การปรับปรุงประสิทธิภาพการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ

โดย
นางสาวภิญญ์สุประภา สุขะปุณพันธุ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การปรับปรุงประสิทธิภาพการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ

โดย
นางสาวภิญญ์สุประภา สุขะปุณพันธุ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF AUTOMATIC PACKING MACHINE FOR INSTANT RICE.

By

MISS Pinsuprapa SUKHAPUNNAPHAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Engineering (ENGINEERING MANAGEMENT)

Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2021

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การปรับปรุงประสิทธิภาพการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ
โดย	ภิญญ์สุประภา สุขะปุณพันธุ์
สาขาวิชา	การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ)

620920095 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : การควบคุมคุณภาพ, การออกแบบการทดลอง, ลดของเสีย, การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปที่ 2 ระดับ

นางสาว ภิญญ์สุประภา สุขะปุณพันธุ์: การปรับปรุงประสิทธิภาพการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ โดยใช้แผนภูมิภาพพาเรโตมาวิเคราะห์หาปัญหาหลัก โดยผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลพบว่ามีการสูญเสียเวลาในการเปลี่ยนม้วนฟิล์ม, การ set code date และการแก้ปัญหารอย ซีลซองไม่สนิท จึงได้นำหลักการเครื่องมือคุณภาพมาวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยใช้แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) และแก้ปัญหาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการบรรจุ ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือปฏิบัติงาน หลังจากปรับปรุงและนำมาใช้จริงในกระบวนการผลิตสามารถลดเวลาที่สูญเสียจากปัญหาการหยุดเครื่องจักรลงไปได้ 1.27 ชั่วโมง หรือคิดเป็นอัตราลดลงร้อยละ 33.87 และสามารถเพิ่มโอกาสในการขายได้อีก 68,200 บาทต่อเดือน ส่วนปัญหาจากรอยซีลซองไม่สนิท ผู้วิจัยได้ศึกษาระดับปัจจัยในการปรับตั้งค่าเครื่องจักรให้เหมาะสม โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง Design of Experiment แบบ 2^K Full Factorial Design จากการวิเคราะห์พบว่ามี 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อุณหภูมิ แรงกด ความเร็วและเวลาในการซีลซอง โดยทำการทดลองซ้ำแบบละ 2 ครั้ง จำนวนการทดลองทั้งสิ้น 32 การทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องบรรจุที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 130°C, แรงกด 0.45 Mpa, ความเร็ว 50 ซองต่อนาที และเวลาในการซีลซอง 1 วินาที เมื่อนำผลจากการวิจัยมาใช้ในกระบวนการทำงานจริงพบว่าการสูญเสียฟิล์มลดลง 6.78 ม้วน หรือคิดเป็นอัตราลดลงร้อยละ 87.82 สามารถลดต้นทุนได้ 16,950 บาทต่อเดือน

620920095 : Major (ENGINEERING MANAGEMENT)
Keyword : Quality control, Design of experiment, Wast reduction, 2K full factorial design

MISS PINSUPRAPA SUKHAPUNNAPHAN : EFFICIENCY IMPROVEMENT OF AUTOMATIC PACKING MACHINE FOR INSTANT RICE. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR PRACHUAB KLOMJIT, Ph.D.

The objective of this research was to improve the efficiency of the packing process of semi-finished dried rice by automatic packaging machine by using the Pareto chart to analyze the main problem. The researcher collected the data and found that there was a loss of time in changing the film roll, setting code date, and solving the problem of incomplete sealing envelopes. The quality tool principle is therefore analyzed to determine the cause by using the fishbone diagram and solve the problem to increase the efficiency of the packing process. The researcher developed an operational manual after it was revised and put into practice. The production process can reduce the time lost from the machine stop problem by 1.27 hours, or a reduction of 33.87%, and can increase sales opportunities by 68,200 baht per month. As for the problem of the incomplete sealing envelopes, the researcher studied the level of factors in adjusting the machine to be suitable by using the experimental design principles of 2^K Full Factorial Design. From the analysis, it was found that there were four main factors: temperature, pressure, speed, and sealing time. The experiment was repeated twice each. The total number of trials was 32 trials. Data were collected and the results of the experiments were analyzed statistically. The results from the experiment showed that the factors for adjusting the packing machine appropriately had a temperature of 130°C, a pressure of 0.45 Mpa, a speed of 50 packs per minute, and a sealing time of 1 second. When applying the results of research into the actual working process, it was found that the loss of film was reduced by 6.78 rolls or a reduction of 87.82%, and a cost reduction of 16,950 baht per month.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยการสนับสนุนและความกรุณาให้คำปรึกษาในงานวิจัยเล่มนี้ของรองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของงานวิจัยนี้ ด้วยการแนะนำและให้ความรู้ในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนตรวจสอบรายละเอียดข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลงได้ด้วยดี และขอขอบคุณคณะกรรมการอาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่แหล่ม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ ซึ่งได้เสียสละและกรุณาให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยให้เสร็จสมบูรณ์ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่อนุเคราะห์แบ่งสรรเวลาให้ทำการทดลอง และพนักงานที่ให้ความสนับสนุนทำการทดลองและนำไปปฏิบัติจนสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนคณะอาจารย์ภาควิชาอุตสาหการและการจัดการทุกท่านที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการศึกษาด้วยดีมาตลอด

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนให้ได้รับการศึกษามาตลอด ขอบคุณเพื่อน พี่ และน้องร่วมการศึกษาสำหรับความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ จนวิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ภิญญ์สุประภา สุขะปุณพันธุ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1.1 ทฤษฎีทางคุณภาพ 4

2.1.2 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง 13

2.1.3 ทฤษฎีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ (Two-Level Factorial Design, 2^K) 19

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 33

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 37

3.1 ศึกษากระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป ด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ 38

3.2 ศึกษาสภาพการบรรจุก่อนการปรับปรุง 40

3.3 วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อใช้เป็นปัจจัยในการทดลอง 43

3.4 ออกแบบการทดลองเพื่อลดปัญหาการซีลซอง 46
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย 50
4.1 ดำเนินการแก้ปัญหาการเปลี่ยนม้วนฟิล์ม 51
4.1.1 ผลดำเนินการก่อนปรับปรุง 51
4.1.2 ผลดำเนินการแก้ไขด้วยการใช้หลักเหตุและผล 52
4.1.3 ผลดำเนินการหลังปรับปรุง 54
4.1.4 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง 55
4.2 ดำเนินการแก้ปัญหาการ Set code date (การตั้งพิมพ์ Code) 56
4.2.1 ผลดำเนินการก่อนปรับปรุง 56
4.2.2 ผลดำเนินการแก้ไขด้วยการใช้หลักการเหตุและผล 58
4.2.3 ผลดำเนินการหลังปรับปรุง 60
4.2.4 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง 61
4.3 ดำเนินการแก้ปัญหาการซีลซองไม่สนิท 63
4.3.1 ผลดำเนินการก่อนปรับปรุง 63
4.3.2 ผลดำเนินการทดลองโดยใช้การทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ 2^k Full Factorial Design 65
4.3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^K Full Factorial Design 67
4.3.4 ผลดำเนินการหลังปรับปรุง 78
4.3.5 ผลการเปรียบเทียบผลที่ได้ก่อนและหลังปรับปรุง 79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 81
5.1 สรุปผลการวิจัย 81
5.2 ข้อเสนอแนะ 83
รายการอ้างอิง 84
ภาคผนวก 91

ภาคผนวก ก การเก็บข้อมูลการทดลอง 91

ภาคผนวก ข การใช้โปรแกรม Minitab 16 97

ประวัติผู้เขียน 109

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แนวความคิดในการใช้กลวิธีแก้ปัญหาคุณภาพ (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)..... 8
ตารางที่ 2 องค์ประกอบตัวแบบสถิติเชิงเส้นของผลตอบสนองสำหรับแผนการทดลองพื้นฐาน 18
ตารางที่ 3 การออกแบบแผนการทดลองแฟคทอเรียลสองระดับ กรณีสามปัจจัย 21
ตารางที่ 4 สมมติฐานสำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับสามปัจจัย 21
ตารางที่ 5 คอนทราสต์ของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับสามปัจจัย..... 24
ตารางที่ 6 ข้อมูลธรรมชาติ สำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ 31
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติ สำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ 31
ตารางที่ 8 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิต ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม 2563 . 41
ตารางที่ 9 แสดงการสูญเสียฟิล์มในการผลิตตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2563 43
ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ 4M ของปัญหา..... 45
ตารางที่ 11 การแบ่งระดับปัจจัย..... 46
ตารางที่ 12 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย 49
ตารางที่ 13 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม 2563 51
ตารางที่ 14 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมีนาคม2564..... 54
ตารางที่ 15 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ..... 55
ตารางที่ 16 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม2563.. 57
ตารางที่ 17 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมีนาคม2564..... 60
ตารางที่ 18 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ..... 62
ตารางที่ 19 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม2563.. 63
ตารางที่ 20 แสดงการสูญเสียฟิล์มในการผลิตตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวามคม2563..... 64

ตารางที่ 21 จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง 66
ตารางที่ 22 ตารางบันทึกผลการทดลอง 66
ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลอง 72
ตารางที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์ Response 74
ตารางที่ 25 ปัจจัยและคุณลักษณะปัจจัยป้อนเข้าที่เหมาะสม 75
ตารางที่ 26 แสดงการสูญเสียฟิล์มในการผลิตตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมีนาคม2564 78
ตารางที่ 27 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมีนาคม2564 78
ตารางที่ 28 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 79
ตารางที่ 29 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 80
ตารางที่ 30 ตารางเปรียบเทียบผลงานวิจัย 82
ตารางที่ 31 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 82
ตารางที่ 32 การเก็บข้อมูลเวลาการเดินเครื่องจักรและปัญหาที่เกิดจากเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ Line.L ก่อนการปรับปรุง 92
ตารางที่ 33 การเก็บข้อมูลเวลาการเดินเครื่องจักรและปัญหาที่เกิดจากเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ Line.L หลังการปรับปรุง 93
ตารางที่ 34 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเวลาการเดินเครื่องจักร Line.L 94
ตารางที่ 35 การออกแบบการทดลองและบันทึกผลการทดลองโดยนำค่าปัจจัยมาใช้งาน 95
ตารางที่ 36 บันทึก parameter การใช้งานเครื่องบรรจุอัตโนมัติ Line.L 96

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 กิจกรรมการควบคุมคุณภาพในการจัดการธุรกิจ 5

ภาพที่ 2 แนวความคิดการควบคุมคุณภาพสมัยใหม่ 5

ภาพที่ 3 หลักการของพาเรโต 9

ภาพที่ 4 วิธีการแสดงแผนภาพพาเรโต 9

ภาพที่ 5 ตัวแบบ SIPOC 10

ภาพที่ 6 ตัวอย่างแผนภูมิการไหลของกระบวนการ 10

ภาพที่ 7 การประยุกต์ใช้กราฟ 11

ภาพที่ 8 โครงสร้างแผนภาพก้างปลา 12

ภาพที่ 9 ตัวอย่างแผนภาพก้างปลาแบบกำหนดรายการสาเหตุ 13

ภาพที่ 10 กล่องความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องในการส่งผ่านสู่ผลตอบสนองที่ต้องการ (Transferred Box of Relevant Factors to Meet Required Response) 17

ภาพที่ 11 กล่องความสัมพันธ์สำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับสามปัจจัย กรณีไม่พิจารณาปัจจัยที่รบกวนระบบ 20

ภาพที่ 12 การแจกแจงปกติของความผิดพลาดจากการทดลองแบบสุ่ม 28

ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ของความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มและลำดับที่ของการทดลอง 28

ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ของความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มและค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองในแต่ละระดับ 29

ภาพที่ 15 อิทธิพลของปัจจัยหลักและอิทธิพลของสองปัจจัยร่วมของข้อมูลธรรมชาติ สำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ 32

ภาพที่ 16 การวิเคราะห์ความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มข้อมูลธรรมชาติ สำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ 32

ภาพที่ 17 แผนภาพกระบวนการผลิตข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป 39

ภาพที่ 18 แผนภาพกระบวนการผลิตข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป 40
ภาพที่ 19 แผนภาพพาเรโตแสดงประเภทการหยุดของเครื่องจักรระหว่างผลิต 41
ภาพที่ 20 ตัวอย่างปัญหาที่เกิดจากการซีลซองไม่สนิท 43
ภาพที่ 21 แผนภาพเหตุและผลที่มีต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการบรรจุ 44
ภาพที่ 22 ตัวอย่างช่วงของค่ามาตรฐานในคู่มือเครื่องบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป (โดยจำเพาะ) .. 47
ภาพที่ 23 วิธีการร้อยฟิล์มในคู่มือเครื่องบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป (โดยจำเพาะ) โดยค่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการซีลซองอยู่ระหว่าง 110-130 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับฟิล์มโพลี ... 47
ภาพที่ 24 แผนภาพเหตุและผลที่มีต่อผลต่อประสิทธิภาพการผลิต 50
ภาพที่ 25 เครื่องบรรจุอัตโนมัติ 51
ภาพที่ 26 Work Instruction (WI) คู่มือวิธีปฏิบัติงานการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปและอบรมให้กับพนักงาน 53
ภาพที่ 27 จัดทำใบความรู้เฉพาะเรื่องวิธีการร้อยฟิล์มที่เครื่องบรรจุและอบรมให้กับพนักงาน 53
ภาพที่ 28 การร้อยม้วนฟิล์มของเครื่องบรรจุ 54
ภาพที่ 29 เวลาหยุดเครื่องจักรเนื่องจากปัญหาการเปลี่ยนม้วนฟิล์มก่อนและหลังปรับปรุง 56
ภาพที่ 30 ก่อนปรับปรุง set code date ต้องทำการ set รายละเอียดการพิมพ์ใหม่ทุกครั้ง 59
ภาพที่ 31 หลังปรับปรุงการ set code date โดยตั้งเมนูให้พนักงานเลือกใช้ตามชื่อสินค้า 59
ภาพที่ 32 รูปแบบการพิมพ์ set code date แต่ละสินค้าที่ผลิต 60
ภาพที่ 33 เวลาหยุดเครื่องจักรเนื่องจากปัญหาการ set code date ก่อนและหลังปรับปรุง 62
ภาพที่ 34 Residual item 68
ภาพที่ 35 การแจกแจงแบบปกติ Normal Probability plot 69
ภาพที่ 36 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง 69
ภาพที่ 37 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับ Fitted Value 70
ภาพที่ 38 ผลการวิเคราะห์ Full Factorial Design 71
ภาพที่ 39 ปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม Interaction 73

ภาพที่ 40 ผลการตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสม 75
ภาพที่ 41 ชุดซีลซองเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ 76
ภาพที่ 42 การนำค่าระดับปัจจัยมาปรับใช้ในการตั้งพารามิเตอร์ที่เครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ 76
ภาพที่ 43 ตั้งค่าระดับปัจจัยเวลาในการซีลเท่ากับ 1 sec 77
ภาพที่ 44 ตั้งค่าระดับปัจจัยความเร็วในการบรรจุ 50 ซองต่อนาที 77
ภาพที่ 45 ตั้งค่าระดับปัจจัยอุณหภูมิในการซีล 130 °C 77
ภาพที่ 46 ตั้งค่าระดับปัจจัยแรงกด 0.45 Mpa 77
ภาพที่ 47 ปริมาณการสูญเสียฟิล์มเนื่องจากปัญหาการซีลซองก่อนและหลังปรับปรุง 80
ภาพที่ 48 Icon โปรแกรม Minitab 98
ภาพที่ 49 หน้าโปรแกรม 98
ภาพที่ 50 หน้าแถบเมนู 98
ภาพที่ 51 ปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design 99
ภาพที่ 52 ปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design-Design 99
ภาพที่ 53 ปรากฏที่หน้าต่าง Create Factorial Design 100
ภาพที่ 54 ปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design 100
ภาพที่ 55 ผลการออกแบบการทดลองแบบ 2^K Full Factorial Design 101
ภาพที่ 56 การเลือกคำสั่งในการจัดลำดับการทดลอง 101
ภาพที่ 57 การเลือกคำสั่งในการจัดลำดับการทดลอง Standard order 102
ภาพที่ 58 ผลการจัดลำดับการทดลอง Standard order 102
ภาพที่ 59 การใส่ค่าผลการทดลอง (Response) 103
ภาพที่ 60 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response) 103
ภาพที่ 61 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response) 104
ภาพที่ 62 ปรากฏหน้าต่างชื่อ Analyze Factorial Design-Graphs 104
ภาพที่ 63 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response) 105

ภาพที่ 64 การเลือกคำสั่ง Factorial Plots 105
ภาพที่ 65 การเลือกคำสั่ง Interaction Plot 106
ภาพที่ 66 Interaction Plot 106
ภาพที่ 67 การเลือกคำสั่ง Response Optimizer 107
ภาพที่ 68 การระบุค่า Lower Target Upper 107
ภาพที่ 69 ผลของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม 108

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

อุตสาหกรรมอาหาร ถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่สำคัญของไทย เนื่องจากไทยมีผลผลิตทางการเกษตรปริมาณมาก และนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทยมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง แต่ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาตลาดของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีการเติบโตเฉลี่ยเพียงแค่ 2-3% อันเนื่องมาจากเศรษฐกิจที่ชะลอตัวและพฤติกรรมการบริโภคของคนไทยที่เปลี่ยนไป ผู้บริโภคมีทางเลือกมากขึ้นจากอาหาร ready to eat หรืออาหารพร้อมรับประทานที่มีจำหน่ายในร้านสะดวกซื้อที่เข้ามาแย่งชิงพื้นที่ในการเป็นตัวเลือกของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นแล้วกระแสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากประเทศเกาหลีและญี่ปุ่นก็เริ่มเป็นที่นิยมในหมู่ผู้บริโภคชาวไทยเช่นกัน นี้จึงเป็นผลทำให้ตลาดของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทยถูกจำกัดการเติบโต จากการสำรวจตลาดบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป พบว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่นำเข้าจากประเทศเกาหลีและญี่ปุ่นได้รับความนิยมอย่างมากในกลุ่มวัยรุ่นคนไทย ในช่วง 1-2 ปีที่ผ่านมาสามารถแย่งส่วนแบ่งทางการตลาดของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทยได้มากขึ้น ส่วนหนึ่งมาจากความแปลกใหม่ของรสชาติและความนุ่มของเส้นบะหมี่ โดยผู้บริโภคไม่ได้คำนึงถึงแม้ว่าจะมีราคาสูงกว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปของไทยก็ตาม แม้ว่าจะมีการแข่งขันทางการตลาดของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทยสูงขนาดไหน การที่ผู้ผลิตนำกลยุทธ์ปรับรูปแบบบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปของไทยให้เป็นสินค้าพรีเมียม และมุ่งเน้นสุขภาพเข้ามาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้ภาพรวมของตลาดบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทย โดยคาดการณ์ว่าตลาดรวมปี 2564 น่าจะมียอดเติบโต 4-5% จากปีก่อน โดยมีมูลค่ารวมประมาณ 20,000 ล้านบาท แบ่งเป็นมาม่าประมาณ 45% ไวไว 24% ตามด้วยยำยำ 22% แบรนด์อื่น ๆ 9% ส่วนที่น่าสนใจคือแบรนด์อื่น ๆ ที่ 6% เป็นสัดส่วนของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากต่างประเทศ โดยเฉพาะเกาหลีที่พยายามบุกหนักและทำให้ตลาดรวมโตขึ้นมาก ด้วยอัตราการบริโภคบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปของคนไทยเฉลี่ย 50 ชิ้นต่อคนต่อปี ในภาวะที่ตลาดสู่การเริ่มอิ่มตัว ดังนั้นการเพิ่มส่วนแบ่งของตลาดจึงไม่ได้เป็นมูลเหตุสำคัญในการที่จะกระตุ้นยอดขาย แต่การมองหากลยุทธ์อื่นเข้ามาช่วยเสริมน่าจะเป็นผลดีต่อการกระตุ้นการเติบโตของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในไทย ทั้งนี้ ผู้ผลิตและผู้จัดจำหน่ายบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเองได้นำกลยุทธ์การพัฒนาสินค้าพรีเมียมที่เน้นการรักสุขภาพและสินค้าที่มีรสชาติแปลกใหม่ ทยอยออกมาวางจำหน่าย ทั้งในรูปแบบถ้วยและซองในราคาที่สูงขึ้น เพื่อปรับกลุ่มผู้บริโภคมาจับอยู่ในกลุ่มตลาดพรีเมียม ซึ่งคาดว่าจะเป็นแนวโน้มที่จะมีการเติบโตที่ดี และตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น ด้วยความใส่ใจในสุขภาพของผู้บริโภคช่วงนี้ ผู้ผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจึงได้พัฒนากระบวนการผลิตสำหรับเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ

ด้วยกระบวนการอบเส้นหมี่ และเส้นก๋วยเตี๋ยวหรือเส้นอื่น ๆ เพื่อรองรับการเติบโตของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่นำเข้ามาอย่างเกาหลีและญี่ปุ่น พร้อมทั้งยังสร้างตลาดใหม่สำหรับสินค้ากลุ่มโจ๊ก และข้าวต้มให้แก่ผู้บริโภคที่รักสุขภาพอีกด้วย โดยในปี 2560 มาม่าได้เริ่มผลิตข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูปและเพิ่มการขายในปี 2563 โดยผลิตภัณฑ์โจ๊กและข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูป เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ที่มีวิถีชีวิตแบบเร่งรีบมากขึ้น เนื่องจากมีเวลาน้อยในการเตรียมอาหาร ทำให้ผลิตภัณฑ์โจ๊กและข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูปได้รับการตอบรับในตลาดมากขึ้นด้วยวิธีการเตรียมสะดวกรวดเร็วเพียงเติมน้ำร้อน จากการสำรวจตลาดของสินค้ากลุ่มนี้พบว่ามีมูลค่ารวม 2,000 ล้านบาท แบ่งเป็นคนอร์ 80% มาม่า 10% และอื่น ๆ 10%

ตลอดปี 2563 ที่ผ่านมา การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ได้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการใช้ชีวิตของคนทั่วโลก โดยมาตรการปิดเมือง หรือล็อกดาวน์ ทำให้วงจรเศรษฐกิจหยุดชะงัก อย่างไม่เคยปรากฏมาก่อน สำหรับประเทศไทยในช่วงแรกที่เกิดการแพร่ระบาดนั้น ภาครัฐได้ออกมาตรการต่าง ๆ เพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจ ทำให้ผลประกอบการของกลุ่มบริษัทฯในรอบปี 2563 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นธุรกิจผลิตสินค้าบริโภค ได้รับผลกระทบไม่มากนัก แต่ถึงกระนั้นผลิตภัณฑ์กลุ่มโจ๊กและข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูปที่เพิ่งออกตลาดไปยังคงได้รับผลกระทบในส่วนของยอดขายที่ลดน้อยลง บริษัทฯจึงจำเป็นที่จะต้องลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นโดยยังคงไว้ซึ่งคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ ด้วยการลดของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตที่สามารถทำให้เกิดความได้เปรียบในการแข่งขันในตลาดเพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการในการลดของเสียที่ใช้ในอุตสาหกรรมคือการใช้ work study เพื่อศึกษากระบวนการเพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวต้มอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป ซึ่งมีกระบวนการผลิตหลัก ๆ ดังนี้

1. การผลิตข้าวอบแห้ง ที่ใช้กระบวนการการผลิตทำให้ได้ข้าวต้มแบบไม่ต้องต้ม เพียงเติมน้ำร้อนก็สามารถรับประทานได้

2. กระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปรสชาติต่าง ๆ โดยนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาประยุกต์ใช้

กรณีศึกษานี้ ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่กระบวนการบรรจุข้าวต้มอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป ซึ่งเป็นสินค้ากลุ่มใหม่ที่ออกวางจำหน่ายได้เพียงไม่นาน และด้วยสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ทำให้มีต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นจากราคาวัตถุดิบที่ปรับตัว และยอดขายที่ลดน้อยลง จากปัญหาดังกล่าวที่ได้อธิบายมา ผู้วิจัยจึงนำวิธี Work study มาใช้เพื่อศึกษากระบวนการที่มีปัญหาเพื่อลดต้นทุนและปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต ด้วยการลดการสูญเสียฟิล์มที่ใช้ในการผลิต เนื่องจากการศึกษาพบว่าในกระบวนการบรรจุข้าวต้มอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป ที่เครื่องบรรจุข้าวต้มอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป พบว่ามีปัญหาการปิดผนึกของการซีลฟิล์ม จึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไข โดยมีการหาข้อมูลเกี่ยวกับฟิล์ม Metalized และศึกษาการทำงานของ

เครื่องบรรจุซอง โดยงานวิจัยในครั้งนี้ได้นำหลักการทฤษฎี (Lean) หรือระบบการผลิตที่มุ่งเน้นในเรื่องการไหล (Flow) ของงานเป็นหลัก โดยกำจัดความสูญเปล่า (Waste) ที่เกิดในกระบวนการผลิตต่างๆ ของงาน และหาแนวทางเพิ่มคุณค่า (Value) ให้กับผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง เพื่อความพึงพอใจของลูกค้า (Customer Satisfaction) เป็นสำคัญ ด้วยการนำการออกแบบการทดลอง Design of Experiment แบบ 2^k Full Factorial Design เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของพารามิเตอร์เครื่องบรรจุอัตโนมัติในการ มาประยุกต์ใช้ในกรณีศึกษานี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ

1.2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังการปรับปรุง เช่น ต้นทุน เวลา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ดำเนินการศึกษากระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

1.3.2 ศึกษาการทำงานของเครื่องบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

1.3.3 วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีประสิทธิภาพโดยใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

1.3.4 วางแผนและดำเนินการแก้ไขปรับปรุงโดยนำหลักการออกแบบการทดลอง Design of Experiment แบบ 2^k Full Factorial Design มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อลดปัญหาของเสีย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถศึกษากระบวนการบรรจุข้าวต้มอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

1.4.2 ได้ผลการวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

1.4.3 สามารถลดปริมาณของการสูญเสียฟิล์มของเครื่องบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

1.4.4 สามารถลดต้นทุนการใช้ฟิล์มและเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องบรรจุอัตโนมัติ Line.L

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล และดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีทางคุณภาพ

ในสภาวะการตลาดของสินค้าอุปโภคและบริโภคมีการแข่งขันค่อนข้างสูงส่งผลให้องค์กรต้องดำเนินธุรกิจตามวิวัฒนาการของโลกยุคปัจจุบัน และยังต้องมีการปรับตัวอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองตามความต้องการของผู้บริโภค ที่มีความต้องการสินค้าหลากหลายและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าและบริการนั้นก็คือ คุณภาพของสินค้าและบริการนั่นเอง

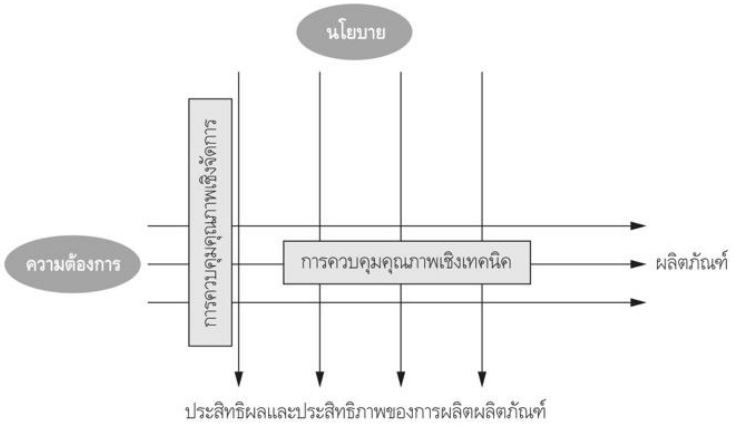
2.1.1.1 คุณภาพ

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550) กล่าวว่าความหมายของคุณภาพ หรือ Quality มีความหมายหลากหลาย แต่โดยรวมแล้วมีวัตถุประสงค์เดียวกัน คือ ความพยายามให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่สามารถขายได้ เพื่อให้ประสบผลสำเร็จในด้านธุรกิจ โดยขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของลูกค้าเป็นหลัก คุณภาพจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ รูปแบบที่หนึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการสร้างความพึงพอใจต่อลูกค้า (มีผลต่อการสร้างรายได้ทางธุรกิจ) และอีกรูปแบบหนึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการลดความไม่พึงพอใจของลูกค้า(มีผลต่อการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตและบริการ) ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพและผลประกอบการทางธุรกิจที่ประกอบด้วยการใช้ประโยชน์กับการสร้างรายได้ คุณภาพจะยิ่งมีบทบาทมากขึ้นในธุรกิจที่มีการแข่งขันมาก เพื่อเพิ่มขีดความสามารถด้านการแข่งขันในตลาดโลก

2.1.1.2 การควบคุมคุณภาพ

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550) กล่าวว่าการควบคุมคุณภาพ หมายถึง การกำกับดูแลเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณภาพ เป็นกระบวนการในการรักษาไว้ซึ่งความพึงพอใจของลูกค้า ประกอบไปด้วยกระบวนการรักษาไว้ (maintenance) และกระบวนการปรับปรุง (improvement) อยู่ภายใต้แนวความคิดของการจัดการกระบวนธุรกิจ การควบคุมคุณภาพจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การควบคุมคุณภาพเชิงเทคนิค (หรือกิจกรรมในแนวนอน) และการควบคุมคุณภาพเชิงการจัดการ (หรือกิจกรรมในแนวดิ่ง เพราะเป็นการดำเนินการภายใต้ลำดับชั้นบังคับบัญชาขององค์กร) ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าในกระบวนการควบคุมคุณภาพเชิงเทคนิคจะให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า โดยเน้นถึงกลไกการตรวจรับมากกว่าการป้องกัน ในขณะที่กระบวนการ

ควบคุมคุณภาพเชิงการจัดการจะให้ความสำคัญกับความมีประสิทธิผลและความมีประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยเน้นถึงวิธีการค้นหาสาเหตุเพื่อการป้องกันมากกว่า



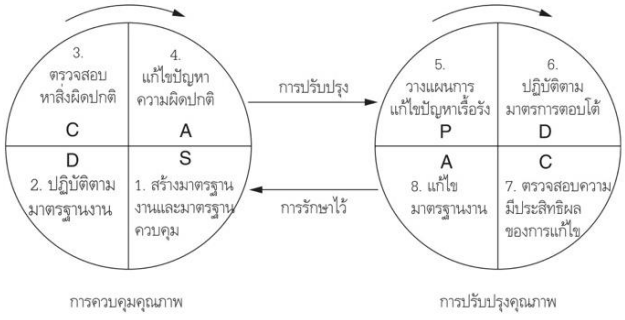
ภาพที่ 1 กิจกรรมการควบคุมคุณภาพในการจัดการธุรกิจ

ประสิทธิผล (effective) หมายถึง การบรรลุตรงตามจุดประสงค์ของกระบวนการ หรือความสามารถในการขายได้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้

ประสิทธิภาพ (efficiency) หมายถึง ความคุ้มค่าของปัจจัยป้อนเข้า (input) ที่มีการเพิ่มมูลค่าให้เป็นผลผลิต (output) ที่มีประสิทธิผล

หรือ $$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ผลผลิตที่มีประสิทธิผล}}{\text{ปัจจัยป้อนเข้า}}$$

ธุรกิจสมัยใหม่มีการใช้เทคโนโลยีการผลิตค่อนข้างสูงและการบริหารองค์กรมีความซับซ้อนมากขึ้น จึงแยกการควบคุมคุณภาพออกจากการวางแผนคุณภาพ และมุ่งเน้นที่การรักษาไว้และปรับปรุงให้ระดับคุณภาพขององค์กรสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แนวความคิดการควบคุมคุณภาพสมัยใหม่

ประจวบ กล่อมจิตร (2557) กล่าวว่าการปรับปรุงคุณภาพ ตามแบบ PDCA เป็นกิจกรรมพื้นฐานในการพัฒนาประสิทธิภาพและคุณภาพของการดำเนินงาน ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน คือ วางแผน ปฏิบัติงาน ตรวจสอบ และปรับปรุง โดยพิจารณาการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ โดยใช้วิธีการ 4M+1C หรือปัจจัยในการผลิต คือ Man Machine Material Method และ Condition การแก้ปัญหาที่จะนำมาแก้ไข จะพิจารณาจากแนวทางต่าง ๆ จากนโยบายเป้าหมายหรือของกิจการ กำหนดเกณฑ์ในการประเมิน เช่น ความรุนแรง, มูลค่าความเสียหาย, กระทบต่อความปลอดภัย, ความยากง่ายในการแก้ไข, ความคุ้มค่าของการลงทุน, ความเร่งด่วน เป็นต้น และการระดมสมองหรือการประชุมเพื่อเลือกปัญหาสำคัญมาแก้ไขก่อน

กระบวนการควบคุมคุณภาพในด้านการจัดการ Gryna (2001: 5) และ De Feo and Barnard (2004: 87) ได้สรุปขั้นตอนหลัก ๆ ไว้ 6 ขั้นตอน คือ

1. การเลือกหัวข้อควบคุม (control subject)

2. การกำหนดกระบวนการวัด

3. การกำหนดมาตรฐานของผลงาน ซึ่งอาจจะหมายถึงเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ และ/หรือเป้าหมายของกระบวนการก็ได้

4. การวัดผลงานที่เกิดขึ้นจริง (actual performance)

5. การเปรียบเทียบผลงานที่เกิดขึ้นจริงกับมาตรฐานเพื่อการนิยามปัญหา

6. การปฏิบัติการแก้ไขกับปัญหา เพื่อให้ผลงานที่เกิดขึ้นจริงตรงตามมาตรฐานที่กำหนด

การควบคุมคุณภาพแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

1. การควบคุมคุณภาพก่อนเริ่มกระบวนการผลิต (All-line quality control/quality of design) คือ การเลือกตัวชี้วัดสำหรับใช้ในการควบคุมการผลิตและผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเบี่ยงเบนน้อยที่สุด โดยการออกแบบตามทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมที่มีได้อย่างเหมาะสม โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) และวิธีการของทากุชิ (Takushi method)

2. แผนการชักตัวอย่างระหว่างการผลิต (Quality of conformance/On-line quality control) เพื่อเป็นการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เทียบกับรูปแบบที่ทำการออกแบบ หรือเรียกว่ากระบวนการควบคุมการผลิต อาศัยวิธีการทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC)

3. แผนการชักตัวอย่างเพื่อการยอมรับ (Acceptance sampling plan/Quality of experiment) คือ การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ซึ่งการตรวจสอบคุณภาพในการปฏิบัตินั้นไม่สามารถตรวจสอบได้ร้อยละ 100 ดังนั้น จึงต้องตัดสินใจเกณฑ์การยอมรับหรือปฏิเสธจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ชักมาตรวจสอบ

2.1.1.3 ปัญหาคุณภาพ

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550) กล่าวว่าปัญหาคุณภาพเป็นความเบี่ยงเบนของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือระดับคุณภาพที่เกิดขึ้นจากความคาดหวังของลูกค้า ปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราวอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพของบุคลากร การแก้ปัญหานี้เรียกว่า การควบคุมคุณภาพ (QC) ส่วนปัญหาที่เกิดขึ้นต่อเนื่องและมาจากระบบการทำงาน การแก้ปัญหานี้เรียกว่า การปรับปรุงคุณภาพเชิงตอบโต้ (reactive improvement) นิยามปัญหาคุณภาพ มีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1) กระบวนการคืออะไร พิจารณาได้จากใบพรรณนาลักษณะงาน (JD : job description) หรือภาระงานที่ได้รับมอบหมาย

2) ผลิตภัณฑ์คืออะไร ได้มาจากการนิยามผลลัพธ์ของกระบวนการหรือกิจกรรมที่รับผิดชอบ

3) ลูกค้าคือใคร ในการควบคุมคุณภาพจะให้ความสนใจลูกค้าภายในเท่านั้น และถ้าหากสนใจต่อการควบคุมคุณภาพเชิงเทคนิคก็ควรให้ความสนใจต่อลูกค้าที่เป็นผู้รับผลิตภัณฑ์ต่อจากเรา แต่ถ้าหากสนใจต่อการควบคุมคุณภาพเชิงการจัดการก็ควรให้ความสนใจต่อลูกค้าที่เป็นผู้บังคับบัญชาโดยตรง

