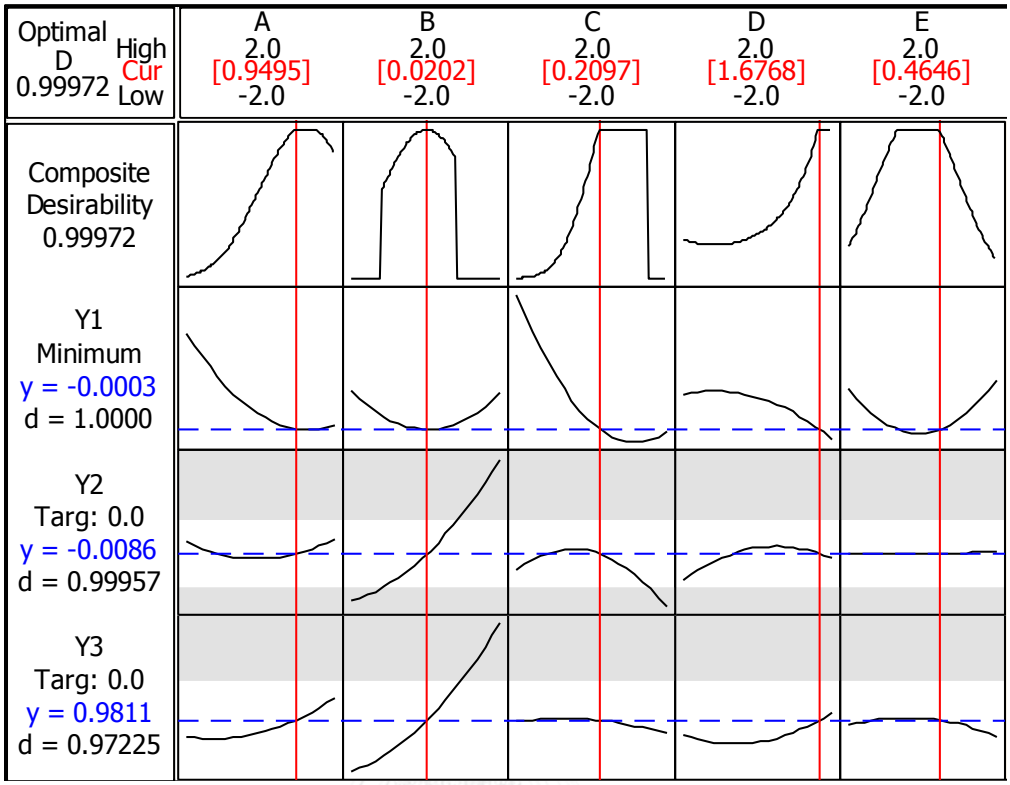


รูปที่ 48 กราฟพื้นผิวของค่าความพึงพอใจโดยรวม

ผลคำตอบค่าระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่ทำให้ค่าความพึงพอใจโดยรวมสูงที่สุด ที่ค่า 0.9997 ด้วยค่าระดับของปัจจัยนำเข้า (code unit) ดังนี้

- ปัจจัยนำเข้า A ที่ค่าระดับ 0.9495
- ปัจจัยนำเข้า B ที่ค่าระดับ 0.0202
- ปัจจัยนำเข้า C ที่ค่าระดับ 0.2097
- ปัจจัยนำเข้า D ที่ค่าระดับ 1.6768
- ปัจจัยนำเข้า E ที่ค่าระดับ 0.4646

สามารถแสดงผลค่าระดับที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าความพึงพอใจโดยรวมสูงสุดด้วยรูปที่ 49



รูปที่ 49 ผลค่าระดับที่ดีที่สุดของแต่ละพารามิเตอร์

สามารถอธิบายผลความสัมพันธ์ของค่าระดับพารามิเตอร์และผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่ได้จากรูปที่ 49 ได้ดังนี้

- ปัจจัยนำเข้า A มีค่าระดับที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ค่า 0.9495 การปรับให้มีค่าเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งที่ค่า 0.9495 จะทำให้ ผลตอบสนอง Y_2 และ Y_3 มีค่าเฉลี่ยความเหลื่อมและโลโก้ไม่ตรงมากขึ้นเนื่องมาจากระยะการกดฉลากลงบนขวดที่ใกล้เกินไปจะทำให้ฟองน้ำติดฉลากกดฉลากบนขวดด้วยแรงกดมากขณะที่ขวดหมุนตามการทำงานของเครื่องจักรทำให้ฉลากเลื่อนไถลจากการกดของฟองน้ำติดฉลากด้วย และการปรับให้มีค่าน้อยลงจากค่าระดับ 0.9495 แม้ว่าจะทำให้ผลตอบสนอง Y_3 มีค่าเฉลี่ยของโลโก้ไม่ตรงกันดีขึ้น (เข้าใกล้ค่า 0 มากขึ้น) แต่จะทำให้ผลตอบสนอง Y_1 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ฉลากพับมากขึ้น) เนื่องจากการกดฉลากที่ระยะห่างมากเกินไปทำให้ฉลากตกก่อนจะสัมผัสขวดและไม่สามารถควบคุมตำแหน่งการติดได้ และทำให้ผลตอบสนอง Y_2 แย่ลงอีกเล็กน้อย
- ปัจจัยนำเข้า B มีค่าระดับที่เหมาะสมอยู่ที่ค่า 0.0202 ซึ่งถือเป็นระดับที่ใกล้เคียงกับค่าระดับเดิมที่ใช้ที่เป็นตำแหน่งกึ่งกลางของทั้งช่วงของการปรับ labeling station ในทิศทางซ้าย-ขวา การปรับให้มีค่าเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งค่า 0.0202 จะทำให้ผลตอบสนองทั้ง Y_1 Y_2 และ Y_3 มีฉลากพับเพิ่มขึ้น เหลื่อมในทิศบวกมากขึ้นและโลโก้บนฉลากคอบิดไปทางขวามือมากขึ้นเนื่อง

