การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

โดย
นายธวัชชัย ภัทรดนัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

โดย
นายธวัชชัย ภัทรดนัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

WASTE REDUCTION IN MANUFACTURING OF COMPONENTS OF GUIDE WIRE BY APPLYING DESIGN OF EXPERIMENT

By

MR. Tawatchai PATTARADANAI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Engineering ENGINEERING MANAGEMENT

Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Silpakorn University

Academic Year 2022

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง
โดย	นายธวัชชัย ภัทรดนัย
สาขาวิชา	การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจีรจำเนียร) เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

พิจารณาเห็นชอบโดย

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

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

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

640920017 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : การออกแบบการทดลอง, การลดของเสีย, ขดลวดนำ

นาย ธวัชชัย ภัทรดนัย: การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์คือการลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนกระกอบขดลวดนำ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำแห่งหนึ่ง พบว่าในขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปมุมเกิดของเสียจำนวนมาก ซึ่งพบปัญหาของเสีย 5 ปัญหาหลัก จากข้อมูลเบื้องต้นผู้วิจัยได้นำแผนภูมิพาเรโต มาวิเคราะห์ผลพบว่าปัญหาของเสียที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตมากที่สุด คือ ปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐาน จึงนำมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นของการเกิดของเสีย

โดยผู้วิจัยใช้หลักการ 4M เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุ พบว่าเกิดจากการปรับตั้งค่าของเครื่องเตาอบ ซึ่งมีทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ 1. อุณหภูมิในการอบ 2. ระยะเวลาในการอบ 3. แรงดันในการอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดของเสีย จากนั้นทำการวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้หลักการ Response Optimization ในการหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งการนำพารามิเตอร์มาใช้ปรับตั้งค่าเครื่องเตาอบในกระบวนการผลิตสามารถลดของเสียประเภทมุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานจาก 75.45 % เป็น 20.32 % สามารถลดของเสียได้ถึง 73.07 %

640920017 : Major ENGINEERING MANAGEMENT
Keyword : DESIGN OF EXPERIMENT, DEFECT REDUCTION, GUIDE WIRE

MR. Tawatchai PATTARADANAI : WASTE REDUCTION IN MANUFACTURING OF COMPONENTS OF GUIDE WIRE BY APPLYING DESIGN OF EXPERIMENT Thesis advisor : Associate Professor Prachuab Klomjit, Ph.D.

The objective of this research is to reduce the waste in the Guide Wire assembly manufacturing process by using Design of Experiment (DOE). The researcher studied production process of guide wire assembly factory in case study. We found that in angle forming process has a lot of defects. Then found the main problems are 5 defects. From these data, Pareto chart was used for problem analysis. The results show that the main causes are the damaged Angle higher than the standard problem, these data analyze to find the cause related defected.

The researcher uses the 4M principle to analyze the problem and find the cause. It was found caused by adjustment of the oven machine. There are 3 factors, 1. Temperature 2. Time 3. Pressure and used 2-Full Experimental Design (2^k Full Factorial Design) to find the factors that affect the defection. And then analyze the optimal value by using Response Optimization principle to find parameter the appropriate for applying in production processes, it can reduced Angle higher than the standard problem from 75.45% to 20.32% and reduced waste up to 73.07%

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร ซึ่งเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนย์ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัย รวมทั้งอาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย ส่งผลให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบของพระคุณในความกรุณาของทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณอานนท์ พลาสิน หัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม และหลายๆท่านของโรงงานกรณีศึกษาที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และเอื้อเฟื้อข้อมูลการวิจัย ส่งผลให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัย จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าหรือประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ที่อบรมสั่งสอน แนะนำ ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจอย่างดียิ่งเสมอมา

นาย ธวัชชัย ภัทรดนัย

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย 4

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 การดีดตัวกลับของวัสดุ (Spring back) 5

2.2 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) 6

2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) 11

2.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design of Experiment) 12

2.5 หลักการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2^k แบบเต็มรูปแบบ 12

2.6 การวิเคราะห์การออกแบบแบบเต็มรูปแบบ 13

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14

บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน 17

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 17
3.2 ศึกษาสภาพการทำงาน 18
3.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 20
3.4 การออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ 24
3.5 ขั้นตอนการทำการทดลองการวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผลเบื้องต้น 25
บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์ผล 27
4.1 การดำเนินการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design 27
4.2 ผลการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design 27
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k Full Factorial Design 28
4.4 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ Response Optimization 31
4.6 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง 32
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 35
5.1 สรุปผลงานวิจัย 35
5.2 ข้อเสนอแนะ 35
รายการอ้างอิง 36
ภาคผนวก 38
ภาคผนวก ก การเก็บข้อมูลการผลิตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ 39
ภาคผนวก ข การใช้โปรแกรม Minitab 17 48
ภาคผนวก ค การนำค่าที่ได้ไปปรับตั้งค่าเครื่องจักร 60
ประวัติผู้เขียน 62

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลการผลิตเดือนธันวาคม พ.ศ.2564 – พฤษภาคม พ.ศ. 2565.....2

ตารางที่ 2.1 กรณีผลกระทบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการออกแบบแบบเต็มรูปแบบ.....13

ตารางที่ 2.2 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัย.....13

ตารางที่ 2.3 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง.....14

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ.....18

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์ 4M ของปัญหาการเกิดของเสีย.....21

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์เดิมของโรงงาน.....23

ตารางที่ 3.4 การแบ่งระดับปัจจัย.....23

ตารางที่ 3.5 แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ.....25

ตารางที่ 4.1 จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design.....27

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลอง.....27

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง.....30

ตารางที่ 4.4 Output Optimize Point.....31

ตารางที่ 4.5 ผลที่ได้จากการผลิตเมื่อนำค่าปัจจัยที่เหมาะสมไปใช้เพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลัง.....33

ตารางที่ 4.6 จำนวนชิ้นงานของเสียแต่ละประเภทหลังปรับปรุง.....34

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 แผนภูมิแสดงยอดการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ 2

ภาพที่ 1.2 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต 3

ภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนรูปแบบของความเค้นในการงอโลหะ 5

ภาพที่ 2.2 แผ่นตรวจสอบ 6

ภาพที่ 2.3 ฮิสโตแกรม 7

ภาพที่ 2.4 แผนภูมิพาเรโต 8

ภาพที่ 2.5 แผนภาพสาเหตุและผล 9

ภาพที่ 2.6 แผนภาพการกระจาย 9

ภาพที่ 2.7 แผนภูมิควบคุม 10

ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย กระบวนการ และ ตัวแปรตอบสนอง 11

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 17

ภาพที่ 3.2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ 18

ภาพที่ 3.3 เครื่องอบรักษาความร้อน 20

ภาพที่ 3.4 แผนผังก้างปลาแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องและสาเหตุของปัญหา 21

ภาพที่ 4.1 แผนภูมิการกระจายตัวของส่วนตกค้าง ความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง 29

ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ Variance 29

ภาพที่ 4.3 แผนภูมิปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองของปริมาณของเสีย 30

ภาพที่ 4.4 แผนภูมิการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าตอบสนองของปริมาณของเสีย 31

ภาพที่ 4.5 ผลตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสม 32

ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบของเสียก่อน-หลังปรับปรุง 33

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์การแพทย์มีการแข่งขันทางด้านธุรกิจที่รุนแรงและมีแนวโน้มการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ดังจะเห็นได้จากประชากรโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ (Aging Society) ของประเทศชั้นนำทั่วโลกยิ่งกระตุ้นให้ความต้องการการใช้อุปกรณ์การแพทย์เพิ่มมากขึ้น ประเทศไทยเป็นประเทศผู้นำเข้าและส่งออกเครื่องมือแพทย์รายใหญ่ในภูมิภาคอาเซียน ขณะเดียวกันยังต้องเผชิญกับคู่แข่งสำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป และจีนอีกด้วย ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์การแพทย์เกิดการแข่งขันสูง ทั้งด้านคุณภาพ ราคา และความรวดเร็วในการส่งมอบสินค้าเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

การให้ความสำคัญต่อลูกค้าโดยมุ่งตอบสนองความต้องการของลูกค้าเป็นกลยุทธ์การแข่งขันทางธุรกิจที่มีความสำคัญมากประการหนึ่ง ซึ่งการปรับปรุงกระบวนการผลิตและคุณภาพผลิตภัณฑ์เป็นมาตรการสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เพื่อยกระดับความน่าเชื่อถือและระดับสินค้าให้สูงขึ้น สร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า และยังเป็นการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

การลดของเสียในกระบวนการผลิตต้องทำการตรวจสอบและประเมินผลการผลิตสินค้าว่ามีคุณภาพตรงตามความต้องการหรือไม่ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาสาเหตุข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่ไม่ดี จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องหรือสิ่งที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดที่เกิดภายในกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะส่งถึงลูกค้า ช่วยให้จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลดลงหรือของเสียที่ลูกค้าตรวจพบและส่งคืนมายังบริษัทลดลง ทำให้สามารถลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นและเป็นการเพิ่มผลกำไรให้กับบริษัทมากขึ้น

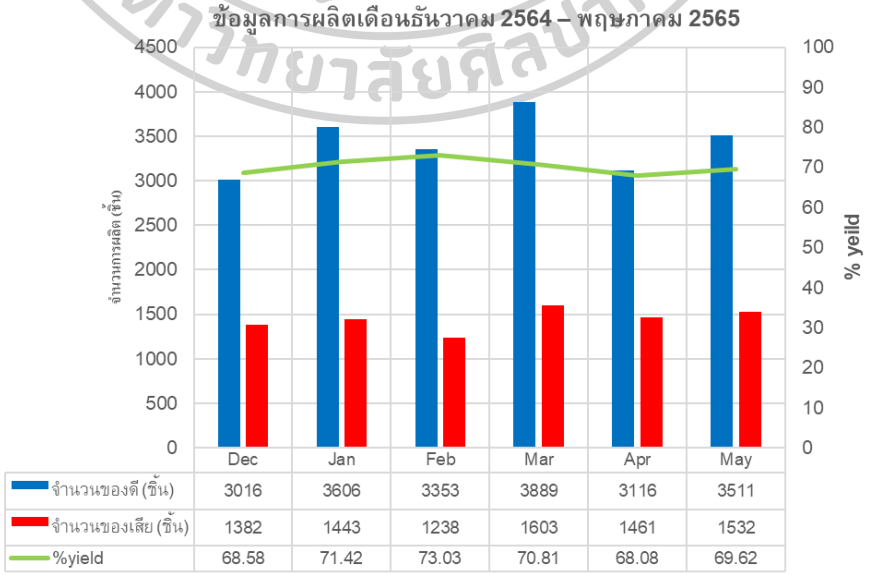
บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์และชิ้นส่วนประกอบเครื่องมือการแพทย์ ซึ่งผลิตภัณฑ์มีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากเกี่ยวข้องกับการใช้รักษาชีวิตของผู้ป่วยโดยตรง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เช่น ขดลวดนำใช้สำหรับสอดนำสายสวนหลอดเลือดขนาดเล็กพิเศษ (microcatheter) ไปยังตำแหน่งที่มีความผิดปกติของเนื้อเยื่ออวัยวะของร่างกาย โดยอาจเกิดจากก้อนเนื้องอก ไขมันอุดตัน หรือทำการฉีดสารทึบรังสีเพื่อให้ได้ภาพรังสีที่ต้องการและเพื่อทำการรักษาด้วยเครื่องมือทางการแพทย์ เช่น การขยายหลอดเลือด การอุดตันของหลอดเลือด การตัดชิ้นเนื้อ และการให้ยา ดังนั้นส่วนปลายของขดลวดนำ จึงจำเป็นที่ต้องโค้งงอได้ง่าย (Flexible) และมีการบิดหมุนได้ดี (Torque Performance) เพื่อที่จะสามารถสอดไปยังตำแหน่งหลอดเลือดที่

ต้องการได้ง่าย และหากส่วนปลายของขดลวดนำมีข้อบกพร่องบนชิ้นงานทำให้สมบัติดังกล่าวลดลง ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายหรือส่งผลโดยตรงต่อการรักษาผู้ป่วย

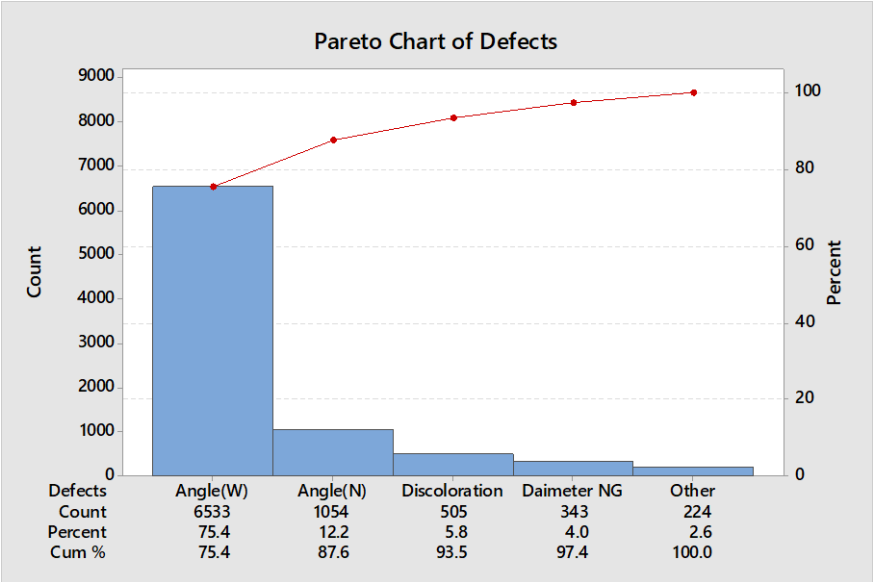
ปัจจุบันบริษัทประสบปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากการเก็บข้อมูลพบว่ามีของเสียในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 1-1 ได้แก่ มุมสูงกว่ามาตรฐาน มุมต่ำกว่ามาตรฐาน ขนาดชิ้นงานไม่ได้มาตรฐานความยาวไม่ได้มาตรฐาน สีชิ้นงานเปลี่ยน และอื่นๆ ทำให้บริษัทสูญเสียรายได้จากของเสียที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์มีมูลค่า 428.53 บาทต่อชิ้น จากข้อมูลการผลิตในเดือนธันวาคม พ.ศ.2564 – พฤษภาคม พ.ศ. 2565 พบว่ามีของเสียรวมทั้งหมด 8,659 ชิ้น ทำให้บริษัทต้องสูญเสียรายได้ทั้งหมด 3,710,641.27 บาท

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลการผลิตเดือนธันวาคม พ.ศ.2564 – พฤษภาคม พ.ศ. 2565

ปี พ.ศ.	2564	2565				
เดือน	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
จำนวนยอดการผลิต (ชิ้น)	4398	5049	4591	5492	4577	5043
จำนวนของดี (ชิ้น)	3016	3606	3353	3889	3116	3511
จำนวนของเสีย (ชิ้น)	1382	1443	1238	1603	1461	1532
จำนวนของดี (%)	68.58	71.42	73.03	70.81	68.08	69.62
จำนวนของเสีย (%)	31.42	28.58	26.97	29.19	31.92	30.38



ภาพที่ 1.1 แผนภูมิแสดงยอดการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ



ภาพที่ 1.2 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

จากข้อมูลพบว่าของเสียมีจำนวนมาก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบเพื่อหาสาเหตุและวิธีการดำเนินการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นทำให้ต้องสูญเสียเวลาในระบบการผลิต และเกิดความล่าช้าในการส่งมอบสินค้า ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อบริษัท ทั้งในเรื่องค่าใช้จ่ายแรงงาน ค่าจัดเก็บวัตถุดิบ ค่าใช้จ่ายในการบริหาร รวมไปถึงหากสินค้าที่ไม่มีคุณภาพหลุดรอดไปถึงมือลูกค้าอาจให้เกิดผลกระทบหลายด้านโดยเฉพาะผลกระทบทางด้านความสัมพันธ์ทางธุรกิจและความน่าเชื่อถือของบริษัท ดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นจึงควรหาแนวทางการแก้ไขและป้องกันโดยเฉพาะในหน่วยงานที่มีจำนวนของเสียเกิดขึ้นสูง โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (7 QC Tools) และ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) แบบ 2^k Full Factorial Design เพื่อกรองเอาปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลออก จากนั้นนำ Response Optimization เข้ามาใช้ในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งจะใช้โปรแปรม Minitab ในการวิเคราะห์และประมวลผม เมื่อได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมจะนำไปทำการทดลองเพื่อยืนยันผล และนำมาใช้เป็นมาตรฐานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาหาขั้นตอนในการทำงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

1.2.2 เพื่อลดของเสียโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

1.3.1 การดำเนินงานวิจัยทำการศึกษาเฉพาะปัญหาการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

1.3.2 ทำการศึกษาสภาพทั่วไปของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาและปรับปรุงแก้ไขในกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนของเสีย

1.3.3 การวิจัยมุ่งเน้นการลดของเสียที่เกิดขึ้นของแผนก Medical components ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำเท่านั้น

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาข้อมูลเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ก่อให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต

1.4.2 วิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

1.4.3 เสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

1.4.4 นำแนวทางการปรับปรุงแก้ไขไปใช้กับกระบวนการผลิตจริงและเก็บผลการดำเนินการ

1.4.5 เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง

1.4.5 สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจกระบวนการขั้นตอนในการทำงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