4).ความคาดหวังของลูกค้าคืออะไร การทำความเข้าใจกับความคาดหวังของลูกค้าจะทำให้ทราบถึงหัวข้อควบคุมและเป้าหมายสำหรับการควบคุมคุณภาพ ซึ่งลูกค้าประเภทผู้รับผลิตภัณฑ์ต่อจากเราจะคาดหวังในคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองต่อความคาดหวังในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (end product) ของผู้ซื้อ ผู้ใช้ สำหรับลูกค้าประเภทผู้บังคับบัญชาจะคาดหวังในความมีประสิทธิผลและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

5). ระดับคุณภาพที่เกิดขึ้นจริงคืออะไร จากระบบการวัดและประเมินผลจะทำให้ทราบถึงระดับคุณภาพที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งสามารถนำไปเปรียบเทียบกับเป้าหมายหรือระดับความคาดหวังของลูกค้า เพื่อการนิยามปัญหาคุณภาพที่ต้องการการแก้ไขได้

2.1.1.4 การแก้ปัญหาคุณภาพ

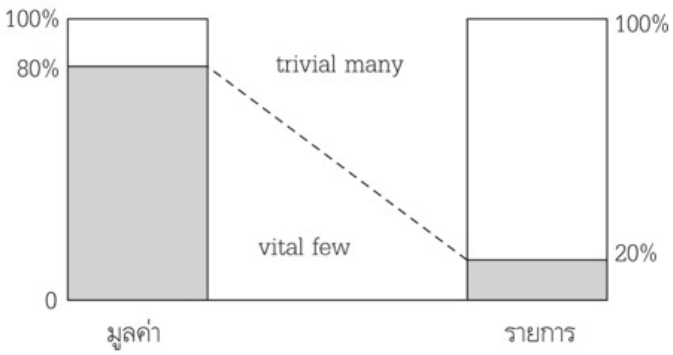
กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550) กล่าวว่าแนวความคิดสำคัญของการใช้กลวิธีการแก้ปัญหาคุณภาพ คือ ต้องใช้กลวิธีการแก้ปัญหาในการตัดสินใจด้วยข้อเท็จจริงอย่างมีเหตุมีผล เนื่องจากการดำเนินการดังกล่าวจะทำให้ผู้ตัดสินใจได้เกิดการเรียนรู้ตามกระบวนการแก้ปัญหาอย่างมีระบบ และสามารถสร้างองค์ความรู้เพิ่มเติมได้อย่างมีประสิทธิผล ซึ่งจะต้องใช้ภายใต้ขั้นตอนการแก้ปัญหาคุณภาพภายใต้ QC Story โดยให้กลวิธีต่างๆเป็นเครื่องมือแทนที่จะเป็นจุดประสงค์ ด้วยเครื่องมือพื้นฐาน 7 ตัว ตารางที่ 1 แสดงถึงแนวความคิดในการใช้กลวิธีการแก้ปัญหาคุณภาพภายใต้ขั้นตอนการแก้ปัญหาตาม QC Story

ตารางที่ 1 แนวความคิดในการใช้กลวิธีแก้ปัญหาคุณภาพ (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

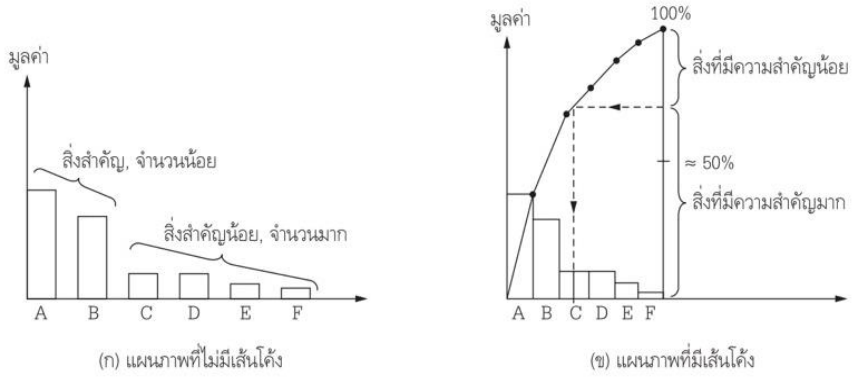
ขั้นตอนการแก้ปัญหา	แนวความคิดการวิเคราะห์	เครื่องมือ
1.การกำหนดหัวข้อปัญหา	1.1 วิเคราะห์ข้อมูลที่มีการจำแนกประเภท	แผนภาพพาเรโต
	1.2 ทำความเข้าในกระบวนการ	แผนภูมิการไหล
	1.3 วิเคราะห์ความเสถียรข้อมูล	แผนภาพพาเรโต แผนภูมิควบคุม
2.การตั้งเป้าหมายและการสังเกตการณ์	2.1 พิจารณาที่มาของความผันแปรด้วยการสังเกต	สร้างกราฟ สร้างใบตรวจสอบ
	2.2 วิเคราะห์สาเหตุของความผันแปรที่เกิดขึ้น	สร้างฮีสโตแกรม แผนภูมิควบคุม
3.การวางแผนแก้ไขปัญหา	โดยกำหนดเวลาและการทำกิจกรรม	แผนภูมิของแกนต์
4.การวิเคราะห์สาเหตุ	4.1 กำหนดสมมุติฐานสาเหตุที่เกิด	แผนภาพก้างปลา
	4.2 พิสูจน์สมมุติฐานที่เกิดขึ้น	ฮีสโตแกรม สร้างกราฟ แผนภาพการกระจาย
5.การกำหนดมาตรการและนำไปใช้	ด้วยการวางแผนกิจกรรม	เครื่องมือจัดการ 7 ตัว (New 7 QC Tools)
6.การติดตามผล	ประเมินประสิทธิผลภายหลังการแก้ไข	สร้างกราฟ แผนภาพพาเรโต
7.การทำมาตรฐานและการควบคุม	ทำการทบทวนมาตรฐานที่ควบคุม	แผนภูมิควบคุม

1). แผนภาพพาเรโต

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550) กล่าวว่าเป็นแผนภาพที่ใช้จำแนกประเภทของข้อมูล รวมถึงการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภทและมีการสะสมตามเวลา J.M. Juran (1995: 47) ระบุว่า สิ่งที่มีความสำคัญมากจะมีจำนวนน้อย และสิ่งที่มีประโยชน์จะมีจำนวนมาก (vital few and useful many) หลักการของพาเรโต คือ ภายใต้สภาวการณ์โดยธรรมชาติ สิ่งที่มีความสำคัญ จะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (vital few) ในขณะที่สิ่งที่มีความสำคัญน้อยๆ จะมีจำนวนมากมาย(trivial many)



ภาพที่ 3 หลักการของพาเรโต



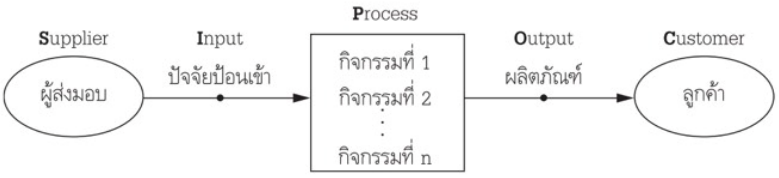
ภาพที่ 4 วิธีการแสดงแผนภาพพาเรโต

การสร้างแผนภาพพาเรโตสามารถทำได้ 2 แบบ คือ แบบที่ไม่มีเส้นโค้งสะสม และแบบที่มีเส้นโค้งสะสม ซึ่งสมาคม JUSE ของญี่ปุ่นได้พัฒนาต่อจาก Juran เพื่อให้เกิดความง่ายในการตีความหมายการแจกแจงแบบพาเรโต แผนภาพพาเรโตมีความสำคัญมากต่อการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการจำแนกข้อมูลที่ใช้กำหนดถึงวิธีคิดในการจำแนกประเภทข้อมูลก่อนการวิเคราะห์

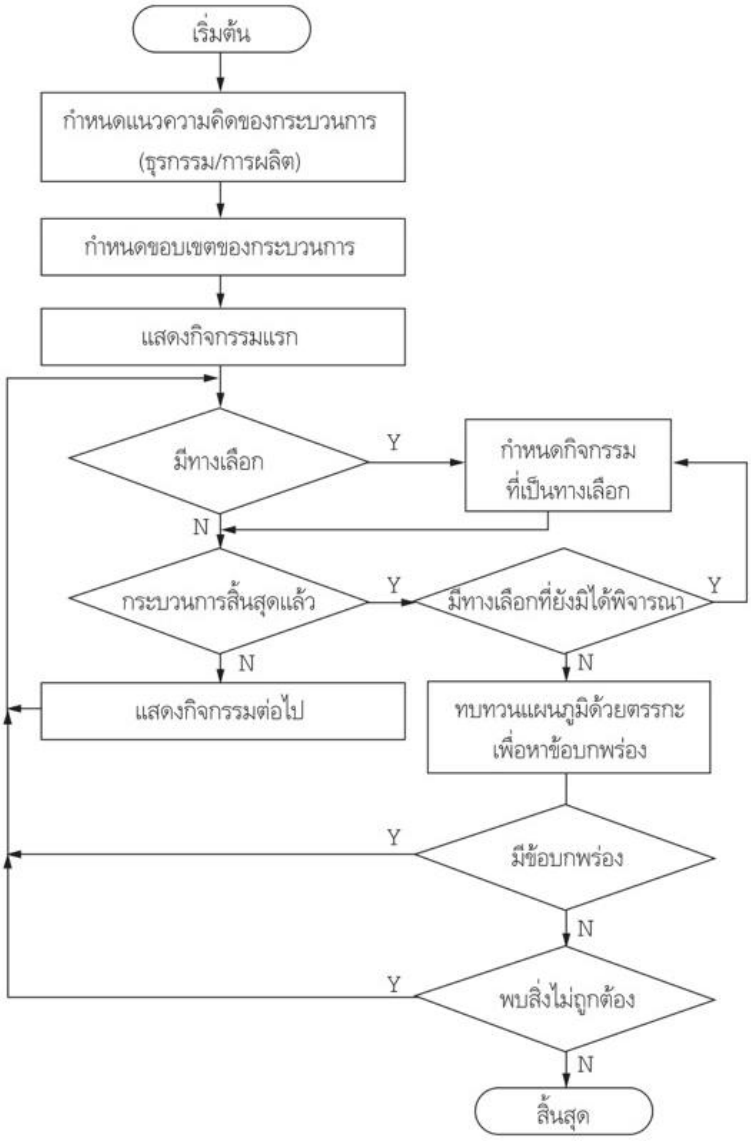
2). แผนภูมิการไหลของกระบวนการ

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550) กล่าวว่าในกระบวนการแก้ปัญหาคุณภาพ เมื่อจำแนกประเภทของข้อมูลแล้วจะทำให้ทราบประเด็นในการแก้ปัญหา ผู้วิจัยต้องทำความเข้าใจในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับประเด็นนั้น ๆ โดยอาศัยแผนภูมิการไหลของกระบวนการ (process flow chart) เป็นแผนภูมิที่แสดงลำดับของกิจกรรม รวมถึงความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่าง ๆ ตลอดจนการทำความเข้าใจกับความต้องการของลูกค้าด้วย ในการสร้างแผนภูมิการไหลของกระบวนการนี้เริ่มต้นจากแนวความคิดในรูปแบบ SIPOC เพื่อกำหนดถึงผลลัพธ์ (output) ของกระบวนการที่

ส่งมอบให้ลูกค้า แล้วพิจารณาถึงปัจจัยป้อนเข้า (input) ที่ได้รับจากผู้ส่งมอบ (supplier) และใช้ในการดำเนินกิจกรรมที่กำหนดไว้



ภาพที่ 5 ตัวแบบ SIPOC



ภาพที่ 6 ตัวอย่างแผนภูมิการไหลของกระบวนการ

แผนภูมิการไหลของกระบวนการมีความสำคัญอย่างมาก เพื่อให้เข้าใจลำดับขั้นตอนการทำกิจกรรมต่าง ๆ และให้เข้าใจถึงความต้องการของลูกค้าและลดปัญหาคุณภาพที่เกิดในกระบวนการนั้น ๆ

3). กราฟ

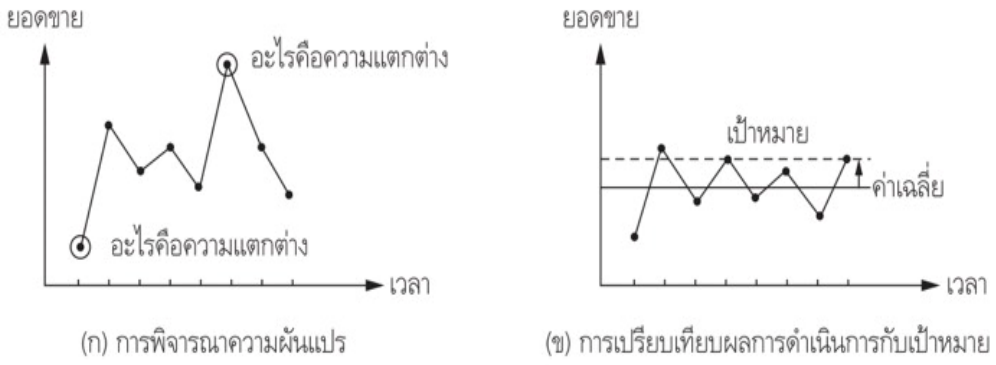
กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550) กล่าวว่าในการสังเกตการณ์เพื่อทำความเข้าใจปัญหาโดยภาพรวมนั้น สามารถใช้กราฟ (graph) คือ แผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่สามารถทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจโดยอาศัยการพิจารณาด้วยตาเปล่า ในการสร้างกราฟนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการกำหนดสเกลที่ต้องทำให้เกิดความผันแปรในข้อมูล โดยใช้คำถามพื้นฐาน 3 ประการ คือ

1). อะไรคือความผันแปร หรือความแตกต่าง

2). ความผันแปรดังกล่าวเป็นสิ่งที่เป็นธรรมชาติหรือผิดธรรมชาติ

3). ความผันแปรดังกล่าวมีสาเหตุมาจากอะไร

คำถามทั้ง 3 ประการนี้ จะทำให้ผู้วิเคราะห์สามารถทำความเข้าใจกับความผันแปรและสาเหตุของความผันแปร รวมถึงสามารถใช้กราฟทำการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจริงกับค่าเป้าหมายได้



ภาพที่ 7 การประยุกต์ใช้กราฟ

ในการประยุกต์ใช้กราฟนั้นมีด้วยกันหลายประเภท ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และลักษณะข้อมูลที่จะนำมาใช้ประกอบในการวิเคราะห์ข้อมูลหรือสรุปผลข้อมูล โดยวัตถุประสงค์หลักของการนำกราฟมาใช้ก็เพื่อแสดงถึงความผันแปรของข้อมูลนั้น และใช้กราฟเพื่อแสดงถึงความแตกต่างเชิงปริมาณของข้อมูลเท่านั้น

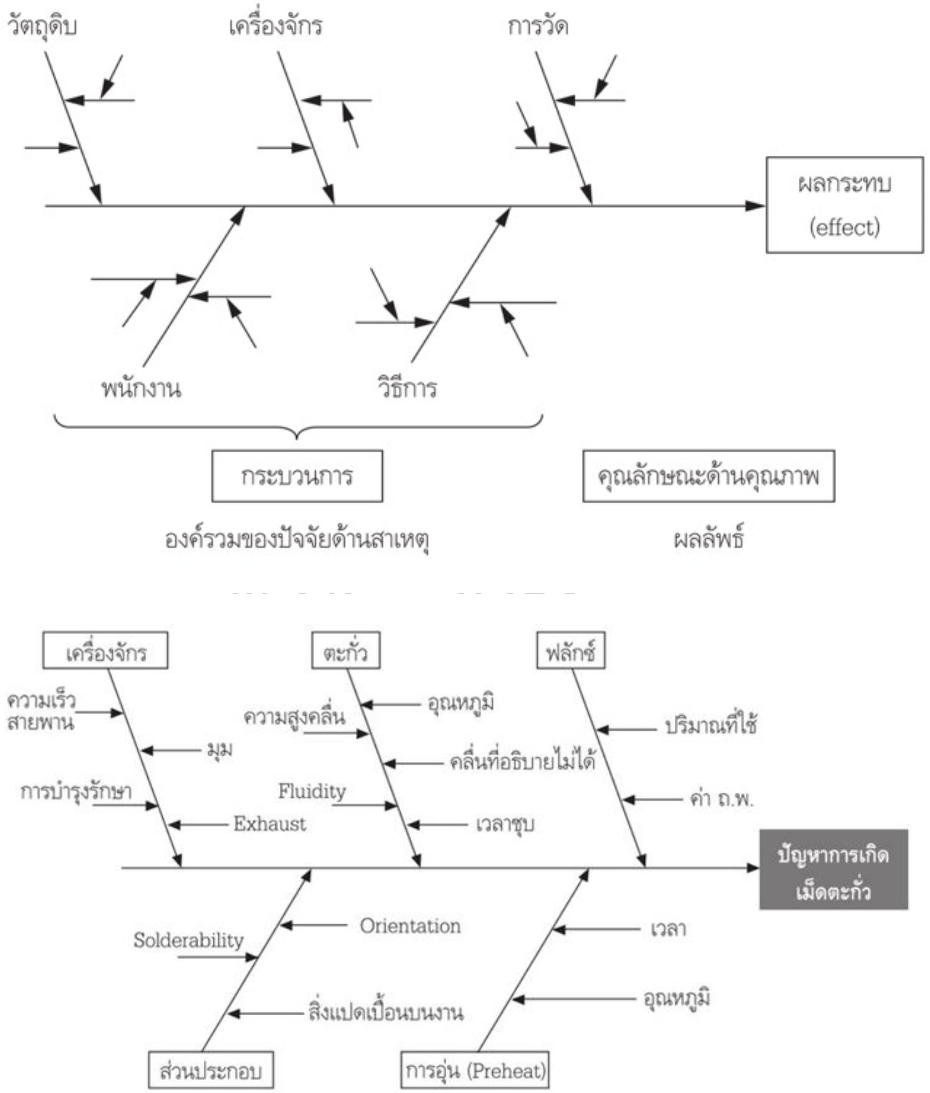
การนำกราฟมาใช้ก็เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล และในการตีความหมายจากกราฟที่ดีนั้น จะต้องอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่แสดงผลต้องมีคุณสมบัติในการสอบกลับได้ (traceability)

4). ใบตรวจสอบ

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550) กล่าวว่าในการวิเคราะห์ความผันแปรโดยการสังเกตการณ์ผ่านกราฟนั้น จะให้ภาพที่เป็นมหภาค (macro) จำเป็นต้องสังเกตให้ความผันแปรนั้นอยู่ในจุดที่เกิดปัญหาที่เป็นจุลภาค (micro) ในการตั้งคำถามเพื่อรวบรวบข้อมูลนำมาวิเคราะห์นั้น คำถามควรประกอบไปด้วย อาการปัญหา (what) เวลาที่เกิดปัญหา (when - timing) ตำแหน่งที่เกิด (where – location) บุคลากร (who) วิธีการปฏิบัติงาน (how) แล้วระบุในเชิงปริมาณ (how much) โดยระหว่างการรวบรวมข้อมูลนี้ ต้องพยายามวิเคราะห์ความผันแปรด้วยคำถามว่า ทำไม (why) ใบตรวจสอบ หมายถึง ฟอร์มสำหรับการบันทึกข้อมูลซึ่งได้รับการออกแบบพิเศษสำหรับการตีความหมายผลลัพธ์ทันทีที่กรอกแบบฟอร์มเสร็จสิ้น ถ้าพิจารณาจุดประสงค์ของการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยใบตรวจสอบ จะจำแนกออกเป็น 4 ประเภท คือ ใบตรวจสอบสำหรับการบันทึกข้อมูล ใบตรวจสอบสำหรับการค้นหาสาเหตุ ใบตรวจสอบสำหรับสำรวจการกระจายตัวของกระบวนการผลิต และใบตรวจสอบสำหรับระบุตำแหน่งการเกิดปัญหา

5). แผนภาพก้างปลา

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550) กล่าวว่าในกระบวนการควบคุมคุณภาพ มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาถึงสาเหตุและผลของปัญหา ซึ่งสามารถระดมสมอง คือ กติกาในการระดมความคิดเห็นภายใต้ข้อเท็จจริง (fact) เพื่อให้ได้ความคิดมากที่สุด ขึ้นกับกฎเกณฑ์ 4 ประการ ได้แก่ 1). การกระตุ้นให้เกิดความคิดแนวกว้าง 2). ความสนใจต่อปริมาณมากกว่าคุณภาพของความคิด 3). ไม่วิพากษ์วิจารณ์การแสดงความคิด 4).ไม่รอที่จะประสานต่อความคิด เพื่อกำหนดสมมติฐานของสาเหตุให้อยู่ในรูปของแผนภาพสาเหตุและผล (cause and effect diagram) และเนื่องจากแผนภาพมีลักษณะคล้ายก้างปลา จึงเรียกว่า แผนภาพก้างปลา (fishbone diagram) หมายถึง แผนภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์อย่างมีระบบระหว่างผลที่แน่นอนกระการหนึ่ง (อาการของปัญหา) และสาเหตุที่เกี่ยวข้อง แผนภาพก้างปลาจะมีลักษณะโครงสร้างตามภาพที่ 2.8 ที่แสดงผลในรูปของความสัมพันธ์ของกระบวนการ (process) ซึ่งหมายถึง การรวบรวมถึงปัจจัยด้านสาเหตุ (a collection of cause factors) ซึ่งต้องสามารถควบคุมได้และสามารถทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าได้ และผล (effect) จะหมายถึงคุณลักษณะด้านคุณภาพที่เป็นผลลัพธ์ของกระบวนการหนึ่ง (Ishikawa, 1990: 229)



ภาพที่ 9 ตัวอย่างแผนภาพก้างปลาแบบกำหนดรายการสาเหตุ

แผนภาพก้างปลาเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการแก้ปัญหาคุณภาพ โดยใช้แผนภาพก้างปลาตามวิธีการในการระดมสมอง ซึ่งอาจจำแนกออกเป็นวิธีวิเคราะห์ความผันแปร วิธีกำหนดรายการสาเหตุ และวิธีการจำแนกตามกระบวนการ อย่างไรก็ตาม กลับพบว่ามีการประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิผลไม่มากนักสำหรับอุตสาหกรรมไทย

2.1.2 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าในปัจจุบันการออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง (Designs and Analysis of Experiment : DOE) มีความสำคัญอย่างมากในการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาสาเหตุ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์รวมไปถึง

การกำหนดระดับที่เหมาะสมต่อการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด (Optimal Condition) โดยอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้า (Input) หรือปัจจัย (Factor or Variable) และคุณลักษณะด้านคุณภาพ (Quality Characteristic) หรือปัจจัยนำออก (Output Factor) หรือผลตอบสนอง (Response) ที่ให้ความสำคัญ และยังสามารถศึกษาผลลัพธ์ของหลายปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ด้วยจำนวนวิธีการปฏิบัติ (Treatments) ซึ่งน้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัย (One Factor at a Time : OFAT หรือ One Variable at a Time:OFAT) การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเป็นวิธีการที่ทำให้ได้ข้อมูลนั้นมีประสิทธิภาพ โดยสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัย (X) อย่างมีเงื่อนไข โดยมีเป้าหมายเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง (Y) ที่เกิดขึ้น (Dean and Voss, 2000) การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองจะมีการดำเนินการอย่างเป็นระบบ ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองมีความประหยัด ความน่าเชื่อถือ และมีการใช้ทรัพยากรในการทดลองอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ก่อให้เกิดการศึกษาอย่างต่อเนื่องในการรวบรวมความรู้เกี่ยวกับกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ (Product or Process Knowledge) ในลักษณะของความสัมพันธ์เชิงสถิติ (Statistical Relationship) ของปัจจัยและผลตอบสนองเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนากระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ต่อไปในอนาคต (laungpaiboon and Wankaew, 2006; Maneechote and Luangpaiboon, 2010)

2.1.2.1 การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าการกำหนดแผนการออกแบบที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่จำเป็นที่สุด ดังนั้น การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลองจึงเน้นกระบวนการออกแบบเป็นส่วนใหญ่ บุคลากรที่เกี่ยวข้องต้องมีความเข้าใจถึงหลักการและปัญหาที่กำลังพิจารณา เพื่อให้ได้ข้อมูลต่าง ๆ ที่สามารถรวบรวมได้จากการทดลองและสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขั้นตอนหลักสำหรับการกำหนดแผนการออกแบบที่เหมาะสม รวมทั้งรายละเอียดที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การกำหนดปัญหาที่กำลังพิจารณา

การกำหนดปัญหาที่สนใจเป็นสิ่งที่ค่อนข้างยากในการที่จะทำให้ชัดเจน ดังนั้นการรวบรวมแนวคิดจากทุกฝ่าย หรือการทำงานเป็นกลุ่ม (Team Approach) จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการกำหนดแผนการทดลองที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

2. การคัดเลือกปัจจัยการออกแบบ และปัจจัยที่รบกวนระบบ รวมทั้งระดับของปัจจัย

การพิจารณาปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการหรือระบบที่สนใจจำเป็นต้องแยกปัจจัยที่มีอยู่ออกเป็นปัจจัยของการออกแบบ (Design Factor) หรือปัจจัยที่รบกวน

ระบบ (Nuisance Factors or System Noise) รวมถึงปัจจัยที่ไม่ได้อยู่ในความสนใจในขณะนั้นแต่อาจมีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง โดยส่วนใหญ่จะถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยคงที่ (Held-Constant Factors) หรือปัจจัยที่อาจแปรเปลี่ยนค่าได้ (Allowed-to-Vary Factors) เช่น วัตถุดิบแบบเดียวกันอาจมีความหลากหลาย แต่ไม่สามารถควบคุมได้ ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้สามารถกำจัดความแปรปรวนได้โดยการใช้การออกแบบการทดลองแบบสุ่ม (Randomised Block Design) เพื่อลดอิทธิพลดังกล่าว การพิจารณาระดับของปัจจัยในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง เพื่อให้กระบวนการหรือระบบสามารถควบคุมและวัดผลการตอบสนองได้ ความรู้ด้านกระบวนการ (Process Knowledge) จึงเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลอง ความรู้ด้านกระบวนการเกิดจากความเข้าใจด้านทฤษฎีและประสบการณ์ในการทำงานโดยผ่านระบบผู้เชี่ยวชาญ การพิจารณาตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ในอดีตต่อผลตอบสนองที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้จึงมีส่วนช่วยในการออกแบบระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบได้ดียิ่งขึ้น

3. การคัดเลือกผลตอบสนองที่ต้องการ

ควรตรวจสอบผลตอบสนองของการพัฒนากระบวนการและผลิตภัณฑ์สามารถนำเสนอข้อมูลที่ต้องการศึกษาในครั้งนี้ได้ โดยปกติผลตอบสนองที่ต้องการมักอยู่ในรูปแบบสองชนิด คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) หรือความแปรปรวน (Variance) โดยทั่วไประบบอาจมีผลตอบสนองที่มีจำนวนตั้งแต่หนึ่งขึ้นไป ความสามารถในการวัดค่าผลตอบสนองเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เพื่อลดผลกระทบสามารถทำได้โดยการใช้จำนวนการทำซ้ำในการทดลองที่เพิ่มขึ้น

4. การคัดเลือกวิธีและแผนการทดลอง

การคัดเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม ต้องกำหนดขนาดของการทดลองหรือจำนวนครั้งที่เหมาะสม การทดลองแบบสุ่ม และการพิจารณาถึงการจัดกลุ่ม (Relication, Randomisation and Blocking) การกำหนดระดับของปัจจัยให้สอดคล้องกับขนาดของความเปลี่ยนแปลง (Magnitude) ที่จะเกิดผลตอบสนองเนื่องจากมาจากการทดลอง แผนการทดลองหลักประกอบไปด้วย แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทั้งในกรณีไม่พิจารณาปัจจัยที่รบกวนระบบ และกรณีพิจารณาปัจจัยที่รบกวนระบบ(แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม) แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ และแผนการทดลองแฟคทอเรียลทั่วไป ทั้งในกรณีพิจารณาและไม่พิจารณาปัจจัยที่รบกวนระบบ แผนการทดลองแบบทากูชิ ทั้งในกรณีพิจารณาและไม่พิจารณาปัจจัยที่รบกวนระบบ

5. การดำเนินการทดลองและบันทึกข้อมูล

การดำเนินการทดลองไปพร้อมกับการตรวจสอบกระบวนการให้ตรงตามแผนงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากความผิดพลาดในการทดลองจะส่งผลเสียต่อการวิเคราะห์ผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบการทดลองและนำมาวิเคราะห์

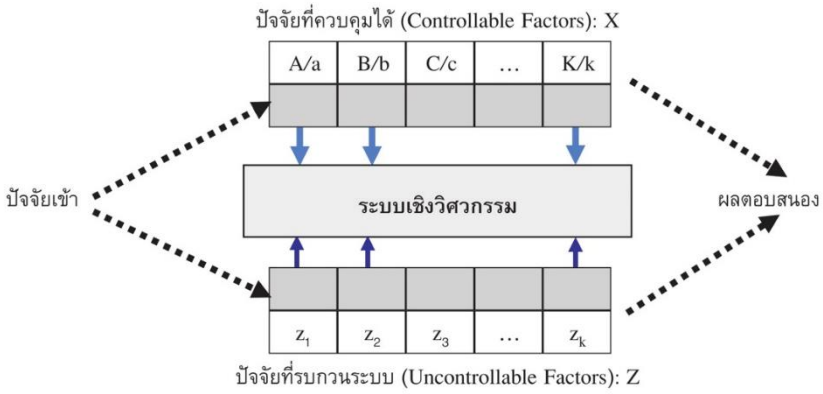
การทดลองมีความสำคัญอย่างมาก ดังนั้น หากการคัดเลือกผลตอบสนองที่ต้องการพบว่าข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลความลับทางการค้าหรือข้อมูลภายในองค์กรที่ไม่สามารถเปิดเผยได้ จะทำให้ไม่สามารถเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบและการวิเคราะห์การทดลองได้

6. การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์การทดลอง

การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์การทดลองสามารถประยุกต์ใช้สมการทางด้านคณิตศาสตร์ เปรียบเทียบได้จากตัวชี้วัดการทดสอบทางสถิติแบบอ้างอิงพารามิเตอร์ที่มีระดับนัยสำคัญ จะเน้นด้านการปรับปรุงข้อมูลที่ไม่ได้อยู่ในเงื่อนไขการทดสอบทางสถิติแบบอิงพารามิเตอร์ คือ ความผิดพลาดจากการทดลอง (Experimental Errors) หรือสิ่งตกค้าง (Residuals) ของข้อมูลธรรมชาติต้องมีลักษณะของการกระจายของข้อมูลที่ใกล้เคียงกับการแจกแจงปกติ ความแปรปรวนคงที่ และมีความเป็นอิสระต่อกัน (Normally and Independently Distributed with the Mean of Zero and Constant Standard Deviation: NID (0, σ^2) การวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแผนการทดลองจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแผนการทดลอง ประกอบไปด้วยแผนการทดลองพื้นฐานและแผนการทดลองแบบทากูชิ วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง คือ การกำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระบบปัญหา และสามารถบ่งชี้ระดับที่เหมาะสมที่สุดในการประยุกต์ใช้งาน ดัชนีชี้วัดคุณภาพของข้อมูลประกอบด้วย การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงพหุ (Multiple Linear Regression: MLR) ทั้งในส่วนของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบ(Analysis of Variance for the MLR Model: MLR - ANOVA) และการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในแต่ละค่า (Partial or Marginal Test : MT) การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Analysis of Mean: ANOM) การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (Analysis of Signal to Noise Ratio: SN) รวมทั้งการวิเคราะห์โครงสร้างข้อมูลการวิเคราะห์ความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มหรือสิ่งตกค้าง (Residual Analysis: RA)

2.1.2.2 แผนการทดลองพื้นฐาน

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าโดยทั่วไปการพัฒนากระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ ด้วยการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์การทดลอง จำนวนปัจจัยเข้าที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อผลตอบสนองจะต้องดำเนินการผ่านระบบผู้เชี่ยวชาญในเบื้องต้นก่อน โดยพิจารณาผ่านกล่องความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องในการส่งผ่านสู่ผลตอบสนอง หรือผลลัพธ์ที่ต้องการในขั้นตอนสุดท้ายที่สุดของกระบวนการเชิงวิศวกรรม



ภาพที่ 10 กล่องความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องในการส่งผ่านสู่ผลตอบสนองที่ต้องการ (Transferred Box of Relevant Factors to Meet Required Response)

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าระบบเชิงวิศวกรรม หมายถึง องค์ประกอบร่วมระหว่างเครื่องจักร วิธีการ บุคลากรด้านต่าง ๆ และทรัพยากรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการการพัฒนา ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะทำการเปลี่ยนปัจจัยเข้า (Input) ให้เป็นปัจจัยออก (Output) ประสิทธิภาพของปัจจัยออกสามารถพิจารณาได้ โดยการใช้ผลตอบสนองซึ่งอาจมีได้มากกว่าหนึ่ง โดยปัจจัยเข้าแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้เรียกว่า ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Variable or Factors: A, B, ...,K) หรือปัจจัยที่สามารถออกแบบได้ (Design Variables or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้เรียกว่า ปัจจัยที่รบกวนระบบ (Uncontrollable Factors or System Noise Factors: z_1, z_2,..., z_k) อย่างไรก็ตามปัจจัยที่รบกวนจะต้องสามารถควบคุมได้ ในขณะที่ดำเนินการทดลองอยู่ องค์ประกอบต่างๆที่ผู้เชี่ยวชาญคาดว่าจะมีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง (y_{ij}...n) จะถูกรวบรวมอยู่ในตัวแบบสถิติเชิงเส้น และจำแนกตามประเภทของอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect, ME) อิทธิพลของสองปัจจัยร่วม (2-Factor Interaction Effect, 2F-IE) อิทธิพลของสามปัจจัยร่วม (3-Factor Interaction Effect, 3F-IE) หรืออิทธิพลของปัจจัยร่วมอันดับสูงที่สุด (Highest Order-Factor Interaction Effect, HF-IE) ซึ่งแปรตามจำนวนปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อระบบที่สนใจศึกษา นอกจากนี้ยังรวมถึงอิทธิพลที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดจากการทดลองหรือสิ่งตกค้าง (Experimental Errors or Residuals) โดยสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 องค์ประกอบตัวแบบสถิติเชิงเส้นของผลตอบสนองสำหรับแผนการทดลองพื้นฐาน

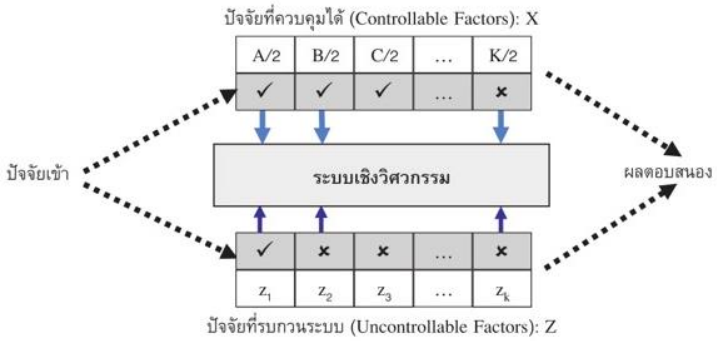
อิทธิพล (Effect)		$y_{ij...n}$
ค่าเฉลี่ย (Overall Mean)		μ
อิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect, ME)	A	τ
	B	β
	…	…
	K	ψ
อิทธิพลของสองปัจจัยร่วม (2-Factor Interaction Effect, 2F-IE)	AB	$(\tau\beta)$
	AC	$(\tau\gamma)$
	…	…
	JK	$(\omega\psi)$
อิทธิพลของสามปัจจัยร่วม (3-Factor Interaction Effect, 3F-IE)	ABC	$(\tau\beta\eta)$
	ABD	$(\tau\beta\varphi)$
	…	…
	IJK	$(\partial\omega\psi)$
อิทธิพลของปัจจัยร่วมอันดับสูงที่สุด (Highest Order-Factor Interaction Effect, HF-IE)	AB...JK	$(\tau\beta\ldots\omega\psi)$
ความผิดพลาดจากการทดลองสุ่ม (Residuals)		ε

วัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์แต่ละการทดลองจะแตกต่างกันออกไป เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าปัจจัยใด (Factor) ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง (Response, Y) หรือมีวิธีการใดที่จะตั้งค่าปัจจัย เพื่อให้ค่าผลตอบสนองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ หรือวิธีการใดที่จะตั้งค่าปัจจัยเพื่อให้ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นกับค่าผลตอบสนองมีค่าต่ำ และมีวิธีการใดที่จะตั้งค่าปัจจัย เพื่อทำให้ผลกระทบเนื่องจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือปัจจัยที่รบกวนระบบ (Uncontrollable Factors, Z) มีค่าต่ำ จากกล่องความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องในการส่งผ่านสู่ผลตอบสนองข้างต้น แบ่งการออกแบบการทดลองขั้นพื้นฐานได้เป็น 2 ประเภท คือ แผนการทดลองปัจจัยเดียวและหลายปัจจัย โดยแผนการทดลองปัจจัยเดียวรวมถึงแผนการทดลองที่มีข้อจำกัดหรือมีการพิจารณาปัจจัยที่รบกวนระบบระหว่างการดำเนินการทดลองหรือที่เรียกว่า แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2562)

2.1.3 ทฤษฎีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ (Two-Level Factorial Design, 2^K)

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลถูกใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากจำนวนปัจจัยที่คาดการณ์ว่ามีอิทธิพลต่อระบบมักมีมากกว่าหนึ่งปัจจัย หากการทดลองเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัย (Factor) ต้องทำการศึกษาผลกระทบหลัก (Response) ที่ระดับปัจจัยต่างๆที่เกิดขึ้นด้วย แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลายๆปัจจัยพร้อมกัน เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์แบบทีละปัจจัยโดยกำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ มีค่าคงตัว (One Factor at a Time,OFAT) เนื่องจากการทดลองอย่างสมบูรณ์จะมีการใช้ระดับของปัจจัยต่างๆร่วมกัน เป็นแต่ละวิธีปฏิบัติในทุกๆกรณี จึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลได้พร้อมกัน แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสามารถจำแนกได้หลายกรณี ทั้งนี้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ หรือ 2^K เป็นกรณีเฉพาะของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่ประกอบด้วย k ปัจจัย โดยในแต่ละปัจจัยมีเพียง 2 ระดับ มักเรียกว่าระดับสูงและระดับต่ำ อาจเป็นระดับเชิงปริมาณ (Quantitative Level) หรือระดับเชิงคุณภาพ (Quanlitative Level) ก็ได้ แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับที่สมบูรณ์จะประกอบไปด้วยจำนวนทั้งหมด 2^K วิธีปฏิบัติ ในแต่ละวิธีปฏิบัติอาจมีการกระทำซ้ำได้ n ครั้งเท่าๆกันหรือต่างกันก็เป็นไปได้ ขึ้นอยู่กับความต้องการ หรือความจำกัดของระบบ ในบางกรณีแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับอาจมีจำนวนการทำซ้ำเพียง 1 ครั้ง (Single Replicate) โดยมีเป้าหมายในการคัดกรองปัจจัยที่สำคัญ (Screening Experiment) จากปัจจัยที่มีเป็นจำนวนมากที่ได้รับการคาดการณ์จากระบบผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้น หากทำการทดลองที่สมบูรณ์จะมีจำนวนทดลอง (Runs) ที่มากจนกระทั่งเกินขีดจำกัดของระบบ หากพิจารณาข้อมูลที่ได้รับจากแผนการทดลองแบบการทำซ้ำเพียงครั้งเดียวพบว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากองศาเสรี (Degree of Freedom) มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของผลกระทบหลัก (Normal Plot of Effect) จึงเป็นทางเลือกในการบ่งชี้ถึงปัจจัยที่มีโอกาสมากที่สุด หรือมีผลกระทบต่อผลตอบสนองมากที่สุด (Montgomery, 2013; Montgomery and Runger, 2003; Peck, Olsen and Devore, 2002; Walpole and Myers, 1993) เพื่อใช้ในการวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลให้มีความเหมาะสม นอกจากนี้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับยังสามารถลดจำนวนการทดลองได้ โดยผ่านกระบวนการวิเคราะห์จากแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับชนิดบางส่วน (2^K Fractional Factorial Designs) โดยแผนการทดลองนี้เป็นการออกแบบการทดลองที่เลือกทำการทดลองเพียงบางส่วนจากรูปแบบเต็มของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ เมื่อปัจจัยมีเป็นทรัพยากรหรืองบประมาณสำหรับการทดลองที่จำกัด อย่างไรก็ตามภายใต้จำนวนการทดลองที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้นี้ไม่สามารถวิเคราะห์อิทธิพลจากปัจจัยหลัก และอิทธิพลร่วมของปัจจัยได้

แต่สามารถวิเคราะห์อิทธิพลจากปัจจัยได้โดยอาศัยหลักการทางด้านสติถิอื่นๆทดแทน ตัวอย่างสำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับสำหรับกระบวนการตัวอย่าง กรณีไม่พิจารณาปัจจัยที่รบกวนระบบ สำหรับกระบวนการที่มีปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัย ในแต่ละปัจจัยประกอบด้วยจำนวน 2 ระดับ สามารถแสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กล่องความสัมพันธ์สำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับสามปัจจัย กรณีไม่พิจารณาปัจจัยที่รบกวนระบบ

แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ กรณีพิจารณาจำนวน 3 ปัจจัย (Factors) คือ ปัจจัย A B และ C แต่ละปัจจัยจะประกอบไปด้วย 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (Low, - , -1) และระดับสูง (High, + , +1) เท่านั้น นอกจากนี้ในการกำหนดสัญลักษณ์มาตรฐานสำหรับวิธีการปฏิบัติพิจารณาผ่านตัวอักษรตัวเล็ก ถ้าพบว่าวิธีปฏิบัตินั้นมีการกำหนดปัจจัยในระดับสูง (High) แต่จะไม่มีการแสดงเป็นตัวอักษรหากปัจจัยอยู่ในระดับต่ำ (Low) นอกจากนี้สัญลักษณ์มาตรฐานนี้ยังแสดงถึงผลรวมในทุกๆครั้งของการทดลอง (n) ในแต่ละวิธีปฏิบัติอีกทางหนึ่งด้วย ดังนั้นวิธีปฏิบัติ (Treatment) สำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ สำหรับสามปัจจัยประกอบด้วยวิธีปฏิบัติ (1), a, b, c, ab, ac, bc และสามารถเขียนวิธีปฏิบัตินี้ได้ในตารางด้านล่าง

ตารางที่ 3 การออกแบบแผนการทดลองแฟคทอเรียลสองระดับ กรณีสามปัจจัย

วิธีปฏิบัติ	ปัจจัย		
	A	B	C
(1)	–	–	–
a	+	–	–
b	–	+	–
ab	+	+	–
c	–	–	+
ac	+	–	+
bc	–	+	+
abc	+	+	+

ตัวแปรสถิติเชิงเส้นตรงของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับในกรณีที่มี 3 ปัจจัย หรือ (2^3) สามารถจำลองข้อมูลการทดลอง (y_{ijkl}) สำหรับแบบแฟคทอเรียลสองระดับด้วยตัวแบบทางสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model) ได้ดังต่อไปนี้

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \begin{cases} i = 1,2 \\ j = 1,2 \\ k = 1,2 \\ l = 1,2,\ldots,n \end{cases}$$

ตารางที่ 4 สมมติฐานสำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับสามปัจจัย

อิทธิพลของปัจจัยหลัก	อิทธิพลของสองปัจจัยร่วม	อิทธิพลของสามปัจจัยร่วม
$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ $H_1 : \tau_i \neq 0$, อย่างน้อย 1 ค่า i	$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$, ทุกๆ ค่า i, j $H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$, อย่างน้อย 1 ค่า	$H_0 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$, ทุกๆ ค่า i, j, k $H_1 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$, อย่างน้อย 1 ค่า
$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ $H_1 : \beta_j \neq 0$, อย่างน้อย 1 ค่า j	$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$, ทุกๆ ค่า i, k $H_1 : (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$, อย่างน้อย 1 ค่า	
$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = 0$ $H_1 : \gamma_k \neq 0$, อย่างน้อย 1 ค่า k	$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0$, ทุกๆ ค่า j, k $H_1 : (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$, อย่างน้อย 1 ค่า	

2.1.3.1 ระบบการวัดความสอดคล้อง (Concordance Measurement System)

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) วัตถุประสงค์หลักสำหรับการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiments) คือ การวิเคราะห์หาปัจจัยที่

มีอิทธิพลต่อคุณภาพหรือผลตอบสนองของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ที่สนใจพิจารณา รวมทั้งการกำหนดระดับที่เหมาะสมที่สุดของการดำเนินงาน (Optimal Condition) โดยคุณลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแผนการทดลองแบบพื้นฐาน และแบบทากูชิประกอบด้วย

การวิเคราะห์โครงสร้างข้อมูล

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดสอบอิทธิพลของปัจจัย

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงพหุ

การวิเคราะห์ความผิดพลาดจากการทดลอง

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย

การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์

การหาคำตอบที่ต่ำที่สุดหรือผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี

การหาคำตอบที่สูงที่สุดหรือผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี

การหาคำตอบที่อยู่ใกล้เป้าหมายที่สุด

2.1.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างข้อมูล

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าหลังจากทดลองเสร็จสิ้นลงสามารถรวบรวมข้อมูลและนำเสนอข้อมูล เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างข้อมูล (Data Structure Analysis) โดยอาศัยแนวคิดของการวิเคราะห์แนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Tendency) และการกระจายตัว (Dispersion) ค่าพารามิเตอร์(Parameter) ที่สำคัญในทางสถิติประกอบด้วย 2 กลุ่ม คือ ค่าแนวโน้มสู่ค่ากลาง (Central Tendency) หรือค่าที่ใช้เป็นตัวชี้บ่งผลกระทบของตำแหน่ง (Location Effect) ของข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของประชากร (Population Mean, μ) หรือค่ามัธยฐาน (Median,$\bar{\mu}$) และค่าที่ใช้บอกการเปลี่ยนแปลงในระบบ (Variability) หรือค่าที่บอกผลการกระจายของข้อมูล (Dispersion effect) โดยค่าในกลุ่มนี้ประกอบด้วย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation, S.D.) สัญลักษณ์ที่ใช้คือ σ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรใช้ชี้บ่งการกระจายหรือความแตกต่างของข้อมูล ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงแสดงว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันมาก หรือค่าพิสัยควอไทล์ (Interquartile Range, IQR) คือค่าที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้แทนค่าพิสัย (Range) โดยเป็นค่าผลต่างระหว่างค่าควอไทล์ที่ 3 และควอไทล์ที่ 1

ข้อมูลถูกรวบรวมและนำเสนออย่างมีประสิทธิภาพจะส่งผลดีต่อแนวคิดทางด้านสถิติ เนื่องจากข้อมูลที่สำคัญได้ถูกบันทึกอย่างเป็นระเบียบ และง่ายต่อการแก้ไขปัญหาที่กำลังพิจารณาอยู่ นอกจากนี้ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในทุกระบบ ดังนั้นการรวบรวมและการนำเสนอข้อมูล รวมทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลจึงสามารถทำได้อย่างสะดวกรวดเร็วมากขึ้นโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เช่น SAS SPSS หรือ Minitab

2.1.3.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดสอบอิทธิพลของปัจจัย

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าในการพิจารณาแผนการทดลองพื้นฐานพบว่า การทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect, ME) อิทธิพลของสองปัจจัยร่วม (2-Factor Interaction Effect, 3F-IE) รวมทั้งอิทธิพลของปัจจัยร่วมอันดับสูงที่สุด (Highest Order-Factor Interaction Effect, HF-IE) สามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีบทของค็อคราน (Cochran's Theorem) โดยพบว่า ค่าความแปรปรวนที่ต้องการวิเคราะห์เป็นความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ของผลตอนสนอง (Response) ของข้อมูลการทดลองทั้งหมด (N) ที่จำแนกตามอิทธิพลของปัจจัยที่สนใจพิจารณาทั้งนี้

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}\left(y_{ij} - \bar{y}_{..}\right)^2}{(N-1)}$$

ซึ่งผลรวมของ $\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(yij - \bar{y})^2$ คือผลรวมกำลังสองทั้งหมดของความแตกต่างของข้อมูลและค่าเฉลี่ยตัวอย่าง(Sum Square of Tatal, SS_T) และสามารถแบ่งแยก (Derive) ออกได้เป็นจำนวนองค์ประกอบหลัก คือ ผลรวมกำลังสองจากอิทธิพลของปัจจัยหลัก (2-factor Interaction Effects, 2F-IE) ผลรวมกำลังสองจากอิทธิพลของสามปัจจัยร่วม (3-factor Interaction Effects, 3F-IE) รวมทั้งผลรวมกำลังสองจากอิทธิพลของปัจจัยร่วมอันดับสูงสุด (Highest Order-Factor Interaction Effect, HF-IE) และผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดการทดลองหรือสิ่งตกค้าง(Sum Square of Experimental Error or Residuals) ทั้งนี้ผลรวมกำลังสองจากอิทธิพลของสิ่งที่ต้องการศึกษาแปรตามลักษณะของแผนการทดลองที่เลือกใช้

2.1.3.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าในแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับพบว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถดำเนินการได้ผ่านค่าสถิติคอนทราสต์ (Contrast) ดังแสดงในตัวอย่างกรณีที่มีสามปัจจัย

ตารางที่ 5 คอนทราสต์ของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับสามปัจจัย

Treatment Combination	Main and Interaction Effect						
	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
(1)	–	–	+	–	+	+	–
a	+	–	–	–	–	+	+
b	–	+	–	–	+	–	+
ab	+	+	+	–	–	–	–
c	–	–	+	+	–	–	+
ac	+	–	–	+	+	–	–
bc	–	+	–	+	–	+	–
abc	+	+	+	+	+	+	+

ในแนวแถวของตาราง คือ จำนวนวิธีปฏิบัติทั้งหมดเท่ากับ 8 วิธี และสามารถกำหนดเป็นสัญลักษณ์มาตรฐานโดยตัวอักษรเล็กแทนระดับสูงของปัจจัย และไม่แสดงอักษรหากปัจจัยนั้นอยู่ในระดับต่ำ เป็นต้น โดยวิธีปฏิบัติ (1) แทน วิธีปฏิบัติที่ปัจจัยอยู่ที่ระดับต่ำทั้งหมด การกำหนดค่าของคอนทราสต์ (Contrast) สำหรับอิทธิพลของปัจจัยหลักและอิทธิพลของปัจจัยร่วม สามารถคำนวณได้ด้วยความสัมพันธ์ ดังต่อไปนี้

$$\text{Contrast}_{AB\ldots K} = (a \pm 1)(b \pm 1) \ldots (k \pm 1)$$

โดยที่

+ แทนปัจจัยที่ไม่อยู่ในอิทธิพลของปัจจัยหลักหรือปัจจัยร่วมที่กำลังสนใจ
- แทนปัจจัยที่อยู่ในอิทธิพลของปัจจัยหลักหรือปัจจัยร่วมที่กำลังสนใจ

คอนทราสต์สามารถใช้ในการคำนวณอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม รวมทั้งค่าผลบวกกำลังสองโดยพิจารณาจากค่าของผลตอบสนองในแต่ละวิธีปฏิบัตินำมาบวกหรือลบตามที่ถูกกำหนดในตาราง เช่น ตอนทราสต์ของปัจจัย A คือ

$$\text{Contrast}_A = a - (1) + ab - b + ac - c + abc - bc$$

$$\text{Effect}_i = \frac{2}{n2^k}(\text{Contrast}_i)$$

$$SS_i = \frac{1}{n2^k}(\text{Contrast}_i)^2$$

2.1.3.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis)

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองสามารถกำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการตอบสนอง ซึ่งการกำหนดความสัมพันธ์ของปัจจัยและ

ผลการตอบสนองสามารถดำเนินการได้ โดยผ่านการวิเคราะห์ความถดถอย หรือความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงพหุ (Multiple Linear Regression Analysis) โดยสามารถกำหนดตัวแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นในรูปของสมการ ได้ดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \cdots + \beta_{p-1} X_{p-1} + \varepsilon_i$$

โดยที่

Yi แทนผลตอบสนองที่ได้รับจากการรวบรวมข้อมูลในครั้งที่ i

β_0 แทนค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของผลตอบสนองที่ค่าระดับของปัจจัยมีค่าเป็นศูนย์

$\beta_0, \beta_1, \ldots \beta_{p-1}$ แทนค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของปัจจัย

ε_i แทนความผิดพลาดจากการทดลอง i ซึ่งมีความสอดคล้องกับคุณสมบัติของการแจกแจงปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนคงที่เท่ากับ σ^2 หรือ $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ และมีความเป็นอิสระต่อกัน

ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงพหุ สามารถดำเนินการได้ผ่านวิธีกำลังสองที่น้อยที่สุดหากกำหนดให้ D เป็นค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดหรือ

$$D = \sum_{i=1}^{n} (\beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \cdots + \beta_{p-1} X_{p-1})^2$$
$$= \sum_{i=1}^{n} (Y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j X_{ij})^2$$

ในการคำนวณเพื่อให้ได้ค่า D ที่น้อยที่สุดด้วยการกำหนดอนุพันธ์ย่อยเทียบกับค่า β_j และผลลัพธ์ในรูปของเมทริกซ์คือ $(X^TX)b = X^TY$ และค่าประมาณของพารามิเตอร์ (b) สามารถกำหนดได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้ $b = (X^TX)^{-1}X^TY$

2.1.3.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับตัวแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงพหุ

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าการทดสอบเพื่อพิจารณานัยสำคัญทางสถิติของความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงพหุที่ได้รับจากตัวแบบ เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจริงระหว่างผลตอบสนองและปัจจัยความสัมพันธ์ ซึ่งสามารถแสดงสมมติฐานสำหรับการทดสอบได้คือ

H_0: $\beta_1 = \beta_2 = \ldots = \beta_{p-1} = 0$
H_1: $\beta_j \neq 0$ อย่างน้อยหนึ่งค่า

การปฏิเสธสมมติฐานหลักแสดงว่า มีปัจจัยอย่างน้อยหนึ่งตัวจากปัจจัยทั้งหมดที่มีอิทธิพลต่อตัวแบบที่ได้รับจากการประมาณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังนั้นในการทดสอบนัยสำคัญที่เกิดขึ้นสำหรับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงพหุคูณ สามารถพิจารณาได้จากวิธีที่ใช้ในการทดสอบนัยสำคัญ

สำหรับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเชิงเดี่ยวในบทที่ผ่านมา ดังนั้นผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลทั้งหมด (Total Sum of Squares, SS_{Total}) ที่ได้รับจากผลต่างของค่าสังเกตและค่าพยากรณ์จากตัวแบบความสัมพันธ์สามารถจำแนกออกเป็น ผลรวมกำลังสองของค่าความผิดพลาดจากความสัมพันธ์ (Sum Squares of Regression, SS_R) และผลรวมกำลังสองของค่าความผิดพลาดจากการทดลองสุ่ม (Sum Squares of Error, SS_E)

2.1.3.7 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในแต่ละค่า

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าในการทดสอบอาจสนใจการทดสอบสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในแต่ละค่าเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นการทดสอบสมมติฐานของทุกๆสัมประสิทธิ์ที่มีในตัวแบบความสัมพันธ์ (Box and Draper, 2007; Montgomery, Peck and Vining, 2012; Seber and Lee, 2003)

การทดสอบชนิดนี้เป็นการตรวจสอบเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ที่มีการคาดการณ์ว่า อาจส่งผลต่อตัวแบบความสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธิ์นั้นถูกแสดงหรือถูกนำออกจากตัวแบบความสัมพันธ์เดิมที่มีอยู่ การตรวจสอบความสำคัญของสัมประสิทธิ์ในตัวแบบความสัมพันธ์แต่ละตัวสามารถเขียนสมมติฐานเพื่อการทดสอบได้ดังนี้

$$H_0: \beta_j = \beta_{j0}$$
$$H_1: \beta_j \neq \beta_{j0}$$

หากสมมติฐานหลักไม่สามารถปฏิเสธได้ หรือเป็นจริง สามารถบ่งชี้ได้ว่า สัมประสิทธิ์ของปัจจัยนั้น ๆ สามารถตัดออกจากตัวแบบความสัมพันธ์ที่ได้รับก่อนหน้านี้ได้ โดยมีข้อสมมติของความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตและค่าพยากรณ์จากตัวแบบหรือค่าความผิดพลาด ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการทดลองนั่นคือ ข้อมูลค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ และเป็นอิสระต่อกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนคงที่เท่ากับ $\boldsymbol{\sigma}^2$ โดยที่ตัวแปรสุ่มซึ่งใช้ในการวิเคราะห์สมมติฐานนี้คือ T_0 ซึ่งมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที (Student's t-Distribution) โดยที่

$$t_o = \frac{(b_j)}{Se\{b_j\}}$$

โดยที่ $Se(b_j)$คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานสัมประสิทธิ์ในตัวแบบความสัมพันธ์แต่ละตัว สำหรับการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวในบางครั้งเรียกว่า การทดสอบบางส่วนหรือการทดสอบมาร์จินัล (Partial or Marginal Test) เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ที่กำลังใช้ในการวิเคราะห์ความสำคัญในขณะนั้นขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์อื่น ๆ ที่เหลืออยู่ในตัวแบบความสัมพันธ์

2.1.3.8 การวิเคราะห์ความผิดพลาดจากการทดลองสุ่ม หรือสิ่งตกค้าง (Residual Analysis)

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าการพิจารณาข้อสมมติสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มหรือสิ่งตกค้าง (Experimental Error or Residual, ε_{ij}) มีการกระจายแบบปกติ (Normally Distributed) และมีความเป็นอิสระต่อกัน (Independently Distributed, COV(ε_i , ε_j) = 0) และค่าความแปรปรวนคงที่แต่ไม่ทราบค่า (Constant Variance, V(ε_{ij}) = σ^2) มีความถูกต้องตรงตามข้อสมมติ ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถนำไปใช้ได้ ในการทดลองจริงอาจมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบความถูกต้องของข้อสมมติดังกล่าว ความไม่สมบูรณ์หรือความไม่เหมาะสมของข้อสมมติอาจตรวจสอบได้โดยพิจารณาผ่านความผิดพลาดของการทดลองหรือความแตกต่างระหว่างผลตอบสนอง (y) และค่าประมาณของผลตอบสนองในแต่ละแผนการทดลอง ($\hat{y}$)

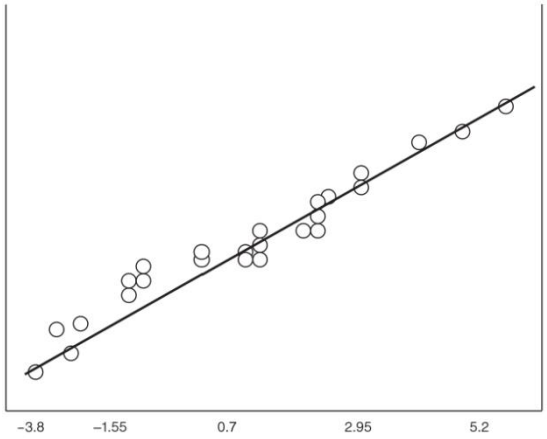
ในการพิจารณาแผนการทดลองพื้นฐานระดับต่างๆของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลหรือผลตอบสนองที่ได้รับจากการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยตัวแบบสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model) เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนั้นความผิดพลาดจากการทดลองที่เกิดขึ้นต้องกำหนดผ่านตัวแบบ ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์นั้น ความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มที่ใช้ในการกำหนดคุณสมบัติทั้งสามประการสามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}\varepsilon_{ij} &= y_{ij} - \hat{y}_{ij} \\ &= y_{ij} - \bar{y}_{i.}\end{aligned}$$

ส่วนความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มสำหรับแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสามารถคำนวณได้จาก

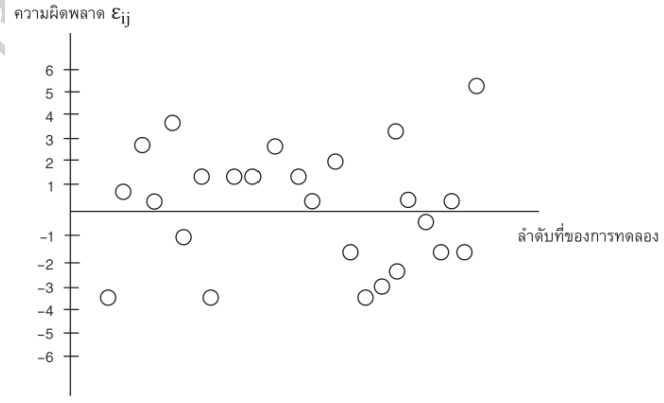
$$\begin{aligned}\varepsilon_{ij} &= y_{ij} - \hat{y}_{ij} \\ &= y_{ij} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.j} + \bar{y}_{..}\end{aligned}$$

การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ เป็นการตรวจสอบข้อสมมติด้านการกระจายแบบปกติของข้อมูลที่ได้รับจากการทดลอง สามารถทำได้โดยการพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าความผิดพลาดจากการทดลอง ถ้าข้อสมมติมีความถูกต้องการนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟควรมีลักษณะเป็นเส้นตรง



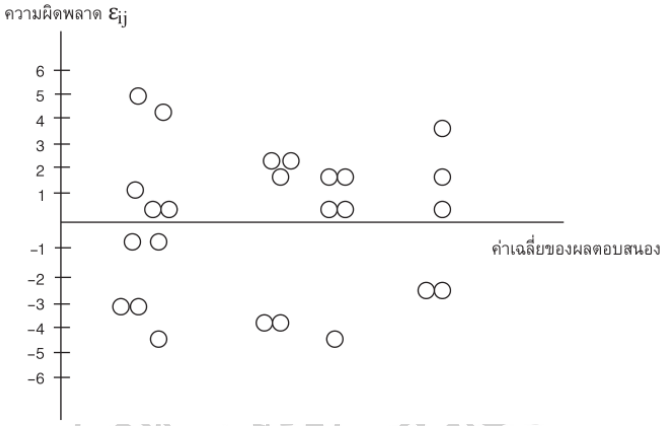
ภาพที่ 12 การแจกแจงปกติของความผิดพลาดจากการทดลองแบบสุ่ม

การตรวจสอบการแจกแจงที่เป็นอิสระต่อกัน เป็นการพล็อตระหว่างความผิดพลาดจากการทดลองกับลำดับที่ของการทดลองแบบสุ่ม ความผิดพลาดจากการทดลองมีทั้งค่าลบและค่าบวก หากเงื่อนไขของข้อสมมติของความเป็นอิสระต่อกันเป็นจริง ความผิดพลาดจากการทดลองควรมีแนวโน้มที่มีการกระจายเมื่อลำดับที่ของการทดลองเพิ่มขึ้น หากลักษณะแนวโน้มที่เกิดขึ้นมีทิศทางเดียวในแนวเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อลำดับที่การทดลองเพิ่มขึ้นแสดงว่าข้อสมมตินั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น การออกแบบที่ใช้ในการทดลองแบบสุ่มที่เหมาะสมมีส่วนสำคัญในการทำให้ข้อมูลมีลักษณะตรงตามข้อสมมติ



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ของความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มและลำดับที่ของการทดลอง

การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่เป็นการพล็อตระหว่างค่าความผิดพลาดจากการทดลองกับค่าประมาณการทดลองในแต่ละระดับ ค่าความผิดพลาดควรมีแนวโน้มที่มีการกระจายเมื่อพิจารณาที่ค่าประมาณการทดลองในแต่ละระดับ หากเกิดแนวโน้มของรูปทรง เช่น ลักษณะลำโพง แสดงว่าข้อสมมติฐานเกิดความผิดปกติ



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ของความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มและค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองในแต่ละระดับ

2.1.3.9 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Analysis of Mean: ANOM)

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าแผนการทดลองกรณีไม่พิจารณาปัจจัยที่รบกวนระบบโดยอาศัยการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Analysis of Mean: ANOM) กำหนดค่าผลตอบสนอง (y) ที่ต้องการวัดผล โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

- ระบุปัจจัยที่สนใจศึกษา
- ระบุแบบแผนการทดลองที่จะใช้โดยอาจเป็นแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล หรือใช้ออร์โทโกนอลแอร์เรย์ที่เหมาะสมกับจำนวนปัจจัยที่สนใจ
- ทำการทดลองรวบรวมข้อมูลแล้วคำนวณค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองในทุกๆการทำซ้ำของแต่ละวิธีปฏิบัติ
- การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยโดยอาศัยผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่สูงสุดและต่ำสุดของผลตอบสนอง (Delta) ที่เกิดขึ้นในแต่ละระดับของทั้งอิทธิพลปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม
- การวิเคราะห์ผลจากตารางค่าเฉลี่ยและกราฟ เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์การทดลอง

- สร้างสมการประมาณค่าผลตอบสนอง ($\hat{\mu}_y$) และคำนวณค่าพยากรณ์ของผลตอบสนองที่ระดับปัจจัยที่กำหนดไว้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย

2.1.3.10 การเข้ารหัสสำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) กล่าวว่าแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลกรณีที่มีปัจจัยรบกวนระบบ อาศัยสมการตัวแบบทางสถิติเชิงเส้น (Linear Statistic Model) สามารถจำลองข้อมูลที่มีความแตกต่างกันได้ เช่น กรณีที่ปัญหาเชิงวิศวกรรมประกอบด้วย 3 ปัจจัย สมการตัวแบบสามารถแสดงได้ดังนี้

หรือ $$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \begin{cases} i = 1,2 \\ j = 1,2 \\ k = 1,2 \\ l = 1,2,\dots,n \end{cases}$$

$$y_{ijkl} = \mu + aA_i + bB_j + cC_k + dA_iB_j + eA_iC_k + fB_jC_k + gA_iB_jC_k + \varepsilon_{ijkl}$$

จากตัวแบบข้างต้น สามารถแสดงข้อมูลธรรมชาติที่มีความแตกต่างกันได้ โดยผ่านผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมเชิงเส้นตรงของแต่ละปัจจัยและจำนวนทำซ้ำ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการเข้ารหัสข้อมูล เพื่อประโยชน์ทางธุรกิจและการศึกษาไปในคราวเดียวอย่างมีประสิทธิภาพ ดัชนีชี้วัดคุณภาพของการเข้ารหัสที่เหมาะสมประกอบด้วย ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Tested Statistic of F_0 via ANOVA) และการตรวจสอบความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มที่มีการแจกแจงปกติ ความเป็นอิสระต่อกัน และความแปรปรวนคงที่ที่ยังคงสภาพของความถูกต้องสมบูรณ์ตามหลักการของการวิเคราะห์ความผิดพลาดจากการทดลองสุ่ม (Experimental Errors) หรือสิ่งตกค้าง (Residual Analysis)(Pothijan and Luangpaiboon, 2007)

2.1.3.11 ข้อมูลธรรมชาติ

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2562) การพิจารณาเงื่อนไขสถานการณ์หนึ่งของปัญหาในการปรับปรุงกระบวนการ ด้วยการออกแบบการทดลองมีข้อมูลธรรมชาติ การวิเคราะห์ความแปรปรวน รวมทั้งเงื่อนไขความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ผลลัพธ์จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับกรณีการตรวจสอบความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มที่มีการแจกแจงปกติ ความเป็นอิสระต่อกันและความแปรปรวนคงที่ได้ ดังนี้

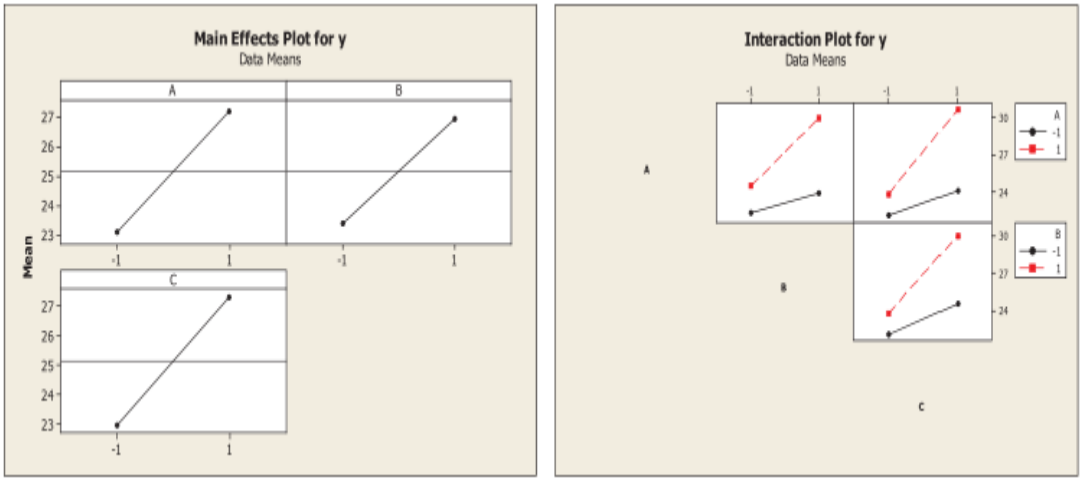
ตารางที่ 6 ข้อมูลธรรมชาติ สำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ

A	B	C	Replicate			
			1	2	3	4
−1	−1	−1	22.20	21.92	22.71	22.75
1	−1	−1	21.46	22.24	21.65	22.27
−1	1	−1	23.30	21.51	22.66	20.16
1	1	−1	27.07	25.44	24.27	26.02
−1	−1	1	22.82	20.66	21.25	24.15
1	−1	1	25.66	27.21	26.18	29.00
−1	1	1	25.75	26.89	25.61	25.35
1	1	1	34.46	34.15	32.33	35.58

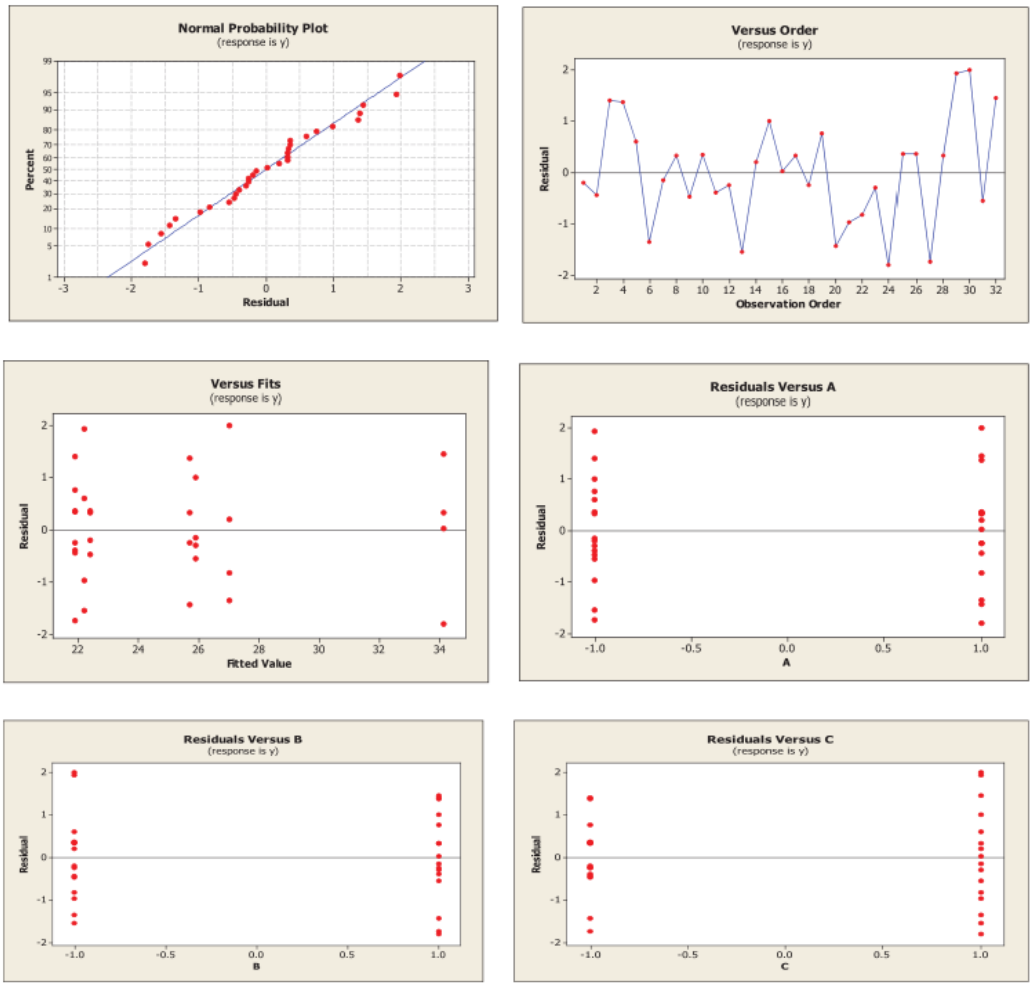
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติ สำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ

SOV	SS	DF	MS	F_0	P-value
A	133.25	1	133.25	101.41	0.000
B	99.51	1	99.51	75.73	0.000
C	150.56	1	150.56	114.58	0.000
AB	29.80	1	29.80	22.68	0.000
AC	47.28	1	47.28	35.98	0.000
BC	28.05	1	28.05	21.35	0.000
ABC	0.35	1	0.35	0.27	0.610
Residual	31.54	24	1.31		
Total	520.34	31			

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติพบว่า อิทธิพลของปัจจัยหลัก A, B และ C และอิทธิพลของสองปัจจัยร่วม AB, AC และ BC มีค่าพี (P-value) เท่ากับ 0.000 ทั้งหมด โดยอิทธิพลของสามปัจจัยร่วม ABC มีค่าพี (P-value) เท่ากับ 0.610 ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก สำหรับอิทธิพลของปัจจัย A, B และ C และอิทธิพลของสองปัจจัยร่วม AB, AC และ BC โดยอิทธิพลของสามปัจจัยร่วม ABC ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก นอกจากนี้ยังมีความสอดคล้องตรงตามเงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์ความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มทั้งทางด้านการแจกแจงปกติ ความเป็นอิสระต่อกันและความแปรปรวนคงที่



ภาพที่ 15 อิทธิพลของปัจจัยหลักและอิทธิพลของสองปัจจัยร่วมของข้อมูลธรรมชาติ สำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ



ภาพที่ 16 การวิเคราะห์ความผิดพลาดจากการทดลองสุ่มข้อมูลธรรมชาติ สำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุณชัย แซ่สิ้ว และ ณัฐธยาน์ โสกุล (2559) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวในบริษัทแห่งหนึ่ง พบว่ามีของเสียจากการบรรจุจากการเกิดซองรั่ว และหาแนวทางในการลดของเสียที่เกิดขึ้น โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิง 2^K Factorial Design เพื่อศึกษาระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักร จากการผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการรั่วของซองบรรจุขนมขบเคี้ยว ประกอบด้วย 4 ปัจจัย คือ 1.ความเร็วรอบ (Revolution per minute) 2.อุณหภูมิ (Temperature) 3.แรงกด (Pressure) และเวลาในการซีล(Cycle Time) โดยทำการทดลองซ้ำแบบ 3 ครั้ง จำนวนการทดลองทั้งสิ้น 48 การทดลอง จากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม มีค่าระดับปัจจัยแต่ละปัจจัย ดังนี้ ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 157 องศาเซลเซียส แรงกด 6 Bar และเวลาในการซีล 0.5 วินาที จากการปรับพารามิเตอร์ของเครื่องจักร 4 ปัจจัยนี้ สามารถลดของเสียที่เกิดจากการรั่วของซองบรรจุขนมขบเคี้ยวได้

(องค์การ ศิริสวัสดิ์, 2551)ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดของเสียจากการผลิตเทฟลอนและหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อของเสียที่เกิดขึ้น โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลดีไซน์ (2^K) ระดับของปัจจัย 2 ระดับ นำแผนภาพแสดงเหตุและผล การระดมสมอง มาใช้ในขั้นตอนการวิจัย วิเคราะห์เบื้องต้นพบ 5 ปัจจัย และนำปัจจัยดังกล่าวมาทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^K Factorial Design วิเคราะห์การทดลองพบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดของเสีย 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 1, 2, 3, 4 เป็นค่าที่เหมาะสมของระดับปัจจัยเพื่อการใช้งาน แล้วนำระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองมาใช้ในกระบวนการผลิตจริงเป็นระยะเวลาทั้งหมด 3 เดือน พบว่าค่าของระดับของปัจจัยที่นำมาใช้งาน สามารถลดของเสียได้ที่เกิดจากการผลิตเทฟลอนได้

ศุภเวช ศรีเผือก (2553) ได้ทำการศึกษาสายงานการบรรจุหีบห่อเครื่องบรรจุครีมเทียม พบว่าประสิทธิภาพการเดินเครื่องต่ำซึ่งเกิดจากการหยุดสายงาน วิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้นได้ 3 ปัจจัย คือ การปิดผนึกไม่สนิท การพิมพ์วันที่ไม่ชัดเจน และปัญหาในการตรวจจับโลหะ เมื่อพิจารณาปัจจัยอุณหภูมิหลักของชุดแท่งความร้อนและความเร็วของเครื่องจักรในการบรรจุ โดยทำการออกแบบการทดลองแบบ 3^2 แฟคทอเรียล เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ได้แก่ ความเร็วอยู่ที่ 21 ซองต่อนาที และอุณหภูมิแท่งความร้อนที่ 186.68 องศาเซลเซียส ส่วนการพิมพ์วันที่ไม่ชัดเจนได้กำหนดการใช้งานรุ่นหมึกพิมพ์ของฟิล์มของเครื่องพิมพ์วันที่ รุ่น 3810 และปัญหาในการตรวจจับโลหะของเครื่องตรวจจับโลหะ ได้ทำการปรับปรุงด้านไฟฟ้าสถิตโดยเดินระบบสายดินใหม่ และปรับปรุงการรบกวนการสั่นสะเทือนด้วยการติดยางกันกระเทือนโดยใช้ผ้ากรองเชื่อมรอยต่อ ร่วมกับการทำกิจกรรม 5 ส พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายงานการผลิตได้เป็น 80.095% และลดเวลาการหยุดได้ 1034.49 นาที/เดือน เพิ่มกำไรสุทธิได้ 86,897.16 บาทต่อเดือน

สยาม พรหมยศ (2553) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียอลูมิเนียมฟอยด์ ในโรงงานผลิตครีมเทียมของแผนกบรรจุภัณฑ์และหีบห่อ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล เพื่อทำการกรองปัจจัยที่ส่งผลต่อการสูญเสียอลูมิเนียมฟอยด์อย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นประยุกต์ใช้การทดลองแบบ 3^2 แฟคทอเรียล เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นที่ผิวตอบสนองในการลดการสูญเสียอลูมิเนียมฟอยด์ ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าระดับปัจจัยของอุณหภูมิหลักของ Heat Jaw ที่ 190 องศาเซลเซียส และอัตราความเร็วการบรรจุที่ 45 ซองต่อนาที ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองที่ได้มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการทำงานจริงจำนวน 106 กะการทำงาน พบว่าสามารถลดของเสียลงได้ 3.16% และลดค่าใช้จ่ายลงได้ประมาณ 1,514,259 บาทต่อปี

ปาพจนี ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา (2561) ได้ทำการศึกษาในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) ซึ่งพิจารณาจากผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการสั่งซื้อมากที่สุด ใช้หลักการ 4M เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ พบว่าเกิดปัญหาจากการปรับตั้งค่าของเครื่องฉีดพลาสติก พบปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นบ่อย 4 ปัญหาหลัก คือ 1.อุณหภูมิในการอุ่นเม็ด 2.อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก 3.อุณหภูมิแม่พิมพ์ และ 4.แรงดันในการฉีด และนำหลักการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดของเสีย จากนั้นทำการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้หลักการ Response Optimization ในการหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในกระบวนการผลิต สามารถลดของเสียลงได้ 88.05% ซึ่งบรรลุเป้าหมายที่วางไว้ 50%

ปัญญา ดอนไพรธรรม (2552) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความชื้นของกากตะกอน โดยใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองแบบ 3^k เพื่อหาระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมในการทำให้ความชื้นของกากตะกอนต่ำ ในกระบวนการทำให้กากตะกอนแห้ง ในการทดลองผู้วิจัยทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง และนำผลที่ได้จากการทดลองมาปรับใช้ในการทำงานจริงกับเครื่องกรอง พบว่าค่าของความชื้นในกากตะกอนเฉลี่ยที่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถลดต้นทุนจากการบำบัดน้ำเสียได้

กุสุมา จิรวงศ์สวัสดิ์ (2550) ได้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตฟริตในโรงงานผลิตสารเคลือบเซรามิกส์เพื่อลดจำนวนของเสียในโรงงานตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่องโดยการพัฒนาแบบฟอร์มการตรวจสอบเครื่องจักรประจำวันและเอกสารวิธีการปฏิบัติงานรวมถึงการอบรมพนักงาน และนำหลักการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2^k ในการปรับอัตราการหมุนส่งวัตถุดิบและขนาดสกรูที่เหมาะสม และหาปริมาณทรายที่เหมาะสมในขั้นตอนการทำความสะอาดด้วยวิธีการทดลองแบบ

ปัจจัยเดียว พบว่าจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถลดของเสียลงได้ 50,856.6 กก. คิดเป็นจำนวนเงินประมาณ 314,656.2 บาท และคุณภาพผลิตเพิ่มขึ้น 98.6% ตามเป้าหมายคุณภาพ

มารุต มูเก็ม (2562) ได้ทำการศึกษาโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านคุณภาพและแนวทางของคิวซีสตอรี่ (QC story) ในการค้นหาสาเหตุของปัญหาและการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นำแนวคิดของเครื่องมือควบคุมคุณภาพมาเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหา ทำการระดมสมองโดยใช้แผนผังก้างปลา แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง เพื่อลดจำนวนกระป๋องบุบในคลังสินค้าของบริษัท สยามอินเตอร์เนชั่นแนลฟู๊ด จำกัด พบว่าสามารถลดจำนวนกระป๋องบุบในคลังสินค้าได้ทั้งแผนกสโตร์และแผนกปิดฉลาก จากเดิมแผนกสโตร์มีจำนวนของเสีย 1,103 ppm ลดลงเหลือ 980 ppm คิดเป็นร้อยละ 11 และแผนกปิดฉลากมีจำนวนของเสีย 868 ppm ลดลงเหลือ 423 ppm คิดเป็นร้อยละ 51

อิสราภณ์ ธรรมวาโร (2563) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตอาหารสัตว์แปรรูปเกี่ยวกับการสูญเสียผลิตภัณฑ์ 3 แบบ ได้แก่ ถุง กระป๋อง และถ้วยพลาสติก โดยใช้แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) มาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบโดยการประเมินตัวเลขความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) แล้วคัดเลือกสาเหตุของปัญหาที่มีความเสี่ยงร้อยละ 50 นำมาปรับปรุง ด้วยการใช้วงจรการควบคุมคุณภาพ (Plan – Do – Check - Action: PDCA) โดยการใช้วิธีการที่เหมาะสมกับแต่ละสาเหตุที่ทำการวิเคราะห์ แล้วทำการติดตามผลด้วยการเก็บข้อมูลปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นอีกครั้ง เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นก่อนปรับปรุง พบว่าสามารถลดปริมาณการสูญเสียของบรรจุภัณฑ์ถ้วยพลาสติก จากจำนวนของเสีย 2,553 ppm ลดลงเหลือ 1,687 ppm คิดเป็นร้อยละ 28 และสามารถคิดเป็นมูลค่าของเสียลดลงได้ 150,844 บาทต่อปี

Pavletic (2008) ได้ประยุกต์ใช้ 7QC tools ในการปรับปรุงกระบวนการให้มีคุณภาพมากขึ้น พบว่าสามารถนำหลักการนี้ไปปรับประยุกต์ใช้ได้กับทุกกระบวนการ เป็นพื้นฐานในการทำงานอย่างเป็นระบบ

Mager (2014) ได้นำหลักการ 7QC tools มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการโดยประยุกต์ใช้หลักการ QC tools ในการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล ค้นหาสาเหตุและวัดผล ในการนำหลักการนี้มาใช้พบว่าสามารถช่วยพัฒนาคุณภาพให้ดีขึ้นได้ รวมทั้งยังสามารถปรับปรุงความสามารถในการทำงานของบุคลากร รวมถึงสิ่งแวดล้อมภายในองค์กรได้อีกด้วย

Khalid (2011) ได้ศึกษาการลดช่องว่างของการนำหลักการ Design of Experiments (DOE) มาใช้งานพบว่าไม่เพียงแต่จำกัดการใช้งานแต่ยังมีข้อบกพร่องหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับความรู้ความเข้าใจในการนำมาใช้งานด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล การวิเคราะห์การทดลอง การตีความค่า p-value และการวัดความสำคัญของผลกระทบจากแฟกทอเรียล

ในการทดลองนี้ถูกใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการทดลอง เพื่อให้ได้ข้อสรุปเดียวกันเมื่อทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ 2 ระดับ L16 ร่วมกับวิธี pooling up หรือกราฟ Half normal probability ให้ผลในทำนองเดียวกันกับการออกแบบการทดลอง L18 โดยให้ผลการทดลองดีที่สุดแบบ 3 ระดับ และควรหลีกเลี่ยงการออกแบบการทดลองขนาดเล็ก เช่น L8 และ L9 โดยการทดลองนี้มีแนวความคิดเกี่ยวกับการใช้ P-value และการวัดความสำคัญของผลกระทบ

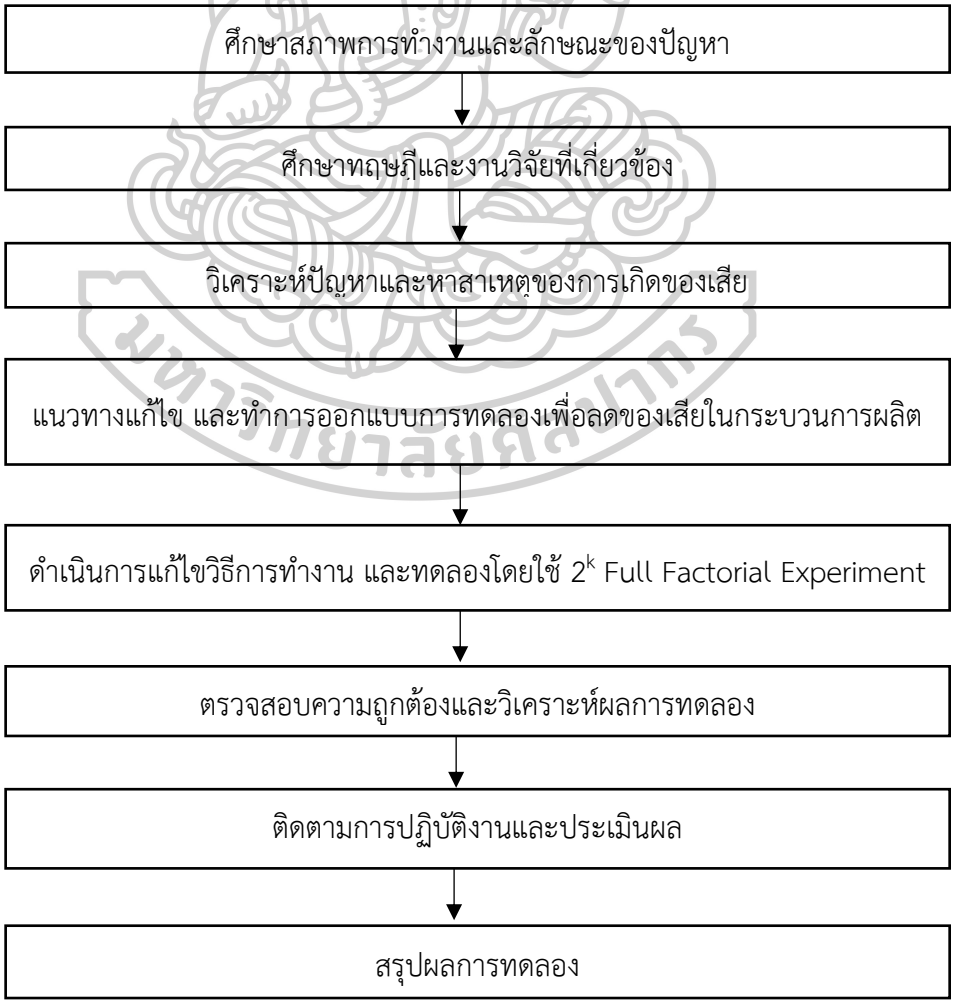
Pedersen (2015) การประยุกต์ใช้ Design of Experiments (DOE) กับปัญหาด้านวิศวกรรมอาหาร (FE) ในด้านคุณภาพ ซึ่งได้กล่าวถึงแนวความคิดเกี่ยวกับคุณภาพอาหารและวิธีการที่วิศวกรรมคุณภาพ (QE) เสนอให้มีการกำหนดคุณภาพสำหรับอาหาร โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและประยุกต์ใช้การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกของกุ้ง ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาคุณภาพในการปรุงอาหารและควบคุมน้ำหนักได้ดีขึ้น ทั้งนี้ยังได้ศึกษาการใช้ ASCA สำหรับวิเคราะห์การทดลองที่ออกแบบโดยใช้ข้อมูลภาพในการตอบสนองในกระบวนการตรวจสอบเพื่ออธิบายว่าการเลือกกระบวนการจะส่งผลต่อรูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์อย่างไร จุดมุ่งหมายเพื่อแสดงให้เห็นว่าหลักการพื้นฐานของ DOE มีความสำคัญและความเกี่ยวข้องทั้งในอุตสาหกรรมอาหารและการวิจัยของวิศวกรรมอาหาร (FE)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษากระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป เพื่อนำมาวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่ก่อให้เกิดของเสียในกระบวนการ และนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ และลดของเสียในกระบวนการผลิต โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (QC story) การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and analysis of Experiment) แบบ 2^k full factorial design และการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมเข้ามาดำเนินการในการแก้ไขปัญหา โดยนำความรู้มาจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ตามแผนภาพการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



โดยมีการปฏิบัติตามลำดับด้วยกันทั้งหมด 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษากระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป ด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ

2. ศึกษาสภาพการบรรจุก่อนการปรับปรุง

3. วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อปรับปรุงกระบวนการ และเพื่อใช้เป็นปัจจัยในการทดลอง

4. ออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการบรรจุ

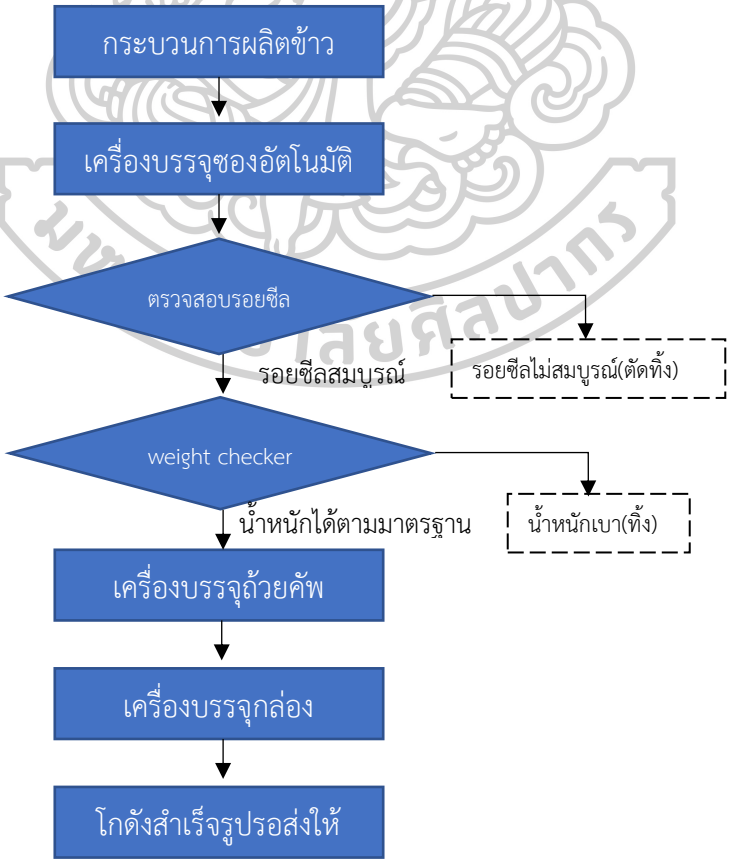
5. ดำเนินการทดลองโดยการประยุกต์ใช้เหตุและผลในการปรับปรุงกระบวนการ และใช้การทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ 2^k Full Factorial Design

6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

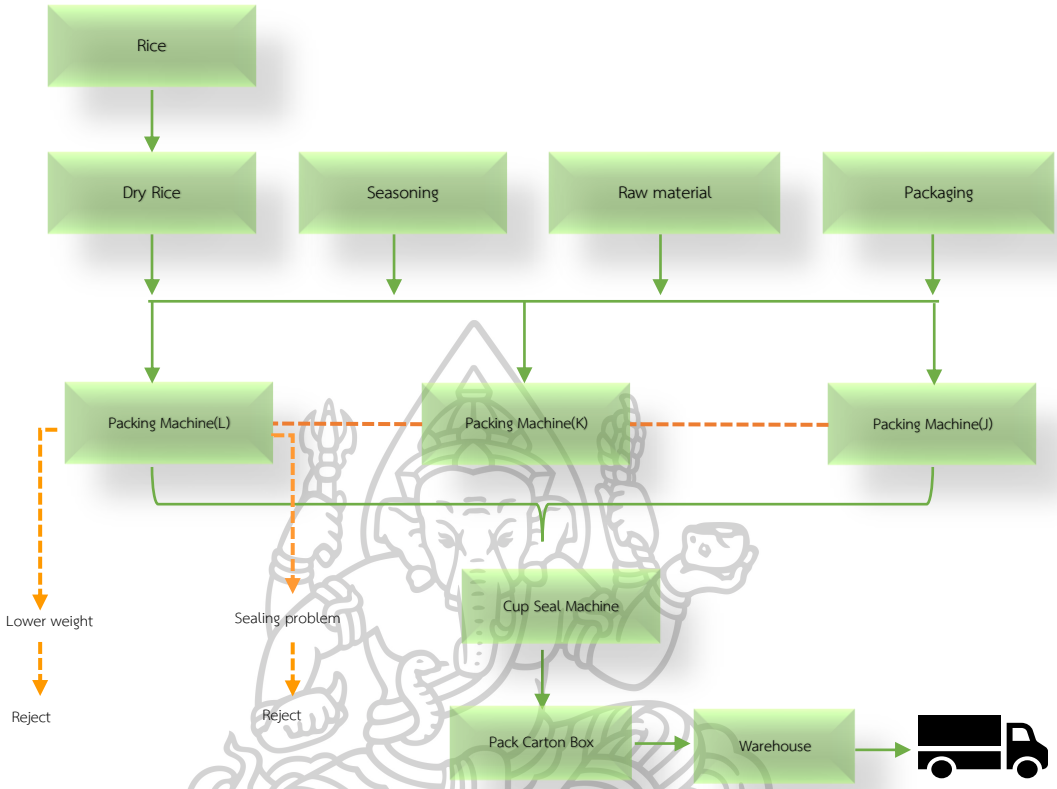
7. สรุปผลการทดลอง

3.1 ศึกษากระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป ด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ

จากการศึกษากระบวนการผลิต ในขั้นตอนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป ด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ มีกระบวนการหลัก ๆ ดังนี้



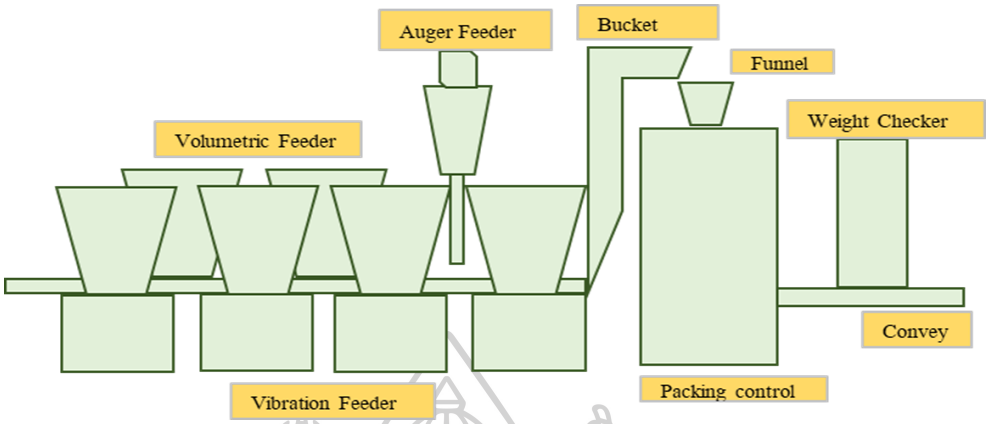
กระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป



ภาพที่ 17 แผนภาพกระบวนการผลิตข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

จากการศึกษากระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปข้างต้น มี 7 ขั้นตอนหลัก ๆ โดยเริ่มจากกระบวนการผลิตข้าวอบแห้ง โดยเริ่มตั้งแต่การรับวัตถุดิบ ตรวจรับวัตถุดิบ การนำวัตถุดิบไปใช้ผลิต ซึ่งเป็นการผลิตข้าวอบแห้งด้วยเครื่องอัตโนมัติแบบต่อเนื่อง เมื่อได้ข้าวอบแห้งตรงตามมาตรฐานที่กำหนดแล้ว จะส่งไปยังกระบวนการถัดไป คือ กระบวนการบรรจุ ด้วยเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ ซึ่งมี auto filling machine ของวัตถุดิบต่างๆรวมอยู่ด้วย เมื่อเครื่องพร้อมแล้วจะปล่อยผลิตภัณฑ์ลงไปเพื่อบรรจุ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดซอง 60 x 130 mm. โดยมีรอยซีลทั้งหมด 3 ด้าน พนักงานจะสุ่มตรวจสอบรอยซีลซองที่หน้าเครื่องด้วยการบีบซอง หลังจากผ่านการซีลซองด้วยเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติแล้ว ซองจะถูกลำเลียงไปบนสายพานเพื่อเข้าสู่ weight checker หากพบว่าน้ำหนักเบากว่าเกณฑ์มาตรฐานตามที่กำหนดไว้จะถูก reject ออกจากสายพานลำเลียงทันทีเป็นการตรวจสอบน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ 100% หลังจากนั้นจะเข้าสู่เครื่องบรรจุถ้วยคัพและเครื่องบรรจุกล่องซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต แล้วนำไปจัดเก็บในคลังสินค้าสำเร็จรูปเพื่อรอส่งออก

การบรรจุด้วยเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ



ภาพที่ 18 แผนภาพกระบวนการผลิตข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

การบรรจุด้วยเครื่องบรรจุซองอัตโนมัตินี้ ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นเฉพาะส่วนการซีลซองของผลิตภัณฑ์ข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป โดยสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้งานกับเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ ซึ่งประกอบไปด้วย

1. อุณหภูมิของ Sealer
2. ความเร็วของเครื่องจักรในการบรรจุ
3. แรงดันลมที่ใช้ในการกดหน้า seal
4. เวลาที่ใช้ในการ seal

การทำงานของเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ เริ่มจากการรอยฟิล์มประเภท Metalized เข้ากับเครื่อง ผ่านการขึ้นรูปฟิล์มด้วย forming แบบ Tube ด้านหลังมี vertical seal สำหรับซีลซองด้านหลัง และ horizontal seal สำหรับซีลซองด้านหน้าแนวบนและแนวล่างของซอง พร้อมกับใบมีดสำหรับตัดฟิล์มแบ่งออกเป็นแต่ละซอง ซองของผลิตภัณฑ์จะถูกส่งผ่านไปตามสายพานเข้าสู่เครื่อง weight checker เพื่อควบคุมน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกส่งผ่านตามสายพานไปยังกระบวนการบรรจุถ้วยคัพและบรรจุกล่อง ก่อนส่งเข้าสู่คลังสินค้าสำเร็จรูป

3.2 ศึกษาสภาพการบรรจุก่อนการปรับปรุง

จากการศึกษากระบวนการบรรจุข้าวต้มอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปของโรงงานตัวอย่าง พบว่าในการประเมินประสิทธิภาพในการผลิตของกระบวนการนี้ มีการหยุดเครื่องจักรระหว่างการผลิต ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของการผลิตลดลง และไม่สามารถผลิตได้ตามแผนที่วางไว้ ทำให้ต้นทุนในการ

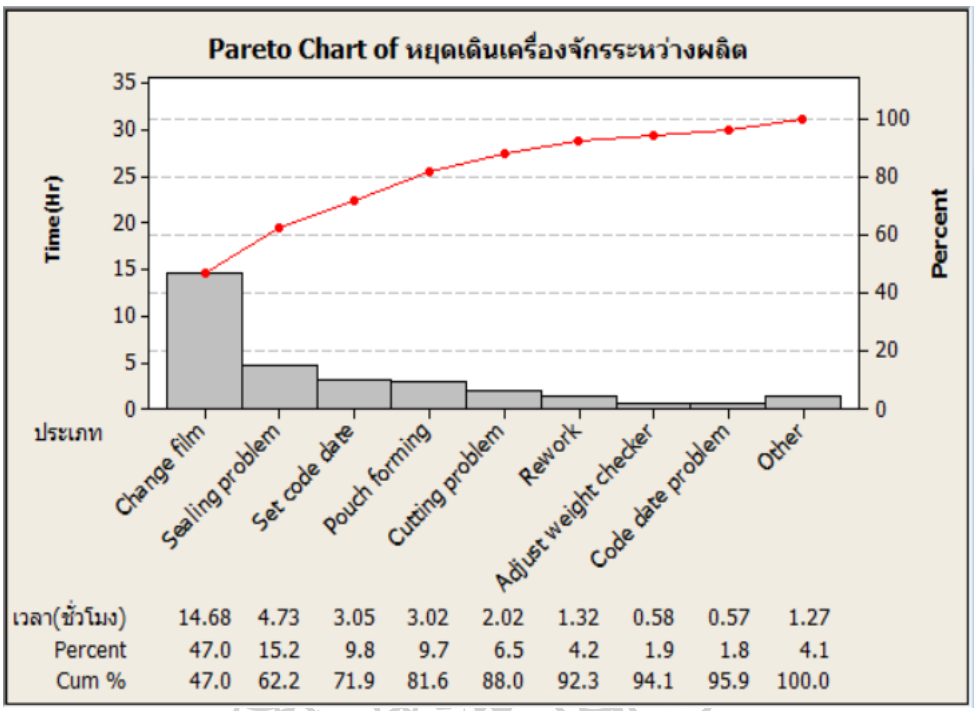
ผลิตเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการเสียโอกาสในการผลิต จากการหยุดเครื่องจักรในการผลิตของกระบวนการนี้

จากการเก็บข้อมูลการผลิตในกระบวนการผลิต ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม พ.ศ.2563 พบว่ามีการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิต ที่ส่งผลกระทบต่อเวลาในการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คือ การปรับตั้งเครื่องบรรจุอัตโนมัติ

ตารางที่ 8 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิต ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม 2563

หยุดเดินเครื่องระหว่างผลิต	เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์
Change film	14.68	1.78
Set code date	3.05	0.37
Add ink	0.28	0.03
Cutting problem	2.02	0.24
Sealing problem	4.73	0.57
Pouch forming	3.02	0.37
Feeding problem	0.27	0.03
Check weight problem	0.32	0.04
Code date problem	0.57	0.07
Adjust weight checker	0.58	0.07
Rework	1.32	0.16
Pouch problem	0.40	0.05
Total	31.23	3.79

จากการเก็บข้อมูลของประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตของเครื่องบรรจุ Line.L ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2563 เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าเครื่องบรรจุ Line.L หยุดเครื่องไปทั้งหมด 31.23 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 3.79 ของเวลาการเดินเครื่องจักรทั้งหมด



เมื่อนำข้อมูลการหยุดเดินเครื่อง Line.L มาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต ในภาพที่ 19 พบว่ามี 3 สาเหตุหลักของการหยุดเดินเครื่องจักรระหว่างผลิต คือ

1). change film(การเปลี่ยนม้วนฟิล์ม)

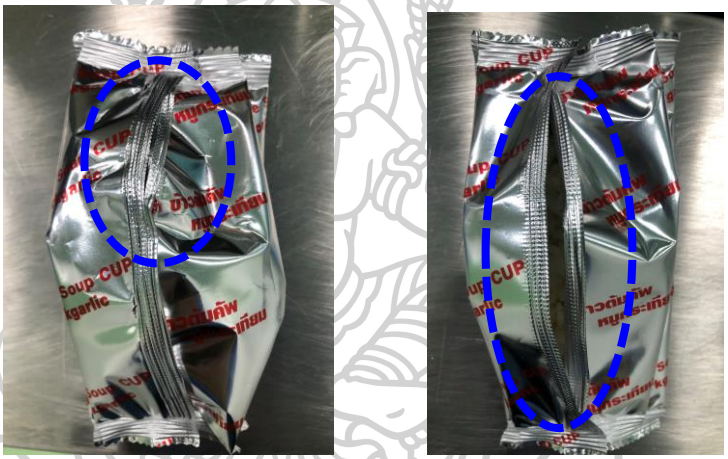
2). Sealing problem(ปัญหาการซีลซอง)

3). set code date (การตั้งพิมพ์วันที่)

ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เครื่องจักรหยุดที่เกิดจาก change film (การเปลี่ยนม้วนฟิล์ม) และ set code date (การตั้งพิมพ์วันที่) นั้นไม่ได้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ทำให้เกิด downtime ของเครื่องจักร พนักงานจะทำการหยุดเครื่องยกฟิล์มม้วนใหม่เพื่อรอยฟิล์มเข้ากับเครื่องทุกครั้ง และหยุดเครื่องในการตั้งพิมพ์วันที่ ทำให้สูญเสียเวลาในการผลิตและจำนวนผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ในส่วนของสาเหตุ Sealing problem(ปัญหาการซีลซอง) นั้นกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยตรง เนื่องจากอาจเป็นผลทำให้อายุการจัดเก็บของผลิตภัณฑ์ลดน้อยลง ทั้งยังส่งผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพลักษณะของวัตถุดิบภายใน รวมถึงรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่อาจเปลี่ยนไปตามเวลาในการจัดเก็บ และไม่สามารถส่งต่อไปยังผู้บริโภคได้ นอกจากนี้ทางโรงงานมีนโยบายในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์และลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุ

ตารางที่ 9 แสดงการสูญเสียฟิล์มในการผลิตตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2563

เดือน	% Loss film
กรกฎาคม	14.78
สิงหาคม	14.21
กันยายน	8.33
ตุลาคม	8.72
พฤศจิกายน	8.60
ธันวาคม	4.55
Average	9.87



ภาพที่ 20 ตัวอย่างปัญหาที่เกิดจากการซีลซองไม่สนิท

3.3 วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อใช้เป็นปัจจัยในการทดลอง

3.3.1 การวิเคราะห์สาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนและคุณภาพในการผลิตข้าวต้มอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปในงานวิจัยนี้ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. เวลาในการเปลี่ยนม้วนฟิล์ม ส่งผลกระทบต่อจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ตามแผนการผลิต