การการปรับที่เกี่ยวข้อโดยตรงจากปัจจัยนำเข้า B และเป็นเช่นเดียวกันเมื่อปรับปัจจัยนำเข้า B น้อยลงจากตำแหน่งค่า 0.0202 จะทำให้ ฉลากพับมากขึ้น ฉลากเหลื่อมไปในทิศลบ และโลโก้บนฉลากคอบิดไปทางซ้ายมือมากขึ้น

- ปัจจัยนำเข้า C มีค่าระดับที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ค่า 0.2097 การปรับให้มีค่าเพิ่มขึ้นจะยิ่งทำให้ผลตอบสนอง Y_1 ดีขึ้น (ฉลากพับน้อยลง) เนื่องจากความหนากาวที่มากขึ้นจะทำให้ฉลากยึดติดกับขวดดีขึ้นและโอกาสที่จะพับเนื่องจากกาวมาไม่ทั่วถึงน้อยลง แต่จะทำให้ผลตอบสนอง Y_2 มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว (ฉลากเหลื่อมในทิศลบมากขึ้น) เนื่องจากความหนากาวที่มากขึ้นจะไปทำให้ฉลากเลื่อนไถลจนเกิดความเหลื่อม ขณะที่การปรับให้ปัจจัยนำเข้า C ให้น้อยลงจากค่าที่เหมาะสมจะส่งผลเล็กน้อยต่อผลตอบสนอง Y_2 และ Y_3 แต่จะทำให้ผลตอบสนอง Y_1 ฉลากพับเพิ่มขึ้นอย่างมากเนื่องจากความหนากาวไม่เพียงพอที่จะฉาบไปทั่วพื้นผิวการสัมผัสเป็นเหตุให้ฉลากพับ
- ปัจจัยนำเข้า D มีค่าระดับที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ค่า 1.6768 การปรับให้ค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลทางอ้อมในด้านทำให้กาวเคลื่อนที่มากขึ้นและไม่หนืดจนเกินไปทำให้การกระจายตัวบนฉลากได้ดีและฉลากพับน้อยลง อย่างไรก็ตามจะทำให้ผลตอบสนอง Y_2 และ Y_3 มีค่าห่างออกจากค่าเป้าหมายมากขึ้น การปรับให้ปัจจัยนำเข้า D มีค่าระดับน้อยลงจะทำให้ผลตอบสนอง Y_2 และ Y_3 เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ดีขึ้นเล็กน้อย แต่จะทำให้ผลตอบสนอง Y_1 แย่ลง
- ปัจจัยนำเข้า E มีค่าระดับที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ค่า 0.4646 การปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงส่งผลน้อยมากต่อผลตอบสนอง Y_2 ส่งผลเล็กน้อยต่อผลตอบสนอง Y_3 ในขณะที่ส่งผลอย่างมากต่อผลตอบสนอง Y_1 เนื่องมาจากความดันลมช่วยในการเป่าฉลากให้แนบสัมผัสติดกับขวดซึ่งจะทำให้เกิดฉลากพับน้อยลง แม้ว่าการปรับเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลตอบสนอง Y_3 ดีขึ้นเล็กน้อย (โลโก้ตรงกันมากขึ้น) แต่จะทำให้ผลตอบสนอง Y_1 แย่ลง (ฉลากพับเพิ่มขึ้น) อย่างมาก

เมื่อนำค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของการทดลองมาแปลงจากค่ารหัสของระดับเป็นค่าจริงของการปรับตั้งพารามิเตอร์ได้ดังแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 การแปลงค่าผลตอบสนอง

ปัจจัยนำเข้า	A	B	C	D	E
ค่ารหัส	0.9495	0.0202	0.2097	1.6768	0.4646
ค่าในหน่วยจริง	$0.9495 = \frac{A-18}{-1.5}$ A = 16.58	$0.0202 = \frac{B-7.5}{1.5}$ B = 7.53	$0.2097 = \frac{C-130}{10}$ C = 132.1	$1.6768 = \frac{D-40}{10}$ D = 56.77	$0.4646 = \frac{E-1}{0.3}$ E = 1.14
ค่าจริงของพารามิเตอร์เครื่องติดฉลาก	≈16.60 mm	≈7.50 mm	≈132 μm	≈60 stroke/min	≈1.1 bar

จากตารางที่ 24 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโมเดลคือ ลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องประเภทฉลากคอพับ ฉลากคอเหลื่อม และโลโก้ฉลากคอและฉลากหน้าไม่ตรงกัน อธิบายได้ว่า

1. ปัจจัยนำเข้า A ระยะห่างจากฟองน้ำติดฉลากจนถึงขวด ในทิศทางเข้า-ออกจากขวด ปรับโดยวัดระยะของสกรูวัดระยะที่ฐาน Labelling station ให้ได้ระยะ 16.58 มิลลิเมตร หรือประมาณ 16.60 มิลลิเมตรตามสเกลของเวอร์เนียคาลิปเปอร์
2. ปัจจัยนำเข้า B ระยะที่ฟองน้ำติดฉลากจะสัมผัสลงบนขวดในทิศทางซ้าย-ขวา ปรับโดยตั้งฐาน Labelling station โดยการบิดตัวปรับระยะซ้าย-ขวาให้เข็มวัดระยะชี้ไปที่ตำแหน่ง 7.53 มิลลิเมตร หรือ 7.50 มิลลิเมตรตามสเกลบนหน้าปัด
3. ปัจจัยนำเข้า C ความหนาของกาวบน glue roller ปรับโดยการบิดไมโครมิเตอร์ปรับระยะความหนาของกาวให้แสดงเลขบนหน้าปัดอยู่ที่ 132.10 ไมโครเมตร หรือประมาณ 132 ไมโครเมตรตามสเกลหน้าปัดไมโครมิเตอร์
4. ปัจจัยนำเข้า D อัตราการปั๊มจ่ายกาวขึ้นมาที่เครื่องติดฉลากของเครื่องปั๊มกาว ปรับที่ตัวเครื่องปั๊มกาวโดยบิดวาล์วควบคุมลมที่เข้าปั๊มเพื่อให้จังหวะการทำงานของปั๊มอยู่ที่ 56.77 Stroke/minute หรือประมาณ 60 Stroke/minute
5. ปัจจัยนำเข้า E ความดันลมที่ใช้ในการเป่าฉลาก ปรับวาล์วบนท่อที่ต่อจากแหล่งปล่อยลมบริเวณ labelling station ให้เข็มบนหน้าปัดชี้ไปที่ตำแหน่ง 1.14 บาร์ หรือประมาณ 1.10 บาร์บนสเกลหน้าปัด

