การลดของเสียในกระบวนการฉีดท่อพีวีซี กรณีศึกษา บริษัท ตัวอย่าง

โดย
นายอดิศักดิ์ วงศ์ดียิ่ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การลดของเสียในกระบวนการฉีดท่อพีวีซี กรณีศึกษา บริษัท ตัวอย่าง

โดย
นายอดิศักดิ์ วงศ์ดียิ่ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

WASTE REDUCTION IN PVC PIPE INJECTION PROCESS CASE STUDY THE SAMPLE COMPANY

By

MR. Adisak WONGDEEYING

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 2018

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การลดของเสียในกระบวนการฉีดท่อพีวีซี กรณีศึกษา บริษัทตัวอย่าง
โดย	อดิศักดิ์ วงศ์ดียิ่ง
สาขาวิชา	การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

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

พิจารณาเห็นชอบโดย

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

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

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพฑูรย์ ศิริโอราห)

59405309 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : การออกแบบการทดลอง, ลดของเสีย, พลาสติก

นาย อดิศักดิ์ วงศ์ดียิ่ง: การลดของเสียในกระบวนการฉีดท่อพีวีซี กรณีศึกษา บริษัทตัวอย่าง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์คือการลดของเสียจากการผลิตท่อพีวีซี โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment: DOE) โดยได้ศึกษากระบวนการผลิตท่อพีวีซีของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตท่อพีวีซีมากที่สุดคือ ปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้ จึงใช้หลักการ 4M1E จำแนกสาเหตุของ ปัญหาที่มีอิทธิพลกับของเสีย พบว่าปัญหาเกิดในส่วนของ ขั้นตอนการปรับตั้งค่าปัจจัยการให้ความร้อนในการผลิตซึ่งปัจจัยทั้งหมดมี 4 ปัจจัยคือ 1. อุณหภูมิในการอุ่นเม็ดพลาสติก 2. อุณหภูมิในการเริ่มหลอมเม็ดพลาสติก 3.อุณหภูมิในการหลอมเม็ดพลาสติก 4. อุณหภูมิในการฉีดพลาสติกเหลว ดังนั้นจึงใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (2^k Full Factorial Design) เพื่อศึกษาอิทธิพลที่เกิดกับของเสียของทั้ง 4 ปัจจัย และวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมโดยใช้หลักการ Response Optimization เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต ซึ่งการปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสามารถลดของเสียจากรอยไหม้ลง 63.9% คิดเป็นมูลค่า 86,460 บาทต่อเดือน หรือ 1,037,520 บาทต่อปี

59405309 : Major (ENGINEERING MANAGEMENT)
Keyword : Design of Experiment, Defect Reduction, Plastic

MR. ADISAK WONGDEEYING : WASTE REDUCTION IN PVC PIPE INJECTION PROCESS CASE STUDY THE SAMPLE COMPANY THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR PRACHUAB KLOMJIT

The purpose of this research is to reduce the waste from PVC pipe production process by designed and analysis of experiment (DOE). The PVC pipe production process was studied and It was found that the most problems that affect the production of PVC pipe was burning. This study used the 4M1E principle to classify the causes of waste problems. The process of adjustment the heating in the production are four factors as the following: 1.The temperature of the plastic pellets. 2. The temperature of melting plastic. 3. Temperature of melting plastic 4.Temperature of plastic injection Therefore, the study used 2-Full Factorial Experimental Design (2^k Full Factorial Design) to study the influence of all and to determine the optimal value using the Response Optimization method. The best optimum temperature setting can reduce waste from burning by 63.9% or 86,460 baht per month or 1,037,520 baht per year.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย และท่านคณาจารย์สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบและแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์อย่างมาก กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้ความกรุณาในการให้ข้อมูล ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยในทุกขั้นตอน รวมทั้งกรุณาพิจารณาและตรวจสอบวิทยานิพนธ์แก่ผู้วิจัย

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาการจัดการวิศวกรรม เพื่อนๆ และรุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโท การจัดการวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร สำหรับแนวคิดและกำลังใจที่ดี และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ทุกท่าน

ท้ายนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดี อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา และขอขอบพระคุณเจ้าของเอกสารและงานวิจัยทุกท่าน ที่ผู้วิจัยค้นคว้าได้นำมาอ้างอิงในการทำวิจัย ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากผิดพลาดประการใดผู้เขียนขออภัยเป็นอย่างสูงและหวังว่างานวิจัยนี้คงมีประโยชน์บ้างสำหรับผู้ที่สนใจศึกษาในหัวข้อที่เกี่ยวข้อง

อดิศักดิ์ วงศ์ดียิ่ง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย 3

1.4 กรอบแนวทางงานวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) 6

2.3 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 13

2.4 ความหมายและหลักการ 2 ระดับ k ปัจจัย 14

2.5 การวิเคราะห์การออกแบบแบบเต็มรูปแบบ 15

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน 21

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของงานวิจัย 21

..... 21

3.2 ศึกษาสภาพการทำงาน 22
3.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 27
3.4 การออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ 32
3.5 ขั้นตอนการทำการทดลองการวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผลเบื้องต้น 34
3.6 การวิเคราะห์ค่าตอบสนองที่ดีที่สุด 34
3.7 สรุปผลการทดลองและเสนอแนวทางการปรับปรุง 34
บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์ผล 36
4.1 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง 37
4.2 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ Response Optimization 42
4.3 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์จากวิธีการ Response Optimization 43
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 46
5.1 สรุปผลงานวิจัย 46
5.2 ข้อเสนอแนะ 46
ภาคผนวก 47
ภาคผนวก ก. การเก็บข้อมูลของเสียในแต่ละเครื่องฉีดท่อพีวีซี 48
ภาคผนวก ข. การประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (MINITAB Version 14 Demo) 50
ภาคผนวก ค. การพัฒนาตนเอง 66
รายการอ้างอิง 69
ประวัติผู้เขียน 71

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ยอดผลิตและสัดส่วนของเสียโดยเป้าหมายของสินค้าที่ขายดี 3 ลำดับดังนี้ 1

ตารางที่ 2 ลักษณะของเสียที่เกิดของท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว..... 1

ตารางที่ 3 กรณีผลกระทบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการออกแบบแบบเต็มรูปแบบ..... 15

ตารางที่ 4 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัย..... 16

ตารางที่ 5 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง..... 16

ตารางที่ 6 การเกิดปัญหาของเสีย..... 22

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์สาเหตุเพื่อนำมาทำเป็นปัจจัย..... 28

ตารางที่ 8 การปรับอุณหภูมิตามชนิดของพีวีซี..... 30

ตารางที่ 9 เป็นการแบ่งระดับปัจจัย..... 30

ตารางที่ 10 แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ..... 33

ตารางที่ 11 ผลการทดลอง..... 36

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง..... 40

ตารางที่ 13 Output Optimize Point..... 42

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบจากค่าปัจจัยที่วิเคราะห์ได้..... 43

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบของเสียก่อนและหลังปรับปรุง..... 44

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฉีดท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว 2

ภาพที่ 2 ตัวอย่างชิ้นงานรอยไหม้ 2

ภาพที่ 3 ตัวอย่างกระบวนการวิเคราะห์การผลิตท่อพีวีซีโดยใช้การออกแบบการทดลอง 6

ภาพที่ 4 การออกแบบ 2 ระดับ k ปัจจัย 15

ภาพที่ 5 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง 21

ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการผลิตท่อพีวีซี ขนาด ½ นิ้ว 22

ภาพที่ 7 การเตรียมส่วนผสม 23

ภาพที่ 8 การผสมผงพีวีซี 23

ภาพที่ 9 SILO จัดเก็บวัตถุดิบที่ผสมและหลอมละลายแล้ว 24

ภาพที่ 10 อุณหภูมิในแต่ละช่วงของชุดกระบอกฉีด 24

ภาพที่ 11 กระบวนการอัดรีด 25

ภาพที่ 12 การรีดขึ้นรูปท่อ 25

ภาพที่ 13 ระบบหล่อเย็น (Cooling) 26

ภาพที่ 14 มัดท่อ 26

ภาพที่ 15 สินค้าสำเร็จรูปสำหรับส่งมอบ 26

ภาพที่ 16 แผนภาพแสดงสาเหตุของปัญหา 27

ภาพที่ 17 การปรับค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวพีวีซี 29

ภาพที่ 18 กระบวนการวิเคราะห์การผลิตท่อพีวีซีโดยใช้การออกแบบการทดลอง 29

ภาพที่ 19 การตรวจสอบการกระจายตัวมีค่าปกติ 38

ภาพที่ 20 การตรวจสอบความเป็นอิสระ 39

ภาพที่ 21 การตรวจสอบความเสถียรของ σ_2 39

ภาพที่ 22 แผนภูมิกระทบร่วม 41
ภาพที่ 23 ผลตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสม 43
ภาพที่ 24 การเปรียบเทียบของเสียก่อน – หลังปรับปรุง 45
ภาพที่ 25 การเก็บข้อมูลของเสียจากการผลิตท่อพีวีซี 49
ภาพที่ 26 หน้าจอและส่วนประกอบของโปรแกรม MINITAB 51
ภาพที่ 27 การใช้คำสั่ง Open Worksheet 52
ภาพที่ 28 การใช้คำสั่ง Open Project 52
ภาพที่ 29 การใช้คำสั่ง Save Current Worksheet 53
ภาพที่ 30 การใช้คำสั่ง Save Project 53
ภาพที่ 31 การใช้คำสั่ง Create Factorial Design 54
ภาพที่ 32 การเลือก 2 - Level Factorial (Default Generators) และ Number of Factors 54
ภาพที่ 33 การเลือก Design สำหรับเลือก Full Factorial 55
ภาพที่ 34 การเลือก Factors สำหรับใส่ Name ใส่ Type และใส่ค่าระดับปัจจัย 55
ภาพที่ 35 การเลือก Option การสุ่มการทดลอง 56
ภาพที่ 36 ผลการออกแบบการทดลอง ใน Session Window และใน Data Window 56
ภาพที่ 37 กำหนดช่อง Response สำหรับใส่ค่าตอบสนองจากการทดลอง 57
ภาพที่ 38 การใช้คำสั่ง Analyze Factorial Design 57
ภาพที่ 39 การเลือกคอลัมน์ Response ลงในช่อง Responses 58
ภาพที่ 40 การเลือก Terms ที่สนใจ 58
ภาพที่ 41 ผลการคำนวณในรูปแบบของตาราง ANOVA ใน Session Window 59
ภาพที่ 42 การเลือก Graphs ระบุค่า Effect Plot ที่ต้องการ แล้วเลือกลักษณะกราฟ 60
ภาพที่ 43 ผลการคำนวณในรูปของกราฟในลักษณะที่เลือกไว้ 61
ภาพที่ 44 การใช้คำสั่ง Factorial Plots 61
ภาพที่ 45 การเลือกไดอะล็อกบล็อคชื่อ Factorial Plots – Interaction Plot 62

ภาพที่ 46 ไดอะล็อกบล็อคชื่อ Interaction Plot – Options 62
ภาพที่ 47 ผลการพล็อต Interaction 63
ภาพที่ 48 การใช้คำสั่ง Response Optimizer 63
ภาพที่ 49 การเลือกคอลัมน์ Response ใส่ในช่อง Responses 64
ภาพที่ 50 การกำหนดลักษณะ Goal พร้อมทั้งใส่ค่า Lower Target และค่า Upper 64
ภาพที่ 51 ไดอะล็อกบล็อคชื่อ Response Optimization จากหน้าจอหลักของโปรแกรม 65
ภาพที่ 52 การ Input New Level 65

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันอุปกรณ์ประเภทท่อพีวีซีเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานประปา งานก่อสร้าง งานไฟฟ้า และการเกษตร ทำให้มีบริษัทผลิตอุปกรณ์ประเภท ท่อพีวีซีเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก จึงทำให้เกิดการแข่งขันทางธุรกิจในรูปแบบต่างๆ ทั้งในเรื่องของราคา คุณภาพ และการบริการ โดยบริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตท่อพีวีซี ในลักษณะขนาดท่อต่างๆ โดยผลิตเพื่อขายในประเทศและส่งออกไปขายยังต่างประเทศในโซนของภูมิภาคอาเซียน

จากการศึกษาการทำงานการท่อพีวีซีของโรงงานกรณีศึกษา พบว่าทางบริษัทประสบปัญหาเกี่ยวกับการเกิดของเสียกับกระบวนการผลิตท่อพีวีซีเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงทำการศึกษา เพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์และนำไปสู่การลดของเสียต่อไป โดยผู้วิจัยได้เลือกผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตมาก 3 อันดับแรก โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 2 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ไปจนถึงเดือนมิถุนายน ในปี 2561 ดังตารางที่ 1

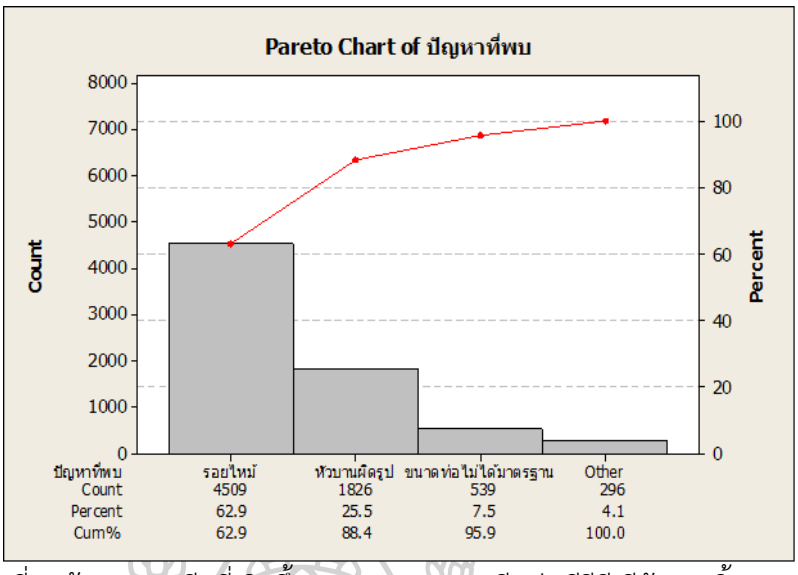
ตารางที่ 1 ยอดผลิตและสัดส่วนของเสียโดยเป้าหมายของสินค้าที่ขายดี 3 ลำดับดังนี้

ลำดับ	ชื่อชิ้นงาน	ยอดผลิตเฉลี่ย กก./เดือน	ของเสียเฉลี่ย กก./เดือน	สัดส่วนของเสีย (%)
1	ท่อพีวีซี สีฟ้า ½“	91,095	7,170	7.8
2	ท่อพีวีซี สีฟ้า 1“	72,992	5,109	6.9
3	ท่อพีวีซี สีฟ้า 2“	67,364	3,368	4.9

จากตารางที่ 1 ท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว มียอดผลิต 91,095 กิโลกรัมต่อเดือน แต่เกิดสัดส่วนของเสียมากถึง 7.8% ผู้วิจัยจึงเลือกผลิตภัณฑ์ท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว มาเพื่อดูยอดสัดส่วนของเสีย จากการศึกษาปัญหาของเสียพบว่าท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว มีลักษณะการเกิดของเสีย 4 ลักษณะ ของเดือนมีนาคม และเมษายน 2561 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะของเสียที่เกิดของท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว

ปัญหาที่พบ	ปริมาณที่พบ(กก.)	สัดส่วนของเสีย%	% สะสม
รอยไหม้	4509	63	63
หัวบานผิดรูป	1826	25	88
ขนาดท่อไม่ได้มาตรฐาน	539	7	95
ท่อสั้น-ยาว	296	5	100



ภาพที่ 1 ข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฉีดท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว

พบว่าปัญหาของเสียที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตมากที่สุดคือปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้ ผู้วิจัยจึงเลือกปัญหารอยไหม้มาทำการทดลอง โดยลักษณะของตัวอย่างรอยไหม้นี้ดังภาพ 1.2 คิดเป็นสัดส่วนของเสียทั้งหมดเท่ากับ 63%

ภาพที่ 2 ตัวอย่างชิ้นงานรอยไหม้

ในเบื้องต้นได้ประเมินและหาวิธีการต่างๆมาทำการทดลอง เพื่อลดของเสียท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว ผู้วิจัยเห็นว่าการออกแบบการทดลอง เหมาะกับการทำการทดลองในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.เพื่อลดของเสียผลิตภัณฑ์ท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว มีรอยไหม้จากกระบวนการผลิต

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

1.การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาข้อมูลเฉพาะบริษัท ตัวอย่าง จำกัดเท่านั้น

2.ใช้ขนาดท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว ทำการทดลองเพียงขนาดเดียว

1.4 กรอบแนวทางงานวิจัย

1. ทำการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก

2. วิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ที่ก่อให้เกิดขึ้นของเสียในระบบการฉีดพลาสติก

3. วิเคราะห์ผลกระทบเพื่อทำการแก้ไข

4. เสนอแนวทางการแก้ไขที่เหมาะสม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1 .ลดของเสียจากกระบวนฉีดพลาสติกท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว ได้อย่างน้อย 50%

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การแปรรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกโดยกรรมวิธีการฉีด จะทำจากพลาสติกที่เป็นเม็ดและเป็นผง จะทำให้เป็น พลาสติกเทอร์โมเซตติ้งและอีลาสโตเมอร์ จะกล่าวว่าส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติกจะดัดแปลงให้เหมาะสมกับพลาสติกชนิดใดๆ สำหรับเทอร์โมพลาสติก เมื่อพลาสติกได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเหลว จึงจะนำไปแปรรูปได้หลายครั้ง ตามลักษณะตลาดและตามบริษัทที่ผลิต พลาสติกจะมีสีธรรมชาติของพลาสติกและแบบผสมสี หรือเติมสารต่างๆมาผสมกับสารนำร่องที่แตกต่างกันก็ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของพลาสติก ส่วนเทอร์โมเซตติ้ง ถ้าได้รับความร้อนแล้วจะแข็งตัวและไม่สามารถนำไปหลอมเหลวได้อีก และราคากับคุณภาพเครื่องฉีดชนิดนี้จะมีราคาที่ค่อนข้างสูงกว่าเครื่องฉีดแบบเทอร์โมพลาสติก และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการลดของเสียการฉีดพลาสติก
มีดังนี้

2.1 ที่มาและการออกแบบการทดลอง
2.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)
2.3 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล
2.4 ความหมายและหลักการ 2 ระดับ k ปัจจัย
2.5 การวิเคราะห์การออกแบบแบบเต็มรูปแบบ
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ที่มาและการออกแบบการทดลอง

ฉลอง สีแก้วสิ่ว (2552) [1] กล่าวว่าในปี ค.ศ. 1920 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการนำหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชผักทางการเกษตรเมื่อมีการใช้สูตรผสมของปุ๋ยที่แตกต่างกัน นั่นถือเป็นครั้งแรกในการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองซึ่งเป็นอีกแขนงหนึ่งของสถิติประยุกต์ ในครั้งนั้นผู้ทำการทดลองได้เรียกสูตรผสมของปุ๋ยที่แตกต่างกันในการทดลองว่า Treatment จึงเป็นที่มาของการเรียกการควบคุมตัวแปรในการทดลองที่แตกต่างกันว่า Treatment มาจนถึงทุกวันนี้

การประยุกต์ใช้หลักสถิติในการออกแบบวิธีทดลองหาผลกระทบของตัวแปรอิสระหลายๆตัวที่มีต่อตัวแปรตาม ได้เริ่มแพร่หลายมากขึ้นและเข้ามาสู่อุตสาหกรรมการผลิต และสาขาอื่นๆที่นอกเหนือจากการเกษตร ก่อนที่สหรัฐอเมริกาจะเข้าร่วมในสงครามโลกครั้งที่ 2 นั้น ประเทศในยุโรปที่เคยเป็นมหาอำนาจหลายๆประเทศ ซึ่งเป็นที่กำเนิดของทฤษฎีสถิติประยุกต์และได้มีการประยุกต์ใช้หลักสถิติในกระบวนการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมและการควบคุมคุณภาพของสินค้ามาก่อนหลายปี ได้

เข้าสู่สภาวะถดถอยทางอุตสาหกรรม อันเป็นผลมาจากสงครามโลกครั้งที่ 1 ต่อเนื่องมาจนถึงสงครามโลกครั้งที่ 2 สหรัฐอเมริกา ซึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากสงครามโลกครั้งที่ 1 ก็ก้าวเข้ามาเป็นประเทศผู้นำทางด้านอุตสาหกรรมแทนที่ จนเกิดสภาวะที่เรียกว่าผลิตอะไรออกมาก็ขายได้ ทำให้ความใส่ใจในการวิจัยและพัฒนาด้านสินค้าและคุณภาพในเชิงลึกไม่ได้รับความเอาใจใส่เท่าที่ควร

สหรัฐอเมริกาเข้าร่วมในสงครามโลกครั้งที่ 2 หลังจากญี่ปุ่นได้โจมตีหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิกที่เป็นดินแดนของสหรัฐอเมริกา หลังจากเข้ายึดครองดินแดนอื่นๆในทั่วเอเชียแปซิฟิกได้หมดแล้ว ในที่สุดสหรัฐอเมริกาก็มีชัยเหนือญี่ปุ่นและยังเข้าร่วมสงครามในดินแดนยุโรปด้วย ทำให้อิทธิพลของสหรัฐอเมริกามากกว่าประเทศในยุโรปเป็นครั้งแรก

ทางฝั่งเอเชียตะวันออกไกลญี่ปุ่นถือว่าเป็นประเทศแรกๆที่ก้าวเข้าสู่การเป็นประเทศอุตสาหกรรม แต่ภายหลังที่ญี่ปุ่นพ่ายแพ้สงครามโลกครั้งที่ 2 ประเทศเข้าสู่สภาวะชะงักงันในด้านเศรษฐกิจโดยเฉพาะด้านสินค้าอุตสาหกรรม สหรัฐอเมริกาผู้ที่มีชัยชนะเหนือญี่ปุ่นจำเป็นต้องเข้าช่วยเหลือฟื้นฟูประเทศและหนึ่งในความช่วยเหลือที่สหรัฐอเมริกามอบให้แก่ญี่ปุ่นคือ สุดยอดนักสถิติประยุกต์ผู้มากประสบการณ์ในอุตสาหกรรม คือ Edwards W. Deming และ Joseph M. Juran ย้อนไปในช่วงปี ค.ศ.1950-1960 ญี่ปุ่นในฐานะผู้แพ้สงคราม ได้เริ่มต้นด้วยการผลิตสินค้าเกรดต่าง สินค้าลอกเลียนแบบ ขายในราคาต่าง เทคโนโลยีการผลิตการควบคุมคุณภาพของสินค้าเมื่อเทียบกับสหรัฐอเมริกาก็ยังถือว่าห่างไกลกันมาก ส่วนแบ่งการตลาดก็ยังถือว่าน้อยมากด้วยเช่นกัน ในขณะที่สหรัฐอเมริกากลับกำลังหลงลาพองในความเป็นผู้นำของตัวเองภายหลังได้รับชัยชนะในสงครามโลกครั้งที่ 2 เพราะในปี ค.ศ. 1964 สหรัฐอเมริกาได้เปรียบดุลการค้ากับประเทศอื่นๆทั่วโลกเฉพาะสินค้าอุตสาหกรรมมากถึง 6 พันล้านดอลลาร์ แต่ในปี ค.ศ.1983 สหรัฐอเมริกากลับขาดดุลการค้าในหมวดสินค้าอุตสาหกรรมถึง 123 พันล้านดอลลาร์ โดยตลอด 20 ปีนั้นอัตราการเจริญเติบโตสินค้าอุตสาหกรรมโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 35 เทียบกับอัตราร้อยละ 60 ของประเทศในทวีปยุโรป และอัตราร้อยละ 120 ของประเทศญี่ปุ่น

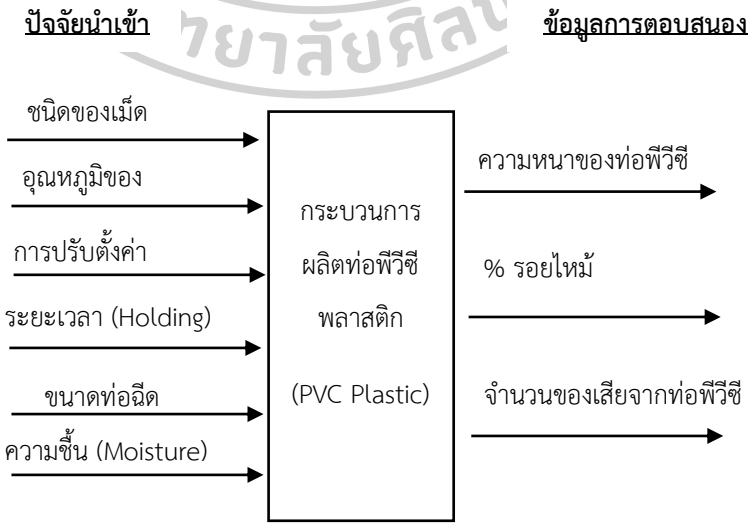
ขณะที่ผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมของสหรัฐอเมริกาไม่ได้เน้นความสำคัญในการประยุกต์ใช้หลักสถิติในการผลิตและควบคุมคุณภาพสินค้า และนับวันก็น้อยลงเรื่อยๆ และการดูแลและควบคุมคุณภาพของสินค้าก็อยู่ในลักษณะที่เรียกว่าฉาบฉวยมากขึ้นๆ ในขณะที่บรรดาผู้นำด้านอุตสาหกรรมของญี่ปุ่น กลับมองเห็นความจำเป็นและความสำคัญในวิธีคิดและแนวทางที่ทั้ง Edwards W. Deming และ Joseph M. Juran ได้ถ่ายทอดให้ จนกระทั่งในช่วง ปี ค.ศ. 1970 - 1980 ญี่ปุ่นได้

