โครงงานที่ 4/2562 (วศบ.อุตสาหการ)

การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการฉีดพลาสติก

นายธีระวิชญ์ แก้วสุข รหัสนักศึกษา 590610294

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปีการศึกษา 2562

หัวข้อโครงงาน	การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการฉีดพลาสติก
โดย	นายธีระวิชญ์ แก้วสุข รหัสนักศึกษา 590610294
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อลงกต แก้วโชติช่วงกูล
ปีการศึกษา	2562

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อนุมัติให้นับโครงงานนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

กรรมการสอบโครงงาน

..... ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.อลงกต แก้วโชติช่วงกูล)

..... กรรมการ
(รศ.ดร.ชนนาถ กฤตวรกาญจน์)

..... กรรมการ
(รศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์)

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยนี้สามารถสำเร็จไปด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.อลงกต แก้วโชติช่วงกูล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย ซึ่งเป็นผู้มอบความรู้ คำแนะนำ เสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนได้สละเวลาให้ความกรุณาตรวจทานแก้ไขโครงงานวิจัยนี้ และให้คำแนะนำโครงงานวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นจนเป็นโครงงานวิจัยฉบับนี้ ทางผู้ดำเนินงานวิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณกรรมการคุมสอบทุกท่าน ได้แก่ ผศ.ดร.อลงกต แก้วโชติช่วงกูล รศ.ดร.ชนนาถ กฤตวรกาญจน์ รศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์ รศ.ดร.วัสสนัย วรรธนัจฉริยา และ ผศ.ดร.วรพจน์ เสรีรัฐ ที่ให้คำแนะนำสำหรับการปรับปรุงโครงงานวิจัยให้เป็นไปในทางที่ดีมากกว่าเดิมมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และประสบการณ์จากการเรียนและการใช้ชีวิตให้แก่ผู้ดำเนินงานวิจัย ตลอดจนบุคลากร เจ้าหน้าที่ รุ่นพี่ และเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ เสนอแนวทาง และให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานวิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณบริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด และคุณสุวัฒน์ รัตนกิจ กรรมการผู้จัดการ และเจ้าหน้าที่แผนกผลิตภัณฑ์ Plastic Reel ของบริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด ทุกท่านที่ได้สละเวลามาให้ความรู้ ข้อมูล แนวทางการทำงาน คำแนะนำ และประสบการณ์ต่าง ๆ ซึ่งทำให้โครงงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ทางผู้ดำเนินงานวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ความรู้จากโครงงานวิจัยฉบับนี้จะสามารถเป็นประโยชน์ต่อบริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด และผู้ที่ได้ทำการศึกษา หากมีส่วนใดบกพร่องหรือมีความผิดพลาดประการใด ทางผู้ดำเนินงานวิจัยต้องขออภัยเป็นอย่างสูง และขอน้อมรับคำเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ทุกประการ

ธีระวิชญ์ แก้วสุข

หัวข้อโครงงาน	การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการฉีดพลาสติก
โดย	นายธีระวิชญ์ แก้วสุข รหัสนักศึกษา 590610294
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อลงกต แก้วโชติช่วงกูล
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกและความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป และลดเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ซึ่งอาศัยแผนผังสาเหตุและผล เพื่อระบุสาเหตุต่าง ๆ ที่เกิดกับกระบวนการฉีดพลาสติก จากนั้นจึงใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากปัจจัยที่ทำการศึกษา เพื่อลดเวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว

ผู้วิจัยทำการเลือกกระบวนการฉีดพลาสติกมาทำการศึกษา โดยงานวิจัยเริ่มจากใช้แผนผังสาเหตุและผลมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกและความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิในการฉีด แรงดันในการฉีด และความเร็วการฉีด จากนั้นจึงทำการทดลองตามหลักการออกแบบการทดลอง และทำการวิเคราะห์การทดลอง ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์คือ ค่าทำนายเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกเท่ากับ 24.36 วินาทีต่อชิ้น และค่าทำนายความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเท่ากับ 3 โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยดังนี้ อุณหภูมิในการฉีดเท่ากับ 215 องศาเซลเซียส แรงดันในการฉีดเท่ากับ 115 บาร์ และความเร็วในการฉีดเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร โดยค่าผลตอบเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกและความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมมินิแทป (Minitab) มีความคลาดเคลื่อนจากการทดลองยืนยันผลคิดเป็น 0.08 และ 0.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกเดิมจาก 27.18 วินาทีต่อชิ้น เป็น 24.36 วินาทีต่อชิ้น ทำให้สามารถลดลงไปได้ถึง 2.82 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็นร้อยละ 10.38 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิในการฉีดเท่ากับ 215 องศาเซลเซียส แรงดันในการฉีดเท่ากับ 115 บาร์ และความเร็วในการฉีดเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร คือพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการฉีดพลาสติก

Project Title	Parameter Optimization in Plastic Injection Process
Name	Teerawit Kaewsuk code 590610294
Department	Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
Project Advisor	Assistant Professor Alonggot Kaeochotchuangkul, D.Eng
Academic Year	2019

ABSTRACT

This research aimed to apply the 2^k factorial design of experiment techniques in the plastic injection process with the purpose to evaluate the parameters affecting the working time in the plastic injection process and the integrity of the finished product and reduce the working time in the plastic injection process that be under the control of cause and effect diagram to identify the various causes that occur with the plastic injection process. After that, use the experiment design techniques to evaluate suitable parameters from parameter to reduce the time to produce a 13-inch plastic reel.

The researcher selected the plastic injection process for study. First, the cause and effect diagram was analyzed that the result of analysis has the factor affecting the working time in the plastic injection process and integrity of the finished product to consist of 3 factors are injection temperature, injection pressure, and injection speed. Next, the experiment was conducted according to design of experiment and the result analysis, which results in predictive value of the working time in the plastic injection process is 24.36 seconds per piece and predictive value of the integrity of the finished product is 3, with suitable parameter of each factor is as follows injection temperature is 215 degrees celsius, injection pressure is 115 bar and injection speed is 85 percent of the machine power. The response of the working time in the plastic injection process and the integrity of the finished product from Minitab has an error from the experiment confirming is 0.08 and 0.00 percent consecutively and compared to the original working time in the plastic injection process from 27.18 seconds per piece to 24.36 seconds per piece, making it possible to lower 2.82 seconds per piece, representing 10.38 percent. Therefore, it can be concluded that the abovementioned is the suitable parameter of the plastic injection process.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ค
บทคัดย่อภาษาไทย ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ
สารบัญตาราง ซ
สารบัญภาพ ฌ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ 3
1.3 ขอบเขตการศึกษา 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17
บทที่ 3 ข้อมูลโรงงาน
3.1 ข้อมูลโรงงาน 19
3.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ 20
บทที่ 4 วิธีการดำเนินงานโครงงานวิจัย
4.1 ศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก และเก็บข้อมูลเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก 24
4.2 วิเคราะห์การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก เพื่อทราบผลของปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบที่ทำการศึกษา 30
4.3 ออกแบบการทดลอง โดยใช้หลักการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k 31
4.4 ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 35
4.5 ทำการทดลองยืนยันผล 35
4.6 สรุปผลและจัดทำรายงานโครงงานวิจัย 35
บทที่ 5 ผลการดำเนินงานของโครงงานวิจัย
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง 36
5.2 การวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) 55
5.3 การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง 57
5.4 สรุปผลและจัดทำรายงานโครงงานวิจัย 61

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย 62

6.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข 63

6.3 ข้อเสนอแนะ 63

บรรณานุกรม 64

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ของแต่ละชุดการทดลอง 66

ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการทดลองเสริมที่จุดศูนย์กลางของแต่ละชุดการทดลอง 70

ภาคผนวก ค ตารางแสดงผลการทดลองเพื่อยืนยันผลของแต่ละชุดการทดลอง 72

ภาคผนวก ง ตารางแสดงผลการทดลองก่อนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ของแต่ละชุดการทดลอง 74

ประวัติผู้เขียน 76

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	แสดงประเภทและลักษณะของการทดลองแบบต่าง ๆ	7
2.2	แสดงข้อมูลของการทดลอง 2 ปัจจัย	9
2.3	แสดงเครื่องหมายการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสำหรับ 3 ปัจจัย (2^3)	12
4.1	เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ณ ปัจจุบัน	29
4.2	ค่าของปัจจัยสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k	32
4.3	ตารางสำหรับบันทึกค่าการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k	32
4.4	ตารางสำหรับบันทึกค่าการทดลองเสริมที่จุดศูนย์กลางจำนวน 5 ครั้ง	33
4.5	ตารางแสดงลำดับการทดลองแบบสุ่มจากโปรแกรมมินิแทป (Minitab)	34
5.1	ตารางแสดงลำดับการทดลองแบบสุ่ม	36
5.2	ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k	38
5.3	ผลการทดลองเสริมที่จุดศูนย์กลาง	39
5.4	ผลการวิเคราะห์ในส่วนของ Session Window ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก	43
5.5	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพจน์ต่อผลตอบเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก	44
5.6	ผลการวิเคราะห์ในส่วนของ Session Window ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป	50
5.7	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพจน์ต่อผลตอบความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป	51
5.8	ผลการวิเคราะห์ Response Optimization ใน Session Window	56
5.9	ผลการทดลองเพื่อยืนยันผล	58
5.10	ผลการทดลองก่อนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	60
ก-1	ตารางแสดงผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ของแต่ละชุดการทดลอง	67
ข-1	ตารางแสดงผลการทดลองเสริมที่จุดศูนย์กลางของแต่ละชุดการทดลอง	71
ค-1	ตารางแสดงผลการทดลองเพื่อยืนยันผลของแต่ละชุดการทดลอง	73
ง-1	ตารางแสดงผลการทดลองก่อนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละชุดการทดลอง	75

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1.1	ผลิตภัณฑ์ Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว	2
1.2	ยอดขายผลิตภัณฑ์ Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว	2
1.3	เครื่องฉีดพลาสติก	2
2.1	ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหรือระบบที่ศึกษาหลักการพื้นฐานในการออกแบบการทดลอง	5
2.2	แสดงรูปแบบการทดลองแบบ 2^2 Factorial Design	10
2.3	แสดงรูปแบบการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design แบบทรงลูกบาศก์	11
2.4	การกำหนดน้ำหนัก (Weight) ของผลตอบ (กรณีมีผลตอบเดียว)	15
2.5	การกำหนดน้ำหนัก (Weight) ของผลตอบ (กรณีมี 2 ผลตอบ)	15
2.6	ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนผังสาเหตุและผล	17
3.1	รางวัลที่รับรองคุณภาพของบริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด	19
3.2	โครงสร้างองค์กรของบริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด	20
3.3	Thermoforming Tray	21
3.4	Carrier Tape	21
3.5	Plastic Reel	22
3.6	บรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหาร	22
4.1	วิธีการดำเนินงานโครงงานวิจัย	23
4.2	สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหากับเครื่องฉีดพลาสติก โดยใช้แผนผังสาเหตุและผล	24
4.3	แม่พิมพ์	25
4.4	แผงควบคุม	25
4.5	ระบบน้ำหล่อเย็น	26
4.6	น้ำมันเครื่อง	26
4.7	ประกบแม่พิมพ์	27
4.8	กระบอกฉีด	27
4.9	สายพาน	28
4.10	ชิ้นงานเป็นรอย	30
4.11	ชิ้นงานถูกฉีดไม่เต็มชิ้น	30
5.1	กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design: Graphs สำหรับใช้วิเคราะห์ค่าเศษเหลือ	39
5.2	กราฟค่าเศษเหลือ (Residual Analysis) ของค่าผลตอบเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก	40
5.3	กราฟค่าเศษเหลือ (Residual Analysis) ของค่าผลตอบความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

5.4 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก 41
5.5 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design: Terms ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก 42
5.6 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design: Graphs ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก 42
5.7 ระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยกราฟ Normal Plot 45
5.8 ระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยแผนภาพพาเรโต 45
5.9 ขั้นตอนการสร้างกราฟ Main Effects Plot และ Interaction Plot ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก 46
5.10 กราฟ Main Effects Plot ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก 46
5.11 กราฟ Interaction Plot ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก 47
5.12 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป 48
5.13 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design: Terms ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป 49
5.14 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design: Graphs ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป 49
5.15 ระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปด้วยกราฟ Normal Plot 52
5.16 ระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปด้วยแผนภาพพาเรโต 52
5.17 ขั้นตอนการสร้างกราฟ Main Effects Plot และ Interaction Plot ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป 53
5.18 กราฟ Main Effects Plot ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป 53
5.19 กราฟ Interaction Plot ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป 54
5.20 กรอบโต้ตอบ Response Optimizer 55
5.21 กรอบโต้ตอบ Response Optimizer: Setup 56
5.22 กราฟ Optimization Plot 57
5.23 การทดสอบสมมติฐานผลการทดลองยืนยันผล 59
5.24 การทดสอบสมมติฐานผลการทดลองก่อนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม 60

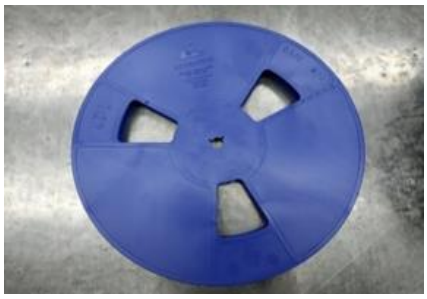
บทที่ 1

บทนำ

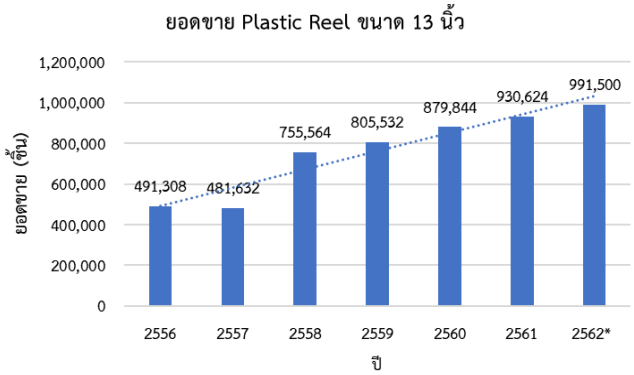
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำโครงงาน

พลาสติก เป็นสิ่งที่มนุษย์คุ้นเคยและใช้งานมายาวนานหลายทศวรรษ ก่อนที่จะพัฒนาเม็ดพลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพ มีความหลากหลาย จนเกิดเป็นพลาสติกรูปแบบอื่น ๆ อีกมากมายในปัจจุบัน เรียกได้ว่าเม็ดพลาสติกเป็นสิ่งที่มีความสำคัญแก่มนุษย์ยุคปัจจุบัน พลาสติกจัดว่าเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์แทนโลหะ ไม้ หรือวัสดุธรรมชาติอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นการนำพลาสติกมาขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนของยานยนต์ ภาชนะ และบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ หรือการนำพลาสติกมาทำเป็นเส้นใยเพื่อผลิตสิ่งทอ พลาสติกเป็นสิ่งที่มนุษย์ได้คิดค้นและผลิตขึ้นมา โดยการนำวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ เส้นใยจากพืช เป็นต้น โดยพลาสติกมีหลากหลายรูปแบบที่แตกต่างกันไปตามกรรมวิธีและสิ่งที่ถูกนำมาผลิต เพื่อที่จะให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะทำจากเม็ดพลาสติกแต่ละรูปแบบ ซึ่งจะส่งผลต่อความคุ้มค่าและประสิทธิภาพการใช้งานอีกด้วย บริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด ซึ่งเป็นหนึ่งในผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก จึงมีความต้องการหาแนวทางที่จะทำให้เกิดความได้เปรียบในธุรกิจ เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มมากขึ้นได้

บริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด เป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางที่ประกอบธุรกิจผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก สำหรับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อาหาร และอุตสาหกรรมทั่วไป ได้แก่ Thermoforming Tray, Carrier Tape, Plastic Reel เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาคือ Plastic Reel ขนาด 13 นิ้วดังภาพ 1.1 เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้มยอดขายเพิ่มมากขึ้นทุกปีดังภาพ 1.2 จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเพิ่มกำลังการผลิต เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคตได้ จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นทำให้พบว่ากระบวนการผลิต Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว โดยเริ่มจากการอบเม็ดพลาสติกให้ละลาย มายังกระบวนการฉีดพลาสติก และการเคลือบผิวชิ้นงาน จากนั้นจึงประกอบเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป และตรวจสอบคุณภาพก่อนจัดเก็บเข้าคลังสินค้า จากขั้นตอนทั้งหมดที่ได้กล่าวมาในข้างต้น กระบวนการฉีดพลาสติก เป็นจุดที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมากที่สุด และสามารถทำการปรับปรุงเพื่อลดเวลาในการฉีดพลาสติกจากเดิมได้



ภาพ 1.1 ผลิตภัณฑ์ Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว



ภาพ 1.2 ยอดขายผลิตภัณฑ์ Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว

ผู้ดำเนินการมีความสนใจกระบวนการฉีดพลาสติกของกระบวนการผลิต Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว โดยจะทำการวิเคราะห์การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกดังภาพ 1.3 เพื่อให้ทราบค่าปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องจักรที่มีผลต่อกระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ Plastic Reel โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง ซึ่งการออกแบบการทดลองนี้จะใช้ตัวแปรที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อกระบวนการฉีดพลาสติกคือ อุณหภูมิในการฉีด แรงดันในการฉีด และความเร็วในการฉีด

ภาพ 1.3 เครื่องฉีดพลาสติก

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาค่าปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

1.2.2 เพื่อลดเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก

1.3. ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 สถานที่ศึกษา บริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด ที่ตั้ง 55 หมู่ 15 ถนนอ้อมเมือง-ป่าซาง ตำบลป่าสัก อำเภอเมืองลำพูน จังหวัดลำพูน 51000

1.3.2 ศึกษาค่าปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในการกำหนดค่าของอุณหภูมิในการฉีด แรงดันในการฉีด และความเร็วการฉีด

1.3.3 ใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) และฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function) ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการฉีดพลาสติก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการฉีดพลาสติก

1.4.2 เครื่องฉีดพลาสติก สามารถเพิ่มอัตราผลผลิตได้จำนวนมากขึ้นกว่าเดิม

1.4.3 ถ้าสามารถลดเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกไปได้ 1 วินาทีต่อชิ้น คาดว่าจะสามารถทำการผลิต Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว ได้ครบถ้วนตามความต้องการของลูกค้าต่อสัปดาห์ภายใน 6 วันทำงานปกติ โดยไม่มีความจำเป็นต้องทำงานล่วงเวลาในวันทำงานปกติ สามารถประหยัดต้นทุนแรงงานทางตรงไปได้ประมาณร้อยละ 8 ของต้นทุนแรงงานทางตรงทั้งหมดของแผนก แต่ถ้าสามารถลดเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกไปได้มากกว่า 1 วินาทีต่อชิ้น คาดว่าเครื่องฉีดพลาสติกจะมีเวลารองรับการทำงานกับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้มากขึ้น เช่น Plastic Reel ขนาดอื่น หรือ Carrier Tape

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการทดลองโครงงานเรื่อง การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการฉีดพลาสติก ผู้ดำเนินการได้มีการนำหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะงานวิจัย ซึ่งมีทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วยกันหลายทฤษฎี ได้แก่

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

สันติชัย ชีวสุทธิศิลป์ (2549) การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมโดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สามารถทำการศึกษาผลของหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกันด้วยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัย ซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคการออกแบบการทดลองคือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นการทดลองแบบลองผิดลองถูก หรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One Factor at a Time: OFAT) จะให้ผลตอบเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่ต้องการได้ช้าและสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์รวมถึงต้องเก็บข้อมูลจำนวนมาก และยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่เกิดอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง ดังนั้นการออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัย (Factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ (Response) ที่เกิดขึ้นโดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการในการออกแบบการทดลองประกอบด้วยตัวแปร 2 ประเภทดังนี้

1. ตัวแปรนำเข้า (Input Variables) คือตัวแปรอิสระในกระบวนการและแบ่งประเภทของตัวแปรนำเข้าได้หลายแบบดังนี้

1.1 แบ่งตามชนิดของข้อมูลของตัวแปร ได้แก่

- ตัวแปรต่อเนื่อง (Continuous Variables) หรือตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative Data) เช่น อุณหภูมิ ความถ่วงจำเพาะ ขนาดของชิ้นงาน

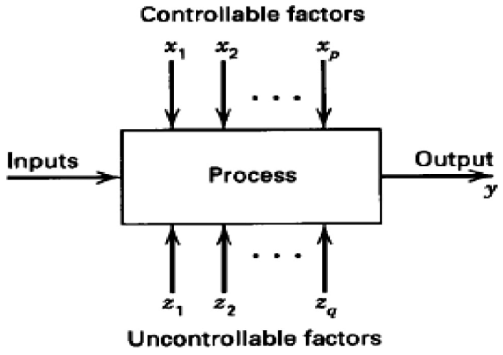
- ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete Variables) หรือตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative Data) เช่น ชนิดของเครื่องจักร ระดับของปัจจัยที่สามารถปรับได้ 5 ระดับ ประเภทของวัตถุดิบ

1.2 แบ่งตามความสามารถในการควบคุมปัจจัยในการทดลองแสดงดังภาพ 2.1 ได้แก่

- ตัวแปรที่ควบคุมหรือปรับค่าได้ (Controllable Variables) คือตัวแปรในระบบที่มีผลต่อการทดลองและผู้ทดลองสามารถควบคุมของระดับของตัวแปรเหล่านี้ได้โดยสามารถปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยให้มีค่าสูงต่ำตามความต้องการ โดยตัวแปรบางตัวสามารถควบคุมได้ง่ายหรือบางตัวแปรอาจควบคุมได้ยากหรืออาจต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการควบคุม ในการทดลองจะเลือกศึกษาเฉพาะตัวแปรที่ปรับค่าได้ ส่วนตัวแปรที่ไม่ถูกเลือกในการศึกษาจะต้องควบคุมให้อยู่ในระดับเท่ากันตลอดทุกการทดลอง

- ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Variables) คือตัวแปรในระบบที่เกี่ยวข้องและอาจมีผลต่อการทดลองมากหรือน้อย แต่เนื่องจากไม่สามารถควบคุมระดับปัจจัยเหล่านี้ได้ในระหว่างการทดลอง ดังนั้นผลของปัจจัยนี้จะส่งผลให้การทดลองคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงโดยทั่วไปเรียกอีกอย่างว่า ปัจจัยรบกวน (Nuisance Factors) แม้ว่าปัจจัยรบกวนส่วนใหญ่อาจมีผลต่อการทดลองน้อยแต่ถ้ามีจำนวนมาก ผลกระทบร่วมของปัจจัยเหล่านั้นอาจมีผลรบกวนต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญได้

2. ตัวแปรผลตอบของกระบวนการ (Output/Response Variables) คือผลลัพธ์ของกระบวนการหรือการทดลอง หรือตัวแปรตามที่ขึ้นกับระดับของตัวแปรนำเข้าในการทดลองเดียวกันอาจมีผลลัพธ์จากการทดลองมากกว่าหนึ่งอย่าง ผู้วิจัยจะต้องเลือกผลตอบจากการทดลองที่เหมาะสมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการศึกษา ในกรณีปกติในการวิเคราะห์ผลผู้วิจัยมักเลือกผลตอบเพียงหนึ่งผลตอบ ส่วนกรณีวิเคราะห์ผลโดยมีผลตอบมากกว่าหนึ่งผลตอบจะต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น นอกจากนี้ผลตอบในการทดลองอาจเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพหรือปริมาณ แต่ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติผลตอบเชิงคุณภาพจะต้องแปลงให้เป็นผลตอบเชิงปริมาณ