1.5.2 ลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำโดยประยุกต์ใช้หลักการ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้า และรวบรวมทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดตามลำดับดังนี้

2.1 การดีดตัวกลับของวัสดุ (Spring back)

2.2 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools)

2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE)

2.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

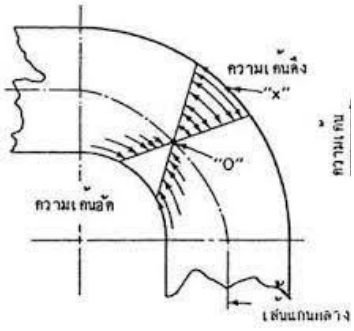
2.5 หลักการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2^k แบบเต็มรูปแบบ

2.6 การวิเคราะห์การออกแบบแบบเต็มรูปแบบ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การดีดตัวกลับของวัสดุ (Spring back)

การเปลี่ยนรูปของวัสดุมีอยู่ในรูปอีลาสติก (แบบยืดหยุ่น) และพลาสติก(แบบถาวร) ซึ่งการเปลี่ยนรูปแบบเป็นลักษณะไหนจะขึ้นอยู่กับแรงที่ทำกับชิ้นงานและค่าการกลับคืนตัวแบบยืดหยุ่นของชิ้นงาน เมื่อมีแรงมาทำกับชิ้นงานมากกว่าค่าการกลับคืนตัวแบบยืดหยุ่นของชิ้นงาน การเปลี่ยนรูปแบบถาวรก็จะเกิดขึ้น แต่เมื่อแรงที่มาทำกับชิ้นงานน้อยกว่าค่าการกลับคืนตัวแบบยืดหยุ่นของชิ้นงาน ชิ้นงานจะกลับคืนสู่รูปแบบเดิม ส่วนการดัดงอ ในการกลับคืนตัว เรียกว่า Spring back (การดีดตัวกลับของวัสดุ) ซึ่งผลของการดีดตัวกลับทำให้วัสดุที่ดัดงอเกิดการดีดตัวหรือคลายตัวกลับคืนรูปไปสู่สภาพเดิมก่อนที่วัสดุนั้นๆจะถูกดัด ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการดีดตัวกลับ เช่น รัศมีของมุมที่ถูกดัดที่เกิดขึ้นกับวัสดุและความหนาของตัววัสดุ



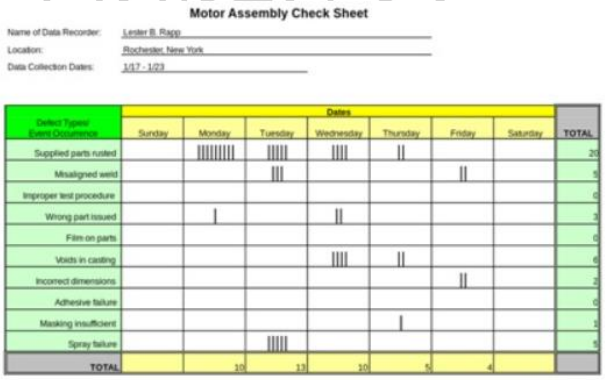
ภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนรูปแบบของความเค้นในการงอโลหะ

2.2 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools)

เครื่องมือควบคุมคุณภาพ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพของกระบวนการผลิต ซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา คัดเลือกหรือจัดลำดับความสำคัญของปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง เพื่อให้สามารถแก้ไขได้อย่างถูกต้องรวมทั้งติดตามผลอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเครื่องมือในการควบคุมคุณภาพที่สำคัญมี 7 ชนิด โดยเครื่องมือแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 ใบตรวจสอบ (Check Sheet)

ใบตรวจสอบ เป็นแบบฟอร์มที่อยู่ในรูปตารางหรือรูปภาพ ใช้สำหรับกรอกรายละเอียดของข้อมูล เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุและติดตามผลการดำเนินงาน ซึ่งลักษณะของใบตรวจสอบต้องคำนึงถึงคือการกำหนดรายละเอียดที่ชัดเจน เช่น รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ ผู้ตรวจสอบ วันและเวลาที่ตรวจ เป็นต้น มีการจัดรูปแบบของแบบฟอร์มให้สะดวกต่อการบันทึกข้อมูล ง่ายต่อการจำแนกข้อมูล และวิเคราะห์ผล และที่สำคัญควรกำหนดและใช้ใบตรวจสอบให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบด้วย



ภาพที่ 2.2 แผ่นตรวจสอบ

2.2.2 กราฟ (Graph)

กราฟ เป็นแผนภาพที่อธิบายความแตกต่างของข้อมูลจากการเก็บบันทึก กราฟใช้สำหรับนำเสนอข้อมูลที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจโดยอาศัยการพิจารณาด้วยตาเปล่าได้ สามารถให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีกว่าการนำเสนอข้อมูลด้วยวิธีอื่น โดยชนิดของกราฟมีดังนี้

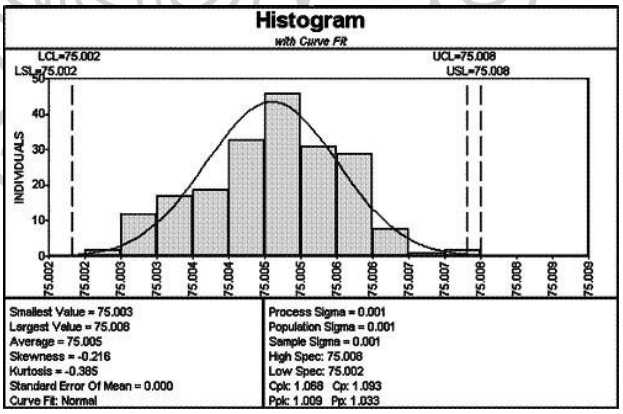
2.2.2.1 กราฟเส้น เป็นเส้นกราฟที่ใช้แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของข้อมูลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ลักษณะของกราฟเส้นจะมีแกนตั้งเป็นค่าข้อมูล และแกนนอนเป็นช่วงเวลา กราฟเส้นใช้สำหรับการนำเสนอข้อมูลในกรณีที่ต้องการทราบแนวโน้มของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา หรือใช้สำหรับการดูการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

2.2.2.2 กราฟแท่ง เป็นกราฟรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความกว้างเท่ากัน โดยจะใช้ขนาดความยาวหรือความสูงของแท่งกราฟเปรียบเทียบจำนวนข้อมูล การนำเสนอข้อมูลคล้ายกราฟเส้น โดยที่กราฟแท่งสามารถนำเสนอได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน กราฟแท่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ กราฟแท่งงเชิงเดี่ยว, กราฟแท่งเชิงซ้อน และกราฟแท่งเชิงประกอบ โดยกราฟแท่งเชิงเดี่ยวใช้แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลชุดเดียว และแสดงลักษณะของข้อมูลที่สนใจเพียงลักษณะเดียว ส่วนกราฟแท่งเชิงซ้อนใช้แสดงการเปรียบเทียบของข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป และกราฟแท่งเชิงประกอบใช้เปรียบเทียบข้อมูลในช่วงเวลาต่างกัน โดยในแต่ละแท่งจะแสดงรายละเอียดหรือส่วนย่อยของข้อมูลที่เรียงต่อกันในแนวตั้ง

2.2.2.3 กราฟวงกลม มีลักษณะเป็นวงกลมที่มีการแบ่งส่วนของข้อมูลจากจุดศูนย์กลางของวงกลมออกเป็นกลุ่ม ๆ ใช้สำหรับเปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลชนิดเดียวกันในรูปแบบร้อยละ ซึ่งการนำเสนอข้อมูลคล้ายกับกราฟเส้นและกราฟแท่ง

2.2.3 ฮิสโตแกรม (Histogram)

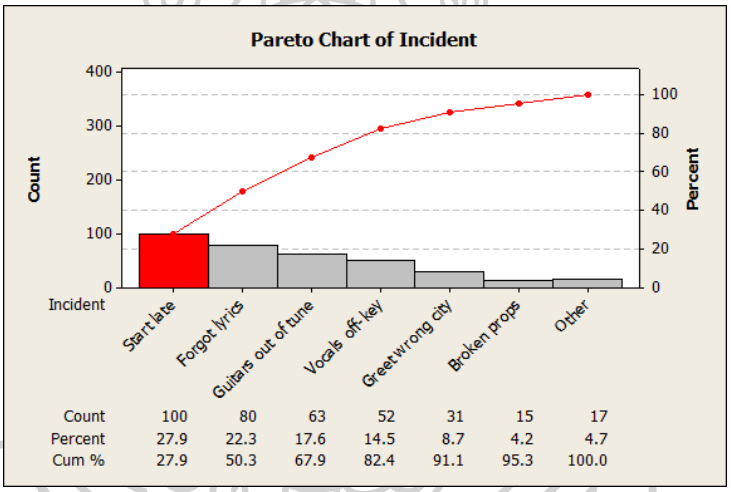
ฮิสโตแกรม เป็นแผนภูมิที่ใช้ในการเปรียบเทียบลักาณะการกระจายของข้อมูลกับข้อกำหนดเฉพาะเพื่อตรวจสอบความผิดปกติหรือติดตามการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต ฮิสโตแกรมมีลักษณะเป็นกราฟแท่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างเท่ากัน และในแต่ละแท่งจะเรียงชิดติดกัน โดยแกนตั้งเป็นความถี่และแกนนอนเป็นค่าของข้อมูลที่ต้องการแสดง



ภาพที่ 2.3 ฮิสโตแกรม

2.2.4 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

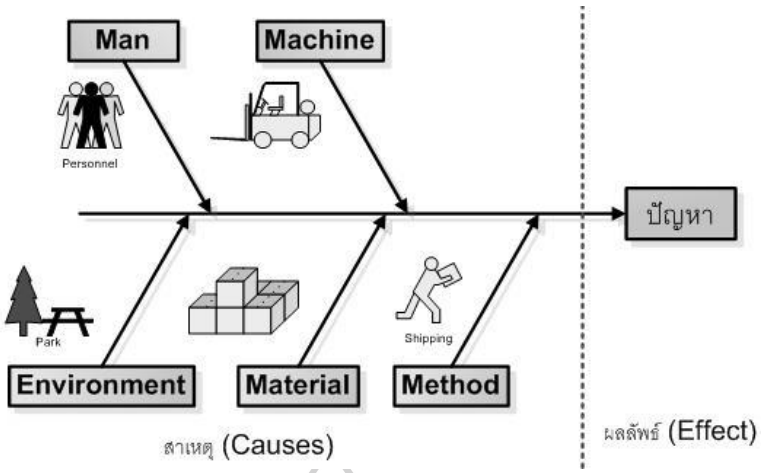
แผนภูมิพาเรโต เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงสาเหตุของปัญหาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่อง โดยแสดงสาเหตุหลักและสาเหตุรองตามลำดับ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจว่าควรปรับปรุงสาเหตุใดก่อนและใช้ตรวจสอบผลที่เกิดขึ้นหลังจากการแก้ไขปรับปรุง และภูมิพาเรโตมีลักษณะคล้ายกับฮิสโตแกรมคือ เป็นกราฟแท่งรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างเท่ากัน และในแต่ละแท่งจะเรียงชิดติดกัน แต่แผนภูมิพาเรโตจะประกอบด้วยแกนตั้ง 2 แกนและแกนนอน 1 แกน คือ แกนตั้งด้านซ้ายเป็นจำนวนของการเกิดสาเหตุข้อบกพร่อง แกนตั้งด้านขวาเป็นร้อยละสะสมของการเกิดสาเหตุข้อบกพร่อง ส่วนแกนนอนเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย และมีเส้นแสดงร้อยละสะสม ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.4 แผนภูมิพาเรโต

2.2.5 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

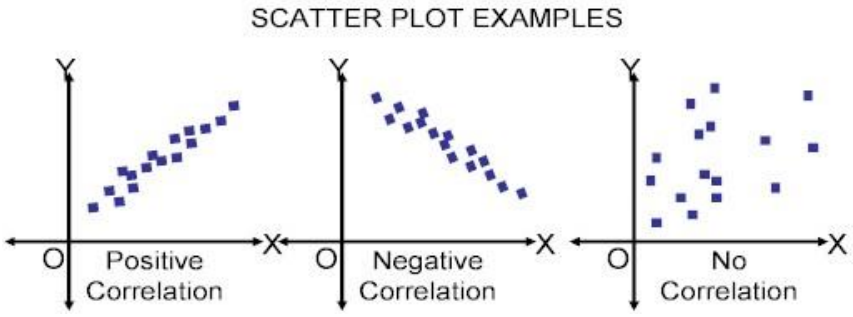
แผนภาพสาเหตุและผลหรือที่เรียกกันว่า แผนภาพก้างปลา (Fish-bone Diagram) เป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาที่ต้องการแก้ไขกับสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา ซึ่งผู้วิเคราะห์สามารถมองภาพรวมของปัญหาและสาเหตุทั้งหมดได้ง่ายขึ้น แผนภาพก้างปลามีลักษณะคล้ายกับก้างปลา โดยส่วนหัวข้องก้างปลาจะแสดงปัญหาที่เกิดขึ้น ส่วนก้างปลาหลักจะแสดงสาเหตุหลัก และก้างปลาย่อยแสดงสาเหตุย่อย ซึ่งการหาสาเหตุหลักของปัญหาจะใช้หลักการของ 4M 1E ได้แก่ พนักงาน (Man), เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (Machine), วัตถุดิบ (Material), วิธีการทำงาน (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment) ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.5 แผนภาพสาเหตุและผล

2.2.6 แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)

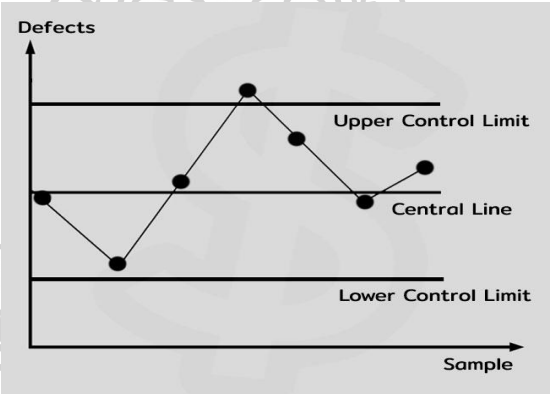
แผนภาพการกระจาย เป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ชุด ที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณโดยแกนตั้งเป็นค่าของข้อมูลชุดที่ 1 และแกนนอนเป็นค่าของข้อมูลชุดที่ 2 โดยลักษณะความสัมพันธ์และทิศทางของความสัมพันธ์จะพิจารณาได้จากแนวของจุดที่พล็อตลงในแผนภาพ ถ้าจุดมีลักษณะเป็นแนวโน้มขึ้นตลอดหรือลงตลอดด้วยอัตราคงที่ แสดงว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุด น่าจะมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง ถ้ามีลักษณะชันขึ้นแสดงว่า มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันและค่าความชันจะเป็นบวก แต่ถ้ามีลักษณะชันลงแสดงว่า มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามและค่าความชันจะเป็นลบ ถ้าจุดมีลักษณะกระจัดกระจายไม่เป็นรูปแบบ แสดงว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุดไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.6 แผนภาพการกระจาย

2.2.7 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิควบคุม เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิต ติดตามการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตได้อย่างรวดเร็ว และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้กลับเข้าสู่สภาพปกติ โดยลักษณะของแผนภูมิจะเป็นกราฟ โดยมีแกนตั้งเป็นคุณลักษณะของข้อมูลที่ควบคุม และแกนนอนเป็นเวลาหรือตัวอย่างของข้อมูลที่เก็บมาตามลำดับเวลา แผนภูมิควบคุมจะประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นควบคุมบน (Upper Control Limit: UCL) เส้นควบคุมล่าง (Lower Control Limit: LCL) และเส้นกลาง (Central Line: CL) โดย CL จะอยู่ที่ค่าเฉลี่ย และมีระยะห่างของ CL ถึง UCL และ LCL เท่ากับ 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังภาพที่ 2.11 แผนภูมิควบคุมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ แผนภูมิควบคุมเชิงปริมาณและแผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ โดยแผนภูมิควบคุมแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2.7 แผนภูมิควบคุม

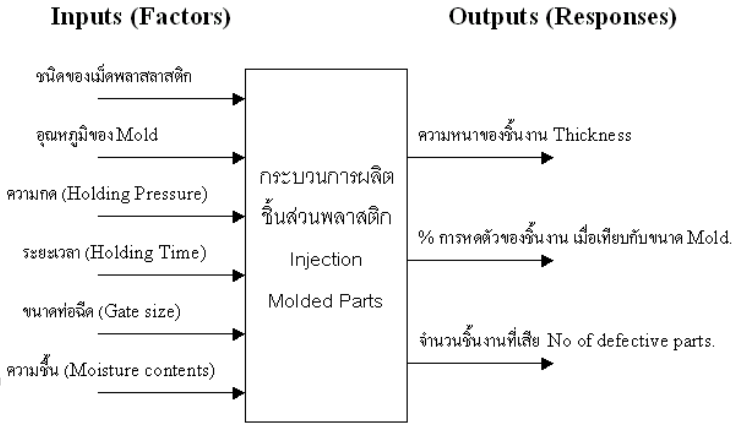
2.2.7.1 แผนภูมิควบคุมเชิงปริมาณ (Variable Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมลักษณะของข้อมูลเชิงปริมาณที่สำคัญ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (X-Chart) และแผนภูมิควบคุมพิสัย (R-Chart) โดย X-Chart ใช้ควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต ส่วน R-Chart ใช้ควบคุมการกระจายของกระบวนการผลิต