ก้าวขึ้นมาเป็นคู่แข่งสำคัญของสหรัฐอเมริกาในการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมที่เกรดสูง คุณภาพดี แต่ราคาต่ำ จนทำให้อุตสาหกรรมหลายสาขาในสหรัฐอเมริกาต้องปิดตัวลง เพราะไม่สามารถแข่งขันได้

ผู้นำด้านอุตสาหกรรมในญี่ปุ่นเอาจริงเอาจังในการประยุกต์ใช้หลักสถิติในการควบคุมคุณภาพสินค้า การใช้หลักการออกแบบการทดลองในการควบคุมการผลิตสินค้า และยึดถือปฏิบัติต่อเนื่องและมีการพัฒนาจนนำหลักดังกล่าวไปสู่พนักงานทุกระดับ ปลูกฝังให้มีจิตสำนึกในด้านคุณภาพ โดยเฉพาะพนักงานฝ่ายผลิตที่เป็นคนลงมือผลิตสินค้าเอง จนเป็นที่กล่าวถึงกันมาจนทุกวันนี้ ถึงแม้ในสหรัฐอเมริกาจะมีการประยุกต์ใช้หลักการดังกล่าวมาก่อนแต่ก็ขาดความจริงจังและความต่อเนื่องหลักการหลายอย่างไม่อาจลงไปถึงพนักงานระดับล่างที่เป็นคนลงมือผลิตสินค้า

2.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE)

ฉลอง สีแก้วสิ่ว (2552) [1] กล่าวว่าการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)มีจุดประสงค์ที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าปัจจัย (Factors) ของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Response) ของกระบวนการนั้น กระบวนการ (Process) คือการทำงานรวมกันผสมผสานกันโดยใช้หลักของ 5M1E ประกอบไปด้วย 1.เครื่องจักร (Machine) 2.วัตถุดิบ (Material) 3.มนุษย์ (Man) 4.กรรมวิธีการทำงาน (Methods) สภาพแวดล้อมในการทำงาน 5.(Environment) และ 6.กระบวนการวัดค่า (Measurement) เพื่อให้เกิดเป็นผลผลิตหรือการบริการ รูปต่อไปนี้เป็นตัวอย่างกระบวนการหนึ่งที่อยู่ในหมวดการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม เพื่อชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ของปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง



ภาพที่ 3 ตัวอย่างกระบวนการวิเคราะห์การผลิตท่อพีวีซีโดยใช้การออกแบบการทดลอง

จากภาพที่ 3 แสดงถึงปัจจัยกระบวนการ และตัวแปรที่ตอบสนองในการผลิตท่อพีวีซี ในกระบวนการผลิตแต่ละกระบวนการอาจมีปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตมากมาย บางปัจจัยเราไม่สามารถควบคุมได้ถึงแม้จะมีผลกับผลกระทบต่อกระบวนการ เราก็จำเป็นต้องปล่อยให้เป็นไปตามธรรมชาติ ในการออกแบบการทดลองยกปัจจัยนั้นว่า Noise แต่ตัวแปรบางตัวที่มีผลต่อกระบวนการมากกว่า Noise การออกแบบการทดลองเรียกปัจจัยเล่านั้นว่า Key Process Input Variable: KPIV ปัจจัยนี้คือปัจจัยที่เราจะต้องทำการลดให้มีผลเสียต่อกระบวนการน้อยที่สุด ในขณะเดียวกันการเราจะรู้ประสิทธิภาพของการทดลองด้วยตัวชี้วัดเช่นเดียวกับปัจจัยที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัวชี้วัดในการทดลองอาจมีมากกว่า 1 ค่าได้ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) คือการออกแบบการทดลอง ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาตรวจสอบค่าระดับปัจจัย ตลอดจนตัวแปรใดที่มีผลต่อสิ่งสำคัญในการผลิตพลาสติก และผลิตภัณฑ์ที่ได้มาโดยมีเป้าหมายดังนี้

1. การยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือการพิสูจน์ข้อเท็จจริง ผ่านการวิจัยหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

2. การค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือการศึกษาอิทธิพลของเงื่อนไงใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

2.2.1 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

2.2.1.1 การทำซ้ำ (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ ประการแรกคือ การทำซ้ำจะทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ซึ่งเป็นหน่วยวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่าความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในทางด้านเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองคือ ถ้ามีค่าเฉลี่ยได้ถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลองทำซ้ำจะทำให้สามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบ

2.2.1.2 การสุ่ม (Randomization) หมายถึง ในการทดลองนี้ ตัวแปรที่จะให้ข้อมูลจะเปฌนตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายเป็นแบบอิสระ การสุ่มจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริงและสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะเกิดขึ้นในการทดลองได้

2.2.1.3 บล็อกกิ้ง (Blocking) คือ การเพิ่มความเที่ยงตรงให้กับการทดลองโดยใช้เทคนิคต่างๆ ให้แก่การทำการทดลองบล็อกกิ้งอันหนึ่ง ซึ่งจะพูดถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทำการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆภายในแต่ละบล็อกจะเกิดจากการ Blocking

2.2.2 ส่วนประกอบของการออกแบบการทดลอง

2.2.2.1 ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ เป็นวิธีปฏิบัติในการทำการทดลองเพื่อนำผลจากการทดลองมาเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์

2.2.2.2 หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นมาตรฐานหรือหน่วยที่ใช้วัดอิทธิพลของ ทรีทเมนต์ (Treatment) ในคำจัดความ หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งของการทดลองซึ่งได้รับจาก ทรีทเมนต์เดียวกัน ในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่งหน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัดค่าที่ได้อาจผันแปรในการทดลองแต่ละครั้งแม้จะใช้สิ่ง มีแนวทางการทดลองที่เหมือนกันก็ตาม ดังนั้นจึงต้องให้คำจำกัดความที่ชัดเจนของหน่วยการทดลองแต่ละครั้ง

2.2.2.3 ปัจจัย (Factor) คือ ตัวแปรอิสระหรือ กลุ่มของทรีทเมนต์ที่มีความเกี่ยวข้องทั่งนี้ปัจจัยเหล่านี้สามารถเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพหรือปริมาณก็ได้ และยังสามารถแบ่งงานเป็นปัจจัยที่ควบคุมด้ หมายถึง ปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าให้สอดคล้องกับงานวิจัย ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหดค่าปัจจัยได้แบ่งเป็น 2 แบบดังนี้

ก) ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) หรือ Background Variable เป็นตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลอง แต่ไม่ใช่ปัจจัยที่เรากำลังทำการศึกษา ส่วนใหญ่มักเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม ในธรรมชาติ เช่น ลม ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิภายนอก เวลาและอุปกรณ์หรือระบบที่ยากแก่การควบคุม เป็นต้น

ข) Nuisance Variable คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่เราไม่ทราบมาก่อน เราสามารถกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม

2.2.2.4 ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรนี้เป็นค่าที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรต่อการทดลอง ซึ่งอาจจะวัดค่าได้มากกว่า 1 ตัวแปรก็ได้ ทั้งนี้ในการเลือกตัวแปรตาม ควรจะต้องพิจารณาถึง ความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงของตัวแปรและความเป็นไปได้ทั้งปฏิบัติ ส่วนการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาว่าค่าสังเกตที่ได้รับจากทรีทเมนต์หนึ่งๆควรมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งสมมติฐานความปกติ (Normality) เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง อาจจะใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเป็นแบบปกติ

2.2.3 รูปแบบของการออกแบบการทดลอง

2.2.3.1 การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) เป็นแบบการทดลองแบบสะดวก เหมาะกับการทดลองแบบนี้ที่ไม่สามารถแยกหน่วยการทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะต่างกันละแบบ อย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนทดลองนี้จะแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดของการทดลอง เนื่องมาจากผลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่น จึงเรียกข้อมูลนี้ว่า เป็นข้อมูลแบบแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification) วิธีการทดลองนี้ทำให้เห็นว่า เมื่อหน่วยของข้อมูลที่เก็บได้นั้นมีความแตกต่างซึ่งเกิดขึ้นจากทรีทเมนต์ ที่ต่างกันของแต่ละหน่วย ข้อมูลจากหน่วยการทดลองควรมีลักษณะที่มีความสม่ำเสมอและคล้ายคลึงกัน ตลอดจนมีความผันแปรน้อยที่สุดในระหว่างการทดลองหลักสำคัญของแผนการทดลองนี้คือ การจัดทรีทเมนต์ ให้กับหน่วยการทดลอง โดยไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

ข้อดี

1. เป็นแผนการทดลองที่จัดง่าย

2. ให้ค่าองศาแห่งความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Degree of Freedom for Error) สูงสุด

3. วิธีการวิเคราะห์ง่ายที่สุดเมื่อเทียบกับแผนการทดลองแบบอื่น

4. ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากันในแต่ละทรีทเมนต์ก็ไม่ทำให้การวิเคราะห์มีความซับซ้อน

ข้อเสีย

1. มีข้อจำกัดว่าจะใช้ได้อย่างเหมาะสมเมื่อมีจำนวนทรีทเมนต์น้อย หากมีทรีทเมนต์จำนวนมากแล้ว จำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้นอาจไม่สามารถกระทำได้

2. ใช้กับหน่วยทดลองที่มีความสม่ำเสมอ

3. ไม่สามารถตรวจสอบอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างปัจจัยหรือสิ่งที่เราสนใจในการทดลองได้

2.2.3.2 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB) การทดลองแบบสุ่มบล็อก เป็นวิธีของการจำแนกแบบสองทาง (Two-Way Classification) ซึ่งมักนำมาใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ทางแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) ในการออกแบบการทดลองนี้มี

หลักการคือ จัดหน่วยการทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันซึ่งเรียกว่า บล็อก (Block) ผลที่ได้คือความแปรปรวนระหว่างหน่วยในบล็อกเดียวกันจะมีค่าต่ำและให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ซึ่งทำให้สามารถแยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกของกำลังสอง ทั้งนี้เนื่องจากในบางการ ทดลองอาจประสบปัญหาด้านการขาดความสม่ำเสมอทำให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เพราะความผันแปรของข้อมูลจะไม่ได้ส่งผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองด้วยเช่นกัน ทำให้ผลรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้นและทำให้การทดลองมีความผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลที่เกิดจากผลอื่นที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด จะทำให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์เป็นผลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) เพียงอย่างเดียว

ข้อดี

1. ไม่มีข้อจากัดเกี่ยวกับจำนวนทรีทเมนต์หรือบล็อก

2. ถ้าหากจำเป็นที่จะต้องมีซ้ำสำหรับรีทเมนต์ใดก็อาจเพิ่มหน่วยทดลองเป็นสองหรือมากกว่านั้นในแต่ละบล็อก

3. กรณีที่ข้อมูลในบล็อกใดหรือทรีทเมนต์ใดใช้ไม่ได้หรือสูญหายไป สามารถละเว้นได้โดยไม่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณวิเคราะห์สำหรับส่วนข้อมูลที่เหลือ

ข้อเสีย

1. ถ้าหน่วยทดลองในแต่ละบล็อกมีความผันแปรมากจะทำให้ ความผันแปรที่เกิดขึ้นจากการทดลองย่อมมากด้วย ตามกรณีนี้มักเกิดขึ้นถ้าไม่สามารถควบคุมหน่วยทดลองภายในบล็อกให้สม่ำเสมอตลอดได้

2.2.3.3 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในกรณีที่มีปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุกๆ Treatment Combination ของปัจจัยทุกตัวที่ศึกษาจะถูกพิจารณาไปพร้อมๆกัน ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักคือ ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหรือที่เรียกว่า “อันตรกิริยา” (Interactions) เช่น กรณีที่ศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัย A1 A2 และ A3 ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้ 3 ประเภท คือ 1. ผลกระทบหลักหรือผลกระทบปัจจัยเดี่ยว (Main Effect) คือ ผลกระทบกรณีที่สนใจมาพิจารณาปัจจัยเดี่ยว ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัย A1 ผลกระทบของปัจจัย A2 และผลกระทบของปัจจัย A3 2.

ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-Factor or 2 Ways Interactions) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ (ครั้งละ 2 ปัจจัย) ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) A1A2 A1A3 และ A2A3 3.ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (Three-Factor or 3-Ways Interactions) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยสามปัจจัยพร้อมกันในที่นี้ ได้แก่ ผลกระทบร่วม A1A2A3 อันตรกิริยา (Interactions) คือ “ความล้มเหลวของผลต่างของค่าตอบสนอง (Y) ที่จะมีค่าต่างเท่ากันเมื่อผู้ทดลองทำการเปลี่ยนค่าระดับของปัจจัยที่หนึ่ง (จากระดับที่ 1 ไปสู่ระดับที่ 2 เป็นต้น) ภายใต้แต่ละระดับของปัจจัยที่สอง”

ข้อดี

1. ผู้ทดลองสามารถศึกษาผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effects) และผลกระทบร่วมของปัจจัยหรืออันตรกิริยาระหว่างปัจจัยได้พร้อมกันในการทดลอง

2. กรณีที่ไม่พบผลกระทบร่วม ผู้ทดลองสามารถใช้ผลยืนยันได้ว่าในการทดลองมีแต่ปัจจัยหลักหรือผลกระทบหลักเท่านั้นที่มีผล เมื่อทดลองครั้งต่อไปจะสามารถลดจำนวนการทดลองลงโดยใช้วิธีการทดลองทีละปัจจัย (One-Factor at a Time) ได้

3. กรณีที่พบผลกระทบร่วม (Interactions) ก็จะทำให้ผู้ทดลองสามารถทราบถึงรูปแบบอิทธิพลของผลกระทบนั้น

ข้อเสีย

1. เนื่องจากมี Treatment Combination จึงต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้น ทำให้อาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยทดลอง

2. ถ้าจำนวนปัจจัยมีมากขนาดของการทดลองจะใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูง และการหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก นอกจากแบบการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น วิธีการออกแบบการทดลองนั้นยังคงมีอีกหลายวิธี ได้แก่ การทดลองเชิงเปรียบเทียบแบบง่าย การทดลองปัจจัยเดียวการออกแบบบล็อกสุ่มการออกแบบลาตินสแควร์การบล็อก และการคอนฟาวด์ในการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ การทดลองเชิงแฟคทอเรียลกับปัจจัยแบบสุ่มการออกแบบ Nested การออกแบบ Split Plot การออกแบบการทดลองสำหรับฟิตพื้นผิวผลตอบการออกแบบการทดลองทากูชิ เป็นต้น

2.2.4 ขั้นตอนการทำการออกแบบการทดลอง

ระยะการออกแบบแผนการทดลอง (Experimental Design Phase) สามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วงระยะดังนี้

2.2.4.1 การวางแผนการทดลอง (Planning Phase) มีขั้นตอนดังนี้

ก) จัดตั้งทีมผู้รับผิดชอบ

ข) วิเคราะห์สภาพปัจจุบันของปัญหาและนิยามปัญหา

ค) กำหนดวัตถุประสงค์ในการทำการทดลอง

ง) ระบุตัวแปรตอบสนอง ตัวแปรปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

จ) กำหนดจำนวนระดับของปัจจัยที่ศึกษา - กำหนดวิธีการวัดค่า (เก็บรวบรวมข้อมูล)

2.2.4.2 การออกแบบการทดลอง (Design Phase) มีขั้นตอนดังนี้

ก) เลือกรูปแบบการทดลองที่เหมาะสม

ข) กำหนดช่วง/ค่าเริ่มต้น สำหรับตัวแปรที่ควบคุมได้ในการทดลอง

2.2.4.3 ทำการทดลอง (Conducting Phase) มีขั้นตอนดังนี้

ก) เตรียมการทดลอง

ข) ทำการทดลองตามที่วางแผนไว้ โดยคำนึงถึงหลักการ 3R's ได้แก่ ทดลองอย่างสุ่ม (Randomization) ทำการทดลองซ้ำ (Replication) และ พยายามลดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (Reduction of Error)

ค) ทำการทดสอบและตรวจสอบข้อมูลเพื่อความชัดเจนถูกต้อง(Precision of Data)

2.2.4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง (Analysis Phase)

ก) ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการทดสอบสมมติฐาน

ข) ชี้บ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าตอบสนอง (สามารถอธิบายต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองได้)

ค) กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อการปรับปรุงกระบวนการ

ง) ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Runs) เพื่อสนับสนุนค่าพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดไว้ว่าเหมาะสมจริง เนื่องจากในการทำการทดลองยังมีอิทธิพลของกลุ่มปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ซึ่งไม่ได้ถูกนำมาพิจารณากำหนดค่าด้วย

2.2.5 ประโยชน์ของการออกแบบการทดลองที่ประยุกต์ใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิต

2.2.5.1 ปรับปรุงผลที่ได้จากกระบวนการผลิต

2.2.5.2 ลดการเปลี่ยนแปลงความแปรปรวนของผลลัพธ์ ทำให้ผลลัพธ์ใกล้ค่าเป้าหมายหรือตรงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด ซึ่งจะเป็นผลดีในการแข่งขันทางการผลิต

2.2.5.3 ลดเวลาในการพัฒนากระบวนการหรือระบบนั้นๆ (ยกเลิกการทดลองแบบลองถูก-ลองผิด)

2.2.5.4 ลดค่าใช้จ่ายโดยรวม

2.2.6 การประยุกต์ใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรม

2.2.6.1 นำไปช่วยในการประเมินผล และเปรียบเทียบเลือกโครงร่างตัวแบบพื้นฐาน

2.2.6.2 นำไปประเมินการเลือกหรือเปลี่ยนวัสดุต่างๆที่ใช้

2.2.6.3 นำไปช่วยในการกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการให้มีคุณภาพดีภายใต้สภาวะต่างๆที่กำหนด ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมหรือเงื่อนไขประกอบอื่นๆ (Robustness)

2.2.6.4 นำไปใช้ในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เป็นกุญแจตัวสำคัญของผลิตภัณฑ์ หรือมีผลกระทบต่อการทำงานของผลิตภัณฑ์

2.3 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล

2.3.1 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ได้แก่

2.3.1.1 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัยเป็นการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลชนิดที่ง่ายที่สุด จะเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ปัจจัยเช่น ปัจจัย A1 และปัจจัย A2 โดยปัจจัย A1 จะประกอบด้วย A1 ระดับส่วน ปัจจัย A2 จะประกอบด้วย A2 ระดับ ซึ่งในแต่ละการทำซ้ำของการทดลองจะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ A1 x A2 การทดลองและโดยปกติจะมีจำนวนเรพลิเคตทั้งหมด n ครั้ง

2.3.1.2 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองที่ใช้ในกรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัยซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิภายในการเริ่มหลอมพลาสติก อุณหภูมิการหลอมเหลวพลาสติก หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร ชนิดพลาสติก คนงานปรับอุณหภูมิการหลอมเหลวพลาสติก และใน 2 ระดับที่ กล่าวถึงนี้จะแทนด้วยระดับสูงและค่าต่อของปัจจัยหนึ่ง ๆ ใน 1 การทำซ้ำที่บริบูรณ์ของการออกแบบเช่นนี้ จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น 2^kข้อมูลการออกแบบการทดลองแบบนี้มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรก

เมื่อมีปัจจัยจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ โดยปกติในการออกแบบจะแทนระดับสูงด้วยเครื่องหมาย “+” และระดับต่ำด้วยเครื่องหมาย “-”

2.3.1.3 การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล แบบ 2 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบเป็นการออกแบบการทดลองที่ผู้ทดลองสามารถละเลยอันตรกิริยาขั้นสูงบ้างตัวได้ เนื่องจากถ้าการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แบบเต็มมีจำนวนปัจจัยมากจำนวนการทดลองอาจจะเพิ่มขึ้นมากเกินกว่าทรัพยากรที่มีอยู่จะรองรับได้ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้ เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่างครบกรณี การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลจึงถูกนำมาใช้ในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนองกล่าวคือ ในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่กำลังอยู่ในความสนใจของผู้ทดลอง จึงใช้การออกแบบเช่นนี้เพื่อค้นหาว่ามีปัจจัยใดบ้างเป็นที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้ส่วนมากจะใช้ในตอนเริ่มต้นการทดลองเนื่องจากโดยมากแล้ว ในขณะนั้นจะมีปัจจัยที่มีแนวโน้มว่าเป็นปัจจัยที่มีผลน้อยหรือไม่มีผลต่อผลตอบที่กำลังพิจารณาอยู่ หลังจากทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว ปัจจัยที่มีผลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อไป

2.3.1.4 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟกทรอเรียล 3^k หมายถึงการออกแบบเชิงแฟกทรอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ และระดับทั้งสามของแต่ ละปัจจัยมีค่าเป็นต่อค่าปานกลางและสูง สัญญาลักษณ์ใช้แทนระดับทั้งสามเป็นตัวเลข -1, 0 และ1 ตามลำดับ สังเกตว่าการทดลองแบบนี้จะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบจาลอง ซึ่งทำให้ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบที่สนใจและปัจจัยที่สนใจในลักษณะที่เป็นสมการแบบ ควอตราติกได การออกแบบ 3^k จะเหมาะสมเมื่อผู้ทดลองกำลังสนใจกับผลตอบที่มีลักษณะเป็นส่วน โค้งแต่การออกแบบนี้ไม่ได้เป็นการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ แบบพหุนามกำลังสอง โดยการออกแบบการทดลองที่เป็นการเลือกที่ดีกว่า

2.4 ความหมายและหลักการ 2 ระดับ k ปัจจัย

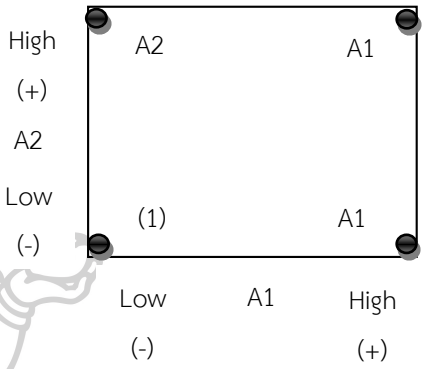
2 ระดับ ถือได้ว่าเป็นรูปแบบการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้เป็นอย่างมากและก็มีประสิทธิภาพมากทีเดียว และเป็นการออกแบบที่ให้จานวน Run น้อยกว่าวิธีอื่นๆเมื่อต้องใช้ Full

Factorial Design เนื่องจากกำหนดให้แต่ละ Factor มีเพียง 2 ค่า (Level) เท่านั้น ดังนั้นเราจึงต้องออกแบบ 2^k ภายใต้สมมติฐานที่ว่า Factor ทั้งหมดมีผลกระทบต่อ Response เป็นแบบเชิงเส้นตลอดย่านของค่า ต่าสุดถึงสูงสุดที่ออกแบบไว้

2.4.1 การวิเคราะห์ 2 ระดับ k ปัจจัย

ฉลอง สีแก้วสิ่ว (2552) [1] กล่าวว่าเพื่อช่วยให้มองเห็นภาพ จึงใช้แผนภาพและตารางช่วยเพื่อแสดงให้เห็นว่าแต่ละ Factor มีค่าอย่างไร Treatment ทั้งหมดมีอะไรบ้าง สมมติว่าตัวปัจจัยในการทดลองครั้งนี้ คือ A1 และ A2 ดังรูปที่ 4

ปัจจัย	A1	A2
(1)	-	-
A1	+	-
A2	-	+
A1A2	+	+



ภาพที่ 4 การออกแบบ 2 ระดับ k ปัจจัย

จากรูปที่ 4 กรอบสี่เหลี่ยมแสดงให้เห็นว่าแต่ละปัจจัยอยู่ ณ ตำแหน่งใด ซึ่งเรียกแผนภาพนี้ว่า Geometric Notation และตารางแสดงให้เห็นในความหมายเดียวกันในช่องของปัจจัยนั้นแต่ละค่าของ A1 และ A2 รวมทั้งหมด 4 ลักษณะที่แตกต่างกัน (Combination) สามารถเขียนในเอกสารแทนได้ดังในตาราง ช่องของปัจจัยทั้ง A1 และ A2 เราเรียกว่า Main Effect

2.5 การวิเคราะห์การออกแบบแบบเต็มรูปแบบ

ฉลอง สีแก้วสิ่ว (2552) [1] กล่าวว่าการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) หมายถึงวิธีการทดลองที่ผู้ทำการทดลองจะต้องทาการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย และจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองทุกกรณี ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กรณีผลกระทบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการออกแบบแบบเต็มรูปแบบ