ภาพ 2.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหรือระบบที่ศึกษาหลักการพื้นฐานในการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐานที่สำคัญ 3 ประการที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองและเป็นหลักการเพื่อช่วยให้ผลการทดลองมีความถูกต้อง เที่ยงตรง และแม่นยำมากขึ้น ประกอบด้วย

1. การทดลองซ้ำ (Replication) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ทำให้การทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ และถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง การทดลองซ้ำทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

2. การสุ่ม (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีวัสดุที่ใช้ในการทดลอง และลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีการทางสถิติกำหนดว่าข้อมูลจะต้องเป็นปัจจัยแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ ซึ่งการสุ่มการทดลองทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจปรากฏในการทดลองได้

3. การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจหมายถึง ส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่าง ๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิ้ง

ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองสำหรับปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพในกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองมีความจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการในแต่ละขั้นตอนของการออกแบบการทดลองอย่างชัดเจน ซึ่งขั้นตอนการออกแบบการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษาปัญหาในขั้นตอนนี้ ต้องตระหนักว่าปัญหาคืออะไร ต้องการข้อมูลจากแหล่งใดบ้าง เพื่อกำหนดเป้าหมายของการศึกษาให้ชัดเจน จากการศึกษาในขั้นตอนนี้บ่อยครั้งพบว่า มีส่วนทำให้ผู้วิเคราะห์เกิดการเข้าใจกระบวนการได้ดียิ่งขึ้น และนำไปสู่แนวทางการแก้ไขปัญหาในที่สุด

2. ขั้นตอนการกำหนดผลตอบ (Response) ที่ต้องการศึกษาเป็นขั้นตอนที่ผู้ทำการทดลองต้องกำหนดคุณลักษณะทางคุณภาพที่มั่นใจได้ว่าเป็นสิ่งที่ต้องการปรับปรุงของกระบวนการที่ทำการศึกษาอยู่ อาจเป็นผลมาจากการทำ SPC ทั้งนี้ต้องมั่นใจได้ว่าระบบการวัดมีความสามารถเพียงพอ เนื่องจากหากระบบการวัดที่ไม่มีความสามารถจะทำให้การบ่งชี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลตอบ (Response) ไม่ชัดเจนเพราะผลการทดลองจะบ่งชี้ความแตกต่างของผลปัจจัยที่ส่งผลสูงๆ เท่านั้น ในขณะที่ปัจจัยที่ส่งผลระดับต่ำถึงปานกลางจะไม่สามารถแบ่งแยกได้

3. การกำหนดปัจจัยที่ต้องควบคุมและระดับของปัจจัย เป็นขั้นตอนที่ผู้ทำการทดลองต้องเลือกปัจจัยที่สงสัยว่าจะส่งผลต่อผลตอบ (Response) พร้อมทั้งระดับของแต่ละปัจจัยที่ปรับเปลี่ยนได้ โดยจะต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับสภาพการดำเนินการจริง ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญหรือประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ หากกำหนดจำนวนปัจจัยและระดับของปัจจัยไม่ครอบคลุมจะทำให้ไม่ได้ผลการทดลองที่นำไปสู่การแก้ปัญหาได้อย่างแท้จริง ในขณะที่การกำหนดปัจจัยมากเกินไปจะส่งผลต่อต้นทุนและเวลาในการทำการทดลอง อย่างไรก็ตามกรณีที่มีจำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาก ผู้ทำการทดลองสามารถคัดกรองปัจจัยการทดลองเบื้องต้นหรือ Screening Experiment ก่อนที่จะทำการทดลองโดยละเอียดกับปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อผลตอบ (Response) อย่างแท้จริงต่อไป

4. การกำหนดรูปแบบการทดลอง เมื่อ 3 ขั้นตอนแรกทำอย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้จะไม่ยุ่งยากนัก ผู้ทำการทดลองต้องเลือกรูปแบบ (Design) ของการทดลอง ซึ่งรวมถึงขนาดตัวอย่าง จำนวนครั้งในการทดลองซ้ำ (Replication) การกำหนดลำดับการทดลองอย่างสุ่ม เป็นต้น โดยแนวทางการเลือกวิธีการออกแบบการทดลองสามารถเลือกได้จากลักษณะของปัจจัยดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 แสดงประเภทและลักษณะของการทดลองแบบต่าง ๆ

รูปแบบการทดลอง	ลักษณะการทดลอง	เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์	ความถูกต้อง	งบประมาณ
Single Factor	การทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัย โดยคาดว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย และเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	นาน	มากที่สุด	มาก
2^kDesign	การทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย และเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ แต่กำหนดระดับของปัจจัยให้อยู่ที่ปัจจัยละ 2 ระดับเท่านั้น	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{k-p}Design	การทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย แต่ไม่ทำการทดลองเต็มรูปแบบ	รวดเร็ว	น้อย	น้อย

5. การทดลองและการเก็บข้อมูล ผู้ทดลองต้องควบคุมการทดลองให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ความผิดพลาดทั้งจากการทดลองและการเก็บข้อมูล จะส่งผลให้การทดลองไม่น่าเชื่อถือและไม่สามารถนำไปวิเคราะห์อะไรได้ เช่นการไม่ทำการทดลองตามหลักการของการสุ่มจะส่งผลให้อิทธิพลของ Noise Factors ไม่กระจายเฉลี่ย ทำให้ผลของการทดลองแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับผลการทดลองครั้งก่อน หรือครั้งอื่น ๆ (ไม่เป็นอิสระต่อกัน) หรือมี Autocorrelation ระหว่างข้อมูลการทดลองเป็นต้น

6. การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลทำตามหลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) การวิเคราะห์ด้วยกราฟ การวิเคราะห์สมการเส้นถดถอย ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น ในการวิเคราะห์จริงผู้วิเคราะห์มีซอฟต์แวร์ทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์หลากหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามผู้วิเคราะห์ควรเข้าใจหลักการทางสถิติเพื่อการแปรความหมายที่ถูกต้องด้วย

7. การสรุปและนำเสนอแนวทางการปรับปรุง เมื่อทราบผลการวิเคราะห์การสรุปผลและแนะนำการดำเนินการเพื่อปรับปรุงเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง ผู้วิเคราะห์อาจใช้เครื่องมือเช่นกราฟเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ต่าง ๆ และผลที่คาดว่าจะได้รับจากการปรับปรุงแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ควรมีการทดลองเพื่อยืนยันข้อแนะนำการปรับปรุงอีกครั้งก่อนการประยุกต์ใช้จริง นอกจากนี้ควรมีการตรวจติดตามผลการปรับปรุงด้วยเครื่องมือของ SPC ที่เหมาะสมต่อไป

จากขั้นตอนทั้งหมด ขั้นตอนที่ 1 – 3 เป็นขั้นตอนการเตรียมการทดลอง ซึ่งต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดขึ้น และได้ผลการทดลองที่มีความน่าเชื่อถือ นำไปสู่การปรับปรุงได้อย่างแท้จริง โดยการดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 – 7 สามารถทำเป็นรอบ ๆ ได้ จากการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัย (Screening Experiment) การทดลองโดยละเอียดเพื่อบ่งชี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลตอบ (Response) อย่างแท้จริง (Refining Experiment) และการทดลองเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่มีผลอย่างเหมาะสม (Optimizing Experiment) โดยความผิดพลาดที่พบบ่อย

ในการนำทฤษฎีการออกแบบการทดลองไปใช้กับงานจริงคือ ผู้ทดลองพยายามที่จะทำการทดลองขนาดใหญ่เพียงครั้งเดียวและสรุปผลให้ได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุของความผิดพลาดต่าง ๆ ที่ตามมาเช่นกัน ข้อมูลที่ได้ไม่เป็นอิสระต่อกันความแปรผันของข้อมูลไม่คงที่ตลอดการทดลอง เป็นต้น

2.1.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มจำนวน 2^k (Full Factorial Design)

สันติชัย ชีวสุทธิศิลป์ (2549) กรณีนี้จะเน้นการศึกษาผลของปัจจัย k ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมีการปรับเปลี่ยนระดับจำนวนเท่ากันคือ 2 ระดับ ดังนั้นจำนวนเงื่อนไขการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มจำนวนคือ $2_1X2_2X2_3X....X2_K$ การทดลองเรียกว่าการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มจำนวน 2^k เป็นกรณีการออกแบบทดลองที่สำคัญและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับประยุกต์ใช้แก้ปัญหาในงานศึกษาวิจัย โดยจุดประสงค์ของการออกแบบการทดลองคือ เพื่อคัดกรองปัจจัย (Factorial Screening Experiment) โดยเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญเท่านั้นและใช้สำหรับสร้างแบบจำลองพฤติกรรมของกระบวนการ

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) สามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยทุกปัจจัยพร้อมกันทำให้สามารถประมาณค่าผลกระทบหลัก (Main Effects) และผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ถึง k ปัจจัย (Interaction Effects) ครบทุกเทอมได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน จากนั้นคัดกรองเฉพาะที่มีนัยสำคัญเพื่อใช้สำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากผลการทดลอง (Empirical Model) เพื่อใช้สำหรับทำนายผลการทดลองและกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน (Optimum Condition) โดยแบบจำลองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือแบบเชิงเส้นผสมเทอมผลกระทบร่วม (Linear Model with Interaction Terms) เนื่องจากจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาทดลองมีเพียง 2 ระดับ จึงสามารถประมาณความสัมพันธ์เชิงเส้นซึ่งประกอบด้วย ผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วม แม้แบบจำลองที่ประกอบด้วยผลกระทบร่วมจะมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงแบบเส้นโค้ง โดยเฉพาะประกอบด้วยผลกระทบร่วมอันดับสูงเส้นพื้นผิวของผลตอบจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งมากขึ้น แต่โดยปกติในทางปฏิบัติผลกระทบร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยขึ้นไป มักมีผลต่อกระบวนการที่ศึกษาน้อยมากการออกแบบแฟคทอเรียลมีคุณสมบัติที่ดีในด้านต่อไปนี้

- สามารถศึกษาผลของตัวแปรทั้งเชิงคุณภาพ (Qualitative Variables) และเชิงปริมาณ (Quantitative Variables)
- สามารถศึกษาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้อย่างเป็นอิสระเนื่องจากในการทดลองสามารถศึกษาการเปลี่ยนระดับของปัจจัยหลายปัจจัยพร้อมกัน
- สามารถควบคุมและลดผลของปัจจัยรบกวน (Nuisance Factors) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบมีนบล็อก
- สามารถประมาณค่าความแปรปรวนที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความผิดพลาดในการทดลองเพื่อใช้สำหรับพิจารณาว่าผลกระทบใดบ้างที่มีนัยสำคัญ โดยการทดลองซ้ำจุดแฟคทอเรียลหรือจุดกึ่งกลาง
- สามารถนำผลการทดลองมาใช้สร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่จำลองพฤติกรรมการทำงานของกระบวนการได้อย่างถูกต้องและใกล้เคียงระบบการทำงานจริง
- สามารถทำการทดลองแบบเป็นลำดับขั้นโดยการแบ่งการทดลองเป็นชุดย่อย แล้ววิเคราะห์ผลเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับกำหนดกลยุทธ์การออกแบบการทดลองเพิ่มเติมในชุดถัดไปและสามารถนำผลการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลร่วมกันได้

- ใช้จำนวนการทดลองน้อยและให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบมากกว่าการทดลองแบบดั้งเดิม (ปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยเพียงครั้งละ 1 ปัจจัยและกำหนดปัจจัยที่เหลือให้มีค่าคงที่หรือพิจารณาเฉพาะแนวโน้ม) เป็นวิธีการที่ศึกษาและเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการอย่างเป็นระบบ

- ผลการทดลองมีความถูกต้องและแม่นยำ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อปรับปรุงพัฒนาคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล

นอกจากนี้การออกแบบจะกำหนดให้มีการทดสอบทุก ๆ ทางเลือกที่เป็นไปได้ (Combinations) ของปัจจัยทั้งหมด ซึ่งทำให้สามารถประมาณอิทธิพลของปัจจัยต่อผลตอบ (Response) ได้ทั้งแบบ Main Effect และ Interaction แต่การออกแบบการทดลองนี้ ต้องการเวลาและทรัพยากรในการทดลองมาก โดยเฉพาะเมื่อจำนวนปัจจัยมีมากขึ้น การออกแบบอาจแบ่งเป็น 2 ลักษณะตามจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย คือ

- เมื่อจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยมากกว่า 2 ระดับขึ้น

- เมื่อจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยเท่ากับ 2 ระดับ ในกรณีที่ 2 จะใช้สัญลักษณ์ 2^k Design โดยเลข 2 แทนจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย และ k แทนจำนวนปัจจัยที่พิจารณาในการทดลอง ในการทดลองจะมีสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องคือ

ระดับของปัจจัย A สามารถปรับเปลี่ยนได้ จากระดับ 1,2,..., a แทนด้วย i

ระดับของปัจจัย B สามารถปรับเปลี่ยนได้ จากระดับ 1,2,..., a แทนด้วย j

ระดับของปัจจัย C สามารถปรับเปลี่ยนได้ จากระดับ 1,2,..., a แทนด้วย k

จำนวนครั้งในการทำการทดลองซ้ำ (Replication) แทนด้วย n

ผลการทดลองจากการทดลองที่ปัจจัย A,B และ C ระดับ i, j และ k ตามลำดับครั้งที่ n แทนด้วย y_{ijkn} ข้อมูลจากการทดลองกรณี 2 ปัจจัย A จำนวน a ระดับ และปัจจัย B จำนวน b ระดับ ดังตาราง 2.2

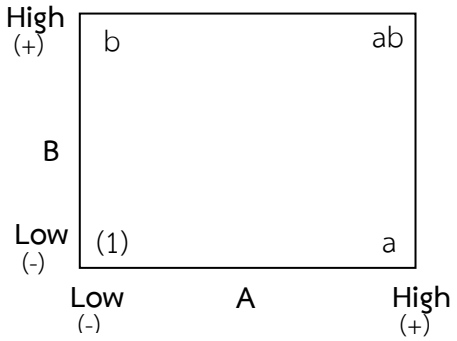
ตาราง 2.2 แสดงข้อมูลของการทดลอง 2 ปัจจัย

		ปัจจัย B			
		1	2	.....	b
ปัจจัย A	1	$Y_{111}, Y_{112}, ..., Y_{11n}$	$Y_{121}, Y_{122}, ..., Y_{12n}$	.....	$Y_{1b1}, Y_{1b2}, ..., Y_{1bn}$
	2	$Y_{211}, Y_{212}, ..., Y_{21n}$	$Y_{221}, Y_{222}, ..., Y_{22n}$	.....	$Y_{2b1}, Y_{2b2}, ..., Y_{2bn}$
	.....	.....	.....	.....	.....
	a	$Y_{a11}, Y_{a12}, ..., Y_{a1n}$	$Y_{a21}, Y_{a22}, ..., Y_{a2n}$	.....	$Y_{ab1}, Y_{ab2}, ..., Y_{abn}$

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2^k เมื่อมีจำนวนปัจจัยที่พิจารณาจำนวน k ปัจจัย แต่ละปัจจัยสามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 ระดับ เรียกว่า ระดับสูง (High level) แทนด้วยเครื่องหมาย “+” และระดับต่ำ (Low level) แทนด้วยเครื่องหมาย “-” ตัวอย่าง ถ้ามีปัจจัยที่สนใจ 2 ปัจจัยคือ A และ B ระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัย A จะแทนได้ด้วย A+ และ A- ตามลำดับ และระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัย B จะแทนได้ด้วย B+ และ B- ตามลำดับ

การทดลองที่ง่ายที่สุดสำหรับกรณีนี้คือ k=2 หรือ มี 2 ปัจจัย ซึ่งเรียกว่า 2^2 Factorial Design รูปแบบการทดลอง ดังภาพ 2.2 ซึ่งประกอบด้วย 4 การทดลอง ดังนี้

- A Low, B Low หรือ A-, B- แทนด้วย (1)
- A High, B Low หรือ A+, B- แทนด้วย a
- A Low, B High หรือ A-, B+ แทนด้วย b
- A High, B High หรือ A+, B+ แทนด้วย ab

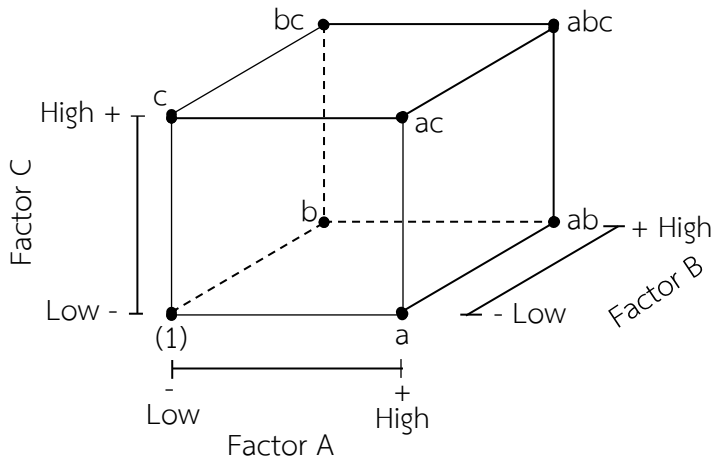


ภาพ 2.2 แสดงรูปแบบการทดลองแบบ 2^2 Factorial Design

กรณีที่มีปัจจัยมากกว่า 2 ปัจจัยขึ้นไป หรือ $k \geq 3$ การทดลองและการวิเคราะห์จะมีความซับซ้อนมากขึ้น โดยในกรณีของแฟคทอเรียลซึ่งพิจารณาเพียง 2 ระดับของแต่ละปัจจัย เช่น $k = 3$ รูปแบบการทดลองจะแทนได้ด้วยรูปทรงลูกบาศก์ ประกอบด้วยการทดลอง 8 การทดลอง ดังนี้

- A Low, B Low, C Low หรือ A-, B-, C- แทนด้วย (1)
- A High, B Low, C Low หรือ A+, B-, C- แทนด้วย a
- A Low, B High, C Low หรือ A-, B+, C- แทนด้วย b
- A High, B High, C Low หรือ A+, B+, C- แทนด้วย ab
- A Low, B Low, C High หรือ A-, B-, C+ แทนด้วย c
- A High, B Low, C High หรือ A+, B-, C+ แทนด้วย ac
- A Low, B High, C High หรือ A-, B+, C+ แทนด้วย bc
- A High, B High, C High หรือ A+, B+, C+ แทนด้วย abc

ในการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design เป็นการทดสอบอิทธิพลหลัก (Main effects) คือ A B และ C อิทธิพลรวม 2 ปัจจัย (2 ways interaction) คือ AB AC และ BC และอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย (3 ways interaction) คือ ABC ซึ่งเป็นผลการทดลองที่แต่ละมุมของรูปทรงลูกบาศก์ ดังภาพ 2.3



ภาพ 2.3 แสดงรูปแบบการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design แบบทรงลูกบาศก์

ดังนั้นเพื่อหาผลตอบของปัจจัยต่าง ๆ จึงมีการคำนวณค่าผลกระทบขึ้นมา โดยค่าผลกระทบคืออัตราการเปลี่ยนแปลงของผลตอบเฉลี่ย เมื่อปรับเปลี่ยนปัจจัยระดับต่ำ (-1) เป็นระดับสูง (+1) และสูตรสำหรับการคำนวณค่าผลกระทบสำหรับปัจจัย A จึงสามารถแสดง ดังสมการ 2.1

$$\mathrm{A} = \bar{\mathrm{y}}_{\mathrm{A}^+} - \bar{\mathrm{y}}_{\mathrm{A}^-}$$

$$\mathrm{A} = \frac{1}{4\mathrm{n}}[\mathrm{a} - (1) + \mathrm{ab} - \mathrm{b} + \mathrm{ac} - \mathrm{c} + \mathrm{abc} - \mathrm{bc}]$$

$$\mathrm{A} = \frac{\mathrm{a} + \mathrm{ab} + \mathrm{ac} + \mathrm{abc}}{4\mathrm{n}} - \frac{(-1) + \mathrm{b} + \mathrm{c} + \mathrm{bc}}{4\mathrm{n}}$$

$$\mathrm{A} = \frac{1}{4\mathrm{n}}[\mathrm{a} + \mathrm{ab} + \mathrm{ac} + \mathrm{abc} - (1) - \mathrm{b} - \mathrm{c} - \mathrm{bc}] \qquad (2.1)$$

โดยในวงเล็บจะเรียกว่า Contrast และสูตรคำนวณผลรวมกำลังสองของผลกระทบสำหรับวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ ดังสมการ 2.2

$$SS = (\text{Contrast}^2)/8n \qquad (2.2)$$

และในทำนองเดียวกันการหาค่าผลกระทบของ B และ C สามารถคิดได้ ดังสมการ 2.1 เช่นกันและสามารถเขียนตารางผลกระทบได้ ดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 แสดงเครื่องหมายการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสำหรับ 3 ปัจจัย (2^3)

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	สัญลักษณ์	ผลตอบ (y_i)
1	-	-	-	+	+	+	-	(1)	Y1
2	+	-	-	-	-	+	+	a	Y2
3	-	+	-	-	+	-	+	b	Y3
4	+	+	-	+	-	-	-	ab	Y4
5	-	-	+	+	-	-	+	c	Y5
6	+	-	+	-	+	-	-	ac	Y6
7	-	+	+	-	-	+	-	bc	Y7
8	+	+	+	+	+	+	+	abc	Y8

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบแฟคทอเรียลกรณีทำการทดลองซ้ำ

การทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มจำนวนกรณีมีการทดลองซ้ำ คือการทดลองเงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง ($n \geq 2$) ปกติจำนวนการทดลองซ้ำสำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะมีจำนวนเท่ากัน การทดลองซ้ำช่วยให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นโดยเฉพาะในงานวิจัย หรือการศึกษาที่ต้องการระดับความน่าเชื่อถือหรือความถูกต้องสูง การวิเคราะห์ผลเช่นการคำนวณค่าผลกระทบใช้ค่าเฉลี่ยในการคำนวณ นอกจากนี้การทดลองซ้ำทำให้สามารถประมาณค่าความแปรปรวนที่เกิดจากความผิดพลาดจากการทดลองได้ (MS_E หรือ S^2_E) เรียกว่า Replication Errors หรือ Pure Errors การทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ผู้ทดลองอาจคาดหวังว่าผลตอบจากการทดลองจะต้องมีค่าเท่ากัน แต่ในการทดลองจริงเป็นไปได้ยากแม้จะพยายามทำการทดลองอย่างระมัดระวังและมีการวางแผนอย่างดี (โดยใช้หลักการสุ่มและหลักการควบคุม) แต่ยังมีความผิดพลาดในการทดลองเพราะมีปัจจัยรบกวนที่อยู่เหนือการควบคุมหรือเกิดจากความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด ผู้ทดลอง วัตถุดิบ เครื่องจักร และสภาวะแวดล้อมในการทดลอง โดยค่าความแปรปรวนดังกล่าวใช้สำหรับตรวจสอบว่าผลกระทบใดมีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญบ้างและใช้สำหรับวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่ประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหาในโรงงานจะไม่มีการทดลองซ้ำ เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ ได้แก่ เวลาของวิศวกร ทรัพยากรในการทดลอง และที่สำคัญจำนวนปัจจัยในการศึกษามักมีจำนวนมากส่งผลให้การทดลองมีจำนวนมาก ดังนั้นถ้าทำการทดลองซ้ำจะต้องใช้ทรัพยากรในการทดลองมากเกินความจำเป็น ดังนั้นอาจแก้ไขโดยตรวจสอบความถูกต้องจากการทำการทดลองยืนยันผล หรืออาจจะทำการทดลองที่จุดดังกล่าวเหมือนกับเงื่อนไขการทำงานปัจจุบันซึ่งผู้ทดลองจะคุ้นเคยสภาวะการทำงานที่เงื่อนไขดังกล่าวและหากมีความผิดปกติในการทดลองจะสามารถรับรู้ได้ทันที และหาสาเหตุเพื่อนำมาแก้ไขปัญหาในการทดลองได้ โดยขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงกระบวนการโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ 2^K ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คำนวณค่าผลกระทบได้แก่ ผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม ดังสมการ 2.3

$$\text{Effect} = \frac{1}{2^{k-1}xn}(\text{Contrast of effect}) \quad (2.3)$$

และผลรวมกำลังสอง (Sum of Square) ของผลกระทบหลักของปัจจัย AB...K คำนวณดังสมการ 2.4

$$SS_{Effect} = \frac{1}{2^{k}xn}(\text{Contrast of effect})^2 \quad (2.4)$$

โดย k คือ จำนวนปัจจัยที่เลือกในการศึกษา
n คือ จำนวนทดลองซ้ำ

2. เขียนแบบจำลอง (Initial Model) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมว่ามีผลตอบของกระบวนการอย่างไรบ้าง โดยในเบื้องต้นเขียนในรูปของแบบจำลองแบบเต็มจำนวน (Full Model) ซึ่งประกอบด้วยค่าคงที่ของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม

3. คัดกรองเฉพาะผลกระทบที่มีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ

- กรณีมีการทดลองซ้ำโดยใช้การทดลองทางสถิติได้การทดลองแบบ T-test หรือตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน
- กรณีมีการทดลองซ้ำโดยใช้กราฟปกติของผลกระทบ หรือการประมาณค่าความแปรปรวนจากผลกระทบร่วมอันดับสูง หรือใช้การทดลองซ้ำแบบเทียม หรือทำการทดลองเฉพาะที่จุดกึ่งกลาง

4. เขียนแบบจำลอง (Refine Model) การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญกับผลตอบ

5. ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Appropriateness) โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจหรือ R-squared (Coefficient of Correlation) หรือ R-squared (adj) หรือ ค่า LOF (Lack of Fit)

6. ตรวจสอบความพอเพียง (Model Adequacy Checking) ของแบบจำลองโดยวิธีวิเคราะห์ส่วนค้าง (Residual Analysis) เพื่อตรวจสอบข้อกำหนดเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติความแปรปรวนของแบบจำลอง

7. แปรผลและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด และแสดงผลการวิเคราะห์โดยใช้กราฟตามความจำเป็นเช่น กราฟผลกระทบหนัก ผลกระทบร่วม กราฟพื้นผิวตอบ

8. ทำการทดลองยืนยันผลสำหรับเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากการทดลองยืนยันผลช่วงความเชื่อมั่นของค่าทำนาย

2.1.3 ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function)

ภูธิป อินทรักษ์ (2554) เป็นวิธีการในการจัดการปัญหาการหาคำตอบที่ดีที่สุดในรูปแบบหลายผลตอบ วิธีการนี้อยู่บนหลักการที่ว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการสามารถมีได้หลายคุณลักษณะ หากค่าไม่อยู่ในค่าขอบเขตจะถือว่าเป็นสิ่งที่ไม่พึงต้องการ การคำนวณทำได้โดยการแปลงค่าผลตอบ (y) ให้เป็นค่าความพึงพอใจ (d) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเลข 0 หมายถึงไม่เป็นที่พึงพอใจอย่างสมบูรณ์ จนถึงเลข 1 หมายถึงพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นตัวแปรวางแผนคือการเลือกที่จะทำให้ค่าความพึงพอใจทั้งหมดมีค่ามากที่สุด ซึ่งค่าความพึงพอใจรวมแสดงดังสมการ 2.5

$$D = \left(d_1 d_2 \ldots d_m\right)^{\frac{1}{m}} \tag{2.5}$$

โดย D คือ ความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability)

d คือ ความพึงพอใจของแต่ละผลตอบ (Desirability)

m คือ จำนวนค่าผลตอบ m ค่า

และเมื่อค่าความพึงพอใจของผลตอบมีเพียงค่าเดียว ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบจะมีค่าเท่ากับความพึงพอใจของผลตอบนั้น

ความพึงพอใจทั้งหมดจะเท่ากับ 0 ถ้าผลตอบไม่เป็นที่ต้องการ ฟังก์ชันความพึงพอใจถ้าวัตถุประสงค์หรือเป้าหมาย T สำหรับผลตอบ y ที่มีค่ามากที่สุด แสดงดังสมการ 2.6

$$d = \begin{cases} 0 & y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^r & L \le y \le T \\ 1 & y > T \end{cases} \tag{2.6}$$

เมื่อน้ำหนัก r = 1 ฟังก์ชันความพึงพอใจจะเป็นเส้นตรง ถ้าเลือก r > 1 จะเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย แต่ถ้าเลือก 0 < r < 1 จะมีความพึงพอใจน้อยลง ถ้าเป้าหมายสำหรับผลตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด แสดงดังสมการ 2.7

$$d = \begin{cases} 0 & y < T \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^r & T \le y \le U \\ 1 & y > U \end{cases} \tag{2.7}$$

โดย d คือ ความพึงพอใจของผลตอบ

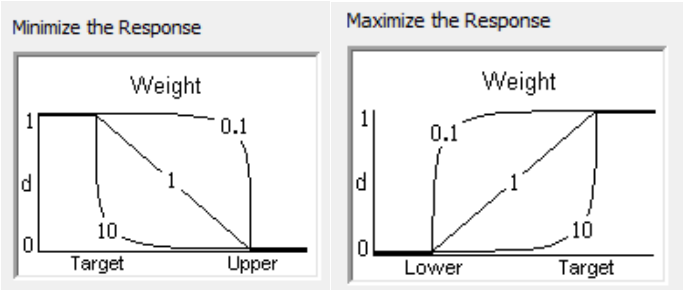
y คือ ค่าของผลตอบ

T คือ ค่าเป้าหมายของผลตอบ (Target)

L คือ ค่าขีดจำกัดล่าง

U คือ ค่าขีดจำกัดบน
r คือ ค่าน้ำหนักของผลตอบ (Weight)

ซึ่งกำหนดค่าน้ำหนักของผลตอบนี้สามารถเลือกกำหนดค่าของน้ำหนักดังภาพ 2.4



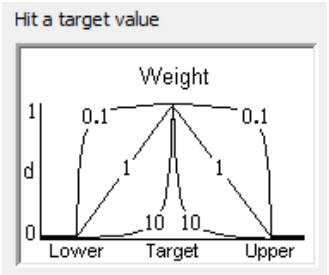
ภาพ 2.4 การกำหนดน้ำหนัก (Weight) ของผลตอบ (กรณีมีผลตอบเดียว)

ฟังก์ชั่นความพึงพอใจต้องการสองด้าน โดยที่สมมติว่าเป้าหมายอยู่ระหว่างขีดจำกัดล่าง (L) และขีดจำกัดบน (U) นิยามได้ดังนี้ แสดงดังสมการ 2.8

$$d = \begin{cases} 0 & \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^{r1} & y < L \\ & L \le y \le T \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^{r2} & T \le y \le U \\ 0 & y > U \end{cases} \qquad (2.8)$$

โดย T คือ ค่าเป้าหมายของผลตอบ (Target)
r1 คือ ค่าน้ำหนักของผลตอบตัวที่ 1 (Weight 1)
r2 คือ ค่าน้ำหนักของผลตอบตัวที่ 2 (Weight 2)

การกำหนดค่าน้ำหนักของผลตอบทั้งสองนี้ สามารถเลือกกำหนดค่าของน้ำหนัก ดังภาพ 2.5



ภาพ 2.5 การกำหนดน้ำหนัก (Weight) ของผลตอบ (กรณีมี 2 ผลตอบ)

2.1.4 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ประชาสรรณ์ แสนภักดี (2559) แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause)

วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผล

สิ่งสำคัญในการสร้างแผนผังสาเหตุและผลคือ ต้องทำเป็นทีม เป็นกลุ่ม โดยใช้ขั้นตอน 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา
2. กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้น ๆ
3. ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย
4. หาสาเหตุหลักของปัญหา
5. จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ
6. ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

หลักการสร้างแผนผังสาเหตุและผลอย่างมีประสิทธิภาพ

- ควรวิเคราะห์ประเด็นโดยแตกก้างปลาให้หลากหลายอย่างรอบด้าน
- ควรจัดหมวดหมู่ของปัญหา และสาเหตุอย่างรอบด้าน
- หัวปลาควรหันทางด้านขวาเปรียบเสมือนทิศทางของลูกศรนำไปสู่ปัญหาที่เกิดขึ้น

ส่วนประกอบของแผนผังสาเหตุและผล

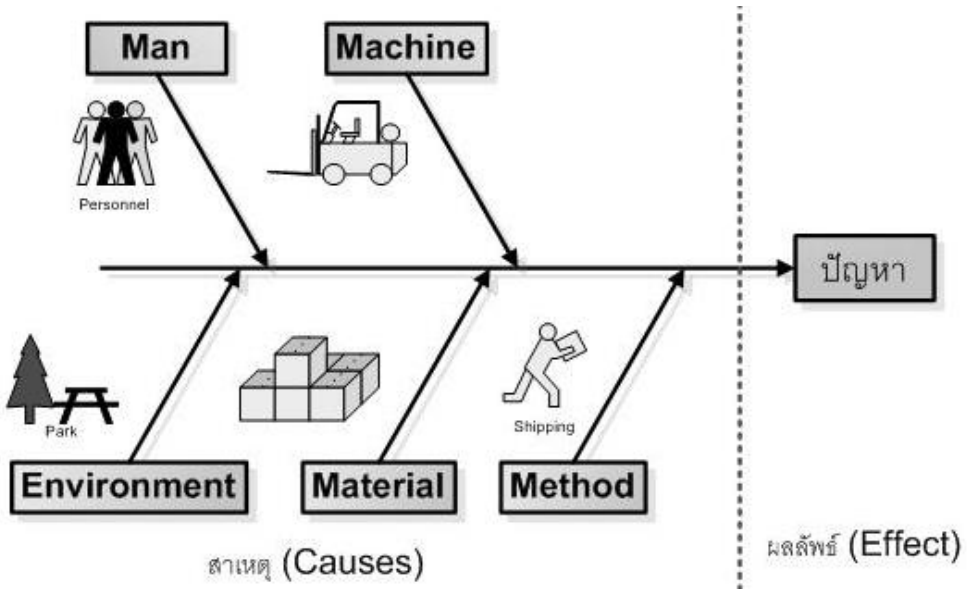
- ส่วนปัญหาหรือผลลัพธ์ (Problem or Effect) ซึ่งจะแสดงอยู่ที่หัวปลา
- ส่วนสาเหตุ (Causes) สามารถแยกย่อยออกได้เป็น
  - ปัจจัย (Factors) ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา (หัวปลา)
  - สาเหตุหลัก
  - สาเหตุย่อย

ซึ่งสาเหตุของปัญหา จะเขียนไว้ในก้างปลาแต่ละก้าง ก้างย่อยเป็นสาเหตุของก้างรองและก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลัก เป็นต้น

การกำหนดปัจจัยบนแผนผังสาเหตุและผล

โดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M 1E ดังภาพ 2.6 เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) เพื่อจะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่าง ๆ ซึ่ง 4M 1E ประกอบด้วย

M Man	คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร
M Machine	เครื่องจักร หรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก
M Material	วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในกระบวนการ
M Method	กระบวนการทำงาน
E Environment	อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน



ภาพ 2.6 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนผังสาเหตุและผล

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตได้มีโครงงานวิจัยเกี่ยวกับการนำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาปรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งในส่วนของกระบวนการผลิต เช่น โครงงานวิจัยของ พรรณพัชร ปลัดคุณ และภัค ถาวรนันท์ (2558) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไส้ใหญ่สุกร พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิของน้ำในกระทะก่อนลวกไส้ใหญ่สุกร 100 องศาเซลเซียส ปริมาตรน้ำในกระทะก่อนลวกไส้ใหญ่สุกร 40 ลิตร และอุณหภูมิของไส้ใหญ่สุกรก่อนนำขึ้นจากกระทะ 75 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิตของการทดลองยืนยันผลคือ 84.127 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าสมการทำนายผล 83.932 รวมถึงโครงงานวิจัยของ วาสิตา สำเภาทอง และวีร์สุดา พรหมธารา (2558) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อเพิ่มผลิตภาพผลิตภัณฑ์ตะไคร้อบแห้ง พบว่าการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในการอบด้วยปัจจัยอุณหภูมิที่ 74 องศาเซลเซียส ปริมาณตะไคร้ก่อนการอบ 1,200 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 6 ชั่วโมง คือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการปรับตั้ง ได้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักหลังการอบเท่ากับ 269 กรัม และค่าเฉลี่ยของความชื้นเท่ากับ 22.416 สามารถลดความแปรปรวนของน้ำหนักหลังการอบ และความชื้นคิดเป็น 80.61 และ 86.65 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และในส่วนของกระบวนการบรรจุ เช่น โครงงานวิจัยของ ณัฐธยาน์ โสกุล และบุญชัย แซ่สิ้ว (2559) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อลดของเสียในกระบวนการบรรจุขนมขบเคี้ยว พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 157 องศาเซลเซียส แรงกด 6 บาร์ และเวลาในการซีล 0.5 วินาที เมื่อนำผลจากการทดลองมาใช้ในกระบวนการทำงานจริงพบว่า มูลค่าของเสียที่เกิดจากซองรั่วลดลงจากเดิม 855,571.72 บาท เหลือ 596,482.21 บาท คิดเป็นอัตราร้อยละ 30.29 รวมถึงโครงงานวิจัยของ พรเทพ ขอขจายเกียรติ และรัชดาภรณ์ หอมนาน (2556) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อลดปริมาณถุงซีลไม่สนิท พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ การตั้งอุณหภูมิอุปกรณ์ซีลถุงด้านแนวนอนตัวหน้าที่ช่วงอุณหภูมิ 150-154 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอุปกรณ์ซีลถุงด้าน

แนวนอนตัวหลังที่ช่วงอุณหภูมิ 155-160 องศาเซลเซียส จะทำให้มีสัดส่วนเฉลี่ยของถุงซีลไม่สนิทน้อยที่สุด โดยถุงซีลไม่สนิทลดลงจากเดิมร้อยละ 94.19 ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและด้านแรงงานที่เกิดขึ้นจากปัญหาถุงซีลไม่สนิทเท่ากับ 3,349.15 บาทต่อการบรรจุ 93,600 ถุง

นอกจากอุตสาหกรรมอาหารแล้วยังมีโครงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาปรับใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก เช่น โครงงานวิจัยของ จักรพรรณ คงธนะ และปฐมพงษ์ หอมศรี (2556) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติก พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ แรงดันย้ำ เท่ากับ 10 MPa อุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 45 องศาเซลเซียส และรอบการทำงาน เท่ากับ 32 วินาที สามารถลดปริมาณของเสียได้จากเดิมร้อยละ 39.05 ลดลงมาเป็นร้อยละ 2.78 รวมถึงโครงงานวิจัยของ ดุษฎี บุญธรรม (2559) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการตัดแท่งพลาสติก พบว่าเงื่อนไขในการตัดแท่งพลาสติกที่เหมาะสมคือ ใช้ความเร็วในการตัด 27 ชิ้นต่อนาที และการสุ่มวัดแท่งพลาสติก 4 ชิ้นต่อนาที ทำให้ได้อัตราผลผลิตดีในการผลิตร้อยละ 81.97 และโครงงานวิจัยของ คนัน ธนกุลชัยทวี และศุภชัย นาทะพันธ์ (2557) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู ผลการวิจัยพบว่า ความหนาที่เหมาะสมที่จะนำถุงขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มาใช้หิ้วและบรรจุสิ่งของได้โดยไม่เสียหายเท่ากับ 0.015 0.020 และ 0.025 มิลลิเมตร อีกทั้งถุงสามารถรับภาระได้มากกว่ามาตรฐานถึง 18 18 และ 9 นาที ตามลำดับ (ค่าเฉลี่ยการใช้งานถุงพลาสติก 12 นาที)

นอกจากนี้ยังมีโครงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาปรับใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น โครงงานวิจัยของ จักรินทร์ กลั่นเงิน และอนุเชษฐ์ พลเยี่ยม (2558) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตเนื้อสบู่เหลว โดยข้อกำหนดน้ำที่อยู่ในเนื้อสบู่เหลวคือ ร้อยละ 29-31 พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ระดับน้ำในถังวอชชิงคอลัมน์ที่ร้อยละ 30 และรอบการเหวี่ยงของถังเซ็นตริฟิวที่ 4,500 รอบต่อนาที ส่งผลให้น้ำในเนื้อสบู่เหลวเฉลี่ยจากเดิมร้อยละ 27.40 หลังปรับปรุงเฉลี่ยเป็นร้อยละ 30.393 ซึ่งอยู่ภายใต้ข้อกำหนด รวมถึงโครงงานวิจัยของ เชิญขวัญ รุจทินกฤต และวรพจน์ มีถม (2558) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อหาส่วนผสมแบบหล่อทราย พบว่าอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดคือ ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วร้อยละ 95.5387 เบนโทไนต์ร้อยละ 1.130102 น้ำร้อยละ 2.331196 และทรายใหม่ร้อยละ 1 ซึ่งแบบหล่อทรายที่ได้มีความสามารถในการกดอัดของทรายร้อยละ 58.37923 ความสามารถในการปล่อยซึมอากาศ 73.80148 ปาสคาล ความชื้นของทรายร้อยละ 6.5 และความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก 0.53 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีต้นทุนวัตถุดิบต่ำสุดเท่ากับ 11.31579 บาทต่อกิโลกรัม และโครงงานวิจัยของจักรกริช คำทีระ และอิสรา ธีระวัฒน์สกล (2558) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อลดจำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุดการทำงาน จากการวิเคราะห์ผลความแปรปรวนที่ใช้สำหรับการทดลองแบบสุ่มซ้อน พบว่า มีผลต่อการหยุดทำงานของเครื่องจักรอย่างมีนัยสำคัญ และนำผลของจำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุดการทำงานจากการทดลองมาสร้าง Surface plot เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับด้ายแต่ละชนิด ผลปรากฏว่า จำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุดการทำงานลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปักผ้าเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 77.01

บทที่ 3

ข้อมูลโรงงาน

3.1 ข้อมูลโรงงาน

บริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด เริ่มดำเนินธุรกิจตั้งแต่ช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ.2538 เป็นต้นมา สถานที่ตั้งอยู่ที่ 55 หมู่ 15 ถนนอ้อมเมือง-ป่าซาง ตำบลป่าสัก อำเภอเมืองลำพูน จังหวัดลำพูน 51000 เป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางที่ประกอบธุรกิจผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก สำหรับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อาหาร และอุตสาหกรรมทั่วไป เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตสินค้าตามคำสั่งซื้อของลูกค้าทั้งในและต่างประเทศ โดยมีรางวัลที่รับรองคุณภาพของบริษัท ดังภาพ 3.1

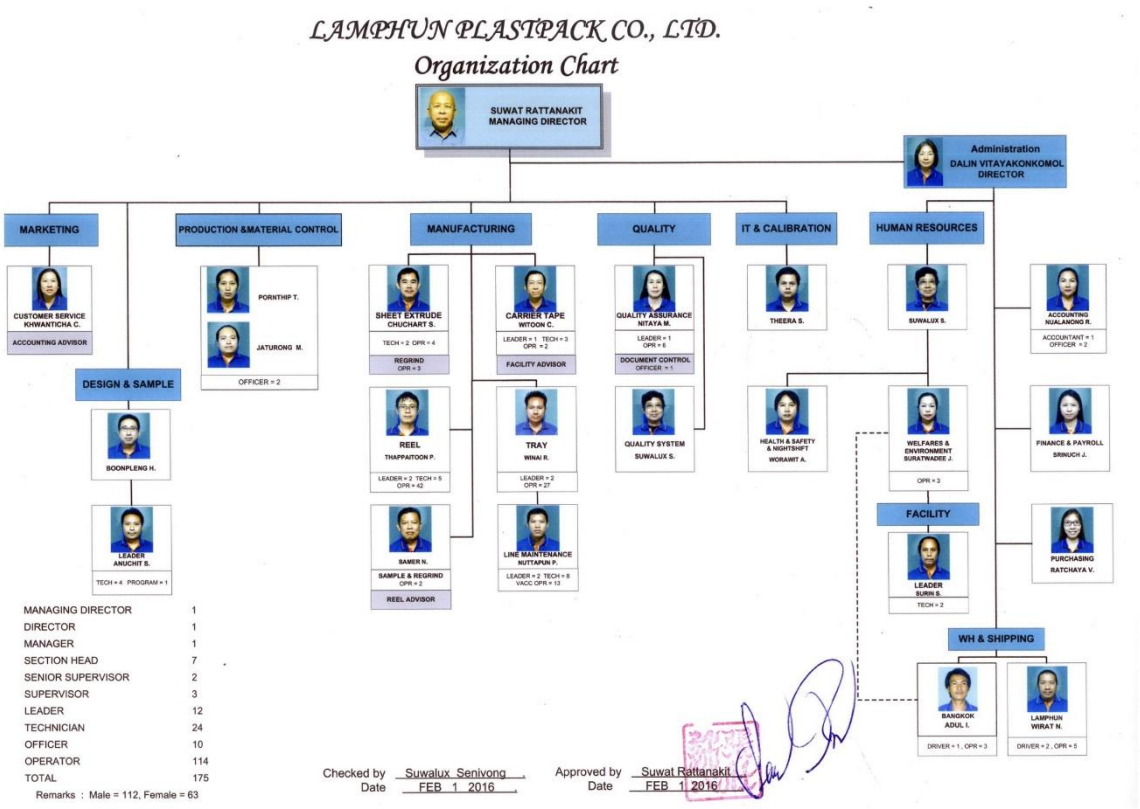
ภาพ 3.1 รางวัลที่รับรองคุณภาพของบริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด

โดยภาพ 3.1 เป็นรางวัลที่รับรองคุณภาพของบริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด ได้แก่ ISO 9001 และ ISO 14001

วิสัยทัศน์ของบริษัทคือ บริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด มีความมุ่งมั่นที่จะเป็นผู้นำทางด้านบรรจุภัณฑ์พลาสติก สำหรับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อาหาร และอุตสาหกรรมทั่วไป ภายใต้ระบบบริหารจัดการคุณภาพระดับสากล และมีพันธกิจของบริษัทดังนี้

1. สร้างความพึงพอใจสูงสุดให้กับลูกค้า
2. ปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตอย่างต่อเนื่อง
3. เป็นองค์กรที่มีจริยธรรมทางธุรกิจ
4. เป็นองค์กรที่มีระบบบริหารการจัดการคุณภาพระดับสากล
5. ส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพของบุคลากรอย่างต่อเนื่อง

และมีโครงสร้างองค์กรดังภาพ 3.2



ภาพ 3.2 โครงสร้างองค์กรของบริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด

โดยภาพ 3.2 แสดงถึงโครงสร้างองค์กรของบริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด โดยลำดับโครงสร้างดังนี้ กรรมการผู้จัดการ และกรรมการผู้บริหาร ซึ่งประกอบไปด้วย ผู้จัดการฝ่ายการตลาด ผู้จัดการฝ่ายออกแบบ ผู้จัดการฝ่ายควบคุมการผลิตและวัสดุ ผู้จัดการฝ่ายผลิต ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ ผู้จัดการฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ ผู้จัดการฝ่ายทรัพยากรบุคคล ผู้จัดการฝ่ายสถานที่ และผู้จัดการฝ่ายจัดส่งสินค้าและรับวัตถุดิบ

3.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์

บริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด มีการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. บรรจุภัณฑ์สำหรับใส่ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย
    - 1.1 Thermoforming Tray ดังภาพ 3.3
    - 1.2 Carrier Tape ดังภาพ 3.4
    - 1.3 Plastic Reel ดังภาพ 3.5
2. บรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหาร ดังภาพ 3.6

ภาพ 3.3 Thermoforming Tray

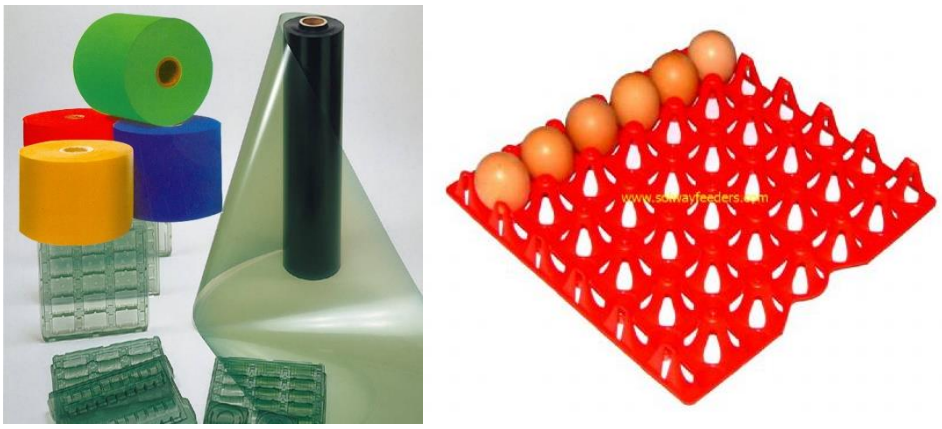
โดยภาพ 3.3 Thermoforming Tray เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากเครื่องขึ้นรูปแบบสุญญากาศ (Automatic Vacuum Forming Machine) เช่น ไมโครชิฟ เลนส์กล้อง เป็นต้น

ภาพ 3.4 Carrier Tape

โดยภาพ 3.4 Carrier Tape เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน (Rotational Molding Machine) เช่น ม้วนฟิล์มบรรจุไมโครชิฟ เป็นต้น

ภาพ 3.5 Plastic Reel

โดยภาพ 3.5 Plastic Reel เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) เช่น ม้วนฟิล์มบรรจุไมโครชิฟ เป็นต้น



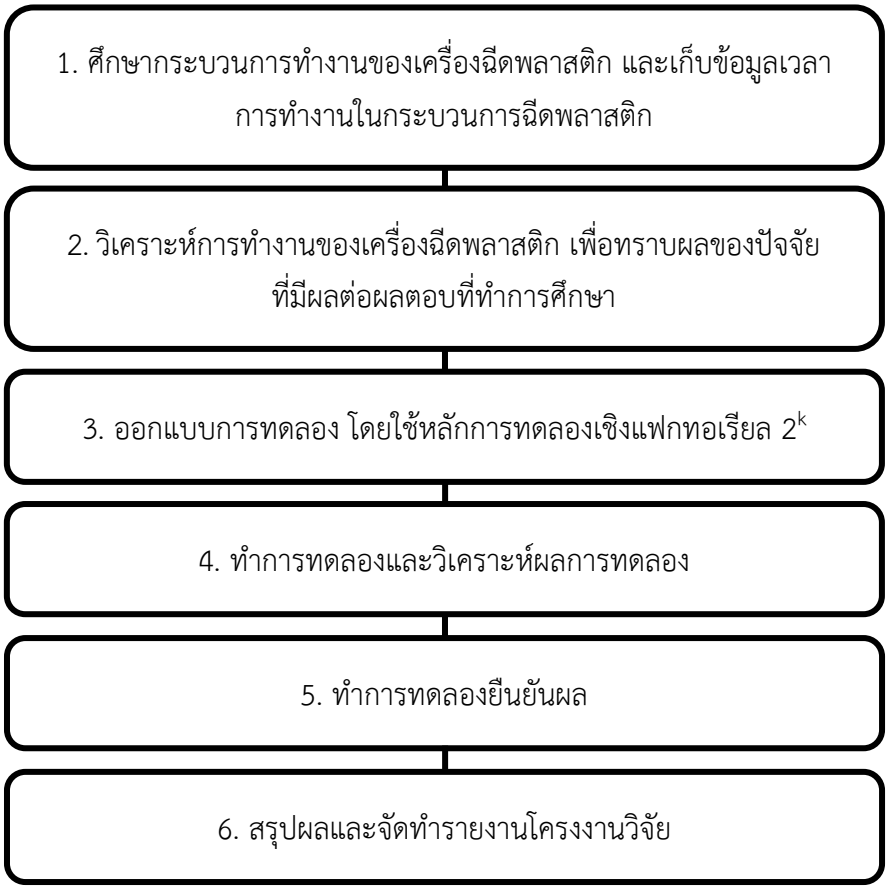
ภาพ 3.6 บรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหาร

โดยภาพ 3.6 เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหาร เช่น แผ่นพลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ถาดใส่ไข่ เป็นต้น

บทที่ 4

วิธีการดำเนินงานโครงงานวิจัย

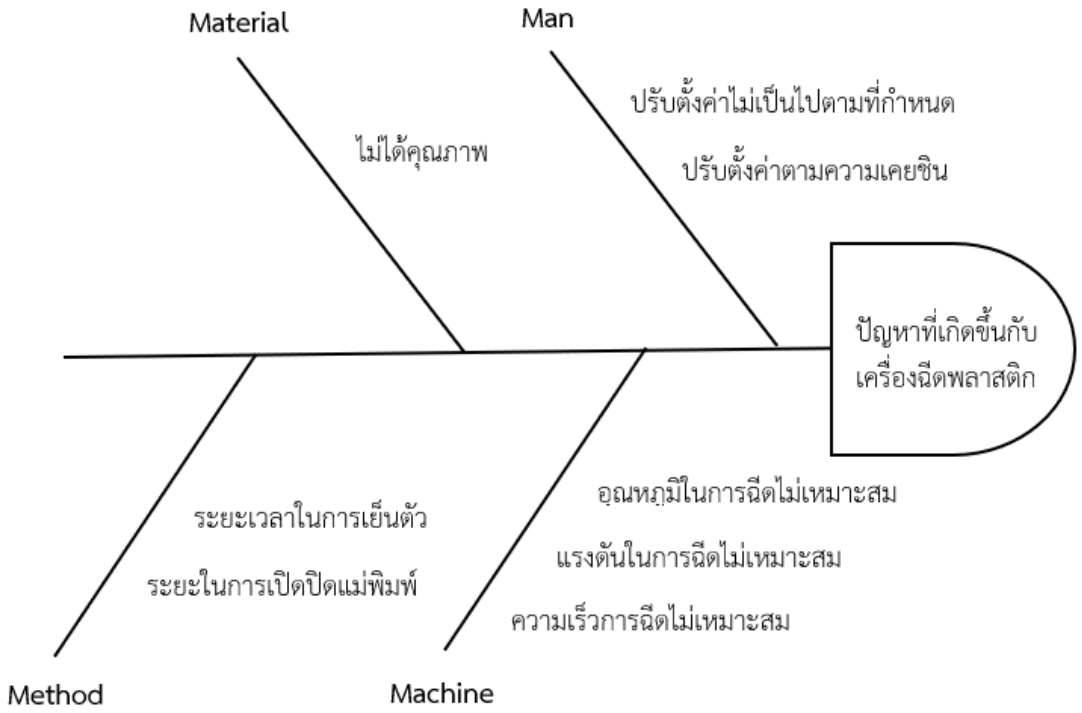
บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานโครงงานวิจัย โดยจะอธิบายวิธีการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและดำเนินงานโครงงานวิจัย เพื่อใช้ในการหาค่าปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป รวมถึงลดเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังภาพ 4.1



ภาพ 4.1 วิธีการดำเนินงานโครงงานวิจัย

4.1 ศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก และเก็บข้อมูลเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก

โดยก่อนทำการศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก และเก็บข้อมูลเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกนั้น ได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหากับเครื่องฉีดพลาสติก ซึ่งส่งผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยใช้แผนผังสาเหตุและผล ดังภาพ 4.2

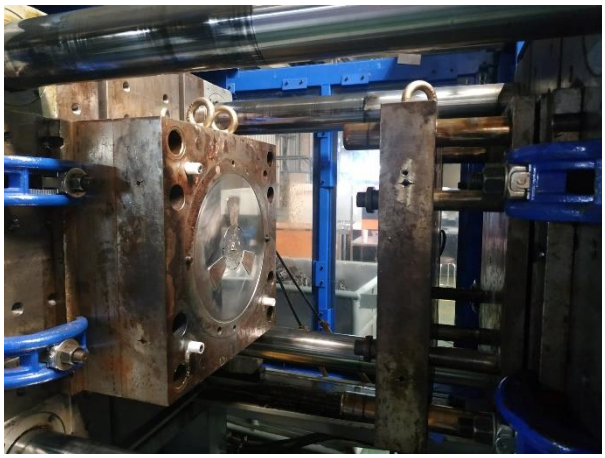


ภาพ 4.2 สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหากับเครื่องฉีดพลาสติก โดยใช้แผนผังสาเหตุและผล

4.1.1 กระบวนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก

จากการศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก พบว่ามีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งแม่พิมพ์ดังภาพ 4.3 สำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว



ภาพ 4.3 แม่พิมพ์

2. เปิดเครื่อง และปรับตั้งพารามิเตอร์ที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่แผงควบคุม ดังภาพ 4.4

ภาพ 4.4 แผงควบคุม

3. ตรวจสอบระบบน้ำหล่อเย็นดังภาพ 4.5 ซึ่งอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสม และตรวจสอบน้ำมันเครื่องดังภาพ 4.6 ซึ่งปริมาณน้ำมันเครื่องต้องมีเพียงพอต่อการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก

ภาพ 4.5 ระบบน้ำหล่อเย็น

ภาพ 4.6 น้ำมันเครื่อง

4. ประกบแม่พิมพ์ทั้ง 2 ด้านให้ติดกันดังภาพ 4.7 และเลื่อนกระบอกฉีดเข้าไปในท่อลำเลียงสู่แม่พิมพ์

ภาพ 4.7 ประกบแม่พิมพ์

ภาพ 4.8 กระบอกฉีด

5. พลาสติกหลอมเหลวที่พร้อมใช้งานจะถูกฉีดผ่านท่อลำเลียงเข้าไปในแม่พิมพ์ โดยการฉีดครั้งแรกเรียกว่า การฉีดเติมเต็ม

6. หลังจากนั้น พลาสติกหลอมเหลวจะถูกฉีดผ่านท่อลำเลียงเข้าไปในแม่พิมพ์อีกครั้ง โดยการฉีดครั้งที่ 2 เรียกว่า การฉีดย้ำ

7. เมื่อพลาสติกขึ้นรูปจนเป็นชิ้นงานแล้ว น้ำหล่อเย็นจะถูกปล่อยเข้าไปในแม่พิมพ์ เพื่อระบายความร้อนและช่วยในการปลดชิ้นงาน โดยในระหว่างนั้น เครื่องฉีดพลาสติกจะทำการเติมพลาสติกหลอมเหลวเข้าสู่กระบอกฉีด เพื่อเตรียมการฉีดชิ้นงานต่อไป

8. เมื่อเสร็จครบทุกขั้นตอนที่ผ่านมาแล้ว แม่พิมพ์จะเปิดออก และชิ้นงานที่ถูกปลดจะตกลงมาบนสายพานดังภาพ 4.9 โดยจะถือว่าได้ผลิตภัณฑ์ Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว จากกระบวนการฉีดพลาสติกจำนวน 1 ชิ้น

ภาพ 4.9 สายพาน

9. หลังจากนั้น แม่พิมพ์จะประกบกันอีกครั้ง เพื่อเริ่มการฉีดชิ้นงานต่อไป

4.1.2 เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ณ ปัจจุบัน

ในหัวข้อนี้ผู้ดำเนินการได้ทำการเก็บข้อมูลเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกก่อนทำการออกแบบการทดลอง เพื่อต้องการทราบเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ณ ปัจจุบัน พร้อมแสดงค่าความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปควบคู่ไปด้วย ดังตาราง 4.1

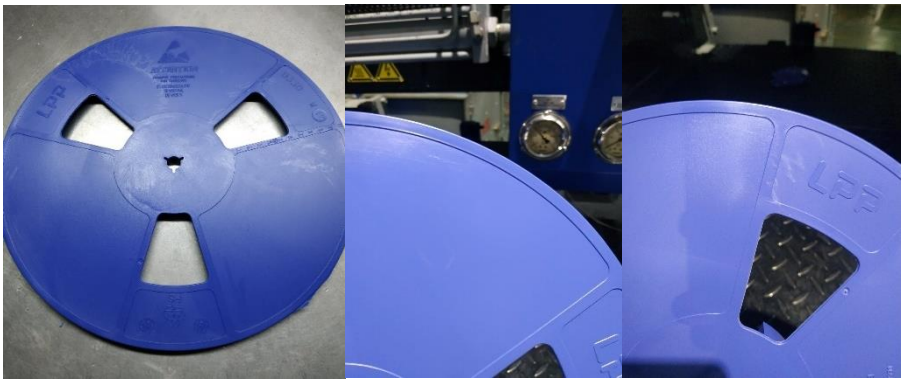
ตาราง 4.1 เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ณ ปัจจุบัน

ครั้งที่	เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกต่อชิ้นงาน (วินาที)	ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน	ครั้งที่	เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกต่อชิ้นงาน (วินาที)	ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน
1	27.10	ปกติ	16	27.35	เป็นรอย
2	26.98	ปกติ	17	27.28	ปกติ
3	27.00	ฉีดไม่เต็มชิ้น	18	27.39	ปกติ
4	27.10	ปกติ	19	27.29	ปกติ
5	27.25	ปกติ	20	27.29	ปกติ
6	27.18	เป็นรอย	21	27.22	ฉีดไม่เต็มชิ้น
7	27.26	เป็นรอย	22	27.26	ปกติ
8	27.22	ปกติ	23	27.29	ปกติ
9	27.23	ปกติ	24	27.27	เป็นรอย
10	27.23	ปกติ	25	27.23	เป็นรอย
11	27.38	เป็นรอย	26	27.00	ปกติ
12	27.07	ปกติ	27	26.99	ปกติ
13	27.03	ปกติ	28	26.93	ปกติ
14	27.12	ปกติ	29	27.10	เป็นรอย
15	27.29	ปกติ	30	27.18	ปกติ

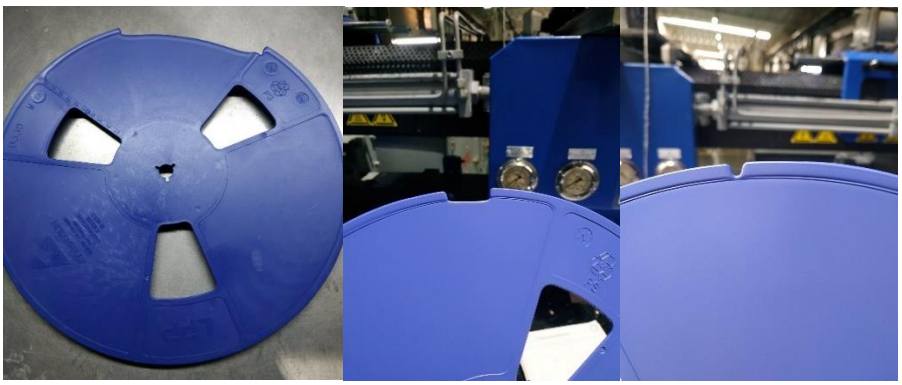
จากตาราง 4.1 เมื่อนำเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกที่ได้จากชิ้นงานทั้งหมดมาทำการหาค่าเฉลี่ย จะได้เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกก่อนทำการออกแบบการทดลองเท่ากับ 27.18 วินาทีต่อชิ้น และพบว่าความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปของชิ้นงานทั้งหมด ส่วนใหญ่เป็นชิ้นงานปกติที่ไม่มีตำหนิ คิดเป็นถึงร้อยละ 70 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 30 เป็นชิ้นงานที่เป็นรอยและชิ้นงานที่ถูกฉีดไม่เต็มชิ้น และถ้าแบ่งให้แต่ละการทดลองประกอบไปด้วยข้อมูลผลตอบจากชิ้นงานทั้งหมด 10 ชิ้น โดยเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเวลาที่ได้จากชิ้นงานทั้งหมด 10 ชิ้น และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจะพิจารณาจากเกณฑ์การกำหนดค่าความสมบูรณ์ โดยจะทำการอธิบายในส่วนถัดไป ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 3 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 ได้เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก 27.16 วินาทีต่อชิ้น และค่าความสมบูรณ์คือ 0 การทดลองที่ 2 ได้เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก 27.25 วินาทีต่อชิ้น และค่าความสมบูรณ์คือ 1 และการทดลองที่ 3 ได้เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก 27.15 วินาทีต่อชิ้น และค่าความสมบูรณ์คือ 0

4.2 วิเคราะห์การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก เพื่อทราบผลของปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบที่ทำการศึกษา

จากการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหากับเครื่องฉีดพลาสติก พบว่าสาเหตุย่อยของปัญหาเกิดจากสาเหตุหลักทั้งหมด 4 อย่างคือ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และวิธีการทำงาน โดยผู้ดำเนินการเล็งเห็นว่า สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องฉีดพลาสติกเกิดจากเครื่องจักรมากที่สุด เนื่องจากส่งผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมากที่สุด เช่น ถ้าตั้งอุณหภูมิในการฉีดสูงเกินไป ชิ้นงานจะร้อนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานเป็นรอยได้ดังภาพ 4.10 ถ้าตั้งอุณหภูมิในการฉีดต่ำเกินไป พลาสติกหลอมเหลวจะมีความหนืดมาก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานถูกฉีดไม่เต็มชิ้นดังภาพ 4.11 และถ้าตั้งแรงดันในการฉีดสูงเกินไป ชิ้นงานจะร้อนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานเป็นรอยได้ เช่นเดียวกับการตั้งอุณหภูมิในการฉีดสูงเกินไป เป็นต้น โดยสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องฉีดพลาสติกที่เกิดจากเครื่องจักรสามารถปรับปรุงได้มากกว่าสาเหตุอื่น ผู้ดำเนินการจึงเลือกมาทำการออกแบบการทดลอง



ภาพ 4.10 ชิ้นงานเป็นรอย



ภาพ 4.11 ชิ้นงานถูกฉีดไม่เต็มชิ้น

จากการวิเคราะห์การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก เพื่อทราบผลของปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบที่ทำการศึกษา ได้แก่

1. เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกที่ได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป 1 ชิ้นจากการทำงานในแต่ละรอบ สามารถดูได้จากจอแสดงที่แผงควบคุมของเครื่องฉีดพลาสติก ซึ่งเป็นเวลาที่ได้จากการทำงานจริงของเครื่องฉีดพลาสติกที่ได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปแต่ละชิ้น หน่วยเป็นวินาที

2. ความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยพิจารณาจากรูปลักษณ์ภายนอกของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป มีเกณฑ์การกำหนดค่าความสมบูรณ์ดังนี้

- ถ้าชุดการทดลองนั้นพบเฉพาะชิ้นงานปกติที่ไม่มีตำหนิ ค่าความสมบูรณ์คือ 3
- ถ้าชุดการทดลองนั้นพบชิ้นงานที่เป็นรอย 1 ชิ้น ค่าความสมบูรณ์คือ 2
- ถ้าชุดการทดลองนั้นพบชิ้นงานที่เป็นรอยมากกว่า 1 ชิ้น ค่าความสมบูรณ์คือ 1
- ถ้าชุดการทดลองนั้นพบชิ้นงานที่ถูกฉีดไม่เต็มชิ้น ค่าความสมบูรณ์คือ 0

สำหรับชิ้นงานที่เป็นรอยจะยังไม่ถือว่าเป็นของเสียและสามารถทำการแก้ไขได้ ส่วนชิ้นงานที่ถูกฉีดไม่เต็มชิ้นจะถือว่าเป็นของเสียและไม่สามารถนำมาใช้งานได้

โดยทราบปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบที่ทำการศึกษา ดังนี้

1. อุณหภูมิในการฉีด ปัจจุบันมีการใช้งานอยู่ที่ 205 องศาเซลเซียส
2. แรงดันในการฉีด ปัจจุบันมีการใช้งานอยู่ที่ 110 บาร์
3. ความเร็วการฉีด ปัจจุบันมีการใช้งานอยู่ที่ 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร

4.3 ออกแบบการทดลอง โดยใช้หลักการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k

จากการศึกษาวิธีการออกแบบการทดลอง สามารถอธิบายลำดับการทดลองได้ดังนี้

1. ปรับค่าของปัจจัยที่ได้เลือกมาทำการออกแบบการทดลองตามลำดับการสุ่มเพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยรบกวน

2. ในแต่ละชุดการทดลองจะทำการเก็บข้อมูลผลตอบจากชิ้นงานทั้งหมด 10 ชิ้น โดยเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเวลาที่ได้จากชิ้นงานทั้งหมด 10 ชิ้น และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจะพิจารณาจากเกณฑ์การกำหนดค่าความสมบูรณ์ดังที่กล่าวมาข้างต้น

3. การทดลองในแต่ละชุดการทดลองนั้นจะเว้นระยะเวลาห่างกัน 10 นาทีหลังจากปรับค่าของปัจจัยของชุดการทดลองถัดไปแล้ว เพื่อต้องการให้ค่าของปัจจัยที่ถูกปรับเปลี่ยนไปมีความคงที่และแน่นอน

4. ทำการวิเคราะห์ต่อไปให้สอดคล้องตามหลักการออกแบบการทดลอง

โดยรายละเอียดการออกแบบการทดลอง และการปรับค่าของปัจจัยต่าง ๆ เป็นดังนี้

ผู้ดำเนินการได้เลือกใช้หลักการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ซึ่งมีปัจจัยที่ใช้ทำการทดลอง 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับการทดลอง (ต่ำและสูง) จะได้ชุดการทดลองเท่ากับ 8 ชุดการทดลอง โดยสามารถแสดงช่วงของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองได้ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ค่าของปัจจัยสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k

ปัจจัยในการทดลอง	หน่วย	ช่วงของปัจจัยในการทดลอง	
		ต่ำ (-1)	สูง (+1)
อุณหภูมิในการฉีด	องศาเซลเซียส	195	215
แรงดันในการฉีด	บาร์	105	115
ความเร็วการฉีด	เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร	85	95

จากตาราง 4.2 สามารถอ่านค่าของปัจจัยใช้ในการทดลองได้ดังนี้

- อุณหภูมิในการฉีด ช่วงของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ 195 (-1) และ 215 (+1)
- แรงดันในการฉีด ช่วงของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ 105 (-1) และ 115 (+1)
- ความเร็วการฉีด ช่วงของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ 85 (-1) และ 95 (+1)