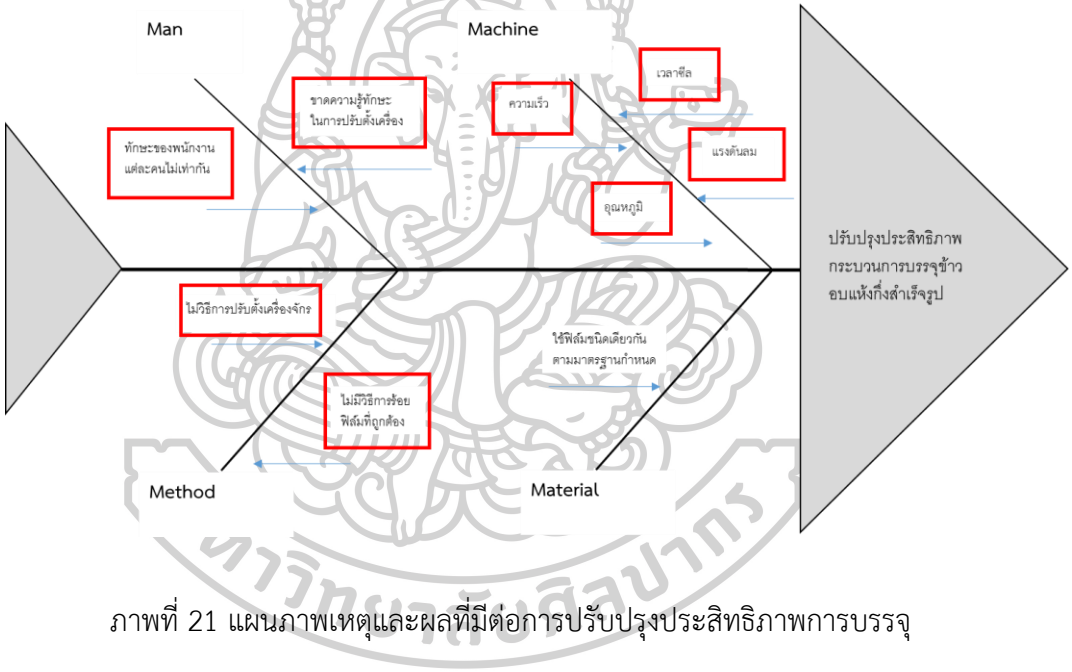
2. เวลาในการเปลี่ยน code บนฟิล์ม ส่งผลกระทบต่อจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ตามแผนการผลิต

3. ปัญหาการซีลฟิล์ม ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำให้ไม่สามารถส่งต่อไปยังขั้นตอนถัดไปได้ และไม่สามารถนำไปจำหน่ายออกสู่ตลาดได้ให้ผู้บริโภคได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้เครื่องมือคุณภาพที่เรียกว่า แผนภาพก้างปลา (Fishbone Diagram or Cause-and-Effect diagram) มาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อค้นหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเกิดของเสีย

3.3.2 การวิเคราะห์สาเหตุเพื่อกำหนดเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

จากหลักการ 4M จะนำไปสู่การระบุปัจจัยเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง ได้แก่ Man, Material, Method, Machine ในการวิเคราะห์เพื่อค้นหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุทางผู้วิจัยได้ระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญในฝ่ายผลิต ฝ่ายวิศวกรรม และฝ่ายควบคุมคุณภาพร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาตามหลักข้อเท็จจริงเพื่อหาปัจจัยหลักที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง โดยวิเคราะห์ตามกระบวนการผลิตเริ่มต้นการจากทำงานของพนักงาน วัตถุดิบ และเครื่องจักรที่ใช้ รวมถึงขั้นตอนการผลิตและของเสียที่เกิดขึ้น สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้



ภาพที่ 21 แผนภาพเหตุและผลที่มีต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการบรรจุ

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ 4M ของปัญหา

ปัจจัย	ปัญหา	ผลกระทบ	การแก้ไข
Man	-ทักษะของพนักงานแต่ละคนไม่เท่ากัน -พนักงานขาดความรู้ทักษะในการปรับตั้งเครื่องจักร	-ไม่มีผลกระทบกับของเสียโดยตรง -มีผลต่อเวลาในการผลิตเนื่องจากเปลี่ยนฟิล์ม	-อบรมพนักงานให้เข้าใจเรื่องการใช้เครื่องจักร -อบรมพนักงานเรื่องวิธีการปรับตั้งฟิล์ม
Material	ใช้ฟิล์มชนิดเดียวกันตามมาตรฐานกำหนด	-ไม่มีผลกระทบกับของเสียโดยตรง	-
Machine	-อุณหภูมิ -ความเร็ว speed -เวลาซีล -แรงดันลม	-อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมีผลทำให้รอยซีลไม่สนิท -ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงมีผลทำให้รอยซีลไม่สนิท -เวลาซีลที่เปลี่ยนแปลงมีผลทำให้รอยซีลไม่สนิท -แรงดันลมที่เปลี่ยนแปลงมีผลทำให้รอยซีลไม่สนิท	-กำหนดค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการซีลซอง -กำหนดความเร็วที่ใช้ในการเดินเครื่อง -กำหนดเวลาซีลที่ใช้ในการซีลซอง -กำหนดแรงดันลมที่ใช้ในการซีลซอง
Method	-ไม่มีวิธีการปรับตั้งเครื่องจักร -ไม่มีวิธีการร้อยฟิล์มที่ถูกต้อง -ไม่มีวิธีการตั้งพิมพ์ code	-ไม่มีผลกระทบกับของเสียโดยตรง -มีผลต่อเวลาในการผลิตเนื่องจากเปลี่ยนฟิล์มและการตั้งพิมพ์ code	-จัดทำคู่มือวิธีการปรับตั้งเครื่องจักร -จัดทำวิธีการร้อยม้วนฟิล์ม -ตั้งโปรแกรม code พิมพ์ และวิธีการ set up code

พบปัจจัยที่มีผลกระทบกับเวลาในการผลิต คือ Man และ Method การเปลี่ยนม้วนฟิล์มและการตั้งพิมพ์ code แก้ไขด้วยการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน(WI) และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดปัญหาการซีลหรือของเสียที่เกิดจากฟิล์มโดยตรง คือ อุณหภูมิ ความเร็ว เวลาซีล และแรงดันลม

ที่เหมาะสม จึงนำมากำหนดเป็นปัจจัยในการทดลองในลำดับต่อไป โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบ 2^K Full Factorial Design

3.4 ออกแบบการทดลองเพื่อลดปัญหาการซีลซอง

ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ในการออกแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (2^K Full Factorial Design)DOE กำหนดระดับปัจจัยออกเป็น 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ(-) และระดับสูง(+) โดยการออกแบบการทดลองที่ประกอบด้วย k ปัจจัย ซึ่งจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 2 x 2 x 2...x 2 = 2^K การทดลอง สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สรุปปัจจัยที่จะนำมาทำการออกแบบการทดลองในส่วนของ Machine ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตั้งค่าของเครื่องจักรมาวิเคราะห์และเป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองซึ่งมี 4 ปัจจัย ดังนี้

1. อุณหภูมิที่ใช้ในการซีลซอง
2. ความเร็ว speed ในการเดินเครื่องจักร
3. เวลาที่ใช้ในการซีลซอง
4. แรงดันลมที่ใช้ในการกดรอยซีล

ตารางที่ 11 การแบ่งระดับปัจจัย

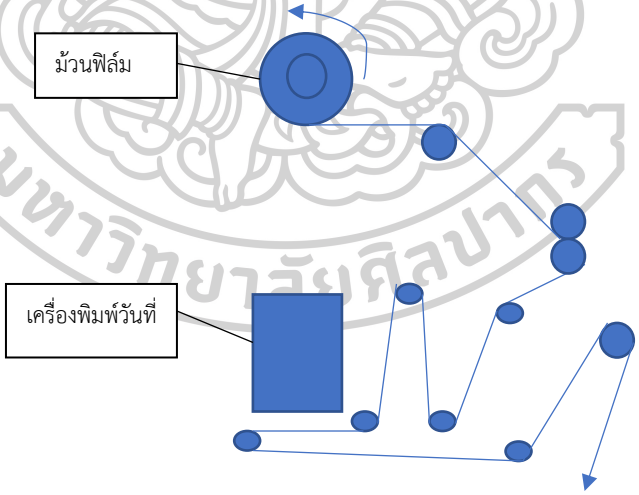
Factor	สัญลักษณ์	Number of Factor		หน่วย
		ระดับต่ำ(-)	ระดับสูง(+)	
1.อุณหภูมิที่ใช้ในการซีลซอง	A	100	130	°c
2.ความเร็วในการเดินเครื่องจักร	B	30	50	ซอง/นาที
3.เวลาที่ใช้ในการซีลซอง	C	1	3	Sec
4.แรงดันลมที่ใช้ในการกดรอยซีล	D	0.45	0.6	Mpa

โดยมีเหตุผลในการเลือกค่า Factor อยู่ในช่วงของค่ามาตรฐานตาม Machine manual คู่มือเครื่องบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป(โดยจำเพาะ)

Settings Data Table MC501 , TF-PR

No.	Item Name	Setting Range
[System Data Settings 1]		
0	Product / โปรดักที่ใช้งานบรรจุ	0 to 503
1	Bag length / ความยาวของ	20 to 180
2	Machine speed /ความเร็วเครื่อง	20 to 80
3	Package shape / แบบหมอนแทงจีบด้านข้าง	0 to 2
4	Mark control เลือกใช้งาน มาร์ค	0 to 1
5	Horizontal seal position , Center seal	0 to 180
6	Number of perforated cuts ไม่ใช้	9999
7	Feed pitch / ค่าชดเชยความยาวของ	0 to 100
8		
9	Standby quantity for empty bag detection	0 to 65535
[System Data Settings 2]		
0	Startup speed /ความเร็วดึงของ	5 to 80
1	UP-DOWN RATE (Slow up-down length)	1 to 1500
2	Manual feed rate / ความเร็วลูกกลิ้งดึงของควบคุมด้วยมือ	2 to 50
3	Feed amount / Pulse speed	200 to 500
4	Mark acceptance limit /ค่าความถูกต้องของตำแหน่งมาร์ค	1 to 100
5	Filling device / โหมดของการบรรจุ	0 to 2
6	Machine speed limit / จำกัดความเร็วเครื่อง	0 to 80

ภาพที่ 22 ตัวอย่างช่วงของค่ามาตรฐานในคู่มือเครื่องบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป (โดยจำเพาะ)



ภาพที่ 23 วิธีการร้อยฟิล์มในคู่มือเครื่องบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป (โดยจำเพาะ) โดยค่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการซีลซองอยู่ระหว่าง 110-130 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับฟิล์มโพลี

การกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลอง มีความยุ่งยากและเสียเวลารวมถึงค่าใช้จ่ายที่ต้องดำเนินการทดลอง การกำหนดระดับปัจจัยหลายๆระดับย่อมจะส่งผลโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดลอง ผู้วิจัยจึงนำ 4 ปัจจัยข้างต้น กำหนดให้มีปัจจัยละ 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ เป็นจำนวน 2 ซ้ำ ได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 2 x 2 x 2 x 2 x 2 = 32 การทดลอง

การกำหนดสมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานกรณีทดสอบปัจจัยหลัก

1. อุณหภูมิของ Sealer

   H_0: อุณหภูมิของ sealer ไม่มีผลต่ออัตราการสูญเสียฟิล์ม

   H_1: อุณหภูมิของ sealer มีผลต่ออัตราการสูญเสียฟิล์ม

2. แรงดันลม

   H_0: แรงดันลม ไม่มีผลต่ออัตราการสูญเสียฟิล์ม

   H_1: แรงดันลม มีผลต่ออัตราการสูญเสียฟิล์ม

3. เวลาซีล

   H_0: เวลาซีล ไม่มีผลต่ออัตราการสูญเสียฟิล์ม

   H_1: เวลาซีล มีผลต่ออัตราการสูญเสียฟิล์ม

4. ความเร็ว

   H_0: ความเร็ว ไม่มีผลต่ออัตราการสูญเสียฟิล์ม

   H_1: ความเร็ว มีผลต่ออัตราการสูญเสียฟิล์ม

ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดเตรียมวัสดุและวัตถุดิบสำหรับใช้ในการทดลอง
2. กำหนดค่าสภาวะตามแผนการออกแบบการทดลอง
   2.1 การปรับค่าของอุณหภูมิของ sealer
   2.2 การปรับค่าแรงดันลม
   2.3 การตั้งค่าเวลาซีลซอง
   2.4 การปรับค่าความเร็วในการบรรจุ
3. บันทึกปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในการทดลอง
4. นำผลการทดลองมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 12 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินการในปีพ.ศ.2563 - 2564											
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน
1.ศึกษาสภาพการทำงานและลักษณะของปัญหา												
2.ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
3.วิเคราะห์และหาสาเหตุของปัญหา												
4.ทำการออกแบบการทดลอง												
5.ดำเนินการทดลอง												
6.ติดตามการปฏิบัติงานและประเมินผล												
7.สรุปผลการดำเนินงานการปรับปรุง												
8.เขียนเล่มงานวิจัย												

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

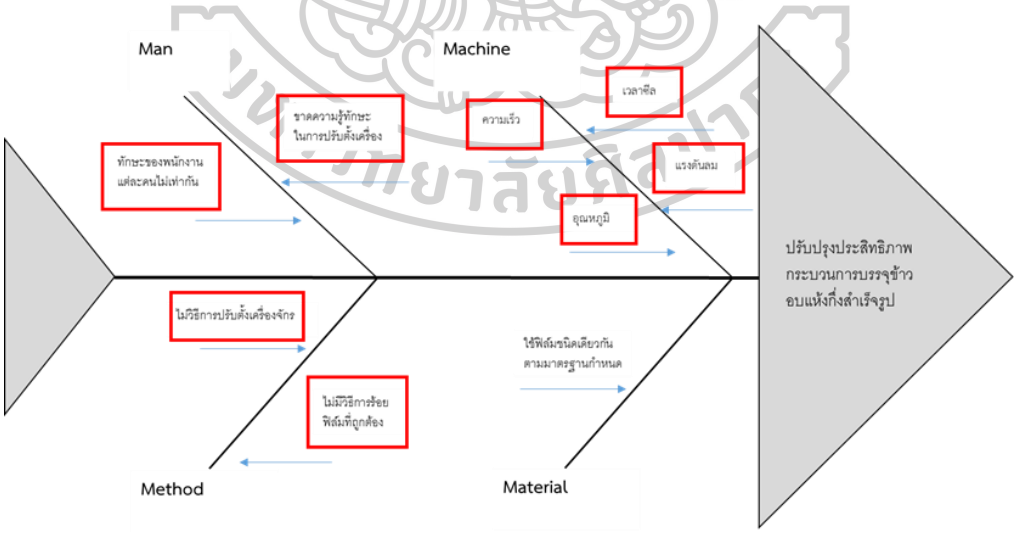
การดำเนินการแก้ไขสาเหตุที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของการผลิตลดลง และไม่สามารถผลิตได้ตามแผนที่วางไว้ เนื่องมาจากการเสียโอกาสในการผลิต จากการหยุดเครื่องจักรในการผลิตของกระบวนการนี้ และปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ ทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้น ในบทที่ 3 ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ และนำข้อมูลการหยุดเดินเครื่อง Line.L มาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต โดยสามารถเลือกประเภทของปัญหามาแก้ไขได้ 3 ปัญหาหลัก คือ

4.1 change film(การเปลี่ยนม้วนฟิล์ม)

4.2 Set code date (การตั้งพิมพ์ code)

4.3 Sealing problem หรือปัญหาการซีลซองไม่สนิท

โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการแก้ไขและนำผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุงในแต่ละปัญหา โดยศึกษาจากเวลาในการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิต และปริมาณการสูญเสียฟิล์มที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป ด้วยการระดมสมองจากผู้เกี่ยวข้องทั้งหัวหน้างานผลิต, ฝ่ายวิศวกรรม และพนักงานหน้างาน วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีประสิทธิภาพโดยใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ที่ได้แสดงมาแล้วในบทที่ 3 ดังนี้

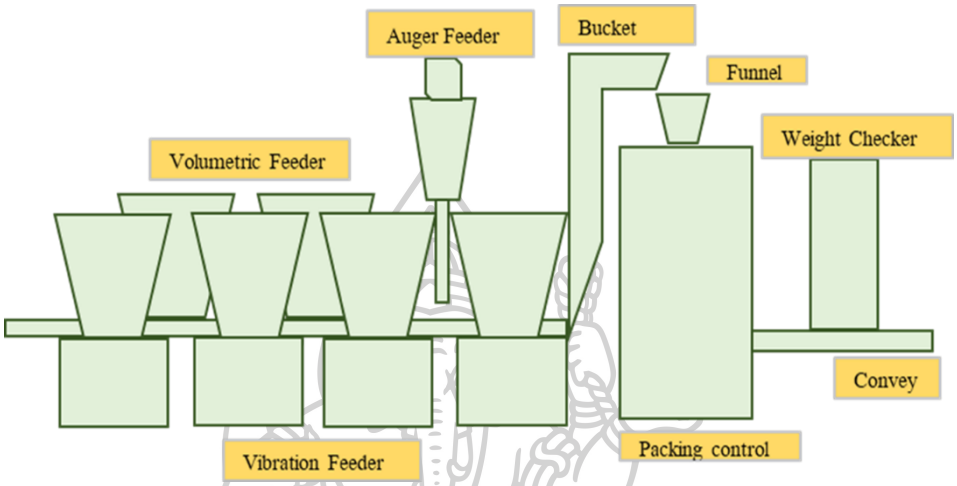


ภาพที่ 24 แผนภาพเหตุและผลที่มีต่อผลต่อประสิทธิภาพการผลิต

4.1 ดำเนินการแก้ปัญหาการเปลี่ยนม้วนฟิล์ม

4.1.1 ผลดำเนินการก่อนปรับปรุง

จากการเก็บข้อมูลของประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตของเครื่องบรรจุ Line.L ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2563 เป็นระยะเวลา 6 เดือน



ภาพที่ 25 เครื่องบรรจุอัตโนมัติ

ตารางที่ 13 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม 2563

หยุดเดินเครื่องระหว่างผลิต	เวลา(ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์
Change film	14.68	1.78
Set code date	3.05	0.37
Add ink	0.28	0.03
Cutting problem	2.02	0.24
Sealing problem	4.73	0.57
Pouch forming	3.02	0.37
Feeding problem	0.27	0.03
Check weight problem	0.32	0.04
Code date problem	0.57	0.07
Adjust weight checker	0.58	0.07
Rework	1.32	0.16
Pouch problem	0.40	0.05
Total	31.23	3.79

จากตารางที่ 13 พบว่าเครื่องบรรจุ Line.L หยุดเครื่องจักรในการเปลี่ยนม้วนฟิล์มไป 14.68 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 1.78 ของเวลาการเดินเครื่องจักรทั้งหมด ทำให้โรงงานสูญเสียโอกาสในการผลิตผลิตภัณฑ์ คิดเป็นจำนวนผลิตได้ ดังนี้

กำลังการผลิตของเครื่องบรรจุซอง Line.L 50 ซองต่อนาที

คิดเป็น 50 ซอง x 60 นาที = 3,000 ซองต่อชั่วโมง

เวลาที่หยุดเปลี่ยนม้วนฟิล์ม (6 เดือน) 14.68 ชั่วโมง

โรงงานสูญเสียโอกาสในการผลิตในระยะ 6 เดือน

14.68 ชั่วโมง x 3,000 ซอง = 44,040 ซอง

ราคาขายในตลาดอยู่ที่ 18 บาทต่อถ้วย

สูญเสียมูลค่าการขายไป 4,040 ซอง x 18 บาท = 792,720 บาทต่อ 6 เดือน

โดยเฉลี่ยสูญเสียมูลค่า 792,720บาท / 6เดือน = 132,120 บาทต่อ 1 เดือน

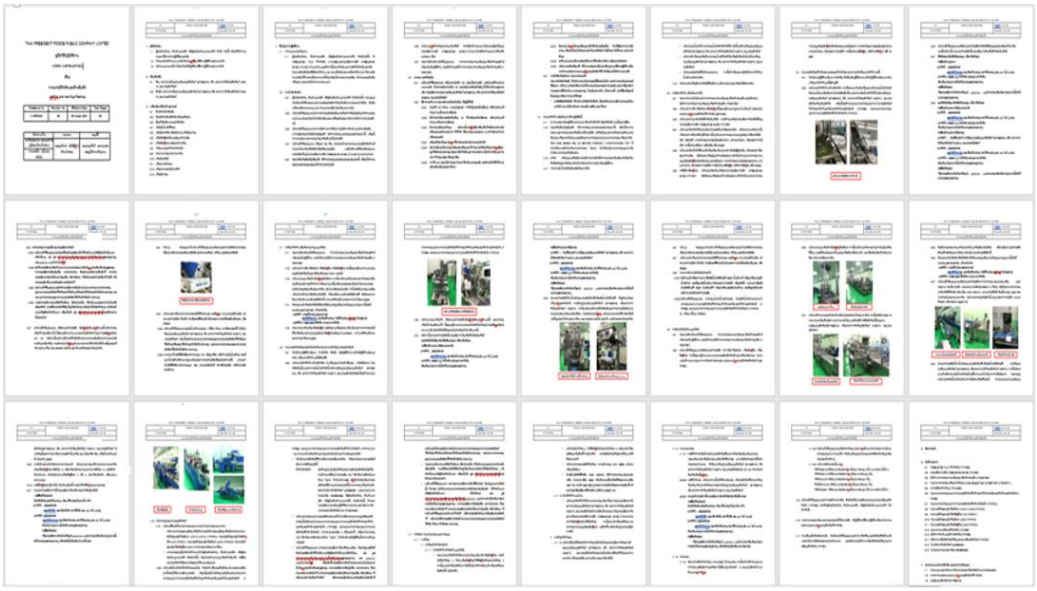
4.1.2 ผลดำเนินการแก้ไขด้วยการใช้หลักเหตุและผล

หลักการเพิ่มประสิทธิภาพสายงานการผลิต

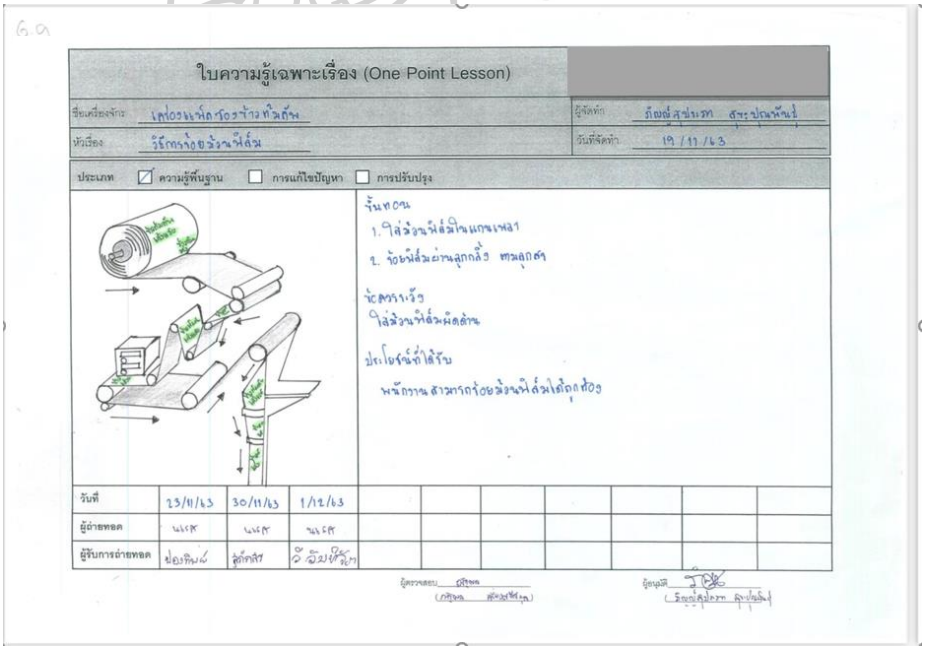
1. การกำหนดปัญหา : การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ Line.L
2. กำหนดทีมผู้รับผิดชอบ : ผู้วิจัยและทีมงาน
3. กำหนดปัญหา : เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนม้วนฟิล์ม
4. การวิเคราะห์ปัญหา : ใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูล โดยการระดมสมองจากผู้ที่เกี่ยวข้อง

จากการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพเหตุและผล สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อเวลาในการเปลี่ยนม้วนฟิล์ม เกิดจาก Man ทักษะของพนักงานแต่ละคนไม่เท่ากันและขาดความรู้ทักษะในการปรับตั้งเครื่อง อันเนื่องมาจาก Method ไม่มีวิธีการร้อยฟิล์มและไม่มีวิธีการปรับตั้งเครื่องจักร ทำให้ในแต่ละครั้งเสียเวลาในการเปลี่ยนม้วนฟิล์มค่อนข้างมาก

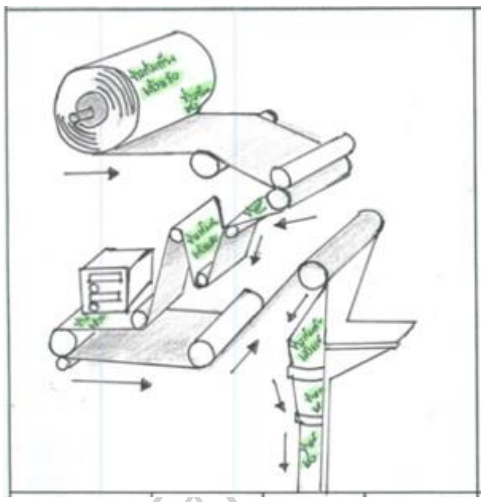
แนวทางในการแก้ปัญหา : ศึกษาวิธีการทำงานและวิธีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องบรรจุ จัดทำ WI เรื่องการปรับตั้งเครื่องบรรจุ และกำหนดมาตรฐานวิธีการร้อยม้วนฟิล์ม เพื่อให้พนักงานเกิดความรู้ความเข้าใจและมีทักษะในการปรับตั้งเครื่องจักร ผู้วิจัยจะนำเวลาในการเปลี่ยนม้วนฟิล์มมาเปรียบเทียบก่อน-หลังปรับปรุง ดังนี้



ภาพที่ 26 Work Instruction (WI) คู่มือวิธีปฏิบัติงานการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปและอบรมให้กับพนักงาน



ภาพที่ 27 จัดทำใบความรู้เฉพาะเรื่องวิธีการร้อยฟิล์มที่เครื่องบรรจุและอบรมให้กับพนักงาน



ภาพที่ 28 การร้อยม้วนฟิล์มของเครื่องบรรจุ

4.1.3 ผลดำเนินการหลังปรับปรุง

จากการเก็บข้อมูลของประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตของเครื่องบรรจุ Line.L ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม 2564 เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 14 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมีนาคม2564

หยุดเดินเครื่องระหว่างผลิต	เวลา(ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์
Change film	5.90	0.97
Set code date	0.22	0.04
Add ink	0.10	0.02
Cutting problem	1.30	0.21
Sealing problem	1.32	0.22
Pouch forming	1.63	0.27
Feeding problem	0.98	0.16
Check weight problem	0.25	0.04
Code date problem	0.00	0.00
Adjust weight checker	0.00	0.00
Rework	1.23	0.20
Pouch problem	0.00	0.00
Total	12.93	2.12

จากตารางที่ 14 พบว่าหลังการปรับปรุง เครื่องบรรจุ Line.L หยุดเครื่องจักรในการเปลี่ยนม้วนฟิล์มไป 5.9 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 0.97 ของเวลาการเดินเครื่องจักรทั้งหมด ทำให้โรงงานเสียมูลค่าในการขายได้ คิดเป็นจำนวนในการผลิต ดังนี้

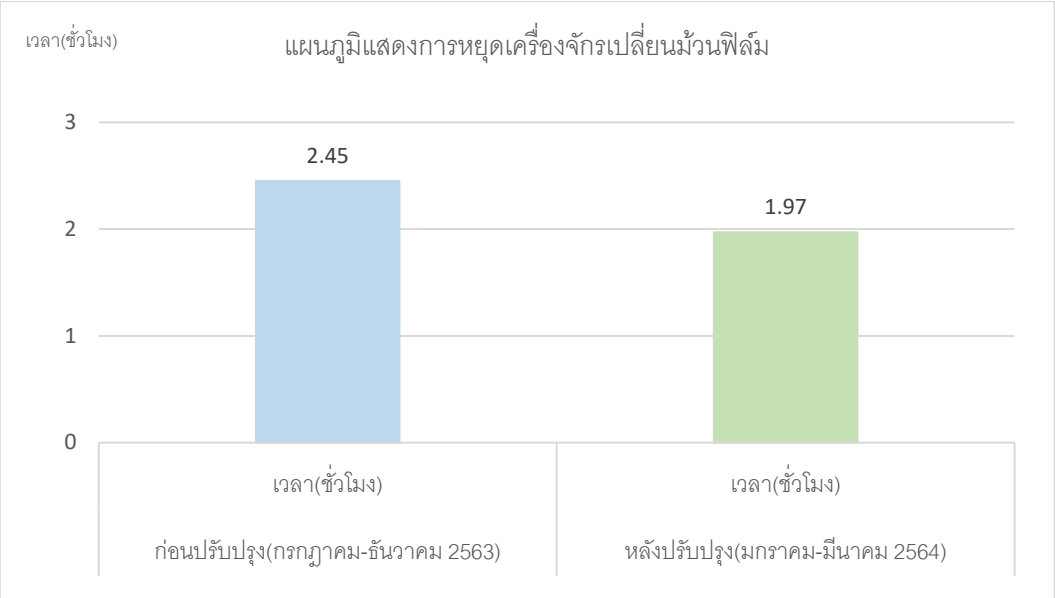
กำลังการผลิตของเครื่องบรรจุซอง Line.L		50	ซองต่อนาที
คิดเป็น 50 ซอง x 60 นาที	=	3,000	ซองต่อชั่วโมง
เวลาที่หยุดเปลี่ยนม้วนฟิล์ม (3 เดือน)		5.9	ชั่วโมง
โรงงานสูญเสียโอกาสในการผลิตในระยะ 3 เดือน			
5.9 ชั่วโมง x 3,000 ซอง	=	17,700	ซอง
ราคาขายในตลาดอยู่ที่		18	บาทต่อถ้วย
สูญเสียมูลค่าการขายไป 17,700 ซอง x 18 บาท	=	318,600	บาทต่อ 3 เดือน
โดยเฉลี่ยสูญเสียมูลค่า 318,600 บาท / 3 เดือน	=	106,200	บาทต่อ 1 เดือน

4.1.4 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง

ผลการดำเนินงานวิจัยในการแก้ปัญหาหยุดเครื่องจักรเนื่องจากการเปลี่ยนม้วนฟิล์ม ผู้วิจัยได้นำข้อมูลก่อน-ปรับปรุง มาเปรียบเทียบได้ดังนี้

ตารางที่ 15 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

สาเหตุของปัญหา	ก่อนปรับปรุง กรกฎาคม-ธันวาคม 2563		หลังปรับปรุง มกราคม-มีนาคม 2564	
	เวลา(ชั่วโมง)	มูลค่า(บาท)	เวลา(ชั่วโมง)	มูลค่า(บาท)
หยุดเครื่องจักรเปลี่ยนม้วนฟิล์ม	14.68	792,720	5.90	318,660
คิดมูลค่าเฉลี่ยต่อเดือน	2.45	132,120	1.97	106,220
	ลดลงได้		0.48	25,900
	คิดเป็นร้อยละ		19.59	



ภาพที่ 29 เวลาหยุดเครื่องจักรเนื่องจากปัญหาการเปลี่ยนม้วนฟิล์มก่อนและหลังปรับปรุง

จากตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่าหลังการปรับปรุงกระบวนการ สามารถเพิ่มมูลค่าการขายได้ 25,900 บาทต่อเดือน และลดเวลาในการเปลี่ยนม้วนฟิล์มลงได้ 0.48 ชั่วโมงต่อเดือนหรือคิดเป็นร้อยละ 19.60

4.2 ดำเนินการแก้ปัญหาการ Set code date (การตั้งพิมพ์ Code)

4.2.1 ผลดำเนินการก่อนปรับปรุง

จากการเก็บข้อมูลของประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตของเครื่องบรรจุ Line.L ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2563 เป็นระยะเวลา 6 เดือน เนื่องจากปัญหาการ Set code date โดยเฉลี่ยร้อยละ 0.37 ต่อเดือนตามตารางที่ 16

ตารางที่ 16 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม2563

หยุดเดินเครื่องระหว่างผลิต	เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์
Change film	14.68	1.78
Set code date	3.05	0.37
Add ink	0.28	0.03
Cutting problem	2.02	0.24
Sealing problem	4.73	0.57
Pouch forming	3.02	0.37
Feeding problem	0.27	0.03
Check weight problem	0.32	0.04
Code date problem	0.57	0.07
Adjust weight checker	0.58	0.07
Rework	1.32	0.16
Pouch problem	0.40	0.05
Total	31.23	3.79

จากตารางที่ 16 เครื่องบรรจุ Line.L หยุดเครื่องจักรในการ set code date ไป 3.05 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 0.37 ของเวลาการเดินเครื่องจักรทั้งหมด ทำให้โรงงานสูญเสียโอกาสในการผลิตผลิตภัณฑ์ คิดเป็นจำนวนผลิตได้ ดังนี้

กำลังการผลิตของเครื่องบรรจุซอง Line.L			50	ซองต่อนาที
คิดเป็น	50 ซอง x 60 นาที	=	3,000	ซองต่อชั่วโมง
เวลาที่หยุดเปลี่ยนม้วนฟิล์ม (6 เดือน)			3.05	ชั่วโมง
โรงงานสูญเสียโอกาสในการผลิตในระยะ 6 เดือน				
	3.05 ชั่วโมง x 3,000 ซอง	=	9,150	ซอง
ราคาขายในตลาดอยู่ที่			18	บาทต่อถ้วย
สูญเสียมูลค่าการขายไป	9,150 ซอง x 18 บาท	=	164,700	บาทต่อ 6 เดือน
โดยเฉลี่ยสูญเสียมูลค่า	164,700บาท / 6เดือน	=	27,450	บาทต่อ 1 เดือน

4.2.2 ผลดำเนินการแก้ไขด้วยการใช้หลักการเหตุและผล

หลักการเพิ่มประสิทธิภาพสายงานการผลิต

1. การกำหนดปัญหา : การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ Line.L

2. กำหนดทีมผู้รับผิดชอบ : ผู้วิจัยและทีมงาน

3. กำหนดปัญหา : เวลาที่ใช้ในการ set code date

4. การวิเคราะห์ปัญหา : ใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูล โดยการระดมสมองจากผู้ที่เกี่ยวข้อง

จากการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพเหตุและผล สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อเวลาในการ set code date (การตั้งพิมพ์ code) เกิดจาก Man ทักษะของพนักงานแต่ละคนไม่เท่ากันและขาดความรู้ทักษะในการปรับตั้งเครื่อง อันเนื่องมาจาก Method ไม่มีวิธีการปรับตั้งเครื่องจักร ทำให้ในแต่ละครั้งเสียเวลาในการเปลี่ยนรายละเอียดค่อนข้างมาก

แนวทางในการแก้ปัญหา : ศึกษาวิธีการทำงานและวิธีการปรับตั้งการพิมพ์ code ของเครื่องพิมพ์วันที่ ทำโปรแกรมให้พนักงานเลือกใช้ pattern การพิมพ์ code ของแต่ละสินค้าเพื่อลดเวลาในการ set code date ผู้วิจัยจะนำเวลาในการ set code date (การตั้งพิมพ์ code) มาเปรียบเทียบก่อน-หลังปรับปรุง ดังนี้

เครื่องพิมพ์วันที่ที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องบรรจุซอง โปรแกรมที่ตั้งไว้เป็นการเลือกใช้งานจำนวนบรรทัดที่พิมพ์เท่านั้น เช่น 1 line time 3 หมายความว่า พิมพ์ได้ 1 บรรทัด ผลิตในกะที่ 3 เป็นต้น โดยพนักงานต้องเข้าไป set ข้อความที่กำหนดมาให้อีกครั้ง ในทุกๆการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้เสียเวลาใน set code date เนื่องจากกพนักงานแต่ละคนมีความชำนาญในการ set ไม่เท่ากัน ทำให้เสียเวลาในการ set รายละเอียดการพิมพ์ใหม่ทุกครั้ง แก้ไขด้วยการ set menu ตามชื่อผลิตภัณฑ์