6.1 **สรุปผลการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ**

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการโดยการออกแบบการทดลอง เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของการปรับค่าระดับพารามิเตอร์ของเครื่องติดฉลาก และสามารถนำมาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการติดฉลากที่พบปัญหาเวลาสูญเสียได้ โดยผู้วิจัยจะนำผลลัพธ์ที่ได้จากกรทดลองในขั้นตอนนี้ไปทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองในขั้นตอนต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7

การตรวจติดตามควบคุมการผลิต

ผลคำตอบที่ได้จากพื้นผิวผลตอบด้วยการดำเนินการออกแบบการทดลองเป็นผลคำตอบของรูปแบบการปรับตั้งเครื่องติดฉลากเพื่อตอบวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ต้องการลดของเสีย เวลาสูญเสียจากเครื่องติดฉลาก และความถี่ในการหยุดทำงานเครื่องติดฉลาก โดยการเลือกพิจารณา 3 ลักษณะข้อบกพร่องหลักของเครื่องติดฉลากที่เป็นสาเหตุหลักของปัญหา และเลือกปรับปรุงที่ 3 ลักษณะข้อบกพร่องดังกล่าว

7.1 การทดสอบยืนยันผล

เพื่อยืนยันผลที่ได้จากวิธีการออกแบบการทดลองและพื้นผิวผลตอบ นำผลคำตอบค่าระดับพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากที่เหมาะสมไปทดลองประยุกต์ใช้จริงเพื่อทดสอบว่าผลคำตอบสามารถนำไปใช้งานได้กับเครื่องติดฉลากหรือไม่

การทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล

ดำเนินการทดสอบโดยการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากตามค่าที่ได้จากการทดลองและวัดผลจากการวัดค่าระดับของตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ตัวแปรเช่นเดียวกันกับวิธีการออกแบบการทดลองที่ได้ทำมา ผลการทดลองประยุกต์ใช้รูปแบบค่าระดับของพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองเป็นดังตารางที่ 26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 26 ผลการทดสอบเพื่อยืนยันคำตอบ

ค่าเฉลี่ยของข้อบกพร่อง	รูปแบบการปรับแบบดั้งเดิม	ค่าจากการออกแบบการทดลอง	รูปแบบการปรับแบบใหม่	ผลการปรับปรุง
Y_1	0.19	0.01329	0.021	ลดลง 88.9%
Y_2	0.64 mm.	-0.1025 mm.	0.16 mm.	ลดลง 75.6%
Y_3	0.95 mm.	0.1325 mm.	0.24 mm.	ลดลง 75.1%

ค่าที่ได้จากการทดลองเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองซ้ำของรูปแบบการปรับพารามิเตอร์แบบดั้งเดิมที่เป็นมาตรฐานในการปรับเปรียบเทียบกับรูปแบบการปรับค่าระดับพารามิเตอร์ที่ได้จากผลลัพธ์ของการออกแบบการทดลอง พบว่ารูปแบบการปรับพารามิเตอร์ใหม่ที่ได้จากการออกแบบการ

ทดลองสามารถลดค่าเฉลี่ยของข้อบกพร่องของสัดส่วนฉลากพับ, ระยะของฉลากเหลื่อม, ระยะที่โลโก้ฉลากไม่ตรงกัน ลงได้ถึง 88.9, 75.6, และ 75.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

จากผลการทดลองสามารถยืนยันได้ว่ารูปแบบการปรับค่าพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากใหม่ที่ได้นี้สามารถประยุกต์ใช้งานได้กับเครื่องติดฉลาก จึงให้ทางโรงงานกรณีศึกษาประยุกต์ใช้รูปแบบการปรับค่าระดับพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากแบบใหม่นี้เป็นมาตรฐานใหม่ในการปรับตั้ง