โดยมีตารางสำหรับบันทึกค่าการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ตารางสำหรับบันทึกค่าการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิในการฉีด (องศาเซลเซียส)	แรงดันในการฉีด (บาร์)	ความเร็วในการฉีด (เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร)	เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกต่อชิ้นงาน (วินาที)	ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน
1	195 (-1)	105 (-1)	85 (-1)		
2	215 (1)	105 (-1)	85 (-1)		
3	195 (-1)	115 (+1)	85 (-1)		
4	215 (+1)	115 (+1)	85 (-1)		
5	195 (-1)	105 (-1)	95 (+1)		
6	215 (+1)	105 (-1)	95 (+1)		
7	195 (-1)	115 (+1)	95 (+1)		
8	215 (+1)	115 (+1)	95 (+1)		
9	195 (-1)	105 (-1)	85 (-1)		
10	215 (1)	105 (-1)	85 (-1)		
11	195 (-1)	115 (+1)	85 (-1)		
12	215 (+1)	115 (+1)	85 (-1)		
13	195 (-1)	105 (-1)	95 (+1)		
14	215 (+1)	105 (-1)	95 (+1)		

ตาราง 4.3 ตารางสำหรับบันทึกค่าการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k (ต่อ)

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิในการฉีด (องศาเซลเซียส)	แรงดันในการฉีด (บาร์)	ความเร็วในการฉีด (เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร)	เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกต่อชิ้นงาน (วินาที)	ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน
15	195 (-1)	115 (+1)	95 (+1)		
16	215 (+1)	115 (+1)	95 (+1)		
17	195 (-1)	105 (-1)	85 (-1)		
18	215 (1)	105 (-1)	85 (-1)		
19	195 (-1)	115 (+1)	85 (-1)		
20	215 (+1)	115 (+1)	85 (-1)		
21	195 (-1)	105 (-1)	95 (+1)		
22	215 (+1)	105 (-1)	95 (+1)		
23	195 (-1)	115 (+1)	95 (+1)		
24	215 (+1)	115 (+1)	95 (+1)		

ตาราง 4.3 จะเป็นตารางที่ใช้สำหรับบันทึกค่าสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k โดยแต่ละชุดการทดลองมีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง รวมชุดการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 24 ชุดการทดลอง และทำการทดลองเสริมที่จุดศูนย์กลางจำนวน 5 ครั้ง เพื่อนำมาใช้ในการประมาณความผิดพลาดของการทดลอง และทำให้สามารถตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองได้ โดยมีตารางสำหรับบันทึกค่าการทดลองเสริมที่จุดศูนย์กลางจำนวน 5 ครั้ง ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ตารางสำหรับบันทึกค่าการทดลองเสริมที่จุดศูนย์กลางจำนวน 5 ครั้ง

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิในการฉีด (องศาเซลเซียส)	แรงดันในการฉีด (บาร์)	ความเร็วในการฉีด (เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร)	เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกต่อชิ้นงาน (วินาที)	ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน
1	205 (0)	110 (0)	90 (0)		
2	205 (0)	110 (0)	90 (0)		
3	205 (0)	110 (0)	90 (0)		
4	205 (0)	110 (0)	90 (0)		
5	205 (0)	110 (0)	90 (0)		

ตาราง 4.4 จะเป็นตารางที่ใช้สำหรับบันทึกค่าสำหรับการทดลองเสริมที่จุดศูนย์กลางจำนวน 5 ครั้ง ซึ่งมีปัจจัยที่ใช้ในการทดลองคือ อุณหภูมิในการฉีด 205 องศาเซลเซียส แรงดันในการฉีด 110 บาร์ และความเร็วการฉีด 90 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร

เนื่องด้วยการทดลองนี้จะทำการปรับค่าของปัจจัยที่ได้เลือกมาทำการออกแบบการทดลองตามลำดับการสุ่ม โดยใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) ในการสุ่มลำดับการทดลอง เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยรบกวน จะได้ตารางแสดงลำดับการทดลองแบบสุ่มจากโปรแกรมมินิแทป (Minitab) ดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ตารางแสดงลำดับการทดลองแบบสุ่มจากโปรแกรมมินิแทป (Minitab)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temperature	Pressure	Speed
20	1	1	1	215	115	85
5	2	1	1	195	105	95
10	3	1	1	215	105	85
22	4	1	1	215	105	95
29	5	0	1	205	110	90
4	6	1	1	215	115	85
16	7	1	1	215	115	95
19	8	1	1	195	115	85
23	9	1	1	195	115	95
24	10	1	1	215	115	95
2	11	1	1	215	105	85
18	12	1	1	215	105	85
21	13	1	1	195	105	95
17	14	1	1	195	105	85
1	15	1	1	195	105	85
26	16	0	1	205	110	90
3	17	1	1	195	115	85
14	18	1	1	215	105	95
11	19	1	1	195	115	85
8	20	1	1	215	115	95
9	21	1	1	195	105	85
15	22	1	1	195	115	95
25	23	0	1	205	110	90

ตาราง 4.5 ตารางแสดงลำดับการทดลองแบบสุ่มจากโปรแกรมมินิแทป (Minitab) (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temperature	Pressure	Speed
12	24	1	1	215	115	85
6	25	1	1	215	105	95
27	26	0	1	205	110	90
28	27	0	1	205	110	90
13	28	1	1	195	105	95
7	29	1	1	195	115	95

จากตาราง 4.5 StdOrder คือ ลำดับที่บ่งบอกถึงแต่ละชุดการทดลองนั้น ๆ โดยลำดับที่ 1 ถึง 24 คือ การทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ทั้ง 24 ชุดการทดลอง และลำดับที่ 25 ถึง 29 คือ การทดลองเสริมที่จุดศูนย์กลางจำนวน 5 ครั้ง ซึ่งการทดลองทั้งหมด 29 ชุดการทดลองนั้นจะเป็นไปตามลำดับการสุ่ม เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยรบกวน โดยสามารถดูลำดับการสุ่มได้จากคอลัมน์ RunOrder

4.4 ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองครบทุกชุดการทดลองแล้ว ต่อไปจะเป็นการนำค่าผลตอบทั้ง 2 ผลตอบคือ เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมาวิเคราะห์ Residual Analysis โดยใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) และเมื่อได้ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมมินิแทป (Minitab) แล้ว ต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม โดยใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function) เนื่องจากการออกแบบการทดลองนี้มีผลตอบที่ทำการศึกษาอยู่ 2 ผลตอบ เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการฉีดพลาสติก

4.5 ทำการทดลองยืนยันผล

เมื่อทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมหรือพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการฉีดพลาสติกที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสมแล้ว ต่อไปจะเป็นการนำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดมาทำการทดลองยืนยันผลเป็นจำนวน 3 ครั้ง และเปรียบเทียบผลการทดลองดังกล่าว

4.6 สรุปผลและจัดทำรายงานโครงงานวิจัย

สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม และการทดลองยืนยันผล ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการฉีดพลาสติก และจัดทำเป็นรายงานโครงงานวิจัย

บทที่ 5

ผลการดำเนินงานของโครงงานวิจัย

เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดจากบทที่ 4 ได้อย่างครบถ้วน และทำการทดลองครบทุกชุดการทดลองแล้ว จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) และทำการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม โดยใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function) เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการฉีดพลาสติก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทที่แล้ว ผู้ดำเนินการได้ทำการออกแบบการทดลองตามลำดับการสุ่มไว้ดังตาราง 5.1 เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยรบกวน และได้ผลการเก็บข้อมูลเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากการทดลองดังตาราง 5.2 และ 5.3

ตาราง 5.1 ตารางแสดงลำดับการทดลองแบบสุ่ม

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temperature	Pressure	Speed
20	1	1	1	215	115	85
5	2	1	1	195	105	95
10	3	1	1	215	105	85
22	4	1	1	215	105	95
29	5	0	1	205	110	90
4	6	1	1	215	115	85
16	7	1	1	215	115	95
19	8	1	1	195	115	85
23	9	1	1	195	115	95
24	10	1	1	215	115	95
2	11	1	1	215	105	85

ตาราง 5.1 ตารางแสดงลำดับการทดลองแบบสุ่ม (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temperature	Pressure	Speed
18	12	1	1	215	105	85
21	13	1	1	195	105	95
17	14	1	1	195	105	85
1	15	1	1	195	105	85
26	16	0	1	205	110	90
3	17	1	1	195	115	85
14	18	1	1	215	105	95
11	19	1	1	195	115	85
8	20	1	1	215	115	95
9	21	1	1	195	105	85
15	22	1	1	195	115	95
25	23	0	1	205	110	90
12	24	1	1	215	115	85
6	25	1	1	215	105	95
27	26	0	1	205	110	90
28	27	0	1	205	110	90
13	28	1	1	195	105	95
7	29	1	1	195	115	95

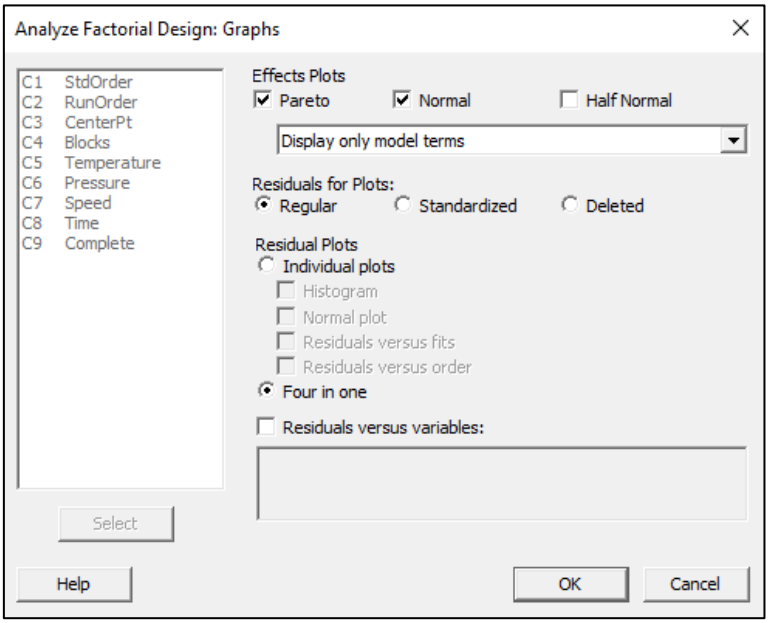
ตาราง 5.2 ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิในการฉีด (องศาเซลเซียส)	แรงดันในการฉีด (บาร์)	ความเร็วในการฉีด (เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร)	เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกต่อชิ้นงาน (วินาที)	ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน
1	195 (-1)	105 (-1)	85 (-1)	30.27	3
2	215 (1)	105 (-1)	85 (-1)	26.43	3
3	195 (-1)	115 (+1)	85 (-1)	28.43	0
4	215 (+1)	115 (+1)	85 (-1)	24.46	3
5	195 (-1)	105 (-1)	95 (+1)	30.00	0
6	215 (+1)	105 (-1)	95 (+1)	26.00	2
7	195 (-1)	115 (+1)	95 (+1)	27.95	0
8	215 (+1)	115 (+1)	95 (+1)	24.08	1
9	195 (-1)	105 (-1)	85 (-1)	30.17	3
10	215 (1)	105 (-1)	85 (-1)	26.44	1
11	195 (-1)	115 (+1)	85 (-1)	28.44	0
12	215 (+1)	115 (+1)	85 (-1)	24.39	3
13	195 (-1)	105 (-1)	95 (+1)	29.76	0
14	215 (+1)	105 (-1)	95 (+1)	26.00	2
15	195 (-1)	115 (+1)	95 (+1)	28.09	0
16	215 (+1)	115 (+1)	95 (+1)	24.11	2
17	195 (-1)	105 (-1)	85 (-1)	30.37	3
18	215 (1)	105 (-1)	85 (-1)	26.45	3
19	195 (-1)	115 (+1)	85 (-1)	28.36	0
20	215 (+1)	115 (+1)	85 (-1)	24.31	3
21	195 (-1)	105 (-1)	95 (+1)	29.97	0
22	215 (+1)	105 (-1)	95 (+1)	26.08	2
23	195 (-1)	115 (+1)	95 (+1)	28.03	3
24	215 (+1)	115 (+1)	95 (+1)	24.04	1

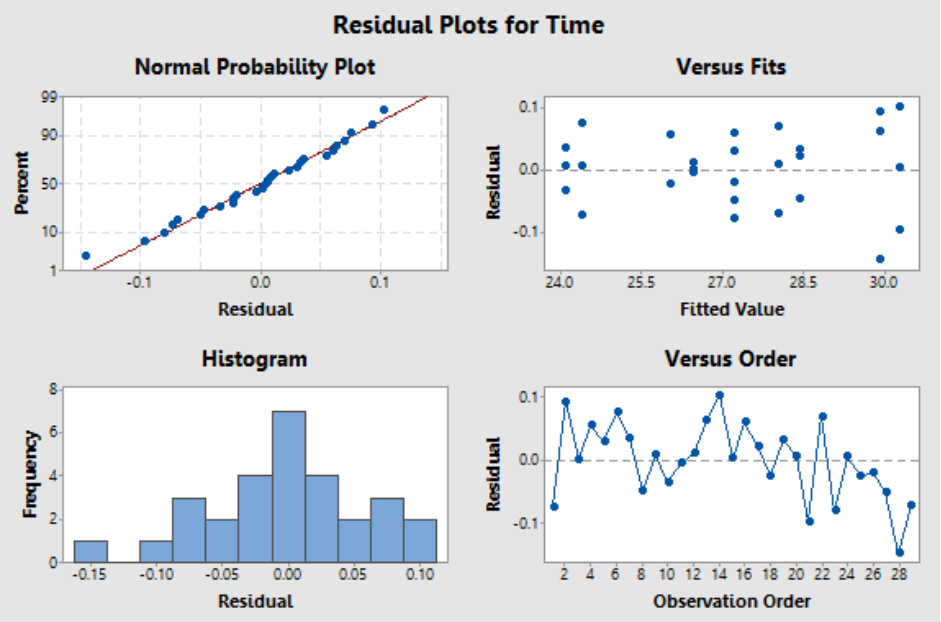
ตาราง 5.3 ผลการทดลองเสริมที่จุดศูนย์กลาง

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิในการฉีด (องศาเซลเซียส)	แรงดันในการฉีด (บาร์)	ความเร็วในการฉีด (เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร)	เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกต่อชิ้นงาน (วินาที)	ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน
1	205 (0)	110 (0)	90 (0)	27.11	3
2	205 (0)	110 (0)	90 (0)	27.25	2
3	205 (0)	110 (0)	90 (0)	27.17	1
4	205 (0)	110 (0)	90 (0)	27.14	3
5	205 (0)	110 (0)	90 (0)	27.22	2

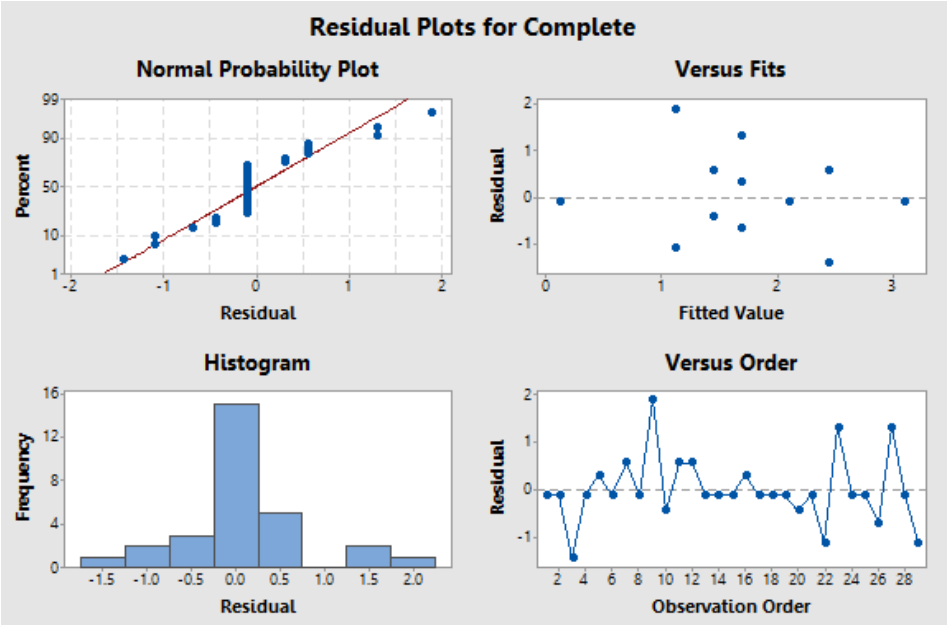
นำผลการทดลองดังตาราง 5.2 และ 5.3 มาทำการตรวจสอบข้อสมมติฐานของความคลาดเคลื่อนซึ่งวิธีการทดสอบที่ดีที่สุดคือ การวิเคราะห์ค่าเศษเหลือ (Residual Analysis) ด้วยคำสั่งเมนู Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design > Graphs > Residual Plots แสดงดังภาพ 5.1 และได้กราฟค่าเศษเหลือ (Residual Plots) ของค่าผลตอบเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปดังภาพ 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ



ภาพ 5.1 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design: Graphs สำหรับใช้วิเคราะห์ค่าเศษเหลือ



ภาพ 5.2 กราฟค่าเศษเหลือ (Residual Analysis) ของค่าผลตอบเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก



ภาพ 5.3 กราฟค่าเศษเหลือ (Residual Analysis) ของค่าผลตอบความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

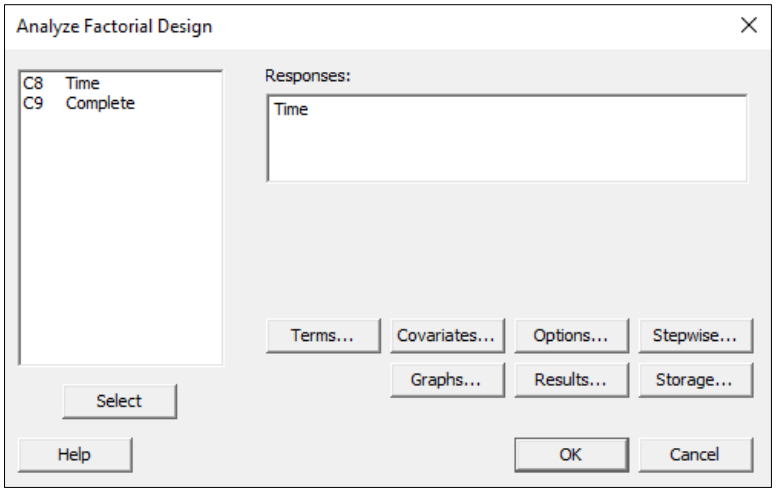
จากภาพ 5.2 และ 5.3 สามารถสรุปได้ว่า จากกราฟ Normal Probability Plot มีการเรียงตัวของข้อมูลเป็นแบบปกติ (Normal) เนื่องจากจุดของค่าต่าง ๆ อยู่บริเวณใกล้เส้น Ideal Normal แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จาก Histogram ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ จากกราฟ Versus Order ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีลักษณะการสุ่ม และไม่มีรูปแบบของแนวโน้มหรือวัฏจักรปรากฏ แสดงว่าข้อมูลอยู่ภายใต้ความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ และจากกราฟ Versus Fits ข้อมูลแต่ละทรีตเมนต์มีความผันแปรสม่ำเสมอ แสดงว่าข้อมูลมีความผันแปรที่ไม่แตกต่างกัน

5.1.1 ระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก

จากผลการเก็บข้อมูลสามารถหาโมเดลในรูปแบบของสมการและสร้างกราฟในการประเมินผลจากปัจจัยต่าง ๆ จากนั้นพิจารณาจากโมเดลและกราฟ เพื่อทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ด้วยเมนูคำสั่ง DOE > Factorial > Analyze Factorial Design ซึ่งการใส่เงื่อนไขต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

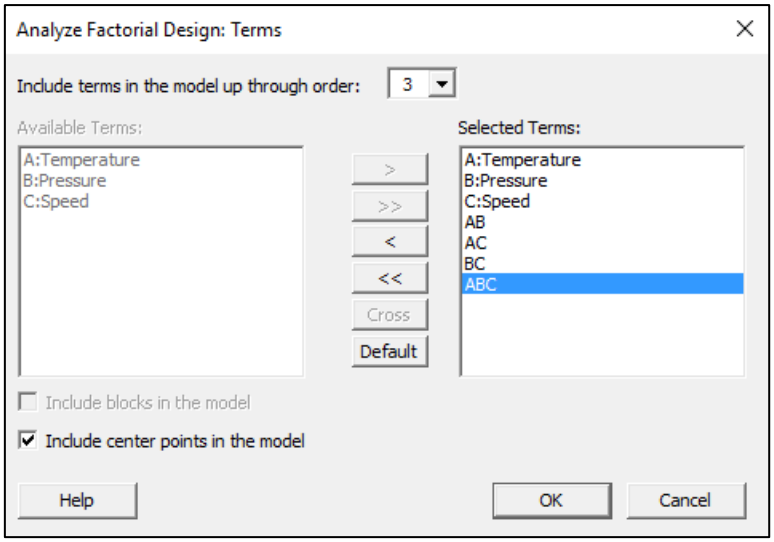
1) เลือกเมนู Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design

2) ในช่อง Responses เลือกคอลัมน์ ‘Time’ ดังภาพ 5.4



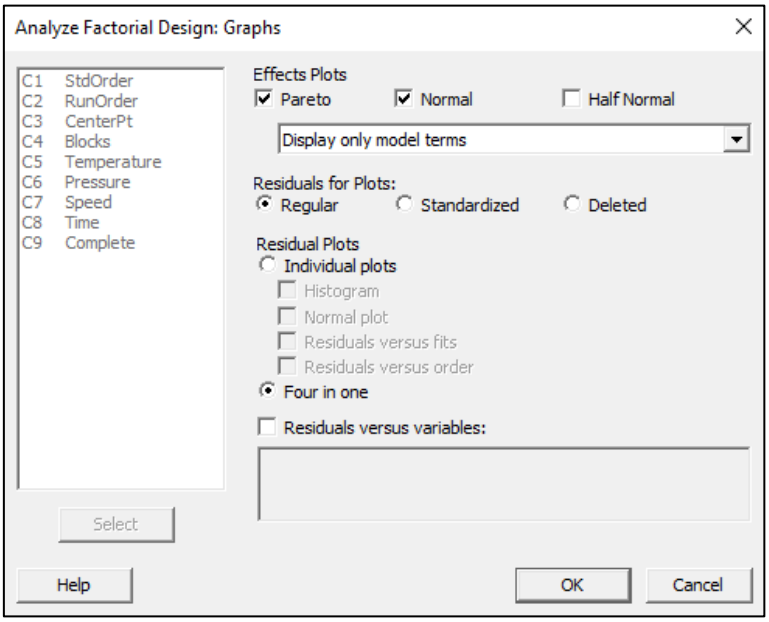
ภาพ 5.4 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก

3) เลือก Terms และตรวจสอบให้แน่ใจว่า A : Temperature B : Pressure C : Speed AB AC BC และ ABC ปรากฏอยู่ในช่อง Selected Terms ดังภาพ 5.5



ภาพ 5.5 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design: Terms ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก

4) ในหัวข้อกราฟ Effects Plots เลือก Pareto และ Normal และในหัวข้อกราฟ Residual Plots เลือก Four in One ซึ่งเป็นประโยชน์ในการตรวจสอบสมมติฐานสามารถแสดงได้ดังภาพ 5.6



ภาพ 5.6 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design: Graphs ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก

ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จาก Session Window ของโปรแกรมมินิแทป (Minitab) หรือกราฟ Effects Plots เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยอันดับแรกทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในส่วนของ Session Window แสดงดังตาราง 5.4

ตาราง 5.4 ผลการวิเคราะห์ในส่วนของ Session Window ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก

Factorial Regression: Time versus Temperature, Pressure, Speed

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	115.599	16.5142	3471.81	0.000
Linear	3	115.566	38.5219	8098.53	0.000
Temperature	1	92.222	92.2219	19387.99	0.000
Pressure	1	22.531	22.5312	4736.77	0.000
Speed	1	0.813	0.8125	170.82	0.000
2-Way Interactions	3	0.027	0.0091	1.91	0.158
Temperature*Pressure	1	0.025	0.0248	5.22	0.033
Temperature*Speed	1	0.000	0.0002	0.04	0.847
Pressure*Speed	1	0.002	0.0023	0.48	0.496
3-Way Interactions	1	0.007	0.0065	1.37	0.254
Temperature*Pressure*Speed	1	0.007	0.0065	1.37	0.254
Error	21	0.100	0.0048		
Curvature	1	0.001	0.0009	0.19	0.669
Pure Error	20	0.099	0.0049		
Total	28	115.699			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0689685	99.91%	99.88%	99.82%

Coded Coefficients

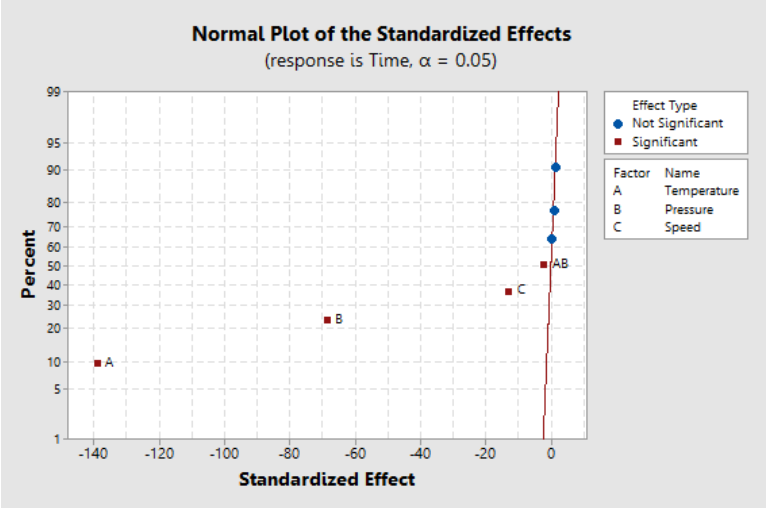
Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		27.1904	0.0128	2123.07	0.000	
Temperature	-3.9205	-1.9603	0.0141	-139.24	0.000	1.00
Pressure	-1.9378	-0.9689	0.0141	-68.82	0.000	1.00
Speed	-0.3680	-0.1840	0.0141	-13.07	0.000	1.00
Temperature*Pressure	-0.0643	-0.0322	0.0141	-2.28	0.033	1.00
Temperature*Speed	0.0055	0.0027	0.0141	0.20	0.847	1.00
Pressure*Speed	0.0195	0.0098	0.0141	0.69	0.496	1.00
Temperature*Pressure*Speed	0.0330	0.0165	0.0141	1.17	0.254	1.00

ผู้วิจัยได้จัดทำตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพจน์ต่อผลตอบเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกได้ดังตาราง 5.5

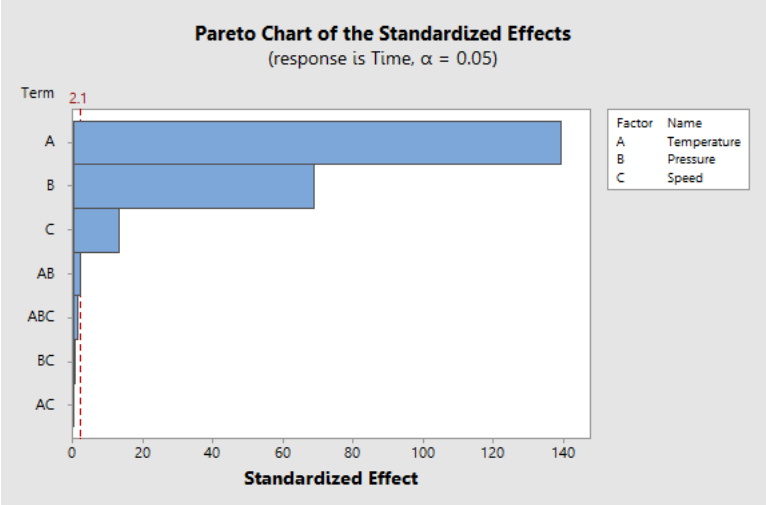
ตาราง 5.5 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพจน์ต่อผลตอบเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Main Effects	3	115.566	38.5219	8098.53	0.000
Temperature	1	92.222	92.2219	19387.99	0.000
Pressure	1	22.531	22.5312	4736.77	0.000
Speed	1	0.813	0.8125	170.82	0.000
2-Way Interactions	3	0.027	0.0091	1.91	0.158
Temperature*Pressure	1	0.025	0.0248	5.22	0.033
Temperature*Speed	1	0.000	0.0002	0.04	0.847
Pressure*Speed	1	0.002	0.0023	0.48	0.496
3-Way Interactions	1	0.007	0.0065	1.37	0.254
Temperature*Pressure*Speed	1	0.007	0.0065	1.37	0.254
Error	21	0.100	0.0048		
Curvature	1	0.001	0.0009	0.19	0.669
Pure Error	20	0.099	0.0049		
Total	28	115.699			

จากตาราง 5.4 และ 5.5 แสดงผลการวิเคราะห์ในส่วนของ Session Window จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ซึ่งประกอบไปด้วย อิทธิพลหลัก (Main Effects) โดยจะใช้ค่า P-Value เพื่อประเมินว่าปัจจัยใดมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ผลการวิเคราะห์พบว่าทั้งสามปัจจัยมีนัยสำคัญต่อผลตอบของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก กล่าวคือทั้งสามปัจจัยมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 (P=0.000) ค่า R-Squared มีค่า 99.91 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าแบบจำลองนี้สามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลผลตอบที่มีผลเกิดจากตัวแปรปัจจัยอยู่ 99.91 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการประเมินผลจากกราฟ Normal Plot และแผนภาพพาเรโตดังภาพ 5.7 และ 5.8 โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้



ภาพ 5.7 ระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยกราฟ Normal Plot



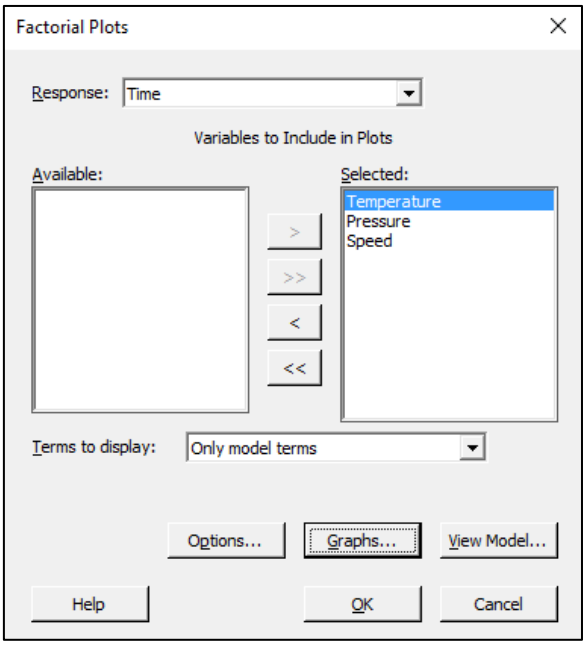
ภาพ 5.8 ระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยแผนภาพพาเรโต

การประเมินผลจากกราฟ Normal Plot และแผนภาพพาเรโต ดังภาพ 5.7 และ 5.8 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

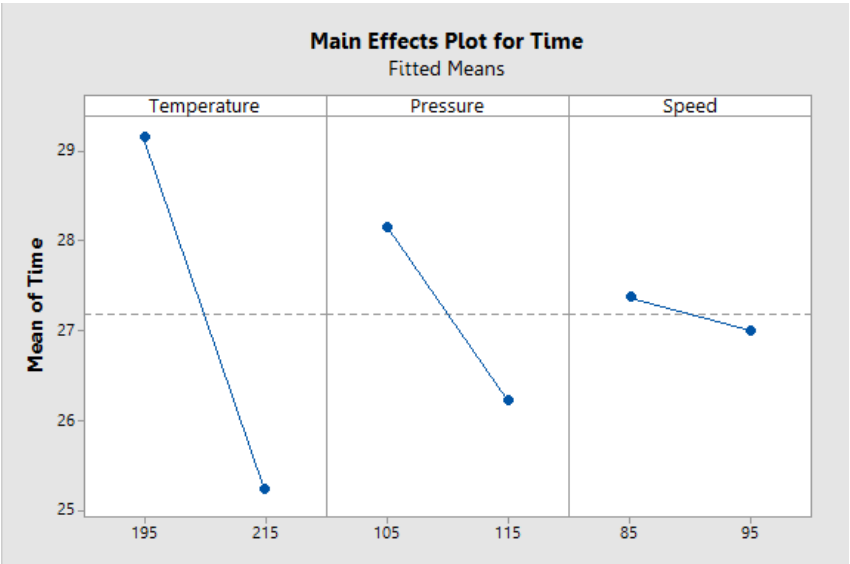
1) กราฟ Normal Plot ปัจจัยที่มีนัยสำคัญจะถูกระบุโดยสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยมสีแดง จากกราฟ Normal Plot ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ปัจจัยที่มีนัยสำคัญได้แก่ Temperature, Pressure และ Speed

2) แผนภาพพาเรโต แสดงค่าสัมบูรณ์ของผลกระทบ ถ้ากราฟของปัจจัยใดมีค่าเกินเส้นอ้างอิงหรือถูกเส้นสีแดงประตัดผ่าน แสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่สามารถตัดปัจจัยนั้นได้ จากแผนภาพพาเรโตของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ปัจจัยที่มีนัยสำคัญได้แก่ Temperature, Pressure และ Speed

เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลหลักแล้ว การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมก็เป็นสิ่งสำคัญที่อาจส่งผลทำให้อิทธิพลหลักมีค่ามากขึ้นหรือลดลง ดังนั้นการพิจารณาอิทธิพลร่วมจึงมีความสำคัญอย่างมาก โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างกราฟ Factorial Plots 2 รูปแบบ เพื่อที่จะช่วยให้สังเกตเห็นผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ได้สะดวกขึ้น นั่นคือ Main Effects Plot และ Interaction Plot โดยมีขั้นตอนในการสร้างกราฟดังภาพ 5.9 และได้กราฟ Factorial Plots ทั้ง 2 รูปแบบแสดงดังภาพ 5.10 และ 5.11



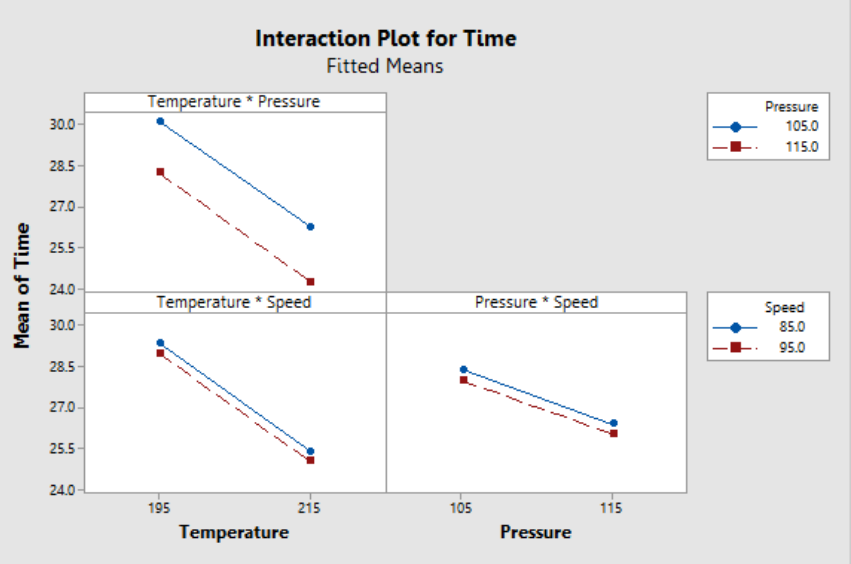
ภาพ 5.9 ขั้นตอนการสร้างกราฟ Main Effects Plot และ Interaction Plot ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก



ภาพ 5.10 กราฟ Main Effects Plot ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก

กราฟ Main Effects Plot แสดงผลกระทบจากการกำหนดค่าตัวแปร Temperature, Pressure และ Speed เมื่อเทียบกับกระบวนการเดิม ซึ่งผลกระทบในแต่ละปัจจัยเหล่านี้เรียกว่า “Main Effect”

จากภาพ 5.10 เราจะเห็นได้ว่ากราฟแสดงถึง การกำหนดค่าปัจจัย Temperature ส่งผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกมากที่สุด เนื่องจากเส้นกราฟมีลักษณะความชันมากที่สุด ซึ่งหมายความว่า ปัจจัย Temperature ที่ระดับ 215 องศาเซลเซียสนั้นส่งผลกระทบต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ จากกราฟของปัจจัย Pressure พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะชันลง ซึ่งหมายความว่า ปัจจัย Pressure ที่ระดับ 115 บาร์นั้นส่งผลกระทบต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ และยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกคือ Speed เนื่องจากเส้นกราฟมีลักษณะชันลง ซึ่งหมายความว่าปัจจัย Speed ที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักรนั้นส่งผลกระทบต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่ได้มีผลมากเมื่อเทียบกับอิทธิพลหลักของ Temperature และ Pressure จึงสรุปได้ว่าการกำหนดค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย กล่าวคือ Temperature, Pressure และ Speed ส่งผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ดังนั้นควรที่จะพิจารณาต่อไปใน Interaction Plot คือ ถ้าอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ มีนัยสำคัญนั้นสามารถส่งผลถึงการวิเคราะห์ผลของอิทธิพลหลักได้



ภาพ 5.11 กราฟ Interaction Plot ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก

จากภาพ 5.11 แสดงผลกระทบจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยหนึ่งต่ออีกปัจจัยหนึ่ง เนื่องจากอิทธิพลร่วมสามารถทำให้ผลของอิทธิพลหลักมีค่ามากขึ้นหรือลดลง ดังนั้นการพิจารณาอิทธิพลร่วมจึงมีความสำคัญอย่างมาก จากภาพ 5.11 พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยใด ที่มีผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากไม่เกิดเส้นกราฟตัดกันระหว่างปัจจัย แต่เมื่อพิจารณาจากกราฟ Normal Plot และแผนภาพพาเรโตดังภาพ 5.7 และ 5.8 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย Temperature และ Pressure มีผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่ได้มีผลมากเมื่อเทียบกับอิทธิพลหลัก

จากข้อสรุปที่ได้สามารถนำมาสร้างสมการทำนายเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ดังสมการ 5.1

$$\hat{y} = 27.1904 - 1.9603\ \text{Temperature} - 0.9689\ \text{Pressure} - 0.1840\ \text{Speed} - 0.0322\ \text{Temperature*Pressure} \quad (5.1)$$

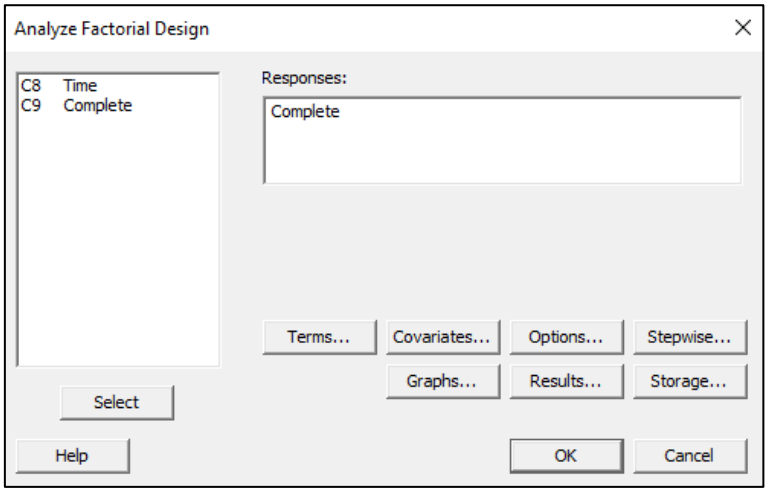
สมการทำนายผลนี้ เป็นการดึงเอาตัวแปรที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญออกจากแบบจำลองเต็มรูปแบบเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสมต่อไป

5.1.2 ระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

จากผลการเก็บข้อมูลสามารถหาโมเดลในรูปแบบของสมการและสร้างกราฟในการประเมินผลจากปัจจัยต่าง ๆ จากนั้นพิจารณาจากโมเดลและกราฟเพื่อทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ด้วยเมนูคำสั่ง DOE > Factorial > Analyze Factorial Design ซึ่งการใส่เงื่อนไขต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

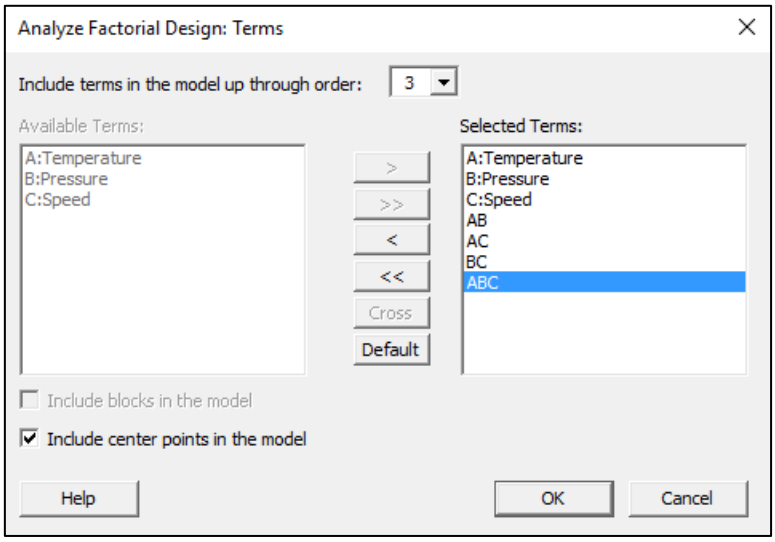
1) เลือกเมนู Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design

2) ในช่อง Responses เลือกคอลัมน์ ‘Complete’ ดังภาพ 5.12



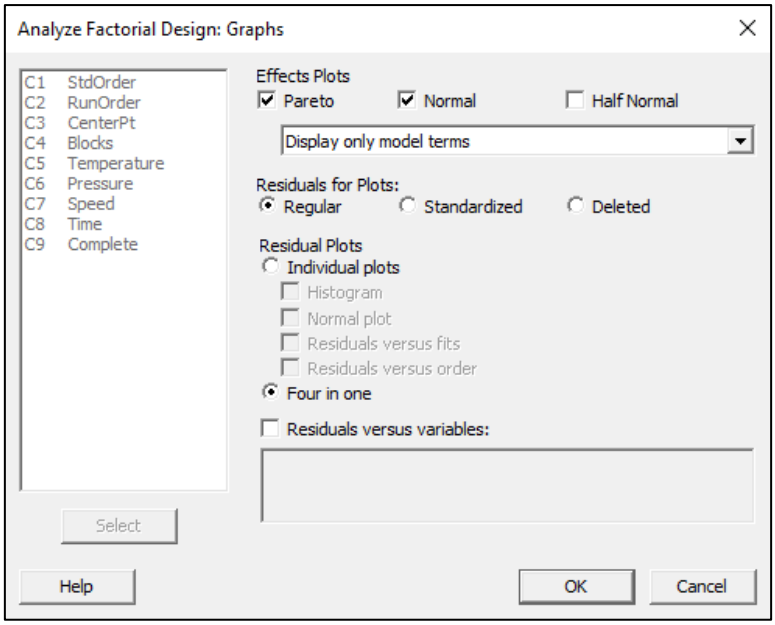
ภาพ 5.12 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

3) เลือก Terms และตรวจสอบให้แน่ใจว่า A : Temperature B : Pressure C : Speed AB AC BC และ ABC ปรากฏอยู่ในช่อง Selected Terms ดังภาพ 5.13



ภาพ 5.13 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design: Terms ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

4) ในหัวข้อกราฟ Effects Plots เลือก Pareto และ Normal และในหัวข้อกราฟ Residual Plots เลือก Four in One ซึ่งเป็นประโยชน์ในการตรวจสอบสมมติฐานสามารถแสดงได้ ดังภาพ 5.14



ภาพ 5.14 กรอบโต้ตอบ Analyze Factorial Design: Graphs ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จาก Session Window ของโปรแกรมมินิแทป (Minitab) หรือกราฟ Effects Plots เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยอันดับแรกทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในส่วนของ Session Window แสดงดังตาราง 5.6

ตาราง 5.6 ผลการวิเคราะห์ในส่วนของ Session Window ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

Factorial Regression: Complete versus Temperature, Pressure, Speed

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	30.5000	4.3571	6.68	0.000
Linear	3	15.6667	5.2222	8.00	0.001
Temperature	1	8.1667	8.1667	12.51	0.002
Pressure	1	1.5000	1.5000	2.30	0.144
Speed	1	6.0000	6.0000	9.19	0.006
2-Way Interactions	3	4.1667	1.3889	2.13	0.127
Temperature*Pressure	1	1.5000	1.5000	2.30	0.144
Temperature*Speed	1	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Pressure*Speed	1	2.6667	2.6667	4.09	0.056
3-Way Interactions	1	10.6667	10.6667	16.34	0.001
Temperature*Pressure*Speed	1	10.6667	10.6667	16.34	0.001
Error	21	13.7069	0.6527		
Curvature	1	1.5736	1.5736	2.59	0.123
Pure Error	20	12.1333	0.6067		
Total	28	44.2069			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.807904	68.99%	58.66%	42.20%

Coded Coefficients

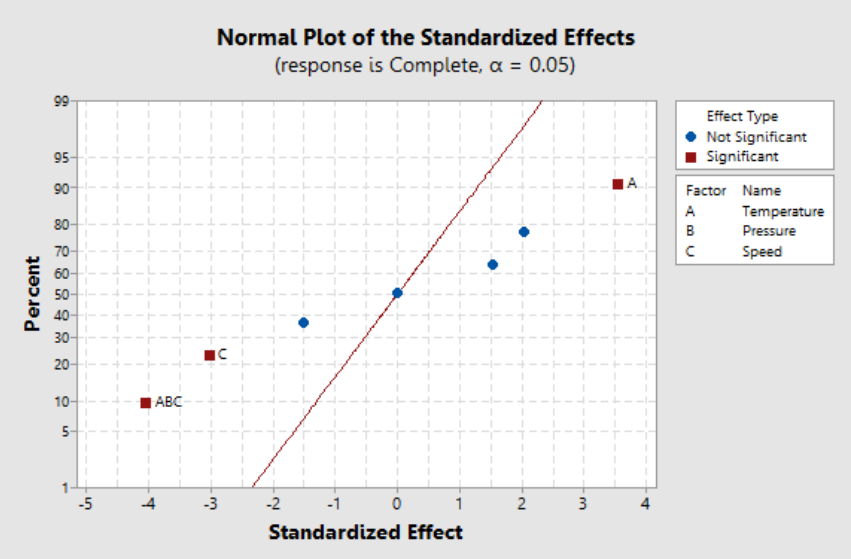
Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		1.690	0.150	11.26	0.000	
Temperature	1.167	0.583	0.165	3.54	0.002	1.00
Pressure	-0.500	-0.250	0.165	-1.52	0.144	1.00
Speed	-1.000	-0.500	0.165	-3.03	0.006	1.00
Temperature*Pressure	0.500	0.250	0.165	1.52	0.144	1.00
Temperature*Speed	-0.000	-0.000	0.165	-0.00	1.000	1.00
Pressure*Speed	0.667	0.333	0.165	2.02	0.056	1.00
Temperature*Pressure*Speed	-1.333	-0.667	0.165	-4.04	0.001	1.00