แยกตามสินค้าหรือแยกตามลูกค้า เพื่อให้พนักงานเลือกใช้งานตามสินค้าที่ผลิตในวันนั้น ๆ โดย set รูปแบบการพิมพ์ของสินค้าแต่ละชนิดไว้ กรณีที่มีการผลิตในวันนั้น ๆ พนักงานสามารถเลือกใช้งานและเปลี่ยนเฉพาะวันที่ที่ทำการผลิต โดยไม่ต้องพิมพ์รายละเอียดใหม่

ภาพที่ 30 ก่อนปรับปรุง set code date ต้องทำการ set รายละเอียดการพิมพ์ใหม่ทุกครั้ง

ภาพที่ 31 หลังปรับปรุงการ set code date โดยตั้งเมนูให้พนักงานเลือกใช้ตามชื่อสินค้า

ภาพที่ 32 รูปแบบการพิมพ์ set code date แต่ละสินค้าที่ผลิต

4.2.3 ผลดำเนินการหลังปรับปรุง

จากการเก็บข้อมูลของประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตของเครื่องบรรจุ Line.L ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม 2564 เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 17 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมีนาคม2564

หยุดเดินเครื่องระหว่างผลิต	เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์
Change film	5.90	0.97
Set code date	0.22	0.04
Add ink	0.10	0.02
Cutting problem	1.30	0.21
Sealing problem	1.32	0.22
Pouch forming	1.63	0.27

ตารางที่ 17 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมีนาคม2564 (ต่อ)

หยุดเดินเครื่องระหว่างผลิต	เวลา(ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์
Feeding problem	0.98	0.16
Check weight problem	0.25	0.04
Code date problem	0.00	0.00
Adjust weight checker	0.00	0.00
Rework	1.23	0.20
Pouch problem	0.00	0.00
Total	12.93	2.12

จากตารางที่ 17 พบว่าหลังการปรับปรุง เครื่องบรรจุ Line.L หยุดเครื่องจักรในการตั้งพิมพ์ code ไป 0.22 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 0.04 ของเวลาการเดินเครื่องจักรทั้งหมด ทำให้โรงงานสามารถเสียมูลค่าในการขายได้ คิดเป็นจำนวนในการผลิต ดังนี้

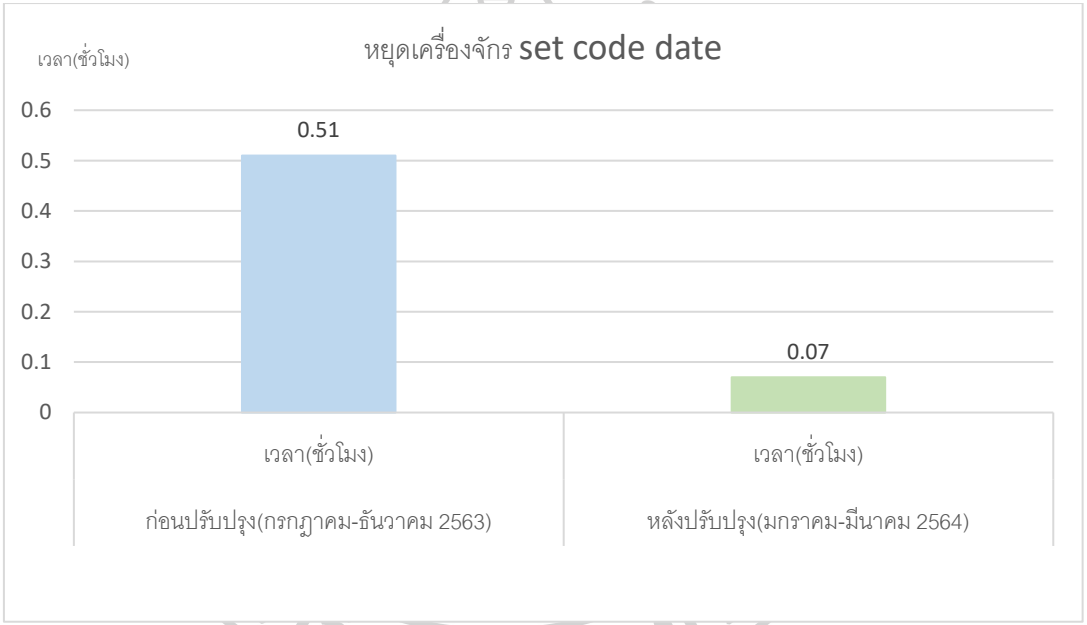
กำลังการผลิตของเครื่องบรรจุซอง Line.L		50	ซองต่อนาที
คิดเป็น	50 ซอง x 60 นาที	= 3,000	ซองต่อชั่วโมง
เวลาที่หยุดเปลี่ยนม้วนฟิล์ม (3 เดือน)		0.22	ชั่วโมง
โรงงานสูญเสียโอกาสในการผลิตในระยะ 3 เดือน			
	0.22 ชั่วโมง x 3,000 ซอง	= 660	ซอง
ราคาขายในตลาดอยู่ที่		18	บาทต่อถ้วย
สูญเสียมูลค่าการขายไป 660 ซอง x 18 บาท		= 11,880	บาทต่อ 3 เดือน
โดยเฉลี่ยสูญเสียมูลค่า 11,880 บาท / 3 เดือน		= 3,960	บาทต่อ 1 เดือน

4.2.4 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง

ผลการดำเนินงานวิจัยในการแก้ปัญหาหยุดเครื่องจักรเนื่องจากการ set code date ผู้วิจัยได้นำข้อมูลก่อน-ปรับปรุง มาเปรียบเทียบได้ดังนี้

ตารางที่ 18 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

สาเหตุของปัญหา	ก่อนปรับปรุง กรกฎาคม-ธันวาคม 2563		หลังปรับปรุง มกราคม-มีนาคม 2564	
	เวลา(ชั่วโมง)	มูลค่า(บาท)	เวลา(ชั่วโมง)	มูลค่า(บาท)
หยุดเครื่องจักรset code date	3.05	164,700	0.22	11,880
คิดมูลค่าเฉลี่ยต่อเดือน	0.51	27,450	0.07	3,960
	ลดลงได้		0.44	23,490
	คิดเป็นร้อยละ		86.27	



ภาพที่ 33 เวลาหยุดเครื่องจักรเนื่องจากปัญหาการ set code date ก่อนและหลังปรับปรุง

จากตารางที่ 18 แสดงให้เห็นว่าหลังการปรับปรุงกระบวนการ สามารถเพิ่มมูลค่าการขายได้ 23,490 บาทต่อเดือน และลดเวลาในการ set code date ลงได้ 0.44 ชั่วโมงต่อเดือน หรือคิดเป็นร้อยละ 86.27

4.3 ดำเนินการแก้ปัญหาการซีลซองไม่สนิท

4.3.1 ผลดำเนินการก่อนปรับปรุง

จากการเก็บข้อมูลของประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตของเครื่องบรรจุ Line.L ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2563 เป็นระยะเวลา 6 เดือน มีการหยุดเครื่องจักรเนื่องจากการแก้ปัญหาการซีลซองไม่สนิท โดยเฉลี่ยร้อยละ 0.57 ต่อเดือนตามตารางที่ 19 และมีการสูญเสียฟิล์มเนื่องจากปัญหาการซีลซองไม่สนิท โดยเฉลี่ยร้อยละ 9.87 ต่อเดือนตามตารางที่ 20

ตารางที่ 19 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม2563

หยุดเดินเครื่องระหว่างผลิต	เวลา(ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์
Change film	14.68	1.78
Set code date	3.05	0.37
Add ink	0.28	0.03
Cutting problem	2.02	0.24
Sealing problem	4.73	0.57
Pouch forming	3.02	0.37
Feeding problem	0.27	0.03
Check weight problem	0.32	0.04
Code date problem	0.57	0.07
Adjust weight checker	0.58	0.07
Rework	1.32	0.16
Pouch problem	0.40	0.05
Total	31.23	3.79

จากตารางที่ 19 เครื่องบรรจุ Line.L หยุดเครื่องจักรในการแก้ปัญหาไป 4.73 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 0.57 ของเวลาการเดินเครื่องจักรทั้งหมด ทำให้โรงงานสูญเสียโอกาสในการผลิตผลิตภัณฑ์ คิดเป็นจำนวนผลิตได้ ดังนี้

กำลังการผลิตของเครื่องบรรจุซอง Line.L			50	ซองต่อนาที
คิดเป็น	50 ซอง x 60 นาที	=	3,000	ซองต่อชั่วโมง
เวลาที่หยุดเปลี่ยนม้วนฟิล์ม (6 เดือน)			4.73	ชั่วโมง
โรงงานสูญเสียโอกาสในการผลิตในระยะ 6 เดือน				
	4.73 ชั่วโมง x 3,000 ซอง	=	14,190	ซอง
ราคาขายในตลาดอยู่ที่			18	บาทต่อถ้วย
สูญเสียมูลค่าการขายไป	14,190 ซอง x 18 บาท	=	255,420	บาทต่อ 6 เดือน
โดยเฉลี่ยสูญเสียมูลค่า	255,420บาท / 6เดือน	=	42,570	บาทต่อ 1 เดือน

ตารางที่ 20 แสดงการสูญเสียฟิล์มในการผลิตตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวามคม2563

เดือน	% Loss film
กรกฎาคม	14.78
สิงหาคม	14.21
กันยายน	8.33
ตุลาคม	8.72
พฤศจิกายน	8.60
ธันวาคม	4.55
Average	9.87

ในการผลิตของเครื่องจักร กระบวนการผลิตขั้นตอนในการบรรจุข้าวต้มอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปนั้น จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนม้วนของฟิล์ม เพื่อให้จำนวนการผลิตเป็นไปตามแผนการผลิตที่ได้วางไว้ ซึ่งฟิล์ม 1 ม้วน มีความยาว 1,000 m. ระยะตัดซองยาว 130 mm. คิดปริมาณการผลิตต่อฟิล์ม 1 ม้วน

จะได้ปริมาณการผลิต 1,000 m. x 1,000 mm/130 mm = 7,692 ซอง

ซึ่งใช้เวลาในการผลิต 7,692 ซอง/50 ซองต่อนาที = 2.56 ชั่วโมง

การผลิต 1 กะ 8 ชั่วโมง ต้องเปลี่ยนฟิล์ม 8/2.56 ชั่วโมง = 3.13 ม้วนต่อกะต่อวัน

จากตารางที่ 20 ปริมาณการสูญเสียฟิล์มในขั้นตอนการบรรจุ เฉลี่ยร้อยละ 9.87 ในการผลิต 1 กะ 8 ชั่วโมง ใช้ฟิล์มในการผลิต 3.13 ม้วน เมื่อนำมาคิดปริมาณการสูญเสียฟิล์มโดยเฉลี่ยได้ ดังนี้

โรงงานทำงาน 25 วัน ต้องใช้ฟิล์มในการผลิต 3.13 ม้วน x 25 วัน = 78.25 ม้วนต่อเดือน

จะสูญเสียฟิล์ม 78.25 ม้วน x 9.87% = 7.72 ม้วนต่อเดือน

ม้วนฟิล์มราคา = 2,500 บาท

ค่าใช้จ่ายสูญเสียฟิล์ม 7.72 ม้วน x 2,500 บาท = 19,300 บาทต่อเดือน

หลักการเพิ่มประสิทธิภาพสายงานการผลิต

1. การกำหนดปัญหา : การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ Line.L

2. กำหนดทีมผู้รับผิดชอบ : ผู้วิจัยและทีมงาน

3. กำหนดปัญหา : การซีลซองไม่สนิท

4. การวิเคราะห์ปัญหา : ใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูล โดยการระดมสมองจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ทางผู้วิจัยและทีมงานได้ร่วมกันวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่าง ๆ พบว่าสาเหตุหลักของปัญหาการซีลซองไม่สนิท เนื่องมาจากค่าระดับปัจจัยต่าง ๆ ของพารามิเตอร์เครื่องบรรจุซองอัตโนมัติไม่เหมาะสม จึงได้หาแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. การวิเคราะห์หาสาเหตุ เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่จะนำมาทำการวิจัย

2. ออกแบบการทดลองโดยโดยใช้การทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ 2^k Full Factorial Design เพื่อกรองปัจจัยในการทดลอง

3. ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

4. วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปัญหาการซีลซองไม่สนิท ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยใดที่มีอิทธิพลกับการเกิดปัญหาซีลซองไม่สนิทอย่างมีนัยสำคัญ

5. วิเคราะห์ผลการตอบสนองที่ดีที่สุด (Response Optimization) เป็นการนำเอาค่าตอบสนอง (Response) ที่ได้จากการทำการทดลองมาวิเคราะห์ต่อ เพื่อยืนยันผลของการทดลอง โดยใช้หลักการ Response Optimization เพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสม และนำค่าที่ได้ไปใช้ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ Line.L

4.3.2 ผลดำเนินการทดลองโดยใช้การทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ 2^k Full Factorial Design

จากการระดมสมองเพื่อพิจารณาปัจจัยที่คาดว่าส่งผลต่อการซีลซองพบว่า กำหนดให้พิจารณาปัจจัยในการทดลอง 4 ปัจจัย ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในการปรับตั้งเครื่องจักร ได้แก่ อุณหภูมิของ sealer, ความเร็วของเครื่องจักรในการบรรจุ, แรงดันลมที่ใช้ในการกดหน้า seal และเวลาที่ใช้ในการ seal

การทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ 2^k Full Factorial Design เป็นการกรองปัจจัยเบื้องต้นโดยทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไข ประกอบไปด้วย 4 ปัจจัย กำหนดให้มีปัจจัยละ 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำที่ระดับปัจจัยต่างๆเป็นจำนวน 2 ซ้ำ ได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 2 x 2 x 2 x 2 x 2 = 32

การทดลอง โดยการทดลองจะจัดลำดับการทดลองแบบสุ่ม เพื่อลดความผิดพลาดของการวิเคราะห์ผล และวิเคราะห์ผลกระทบตัวแปรตอบสนองครบทุกการทดลองพร้อมทั้งให้ความสนใจกับตัวที่มีอิทธิพลเป็นหลัก โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab version 16 ในการทดลองครั้งนี้

ตารางที่ 21 จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

จำนวนชิ้นงานทดลองแต่ละครั้ง (ฟิล์มที่ใช้-ซอง)	จำนวนครั้งในการทดลอง (ครั้ง)	จำนวนชิ้นงานทั้งหมด (ฟิล์ม-ซองที่บรรจุข้าว)
100	32	3,200

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยกำหนดค่า α ไว้ที่ระดับ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งสามารถออกแบบการทดลองและบันทึกผลการทดลองได้ดังนี้

ตารางที่ 22 ตารางบันทึกผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Temp	Speed	Time	Pressure	Bad	Response
1	32	100	30	1	0.45	53	0.53
2	14	130	30	1	0.45	100	1.00
3	16	100	50	1	0.45	100	1.00
4	6	130	50	1	0.45	0	0.00
5	17	100	30	3	0.45	17	0.17
6	4	130	30	3	0.45	41	0.41
7	20	100	50	3	0.45	38	0.38
8	18	130	50	3	0.45	9	0.09
9	10	100	30	1	0.6	42	0.42
10	25	130	30	1	0.6	100	1.00
11	22	100	50	1	0.6	100	1.00
12	8	130	50	1	0.6	1	0.01
13	31	100	30	3	0.6	18	0.18
14	13	130	30	3	0.6	41	0.41
15	26	100	50	3	0.6	38	0.38
16	24	130	50	3	0.6	7	0.07

ตารางที่ 22 ตารางบันทึกผลการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Temp	Speed	Time	Pressure	Bad	Response
17	15	100	30	1	0.45	48	0.48
18	28	130	30	1	0.45	95	0.95
19	1	100	50	1	0.45	102	1.00
20	3	130	50	1	0.45	0	0.00
21	23	100	30	3	0.45	21	0.21
22	7	130	30	3	0.45	49	0.49
23	2	100	50	3	0.45	39	0.39
24	21	130	50	3	0.45	5	0.05
25	29	100	30	1	0.6	36	0.36
26	22	130	30	1	0.6	98	0.98
27	27	100	50	1	0.6	100	1.00
28	5	130	50	1	0.6	0	0.00
29	19	100	30	3	0.6	20	0.20
30	30	130	30	3	0.6	36	0.36
31	9	100	50	3	0.6	35	0.35
32	12	130	50	3	0.6	8	0.07

4.3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^K Full Factorial Design

จากผลการทดลองที่ได้เชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k Full Factorial Design ผู้วิจัยได้นำค่าผลตอบสนองที่ได้จากจำนวนซองที่ซีลไม่สนิทมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียฟิล์ม (หรือมีนัยสำคัญ) ที่ระดับ 0.05 ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์นี้ผู้วิจัยได้อาศัยโปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 16 มาทำการทดลอง ดังนี้

4.3.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลจากการทำการทดลอง ซึ่งจะพิจารณาตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0,\sigma^2)$ ซึ่งการตรวจสอบค่าส่วนตกค้าง (Residuals) จากข้อมูลที่ใช้ในการทดลองมีการแจกแจงปกติ และเป็นอิสระต่อกันด้วยค่าเฉลี่ยใกล้เคียง 0 และ σ^2 ซึ่งมีค่าคงตัว (Stability) ทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยมีด้วยกัน 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ทำการการตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง(Residual)

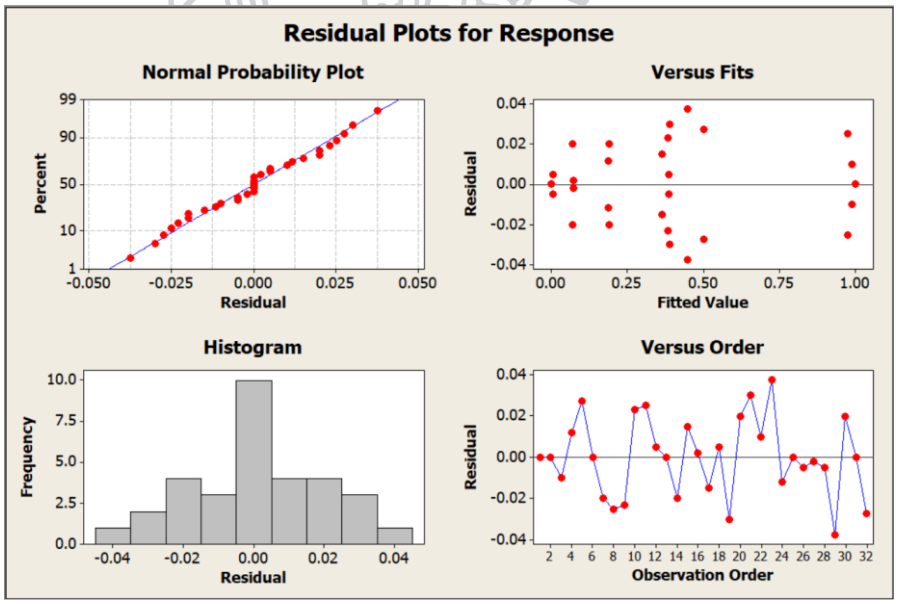
2. ทำการตรวจสอบความเป็นอิสระต่อกัน (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

3. ทำการตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residual) โดยพิจารณาการกระจายตัว

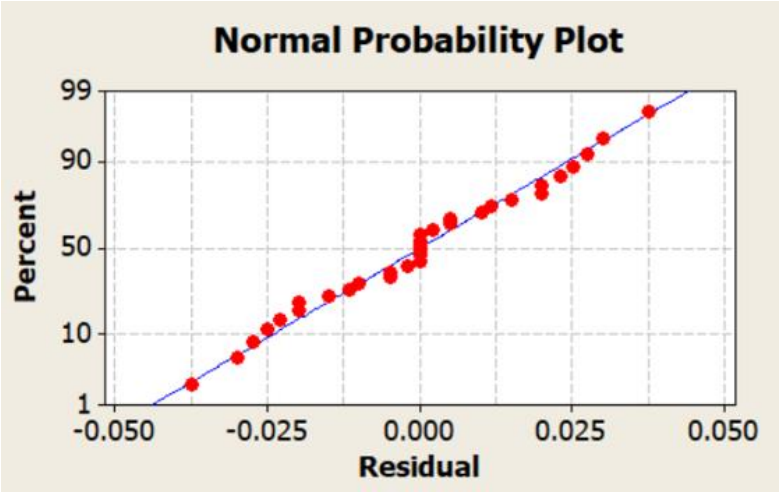
4. ทำการตรวจสอบความเสถียรของ σ^2 (Variance Stability) โดยพิจารณาการกระจายตัวแต่ละตำแหน่งของระดับปัจจัย

โดยนำข้อมูลจากตารางที่ 22 มาสร้างเป็นแผนภูมิ ซึ่งผลการตรวจสอบมีความเป็นไปได้ ดังแสดงในรายละเอียดต่อไปนี้

1. การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของส่วนตกค้าง (Residual)



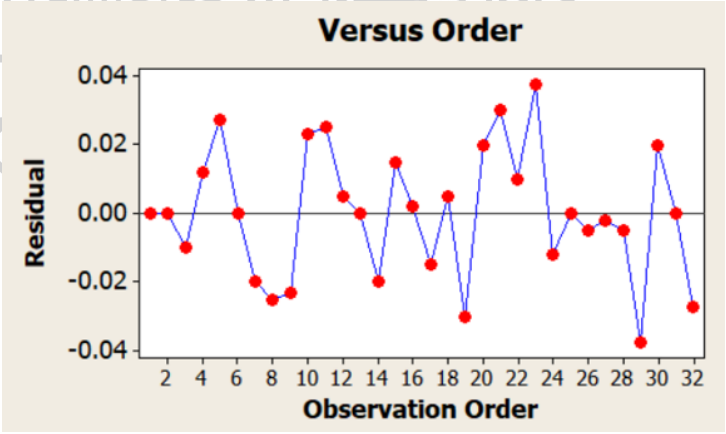
ภาพที่ 34 Residual item



ภาพที่ 35 การแจกแจงแบบปกติ Normal Probability plot

ผลการตรวจสอบการกระจาย Residual มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (α = 0.05) พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง

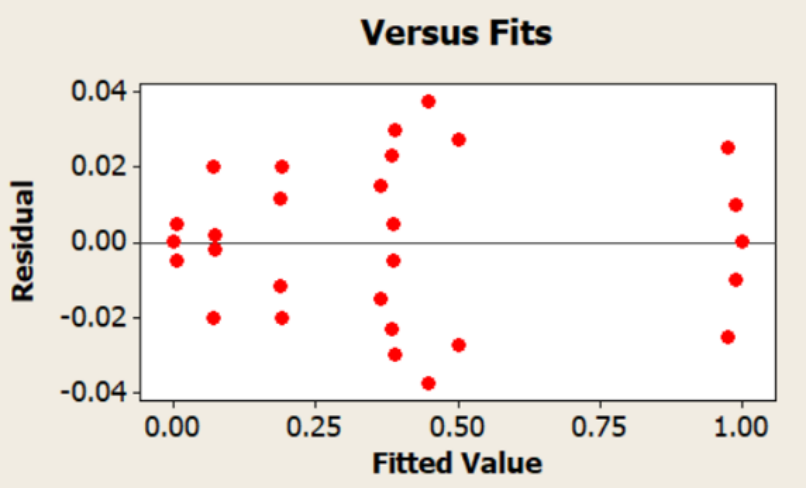
2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual)



ภาพที่ 36 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง

จากรูปภาพที่ 36 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีรูปแบบการกระจายตัวที่เป็นอิสระต่อกัน และการกระจายตัวไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ไม่สามารถประมาณรูปแบบของข้อมูลที่แน่นอนได้ สามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้าง (Residual) เป็นอิสระต่อกัน (Independent)

3.การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residual)



ภาพที่ 37 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับ Fitted Value

พิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับทุกระดับปัจจัย พบว่าการกระจายเป็นแบบสุ่ม โดยรวมใกล้เคียงกับค่า 0 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residual) มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 0

4. การตรวจสอบความเสถียรของ (Residual) σ^2 (Variance Stability)

จากภาพที่ 37 ข้างต้น พบว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง และไม่พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีลักษณะเป็นแนวโน้ม สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียร

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความถูกต้องและความเพียงพอของข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$ ทุกประการ ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง และสามารถนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ในขั้นตอนต่อไปได้

4.3.3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากขั้นตอนในการวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลมีความถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของการทดลอง เพื่อศึกษาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อการปัญหาการซีลซองไม่สนิท โดยได้กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% หรือ α = 0.05

การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมสถิติ Minitab version 16

```
Welcome to Minitab, press F1 for help.

Full Factorial Design

Factors:   4   Base Design:         4, 16
Runs:     32   Replicates:              2
Blocks:    1   Center pts (total):      0

All terms are free from aliasing.
```

ภาพที่ 38 ผลการวิเคราะห์ Full Factorial Design

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลอง

S = 0.0262953 PRESS = 0.0442522
R-Sq = 99.73% R-Sq(pred) = 98.91% R-Sq(adj) = 99.47%

Analysis of Variance for Response (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	1.27539	1.27539	0.31885	461.13	0.000
temp	1	0.14570	0.14570	0.14570	210.72	0.000
speed	1	0.17132	0.17132	0.17132	247.78	0.000
time	1	0.95439	0.95439	0.95439	1380.29	0.000
pressure	1	0.00397	0.00397	0.00397	5.75	0.029
2-Way Interactions	6	2.24390	2.24390	0.37398	540.88	0.000
temp*speed	1	2.13109	2.13109	2.13109	3082.10	0.000
temp*time	1	0.07327	0.07327	0.07327	105.97	0.000
temp*pressure	1	0.00102	0.00102	0.00102	1.48	0.242
speed*time	1	0.03571	0.03571	0.03571	51.65	0.000
speed*pressure	1	0.00280	0.00280	0.00280	4.05	0.061
time*pressure	1	0.00001	0.00001	0.00001	0.01	0.927
3-Way Interactions	4	0.50727	0.50727	0.12682	183.41	0.000
temp*speed*time	1	0.50288	0.50288	0.50288	727.29	0.000
temp*speed*pressure	1	0.00019	0.00019	0.00019	0.28	0.606
temp*time*pressure	1	0.00382	0.00382	0.00382	5.52	0.032
speed*time*pressure	1	0.00039	0.00039	0.00039	0.56	0.466
4-Way Interactions	1	0.00531	0.00531	0.00531	7.68	0.014
temp*speed*time*pressure	1	0.00531	0.00531	0.00531	7.68	0.014
Residual Error	16	0.01106	0.01106	0.00069		
Pure Error	16	0.01106	0.01106	0.00069		
Total	31	4.04294				

Unusual Observations for Response

Obs	StdOrder	Response	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
6	6	0.41000	0.44757	0.01859	-0.03757	-2.02R
22	22	0.48515	0.44757	0.01859	0.03757	2.02R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for Response using data in uncoded units

มหาวิทยาลัยศิลป์

จากการตรวจสอบข้อมูลตามตารางที่ 23 ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีมากกว่า 2 ปัจจัย และพบว่าผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของการทดลองมีผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ซึ่งผลกระทบร่วมมีนัยสำคัญ (P-value < 0.05) และจะไม่พิจารณาปัจจัยหลัก ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)จากค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ โดยมีความแปรปรวนคงที่และเป็นอิสระต่อกัน จากการทดลองพบว่า

1) ปัจจัยระหว่าง Temp(อุณหภูมิ) และ Speed(ความเร็ว) มีค่า P-value เท่ากับ 0.000<0.05

สรุปได้ว่าปัจจัยทั้งสองนี้เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนฟิล์มที่เสียในการซีลซองไม่สนิท

2). ปัจจัยระหว่าง Temp(อุณหภูมิ) และ Time(เวลา) มีค่า P-value เท่ากับ 0.000<0.05

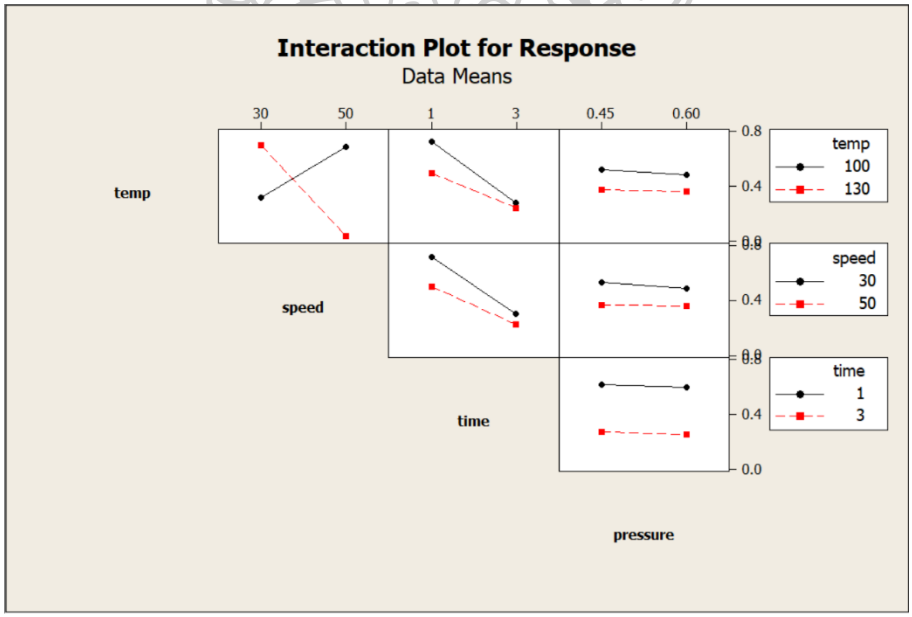
สรุปได้ว่าปัจจัยทั้งสองนี้เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนฟิล์มที่เสียในการซีลซองไม่สนิท

3). ปัจจัยระหว่าง Speed (ความเร็ว) และ Time (เวลา) มีค่า P-value เท่ากับ 0.000<0.05

สรุปได้ว่าปัจจัยทั้งสองนี้เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนฟิล์มที่เสียในการซีลซองไม่สนิท

จากนั้นพิจารณาค่า R^2 ค่าความแปรผันทั้งหมด = 100 หน่วย โดยผู้วิจัยได้ผลของ R^2 = 99.73%

อธิบายความผันแปรจากปัจจัยได้ 99.73 หน่วย แสดงว่าการทดลองได้รับการออกแบบมาดีแล้ว เมื่อพิจารณา R^2 Adjust = 99.47% แสดงว่าจำนวนข้อมูลในการทดลองมีจำนวนเพียงพอ และจากข้อมูลในตารางที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลอง แสดงเป็นแผนภูมิผลกระทบร่วมในภาพที่ 39



ภาพที่ 39 ปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม Interaction

ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม Interaction จากภาพที่ 39 เส้นกราฟที่แสดงการตัดกัน เรียกว่า Crossing Interaction พบว่า ปัจจัยของความเร็วในการซีลซองระดับปัจจัยที่ 50 ซองต่อนาที และปัจจัยของอุณหภูมิในการซีลซองระดับปัจจัยที่ 130 °C จะมีสัดส่วนของเสียลดลง

การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยการทดลองตามวิธีการ Response Optimization จากผลการทดลองที่ได้นั้นสามารถกรองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียปัญหาการซีลซองมาเบื้องต้น

(Screening) ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาต่อเพื่อกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในขั้นตอนการซีลซองด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ ได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Response Optimization ด้วยการวิเคราะห์ Response ที่กำหนดเป็นค่า Minimize Goal และกำหนดค่าของเสียต่ำสุด (Lower) สามารถยอมรับได้เท่ากับ 0 และมีค่าของเสียสูงสุดที่ Upper สามารถยอมรับได้เท่ากับ 0.03

ผลการวิเคราะห์ Response

ตารางที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์ Response

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Response	Minimum	0	0	0.03	1	1

Global Solution

temp	=	130
speed	=	50
time	=	1
pressure	=	0.45

Predicted Responses

Response = -0.0000000 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 1.000000

Factors:	4	Base Design:	4, 16
Runs:	32	Replicates:	2
Blocks:	none	Center pts (total):	0

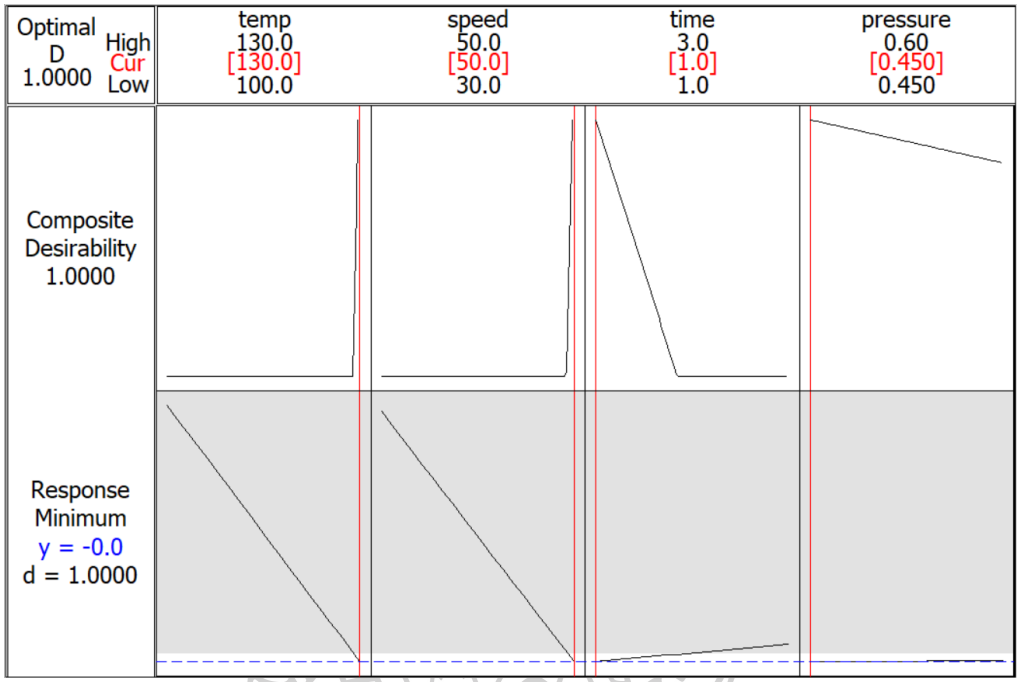
Display Order: Standard Order
Display Units: Uncoded

Factors and Their Uncoded Levels

Factor	Name	Low	High
A	temp	100	130
B	speed	30	50
C	time	1	3
D	pressure	0.45	0.6

Responses and Models

Response:	Response
Terms:	A B C D AB AC AD BC BD CD ABC ABD ACD BCD ABCD



ภาพที่ 40 ผลการตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ Response Optimization สรุปความเหมาะสมของค่าระดับปัจจัยแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

ตารางที่ 25 ปัจจัยและคุณลักษณะปัจจัยป้อนเข้าที่เหมาะสม

ปัจจัยควบคุม	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม	หน่วย
1.อุณหภูมิ (Temp)	130	°C
2.ความเร็ว (Speed)	50	ซองต่อนาที
3.เวลา (Time)	1	Sec
4.แรงกด (Pressure)	0.45	Mpa

การเลือกใช้ระดับปัจจัยดังกล่าว จะให้เกิดการสูญเสียฟิล์มลดลง และส่งผลให้สามารถลดต้นทุนในการสั่งซื้อม้วนฟิล์มลงได้อีก

ภาพที่ 41 ชุดซีลซองเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ

ภาพที่ 42 การนำค่าระดับปัจจัยมาปรับใช้ในการตั้งพารามิเตอร์ที่เครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ

ภาพที่ 43 ตั้งค่าระดับปัจจัยเวลาในการซีลเท่ากับ 1 sec

ภาพที่ 44 ตั้งค่าระดับปัจจัยความเร็วในการบรรจุ 50 ซองต่อนาที

ภาพที่ 45 ตั้งค่าระดับปัจจัยอุณหภูมิในการซีล 130 °C

ภาพที่ 46 ตั้งค่าระดับปัจจัยแรงกด 0.45 Mpa

4.3.4 ผลดำเนินการหลังปรับปรุง

จากการเก็บข้อมูลของประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตของเครื่องบรรจุ Line.L ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม 2564 เป็นระยะเวลา 3 เดือน ตามตารางที่ 26