2.2.7.2 แผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ (Attribute Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมลุกษณะของข้อมูลเชิงคุณลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมสัดส่วนขอเสีย (p-Chart) แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np-Chart) แผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิ (c-Chart) แผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิต่อหน่วย (u-Chart) ซึ่ง p-Chart และ np-Chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ตรวจสอบจำนวนของเสียของกระบวนการผลิตแต่ p-Chart ใช้สำหรับขนาดของกลุ่มตัวอย่างไม่คงที่ และ np-Chart ใช้กับขนาดของกลุ่มตัวอย่างคงที่ ส่วน c-Chart และ u-Chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุม

จำนวนรอยตำหนิของผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วย แต่ c-Chart ใช้กับขนาดของตัวอย่างในหนึ่งหน่วยคงที่ และ u-Chart ใช้กับขนาดของตัวอย่างในหนึ่งหน่วยไม่คงที่

2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

การออกแบบการทดลองสำหรับทดสอบว่าตัวแปรไหนมีผลกระทบต่อคุณภาพในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา ตัวแปรในการผลิตสามารถแบ่งเป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิตและตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Variables or Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าจองปัจจัยนั้นได้ในการผลิตการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วจะทำการทดลองจากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย กระบวนการ และ ตัวแปรตอบสนอง

2.3.1 คำจำกัดความ

2.3.1.1 การสุ่ม (Randomization) หมายถึง เป็นวิธีการที่จัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองโดยที่หน่วยทดลองแต่ละหน่วยมีโอกาสที่จะได้รับทรีทเมนต์หนึ่งเท่าๆ กัน

2.3.1.2 การทำซ้ำ (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูลเพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก

2.3.1.3 การบล็อก (Blocking) หมายถึง การรวมกลุ่มลักษณะที่คล้ายๆ กันของหน่วยทดลอง โดยให้หน่วยทดลองมีความคล้ายคลึงกันภายในบล็อก และมีความแตกต่างกันระหว่างบล็อก

2.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design of Experiment)

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลใช้กับการทดลองที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายปัจจัย ที่ต้องการจะศึกษาถึงผลร่วมที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่เกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น การทดลองแบบแฟกทอเรียลเป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลายๆปัจจัย (Factor) พร้อมกัน คำว่าแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่สมบูรณ์ในแต่ละครั้ง กล่าวคือ มีการใช้ระดับของปัจจัยต่างๆ ร่วมกันจึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลต่างๆ ในการทดลองครั้งหนึ่งๆ ได้พร้อมกัน และปัจจัยในการทดลองในรูปแบบของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสามารถแบ่งรูปแบบการทดลอง (Treatment Combination) ได้ 2 ประเภท คือ

(1) อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวของมันเองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่เกิดขึ้น

(2) อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน

รูปแบบของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลมีหลายแบบ ดังนี้

(1) การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย

(2) การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

(3) การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล แบบ 2 ระดับ

(4) การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ

2.5 หลักการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2^k แบบเต็มรูปแบบ

เป็นการออกแบบการทดลองแบบ Full factorial ซึ่งรูปแบบการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้เป็นอย่างมากและมีประสิทธิภาพ ผู้ทดลองจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^k โดยที่ k คือจำนวนปัจจัยหรือ Main effect โดยในแต่ละปัจจัยสามารถเปลี่ยนแปลงได้ 2 ระดับ และเป็นการออกแบบการทดลองที่ให้ผลจำนวน Run น้อยกว่าวิธีอื่นๆ การใช้ Full Factorial Design กำหนดให้แต่ละ Factor มีเพียง 2 ระดับ (Level) เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องออกแบบ 2^k ภายใต้สมมติฐานของ Factor ทั้งหมดมีผลกระทบต่อ Response เป็นแบบเชิงเส้นตลอดย่านของค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดที่ได้ออกแบบไว้

ข้อดีของการทดลองแบบแฟกทอเรียล2^k แบบเต็มรูปแบบมี ดังนี้

(1) ไม่มีการเกิด Alias

(2) สามารถวิเคราะห์ Main Effect และ Interaction ได้ทั้งหมด

ข้อเสียของการทดลองแบบแฟกทอเรียล2^k แบบเต็มรูปแบบมี ดังนี้

(1) ต้องทำการทดลองให้ครบทุกจำนวน Run ทำให้ใช้เวลามากและสิ้นเปลืองทรัพยากรมาก

(2) เมื่อมีจำนวน Run มากๆ ส่งผลต่อการป้องกันความคลาดเคลื่อนของการปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยใดๆ ได้

2.6 การวิเคราะห์การออกแบบแบบเต็มรูปแบบ

การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) หมายถึงวิธีการทดลองที่ผู้ทำการทดลองจะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไข การเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย และจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองทุกกรณี ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 กรณีผลกระทบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการออกแบบแบบเต็มรูปแบบ

Main Effects	2-Way interaction	3-Way interaction
A1	A1A2	A1A2A3
A2	A1A3	
A3	A2A3	

2.6.1 2-Level Full Factiorial Design

2-Level การออกแบบแบบเต็มรูปแบบ หมายถึงเมื่อใช้การออกแบบแบบเต็มรูปแบบ โดยแต่ละปัจจัยเปลี่ยนแปลงได้ 2 ระดับ เราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^k โดยที่ k คือจำนวนปัจจัยหรือ Main Effect ตัวอย่างที่ 1 ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัย

ปัจจัย Main Effects	ค่าที่เปลี่ยนแปลงไป (Condition)	
	ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)
A1	$A1_L$ = 2.25	$A1_H$ = 4.25
A2	$A2_L$ = 25	$A2_H$ = 50
A3	$A3_L$ = 2455	$A3_H$ = 2630

ในการทดลองนี้มีจำนวนรอบการทดลองหรือ ลำดับ = 8 ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง

ลำดับ	A1	A2	A3
1	2.25	25	2455
2	2.25	25	2630
3	2.25	50	2455
4	2.25	50	2630
5	4.25	40	2455
6	4.25	40	2630
7	4.25	50	2455
8	4.25	50	2630

จากตารางที่ 2.4 หมายความว่าผู้ทำการทดลองจะต้องปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยทั้งสามคือ A1 A2 และ A3 ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.4 โดย 1 รอบการทดลอง จะต้องมีการบันทึกค่าตัวแปรตอบสนอง 1 ครั้ง แล้วค่อยปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยให้เป็นตามลำดับที่ 2 และวัดค่าตัวแปรตอบสนองอีกครั้ง ทำเช่นนี้ไปจนกว่าจะครบทุกลำดับ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิรประภา มโนมัธย์, ธรินี มณีศรี และ ธวนิช ทองงาม (2555) ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป โดยใช้ QC 7 Tools เช่น แผ่นตรวจสอบ แผนภูมิพาเรโต และแผนผังเหตุและผล มาเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลสาเหตุการเกิดของเสีย วิเคราะห์หาสาเหตุ และใช้ในการวิเคราะห์รากเหง้าของสาเหตุปัญหา เมื่อดำเนินการแก้ไขหลังจากที่ทราบสาเหตุของปัญหา พบว่าสามารถลดของเสียในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปได้

ปฐมพงษ์ หอมศรี และ จักรพรรณ คงชนะ (2556) ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง โดยใช้แผนภูมิพาเรโตมามาวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยต่างๆที่ส่งผลให้เกิดของเสีย ซึ่งพบว่ามี 3 ปัจจัย คือ แรงดันย้ำ อุณหภูมิแม่พิมพ์ และ รอบการทำงาน มาทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design ผลการทดลองพบว่าทั้งสามปัจจัยมีผลกระทบต่อชิ้นงาน หลังจากนั้นปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว แล้วดำเนินการผลิตพบว่าสามารถลดของเสียจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกได้

บุญชัย แซ่สิ้ว และ ณัฐธยาน์ โสกุล (2559) ศึกษาการลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา : บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว ได้นำเสนอ

การลดของเสียการบรรจุที่เกิดอาการซองรั่ว จากการศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรให้เหมาะสม โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ในการออกแบบการทดลอง พบว่าประกอบด้วย 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ Speed of packing, Temperature, Pressure และ Sealing time โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จำนวนการทดลองทั้งหมด 48 การทดลอง หลังจากนั้นวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งพบว่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่เหมาะสม คือ Speed of packing 60 RPM, Temperature 157 °C, Pressure 6 bars และ Sealing time 0.5 sec หลังจากปรับพารามิเตอร์ทั้ง 4 ปัจจัย พบว่า สามารถลดของเสียประเภทซองรั่วได้

สุรศักดิ์ ชุบไธสง และ ระพี กาญจนะ (2563) ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นส่วนโทรศัพท์โดยการออกแบบการทดลอง ได้พบปัญหาของเสียชนิดมีสัดส่วนของเสียสูงสุดโดยประยุกต์ใช้ QC 7 Tools มาวิเคราะห์และสาเหตุของปัญหาเกิดจากการตั้งค่าพารามิเตอร์จากกระบวนการฉีดไม่เหมาะสมอยู่ 8 ปัจจัย โดยการทดลองแบบ 2^{8-3} เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาประกายเงิน พบว่ามี 4 ปัจจัย ที่มีอิทธิพลต่อปัญหาของเสียคือ ความดันฉีด, แรงปิดแม่พิมพ์, อุณหภูมิหัวฉีด และความเร็วฉีด หลังจากนั้นจะได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ ความดันฉีด 97 MPa, แรงปิดแม่พิมพ์ 240 ตัน, อุณหภูมิหัวฉีด 237 องศาเซลเซียส, ความเร็วฉีด 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งหลังจากการปรับปรุงพบว่า สามารถลดของเสียประเภทประกายเงินได้

ฉัตรชัย ฉายะรถี และ ศักดิ์ชาย รักการ (2564) ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการชุบโครเมี่ยมด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม ได้นำเสนอการลดของเสียที่เกิดในกระบวนการชุบโครเมี่ยมบนผิวพลาสติก โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k full factorial ประกอบด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิของน้ำยาชุบ รอบการกรองเคมี ระดับความเข้มข้นของน้ำยาชุบ โดยจำนวนที่ใช้ทดสอบทั้งหมด 48 การทดลอง จากผลการทดลองพบว่ามี 2 ปัจจัยส่งผลเชิงเดี่ยวเท่านั้น คือ ปัจจัยรอบการกรองเคมี และปัจจัยประเภทของจิ๊ก หลังจากนั้นนำ 2 ปัจจัยที่ส่งผลมาทำการปรับปรุงทางกายภาพ โดยกำหนดจำนวนรอบกรองเคมีในการชุบที่ 6 รอบ และรอบการเปลี่ยนจิ๊กชุปที่ 300 รอบ ซึ่งผลของการแก้ไขปัญหาทั้งหมดนี้ สามารถลดจำนวนของเสียจากกระบวนการชุบโครเมี่ยมได้

ธีรวัฒน์ เทพชู, ศักดิ์ชาย รักการ, พจนีย์ ศรีวิเชียร และ จีรวัฒน์ ปล้องใหม่ (2565) ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตแชมพูสูตร A ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม ได้พบปัญหาของเสียในการผลิตแชมพูสูตร A ซึ่งได้วิเคราะห์สาเหตุที่เกิดของเสียในกระบวนการผลิตที่มีสาเหตุมาจากเครื่องจักรที่มีรอบใบกวนไม่เหมาะสมและวัตถุดิบเกิดการปะปนหรือจับตัวเป็นก้อน โดยแก้ไขด้านเครื่องจักรโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k full factorial ประกอบด้วย 4 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ใบกวน 1 ใบกวน 2 ชั่วโมงการทำงาน จำนวนที่ใช้ทดสอบทั้งหมด 40 การทดลอง พบว่ามี 1 ปัจจัยส่งผลเชิงเดียวเท่านั้น คือ ใบกวน 1 และกำหนดรอบใบกวน

1 ให้เหมาะสม ส่วนการแก้ไขทางกายภาพได้ทำการออกแบบจัดทำตะแกรงมาทำการคัดกรองวัตถุดิบก่อนนำไปทำการผลิต ซึ่งผลการแก้ไขปัญหาทั้งหมดนี้สามารถลดจำนวนของเสียในการผลิตแชมพูได้

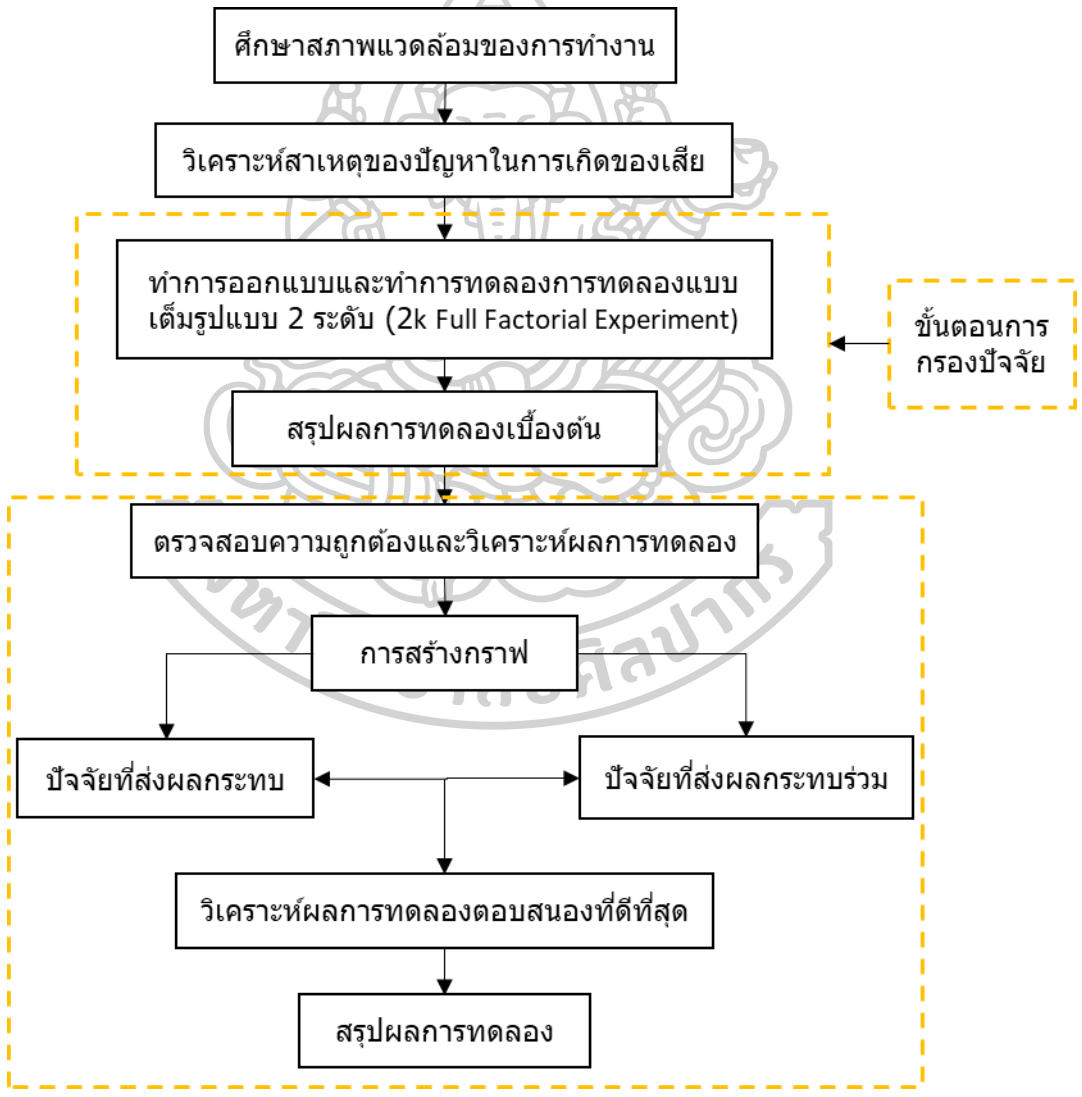
เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร์, ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์, ระพี กาญจนะ และ ฤทธิชัย สังฆทิพย์ (2565) ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษด้วยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง โดยการใช้เครื่องมือคุณภาพในการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสีย พบว่าของเสียประเภทกระดาษกรอบเป็นประเภทของเสียที่สูงที่สุด และทำการออกแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนอง โดยกำหนด 3 ปัจจัยในการตั้งค่าของเครื่อง Corrugator คือ ความเร็วเครื่องจักร ระยะห่างช่องว่างกาว และ กาวที่เครื่องจักร โดยมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตั้งค่าคือ ความเร็วเครื่องจักร 190 เมตรต่อนาที, ระยะห่างช่องว่างกาว 393 ไมครอน และ กาวที่เครื่องจักร 385 ไมครอน ผลการปรับปรุงพบว่าสามารถลดของเสียประเภทกระดาษกรอบได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3
วิธีดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินงานวิจัย โดยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงายวิจัยดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