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

2.5.1 2-Level Full Factorial Design

ฉลอง สีแก้วสิ่ว (2552) [1] กล่าวว่า 2-Level การออกแบบแบบเต็มรูปแบบ หมายถึงเมื่อใช้การออกแบบแบบเต็มรูปแบบ โดยแต่ละปัจจัยเปลี่ยนแปลงได้ 2 ระดับ เราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^k โดยที่ k คือจำนวนปัจจัยหรือ Main Effect ตัวอย่างที่ 1 ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 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 5

ตารางที่ 5 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 5 หมายความว่าผู้ทำการทดลองจะต้องปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยทั้งสามคือ A1 A2 และ A3 ให้เป็นไปตามตารางที่ 5 โดย 1 รอบการทดลอง จะต้องมีการบันทึกค่าตัวแปรตอบสนอง 1 ครั้ง แล้วค่อยปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยให้เป็นตามลำดับที่ 2 และวัดค่าตัวแปรตอบสนอง อีกครั้ง ทำเช่นนี้ไปจนกว่าจะครบทุกลำดับ

ข้อดีของการออกแบบแบบเต็มรูปแบบ

1. ไม่มีการเกิด Alias

2. สามารถวิเคราะห์ Main Effect และ Interaction ได้ทั้งหมด

ข้อเสียของการออกแบบแบบเต็มรูปแบบ

1. ต้องทำการทดลองให้ครบทุกลำดับ ทำให้ต้องสิ้นเปลืองทรัพยากรมากในการใช้เวลา

2. เมื่อจำนวนลำดับมากๆ อาจจะประสบปัญหาในการป้องกันความคลาดเคลื่อนของการปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยใดๆได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สิทธิชัย สุรัตนชัยการ และอรรถกร เก่งพล. (2555).[2] ทำการศึกษากระบวนการผลิตยาเพื่อทำการเพิ่มประสิทธิภาพ ลดเวลาทำงาน เนื่องจากในปัจจุบันได้พบว่ากระบวนการผลิตยาได้มีการเปิดให้มีการทำงานล่วงเวลาเพื่อทำการผลิตทุกวัน ซึ่งสาเหตุมาจากเครื่องบรรจุไม่สามารถเพิ่มความเร็วได้ เพราะจะทำให้ยาเกิดฟองล้นขวดออกมา งานวิจัยนี้จึงได้นำการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (DOE) โดยใช้การทดลองแบบ2^kฟังชั่นแนล แฟคทอเรียล ดีไซด์เพื่อหาปัจจัยหลักที่ทำให้ยาเกิดฟองขึ้นในขณะบรรจุ ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ขนาดของรูของหัวบรรจุยามีขนาดไม่เหมาะสม หลังจากได้ทำการดัดแปลงเพิ่มขนาดของหัวบรรจุยาแล้วพบว่า เวลาที่ใช้ในการบรรจุยา 1 Lot ลดลง 11% ทำให้การเปิดการทำงานล่วงเวลา/วันลดลง 33% และ ส่งผลให้ต้นทุนค่าแรงช่วงทำงานล่วงเวลา/วัน ลดลง 33%

ปฐมพงษ หอมศรี และจักรพรรณ คงธน. (2556) [3] ลดปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตในงานฉีดพลาสติกแบบ Injection Molding ทำการคัดเลือกปัจจัย เพื่อนำปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญมาก 3 อันดับได้แก่ แรงดันย้ำ (Holding pressure), อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) และ รอบการทำงาน (Cycle Time) แล้วจึงนำปัจจัยที่ได้มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยเหล่านั้นโดยใช้การออกแบบ 2^k Factorial Design โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวแล้วดำเนินการผลิตพบว่าสามารถลดปริมาณของเสียได้จากเดิมร้อยละ 39.05 ลดลงมาเป็นร้อยละ 2.78 จากการตั้งเป้าหมายในการลดของเสียลง 50% จากผลที่ได้เนื่องมาจากในปัจจัยเรื่อง Mold Temperature การทดลองใช้ค่า 45°C มีค่าสูงจากเดิมส่งผลให้การเกิดโครงสร้างผลึกมีโอกาสในการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้นส่งผลให้ขนาดลดลง ในส่วนปัจจัย

เรื่อง Cycle Time ใช้ค่า 32 วินาทีซึ่งมีค่าลดลง ทำให้ชิ้นงานสามารถหดตัวได้เพิ่มขึ้นและปัจจัยเรื่อง Holding Pressure ใช้ค่า 10 MPa

ดุษฎี บุญธรรม วาทิตวงษ์ดอกไม้ และพงศ์เทพ กุลชาติชัย. (2556). [4] เพื่อประเมินวิธีการตัดชิ้นงานที่เหมาะสม ในกระบวนการตัดชิ้นงาน จึงได้ทำการออกแบบการทดลอง โดยกำหนดปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ความเร็วในการตัดชิ้นงาน และความถี่ในการสุ่มตรวจวัดขนาดชิ้นงาน โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยให้ความสำคัญเวลามาตราฐานอยู่ที่ 40% และประสิทธิภาพในการผลิตที่ 60% ทำให้เวลามาตราฐานในการตัดชิ้นงาน ลดลง 8.1% คือ จาก 0.295 ชิ้นงานต่อนาที เป็น 0.271 ชิ้นต่อนาที และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต 5.8% จาก 76.54 เป็น 81.94%

จิตรลดา และ นันทชัย (2557) [5] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ด้านใน ที่ใช้บรรจุหลอดไฟฟลูออเรสเซนชนิดหลอดไฟตรงเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีปริมาณของเสีย เฉลี่ยคิดเป็น 8.43% ของบรรจุภัณฑ์ทั้งหมด ผู้วิจัยได้ใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) มาลดของเสีย โดยผู้วิจัยได้ใช้แผนผังก้างปลามาช่วยในการวิเคราะห์หาปัจจัย โดยสามารถระบุปัจจัย ได้ทั้งหมด 5 ปัจจัยได้แก่ 1. ชนิดของลอนกระดาษลูกฟูก 2. การเก็บรักษากระดาษลูกฟูก 3. อุณหภูมิ หม้อกาว 4. แรงดันลมหม้อกาวและ5. ระยะการเปลี่ยนไส้กรอกหม้อกาว จากนั้นใช้การทดลองเชิง แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (2^k Full Factorial Experiment) เพื่อกรองปัจจัยที่มีผลต่อการ เกิดของเสีย ผลการทดลองพบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อการเกิดของเสียที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 แต่ 2 ปัจจัย แรกมีเพียง 2 ระดับเท่านั้น จึงหาระดับที่เหมาะสมที่สุดของ 3 ปัจจัยด้วยการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ 3 ระดับ (3^k Full Factorial Experiment) ผลการทดลองพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่สุดของทั้ง 3 ปัจจัย คือ 1. อุณหภูมิหม้อกาวที่ระดับ 170 ºC 2. แรงดันลมหม้อกาวที่ระดับ 1.2 บาร์ และ3.ระยะการเปลี่ยนไส้กรองที่ 1 สัปดาห์ เมื่อนำระดับของปัจจัยดังกล่าวไปใช้ในการผลิตจริง ร่วมกับระดับ 2 ปัจจัยแรก คือ 1. ลมลูกฟูก F และ2. การเก็บรักษากระดาษลูกฟูกด้วยพลาสติกฟิล์ม พบว่าสามารถลดปัญหาของเสียเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ลงจากเดิมร้อยละ 8.4 เหลือร้อยละ 1.8 คิดเป็น มูลค่าของเสียที่ลดลงประมาณ 9 ล้านบาทต่อปี

วุฒิพงษ์ (2558) [6] ได้ทำการศึกษาระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการอบขนมครัวซองไส้ถั่วแดง โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) มาลดเวลาในการอบขนมครัวซอง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบันพบว่าการผลิตขนมครัวซองใช้เวลาในการผลิตอยู่ที่ 6.40 นาทีซึ่งถือว่านานเกินไป เพื่อลดต้นทุนในการผลิตผู้วิจัยได้นำเอาปัจจัยต่างๆของเครื่องอบขนมครัว

ซองมาทำการวิเคราะห์ คือ 1. ค่าการปรับค่าอุณหภูมิในช่วงขาขึ้น (P) 2. ค่าการปรับค่าความเร็วในการเร่งอุณหภูมิจนถึงจุด Set Point (I) 3. ค่าการตอบสนองให้เข้าสู่จุด Set Point เร็วขึ้น (D) และ 4. ค่าที่ใช้ในการคำนวณค่าระยะเวลาในการทำงาน 1 รอบการทำงาน (CP) จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2^k (2^k Full Factorial Experiment) โดยใช้โปรแกรม MINITAB ในการสุ่มค่าการทดลองและวิเคราะห์ลการทดลอง เมื่อได้ค่าตอบสนองมาแล้วผู้วิจัยได้นำเอาค่าตอบสนองไปวิเคราะห์ต่อเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการผลิตขนมครัวซอง โดยค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ 1. ค่าในการปรับอุณหภูมิในช่วงขาขึ้น (P) เท่ากับ 7.6 หน่วย 2. ค่าการปรับความเร็วในการเร่งอุณหภูมิจนถึงจุด Set Point (I) เท่ากับ 220 หน่วย 3. ค่าการตอบสนองให้เข้าสู่จุด Set Point เร็วขึ้น (D) เท่ากับ 40 หน่วย และ4. ค่าที่ใช้ในการคำนวณค่าระยะเวลาในการทำงาน 1 รอบการทำงาน (CP) เท่ากับ 5 หน่วย จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์หลังปรับปรุงพบว่าลดเวลาในการผลิตลงไปถึง 54 วินาที โดยสามารถผลิตได้เพิ่มขึ้นถึง 17.85% ต่อวัน หรือ 18,720 บาทต่อวัน

ดนุสรณ์ และ พชร (2558) [7] ได้ทำการศึกค่าการขันแน่นรถของล้อรถยนต์โรงงานกรณีศึกษา โดยทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการขัน แน่นรถยนต์ที่มีการขันแน่นไม่ได้มาตรฐาน โดยมีล้อรถยนต์ที่มีการขันแน่นไม่ได้มาตรฐานมากถึง 67% ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบการทดลองแบบ 2 ระดับ (2^k Full Factorial Experiment) โดย แบ่งปัจจัยที่ส่งผลกับการขันแน่นออกเป็น 4 ปัจจัย คือ 1. ค่าการขันแน่นในระยะที่ 1 (Torque State 2) 2. ความเร็วรอบระยะที่ 1 (Speed State 2) 3. ค่าการขันแน่นในระยะที่ 2 (Torque State 3) และ4. ความเร็วรอบระยะที่ 2 (Speed State 3) โดยแบ่งระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ ระดับ “สูง” และ “ต่ำ' ” จากนั้นได้ใช้โปรแกรม MINITAB ในการสุ่มการทดลองโดยทดลองแบบทำซ้ำ 2 ครั้ง ทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการขันแน่นรถยนต์ด้วยวิธีการ Response Optimization เมื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์แล้ว พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการทำงานคือ 1. ค่าการขันแน่นใน ระยะที่ 1 (Torque State 2) เท่ากับ 90 Nm. 2. ค่าความเร็วรอบระยะที่ 1 (Speed State 2) เท่ากับ 80 rpm. 3. ค่าการขันแน่นในระยะที่ 2 (Torque State 3) เท่ากับ 115 Nm. และ4. ค่า ระยะความเร็วรอบระยะที่ 2 (Speed State 3) เท่ากับ 5 rpm. เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์มาแล้ว ผู้วิจัย ได้ทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์หลังทำการปรับปรุงอีกครั้งพบว่าปัญหาค่าการขันแน่นของล้อรถยนต์ ไม่ได้มาตรฐานลดลงเหลือ 0% (ไม่มีล้อรถยนต์ที่ไม่ผ่านการขันแน่น)

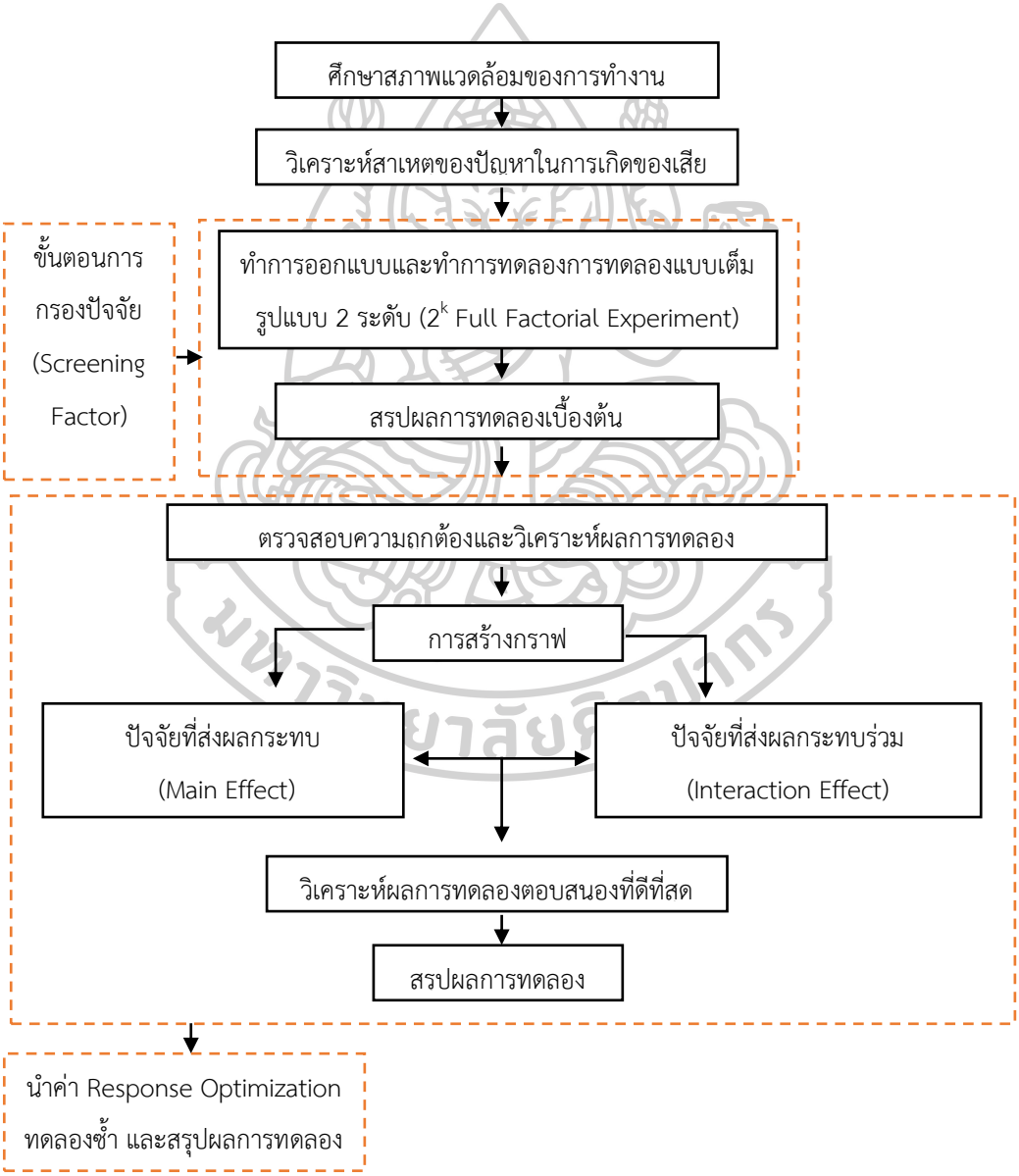
บุญชัย และ ณัฐธยาน์ (2559) [8] ได้ทำการลดของเสียจากกระบวนการบรรจุเกิดจากซองรั่วโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทรอเรียล 2^k ซึ่งวิเคราะห์พบว่า 4 ปัจจัยหลักได้แก่

ความเร็วรอบ อุณหภูมิ แรงกด และเวลาในซีล โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และทำการเก็บผลการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ได้ผลการทดลองว่าระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม คือ ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 157 องศาเซลเซียส แรงกด 6 bar และเวลาในการซีล 0.5 วินาที คิดเป็นมูลค่าของเสียที่เกิดจากอาการซองรั่ว ลดลงจากเดิม 855,571.72 บาท เหลือ 596,482.21 บาท คิดเป็นอัตราลดลงร้อยละ 30.29

บทที่ 3
วิธีดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินงานวิจัยโดยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment) ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์งานวิจัยคือ กำหนดปริมาณการใช้เม็ดพลาสติกที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต และลดจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดจากการใช้เม็ดพลาสติกโดยผู้วิจัยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยตามขั้นตอนดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

จากภาพที่ 5 แสดงขั้นตอนการออกแบบการทดลอง สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานได้เป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนแรกเป็นการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (2^k Full Factorial Design) เพื่อเป็นการกรองปัจจัยและจะไม่พิจารณาปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออก ส่วนที่ 2 เป็นขั้นตอนการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการผลิตท่อพีวีซี ซึ่งใช้วิธีการ Response Optimization ด้วยโปรแกรม MINITAB เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิต จากนั้นทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทำงานและทำการสรุปผลการทดลอง

3.2 ศึกษาสภาพการทำงาน

3.2.1 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

ตารางที่ 6 การเกิดปัญหาของเสีย

ปัญหาที่พบ	ปริมาณที่พบ (กก.)	สัดส่วนของเสีย%	% สะสม
รอยไหม้	4509	63	63
หัวบานผิดรูป	1826	25	88
ขนาดท่อไม่ได้มาตรฐาน	539	7	95
ท่อสั้น-ยาว	296	5	100

เนื่องจากปัญหาทั้งหมดเกิดในขั้นตอนการผลิต ผู้วิจัยจึงศึกษาการทำงานของกระบวนการผลิต โดยเริ่มจากการศึกษาเครื่องฉีดพลาสติกเป็นลำดับแรก

3.2.2 ศึกษาขั้นตอนการขึ้นรูป

ขั้นตอนการผลิตท่อพี่วีซี ขนาด ½ นิ้ว มีทั้งหมด ขั้นตอนสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการผลิตท่อพีวีซี ขนาด ½ นิ้ว

จากภาพที่ 6 สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนการขึ้นรูปท่อพี่วีซี สีฟ้า ½ นิ้ว ได้ดังนี้

3.2.2.1 การเตรียมส่วนผสม การจัดเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิตท่อน้ำดื่ม ใช้วัตถุดิบหลัก คือ พีวีซีเรซินที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว อยู่ในบรรจุภัณฑ์ขนาด 25 กิโลกรัม สามารถเทลงเครื่องผสมได้ทันทีพร้อมกับสารเติมแต่งตามสูตรการผลิต

ภาพที่ 7 การเตรียมส่วนผสม

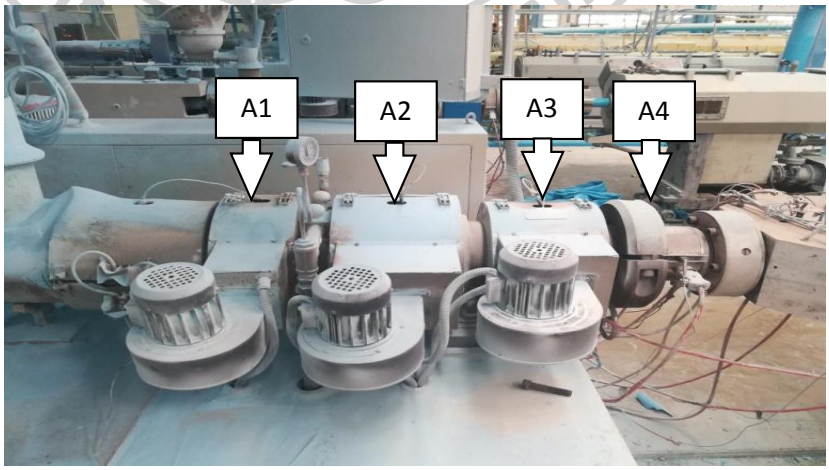
3.2.2.2 การผสมผงพีวีซี คือการนำพีวีซีเรซินกับสารเติมแต่งอื่นๆ มารวมกันและผสมให้เข้ากันโดยการให้วัตถุดิบเคลื่อนที่คลุกเค้ากันจนได้สภาพการผสมที่ต้องการ วัตถุดิบที่ผสมออกมาจะเรียกว่า “Dry Blend” ในการใช้งานเมื่อจัดเตรียมวัตถุดิบต่างๆ ผสมแล้วจะนำมาผสมให้เข้ากันด้วยถังผสมแบบร้อน ที่อุณหภูมิ 120 องศา ดังภาพที่ 8 ถังผสมแบบร้อนจะมีใบกวนอยู่ในถังผสม หมุนด้วยความเร็วรอบสูงทำให้วัตถุดิบเคลื่อนไหวเหมือนของเหลว ด้วยความเร็วรอบในการหมุน ทำให้วัตถุดิบที่อยู่ในถัง กระทบกับผนังของถังจะทำให้เกิดแรงเสียดสี จนเกิดเป็นความร้อนสูง หลังจากผสมเข้ากันแล้ว ระบบจะส่งวัตถุดิบไปยังถังผสมเย็นเพื่อลดอุณหภูมิก่อนนำเข้าสู่กระบวนการหลอมละลาย

ภาพที่ 8 การผสมผงพีวีซี

3.2.2.3 จัดเก็บวัตถุดิบเข้า SILO หลังจากจบกระบวนผสมแล้ว วัตถุดิบจะถูกส่งเข้า SILO เพื่อจัดเก็บรอส่งวัตถุดิบเข้าเครื่องจักรกระบวนการรีดขึ้นรูป (Extrusion) ดังภาพที่ 9 SILO จัดเก็บวัตถุดิบที่ผสมและหลอมละลายแล้ว

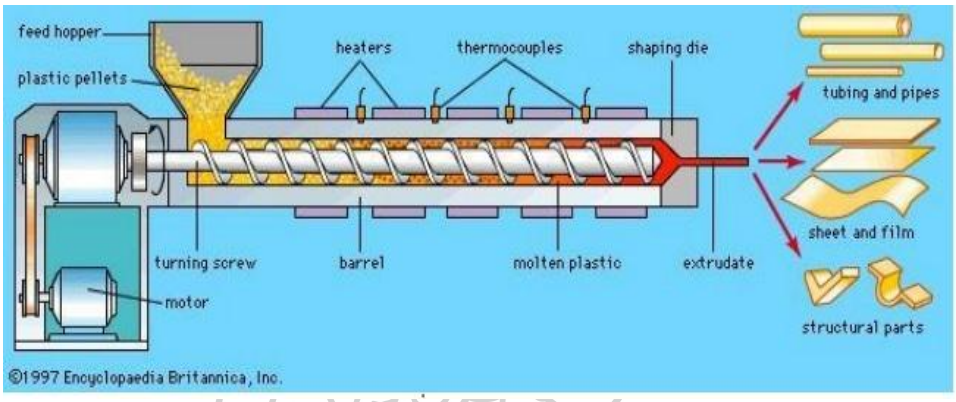
ภาพที่ 9 SILO จัดเก็บวัตถุดิบที่ผสมและหลอมละลายแล้ว

โดยแผ่นความร้อนจะติดตั้งรอบกระบอกสูบทั้งหมด 4 ส่วน โดยแบ่งออกเป็นส่วนที่ 1 คือ การให้ความร้อนในการอุ่นเม็ด สัญลักษณ์คือ A1 ส่วนที่ 2 คือ การให้ความร้อนในการเริ่มหลอมเม็ด สัญลักษณ์คือ A2 ส่วนที่ 3 คือ การให้ความร้อนในการหลอมเม็ด สัญลักษณ์คือ A3 และส่วนที่ 4 คือ การให้ความร้อนในการฉีดพลาสติก สัญลักษณ์คือ A4 ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 อุณหภูมิในแต่ละช่วงของชุดกระบอกฉีด

3.2.2.4 กระบวนการรีดขึ้นรูป (Extrusion) เป็นกระบวนการขึ้นรูปสำหรับ เครื่องอัดรีดพลาสติก โดยเม็ดพลาสติกจะเข้าสู่เครื่องทาง Hopper จากนั้นจะถูกหลอมภายในเครื่องอัดรีด (extruder) โดยอาศัยทั้งความร้อน แรงเฉือน และความดัน พลาสติกหลอมจะถูกดันออกสู่ที่บริเวณปลายเปิด (Die) เพื่อขึ้นรูปตามต้องการ พลาสติกหลอมที่ออกจากหน้า Die เรียกว่า extradite ในบางกระบวนการจะมีการให้ความเย็น (cooling) หลังจากพลาสติกออกจากหน้า Die แล้วเพื่อให้คงรูปตามที่ต้องการ ดังภาพที่ 11 กระบวนการอัดรีด และภาพที่ 12 การรีดขึ้นรูปท่อ



ภาพที่ 11 กระบวนการอัดรีด

ที่มา : บริษัท ซี.ซี.ที.กรุ๊ป (1997) [9]