7.2 การตรวจติดตามคุณภาพแผนการปรับปรุง

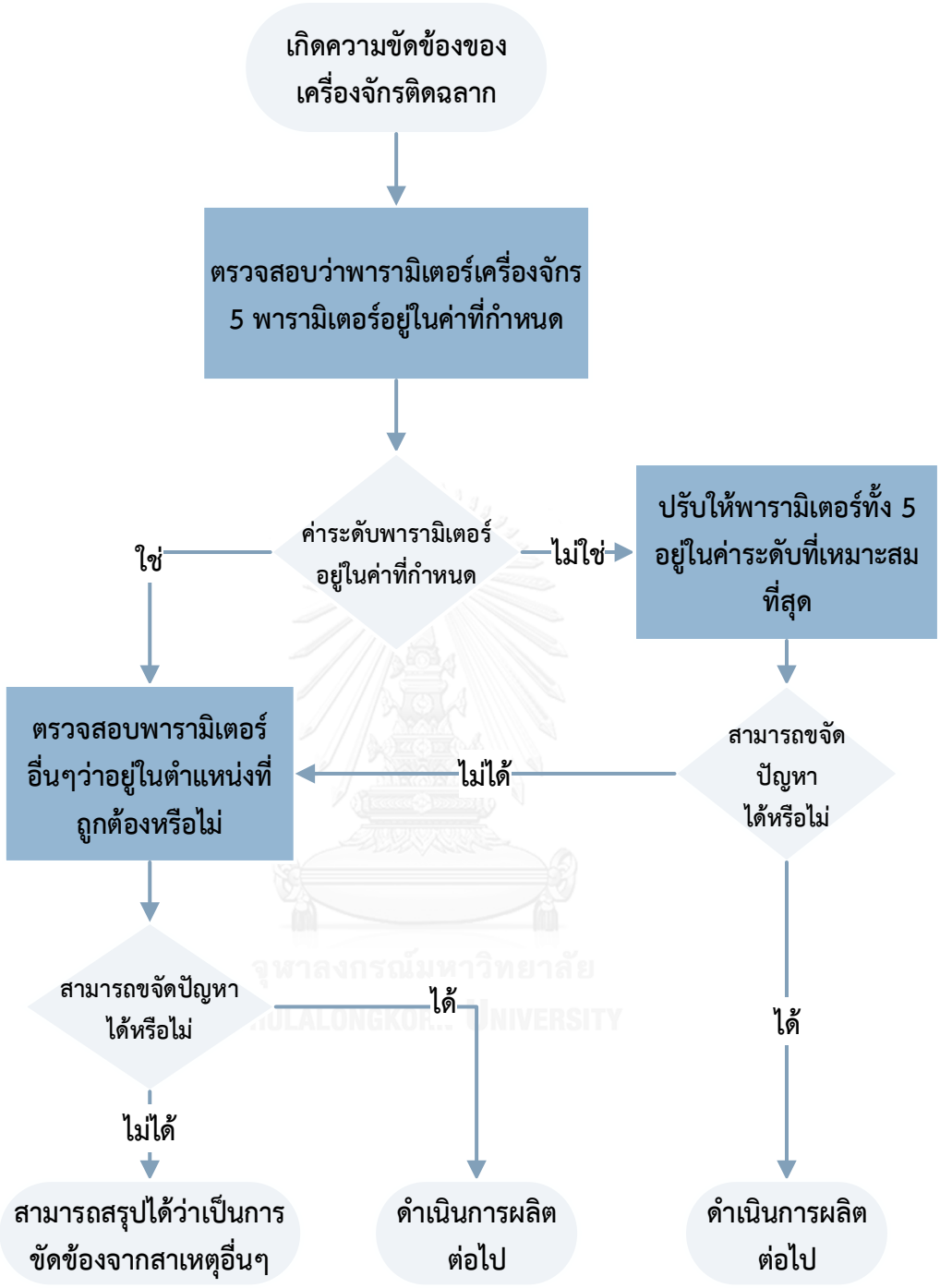
ผู้วิจัยได้ให้ทางโรงงานกรณีศึกษาทดลองใช้รูปแบบการปรับค่าพารามิเตอร์แบบใหม่นี้เป็นมาตรฐานในการปรับเครื่องติดฉลากเป็นช่วงระยะเวลา 1 เดือนเพื่อสังเกตและวัดผลการปรับปรุงที่เกี่ยวข้องกับเวลาสูญเสียที่ทางโรงงานกรณีศึกษาต้องแก้ไขปัญหา โดยแผนการนำรูปแบบการปรับพารามิเตอร์จะสอดคล้องกับขั้นตอนการทำงานปกติของทางโรงงานดังนี้

แนวทางการประยุกต์ใช้รูปแบบการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อลดของเสีย ความถี่และเวลาของการเกิด breakdown time

การนำเอารูปแบบการปรับพารามิเตอร์เครื่องจักรไปใช้นอกจากจะเป็นการปรับค่าพารามิเตอร์แล้ว ยังเป็นการกำหนดรูปแบบการแก้ไขเมื่อเกิดปัญหาการขัดข้องของเครื่องติดฉลาก รูปแบบนี้จะเป็นรูปแบบเบื้องต้นที่ช่างและผู้ปฏิบัติงานจะตรวจสอบเพื่อหาสาเหตุของความผิดปกติ

เมื่อเกิดเหตุขัดข้องของเครื่องติดฉลากจากปัญหาของเสียที่เป็นปัญหาหลักทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ ฉลากพับ ฉลากเหลื่อม และโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน จะเริ่มจากการตรวจสอบพารามิเตอร์ทั้ง 5 พารามิเตอร์ได้แก่ 1.ระยะห่างในทิศทางเข้า-ออกจากขวดของ labeling station 2.ระยะซ้าย-ขวาจากขวดของ labeling station 3.ความหนากาวบน glue roller 4.อัตราการปั๊มกาว 5.ความดันลมเป่าฉลาก ที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะข้อบกพร่องดังกล่าว หากพบว่าค่าพารามิเตอร์ไม่อยู่ในค่าที่กำหนดให้ทำการปรับพารามิเตอร์กลับมาที่ค่าที่กำหนดและตรวจสอบว่าเครื่องติดฉลากสามารถกลับมาทำงานได้ตามปกติ หากยังไม่สามารถกลับมาทำงานได้ตามปกติให้ตรวจสอบพารามิเตอร์อื่นๆ (พารามิเตอร์ในกลุ่มที่ต้องควบให้อยู่ในค่าศูนย์กลางตามรูปแบบมาตรฐาน) และตรวจสอบว่าเครื่องจักรสามารถกลับมาทำงานได้ตามปกติหรือไม่ หากเครื่องจักรยังไม่สามารถกลับมาทำงานได้สามารถสรุปได้ว่าสาเหตุของความขัดข้องมาจากสาเหตุอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับการปรับพารามิเตอร์เครื่องจักรที่ไม่เหมาะสม เช่น ชิ้นส่วนของเครื่องติดฉลากเกิดความเสียหาย ดังแสดงในรูปที่ 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 50 แผนการปรับปรุงเครื่องติดฉลาก