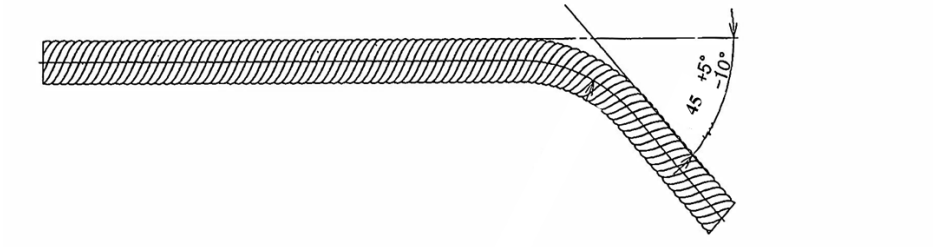
จากภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการออกแบบการทดลองโดยแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ 2^k Full Factorial Design เพื่อกรองปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออก ส่วนที่ 2 เป็นการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำซึ่งทั้ง 2 ส่วนจะใช้โปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการประมวลผลและวิเคราะห์ผล จากนั้นทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทำงานและทำการสรุปผลการทดลอง

3.2 ศึกษาสภาพการทำงาน

จากข้อมูลย้อนหลังโรงงานกรณีศึกษาพบว่าการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำมีของเสียที่ส่งผลกระทบกับการผลิตในกระบวนการเปลี่ยนรูปที่มีความถี่มากในการเกิดของเสีย 5 ลักษณะ โดยผู้วิจัยเก็บข้อมูลภายในเดือนธันวาคม 2564–พฤษภาคม 2565 พบว่าเกิดของเสียจากการเปลี่ยนรูปทั้งหมด 8,659 ชิ้น ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

ปัญหาที่พบ	ปริมาณที่พบ (ชิ้น)	สัดส่วนของเสีย %	% สะสม
มุมชิ้นงานสูง (W)	6533	75.45	75.45
มุมชิ้นงานต่ำ (N)	1054	12.17	87.62
สีชิ้นงานเปลี่ยน	505	5.83	93.45
เส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก	343	3.96	97.41
อื่นๆ	224	2.59	100



ภาพที่ 3.2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

เนื่องจากปัญหาทั้งหมดเกิดในขั้นตอนการผลิต ผู้วิจัยจึงศึกษาการทำงานของกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำซึ่งจะเน้นไปที่กระบวนการอบดัดรูปเนื่องจากมีของเสียในกระบวนการผลิต

3.2.1 ศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

จากกระบวนการแรกตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนถึงกระบวนการสุดท้าย มีกระบวนการหลักๆ ดังนี้

3.2.1.1 กระบวนการรับวัตถุดิบเข้าและตรวจสอบวัตถุดิบ (Incoming Inspection) เป็นการรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ บ็อบบิ้น (Bobbin), ลวด (Wire) เป็นต้น มาตรวจสอบมาตรฐานของวัตถุดิบ

3.2.1.2 กระบวนการรีดลวด (Wire Drawing Process) เมื่อวัตถุดิบถูกตรวจสอบเรียบร้อยแล้วจะเข้าสู่กระบวนการผลิต จะถูกนำไปรีดให้ได้ขนาดและลักษณะที่ต้องการโดยเครื่องรีดลวด (Wire Drawing machine)

3.2.1.3 กระบวนการพันเกลียว (Stranding Process) เมื่อลวดถูกรีดให้ได้ขนาดที่ต้องการจะถูกนำมาพันเกลียว โดยที่มีลวดที่เป็นแกนกลางและลวดที่พันอยู่รอบๆแกนกลางด้วยเครื่องพันเกลียว (Stranding machine)

3.2.1.4 กระบวนการอบให้ความร้อน (Continuous Heating Process) เป็นกระบวนการหลังจากที่พันเกลียวเสร็จแล้วจะนำมาอบด้วยความร้อนเพื่อให้เกลียวและระยะห่างระหว่างเกลียวคงตัว

3.2.1.5 กระบวนการกรองาน (Winding Process) เป็นกระบวนการกรองานเข้าสู่จิ๊กเพื่อเตรียมพร้อมเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปมุม

3.2.1.6 กระบวนการขึ้นรูปมุม (Angle forming process) หลังจากที่กรองานเข้าสู่จิ๊กแล้วจะนำมาขึ้นรูปมุมด้วยการเข้าตู้อบด้วยอุณหภูมิสูง เพื่อทำให้ลวดอ่อนตัวและถูกดัดโดยจิ๊กที่ใส่ไว้

3.2.1.7 กระบวนการตัดชิ้นงาน (Cutting process) เป็นกระบวนการตัดชิ้นงานออกจากจิ๊กให้ได้ความยาวที่กำหนด

3.2.1.8 กระบวนการทำความสะอาดชิ้นงาน (Ultrasonic process) เป็นกระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานโดยการสั่นด้วยเครื่องอัลตร้าโซนิค

3.2.1.9 กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน (Inspection process) เป็นกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด โดยจะพิจารณาจากลักษณะภายนอกและมุมของผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะเตรียมบรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่องส่งมอบให้ลูกค้า

3.2.2 ศึกษากระบวนการขึ้นรูปมุม

เครื่องอบรักษาความร้อน (Heat treatment oven machine) เป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่ในการให้ความร้อนกับลวดที่อยู่ในแม่พิมพ์ เพื่อให้ลวดคงรูปและมีมุมตามที่แบบแม่พิมพ์ต้องการ โดยอาศัยการใช้อุณหภูมิสูงและแรงดัน

ภาพที่ 3.3 เครื่องอบรักษาความร้อน

3.2.3 กระบวนการทำงานของเครื่องอบรักษาความร้อน

3.2.3.1 นำลวดที่กรองานใส่จิ๊กแล้วนำเข้าไปในตู้อบรักษาความร้อน

3.2.3.2 ปิดเตา ซึ่งเป็นระบบอัตโนมัติ

3.2.3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปมุมโดยใช้อุณหภูมิและความดัน ใช้ระยะเวลาการอบลวด 60 นาที

3.2.3.4 เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการอบลวด นำจิ๊กออกมารอให้ลวดเย็นตัวลง

3.2.3.5 เมื่อลวดเย็นตัวลงแล้วจึงส่งต่อไปสู่กระบวนการต่อไป

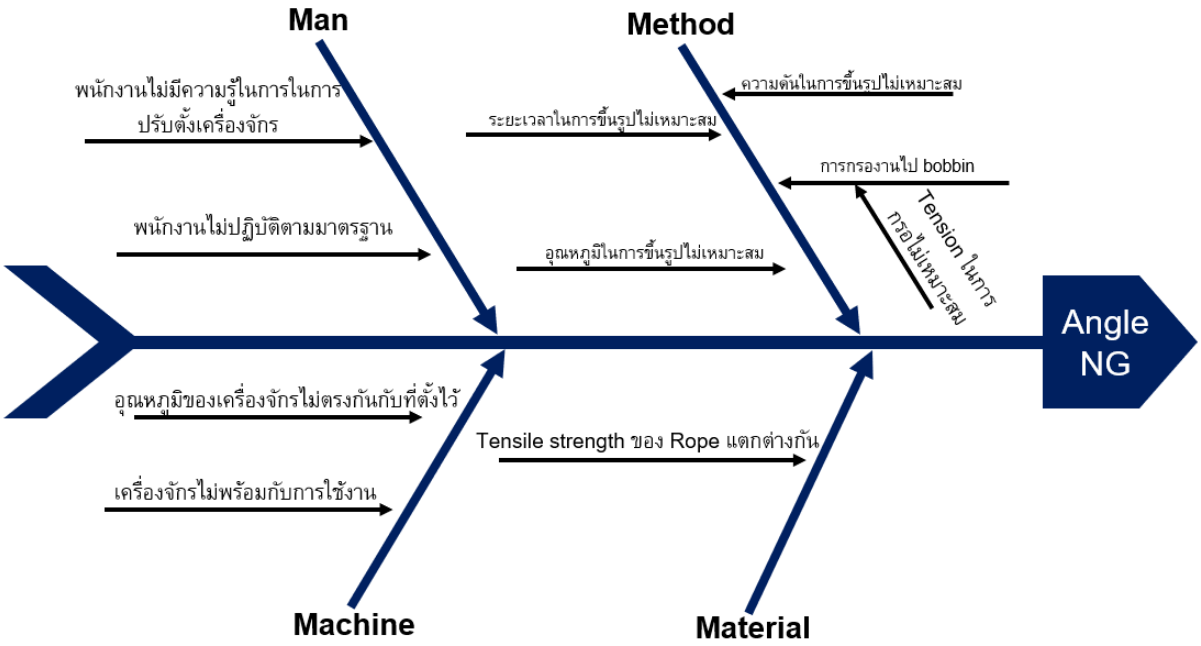
3.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

3.3.1 การวิเคราะห์ปัญหา

จากที่กล่าวมาในบทที่ 1 ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำมีการเกิดของเสียในการผลิตปริมาณมาก คือ มุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้เครื่องมือคุณภาพที่เรียกว่าแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram or Cause and Effect) มาช่วยในการวิเคราะห์หาเพื่อหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเกิดของเสีย

3.3.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อกำหนดเป็นปัจจัยหลัก

ผู้วิจัยนำหลักการ 4M ที่นำไปสู่การระบุปัจจัยในการออกแบบการทดลอง โดยหลักการนี้ประกอบไปด้วย คน (Man), วัตถุดิบ (Material), วิธีการ (Method) และเครื่องจักร (Machine) ซึ่งในการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุ ผู้วิจัยได้ทำการระดมความคิดจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตทั้งหมดร่วมกันช่วยวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาปัจจัยหลักที่จะใช้ในการออกแบบการทดลองและได้นำข้อมูลจากการระดมความคิดมาจัดทำผังแสดงเหตุและผล



ภาพที่ 3.4 แผนผังก้างปลาแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องและสาเหตุของปัญหา

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์ 4M ของปัญหาการเกิดของเสีย

ปัจจัย	ปัญหา	การตรวจสอบ	ผล
Man (คน)	-พนักงานไม่มีความรู้ในการในการปรับตั้งเครื่องจักร -พนักงานไม่ปฏิบัติตามมาตรฐาน	-มีการอบรมพนักงานเกี่ยวกับมาตรฐานการผลิตก่อนที่จะปฏิบัติงาน	ไม่มีผลกับของเสียโดยตรง
Material (วัตถุดิบ)	-Tensile strength ของ Rope แตกต่างกัน	-พบว่าค่า Tensile strength ที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ทำให้เกิดของเสียเพราะมุมของชิ้นงานสูง	มีผลกับของเสียโดยตรง

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์ 4M ของปัญหาการเกิดของเสีย (ต่อ)

ปัจจัย	ปัญหา	การตรวจสอบ	ผล
Machine (เครื่องจักร)	-อุณหภูมิของเครื่องจักรไม่ตรงกันกับที่ตั้งไว้ -เครื่องจักรไม่พร้อมกับการใช้งาน	-มีการตรวจสอบอุณหภูมิของเครื่องจักรทุกๆหนึ่งปีโดยมีการทำรายงานบันทึกไว้ -มีการตรวจสอบเครื่องจักรทุกวัน ก่อนการใช้งาน โดยทำการบันทึกการทำงานของเครื่องจักร	ไม่มีผลกับของเสียโดยตรง
Method (วิธีการ)	-ค่า Tension ในการกรองงานไป Bobbin -ระยะเวลาในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม -อุณหภูมิในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม -ความดันในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม	-ได้ทำการเปลี่ยนค่า Tension ในการกรองงานพบว่ามุมของชิ้นงานที่ได้เหมือนกัน -พบว่าระยะเวลา อุณหภูมิ และความดันในการขึ้นรูปมีการใช้พารามิเตอร์ของเครื่องจักรรวมกัน ไม่มีการแยกชนิดของงาน ทำให้เกิดของเสียเพราะพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมกับการผลิต	-ไม่มีผลกับของเสียโดยตรง -มีผลกับของเสียโดยตรง

พบปัจจัยที่มีผลกระทบกับการเกิดของเสียโดยตรง คือ อุณหภูมิในการอบ, ระยะเวลาในการอบ และ แรงดันภายในตู้ จึงนำมากำหนดเป็นปัจจัยในการทดลองในลำดับต่อไป

3.3.3 การกำหนดระดับปัจจัย

จากการวิเคราะห์ 4M ทำให้ทราบว่าปัจจัยมีความสัมพันธ์กับของเสียประเภทมุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานหรือไม่โดยปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ คือ อุณหภูมิในการ อบ, ระยะเวลาในการอบ, ความดันในการอบ โดยค่าพารามิเตอร์เดิมที่กำหนดในแต่ละปัจจัยแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์เดิมของโรงงาน

อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (Min)	ความดัน (kPa)
560	60	1.2

ซึ่งปัจจัยหลักในการทำการทดลอง สามารถแบ่งระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ ระดับ “สูง” และระดับ “ต่ำ” จากการทดลองการขึ้นรูปชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

ตารางที่ 3.4 การแบ่งระดับปัจจัย

Factor	สัญลักษณ์	Number of Factor		หน่วย
		ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)	
อุณหภูมิ	A	540	560	°C
ระยะเวลา	B	50	60	Minute
ความดัน	C	1.2	1.5	kPa

โดยเหุตผลในการเลือกใช้ค่าปัจจัยดังกล่าวเนื่องจากอยู่ในช่วงของค่ามาตรฐานการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้

การแบ่งระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองจากนั้นผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานที่ใช้ในการทดลองดังนี้

3.3.4 การตั้งสมมติฐาน

α คือ อุณหภูมิในการอบ

β คือ ระยะเวลาในการอบ

Υ คือ ความดันภายในตู้

โดยที่ i, j และ k คือระดับปัจจัยของ α β และ Υ ตามลำดับ และมีระดับดังนี้คือ i=1,2,...,a j=1,2,..., b และ k=1,2,..., c

สมมติฐานที่ 1 ค่าของการปรับอุณหภูมิในการอบมีอิทธิพลกับปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ

H0: $\alpha_i = 0$ i = 1,2,..., a H1: $\alpha_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 2 ค่าของการปรับระยะเวลาในการอบมีอิทธิพลกับปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ

H0: $\beta_j = 0$ j = 1,2,..., b H1: $\beta_j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 3 ค่าของการปรับแรงดันภายในตู้มีอิทธิพลกับปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ

H0: $\Upsilon_k = 0$ k = 1,2,..., c H1: $\Upsilon_k \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 4 ค่าของการปรับอุณหภูมิในการอบและการปรับระยะเวลาในการอบมีอิทธิพลกับปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ

H0: $(\alpha\beta)_{ij} = 0$ H1: $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 5 ค่าของการปรับอุณหภูมิในการอบและการปรับแรงดันภายในตู้มีอิทธิพลกับปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ

H0: $(\alpha\Upsilon)_{ik} = 0$ H1: $(\alpha\Upsilon)_{ik} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 6 ค่าของการปรับระยะเวลาในการอบและการปรับแรงดันภายในตู้มีอิทธิพลกับปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ

H0: $(\beta\Upsilon)_{jk} = 0$ H1: $(\beta\Upsilon)_{jk} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 7 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในการอบและระยะเวลาในการอบและการปรับแรงดันภายในตู้มีอิทธิพลกับปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ

H0: $(\alpha\beta\Upsilon)_{ijk} = 0$ H1: $(\alpha\beta\Upsilon)_{ijk} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

3.4 การออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่จะนำมาทำการทดลองจากปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (2^k Full Factorial Experiment) เพื่อกรองเอาปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลออก (Screen Factor) โดยระดับปัจจัย มี 2 ระดับ คือ “ต่ำ” และ “สูง” จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนทำการทดลอง การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง (2 Replicate) โดยทำการทดลองแบบสุ่ม ตามข้อบังคับการทดลอง

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยให้ผลตอบสนองของการทดลองเป็นสัดส่วนของเสียต่อปริมาณการผลิต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$) ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องทำการทดลองทั้งหมด

เท่ากับ 2 x 2 x 2 x 2 = 16 การทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการสุ่มการทดลองดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ

StdOrder	RunOrder	Factor			Response
		อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (Min)	ความดัน (kPa)	
1	11	540	50	1.2	
2	16	560	50	1.2	
3	6	540	60	1.2	
4	1	560	60	1.2	
5	4	540	50	1.5	
6	3	560	50	1.5	
7	8	540	60	1.5	
8	10	560	60	1.5	
9	5	540	50	1.2	
10	14	560	50	1.2	
11	12	540	60	1.2	
12	2	560	60	1.2	
13	7	540	50	1.5	
14	9	560	50	1.5	
15	13	540	60	1.5	
16	15	560	60	1.5	

3.5 ขั้นตอนการทำการทดลองการวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผลเบื้องต้น

เมื่อได้ผลการทดลองครบถ้วนแล้ว ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองไปวิเคราะห์และสรุปผลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากผลการดำเนินการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ระดับ (2^k Full Factorial Design) ซึ่งใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ผลดังนี้

3.5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

3.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของลักษณะของเสียมุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐาน

จากนั้นจึงจะได้ข้อสรุปว่าปัจจัยใดที่มีอิทธิพลกับการเกิดของเสียลักษณะมุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐาน อย่างมีนัยสำคัญ

3.5.3 การวิเคราะห์ผลการตอบสนองที่ดีที่สุด (Response Optimization)

โดยขั้นตอนนี้เป็นการนำเอาค่าตอบสนอง (Response) ที่ได้จากทำการทดลองมาวิเคราะห์ต่อ เพื่อยืนยันผลของการทดลอง โดยใช้หลักการ Response Optimization เพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสม จากนั้นทำการสรุปผล และนำค่าที่ได้ไปใช้ในการปรับตั้งค่าเครื่องอบรักษาความร้อนในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