ผู้วิจัยได้จัดทำตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพจน์ต่อผลตอบความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปได้ดังตาราง 5.7

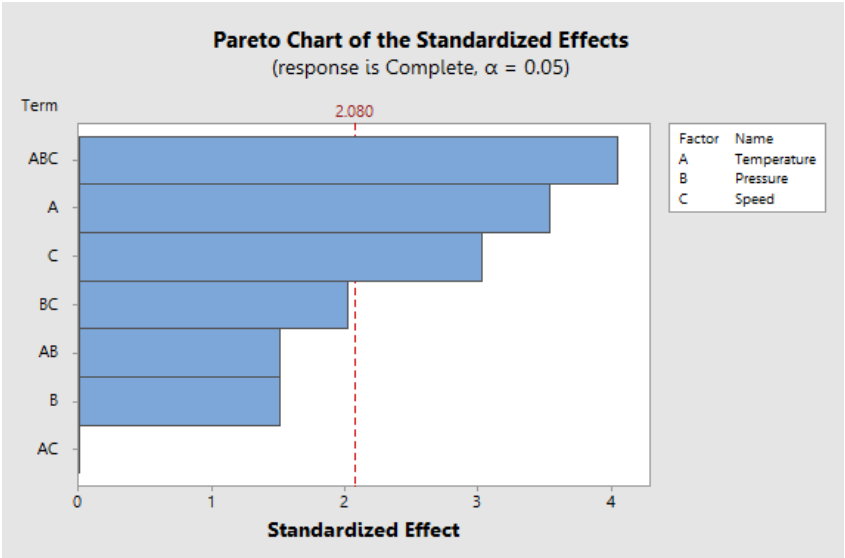
ตาราง 5.7 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพจน์ต่อผลตอบความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Main Effects	3	15.6667	5.2222	8.00	0.001
Temperature	1	8.1667	8.1667	12.51	0.002
Pressure	1	1.5000	1.5000	2.30	0.144
Speed	1	6.0000	6.0000	9.19	0.006
2-Way Interactions	3	4.1667	1.3889	2.13	0.127
Temperature*Pressure	1	1.5000	1.5000	2.30	0.144
Temperature*Speed	1	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Pressure*Speed	1	2.6667	2.6667	4.09	0.056
3-Way Interactions	1	10.6667	10.6667	16.34	0.001
Temperature*Pressure*Speed	1	10.6667	10.6667	16.34	0.001
Error	21	13.7069	0.6527		
Curvature	1	1.5736	1.5736	2.59	0.123
Pure Error	20	12.1333	0.6067		
Total	28	44.2069			

จากตาราง 5.6 และ 5.7 แสดงผลการวิเคราะห์ในส่วนของ Session Window จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ซึ่งประกอบไปด้วย อิทธิพลหลัก (Main Effects) โดยจะใช้ค่า P-Value เพื่อประเมินว่าปัจจัยใดมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ผลการวิเคราะห์พบว่ามีเพียงแค่สองปัจจัย ได้แก่ Temperature และ Speed ที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป กล่าวคือทั้งสองปัจจัยมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 (P=0.002 และ P=0.006) ค่า R-Squared มีค่า 68.99 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าแบบจำลองนี้สามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลผลตอบ ที่มีผลเกิดจากตัวแปรปัจจัยอยู่ 68.99 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการประเมินผลจากกราฟ Normal Plot และแผนภาพพาเรโตดังภาพ 5.15 และ 5.16 โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้



ภาพ 5.15 ระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปด้วยกราฟ Normal Plot



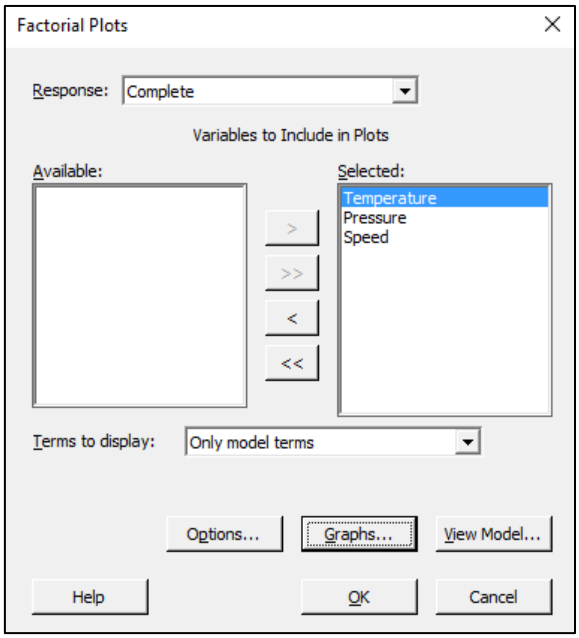
ภาพ 5.16 ระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปด้วยแผนภาพพาเรโต

การประเมินผลจากกราฟ Normal Plot และแผนภาพพาเรโต ดังภาพ 5.15 และ 5.16 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

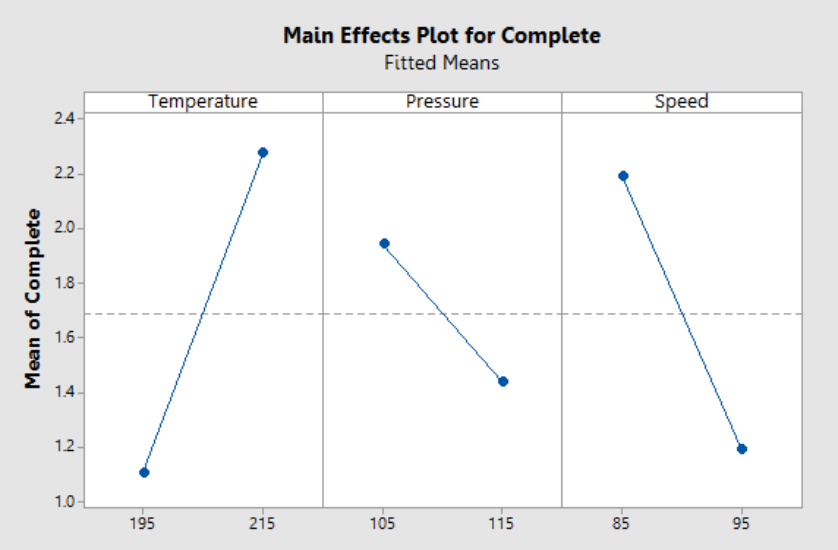
1) กราฟ Normal Plot ปัจจัยที่มีนัยสำคัญจะถูกระบุโดยสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยมสีแดง จากกราฟ Normal Plot ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ปัจจัยที่มีนัยสำคัญได้แก่ Temperature และ Speed

2) แผนภาพพาเรโต แสดงค่าสัมบูรณ์ของผลกระทบ ถ้ากราฟของปัจจัยใดมีค่าเกินเส้นอ้างอิงหรือถูกเส้นแดงประตัดผ่าน แสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่สามารถตัดปัจจัยนั้นได้ จากแผนภาพพาเรโตของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ปัจจัยที่มีนัยสำคัญได้แก่ Temperature และ Speed

เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลหลักแล้ว การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมก็เป็นสิ่งสำคัญที่อาจส่งผลทำให้อิทธิพลหลักมีค่ามากขึ้นหรือลดลง ดังนั้นการพิจารณาอิทธิพลร่วมจึงมีความสำคัญอย่างมาก โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างกราฟ Factorial Plots 2 รูปแบบ เพื่อที่จะช่วยให้สังเกตเห็นผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ได้สะดวกขึ้น นั่นคือ Main Effects Plot และ Interaction Plot โดยมีขั้นตอนในการสร้างกราฟดังภาพ 5.17 และได้กราฟ Factorial Plots ทั้ง 2 รูปแบบแสดงดังภาพ 5.18 และ 5.19

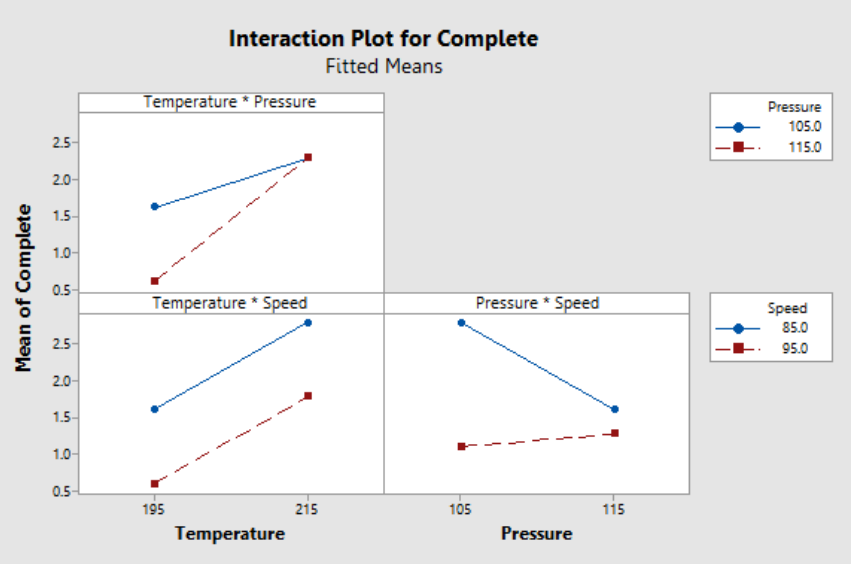


ภาพ 5.17 ขั้นตอนการสร้างกราฟ Main Effects Plot และ Interaction Plot ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป



ภาพ 5.18 กราฟ Main Effects Plot ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

จากภาพ 5.18 เราจะเห็นได้ว่ากราฟแสดงถึง การกำหนดค่าปัจจัย Temperature ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมากที่สุด เนื่องจากเส้นกราฟมีลักษณะความชันมากที่สุด ซึ่งหมายความว่า ปัจจัย Temperature ที่ระดับ 195 องศาเซลเซียสนั้นส่งผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ จากกราฟของปัจจัย Speed พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะชันลง ซึ่งหมายความว่า ปัจจัย Speed ที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักรนั้นส่งผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ และยังพบว่าปัจจัย Pressure ไม่ได้ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เนื่องจากเส้นกราฟมีความชันไม่มากเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น ๆ รวมถึงเมื่อพิจารณาจากกราฟ Normal Plot และแผนภาพพาเรโตดังภาพ 5.15 และ 5.16 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการกำหนดค่าปัจจัย Temperature และ Speed จะส่งผลต่อความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ดังนั้นควรที่จะพิจารณาต่อไปใน Interaction Plot คือถ้าอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ มีนัยสำคัญนั้นสามารถส่งผลถึงการวิเคราะห์ผลของอิทธิพลหลักได้



ภาพ 5.19 กราฟ Interaction Plot ของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

จากภาพ 5.19 แสดงผลกระทบจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยหนึ่งต่ออีกปัจจัยหนึ่ง เนื่องจากอิทธิพลร่วมสามารถทำให้ผลของอิทธิพลหลักมีค่ามากขึ้นหรือลดลง ดังนั้นการพิจารณาอิทธิพลร่วมจึงมีความสำคัญอย่างมาก จากภาพ 5.19 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย Temperature กับ Pressure มีผลต่อความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเกิดเส้นกราฟตัดกันระหว่างปัจจัย

จากข้อสรุปที่ได้สามารถนำมาสร้างสมการทำนายความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปได้ดังสมการ 5.2

$$\hat{y} = 1.690 + 0.583\ \text{Temperature} - 0.250\ \text{Pressure} - 0.500\ \text{Speed} + 0.250\ \text{Temperature*Pressure} - 0.667\ \text{Temperature*Pressure*Speed} \quad (5.2)$$

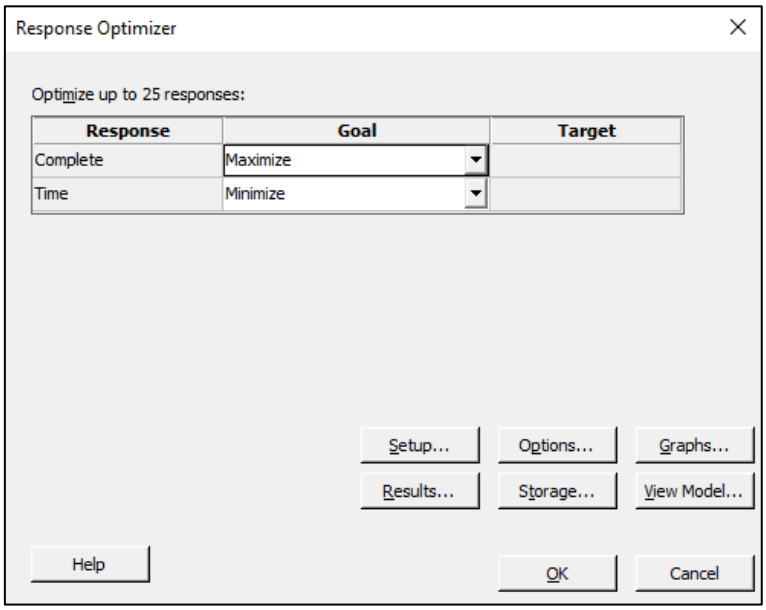
สมการทำนายผลนี้ จะทำการรวมอิทธิพลหลักของปัจจัย Pressure เข้าไปในสมการด้วย เนื่องจากอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย (ABC) มีผลต่อความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน แสดงได้ดังภาพ 5.15 และ 5.16 เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสมต่อไป

5.2 การวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

การวิเคราะห์หาค่าผลตอบที่เหมาะสมสามารถทำได้ด้วยเมนูคำสั่ง Stat > DOE > Factorial > Response Optimizer ซึ่งการใส่เงื่อนไขต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

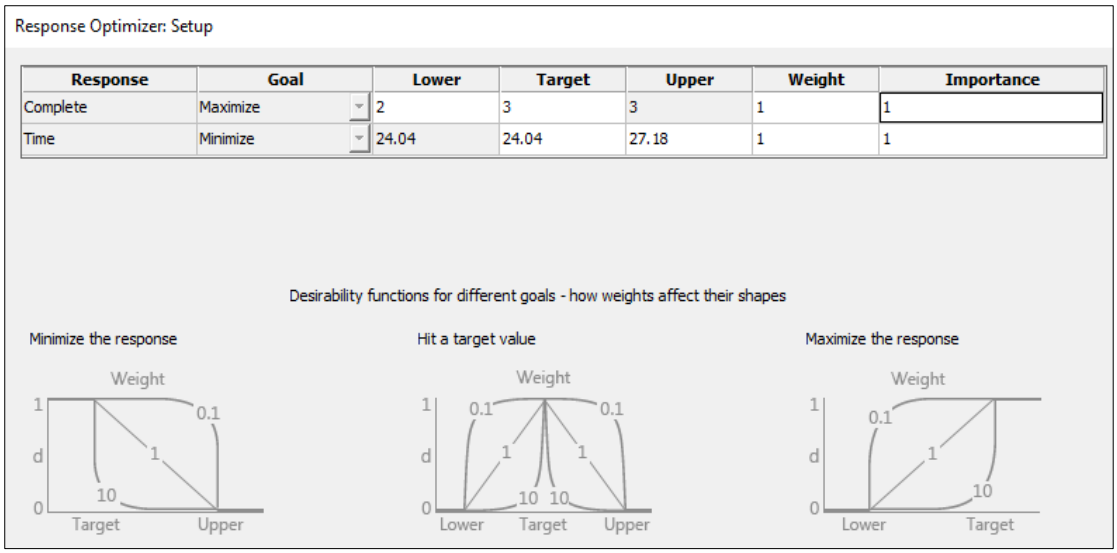
1) เลือกเมนู Stat > DOE > Factorial > Response Optimizer

2) เลือก Goal ของผลตอบ Time และ Complete ดังภาพ 5.20



ภาพ 5.20 กรอบโต้ตอบ Response Optimizer

3) ไปที่ Setup จากนั้นป้อนข้อมูลค่า Lower, Target และ Upper ของผลตอบ Time และ Complete ดังภาพ 5.21 โดยข้อมูลที่ป้อนทำการอ้างอิงมาจากการเก็บค่าผลตอบทั้ง 2 ผลตอบก่อนทำการออกแบบการทดลอง กล่าวคือ เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกควรจะต้องมีค่าลดลงจากเดิมที่ 27.18 วินาทีต่อชิ้น และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปควรจะมีค่าความสมบูรณ์สูงที่สุดคือ 3 เมื่อทำการป้อนข้อมูลและวิเคราะห์เงื่อนไข จะได้ผลการวิเคราะห์ในส่วนของ Session Window และกราฟ Optimization Plot ออกมาดังตาราง 5.8 และดังภาพ 5.22 ตามลำดับ



ภาพ 5.21 กรอบโต้ตอบ Response Optimizer: Setup

จากภาพ 5.21 ผู้วิจัยเลือกกำหนดค่า Lower, Target และ Upper ของผลตอบ ดังนี้

1) Time ค่าระดับต่ำของผลตอบ (Lower) = 24.04, ค่าเป้าหมายของผลตอบ (Target) = 24.04 และค่าระดับสูงของผลตอบ (Upper) = 27.18

2) Complete ค่าระดับต่ำของผลตอบ (Lower) = 2, ค่าเป้าหมายของผลตอบ (Target) = 3 และค่าระดับสูงของผลตอบ (Upper) = 3

ตาราง 5.8 ผลการวิเคราะห์ Response Optimization ใน Session Window

Response Optimization: Complete, Time

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Complete	Maximum	2	3.00		1	1
Time	Minimum		24.04	27.18	1	1

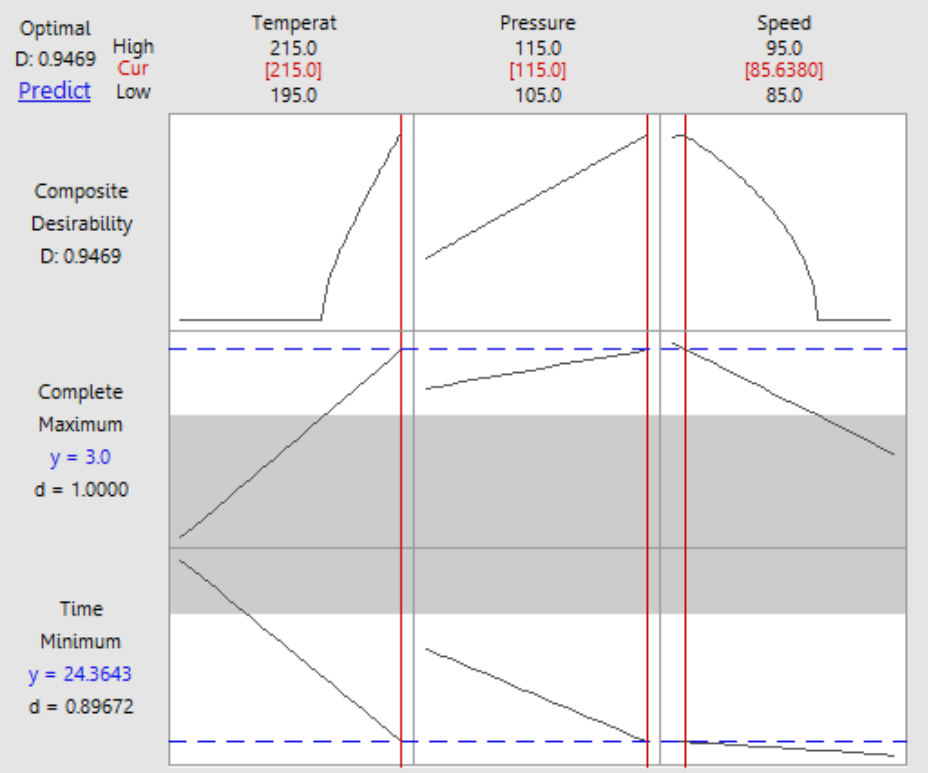
Solution

Solution	Temperature	Pressure	Speed	Complete Fit	Time Fit	Composite Desirability
1	215	115	85.6396	2.99973	24.3643	0.946833

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
Temperature	215
Pressure	115
Speed	85.6396

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Complete	3.000	0.432	(2.101, 3.899)	(1.094, 4.905)
Time	24.3643	0.0369	(24.2875, 24.4410)	(24.2016, 24.5269)



ภาพ 5.22 กราฟ Optimization Plot

ดังนั้นค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการคำนวณของโปรแกรมสำหรับการออกแบบการทดลองนี้ คือ อุณหภูมิในการฉีดเท่ากับ 215 องศาเซลเซียส แรงดันในการฉีดเท่ากับ 115 บาร์ และความเร็วในการฉีดเท่ากับ 85.64 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร (เมื่อนำไปปรับใช้จริงจะปรับตั้งค่าอยู่ที่ 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร) โดยมีค่าการทำนายของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก y = 24.36 วินาทีต่อชิ้น และมีค่าการทำนายของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป y = 3 ที่ความพึงพอใจโดยรวม (Composite Desirability) ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป d = 0.90 และ d = 1.00 ตามลำดับ โดยมีลักษณะของกราฟแต่ละปัจจัยดังภาพ 5.22

5.3 การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง ณ ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการฉีดพลาสติกที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก ได้แก่ อุณหภูมิในการฉีดเท่ากับ 215 องศาเซลเซียส แรงดันในการฉีดเท่ากับ 115 บาร์ และความเร็วในการฉีดเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร โดยทำการทดลองยืนยันผลจำนวน 3 ครั้ง ผลการทดลองแสดงดังตาราง 5.9

ตาราง 5.9 ผลการทดลองเพื่อยืนยันผล

อุณหภูมิในการฉีด (องศาเซลเซียส)	แรงดันในการฉีด (บาร์)	ความเร็วในการฉีด (เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร)	เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกต่อชิ้นงาน (วินาที)	ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน
215	115	85	24.31	3
215	115	85	24.40	3
215	115	85	24.32	3

จากการทดลองเพื่อตรวจสอบผลการทดลองพบว่า เมื่อนำค่าของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลและนำมาตรวจสอบผลการทดลอง เพื่อยืนยันผลจำนวน 3 ครั้ง โดยตั้งค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย คือ

1) อุณหภูมิในการฉีด 215 องศาเซลเซียส

2) แรงดันในการฉีด 115 บาร์

3) ความเร็วในการฉีด 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร

ผลการทดลองยืนยันผลวัดผลโดยเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป พบว่าการทดลองทั้ง 3 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 วัดเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกได้ 24.31 วินาทีต่อชิ้น และค่าความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปคือ 3 การทดลองที่ 2 วัดเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกได้ 24.40 วินาทีต่อชิ้น และค่าความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปคือ 3 และการทดลองที่ 3 วัดเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกได้ 24.32 วินาทีต่อชิ้น และค่าความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปคือ 3 โดยมีค่าเฉลี่ยของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกคือ 24.34 วินาทีต่อชิ้น และค่าเฉลี่ยของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปคือ 3 กล่าวคือค่าผลตอบเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมมินิแทป (Minitab) มีความคลาดเคลื่อนจากการทดลองยืนยันผลคิดเป็น 0.08 และ 0.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการทดลองที่ออกแบบนี้เพียงพอที่ทำนายค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการฉีดพลาสติก

จากนั้นจึงทำการทดสอบสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และค่าเฉลี่ยของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองยืนยันผลแตกต่างจากค่าทำนายที่ได้จากสมการทำนายผลจากโปรแกรมมินิแทป (Minitab) อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ในการศึกษาสนใจค่าเฉลี่ยของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และค่าเฉลี่ยของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยต้องการตรวจสอบว่า ค่าเฉลี่ยของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกจะมีค่าเท่ากับ 24.36 วินาทีต่อชิ้น และค่าเฉลี่ยของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจะมีค่าเท่ากับ 3 หรือไม่ ดังนั้น หากต้องการทดสอบว่า ข้อความข้างต้นที่กล่าวอ้างเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของทั้งสองผลตอบถูกต้องหรือไม่ สามารถทำได้โดยการตั้งสมมติฐานดังนี้ และแสดงผลการทดสอบสมมติฐานดังภาพ 5.23

H_0 : μ = 24.36

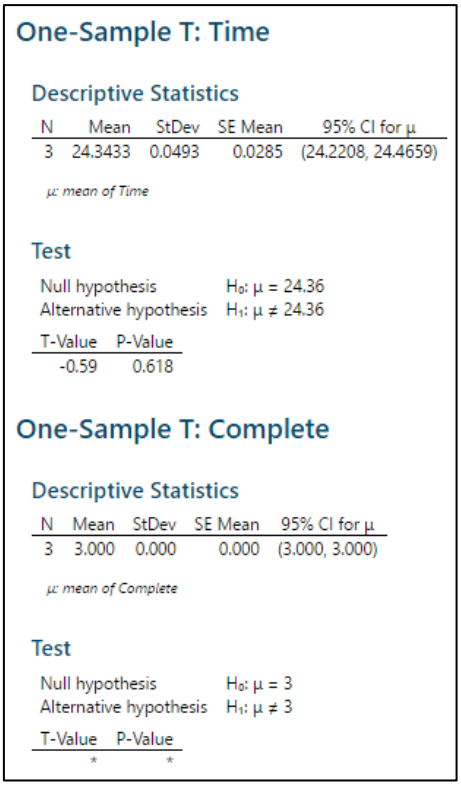
H_1 : $\mu \neq$ 24.36

โดยที่ μ : ค่าเฉลี่ยของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกของกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการทดลองยืนยันผล

H_0 : μ = 3

H_1 : $\mu \neq$ 3

โดยที่ μ : ค่าเฉลี่ยของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปของกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการทดลองยืนยันผล



One-Sample T: Time

Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for μ
3	24.3433	0.0493	0.0285	(24.2208, 24.4659)

μ: mean of Time

Test

Null hypothesis H_0: μ = 24.36
Alternative hypothesis H_1: μ ≠ 24.36

T-Value	P-Value
-0.59	0.618

One-Sample T: Complete

Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for μ
3	3.000	0.000	0.000	(3.000, 3.000)

μ: mean of Complete

Test

Null hypothesis H_0: μ = 3
Alternative hypothesis H_1: μ ≠ 3

T-Value	P-Value
*	*

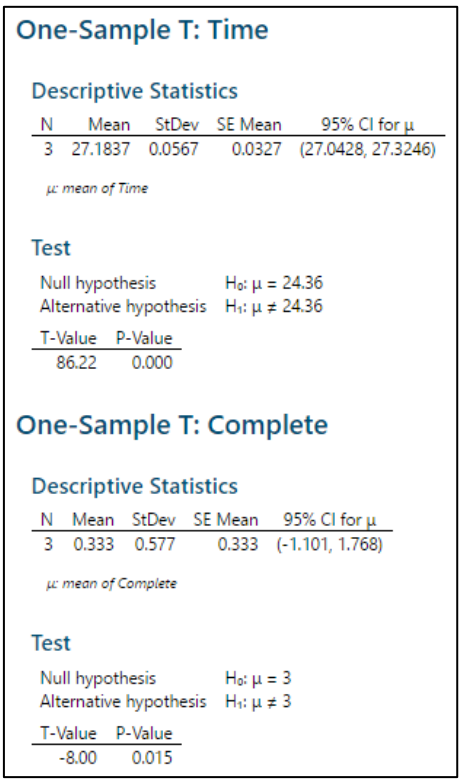
ภาพ 5.23 การทดสอบสมมติฐานผลการทดลองยืนยันผล

ผลการทดสอบสมมติฐานโดยใช้การแจกแจงแบบ T เนื่องจากจำนวนข้อมูลน้อยกว่า 30 ข้อมูลพบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกของกลุ่มตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 24.34 วินาทีต่อชิ้น และค่าความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมีค่าเท่ากับ 3 โดยมีค่า P-Value ของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกเท่ากับ 0.618 แสดงดังภาพ 5.23 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ α = 0.05 แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างกับค่าทำนายผลมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และในส่วนผลการทดลองยืนยันผลของค่าผลตอบความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปทุกการทดลองมีค่าเท่ากับ 3 จึงทำให้การทดสอบสมมติฐานไม่แสดงค่า P-Value ออกมาในส่วนของ Session Window แต่เมื่อพิจารณาจากสมมติฐานหลัก H_0 : μ = 3 จึงกล่าวได้ว่ายอมรับสมมติฐานหลัก คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างกับค่าทำนายผลมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

แสดงว่าเงื่อนไขปัจจัยอุณหภูมิในการฉีดเท่ากับ 215 องศาเซลเซียส แรงดันในการฉีดเท่ากับ 115 บาร์ และความเร็วในการฉีดเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร คือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานการทดลองก่อนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และค่าเฉลี่ยของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองแตกต่างจากค่าทำนายที่ได้จากสมการทำนายผลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ผลการทดลองก่อนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแสดงดังตาราง 5.10 และแสดงผลการทดสอบสมมติฐานดังภาพ 5.24

ตาราง 5.10 ผลการทดลองก่อนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

อุณหภูมิในการฉีด (องศาเซลเซียส)	แรงดันในการฉีด (บาร์)	ความเร็วในการฉีด (เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร)	เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกต่อชิ้นงาน (วินาที)	ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน
205	110	85	27.16	0
205	110	85	27.25	1
205	110	85	27.15	0



One-Sample T: Time

Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for μ
3	27.1837	0.0567	0.0327	(27.0428, 27.3246)

μ: mean of Time

Test

Null hypothesis H_0: μ = 24.36
Alternative hypothesis H_1: μ ≠ 24.36

T-Value	P-Value
86.22	0.000

One-Sample T: Complete

Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for μ
3	0.333	0.577	0.333	(-1.101, 1.768)

μ: mean of Complete

Test

Null hypothesis H_0: μ = 3
Alternative hypothesis H_1: μ ≠ 3

T-Value	P-Value
-8.00	0.015

ภาพ 5.24 การทดสอบสมมติฐานผลการทดลองก่อนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

จากการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังภาพ 5.24 และข้อมูลหลังการนำค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ผลแล้วไปปรับใช้จริงกับกระบวนการฉีดพลาสติกดังภาพ 5.23 พบว่าความแปรปรวนของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกมีค่าลดลงจากเดิม 0.003 เหลือ 0.002 และพบว่าค่าความแปรปรวนของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมีค่าลดลงจากเดิม 0.333 เหลือ 0.000 โดยค่าความแปรปรวนนั้นหาได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยกกำลังสอง จึงสรุปได้ว่า การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยปัจจัยอุณหภูมิในการฉีดเท่ากับ 215 องศาเซลเซียส แรงดันในการฉีดเท่ากับ 115 บาร์ และความเร็วในการฉีดเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร สามารถลดความแปรปรวนของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปคิดเป็นร้อยละ 33.33 และ 100 ตามลำดับ

5.4 สรุปผลและจัดทำรายงานโครงงานวิจัย

จากการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการฉีดพลาสติก เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว ณ บริษัท ลำพูนพลาสแพค จำกัด โดยสามารถสรุปผลตามผลการทดลองได้ดังนี้

- อุณหภูมิในการฉีด 215 องศาเซลเซียส
- แรงดันในการฉีด 115 บาร์
- ความเร็วในการฉีดเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการเพิ่มกำลังการผลิตและลดปริมาณชิ้นงานที่มีตำหนิของกระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว จากการดำเนินการศึกษาวิจัยเพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการฉีดพลาสติกที่ใช้สำหรับการปรั้งตั้งค่าเครื่องฉีดพลาสติก โดยผู้วิจัยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k (2^3) มาประยุกต์ใช้ในการทดลองตามการออกแบบแผนการทดลอง การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบ และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม ส่วนโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ได้แก่ โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อการออกแบบการทดลอง (Minitab)

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าการนำเทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k มาประยุกต์ใช้กับกระบวนการฉีดพลาสติก สามารถวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฉีดพลาสติก รวมถึงการวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของผลตอบเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป (Minitab) ทำให้ได้ทราบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบทั้ง 2 ผลตอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือ ปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิในการฉีด แรงดันในการฉีด และความเร็วในการฉีด โดยได้ค่าทำนายเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกเท่ากับ 24.36 วินาทีต่อชิ้น และได้ค่าทำนายความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเท่ากับ 3 เมื่อกำหนดให้ค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการฉีดเท่ากับ 215 องศาเซลเซียส แรงดันในการฉีดเท่ากับ 115 บาร์ และความเร็วในการฉีดเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเครื่องจักร จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาทำการทดลองยืนยันผล โดยทำการทดลองยืนยันผลจำนวน 3 ครั้ง พบว่า ได้ค่าเฉลี่ยของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกเท่ากับ 24.34 วินาทีต่อชิ้น และได้ค่าเฉลี่ยของความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเท่ากับ 3 ซึ่งค่าผลตอบของเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมมินิแทป (Minitab) มีความคลาดเคลื่อนจากการทดลองยืนยันผลคิดเป็น 0.08 และ 0.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก และการทดลองยืนยันผลจริง มีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งจากผลการทดสอบทางสถิติ

สามารถสรุปได้ว่า ผลลัพธ์ดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเทียบกับเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติกเดิมจาก 27.18 วินาทีต่อชิ้น เป็น 24.36 วินาทีต่อชิ้น ทำให้สามารถลดลงไปได้ถึง 2.82 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็นร้อยละ 10.38

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติก การประมาณค่าเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป รวมถึงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้น และลดปริมาณชิ้นงานที่มีตำหนิของกระบวนการฉีดพลาสติก เพื่อลดต้นทุนในการแก้ไขชิ้นงานที่มีตำหนิ และการกำจัดชิ้นงานที่มีตำหนิที่ไม่สามารถแก้ไขได้

6.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

- ผู้วิจัยไม่มีความรู้ความชำนาญเกี่ยวกับหลักการทางด้านการออกแบบการทดลอง และหลักการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกอย่างแท้จริง จึงทำการแก้ไขโดยการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมจากหนังสือ อินเทอร์เน็ต และผู้เชี่ยวชาญ

- ผู้วิจัยไม่มีความชำนาญในการใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง จึงทำให้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์อาจมีความไม่ครอบคลุมและข้อผิดพลาดได้ จึงทำการแก้ไขโดยการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมจากหนังสือ อินเทอร์เน็ต และผู้เชี่ยวชาญ

- เสียงที่เกิดจากการเปิดปิดของแม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานของเครื่องฉีดพลาสติกก่อให้เกิดเสียงดังมาก รบกวนพนักงานที่อยู่ใกล้เคียง และพนักงานที่สัญจรผ่าน มีแนวทางแก้ไขคือ ปรับปรุงระบบส่งกำลังที่ทำหน้าที่เปิดปิดแม่พิมพ์ให้ส่งเสียงในขณะที่ทำงานเบาลง หรือให้พนักงานที่ทำงานอยู่ใกล้เคียงสวมใส่ที่ครอบหู (Ear Muff)

6.3 ข้อเสนอแนะ

การจัดทำโครงงานวิจัยนี้ที่เกี่ยวกับการหาปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการทำงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ Plastic Reel ขนาด 13 นิ้ว เป็นเพียงการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดพลาสติกที่ใช้สำหรับการปรั้งตั้งค่าเครื่องฉีดพลาสติกเท่านั้น วิธีนี้เป็นเพียงทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ได้จริง แต่ก็ยังมีอีกหลายวิธีแตกต่างกันไปตามลักษณะของงานที่ต้องการนำไปใช้ โดยจะขึ้นอยู่กับผู้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ ยกตัวอย่างเช่น การนำวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ Plastic Reel ขนาดอื่นที่มียอดขายที่ต่ำกว่า

สำหรับการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตจริงอาจมีความคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ที่ควรเป็น ซึ่งอาจเนื่องมาจากปัจจัยรบกวนอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต เช่น อุณหภูมิของอากาศภายนอกที่มีผลต่อการขึ้นรูปชิ้นงาน คุณภาพของเม็ดพลาสติก และความคลาดเคลื่อนจากการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกเอง เป็นต้น ซึ่งสาเหตุต่าง ๆ เหล่านี้ อาจส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ในการทดลองได้ รวมถึงสาเหตุจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติกตามความเคยชินหรือจากประสบการณ์ของพนักงาน ดังนั้นจึงควรกำหนดเป็นขั้นตอนมาตรฐานในการปฏิบัติงานและจัดทำระบบควบคุมการทำงาน เพื่อให้ผลการปรับปรุงมีความยั่งยืนและต่อเนื่อง

บรรณานุกรม

คนัน ธนกุลชัยทวี และศุภชัย นาทะพันธ์. (2557). “การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.tci-thaijo.org/index.php/nuej/article/view/26075 (13 ธันวาคม 2562)

จักรินทร์ กลั่นเงิน และอนุเชษฐ์ พลเยี่ยม. (2558). “การควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตเนื้อสบู่เหลวด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/article/view/74502 (6 กันยายน 2562)

จักรกริช คำทีระ และอิสรา ธีระวัฒน์สกล. (2558). “การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่เพื่อปรับตั้งเครื่องปักผ้าเพื่อลดจำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุดการทำงานในแต่ละรอบของการปัก” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.tcithaijo.org/index.php/RMUTP/article/view/31881 (13 ธันวาคม 2562)

จักรพรรณ คงธนะ และปฐมพงษ์ หอมศรี. (2556). “การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/article/view/74514 (13 ธันวาคม 2562)

เชิญขวัญ รุจทินกฤต และวรพจน์ มีถม. (2558). “การหาส่วนผสมแบบหล่อทราย โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: อุตสาหกรรมข้อต่อเหล็ก” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.tci-thaijo.org/index.php/RMUTP/article/view/40328 (6 กันยายน 2562)

ณัฐธยาน์ โสกุล และบุญชัย แซ่สิ้ว. (2559). “การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.tci-thaijo.org/index.php/Itech/article/view/72663 (2 กันยายน 2562)

ดุษฎี บุญธรรม. (2559). “การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการตัดแท่งพลาสติก โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.tci-thaijo.org/index.php/Itech/article/view/72662 (13 ธันวาคม 2562)

ประชาสรรณ์ แสนภักดี. (2559). “ผังก้างปลากับแผนภูมิความคิด” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.prachasan.com/mindmapknowledge/fishbonemm.htm (2 กันยายน 2562)

พรรณพัชร ปลัดคุณ และภัค ถาวรนันท์. (2558). สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตไส้ใหญ่สุกรลวก โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง. โครงงานวิจัยวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พรเทพ ขอขจายเกียรติ และรัชดาภรณ์ หอมนาน. (2556). “การลดปริมาณถุงซีลไม่สนิทในขั้นตอนการบรรจุข้าวสาร ขนาด 1 กิโลกรัม ด้วยเครื่องบรรจุข้าวสารอัตโนมัติ” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.tci-thaijo.org/index.php/mbakkujournal/article/view/64539 (6 กันยายน 2562)

บรรณานุกรม (ต่อ)

ภูธิป อินทรักษ์. (2557). “การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการติดฉลาก” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://cuir.car.chula.ac.th/dspace/bitstream/123456789/46179/1/5670336321.pdf (10 กันยายน 2562)

วาสิตา สำเภาทอง และวีร์สุดา พรหมธารา. (2561). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อเพิ่มผลิตภาพ. โครงงานวิจัยวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สรรฐติชัย ชีวสุทธิศิลป์. (2549). Experiment strategies for engineering Full Factorial Design. โครงงานวิจัยวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ของแต่ละชุดการทดลอง

ตาราง ก-1 ตารางแสดงผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ของแต่ละชุดการทดลอง

การทดลองที่ 1	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	29.97	30.28	30.19	30.36	30.38	30.68	30.29	29.87	30.31	30.34	30.27
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 2	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	26.26	26.55	26.46	26.46	26.42	26.37	26.50	26.44	26.42	26.46	26.43
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 3	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	28.66	28.22	28.14	28.29	28.55	28.45	28.44	28.58	28.49	28.49	28.43
ความสมบูรณ์	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ฉีดไม่เต็มชิ้น	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	0
การทดลองที่ 4	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	24.37	24.19	24.11	24.29	24.74	24.55	24.54	24.60	24.56	24.62	24.46
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 5	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	29.80	29.90	29.92	30.01	30.06	30.03	30.01	30.13	30.06	30.09	30.00
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ฉีดไม่เต็มชิ้น	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	0
การทดลองที่ 6	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	25.84	25.96	25.98	26.02	25.99	26.07	26.01	26.07	26.02	26.00	26.00
ความสมบูรณ์	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	2
การทดลองที่ 7	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	27.93	27.72	27.88	27.94	28.04	28.05	27.94	27.96	27.98	28.08	27.95
ความสมบูรณ์	ฉีดไม่เต็มชิ้น	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ฉีดไม่เต็มชิ้น	ปกติ	ปกติ	ปกติ	0
การทดลองที่ 8	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	24.2	23.88	23.88	23.97	24.19	24.17	24.11	24.11	24.17	24.14	24.08
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	เป็นรอย	1

ตาราง ก-1 ตารางแสดงผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ของแต่ละชุดการทดลอง (ต่อ)

การทดลองที่ 9	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	30.26	30.29	30.26	30.31	30.28	29.62	30.08	30.11	30.23	30.30	30.17
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 10	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	26.47	26.35	26.41	26.44	26.49	26.46	26.26	26.55	26.51	26.44	26.44
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	1
การทดลองที่ 11	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	28.72	28.26	28.09	28.32	28.48	28.45	28.58	28.51	28.50	28.49	28.44
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ฉีดไม่เต็มชิ้น	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	0
การทดลองที่ 12	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	24.44	24.14	24.15	24.27	24.54	24.48	24.47	24.43	24.52	24.46	24.39
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 13	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	29.94	29.22	29.9	29.95	30.02	29.97	30.01	29.98	29.28	29.28	29.76
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ฉีดไม่เต็มชิ้น	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	0
การทดลองที่ 14	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	26.01	25.91	25.81	25.94	26.06	26.03	26.07	26.04	26.06	26.06	26.00
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	2
การทดลองที่ 15	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	28.32	27.98	28	28.03	28.1	28.14	28.09	28.08	28.08	28.07	28.09
ความสมบูรณ์	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ฉีดไม่เต็มชิ้น	ปกติ	ปกติ	0
การทดลองที่ 16	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	24.25	24.00	23.93	24.00	24.14	24.13	24.13	24.17	24.20	24.14	24.11
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	2

ตาราง ก-1 ตารางแสดงผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ของแต่ละชุดการทดลอง (ต่อ)

การทดลองที่ 17	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	30.34	30.36	30.38	30.68	30.59	30.01	30.12	30.28	30.55	30.34	30.37
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 18	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	26.49	26.52	26.47	26.47	26.29	26.49	26.51	26.44	26.26	26.56	26.45
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 19	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	28.52	28.22	28.14	28.20	28.55	28.41	28.35	28.58	28.24	28.41	28.36
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ฉีดไม่เต็มชิ้น	ฉีดไม่เต็มชิ้น	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	0
การทดลองที่ 20	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	24.44	24.16	24.32	24.41	24.38	24.44	24.12	24.15	24.21	24.51	24.31
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 21	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	29.89	29.9	29.89	29.92	30.01	30.04	30.03	30.03	30.03	29.99	29.97
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ฉีดไม่เต็มชิ้น	ปกติ	ปกติ	ปกติ	0
การทดลองที่ 22	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	26.11	25.98	25.91	25.97	26.11	26.13	26.21	26.10	26.17	26.10	26.08
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	2
การทดลองที่ 23	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	27.98	27.96	27.91	27.99	28.08	28.09	28.09	28.05	28.06	28.08	28.03
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 24	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	24.20	23.88	23.86	23.97	24.11	24.16	24.05	24.11	24.06	24.04	24.04
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	1

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดลองเสริมที่จุดศูนย์กลางของแต่ละชุดการทดลอง

ตาราง ข-1 ตารางแสดงผลการทดลองเสริมที่จุดศูนย์กลางของแต่ละชุดการทดลอง

การทดลองที่ 1	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	27.19	27.16	27.17	27.14	27.19	27.01	26.99	26.93	27.10	27.18	27.11
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 2	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	27.38	27.07	27.03	27.12	27.29	27.35	27.28	27.39	27.29	27.29	27.25
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 3	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	27.01	26.97	27.14	27.21	27.25	27.18	27.26	27.22	27.23	27.23	27.17
ความสมบูรณ์	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	1
การทดลองที่ 4	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	27.10	26.98	27.00	27.1	27.25	27.19	27.24	27.15	27.21	27.16	27.14
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 5	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	27.33	27.07	27.02	27.16	27.32	27.22	27.26	27.29	27.27	27.23	27.22
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	3

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลการทดลองเพื่อยืนยันผลของแต่ละชุดการทดลอง

ตาราง ค-1 ตารางแสดงผลการทดลองเพื่อยืนยันผลของแต่ละชุดการทดลอง

การทดลองที่ 1	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	24.32	24.21	24.38	24.41	24.16	24.15	24.44	24.12	24.44	24.51	24.31
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 2	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	24.48	24.47	24.43	24.52	24.46	24.44	24.18	24.15	24.35	24.54	24.40
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3
การทดลองที่ 3	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	24.21	24.41	24.18	24.44	24.51	24.18	24.48	24.12	24.29	24.38	24.32
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	3

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงผลการทดลองก่อนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ของแต่ละชุดการทดลอง

ตาราง ง-1 ตารางแสดงผลการทดลองก่อนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละชุดการทดลอง

การทดลองที่ 1	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	27.10	26.98	27.00	27.10	27.25	27.18	27.26	27.22	27.23	27.23	27.16
ความสมบูรณ์	ปกติ	ปกติ	ฉีดไม่เต็มชิ้น	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	0
การทดลองที่ 2	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	27.38	27.07	27.03	27.12	27.29	27.35	27.28	27.39	27.29	27.29	27.25
ความสมบูรณ์	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	1
การทดลองที่ 3	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**	**ครั้งที่ 6**	**ครั้งที่ 7**	**ครั้งที่ 8**	**ครั้งที่ 9**	**ครั้งที่ 10**	**ค่าผลตอบ**
รอบเวลาการฉีด	27.22	27.26	27.29	27.27	27.23	27.00	26.99	26.93	27.10	27.18	27.15
ความสมบูรณ์	ฉีดไม่เต็มชิ้น	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	เป็นรอย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	เป็นรอย	ปกติ	0

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล : นายธีระวิชญ์ แก้วสุข
รหัสนักศึกษา : 590610294
วันเดือนปีเกิด : 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2541
ที่อยู่ปัจจุบัน : 299 หมู่ที่ 1 ต.น้ำดิบ อ.ป่าซาง จ.ลำพูน 51120
เบอร์โทรศัพท์ : 0871830905
ประวัติการศึกษา : กำลังศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
สำเร็จการศึกษามัธยมตอนปลาย โรงเรียนจักรคำคณาทร จังหวัดลำพูน