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมผลการประยุกต์ใช้แผนการปรับปรุงจากข้อมูลการบันทึก breakdown time ของเครื่องติดฉลากเป็นระยะเวลา 1 เดือน และเปรียบเทียบกับข้อมูล breakdown time ของ 2 เดือนก่อนหน้า สามารถสังเกตผลการปรับปรุงได้ดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ผลการปรับปรุงเครื่องติดฉลาก

เดือน	working time (ชั่วโมง)	breakdown time (BD time) : นาที	breakdown time จากสาเหตุพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม (IPBD time) : นาที	จำนวนครั้งที่เกิดการขัดข้องจากสาเหตุพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม	สัดส่วนของ IPBD time / working time
มีนาคม	145.40	830	590	13	0.068
เมษายน	171.60	695	425	11	0.042
พฤษภาคม (ปรับปรุง)	148.85	415	90	3	0.010

การประยุกต์ใช้แผนการปรับปรุงเกิดขึ้นภายในเดือนพฤษภาคม จากการเปรียบเทียบสัดส่วนเวลาสูญเสียที่มีสาเหตุมาจากการปรับค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม (IPBD time) ต่อเวลาทำงานทั้งหมด (working time) โดยอาศัยสมการ

Improving ratio = IPBD time / (working time x 60)

พบว่าค่าสัดส่วนลดลงจาก 0.068 ในเดือนมีนาคม, 0.042 ในเดือนเมษายน เหลือ 0.010 ในเดือนพฤษภาคม (เดือนที่ทำการปรับปรุง) ซึ่งหมายความว่าเวลาสูญเสียจากสาเหตุพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมลดลง และความถี่ในการเกิดจากสาเหตุค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมลดน้อยลงส่งผลให้เวลาสูญเสียประเภท breakdown time ลดลงด้วย

7.3 สรุประยะการติดตามควบคุมการผลิต

จากผลการปรับปรุงสามารถสรุปได้ว่าการใช้การออกแบบการทดลองสามารถหาพารามิเตอร์ของเครื่องติดฉลากที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เป็นสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียของโรงงานกรณีศึกษาได้ และยังสามารถนำมาวิเคราะห์หาคำตอบค่าระดับที่เหมาะสมในการปรับตั้งพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากได้ การลดเวลาสูญเสียของเครื่องติดฉลากได้นำผลรูปแบบการปรับตั้งพารามิเตอร์รูปแบบใหม่มาใช้เป็นส่วนหนึ่งในแผนการปรับปรุง ซึ่งผลหลังจากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดจำนวนโดยเฉลี่ยของเสีย ลดเวลาสูญเสียประเภท breakdown time โดยเฉลี่ย และลดความถี่ในการเกิด breakdown ลงได้

บทที่ 8

สรุปการดำเนินผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดโดยสรุปของการดำเนินงานวิจัยและผลการดำเนินงานวิจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลองและนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานกรณีศึกษา ตลอดจนข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยต่อไป โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

8.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากขั้นตอนการที่ได้ดำเนินเพื่อลดเวลาสูญเสียของกระบวนการติดฉลากตั้งแต่การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่าสาเหตุของเวลาสูญเสียมาจากของเสียจากเครื่องติดฉลากซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกประเภทของของเสียมา 3 ประเภทที่เป็นสัดส่วน 70% ของเวลาสูญเสียทั้งหมดที่มาจากเครื่องติดฉลาก ซึ่งงานวิจัยนี้จะพิจารณาเกณฑ์ลักษณะของข้อบกพร่องที่จะตัดสินใจว่าผลิตภัณฑ์ไหนเป็นของเสีย

1. ลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากพับ
2. ลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากเหลื่อม
3. ลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน

จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียจากข้อบกพร่องต่างๆด้วยแผนผังก้างปลา พบว่าสาเหตุร่วมที่เป็นสาเหตุต้นตอของปัญหาคือการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม จึงทำการศึกษาพารามิเตอร์เครื่องจักรและการกลไกการทำงานและวิเคราะห์ผลกระทบด้วย FMEA เพื่อให้ทราบผลกระทบของการปรับพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อลักษณะข้อบกพร่องจึงพบว่าสามารถแบ่งพารามิเตอร์ออกเป็นได้สองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ต้องหาค่าปรับตั้งพารามิเตอร์ที่เหมาะสมใหม่ และกลุ่มที่ต้องปรับให้เข้าสู่รูปแบบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมตามที่โรงงานกำหนด โดยในกลุ่มแรกนั้นเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมผู้วิจัยได้นำวิธีการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากและนำมาสร้างเป็นแผนการปรับปรุงเพื่อลดเวลาสูญเสีย พบว่าพารามิเตอร์ของเครื่องติดฉลากที่ส่งผลในการลดเวลาสูญเสีย คือ

- ระยะห่างจากขวดในทิศทาง เข้า-ออก ของ labeling station : A (mm.)
- ระยะห่างจากขวดในทิศทาง ซ้าย-ขวา ของ labeling station : B (mm.)
- ความหนากาวบน glue roller : C (μm.)
- อัตราการจ่ายกาวจากปั๊มกาว : D (stroke/min)
- ความดันลมเป่าฉลาก : E (bar)

การปรับพารามิเตอร์ทั้ง 5 พารามิเตอร์ตัวนี้จะส่งผลต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เป็นสาเหตุหลักของอาการขัดข้องของเครื่องจักรที่ต้องหยุดจนกลายเป็นเวลาสูญเสียซึ่งได้นำมาเป็นผลตอบสนองของการออกแบบการทดลองได้แก่

- ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากพับ : Y_1
- ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากเหลื่อม : Y_2
- ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน : Y_3