บทที่ 4
ผลและวิเคราะห์ผล

4.1 การดำเนินการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design

การกรองปัจจัยเบื้องต้นด้วยวิธี 2^k Full Factorial Design จะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไข ในที่นี้จะประกอบด้วย 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับ ซึ่งทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์จะต้องทำการทดลองเท่ากับ $2^3 = 8$ การทดลอง และทำการทดลอง 2 ครั้ง รวม 16 การทดลอง โดยการทดลองจะจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มเป็นการลดความผิดพลาดของการวิเคราะห์ผล ในการทดลองจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบตัวแปรตอบสนองใครบทุกการทดลองและจะให้ความสนใจกับตัวที่มีอิทธิพลเป็นหลัก

ตารางที่ 4.1 จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design

จำนวนชิ้นงานใน กระบวนการอบ (ชิ้น)	จำนวนครั้งที่ทดสอบ (ครั้ง)	จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด (ชิ้น)
100	16	1,600

4.2 ผลการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design

จากการกรองปัจจัยเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ทำการทดลองตามวิธีการดำเนินงานที่กล่าวในบทก่อนหน้านี้ โดยค่าตอบสนองในแต่ละการทดลองเป็นสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นและทำการบันทึกผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลอง

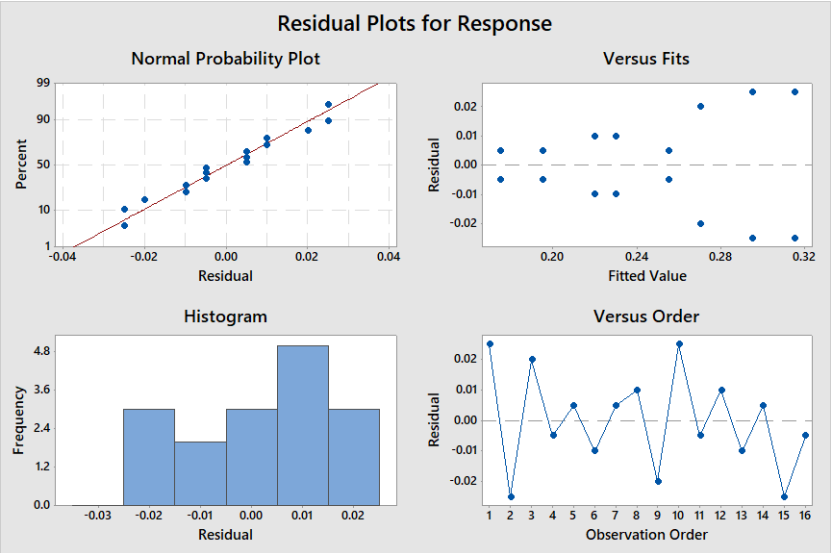
StdOrder	RunOrder	Factor			Response
		อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (Min)	ความดัน (kPa)	
1	11	540	50	1.2	0.17
2	16	560	50	1.2	0.25
3	6	540	60	1.2	0.22
4	1	560	60	1.2	0.32
5	4	540	50	1.5	0.19
6	3	560	50	1.5	0.29

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลอง (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Factor			Response
		อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (Min)	ความดัน (kPa)	
7	8	540	60	1.5	0.23
8	10	560	60	1.5	0.34
9	5	540	50	1.2	0.18
10	14	560	50	1.2	0.26
11	12	540	60	1.2	0.24
12	2	560	60	1.2	0.27
13	7	540	50	1.5	0.20
14	9	560	50	1.5	0.25
15	13	540	60	1.5	0.21
16	15	560	60	1.5	0.29

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k Full Factorial Design

หลังจากทำการทดลองครบถ้วนแล้วผู้วิจัยได้นำค่าตอบสนองจากผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลกับการเกิดของเสียประเภทชิ้นงานมีมุมสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความเชื่อมั่น 95% (α = 0.050) โดยแสดงไว้ดังภาพที่ 4.1 แผนภูมิการกระจายตัวของส่วนตกค้าง ความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงไว้ดังภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ Variance และตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิการกระจายตัวของส่วนตกค้าง ความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	0.032744	0.004678	9.72	0.002
Linear	3	0.032119	0.010706	22.25	0.000
A	1	0.024806	0.024806	51.55	0.000
B	1	0.006806	0.006806	14.14	0.006
C	1	0.000506	0.000506	1.05	0.335
2-Way Interactions	3	0.000319	0.000106	0.22	0.879
A*B	1	0.000006	0.000006	0.01	0.912
A*C	1	0.000156	0.000156	0.32	0.584
B*C	1	0.000156	0.000156	0.32	0.584
3-Way Interactions	1	0.000306	0.000306	0.64	0.448
A*B*C	1	0.000306	0.000306	0.64	0.448
Error	8	0.003850	0.000481		
Total	15	0.036594			

Model Summary

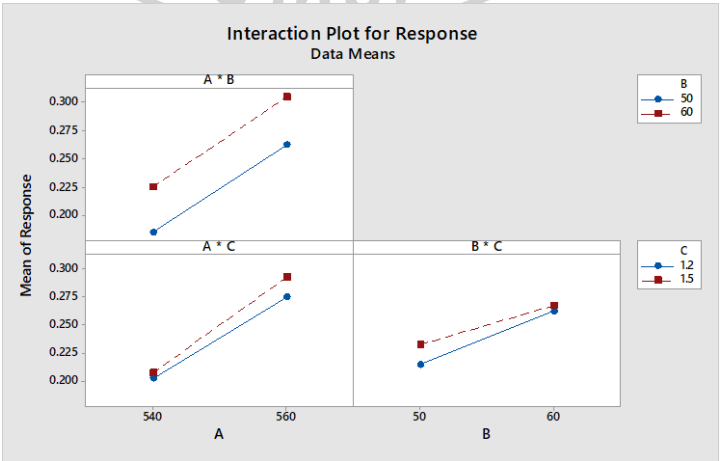
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0219374	89.48%	80.27%	57.92%

ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ Variance

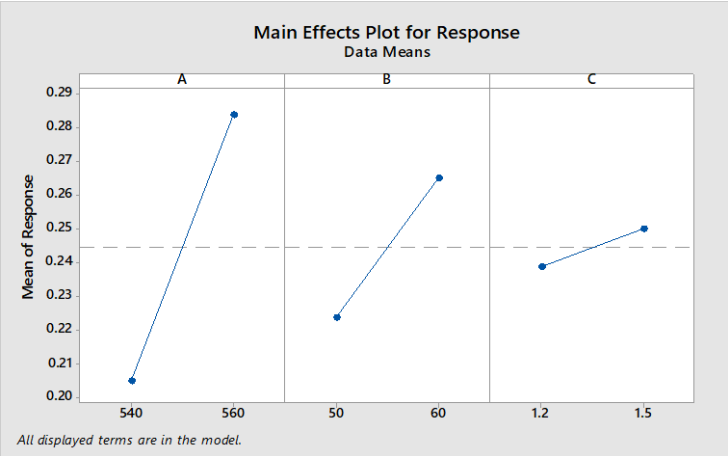
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง

Factorial Fit: response versus A,B,C					
Estimated Effect and Coefficient for response (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.24437	0.00548	44.56	0.000
A	0.07875	0.03938	0.00548	7.18	0.000
B	0.04125	0.02063	0.00548	3.76	0.006
C	0.01125	0.00562	0.00548	1.03	0.335
A*B	0.00125	0.0063	0.00548	0.11	0.912
A*C	0.00625	0.00312	0.00548	0.57	0.584
B*C	-0.00625	-0.00312	-0.00548	-0.57	0.584
A*B*C	0.00875	0.00437	0.00548	0.80	0.448
S = 0.0219374		R-sq = 89.48 %		R-sq (adj) = 80.27 %	

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-value < 0.050) พบว่าค่า P-value ของปัจจัยอุณหภูมิในการอบ (A) และระยะเวลาในการอบ (B) มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าปัจจัยทั้ง 2 ส่งผลต่อปริมาณของเสียประเภทชิ้นงานมีมุมสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัยความดันมีค่า P-value มากกว่า 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความดันในเตาอบไม่ส่งผลต่อปริมาณของเสียประเภทชิ้นงานมุมสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ และไม่มีผลกระทบร่วมเนื่องจาก (P-value > 0.05) สามารถแสดงเป็นแผนภูมิผลกระทบดังภาพที่ 4.3 และ 4.4



ภาพที่ 4.3 แผนภูมิปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองของปริมาณของเสีย



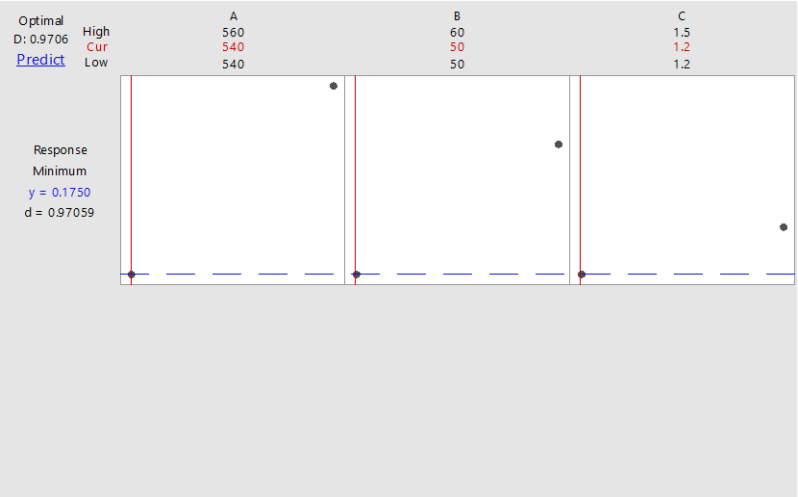
ภาพที่ 4.4 แผนภูมิการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าตอบสนองของปริมาณของเสีย

4.4 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ Response Optimization

จากผลการทดลองที่ได้กรองปัจจัยมาเบื้องต้นแล้ว (Screening) ทำให้ได้ทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียประเภทชิ้นงานมีมุมสูงกว่ามาตรฐาน จากนั้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะกำหนดค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการขึ้นรูปเพื่อลดจำนวนของเสียประเภทชิ้นงานมีมุมสูงมกว่ามาตรฐาน โดยจะทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยวิธี การ Response Optimization ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ Response โดยกำหนดเป็นแบบ Minimize Goal และกำหนดค่าของเสียต่ำสุด (Lower) ที่สามารถยอมรับได้เท่ากับ 0.17 และมีค่าของเสียสูงสุด Upper ที่สามารถยอมรับได้เท่ากับ 0.34 จากนั้นวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 Output Optimize Point

Response Optimization						
Parameters						
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	import
	Minimize	0.17	0.17	0.34	1	1
A = 540						
B = 50						
C = 1.2						
Predicted Response						
Response = 0.1750 desirablity = 0.97059						
Composite Desirability = 0.97059						



ภาพที่ 4.5 ผลตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากภาพที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์ Response Optimization จากโปรแกรม Minitab พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมในแต่ละระดับปัจจัย คือ อุณหภูมิในการอบที่ระดับปัจจัย 540°C ระยะเวลาในการอบที่ระดับปัจจัย 50 นาที และแรงดันภายในเตาอบ 1.2 kPa จะทำให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยที่สุดคือ 0.1750

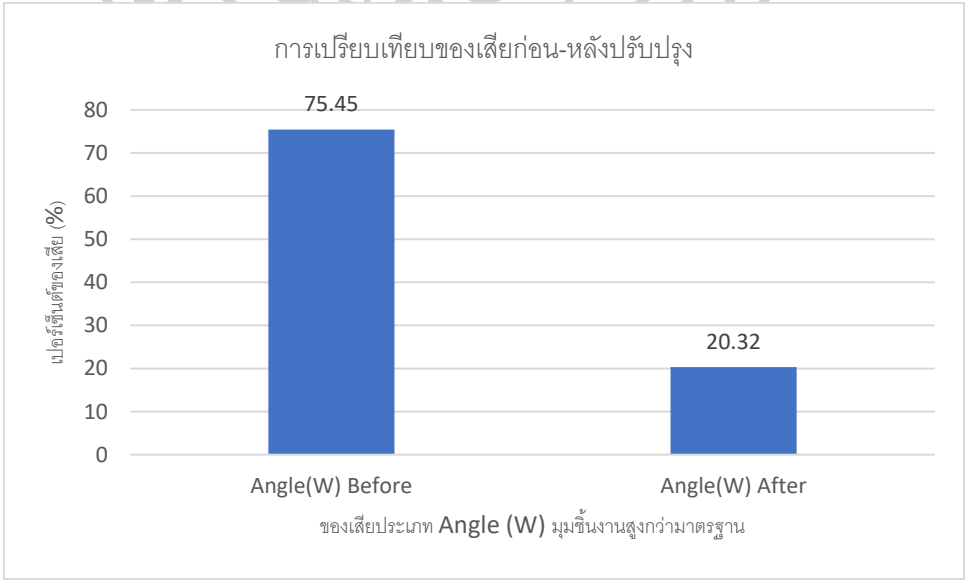
4.6 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง

จากการใช้หลักการ Response Optimizer ในการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม เมื่อได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดตามตารางที่ 4.4 เพื่อเป็นการยืนยันผลการวิจัยว่าสามารถลดของเสียปัญหาชิ้นงานมุมสูงกว่ามาตรฐานได้จริงและมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบและกำหนดค่าตามระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต จากนั้นนำข้อมูลจำนวนของเสียก่อนและหลังการทำการวิจัยของปัญหาชิ้นงานมุมสูงกว่ามาตรฐาน มาทำการเปรียบเทียบก่อนและหลังทำการปรับปรุง

ตารางที่ 4.5 ผลที่ได้จากการผลิตเมื่อนำค่าปัจจัยที่เหมาะสมไปใช้เพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลัง

ระยะเวลาที่ผลิต	จำนวนยอดการผลิต (ชิ้น)	จำนวนของดี (ชิ้น)	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	จำนวนของเสียประเภทมุมสูงกว่ามาตรฐาน (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ของเสีย (%)	เปอร์เซ็นต์ของเสียประเภทมุมสูงกว่ามาตรฐาน (%)	% yield
ธ.ค.2564-พ.ค.2565	29,150	20,491	8,659	6,533	29.70	75.45	70.30
ต.ค.2565-พ.ย.2565	11,430	9,816	1,614	328	14.12	20.32	85.88

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่ายอดจำนวนการผลิตเท่ากับ 29,150 ชิ้น และมีจำนวนของเสียประเภทมุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานเท่ากับ 6,533 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเสียเท่ากับ 75.45% เมื่อทำการทดลองโดยนำค่าอุณหภูมิในการอบเท่ากับ 540°C, ระยะเวลาในการอบ 50 นาที และแรงดันในภายในเตาอบเท่ากับ 1.2 kPA ซึ่งเป็นระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในกระกวนการผลิตแล้วพบว่าหลังการปรับปรุงมียอดจำนวนการผลิตเท่ากับ 11,430 ชิ้น และมีจำนวนของเสียประเภทมุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานเท่ากับ 328 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเสียเท่ากับ 20.32% ผลที่ได้พบว่ามีปริมาณของเสียประเภทมุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานมีจำนวนลดลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วสามารถลดของเสียได้ถึง 73.07 % สามารถสรุปเป็นแผนภูมิดังภาพที่ 4.6 และตารางที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบของเสียก่อน-หลังปรับปรุง

ตารางที่ 4.6 จำนวนชิ้นงานของเสียแต่ละประเภทหลังปรับปรุง

ประเภทของเสีย	ตุลาคม 2565	พฤศจิกายน 2565	จำนวนรวม	% ของเสีย
มุมชิ้นงานสูง (W)	122	206	328	20.32
มุมชิ้นงานต่ำ (N)	244	369	613	37.98
สีชิ้นงานเปลี่ยน	75	67	142	8.80
เส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก	102	126	228	14.13
อื่นๆ	176	127	303	18.77

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์ในการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบ ขดลวดนำของโรงงานผลิตเครื่องมือการแพทย์แห่งหนึ่ง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำที่เกิดปัญหามุมของชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานที่เกิดขึ้นมากที่สุด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์สะสมเท่ากับ 75.45 เปอร์เซ็นต์ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นี้ โดยนำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment แบบ 2^k Full Factorial Design) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (α=0.05)

เมื่อทำการทดลองตามแผนแล้วผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ คือ อุณหภูมิในการอบ และ ระยะเวลาในการอบ จากนั้นได้ใช้วิธีการ Response Optimization โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมกับการผลิต คือ อุณหภูมิในการอบที่ระดับปัจจัย 540°C, ระยะเวลาในการอบที่ระดับปัจจัย 50 นาที และความดันที่ระดับปัจจัย 1.2 kPa จากนำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ พบว่ามีจำนวนของเสียลดลงสามารถลดของเสียได้ถึง 73.07 % และยังช่วยลดมูลค่าความสูญเสียจากการเกิดของเสีย และส่งผลให้องค์กรมีผลกำไรที่มากขึ้น ในด้านกระบวนการผลิตเป็นการสร้างมาตรฐานในการทำงาน และทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สามารถนำหลักการออกแบบการทดลองนี้ไปประยุกต์ใช้ เพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดของเสียและสามารถหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ในกระบวนการผลิตที่เป็นกระบวนการขึ้นรูปเหมือนกัน ซึ่งจะนำมากำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์สำหรับเป็นมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรได้

5.2.2 การนำพารามิเตอร์อื่นๆบนเครื่องอบมาทำการศึกษา

รายการอ้างอิง

ฉัตรชัย ฉายะรถี และ ศักดิ์ชาย รักการ. (2564). "การลดของเสียในกระบวนการชุบโครเมี่ยมด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม." **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช**, 1, 1: 29-38.