ภาพที่ 12 การรีดขึ้นรูปท่อ

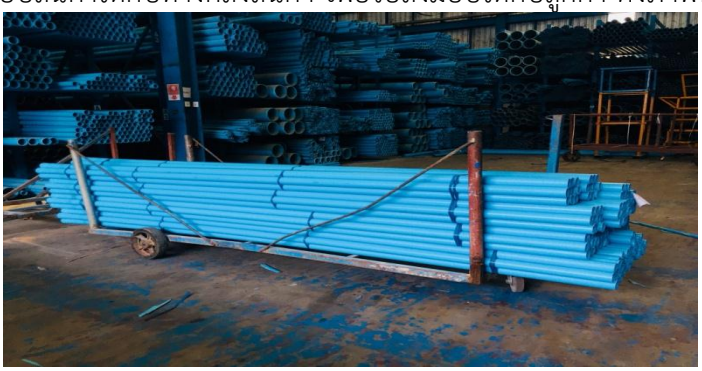
3.2.2.5 กระบวนการทำงานของเครื่องจักร ขั้นตอนนี้เป็นการทำงานของเครื่องจักร โดยเครื่องทำการดูดเม็ดมาจาก Hopper มาทางกระบอกสูบ จากนั้นจึงให้ความร้อนเข้าไปกับกระบอกสูบเพื่อทำการหลอมให้เม็ดพลาสติกเหลวก่อนขึ้นรูป เมื่อขึ้นรูปแล้วระบบหล่อเย็น (Cooling) ทำให้ชิ้นงานเย็นตัวก่อนที่จะตัดขนาดท่อพีวีซีให้ได้ตามมาตราฐาน

ภาพที่ 13 ระบบหล่อเย็น (Cooling)

3.2.2.6 หลังจากการรีดขึ้นรูป ชุดดึงตีนตะขาบจะทำการดึงท่อพลาสติกอย่างสม่ำเสมอ โดยวัดระยะแบบดิจิตอล ให้ได้ความยาวตามมาตรฐานก่อนตัด จากนั้นทำการมัดเพื่อส่งมอบเข้าคลังสินค้า ดังภาพที่ 14 มัดท่อ

ภาพที่ 14 มัดท่อ

3.2.2.7 สินค้าสำเร็จรูปสำหรับส่งมอบท่อพีวีซีที่ทำการมัดและเก็บรายละเอียดงานแล้ว ทางฝ่ายผลิตจะทำการส่งมอบสินค้าให้กับทางคลังสินค้า เพื่อรอส่งมอบให้กับลูกค้า ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 สินค้าสำเร็จรูปสำหรับส่งมอบ

3.2.2.8 การ Recycle ชิ้นงานไม่ผ่านเกณฑ์ ขั้นตอนนี้พนักงานฝ่ายปฏิบัติงานจะนำผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านไปบด จากนั้นนำไปทำเป็นส่วนผสมของผงพีวีซีเพื่อหลอมเป็นเม็ดพลาสติกอีกครั้ง

3.3 **การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา**

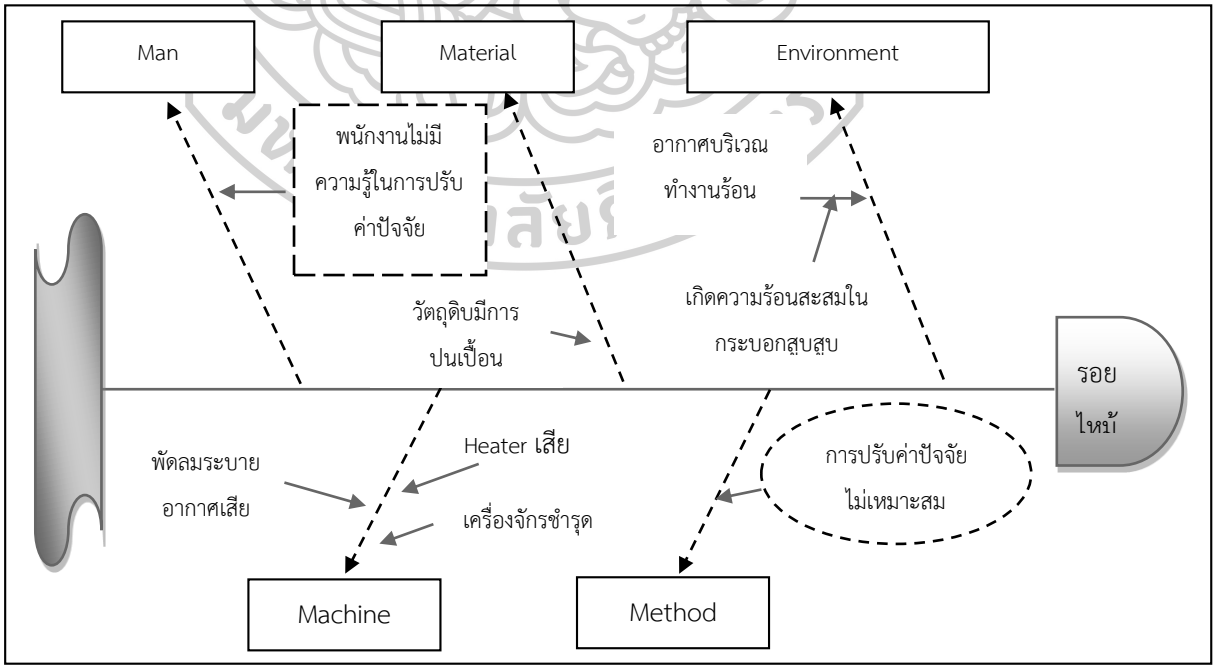
3.3.1 การวิเคราะห์ปัญหา

จากที่กล่าวมาในบทที่ 1 ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการผลิตท่อพี่วีซี ขนาด ½ นิ้ว มีการเกิดของเสียในการผลิตปริมาณมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อหาสาเหตุของการเกิดของเสีย จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าปัญหาที่เกิดมากที่สุดคือปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้ ผู้วิจัยจึงใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมที่เรียกว่าแผนผัง

ก้างปลา (Fishbone Diagram or Cause and Effect) มาช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้นเพื่อช่วยในการกำหนดปัจจัยที่สนใจพิจารณา

3.3.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อกำหนดเป็นปัจจัยหลัก

การวิเคราะห์ของเสียในการทดลองนั้น ผู้วิจัยนาหลักการ 4M1E มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยหลักการนี้ประกอบไปด้วย 1. Man 2. Material 3. Method 4. Machine และ 5. Environment จากนั้นศึกษาการทำงานของแต่ละกระบวนการเพื่อทำการระบุปัจจัยดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แผนภาพแสดงสาเหตุของปัญหา

จากภาพที่ 16 แสดงแผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่อาจส่งผลกระทบกับปัญหาของเสียทั้ง 2 ลักษณะ ผู้วิจัยจึงได้ระดมความคิดจากพนักงานที่มีประสบการณ์ในการทำงานจริง เพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่อาจส่งผลในแผนผังก้างปลา จากนั้นผู้วิจัยได้ใช้การวิเคราะห์ปัญหาจากหลักการ 3G โดย Tomozo (2558) [10] มาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหา หลักการนี้เป็นหลักการที่นำมาประยุกต์ใช้จากประเทศญี่ปุ่นในการวิเคราะห์ปัญหาประกอบไปด้วย 1.สถานที่จริง (Genba) 2. ชิ้นงานจริง (Genbutsu) 3.ข้อเท็จจริง (Genjitsu) ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ปัญหาตามหลักการดังกล่าวโดยเริ่มจากการวิเคราะห์การทำงานของพนักงานที่ผลิตสินค้า วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เครื่องจักรที่ทำการผลิต ขั้นตอนในการผลิต และชิ้นงานที่เกิดของเสียทั้ง 2 ลักษณะ เมื่อตรวจสอบทั้งหมดแล้วผู้วิจัยจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ตามข้อเท็จจริงเพื่อหาปัจจัยหลักที่จะใช้ในการออกแบบการทดลองดังตารางที่ 7

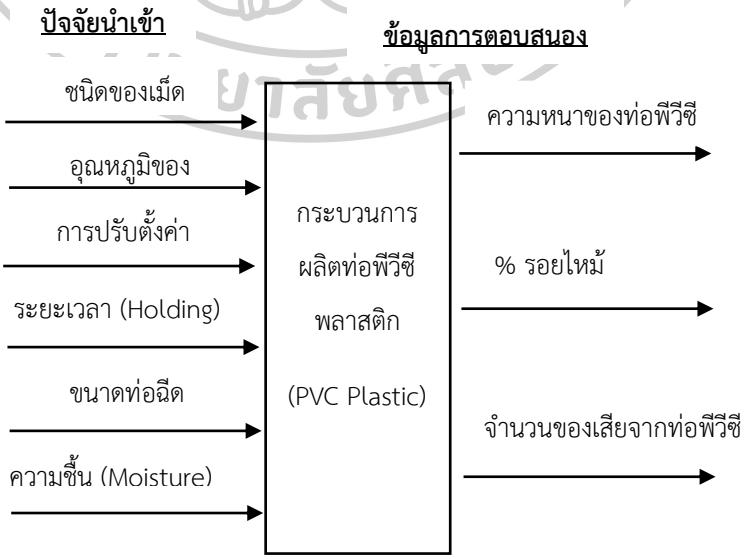
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์สาเหตุเพื่อนำมาทำเป็นปัจจัย

การวิเคราะห์ 4M1E ของปัญหาการเกิดของเสีย			
ปัจจัย	ปัญหา	ตรวจสอบ	ผล
Man	**พนักงานไม่มีความรู้เกี่ยวกับการปรับค่าปัจจัยของเครื่องจักรทำให้ค่าปัจจัยที่ใช้ไม่เหมาะสมจึงทำให้เกิดของเสียในปริมาณมาก**	**พบว่าในการทำงานนั้น พนักงานไม่สามารถ ระบุได้ว่าควรใช้ค่าปัจจัยใด เนื่องจากพนักงาน จะปรับค่าก็ต่อเมื่อเกิดของเสียแล้ว จึงทำให้ค่า ปัจจัยที่ใช้อยู่อาจไม่เหมาะสม ทำให้เกิดของ เสียเป็นประจำโดยขั้นตอนการปรับค่าปัจจัย**	**มีผลกับของเสียโดยตรง**
Material	วัตถุดิบที่นำมาใช้มี การปนเปื้อน	พบว่าวัตถุดิบที่นำมาใช้นั้นไม่มีสารปนเปื้อน เพราะในขั้นตอนการสั่งวัตถุดิบจะมีการ ตรวจสอบและทดลองส่วนผสมแบบ Lot by lot ทุกครั้ง โดยฝ่ายควบคุมคุณภาพ	ไม่มีผลกับของเสีย
Machine	เครื่องจักรมีการชำรุด เช่นแผ่นนำความร้อนเสียและพัดลมระบายอากาศของ แผ่นให้ความร้อนเสีย	พบว่าพนักงานมีการตรวจสอบเครื่องจักรใน ทุกๆ 2 ชั่วโมง โดยใบบันทึกการทำงานของ เครื่องจักร (Check sheet) เมื่อพบว่ามี อุปกรณ์ชำรุด พนักงานฝ่ายผลิตจะทำการแจ้ง ซ่อม และหยุดผลิตทันที เพื่อป้องกันไม่ให้เกิด ของเสียจากการผลิต	ไม่มีผลกับของเสีย
Method	**ไม่มีขั้นตอนในการ ปรับค่าปัจจัยของ เครื่องจักร**	**พบว่าค่าปัจจัยที่พนักงานฝ่ายผลิตใช้นั้น มีค่า ไม่คงที่ เนื่องจากพนักงานจะทำการปรับค่า ปัจจัยก็ต่อเมื่อมีของเสียเกิดขึ้นเท่านั้น โดย ค่าที่ปรับเกิดจากการเดาสุ่ม ทำให้ของเสียที่ เกิดขึ้นมีปริมาณมากเพราะค่าปัจจัยที่ใช้นั้นไม่เหมาะสมกับการทำงาน**	**มีผลกับของเสียโดยตรง**
Environment	บรรยากาศรอบๆ การทำงานมีอากาศร้อน	พบว่ามีอากาศร้อนจริงและทำให้กระบอกสูบ มีความร้อนสะสมจริง ทำให้เกิดปัญหาความร้อนสะสมและปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้ตามมา	ดำเนินการแก้ไขแล้ว

จากตารางที่ 7 พบว่าปัญหาที่มีผลกระทบกับของเสียอยู่ในส่วนของขั้นตอน คน (Man) คือ พบว่าในการทำงานนั้น พนักงานไม่สามารถ ระบุได้ว่าควรใช้ค่าปัจจัยใด เนื่องจากพนักงาน จะปรับค่าก็ต่อเมื่อเกิดของเสียแล้ว จึงทำให้ค่า ปัจจัยที่ใช้อยู่อาจไม่เหมาะสม ทำให้เกิดของ เสียเป็นประจำโดย ขั้นตอนการปรับค่าปัจจัย ปฏิบัติงาน (Method) คือการปรับค่าปัจจัยไม่เหมาะสมกับการทำงาน ทำให้เกิดของเสียทั้ง 2 ลักษณะ ผู้วิจัยจึงได้นำเอาค่าปัจจัยที่ใช้ในการตั้งค่าปัจจัยของเครื่องจักรที่ใช้ทำการผลิตมาทำการวิเคราะห์

ภาพที่ 17 การปรับค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวพีวีซี

เนื่องจากปัญหาทั้ง 2 ลักษณะมีความเกี่ยวข้องกับค่าปัจจัยในการผลิต ผู้วิจัยจึงเลือกปัจจัยที่จะนำมาทำการออกแบบการทดลองเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตทั้ง 4 ช่วงของการให้ความร้อนมาเป็นปัจจัยหลักในการทดลอง โดยวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ของระดับปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 กระบวนการวิเคราะห์การผลิตท่อพีวีซีโดยใช้การออกแบบการทดลอง

3.3.3 การกำหนดระดับปัจจัย

ผู้วิจัยได้ศึกษาอุณหภูมิการหลอมเหลวพีวีซี ซึ่งมาตราฐานการหลอมเหลวพีวีซี แบ่งเป็น 2 กลุ่ม

ตารางที่ 8 การปรับอุณหภูมิตามชนิดของพีวีซี

ลำดับ	ประเภทพีวีซี	อุณหภูมิ (°C)
1	ผลิตภัณฑ์ชนิดนิ่ม	120 – 170 °C
2	ผลิตภัณฑ์ชนิดแข็ง	170 - 210 °C

จากตารางที่ 8 บริษัทไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) [11] จะเห็นได้ว่าการแบ่งประเภทพีวีซีและอุณหภูมิ มีความต่างกันของระดับอุณหภูมิในแต่ละปัจจัยการหลอมเหลว จึงแบ่งปัจจัยหลักในการทำการทดลอง ซึ่งสามารถแบ่งระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือระดับ “สูง” และระดับ “ต่ำ” จากการทดลองของสูตรการผลิตท่อพีวีซี ขนาด ½ นิ้ว

ตารางที่ 9 เป็นการแบ่งระดับปัจจัย

Factor	สัญลักษณ์	Number of Factor		หน่วย
		ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)	
1. ความร้อนในการเริ่มอุ่นเม็ดพลาสติก	A1	160	170	°C
2. ความร้อนในการเริ่มหลอมเม็ดพลาสติก	A2	170	180	°C
3. อุณหภูมิในการหลอมเม็ดพลาสติก	A3	180	190	°C
4. อุณหภูมิในการฉีดพลาสติกเหลว	A4	190	200	°C

จากตารางที่ 9 เป็นการแบ่งระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานที่ใช้ในการทดลองดังนี้

3.3.4 การตั้งสมมติฐาน

สมมติฐานที่ 1 ค่าของการปรับอุณหภูมิในช่วงการอุ่นเม็ด (A1) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $\alpha i = 0$ $i = 1,2,\ldots,a$ H_1 : $\alpha i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 2 ค่าของการปรับอุณหภูมิในช่วงการเริ่มหลอมเม็ด (A2) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $\beta j = 0$ $j = 1,2,\ldots,b$ H_1: $\beta j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 3 ค่าของการปรับอุณหภูมิในช่วงการรักษาอุณหภูมิในการหลอมเม็ด (A3) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $\gamma k = 0$ k = 1,2,...,c H_1: $\gamma k \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ

สมมติฐานที่ 4 ค่าของการปรับอุณหภูมิในช่วงการเริ่มฉีด (A4) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $\delta l = 0$ l = 1,2,...,d H_1: $\delta l \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 5 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในช่วงการอุ่นเม็ด (A1) และการเริ่มหลอมเม็ด (A2) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $(\alpha\beta)$ i j = 0 H_1: $(\alpha\beta)$ i j $\neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 6 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในช่วงการอุ่นเม็ด (A1) และการรักษาอุณหภูมิของเม็ด (A3) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $(\alpha\gamma)$ i k = 0 H_1: $(\alpha\gamma)$ i k $\neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 7 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในช่วงการอุ่นเม็ด (A1) และการเริ่มฉีด (A4) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $(\alpha\delta)$i l = 0 H_1: $(\alpha\delta)$ i l $\neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 8 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในช่วงการเริ่มหลอมเม็ด (A2) และการรักษาอุณหภูมิของเม็ด (A3) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $(\beta\gamma)$ j k = 0 H_1: $(\beta\gamma)$ j k $\neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 9 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในช่วงการเริ่มหลอมเม็ด (A2) และการเริ่มฉีด (A4) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $(\beta\delta)$ j l = 0 H_1: $(\beta\delta)$ j l $\neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 10 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในช่วงการรักษาอุณหภูมิเม็ด (A3) และการเริ่มฉีด (A4) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $(\gamma\delta)$ k l = 0 H_1: $(\gamma\delta)$ k l $\neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 11 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในช่วงการอุ่นเม็ด (A1) และการเริ่มหลอมเม็ด (A2) และการรักษาอุณหภูมิเม็ด (A3) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0 : $(\alpha\beta\gamma)$ i j k = 0 H_1 : $(\alpha\beta\gamma)$ i j k $\neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 12 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในช่วงการอุ่นเม็ด (A1) และการเริ่มหลอมเม็ด (A2) และการเริ่มฉีดเม็ด (A4) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $(\alpha\beta\delta)_{i\,j\,l} = 0$ H_1: $(\alpha\beta\delta)_{i\,j\,l} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 13 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในช่วงการอุ่นเม็ด (A1) และการรักษาอุณหภูมิเม็ด (A3) และการเริ่มฉีดเม็ด (A4) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $(\alpha\gamma\delta)_{i\,k\,l} = 0$ H_1: $(\alpha\gamma\delta)_{i\,k\,l} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 14 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในช่วงการเริ่มหลอมเม็ด (A2) การรักษาอุณหภูมิเม็ด (A3) และการเริ่มฉีดเม็ด (A4) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $(\beta\gamma\delta)_{j\,k\,l} = 0$ H_1: $(\beta\gamma\delta)_{j\,k\,l} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 15 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในช่วงการอุ่นเม็ด (A1) การเริ่มหลอมเม็ด (A2) การรักษาอุณหภูมิเม็ด (A3) และการเริ่มฉีดเม็ด (A4) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

H_0: $(\alpha\beta\gamma\delta)_{i\,j\,k\,l} = 0$ H_1: $(\alpha\beta\gamma\delta)_{i\,j\,k\,l} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ

α คือ อุณหภูมิในการหลอมเม็ดพลาสติก

β คือ อุณหภูมิในการเริ่มหลอมเม็ดพลาสติก

γ คือ อุณหภูมิในการหลอมเม็ดพลาสติก

δ คือ อุณหภูมิในการฉีดพลาสติกเหลว

โดยที่ i j k และ l คือระดับปัจจัยของ α β γ และ δ ตามลำดับ และมีระดับดังนี้คือ i=1,2,...,a j=1,2,...,b k=1,2,...,c และ l=1,2,...,d

3.4 การออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่จะนำมาทำการทดลองจากปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (2^k Full Factorial Experiment) เพื่อกรองเอาปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลออก (Screen Factor) โดยระดับปัจจัย มี 2 ระดับ คือ “ต่ำ” และ “สูง”

จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการทำการทดลอง การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง (2 Replicate) โดยทำการทดลองแบบสุ่ม ตามข้อบังคับของการทดลอง

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยให้ผลตอบสนองของการทดลองเป็นสัดส่วนของเสียต่อปริมาณการผลิต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (α= 0.05) ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2 x 2 x 2 x 2 x 2 = 32 การทดลอง โดยใช้โปรแกรม MINITAB ในการสุ่มการทดลองดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ

ลำดับการทดลอง (Run Order)	ปัจจัย (Factor)				ผลตอบสนอง (Response)
	A1	A2	A3	A4	
1	170	170	190	200	
2	160	170	190	190	
3	160	170	190	200	
4	170	180	190	190	
5	160	170	180	190	
6	170	180	180	200	
7	160	180	180	190	
8	170	180	180	200	
9	170	180	180	190	
10	160	180	190	200	
11	170	170	180	190	
12	170	180	190	200	
13	160	180	190	200	
14	170	180	190	190	
15	160	180	190	190	
16	170	170	190	190	
17	170	170	180	190	
18	170	180	190	200	
19	170	170	180	200	
20	160	180	190	190	
21	160	170	180	200	
22	170	170	180	200	
23	160	170	190	200	
24	160	170	180	200	

ตารางที่ 10 แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (ต่อ)

ลำดับการทดลอง (Run Order)	ปัจจัย (Factor)				ผลตอบสนอง (Response)
	A1	A2	A3	A4	
25	160	180	180	190	
26	170	170	190	190	
27	160	170	180	190	
28	160	180	180	200	
29	170	170	190	200	
30	160	170	190	190	
31	160	180	180	200	
32	170	180	180	190	

3.5 ขั้นตอนการทำการทดลองการวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผลเบื้องต้น

เมื่อได้ผลการทดลองครบถ้วนแล้ว ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองไปวิเคราะห์และสรุปผลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากผลการดำเนินการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Full Factorial Design) ซึ่งใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการวิเคราะห์ผลดังนี้

3.5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

3.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ของลักษณะของเสียชิ้นงานมีรอยไหม้ จากนั้นจึงจะได้ข้อสรุปว่าปัจจัยใดที่มีอิทธิพลกับการเกิดของเสียลักษณะชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ

3.6 การวิเคราะห์ค่าตอบสนองที่ดีที่สุด

ขั้นตอนนี้เป็นการนำเอาค่าตอบสนอง ที่ได้จากการทำการทดลองมาวิเคราะห์หลักการ 3G และใช้หลักการ Response Optimization มาวิเคราะห์ในโปรแกรม MINITAB จากนั้นนำค่าที่วิเคราะห์ได้มาทำการทดลองใช้เพื่อยืนยันผลของการทดลองและประยุกต์ใช้ในการผลิตท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว

3.7 สรุปผลการทดลองและเสนอแนวทางการปรับปรุง

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนที่ 1 เป็นการค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้โดยการดำเนินการวิจัยสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้ คือ ศึกษาสภาพ

ปัญหาในปัจจุบันของการทำงาน และทำการศึกษาการทำงานของเครื่องจักร จากนั้นผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการผลิตเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดทั้ง 2 ลักษณะว่ามาจากสาเหตุใดเพื่อกำหนดเป็นปัจจัยที่จะใช้ในการทำการออกแบบการทดลอง โดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมที่เรียกว่าแผนผังก้างปลา มาช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุตามหลักการ 4M1E เมื่อได้ปัจจัยที่ต้องการแล้วผู้วิจัยได้ทำการกำหนดระดับปัจจัย จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ เพื่อกรองปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลกับของเสียออกและทำการสรุปผลการทดลอง ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ เพื่อให้ได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการผลิตท่อพี่วีซี สีฟ้า ½ นิ้ว มากที่สุด ผู้วิจัยจึงใช้หลักการ Response Optimization

จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายของการดำเนินงานวิจัยคือการสรุปผลการทดลอง โดยในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองและนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตท่อพี่วีซี สีฟ้า ½ นิ้ว

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผล

จากวิธีการดำเนินงานวิจัยในบทที่ 3 แสดงรายละเอียดของขั้นตอนงานวิจัยและการทดลอง ซึ่งเป็นการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ มีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง โดยผลิตภัณฑ์ที่ผู้วิจัยนำมาทำการทดลองคือท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว จากนั้นผู้วิจัยได้ทดลองและบันทึกผลการทดลองดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการทดลอง

ลำดับการทดลอง (Run Order)	ปัจจัย (Factor)				ผลตอบสนอง (Response)
	A1	A2	A3	A4	
1	170	170	190	200	0.42
2	160	170	190	190	0.31
3	160	170	190	200	0.29
4	170	180	190	190	0.43
5	160	170	180	190	0.23
6	170	180	180	200	0.37
7	160	180	180	190	0.32
8	170	180	180	200	0.41
9	170	180	180	190	0.37
10	160	180	190	200	0.31
11	170	170	180	190	0.47
12	170	180	190	200	0.48
13	160	180	190	200	0.33
14	170	180	190	190	0.40
15	160	180	190	190	0.27
16	170	170	190	190	0.42
17	170	170	180	190	0.49
18	170	180	190	200	0.46
19	170	170	180	200	0.43
20	160	180	190	190	0.28
21	160	170	180	200	0.34
22	170	170	180	200	0.45
23	160	170	190	200	0.31
24	160	170	180	200	0.33