เริ่มต้นการดำเนินการทดลองด้วยการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญด้วย 2^{5-1} fractional factorial design พบว่าทุกปัจจัยนำเข้าส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนองทั้งสาม ดังนั้นทุกปัจจัยนำเข้าจึงได้รวมเข้าสู่การทดลอง CCD ในขั้นถัดไป

การทดลองตามรูปแบบการทดลอง CCD เป็นการปรับพารามิเตอร์และทดลองเพื่อวัดผลสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าระดับที่เหมาะสมที่สุด โดยที่ในงานวิจัยนี้มี 3 ผลตอบสนอง จึงมีสมการความสัมพันธ์ 3 สมการ การหารูปแบบการปรับพารามิเตอร์ที่จะทำให้ผลตอบทั้งสามออกมาลงตัวที่สุดได้ใช้ desirability function ในการหาผลคำตอบที่ดีที่สุด

ผลของการออกแบบการทดลองทำให้ได้รูปแบบการปรับเพื่อลดค่าระดับของข้อบกพร่องทั้ง 3 ข้อบกพร่องซึ่งจะเป็นการลดโอกาสการเกิด breakdown ของเครื่องติดฉลาก ส่งผลให้จำนวนครั้งของการ breakdown และ breakdown time ลดลง ดังต่อไปนี้

- จำนวนครั้งในการเกิดเหตุขัดข้องของเครื่องติดฉลากลดลง จาก 11 ครั้งในเดือนก่อนการประยุกต์ใช้แผนการปรับปรุงลดลงเหลือ 3 ครั้งในเดือนที่ทำการประยุกต์ใช้ผล คิดเป็น 72.72%

- เวลาสูญเสียประเภท breakdown time ลดลงจาก 695 นาทีในเดือนก่อนทำการประยุกต์ใช้แผนการปรับปรุงลดลงเหลือ 415 นาทีในเดือนที่ทำการประยุกต์ใช้ผล คิดเป็น 40.28% จากผลการปรับปรุงที่ดีขึ้นสามารถทำให้สรุปได้ว่าผลการดำเนินงานวิจัยได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้

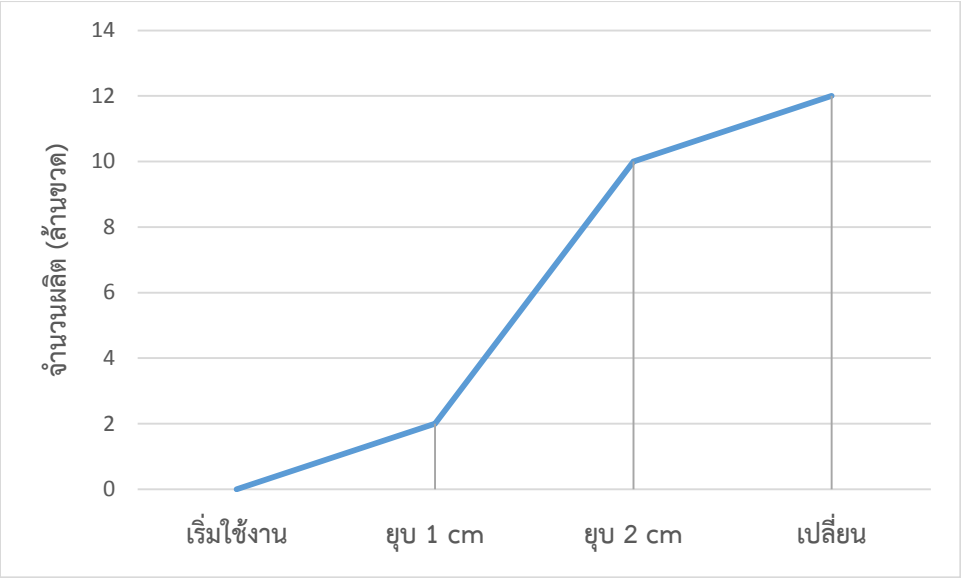
8.2 ข้อเสนอแนะ

จากการนำรูปแบบใหม่การปรับค่าพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากไปใช้งานนั้นในสถานการณ์จริงแล้ว มี 2 พารามิเตอร์ที่ยังมีความจำเป็นต้องปรับแก้ไขอีกเล็กน้อยระหว่างดำเนินการผลิตเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ได้แก่ พารามิเตอร์ A และ B ที่เป็นการปรับระยะเข้า-ออก และ ซ้าย-ขวา ของ labeling station ตามลำดับ สาเหตุหลักเนื่องมาจากการยุบตัวของฟองน้ำติดฉลากเมื่อผ่านการใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการยุบตัว ดังนั้นเพื่อปรับปรุงการทำงาน ผู้วิจัยได้ศึกษาพฤติกรรมการยุบตัวของฟองน้ำติดฉลากเพิ่มเติม

จากพฤติกรรมของฟองน้ำติดฉลากที่เมื่อผ่านการใช้งานติดฉลากลงบนขวดจะเกิดการยุบตัวลง เป็นเหตุให้เกิดเหตุการณ์ขึ้นดังนี้

- การยุบตัวของฟองน้ำทำให้ระยะที่ฟองน้ำจะสัมผัสถึงขวดลดลง สามารถแก้ไขโดยการปรับระยะ เข้า-ออกของ labeling station เข้าใกล้ขวดมากขึ้นเพื่อชดเชยการยุบตัวของฟองน้ำ
- รูปร่างการยุบตัวของฟองน้ำที่ยุบลงไม่สมมาตรกันทำให้รูปแบบการสัมผัสติดฉลากลงบนขวดของฟองน้ำเปลี่ยนไป สามารถแก้ไขโดยการปรับระยะ ซ้าย-ขวา ของ labeling station เพื่อชดเชยรูปร่างการยุบตัวที่เปลี่ยนไปของฟองน้ำติดฉลาก