ตารางที่ 26 แสดงการสูญเสียฟิล์มในการผลิตตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมีนาคม2564

เดือน	% Loss film
มกราคม	2.35
กุมภาพันธ์	0.45
มีนาคม	0.81
Average	1.20

จากตารางที่ 26 ปริมาณการสูญเสียฟิล์มในขั้นตอนการบรรจุหลังปรับปรุง เฉลี่ยร้อยละ 1.20 ในการผลิต 1 กะ 8 ชั่วโมง ใช้ฟิล์มในการผลิต 3.13 ม้วน เมื่อนำมาคิดปริมาณการสูญเสียฟิล์มโดยเฉลี่ยได้ ดังนี้

โรงงานทำงาน 25 วัน ต้องใช้ฟิล์มในการผลิต 3.13 ม้วน x 25 วัน = 78.25 ม้วนต่อเดือน

จะสูญเสียฟิล์ม 78.25 ม้วน x 1.20% = 0.94 ม้วนต่อเดือน

ม้วนฟิล์มราคา = 2,500 บาท

ค่าใช้จ่ายสูญเสียฟิล์ม 0.94 ม้วน x 2,500 บาท = 2,350 บาทต่อเดือน

ตารางที่ 27 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมีนาคม2564

หยุดเดินเครื่องระหว่างผลิต	เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์
Change film	5.90	0.97
Set code date	0.22	0.04
Add ink	0.10	0.02
Cutting problem	1.30	0.21
Sealing problem	1.32	0.22
Pouch forming	1.63	0.27
Feeding problem	0.98	0.16
Check weight problem	0.25	0.04
Code date problem	0.00	0.00

ตารางที่ 27 แสดงประเภทการหยุดเครื่องจักรระหว่างผลิตตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมีนาคม 2564 (ต่อ)

หยุดเดินเครื่องระหว่างผลิต	เวลา(ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์
Adjust weight checker	0.00	0.00
Rework	1.23	0.20
Pouch problem	0.00	0.00
Total	12.93	2.12

จากตารางที่ 27 พบว่าหลังการปรับปรุง เครื่องบรรจุ Line.L หยุดเครื่องจักรในการแก้ปัญหาการซีลซองไม่สนิท 1.32 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 0.22 ของเวลาการเดินเครื่องจักรทั้งหมด ทำให้โรงงานสามารถเพิ่มมูลค่าในการขายได้ คิดเป็นจำนวนในการผลิต ดังนี้

กำลังการผลิตของเครื่องบรรจุซอง Line.L 50 ซองต่อนาที

คิดเป็น 50 ซอง x 60 นาที = 3,000 ซองต่อชั่วโมง

เวลาที่หยุดเปลี่ยนม้วนฟิล์ม (3 เดือน) 1.32 ชั่วโมง

โรงงานสูญเสียโอกาสในการผลิตในระยะ 3 เดือน

1.32 ชั่วโมง x 3,000 ซอง = 3,960 ซอง

ราคาขายในตลาดอยู่ที่ 18 บาทต่อถ้วย

สูญเสียมูลค่าการขายไป 3,960 ซอง x 18 บาท = 71,280 บาทต่อ 3 เดือน

โดยเฉลี่ยสูญเสียมูลค่า 71,280 บาท / 3 เดือน = 23,760 บาทต่อ 1 เดือน

4.3.5 ผลการเปรียบเทียบผลที่ได้ก่อนและหลังปรับปรุง

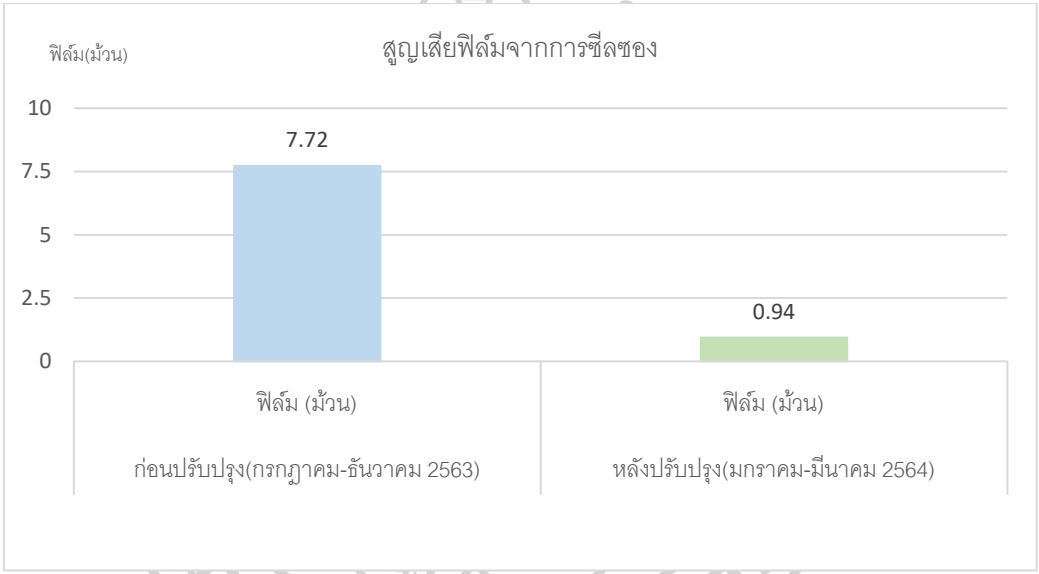
ผลการดำเนินงานวิจัยในการแก้ปัญหาการสูญเสียฟิล์มจากการซีลซอง ผู้วิจัยได้นำข้อมูลก่อน-ปรับปรุง มาเปรียบเทียบได้ดังนี้

ตารางที่ 28 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

สาเหตุของปัญหา	ก่อนปรับปรุง กรกฎาคม-ธันวาคม 2563		หลังปรับปรุง มกราคม-มีนาคม 2564	
	เวลา(ชั่วโมง)	มูลค่า(บาท)	เวลา(ชั่วโมง)	มูลค่า(บาท)
หยุดเครื่องจักรแก้ปัญหาซีล	4.73	255,420	1.32	71,280
คิดมูลค่าเฉลี่ยต่อเดือน	0.79	42,570	0.44	23,760
	ลดลงได้		0.35	18,810
	คิดเป็นร้อยละ		44.30	

ตารางที่ 29 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

สาเหตุของปัญหา	ก่อนปรับปรุง กรกฎาคม-ธันวาคม 2563		หลังปรับปรุง มกราคม-มีนาคม 2564	
	ฟิล์ม (ม้วน)	มูลค่า(บาท)	ฟิล์ม (ม้วน)	มูลค่า(บาท)
สูญเสียฟิล์มจากการซีลซอง	7.72	19,300	0.94	2,350
(คิดมูลค่าเฉลี่ยต่อเดือน)				
	ลดลงได้		6.78	16,950
	คิดเป็นร้อยละ		87.82	



ภาพที่ 47 ปริมาณการสูญเสียฟิล์มเนื่องจากปัญหาการซีลซองก่อนและหลังปรับปรุง

จากตารางข้างต้นแสดงให้เห็นว่าหลังการปรับปรุงกระบวนการ สามารถลดเวลาในการหยุดเครื่องจักรเพื่อแก้ปัญหาซีลซองไม่สนิทลงได้ 0.35 ชั่วโมง เพิ่มมูลค่าการขายได้ 18,810 บาทต่อเดือน และเดือน และปริมาณการสูญเสียฟิล์มก่อนปรับปรุง 7.72 ม้วน เป็น 0.94 ม้วน ลดลง 6.78 ม้วนต่อเดือน สามารถลดค่าใช้จ่าย 16,950 บาทต่อเดือนหรือคิดเป็นร้อยละ 87.82

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การปรับปรุงประสิทธิภาพการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและการทำงานของเครื่องบรรจุอัตโนมัติที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต และต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการนี้ โดยนำหลักการเหตุและผลเข้ามาช่วยวิเคราะห์ปัญหาการหยุดเปลี่ยนม้วนฟิล์มและปัญหาการ set code date พร้อมทั้งระดมสมองผู้เกี่ยวข้องเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทั้ง 2 นี้ ทางด้านปัญหารอยซีลซองไม่สนิทพบว่ามาจากค่าระดับปัจจัยของพารามิเตอร์เครื่องบรรจุซองอัตโนมัติไม่เหมาะสม จึงได้ทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment แบบ 2^K Full Factorial Design) เพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ โดยงานวิจัยนี้ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ปัญหาการหยุดเปลี่ยนม้วนฟิล์ม

จัดทำ WI เรื่องการปรับตั้งเครื่องบรรจุ และกำหนดมาตรฐานวิธีการร้อยม้วนฟิล์ม สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพและลดเวลาในการหยุดเปลี่ยนม้วนฟิล์มได้

2. ปัญหาการ set code date (การตั้งพิมพ์ code)

ตั้งค่าการใช้งานโดย set รายการในเครื่องพิมพ์วันที่ตามรูปแบบการพิมพ์ของแต่ละสินค้า เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้งานได้อย่างรวดเร็ว ลดเวลาในการ set code date ในแต่ละครั้งของการผลิต

3. ปัญหารอยซีลซองไม่สนิท

กำหนดค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment แบบ 2^K Full Factorial Design) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (α=0.05) เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเกิดของเสีย ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิในการซีลซอง, ความเร็วในการบรรจุ, เวลาในการซีล และแรงกดของตัวซีลซอง ในการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดใช้หลักการ Response Optimization จะนำเอาค่าตอบสนอง (Response) ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ต่อ เพื่อยืนยันผลของการทดลอง โดยค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย คือ ค่าอุณหภูมิในการซีลซอง เท่ากับ 130 °C, ความเร็วในการบรรจุ เท่ากับ 50 ซองต่อนาที, เวลาในการซีล เท่ากับ 1 วินาที และแรงกด เท่ากับ 0.45 Mpa

5.1.1 ผลที่ได้หลังการปรับปรุง

เมื่อนำวิธีการและค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุข้าวอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ พบว่าสามารถลดเวลาที่สูญเสียไป และเพิ่มโอกาสในการผลิต (การขาย) ได้ดังนี้

ตารางที่ 30 ตารางเปรียบเทียบผลงานวิจัย

สาเหตุของปัญหา	ค่าเฉลี่ยก่อนปรับปรุง กรกฎาคม-ธันวาคม 2563		ค่าเฉลี่ยหลังปรับปรุง มกราคม-มีนาคม 2564	
	เวลา(ชั่วโมง)	มูลค่า(บาท)	เวลา(ชั่วโมง)	มูลค่า(บาท)
หยุดเครื่องจักรเปลี่ยนม้วนฟิล์ม	2.45	132,120	1.97	106,220
หยุดเครื่องจักรset code date	0.51	27,450	0.07	3,960
หยุดเครื่องจักรแก้ปัญหาซีล	0.79	42,570	0.44	23,760
Total	3.75	202,140	2.48	133,940
		ลดลง	1.27	68,200
	คิดเป็นอัตราลดลงร้อยละ		33.87	

จากตารางที่ 30 แสดงตารางเปรียบเทียบงานวิจัย พิจารณาผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบรรจุ สามารถลดเวลาการหยุดได้เฉลี่ยรวม 1.27 ชั่วโมง สามารถเพิ่มโอกาสในการขายได้ 68,200 บาทต่อเดือน คิดเป็นอัตราลดลงร้อยละ 33.86

ตารางที่ 31 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

สาเหตุของปัญหา	ก่อนปรับปรุง กรกฎาคม-ธันวาคม 2563		หลังปรับปรุง มกราคม-มีนาคม 2564	
	ฟิล์ม (ม้วน)	มูลค่า(บาท)	ฟิล์ม (ม้วน)	มูลค่า(บาท)
สูญเสียฟิล์มจากการซีลซอง	7.72	19,300	0.94	2,350
		ลดลง	6.78	16,950
	คิดเป็นอัตราลดลงร้อยละ		87.82	

จากตารางที่ 31 แสดงตารางเปรียบเทียบงานวิจัย พิจารณาผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้เฉลี่ยรวม 6.78 ม้วน สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ 16,950 บาทต่อเดือน คิดเป็นอัตราลดลงร้อยละ 87.82

5.2 ข้อเสนอแนะ

สามารถนำหลักการเหตุและผลมาใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดปัญหา และการออกแบบการทดลองนี้ไปประยุกต์ใช้ เพื่อค้นหาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและการเกิดของเสีย ทั้งยังสามารถหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่เป็นการบรรจุด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติเหมือนกัน โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์เป็นมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องบรรจุอัตโนมัติได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

กุสุมา จิรวงศ์สวัสดิ์. (2550). "การประยุกต์ใช้ FMEA และ AHP เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตฟริต กรณีศึกษา:โรงงานผลิตสารเคลือบเซรามิกส์." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ.

บุณชัย แซ่สิ้ว และ ณัฐธยาน์ โสกุล. (2559). "การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา:บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว." **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**, 9, 2: 30-44.

ประจวบ กล่อมจิตร. (2557). **เทคนิคการเพิ่มผลผลิตในองค์กร:หลักการและตัวอย่างการปฏิบัติ**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ปัญญา ดอนไพรธรรม. (2552). "การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการทำให้กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียแห้งโดยการออกแบบการทดลอง." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ปาพจนี ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา. (2561). "การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2562). **ความสอดคล้องกันในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Concordance in DOE)**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มารุต มูเก็ม. (2562). "การลดจำนวนกระป๋องบุบในคลังสินค้า:กรณีศึกษา บริษัท สยามอินเตอร์เนชั่นแนลฟู้ด จำกัด." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศุภเวช ศรีเผือก. (2553). "การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการบรรจุหีบห่อเครื่องบรรจุครีมเทียม." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สยาม พรหมยศ. (2553). "การลดของเสียในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ครีมเทียมขนาด 450 กรัม โดยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: แผนกบรรจุภัณฑ์ บริษัทเนสเล่ห์ (ไทย) จำกัด." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

องค์การ ศิริสวัสดิ์. (2551). "การศึกษาวิธีการผลิตเทฟลอนที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อิสราภณ์ ธรรมวาโร. (2563). "การลดความสูญเสียในสายการแปรรูปอาหารสัตว์เลี้ยง:กรณีศึกษาโรงงานแปรรูปอาหารสัตว์เลี้ยง." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

Khalid, A. A.-G. (2011). "Improving The Practice Of Experimental Design In Manufacuring Engineering." Doctor of philosophy. Mechanical Engineering. The University of Birmingham.

Mager, V. M. (2014). "Application of 7 Quality Control (7 QC) Tools for Continuous Improvement of Manufacturing Processes." **International Jounal of Engineering Reseach and General Science**, 2, 4: 364-371.

Pavletic, D. (2008). "Practical Application Of Quality Tools." **Quality Festival 2008.International Quality Conference Kragujevac**, 2.

Pedersen, S. J. (2015). "Design Of Experiments for Food Engineering." Ph.D. Thesis. National Food Institute Division Of Food Technology. The Technical University of Denmark.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การเก็บข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ 32 การเก็บข้อมูลเวลาการเดินเครื่องจักรและปัญหาที่เกิดจากเครื่องบรรจุซองอัตโนมัติ Line.L ก่อนการปรับปรุง

		ปี	2563, 2020																													
		เดือน	กรกฎาคม					สิงหาคม					กันยายน					ตุลาคม				พฤศจิกายน				ธันวาคม				total	
		สัปดาห์	w1	w2	w3	w4	w5	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17	w18	w19	w20	w21	w22		
		วัน	1-5	6-11	12-19	20-26	27-31	3-8	10-15	17-22	24-29	28-3	31-5	7-12	14-19	21-26	28-3	5-10	12-17	19-24	26-31	2-7	9-14	16-21	23-28	30-5	7-12	14-19	21-26	time	%
		เวลาที่ทำงานทั้งหมด (ชม.)	31.10	41.30	35.50	37.10	20.50	41.00	23.50	43.00	28.50	0.00	37.66	25.17	35.50	37.58	16.92	37.25	24.00	34.00	38.50	47.50	0.00	31.00	0.00	36.17	38.00	38.58	45.71	825.04	
downtime	Set up & Adjustment	เปลี่ยนฟิล์ม	0.58	0.62	0.58	0.57	0.35	0.97	0.22	1.02	0.43	0.00	0.98	0.42	0.57	1.22	0.15	1.10	0.42	0.40	0.48	0.58	0.00	0.82	0.00	0.42	0.25	0.83	0.72	14.68	1.78%
		ตั้งพิมพ์วันที่	0.07	0.03	0.07	0.15	0.40	0.15	0.28	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.38	0.00	0.08	3.05	0.37%
		หมึกคาร์บอนหมด	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.13	0.00	0.00	0.28	0.03%
		เครื่องตัดฟิล์มไม่ตรง	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.27	0.12	0.22	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.22	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	2.02	0.24%
		ซีลไม่ติด	0.40	0.00	0.00	0.30	0.00	0.47	0.40	0.30	0.00	0.00	0.60	0.32	0.03	0.62	0.00	0.00	0.28	0.43	0.15	0.08	0.00	0.05	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	4.73	0.57%
		ฟิล์มเหี่ย	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.15	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.30	0.23	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.48	0.25	0.00	0.40	3.02	0.37%
		ข้าวลงไม่ตรงกระพ้อ	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.03%
	Operating	ปรับน้ำหนักใหม่	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.32	0.04%
		พิมพ์วันที่ติด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.07%
		ยังวัดดุดิบ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.07%
		เปลี่ยนซองเพื่อ rework	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.22	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.32	0.16%
		ข้าวคาจอยซีล	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.40	0.05%
		Down Time (รวม)	1.45	0.78	1.00	1.17	0.75	1.58	1.13	2.60	0.67	0.00	1.80	1.00	1.28	3.10	1.00	1.43	1.00	1.07	0.63	1.55	0.00	1.12	0.00	1.62	1.42	0.88	1.20	31.23	3.79%
		สัปดาห์	w1	w2	w3	w4	w5	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17	w18	w19	w20	w21	w22	Total	
		% Down Time	4.66	1.90	2.82	3.14	3.66	3.86	4.82	6.05	2.34	0.00	4.78	3.97	3.62	8.25	5.91	3.85	4.17	3.14	1.65	3.26	0.00	3.60	0.00	4.47	3.73	2.29	2.63	3.79	
		เป้าหมาย	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	81.00	

ตารางที่ 33 การเก็บข้อมูลเวลาการเดินเครื่องจักรและปัญหาที่เกิดจากเครื่องบรรจุซองอัติโนมัติ Line.L หลังการปรับปรุง

		ปี	2564, 2021													total	
		เดือน	มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม						
		สัปดาห์	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13		
		วัน	4-9	11-16	18-23	25-30	1-6	8-13	15-20	22-27	1-6	8-13	15-20	22-27	29-31	time	%
		เวลาที่ทำงานทั้งหมด (ชม.)	335.00	0.00	53.25	32.83	9.00	0.00	9.00	18.00	49.50	32.50	34.58	27.25	8.25	609.16	%
downtime	Set up & Adjustment	เปลี่ยนฟิล์ม	0.62	0.00	1.23	0.37	0.17	0.00	0.23	0.60	1.08	0.52	0.53	0.43	0.12	5.90	0.97%
		ตั้งพิมพ์วันที่	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.04%
		หมึกคาร์บอนหมด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.10	0.02%
		เครื่องตัดฟิล์มไม่ตรง	0.00	0.00	0.05	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.21%
		ซีลไม่ติด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.68	0.00	0.00	0.08	0.10	1.32	0.22%
		ฟิล์มพับ	0.23	0.00	0.27	0.45	0.00	0.00	0.00	0.32	0.15	0.07	0.15	0.00	0.00	1.63	0.27%
		ข้าวลงไม่ตรงกระพ้อ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	0.07	0.00	0.00	0.00	0.98	0.16%
	Operating	ปรับน้ำหนักใหม่	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.25	0.04%
		พิมพ์วันที่ผิด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%
		ชั่งวัตถุดิบ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%
		เปลี่ยนซองเพื่อ rework	0.00	0.00	0.30	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	1.23	0.20%
		ข้าวคาระยะซีล	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%
		Down Time (รวม)	0.85	0.00	1.93	1.02	0.52	0.00	0.68	0.92	4.60	0.65	0.78	0.77	0.22	12.93	2.12%
		สัปดาห์	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	Total	
		% Down Time	0.25	0.00	3.63	3.10	5.74	0.00	7.59	5.09	9.29	2.00	2.27	2.81	2.63	2.12	
		เป้าหมาย	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	39.00	

ตารางที่ 34 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเวลาการเดินเครื่องจักร Line.L

บันทึกการผลิต

วันที่ผลิต

Line การผลิต..... .....

ฟิล์มที่ใช้ในการผลิต						การผลิต						
ชนิดฟิล์ม	จาก	เบิก	คืน	ใช้	เสีย	ชื่อสินค้าที่ผลิต	เวลาที่ผลิต			จำนวนผลิต		
	Lot No.	(ม้วน)	(ม้วน)	(ม้วน)	(ม้วน)		เริ่ม	เสร็จ	รวม	ชิ้น	เสีย	
							เวลาหยุดเครื่อง					
						Downtime	หยุด	เริ่มเดิน	รวม (นาที)	สาเหตุ	แก้ไข	

ตารางที่ 35 การออกแบบการทดลองและบันทึกผลการทดลองโดยนำค่าปัจจัยมาใช้งาน

Test Line.L

Time	Counter	StdOrder	RunOrder	Temp	Speed	Time	Pressure	Good	Bad	Response
15.26	100	1	32	100	30	1	0.45	47	53	0.53
15.28	100	2	14	130	30	1	0.45	0	100	1.00
15.31	100	3	16	100	50	1	0.45	0	100	1.00
15.35	100	4	6	130	50	1	0.45	100	0	0.00
15.38	100	5	17	100	30	3	0.45	83	17	0.17
15.42	100	6	4	130	30	3	0.45	59	41	0.41
15.46	100	7	20	100	50	3	0.45	62	38	0.38
15.49	100	8	18	130	50	3	0.45	91	9	0.09
15.53	100	9	10	100	30	1	0.6	58	42	0.42
15.59	100	10	25	130	30	1	0.6	0	100	1.00
16.02	100	11	22	100	50	1	0.6	0	100	1.00
16.08	100	12	8	130	50	1	0.6	100	1	0.01
16.11	102	13	31	100	30	3	0.6	84	18	0.18
16.16	101	14	13	130	30	3	0.6	60	41	0.41
16.20	100	15	26	100	50	3	0.6	62	38	0.38
16.25	102	16	24	130	50	3	0.6	95	7	0.07
16.30	101	17	15	100	30	1	0.45	53	48	0.48
16.33	100	18	28	130	30	1	0.45	5	95	0.95
16.36	102	19	1	100	50	1	0.45	0	102	1.00
16.38	100	20	3	130	50	1	0.45	100	0	0.00
16.40	100	21	23	100	30	3	0.45	79	21	0.21
16.42	101	22	7	130	30	3	0.45	52	49	0.49
16.46	100	23	2	100	50	3	0.45	61	39	0.39
16.48	100	24	21	130	50	3	0.45	95	5	0.05
16.52	100	25	29	100	30	1	0.6	64	36	0.36
16.56	100	26	11	130	30	1	0.6	2	98	0.98
17.02	100	27	27	100	50	1	0.6	0	100	1.00
17.05	100	28	5	130	50	1	0.6	100	0	0.00
17.09	100	29	19	100	30	3	0.6	80	20	0.20
17.14	100	30	30	130	30	3	0.6	64	36	0.36
17.18	100	31	9	100	50	3	0.6	65	35	0.35
17.20	110	32	12	130	50	3	0.6	102	8	0.07
Total	3219									

ตารางที่ 36 บันทึก parameter การใช้งานเครื่องบรรจุอัตโนมัติ Line.L

บันทึก parameter การใช้งานเครื่องบรรจุอัตโนมัติ Line.L

วันที่.....

ชื่อสินค้าที่ผลิต	เวลาที่บันทึก	speed เครื่อง (ชิ้น/นาที)	แรงดันลม (Mpa)	อุณหภูมิ(°C)		ลักษณะรอยซีล		จำนวนผลิต (ชิ้น)
				V-seal	H-seal	ผ่าน	ไม่ผ่าน	

ภาคผนวก ข

การใช้โปรแกรม Minitab 16

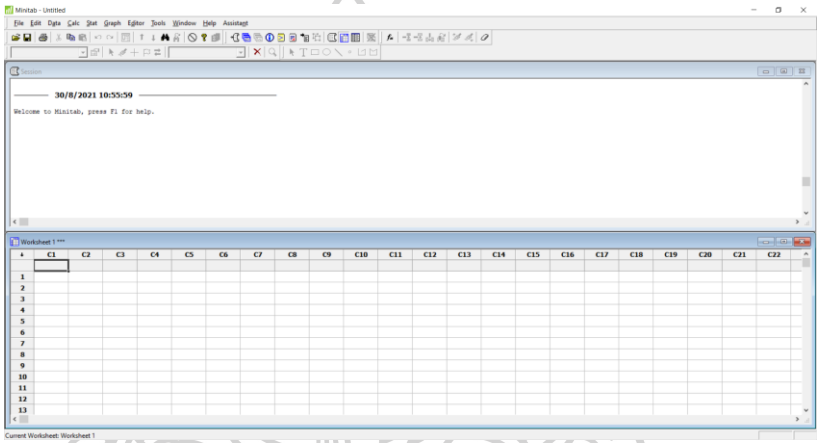
ข การใช้ Minitab ในการทำการทดลอง

1.การทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (2^k Full Factorial Design)

1.1 Double click ที่ Icon ดังรูป เพื่อเข้าโปรแกรม Minitab

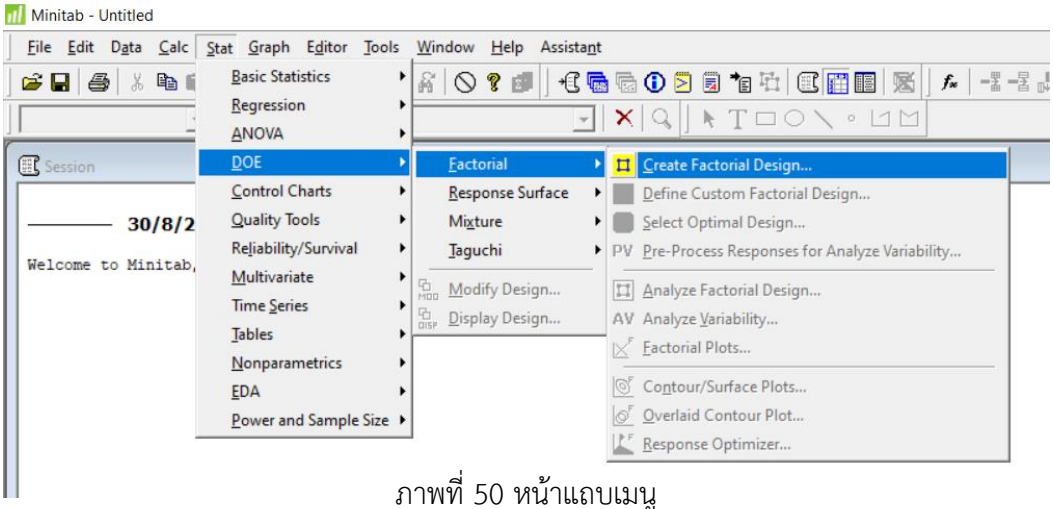
ภาพที่ 48 Icon โปรแกรม Minitab

1.2 เมื่อเข้าสู่โปรแกรม หน้าแรกของโปรแกรมจะแสดงดังภาพ



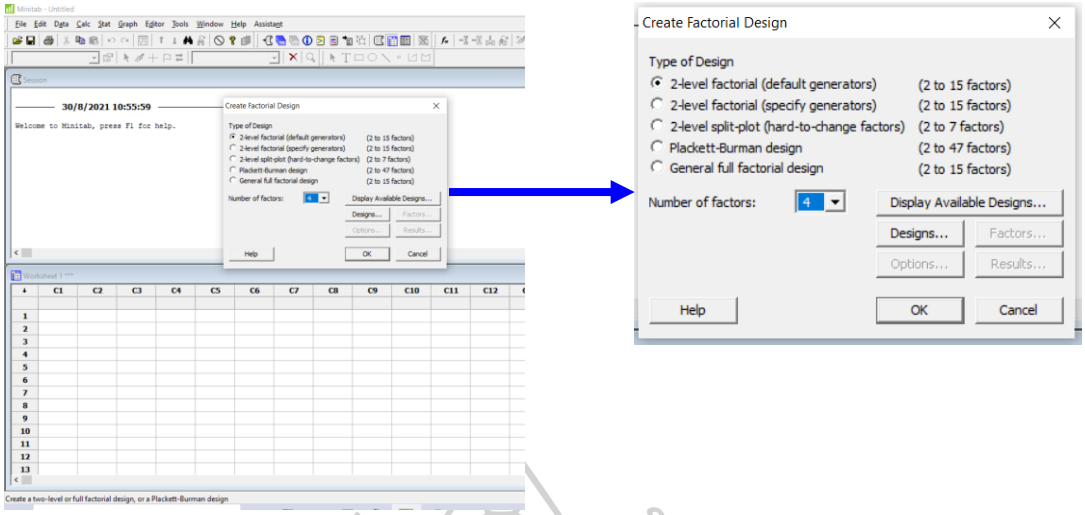
ภาพที่ 49 หน้าโปรแกรม

1.3 ไปที่แถบเมนู จากนั้นเลือก Stat ➡ DOE ➡ Factorial ➡ Create Factorial Design ดังภาพ



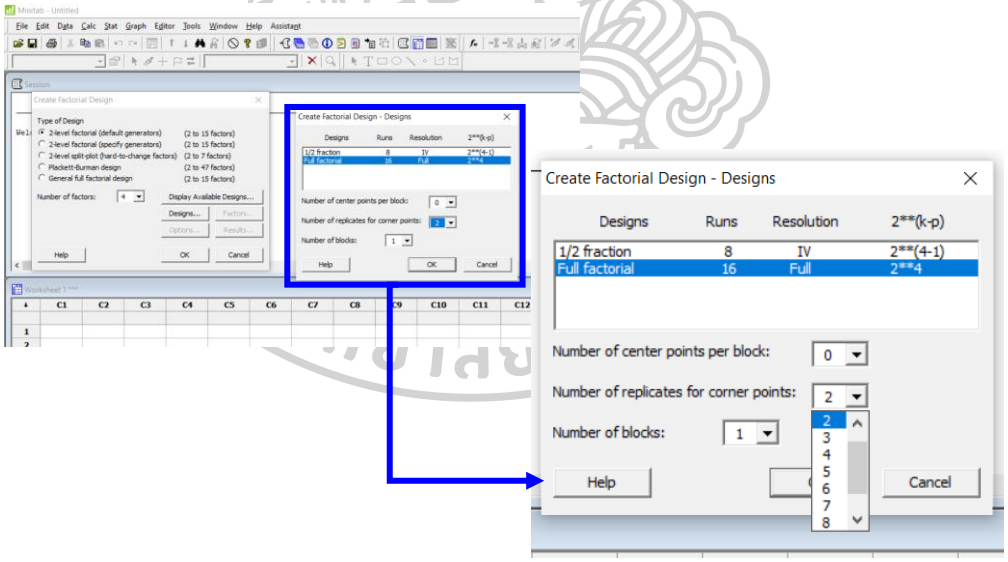
ภาพที่ 50 หน้าแถบเมนู

1.4 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design ที่หัวข้อ Type of Design เลือก 2-level factorial (default generators และที่หัวข้อ Number of factors ระบุจำนวนปัจจัย จากนั้นกดที่ปุ่ม Designs



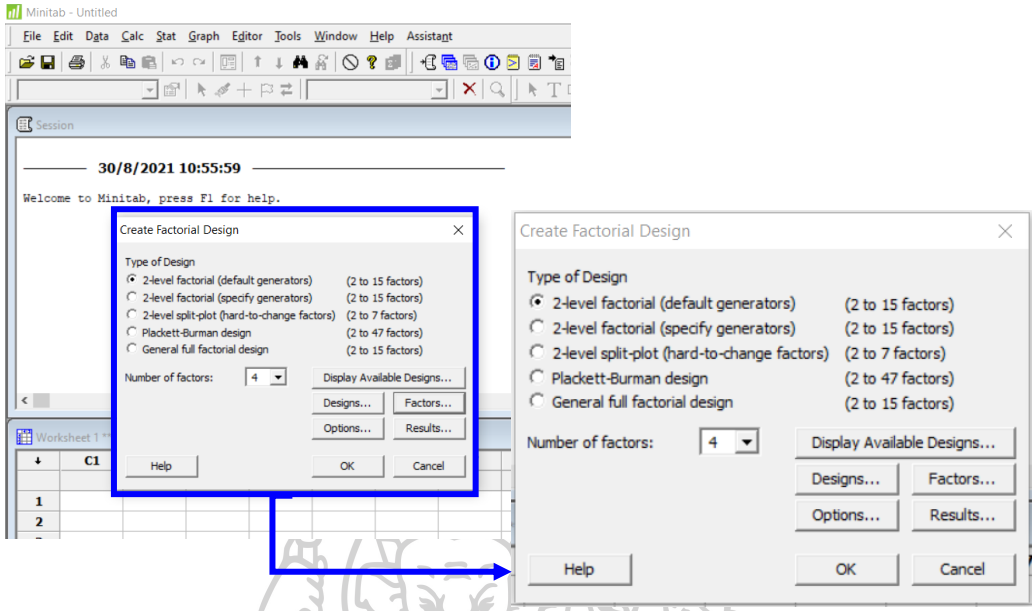
ภาพที่ 51 ปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design

1.5 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design-Design กดเข้าไปที่คำว่า Design แล้วเลือก Full factorial และที่หัวข้อ Number of replicates for corner points ระบุจำนวน replicates จากนั้นกดปุ่ม OK



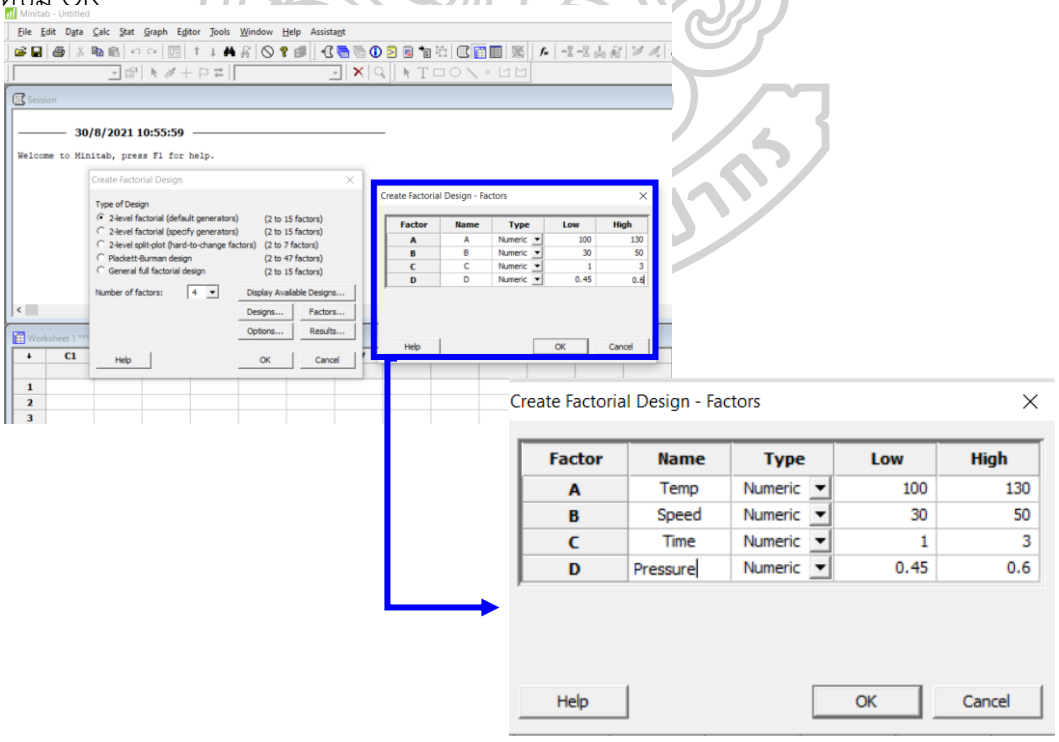
ภาพที่ 52 ปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design-Design