ตารางที่ 11 ผลการทดลอง (ต่อ)

ลำดับการทดลอง (Run Order)	ปัจจัย (Factor)				ผลตอบสนอง (Response)
	A1	A2	A3	A4	
25	160	180	180	190	0.33
26	170	170	190	190	0.42
27	160	170	180	190	0.22
28	160	180	180	200	0.39
29	170	170	190	200	0.44
30	160	170	190	190	0.34
31	160	180	180	200	0.43
32	170	180	180	190	0.39

4.1 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

หลังจากทำการทดลองครบถ้วนแล้วผู้วิจัยได้นำค่าตอบสนองจากผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลกับของเสียประเภทชิ้นงานมีรอยไหม้อย่างมีนัยสำคัญ ที่ความเชื่อมั่น 95% (α= 0.050) รายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบการทดลอง โดยรูปแบบของการทดลองจะต้องเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma_2)$ คือการตรวจสอบการแจกแจงปกติ และการเป็นอิสระที่มีค่าใกล้เคียง 0 และความแปรปรวน (σ_2) มีค่าคงตัว จึงจะทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือได้ โดยการตรวจสอบตามหลักการ ε_{ij} จะใช้โปรแกรม MINITAB มาช่วยในการวิเคราะห์สามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนได้ดังนี้

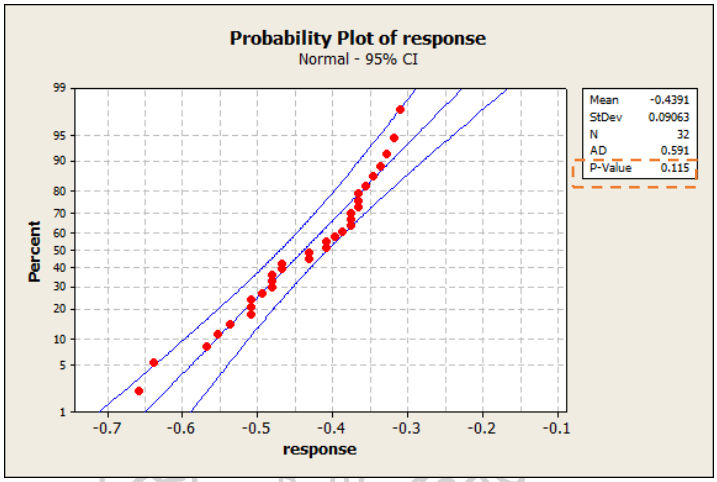
4.1.1.1 การตรวจสอบการกระจายตัวมีค่าปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

4.1.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

4.1.1.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability: σ_2)

โดยการตรวจสอบผลการทดลองทั้ง 3 สามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1.1.1 การตรวจสอบการกระจายตัวมีค่าปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) จากการพิจารณาค่าของส่วนตกค้างที่นำมาทดสอบการแจกแจงแบบปกติ โดยนำข้อมูลจากตารางที่ 11 มาสร้างเป็นแผนภูมิดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 การตรวจสอบการกระจายตัวมีค่าปกติ

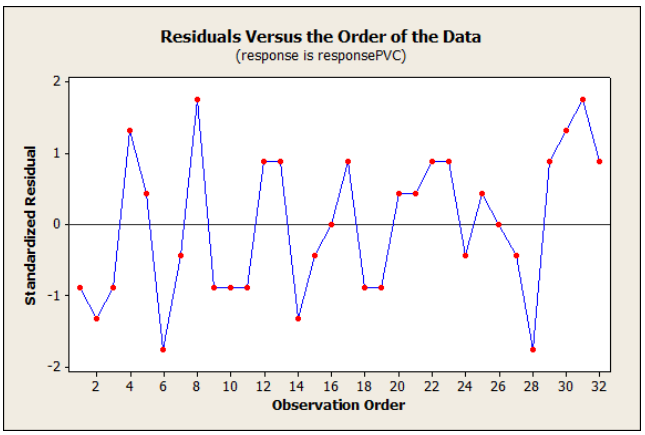
จากภาพที่ 19 แสดงส่วนตกค้าง (Residual) เพื่อทดสอบการแจกแจงปกติในระดับความเชื่อมั่นที่ 95%
(α=0.050) ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

H_0: $\alpha i = 0$ เป็นการแจกแจงแบบปกติ

H_1: $\alpha i \neq 0$ ไม่เป็นการแจกแจงแบบปกติ

เมื่อพิจารณารูปที่ 4-1 จะเห็นว่าค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับความเชื่อมั่น 95% P-value = (0.150 > 0.050) จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้ (เป็นการแจกแจงแบบปกติ)

4.1.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของส่วนตกค้าง นำข้อมูลจากตารางที่ 4.1 มาสร้างแผนภูมิการกระจายตัว (Scatter Plot) ดังภาพที่ 20

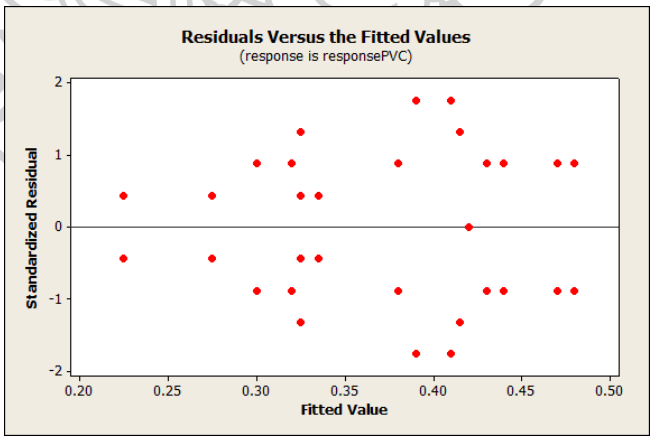


ภาพที่ 20 การตรวจสอบความเป็นอิสระ

จากภาพที่ 20 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีรูปแบบการกระจายตัวเป็นอิสระ ไม่

มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบของข้อมูลได้ จึงสรุปว่าส่วนตกค้างมีอิสระต่อกัน (Independent)

4.1.1.3 การตรวจสอบความเสถียรของ σ_2 (Variance Stability) สามารถตรวจสอบค่าของส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fitted Value โดยนำค่าจากตารางที่ 11 มาสร้างเป็นแผนภูมิดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การตรวจสอบความเสถียรของ σ_2

จากภาพที่ 21 พบว่าσ_2 ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่งและไม่พบว่ารูปแบบการกระจายตัวมีแนวโน้มแต่อย่างใด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรข้อความแปรปรวน σ_2

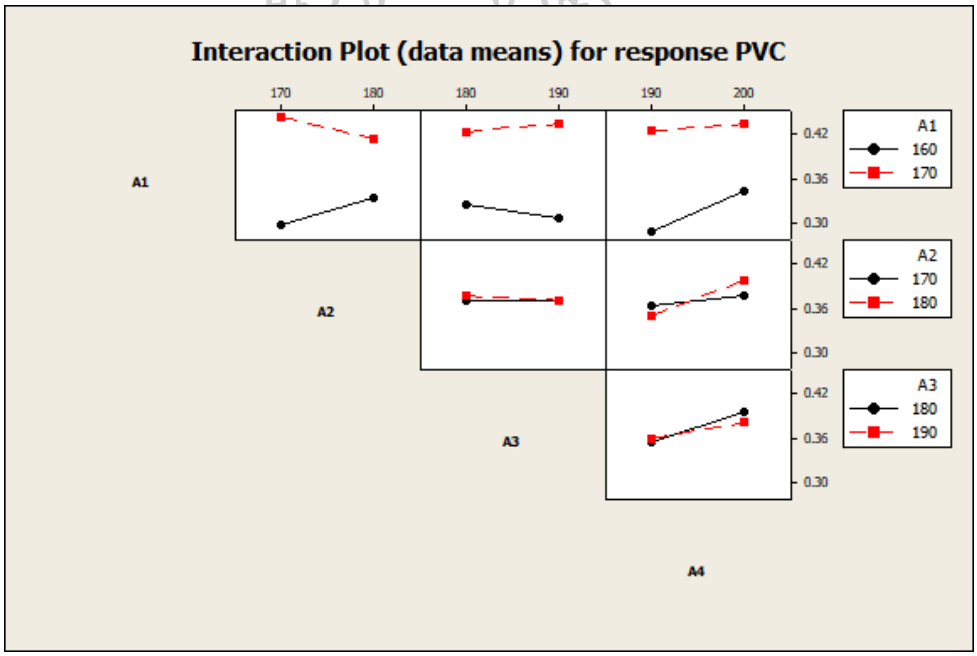
ดังนั้นจากภาพที่ 19 ไปจนถึงภาพที่ 21 พบว่าค่าของส่วนตกค้าง (Residual) ที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon ij \sim NID(0, \sigma_2)$ ทุกประการ จึงสรุปได้ว่าการทดลองชุดนี้มีความน่าเชื่อถือ สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ในขั้นตอนต่อไป

4.1.2. การวิเคราะห์ความแปรปรวน ของชิ้นงานมีรอยไหม้จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองพบว่าไม่มีความผิดปกติของการทดลองเกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อศึกษาอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งหมดโดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นของการวิเคราะห์อยู่ที่ 95% (α=0.050) ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง

Factorial Fit: response versus A1,A2,A3,A4					
Estimated Effect and Coefficient for response (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.37125	0.002830	131.19	0.000
A1	0.11375	0.05687	0.002830	20.10	0.000
A2	0.00375	0.00188	0.002830	0.66	0.517
A3	-0.00375	-0.00187	0.002830	-0.66	0.517
A4	0.031250	0.01562	0.002830	5.52	0.000
A1*A2	-0.03250	-0.01625	0.002830	-5.74	0.000
A1*A3	0.01500	0.00750	0.002830	2.65	0.017
A1*A4	-0.02250	-0.01125	0.002830	-3.98	0.001
A2*A3	-0.00250	-0.00125	0.002830	-0.44	0.665
A2*A4	0.01750	0.00875	0.002830	3.09	0.007
A3*A4	-0.01000	-0.00500	0.002830	-1.77	0.096
A1*A2*A3	0.04875	0.02437	0.002830	8.61	0.000
A1*A2*A4	0.00625	0.00312	0.002830	1.10	0.286
A1*A3*A4	0.03375	0.01688	0.002830	5.96	0.000
A2*A3*A4	0.01125	0.00562	0.002830	1.99	0.064
A1*A2*A3*A4	-0.01250	-0.00625	0.002830	-2.21	0.42
S = 0.0160078		R-Sq = 97.50 %		R-Sq (adj) = 95.15%	

จากตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-value < 0.050) พบว่าผลกระทบร่วมของปัจจัยมีทั้งหมด 4 คู่ คือ คู่ที่ 1 เป็นผลกระทบร่วมระหว่างอุณหภูมิในการเริ่มอุ่นหลอมเม็ด (A1) และอุณหภูมิในการเริ่มหลอมเม็ด (A2) ค่าP-value = 0.000 คู่ที่ 2 เป็นผลกระทบร่วมระหว่างอุณหภูมิในการเริ่มอุ่นหลอมเม็ด (A1) และอุณหภูมิในการหลอมเม็ด (A3) ค่าP-value = 0.017 คู่ที่ 3 เป็นผลกระทบร่วมระหว่างอุณหภูมิในการเริ่มอุ่นหลอมเม็ด (A1) และอุณหภูมิในการฉีดพลาสติกเหลว (A4) ค่าP-value = 0.001 คู่สุดท้าย เป็นผลกระทบร่วมระหว่างอุณหภูมิในการเริ่มหลอมเม็ด (A2) และอุณหภูมิในการฉีดพลาสติกเหลว (A4) ค่าP-value = 0.007 ซึ่งผลกระทบร่วมทั้งหมด 4 คู่นี้ สามารถแสดงเป็นแผนภูมิผลกระทบร่วมดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 แผนภูมิกระทบร่วม

จากภาพที่ 22 สามารถอธิบายผลกระทบร่วมของแต่ละปัจจัยดังนี้ คืออุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A1) ที่ระดับปัจจัย 160°C มีสัดส่วนของเสียลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเริ่มหลอมเม็ด (A2) ที่ระดับปัจจัย 170°C อุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A1) ที่ระดับปัจจัย 160°C มีสัดส่วนของเสียลดลงเมื่ออุณหภูมิในการหลอมเม็ด (A3) ที่ระดับปัจจัย 180°C และอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A1) ที่ระดับปัจจัย 160°C มีสัดส่วนของเสียลดลงเมื่ออุณหภูมิในการฉีดพลาสติกเหลว (A4) ที่ระดับปัจจัย 190°C ซึ่งทั้ง 3 คู่ มีอิทธิพลผลกระทบร่วมกัน เรียกกราฟนี้ว่า Negative Interaction และคู่สุดท้ายมีสัดส่วนของเสียลดลงในอุณหภูมิในการเริ่มหลอมเม็ด (A2) ที่ระดับปัจจัย 170°C และอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก

เหลว (A4) ที่ระดับปัจจัย 190°C โดยเส้นกราฟมีลักษณะตัดกันอย่างชัดเจน เรียกกราฟชนิดนี้ว่า Crossing Interaction

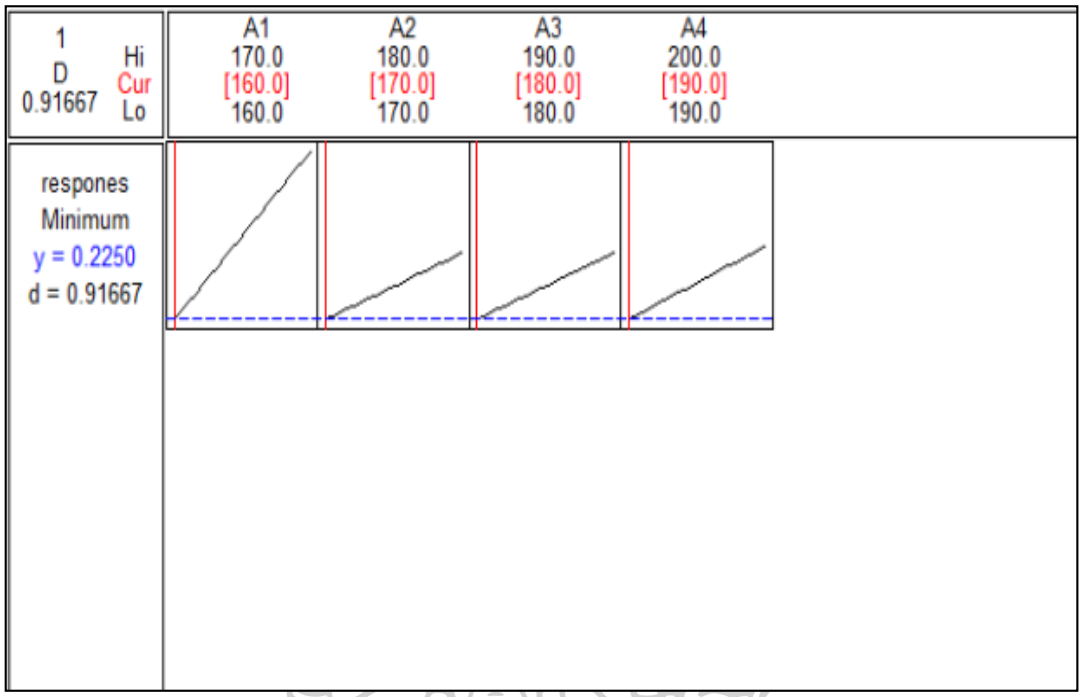
ประไพรศรี และพงศ์ชนัน (2551) [12] กล่าวว่าเมื่อผลกระทบร่วมของปัจจัยมีอิทธิพลต่อกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบหลักของปัจจัย

4.2 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ Response Optimization

การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการทดลอง เพื่อลดปัญหาในการเกิดชิ้นงานมีรอยไหม้ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการ Response Optimizer ช่วยในการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิต โดยผู้วิจัยได้กำหนดการวิเคราะห์ (Goal) เป็นรูปแบบ Minimize เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการลดของเสีย จากนั้นผู้วิจัยได้กำหนดค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ (Upper) เท่ากับ 0.3 โดยเป็นสัดส่วนของเสียที่โรงงานกรณีศึกษายอมรับได้ และกำหนดค่าต่ำสุดที่ต้องการ (Target) เท่ากับ 0.2 ซึ่งเป็นผลดีกับการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB ดังตารางที่ 13 และภาพที่ 23

ตารางที่ 13 Output Optimize Point

<table>
<tr><td colspan="7">Response Optimization</td></tr>
<tr><td colspan="7">Parameters</td></tr>
<tr><td rowspan="2">response</td><td>Goal</td><td>Lower</td><td>Target</td><td>Upper</td><td>Weight</td><td>Import</td></tr>
<tr><td>Minimize</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.5</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td colspan="3">A1 = 160</td><td colspan="4" rowspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3">A2 = 170</td></tr>
<tr><td colspan="3">A3 = 180</td></tr>
<tr><td colspan="3">A4 = 190</td></tr>
<tr><td colspan="3">Predicted Response</td></tr>
<tr><td colspan="7">response = 0.22500 desirability = 0.91667</td></tr>
<tr><td colspan="7">Composite Desirability = 0.91667</td></tr>
</table>



ภาพที่ 23 ผลตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากภาพที่ 23 แสดงการวิเคราะห์ Response Optimization จากโปรแกรม MINITAB พบว่าค่าปัจจัยที่เหมาะสมในแต่ละระดับปัจจัย คืออุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A1) ที่ระดับปัจจัย 160°C อุณหภูมิในการเริ่มหลอมเม็ด (A2) ที่ระดับปัจจัย 170°C อุณหภูมิในการหลอมเม็ด (A3) ที่ระดับปัจจัย 180°C และอุณหภูมิในการฉีดพลาสติกเหลว (A4) ที่ระดับปัจจัย 190°C จะทำให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยที่สุดคือ 0.2250

4.3 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์จากวิธีการ Response Optimization

4.3.1 ผลการทดสอบ

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบค่าระดับปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย โดยการนำค่าปัจจัยที่วิเคราะห์ได้จากวิธีการ Response Optimization มาใช้งานจริงเพื่อยืนยันว่าค่าปัจจัยที่ใช้นี้ทำให้ปัญหาชิ้นงานมีรอยไหม้ จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 30 ตัวอย่างดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบจากค่าปัจจัยที่วิเคราะห์ได้

ลำดับ	ผลตอบสนอง (Response)	ลำดับ	ผลตอบสนอง (Response)
1	0.23	4	0.21
2	0.24	5	0.24
3	0.22	6	0.22

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบจากค่าปัจจัยที่วิเคราะห์ได้ (ต่อ)

7	0.23	19	0.23
8	0.21	20	0.24
9	0.20	21	0.21
10	0.21	22	0.25
11	0.22	23	0.24
12	0.24	24	0.26
13	0.25	25	0.20
14	0.23	26	0.23
15	0.21	27	0.24
16	0.22	28	0.22
17	0.25	29	0.20
18	0.23	30	0.25
N = 30	Mean = 0.227667 สัดส่วนของเสียประมาณ 0.227		

จากตารางที่ 14 แสดงผลการทดสอบทั้งหมด 30 ครั้ง โดยให้ค่าตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสียต่อการผลิตทั้งหมด พบว่ามีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้นเท่ากับ 0.227 หรือ 22.7% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าสัดส่วนของเสียที่ได้จากวิธี Response Optimization

4.3.2 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง

ขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบผลเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือลดของเสียลักษณะชิ้นงานมีรอยไหม้ ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบของเสียก่อนและหลังปรับปรุง

ราคาของเสียจากรอยไหม้ที่เกิดขึ้นก่อน-หลังปรับปรุง			
ลำดับ	รายละเอียด	ราคา	หน่วย
1	ยอดของเสียทั้งหมดจากการการผลิต	7,170	กก./เดือน
2	ของเสียจากรอยไหม้เฉลี่ยก่อนปรับปรุง	4,509	กก./เดือน
3	ของเสียจากรอยไหม้เฉลี่ยหลังปรุงปรุง	1,627	กก./เดือน
4	สัดส่วนของเสียก่อนปรับปรุง	62.9	%
5	สัดส่วนของเสียหลังปรับปรุง	22.7	%

จากตารางที่ 15 สรุปได้ว่าสัดส่วนของเสียก่อนปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 62.9% ของยอดผลิตทั้งหมด จากนั้นผู้วิจัยได้นำค่าปัจจัยที่วิเคราะห์มาทดสอบเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์จำนวน 30 ครั้ง พบว่าสัดส่วนของเสียลดลงเหลือ 22.7% ของการผลิตทั้งหมด สามารถลดสัดส่วนของเสียลงได้ถึง 63.9% ของการผลิตทั้งหมด เนื่องจากท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว มีราคามูลค่า 30 บาทต่อกิโลกรัม จึงสามารถคิดมูลค่าของเสียจากรอยไหม้ก่อนและหลังปรับปรุงได้ดังนี้

มูลค่าของเสียก่อนปรับปรุง = 30 บาทต่อกิโลกรัม x 4,509 กิโลกรัมต่อเดือน

= 135,270 บาทต่อเดือน

มูลค่าของเสียหลังปรับปรุง = 30 บาทต่อกิโลกรัม x 1,627 กิโลกรัมต่อเดือน

= 48,810 บาทต่อเดือน

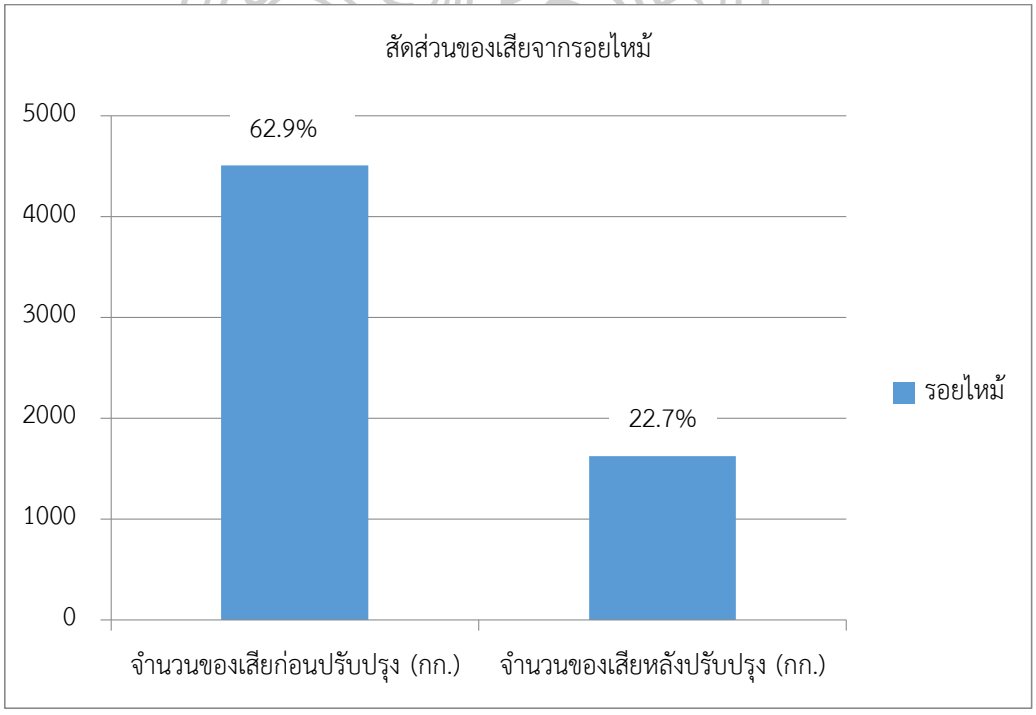
มูลค่าของเสียลดลง = 135,270 – 48,810 บาทต่อเดือน

= 86,460 บาทต่อเดือน

มูลค่าลดลงต่อปี = 86,460 x 12 เดือน

= 1,037,520 บาทต่อปี

สามารถสรุปเป็นแผนภูมิดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 การเปรียบเทียบของเสียก่อน – หลังปรับปรุง

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์ในการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ขายดีที่สุดของโรงงานกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงปัญหาท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว ที่เกิดรอยไหม้ มีปริมาณเท่ากับ 4,509 กิโลกรัม/เดือน จากการผลิตทั้งหมด 91,095 กิโลกรัม/เดือน สัดส่วนของเสียเท่ากับ 62.9% คิดเป็นมูลค่า 135,270 บาทต่อเดือน ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment) โดยการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (2^k Full Factorial Design) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (α=0.05)