จากการศึกษาการหยุดการทำงานของเครื่องติดฉลากโดยพิจารณาเฉพาะสาเหตุที่มาจากการยุบตัวของฟองน้ำติดฉลาก สามารถคาดคะเนช่วงระยะเวลาที่ฟองน้ำติดฉลากจะยุบตัวได้จากจำนวนขวดที่ทำการติดฉลาก นอกจากนี้ยังพบว่าข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์จะเกิดขึ้นเมื่อฟองน้ำเกิดการยุบตัวโดยประมาณที่ 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 51 พฤติกรรมการยุบตัวของฟองน้ำติดฉลาก

จากรูปที่ 51 กราฟแสดงช่วงระยะเวลาเฉลี่ยที่ฟองน้ำติดฉลากจะยุบตัวจนกระทั่งถึงจุดที่ควรเปลี่ยนฟองน้ำติดฉลากใหม่ภายใต้การดำเนินการผลิตด้วยอัตราการผลิตปกติ โดยในการใช้งานการปรับปรุง เมื่อเริ่มต้นใช้งานฟองน้ำติดฉลากใหม่ พารามิเตอร์ A ระยะ เข้า-ออก จากขวดของ labeling station จะถูกตั้งค่าที่ระดับที่เหมาะสมที่สุดจากการตั้งค่า set screw เมื่อเครื่องจักรทำงานไปถึงช่วงเวลาโดยเฉลี่ยที่ฟองน้ำจะเกิดการยุบตัวสามารถปรับระยะโดยการปรับ set screw ซึ่งสามารถติดตั้งได้ 3 ตัวแต่ละตัวถูกปรับให้กำหนดระยะแตกต่างกัน 1 มิลลิเมตร ได้แก่ 16, 15 และ 14 มิลลิเมตรตามลำดับ ปรับได้โดยการคลายสกรูยึด labeling station และหมุนเปลี่ยน set screw ตัวที่ตั้งไว้ให้ labeling station เคลื่อนที่เข้าใกล้ขวดมากขึ้น เช่น เมื่อเริ่มใช้งานฟองน้ำติดฉลากใหม่จนกระทั่ง จากนั้นก็ยึดตำแหน่ง labeling station เพื่อดำเนินการผลิตต่อไปจนกระทั่งถึงจุดเวลาที่ฟองน้ำติดฉลากจะเริ่มยุบตัวครั้งแรกให้ทำการปรับเปลี่ยน set screw จากตัวที่ความสูง 16 มิลลิเมตร ไปเป็นตัวที่มีความสูง 15 มิลลิเมตร เมื่อฟองน้ำติดฉลากจะเกิดการยุบตัวครั้งที่สองให้ปรับเปลี่ยน set screw จากตัวที่ความสูง 15 มิลลิเมตร ไปเป็นตัวที่มีความสูง 14 มิลลิเมตร และเมื่อถึงจุดที่ฟองน้ำจะไม่สามารถใช้งานต่อได้ (จำนวนผลิตประมาณ 12 ล้านขวด หรือประมาณ 300 ชั่วโมง) จึงทำการเปลี่ยนฟองน้ำใหม่

การปรับปรุงด้วยการศึกษาพฤติกรรมการยุบตัวของฟองน้ำติดฉลากจะสามารถช่วยลดการเกิดอาการขัดข้องของเครื่องจักรจากสาเหตุฟองน้ำยุบตัวได้ อีกทั้งช่วยลดเวลาในการตรวจสอบหาสาเหตุอาการขัดข้องได้จากการพิจารณาเวลาที่ฉลากถูกใช้งาน ซึ่งจะเป็นผลดีหากสามารถศึกษาเพื่อหารูปแบบการปรับตั้งพารามิเตอร์เครื่องติดฉลากที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการหดตัวของฟองน้ำติดฉลากอย่างละเอียดได้

รายการอ้างอิง

[1] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, หลักการควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2007.

[2] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, การวิเคราะห์ระบบการวัด. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2010.

[3] ปารเมศ ชุติมา, การออกแบบทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2003.

[4] Derringer, G. and Suich, R. Simultaneous optimization of several response variables. J. Qual. Technol., vol. 12, pp. 214-221, 1980.

[5] Montgomery, D. C., Design and Analysis of Experiments: John Wiley & Sons, Inc., 2009.

[6] Park, K. and Ahn, J.-H. Design of experiment considering two-way interactions and its application to injection molding processes with numerical analysis. Journal of Materials Processing Technology, vol. 146, pp. 221-227, 2/28/ 2004.

[7] Sung-Il, K., Jung-Pyo, H., Young-Kyoun, K., Hyuk, N., and Han-Ik, C. Optimal design of slotless-type PMLSM considering multiple responses by response surface methodology. Magnetics, IEEE Transactions on, vol. 42, pp. 1219-1222, 2006.

[8] Prakash, P., Chitradevi, A., Anand, T., Arasu, R., Narendrakumar, G., and Masilamani Selvam, M. Optimization of Humic acid Production using RSM-CCD, its Characterization and Applications on Vigna mungo. International Journal of ChemTech Research, vol. 6, pp. 1531-1537, 2014.

[9] Demirel, M. and Kayan, B. Application of response surface methodology and central composite design for the optimization of textile dye degradation by wet air oxidation. International Journal of Industrial Chemistry, vol. 3, pp. 1-10, 2012/10/02 2012.

[10] Sugashini, S. and Begum, K. M. M. Optimization using central composite design (CCD) for the biosorption of Cr(VI) ions by cross linked chitosan carbonized

rice husk (CCACR). Clean Technologies and Environmental Policy, vol. 15, pp. 293-302, 2013/04/01 2013.

[11] Poroch-Seritan, M., Gutt, S., Gutt, G., Cretescu, I., Cojocaru, C., and Severin, T. Design of experiments for statistical modeling and multi-response optimization of nickel electroplating process. Chemical Engineering Research and Design, vol. 89, pp. 136-147, 2011.