1.6 จะกลับมาปรากฏที่หน้าต่าง Create Factorial Design กดเลือกที่ปุ่ม factors



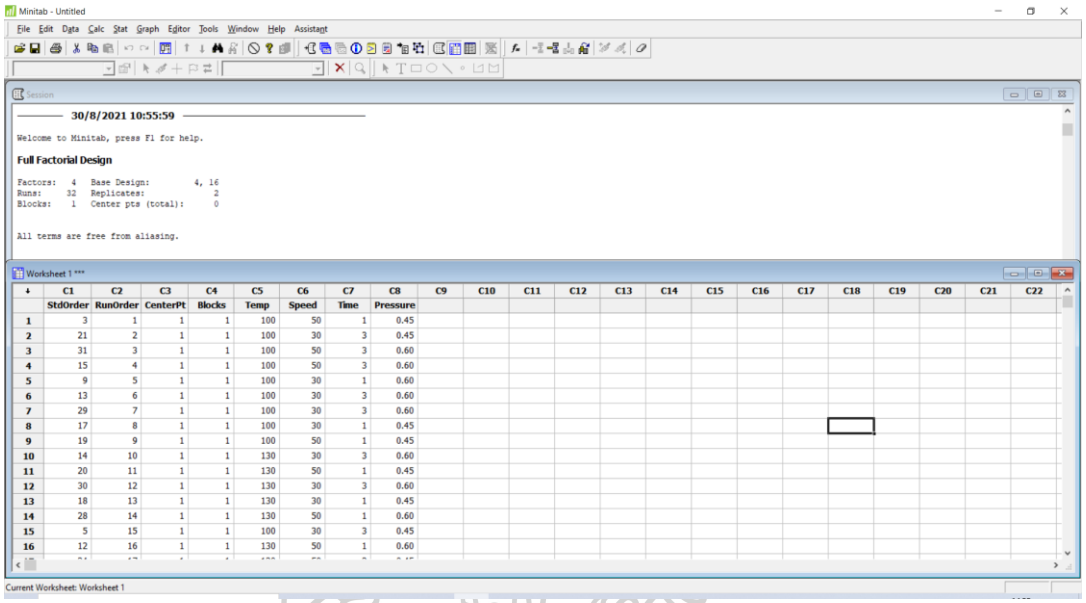
ภาพที่ 53 ปรากฏที่หน้าต่าง Create Factorial Design

1.7 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design กดเลือก Factors ทำการใส่ข้อมูลที่ช่อง Name ระบุชื่อ, Type ระบุเป็น Numeric และใส่ค่าระดับของปัจจัยที่ Low กับ High จากนั้นกดปุ่ม OK



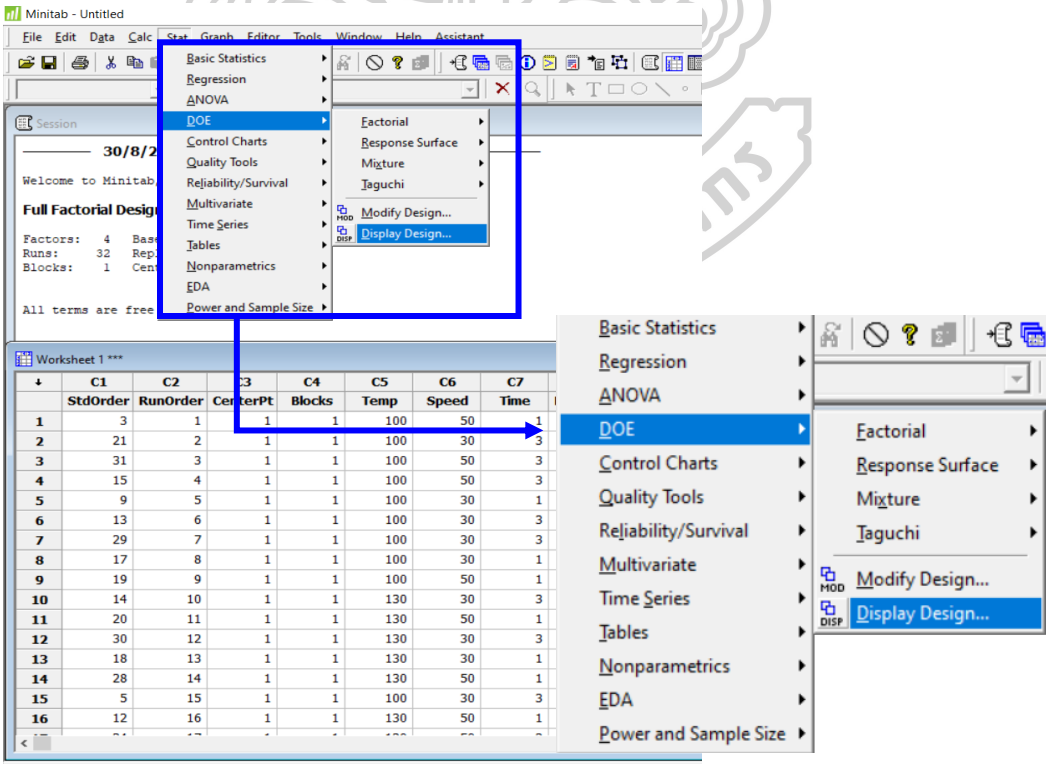
ภาพที่ 54 ปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design

1.8 โปรแกรม Minitab จะทำการ Run แบบสุ่ม โดยจะปรากฏผลการออกแบบการทดลอง ดังภาพ



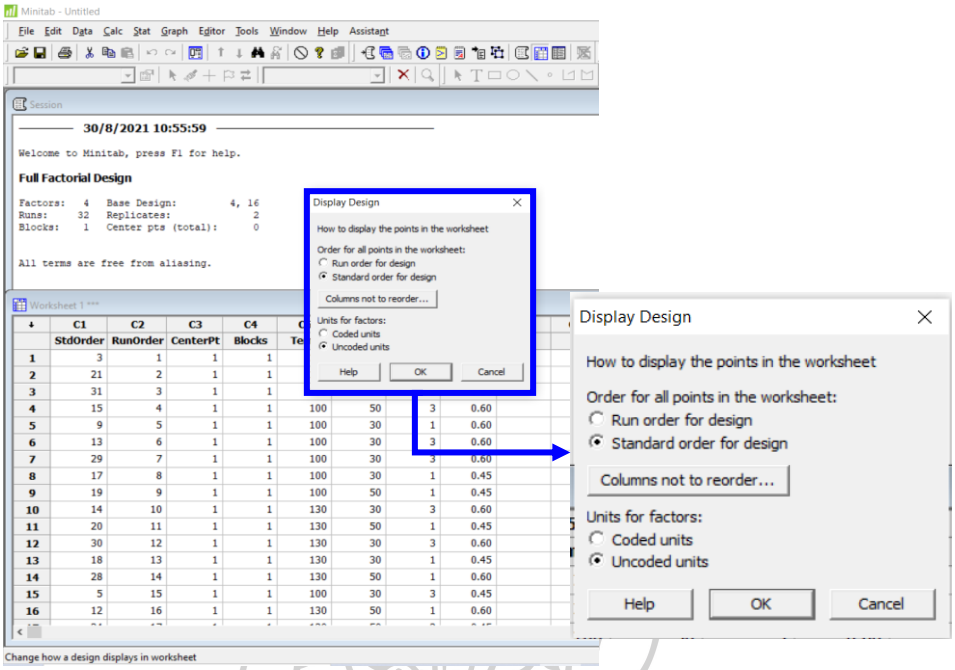
ภาพที่ 55 ผลการออกแบบการทดลองแบบ 2^K Full Factorial Design

1.9 เลือก Stat ➡ DOE ➡ Display Design เพื่อจัดลำดับการทดลอง



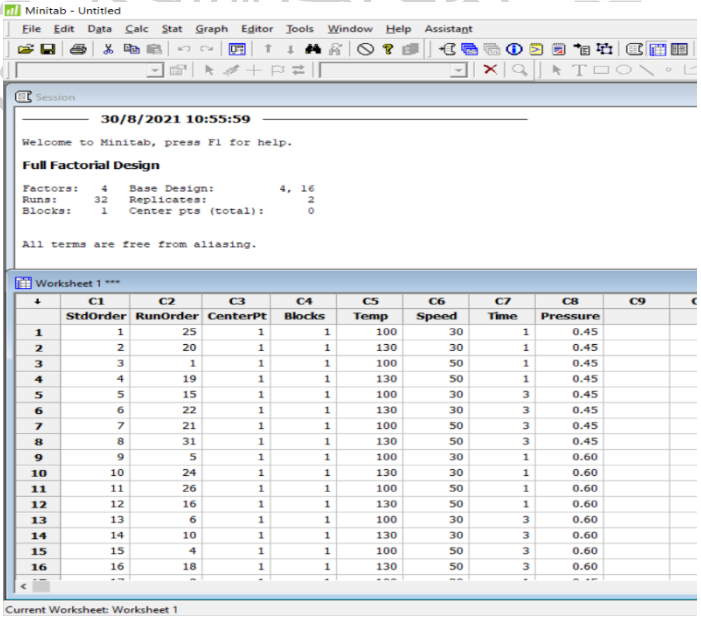
ภาพที่ 56 การเลือกคำสั่งในการจัดลำดับการทดลอง

1.10 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Display Design เลือก Standard for design และ Uncoded units



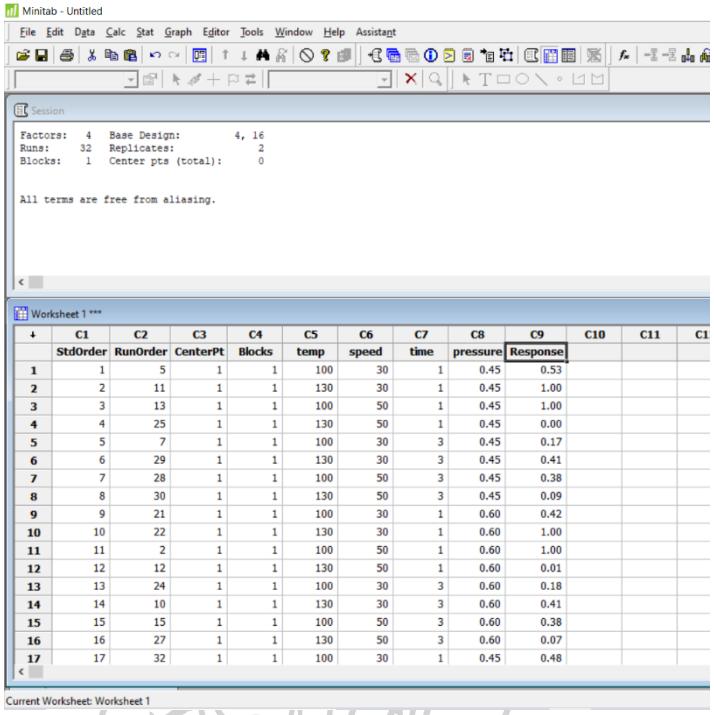
ภาพที่ 57 การเลือกคำสั่งในการจัดลำดับการทดลอง Standard order

1.11 โปรแกรม Minitab จะทำการ Run จัดลำดับ Stdorder (Standard order) โดยจะปรากฏลำดับการทดลองเรียงจากน้อยไปมาก



ภาพที่ 58 ผลการจัดลำดับการทดลอง Standard order

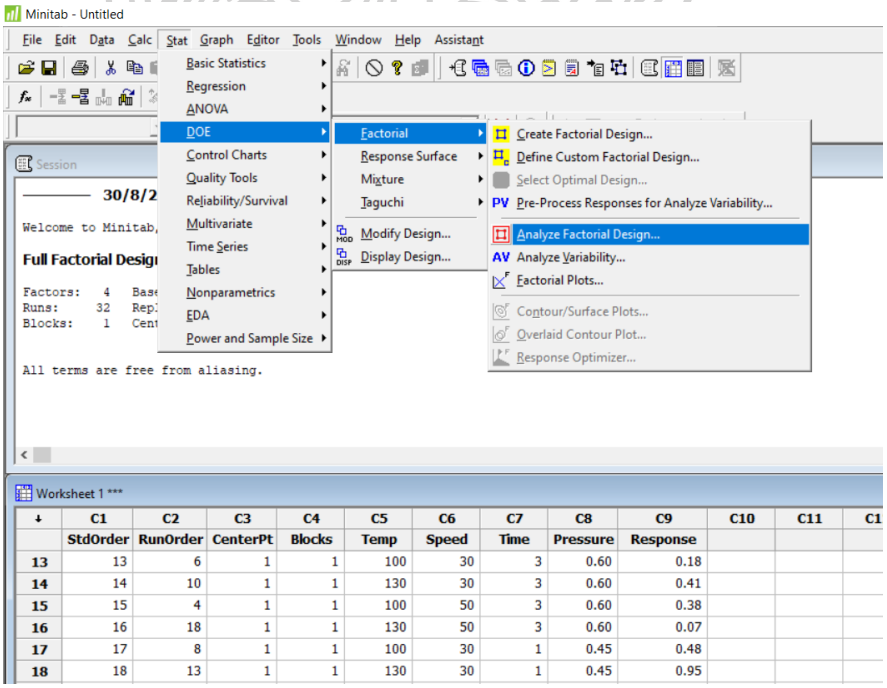
1.12 กำหนดช่องชื่อ Response และใส่ผลที่ได้จากทดลองตามลำดับ



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C1
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	temp	speed	time	pressure	Response			
1	1	5	1	1	100	30	1	0.45	0.53			
2	2	11	1	1	130	30	1	0.45	1.00			
3	3	13	1	1	100	50	1	0.45	1.00			
4	4	25	1	1	130	50	1	0.45	0.00			
5	5	7	1	1	100	30	3	0.45	0.17			
6	6	29	1	1	130	30	3	0.45	0.41			
7	7	28	1	1	100	50	3	0.45	0.38			
8	8	30	1	1	130	50	3	0.45	0.09			
9	9	21	1	1	100	30	1	0.60	0.42			
10	10	22	1	1	130	30	1	0.60	1.00			
11	11	2	1	1	100	50	1	0.60	1.00			
12	12	12	1	1	130	50	1	0.60	0.01			
13	13	24	1	1	100	30	3	0.60	0.18			
14	14	10	1	1	130	30	3	0.60	0.41			
15	15	15	1	1	100	50	3	0.60	0.38			
16	16	27	1	1	130	50	3	0.60	0.07			
17	17	32	1	1	100	30	1	0.45	0.48			

ภาพที่ 59 การใส่ค่าผลการทดลอง (Response)

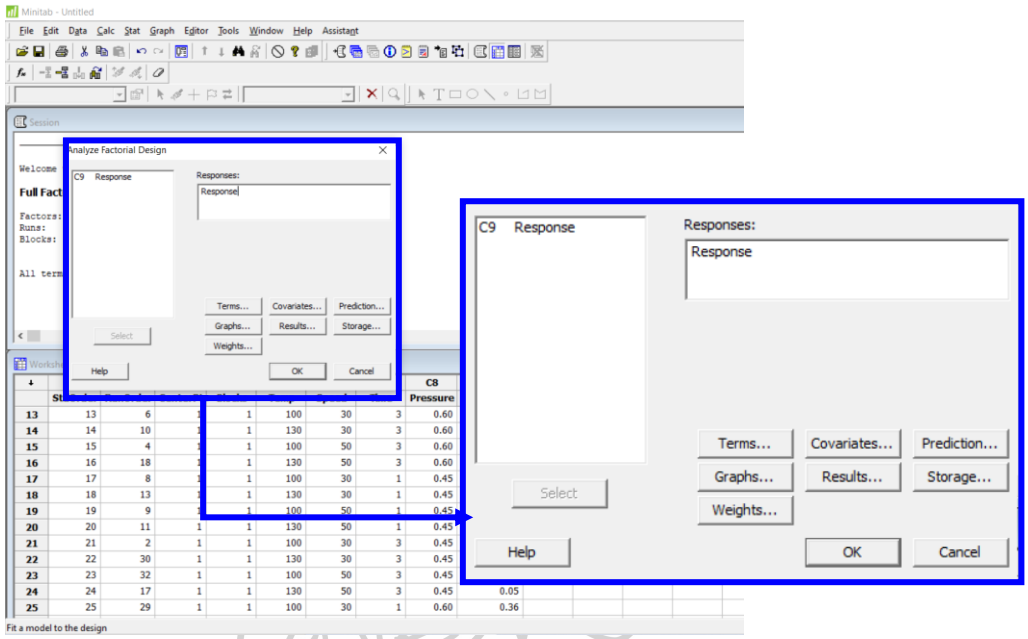
1.13 เลือก Stat ➡ DOE ➡ Factorial ➡ Analyze Factorial Design เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C1
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temp	Speed	Time	Pressure	Response			
13	13	6	1	1	100	30	3	0.60	0.18			
14	14	10	1	1	130	30	3	0.60	0.41			
15	15	4	1	1	100	50	3	0.60	0.38			
16	16	18	1	1	130	50	3	0.60	0.07			
17	17	8	1	1	100	30	1	0.45	0.48			
18	18	13	1	1	130	30	1	0.45	0.95			

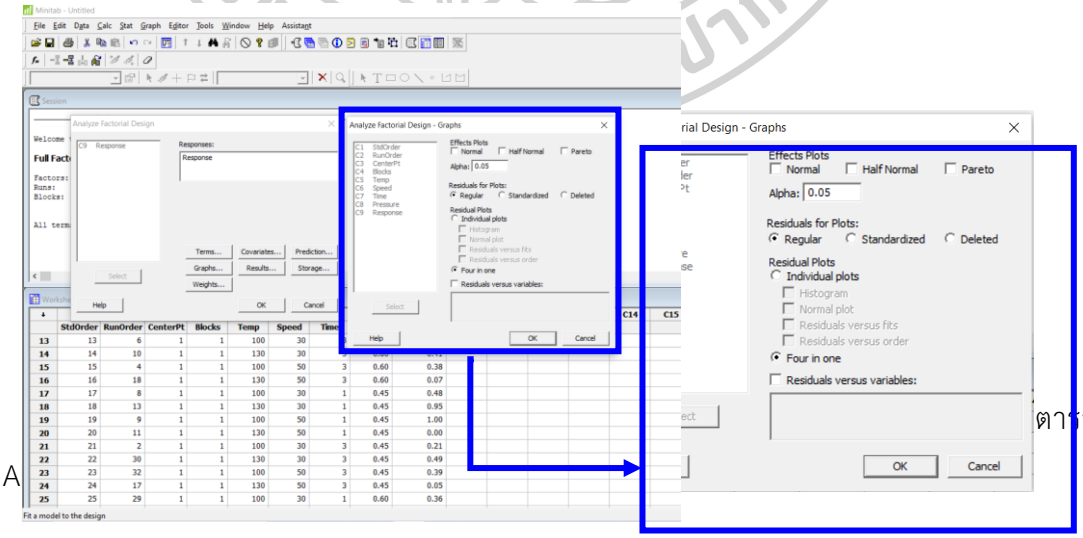
ภาพที่ 60 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)

1.14 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Analyze Factorial Design แล้วดับเบิลคลิกที่ Response ทางช่องด้านซ้าย แล้วสังเกตที่ช่องว่างด้านขวาใต้หัวข้อ Response จะปรากฏคำว่า Response จากนั้นกดปุ่ม Graphs



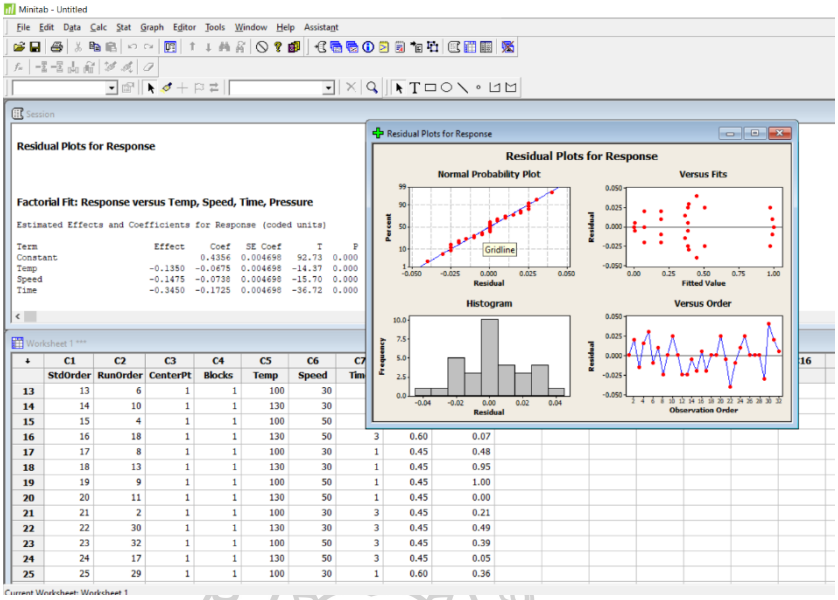
ภาพที่ 61 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)

1.15 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Analyze Factorial Design – Graphs เลือก Alpha กำหนด 0.05 ➡ Residuals for plots เลือก Regular ➡ Residuals เลือก Four in one จากนั้นกดปุ่ม OK



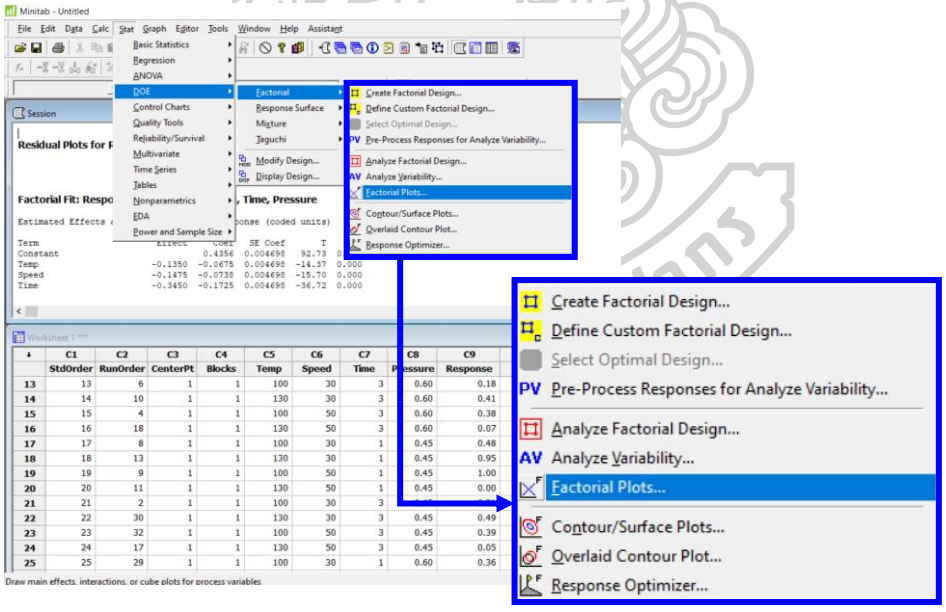
ตาราง A

ภาพที่ 62 ปรากฏหน้าต่างชื่อ Analyze Factorial Design-Graphs

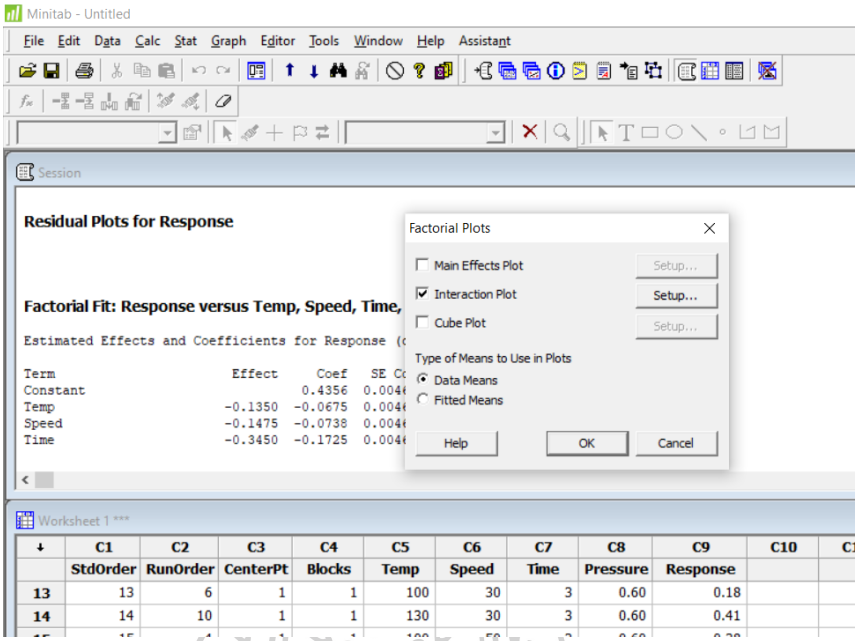


ภาพที่ 63 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)

1.17 เลือก Stat ➡ DOE ➡ Factorial Plots สร้างกราฟแสดงผลกระทบร่วม (Interaction)

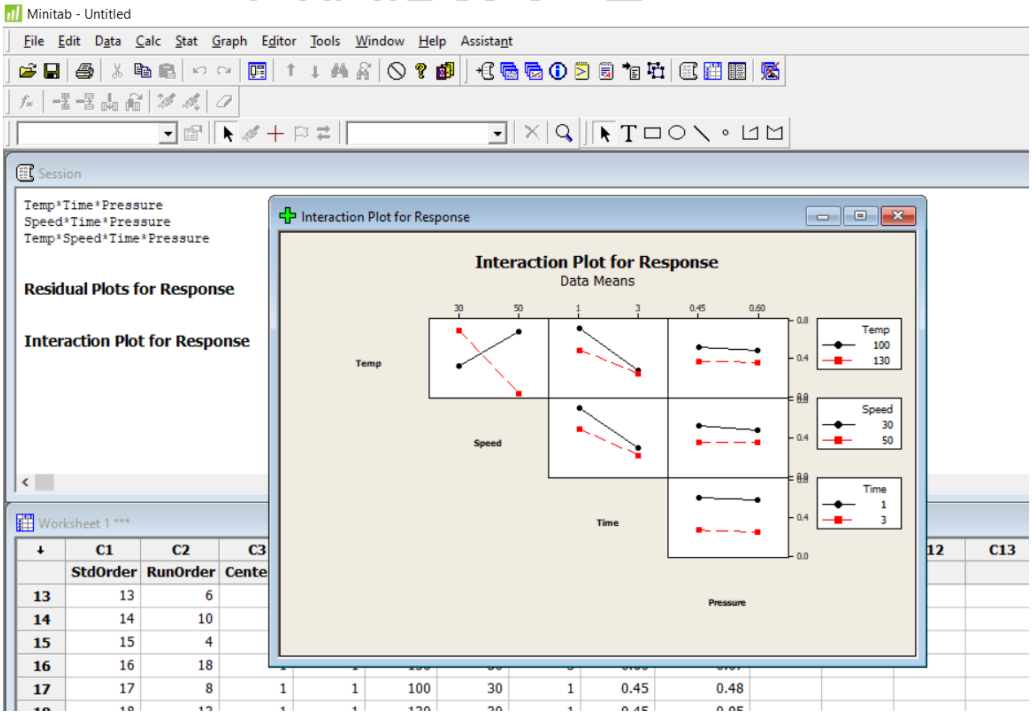


ภาพที่ 64 การเลือกคำสั่ง Factorial Plots



ภาพที่ 65 การเลือกคำสั่ง Interaction Plot

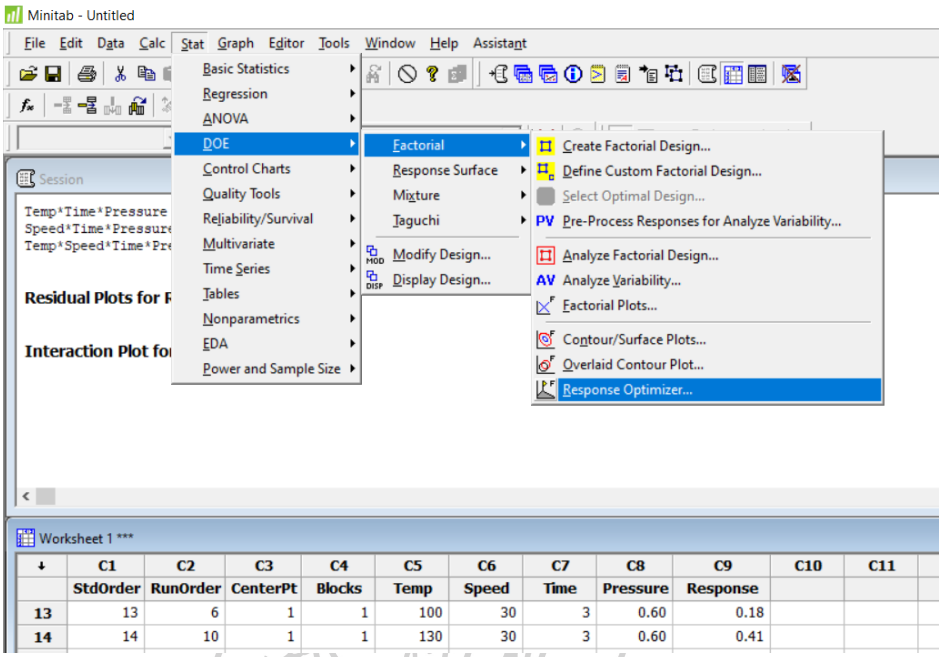
1.19 จะปรากฏ Interaction Plot แสดงผลกระทบร่วม



ภาพที่ 66 Interaction Plot

2.Response Optimization

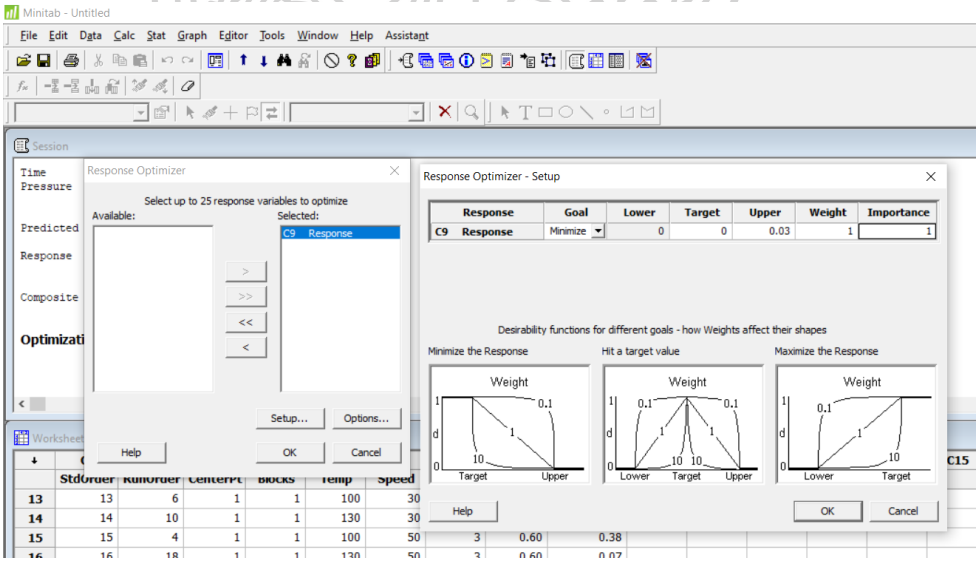
2.1 หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม เลือก Stat ➡ DOE ➡ Factorial ➡ Response Optimizer



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temp	Speed	Time	Pressure	Response		
13	13	6	1	1	100	30	3	0.60	0.18		
14	14	10	1	1	130	30	3	0.60	0.41		

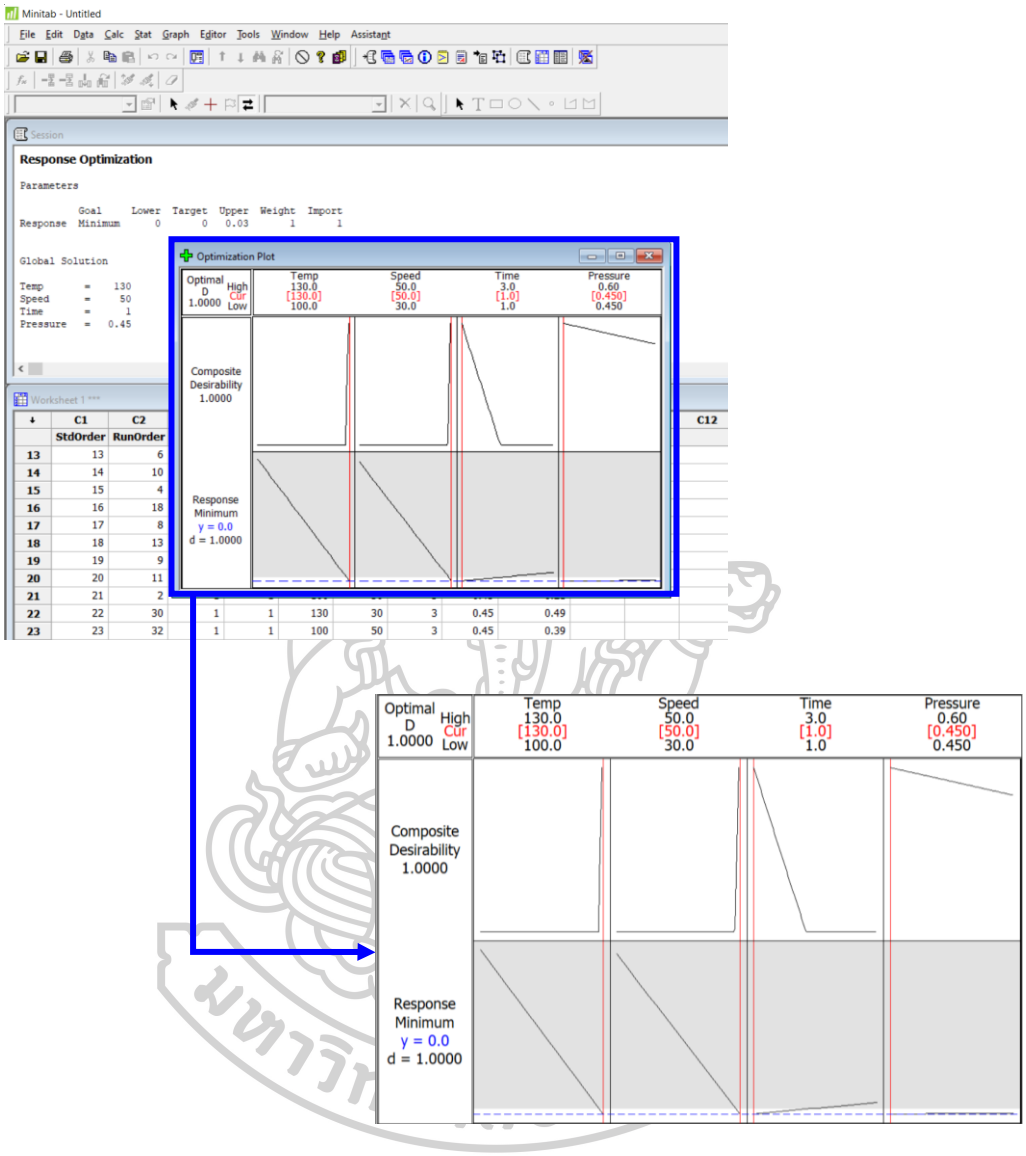
ภาพที่ 67 การเลือกคำสั่ง Response Optimizer

2.2 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Response Optimizer – Setup ที่หัวข้อ Goal เลือก Minimize ระบุค่าของเสียที่สามารถยอมรับได้ในช่อง Target กับ Upper จากนั้นกดปุ่ม OK



ภาพที่ 68 การระบุค่า Lower Target Upper

2.3 จะปรากฏค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยแสดงเป็นตัวอักษรสีแดงอยู่ในวงเล็บ



ภาพที่ 69 ผลของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ภิญญ์สุประภา สุขะปุณพันธุ์
วัน เดือน ปี เกิด	31 พฤษภาคม 2529
สถานที่เกิด	ราชบุรี
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมกระบวนการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่