เฉลิมศักดิ์ ภาวรวัตร์ และก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์. (2565). "การลดของเสียในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษด้วยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง." **วารสารวิชาการปทุมวัน**, 12, 33: 41-55.

ธีรวัฒน์ เทพชู, ศักดิ์ชาย รักการ, พจนีย์ ศรีวิเชียร และ จีรวัฒน์ ปล้องใหม่. (2565). "การลดของเสียในกระบวนการผลิตแชมพูสูตร A ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม." **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช**, 2, 1: 47-55.

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

ปฐมพงษ์ หอมศรี และ จักรพรรณ คงชนะ. (2556). "การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง." **วารสารวิศวกรรมเกษมบัณฑิต**, 3, 2: 73-95.

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

พิชิตพล อยู่พะเนียด. (2561). "การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองในการลดของเสียของกระบวนการอบนึ่งยางล้อรถยนต์ กรณีศึกษา บริษัท ตัวอย่าง." วิทยานิพนย์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เรืองลักษณ์ บุตรเพ็ชร และจุฑาวรรณ อ้นสุวรรณ. **เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (7 Quality Control Tools)**. เข้าถึงเมื่อ 12 กรกฎาคม 2565. เข้าถึงได้จาก http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02_13_-7-.pdf

วิมลศรี สิทธิกูล. (2557). "การลดของเสียของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตอุปกรณ์การแพทย์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ศิรประภา มโนมัธย์, ธรินี มณีศรี และ ธวนิช ทองงาม. (2555). "การลดของเสียในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป." ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุรศักดิ์ ชุบไธสง และ ระพี กาญจนะ. (2563). "การลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นส่วนโทรศัพท์โดยการออกแบบการทดลอง." **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**, 15, 3: 17-31.

อดิศักดิ์ วงศ์ดียิ่ง. (2561). "การลดของเสียในกระบวนการฉีดท่อพีวีซี กรณีศึกษา บริษัท ตัวอย่าง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

Kalpakjian, S., and Schmid., S. R. (2003). **Manufacturing Process for Engineering Materials**. Prentice Hall.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การเก็บข้อมูลการผลิตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	ข้อมูลจากการผลิต																				
2																					
3	Month	Input	Output	Loss	ประเภทของเสีย																
4					Length I	Daimeter	Stand Lu	Angle(W	Dirty	Over Lap	Kink Ne	Shape Ch	Zara	Discolora	Angle(N	WAVE	Butsu	Stand Lu	re Straigh	Rope Da	Rope Sli
5	2-Nov-22	360	265	95	5				18						19						
6	3-Nov-22	500	465	35				15							20						
7	13-Nov-22	500	408	92	2	12	33	11		7					27						
8	13-Nov-22	500	350	150	8	18	4	24		4				56	36						
9	14-Nov-22	500	438	62	2	13		17		6				2	22						
10	15-Nov-22	400	321	79	14	12		13		8				1	31						
11	21-Nov-22	500	460	40	3	3		16		4				1	13						
12	23-Nov-22	430	341	89	22	19				5				9	34						
13	26-Nov-22	500	450	50		15		12						3	20						
14	26-Nov-22	500	420	80	10	10		14		21				3	22						
15	Sum	4690	3918	719	66	102	37	122	18	55	0	0	0	75	244	0	0	0	0	0	0
16	6-Dec-22	500	446	54		5		12	6	5		4		1	21						
17	6-Dec-22	500	440	60		12		18	2			2		4	21						1
18	7-Dec-22	500	449	51		4		15	3			5		6	18						
19	8-Dec-22	500	440	60	1	9		19						5	26						
20	10-Dec-22	400	336	64				25	1			1		28	9						
21	13-Dec-22	500	445	55		6		22	2			8		4	13						
22	15-Dec-22	340	284	56		6				22					27						1
23	15-Dec-22	500	455	45		9		12	1	3		1			15						4
24	19-Dec-22	500	434	66		3		17	2	4		2		10	28						
25	19-Dec-22	500	418	82		8		14				1		2	55						2
26	19-Dec-22	500	433	67		16		13							37						1
27	21-Dec-22	500	413	87		12		11							64						
28	21-Dec-22	500	426	74	4	5		18		29					18						
29	21-Dec-22	500	426	74	3	31		10		6				7	17						
30	Sum	6740	5845	887	8	126	0	206	17	69	0	24	0	67	369	0	0	0	0	0	9

ภาพที่ ก.1 การเก็บข้อมูลการผลิตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

ภาคผนวก ข

การใช้โปรแกรม Minitab 17

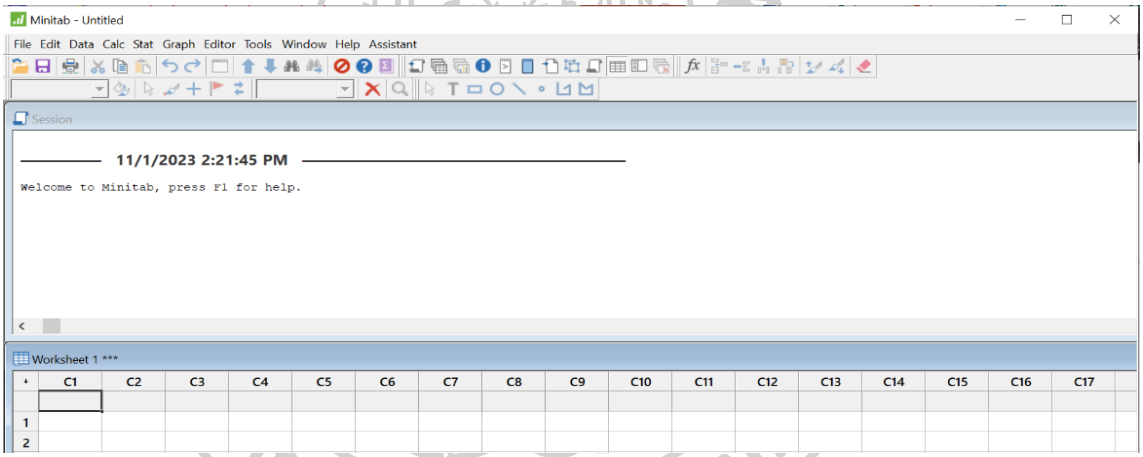
ข การใช้ Minitab ในการทำการทดลอง

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

1.1 ดับเบิลคลิกที่ไอคอนดังรูปที่ 1 เพื่อเข้าโปรแกรม Minitab 17

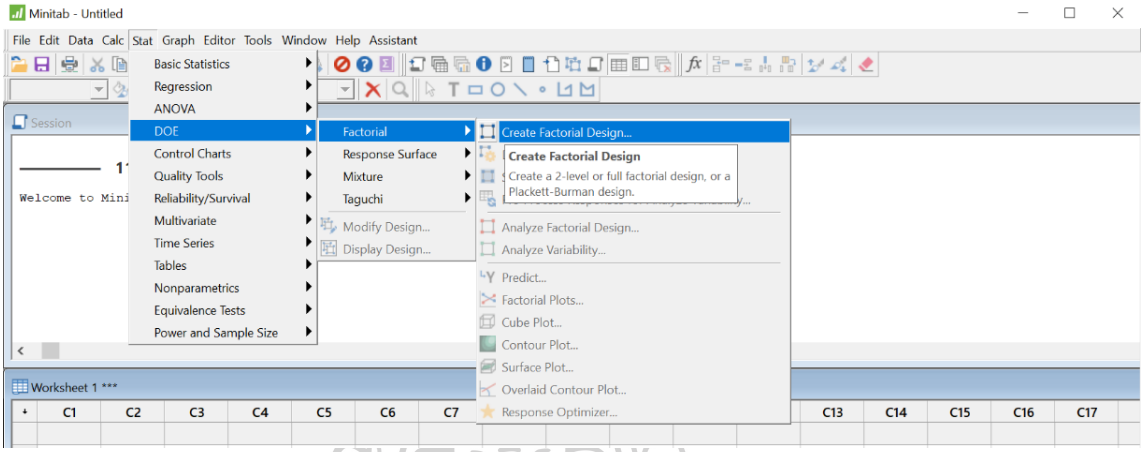
ภาพที่ ข.1 ไอคอนโปรแกรม Minitab 17

1.2 เมื่อเข้าสู่โปรแกรม หน้าแรกของโปรแกรมจอแสดงดังภาพที่ 2



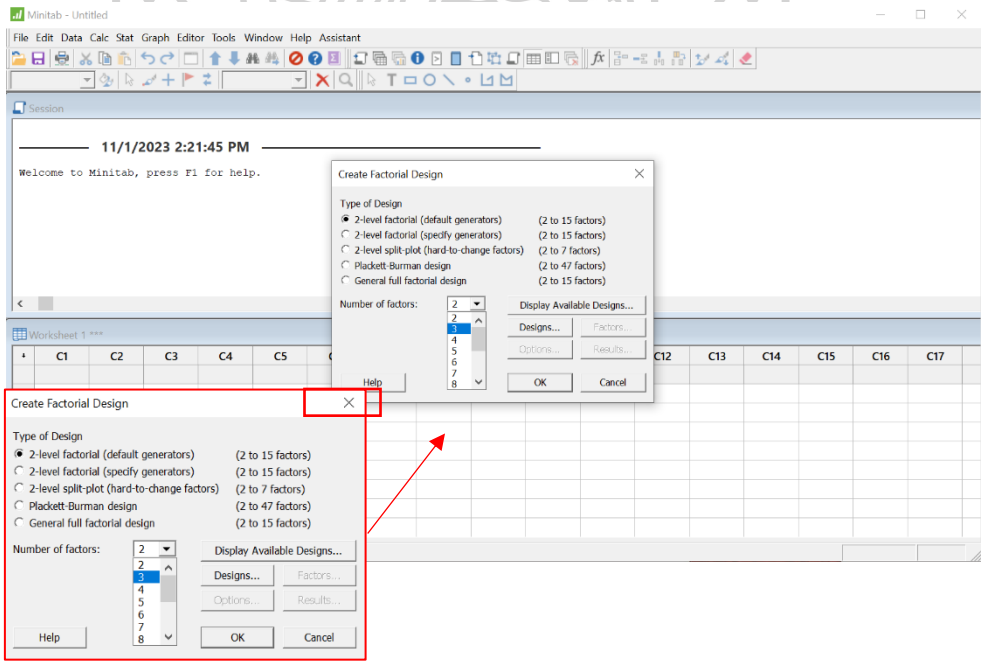
ภาพที่ ข.2 หน้าจอแสดงส่วนประกอบของโปรแกรม Minitab 17

1.3 ไปที่แถบเมนู จากนั้นเลือก Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design ดังภาพที่ 3



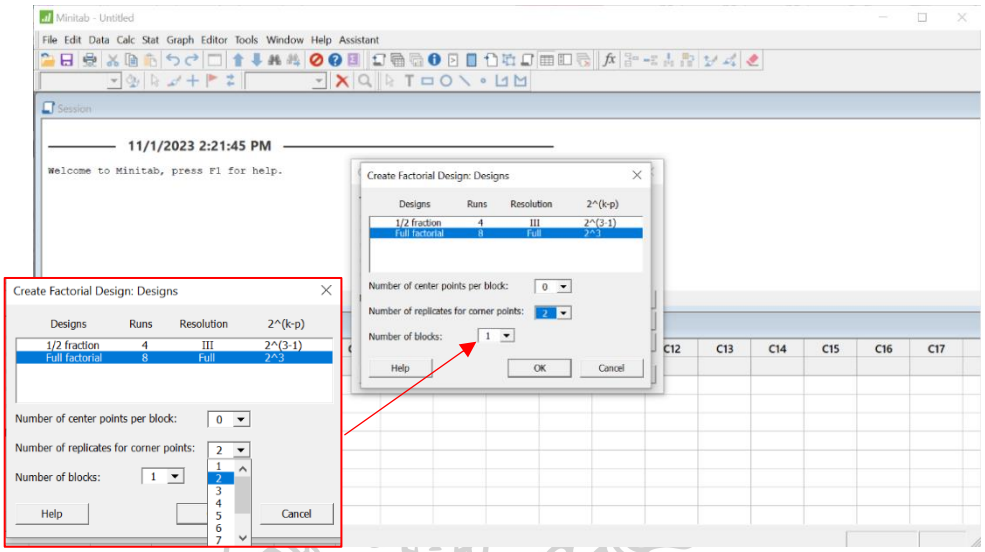
ภาพที่ ข.3 การสร้างการออกแบบการทดลอง

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



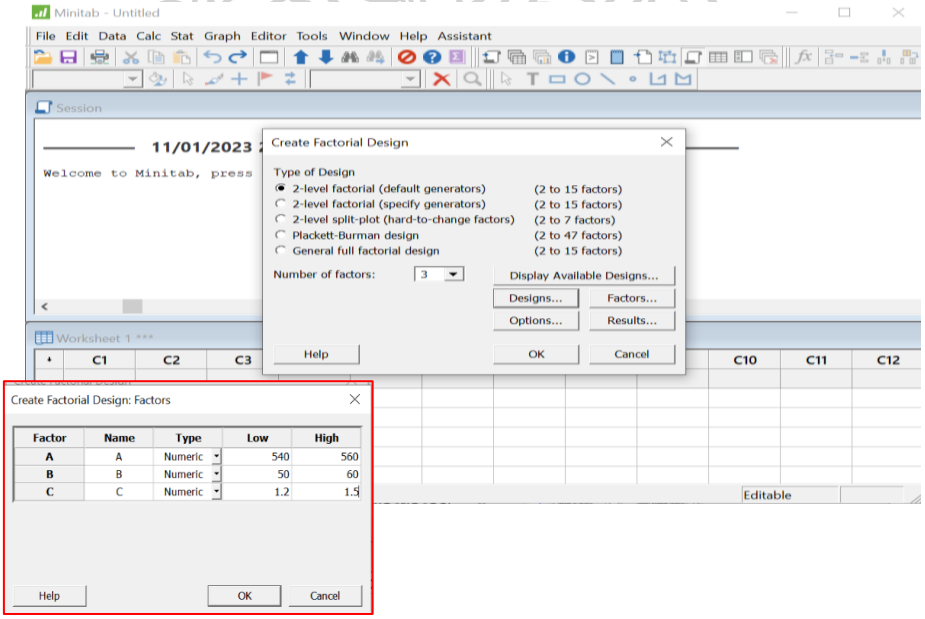
ภาพที่ ข.4 การเลือกรูปแบบของการออกแบบการทดลอง และจำนวนปัจจัย

1.5 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design – Disigns เลือก Full factorial และที่หัวข้อ Number of replicates for corner points ระบุจำนวน replicates จากนั้นกดปุ่ม OK



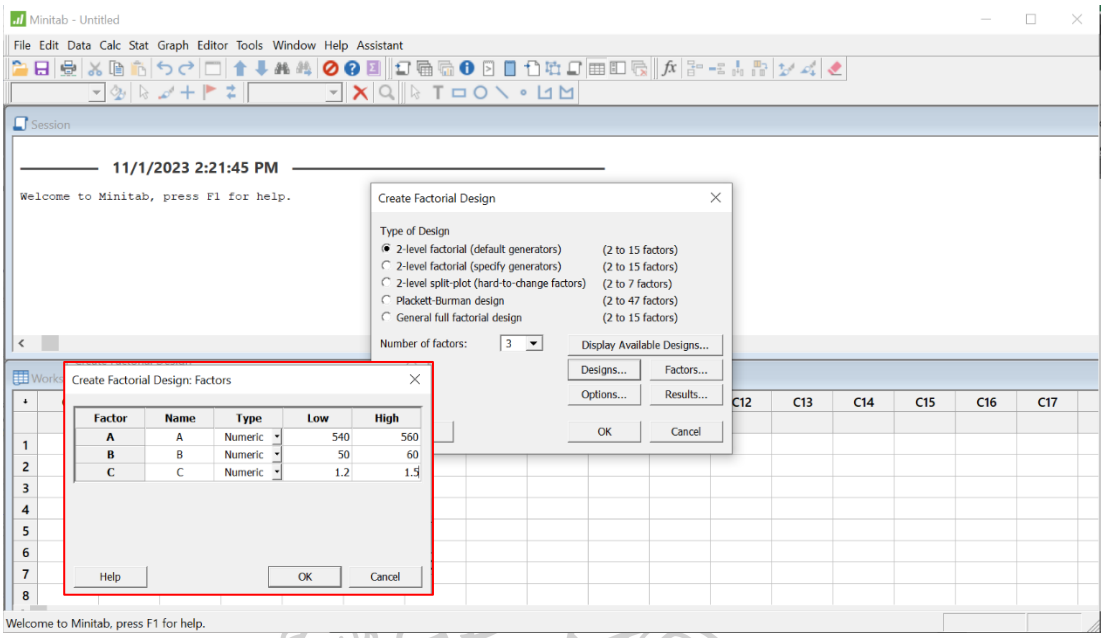
ภาพที่ ข.5 การระบุ replicates

1.6 จะกลับมากรากฏหน้าต่าง Create Factorial Design กดเลือกที่ปุ่ม Factors



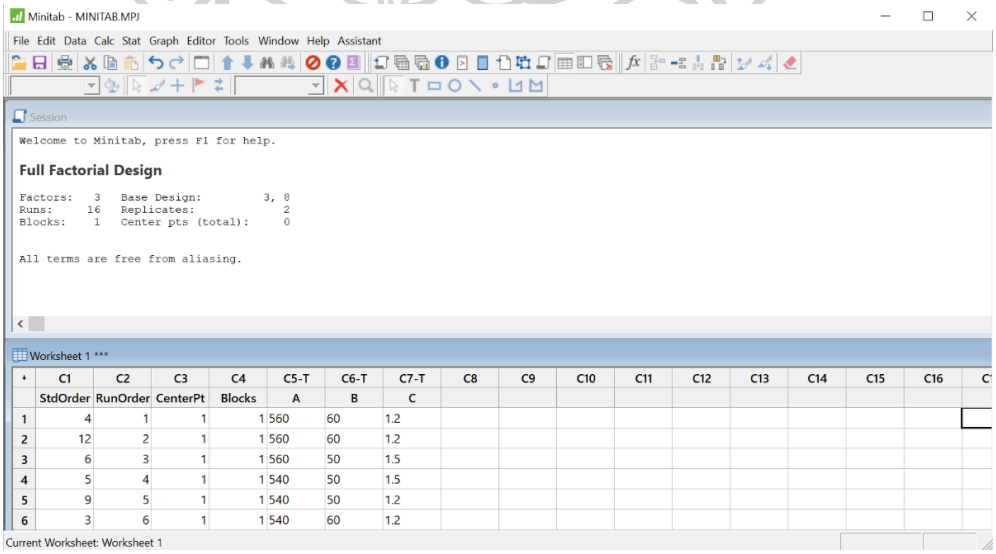
ภาพที่ ข.6 การเลือกคำสั่งในการระบุค่าปัจจัย