เมื่อทำการทดลองตามแผนแล้วผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม (Interaction) คือปัจจัยอุณหภูมิในการเริ่มอุ่นหลอมเม็ด (A1) และอุณหภูมิในการเริ่มหลอมเม็ด (A2) ปัจจัยอุณหภูมิในการเริ่มอุ่นหลอมเม็ด (A1) และอุณหภูมิในการหลอมเม็ด (A3) ปัจจัยอุณหภูมิในการเริ่มอุ่นหลอมเม็ด (A1) และอุณหภูมิในการฉีดพลาสติกเหลว (A4) และปัจจัยอุณหภูมิในการเริ่มหลอมเม็ด (A2) และอุณหภูมิในการฉีดพลาสติกเหลว (A4) จากนั้นผู้วิจัยได้ใช้วิธีการ Response Optimization โดยใช้โปรแกรม MINITAB ในการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตท่อพีวีซี สีฟ้า ½นิ้ว เพื่อควบคุมการผลิตจริง จากการวิเคราะห์พบว่าค่าปัจจัยที่เหมาะสมกับการผลิต คืออุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A1) ที่ระดับปัจจัย 160˚C อุณหภูมิในการเริ่มหลอมเม็ด (A2) ที่ระดับปัจจัย 170˚C อุณหภูมิในการหลอมเม็ด (A3) ที่ระดับปัจจัย 180˚C และอุณหภูมิในการฉีดพลาสติกเหลว (A4) ที่ระดับปัจจัย 190˚Cจากนั้นจึงทดสอบค่าปัจจัยอีกครั้งเพื่อยืนยันผลที่ได้จากการทดลอง โดยเปรียบเทียบกับสัดส่วนของเสียก่อนปรับปรุงและสัดส่วนของเสียหลังปรุง พบว่าสัดส่วนของเสียก่อนปรับปรุงเท่ากับ 62.9% และสัดส่วนหลังการปรับปรุงเท่ากับ 22.7% สามารถลดสัดส่วนของเสียเท่ากับ 63.9% ของการผลิตทั้งหมด คิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงเท่ากับ 86,460 บาทต่อเดือน หรือ 1,037,520 บาทต่อปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการลดของเสียของการผลิตท่อพีวีซี สีฟ้า ½ นิ้ว กรณีศึกษาบริษัทตัวอย่าง เท่านั้น และควรขยายผลการศึกษาขนาดท่อพีวีซีต่างๆ ในบริษัท ตัวอย่าง เพิ่มเติม

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การเก็บข้อมูลของเสียในแต่ละเครื่องฉีดท่อพีวีซี

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	รายงานของเสียจากการผลิต																
2	วันที่	เครื่อง	กะทำงาน	ประเภทของเสีย													
3				ท่อไหม้	ไส้หนู	ท่อติดสิ้นเกินไป	ท่อไม่ได้ขนาด ท่อติดรูป่ท่อหลุดแว๊ก	ท่อบานหัวเสีย	รวม								
4	8/5/2018	8	เช้า	50	-	20	100	20	190								
5		8	ดึก	ไม่มีของเสีย					0								
6	10/5/2018	8	เช้า	ไม่มีบันทึก					0								
7		8	ดึก	210	2.85	4.25	31.6	4.3	253	รวมของเสียประจำเดือน							
8		9	เช้า	ไม่มีบันทึก					0			ประเภท					
9		9	ดึก	200	1.4	6.15	4.7	77.35	289.6	เดือน	เครื่อง	ท่อไหม้	ไส้หนู	ท่อติดสิ้นเกินไป	ท่อไม่ได้ขนาด ท่อติดรูป่ท่อหลุดแว๊ก	ท่อบานหัวเสีย	รวม
10	8/5/2018	8	เช้า	-	60	76.5	729	103	968.5								
11		8	ดึก	112.5	112.5	-	729	-	954	พฤษภาคม	8	3,271.50	175.35	481.80	4,188.91	2,259.09	10,384.65
12	14/5/2018	8	เช้า	-	-	137.65	-	55.5	193.15		9	2,991.50	1.40	6.15	4,057.31	1,734.79	8,800.15
13		8	ดึก	ไม่มีของเสีย					0		11	-	-	-	-	-	-
14	16/5/2018	8	เช้า	460	-	120	-	-	580		8	946.40	-	140.00	2,276.78	510.95	3,882.13
15		8	ดึก	250	-	95.85	43.25	-	389.1	มิถุนายน	9	826.40	-	40.00	1,621.78	340.95	2,829.13
16	17/5/2018	8	เช้า	36.4	-	-	41.76	-	78.16		11	100.00	-	-	62.00	-	162.00
17		8	ดึก	42.6	-	-	-	21.3	63.9								
18	18/5/2018	8	เช้า	100	-	-	159	21	280								
19		8	ดึก	-	-	-	60	-	60								
20	19/5/2018	8	เช้า	150	-	-	-	82	232								
21		8	ดึก	ไม่มีบันทึก					0								
22	20/5/2018	8	เช้า	ไม่มีบันทึก					0								
23		8	ดึก	-	-	21.4	10.6	21.2	53.2								

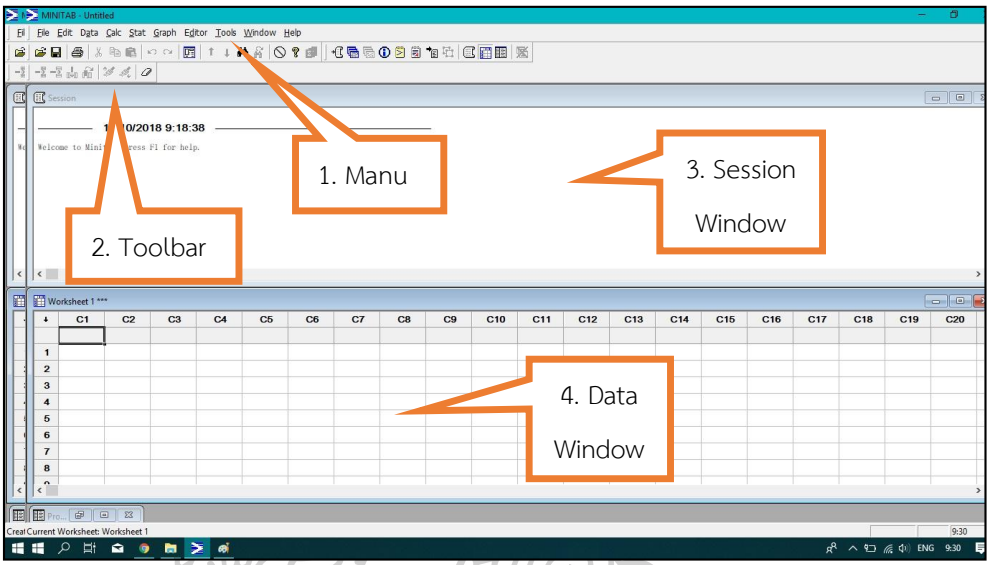
ภาพที่ 25 การเก็บข้อมูลของเสียจากการผลิตท่อพีวีซี

ภาคผนวก ข.

การประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (MINITAB Version 14 Demo)

ข.1 การป้อนข้อมูลในโปรแกรม MINITAB

เมื่อเข้าสู่โปรแกรม MINITAB จะปรากฏแถบเมนูขึ้นมา โดยประกอบไปด้วย ทูลบาร์ หน้าต่างสำหรับข้อมูลเรียกว่า Data Window และหน้าต่างสำหรับการคำนวณผลเรียกว่า Session Window ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 หน้าจอและส่วนประกอบของโปรแกรม MINITAB

จากรูปที่ 26 จะเห็นว่าพื้นที่ในส่วนของ Data Window มีลักษณะเป็นเวิร์คชีท ประกอบด้วยเซลล์จำนวนในแนวคอลัมน์และแนวแถว โดยเรียงตามลำดับจากแถวที่ 1 2 3 ลงไปจนหมดข้อมูล

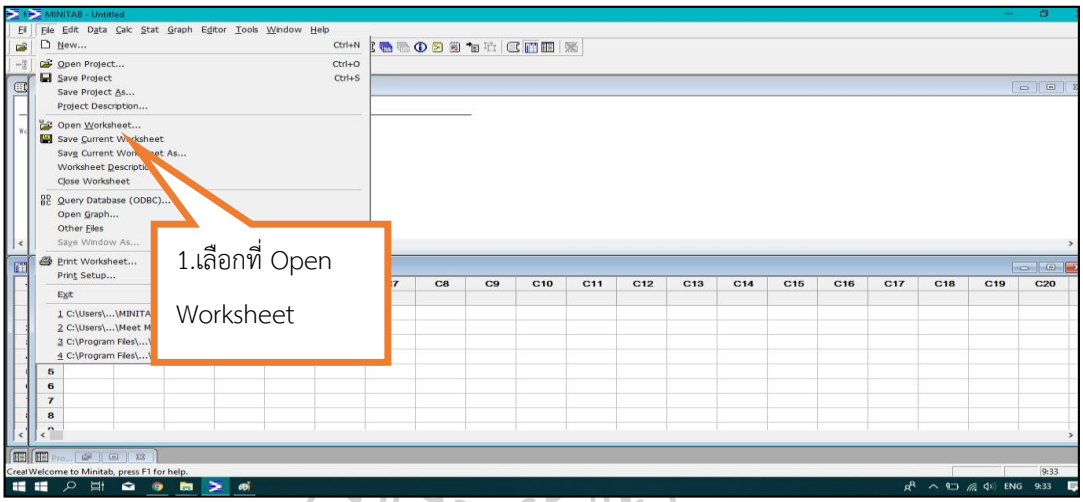
ข.2 การเปิดแฟ้มข้อมูลเก่าในโปรแกรม Data Window

การเปิดแฟ้มข้อมูลเก่าในโปรแกรม MINITAB จะมีการเปิดงาน 2 แบบคือ แบบ Open Worksheet และแบบ Open Project จากเมนู File

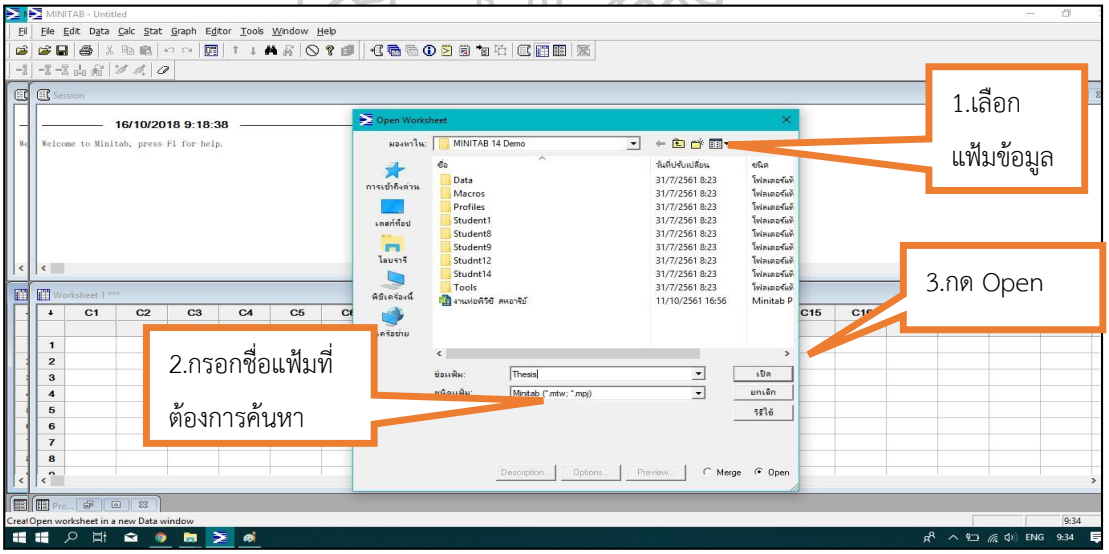
ความแตกต่างของการเปิดแฟ้มข้อมูลทั้ง 2 แบบคือ แบบ Open Worksheet จะเป็นการเปิดแฟ้มข้อมูลเฉพาะในส่วนของ Data Window แบบ Open Project จะเป็นการเปิดแฟ้มข้อมูลจากส่วนของ 1.Data Window 2.Session Window และ3.รายงานต่างๆเช่น กราฟจากการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อทำการเลือกคำสั่ง Open Worksheet และ คำสั่ง Open Project จากเมนู File จะปรากฏไดอะล็อกบล็อกชื่อ Open Worksheet และ Open Project ขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้

สามารถเลือกคำสั่งที่เคยทำการบันทึกไว้มาใช้งานอีกครั้ง เมื่อเลือกแฟ้มที่ต้องการได้แล้วจึงกดเลือกแฟ้มที่ต้องการตามรูปที่ 27 และภาพที่ 28



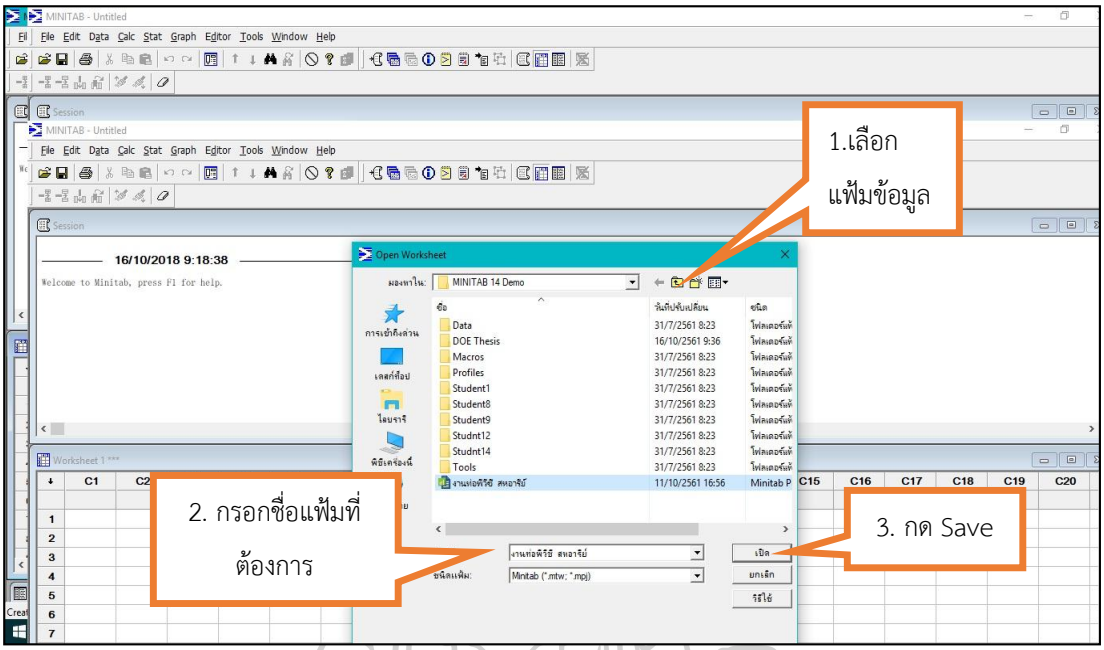
ภาพที่ 27 การใช้คำสั่ง Open Worksheet



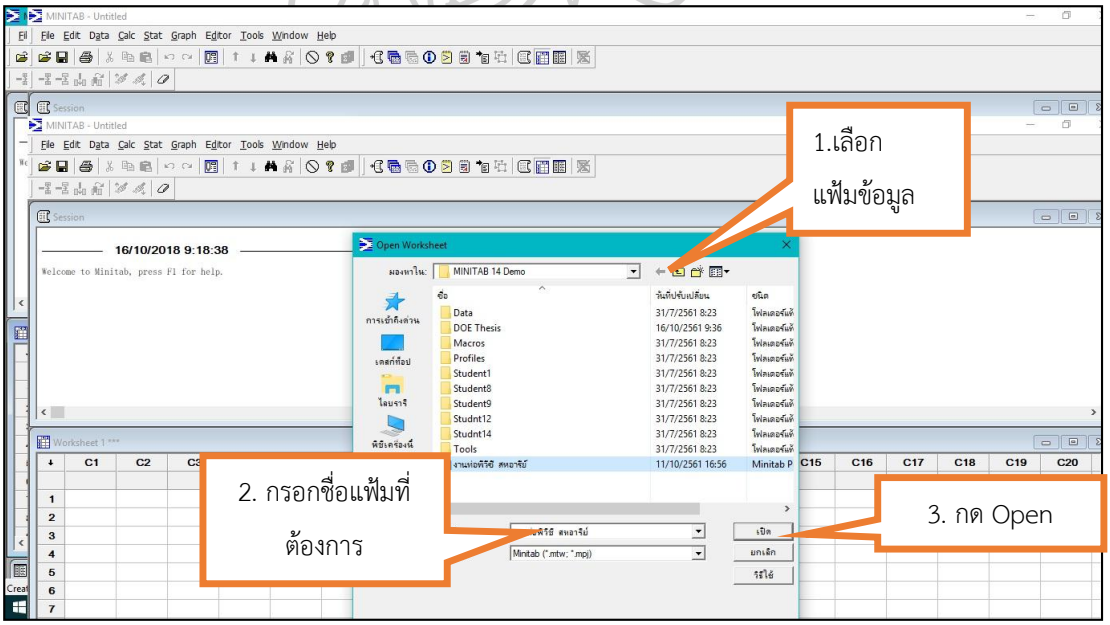
ภาพที่ 28 การใช้คำสั่ง Open Project

ข.3 คำสั่งบันทึกข้อมูลโปรแกรม MINITAB

เมื่อทำการใส่ข้อมูลเรียบร้อยแล้วสามารถบันทึกข้อมูลไว้เพื่อใช้งานครั้งต่อไปได้ในคำสั่ง Save Current Worksheet หรือ Save Current Worksheet As จากเมนู File ในไดอะล็อกบล็อก ชื่อ Save Worksheet As เพื่อให้ผู้ใช้กำหนดชื่อแฟ้มและช่องที่จะทำการบันทึกไว้ จากนั้น คลิกปุ่ม Save ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 การใช้คำสั่ง Save Current Worksheet



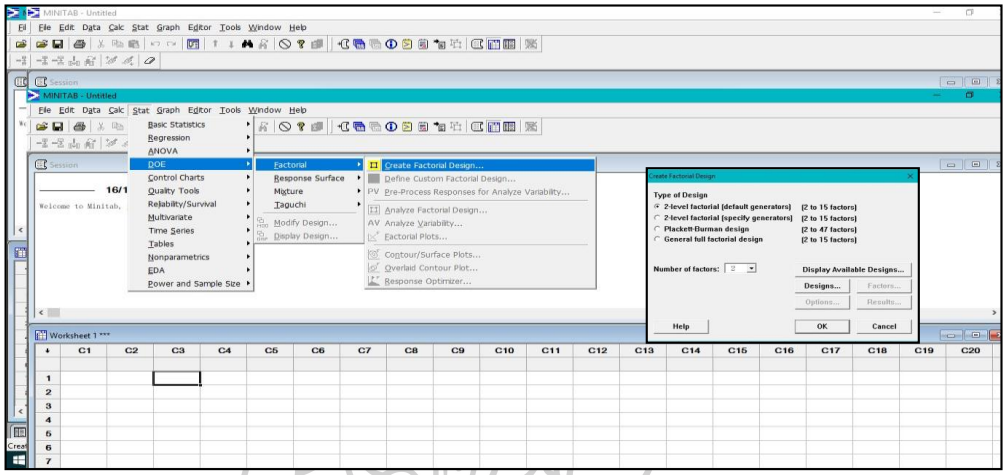
ภาพที่ 30 การใช้คำสั่ง Save Project

ข.4 การทำ 2^k Full Factorial Design ในโปรแกรม MINITAB

ข.4.1 Create Factorial Design

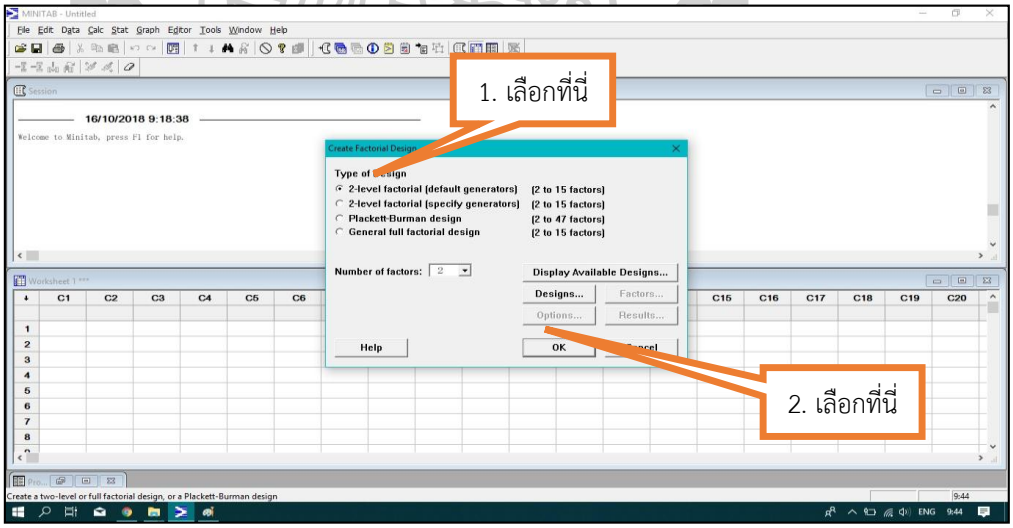
1. เปิดโปรแกรม MINITAB

2. Stat DOE Factorial Create Factorial Design จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อกบล็อกชื่อดังภาพที่ 31



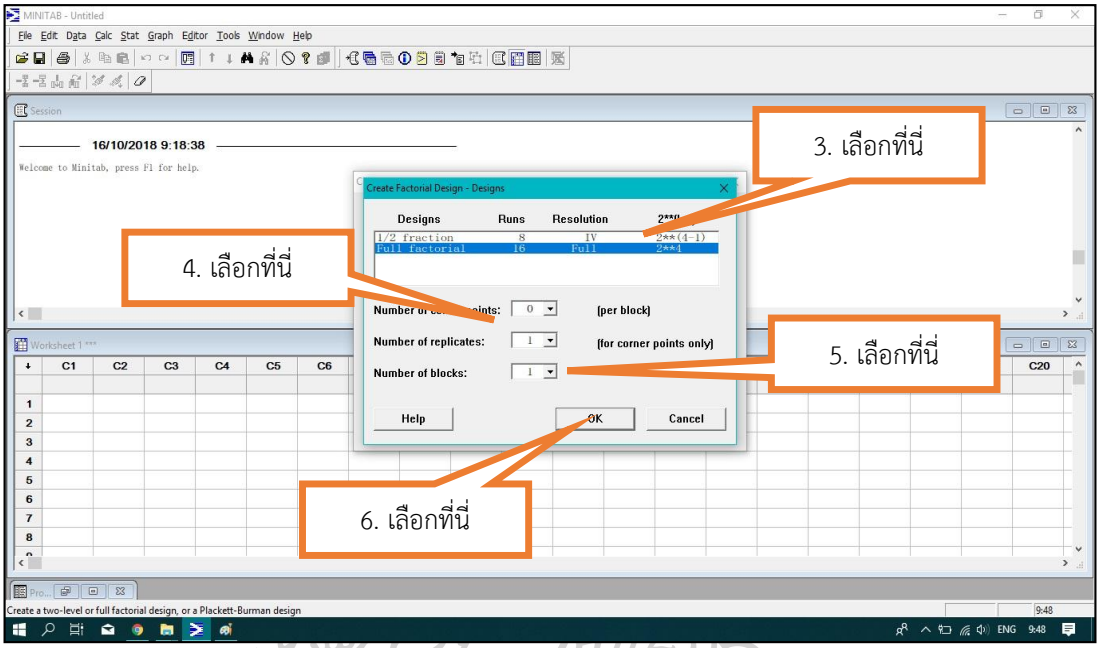
ภาพที่ 31 การใช้คำสั่ง Create Factorial Design

3. เลือก 2 - Level Factorial (Default Generators) พร้อมทั้งเลือก Number of Factors ดังภาพที่ 32



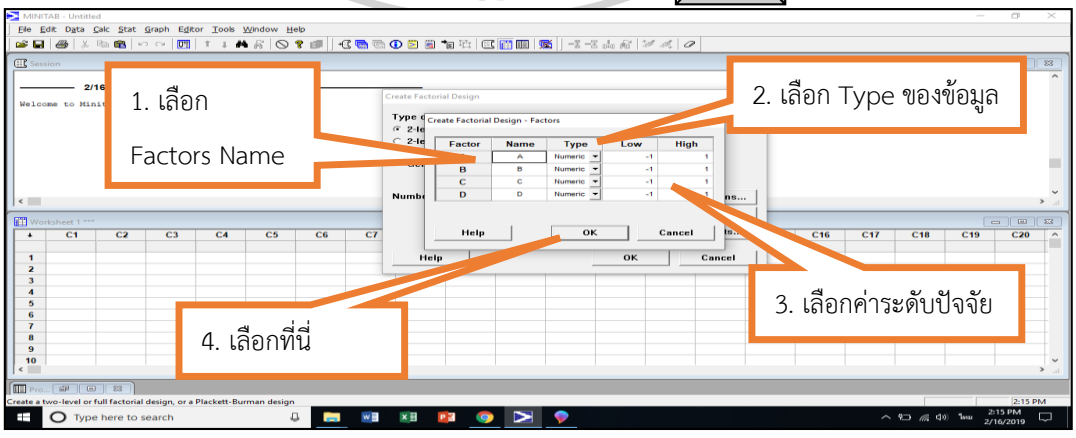
ภาพที่ 32 การเลือก 2 - Level Factorial (Default Generators) และ Number of Factors