[12] กันตา สุวรรณฤทธิ์, การลดของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกมา วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2010.

[13] วิทยา เจนจิวัฒนกุล, การลดของเสียในกระบวนการพิมพ์พลาสติกโดยแนวทางซิกส์ ซิกมา วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2011.

[14] ทิชา แสนสม, การลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์โดยใช้แนวทางซิกส์ ซิกมา วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2008.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ตารางการทดลอง half CCD

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E	Y1	Y2	Y3
15	1	1	1	-1	1	1	1	-1	0.166667	4.3334	4.6667
18	2	-1	1	2	0	0	0	0	0.166667	0.3334	1.6667
41	3	1	1	-1	-1	-1	1	-1	0.5	-4	-3.1667
50	4	-1	1	2	0	0	0	0	0.166667	0.5	1.8334
12	5	1	1	1	1	-1	1	-1	0.166667	3.1667	3.3334
37	6	1	1	-1	-1	1	-1	-1	0.5	-4	-4.1667
47	7	1	1	-1	1	1	1	-1	0.333333	4	4.1667
34	8	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0.666667	-3.3334	-3.6667
36	9	1	1	1	1	-1	-1	1	0.666667	1.8334	-1.5
6	10	1	1	1	-1	1	-1	1	0.166667	-2.8334	-2.8334
54	11	-1	1	0	0	2	0	0	0	-3.8334	-2.6667
51	12	-1	1	0	-2	0	0	0	0.5	-4	-5
3	13	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0.833333	4.1667	2.6667
39	14	1	1	-1	1	1	-1	1	0.166667	3.3334	3.1667
43	15	1	1	-1	1	-1	1	1	0.333333	2.6667	2.1667
29	16	0	1	0	0	0	0	0	0.166667	0.5	-2
20	17	-1	1	0	2	0	0	0	0.333333	4.3334	6.3334
31	18	0	1	0	0	0	0	0	0	-0.5	-1
4	19	1	1	1	1	-1	-1	1	0.833333	2	-1.5
22	20	-1	1	0	0	2	0	0	0	-3.3334	-3
10	21	1	1	1	-1	-1	1	1	0.333333	-1.6667	-1.8334
49	22	-1	1	-2	0	0	0	0	0.666667	3.1667	-2.5
19	23	-1	1	0	-2	0	0	0	0.333333	4.1667	-6.8334
1	24	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.666667	-2.5	-3
24	25	-1	1	0	0	0	2	0	0.333333	0.3334	-0.6667
17	26	-1	1	-2	0	0	0	0	0.5	3	-3
21	27	-1	1	0	0	-2	0	0	0.833333	0.8334	-1.3334
56	28	-1	1	0	0	0	2	0	0.166667	0.5	0
59	29	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0
57	30	-1	1	0	0	0	0	-2	0.666667	1	-4.1667
27	31	0	1	0	0	0	0	0	0.166667	0.16667	-1.6667
7	32	1	1	-1	1	1	-1	1	0	3.3334	3.6667
13	33	1	1	-1	-1	1	1	1	0.166667	-3.8334	-3.8334
2	34	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0.666667	-2.8334	-3

ภาคผนวก ก (ต่อ)

ตารางการทดลอง half CCD

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E	Y1	Y2	Y3
7	32	1	1	-1	1	1	-1	1	0	3.3334	3.6667
13	33	1	1	-1	-1	1	1	1	0.166667	-3.8334	-3.8334
2	34	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0.666667	-2.8334	-3
11	35	1	1	-1	1	-1	1	1	0.333333	3.1667	2.1667
33	36	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.666667	-2.5	-2.5
44	37	1	1	1	1	-1	1	-1	0.333333	3.5	3.5
16	38	1	1	1	1	1	1	1	0	2.5	2.6667
61	39	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1.3334
48	40	1	1	1	1	1	1	1	0	2.8334	2.6667
52	41	-1	1	0	2	0	0	0	0.333333	4	5.8334
32	42	0	1	0	0	0	0	0	0.333333	0.5	-0.8334
28	43	0	1	0	0	0	0	0	0.5	0.6667	-1
8	44	1	1	1	1	1	-1	-1	0	3	3.5
62	45	0	1	0	0	0	0	0	0.5	1	-0.8334
46	46	1	1	1	-1	1	1	-1	0.166667	-3.6667	-3.1667
58	47	-1	1	0	0	0	0	2	0.166667	0.5	-1.1667
45	48	1	1	-1	-1	1	1	1	0.333333	-3.5	-4
38	49	1	1	1	-1	1	-1	1	0	-2.5	-2.8334
30	50	0	1	0	0	0	0	0	0.166667	0.16667	-1.5
23	51	-1	1	0	0	0	-2	0	0	-1.3334	0
63	52	0	1	0	0	0	0	0	0.166667	0	-1
40	53	1	1	1	1	1	-1	-1	0.166667	3.3334	4
26	54	-1	1	0	0	0	0	2	0.166667	0.6667	-1.1667
64	55	0	1	0	0	0	0	0	0.333333	1	0
14	56	1	1	1	-1	1	1	-1	0	-3.6667	-3
53	57	-1	1	0	0	-2	0	0	1	0.5	-2
5	58	1	1	-1	-1	1	-1	-1	0.666667	-3.8334	-4.1667
35	59	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0.666667	3.6667	2.5
60	60	0	1	0	0	0	0	0	0.166667	0.8334	-1
42	61	1	1	1	-1	-1	1	1	0.333333	-1.6667	-2.1667
55	62	-1	1	0	0	0	-2	0	0.166667	-1.6667	-0.5
25	63	-1	1	0	0	0	0	-2	0.666667	1	-3.8334
9	64	1	1	-1	-1	-1	1	-1	0.5	-3.8334	-3

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภูธิป อินทรักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2533 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555 และได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University