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



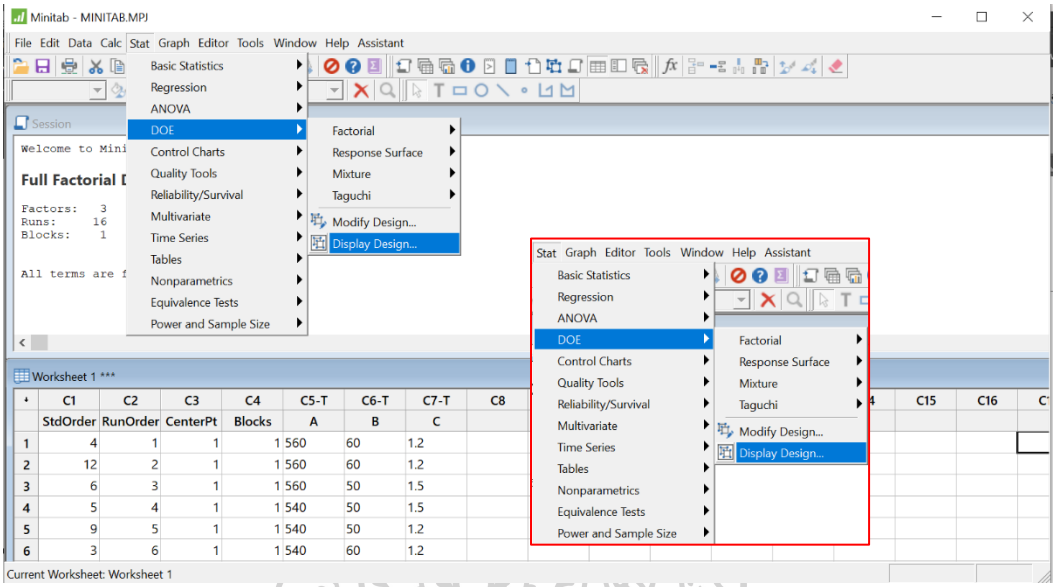
ภาพที่ ข.7 การระบุค่าระดับปัจจัย

1.8 โปรแกรม Minitab จะทำการ Run แบบสุ่ม โดยจะปรากฏผลการออกแบบการทดลอง



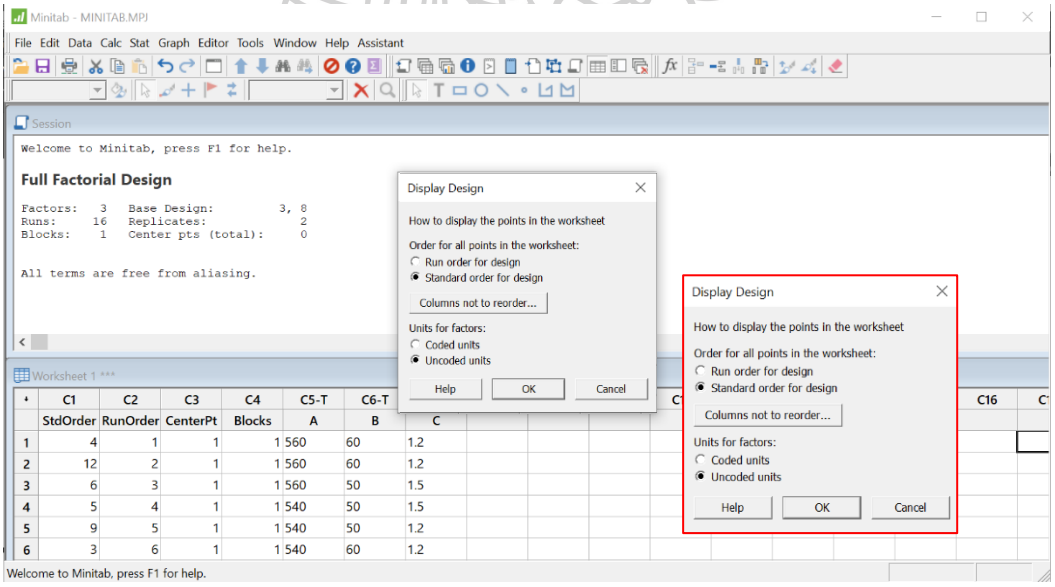
ภาพที่ ข.8 ผลการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design

1.9 เลือก Stat > DOE > Display Design เพื่อจัดลำดับการทดลอง



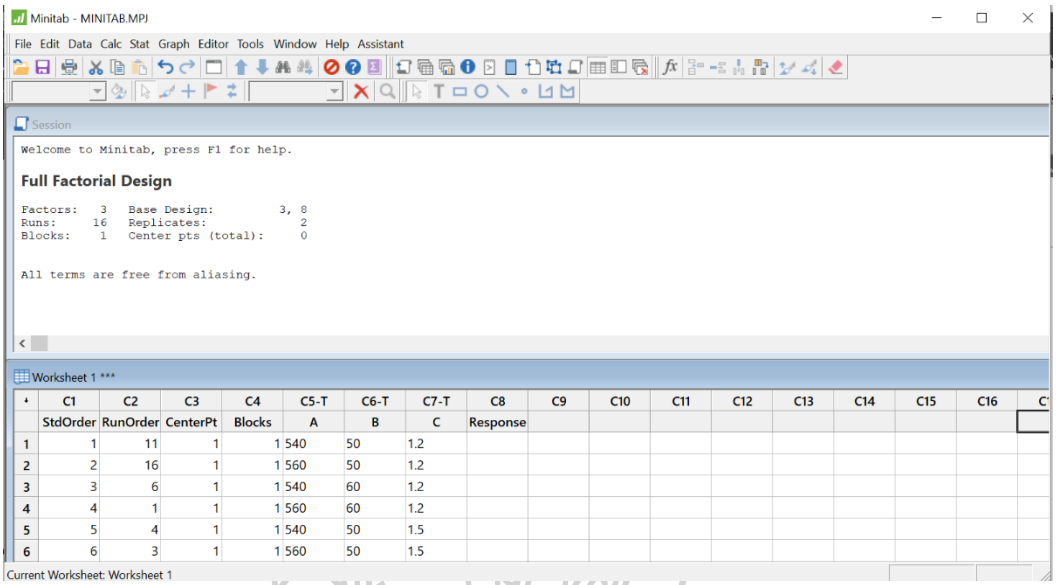
ภาพที่ ข.9 การเลือกคำสั่งในการจัดลำดับการทดลอง

1.10 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Display Design เลือก Standard order for design และ Uncoded units



ภาพที่ ข.10 การเลือกคำสั่งในการจัดลำดับการทดลอง Standard order

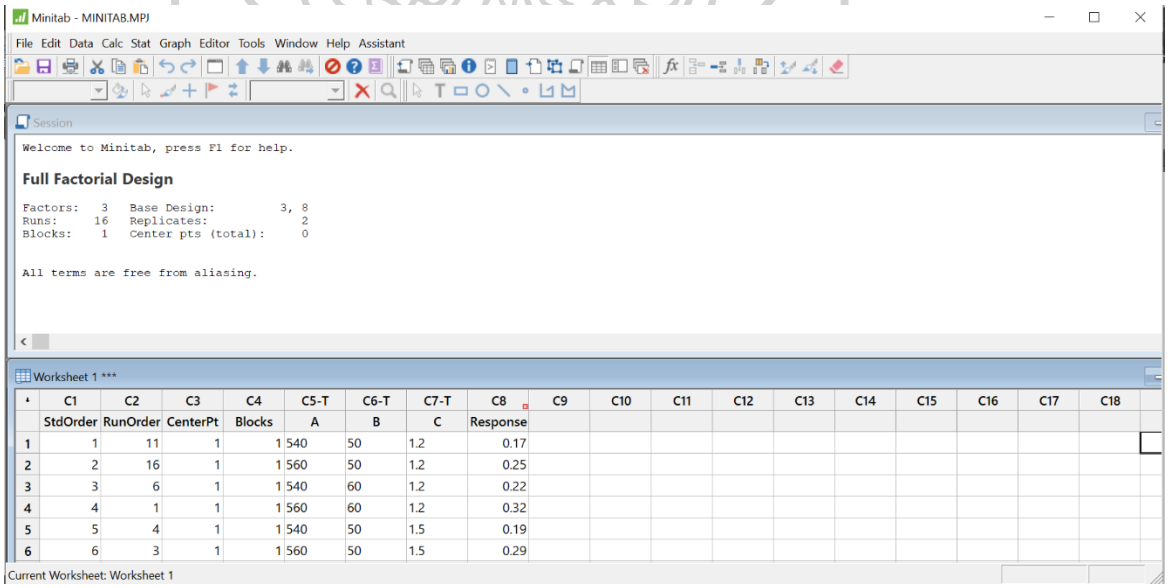
1.11 โปรแกรม Minitab จะทำการ Run จัดลำดับ Stdorder (Standard order) โดยจะปรากฏลำดับการทดลองเรียงจากน้อยไปมาก



	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	Response									
1	1	11	1	1	540	50	1.2										
2	2	16	1	1	560	50	1.2										
3	3	6	1	1	540	60	1.2										
4	4	1	1	1	560	60	1.2										
5	5	4	1	1	540	50	1.5										
6	6	3	1	1	560	50	1.5										

ภาพที่ ข.11 ผลการจัดลำดับการทดลอง Standard order

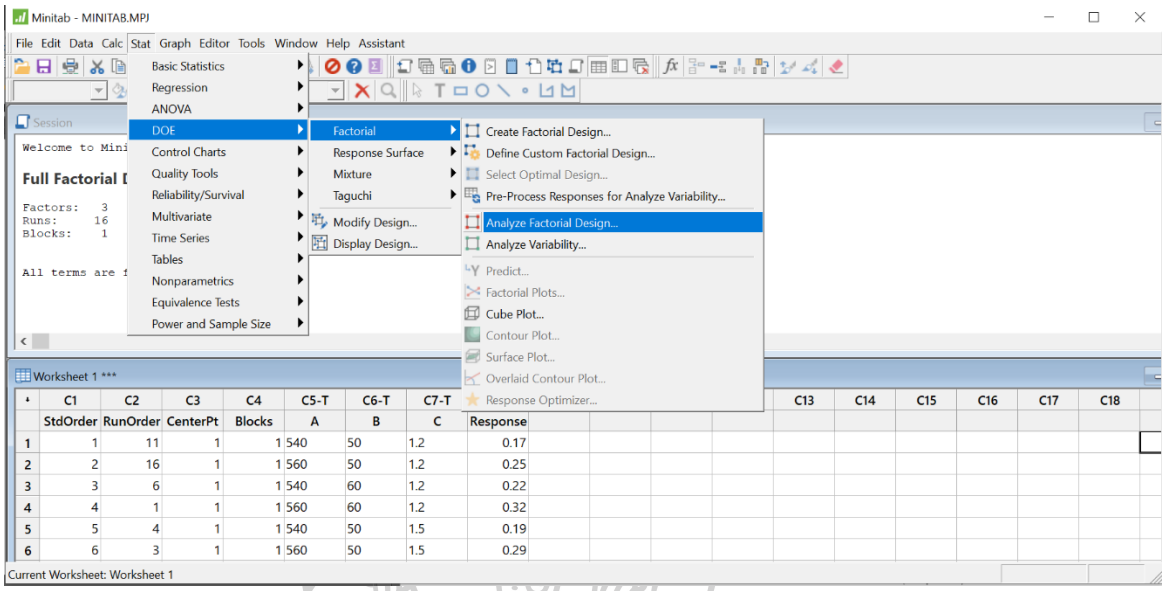
1.12 กำหนดช่องชื่อ Response และใส่ผลที่ได้จากการทดลองตามลำดับ



	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	Response										
1	1	11	1	1	540	50	1.2	0.17										
2	2	16	1	1	560	50	1.2	0.25										
3	3	6	1	1	540	60	1.2	0.22										
4	4	1	1	1	560	60	1.2	0.32										
5	5	4	1	1	540	50	1.5	0.19										
6	6	3	1	1	560	50	1.5	0.29										

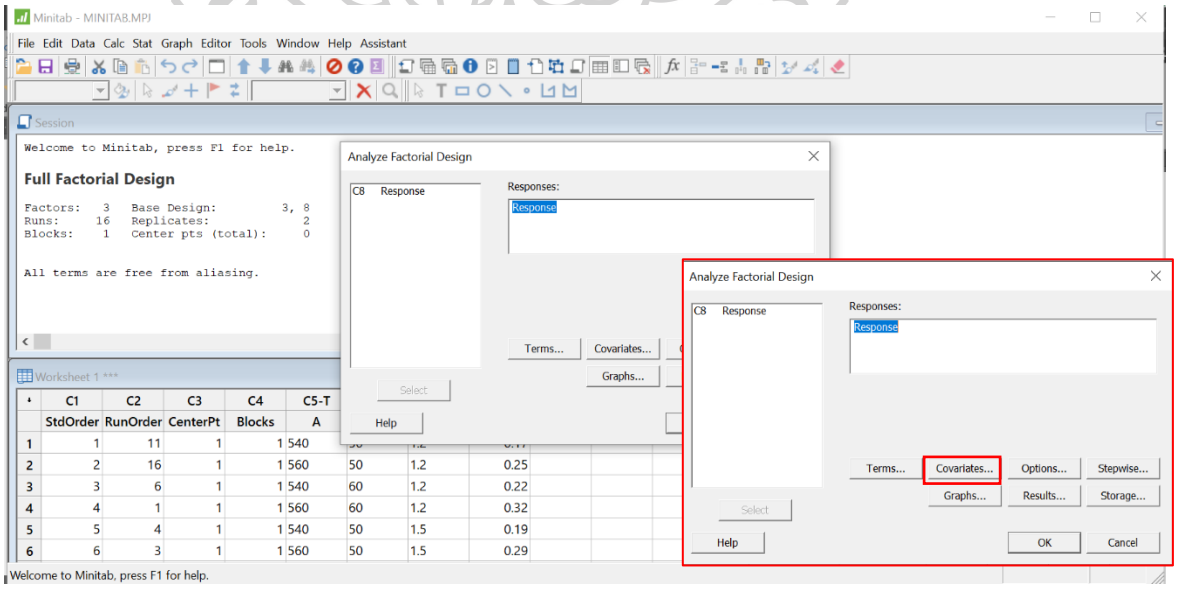
ภาพที่ ข.12 การใส่ค่าผลการทดลอง (Response)

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



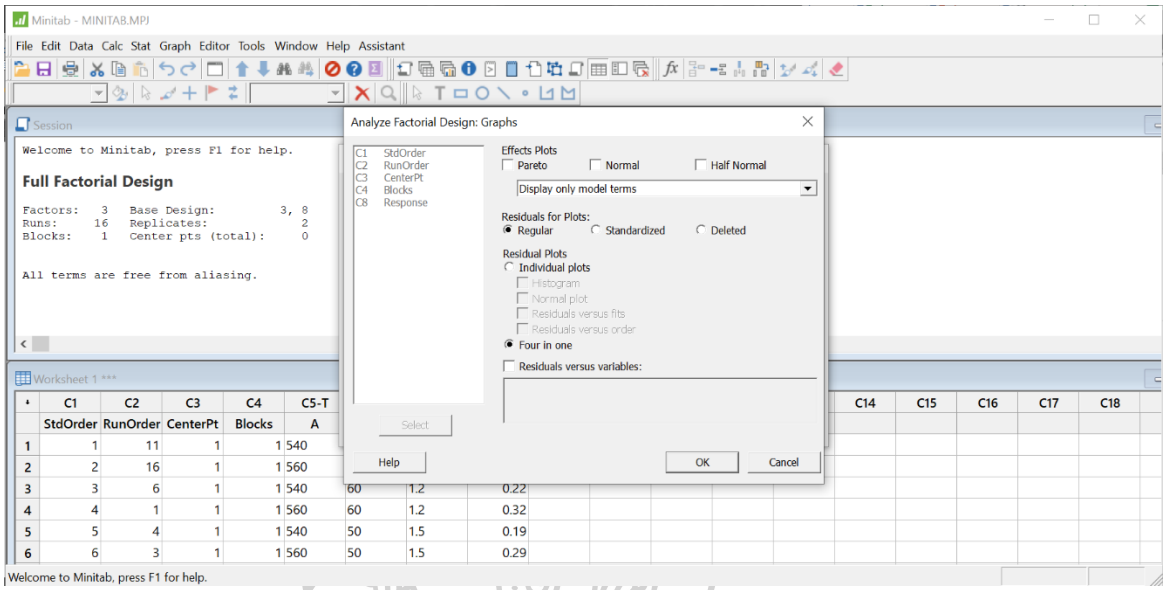
ภาพที่ ข.13 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)