4.คลิกปุ่ม Designs. จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อกบล็อกชื่อ Create Factorial Design เลือก Full Factorial จากนั้นกำหนด Number of replicates และ Number of Block เมื่อเลือกแล้วให้คลิกปุ่ม OK ดังภาพที่ 33



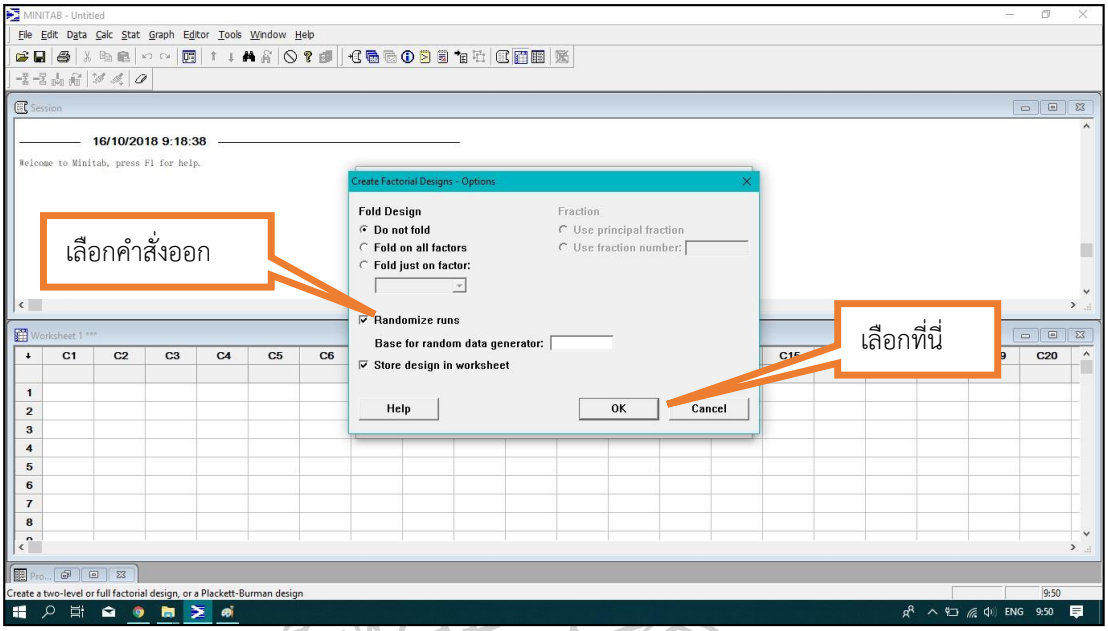
ภาพที่ 33 การเลือก Design สำหรับเลือก Full Factorial

5. คลิกที่ปุ่ม Factors... จะปรากฏไดอะล็อกบล็อกชื่อ Create Factorial Design เลือก Factors จากนั้นใส่ Name ใส่ Type และใส่ค่าระดับปัจจัย (ค่าระดับปัจจัยที่ Low และ High สามารถใส่ค่าจริงหรือค่ารหัส -1, 1 ทดแทนได้) จากนั้นคลิกปุ่ม OK ดังภาพที่ 34



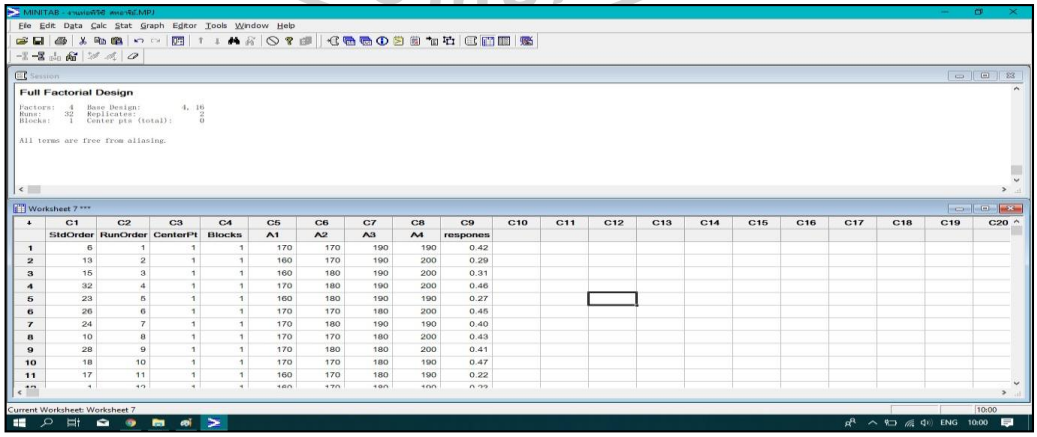
ภาพที่ 34 การเลือก Factors สำหรับใส่ Name ใส่ Type และใส่ค่าระดับปัจจัย

6.คลิกปุ่ม Options.. จะปรากฏไดอะล็อกบล็อกชื่อ Create Factorial Design เลือก Option จากนั้นเลือกคำสั่ง Randomize run ออก เลือกเฉพาะคำสั่ง Store Design in Worksheet แล้วคลิกปุ่ม OK ดังภาพที่ 35



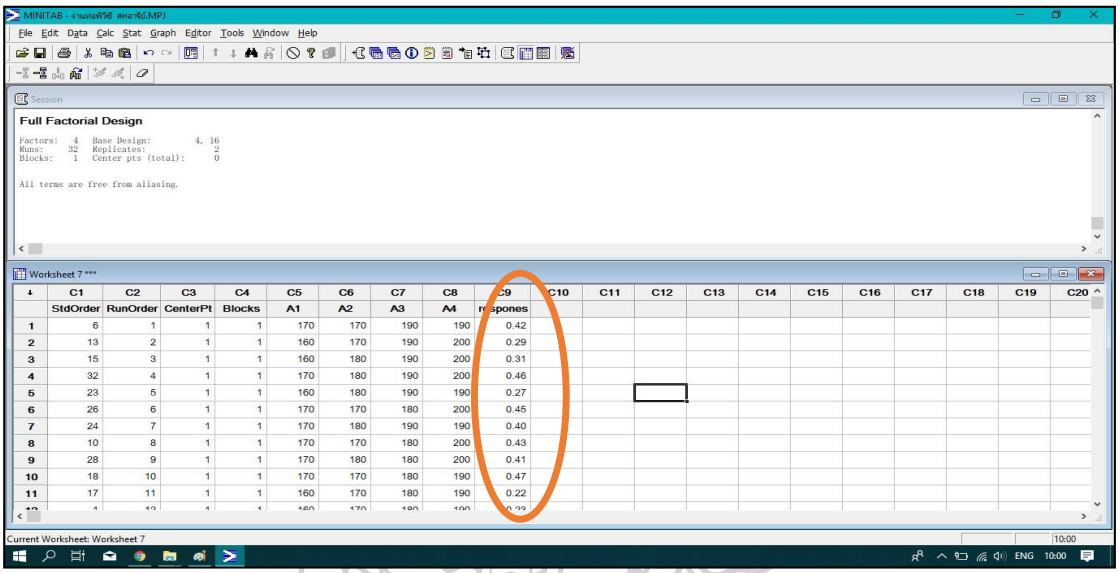
ภาพที่ 35 การเลือก Option การสุ่มการทดลอง

7.คลิกปุ่ม OK ในไดอะล็อกบล็อคชื่อ Create Factorial Design จากนั้นโปรแกรมจะแสดงผลการออกแบบการทดลอง 2k Full Factorial Design ใน Session Window และใน Data Window (Worksheet) ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ผลการออกแบบการทดลอง ใน Session Window และใน Data Window

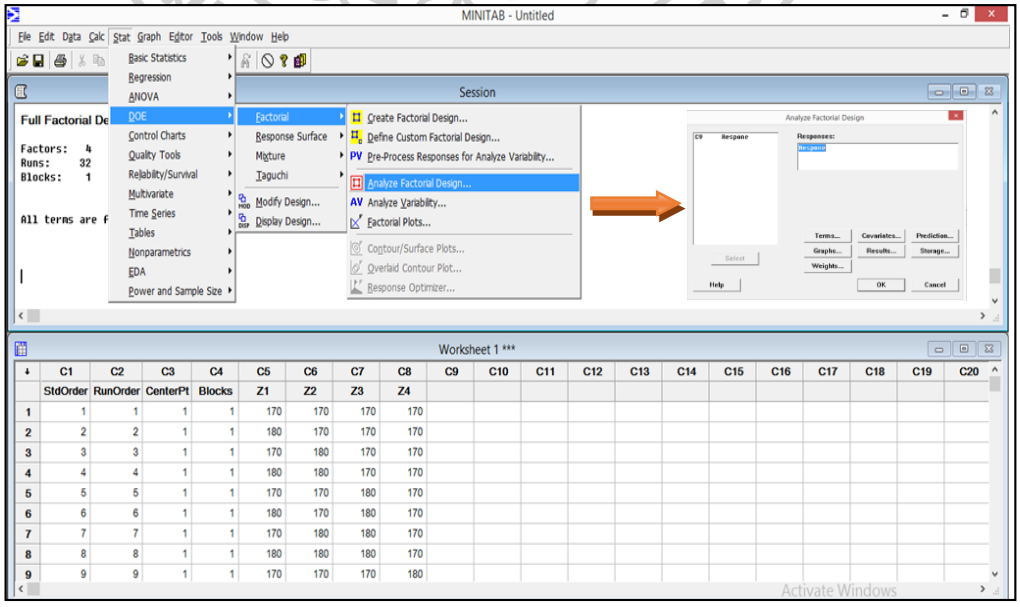
8. กำหนดช่องสำหรับใส่ค่า Response ใน Data Window (Worksheet) สำหรับใส่ค่าตอบสนองจากการทดลอง ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 กำหนดช่อง Response สำหรับใส่ค่าตอบสนองจากการทดลอง

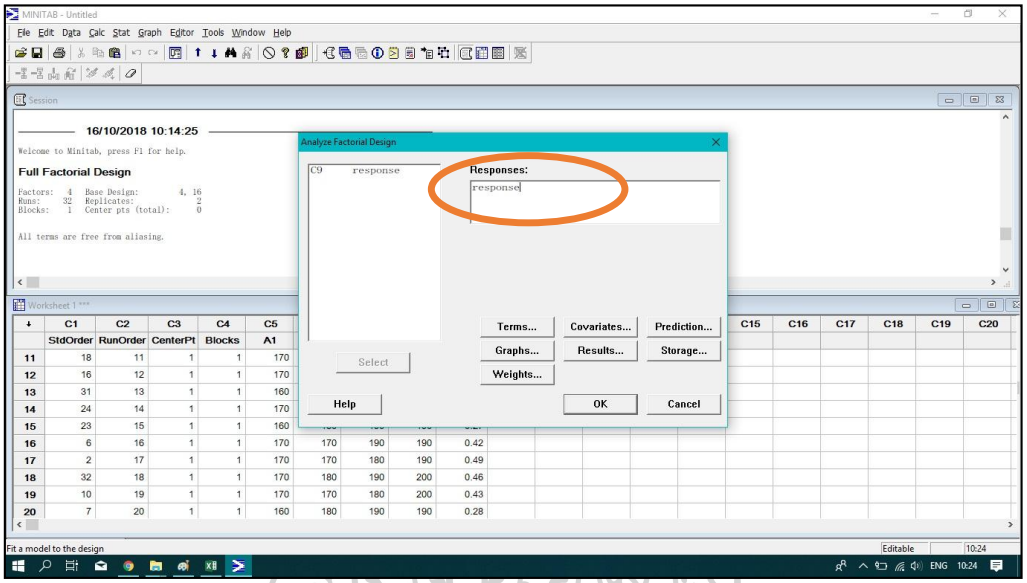
ข.5 Analyze Factorial Design

1. เลือก Stat DOE Factorial Analyze Factorial Design จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อกบล็อกชื่อ Analyze Factorial Design ดังภาพที่ 38



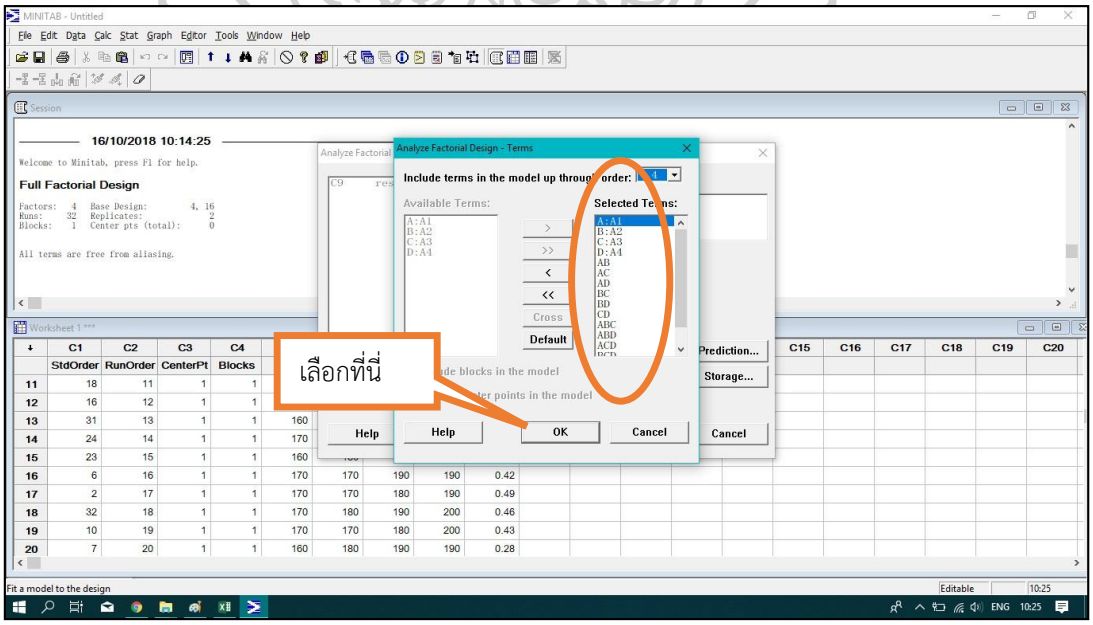
ภาพที่ 38 การใช้คำสั่ง Analyze Factorial Design

2.เลือกคอลัมน์ Response ลงในช่อง Responses ดังภาพที่ 39

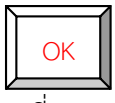


ภาพที่ 39 การเลือกคอลัมน์ Response ลงในช่อง Responses

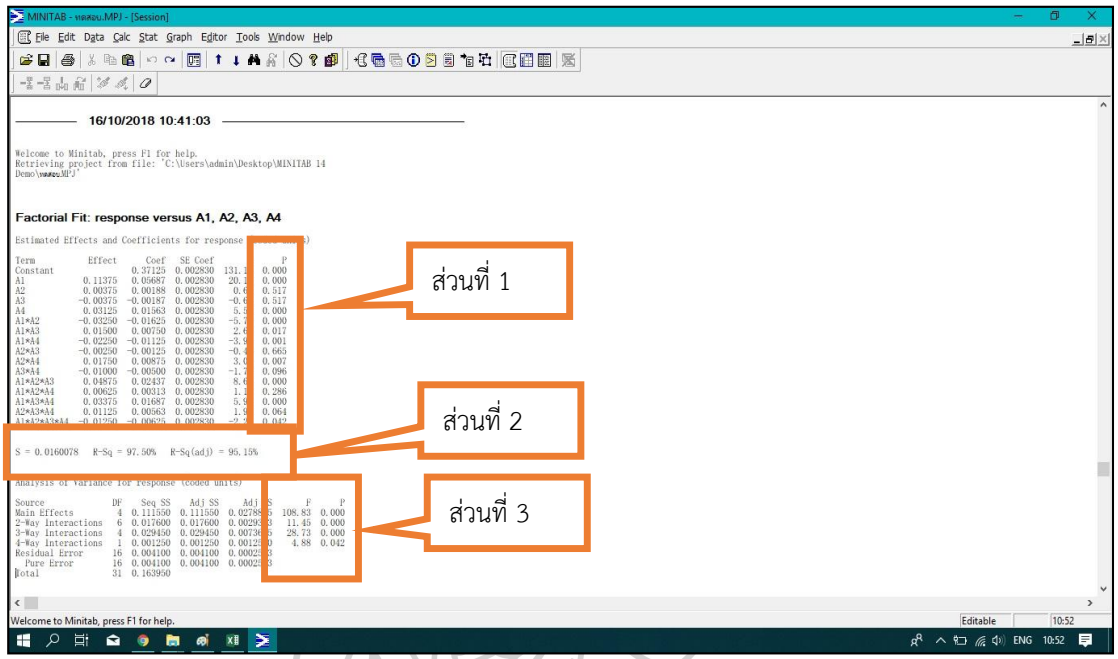
3.คลิกปุ่ม Terms... จะปรากฏไดอะล็อกบล็อคชื่อ Analyze Factorial Design เลือก Terms แล้วเลือกผลกระทบที่สนใจไปไว้ทางกรอบด้านขวา จากนั้นคลิกปุ่ม OK ดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 การเลือก Terms ที่สนใจ

4.คลิกปุ่ม 

จากนั้นโปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณของตาราง ANOVA ใน Session Window ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ผลการคำนวณในรูปแบบของตาราง ANOVA ใน Session Window

จากภาพที่ 41 แสดงการคำนวณข้อมูลในรูปแบบของ ANOVA สามารถอธิบายการวิเคราะห์แต่ละส่วนได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 คือการประมาณค่าอิทธิพลและค่าสัมประสิทธ์สาหรับผลตอบสนอง โดยพิจารณาจากค่า P-value ในตารางเพื่อใช้ในการตรวจสอบสมมติฐาน

ส่วนที่ 2 คือการแสดงค่า S, R – Sq และ R - Sq (adj)

ส่วนที่ 3 คือการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง โดยพิจารณาที่ค่า P-value ในตาราง เพื่อใช้ตัดสินผลสรุปของการทดสอบสมมติฐาน

ความหมายของค่า P-value, S, R – Sq และ R – Sq (adj) สามารถอธิบายได้ดังนี้

ค่า P-value คือค่าความน่าจะเป็นของสถิติการทดสอบที่เท่ากับหรือมากกว่าค่าไกลสุดของข้อมูลทางสถิติที่คำนวนจากข้อมูลของตัวอย่างเมื่อ H_0 เป็นจริง ค่า P-value มักเรียกว่า มีระดับนัยสำคัญของความสังเกตุ (Observed Level of Significance) ถ้าค่า P-value มากกว่าหรือเท่ากับค่า α จะยอมรับ H_0 แต่ถ้าค่า P-value น้อยกว่าค่า α จะปฏิเสธ H_0

ค่า S คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เป็นค่าที่ใช้ในการวัดการกระจายตัวของข้อมูล หากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากแสดงว่าข้อมูลชุดนั้นมีการกระจายตัวมาก แต่ถ้าข้อมูลชุดนั้นมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยแสดงว่าข้อมูลชุดนั้นมีการกระจายตัวน้อย

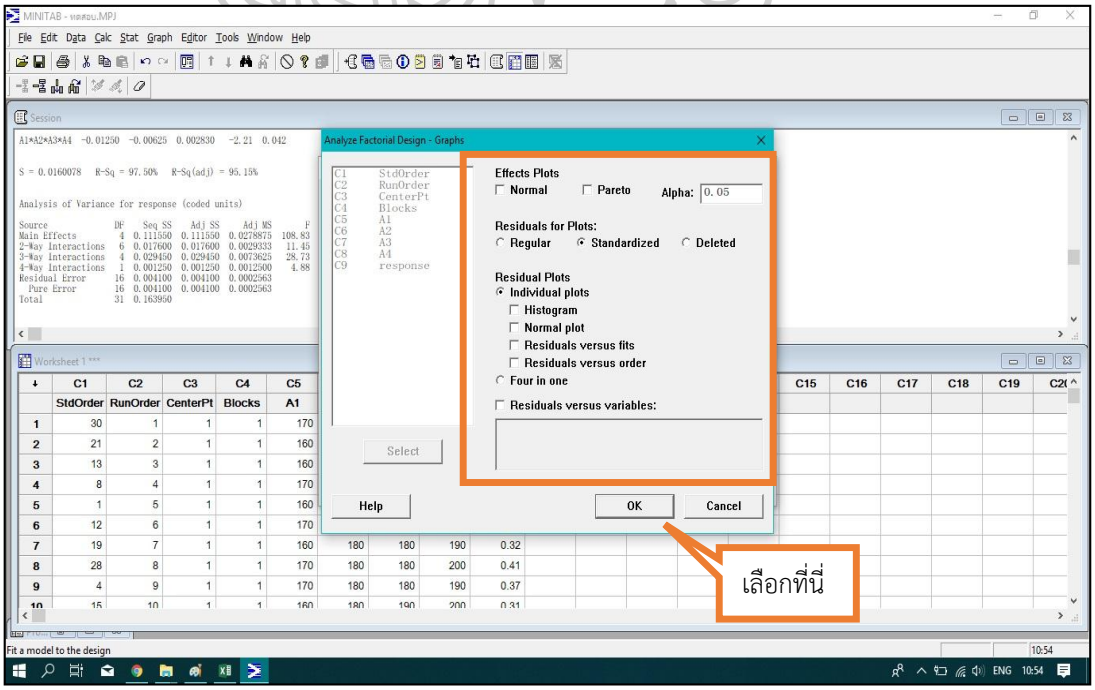
ค่า R – Sq คือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เป็นค่าที่ใช้วัดว่าสมการที่ใช้เหมาะสมกับข้อมูลเพียงใด ถ้าค่า R – Sq มีค่ามากแสดงว่าสมการถดถอยที่ประมาณเหมาะสมกับข้อมูลนี้มาก

ค่า R – Sq (adj) คือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับปรุง ใช้ในกรณีที่มีข้อมูลตัวอย่างจำนวนน้อย (n < 30) การพิจารณาค่า R – Sq อาจเกิดการคลาดเคลื่อนได้ เพราะค่า R – Sq ที่ได้อาจสูงกว่าความเป็นจริง เพื่อขจัดปัญหานี้จึงมีการปรับค่า R – Sq เรียกว่าค่า R - Sq (adj)

ข.6 Graphical Output

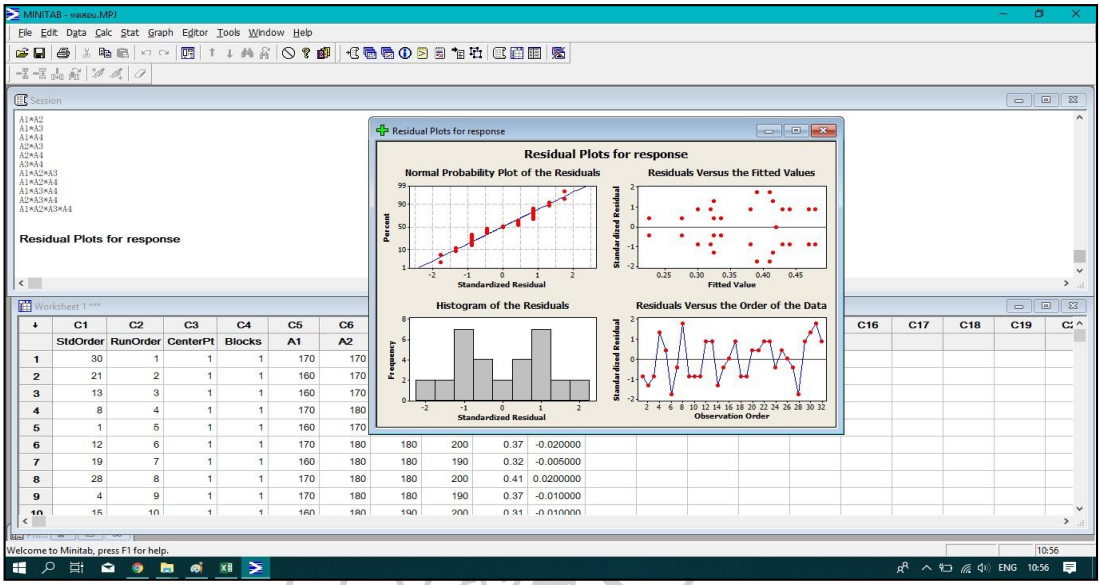
1. คลิกคำสั่งในโปรแกรม MINITAB ดังหัวข้อที่ ข-5 Analyze Factorial Design จากนั้นใส่ข้อมูลตามหัวข้อที่ 1 ไปจนถึงหัวข้อที่ 3

2. คลิกปุ่ม Graphs... จะปรากฏไดอะล็อกบล็อกชื่อ Analyze Factorial Design เลือก Graphs ระบุค่า Effect Plot ที่ต้องการ แล้วเลือกลักษณะของกราฟที่ต้องการ จากนั้น คลิกปุ่ม OK ดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 การเลือก Graphs ระบุค่า Effect Plot ที่ต้องการ แล้วเลือกลักษณะกราฟ

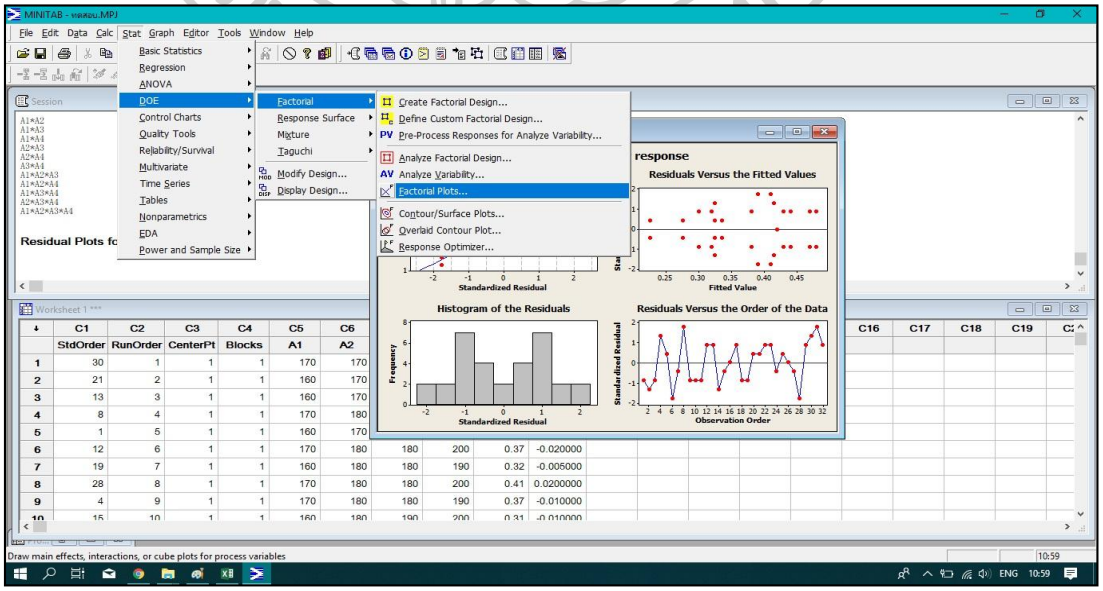
3. คลิกปุ่ม ในไดอะล็อกบล็อคชื่อ Analyze Factorial Design แล้วจะแสดงผลการคำนวนในรูปแบบของตาราง ANOVA ใน Session Window และแสดงกราฟตามลักษณะที่เลือกไว้ ดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 ผลการคำนวณในรูปของกราฟในลักษณะที่เลือกไว้

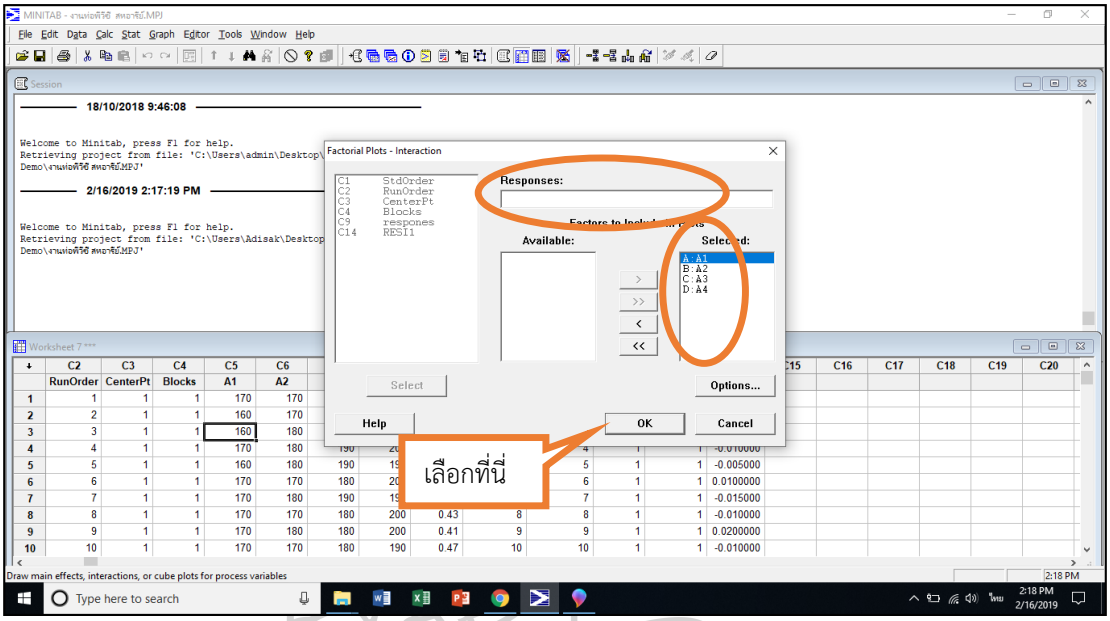
ข.7 Factorial Plots

1. เลือก Stat DOE Factorial Factorial Plots จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อกบล็อคชื่อ Factorial Plots ดังภาพที่ 44



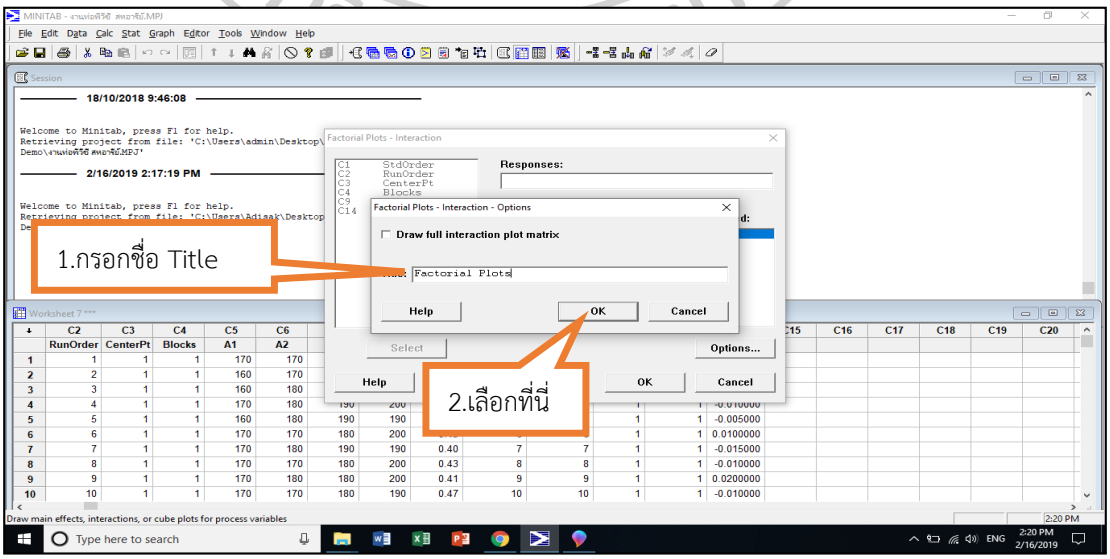
ภาพที่ 44 การใช้คำสั่ง Factorial Plots

2. คลิกเลือก Interaction Plot ในไดอะล็อกบล็อคชื่อ Factorial Plots แล้วคลิก ปุ่ม Setup... จากนั้นเลือกคอลัมป์ Response ลงในช่อง Responses พร้อมเลือกปัจจัยที่ต้องการพล็อต หรือ Factors to Include in Plots ที่ต้องการไว้ในกรอบด้านขวา ดังภาพที่ 45



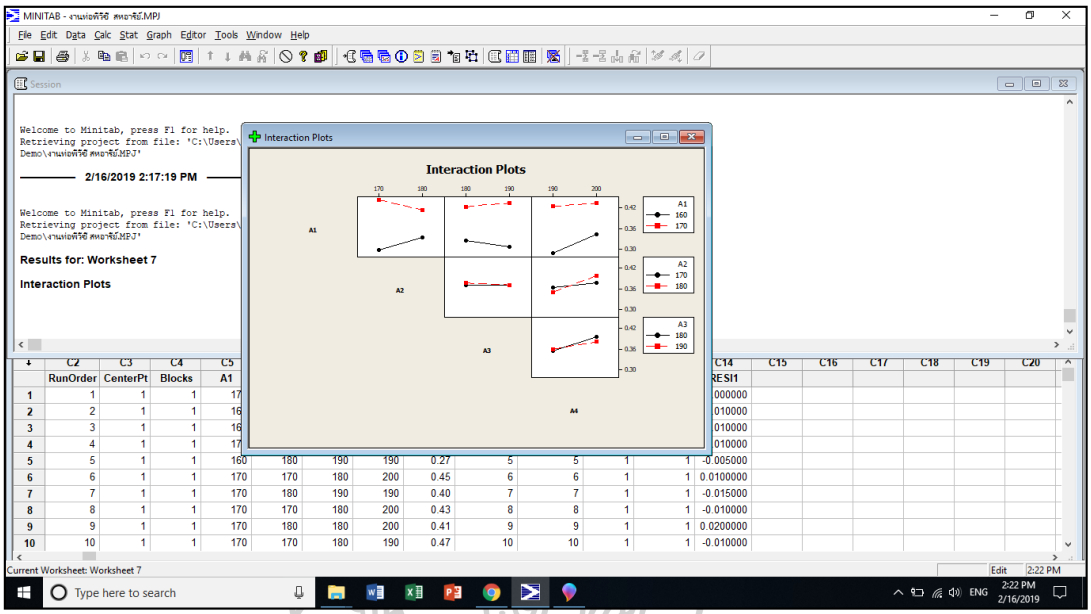
ภาพที่ 45 การเลือกไดอะล็อกบล็อคชื่อ Factorial Plots – Interaction Plot

3. หากต้องการใส่ชื่อในหัวข้อกราฟให้คลิกปุ่ม Options... จะปรากฏไดอะล็อกบล็อคชื่อ Factorial Plots – Interaction Plot – Option ใส่ชื่อหัวข้อที่ต้องการ จากนั้นคลิกปุ่ม OK



ภาพที่ 46 ไดอะล็อกบล็อคชื่อ Interaction Plot – Options

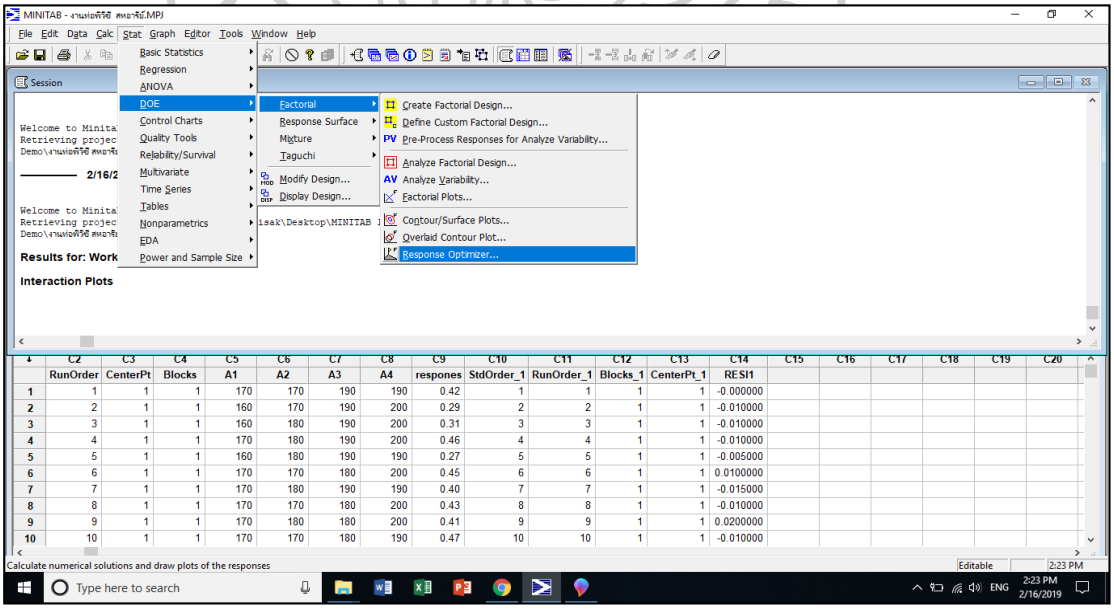
6.เมื่อใส่ชื่อเสร็จแล้วให้เลือกคลิก Data Mean จากนั้นคลิกปุ่ม OK จะแสดงผลการพล็อตกราฟของ Interaction Plot ดังภาพที่ 47



ภาพที่ 47 ผลการพล็อต Interaction

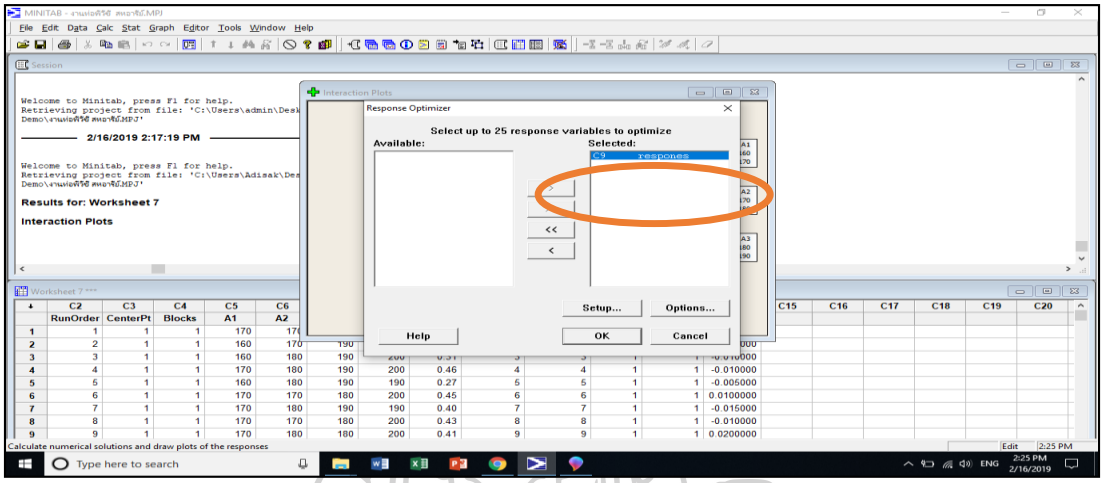
ข.8 Response Optimization

1. เลือก Stat DOE Response Surface Response Optimizer จากนั้นปรากฏไดอะล็อกบล็อคชื่อ Contour/Surface Plots ดังภาพที่ 48



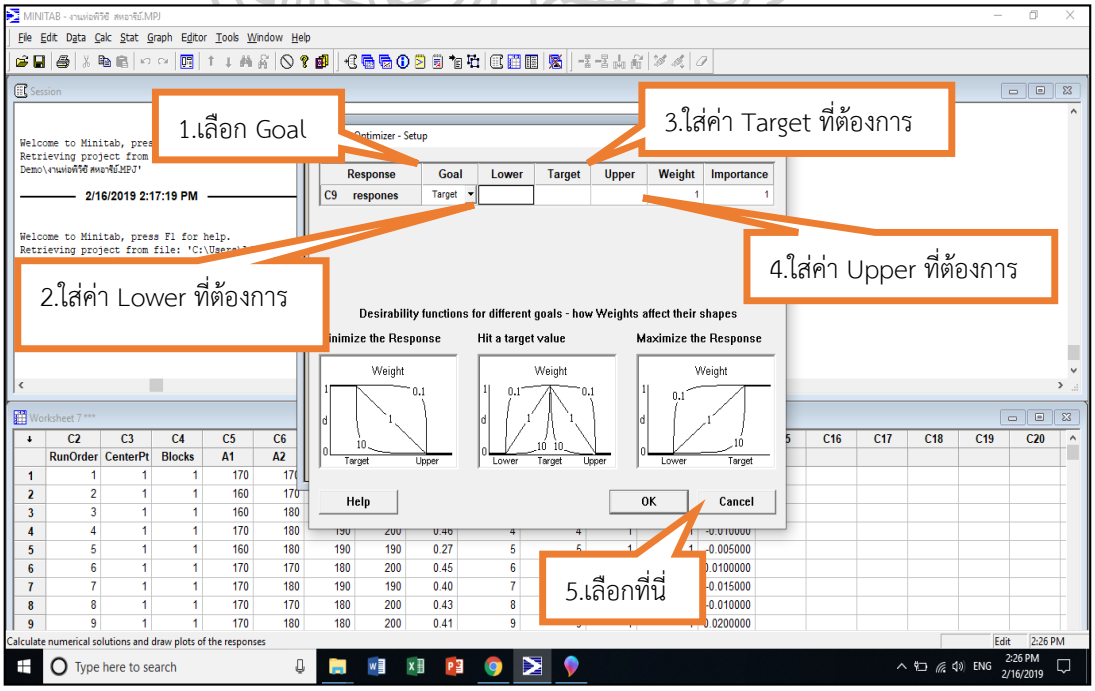
ภาพที่ 48 การใช้คำสั่ง Response Optimizer

2. เลือกคอลัมน์ Response ใส่ในช่อง Responses ทางขวามือ จากนั้นคลิกปุ่ม OK ดังภาพที่ 49



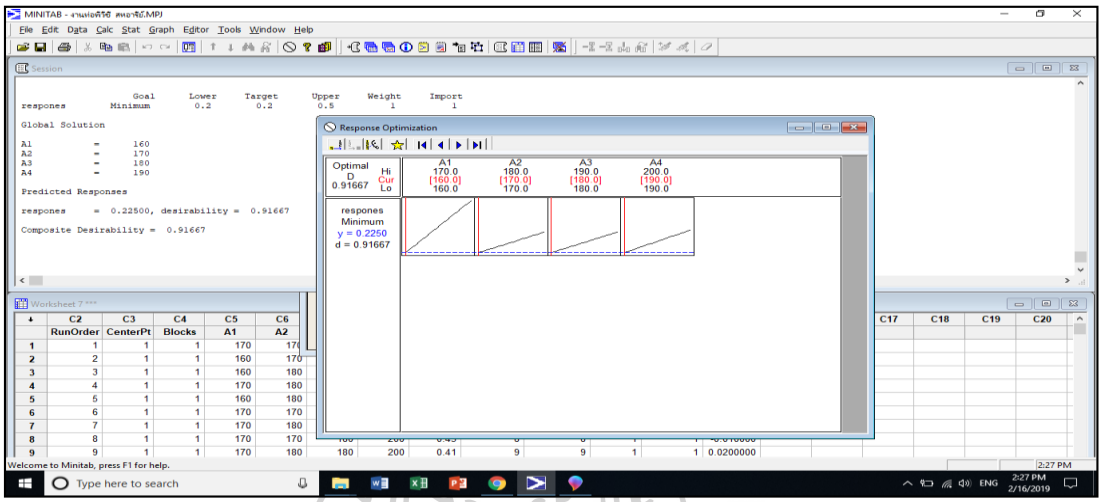
ภาพที่ 49 การเลือกคอลัมน์ Response ใส่ในช่อง Responses

3. คลิกปุ่ม Setup... จากนั้นทาการกำหนดลักษณะ Goal พร้อมใส่ค่า Lower Target และค่า Upper ที่ต้องการ เมื่อกรอกข้อมูลครบถ้วนแล้วคลิกปุ่ม OK ดังภาพที่ 50



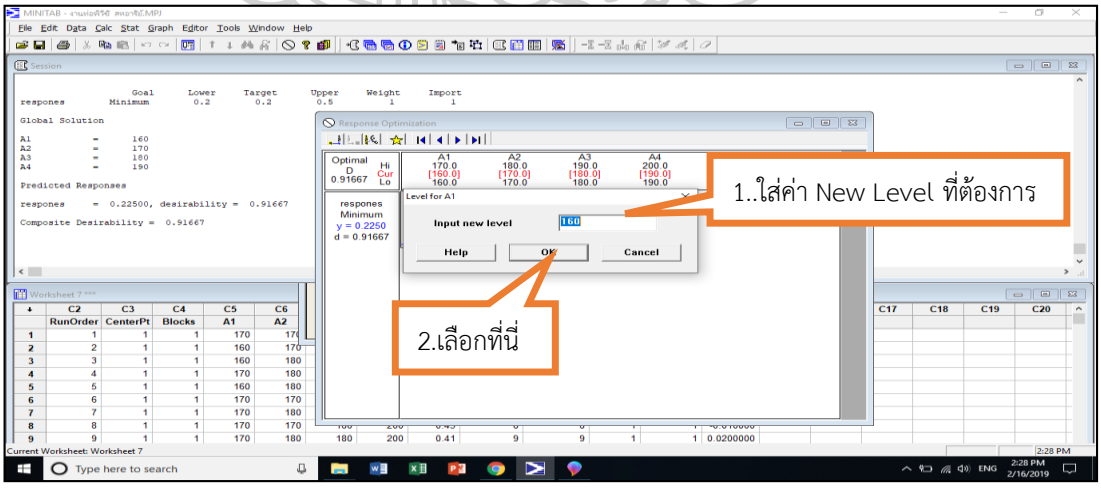
ภาพที่ 50 การกำหนดลักษณะ Goal พร้อมทั้งใส่ค่า Lower Target และค่า Upper

4. กดปุ่ม OK จากนั้นโปรแกรมจะแสดงค่า Response Optimization ดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 ไดอะล็อกบล็อคชื่อ Response Optimization จากหน้าจอหลักของโปรแกรม

5. ในไดอะล็อกบล็อคชื่อ Response Optimization สามารถกำหนดระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัย โดยคลิกในวงเล็บสีแดง (ตัวอย่าง [160]) จะปรากฏไดอะล็อกบล็อคชื่อ Level for ดังภาพที่ 52



ภาพที่ 52 การ Input New Level

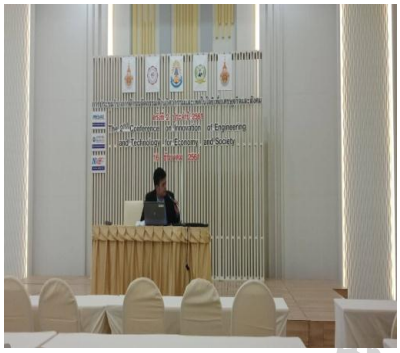
จากภาพที่ 52 ถ้าเราทดลองใส่ค่าใหม่ลงไปจะเป็นการคำนวนผลตอบสนองของแต่ละระดับปัจจัย โดยการคลิกปุ่ม OK

ภาคผนวก ค.

การพัฒนาตนเอง

เข้าร่วมงานการประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6/2561 “Blockchain in Education: The New Challenge for Academy Reform” เมื่อวันที่ 5-6 ตุลาคม 2561 ณ วิทยาลัยบัณฑิตเอเชีย อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

นำเสนอบทความวิจัยเรื่อง “การลดของเสียในกระบวนการฉีดท่อพีวีซี กรณีศึกษาบริษัท ตัวอย่าง” การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านเทคโนโลยี เพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2 ประจำปี 2561 เมื่อวันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตร่มเกล้า กรุงเทพมหานครฯ



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยี
เพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2 ประจำปี 2561
The 2nd Conference on Innovation of Engineering and Technology for Economy and Society

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า
นายอดิศักดิ์ วงศ์ตียิ่ง
ได้รับการพิจารณาเป็นบทความวิจัยดีเด่น
ในการประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2
ให้ไว้ ณ วันที่ 16 ธันวาคม พ.ศ. 2561
ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต จังหวัดกรุงเทพมหานคร

รองศาสตราจารย์ ดร.เสถียร ธัญญศิริรัตน์
รักษาราชการแทนอธิการบดี
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

ดร.เสนีย์ สุวรรณดี
รองอธิการบดี ฝ่ายวางแผนและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

รายการอ้างอิง

1. สีแก้วสิ่ว, ฉ., หลักการออกแบบการทดลอง *Design of experiment*. 2552.
2. สิทธิชัย สุรัตนชัยการ and อรรถกร เก่งพล, การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมในการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องบรรจุยาน้ำ. การประชุมวิชาการ ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 2555.
3. ปฐมพงษ์ หอมศรี and จักรพรรณ คงธน, การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับ ชิ้นส่วนยานยนต์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2557.
4. ดุษฎี บุญธรรม วาทิตวงษ์ดอกไม้ and พงศ์เทพ กุลชาติชัย, การศึกษาแนวทางการเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการตัดชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 2556.
5. จิตรลดา and นันทชัย, การลดของเสียของบรรจุภัณฑ์ด้วยการออกแบบการทดลอง. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2557.
6. วุฒิพงษ์ เม้ยชม, การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการผลิตขนมครัวซอง in สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี. 2558, สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์.
7. ดนุสรณ์ อุทรักษ์ and พชร พรหมมาศ, การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการขันแน่นล้อรถยนต์, in สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี. 2558, สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์.
8. บุญชัย and ณัฐธยาน์, การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 2559.
9. บริษัท ซี.ซี.ที กรุ๊ป, เครื่องรีดท่อพีวีซี. 1997.
10. Kobata, T., หลักการวิเคราะห์ *3G*. 2552.
11. (มหาชน), บ.ไ.จ., คู่มือการใช้งานพีวีซีเรซิน. -.
12. ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา and พงศ์ชนัน เหลืองไพบูรณ์, การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. 2551, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ทีอป จำกัด

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อดิศักดิ์ วงศ์ดียิ่ง
วัน เดือน ปี เกิด	17 กรกฎาคม 2530
สถานที่เกิด	นครปฐม
วุฒิการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	9/5 ม.1 ต.พะเนียด อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม 73120