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



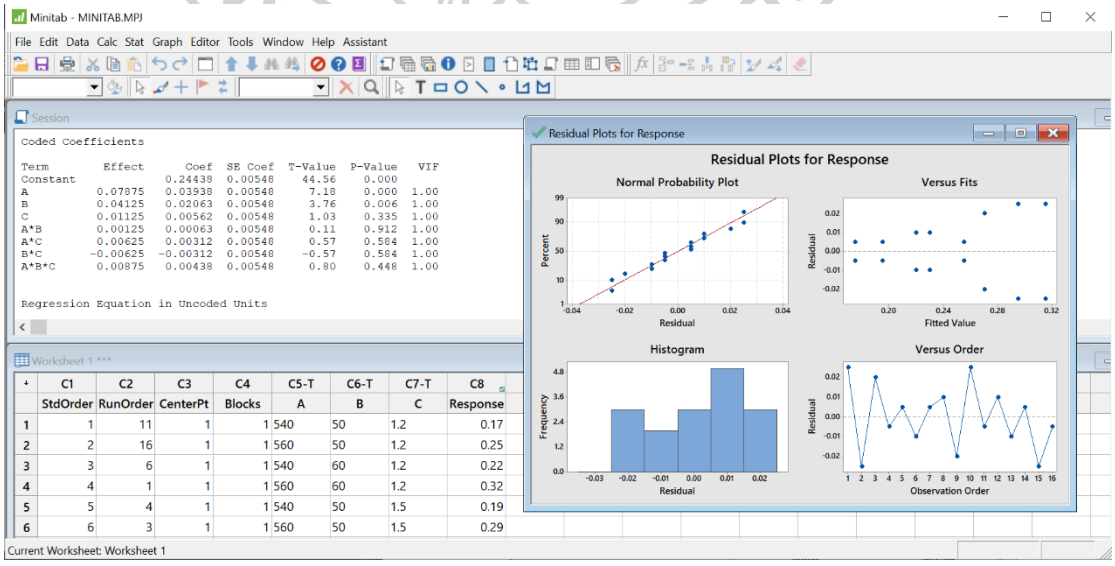
ภาพที่ ข.14 หน้าต่างคำสั่งการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)

1.15 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Analyze Factorial Design- Graphs > Residuals for plots เลือก Regular > Residuals เลือก Four in one จากนั้นกดปุ่ม OK



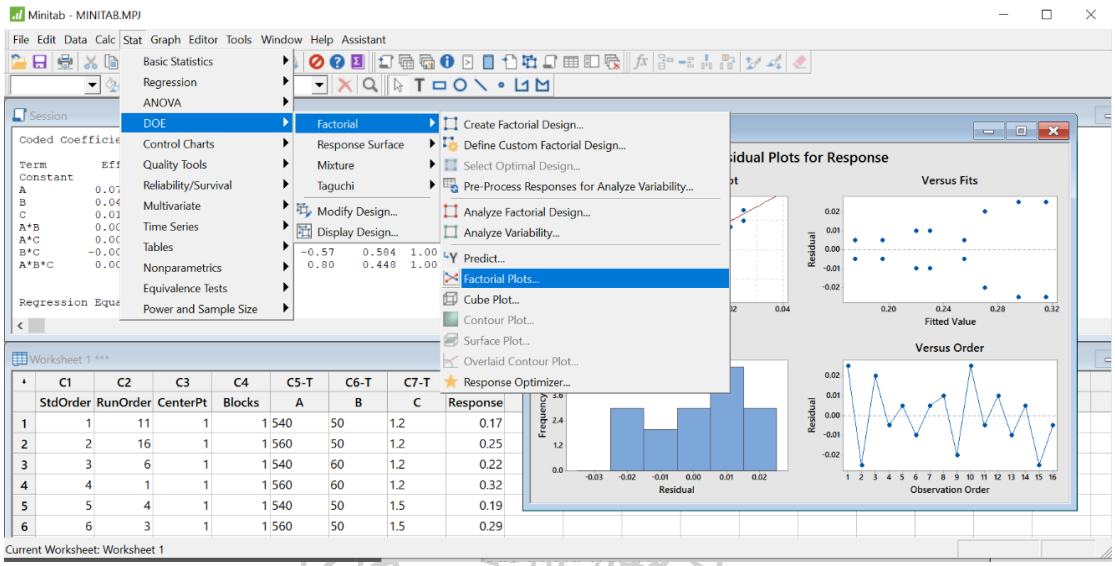
ภาพที่ ข.15 การเลือกคำสั่งในการตั้งค่ากราฟ

1.16 โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยจะปรากฏออกมาในรูปแบบตาราง ANOVA และกราฟ 4 แบบ



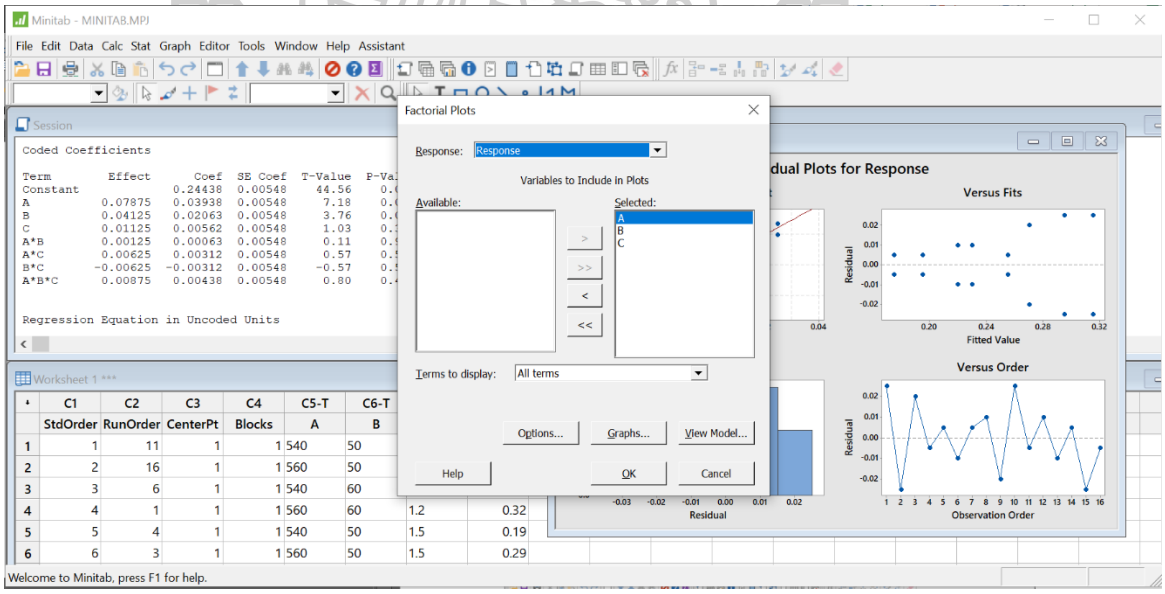
ภาพที่ ข.16 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)

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



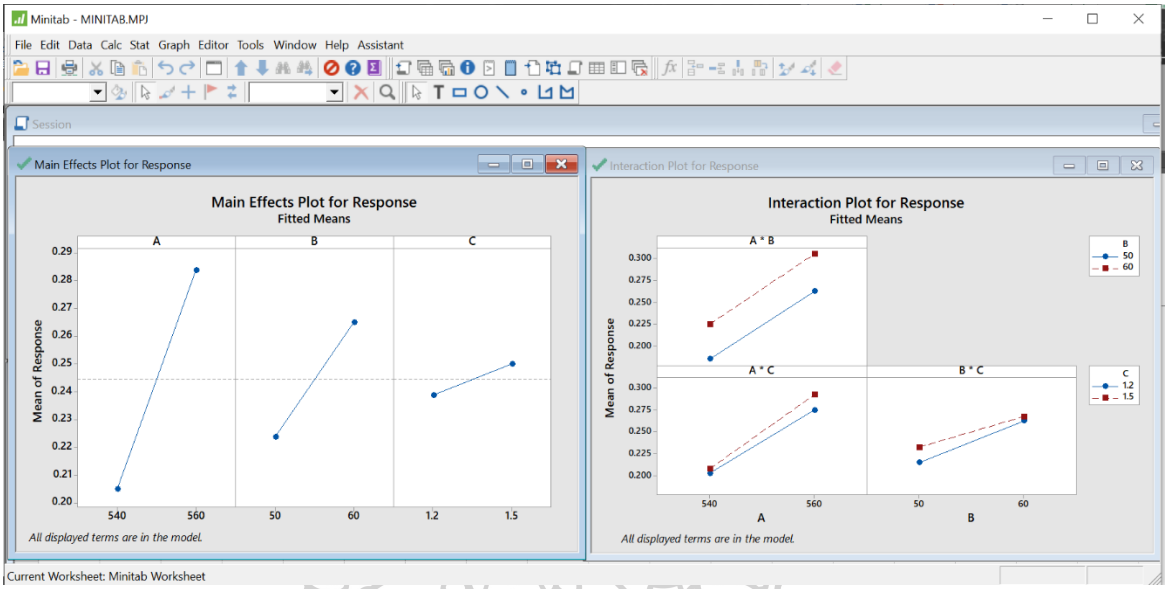
ภาพที่ ข.17 การเลือกคำสั่ง Factorial Plots

1.18 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Factorial Plots เลือก Interaction Plot



ภาพที่ ข.18 การเลือกคำสั่ง Interaction Plot

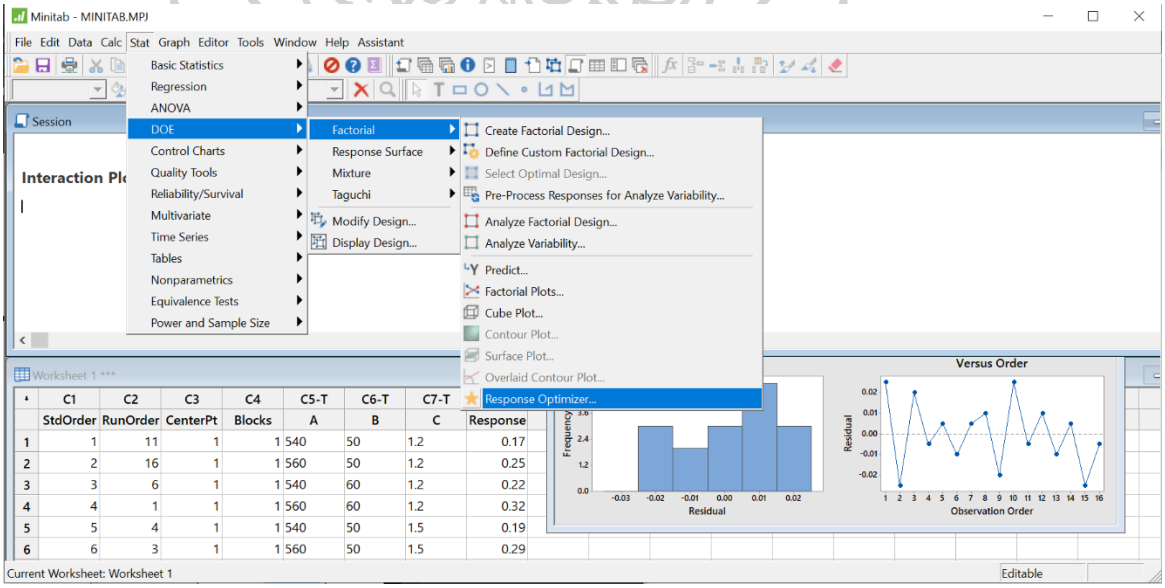
1.19 จะปรากฏ Interaction Plot แสดงผลกระทบร่วม



ภาพที่ ข.19 Interaction Plot

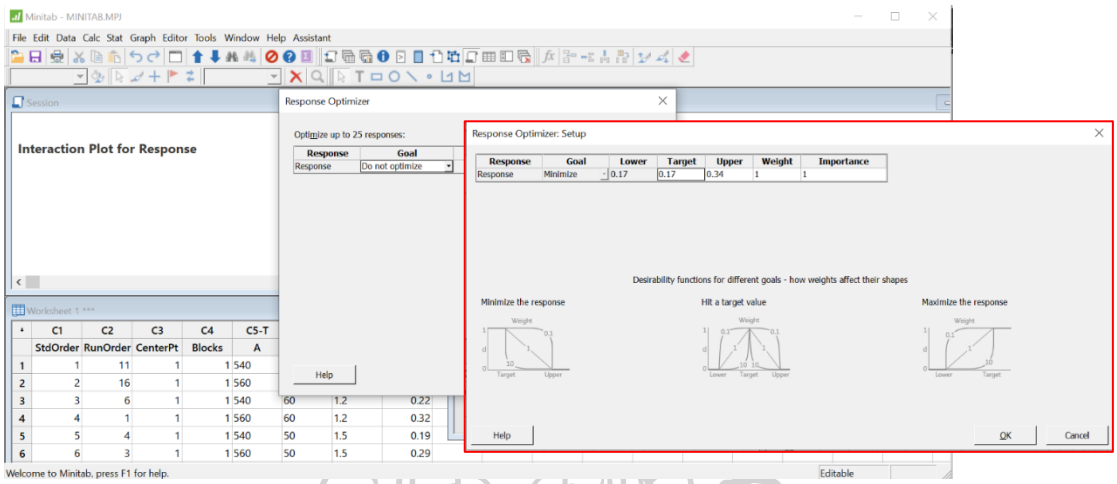
2. Response Optimization

2.1 หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม เลือก Stat > DOE > Factorial > Response Optimizer



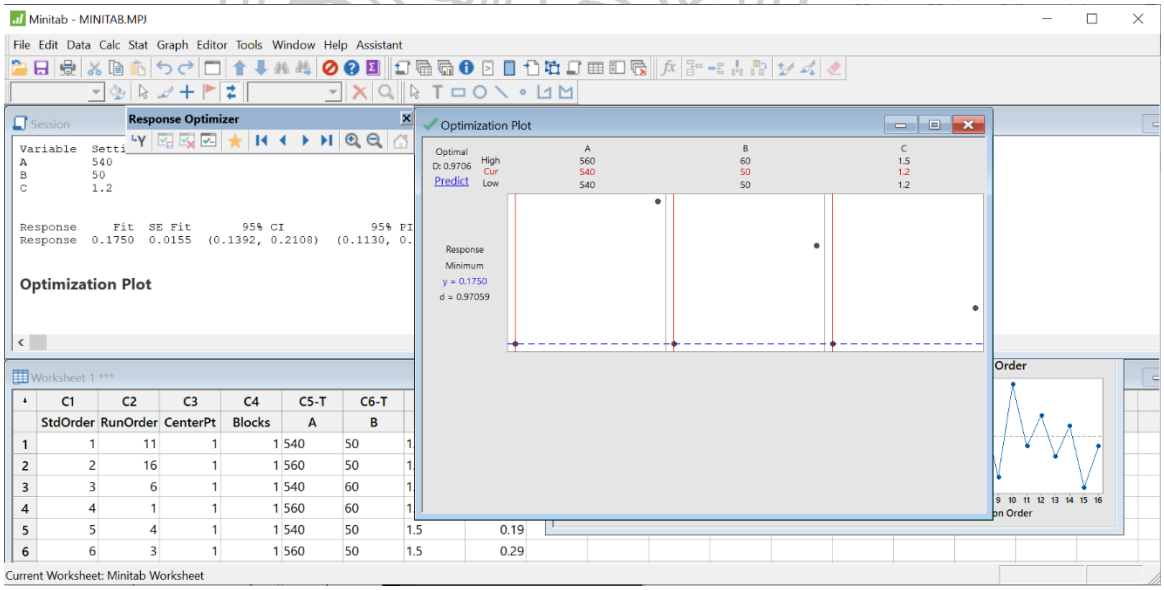
ภาพที่ ข.20 การเลือกคำสั่ง Response Optimizer

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



ภาพที่ ข.21 การระบุค่า Lower Target Upper

2.3 จะปรากฏค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยแสดงเป็นตัวอักษรสีแดง



ภาพที่ ข.22 ผลของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ภาคผนวก ค
การนำค่าที่ได้ไปปรับตั้งค่าเครื่องจักร

ภาพที่ ค.1 การตั้งค่าอุณหภูมิในการอบ และการตั้งค่าระยะเวลาในการอบ

ภาพที่ ค.2 การตั้งค่าแรงดันในการอบ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ธวัชชัย ภัทรดนัย	
สถานที่เกิด	นครปฐม	
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2563	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม
	พ.ศ. 2564	ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

มหาวิทยาลัยศิลปากร